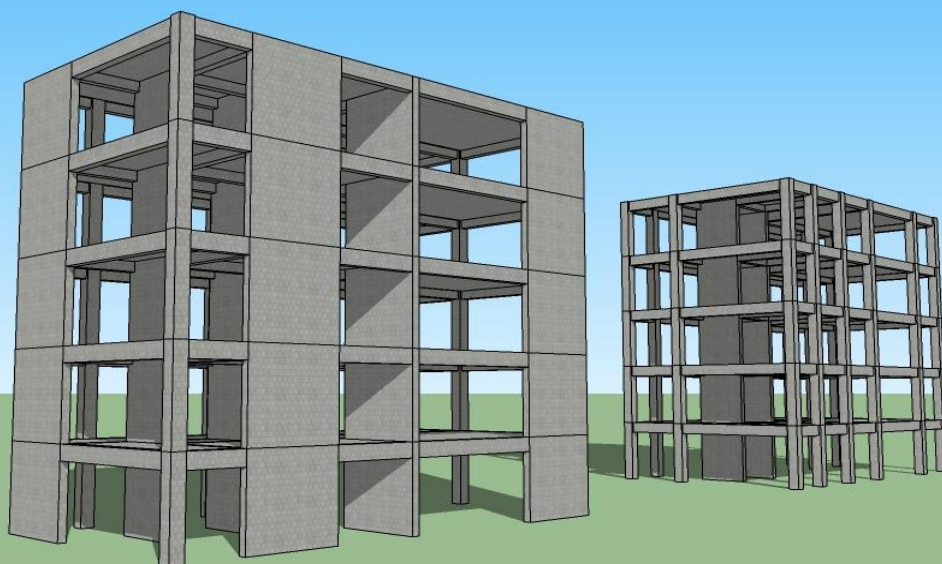


**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Κωδικοποίηση απαιτήσεων EC-2 και EC-8 για τις τρεις κατηγορίες πλαστιμότητας και σύνταξη υπολογιστικών εργαλείων.  
Εφαρμογή σε συγκεκριμένο κτήριο με ή χωρίς τοιχώματα.



**ΜΠΑΛΤΑΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ**

**ΠΑΤΣΟΥΜΑΔΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΒΟΥΓΙΟΥΚΑΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ**

Αθήνα, Μάρτιος 2014

## Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των προπτυχιακών σπουδών μας στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Σηματοδοτεί το πέρας μιας ιδιαίτερα ενδιαφέρουσας και δημιουργικής περιόδου της ζωής μας και ταυτόχρονα την εκπλήρωση ενός σημαντικού προσωπικού μας στόχου.

Θα θέλαμε στο σημείο αυτό να ευχαριστήσουμε θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Εμμανουήλ Βουγιούκα, λέκτορα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την πολύτιμη καθοδήγησή του και το άριστο κλίμα καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε εγκάρδια τον κ. Νικόλαο Ζυγούρη, υποψήφιο διδάκτορα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, χάρη στη βοήθεια του οποίου ξεπεράστηκαν όλες οι δυσκολίες που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας και κατέστη εφικτή η ολοκλήρωσή της.

Αθήνα, Μάρτιος 2014

## Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ασχολούμαστε με δύο πανομοιότυπα σε κάτοψη πενταόροφα κτήρια από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Η διαφορά των δύο αυτών κατασκευών έγκειται στο στατικό τους σύστημα. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη αποτελεί τυπικό παράδειγμα πλαισιωτής κατασκευής ενώ η δεύτερη τυπικό παράδειγμα τοιχοματικής κατασκευής.

Κύριο μέρος της διπλωματικής εργασίας αυτής είναι η αναλυτική διαστασιολόγηση των δύο κατασκευών, και για τις τρεις κατηγορίες πλαστιμότητας (χαμηλή, μέση, υψηλή), με βάση τις διατάξεις των Ευρωκωδίκων. Η στατική μελέτη, και των δύο κατασκευών, πραγματοποιείται με τη χρήση του ηλεκτρονικού λογισμικού SAP2000 ενώ η διαστασιολόγηση αυτών πραγματοποιείται βήμα βήμα από εμάς με τη βοήθεια του Excel. Στόχος της αναλυτικής διαστασιολόγησης που κάνουμε είναι η βαθύτερη κατανόηση και παρουσίαση όλων των διατάξεων των Ευρωκωδίκων καθώς και η δημιουργία ενός χρήσιμου βοηθήματος για όποιον θελήσει να διαστασιολογήσει κατασκευές από σκυρόδεμα στο μέλλον.

Επιπλέον, η διαστασιολόγηση δύο πανομοιότυπων κατασκευών για τις τρεις κατηγορίες πλαστιμότητας, επιτρέπει τη σύγκριση και την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σε δύο επίπεδα. Πρώτον, μελετώντας κάθε κατασκευή ξεχωριστά γίνεται σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων που εξάγονται για κάθε κατηγορία πλαστιμότητας. Δεύτερον, μελετώντας κάθε κατηγορία πλαστιμότητας ξεχωριστά γίνεται σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων που εξάγονται για κάθε κατασκευή. Τα συμπεράσματα αυτά σχετίζονται με την οικονομικότητα σε σκυρόδεμα και χάλυβα οπλισμού, τις μετακινήσεις και την αντοχή των κατασκευών. Οι τρεις παραπάνω τομείς είναι ιδιαίτερα σημαντικοί και θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στην επιλογή του στατικού συστήματος και της πλαστιμότητας κατά τη μελέτη μίας κατασκευής.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από οκτώ κεφάλαια:

Στο κεφάλαιο 1 πραγματοποιείται η περιγραφή των δύο κατασκευών και η παρουσίαση των παραδοχών της ανάλυσης και του σχεδιασμού.

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι δράσεις που καταπονούν τις δύο κατασκευές.

Στο κεφάλαιο 3 πραγματοποιείται η προσομοίωση των στατικών μοντέλων που θα χρησιμοποιηθούν στη στατική μελέτη.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται οι μέθοδοι ανάλυσης των δύο κατασκευών.

Στο κεφάλαιο 5 πραγματοποιείται η διαστασιολόγηση των δύο κατασκευών και για τις τρεις κατηγορίες πλαστιμότητας (χαμηλή, μέση, υψηλή).

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα κατασκευαστικά σχέδια των μελών των δύο κατασκευών.

Στο κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη διαστασιολόγηση των δύο κατασκευών.

Στο κεφάλαιο 8 παρατίθεται παράρτημα με τα διαγράμματα των εντατικών μεγεθών και τους πίνακες της διαστασιολόγησης των δύο κατασκευών.

Υποσημείωση: Από εδώ και στο εξής, χάριν συντομίας

- ο Ευρωκώδικας 0 EN 1990:2002 θα αναφέρεται ως EK0
- ο Ευρωκώδικας 1, EN 1991-1-1:2002 θα αναφέρεται ως EK1
- ο Ευρωκώδικας 2, EN 1992: 2004 θα αναφέρεται ως EK2
- ο Ευρωκώδικας 8, EN 1998:2004 θα αναφέρεται ως EK8

## ABSTRACT

In this paper we deal with two identical 5-storey buildings of reinforced concrete. The difference between these two structures resides in the static system. More specifically, the first structure is a typical frame structure while the second one, mainly, consists of concrete walls.

The main part of this paper is the analytical design of both structures, for all three ductility classes (low, medium, high), based on the provisions of Eurocodes . The structural design of both structures is accomplished using the computer software SAP2000. The reinforcement design is done step by step using Excel. The objective of the analytical design is the deeper understanding and presentation of all the provisions of Eurocodes. Additionally, we create a useful device for anyone who wants to design a concrete structure in the future.

Moreover, the design of two identical structures for all three ductility classes, allows us to compare and extract useful conclusions on two levels. Firstly, we compare the results given of every ductility class for each structure. Secondly, we compare the results given of each structure for all three ductility classes. These findings are related to the economy in concrete and reinforcement steel, displacement and construction resistance. These three areas are particularly important and should be taken into consideration so as to choose the appropriate structural system and ductility class during the design of a structure.

This paper consists of eight chapters. Each chapter includes:

Chapter 1: Description of both structures and presentation of the assumptions of analysis and design.

Chapter 2: Presentation of the forces that strain both structures.

Chapter 3: Performance of simulation of static models to be used in structural design .

Chapter 4: Presentation of the methods of analysis for both structures.

Chapter 5: Reinforcement design of both structures for all three ductility classes ( low, medium, high ) .

Chapter 6: Presentation of the drawings of both structures.

Chapter 7: Presentation of the results of the comparison of both structures.

Chapter 8: Annexes with diagrams of internal forces and tables of the design of both structures.

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	3
1 Εισαγωγή.....	7
1.1 Περιγραφή του κτηρίου .....	7
1.2 Παραδοχές ανάλυσης-σχεδιασμού.....	9
1.3 Μελέτη κανονικότητας κτηρίων σε κάτοψη και όψη.....	10
1.3.1 Κανονικότητα σε κάτοψη .....	10
1.3.2 Κανονικότητα σε όψη .....	10
2 Δράσεις.....	11
2.1 Κατακόρυφες δράσεις.....	11
2.2 Σεισμική δράση .....	11
2.2.1 Οριζόντιο ελαστικό φάσμα απόκρισης .....	11
2.2.2 Συντελεστής συμπεριφοράς $q$ .....	12
2.2.3 Κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δράσης .....	13
2.3 Συνδυασμός δράσεων για τη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού .....	14
3 Προσομοίωση.....	15
3.1 Γενικά.....	15
3.2 Συνεργαζόμενο πλάτος δοκών .....	17
3.3 Προσομοίωση των κατακορύφων δράσεων.....	20
4 Ανάλυση.....	23
4.1 Μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης.....	23
4.1.1 Γενικά .....	23
4.1.2 Τέμνουσα δύναμη βάσης .....	25
4.1.3 Κατανομή των οριζοντίων σεισμικών φορτίων.....	28
4.1.4 Τυχηματικές στρεπτικές επιδράσεις.....	31
4.2 Ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης.....	36
4.3 Έλεγχος περιορισμού βλαβών .....	38
4.3.1 Γενικά .....	38
4.3.2 Έλεγχος περιορισμού βλαβών για το πλαίσιακό κτήριο .....	38
4.3.3 Έλεγχος περιορισμού βλαβών για το τοιχωματικό κτήριο .....	40
4.4 Επιρροές 2ας τάξεως .....	41
4.4.1 Γενικά .....	41
4.4.2 Έλεγχος επιρροών 2ας τάξεως για το πλαίσιακό κτήριο .....	42
4.4.3 Έλεγχος επιρροών 2ας τάξεως για το τοιχωματικό κτήριο .....	43
5 Διαστασιολόγηση .....	44
5.1 Γενικά.....	44
5.2 Επικαλύψεις.....	44
5.3 Διαστασιολόγηση για κατηγορία πλαστιμότητας χαμηλή (ΚΠΧ) .....	44
5.3.1 Διαστασιολόγηση δοκών .....	44
5.3.2 Διαστασιολόγηση υποστλωμάτων .....	59
5.3.3 Διαστασιολόγηση τοιχωμάτων .....	74
5.4 Διαστασιολόγηση για κατηγορία πλαστιμότητας μέση (ΚΠΜ).....	81

5.4.1	Γενικά .....	81
5.4.2	Γεωμετρικοί περιορισμοί και υλικά για την ΚΠΜ.....	81
5.4.3	Διαστασιολόγηση έναντι κάμψης σε ΟΚΑ .....	83
5.4.4	Διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης σε ΟΚΑ .....	124
5.4.5	Διαστασιολόγηση τοιχωμάτων .....	158
5.5	Διαστασιολόγηση για κατηγορία πλαστιμότητας υψηλή (ΚΠΥ) .....	172
5.5.1	Γενικά .....	172
5.5.2	Γεωμετρικοί περιορισμοί και υλικά για την ΚΠΥ .....	173
5.5.3	Διαστασιολόγηση έναντι κάμψης σε ΟΚΑ .....	174
5.5.4	Διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης σε ΟΚΑ .....	215
5.5.5	Διαστασιολόγηση τοιχωμάτων .....	250
5.5.6	Ελεγχος κόμβου δοκού-υποστυλώματος.....	265
6	Κατασκευαστικά σχέδια .....	271
7	Συμπεράσματα.....	294
7.1	Γενικά.....	294
7.2	Σύγκριση ποσοτήτων τοποθετούμενων οπλισμών για το πλαίσιο μεταξύ των τριών κατηγοριών πλαστιμότητας .....	294
7.2.1	Σύγκριση ποσοτήτων τοποθετούμενων οπλισμών πλαισιακού κτηρίου μεταξύ των τριών κατηγοριών πλαστιμότητας .....	294
7.2.2	Σύγκριση ποσοτήτων τοποθετούμενων οπλισμών τοιχωματικού κτηρίου μεταξύ των τριών κατηγοριών πλαστιμότητας .....	295
7.3	Σύγκριση των μετακινήσεων μεταξύ των δύο κτηρίων για κάθε κατηγορία πλαστιμότητας.....	296
7.3.1	Μετακινήσεις και στροφές πλαισιακού και τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΧ. 296	
7.3.2	Μετακινήσεις και στροφές πλαισιακού και τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΜ. 298	
7.3.3	Μετακινήσεις και στροφές πλαισιακού και τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΥ. 299	
7.3.4	Συμπεράσματα σύγκρισης μετακινήσεων μεταξύ των δύο κτηρίων. ....	300
7.4	Σύγκριση ποσοτήτων συνολικών τοποθετούμενων οπλισμών των δύο κτηρίων για τις τρεις κατηγορίες πλαστιμότητας. ....	301
8	Παράρτημα .....	302
8.1	Παράρτημα Α .....	303
8.2	Παράρτημα Β .....	369
9	Βιβλιογραφία .....	479

# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Περιγραφή των κτηρίων

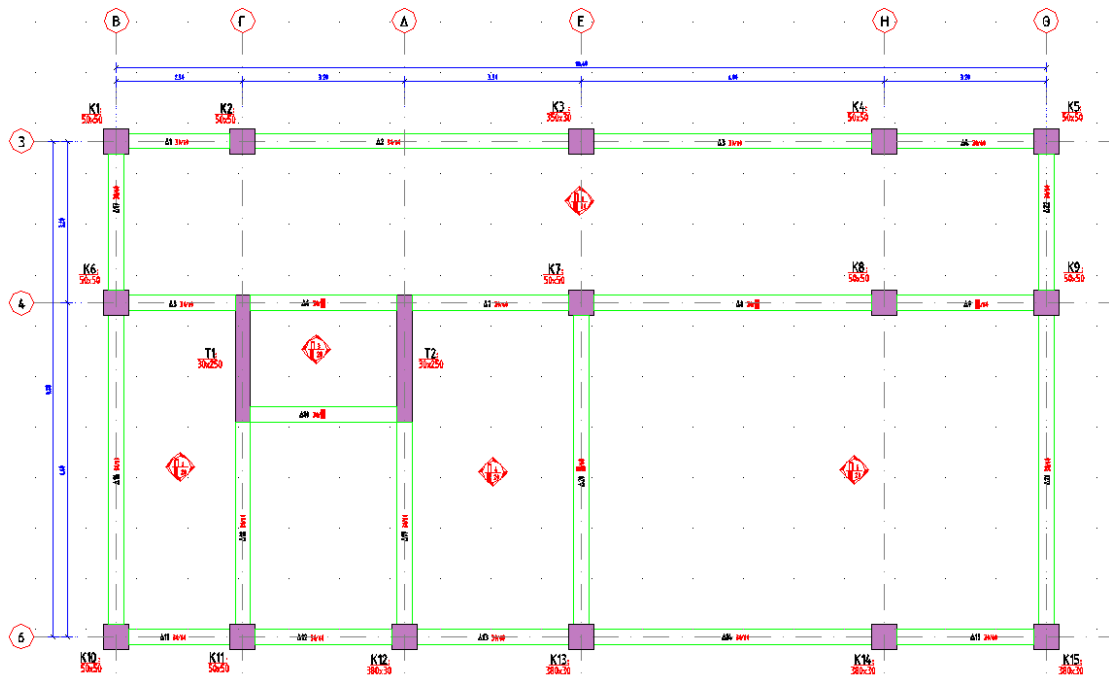
Τα κτήρια με τα οποία ασχολούμαστε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι δύο τυπικές πενταώροφες κατασκευές με φέροντα οργανισμό αποτελούμενο εξ' ολοκλήρου από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Το ένα είναι πλαίσιακό και το άλλο τοιχωματικό. Στο σχήμα 1.1 φαίνεται η κάτοψη της πλαίσιακής κατασκευής ενώ στο σχήμα 1.2 η κάτοψη της τοιχωματικής. Οι κατόψεις και των δύο κτηρίων είναι ορθογωνικές και αναπτύσσονται κατά δυο άξονες  $x$  και  $y$ . Ο άξονας  $x$  είναι παράλληλος στη μεγάλη πλευρά του κάθε κτηρίου, μήκους 18,40m, ενώ ο άξονας  $y$  παράλληλος στη μικρή πλευρά του κάθε κτηρίου μήκους 9,80m. Το ύψος κάθε ορόφου είναι ίσο με 3,5m. Η διαφραγματική λειτουργία της κατασκευής εξασφαλίζεται από την ύπαρξη των πλακών οι οποίες εδράζονται επί των δοκών. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι στην κάτοψη κάθε ορόφου προβλέπεται η παρουσία κενού, εξωτερικών διαστάσεων 209cm επί 410cm, για τη δημιουργία κλιμακοστασίου.

Στο πλαίσιακό κτήριο καθένας από τους πέντε ορόφους (σχήμα 1.1) αποτελείται από:

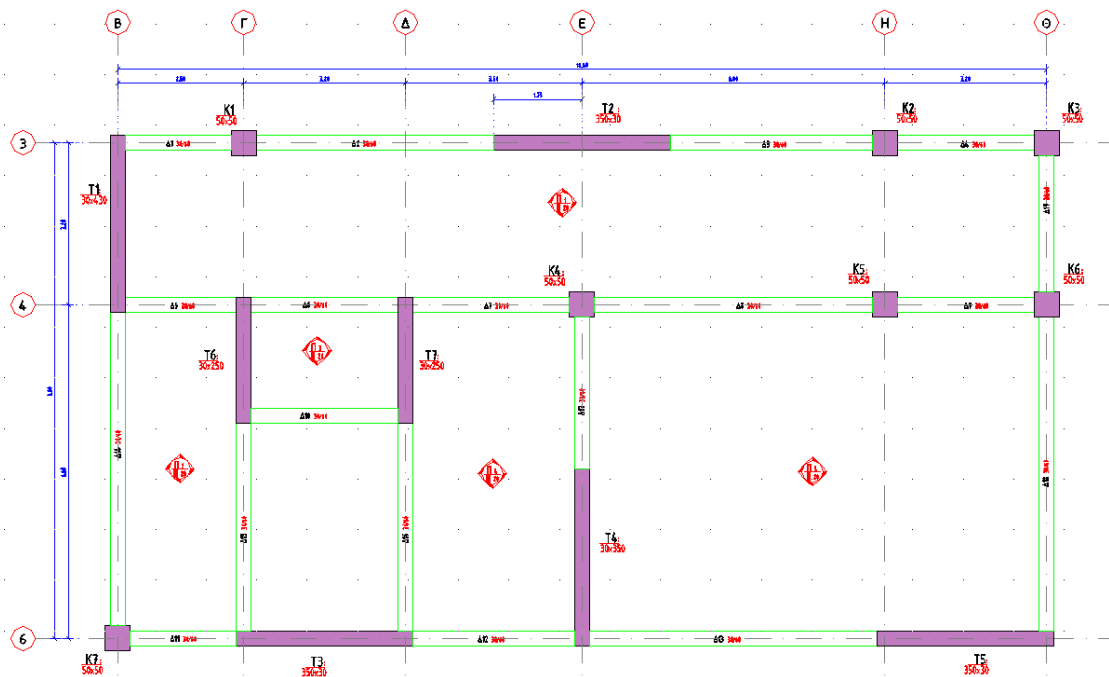
- πέντε πλάκες πάχους 20cm (Π1 έως Π5)
- είκοσι δύο δοκούς πλάτους 30cm και ύψους 60cm ( $\Delta 1$  έως  $\Delta 22$ )
- δεκαπέντε τετραγωνικά υποστυλώματα πλευράς 50cm (K1 έως K15)
- δυο τοιχώματα μήκους 250cm και πάχους 30cm (T1 και T2)

Στο τοιχωματικό κτήριο καθένας από τους πέντε ορόφους (σχήμα 1.2) αποτελείται από:

- πέντε πλάκες πάχους 20cm (Π1 έως Π5)
- δεκαεννέα δοκούς πλάτους 30cm και ύψους 60cm ( $\Delta 1$  έως  $\Delta 19$ )
- επτά τετραγωνικά υποστυλώματα πλευράς 50cm (K1 έως K7)
- πέντε τοιχώματα μήκους 350cm και πλάτους 30cm (T1 έως T5)
- δυο τοιχώματα μήκους 250cm και πάχους 30cm (T6 και T7)



Σχήμα 1.1 Ευλότυπος ορόφου πλαισιακού κτηρίου



Σχήμα 1.2 Ευλότυπος ορόφου τοιχωματικού κτηρίου



## 1.2 Παραδοχές ανάλυσης-σχεδιασμού

Για την ανάλυση και το σχεδιασμό του κτηρίου έχουν γίνει οι ακόλουθες παραδοχές:

– Τα χρησιμοποιούμενα υλικά είναι τα εξής:

Υλικό	Ποιότητα
Σκυρόδεμα	C25/30
Χάλυβας οπλισμού	B500c

– Για τα κατακόρυφα φορτία λαμβάνουμε υπόψη τα εξής:

Φορτίο	Τιμή
Ειδικό βάρος σκυροδέματος	$\gamma=25 \text{ kN}/m^3$
Πρόσθετα μόνιμα φορτία από τοιχοπληρώσεις σε κάθε περιμετρική δοκό του δώματος	$g_{w1}=5 \text{ kN}/m$
Πρόσθετα μόνιμα φορτία από τοιχοπληρώσεις σε κάθε δοκό ορόφου	$g_{w2}=10 \text{ kN}/m$
Πρόσθετα μόνιμα φορτία από επικαλύψεις	$g'=1,5 \text{ kN}/m^2$
Κινητά φορτία	$q= 2 \text{ kN}/m^2$

Η τιμή των παραπάνω κινητών φορτίων ορίζεται με βάση το εθνικό προσάρτημα του ΕΚ-1 (§6.3.1.2), και συγκεκριμένα με βάση τον πίνακα 6.2 για δάπεδα φορτιζομένων επιφανειών κατηγορίας Α ή Β.

– Για τη σεισμική φόρτιση λαμβάνουμε υπόψη τα εξής:

- Το κτίριο είναι κατηγορίας σπουδαιότητας ΙΙ (συνήθη κτίρια, που δεν ανήκουν στις άλλες κατηγορίες) άρα σύμφωνα με τον πίνακα 4.3 της §4.2.5 προκύπτει  $\gamma_1 = 1,00$ .
- Η κατασκευή βρίσκεται εντός της ζώνης σεισμικής επικινδυνότητας Ζ2 με μέγιστη εδαφική επιτάχυνση  $\alpha_{gR} = 0,24g$ , σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα του ΕΚ8 (§3.2.1) και συγκεκριμένα τον Πίνακα 1.
- Εδράζεται σε έδαφος κατηγορίας Β σύμφωνα με την §3.1.2 (Πίνακας 3.1).

– Περιβαλλοντολογικές συνθήκες που επικρατούν είναι: ΧC2 για υγρό και σπανίως ξηρό περιβάλλον, όπως ορίζεται στον ΕΚ-2 και συγκεκριμένα στην §4.2 (Πίνακας 4.1).

– Οι τοιχοπληρώσεις αμελούνται όσον αφορά τη σεισμική απόκριση

## 1.3 Μελέτη κανονικότητας κτηρίων σε κάτοψη και όψη

### 1.3.1 Κανονικότητα σε κάτοψη

Για να θεωρούνται τα δυο κτήρια κανονικά σε κάτοψη πρέπει να ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις της §4.2.3.2. Πιο συγκεκριμένα ισχύουν τα εξής:

- Τα δυο κτήρια είναι κατά προσέγγιση συμμετρικά όσον αφορά την αντοχή τους σε οριζόντια φορτία, την κατανομή της μάζας και τη μορφή της κάτοψης και κατά τους δυο άξονες αναφοράς (x και y) σύμφωνα με την §4.2.3.2(2).
- Η διαμόρφωση της κάτοψης είναι συμπαγής καθώς απουσιάζουν κάθε είδους ανωμαλίες στην περίμετρο (εισέχουσες γωνίες ή εσοχές) σύμφωνα με την §4.2.3.2(3).
- Η δυσκαμψία των διαφραγμάτων (πλακών) των ορόφων μέσα στο ίδιο τους το επίπεδο θεωρούμε ότι είναι πολύ μεγαλύτερη συγκριτικά με την οριζόντια δυσκαμψία των κατακόρυφων φερόντων στοιχείων, έτσι ώστε οι παραμορφώσεις των διαφραγμάτων να έχουν μικρή επίδραση στην κατανομή των δυνάμεων μεταξύ των φερόντων αυτών στοιχείων σύμφωνα με την §4.2.3.2(4).
- Η λυγηρότητα του κτιρίου σε κάτοψη ικανοποιεί τη συνθήκη της §4.2.3.2(5) αφού  $\lambda = L_{\max} / L_{\min} = 18,4 / 9,8 = 1,88 \leq 4$ .
- Τέλος, καθώς αναφερόμαστε σε πολυώροφο κτήριο, η στατική κανονικότητα σε κάτοψη, σύμφωνα με την §4.2.3.2(8), θα ελεγχθεί προσεγγιστικά. Συγκεκριμένα, επειδή τα πλαίσια του κτηρίου είναι συνεχή και χωρίς διακοπή από τα θεμέλια έως την κορυφή του κτηρίου και επειδή η μορφή των παραμορφώσεων των συστημάτων τοιχωμάτων δεν παρουσιάζει μεγάλες διαφορές καταλήγουμε στο γεγονός ότι η ικανοποιείται και η απαίτηση της §4.2.3.2(8).

Συνοψίζοντας, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τόσο το πλαισιακό όσο και το τοιχωματικό κτήριο είναι κανονικά σε κάτοψη.

### 1.3.2 Κανονικότητα σε όψη

Για να θεωρούνται τα δυο κτήρια κανονικά σε όψη πρέπει να ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις της §4.2.3.3. Συγκεκριμένα ισχύουν τα εξής:

- Τα συστήματα ανάληψης οριζοντίων φορτίων (πλαίσια και τοιχώματα) είναι συνεχή και χωρίς διακοπή από τη θεμελίωση ως την κορυφή της κατασκευής σύμφωνα με την §4.2.3.3(2).
- Η μεταφορική δυσκαμψία και μάζα των ορόφων είναι σταθερή από τη βάση ως την κορυφή του κτηρίου σύμφωνα με την §4.2.3.3(3).
- Όσον αφορά το πλαισιωτό σύστημα, ο λόγος της πραγματικής αντοχής ενός ορόφου προς την αντοχή που απαιτείται από την ανάλυση δε διαφέρει δυσανάλογα μεταξύ των ορόφων σύμφωνα με την §4.2.3.3(4).
- Τέλος, λόγω της απουσίας εσοχών καθ' ύψος των κτηρίων ικανοποιείται και η προϋπόθεση της §4.2.3.3(5).

Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα κτήριά μας είναι κανονικά και σε όψη.

## 2 Δράσεις

### 2.1 Κατακόρυφες δράσεις

Οι κατακόρυφες δράσεις περιλαμβάνουν τα μόνιμα φορτία  $G$  και τα κινητά φορτία  $Q$ . Μόνιμα φορτία θεωρούνται:

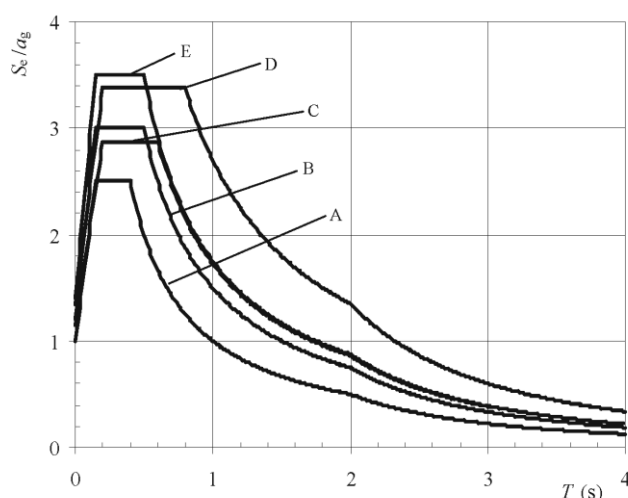
- το ίδιο βάρος της κατασκευής το οποίο υπολογίζεται από τις διαστάσεις των στοιχείων για ειδικό βάρος σκυροδέματος ίσο με  $25\text{KN}/\text{m}^3$  για κανονικό σκυρόδεμα και κανονική ποσότητα χάλυβα οπλισμού σύμφωνα με τον πίνακα Α.1 του παραρτήματος Α κατά τον ΕΚ-1.
- επιπλέον φορτίο  $1,5\text{KN}/\text{m}^2$  που αντιστοιχεί σε επικαλύψεις.
- το φορτίο τοιχοπληρώσεων που ορίζεται ως  $5\text{ kN/m}$  σε κάθε δοκό δώματος και  $10\text{ kN/m}$  σε κάθε δοκό ορόφου.

Όσον αφορά το κινητό φορτίο στα δάπεδα επιλέγεται η τιμή  $q_k = 2,0\text{ KN}/\text{m}^2$  σύμφωνα με τον Πίνακα 6.2 του εθνικού προσαρτήματος του ΕΚ-1 (§6.3.1.2) για κτήρια κατηγορίας Β (χώροι γραφείων).

### 2.2 Σεισμική δράση

#### 2.2.1 Οριζόντιο ελαστικό φάσμα απόκρισης

Σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα του ΕΚ-8 και συγκεκριμένα τις παραγράφους §3.2.2.2(1) και §3.2.2.2(2), σε όλες τις σεισμικές ζώνες στην Ελλάδα εφαρμόζεται οριζόντιο φάσμα ελαστικής απόκρισης Τύπου 1 (σχήμα 2.1), με τιμές των παραμέτρων που φαίνονται στον Πίνακα 3.2 της §3.2.2.2(2). Έτσι, για κατηγορία εδάφους Β, επιλέγονται οι τιμές  $S = 1,2\text{ sec}$ ,  $T_B = 0,15\text{ sec}$ ,  $T_C = 0,50\text{ sec}$ ,  $T_D = 2,5\text{ sec}$ . Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση αναφοράς είναι ίση με  $0,24g$  που αντιστοιχεί σε μέγιστη εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού  $a_g = \gamma_I \cdot a_{gR} = 1,00 \cdot 0,24g = 0,24g$  για κατηγορία σπουδαιότητας ΙΙ σύμφωνα με την §4.2.5(5) και το εθνικό προσάρτημα του ΕΚ-8.



Σχήμα 2.1 Συνιστώμενα φάσματα ελαστικής απόκρισης τύπου 1 για κατηγορίες εδάφους Α έως Ε (5% απόσβεση)

Σύμφωνα με τη §3.2.2.5(2) για να αποφευχθεί η εκτέλεση πλήρως ανελαστικής ανάλυσης στην μελέτη, η ικανότητα του φορέα για απόδοση ενέργειας, κυρίως μέσω της πλάστιμης συμπεριφοράς των στοιχείων του ή/και άλλων μηχανισμών, λαμβάνεται υπόψη με εκτέλεση ελαστικής ανάλυσης βασισμένης σε φάσμα απόκρισης μειωμένο σε σχέση με το ελαστικό, που ονομάζεται "φάσμα σχεδιασμού". Η μείωση αυτή επιτυγχάνεται με την εισαγωγή του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ .

## 2.2.2 Συντελεστής συμπεριφοράς $q$

### 2.2.2.1 Εισαγωγή

Ο υπολογισμός του συντελεστή  $q$  θα γίνει με βάση τον τύπο του στατικού συστήματος και την κατηγορία πλαστιμότητας για την οποία διαστασιολογούμε, σύμφωνα με την §5.2.2.2. Ο καθορισμός του τύπου στατικού συστήματος θα γίνει σύμφωνα με την §5.1.2(1). Πιο συγκεκριμένα, τα δομικά συστήματα ορίζονται με βάση το ποσοστό της συνολικής τέμνουσας δύναμης που παραλαμβάνουν τα τοιχώματα για τη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού,  $V_{base,wall} / V_{base,tot}$ .

### 2.2.2.2 Επιλογή συντελεστή συμπεριφοράς $q$ για το πλαίσιακό κτήριο

Στο πλαίσιακό κτήριο, και κατά τις δυο διευθύνσεις ( $x$  και  $y$ ), από αναλύσεις που έγιναν στο λογισμικό SAP2000 (βλέπε παρακάτω), υπολογίστηκε ότι τόσο τα κατακόρυφα όσο και τα οριζόντια φορτία αναλαμβάνονται κυρίως από χωρικά πλαίσια των οποίων η διατμητική αντοχή στην βάση του κτιρίου υπερβαίνει το 65% της συνολικής διατμητικής αντοχής του όλου στατικού συστήματος. Επομένως καταλήγουμε στο γεγονός ότι το πλαίσιακό κτήριο αντιστοιχεί σε «πλαισιωτό σύστημα» τόσο κατά τη διεύθυνση  $x$  όσο και κατά τη διεύθυνση  $y$ .

Σύμφωνα με την §5.2.2.2(1), η ανώτατη τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ , που εισάγεται στην 3.2.2.5(3) για να εκφράσει την ικανότητα απόδοσης ενέργειας, θα υπολογίζεται για κάθε διεύθυνση σχεδιασμού ως εξής:  $q = q_0 k_w \geq 1,5$ , όπου το  $k_w$  είναι συντελεστής που εκφράζει την επικρατούσα μορφή αστοχίας σε στατικά συστήματα με τοιχώματα. Ωστόσο, επειδή το κτήριο μας αντιστοιχεί σε πλαισιωτό σύστημα ο συντελεστής  $k_w$  είναι ίσος με 1,00 (§5.2.2.2(11)).

Επομένως, σύμφωνα με την §5.2.2.2(2) και τον πίνακα 5.1, για κανονικό κτήριο σε όψη η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς και κατά τις δυο διευθύνσεις είναι ίση με:

- Για ΚΠΜ:  $q_0 = 3,0 \cdot a_u / a_1 = 3,0 \cdot 1,3 = 3,90$  ( $a_u / a_1 = 1,3$  για πολυώροφα πολύστυλα πλαίσια σε πλαισιωτό σύστημα σύμφωνα με την §5.2.2.2(5))
- Για ΚΠΥ:  $q_0 = 4,5 \cdot a_u / a_1 = 4,5 \cdot 1,3 = 5,85$  ( $a_u / a_1 = 1,3$  για πολυώροφα πολύστυλα πλαίσια σε πλαισιωτό σύστημα σύμφωνα με την §5.2.2.2(5))
- Τέλος για την ΚΠΧ επιλέγεται η ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  (§5.2.2.2(1)) η οποία είναι ίση με 1,5, άρα  $q_0 = 1,5$ .

Τελικώς λοιπόν οι συντελεστές συμπεριφοράς για κάθε διεύθυνση είναι ίσοι με:

- Για ΚΠΧ:  $q_x = q_y = 1,5$
- Για ΚΠΜ:  $q_x = q_y = 3,9 \cdot 1,00 = 3,9$
- Για ΚΜΥ:  $q_x = q_y = 5,85 \cdot 1,00 = 5,85$

### 2.2.2.3 Επιλογή συντελεστή συμπεριφοράς $q$ για το τοιχωματικό κτήριο

Όσον αφορά το τοιχωματικό κτήριο, από αναλύσεις που έγιναν στο λογισμικό SAP2000 (όπως ορίζεται παρακάτω) πρόεκυψε πως κατά τον άξονα X τα τοιχώματα αναλαμβάνουν αθροιστικά το 92% της οριζόντιας καταπόνησης ενώ κατά τον άξονα Y το 83,8%. Συνεπώς και κατά τις δυο διευθύνσεις το στατικό σύστημα του φορέα είναι «σύστημα τοιχωμάτων».

Σύμφωνα με την §5.2.2.2(1), η ανώτατη τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ , που εισάγεται στην 3.2.2.5(3) για να εκφράσει την ικανότητα απόδοσης ενέργειας, θα υπολογίζεται για κάθε διεύθυνση σχεδιασμού ως εξής:  $q = q_0 k_w \geq 1,5$ .

Επομένως, σύμφωνα με την §5.2.2.2(2) και τον πίνακα 5.1, για κανονικό κτήριο σε όψη η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς και κατά τις δυο διευθύνσεις είναι ίση με:

- Για ΚΠΜ:  $q_0 = 3,0$
- Για ΚΠΥ:  $q_0 = 4,0 \cdot a_u / a_1 = 4,0 \cdot 1,1 = 4,40$  ( $a_u / a_1 = 1,2$  για σύστημα συζευγμένων τοιχωμάτων σύμφωνα με την §5.2.2.2(5))
- Για ΚΠΧ επιλέγεται η ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  (§5.2.2.2(1)) η οποία είναι ίση με 1,5, άρα  $q_0 = 1,5$ .

Το  $k_w$  εκφράζει την επικρατούσα μορφή αστοχίας σε στατικά συστήματα με τοιχώματα και δίνεται από  $0,5 \leq k_w = (1 + \alpha_0) / 3 \leq 1$  και  $\alpha_0$  είναι η κυριαρχούσα τιμή του λόγου όψεως των τοιχωμάτων σύμφωνα με την §5.2.2.2(11).

$$\text{Άρα } \alpha_0 = \frac{7 \cdot 3,5}{5 \cdot 3,5 + 2 \cdot 2,5} = \frac{24,5}{22,5} = 1,09 \text{ και } k_w = \frac{1 + 1,09}{3} = 0,696.$$

Τελικώς λοιπόν οι συντελεστές συμπεριφοράς για κάθε διεύθυνση είναι ίσοι με:

- Για ΚΠΧ:  $q_x = q_y = 1,5$
- Για ΚΠΜ:  $q_x = q_y = 3,0 \cdot 0,696 = 2,09$
- Για ΚΜΥ:  $q_x = q_y = 4,4 \cdot 0,696 = 3,06$

### 2.2.3 Κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δράσης

Σύμφωνα με την §4.3.3.5.2(1), εάν η εδαφική επιτάχυνση  $a_{vg}$  είναι μεγαλύτερη από 0,25g ( $2,5m/s^2$ ) η κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δράσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό. Στην περίπτωσή μας ωστόσο, σύμφωνα και με τις παραδοχές της

ενότητας 1.2, η εδαφική επιτάχυνση είναι ίση με  $0,24g$  επομένως η κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δράσης μπορεί να αγνοηθεί.

### 2.3 Συνδυασμός δράσεων για τη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού

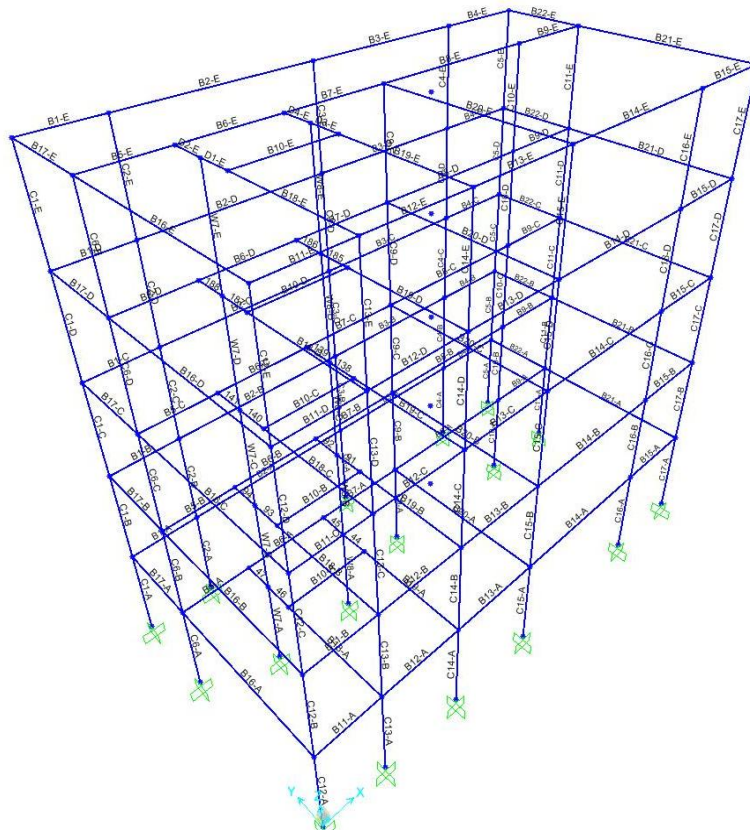
Σύμφωνα με τον ΕΚ-1 και την §6.4.3.4(2) η γενική μορφή της σχέσης των αποτελεσμάτων των δράσεων σχεδιασμού είναι η εξής:  $\sum G_{k,j} + "P" + "A_{ED}" + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$ , όπου το  $G$  περιλαμβάνει το ίδιο βάρος της κατασκευής και τα λοιπά μόνιμα φορτία, το  $P$  περιλαμβάνει την αντιπροσωπευτική δράση μιας δύναμης προέκτασης, το  $A_{Ed}$  τη σεισμική δράση σχεδιασμού, ενώ το  $Q$  περιλαμβάνει τις μεταβλητές δράσεις. Τέλος ο συντελεστής  $\psi_{2,i}$  είναι ο συντελεστής για οιονεί – μόνιμη τιμή μιας μεταβλητής δράσης και στην περίπτωση μας, σύμφωνα με τον πίνακα Α.1.1 του εθνικού προσαρτήματος, λαμβάνει τιμή ίση με 0,3.

## 3 Προσομοίωση

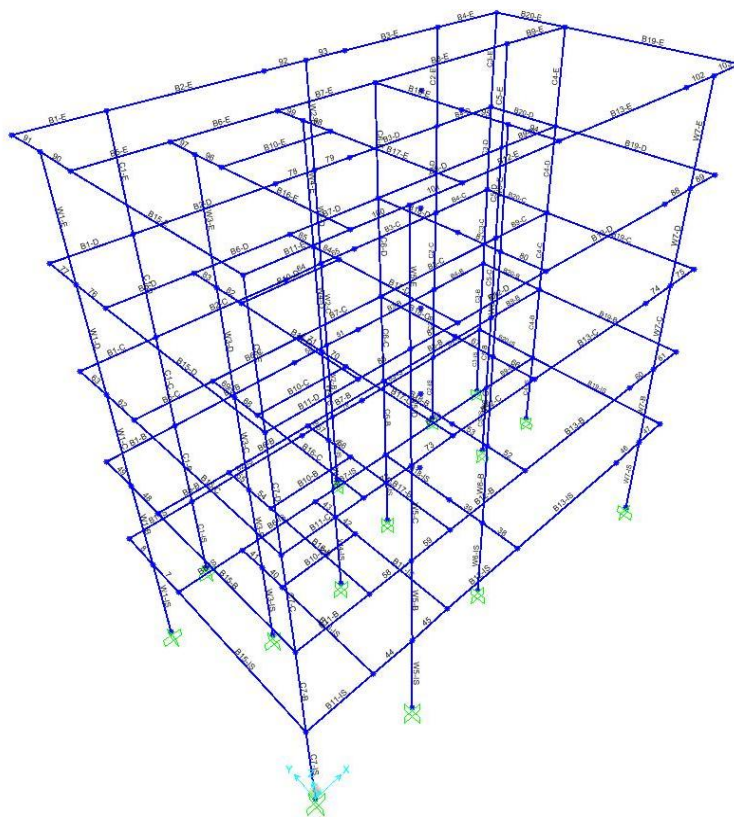
### 3.1 Γενικά

Σύμφωνα με την §4.2.3.1(3) και τον πίνακα 4.1, επειδή ο φορέας είναι κανονικός σε κάτοψη και όψη, επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση ένα απλοποιημένο επίπεδο προσομοίωμα. Ωστόσο, η ανάλυση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας ένα τρισδιάστατο προσομοίωμα για κάθε κτήριο στο λογισμικό SAP2000 (σχήματα 3.1 και 3.2 αντίστοιχα). Το προσομοίωμα κατασκευάστηκε σύμφωνα με τις απαιτήσεις της §4.3.1 του Ευρωκώδικα και συγκεκριμένα:

- ο φορέας μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από ένα σύνολο συστημάτων ανάληψης κατακόρυφων και οριζόντιων φορτίων (πλαίσια, τοιχώματα) που συνδέονται με οριζόντια διαφράγματα (§4.3.1(3)).
- Όλα τα φέροντα μέλη προσομοιώθηκαν ως γραμμικά στοιχεία.
- Η ελαστική καμπτική (EI) και διατμητική δυσκαμψία ( $GA_s$ ) των στοιχείων θεωρήθηκε ίση με το μισό της αντίστοιχης δυσκαμψίας του αρηγμάτωτου στοιχείου (§4.3.1(7)).
- Τα τμήματα των δοκών εντός των κόμβων θεωρήθηκαν άκαμπτα, προκειμένου να ληφθεί υπ' όψη η συμβολή των κόμβων στην παραμορφωσιμότητα του κτιρίου. Δεν συνέβη το ίδιο για τα υποστυλώματα, ώστε να μην υπερεκτιμηθεί η συνολική δυσκαμψία (§4.3.1(2)).
- Τα δάπεδα θεωρήθηκαν ότι δρουν σαν άκαμπτα διαφράγματα και επομένως οι μάζες και οι ροπές αδράνειάς τους συγκεντρώθηκαν στο κέντρο βάρους τους (§4.3.1(4)).
- Οι μάζες υπολογίστηκαν με βάση τα κατακόρυφα φορτία που αντιστοιχούν στο συνδυασμό δράσεων  $\Sigma G_{k,j} + \Sigma \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i}$  (§4.3.1(10)).
- Υπολογίζεται διαφορετικό συνεργαζόμενο πλάτος για κάθε δοκό, σύμφωνα με την επόμενη παράγραφο (ενότητα 3.2 της παρούσης).
- Τα τοιχώματα προσομοιώθηκαν ως γραμμικά στοιχεία. Για να καταστεί δυνατή η σωστή απόδοση των διαστάσεων και της δυσκαμψίας τους χρησιμοποιήθηκαν “ψευδοστοιχεία”, τα οποία ορίστηκαν πρακτικά άκαμπτα, για τη σύνδεση των δοκών με το γραμμικό, στο στατικό μοντέλο, τοιχίο.
- Ασχολούμαστε μόνο με την ανωδομή η οποία θεωρείται ότι πακτώνεται στο έδαφος.



Σχήμα 3.1 Χωρικό προσομοίωμα πλαισιακού κτηρίου



Σχήμα 3.2 Χωρικό προσομοίωμα τοιχωματικού κτηρίου



### 3.2 Συνεργαζόμενο πλάτος δοκών

Σύμφωνα με την §5.3.2.1(1) του ΕΚ2, Σε δοκούς μορφής T ή L το συνεργαζόμενο πλάτος, εντός του οποίου οι συνθήκες έντασης μπορούν να θεωρηθούν ομοιόμορφες, εξαρτάται από τις διαστάσεις του κορμού και του πέλματος, τον τύπο της φόρτισης, το άνοιγμα, τις συνθήκες στήριξης και τον εγκάρσιο οπλισμό. Το συνεργαζόμενο πλάτος  $b_{eff}$  πλακοδοκού T ή ακραίας πλακοδοκού L μπορεί να λαμβάνεται από την παρακάτω σχέση:

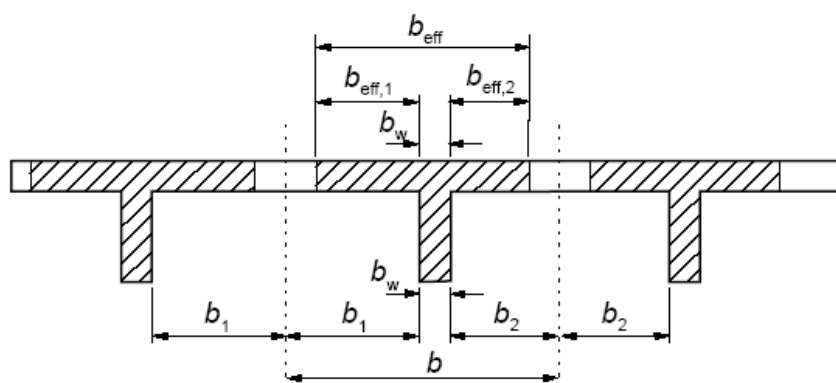
$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b$$

$$\text{όπου } b_{eff} = 0.2b_i + 0.1l_0 \leq 0.2l_0$$

και  $b_{eff,i} \leq b_i$  (σύμφωνα με την §5.3.2.1(3)).

Το παραπάνω άθροισμα ( $\sum b_{eff,i}$ ) περιλαμβάνει και τις δυο πλευρές της δοκού,  $b_w$  είναι το πλάτος της δοκού,  $b_i$  είναι το μισό της απόστασης μεταξύ γειτονικών δοκών,  $l_0 = 0.7l$  (για εσωτερικές δοκούς) και  $l_0 = 0.85l$  (για εξωτερικές δοκούς) για το άνοιγμα και  $l$  είναι το μήκος της δοκού σύμφωνα με την §5.3.2.1(2). Αξίζει να σημειωθεί ότι για την περίπτωση που στην στατική ανάλυση δεν απαιτείται ιδιαίτερη ακρίβεια, μπορεί να υποτεθεί ένα σταθερό συνεργαζόμενο πλάτος για όλο το άνοιγμα σύμφωνα με την §5.3.2.1(4). Στην περίπτωση αυτή πρέπει να υιοθετείται η τιμή που ισχύει για το άνοιγμα όπως υπολογίστηκε παραπάνω.

Παρακάτω δίνεται σχηματική απεικόνιση του συνεργαζόμενου πλάτους των πλακοδοκών (σχήμα 3.3), όπως υπολογίζεται παραπάνω, ενώ οι πίνακες με τον αναλυτικό υπολογισμό του συνεργαζόμενου πλάτους των δοκών τόσο του πλαισιακού όσο και του τοιχωματικού κτηρίου παρουσιάζονται στο Παράρτημα (πίνακες Π.3.1 και Π.3.2 αντίστοιχα).



Σχήμα 3.3 Παράμετροι συνεργαζόμενου πλάτους πλακοδοκού

	Πλάτος 1	Πλάτος 2	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	Μήκος (m)	Συντελεστής	L <sub>0</sub>	b <sub>eff1</sub>	b <sub>eff2</sub>	0,2*L <sub>0</sub>	b <sub>eff1</sub> τελικό	b <sub>eff2</sub> τελικό	b <sub>w</sub>	b <sub>eff</sub>
<b>B1</b>	2,90	0,00	1,45	0,00	2,50	0,85	2,13	0,50	0,00	0,43	0,43	0,00	0,30	0,73
<b>B2</b>	2,90	0,00	1,45	0,00	6,70	0,70	4,69	0,76	0,00	0,94	0,76	0,00	0,30	1,06
<b>B3</b>	2,90	0,00	1,45	0,00	6,00	0,70	4,20	0,71	0,00	0,84	0,71	0,00	0,30	1,01
<b>B4</b>	2,90	0,00	1,45	0,00	3,20	0,85	2,72	0,56	0,00	0,54	0,54	0,00	0,30	0,84
<b>B5</b>	2,90	6,30	1,45	3,15	2,50	0,85	2,13	0,50	0,84	0,43	0,43	0,43	0,30	1,15
<b>B6</b>	2,90	1,90	1,45	0,95	3,20	0,70	2,24	0,51	0,41	0,45	0,45	0,41	0,30	1,16
<b>B7</b>	2,90	6,30	1,45	3,15	3,50	0,70	2,45	0,54	0,88	0,49	0,49	0,49	0,30	1,28
<b>B8</b>	2,90	6,30	1,45	3,15	6,00	0,70	4,20	0,71	1,05	0,84	0,71	0,84	0,30	1,85
<b>B9</b>	2,90	6,30	1,45	3,15	3,20	0,85	2,72	0,56	0,90	0,54	0,54	0,54	0,30	1,39
<b>B10</b>	1,90	0,00	0,95	0,00	3,20	1,00	3,20	0,51	0,00	0,64	0,51	0,00	0,30	0,81
<b>B11</b>	6,30	0,00	3,15	0,00	2,50	0,85	2,13	0,84	0,00	0,43	0,43	0,00	0,30	0,73
<b>B12</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	3,20	0,70	2,24	0,22	0,00	0,45	0,22	0,00	0,30	0,52
<b>B13</b>	6,30	0,00	3,15	0,00	3,50	0,70	2,45	0,88	0,00	0,49	0,49	0,00	0,30	0,79
<b>B14</b>	6,30	0,00	3,15	0,00	6,00	0,70	4,20	1,05	0,00	0,84	0,84	0,00	0,30	1,14
<b>B15</b>	6,30	0,00	3,15	0,00	3,20	0,85	2,72	0,90	0,00	0,54	0,54	0,00	0,30	0,84
<b>B16</b>	2,20	0,00	1,10	0,00	6,60	0,85	5,61	0,78	0,00	1,12	0,78	0,00	0,30	1,08
<b>B17</b>	18,10	0,00	9,05	0,00	3,20	0,85	2,72	2,08	0,00	0,54	0,54	0,00	0,30	0,84
<b>B18</b>	2,20	0,00	1,10	0,00	4,40	0,85	3,74	0,59	0,00	0,75	0,59	0,00	0,30	0,89
<b>B19</b>	3,20	0,00	1,60	0,00	4,40	0,85	3,74	0,69	0,00	0,75	0,69	0,00	0,30	0,99
<b>B20</b>	3,20	8,90	1,60	4,45	6,60	0,85	5,61	0,88	1,45	1,12	0,88	1,12	0,30	2,30
<b>B21</b>	8,90	0,00	4,45	0,00	6,60	0,85	5,61	1,45	0,00	1,12	1,12	0,00	0,30	1,42
<b>B22</b>	18,10	0,00	9,05	0,00	3,20	0,85	2,72	2,08	0,00	0,54	0,54	0,00	0,30	0,84

Πίνακας 3.1 Αναλυτικός υπολογισμός συνεργαζόμενου πλάτους δοκών πλαισιακού κτηρίου.

	bw	πλατος πλακας 1	πλατος πλακας 2	b1	b2	συντ.μηδ. Ροπων	μηκος δοκου	lo	beff1	beff2	0,2*lo	beff1τελ	beff2τελ	beff
Δ1	0,30	2,90		1,45		0,85	2,50	2,13	0,50	0,00	0,43	0,43		0,73
Δ2	0,30	2,90		1,45		0,70	5,10	3,57	0,65	0,00	0,71	0,65		0,95
Δ3	0,30	2,90		1,45		0,70	4,40	3,08	0,60	0,00	0,62	0,60		0,90
Δ4	0,30	2,90		1,45		0,85	3,20	2,72	0,56	0,00	0,54	0,54		0,84
Δ5	0,30	2,90	6,30	1,45	3,15	0,85	2,50	2,13	0,50	0,84	0,43	0,43	0,43	1,15
Δ6	0,30	2,90	1,90	1,45	0,95	0,70	3,20	2,24	0,51	0,41	0,45	0,45	0,41	1,16
Δ7	0,30	2,90	6,30	1,45	3,15	0,70	3,50	2,45	0,54	0,88	0,49	0,49	0,49	1,28
Δ8	0,30	2,90	6,30	1,45	3,15	0,70	6,00	4,20	0,71	1,05	0,84	0,71	0,84	1,85
Δ9	0,30	2,90	6,30	1,45	3,15	0,85	3,20	2,72	0,56	0,90	0,54	0,54	0,54	1,39
Δ10	0,30	1,90		0,95		1,00	3,20	3,20	0,51	0,00	0,64	0,51		0,81
Δ11	0,30	6,30		3,15		0,85	2,50	2,13	0,84	0,00	0,43	0,43		0,73
Δ12	0,30	6,30		3,15		0,70	3,50	2,45	0,88	0,00	0,49	0,49		0,79
Δ13	0,30	6,30		3,15		0,70	6,00	4,20	1,05	0,00	0,84	0,84		1,14
Δ14	0,30	2,20		1,10		0,85	6,60	5,61	0,78	0,00	1,12	0,78		1,08
Δ15	0,30	2,20		1,10		0,85	4,40	3,74	0,59	0,00	0,75	0,59		0,89
Δ16	0,30	3,20		1,60		0,85	4,40	3,74	0,69	0,00	0,75	0,69		0,99
Δ17	0,30	3,20	8,90	1,60	4,45	0,85	3,40	2,89	0,61	1,18	0,58	0,58	0,58	1,46
Δ18	0,30	8,90		4,45		0,85	6,60	5,61	1,45	0,00	1,12	1,12		1,42
Δ19	0,30	18,10		9,05		0,85	3,20	2,72	2,08	0,00	0,54	0,54		0,84

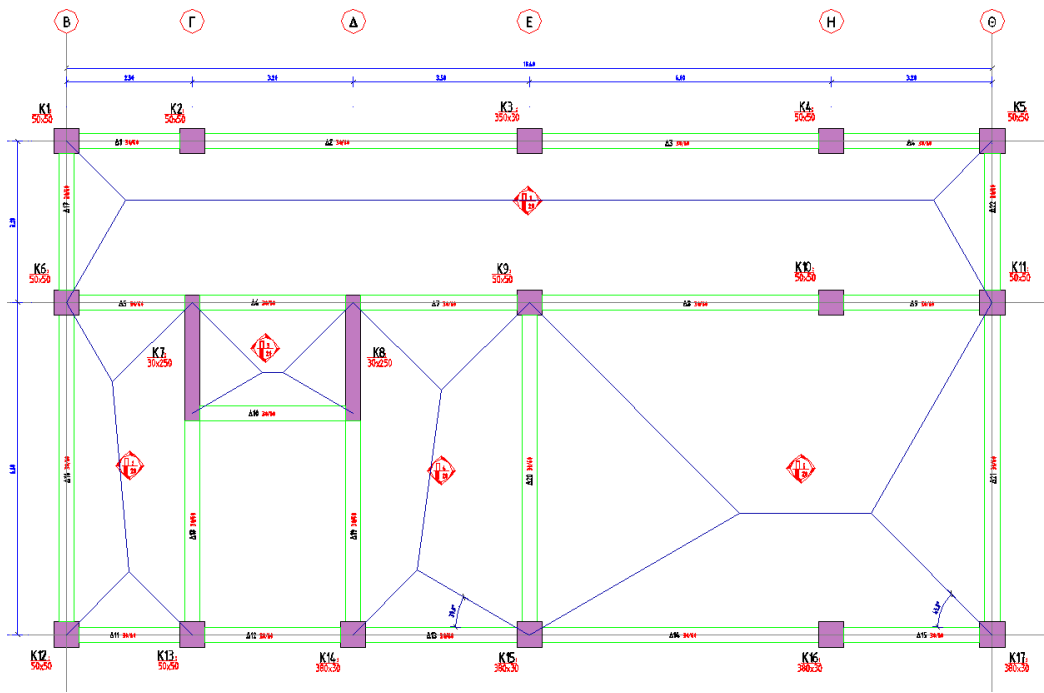
Πίνακας 3.2 Αναλυτικός υπολογισμός συνεργαζόμενου πλάτους δοκών τοιχωματικού κτηρίου.

### 3.3 Προσομοίωση των κατακορύφων δράσεων

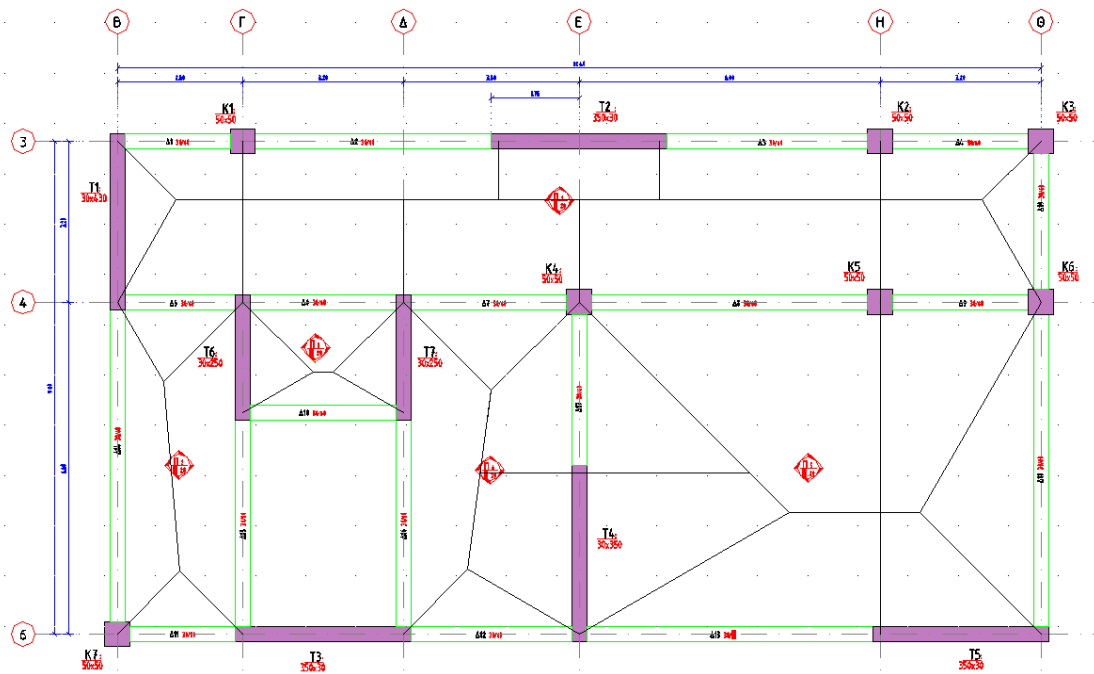
Τα ίδια βάρη των πλακών καθώς και οι πρόσθετες δράσεις λόγω επικαλύψεων και κινητών φορτίων θεωρούνται ομοιόμορφα κατανομημένα επιφανειακά φορτία στα δάπεδα του κτιρίου. Τα φορτία αυτά θεωρούμε ότι κατανέμονται στις στηρίξεις των δαπέδων (δοκοί και τοιχώματα) με βάση τις επιφάνειες επιρροής των πλακών (σχήματα 3.4 και 3.5 για το πλαίσιακό και το τοιχωματικό κτήριο αντίστοιχα). Οι επιφάνειες επιρροής πρόεκυψαν προσεγγιστικά σύμφωνα με τον γεωμετρικό κανόνα μερισμού των επιφανειών της πλάκας ο οποίος προσεγγίζει τις γραμμές της τυπικής εικόνας ρηγμάτωσης της κάτω επιφάνειας της πλάκας. Σύμφωνα με τον κανόνα αυτό:

- αν σε μια γωνία συντρέχουν πλευρές ομοειδούς στήριξης (πάκτωση-πάκτωση ή έδραση-έδραση) η γωνία μερισμού είναι  $45^\circ$ .
- αν συντρέχουν μια πακτωμένη πλευρά και μια απλά εδραζόμενη, η γωνία είναι  $60^\circ$  και  $30^\circ$  αντίστοιχα.

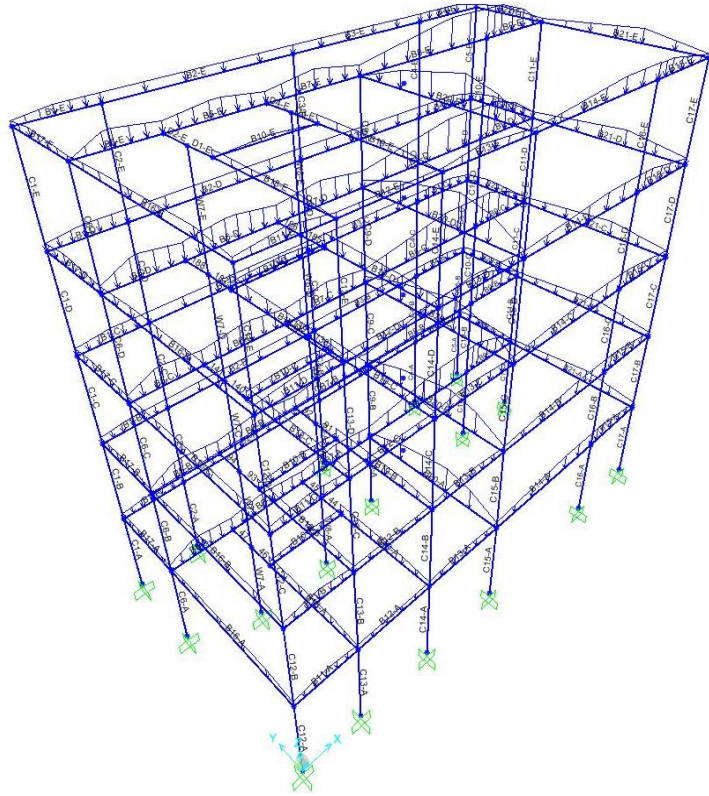
Με την παραπάνω θεώρηση η φόρτιση των δοκών γίνεται με τραπεζοειδή και τριγωνικά κατανομημένα φορτία, ενώ τα τοιχώματα φορτίζονται με συγκεντρωμένα αξονικά φορτία. Τα φορτία που παραλαμβάνουν οι δοκοί και τα τοιχώματα των δύο κτηρίων υπολογίστηκαν λεπτομερώς και παρουσιάζονται παρακάτω (σχήματα 3.6 και 3.7 αντίστοιχα). Τέλος τα ίδια βάρη των δοκών, των υποστλωμάτων και των τοιχίων υπολογίστηκαν αυτόματα από το λογισμικό για την ανάλυση και συμπεριλήφθησαν στις μόνιμες δράσεις.



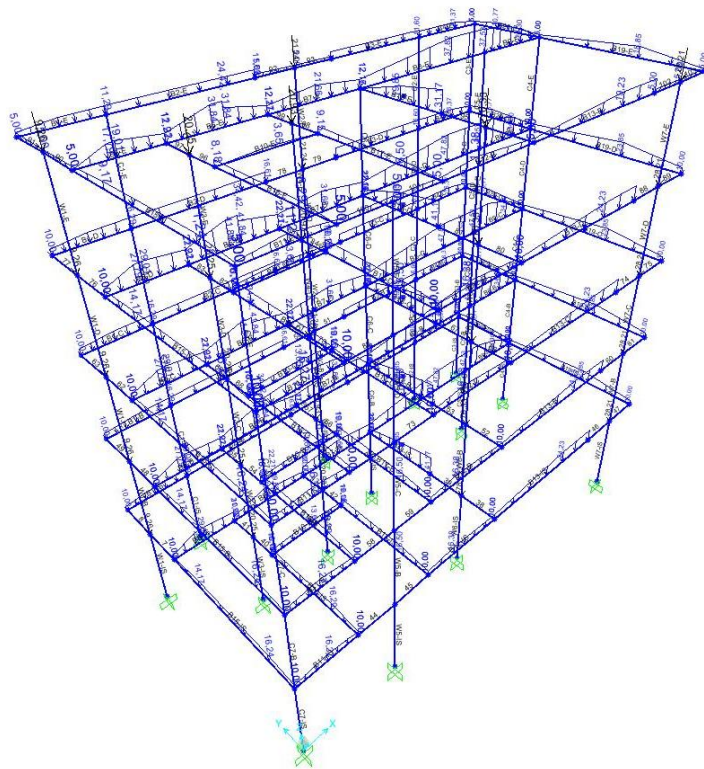
Σχήμα 3.4 Επιφάνειες επιρροής πλακών πλαισιακού κτηρίου.



Σχήμα 3.5 Επιφάνειες επιρροής πλακών τοιχωματικού κτηρίου.



Σχήμα 3.6 Φορτία δοκών πλαισιακού κτηρίου



Σχήμα 3.7 Φορτία δοκών τοιχωματικού κτηρίου

## 4 Ανάλυση

### 4.1 Μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης

#### 4.1.1 Γενικά

Σύμφωνα με την §4.3.3.2.1(2) η μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης μπορεί να εφαρμοστεί σε κτήρια που ικανοποιούν τους ακόλουθους δυο όρους:

- έχουν θεμελιώδεις περιόδους ταλάντωσης  $T_1$ , στις δύο κύριες διευθύνσεις, μικρότερες από τις ακόλουθες τιμές:  $T_1 \leq 4 \cdot T_C$  και  $T_1 \leq 2,0 \text{ sec}$ .
- ικανοποιούν τα κριτήρια για κανονικότητα σε όψη που δίνονται στην 4.2.3.3.

#### 4.1.1.1 Έλεγχος δυνατότητας εφαρμογής της μεθόδου στο πλαίσιακό κτήριο

Το κτήριο έχει ύψος  $H=17,5\text{m} \leq 40\text{m}$  άρα σύμφωνα με την §4.3.3.2.2(3):

- $T_1 = C_t \cdot H^{3/4} = 0,075 \cdot 17,5^{3/4} = 0,642 \text{ sec}$  κατά τους άξονες x και y (για πλαίσια από σκυρόδεμα η τιμή του  $C_t$  λαμβάνεται ίση με 0,075).

Σύμφωνα όμως με την §4.3.3.2.2(2) για μεγαλύτερη ακρίβεια θα γίνει χρήση των τιμών των ιδιοπεριόδων που προκύπτουν με βάση δυναμικές αναλύσεις που έγιναν μέσω του λογισμικού (SAP2000). Συγκεκριμένα, από τις αναλύσεις αυτές προέκυψαν οι παρακάτω τιμές των ιδιοπεριόδων:

- $T_{1x} = 1,029 \text{ sec}$  και
- $T_{1y} = 1,294 \text{ sec}$

Επομένως, για την πλαίσιακή κατασκευή ισχύει:

Κατά τον άξονα x:

- $T_{1x} = 1,02 \text{ sec} \leq 4 \cdot T_C = 4 \cdot 0,5 = 2 \text{ sec}$
- $T_{1x} = 1,02 \text{ sec} \leq 2,0 \text{ sec}$
- Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην ενότητα 1.3.2, το κτήριο είναι κανονικό σε όψη.

Κατά τον άξονα y:

- $T_{1y} = 1,294 \text{ sec} \leq 4 \cdot T_C = 4 \cdot 0,5 = 2 \text{ sec}$
- $T_{1y} = 1,294 \text{ sec} \leq 2,0 \text{ sec}$
- Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην ενότητα 1.3.2, το κτήριο είναι κανονικό σε όψη.

Επομένως ικανοποιούνται οι παραπάνω προϋποθέσεις (ενότητα 4.1.1) και μπορεί έτσι να εφαρμοστεί η μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης.

#### 4.1.1.2 Έλεγχος δυνατότητας εφαρμογής της μεθόδου στο τοιχωματικό κτήριο

Το κτήριο έχει ύψος  $H=17,5m \leq 40m$  άρα σύμφωνα με την §4.3.3.2.2(3):  $T_1 = C_t \cdot H^{3/4}$

Για φορείς με τοιχώματα από σκυρόδεμα η τιμή του  $C_t$  λαμβάνεται από §4.3.3.2.2(4) ως:

$$C_t = 0,075 / \sqrt{A_c} \quad \text{με} \quad A_c = \Sigma [A_i \cdot (0,2 + (l_{wi} / H))^2]$$

– Κατά τη διεύθυνση X:

$$A_{c,x} = \Sigma [A_i \cdot (0,2 + (l_{wi} / H))^2] = 3 \cdot 3,5 \cdot 0,3 \cdot \left(0,2 + \frac{3,5}{17,5}\right)^2 = 0,504m^2$$

$$C_{t,x} = 0,075 / \sqrt{A_{c,x}} = \frac{0,075}{\sqrt{0,504}} = 0,1056$$

$$T_{1,x} = C_{t,x} \cdot H^{3/4} = 0,1056 \cdot 17,5^{3/4} = 0,904 \text{ sec}$$

– Κατά τη διεύθυνση Y:

$$A_{c,y} = \Sigma [A_i \cdot (0,2 + (l_{wi} / H))^2] = 2 \cdot 3,5 \cdot 0,3 \cdot \left(0,2 + \frac{3,5}{17,5}\right)^2 + 2 \cdot 2,5 \cdot 0,3 \cdot \left(0,2 + \frac{2,5}{17,5}\right)^2 = 0,512m^2$$

$$C_{t,y} = 0,075 / \sqrt{A_{c,y}} = \frac{0,075}{\sqrt{0,512}} = 0,1048$$

$$T_{1,y} = C_{t,y} \cdot H^{3/4} = 0,1048 \cdot 17,5^{3/4} = 0,897 \text{ sec}$$

Για μεγαλύτερη ακρίβεια ωστόσο, σύμφωνα με την §4.3.3.2.2(2), προχωρήσαμε σε ιδιομορφικές αναλύσεις στο λογισμικό SAP2000 για τον υπολογισμό των ιδιοπεριόδων του κτηρίου. Συγκεκριμένα, από τις αναλύσεις αυτές προέκυψαν οι παρακάτω τιμές:

–  $T_{1x} = 0,655 \text{ sec}$

–  $T_{1y} = 0,540 \text{ sec}$

Παρατηρείται λοιπόν σημαντική απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τον προσεγγιστικό τύπο της §4.3.3.2.2(3) του ευρωκώδικα και αυτών που προκύπτουν από την ηλεκτρονική ανάλυση. Συνεπώς και στην περίπτωση του τοιχωματικού κτηρίου ο τύπος αυτός κρίνεται αναξιόπιστος. Στη συνέχεια του παρόντος θα γίνεται χρήση των τιμών των ιδιοπεριόδων που υπολογίστηκαν με ακρίβεια μέσω του λογισμικού.

Σύμφωνα με την §4.3.3.2.1(2) για να μπορεί να εφαρμοστεί αυτός ο τύπος ανάλυσης θα πρέπει:

– το υπό ανάλυση κτήριο να είναι κανονικό σε όψη, πράγμα που αποδείξαμε στο κεφαλαίο 1.3.2



- η ιδιοπερίοδος του να ικανοποιεί τον περιορισμό:  $T_1 \leq \begin{cases} 4 \cdot T_C \\ 2,0 \text{ s} \end{cases}$  όπου  $T_C = 0,50 \text{ sec}$

Πράγματι:

$$T_{1,x} = 0,655 \text{ sec} \leq \begin{cases} 4 \cdot T_C = 4 \cdot 0,5 = 2,0 \text{ sec} \\ 2,0 \text{ sec} \end{cases}$$

$$T_{1,y} = 0,540 \text{ sec} \leq \begin{cases} 4 \cdot T_C = 4 \cdot 0,5 = 2,0 \text{ sec} \\ 2,0 \text{ sec} \end{cases}$$

Συνεπώς μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος οριζόντιας φόρτισης στο φορέα.

### 4.1.1.3 Συμπεράσματα

Αξίζει να σημειωθεί ότι, σύμφωνα με τις παραπάνω ενότητες (4.1.1.1 και 4.1.1.2), παρατηρείται σημαντική απόκλιση μεταξύ των τιμών των ιδιοπεριόδων που προκύπτουν από τον προσεγγιστικό τύπο της §4.3.3.2.2(3) του ευρωκώδικα και αυτών που προκύπτουν από τη δυναμική ανάλυση τόσο στο πλαισιακό όσο και στο τοιχωματικό κτήριο. Ακόμα πιο σημαντική παρατήρηση ωστόσο είναι ότι ο παραπάνω τύπος δίνει μεγαλύτερες τιμές ιδιοπεριόδου στο τοιχωματικό κτήριο απ' ότι στο πλαισιακό. Αυτό κρίνεται άτοπο καθώς το τοιχωματικό κτήριο είναι περισσότερο δύσκαμπτο, συνεπώς αναμένεται μικρότερη χρονική διάρκεια σε ένα κύκλο ταλάντωσης. Καταλήγουμε επομένως στο συμπέρασμα ότι ο τύπος της §4.3.3.2.2(3) του ευρωκώδικα δεν κρίνεται αξιόπιστος για την ανάλυση τόσο των πλαισιακών όσο και των τοιχωματικών κατασκευών.

## 4.1.2 Τέμνουσα δύναμη βάσης

### 4.1.2.1 Γενικά

Σύμφωνα με την §4.3.3.2.2(1) η σεισμική τέμνουσα δύναμη βάσης  $F_b$ , για κάθε οριζόντια διεύθυνση κατά την οποία μελετάται το κάθε κτήριο, καθορίζεται με χρήση της ακόλουθης έκφρασης:  $F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda$  όπου

- $S_d(T_1)$  είναι η τετμημένη του φάσματος σχεδιασμού για την περίοδο  $T_1$ ,
- $T_1$  η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος ταλάντωσης του κτιρίου για οριζόντια κίνηση στην εξεταζόμενη διεύθυνση,
- $m$  η συνολική μάζα του κτιρίου πάνω από την θεμελίωση ή πάνω από την άνω επιφάνεια άκαμπτης βάσης, που υπολογίζεται σύμφωνα με την §3.2.4(2)
- $\lambda$  ο συντελεστής διόρθωσης, η τιμή του οποίου ισούται με:  $\lambda = 0,85$  εάν  $T_1 \leq 2 T_C$  και το κτίριο έχει πάνω από δύο ορόφους, ή  $\lambda = 1,0$  σε κάθε άλλη περίπτωση.

### 4.1.2.2 Τέμνουσα δύναμη βάσης πλαισιακού κτηρίου

Για  $T_C \leq T_{1x} \leq T_D$  και  $T_C \leq T_{1y} \leq T_D$ , σύμφωνα με την §3.2.2.5(4) έχουμε:

Για την ΚΠΧ φασματική επιτάχυνση ίση με:

$$S_d(T_{1x}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \left[ \frac{T_c}{T_1} \right] = 0.24 \cdot g \cdot 1.2 \cdot \frac{2.5}{1.5} \cdot \frac{0.5}{1.029} = 0.233 \cdot g \geq \beta \cdot a_g$$

$$= 0.20 \cdot 0.24 \cdot g = 0.048g$$

$$S_d(T_{1y}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \left[ \frac{T_c}{T_1} \right] = 0.24 \cdot g \cdot 1.2 \cdot \frac{2.5}{1.5} \cdot \frac{0.5}{1.294} = 0.185 \cdot g \geq \beta \cdot a_g$$

$$= 0.20 \cdot 0.24 \cdot g = 0.048g$$

όπου  $\beta=0,2$  το κατώτατο όριο από το εθνικό προσάρτημα.

Για την ΚΠΜ φασματική επιτάχυνση ίση με:

$$S_d(T_{1x}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \left[ \frac{T_c}{T_1} \right] = 0.24 \cdot g \cdot 1.2 \cdot \frac{2.5}{3.9} \cdot \frac{0.5}{1.029} = 0.089 \cdot g \geq \beta \cdot a_g$$

$$= 0.20 \cdot 0.24 \cdot g = 0.048g$$

$$S_d(T_{1y}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \left[ \frac{T_c}{T_1} \right] = 0.24 \cdot g \cdot 1.2 \cdot \frac{2.5}{3.9} \cdot \frac{0.5}{1.294} = 0.071 \cdot g \geq \beta \cdot a_g$$

$$= 0.20 \cdot 0.24 \cdot g = 0.048g$$

όπου  $\beta=0,2$  το κατώτατο όριο από το εθνικό προσάρτημα.

Για την ΚΠΥ φασματική επιτάχυνση ίση με:

$$S_d(T_{1x}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \left[ \frac{T_c}{T_1} \right] = 0.24 \cdot g \cdot 1.2 \cdot \frac{2.5}{5.85} \cdot \frac{0.5}{1.029} = 0.059 \cdot g \geq \beta \cdot a_g$$

$$= 0.20 \cdot 0.24 \cdot g = 0.048g$$

$$S_d(T_{1y}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \left[ \frac{T_c}{T_1} \right] = 0.24 \cdot g \cdot 1.2 \cdot \frac{2.5}{5.85} \cdot \frac{0.5}{1.294} = 0.048 \cdot g \geq \beta \cdot a_g$$

$$= 0.20 \cdot 0.24 \cdot g = 0.048g$$

όπου  $\beta=0,2$  το κατώτατο όριο από το εθνικό προσάρτημα.

Σύμφωνα με την §3.2.4(2), τα αδρανειακά αποτελέσματα της σεισμικής δράσης σχεδιασμού θα αποτιμώνται λαμβάνοντας υπόψη την παρουσία των μαζών που συνδέονται με όλα τα φορτία βαρύτητας που περιλαμβάνονται στον ακόλουθο συνδυασμό δράσεων:  $\Sigma G_{k,j} + \Sigma \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i}$  όπου  $\psi_{E,i}$  είναι ο συντελεστής συνδυασμού για την μεταβλητή δράση

$i$ . Ο συντελεστής αυτός ισούται με  $\psi_{E,i} = \phi \cdot \psi_{2i}$  (§4.2.4(2)) με  $\phi = 1,0$  για το δώμα και  $\phi = 0,5$  για τους υπόλοιπους ορόφους σύμφωνα με τον πίνακα 4.2. Έτσι προκύπτει συνολικό βάρος κατασκευής  $B_{κατ} = 13826,36 \text{ kN}$  και συνολική μάζα κατασκευής  $m_{κατ} = 1409,4 \text{ Mgr (ton)}$ .

Τέλος, η τιμή του διορθωτικού συντελεστή  $\lambda$  είναι ίση με  $\lambda = 1,00$  διότι  $T_{1x} = 1,029 \text{ sec} \geq 2 \cdot T_c = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ sec}$  και  $T_{1y} = 1,294 \text{ sec} \geq 2 \cdot T_c = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ sec}$ .

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη τα παραπάνω, η συνολική τέμνουσα βάσης στις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις υπολογίζεται ως εξής:

Για ΚΠΧ έχουμε:

$$- F_{bx} = 0,233 \cdot g \cdot (13826,36 / g) \cdot 1,00 = 3221,54 \text{ KN}$$

$$- F_{by} = 0,185 \cdot g \cdot (13826,36 / g) \cdot 1,00 = 2557,87 \text{ KN}$$

Για ΚΠΜ έχουμε:

$$- F_{bx} = 0,089 \cdot g \cdot (13826,36 / g) \cdot 1,00 = 1230,54 \text{ KN}$$

$$- F_{by} = 0,071 \cdot g \cdot (13826,36 / g) \cdot 1,00 = 981,67 \text{ KN}$$

Για ΚΠΥ έχουμε:

$$- F_{bx} = 0,059 \cdot g \cdot (13826,36 / g) \cdot 1,00 = 815,75 \text{ KN}$$

$$- F_{by} = 0,048 \cdot g \cdot (13826,36 / g) \cdot 1,00 = 663,66 \text{ KN}$$

### 4.1.2.3 Τέμνουσα βάσης τοιχωματικού κτηρίου

Υπολογισμός  $S_d(T_1)$  σύμφωνα με την §3.2.2.5 του ΕΚ8:

Κατά τις δυο διευθύνσεις ισχύει:  $T_C \leq T_{1,x} \leq T_D$  και  $T_C \leq T_{1,y} \leq T_D$

Για ΚΠΧ έχουμε:

$$S_d(T_{1,x}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C}{T} \right] = 0,24g \cdot 1,20 \cdot \frac{2,5}{1,5} \cdot \frac{0,5}{0,655} = 0,366 g \geq \beta \cdot a_g = 0,048 g$$

$$S_d(T_{1,y}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C}{T} \right] = 0,24g \cdot 1,20 \cdot \frac{2,5}{1,5} \cdot \frac{0,5}{0,54} = 0,444 g \geq \beta \cdot a_g = 0,048 g$$

Για ΚΠΜ έχουμε:

$$S_d(T_{1,x}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C}{T} \right] = 0,24g \cdot 1,20 \cdot \frac{2,5}{2,09} \cdot \frac{0,5}{0,665} = 0,259 g \geq \beta \cdot a_g = 0,048 g$$

$$S_d(T_{1,y}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C}{T} \right] = 0,24g \cdot 1,20 \cdot \frac{2,5}{2,09} \cdot \frac{0,5}{0,54} = 0,319 g \geq \beta \cdot a_g = 0,048 g$$

Για ΚΠΥ έχουμε:

$$S_d(T_{1,x}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C}{T} \right] = 0,24g \cdot 1,20 \cdot \frac{2,5}{3,34} \cdot \frac{0,5}{0,655} = 0,165 g \geq \beta \cdot a_g = 0,048 g$$

$$S_d(T_{1,y}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C}{T} \right] = 0,24g \cdot 1,20 \cdot \frac{2,5}{3,34} \cdot \frac{0,5}{0,54} = 0,2 g \geq \beta \cdot a_g = 0,048 g$$

Ο συντελεστής  $\lambda=0,85$  σύμφωνα με την §4.3.3.2.2(1) αφού  $T_{1,x}, T_{1,y} \leq 2 \cdot T_C = 1,0$ . Η μάζα του φορέα  $m$  υπολογίζεται βάσει της §3.2.4 η οποία ορίζει πως τα αδρανειακά αποτελέσματα της σεισμικής δράσης σχεδιασμού αποτιμώνται λαμβάνοντας υπόψη την παρουσία των μαζών που συνδέονται με όλα τα φορτία βαρύτητας που περιλαμβάνονται στον ακόλουθο

συνδυασμό δράσεων:  $\Sigma G_{k,j} + \Sigma \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i}$  όπου  $\psi_{E,i}$  είναι ο συντελεστής συνδυασμού για την μεταβλητή δράση  $i$  ο οποίος δίνεται στην §4.2.4 ως  $\psi_{E,i} = \varphi \cdot \psi_{2i}$  με  $\varphi=1,0$  για το δάμα και  $\varphi=0,5$  για τους υπόλοιπους ορόφους. Το  $\psi_{2i}$  σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα του ΕΚ0 πίνακας Α1.1 λαμβάνεται ίσος με 0,3 για συνήθη κτίρια κατοικιών. Ως  $\Sigma G_{k,j}$  ορίζεται το άθροισμα του ίδιου βάρους της κατασκευής (γινόμενο όγκου κατασκευής επί  $25 \text{ kN/m}^2$ ) συν τα μόνιμα φορτία ενώ με το  $Q_{k,i}$  συμβολίζονται τα κινητά φορτία του φορέα. Έτσι προκύπτει συνολικό βάρος κατασκευής  $B_{\text{κατ}} = 13378,82 \text{ kN}$  και συνολική μάζα κατασκευής  $m_{\text{κατ}} = 1363,8 \text{ Mgr (ton)}$ .

Υπολογισμός τεμνουσας βασης  $F_b$  σύμφωνα με την §4.3.3.2.2(1):

Για ΚΠΧ έχουμε:

$$F_{b,x} = S_d(T_{1,x}) \cdot m \cdot \lambda = 0,366g \cdot \frac{13378,83\text{kN}}{g} \cdot 0,85 = 4162,15\text{kN}$$

$$F_{b,y} = S_d(T_{1,y}) \cdot m \cdot \lambda = 0,444g \cdot \frac{13378,83\text{kN}}{g} \cdot 0,85 = 5049,17\text{kN}$$

Για ΚΠΜ έχουμε:

$$F_{b,x} = S_d(T_{1,x}) \cdot m \cdot \lambda = 0,259g \cdot \frac{13378,83\text{kN}}{g} \cdot 0,85 = 2945,35\text{kN}$$

$$F_{b,y} = S_d(T_{1,y}) \cdot m \cdot \lambda = 0,319g \cdot \frac{13378,83\text{kN}}{g} \cdot 0,85 = 3627,67\text{kN}$$

Για ΚΠΥ έχουμε:

$$F_{b,x} = S_d(T_{1,x}) \cdot m \cdot \lambda = 0,165g \cdot \frac{13378,83\text{kN}}{g} \cdot 0,85 = 1876,38\text{kN}$$

$$F_{b,y} = S_d(T_{1,y}) \cdot m \cdot \lambda = 0,2g \cdot \frac{13378,83\text{kN}}{g} \cdot 0,85 = 2274,40\text{kN}$$

## 4.1.3 Κατανομή των οριζοντίων σεισμικών φορτίων

### 4.1.3.1 Γενικά

Με την παραδοχή ότι μια ανεστραμμένη τριγωνική κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων προσεγγίζει ικανοποιητικά τη θεμελιώδη ιδιομορφή, σύμφωνα με την §4.3.3.2.3(3), οι οριζόντιες δυνάμεις στη στάθμη των ορόφων υπολογίζονται ως  $F_i = F_b \cdot \frac{z_i \cdot m_i}{\sum z_j \cdot m_j}$ , όπου  $z_i$  και  $z_j$  είναι τα υψόμετρα των μαζών  $m_i$  και  $m_j$  πάνω από τη θεμελίωση. Ο αναλυτικός

υπολογισμός των οριζόντιων δυνάμεων  $F_i$  , για τις τρεις διαφορετικές κατηγορίες πλαστιμότητας, παρουσιάζεται στους πίνακες 4.1 έως 4.6 των επομένων ενοτήτων.

#### 4.1.3.2 Κατανομή των οριζοντίων σεισμικών φορτίων του πλαισιακού κτηρίου

Για ΚΠΧ έχουμε:

Όροφος	$Z_i$	$m_i$ (kN)	$Z_i*m_i$	$F_i/F_b$	$F_x$ (kN)	$F_y$ (kN)
Στέγη	17,50	2313,76	40490,80	0,29	923,64	733,36
4	14,00	2878,15	40294,10	0,29	919,16	729,80
3	10,50	2878,15	30220,58	0,21	689,37	547,35
2	7,00	2878,15	20147,05	0,14	459,58	364,90
1	3,50	2878,15	10073,53	0,07	229,79	182,45
<b>άθροισμα</b>		13826,36	141226,05	1,00	3221,54	2557,87

Πίνακας 4.1

Για ΚΠΜ έχουμε:

Όροφος	$Z_i$	$m_i$ (kN)	$Z_i*m_i$	$F_i/F_b$	$F_x$ (kN)	$F_y$ (kN)
Στέγη	17,50	2313,76	40490,80	0,29	352,81	281,45
4	14,00	2878,15	40294,10	0,29	351,09	280,09
3	10,50	2878,15	30220,58	0,21	263,32	210,06
2	7,00	2878,15	20147,05	0,14	175,55	140,04
1	3,50	2878,15	10073,53	0,07	87,77	70,02
<b>άθροισμα</b>		13826,36	141226,05	1,00	1230,54	981,67

Πίνακας 4.2

Για ΚΠΥ έχουμε:

Όροφος	$Z_i$	$m_i$ (kN)	$Z_i*m_i$	$F_i/F_b$	$F_x$ (kN)	$F_y$ (kN)
Στέγη	17,50	2313,76	40490,80	0,29	233,88	190,28
4	14,00	2878,15	40294,10	0,29	232,75	189,35
3	10,50	2878,15	30220,58	0,21	174,56	142,01
2	7,00	2878,15	20147,05	0,14	116,37	94,68
1	3,50	2878,15	10073,53	0,07	58,19	47,34
<b>άθροισμα</b>		13826,36	141226,05	1,00	815,75	663,66

Πίνακας 4.3

### 4.1.3.3 Κατανομή των οριζοντίων σεισμικών φορτίων του τοιχωματικού κτηρίου

Για ΚΠΧ έχουμε:

Όροφος	$Z_i$	$m_i$ (kN)	$Z_i*m_i$	$F_i/F_b$	$F_x$ (kN)	$F_y$ (kN)
Στέγη	17,5	2429,26	42512,05	0,31	1279,21	1551,83
4	14	2737,39	38323,46	0,28	1153,18	1398,93
3	10,5	2737,39	28742,595	0,21	864,88	1049,20
2	7	2737,39	19161,73	0,14	576,59	699,47
1	3,5	2737,39	9580,865	0,07	288,29	349,73
άθροισμα		13378,82	138320,7	1	4162,15	5049,17

Πίνακας 4.4

Για ΚΠΜ έχουμε:

Όροφος	$Z_i$	$m_i$ (kN)	$Z_i*m_i$	$F_i/F_b$	$F_x$ (kN)	$F_y$ (kN)
Στέγη	17,5	2429,26	42512,05	0,31	905,24	1114,94
4	14	2737,39	38323,46	0,28	816,05	1005,09
3	10,5	2737,39	28742,595	0,21	612,03	753,82
2	7	2737,39	19161,73	0,14	408,02	502,55
1	3,5	2737,39	9580,865	0,07	204,01	251,27
άθροισμα		13378,82	138320,7	1	2945,35	3627,67

Πίνακας 4.5

Για ΚΠΥ έχουμε:

Όροφος	$Z_i$	$m_i$ (kN)	$Z_i*m_i$	$F_i/F_b$	$F_x$ (kN)	$F_y$ (kN)
Στέγη	17,5	2429,26	42512,05	0,31	576,69	699,02
4	14	2737,39	38323,46	0,28	519,87	630,15
3	10,5	2737,39	28742,595	0,21	389,91	472,61
2	7	2737,39	19161,73	0,14	259,94	315,08
1	3,5	2737,39	9580,865	0,07	129,97	157,54
άθροισμα		13378,82	138320,7	1	1876,38	2274,4

Πίνακας 4.6

## 4.1.4 Τυχηματικές στρεπτικές επιδράσεις

### 4.1.4.1 Γενικά

Σύμφωνα με την §4.3.2(1) προκειμένου να ληφθούν υπόψη αβεβαιότητες στη θέση των μαζών και στη χωρική μεταβολή της σεισμικής κίνησης, το υπολογιζόμενο κέντρο της μάζας σε κάθε όροφο θα θεωρείται ως μετατοπισμένο από την ονομαστική θέση του σε κάθε διεύθυνση κατά την ακόλουθη τυχηματική εκκεντρότητα:  $e_{ai} = \pm 0,05 \cdot L_i$  όπου:

- $e_{ai}$  είναι η τυχηματική εκκεντρότητα του κέντρου μάζας ορόφου  $i$  από την ονομαστική θέση του, εφαρμοζόμενη στην ίδια διεύθυνση σε όλους τους ορόφους
- $L_i$  είναι η διάσταση του ορόφου, κάθετη προς την διεύθυνση της σεισμικής δράσης

Η εκκεντρότητα αυτή σε ένα χωρικό προσομοίωμα έχει σαν αποτέλεσμα, σύμφωνα με τη §4.3.3.3(1), την εμφάνιση στρεπτικών ροπών  $M_{ai}$  περί τον κατακόρυφο άξονα κάθε ορόφου  $i$  όπου  $M_{ai} = e_{ai} \cdot F_i$ , οι οποίες θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν με θετικά και αρνητικά πρόσημα (§4.3.3.3(2)). Με  $F_i$  συμβολίζονται οι δυνάμεις των ορόφων που αντιστοιχούν στη μέγιστη επιτάχυνση του ελαστικού φάσματος απόκρισης, όπως υπολογίζονται παρακάτω. Τα εντατικά μεγέθη και οι μετακινήσεις λόγω συνδυασμού των οριζόντιων συνιστωσών της σεισμικής δράσης μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας τους συνδυασμούς της §4.3.3.5.1(3): a)  $E_{Edx}$  "+"  $0,30E_{Edy}$  b)  $0,30E_{Edx}$  "+"  $E_{Edy}$

### 4.1.4.2 Υπολογισμός οριζοντίων δυνάμεων ορόφων ( $F_i$ ):

Όπως και στην ενότητα 4.1.2, θα γίνει αρχικά υπολογισμός της τέμνουσας δύναμης βάσης για τη μέγιστη επιτάχυνση του ελαστικού φάσματος απόκρισης για κάθε κατηγορία πλαστιμότητας και στη συνέχεια η δύναμη αυτή θα κατανεμηθεί καθ' ύψος στους πέντε ορόφους. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην ενότητα 4.1.2.1, η τέμνουσα δύναμη βάσης είναι ίση με  $F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda$ . Η μέγιστη επιτάχυνση του ελαστικού φάσματος απόκρισης  $S_d(T_1)$ , σύμφωνα με την §3.2.2.5(4), για τιμές της ιδιοπεριόδου  $T_B \leq T \leq T_C$  υπολογίζεται από τον τύπο  $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$ . Επομένως για τις τρεις κατηγορίες πλαστιμότητας έχουμε:

έχουμε:

- Για την ΚΠΧ:

$$S_d(T_{1x}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 0,24 \cdot g \cdot 1,2 \cdot \frac{2,5}{1,5} = 0,48 \cdot g$$

$$S_d(T_{1y}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 0,24 \cdot g \cdot 1,2 \cdot \frac{2,5}{1,5} = 0,48 \cdot g$$

- Για την ΚΠΜ:

$$S_d(T_{1x}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 0,24 \cdot g \cdot 1,2 \cdot \frac{2,5}{3,9} = 0,185 \cdot g$$

$$S_d(T_{1,y}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 0,24 \cdot g \cdot 1,2 \cdot \frac{2,5}{3,9} = 0,185 \cdot g$$

– Για την ΚΠΥ:

$$S_d(T_{1,x}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 0,24 \cdot g \cdot 1,2 \cdot \frac{2,5}{5,85} = 0,123 \cdot g$$

$$S_d(T_{1,y}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 0,24 \cdot g \cdot 1,2 \cdot \frac{2,5}{5,85} = 0,123 \cdot g$$

Η τέμνουσα δύναμη βάσης επομένως, για τις τρεις κατηγορίες πλααστιμότητας, υπολογίζεται ως εξής:

Για ΚΠΧ έχουμε:

$$- F_{bx} = 0,48 \cdot g \cdot (13826,36 / g) \cdot 1,00 = 6636,65 \text{ KN}$$

$$- F_{by} = 0,48 \cdot g \cdot (13826,36 / g) \cdot 1,00 = 6636,65 \text{ KN}$$

Για ΚΠΜ έχουμε:

$$- F_{bx} = 0,185 \cdot g \cdot (13826,36 / g) \cdot 1,00 = 2557,88 \text{ KN}$$

$$- F_{by} = 0,185 \cdot g \cdot (13826,36 / g) \cdot 1,00 = 2557,88 \text{ KN}$$

Για ΚΠΥ έχουμε:

$$- F_{bx} = 0,123 \cdot g \cdot (13826,36 / g) \cdot 1,00 = 1700,64 \text{ KN}$$

$$- F_{by} = 0,123 \cdot g \cdot (13826,36 / g) \cdot 1,00 = 1700,64 \text{ KN}$$

Η κατανομή των παραπάνω τεμνουσών δυνάμεων βάσης καθ' ύψος του κτηρίου γίνεται ως εξής:

Για ΚΠΧ έχουμε:

Όροφος	Zi	mi (kN)	Zi*mi	Fi/Fb	Fx (kN)	Fy (kN)
<b>Στέγη</b>	17,50	2313,76	40490,80	0,29	1924,62	1924,62
<b>4</b>	14,00	2878,15	40294,10	0,29	1924,62	1924,62
<b>3</b>	10,50	2878,15	30220,58	0,21	1393,70	1393,70
<b>2</b>	7,00	2878,15	20147,05	0,14	929,13	929,13
<b>1</b>	3,50	2878,15	10073,53	0,07	464,57	464,57
<b>άθροισμα</b>		13826,36	141226,05	1,00	6636,65	6636,65

Πίνακας 4.1

Για ΚΠΜ έχουμε:



Όροφος	$Z_i$	$m_i$ (kN)	$Z_i*m_i$	$F_i/F_b$	$F_x$ (kN)	$F_y$ (kN)
Στέγη	17,50	2313,76	40490,80	0,29	741,78	741,78
4	14,00	2878,15	40294,10	0,29	741,78	741,78
3	10,50	2878,15	30220,58	0,21	537,15	537,15
2	7,00	2878,15	20147,05	0,14	358,10	358,10
1	3,50	2878,15	10073,53	0,07	179,05	179,05
<b>άθροισμα</b>		13826,36	141226,05	1,00	2557,88	2557,88

Πίνακας 4.2

Για ΚΠΥ έχουμε:

Όροφος	$Z_i$	$m_i$ (kN)	$Z_i*m_i$	$F_i/F_b$	$F_x$ (kN)	$F_y$ (kN)
Στέγη	17,50	2313,76	40490,80	0,29	493,19	493,19
4	14,00	2878,15	40294,10	0,29	493,19	493,19
3	10,50	2878,15	30220,58	0,21	357,13	357,13
2	7,00	2878,15	20147,05	0,14	238,09	238,09
1	3,50	2878,15	10073,53	0,07	119,04	119,04
<b>άθροισμα</b>		13826,36	141226,05	1,00	1700,64	1700,64

Πίνακας 4.3

#### 4.1.4.3 Τυχηματικές στρεπτικές επιδράσεις πλαισιακού κτηρίου

– Για ΚΠΧ έχουμε:

Όροφος	$F_x$ (kN)	$F_y$ (kN)	$ex$ (m)	$ey$ (m)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)
Δώμα	1924,62	1924,62	0,49	0,92	943,06	1770,65
4	1924,62	1924,62	0,49	0,92	943,06	1770,65
3	1393,70	1393,70	0,49	0,92	682,91	1282,20
2	929,13	929,13	0,49	0,92	455,27	854,80
1	464,57	464,57	0,49	0,92	227,64	427,40

– Για ΚΠΜ έχουμε:

Όροφος	$F_x$ (kN)	$F_y$ (kN)	$ex$ (m)	$ey$ (m)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)
Δώμα	741,78	741,78	0,49	0,92	363,47	682,44
4	741,78	741,78	0,49	0,92	363,47	682,44
3	537,15	537,15	0,49	0,92	263,20	494,18
2	358,10	358,10	0,49	0,92	175,47	329,45
1	179,05	179,05	0,49	0,92	87,73	164,73

– Για ΚΠΥ έχουμε:

Όροφος	$F_x$ (kN)	$F_y$ (kN)	$e_x$ (m)	$e_y$ (m)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)
Δώμα	493,19	493,19	0,49	0,92	241,66	453,73
4	493,19	493,19	0,49	0,92	241,66	453,73
3	357,13	357,13	0,49	0,92	174,99	328,56
2	238,09	238,09	0,49	0,92	116,66	219,04
1	119,04	119,04	0,49	0,92	58,33	109,52

#### 4.1.4.4 Υπολογισμός οριζοντίων δυνάμεων ορόφων ( $F_i$ ) τοιχωματικού κτηρίου

Όπως και στην ενότητα 4.1.2, θα γίνει αρχικά υπολογισμός της τέμνουσας δύναμης βάσης για τη μέγιστη επιτάχυνση του ελαστικού φάσματος απόκρισης για κάθε κατηγορία πλαστιμότητας και στη συνέχεια η δύναμη αυτή θα καταταξιωθεί καθ' ύψος στους πέντε ορόφους. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην ενότητα 4.1.2.1, η τέμνουσα δύναμη βάσης είναι ίση με  $F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda$ . Η μέγιστη επιτάχυνση του ελαστικού φάσματος απόκρισης  $S_d(T_1)$ , σύμφωνα με την §3.2.2.5(4), για τιμές της ιδιοπεριόδου  $T_B \leq T \leq T_C$  υπολογίζεται από τον τύπο  $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$ . Επομένως για τις τρεις κατηγορίες πλαστιμότητας έχουμε:

έχουμε:

– Για την ΚΠΧ:

$$S_d(T_{1,x}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 0,24 \cdot g \cdot 1,2 \cdot \frac{2,5}{1,5} = 0,48 \cdot g$$

$$S_d(T_{1,y}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 0,24 \cdot g \cdot 1,2 \cdot \frac{2,5}{1,5} = 0,48 \cdot g$$

– Για την ΚΠΜ:

$$S_d(T_{1,x}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 0,24 \cdot g \cdot 1,2 \cdot \frac{2,5}{2,09} = 0,345 \cdot g$$

$$S_d(T_{1,y}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 0,24 \cdot g \cdot 1,2 \cdot \frac{2,5}{2,09} = 0,345 \cdot g$$

– Για την ΚΠΥ:

$$S_d(T_{1,x}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 0,24 \cdot g \cdot 1,2 \cdot \frac{2,5}{3,06} = 0,235 \cdot g$$

$$S_d(T_{1,y}) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 0,24 \cdot g \cdot 1,2 \cdot \frac{2,5}{3,06} = 0,235 \cdot g$$

Η τέμνουσα δύναμη βάσης επομένως, για τις τρεις κατηγορίες πλαστιμότητας, υπολογίζεται ως εξής:

Για ΚΠΧ έχουμε:

$$F_{b,x} = S_d(T_{1,x}) \cdot m \cdot \lambda = 0,48g \cdot \frac{13378,83\text{kN}}{g} \cdot 0,85 = 5458,56\text{kN}$$

$$F_{b,y} = S_d(T_{1,y}) \cdot m \cdot \lambda = 0,48g \cdot \frac{13378,83\text{kN}}{g} \cdot 0,85 = 5458,56\text{kN}$$

Για ΚΠΜ έχουμε:

$$F_{b,x} = S_d(T_{1,x}) \cdot m \cdot \lambda = 0,345g \cdot \frac{13378,83\text{kN}}{g} \cdot 0,85 = 3923,34\text{kN}$$

$$F_{b,y} = S_d(T_{1,y}) \cdot m \cdot \lambda = 0,345g \cdot \frac{13378,83\text{kN}}{g} \cdot 0,85 = 3923,34\text{kN}$$

Για ΚΠΥ έχουμε:

$$F_{b,x} = S_d(T_{1,x}) \cdot m \cdot \lambda = 0,235g \cdot \frac{13378,83\text{kN}}{g} \cdot 0,85 = 2672,42\text{kN}$$

$$F_{b,y} = S_d(T_{1,y}) \cdot m \cdot \lambda = 0,235g \cdot \frac{13378,83\text{kN}}{g} \cdot 0,85 = 2672,42\text{kN}$$

Η κατανομή των παραπάνω τεμνουσών δυνάμεων βάσης καθ' ύψος του κτηρίου γίνεται ως εξής:

Για ΚΠΧ έχουμε:

Όροφος	Zi	mi (kN)	Zi*mi	Fi/Fb	Fx (kN)	Fy (kN)
Στέγη	17,5	2429,26	42512,05	0,31	1677,66	1677,66
4	14	2737,39	38323,46	0,28	1512,36	1512,36
3	10,5	2737,39	28742,595	0,21	1134,27	1134,27
2	7	2737,39	19161,73	0,14	756,18	756,18
1	3,5	2737,39	9580,865	0,07	378,09	378,09
άθροισμα		13378,82	138320,7	1	5458,56	5458,56

Πίνακας 4.1

Για ΚΠΜ έχουμε:

Όροφος	Zi	mi (kN)	Zi*mi	Fi/Fb	Fx (kN)	Fy (kN)
Στέγη	17,5	2429,26	42512,05	0,31	1205,82	1205,82
4	14	2737,39	38323,46	0,28	1087,01	1087,01
3	10,5	2737,39	28742,595	0,21	815,26	815,26
2	7	2737,39	19161,73	0,14	543,50	543,50
1	3,5	2737,39	9580,865	0,07	271,75	271,75
άθροισμα		13378,82	138320,7	1	3923,34	3923,34

Πίνακας 4.2

Για ΚΠΥ έχουμε:

Όροφος	Zi	mi (kN)	Zi*mi	Fi/Fb	Fx (kN)	Fy (kN)
Στέγη	17,5	2429,26	42512,05	0,31	821,35	821,35

4	14	2737,39	38323,46	0,28	740,43	740,43
3	10,5	2737,39	28742,595	0,21	555,32	555,32
2	7	2737,39	19161,73	0,14	370,21	370,21
1	3,5	2737,39	9580,865	0,07	185,11	185,11
άθροισμα		13378,82	138320,7	1	2672,42	2672,42

Πίνακας 4.3

#### 4.1.4.5 Τυχηματικές στρεπτικές επιδράσεις τοιχωματικού κτηρίου

– Για ΚΠΧ έχουμε:

Όροφος	$F_x$ (kN)	$F_y$ (kN)	$e_x$ (m)	$e_y$ (m)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)
Δώμα	1677,66	1677,66	0,49	0,92	822,05	1543,45
4	1512,36	1512,36	0,49	0,92	741,06	1391,37
3	1134,27	1134,27	0,49	0,92	555,79	1043,53
2	756,18	756,18	0,49	0,92	370,53	695,69
1	378,09	378,09	0,49	0,92	185,26	347,84

– Για ΚΠΜ έχουμε:

Όροφος	$F_x$ (kN)	$F_y$ (kN)	$e_x$ (m)	$e_y$ (m)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)
Δώμα	1205,82	1205,82	0,49	0,92	590,85	1109,35
4	1087,01	1087,01	0,49	0,92	532,63	1000,05
3	815,26	815,26	0,49	0,92	399,48	750,04
2	543,5	543,5	0,49	0,92	266,32	500,02
1	271,75	271,75	0,49	0,92	133,16	250,01

– Για ΚΠΥ έχουμε:

Όροφος	$F_x$ (kN)	$F_y$ (kN)	$e_x$ (m)	$e_y$ (m)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)
Δώμα	821,35	821,35	0,49	0,92	402,46	755,64
4	740,43	740,43	0,49	0,92	362,81	681,20
3	555,32	555,32	0,49	0,92	272,11	510,89
2	370,21	370,21	0,49	0,92	181,40	340,59
1	185,11	185,11	0,49	0,92	90,70	170,30

## 4.2 Ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης

Παρά το γεγονός ότι για την ανάλυση του κτηρίου επιτρέπεται να γίνει χρήση της μεθόδου ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης (σύμφωνα με την ενότητα 4.1.1), για μεγαλύτερη ακρίβεια θα γίνει χρήση της ιδιομορφικής ανάλυσης φάσματος απόκρισης (§4.3.3.3). Κατά τη χρήση της μεθόδου αυτής, σύμφωνα με την §4.3.3.3.1(2), θα λαμβάνεται υπόψη η απόκριση όλων των ιδιομορφών ταλάντωσης που συμβάλλουν σημαντικά στη συνολική απόκριση. Αυτό συμβαίνει όταν ικανοποιούνται τα ακόλουθα:

- το άθροισμα των δρυσών ιδιομορφικών μαζών για τις ιδιομορφές που λαμβάνονται υπόψη είναι τουλάχιστον το 90% της συνολικής μάζας του φορέα και
- λαμβάνονται υπόψη όλες οι ιδιομορφές με δρώσες ιδιομορφικές μάζες μεγαλύτερες από το 5% της συνολικής μάζας.

Στους παρακάτω πίνακες (4.7 και 4.8) παρουσιάζονται οι ιδιοπερίοδοι και οι αντίστοιχες ενεργές ιδιομορφικές μάζες για τις ιδιομορφές και των δύο κτηρίων όπως προκύπτουν από την ανάλυση μέσω του λογισμικού (SAP2000). Όσον αφορά το πλαίσιακό κτήριο αρκούν οι πέντε πρώτες ιδιομορφές, ενώ για το τοιχωματικό αρκούν οι επτά πρώτες, ώστε να ικανοποιηθούν οι παραπάνω απαιτήσεις σχετικά με τον αριθμό των ιδιομορφών που πρέπει να ληφθούν υπ' όψη στην ανάλυση.

<b>Πλαίσιακό κτήριο: Ιδιομορφικές μάζες και ποσοστά συμμετοχής ανά διεύθυνση</b>						
<b>Ανάλυση</b>	<b>Ιδιομορφή</b>	<b>Ιδιοπερίοδος (sec)</b>	<b>m<sub>x</sub> (%)</b>	<b>m<sub>y</sub> (%)</b>	<b>Σm<sub>x</sub> (%)</b>	<b>Σm<sub>y</sub> (%)</b>
MODAL	1	1,2937	0,0000	0,7743	0,0000	0,7743
MODAL	2	1,0207	0,8013	0,0017	0,8013	0,7760
MODAL	3	0,9584	0,0282	0,0347	0,8296	0,8107
MODAL	4	0,3979	0,0000	0,1069	0,8296	0,9176
MODAL	5	0,3256	0,1051	0,0001	0,9347	0,9177
MODAL	6	0,3045	0,0019	0,0049	0,9365	0,9226
MODAL	7	0,2120	0,0000	0,0439	0,9365	0,9665
MODAL	8	0,1835	0,0395	0,0000	0,9761	0,9665
MODAL	9	0,1708	0,0002	0,0020	0,9762	0,9685
MODAL	10	0,1370	0,0000	0,0221	0,9762	0,9907
MODAL	11	0,1268	0,0182	0,0000	0,9945	0,9907
MODAL	12	0,1164	0,0000	0,0009	0,9945	0,9916

Πίνακας 4.7

<b>Τοιχωματικό κτήριο: Ιδιομορφικές μάζες και ποσοστά συμμετοχής ανά διεύθυνση</b>						
<b>Ανάλυση</b>	<b>Ιδιομορφή</b>	<b>Ιδιοπερίοδος (sec)</b>	<b>m<sub>x</sub> (%)</b>	<b>m<sub>y</sub> (%)</b>	<b>Σm<sub>x</sub> (%)</b>	<b>Σm<sub>y</sub> (%)</b>
MODAL	1	0,841722	0,02623	0,4734	0,02623	0,4734
MODAL	2	0,655098	0,67905	0,03205	0,70528	0,50545
MODAL	3	0,540454	0,00672	0,20865	0,71199	0,7141
MODAL	4	0,212175	0,00835	0,10531	0,72034	0,81941
MODAL	5	0,148889	0,17662	0,01634	0,89696	0,83575
MODAL	6	0,116078	0,00736	0,06407	0,90433	0,89982
MODAL	7	0,097186	0,00358	0,03826	0,9079	0,93808
MODAL	8	0,079294	0,00037	0,000006743	0,90827	0,93809
MODAL	9	0,077222	0,000007823	6,015E-07	0,90828	0,93809
MODAL	10	0,074875	0,00009736	0,000001629	0,90838	0,93809
MODAL	11	0,074097	0,00021	0,00004132	0,90858	0,93813
MODAL	12	0,074006	0,00493	0,0003	0,91351	0,93843

Πίνακας 4.8

Σύμφωνα με την §4.3.3.2(1), οι αποκρίσεις σε δύο ιδιομορφές ταλάντωσης  $i$  και  $j$  (που περιλαμβάνουν και μεταφορικές και στρεπτικές ιδιομορφές) μπορεί να ληφθούν ως ανεξάρτητες εφόσον οι περίοδοί τους  $T_i$  και  $T_j$  ικανοποιούν (με  $T_j \leq T_i$ ) την ακόλουθη συνθήκη:  $T_j \leq 0,9 \cdot T_i$ . Με βάση τον παραπάνω πίνακα καταλήγουμε στο γεγονός ότι η συνθήκη αυτή δεν ικανοποιείται για κάποιες από τις ιδιομορφές επομένως, σύμφωνα με την §4.3.3.2(3) θα υιοθετηθούν ακριβέστερες μέθοδοι για το συνδυασμό των ιδιομορφικών μεγίστων, όπως ο "Πλήρης Τετραγωνικός Συνδυασμός".

## 4.3 Έλεγχος περιορισμού βλαβών

### 4.3.1 Γενικά

Σύμφωνα με την §4.4.3.2(1) η «απαίτηση περιορισμού βλαβών» ικανοποιείται εάν η τιμή του λόγου  $d_r/H$ , είναι μικρότερη από ορισμένες τιμές που εξαρτώνται από τη φύση των μη φερόντων στοιχείων και συγκεκριμένα:

- 0.005 για κτήρια με μη-φέροντα στοιχεία από ψαθυρό υλικό συνδεδεμένα με το φορέα,
- 0.075 για κτήρια με πλάστιμα μη-φέροντα στοιχεία και
- 0,010 για κτήρια χωρίς μη-φέροντα στοιχεία ή με μη-φέροντα στοιχεία που δεν επιδρούν στις παραμορφώσεις του φορέα

όπου

- $d_r$  είναι η τιμή σχεδιασμού της σχετικής παραμόρφωσης του ορόφου όπως ορίζεται στην §4.4.2.2(2),
- $H$  είναι το ύψος του ορόφου ( $H=3,5\text{m}$  και για τα δύο κτήρια).
- $\nu$  ο μειωτικός συντελεστής που λαμβάνει υπ' όψη τη μικρότερη περίοδο επαναφοράς της σεισμικής δράσης που αντιστοιχεί στην απαίτηση περιορισμού βλαβών. Για κατηγορία σπουδαιότητας II χρησιμοποιείται η τιμή  $\nu = 0,5$  σύμφωνα με την §4.4.3.2(2).

Για τον υπολογισμό της σχετικής παραμόρφωσης  $d_r$  του κάθε ορόφου χρησιμοποιούνται οι τιμές των μετακινήσεων  $d_s$  της §4.3.4(1), με  $d_s = q_d \cdot d_e$  και συγκεκριμένα:

- $q_d$  είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς μετακίνησης, που λαμβάνεται ίσος με τον  $q$  εκτός αν ορίζεται διαφορετικά
- $d_e$  είναι η μετακίνηση του ίδιου σημείου του στατικού συστήματος, όπως προσδιορίζεται από την γραμμική ανάλυση βασισμένη στο φάσμα απόκρισης σχεδιασμού σύμφωνα με την §3.2.2.5

Στις παρακάτω ενότητες παρουσιάζεται αναλυτικά ο υπολογισμός των σχετικών παραμορφώσεων όλων των ορόφων για τις τρεις κατηγορίες πλαστιμότητας και των δυο κτηρίων, όπως ορίζεται παραπάνω.

### 4.3.2 Έλεγχος περιορισμού βλαβών για το πλαίσιακό κτήριο

Για ΚΙΙΧ:

Όροφος	$d_{eX}$ (m)	$d_{eY}$ (m)	$d_{sX}$ (m)	$d_{sY}$ (m)	$d_{rXv/h}$	$d_{rYv/h}$	Έλεγχος (x)	Έλεγχος (y)
5	0,011	0,020	0,016	0,030	0,0002	0,0006	TRUE	TRUE
4	0,010	0,017	0,014	0,025	0,0004	0,0008	TRUE	TRUE
3	0,008	0,013	0,012	0,020	0,0006	0,0010	TRUE	TRUE
2	0,005	0,008	0,008	0,012	0,0006	0,0011	TRUE	TRUE
1	0,002	0,003	0,003	0,005	0,0005	0,0006	TRUE	TRUE

Για ΚΙΙΜ:

Όροφος	$d_{eX}$ (m)	$d_{eY}$ (m)	$d_{sX}$ (m)	$d_{sY}$ (m)	$d_{rXv/h}$	$d_{rYv/h}$	Έλεγχος (x)	Έλεγχος (y)
5	0,004	0,010	0,016	0,039	0,0002	0,0009	TRUE	TRUE
4	0,004	0,008	0,015	0,032	0,0004	0,0011	TRUE	TRUE
3	0,003	0,006	0,012	0,024	0,0006	0,0013	TRUE	TRUE
2	0,002	0,004	0,008	0,015	0,0006	0,0014	TRUE	TRUE
1	0,001	0,001	0,003	0,005	0,0005	0,0008	TRUE	TRUE

Για ΚΙΙΥ:

Όροφος	$d_{eX}$ (m)	$d_{eY}$ (m)	$d_{sX}$ (m)	$d_{sY}$ (m)	$d_{rXv/h}$	$d_{rYv/h}$	Έλεγχος (x)	Έλεγχος (y)
5	0,003	0,008	0,016	0,046	0,0002	0,0011	TRUE	TRUE
4	0,003	0,007	0,015	0,038	0,0004	0,0014	TRUE	TRUE
3	0,002	0,005	0,012	0,029	0,0006	0,0016	TRUE	TRUE
2	0,001	0,003	0,008	0,017	0,0007	0,0016	TRUE	TRUE
1	0,001	0,001	0,003	0,006	0,0005	0,0009	TRUE	TRUE

Πίνακας 4.9

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς παρατηρούμε ότι, και για τις τρεις κατηγορίες πλαστιμότητας, οι σχετικές παραμορφώσεις των ορόφων του πλαίσιακού κτηρίου έχουν τιμές μικρότερες του 0,005 επομένως ο έλεγχος της ενότητας 4.3.1 ικανοποιείται.

### 4.3.3 Έλεγχος περιορισμού βλαβών για το τοιχωματικό κτήριο

Για ΚΠΧ:

Όροφος	$d_{eX}$ (m)	$d_{eY}$ (m)	$d_{sX}$ (m)	$d_{sY}$ (m)	$d_{rXv/h}$	$d_{rYv/h}$	Έλεγχος x	Έλεγχος y
5	0,008	0,012	0,012	0,018	0,0004	0,0005	TRUE	TRUE
4	0,006	0,009	0,009	0,014	0,0004	0,0006	TRUE	TRUE
3	0,004	0,006	0,006	0,010	0,0004	0,0006	TRUE	TRUE
2	0,002	0,004	0,003	0,005	0,0003	0,0005	TRUE	TRUE
1	0,001	0,001	0,001	0,002	0,0002	0,0003	TRUE	TRUE

Για ΚΠΜ:

Όροφος	$d_{eX}$ (m)	$d_{eY}$ (m)	$d_{sX}$ (m)	$d_{sY}$ (m)	$d_{rXv/h}$	$d_{rYv/h}$	Έλεγχος x	Έλεγχος y
5	0,006	0,009	0,012	0,018	0,0004	0,0006	TRUE	TRUE
4	0,004	0,007	0,009	0,014	0,0004	0,0006	TRUE	TRUE
3	0,003	0,005	0,006	0,010	0,0004	0,0006	TRUE	TRUE
2	0,002	0,003	0,003	0,006	0,0003	0,0005	TRUE	TRUE
1	0,001	0,001	0,001	0,002	0,0002	0,0003	TRUE	TRUE

Για ΚΠΥ:

Όροφος	$d_{eX}$ (m)	$d_{eY}$ (m)	$d_{sX}$ (m)	$d_{sY}$ (m)	$d_{rXv/h}$	$d_{rYv/h}$	Έλεγχος x	Έλεγχος y
5	0,004	0,006	0,013	0,040	0,0005	0,0014	TRUE	TRUE
4	0,003	0,005	0,010	0,030	0,0005	0,0014	TRUE	TRUE
3	0,002	0,003	0,007	0,020	0,0004	0,0013	TRUE	TRUE
2	0,001	0,002	0,004	0,011	0,0004	0,0011	TRUE	TRUE
1	0,000	0,001	0,001	0,003	0,0002	0,0005	TRUE	TRUE

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς παρατηρούμε ότι, και για τις τρεις κατηγορίες πλαστιμότητας, οι σχετικές παραμορφώσεις των ορόφων του τοιχωματικού κτηρίου έχουν τιμές μικρότερες του 0,005 επομένως ο έλεγχος της ενότητας 4.3.1 ικανοποιείται.



## 4.4 Επιρροές 2ας τάξεως

### 4.4.1 Γενικά

Σύμφωνα με την §4.4.2.2(2) οι επιρροές 2ας τάξεως αγνοούνται, στον έλεγχο της συνθήκης αντοχής για την απαίτηση μη-κατάρρευσης, αν ο συντελεστής ευαισθησίας σχετικής μετακίνησης  $\theta$  είναι μικρότερος από 0.10 σε όλους τους ορόφους. Ο συντελεστής  $\theta$  δίνεται απ τον τύπο:

$$\theta = \frac{P_{tot} \cdot d_r}{V_{tot} \cdot h} \leq 0,10 \quad \text{όπου}$$

- $P_{tot}$  είναι το συνολικό φορτίο βαρύτητας που λαμβάνεται υπ' όψη στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού του ορόφου που εξετάζεται και των υπερκείμενων ορόφων
- $d_r$  είναι η τιμή σχεδιασμού της σχετικής οριζόντιας μετακίνησης του κάθε ορόφου
- $V_{tot}$  είναι η συνολική σεισμική τέμνουσα ορόφου και
- $h$  είναι το ύψος ορόφου

Στις ενότητες που ακολουθούν υπολογίζεται λεπτομερώς ο συντελεστής  $\theta$  για όλους τους ορόφους και των δύο κτηρίων και για τις τρεις κατηγορίες πλαστιμότητας. Στους υπολογισμούς το  $P_{tot}$  βασίζεται στα βάρη κάθε ορόφου όπως αναλύθηκαν στην ενότητα 2.1. Η σχετική οριζόντια μετακίνηση  $d_r$  λαμβάνεται από τους Πίνακες 4.11 και 4.12. Η τέμνουσα  $V_{tot}$ , τέλος, προκύπτει από τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης με το φάσμα απόκρισης.

#### 4.4.2 Έλεγχος επιρροών 2ας τάξεως για το πλαίσιακό κτήριο

Για ΚΠΧ:

Όροφος	h (m)	d <sub>rX</sub> (m)	d <sub>rY</sub> (m)	Wi (kN)	Ptot (kN)	Fx (kN)	Fy (kN)	Vtotx (kN)	Vtoty (kN)	θ <sub>x</sub>	θ <sub>y</sub>	Έλεγχος χ	Έλεγχος y
5	3,5	0,0016	0,0042	2313,76	2313,76	923,64	733,36	923,64	733,36	0,0012	0,0015	TRUE	TRUE
4	3,5	0,0029	0,0059	2878,15	5191,91	919,16	729,80	1842,80	1463,17	0,0023	0,0029	TRUE	TRUE
3	3,5	0,0039	0,0073	2878,15	8070,06	689,37	547,35	2532,17	2010,52	0,0036	0,0045	TRUE	TRUE
2	3,5	0,0045	0,0077	2878,15	10948,21	459,58	364,90	2991,75	2375,42	0,0047	0,0059	TRUE	TRUE
1	3,5	0,0032	0,0045	2878,15	13826,36	229,79	182,45	3221,54	2557,87	0,0039	0,0049	TRUE	TRUE

Για ΚΠΜ:

Όροφος	h (m)	d <sub>rX</sub> (m)	d <sub>rY</sub> (m)	Wi (kN)	Ptot (kN)	Fx (kN)	Fy (kN)	Vtotx (kN)	Vtoty (kN)	θ <sub>x</sub>	θ <sub>y</sub>	Έλεγχος χ	Έλεγχος y
5	3,5	0,0016	0,0062	2313,76	2313,76	352,81	281,45	352,81	281,45	0,0031	0,0038	TRUE	TRUE
4	3,5	0,0029	0,0080	2878,15	5191,91	351,09	280,09	703,90	561,54	0,0061	0,0077	TRUE	TRUE
3	3,5	0,0040	0,0094	2878,15	8070,06	263,32	210,06	967,22	771,61	0,0094	0,0118	TRUE	TRUE
2	3,5	0,0045	0,0096	2878,15	10948,21	175,55	140,04	1142,77	911,65	0,0124	0,0156	TRUE	TRUE
1	3,5	0,0032	0,0054	2878,15	13826,36	87,77	70,02	1230,54	981,67	0,0102	0,0128	TRUE	TRUE

Για ΚΠΥ:

Όροφος	h (m)	d <sub>rX</sub> (m)	d <sub>rY</sub> (m)	Wi (kN)	Ptot (kN)	Fx (kN)	Fy (kN)	Vtotx (kN)	Vtoty (kN)	θ <sub>x</sub>	θ <sub>y</sub>	Έλεγχος χ	Έλεγχος y
5	3,5	0,00164	0,00788	2313,76	2313,76	233,88	190,28	233,88	190,28	0,0046	0,0057	TRUE	TRUE
4	3,5	0,00291	0,00977	2878,15	5191,91	232,75	189,35	466,63	379,63	0,0093	0,0114	TRUE	TRUE
3	3,5	0,00398	0,01122	2878,15	8070,06	174,56	142,01	641,19	521,65	0,0143	0,0176	TRUE	TRUE
2	3,5	0,00455	0,01122	2878,15	10948,21	116,37	94,68	757,56	616,32	0,0188	0,0231	TRUE	TRUE
1	3,5	0,00319	0,00612	2878,15	13826,36	58,19	47,34	815,75	663,66	0,0154	0,0190	TRUE	TRUE

### 4.4.3 Έλεγχος επιρροών 2ας τάξεως για το τοιχωματικό κτήριο

Για ΚΠΧ:

Όροφος	h (m)	d <sub>rX</sub> (m)	d <sub>rY</sub> (m)	Wi (kN)	Ptot (kN)	F <sub>x</sub> (kN)	F <sub>y</sub> (kN)	Vtotx (kN)	Vtoty (kN)	θ <sub>x</sub>	θ <sub>y</sub>	Έλεγχος ς x	Έλεγχος ς y
5,00	3,50	0,0028	0,0038	2429,26	2429,26	1279,21	1551,83	1279,21	1551,83	0,001	0,002	TRUE	TRUE
4,00	3,50	0,0029	0,0042	2737,39	5166,65	1153,18	1398,93	2432,39	2950,77	0,002	0,002	TRUE	TRUE
3,00	3,50	0,0028	0,0042	2737,39	7904,04	864,88	1049,20	3297,27	3999,97	0,002	0,002	TRUE	TRUE
2,00	3,50	0,0022	0,0036	2737,39	10641,43	576,59	699,47	3873,86	4699,44	0,002	0,002	TRUE	TRUE
1,00	3,50	0,0011	0,0018	2737,39	13378,82	288,29	349,73	4162,15	5049,17	0,001	0,001	TRUE	TRUE

Για ΚΠΜ:

Όροφος	h (m)	d <sub>rX</sub> (m)	d <sub>rY</sub> (m)	Wi (kN)	Ptot (kN)	F <sub>x</sub> (kN)	F <sub>y</sub> (kN)	Vtotx (kN)	Vtoty (kN)	θ <sub>x</sub>	θ <sub>y</sub>	Έλεγχος x	Έλεγχος y
5,00	3,50	0,0029	0,0040	2429,26	2429,26	905,24	1114,94	905,24	1114,94	0,002	0,003	TRUE	TRUE
4,00	3,50	0,0030	0,0044	2737,39	5166,65	816,05	1005,09	1721,29	2120,03	0,003	0,003	TRUE	TRUE
3,00	3,50	0,0029	0,0044	2737,39	7904,04	612,03	753,82	2333,32	2873,85	0,003	0,003	TRUE	TRUE
2,00	3,50	0,0023	0,0037	2737,39	10641,43	408,02	502,55	2741,34	3376,40	0,003	0,003	TRUE	TRUE
1,00	3,50	0,0011	0,0018	2737,39	13378,82	204,01	251,27	2945,35	3627,67	0,001	0,002	TRUE	TRUE

Για ΚΠΥ:

Όροφος	h (m)	d <sub>rX</sub> (m)	d <sub>rY</sub> (m)	Wi (kN)	Ptot (kN)	F <sub>x</sub> (kN)	F <sub>y</sub> (kN)	Vtotx (kN)	Vtoty (kN)	θ <sub>x</sub>	θ <sub>y</sub>	Έλεγχος x	Έλεγχος y
5,00	3,50	0,0031	0,0044	2429,26	2429,26	821,35	821,35	821,35	821,35	0,003	0,004	TRUE	TRUE
4,00	3,50	0,0032	0,0047	2737,39	5166,65	740,43	740,43	1561,78	1561,78	0,003	0,004	TRUE	TRUE
3,00	3,50	0,0030	0,0047	2737,39	7904,04	555,32	555,32	2117,10	2117,10	0,003	0,005	TRUE	TRUE
2,00	3,50	0,0024	0,0039	2737,39	10641,43	370,21	370,21	2487,31	2487,31	0,003	0,005	TRUE	TRUE
1,00	3,50	0,0011	0,0019	2737,39	13378,82	185,11	185,11	2672,42	2672,42	0,002	0,003	TRUE	TRUE

## 5 Διαστασιολόγηση

### 5.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια πλήρης διαστασιολόγηση ενός πλαισίου της επιλογής μας τόσο στο πλαισιακό όσο και στο τοιχωματικό κτήριο για τις τρεις διαφορετικές κατηγορίες πλαστιμότητας (ΚΠΧ, ΚΠΜ, ΚΠΥ). Συγκεκριμένα θα γίνει η διαστασιολόγηση του πλαισίου 1, το επίπεδο του οποίου αναπτύσσεται κατά τον άξονα  $y$  στη θέση  $x=0m$  και στα δύο κτήρια. Το πλαίσιο αυτό αποτελείται από δέκα δοκούς και δεκαπέντε υποστυλώματα στο πλαισιακό κτήριο, ενώ στο τοιχωματικό από πέντε δοκούς, πέντε υποστυλώματα αλλά και ένα τοίχωμα σε όλο το ύψος του. Θα γίνει ο υπολογισμός των διαμήκων και των εγκάρσιων οπλισμών τόσο των δοκών όσο και των υποστυλωμάτων του πλαισίου, θα οπλισθεί το τοίχωμα της τοιχωματικής κατασκευής ενώ θα παρουσιασθούν όλες οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες των παραπάνω οπλισμών.

### 5.2 Επικαλύψεις

Η επικάλυψη των οπλισμών, σύμφωνα με την §4.4.1.1(1) του ΕΚ-2, είναι η απόσταση μεταξύ της επιφάνειας του οπλισμού εγγύτερα στην πλησιέστερη επιφάνεια του σκυροδέματος (συμπεριλαμβανομένων συνδέσμων, συνδετήρων και επιφανειακού οπλισμού, όπου απαιτείται) και της πλησιέστερης επιφάνειας σκυροδέματος. Ισούται με:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 35mm \text{ σύμφωνα με την §4.4.1.1(2) του ΕΚ-2 όπου}$$

- $c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 mm\} = 25mm$  σύμφωνα με τη σχέση 4.2 της §4.4.1.2(2) τον πίνακα 4.4N του ΕΚ-2 και
- $\Delta c_{dev} = 10mm$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με την §4.4.1.3(2) του ΕΚ-2.

### 5.3 Διαστασιολόγηση για κατηγορία πλαστιμότητας χαμηλή (ΚΠΧ)

Η διαστασιολόγηση για την χαμηλή κατηγορία πλαστιμότητας (ΚΠΧ) σύμφωνα με την §5.3.1(1) συνιστάται μόνον σε περιπτώσεις χαμηλής σεισμικότητας και πραγματοποιείται κατά το EN1992-1-1:2004 (ΕΚ-2) χωρίς καμία πρόσθετη απαίτηση εκτός αυτών της §5.3.2. Σύμφωνα όμως με το εθνικό προσάρτημα (5.2.1(5)), στη χώρα μας δεν επιτρέπεται η επιλογή χαμηλής κατηγορίας πλαστιμότητας. Ωστόσο, για τον εμπλουτισμό της παρούσης εργασίας, θα προχωρήσουμε στη διαστασιολόγηση και για αυτή την κατηγορία πλαστιμότητας. Σύμφωνα με την §5.3.2 σε κύρια σεισμικά στοιχεία χρησιμοποιείται χάλυβας οπλισμού κατηγορίας Β ή C, απαίτηση η οποία ικανοποιείται αφού έχουμε επιλέξει οπλισμό Β500c από τον πίνακα C.1 του ΕΚ-2.

#### 5.3.1 Διαστασιολόγηση δοκών

##### 5.3.1.1 Διαστασιολόγηση έναντι κάμψης σε ΟΚΑ

Η διαδικασία της διαστασιολόγησης των δοκών του πλαισίου 1 σε κάμψη για την οριακή κατάσταση αστοχίας και για τα δύο κτήρια αποτελείται από τα εξής βήματα:

1. Υπολογισμός εντατικών μεγεθών:

Τα εντατικά μεγέθη με βάση τα οποία θα διαστασιολογήσουμε κάθε δοκό στην ενότητα αυτή προκύπτουν από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης που έγινε στην ενότητα 4.2 της παρούσης. Επιλέγεται η μέθοδος αυτή έναντι της μεθόδου ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης λόγω μεγαλύτερης ακρίβειας αποτελεσμάτων. Η διαστασιολόγηση των δοκών του πλαισίου έναντι κάμψης θα γίνει με βάση τις τιμές της ροπής που προκύπτουν από τις περιβάλλουσες των ροπών κάμψης που καταπονούν τις δοκούς τόσο του πλαισιακού όσο και του τοιχωματικού κτηρίου. Η περιβάλλουσα των ροπών κάμψης είναι ιδιαίτερα χρήσιμη διότι μας δείχνει, σε κάθε σημείο της δοκού, τη μέγιστη ροπή που μπορεί να εμφανιστεί λόγω του συνόλου των σεισμικών συνδυασμών. Στο παράρτημα (σχήματα Π.5.Α.1 και Π.5.Α.2) παρουσιάζονται οι περιβάλλουσες των ροπών κάμψης των δοκών του πλαισίου 1 τόσο του πλαισιακού όσο και του τοιχωματικού κτηρίου.

2. Υπολογισμός του συνεργαζόμενου πλάτους:

Το συνεργαζόμενο πλάτος  $b_{eff}$  κάθε δοκού το οποίο χρησιμοποιείται στους παρακάτω υπολογισμούς, έχει υπολογισθεί αναλυτικά στην ενότητα 3.2 της παρούσης.

3. Υπολογισμός στατικού ύψους:  $d = h - c_{nom} - \varphi_w - \varphi_l / 2$  όπου:

- $h$  το συνολικό ύψος της δοκού το οποίο είναι δεδομένο
- $c_{nom}$  η επικάλυψη των οπλισμών όπως υπολογίστηκε παραπάνω
- $\varphi_w$  η διάμετρος των χρησιμοποιούμενων εγκάρσιων συνδετήρων
- $\varphi_l$  η διάμετρος των χρησιμοποιούμενων διαμήκων ράβδων οπλισμού.

4. Υπολογισμός ανηγμένης ροπής και αξονικής σχεδιασμού:

Η ανηγμένη ροπή σχεδιασμού είναι ίση με:  $\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$

και η ανηγμένη αξονική σχεδιασμού είναι ίση με:  $\nu_{Ed} = \frac{N_{Eds}}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$  όπου:

- $M_{Eds}$  και  $N_{Eds}$  η δρώσα ροπή και αξονική σχεδιασμού αντίστοιχα όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (1)
- $b = b_{eff}$  για λειτουργία πλακοδοκού και  $b = b_w$  για λειτουργία δοκού
- $d$  το στατικό ύψος της δοκού όπως υπολογίστηκε παραπάνω
- $f_{cd}$  η αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος που στην περίπτωσή μας είναι ίση με  $f_{cd} = 25 / 1,5 = 14,17 MPa$  για σκυρόδεμα C25/30.

5. Υπολογισμός γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού:  $\omega_1 = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{Eds}}) + \nu_{Ed}$

6. Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού:  $A_{s1} = \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$  όπου

$f_{yd} = 500 / 1,15 = 434,78 MPa$  το όριο διαρροής σχεδιασμού για χάλυβα οπλισμού B500c

7. Υπολογισμός ελάχιστου απαιτούμενου οπλισμού:

$$A_{s\min} = \max \left\{ 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d; 0,0013 \cdot b_t \cdot d \right\} \text{ όπου:}$$

- $f_{ctm}$  η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος, που στην περίπτωση μας είναι ίση με  $f_{ctm} = 2,6MPa$  για ποιότητα σκυροδέματος C25/30 όπως ορίζεται στον πίνακα 3.1 της §3.1.2 του ΕΚ-2
  - $f_{yk}$  το όριο διαρροής του χάλυβα, το οποίο στην περίπτωση μας είναι ίσο με  $f_{yk} = 500MPa$
  - $b_t$  το μέσο πλάτος της εφελκυστικής ζώνης. Για πλακοδοκό με θλιβόμενο το πέλμα της πλάκας, μόνο το πλάτος του κορμού θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της τιμής του  $b_t$ .
8. Σύγκριση απαιτούμενου οπλισμού με τον ελάχιστο απαιτούμενο. Σε περίπτωση που ο υπολογιζόμενος απαιτούμενος οπλισμός είναι μικρότερος του ελαχίστου τοποθετείται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός.
9. Επιλογή συνολικού τοποθετούμενου οπλισμού. Η τοποθέτηση του οπλισμού γίνεται με τη μορφή στρώσεων ράβδων συγκεκριμένης διαμέτρου, όχι μικρότερης των 8mm, έτσι ώστε το συνολικό εμβαδόν αυτού να υπερβαίνει την παραπάνω απαιτούμενη ποσότητα αλλά όχι τη μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα οπλισμού. Η μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα οπλισμού σε μία διατομή είναι ίση με  $A_{s\max} = 0,04 \cdot b \cdot h$  σύμφωνα με την §9.2.1.1(3).

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν δύο παραδείγματα, ένα για το πλαίσιακό κτήριο και ένα για το τοιχωματικό, στα οποία θα γίνει αναλυτική διαστασιολόγηση δύο δοκών με βάση τα παραπάνω βήματα. Με τον ίδιο τρόπο θα γίνει η διαστασιολόγηση και των υπολοίπων δοκών και των δύο κτηρίων η οποία παρουσιάζεται στο παράρτημα με τη μορφή πινάκων (πίνακες Π.5.Β.1 και Π.5.Β.2).

### 5.3.1.1.1 Παράδειγμα διαστασιολόγησης δοκού πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης στην ΟΚΑ

Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί η δοκός Β-17Α του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτή των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα διαστασιολόγησης της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Υπολογισμός των εντατικών μεγεθών: Για τη διαστασιολόγηση της δοκού είναι απαραίτητες οι μέγιστες θετικές και οι μέγιστες αρνητικές τιμές της ροπής κάμψης ( $M_{Ed}$ ), τόσο στο άνοιγμα της δοκού όσο και στις στηρίξεις αυτής, λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών. Επίσης, πρέπει να γνωρίζουμε και την αξονική δύναμη σχεδιασμού που καταπονεί τη δοκό. Στη δοκό του παραδείγματός μας επομένως, σύμφωνα με το σχήμα Π.5.Α.1, λαμβάνουμε τις εξής μέγιστες τιμές:
  - Μέγιστη θετική ροπή:  $\max M = 167,142KNm$  και
  - Μέγιστη αρνητική ροπή:  $\min M = -228,5776KNm$
  - Μέγιστη αξονική δύναμη:  $\max N = 0 KN$

2. Υπολογισμός του συνεργαζόμενου πλάτους: Το συνεργαζόμενο πλάτος της δοκού, όπως υπολογίστηκε στην ενότητα 3.2 της εργασίας μας είναι ίσο με:  $b_{eff} = 0,84m$
3. Υπολογισμός στατικού ύψους: Το στατικό ύψος της δοκού είναι ίσο με:  $d = h - c_{nom} - \varphi_w - \varphi_l / 2 = 600 - 35 - 8 - 12 / 2 = 551,00mm \approx 0,55m$
4. Υπολογισμός ανηγμένης ροπής και αξονικής σχεδιασμού:

Για τη μέγιστη θετική ροπή ( $\max M = 165,6932KNm$ ) και τη μέγιστη αρνητική ροπή ( $\min M = -228,5776KNm$ ) αντίστοιχα έχουμε:

$$- \mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{167,142 \cdot 100}{84 \cdot 55^2 \cdot 1,417} = 0,0464$$

$$- \mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{228,5776 \cdot 100}{30 \cdot 55^2 \cdot 1,417} = 0,1778$$

Λόγω μηδενικής αξονικής δύναμης ( $N_{Ed} = 0 KN$ ) έχουμε  $v_{Eds} = 0$

5. Υπολογισμός γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού: Το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για τη δοκό του παραδείγματός μας κάτω και πάνω αντίστοιχα υπολογίζεται ως εξής:

$$- \omega_1 = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{Eds}}) + v_{Ed} = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,0464}) + 0 = 0,0476$$

$$- \omega_1 = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{Eds}}) + v_{Ed} = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,1778}) + 0 = 0,1972$$

6. Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού: Ο απαιτούμενος οπλισμός της δοκού κάτω και πάνω αντίστοιχα υπολογίζεται ως εξής:

$$- A_{s \text{ κάτω}} = \omega_1 \cdot b_{eff} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0476 \cdot 84 \cdot 55 \cdot \frac{1,417}{43,478} = 7,16 \text{ cm}^2$$

$$- A_{s \text{ πάνω}} = \omega_1 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,1972 \cdot 30 \cdot 55 \cdot \frac{1,417}{43,478} = 10,6 \text{ cm}^2$$

7. Υπολογισμός ελάχιστου απαιτούμενου οπλισμού:

$$A_{s \text{ min}} = \max \left\{ 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 30 \cdot 55 ; 0,0013 \cdot 30 \cdot 55 \right\} = 2,23 \text{ cm}^2$$

8. Σύγκριση απαιτούμενου οπλισμού με τον ελάχιστο απαιτούμενο: Παρατηρούμε ότι και για τις δύο υπολογιζόμενες ποσότητες οπλισμών (πάνω και κάτω) ισχύει:

$$- A_{s \text{ κάτω}} \geq A_{s \text{ min}} \text{ και}$$

$$- A_{s \text{ πάνω}} \geq A_{s \text{ min}}$$

Αυτό σημαίνει ότι η τελική τοποθετούμενη ποσότητα οπλισμού, τόσο πάνω όσο και κάτω στη δοκό είναι η υπολογιζόμενη.

9. Επιλογή συνολικού τοποθετούμενου οπλισμού: Στη δοκό του παραδείγματός μας επομένως τοποθετούμε τις εξής στάθμες οπλισμών, έτσι ώστε να καλύπτουν τις απαιτούμενες ποσότητες που υπολογίσαμε στο προηγούμενο βήμα:

- Τοποθετούμε στη δοκό κάτω τέσσερις ράβδους διαμέτρου  $16\text{ mm}$  ( $4\Phi 16$ ) με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 8,04\text{ cm}^2$ .
- Τοποθετούμε στη δοκό πάνω έξι ράβδους διαμέτρου  $16\text{ mm}$  ( $6\Phi 16$ ) με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 12,06\text{ cm}^2$ .

Τέλος ελέγχουμε εάν κάποια από τις παραπάνω ποσότητες οπλισμών ξεπερνά τη μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα οπλισμού η οποία ισούται με:  $A_{s\max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 30 \cdot 60 = 72\text{ cm}^2$ . Πράγματι καμία από τις δύο αυτές ποσότητες οπλισμών δεν ξεπερνά τη μέγιστη επιτρεπόμενη επομένως ικανοποιείται και ο τελευταίος έλεγχος και η διαστασιολόγηση τελειώνει εδώ.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες της παραπάνω δοκού εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.1 του επόμενου κεφαλαίου.

### 5.3.1.1.2 Παράδειγμα διαστασιολόγησης δοκού τοιχωματικού κτηρίου έναντι κάμψης στην ΟΚΑ

Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί η δοκός B-14D του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτή των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα διαστασιολόγησης της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Υπολογισμός των εντατικών μεγεθών: Για τη διαστασιολόγηση της δοκού είναι απαραίτητες οι μέγιστες θετικές και οι μέγιστες αρνητικές τιμές της ροπής κάμψης ( $M_{Ed}$ ), τόσο στο άνοιγμα της δοκού όσο και στις στηρίξεις αυτής, λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών. Στη δοκό του παραδείγματός μας επομένως, σύμφωνα και με το σχήμα Π.5.Α.2, λαμβάνουμε τις εξής μέγιστες τιμές:

- Αριστερή στήριξη:  $M_{Ed,1} = -76,02\text{ kNm}$

- Μέσο δοκού:  $M_{Ed,2} = 83,01\text{ kNm}$

- Δεξιά στήριξη:  $M_{Ed,3} = -139,07\text{ kNm}$

2. Υπολογισμός του συνεργαζόμενου πλάτους: Το συνεργαζόμενο πλάτος της δοκού, όπως υπολογίστηκε στην ενότητα 3.2 της εργασίας μας είναι ίσο με:  $b_{eff} = 1,08\text{ m}$

3. Υπολογισμός στατικού ύψους: Το στατικό ύψος της δοκού είναι ίσο με:  $d = h - c_{nom} - \varphi_w - \varphi_t / 2 = 600 - 35 - 8 - 12 / 2 = 551,00\text{ mm} \approx 0,55\text{ m}$

4. Υπολογισμός ανηγμένης ροπής και αξονικής σχεδιασμού:

- Αριστερή στήριξη:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{-76,02\text{ kNm}}{0,3\text{ m} \cdot 0,55^2\text{ m}^2 \cdot 0,85 \cdot 25000\text{ kPa} / 1,5} = 0,0591$$

- Μέσο δοκού:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{83,01\text{ kNm}}{0,3\text{ m} \cdot 1,08^2\text{ m}^2 \cdot 0,85 \cdot 25000\text{ kPa} / 1,5} = 0,0179$$

- Δεξιά στήριξη:



$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{-139,07kNm}{0,3m \cdot 0,55^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,1082$$

5. Υπολογισμός γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού: Το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για τη δοκό του παραδείγματός μας κάτω και πάνω αντίστοιχα υπολογίζεται ως εξής:

- Αριστερή στήριξη:

$$\omega_1 = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{Eds}}) = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,0591}) = 0,0610$$

- Μέσο δοκού:

$$\omega_2 = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{Eds}}) = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,0179}) = 0,0181$$

- Δεξιά στήριξη:

$$\omega_3 = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{Eds}}) = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,1082}) = 0,1148$$

6. Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού: Ο απαιτούμενος οπλισμός της δοκού κάτω και πάνω αντίστοιχα υπολογίζεται ως εξής:

- Αριστερή στήριξη:

$$A_{s_1 \text{ πάνω}} = \omega_1 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,061 \cdot 30 \cdot 55 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} = 3,28 \text{ cm}^2$$

- Μέσο δοκού:

$$A_{s_2 \text{ κάτω}} = \omega_1 \cdot b_{\text{eff}} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0181 \cdot 108 \cdot 55 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} = 3,5 \text{ cm}^2$$

- Δεξιά στήριξη:

$$A_{s_3 \text{ πάνω}} = \omega_1 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,1148 \cdot 30 \cdot 55 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} = 6,17 \text{ cm}^2$$

7. Υπολογισμός ελάχιστου απαιτούμενου οπλισμού:

$$A_{s_3 \text{ min}} = \max \left\{ 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 30 \cdot 55 ; 0,0013 \cdot 30 \cdot 55 \right\} = 2,23 \text{ cm}^2$$

8. Σύγκριση απαιτούμενου οπλισμού με τον ελάχιστο απαιτούμενο: Παρατηρούμε ότι και για τις δύο υπολογιζόμενες ποσότητες οπλισμών (πάνω και κάτω) ισχύει:

$$- A_{s_1 \text{ πάνω}} \geq A_{s \text{ min}}$$

$$- A_{s_2 \text{ κάτω}} \geq A_{s \text{ min}}$$

$$- A_{s_3 \text{ πάνω}} \geq A_{s \text{ min}}$$

Συνεπώς η τελική τοποθετούμενη ποσότητα οπλισμού και στις τρεις θέσεις της δοκού είναι η υπολογιζόμενη.

9. Επιλογή συνολικού τοποθετούμενου οπλισμού: Στη δοκό του παραδείγματός μας επομένως τοποθετούμε τις εξής στάθμες οπλισμών, έτσι ώστε να καλύπτουν τις απαιτούμενες ποσότητες που υπολογίσαμε στο προηγούμενο βήμα:

- Αριστερή στήριξη:

Τοποθετούμε στη δοκό πάνω τρεις ράβδους διαμέτρου 14 mm (3Φ14) με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$ .

- Μέσο δοκού:  
Τοποθετούμε στη δοκό κάτω τέσσερις ράβδους διαμέτρου  $14 \text{ mm}$  ( $3\Phi 14$ ) με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$ .
- Δεξιά στήριξη:  
Τοποθετούμε στη δοκό πάνω έξι ράβδους διαμέτρου  $14 \text{ mm}$  ( $5\Phi 14$ ) με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 7,70 \text{ cm}^2$ .

Τέλος ελέγχουμε εάν κάποια από τις παραπάνω ποσότητες οπλισμών ξεπερνά τη μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα οπλισμού η οποία ισούται με:  $A_{s\max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 30 \cdot 60 = 72 \text{ cm}^2$ . Πράγματι καμία από τις ποσότητες οπλισμών στις τρεις θέσεις της δοκού δεν ξεπερνά τη μέγιστη επιτρεπόμενη επομένως ικανοποιείται και ο τελευταίος έλεγχος και η διαστασιολόγηση τελειώνει εδώ.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες της παραπάνω δοκού εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.2 του επόμενου κεφαλαίου.

### 5.3.1.2 Διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης σε ΟΚΑ

Η διαδικασία της διαστασιολόγησης των δοκών του πλαισίου 1 έναντι διάτμησης για την οριακή κατάσταση αστοχίας και για τα δύο κτήρια αποτελείται από τα εξής βήματα:

#### 1. Υπολογισμός εντατικών μεγεθών:

Όπως και στον έλεγχο έναντι κάμψης, έτσι και στον έλεγχο έναντι διάτμησης τα εντατικά μεγέθη με βάση τα οποία θα διαστασιολογήσουμε κάθε δοκό του πλαισίου προκύπτουν από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης που έγινε στην ενότητα 4.2 της παρούσης. Στα σχήματα Π.5.Α.3 και Π.5.Α.4 του παραρτήματος παρουσιάζονται αναλυτικά οι τέμνουσες δυνάμεις σχεδιασμού  $V_{Eds}$  των δοκών του πλαισίου 1 και των δύο κτηρίων για τους δυσμενέστερους σεισμικούς συνδυασμούς. Απαραίτητες, για τον έλεγχο κάθε δοκού, είναι οι τιμές της τέμνουσας στη θέση της στήριξης ( $V_{Ed}$ ), στην παρειά της στήριξης ( $V_{Ed(x=0)}$ ) και σε απόσταση  $x = d$  από την παρειά της στήριξης ( $V_{Ed(x=d)}$ ).

#### 2. Υπολογισμός της αντοχής σχεδιασμού σε τέμνουσα στοιχείων χωρίς οπλισμό διάτμησης (κατά τη ρηγμάτωση):

$V_{Rd,c} = \max \{ [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d; (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \}$  σύμφωνα με την §6.2.2.(1) όπου:

- $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το Εθνικό προσάρτημα
- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$  όπου  $d(\text{mm})$  το στατικό ύψος της δοκού όπως έχει ήδη υπολογιστεί
- $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0,02$  το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού όπου  $A_{sl}$  το εμβαδόν του εφελκυόμενου οπλισμού της διατομής

- $f_{ck}$  η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, η οποία στην περίπτωση μας ισούται με 25MPa
- $k_1 = 0,15$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα
- $\sigma_{cp} = N_{Eds} / A_c < 0,2f_{cd}$  [MPa] όπου  $N_{Eds}$  η αξονική σχεδιασμού που καταπονεί τη δοκό, όπως υπολογίστηκε στο βήμα (1).
- $b_w$  το πλάτος της διατομής της δοκού
- $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$  όπου  $k$  και  $f_{ck}$  αναφέρονται παραπάνω.

Στο τέλος του βήματος (2) γίνεται σύγκριση της  $V_{Rd,c}$  με την  $V_{ed,x=0}$ . Αν  $V_{Rd,c} \geq V_{ed,x=0}$  τότε το στοιχείο δεν χρειάζεται οπλισμό διάτμησης, τοποθετείται ο ελάχιστος απαιτούμενος όπως υπολογίζεται στο βήμα (5), και ο έλεγχος τελειώνει. Αν  $V_{Rd,c} < V_{ed,x=0}$  τότε το στοιχείο χρειάζεται οπλισμό διάτμησης και συνεχίζουμε με το βήμα (3).

3. Υπολογισμός της τιμής της γωνίας  $\theta$  του προσομοιώματος των θλιπτήρων σκυροδεματος σύμφωνα με την §6.2.3(1):

Η τιμή της γωνίας  $\theta$  μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο  $\cot \theta_\alpha = (1,2 - 1,4 \cdot \sigma_{cp} / f_{cd}) / (1 - V_{Rd,c} / V_{Ed(x=d)})$  όπου:

- $\sigma_{cp}$  υπολογίστηκε στο βήμα (2)
- $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος
- $V_{Rd,c}$  η αντοχή σχεδιασμού σε τέμνουσα στοιχείων χωρίς οπλισμό διάτμησης όπως υπολογίστηκε στο βήμα (2)
- $V_{Ed(x=d)}$  η τέμνουσα σχεδιασμού σε απόσταση  $x = d$  από την παρειά της δοκού όπως υπολογίστηκε στο βήμα (1).

$$\theta_\alpha = \arctan\left(\frac{1}{\cot \theta_\alpha}\right) \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$\theta = \max(\theta_\alpha; 21,8^\circ) \text{ όπου } \theta \leq 45^\circ$$

4. Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της μέγιστης τέμνουσας που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο, όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων, σύμφωνα με την §6.2.3(3).

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta) \text{ ή}$$

$$V_{Rd,max} = 0,18 \cdot \left[1 - \left(\frac{f_{ck}}{250}\right)\right] \cdot f_{ck} \cdot \sin 2\theta \cdot b_w \cdot d \text{ όπου:}$$

- $\alpha_{cw} = 1$  ένας συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την εντατική κατάσταση στη θλιβόμενη διαγώνιο, η συνιστώμενη τιμή του οποίου δίνεται στο Εθνικό προσάρτημα,

- $z$  ο μοχλοβραχίονας της διατομής σε ένα στοιχείο σταθερού ύψους, ο οποίος αντιστοιχεί στην καμπτική ροπή που δρα στο στοιχείο. Στο σχεδιασμό έναντι διάτμησης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος χωρίς αξονικό φορτίο, μπορεί να ληφθεί για το μοχλοβραχίονα η προσεγγιστική τιμή  $z = 0,9d$ .
- $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος
- $\nu_1$  ένας δείκτης μείωσης της αντοχής για σκυρόδεμα ρηγματωμένο λόγω διάτμησης, η συνιστώμενη τιμή του οποίου είναι ίση με  $\nu = 0,6 \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$

Στο τέλος του βήματος (4) γίνεται σύγκριση της  $V_{Rd,max}$  με την  $V_{ed,x=0}$ . Αν  $V_{Rd,max} \leq V_{ed,x=0}$  οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος δεν επαρκούν, επιβάλλεται αλλαγή διατομής και ο έλεγχος ξεκινά από την αρχή. Αν  $V_{Rd,max} \geq V_{ed,x=0}$  οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος επαρκούν και ακολουθεί το βήμα (5).

5. Εύρεση του ελάχιστου οπλισμού διάτμησης. Ορίζεται στο εθνικό προσάρτημα της §9.2.2(5) ως εξής:

$$\frac{A_{sw}}{s} \min = \rho_{w,min} \cdot b_w \quad \text{όπου} \quad \rho_{w,min} = (0,08 \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk}$$

Ο ελάχιστος οπλισμός τοποθετείται σε απόσταση  $x$  εκατέρωθεν του μέσου της δοκού έως το σημείο όπου  $V_{Ed} = V_{Rdmin}$ .

6. Υπολογισμός του απαιτούμενου οπλισμού  $A_{sw}/s$  σε απόσταση  $d$  από την παρειά του υποστυλώματος, λύνοντας τον τύπο του  $V_{Rd,s}$  που δίνεται από την §6.2.3(3) και όπου  $V_{Rd,s} = V_{ed,x=d}$ . Σύμφωνα με αυτήν:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{ed,x=d}}{z f_{ywd} \cot \theta} \quad \text{όπου} \quad f_{ywd} \text{ είναι η τάση διαρροής των συνδετήρων και } z = 0,9d$$

σύμφωνα με την 6.2.3(1)

Ο οπλισμός  $A_{sw}$  τοποθετείται σε απόσταση  $s$  στα διαστήματα  $l - x$  εκατέρωθεν των παρειών του υποστυλώματος.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν δύο παραδείγματα, ένα για το πλαίσιακό κτήριο και ένα για το τοιχωματικό, στα οποία θα γίνει αναλυτική διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης δύο δοκών με βάση τα παραπάνω βήματα. Με τον ίδιο τρόπο θα γίνει η διαστασιολόγηση και των υπολοίπων δοκών και των δύο κτηρίων η οποία παρουσιάζεται στο παράρτημα με τη μορφή πινάκων (πίνακες Π.5.Β.3 και Π.5.Β.4).

### 5.3.1.2.1 Παράδειγμα διαστασιολόγησης δοκού πλαίσιακού κτηρίου έναντι διάτμησης σε ΟΚΑ

Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί η δοκός B17-A του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτή των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα διαστασιολόγησης της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Υπολογισμός εντατικών μεγεθών:

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 5.3.1.2 για την διαστασιολόγηση της δοκού έναντι διάτμησης απαραίτητες είναι οι τιμές της τέμνουσας στη θέση της στήριξης ( $V_{Ed}$ ), στην παρειά της στήριξης ( $V_{Ed(x=0)}$ ) και σε απόσταση  $x=d$  από την παρειά της στήριξης ( $V_{Ed(x=d)}$ ). Επίσης, πρέπει να γνωρίζουμε και την αξονική δύναμη σχεδιασμού που καταπονεί τη δοκό. Στη δοκό του παραδείγματός μας, όπως φαίνεται και στο σχήμα Π.5.Α.3, λαμβάνουμε τις εξής μέγιστες τιμές:

- $N_{Ed} = 0 \text{ kN}$
- $V_{Ed} = 167,426 \text{ kN}$
- $V_{Ed(x=0)} = 162,818 \text{ kN}$
- $V_{Ed(x=d)} = 151,627 \text{ kN}$

2. Υπολογισμός της αντοχής σχεδιασμού σε τέμνουσα στοιχείων χωρίς οπλισμό διάτμησης (κατά τη ρηγμάτωση):

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d; (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\}$$

σύμφωνα με την §6.2.2.(1) όπου:

- $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$
- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{550}} = 1,603 \leq 2,0$  όπου  $d(mm)$  το στατικό ύψος της δοκού όπως έχει ήδη υπολογιστεί.
- $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{8,04 \text{ cm}^2}{30 \text{ cm} \cdot 55 \text{ cm}} = 0,00487 \leq 0,02$  το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού όπου  $A_{sl}$  το εμβαδόν του εφελκόμενου οπλισμού της διατομής.
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$  η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος,
- $k_1 = 0,15$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα
- $\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0$
- $b_w = 300 \text{ mm}$  το πλάτος της διατομής της δοκού
- $d = 550 \text{ mm}$  το στατικό ύψος της δοκού
- $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,603^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0,3552$  όπου  $k$  και  $f_{ck}$  αναφέρονται παραπάνω.

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d; (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\}$$

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ [0,12 \cdot 1,603 \cdot (100 \cdot 0,00487 \cdot 25)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 300 \cdot 550; (0,3552 + 0,15 \cdot 0) \cdot 300 \cdot 550 \right\}$$

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ 73031 \text{ N}; 58608 \text{ N} \right\} \Rightarrow V_{Rd,c} = 70,031 \text{ kN}$$

$$\text{Έλεγχος: } V_{Rd,c} = 70,031 \text{ kN} < V_{Ed(x=0)} = 162,82 \text{ kN}$$

Συμπέρασμα: Η δοκός πρέπει να διαστασιολογηθεί λεπτομερώς έναντι διάτμησης.

3. Υπολογισμός της τιμής της γωνίας  $\theta$  του προσομοιώματος των θλιπτήρων σκυροδέματος σύμφωνα με την §6.2.3(1):

Η τιμή της γωνίας  $\theta$  μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο  $\cot \theta_\alpha = (1,2 - 1,4 \cdot \sigma_{cp} / f_{cd}) / (1 - V_{Rd,c} / V_{Ed(x=d)})$  όπου:

- $\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0$
- $f_{cd} = 0,85 \cdot f_{ck} / 1,5 = 0,85 \cdot 25 / 1,5 = 14,17 \text{ MPa}$
- $V_{Rd,c} = 70,031 \text{ kN}$
- $V_{Ed(x=d)} = 151,63 \text{ kN}$

$$\cot \theta_\alpha = (1,2 - 1,4 \cdot 0 / 14,17) / (1 - 70,031 / 151,63) = 2,32$$

$$\theta_\alpha = \arctan\left(\frac{1}{\cot \theta_\alpha}\right) \cdot \frac{180}{\pi} = 23,36^\circ$$

$$\theta = \max(\theta_\alpha; 21,8^\circ) = \max(23,36^\circ; 21,8^\circ) = 23,36^\circ$$

4. Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της μέγιστης τέμνουσας που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο, όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων, σύμφωνα με την §6.2.3(3).

$$V_{Rd,max} = 0,18 \cdot \left[1 - \left(\frac{f_{ck}}{250}\right)\right] \cdot f_{ck} \cdot \sin(2\theta) \cdot b_w \cdot d = 0,18 \cdot \left[1 - \left(\frac{25}{250}\right)\right] \cdot 25 \cdot \sin\left(2 \cdot 23,36 \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot 300 \cdot 500$$

$$V_{Rd,max} = 486530 \text{ N} = 486,53 \text{ kN}$$

$$\text{Έλεγχος: } V_{Rd,max} = 486,53 \text{ kN} > V_{Ed(x=0)} = 162,82 \text{ kN}$$

Συμπέρασμα: Οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος επαρκούν, συνεπώς δεν χρειάζεται αλλαγή διατομής.

\*Σημείωση: Η  $V_{Rd,max}$  θα μπορούσε να υπολογιστεί για  $\theta=45^\circ$  το οποίο δίνει ευμενέστερα αποτελέσματα.

5. Εύρεση του ελάχιστου οπλισμού διάτμησης. Ορίζεται στο εθνικό προσάρτημα της §9.2.2(5) ως εξής:

$$\frac{A_{sw}}{s} \min = \rho_{w,\min} \cdot b_w = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \cdot b_w = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{25}}{500} \cdot 550 = 0,24 \text{ mm} = 0,24 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} \min = 0,24 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}} = 0,24 \frac{10^{-2} \text{ cm}^2}{10^{-3} \text{ m}} = 2,4 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Επιλέγω να τοποθετήσω συνδετήρες φ8 με  $A_{sw} = 2 \cdot \pi \cdot 0,8^2 / 4 = 1,01 \text{ cm}^2$

$$\text{σε απόσταση: } s = \frac{A_{sw}}{2,4} = \frac{1,01}{2,4} m = 0,4189m = 41,9cm > s_{\max} = 0,75d = 41,25cm$$

Τελικά τοποθετώ  $\Phi 8/41cm$  οι οποίοι δίνουν αντοχή:

$$V_{Rd\min} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = \frac{1,01 \cdot 100mm^2}{41 \cdot 10mm} \cdot 0,9 \cdot 550 \cdot \frac{500}{1,15} \cdot \cot 21,8 = 131930N = 131,93kN$$

$$\text{Έλεγχος: } V_{Rd\min} = 131,93kN < V_{Ed(x=d)} = 151,63 kN$$

Συμπέρασμα: Η αντοχή του ελάχιστου οπλισμού διάτμησης δεν καλύπτει τη δρώσα τέμνουσα σε όλο το μήκος της δοκού. Συνεπώς τοποθετείται ο ελάχιστος οπλισμός μόνο στο τμήμα της δοκού για το οποίο ισχύει  $V_{Rd\min} \geq V_{Ed}$ . Το τμήμα της δοκού αυτό, στο οποίο επαρκεί ο ελάχιστος οπλισμός, υπολογίζεται ως εξής:

$$x = \frac{V_{Rd\min}}{V_{Ed\ x=0} \cdot (l_{\text{παρ}} / 2)} = \frac{131,93}{162,82 / (2,70 / 2)} = 1,09 m$$

Επομένως ο ελάχιστος οπλισμός επαρκεί για μήκος  $x = 1,09m$  εκατέρωθεν του μέσου της δοκού. Στο υπόλοιπο τμήμα της δοκού, κοντά στις παρειές δηλαδή, πυκνώνουμε τους συνδετήρες με τον ακόλουθο τρόπο.

6. Υπολογισμός του απαιτούμενου οπλισμοί  $A_{sw}/s$  σε απόσταση  $d$  από την παρειά του υποστυλώματος, λύνοντας τον τύπο του  $V_{Rd,s}$  που δίνεται από την §6.2.3(3) και όπου  $V_{Rd,s} = V_{ed,x=d}$ . Σύμφωνα με αυτήν:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{ed,x=d}}{z f_{ywd} \cot \theta} = \frac{151,63 \cdot 1000}{0,9 \cdot 550 \cdot 434,78 \cdot 2,5} = 0,304 mm = 3,04 cm^2 / m$$

Η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων υπολογίζεται ως εξής:

$$s = \frac{A_{sw}}{(A_{sw} / s)} = \frac{1,01 cm^2}{3,04 cm^2 / m} = 33,03cm$$

Επομένως στα τμήματα της δοκού, κοντά στις παρειές του υποστυλώματος, με μήκος  $l_{\text{παρ}} / 2 - x = 2,70 / 2 - 1,09 = 0,26m$  τοποθετώ πιο πυκνούς συνδετήρες και συγκεκριμένα συνδετήρες διαμέτρου  $8mm$  ανά  $330mm$  ( $\Phi 8/330$ ).

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες της παραπάνω δοκού εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.1 του επόμενου κεφαλαίου.

### 5.3.1.2.2 Παράδειγμα διαστασιολόγησης δοκού τοιχωματικού κτιρίου έναντι διάτμησης σε ΟΚΑ

Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί η δοκός Β14-D του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτή των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα διαστασιολόγησης της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Υπολογισμός εντατικών μεγεθών:

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 5.3.1.2 για την διαστασιολόγηση της δοκού έναντι διάτμησης απαραίτητες είναι οι τιμές της τέμνουσας στη θέση της στήριξης ( $V_{Ed}$ ), στην παρειά της στήριξης ( $V_{Ed(x=0)}$ ) και σε απόσταση  $x = d$  από την παρειά της στήριξης ( $V_{Ed(x=d)}$ ). Επίσης, πρέπει να γνωρίζουμε και την αξονική δύναμη σχεδιασμού που καταπονεί τη δοκό. Στη δοκό του παραδείγματός μας, όπως φαίνεται και στο σχήμα Π.5.Α.4 λαμβάνουμε τις εξής μέγιστες τιμές:

- $N_{Ed} = 0 \text{ kN}$
- $V_{Ed} = 119,16 \text{ kN}$
- $V_{Ed(x=0)} = 112,41 \text{ kN}$
- $V_{Ed(x=d)} = 95,87 \text{ kN}$

2. Υπολογισμός της αντοχής σχεδιασμού σε τέμνουσα στοιχείων χωρίς οπλισμό διάτμησης (κατά τη ρηγμάτωση):

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d; (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\}$$

σύμφωνα με την §6.2.2.(1) όπου:

- $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$
- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{550}} = 1,603 \leq 2,0$  όπου  $d(mm)$  το στατικό ύψος της δοκού όπως έχει ήδη υπολογιστεί.
- $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{4,52 \text{ cm}^2}{30 \text{ cm} \cdot 55 \text{ cm}} = 0,00274 \leq 0,02$  το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού όπου  $A_{sl}$  το εμβαδόν του εφελκόμενου οπλισμού της διατομής.
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$  η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος,
- $k_1 = 0,15$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα
- $\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0$
- $b_w = 300 \text{ mm}$  το πλάτος της διατομής της δοκού
- $d = 550 \text{ mm}$  το στατικό ύψος της δοκού
- $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,603^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0,3552$  όπου  $k$  και  $f_{ck}$  αναφέρονται παραπάνω.

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d; (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\}$$

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ [0,12 \cdot 1,603 \cdot (100 \cdot 0,00274 \cdot 25)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 300 \cdot 550; (0,3552 + 0,15 \cdot 0) \cdot 300 \cdot 550 \right\}$$

$$V_{Rd,c} = \max \{ 60275 \text{ N}; 58608 \text{ N} \} \Rightarrow V_{Rd,c} = 60,275 \text{ kN}$$

Έλεγχος:  $V_{Rd,c} = 60,275 \text{ kN} < V_{Ed(x=0)} = 112,41 \text{ kN}$

Συμπέρασμα: Η δοκός πρέπει να διαστασιολογηθεί λεπτομερώς έναντι διάτμησης.



3. Υπολογισμός της τιμής της γωνίας  $\theta$  του προσομοιώματος των θλιπτήρων σκυροδέματος σύμφωνα με την §6.2.3(1):

Η τιμή της γωνίας  $\theta$  μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο  $\cot \theta_\alpha = (1,2 - 1,4 \cdot \sigma_{cp} / f_{cd}) / (1 - V_{Rd,c} / V_{Ed(x=d)})$  όπου:

- $\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0$
- $f_{cd} = 0,85 \cdot f_{ck} / 1,5 = 0,85 \cdot 25 / 1,5 = 14,17 \text{ MPa}$
- $V_{Rd,c} = 60,275 \text{ kN}$
- $V_{Ed(x=d)} = 95,87 \text{ kN}$

$$\cot \theta_\alpha = (1,2 - 1,4 \cdot 0 / 14,17) / (1 - 60,275 / 96,28) = 17,31$$

$$\theta_\alpha = \arctan\left(\frac{1}{\cot \theta_\alpha}\right) \cdot \frac{180}{\pi} = 17,13^\circ$$

$$\theta = \max(\theta_\alpha; 21,8^\circ) = \max(17,31^\circ; 21,8^\circ) = 21,8^\circ$$

4. Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της μέγιστης τέμνουσας που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο, όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων, σύμφωνα με την §6.2.3(3).

$$V_{Rd,max} = 0,18 \cdot \left[1 - \left(\frac{f_{ck}}{250}\right)\right] \cdot f_{ck} \cdot \sin(2\theta) \cdot b_w \cdot d = 0,18 \cdot \left[1 - \left(\frac{25}{250}\right)\right] \cdot 25 \cdot \sin\left(2 \cdot 21,8 \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot 300 \cdot 500$$

$$V_{Rd,max} = 460838 \text{ N} = 460,84 \text{ kN}$$

$$\text{Έλεγχος: } V_{Rd,max} = 460,84 \text{ kN} > V_{Ed(x=0)} = 112,41 \text{ kN}$$

Συμπέρασμα: Οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος επαρκούν, συνεπώς δεν χρειάζεται αλλαγή διατομής.

\*Σημείωση: Η  $V_{Rd,max}$  θα μπορούσε να υπολογιστεί για  $\theta=45^\circ$  το οποίο δίνει ευμενέστερα αποτελέσματα.

5. Εύρεση του ελάχιστου οπλισμού διάτμησης. Ορίζεται στο εθνικό προσάρτημα της §9.2.2(5) ως εξής:

$$\frac{A_{sw}}{s} \min = \rho_{w,\min} \cdot b_w = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \cdot b_w = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{25}}{500} \cdot 550 = 0,24 \text{ mm} = 0,24 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} \min = 0,24 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}} = 0,24 \frac{10^{-2} \text{ cm}^2}{10^{-3} \text{ m}} = 2,4 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Επιλέγω να τοποθετήσω συνδετήρες φ8 με  $A_{sw} = 2 \cdot \pi \cdot 0,8^2 / 4 = 1,01 \text{ cm}^2$

$$\text{σε απόσταση: } s = \frac{A_{sw}}{2,4} = \frac{1,01}{2,4} m = 0,4189m = 41,9cm > s_{\max} = 0,75d = 41,25cm$$

Τελικά τοποθετώ φ8/41cm οι οποίοι δίνουν αντοχή:

$$V_{Rd\min} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = \frac{1,01 \cdot 100mm^2}{41 \cdot 10mm} \cdot 0,9 \cdot 550 \cdot \frac{500}{1,15} \cdot \cot 21,8 = 131930N = 131,93kN$$

$$\text{Έλεγχος: } V_{Rd\min} = 131,93kN > V_{Ed(x=d)} = 95,87 kN$$

Συμπέρασμα: Η αντοχή του ελάχιστου οπλισμού διάτμησης υπερβαίνει την δρώσα τέμνουσα. Συνεπώς τοποθετείται ο ελάχιστος οπλισμός σε όλο το μήκος της δοκού.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες της παραπάνω δοκού εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.2 του επόμενου κεφαλαίου.

## 5.3.2 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων

### 5.3.2.1 Έλεγχος λυγηρότητας υποστυλωμάτων.

Όπως είναι ήδη γνωστό τα υποστυλώματα μιας κατασκευής υπόκεινται σε ένα συνδυασμό φόρτισης, με αξονικό φορτίο και ροπή. Η φόρτιση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση μετατοπίσεων στα στοιχεία αυτά και αυτές με τη σειρά τους την εμφάνιση φαινομένων 2ας τάξεως. Στο βήμα αυτό επομένως εξετάζουμε εάν πρέπει να λάβουμε υπόψη τα φαινόμενα αυτά κατά το σχεδιασμό των υποστυλωμάτων. Σύμφωνα με τον ΕΚ-2 τα φαινόμενα 2ας τάξεως θεωρούνται σημαντικά όταν οδηγούν σε αύξηση των ροπών 1<sup>ης</sup> τάξεως κατά ποσοστό μεγαλύτερο του 10%. Ο παραπάνω έλεγχος ωστόσο είναι αρκετά πολύπλοκος και απαιτεί τη χρήση ειδικών λογισμικών, επομένως θα χρησιμοποιήσουμε κάποια απλά κριτήρια τα οποία θα μας δώσουν την απάντηση (εάν θα πρέπει δηλαδή να λάβουμε υπόψη ή να αγνοήσουμε τα φαινόμενα 2ας τάξεως). Τα κριτήρια που χρησιμοποιεί ο ΕΚ-2 είναι: α) ο λόγος λυγηρότητας  $\lambda$  και β) το μήκος λυγισμού του υποστυλώματος  $l_0$ .

Η πορεία που θα ακολουθήσουμε για να πραγματοποιήσουμε τον έλεγχο αυτό είναι η ακόλουθη:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών λόγω ροπής ( $M_{Edx}$  και  $M_{Edy}$ ) και αξονικής δύναμης ( $N_{Ed}$ ), βάσει των οποίων διαστασιολογούμε τα υποστυλώματα, από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης η οποία πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό SAP2000, όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες. Στα σχήματα Π.5.A.5 και Π.5.A.6 παρουσιάζονται τα διαγράμματα των ροπών κάμψης κατά τον άξονα  $y$  ( $M_{Edy}$ ) των υποστυλωμάτων του πλαισίου 1 του πλαισιακού κτηρίου λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών. Στα σχήματα Π.5.A.7 και Π.5.A.8 παρουσιάζονται τα διαγράμματα των αξονικών δυνάμεων των ίδιων υποστυλωμάτων λόγω των δυσμενέστερων αυτών σεισμικών συνδυασμών. Με τον ίδιο τρόπο, στα σχήματα Π.5.A.9 και Π.5.A.10, παρουσιάζονται τα διαγράμματα της ροπής κάμψης κατά τον άξονα  $y$  ( $M_{Edy}$ ) και της αξονικής δύναμης του υποστυλώματος του πλαισίου 1 του τοιχωματικού κτηρίου λόγω του δυσμενέστερου σεισμικού συνδυασμού.
2. Υπολογισμός του καθαρού ύψους του υποστυλώματος ( $h_{cl}$ ). Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε το μήκος του υποστυλώματος το οποίο δεν εξασφαλίζεται πλευρικά από κάποιο άλλο στοιχείο, όπως για παράδειγμα από κάποια δοκό.
3. Υπολογισμός του μήκους λυγισμού του υποστυλώματος ( $l_0$ ). Το μέγεθος αυτό ισούται με το καθαρό ύψος του υποστυλώματος, το οποίο υπολογίσθηκε παραπάνω, πολλαπλασιασμένο επί ένα συντελεστή  $F$  ο οποίος εξαρτάται από τις συνθήκες στήριξης των άκρων του υποστυλώματος. Στην περίπτωση μας ο συντελεστής  $F$  ισούται με 0,75 και αντιστοιχεί σε μονολιθική σύνδεση του ενός άκρου του υποστυλώματος με δοκό ύψους μεγαλύτερου των διαστάσεων του υποστυλώματος και σε σύνδεση του άλλου άκρου του υποστυλώματος με τη θεμελίωση.
4. Υπολογισμός του λόγου λυγηρότητας ( $\lambda$ ) του υποστυλώματος. Ισούται με  $\lambda = 3,46 \cdot l_0 / h_{cl}$  για ορθογωνική διατομή.
5. Υπολογισμός της μεγίστης επιτρεπόμενης τιμής του λόγου λυγηρότητας ( $\lambda_{lim}$ ). Κατά τους δύο άξονες  $x$  και  $y$  υπολογίζουμε το  $\lambda_{lim}$  ως εξής:

$$\lambda_{lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C / \sqrt{n} \text{ όπου:}$$

- $A = 0,7$
  - $B = 1,1$
  - $C = 1,7 - r_m$
  - $r_m = M_{01} / M_{02}$  όπου  $M_{01}$  και  $M_{02}$  οι ροπές 1<sup>ης</sup> τάξης οι οποίες υπολογίζονται παρακάτω, με  $|M_{02}| \geq |M_{01}|$
  - $M_{01} = \min \left\{ |M_{top}|; |M_{bottom}| \right\} + e_i \cdot N_{Ed}$  όπου  $M_{top}$  και  $M_{bottom}$  οι ροπές στην κορυφή και στη βάση του υποστυλώματος, κατά την εκάστοτε διεύθυνση, όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (1)
  - $M_{02} = \max \left\{ |M_{top}|; |M_{bottom}| \right\} + e_i \cdot N_{Ed}$  όπου
  - $e_i = \max \{ l_0 / 400 ; h / 300 ; 20 \}$
  - $n = N_{Ed} / (b \cdot h \cdot f_{cd})$  όπου  $N_{Ed}$  η αξονική δύναμη του υποστυλώματος όπως υπολογίζεται στο βήμα (1),  $b$  και  $h$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος και  $f_{cd}$  η αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος.
6. Σύγκριση των λόγων λυγηρότητας ( $\lambda$ ) και ( $\lambda_{lim}$ ). Στο βήμα αυτό συγκρίνουμε το λόγο λυγηρότητας ( $\lambda$ ) του υποστυλώματος που υπολογίσαμε στο βήμα (4) με τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του λόγου λυγηρότητας  $\lambda_{limx}$  και  $\lambda_{limy}$  κατά τους άξονες x και y. Εάν η τιμή του λόγου αυτού είναι μικρότερη και από τις δύο αυτές μέγιστες τιμές τότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το υποστυλώμα που εξετάζουμε δεν είναι ευλύγιστο και επομένως επιτρέπεται να αγνοήσουμε τα φαινόμενα 2ας τάξεως κατά το σχεδιασμό του υποστυλώματος. Διαφορετικά η επιρροή των φαινομένων 2ας τάξεως είναι σημαντική και πρέπει να τα λάβουμε υπόψη κατά το σχεδιασμό του υποστυλώματος.

### 5.3.2.2 Διαστασιολόγηση έναντι κάμψης και θλίψης σε Ο.Κ.Α

Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα υποστυλώματα υπόκεινται σε διαξονική κάμψη και θλίψη. Η μελέτη της διαξονικής κάμψης είναι ένα αρκετά πολύπλοκο θέμα, ωστόσο ο ΕΚ2 καθορίζει κάποιες καταστάσεις στις οποίες μια απλοποιητική προσέγγιση με βάση το διαξονικό λυγισμό μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε άξονα ξεχωριστά. Οι προϋποθέσεις για μια τέτοια προσέγγιση καθορίζονται στις §5.8.9(2) και 5.8.9(3) του ΕΚ2 και είναι:

1.  $\lambda_x / \lambda_y \leq 2$  και  $\lambda_y / \lambda_x \leq 2$
2.  $\frac{e_y / h}{e_x / b} \leq 0,2$  ή  $\frac{e_x / b}{e_y / h} \leq 0,2$  όπου
  - $\lambda_x$  και  $\lambda_y$  υπολογίστηκαν στην προηγούμενη ενότητα
  - $b$  και  $h$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος και
  - $e_x = \frac{M_{Edx}}{N_{Ed}}$  και  $e_y = \frac{M_{Edy}}{N_{Ed}}$

Όπου αυτές οι συνθήκες δεν ικανοποιούνται θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η διαξονική κάμψη. Παρακάτω, σύμφωνα με τον ΕΚ2, δίνεται μια προσεγγιστική μέθοδος σχεδιασμού

ενός υποστυλώματος το οποίο υποβάλλεται σε ένα οριακό φορτίο  $N_{Ed}$  και στις ροπές  $M_{Edx}$  και  $M_{Edy}$ . Το υποστύλωμα αυτό μπορεί να σχεδιαστεί για κάμψη ως προς τον ένα άξονα μόνο, αλλά με μια αυξημένη ροπή. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών λόγω διαξονικής ροπής ( $M_{Edx}$  και  $M_{Edy}$ ) και αξονικής δύναμης ( $N_{Ed}$ ) από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης η οποία πραγματοποιήθηκε στο SAP2000 όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες.
2. Υπολογισμός αυξημένης ροπής σχεδιασμού ως προς έναν άξονα σύμφωνα με τις ακόλουθες συνθήκες:

– Εάν  $\frac{M_{Edx}}{h'} \geq \frac{M_{Edy}}{b'}$  (όπου  $h'$  και  $b'$  τα στατικά ύψη της διατομής κατά τους δύο άξονες) τότε η αυξημένη ροπή σχεδιασμού θα είναι ως προς τον άξονα x και θα έχει τιμή  $M_{Edx}' = M_{Edx} + \beta \cdot \frac{h'}{b'} \cdot M_{Edy}$  (όπου  $\beta = 1 - \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$ )

– Εάν  $\frac{M_{Edy}}{b'} \geq \frac{M_{Edx}}{h'}$  τότε η αυξημένη ροπή σχεδιασμού θα είναι ως προς τον άξονα y και θα έχει τιμή  $M_{Edy}' = M_{Edy} + \beta \cdot \frac{b'}{h'} \cdot M_{Edx}$

3. Εύρεση του ελάχιστου διαμήκους οπλισμού ( $A_{s,min}$ ) για τη διατομή του υποστυλώματος από την §9.5.2(2). Σύμφωνα με αυτήν:

$$A_{s,min} = \frac{0,10N_{Ed}}{f_{yd}} \text{ ή } 0,002A_c \text{ (όποιο είναι μεγαλύτερο)}$$

όπου:  $f_{yd}$  είναι η τάση διαρροής σχεδιασμού για τον οπλισμό και  $N_{Ed}$  είναι η θλιπτική αξονική δύναμη σχεδιασμού

4. Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού για τα εντατικά μεγέθη ( $M_{Ed}'$  και  $N_{Ed}$ ) μέσω νομογραφημάτων αλληλεπίδρασης θλίψης-κάμψης ως εξής:

– Υπολογισμός ανοιγμένης ροπής  $\mu_d$  και αξονικής σχεδιασμού  $\nu_d$  από τους τύπους:

$$\nu_d = \frac{N_{Ed}}{bh f_{cd}} \text{ και } \mu_d = \frac{M_{Ed}'}{bh^2 f_{cd}}$$

όπου:  $b$  είναι το πλάτος του υποστυλώματος ( $b=50\text{cm}$ ),  $h$  είναι το ύψος του υποστυλώματος ( $h=50\text{cm}$ ) και  $f_{cd}$  είναι η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος ( $f_{cd}=0,85f_{ck}/\gamma_c=0,85 \cdot 25/1,5=14,17\text{Mpa}$ ).

– Εύρεση του συνολικού γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού  $\omega_{tot}$  από το νομογράφημα αλληλεπίδρασης θλίψης-κάμψης βάσει των  $\mu_d$ ,  $\nu_d$

– Υπολογισμός του συνολικού συμμετρικού οπλισμού  $A_{s,tot}$  από τον τύπο:

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} bh \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

όπου:  $b, h, f_{cd}$  όπως πριν και  $f_{yd}$  είναι η τάση διαρροής σχεδιασμού του οπλισμού ( $f_{yd}=0,85 f_{yk} / \gamma_s=500/1,15=434,78\text{Mpa}$ ).

– Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού παρειάς  $A_{s,tot,παρ}$  από τον τύπο:

$$A_{s,tot,παρ} = A_{s,tot} / 2$$

5. Εύρεση του τελικού οπλισμού παρειάς ως  $A_{s,τελ,παρ} = \max \{ A_{s,tot,παρ}, A_{s,min} / 4 \}$

6. Υπολογισμός του τοποθετούμενου οπλισμού παρειάς σε ράβδους συγκεκριμένης διαμέτρου (όχι μικρότερης από 8mm σύμφωνα με την §9.5.2(1)) ώστε το εμβαδόν του να είναι μεγαλύτερο από αυτό του τελικού οπλισμού παρειάς.
7. Έλεγχος ώστε ο τοποθετούμενος οπλισμός να μην υπερβαίνει τον μέγιστο επιτρεπόμενο ποίος δίνεται στην §9.5.2(3) ως:  $A_{s,max}=0,04A_c$  όπου  $A_c$  είναι το συνολικό εμβαδόν της διατομής του υποστυλώματος.

Στη συνέχεια θα δοθούν δύο παραδείγματα, ένα για το πλαίσιακό και ένα για το τοιχωματικό κτήριο, στα οποία θα γίνει αναλυτική διαστασιολόγηση δύο υποστυλωμάτων σύμφωνα με την ενότητα αυτή, αφού πρώτα αποδειχτεί ότι μπορούμε να αγνοήσουμε τα φαινόμενα 2ας τάξεως, στα οποία αναφερθήκαμε στην ενότητα 5.3.2.1. Με τον ίδιο τρόπο θα γίνει η διαστασιολόγηση και των υπολοίπων υποστυλωμάτων, και των δύο κτηρίων, η οποία θα παρουσιαστεί με τη μορφή πινάκων στο παράρτημα (πίνακες Π.5.Β.5 και Π.5.Β.6).

### 5.3.2.2.1 Παράδειγμα διαστασιολόγησης υποστυλώματος του πλαίσιακού κτηρίου έναντι κάμψης και θλίψης στην ΟΚΑ

Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί το υποστύλωμα C6-B του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτό των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Ωστόσο, πριν προχωρήσουμε στη διαστασιολόγηση του υποστυλώματος πρέπει να ελέγξουμε τη λυγηρότητά του, όπως ορίζει η ενότητα 5.3.2.1. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα της ενότητας αυτής έχουμε:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών. Στο βήμα αυτό λαμβάνουμε τις τιμές της δρώσας ροπής κατά τις δύο διευθύνσεις ( $M_{Edx}$  και  $M_{Edy}$ ) και στα δύο άκρα του υποστυλώματος αλλά και την τιμή της δρώσας αξονικής δύναμης  $N_{Ed}$  λόγω του δυσμενέστερου σεισμικού συνδυασμού. Στο υποστύλωμα του παραδείγματός μας, όπως φαίνεται και στα σχήματα Π.5.Α.5 έως Π.5.Α.8 έχουμε τα εξής εντατικά μεγέθη:
  - Στο άνω άκρο:  $M_{Edx} = 32,4271 \text{ KNm}$  και  $M_{Edy} = -207,7247 \text{ KNm}$
  - Στο κάτω άκρο:  $M_{Edx} = -31,8159 \text{ KNm}$  και  $M_{Edy} = 215,9099 \text{ KNm}$
  - $N_{Ed} = -552,753 \text{ KN}$
2. Υπολογισμός του καθαρού ύψους του υποστυλώματος. Το καθαρό ύψος του υποστυλώματος του παραδείγματός μας είναι ίσο με  $h_{cl} = 3,5 - 0,60 = 2,90 \text{ m}$
3. Υπολογισμός του μήκους λυγισμού του υποστυλώματος. Θεωρώντας ότι το υποστύλωμα συνδέεται μονολιτικά τόσο στο άνω άκρο του, με δοκούς ύψους μεγαλύτερου από τις διαστάσεις του υποστυλώματος, όσο και στο κάτω άκρο του με τη θεμελίωση προκύπτει ότι το μήκος λυγισμού αυτού είναι ίσο με  $l_0 = 0,75 \cdot 2,90 = 2,175 \text{ m}$ .
4. Υπολογισμός του λόγου λυγηρότητας του υποστυλώματος. Για την ορθογωνική διατομή του υποστυλώματός μας ο λόγος λυγηρότητας, και κατά τις δύο διευθύνσεις, είναι ίσος με  $\lambda = 3,46 \cdot l_0 / h_{cl} = 3,46 \cdot 2,175 / 2,90 = 2,595 \text{ m}$ . Αξίζει να σημειωθεί ότι ο λόγος λυγηρότητας είναι ίδιος και κατά τις δύο διευθύνσεις λόγω ιδίων διαστάσεων και ιδίων συνθηκών στήριξης.
5. Υπολογισμός της μέγιστης επιτρεπόμενης τιμής του λόγου λυγηρότητας ( $\lambda_{lim}$ ). Στο βήμα αυτό θα γίνει ο υπολογισμός του λόγου  $\lambda_{lim}$  σε κάθε διεύθυνση ξεχωριστά. Έτσι έχουμε:

Κατά τη διεύθυνση x:

- $A = 0,7$
- $B = 1,1$
- $e_i = \max \{2180 / 400 ; 2900 / 30 ; 20\} = 96,67 \text{ mm} = 0,09667 \text{ m}$
- $M_{01} = \min \{|32,4271|; |-31,8159|\} + 0,09667 \cdot 552,753 = 85,25 \text{ KNm}$
- $M_{02} = \max \{|32,4271|; |-31,8159|\} + 0,09667 \cdot 552,753 = 85,86 \text{ KNm}$
- $r_m = -85,25 / 85,86 = -0,993$
- $C_x = 1,7 - (-0,993) = 2,693$
- $n = 552,753 / (50 \cdot 50 \cdot 1,417) = 0,156 \text{ άρα}$
- $\lambda_{\text{lim } x} = 20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 2,693 \cdot \sqrt{0,156} = 105$

Κατά τη διεύθυνση y:

- $A = 0,7$
- $B = 1,1$
- $e_i = \max \{2180 / 400 ; 2900 / 30 ; 20\} = 96,67 \text{ mm} = 0,09667 \text{ m}$
- $M_{01} = \min \{|-207,7247|; |215,9099|\} + 0,09667 \cdot 552,753 = 261,16 \text{ KNm}$
- $M_{02} = \max \{|-207,7247|; |215,9099|\} + 0,09667 \cdot 552,753 = 269,34 \text{ KNm}$
- $r_m = -261,16 / 269,34 = -0,9696$
- $C_y = 1,7 - (-0,9696) = 2,6696$
- $n = 552,753 / (50 \cdot 50 \cdot 1,417) = 0,156 \text{ άρα}$
- $\lambda_{\text{lim } y} = 20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 2,6696 \cdot \sqrt{0,156} = 104,08$

6. Σύγκριση των λόγων λυγηρότητας. Στο βήμα αυτό συγκρίνουμε τους λόγους λυγηρότητας που υπολογίσαμε κατά τις δύο διευθύνσεις ( $\lambda_x$  και  $\lambda_y$ ) στο βήμα (4) με τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του λόγου λυγηρότητας ( $\lambda_{\text{lim } x}$  και  $\lambda_{\text{lim } y}$ ) που υπολογίσαμε στο βήμα (5). Εάν οι τιμές  $\lambda_x$  και  $\lambda_y$  είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες μέγιστες επιτρεπόμενες τότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το υποστύλωμα δεν είναι ευλύγιστο και επομένως μπορούμε να αγνοήσουμε τα φαινόμενα 2ας τάξεως κατά τη διαστασιολόγηση του υποστυλώματος. Πράγματι στο υποστύλωμα του παραδείγματός μας ισχύει:

- $\lambda_x = 2,595 \leq \lambda_{\text{lim } x} = 105,00$  και
- $\lambda_y = 2,595 \leq \lambda_{\text{lim } y} = 104,08$

Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το υποστύλωμα C6-B δεν είναι ευλύγιστο και αγνοούμε έτσι τα φαινόμενα 2ας τάξεως κατά το σχεδιασμό του.

Αφού λοιπόν αποδείξαμε ότι μπορούμε να αγνοήσουμε τα φαινόμενα 2ας τάξεως κατά το σχεδιασμό του υποστυλώματος, προχωράμε στη διαδικασία διαστασιολόγησης αυτού. Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα υποστυλώματα της κατασκευής, άρα και του

παραδείγματός μας, υπόκεινται σε διαξονική κάμψη και θλίψη. Η μελέτη της διαξονικής κάμψης είναι ένα αρκετά πολύπλοκο θέμα ωστόσο επιτρέπεται, υπό προϋποθέσεις, να εφαρμοστεί μια απλοποιητική προσέγγιση της διαξονικής κάμψης σε κάθε άξονα ξεχωριστά. Στην περίπτωση του υποστυλώματός μας έχουμε:

$$1. \quad \lambda_x / \lambda_y = 2,595 / 2,595 = 1 \leq 2$$

$$2. \quad \frac{e_y / h}{e_x / b} = 6,41 \geq 0,20 \quad \text{και} \quad \frac{e_x / b}{e_y / h} = 0,16 \leq 0,20 \quad \text{όπου}$$

$$- \quad e_x = \frac{M_{Edx}}{N_{Ed}} = \frac{32,43}{552,753} = 0,06 \text{ m}$$

$$- \quad e_y = \frac{M_{Edy}}{N_{Ed}} = \frac{215,91}{552,753} = 0,38 \text{ m}$$

Παρατηρούμε ότι δεν ικανοποιούνται όλες οι προϋποθέσεις που ορίσαμε στην ενότητα 5.3.2.2 για την εφαρμογή της παραπάνω απλοποιητικής προσέγγισης επομένως πρέπει να ληφθεί οποσδήποτε υπόψη η διαξονική κάμψη του υποστυλώματος. Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 5.3.2.2, η διαστασιολόγηση του υποστυλώματος θα γίνει ως προς έναν από τους δύο άξονες αλλά με αυξημένη ροπή, έτσι ώστε να λάβουμε υπόψη τη διαξονική αυτή κάμψη. Η διαστασιολόγηση περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται στο υποστυλώμα C6-B λόγω του δυσμενέστερου σεισμικού συνδυασμού είναι τα εξής:

$$- \quad \text{Στο άνω άκρο: } M_{Edx} = 32,4271 \text{ KNm} \quad \text{και} \quad M_{Edy} = -207,7247 \text{ KNm}$$

$$- \quad \text{Στο κάτω άκρο: } M_{Edx} = -31,8159 \text{ KNm} \quad \text{και} \quad M_{Edy} = 215,9099 \text{ KNm}$$

$$- \quad N_{Ed} = -552,753 \text{ KN}$$

2. Υπολογισμός αυξημένης ροπής σχεδιασμού ως προς έναν άξονα. Για το υποστυλώμα του παραδείγματός μας ισχύει:

$$- \quad \frac{M_{Edx}}{h'} = \frac{32,4271}{0,445} = 0,072 \quad \text{και} \quad \frac{M_{Edy}}{b'} = \frac{215,9099}{0,445} = 0,47 \quad \text{όπου}$$

$$b' = h' = h - c_{nom} - \varphi_w - \varphi_l / 2 = 500 - 35 - 10 - 20 / 2 = 445 \text{ mm} \quad \text{τα στατικά ύψη της διατομής κατά τους δύο άξονες.}$$

Επομένως  $\frac{M_{Edy}}{b'} \geq \frac{M_{Edx}}{h'}$  και η αυξημένη ροπή σχεδιασμού θα είναι ως προς τον άξονα

y και θα έχει τιμή:  $M_{Edy}' = M_{Edy} + \beta \cdot \frac{b'}{h'} \cdot M_{Edx}$  όπου

$$\beta = 1 - \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = 1 - \frac{552,753}{50 \cdot 50 \cdot 1,417} = 0,84$$

$$\text{Άρα } M_{Edy}' = 215,9099 + 0,84 \cdot \frac{0,445}{0,445} \cdot 32,4271 = 243,28 \text{ KNm}$$



3. Εύρεση του ελάχιστου διαμήκους οπλισμού. Για τη διατομή του υποστυλώματός μας ισχύει:

$$A_{s\min} = \max \left\{ 0,10 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}; 0,002 \cdot b \cdot h \right\} = \max \left\{ 0,10 \cdot \frac{552,753}{43,47}; 0,002 \cdot 50 \cdot 50 \right\} = 5,00 \text{ cm}^2$$

4. Υπολογισμός απαιτούμενου διαμήκους οπλισμού. Στο βήμα αυτό αρχικά θα υπολογίσουμε τα μεγέθη της ανηγμένης ροπής και της ανηγμένης αξονικής ως εξής:

$$\mu_d = \frac{M_{Edy}'}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{243,28}{50 \cdot 50^2 \cdot 1,417} = 0,14$$

$$\nu_d = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-552,753}{50 \cdot 50 \cdot 1,417} = -0,16$$

Στη συνέχεια από τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης λόγω κάμψης και θλίψης, για  $d'/h = 0,08$  υπολογίζουμε το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού της διατομής το οποίο ισούται με  $\omega_{tot} = 0,19$ . Επομένως ο απαιτούμενος οπλισμός είναι ίσος με:

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,19 \cdot 50 \cdot 50 \cdot \frac{14,17}{43,47} = 15,48 \text{ cm}^2$$

Άρα ο απαιτούμενος οπλισμός της κάθε παρειάς είναι ίσος με:

$$A_{s,tot\text{ παρ}} = A_{s,tot} / 2 = 15,48 / 2 = 7,74 \text{ cm}^2$$

5. Εύρεση του τελικού οπλισμού παρειάς ως εξής:

$$A_{s\text{ τελ παρ}} = \max \{ A_{s,tot\text{ παρ}} ; A_{s\min} / 4 \} = 7,74 \text{ cm}^2$$

6. Υπολογισμός του τοποθετούμενου οπλισμού παρειάς. Τοποθετώ σε κάθε παρειά επομένως τρεις ράβδους διαμέτρου  $20\text{mm}$  ( $3\Phi 20$ ) συνολικού εμβαδού  $9,42 \text{ cm}^2$  η οποία καλύπτει την παραπάνω απαιτούμενη ποσότητα οπλισμού.

7. Έλεγχος μεγίστου επιτρεπόμενου οπλισμού. Στη διατομή τοποθετώ περιμετρικά συνολικά 8 ράβδους διαμέτρου  $20\text{mm}$  συνολικού εμβαδού  $25,12 \text{ cm}^2$ . Ελέγχω εάν η ποσότητα αυτή υπερβαίνει τη μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα οπλισμού για τη συγκεκριμένη διατομή η οποία ισούται με:  $A_{s\max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 50 \cdot 50 = 100 \text{ cm}^2$ . Πράγματι η τοποθετούμενη ποσότητα δεν υπερβαίνει τη μέγιστη επιτρεπόμενη, ο έλεγχος ικανοποιείται και η διαστασιολόγηση του υποστυλώματος τελειώνει εδώ.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του παραπάνω υποστυλώματος εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.3 του επόμενου κεφαλαίου.

### 5.3.2.2 Παράδειγμα διαστασιολόγησης υποστυλώματος του τοιχοματικού κτηρίου έναντι κάμψης και θλίψης στην ΟΚΑ

Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί το υποστύλωμα C7-E του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτό των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Ωστόσο, πριν προχωρήσουμε στη διαστασιολόγηση του υποστυλώματος πρέπει να ελέγξουμε τη λυγηρότητά του, όπως ορίζει η ενότητα 5.3.2.1. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα της ενότητας αυτής έχουμε:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών. Στο βήμα αυτό λαμβάνουμε τις τιμές της δρώσας ροπής κατά τις δύο διευθύνσεις ( $M_{Edx}$  και  $M_{Edy}$ ) και στα δύο άκρα του υποστυλώματος αλλά και την τιμή της δρώσας αξονικής δύναμης  $N_{Ed}$  λόγω του δυσμενέστερου σεισμικού συνδυασμού. Στο υποστύλωμα του παραδείγματός μας, όπως φαίνεται στα σχήματα Π.5.Α.9 έως Π.5.Α.11, έχουμε τα εξής εντατικά μεγέθη:
  - Στο άνω άκρο:  $M_{Edx} = 53,49 \text{ kNm}$  και  $M_{Edy} = 105,93 \text{ kNm}$
  - Στο κάτω άκρο:  $M_{Edx} = -43,41 \text{ kNm}$  και  $M_{Edy} = -85,68 \text{ kNm}$
  - $N_{Ed} = -134,05 \text{ kN}$
2. Υπολογισμός του καθαρού ύψους του υποστυλώματος. Το καθαρό ύψος του υποστυλώματος του παραδείγματός μας είναι ίσο με  $h_{cl} = 3,5 - 0,60 = 2,90 \text{ m}$
3. Υπολογισμός του μήκους λυγισμού του υποστυλώματος. Θεωρώντας ότι το υποστύλωμα συνδέεται μονολιθικά τόσο στο άνω άκρο του, με δοκούς ύψους μεγαλύτερου από τις διαστάσεις του υποστυλώματος, όσο και στο κάτω άκρο του με τη θεμελίωση προκύπτει ότι το μήκος λυγισμού αυτού είναι ίσο με  $l_0 = 0,75 \cdot 2,90 = 2,175 \text{ m}$ .
4. Υπολογισμός του λόγου λυγηρότητας του υποστυλώματος. Για την ορθογωνική διατομή του υποστυλώματός μας ο λόγος λυγηρότητας, και κατά τις δύο διευθύνσεις, είναι ίσος με  $\lambda = 3,46 \cdot l_0 / h_{cl} = 3,46 \cdot 2,175 / 2,90 = 2,595 \text{ m}$ . Αξίζει να σημειωθεί ότι ο λόγος λυγηρότητας είναι ίδιος και κατά τις δύο διευθύνσεις λόγω ιδίων διαστάσεων και ιδίων συνθηκών στήριξης.
5. Υπολογισμός της μεγίστης επιτρεπόμενης τιμής του λόγου λυγηρότητας ( $\lambda_{lim}$ ). Στο βήμα αυτό θα γίνει ο υπολογισμός του λόγου  $\lambda_{lim}$  σε κάθε διεύθυνση ξεχωριστά. Έτσι έχουμε:

**Κατά τη διεύθυνση x:**

- $A = 0,7$
- $B = 1,1$
- $e_i = \max \{2180 / 400 ; 2900 / 30 ; 20\} = 96,67 \text{ mm} = 0,09667 \text{ m}$
- $M_{01} = \min \{|53,49|; |-43,41|\} + 0,09667 \cdot |-134,05| = 56,37 \text{ kNm}$
- $M_{02} = \max \{|53,49|; |-43,41|\} + 0,09667 \cdot |-134,05| = 66,45 \text{ kNm}$
- $r_m = -56,37 / 66,45 = -0,85$
- $C_x = 1,7 - (-0,85) = 2,55$

- $n = 134,05kN / (50cm \cdot 50cm \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{10} \frac{kN}{cm^2}) = 0,04$  άρα
- $\lambda_{lim\ x} = 20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 2,55 \cdot \sqrt{0,04} = 201,74$

Κατά τη διεύθυνση y:

- $A = 0,7$
  - $B = 1,1$
  - $e_i = \max \{2180 / 400 ; 2900 / 30 ; 20\} = 96,67mm = 0,09667m$
  - $M_{01} = \min \{|105,93|; |-85,68|\} + 0,09667 \cdot |-134,05| = 98,64\ kNm$
  - $M_{02} = \max \{|105,93|; |-85,68|\} + 0,09667 \cdot |-134,05| = 118,89\ kNm$
  - $r_m = -98,64 / 118,89 = -0,83$
  - $C_y = 1,7 - (-0,83) = 2,53$
  - $n = 134,05kN / (50cm \cdot 50cm \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{10} \frac{kN}{cm^2}) = 0,04$  άρα
  - $\lambda_{lim\ y} = 20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 2,53 \cdot \sqrt{0,04} = 200,27$
6. Σύγκριση των λόγων λυγηρότητας. Στο βήμα αυτό συγκρίνουμε τους λόγους λυγηρότητας που υπολογίσαμε κατά τις δύο διευθύνσεις ( $\lambda_x$  και  $\lambda_y$ ) στο βήμα (4) με τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του λόγου λυγηρότητας ( $\lambda_{lim\ x}$  και  $\lambda_{lim\ y}$ ) που υπολογίσαμε στο βήμα (5). Εάν οι τιμές  $\lambda_x$  και  $\lambda_y$  είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες μέγιστες επιτρεπόμενες τότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το υποστύλωμα δεν είναι ευλύγιστο και επομένως μπορούμε να αγνοήσουμε τα φαινόμενα 2ας τάξεως κατά τη διαστασιολόγηση του υποστυλώματος. Πράγματι στο υποστύλωμα του παραδείγματός μας ισχύει:
- $\lambda_x = 2,595 \leq \lambda_{lim\ x} = 201,74$  και
  - $\lambda_y = 2,595 \leq \lambda_{lim\ y} = 200,27$

Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το υποστύλωμα C6-B δεν είναι ευλύγιστο και αγνοούμε έτσι τα φαινόμενα 2ας τάξεως κατά το σχεδιασμό του.

Αφού λοιπόν αποδείξαμε ότι μπορούμε να αγνοήσουμε τα φαινόμενα 2ας τάξεως κατά το σχεδιασμό του υποστυλώματος, προχωράμε στη διαδικασία διαστασιολόγησης αυτού. Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα υποστυλώματα της κατασκευής, άρα και του παραδείγματός μας, υπόκεινται σε διαξονική κάμψη και θλίψη. Η μελέτη της διαξονικής κάμψης είναι ένα αρκετά πολύπλοκο θέμα ωστόσο επιτρέπεται, υπό προϋποθέσεις, να εφαρμοστεί μια απλοποιητική προσέγγιση της διαξονικής κάμψης σε κάθε άξονα ξεχωριστά. Στην περίπτωση του υποστυλώματός μας έχουμε:

- $\lambda_x / \lambda_y = 2,60 / 2,60 = 1 \leq 2$

- $0,20 \leq \frac{e_y / h}{e_x / b} = 1,98 \leq 5$  και  $0,20 \leq \frac{e_x / b}{e_y / h} = 0,50 \leq 5$  όπου

- $e_x = \frac{M_{Edx}}{N_{Ed}} = \frac{53,49}{134,05} = 0,40 \text{ m}$

- $e_y = \frac{M_{Edy}}{N_{Ed}} = \frac{105,93}{134,05} = 0,79 \text{ m}$

Παρατηρούμε ότι δεν ικανοποιούνται όλες οι προϋποθέσεις που ορίσαμε στην ενότητα 5.3.2.2 για την εφαρμογή της παραπάνω απλοποιητικής προσέγγισης επομένως πρέπει να ληφθεί οποσδήποτε υπόψη η διαξονική κάμψη του υποστυλώματος. Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 5.3.2.2, η διαστασιολόγηση του υποστυλώματος θα γίνει ως προς έναν από τους δύο άξονες αλλά με αυξημένη ροπή, έτσι ώστε να λάβουμε υπόψη τη διαξονική αυτή κάμψη. Η διαστασιολόγηση περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται στο υποστυλώμα C6-B λόγω του δυσμενέστερου σεισμικού συνδυασμού είναι τα εξής:

- Στο άνω άκρο:  $M_{Edx} = 53,49 \text{ kNm}$  και  $M_{Edy} = 105,93 \text{ kNm}$

- Στο κάτω άκρο:  $M_{Edx} = -43,41 \text{ kNm}$  και  $M_{Edy} = -85,68 \text{ kNm}$

- $N_{Ed} = -134,05 \text{ kN}$

2. Υπολογισμός αυξημένης ροπής σχεδιασμού ως προς έναν άξονα. Για το υποστυλώμα του παραδείγματός μας ισχύει:

- $\frac{M_{Edx}}{h'} = \frac{53,49}{0,445} = 0,09$  και  $\frac{M_{Edy}}{b'} = \frac{105,93}{0,445} = 0,17$  όπου

$$b' = h' = h - c_{nom} - \varphi_w - \varphi_l / 2 = 500 - 35 - 10 - 20 / 2 = 445 \text{ mm}$$

τα στατικά ύψη της διατομής κατά τους δύο άξονες.

Επομένως  $\frac{M_{Edy}}{b'} \geq \frac{M_{Edx}}{h'}$  και η αυξημένη ροπή σχεδιασμού θα είναι ως προς τον

άξονα  $y$  και θα έχει τιμή:  $M_{Edy}' = M_{Edy} + \beta \cdot \frac{b'}{h'} \cdot M_{Edx}$  όπου

$$\beta = 1 - \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = 1 - \frac{134,05 \text{ kN}}{0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = 0,96$$

Άρα  $M_{Edy}' = 215,9099 + 0,84 \cdot \frac{0,445}{0,445} \cdot 32,4271 = 157,40 \text{ kNm}$

3. Εύρεση του ελάχιστου διαμήκους οπλισμού. Για τη διατομή του υποστυλώματός μας ισχύει:

$$A_{smin} = \max \left\{ 0,10 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}; 0,002 \cdot b \cdot h \right\} = \max \left\{ 0,10 \cdot \frac{134,05}{500 / (10 \cdot 1,15)}; 0,002 \cdot 50 \cdot 50 \right\} = 5,00 \text{ cm}^2$$

4. Υπολογισμός απαιτούμενου διαμήκους οπλισμού. Στο βήμα αυτό αρχικά θα υπολογίσουμε τα μεγέθη της ανηγμένης ροπής και της ανηγμένης αξονικής ως εξής:

$$- \mu_d = \frac{M_{Edy}'}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{157,40}{0,5 \cdot 0,5^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = 0,09$$

$$- \nu_d = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-134,05}{0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,85 \cdot 25000 / 1,5} = -0,04$$

Στη συνέχεια από τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης λόγω κάμψης και θλίψης, για  $d'/h = 0,08$  υπολογίζουμε το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού της διατομής το οποίο ισούται με  $\omega_{tot} = 0,20$ . Επομένως ο απαιτούμενος οπλισμός είναι ίσος με:

$$- A_{s,tot} = \omega_{tot} \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,20 \cdot 50 \cdot 50 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} = 16,30 \text{ cm}^2$$

Άρα ο απαιτούμενος οπλισμός της κάθε παρειάς είναι ίσος με:

$$- A_{s \text{ tot παρ}} = A_{s \text{ tot}} / 2 = 16,30 / 2 = 8,15 \text{ cm}^2$$

5. Εύρεση του τελικού οπλισμού παρειάς ως εξής:

$$- A_{s \text{ τελ παρ}} = \max \{ A_{s \text{ tot παρ}} ; A_{s \text{ min}} / 4 \} = 8,15 \text{ cm}^2$$

6. Υπολογισμός του τοποθετούμενου οπλισμού παρειάς. Τοποθετώ σε κάθε παρειά επομένως τέσσερις ράβδους διαμέτρου  $18 \text{ mm}$  ( $4\Phi 18$ ) συνολικού εμβαδού  $12,7 \text{ cm}^2$  η οποία καλύπτει την παραπάνω απαιτούμενη ποσότητα οπλισμού.

7. Έλεγχος μεγίστου επιτρεπόμενου οπλισμού. Στη διατομή τοποθετώ περιμετρικά συνολικά 12 ράβδους διαμέτρου  $18 \text{ mm}$  συνολικού εμβαδού  $30,48 \text{ cm}^2$ . Ελέγγω εάν η ποσότητα αυτή υπερβαίνει τη μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα οπλισμού για τη συγκεκριμένη διατομή η οποία ισούται με:  $A_{s \text{ max}} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 50 \cdot 50 = 100 \text{ cm}^2$ . Πράγματι η τοποθετούμενη ποσότητα δεν υπερβαίνει τη μέγιστη επιτρεπόμενη, ο έλεγχος ικανοποιείται και η διαστασιολόγηση του υποστυλώματος τελειώνει εδώ.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του παραπάνω υποστυλώματος εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.4 του επόμενου κεφαλαίου.

### 5.3.2.3 Διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης σε Ο.Κ.Α

Η διαστασιολόγηση των υποστυλωμάτων έναντι διάτμησης και για τα δυο κτήρια περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών λόγω αξονικής ( $N_{ed}$ ) και τέμνουσας ( $V_{ed}$ ) από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης η οποία πραγματοποιήθηκε στο SAP2000 όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες. Στα σχήματα Π.5.Α.11 έως Π.5.Α.13 παρουσιάζονται τα διαγράμματα των τεμνουσών ( $V_{ed}$ ) και αξονικών ( $N_{ed}$ ) των υποστυλωμάτων του πλαισίου 1 του πλαισιακού κτηρίου λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών. Στα σχήματα Π.5.Α.14 και Π.5.Α.15 παρουσιάζονται τα διαγράμματα των τεμνουσών ( $V_{ed}$ ) και αξονικών ( $N_{ed}$ ) υποστυλωμάτων του πλαισίου 1 του τοιχωματικού κτηρίου λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών.

2. Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της αντοχής σε τέμνουσα του στοιχείου χωρίς οπλισμό διάτμησης  $V_{Rd,c}$  από την §6.2.2(1). Σύμφωνα με αυτήν:

$$V_{Rd,c} = \max \{ [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_l \sigma_{cp}] b h, (v_{min} + k_l \sigma_{cp}) b h \} \text{ όπου:}$$

- $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_C$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το Εθνικό προσάρτημα
- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$  όπου  $d(mm)$  το στατικό ύψος του υποστυλώματος όπως έχει ήδη υπολογιστεί
- $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0,02$  το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού όπου  $A_{sl}$  το εμβαδόν του εφελκυόμενου οπλισμού της διατομής
- $f_{ck}$  η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, η οποία στην περίπτωση μας ισούται με 25MPa
- $k_l = 0,15$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα
- $\sigma_{cp} = N_{Eds} / A_c < 0,2 f_{cd} [MPa]$  όπου  $N_{Eds}$  η αξονική σχεδιασμού που καταπονεί τη δοκό, όπως υπολογίστηκε στο βήμα (1).
- $b$  το πλάτος της διατομής του υποστυλώματος
- $h$  το ύψος της διατομής του υποστυλώματος
- $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$  όπου  $k$  και  $f_{ck}$  αναφέρονται παραπάνω.

Στο τέλος του βήματος (2) γίνεται σύγκριση της  $V_{Rd,c}$  με την  $V_{ed,x=0}$ . Αν  $V_{Rd,c} \geq V_{ed,x=0}$  τότε το στοιχείο δεν χρειάζεται οπλισμό διάτμησης, τοποθετείται ο ελαχιστος και ο έλεγχος τελειώνει. Αν  $V_{Rd,c} < V_{ed,x=0}$  τότε το στοιχείο χρειάζεται οπλισμό διάτμησης και ακολουθεί το βήμα (3).

3. Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της μέγιστης τέμνουσας που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο, όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων  $V_{Rd,max}$  από την §6.2.3(3). Σύμφωνα με αυτήν:

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta) \text{ ή}$$

$$V_{Rd,max} = 0,18 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{f_{ck}}{250} \right) \right] \cdot f_{ck} \cdot \sin 2\theta \cdot b_w \cdot d \text{ όπου:}$$

- $\alpha_{cw} = 1$  ένας συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την εντατική κατάσταση στη θλιβόμενη διαγώνιο, η συνιστώμενη τιμή του οποίου δίνεται στο Εθνικό προσάρτημα,
- $z$  ο μοχλοβραχίονας της διατομής σε ένα στοιχείο σταθερού ύψους, ο οποίος αντιστοιχεί στην καμπτική ροπή που δρα στο στοιχείο. Στο σχεδιασμό έναντι διάτμησης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος χωρίς αξονικό φορτίο, μπορεί να ληφθεί για το μοχλοβραχίονα η προσεγγιστική τιμή  $z = 0,9d$ .
- $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος

- $v_1$  ένας δείκτης μείωσης της αντοχής για σκυρόδεμα ρηγματωμένο λόγω διάτμησης, η συνιστώμενη τιμή του οποίου είναι ίση με  $v = 0,6 \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$

Στο τέλος του βήματος 3 γίνεται σύγκριση της  $V_{Rd,max}$  με την  $V_{ed,x=0}$ . Αν  $V_{Rd,max} \leq V_{ed,x=0}$  τότε οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος δεν επαρκούν και επιβάλλεται αλλαγή διατομής. Αν  $V_{Rd,max} \geq V_{ed,x=0}$  τότε οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος επαρκούν και ακολουθεί το βήμα 4.

4. Εύρεση του ελάχιστου οπλισμού διάτμησης οποίος ορίζεται στην §9.5.3(3) ως εξής:
  - Ελάχιστη διατομή συνδετήρα  $\phi_{min} = \max\{6\text{mm}, 1/4\phi_{lmax}\} = 6\text{mm}$
  - Οι αποστάσεις μεταξύ των εγκάρσιων οπλισμών κατά μήκος του υποστυλώματος δεν θα πρέπει να ξεπερνούν το  $s_{cl,tmax}$ .  
 $s_{cl,tmax} = \min\{20\phi_{lmin}, \min\{b,h\}, 400\text{mm}\}$
  - Η  $s_{cl,tmax}$  πρέπει να μειωθεί στο 60% σε τμήματα του υποστυλώματος μήκους ίσου με τη μεγαλύτερη διάσταση της διατομής πάνω ή κάτω από δοκό ή πλάκα.

Ο ελάχιστος οπλισμός τοποθετείται σε απόσταση  $x$  εκατέρωθεν του μέσου του υποστυλώματος έως το σημείο όπου  $V_{rmin} = V_{ed}$ .

5. Υπολογισμός του απαιτούμενου οπλισμού  $A_{sw}/s$  σε απόσταση  $d$  από την παρειά του υποστυλώματος, λύνοντας τον τύπο του  $V_{Rd,s}$  που δίνεται από την §6.2.3(3) και όπου  $V_{Rd,s} = V_{ed,x=d}$ . Σύμφωνα με αυτήν:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{ed,x=d}}{z f_{ywd} \cot \theta}$$

όπου:  $f_{ywd}$  είναι η τάση διαρροής των συνδετήρων και  $z = 0,9d$  σύμφωνα με την 6.2.3(1)

Ο οπλισμός  $A_{sw}$  τοποθετείται σε απόσταση  $s$  σε διαστήματα  $l-x$  εκατέρωθεν των παρειών του υποστυλώματος.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν δύο παραδείγματα, ένα για το πλαισιακό κτήριο και ένα για το τοιχωματικό, στα οποία θα γίνει αναλυτική διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης δύο υποστυλωμάτων με βάση τα παραπάνω βήματα. Με τον ίδιο τρόπο θα γίνει η διαστασιολόγηση και των υπολοίπων υποστυλωμάτων και των δύο κτηρίων η οποία παρουσιάζεται στο παράρτημα με τη μορφή πινάκων (πίνακες Π.5.Β.7 και Π.5.Β.8).

### 5.3.2.3.1 Παράδειγμα διαστασιολόγησης υποστυλώματος πλαισιακού κτιρίου έναντι διάτμησης σε ΟΚΑ

Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί το υποστώλωμα C6-B του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτό των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα διαστασιολόγησης της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Υπολογισμός εντατικών μεγεθών:  
 Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 5.3.2.3 για την διαστασιολόγηση του υποστυλώματος έναντι διάτμησης απαραίτητες είναι οι τιμές της αξονικής ( $N_{ed}$ ) και τέμνουσας ( $V_{ed}$ ) που

το καταπονούν. Στο υποστυλώμα του παραδείγματός μας επομένως, όπως φαίνεται και στα σχήματα Π.5.Α.12 έως Π.5.Α.14, λαμβάνουμε τις εξής μέγιστες τιμές:

- $N_{Ed} = 904,939 \text{ kN}$
- $V_{Ed} = 121,018 \text{ kN}$

2. Υπολογισμός της αντοχής σχεδιασμού σε τέμνουσα στοιχείων χωρίς οπλισμό διάτμησης (κατά τη ρηγμάτωση):

$V_{Rd,c} = \max \{ [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b \cdot h; (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot h \}$  σύμφωνα με την §6.2.2.(1) όπου:

- $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$
- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{450}} = 1,667 \leq 2,0$  όπου  $d(mm)$  το στατικό ύψος του υποστυλώματος.
- $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b \cdot d} = \frac{9,42 \text{ cm}^2}{50 \text{ cm} \cdot 45 \text{ cm}} = 0,0042 \leq 0,02$  το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού όπου  $A_{sl}$  το εμβαδόν του εφελκυόμενου οπλισμού της διατομής.
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$  η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος,
- $k_1 = 0,15$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα
- $\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = \frac{904,939 \cdot 1000 \text{ N}}{500 \text{ mm} \cdot 500 \text{ mm}} = 3,62 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 3,62 \text{ MPa}$
- $b = 500 \text{ mm}$  το πλάτος της διατομής του υποστυλώματος
- $h = 500 \text{ mm}$  το ύψος της διατομής του υποστυλώματος
- $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,667^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0,3767$  όπου  $k$  και  $f_{ck}$  αναφέρονται παραπάνω.

$$V_{Rd,c} = \max \{ [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b \cdot h; (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot h \}$$

$$V_{Rd,c} = \max \{ [0,12 \cdot 1,667 \cdot (100 \cdot 0,0042 \cdot 25)^{1/3} + 0,15 \cdot 3,62] \cdot 500 \cdot 500; (0,3767 + 0,15 \cdot 3,62) \cdot 500 \cdot 500 \}$$

$$V_{Rd,c} = \max \{ 245110 \text{ N}; 229925 \text{ N} \} \Rightarrow V_{Rd,c} = 245,11 \text{ kN}$$

Έλεγχος:  $V_{Rd,c} = 245,11 \text{ kN} > V_{Ed} = 121,018 \text{ kN}$

Συμπέρασμα: Η αντοχή του άοπλου έναντι διάτμησης (οπλισμένου όμως έναντι κάμψης) υποστυλώματος υπερβαίνει την δρώσα τέμνουσα σχεδιασμού. Συνεπώς ο περαιτέρω έλεγχος περιττεύει και τοποθετείται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός.

3. Εύρεση του ελάχιστου οπλισμού διάτμησης οποίος ορίζεται στην §9.5.3(3) ως εξής:

- Ελάχιστη διατομή συνδετήρα  $\varphi_{min} = \max \{ 6 \text{ mm}, 1/4 \varphi_{lmax} \} = 6 \text{ mm}$   
Επιλέγεται διατομή 8mm
- Οι αποστάσεις μεταξύ των εγκάρσιων οπλισμών κατά μήκος του υποστυλώματος δεν θα πρέπει να ξεπερνούν το  $s_{cl,tmax}$ .



$$s_{cl,tmax} = \min\{20 \cdot 18, \min\{500, 500\}, 400\} \text{mm} = \min\{360, 500, 400\} \text{mm} = 360 \text{mm}$$

- Η  $s_{cl,tmax}$  πρέπει να μειωθεί στο 60% ( $0,6 \cdot s_{cl,tmax} = 0,6 \cdot 360 \text{mm} = 216 \text{mm}$ ) σε τμήματα του υποστυλώματος μήκους ίσου με τη μεγαλύτερη διάσταση της διατομής πάνω ή κάτω από δοκό ή πλάκα.

Τελικά τοποθετούνται συνδετήρες  $\Phi 8/210 \text{mm}$  στα άκρα του υποστυλώματος εντός αποστάσεως  $l_{cr} = \min(b; h) = \min(0,5; 0,5) \text{m} = 0,5 \text{m}$  από τις παρειές του και  $\Phi 8/360 \text{mm}$  στο υπόλοιπο υποστύλωμα.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του παραπάνω υποστυλώματος εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.3 του επόμενου κεφαλαίου.

### 5.3.2.3.2 Παράδειγμα διαστασιολόγησης υποστυλώματος τοιχωματικού κτιρίου έναντι διάτμησης σε ΟΚΑ

Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί το υποστύλωμα C7-E του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτό των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα διαστασιολόγησης της παραπάνω ενότητας έχουμε:

#### 1. Υπολογισμός εντατικών μεγεθών:

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 5.3.2.3 για την διαστασιολόγηση του υποστυλώματος έναντι διάτμησης απαραίτητες είναι οι τιμές της αξονικής ( $N_{ed}$ ) και τέμνουσας ( $V_{ed}$ ) που το καταπονούν. Στο υποστύλωμα του παραδείγματός μας επομένως, όπως φαίνεται και στα σχήματα Π.5.Α.15 και Π.5.Α.16, λαμβάνουμε τις εξής τιμές:

- $N_{Ed} = 114,70 \text{ kN}$
- $V_{Ed} = 54,75 \text{ kN}$

#### 2. Υπολογισμός της αντοχής σχεδιασμού σε τέμνουσα στοιχείων χωρίς οπλισμό διάτμησης (κατά τη ρηγμάτωση):

$V_{Rd,c} = \max \{ [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b \cdot h; (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot h \}$  σύμφωνα με την §6.2.2.(1) όπου:

- $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_C = 0,18 / 1,5 = 0,12$
- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{450}} = 1,667 \leq 2,0$  όπου  $d(\text{mm})$  το στατικό ύψος του υποστυλώματος.
- $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b \cdot d} = \frac{9,04 \text{cm}^2}{50 \text{cm} \cdot 45 \text{cm}} = 0,004 \leq 0,02$  το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού όπου  $A_{sl}$  το εμβαδόν του εφελκυόμενου οπλισμού της διατομής.
- $f_{ck} = 25 \text{MPa}$  η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος,
- $k_1 = 0,15$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα

- $\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = \frac{114,70 \cdot 1000 \text{ N}}{500 \text{ mm} \cdot 500 \text{ mm}} = 0,46 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 0,46 \text{ MPa}$
- $b = 500 \text{ mm}$  το πλάτος της διατομής του υποστυλώματος
- $h = 500 \text{ mm}$  το ύψος της διατομής του υποστυλώματος
- $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,667^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0,3767$  όπου  $k$  και  $f_{ck}$  αναφέρονται παραπάνω.

$$V_{Rd,c} = \max \{ [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b \cdot h; (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot h \}$$

$$V_{Rd,c} = \max \{ [0,12 \cdot 1,667 \cdot (100 \cdot 0,004 \cdot 25)^{1/3} + 0,15 \cdot 0,46] \cdot 500 \cdot 500; (0,3767 + 0,15 \cdot 0,46) \cdot 500 \cdot 500 \}$$

$$V_{Rd,c} = \max \{ 125090 \text{ N}; 111425 \text{ N} \} \Rightarrow V_{Rd,c} = 125,09 \text{ kN}$$

Έλεγχος:  $V_{Rd,c} = 125,09 \text{ kN} > V_{Ed} = 54,75 \text{ kN}$

Συμπέρασμα: Η αντοχή του άοπλου έναντι διάτμησης (οπλισμένου όμως έναντι κάμψης) υποστυλώματος υπερβαίνει την δρώσα τέμνουσα σχεδιασμού. Συνεπώς ο περαιτέρω έλεγχος περιττεύει και τοποθετείται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός.

3. Έυρεση του ελάχιστου οπλισμού διάτμησης οποίος ορίζεται στην §9.5.3(3) ως εξής:
  - Ελάχιστη διατομή συνδετήρα  $\phi_{min} = \max \{ 6 \text{ mm}, 1/4 \phi_{lmax} \} = 6 \text{ mm}$   
Επιλέγεται διατομή 8mm
  - Οι αποστάσεις μεταξύ των εγκάρσιων οπλισμών κατά μήκος του υποστυλώματος δεν θα πρέπει να ξεπερνούν το  $s_{cl,tmax}$ .  
 $s_{cl,tmax} = \min \{ 20 \cdot 18, \min \{ 500, 500 \}, 400 \} \text{ mm} = \min \{ 360, 500, 400 \} \text{ mm} = 360 \text{ mm}$
  - Η  $s_{cl,tmax}$  πρέπει να μειωθεί στο 60% ( $0,6 \cdot s_{cl,tmax} = 0,6 \cdot 360 \text{ mm} = 210 \text{ mm}$ ) σε τμήματα του υποστυλώματος μήκους ίσου με τη μεγαλύτερη διάσταση της διατομής πάνω ή κάτω από δοκό ή πλάκα.

Τελικά τοποθετούνται συνδετήρες  $\phi 8/210 \text{ mm}$  στα άκρα του υποστυλώματος εντός αποστάσεως  $l_{cr} = \min(b; h) = \min(0,5; 0,5) \text{ m} = 0,5 \text{ m}$  από τις παρειές του και  $\phi 8/360 \text{ mm}$  στο υπόλοιπο υποστυλώμα.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του παραπάνω υποστυλώματος εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.4 του επόμενου κεφαλαίου.

### 5.3.3 Διαστασιολόγηση τοιχωμάτων

#### 5.3.3.1 Διαστασιολόγηση έναντι κάμψης και θλίψης σε Ο.Κ.Α

Η διαστασιολόγηση των τοιχωμάτων έναντι κάμψης και θλίψης ορίζει πως πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν όλοι οι οπλισμοί οι οποίοι τοποθετούνται κατά μήκος των επιμηκών παρειών του τοιχώματος στον υπολογισμό της ροπής αντοχής της διατομής. Συνεπώς θα πρέπει να γίνει προδιαστασιολόγηση της διατομής και έπειτα έλεγχος της στην οριακή κατάσταση αστοχίας από προέχουσα κάμψη λόγω ροπής και αξονικής δύναμης. Τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν είναι τα εξής:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών ροπής ( $M_{ed}$ ) και αξονικής ( $N_{ed}$ ) που καταπονούν τα τοιχία από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης η οποία πραγματοποιήθηκε στο SAP2000 όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες. Στα σχήματα Π.5.Α.16 και Π.5.Α.17 παρουσιάζονται τα διάγραμμα των ροπών κάμψης ( $M_{ed}$ ) και των αξονικών ( $N_{ed}$ ) αντίστοιχα του πλαισίου 1 του τοιχωματικού κτηρίου λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών.
2. Εύρεση του ελάχιστου ( $A_{s,vmin}$ ) και μεγίστου ( $A_{s,vmax}$ ) διαμήκους οπλισμού για τη διατομή του τοιχίου από την §9.6.2(1). Σύμφωνα με αυτήν:  
 $A_{s,vmin} = 0,002 A_c$   
 $A_{s,vmax} = 0,04 A_c$   
 όπου:  $A_c$  είναι η συνολική διατομή του τοιχίου.
3. Προδιαστασιολόγηση διατομής τοιχίου. Επιλογή εξ' αρχής των οπλισμών που θα τοποθετηθούν προσέχοντας να ικανοποιούν τους περιορισμούς του βήματος 2.  
 $A_{s,vmin} \leq A_{s,v} \leq A_{s,vmax}$
4. Εξέταση ταυτόχρονης αστοχίας της εκθλιβόμενης ( $\epsilon_{c2} = -0,0035$ ) και της εφελκυσμένης ζώνης του σκυροδέματος ( $\epsilon_{c1} = 0,0675$ ).
5. Σχεδιασμός διαγράμματος παραμορφώσεων της διατομής. Εύρεση της θέσης του ουδετέρου άξονα (εύρεση της τιμής του  $x$ ) και της παραμόρφωσης στην στάθμη κάθε οπλισμού  $\epsilon_{si}$ .
6. Υπολογισμός της θλιπτικής δύναμης του σκυροδέματος  $F_{cd}$ .  
 Λαμβάνοντας απλοποιημένο ορθογωνικό διάγραμμα σκυροδέματος ισχύει:  
 $F_{cd} = -b(0,8x)f_{cd}$  η οποία ασκείται σε απόσταση  $0,4x$  από την άνω ίνα της διατομής.
7. Υπολογισμός της παραμόρφωσης που αντιστοιχεί στη διαρροή του χάλυβα των οπλισμών :  $\epsilon_{yd} = F_{yd}/E$
8. Υπολογισμός δυνάμεων οπλισμών.  $F_{sd,i} = A_{s,i} \cdot \sigma_{sd,i}$   
 Για τον υπολογισμό της τάσης του οπλισμού  $\sigma_{sd,i}$  γίνεται σύγκριση της παραμόρφωσης του οπλισμού με την παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη διαρροή του:  
 - Αν  $\epsilon_{si} < \epsilon_{yd}$  τότε:  $F_{sd,i} = A_{s,i} \cdot \epsilon_{si} \cdot E$   
 - Αν  $\epsilon_{si} \geq \epsilon_{yd}$  τότε:  $F_{sd,i} = A_{s,i} \cdot f_{yd}$
9. Έλεγχος ισοδυναμίας εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.  $N_{ed} = F_{cd} + \sum F_{sd,i}$   
 Γενικά, η ισοδυναμία αυτή δεν επιτυγχάνεται με την πρώτη δόκιμη και ,επομένως, η υπόθεση του βήματος 4 δεν είναι αληθής. Αν έχει βρεθεί:  
 -  $|N_{ed} - F_{cd}| > |\sum F_{sd,i}|$  θα έχουμε αστοχία εφελκυσμένης ζώνης ( $\epsilon_{c1} = 0,0675$ )  
 -  $|N_{ed} - F_{cd}| < |\sum F_{sd,i}|$  θα έχουμε αστοχία θλιβόμενης ζώνης ( $\epsilon_{c2} = -0,0035$ ) που είναι το πιθανότερο σενάριο.
10. Εκλογή νέας θέσεως ουδετέρου άξονα (θέση  $x$ ) με αστοχία της ζώνης που πρόεκυψε από το βήμα 6 και τυχούσα δοκιμαστική τιμή παραμόρφωσης για την άλλη ζώνη.
11. Επανάληψη των βημάτων 4 έως 9 μέχρις ότου επιτευχτεί η ισοδυναμία εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων. Έτσι προσδιορίζονται τα πραγματικά μεγέθη  $x$ ,  $F_{cd}$ ,  $\sum F_{sd,i}$
12. Υπολογισμός της ροπής αντοχής ( $M_{Rd}$ ) τη στιγμή της αστοχίας της διατομής. Εκλογή ενός σημείου αναφοράς (π.χ. κέντρο βάρους, στάθμη κάτω οπλισμού) και υπολογισμός της ροπής αντοχής ως άθροισμα των γινομένων των δυνάμεων που επενεργούν επί την απόσταση τους από το σημείο αναφοράς.

### 13. Έλεγχος ασφαλείας. Αν:

- $M_{Rd} \geq M_{ed}^*$  τότε η διατομή επαρκεί και τοποθετείται ο οπλισμός που υποθέσαμε στο βήμα 3
- $M_{Rd} \leq M_{ed}^*$  τότε η διατομή δεν επαρκεί. Θα πρέπει να γίνει επαναδιαστασιολόγηση της διατομής επαναλαμβάνοντας ,ουσιαστικά, τα βήματα 3 έως 13 μέχρις ότου η ροπή αντοχής της διατομής να γίνει μεγαλύτερη ή ίση με την επιβαλλόμενη ροπή.  
\*  $M_{ed}$  είναι η ροπή σχεδιασμού ως προς το σημείο αναφοράς που επιλέχθηκε στο βήμα 12.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί παραδείγμα στο οποίο θα γίνει αναλυτική διαστασιολόγηση ενός τοιχίου του τοιχωματικού κτηρίου με βάση τα παραπάνω βήματα. Με τον ίδιο τρόπο θα γίνει η διαστασιολόγηση και των υπολοίπων τοιχίων η οποία παρουσιάζεται στο παράρτημα με τη μορφή πίνακα (πίνακας Π.5.Β.9).

### 5.3.3.1.1 Παράδειγμα διαστασιολόγησης τοιχώματος έναντι κάμψης και θλίψης στην ΟΚΑ

Η διαστασιολόγηση των τοιχωμάτων έγινε στο Excel. Έπειτα από πληθώρα δοκίμων καταλήξαμε στο βέλτιστο αποτέλεσμα όπλισης που είναι αυτό που θα παρουσιαστεί παρακάτω.

Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί το τοιχίο W1-IS του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτό των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα διαστασιολόγησης της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών ροπής ( $M_{ed}$ ) και αξονικής ( $N_{ed}$ ) που καταπονούν τα τοιχία από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης η οποία πραγματοποιήθηκε στο SAP2000 όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες. Στο τοιχίο του παραδείγματος, όπως φαίνεται και στα σχήματα Π.5.Α.17 και Π.5.Α.18, εμφανίζονται τα εξής εντατικά μεγέθη:

$$- N_{Ed} = -1051,94 \text{ kN}$$

$$- M_{Ed} = 2897,40 \text{ kNm}$$

2. Εύρεση του ελάχιστου ( $A_{s,vmin}$ ) και μεγίστου ( $A_{s,vmax}$ ) διαμήκους οπλισμού για τη διατομή του τοιχίου από την §9.6.2(1). Σύμφωνα με αυτήν:

$$A_{s,vmin} = 0,002A_c = 0,002 \cdot 30\text{cm} \cdot 350\text{cm} = 21\text{cm}^2$$

$$A_{s,vmin} = 0,04A_c = 0,04 \cdot 30\text{cm} \cdot 350\text{cm} = 420\text{cm}^2$$

όπου:  $A_c$  είναι η συνολική διατομή του τοιχίου.

3. Προδιαστασιολόγηση διατομής τοιχίου. Επιλεγό να τοποθετήσω 11 στρώσεις οπλισμών κατά τη διαμήκη έννοια με μεταξύ τους απόσταση 34cm, συμμετρικά τοποθετημένες τόσο κατά μήκος όσο και κατά πλάτος της διατομής. Κάθε στρώση περιλαμβάνει 2 ράβδους  $\phi 12$  ( $2A_s=2,26\text{cm}^2$ ) τοποθετημένες μια σε κάθε επιμήκη παρειά του τοιχίου. Το συνολικό εμβαδόν οπλισμού είναι  $A_{s,v} = 24,88\text{cm}^2$  και ισχύει  $A_{s,vmin} \leq A_{s,v} \leq A_{s,vmax}$
4. Θεωρώ αστοχία της θλιβόμενης ζώνης σκυροδέματος  $\epsilon_{c2}=-0,0035$  και παραμόρφωση κατώτερης στάθμης οπλισμού  $\epsilon_{c1}=0,0198$ .
5. Σχεδιασμός διαγράμματος παραμορφώσεων της διατομής. Η θέση του ουδετέρου άξονα είναι σε απόσταση  $x=51,9\text{cm}$  από την άνω ίνα της διατομής. Η παραμόρφωση στη στάθμη κάθε οπλισμού  $\epsilon_{si}$  είναι:

Στρώση οπλ.	Απόσταση $y_i$ από άνω ίνα (mm)	Παραμόρφωση
11	50	-0,00316281
10	390	-0,00086994
9	730	0,001422929
8	1070	0,0037158
7	1410	0,006008671
6	1750	0,008301541
5	2090	0,010594412
4	2430	0,012887283
3	2770	0,015180154
2	3110	0,017473025
1	3450	0,019765896

6. Υπολογισμός της θλιπτικής δύναμης του σκυροδέματος  $F_{cd}$ .

Λαμβάνοντας απλοποιημένο ορθογωνικό διάγραμμα σκυροδέματος ισχύει:

$$F_{cd} = -b(0,8x)f_{cd} = -30 \cdot 0,8 \cdot 51,9 \cdot 0,85 \cdot 25 / 1,5 = -1764,60 \text{ kN}$$

η οποία ασκείται σε απόσταση  $0,4x=20,76\text{cm}$  από την άνω ίνα της διατομής.

7. Υπολογισμός της παραμόρφωσης που αντιστοιχεί στη διαρροή του χάλυβα των οπλισμών:

$$\varepsilon_{yd} = \frac{F_{yd}}{E} = \frac{500 / 1,15 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}} = 0,00217$$

8. Υπολογισμός δυνάμεων οπλισμών.  $F_{sd,i} = A_{s,i} \cdot \sigma_{sd,i}$

Για τον υπολογισμό της τάσης του οπλισμού  $\sigma_{sd,i}$  γίνεται σύγκριση της παραμόρφωσης του οπλισμού με την παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη διαρροή του:

– Στάθμη οπλ. 11:  $|\varepsilon_{s,11}| = 0,00316 > \varepsilon_{yd} = 0,00217$

$$F_{sd,11} = A_{s,i} \cdot f_{yd} = -2,26\text{cm}^2 \cdot 500 / 1,15\text{MPa} = -983,45 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \text{cm}^2 = -98,345\text{kN}$$

– Στάθμη οπλ. 10:  $|\varepsilon_{s,10}| = 0,00087 < \varepsilon_{yd} = 0,00217$

$$F_{sd,10} = A_s \cdot \varepsilon_{s,10} \cdot E = 2,26\text{cm}^2 \cdot (-0,00087) \cdot 200000\text{MPa} = -393,55 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \text{cm}^2 = -39,355\text{kN}$$

– Στάθμη οπλ. 9:  $\varepsilon_{s,9} = 0,00142 < \varepsilon_{yd} = 0,00217$

$$F_{sd,9} = A_s \cdot \varepsilon_{s,9} \cdot E = 2,26\text{cm}^2 \cdot 0,00142 \cdot 200000\text{MPa} = 643,72 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \text{cm}^2 = 64,372\text{kN}$$

– Στάθμη οπλ. 8 έως 1 :  $\varepsilon_{s,i} > \varepsilon_{yd} = 0,00217$

$$F_{sd,1-8} = A_s \cdot f_{yd} = 2,26\text{cm}^2 \cdot 500 / 1,15\text{MPa} = 983,45 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \text{cm}^2 = 98,345\text{kN}$$

9. Έλεγχος ισοδυναμίας εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.

$$N_{ed} = F_{cd} + \Sigma F_{sd,i} \Rightarrow N_{ed} = F_{cd} + F_{sd,11} + F_{sd,10} + F_{sd,9} + F_{sd,1-8} \Rightarrow$$

$$-1051,94 = -1764,6 - 98,345 - 39,355 + 64,372 + 8 \cdot 98,345 \Rightarrow$$

$$-1051,94\text{kN} = -1051,16\text{kN}$$

Συνεπώς υπάρχει ισοδυναμία εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.

10. Υπολογισμός της ροπής αντοχής ( $M_{Rd}$ ) τη στιγμή της αστοχίας της διατομής.

Ως σημείο αναφοράς επιλέγω το κέντρο βάρους της διατομής.

$$M_{Rd} = |F_{cd}| \cdot (h/2 - 0,4x) + \sum_{i=10}^{11} |F_{sd,i}| \cdot (h/2 - y_i) - \sum_{i=7}^9 F_{sd,i} \cdot (h/2 - y_i) + \sum_{i=1}^6 F_{sd,i} \cdot (y_i - h/2)$$

$$M_{Rd} = 3278,02 \text{ kNm}$$

11. Έλεγχος ασφαλείας:  $M_{Rd} = 3278,02 \text{ kNm} > M_{ed} = 2897,4 \text{ kNm}$

Συνεπώς η διατομή επαρκεί και οπλίζεται όπως περιγράφηκε στο βήμα 3.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του παραπάνω τοιχώματος εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.5 του επόμενου κεφαλαίου.

### 5.3.3.2 Διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης σε Ο.Κ.Α

Η διαστασιολόγηση του τοιχώματος έναντι διάτμησης για το τοιχωματικό κτήριο περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών λόγω αξονικής ( $N_{ed}$ ) και τέμνουσας ( $V_{ed}$ ) από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης η οποία πραγματοποιήθηκε στο SAP2000 όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες. Στο σχήμα Π.5.18 παρουσιάζεται το διάγραμμα των τεμνουσών ( $V_{ed}$ ) του πλαισίου 1 του τοιχωματικού κτηρίου λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών (το διάγραμμα των αξονικών έχει ήδη παρουσιαστεί στο σχήμα Π.5.17).
2. Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της αντοχής σε τέμνουσα του στοιχείου χωρίς οπλισμό διάτμησης  $V_{Rd,c}$  από την §6.2.2(1). Σύμφωνα με αυτήν:

$$V_{Rd,c} = \max \{ [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_l \sigma_{cp}] b h, (v_{\min} + k_l \sigma_{cp}) b h \} \text{ όπου:}$$

- $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το Εθνικό προσάρτημα
- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$  όπου  $d(mm)$  το στατικό ύψος του τοιχώματος όπως έχει ήδη υπολογιστεί
- $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0,02$  το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού όπου  $A_{sl}$  το εμβαδόν του εφελκόμενου οπλισμού της διατομής
- $f_{ck}$  η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, η οποία στην περίπτωση μας ισούται με 25MPa
- $k_l = 0,15$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα
- $\sigma_{cp} = N_{Eds} / A_c < 0,2 f_{cd} [MPa]$  όπου  $N_{Eds}$  η αξονική σχεδιασμού που καταπονεί τη δοκό, όπως υπολογίστηκε στο βήμα (1).
- $b$  το πλάτος της διατομής του τοιχώματος
- $h$  το μήκος της διατομής του τοιχώματος

–  $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$  όπου  $k$  και  $f_{ck}$  αναφέρονται παραπάνω.

Στο τέλος του βήματος (2) γίνεται σύγκριση της  $V_{Rd,c}$  με την  $V_{ed,x=0}$ . Αν  $V_{Rd,c} \geq V_{ed,x=0}$  τότε το στοιχείο δεν χρειάζεται οπλισμό διάτμησης, τοποθετείται ο ελαχιστος και ο έλεγχος τελειώνει. Αν  $V_{Rd,c} \leq V_{ed,x=0}$  τότε το στοιχείο χρειάζεται οπλισμό διάτμησης και ακολουθεί το βήμα (3).

3. Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της μέγιστης τέμνουσας που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο, όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων  $V_{Rd,max}$  από την §6.2.3(3). Σύμφωνα με αυτήν:

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta) \text{ ή}$$

$$V_{Rd,max} = 0,18 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{f_{ck}}{250} \right) \right] \cdot f_{ck} \cdot \sin 2\theta \cdot b_w \cdot d \text{ όπου:}$$

- $\alpha_{cw} = 1$  ένας συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την εντατική κατάσταση στη θλιβόμενη διαγώνιο, η συνιστώμενη τιμή του οποίου δίνεται στο Εθνικό προσάρτημα,
- $z$  ο μοχλοβραχίονας της διατομής σε ένα στοιχείο σταθερού ύψους, ο οποίος αντιστοιχεί στην καμπτική ροπή που δρα στο στοιχείο. Στο σχεδιασμό έναντι διάτμησης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος χωρίς αξονικό φορτίο, μπορεί να ληφθεί για το μοχλοβραχίονα η προσεγγιστική τιμή  $z = 0,9d$ .
- $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος
- $v_1$  ένας δείκτης μείωσης της αντοχής για σκυροδέμα ρηγματωμένο λόγω διάτμησης,

$$\text{η συνιστώμενη τιμή του οποίου είναι ίση με } v = 0,6 \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$$

Στο τέλος του βήματος 3 γίνεται σύγκριση της  $V_{Rd,max}$  με την  $V_{ed,x=0}$ . Αν  $V_{Rd,max} \leq V_{ed,x=0}$  τότε οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος δεν επαρκούν και επιβάλλεται αλλαγή διατομής. Αν  $V_{Rd,max} \geq V_{ed,x=0}$  τότε οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος επαρκούν και ακολουθεί το βήμα 4.

4. Υπολογισμός του απαιτούμενου οπλισμού  $A_{sw}/s$  σε απόσταση  $d$  από την παρειά του υποστρώματος, λύνοντας τον τύπο του  $V_{Rd,s}$  που δίνεται από την §6.2.3(3) και όπου  $V_{Rd,s} = V_{ed,x=d}$ . Σύμφωνα με αυτήν:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{ed,x=d}}{z f_{ywd} \cot\theta} \text{ όπου: } f_{ywd} \text{ είναι η τάση διαρροής των συνδετήρων και } z = 0,9d \text{ σύμφωνα με την 6.2.3(1)}$$

Ο οπλισμός  $A_{sw}$  τοποθετείται σε απόσταση  $s$  σε διαστήματα  $l-x$  εκατέρωθεν των παρειών του τοιχώματος.

5. Έλεγχος οριζοντίου οπλισμού. Ελέγχεται αν ο οπλισμός που τοποθετήθηκε στο βήμα (4) ικανοποιεί την απαίτηση οριζοντίου οπλισμού τοιχώματος όπως ορίζεται στην §9.6.3(1),(2) του ΕΚ-2 ως εξής:

$$A_{s,h\min} = \max(0,25 \cdot A_{s,v\min}; 0,001 \cdot A_c)$$

$$\text{με } s_{h,\max} = 400\text{mm}$$

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί παραδείγμα στο οποίο θα γίνει αναλυτική διαστασιολόγηση ενός τοιχίου του τοιχωματικού κτηρίου με βάση τα παραπάνω βήματα. Με τον ίδιο τρόπο θα γίνει η διαστασιολόγηση και των υπολοίπων τοιχίων η οποία παρουσιάζεται στο παράρτημα με τη μορφή πίνακα (πίνακας Π.5.Β.10).

### 5.3.3.2.1 Παράδειγμα διαστασιολόγησης τοιχώματος έναντι διάτμησης σε ΟΚΑ

Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί το τοίχιο W1-IS του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτό των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα διαστασιολόγησης της παραπάνω ενότητας έχουμε:

#### 1. Υπολογισμός εντατικών μεγεθών:

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 5.3.3.2 για την διαστασιολόγηση του τοιχώματος έναντι διάτμησης απαραίτητες είναι οι τιμές της αξονικής ( $N_{ed}$ ) και τέμνουσας ( $V_{ed}$ ) που το καταπονούν. Στο τοίχωμα του παραδείγματός μας, όπως φαίνεται και στα σχήματα Π.5.Α.18 και Π.5.Α.19 λαμβάνουμε τις εξής τιμές:

$$- N_{Ed} = 960,19 \text{ kN}$$

$$- V_{Ed} = 331,3 \text{ kN}$$

#### 2. Υπολογισμός της αντοχής σχεδιασμού σε τέμνουσα στοιχείων χωρίς οπλισμό διάτμησης (κατά τη ρηγμάτωση):

$$V_{Rd,c} = \max \{ [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b \cdot h; (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot h \} \quad \text{σύμφωνα με την §6.2.2.(1) όπου:}$$

$$- C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$- k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{3450}} = 1,2408 \leq 2,0 \quad \text{όπου } d(\text{mm}) \text{ το στατικό ύψος του τοιχίου.}$$

$$- \rho_l = \frac{A_{sl}}{b \cdot d} = \frac{24,88\text{cm}^2}{30\text{cm} \cdot 345\text{cm}} = 0,0024 \leq 0,02 \quad \text{το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού όπου}$$

$A_{sl}$  το εμβαδόν του εφελκόμενου οπλισμού της διατομής.

$$- f_{ck} = 25\text{MPa} \text{ η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος,}$$

$$- k_1 = 0,15 \text{ η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα}$$

$$- \sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = \frac{960,19 \cdot 1000 \text{ N}}{300 \text{ mm} \cdot 3500 \text{ mm}} = 0,91 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 0,91 \text{ MPa}$$



- $b = 500\text{mm}$  το πλάτος της διατομής του τοιχίου
- $h = 500\text{mm}$  το ύψος της διατομής του τοιχίου
- $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,2408^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0,2419$  όπου  $k$  και  $f_{ck}$  αναφέρονται παραπάνω.

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b \cdot h; (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot h \right\}$$

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ [0,12 \cdot 1,2408 \cdot (100 \cdot 0,0024 \cdot 25)^{1/3} + 0,15 \cdot 0,91] \cdot 300 \cdot 3500; (0,2419 + 0,15 \cdot 0,91) \cdot 300 \cdot 3500 \right\}$$

$$V_{Rd,c} = \max \{ 428260 \text{ N}; 397320 \text{ N} \} \Rightarrow V_{Rd,c} = 428,26 \text{ kN}$$

$$\text{Έλεγχος: } V_{Rd,c} = 428,26 \text{ kN} > V_{Ed} = 331,3 \text{ kN}$$

Συμπέρασμα: Η αντοχή του άοπλου έναντι διάτμησης (οπλισμένου όμως έναντι κάμψης) τοιχώματος υπερβαίνει την δρώσα τέμνουσα σχεδιασμού. Συνεπώς ο περεταίρω έλεγχος περιττεύει και τοποθετείται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός.

3. Εύρεση του ελάχιστου οπλισμού διάτμησης οποίος ορίζεται στην §9.6.3(1) ως εξής:

$$A_{s,hmin} = \max(0,25 \cdot A_{s,vmin}; 0,001 \cdot A_c) = \max(0,25 \cdot 24,88; 0,001 \cdot 30 \cdot 350) = 10,5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Άρα } A_{s,h,παρ} = A_{s,hmin} / 2 = 5,25 \text{ cm}^2$$

Επιλέγω οριζόντιο οπλισμό διατομής  $\phi 12$  με  $A_s = 1,13 \text{ cm}^2$

$$n = A_{s,h,παρ} / A_{s,\phi 12} = 5,25 / 1,13 = 4,64 \text{ συνεπώς θα χρειαστώ } 5 \text{ ράβδους για κάθε όροφο που θα τοποθετηθούν σε απόσταση } s = h_{st} / n = 3500 \text{ mm} / 5 = 700 \text{ mm}$$

$$\text{Όμως σύμφωνα με τη §9.6.3(2) } s_{h,max} = 400 \text{ mm}$$

Τελικά τοποθετούνται οριζόντιες ράβδοι  $\phi 12/400\text{mm}$  σε όλο το υψος του τοιχώματος.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του παραπάνω τοιχώματος εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.5 του επόμενου κεφαλαίου.

## 5.4 Διαστασιολόγηση για κατηγορία πλαστιμότητας μέση (ΚΠΜ)

### 5.4.1 Γενικά

Στην ενότητα αυτή (5.4) θα πραγματοποιηθεί λεπτομερής διαστασιολόγηση του πλαισίου 1, και των δύο κατασκευών, για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας (ΚΠΜ) σύμφωνα με την §5.4 του ΕΚ-8. Η πορεία της διαστασιολόγησης για τη μέση κατηγορία (αλλά και την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας παρακάτω) θα είναι διαφορετική σε σχέση με τη χαμηλή κατηγορία πλαστιμότητας. Πιο συγκεκριμένα, θα πραγματοποιηθεί η διαστασιολόγηση έναντι κάμψης τόσο των δοκών όσο και των υποστυλωμάτων και στη συνέχεια η διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης για τις δοκούς και τα υποστυλώματα. Αυτό συμβαίνει διότι η διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης, τόσο των δοκών όσο και των υποστυλωμάτων, πραγματοποιείται με βάση την τιμή του μεγέθους της ικανοτικής τέμνουσας η οποία για να υπολογιστεί πρέπει πρώτα να είναι γνωστές οι τιμές της ροπής αντοχής στα άκρα των δοκών

και των υποστυλωμάτων. Οι τιμές αυτές της ροπής αντοχής υπολογίζονται αφού πρώτα υπολογιστούν οι τοποθετούμενοι διαμήκεις οπλισμοί των μελών κάτι που πραγματοποιείται κατά τη διαστασιολόγηση έναντι κάμψης τόσο για τις δοκούς όσο και για τα υποστυλώματα.

## 5.4.2 Γεωμετρικοί περιορισμοί και υλικά για την ΚΠΜ

Σύμφωνα με την §5.4.1, για να πραγματοποιηθεί η μελέτη για αυτή την κατηγορία πλαστιμότητας, πρέπει πρώτα να ικανοποιούνται κάποιες απαιτήσεις υλικών και κάποιοι γεωμετρικοί περιορισμοί. Πιο αναλυτικά:

### – Απαιτήσεις υλικών (§5.4.1.1)

1. Σε κύρια σεισμικά στοιχεία δεν θα χρησιμοποιείται σκυρόδεμα κατηγορίας χαμηλότερης από C16/20.
2. Σε κρίσιμες περιοχές των κύριων σεισμικών στοιχείων θα χρησιμοποιούνται αποκλειστικά ράβδοι με νευρώσεις με εξαίρεση τους κλειστούς και μονοσκελείς συνδετήρες.
3. Σε κρίσιμες περιοχές των κύριων σεισμικών στοιχείων θα χρησιμοποιείται χάλυβας οπλισμού κατηγορίας B ή C του EN 1992-1-1:2004, Πίνακας C.1.
4. Συγκολλημένα πλέγματα επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται εφόσον ικανοποιούν τις απαιτήσεις των (2) και (3) της παρούσας.

Παρατηρούμε ότι οι παραπάνω απαιτήσεις υλικών, σύμφωνα και με τις παραδοχές σχεδιασμού που έχουμε ήδη κάνει στην ενότητα 1.2, ικανοποιούνται επομένως προχωράμε στον έλεγχο ικανοποίησης των γεωμετρικών περιορισμών.

Σύμφωνα με την §5.4.1.2, τα στοιχεία των κατασκευών που μελετάμε πρέπει να ικανοποιούν ορισμένους γεωμετρικούς περιορισμούς. Πιο αναλυτικά:

### – Γεωμετρικοί περιορισμοί δοκών (§5.4.1.2.1)

1. Η (οριζόντια) εκκεντρότητα του άξονα δοκών σε σχέση με αυτόν του υποστυλώματος στο οποίο συμβάλλει θα είναι περιορισμένη ώστε να επιτρέπει σωστή μεταφορά των ανακυκλικών ροπών από μια κύρια σεισμική δοκό σε ένα υποστύλωμα.
2. Για να καλυφθεί η απαίτηση της (1), η (οριζόντια) απόσταση μεταξύ των αξόνων των δύο μελών πρέπει να περιορίζεται σε λιγότερο από  $b_c/4$ , όπου  $b_c/4 = 50/4 = 12,5\text{cm}$  είναι η μεγαλύτερη διάσταση διατομής του υποστυλώματος κάθετα στον διαμήκη άξονα της δοκού.
3. Για την εκμετάλλευση της ευνοϊκής επίδρασης της θλίψης (του σκυροδέματος) υποστυλωμάτων στην συνάφεια των οριζόντιων ράβδων που διέρχονται μέσα στον κόμβο, το πλάτος  $b_w$  μιας κύριας σεισμικής δοκού θα ικανοποιεί την ακόλουθη έκφραση:  $b_w \leq \min \{b_c + h_w; 2b_c\} = \min \{50 + 60; 2 \cdot 50\} = 100\text{ cm}$  όπου  $h_w$  είναι το ύψος της δοκού και  $b_c$  όπως ορίζεται στην (2) της παρούσας. Παρατηρούμε ότι πράγματι το πλάτος όλων των δοκών των κατασκευών μας είναι ίσο με  $b = 30\text{ cm}$  επομένως ο περιορισμός αυτός ικανοποιείται.

Συνοψίζοντας λοιπόν ικανοποιούνται και οι τρεις γεωμετρικοί περιορισμοί της §5.4.1.2.1 για τις δοκούς των δύο κτηρίων.

### – Γεωμετρικοί περιορισμοί υποστυλωμάτων (§5.4.1.2.2)

Εκτός εάν  $\theta \leq 0,1$  (§4.4.2.2(2)), οι διαστάσεις διατομής κύριων σεισμικών υποστυλωμάτων δεν πρέπει να είναι μικρότερες από το 1/10 της μεγαλύτερης απόστασης μεταξύ του σημείου κάμψης και των άκρων του υποστυλώματος, για κάμψη μέσα σε επίπεδο παράλληλο προς την εξεταζόμενη διάσταση υποστυλώματος.

– Γεωμετρικοί περιορισμοί πλάστιμων τοιχωμάτων (§5.4.1.2.3)

1. Το πάχος του κορμού,  $b_{wo}$  (m) πρέπει να ικανοποιεί την ακόλουθη έκφραση:  
$$b_{wo} \geq \max\{0,15 ; h_s / 20\} = \max\{0,15 ; 3,5 / 20\} = 0,175m$$
, όπου  $h_s$  είναι το καθαρό ύψος ορόφου σε μέτρα. Πράγματι το πάχος του κορμού όλων των τοιχωμάτων, και των δύο κατασκευών, είναι ίσο με  $b_w = 0,30m$  επομένως ο γεωμετρικός περιορισμός αυτός ικανοποιείται.
2. Πρόσθετες απαιτήσεις εφαρμόζονται όσον αφορά το πάχος των περισφιγμένων στοιχείων άκρων των τοιχωμάτων, όπως ορίζονται στην 5.4.3.4.2(10). Πιο συγκεκριμένα:

### 5.4.3 Διαστασιολόγηση έναντι κάμψης σε ΟΚΑ

#### 5.4.3.1 Διαστασιολόγηση δοκών έναντι κάμψης σε ΟΚΑ

Η διαδικασία της διαστασιολόγησης των δοκών του πλαισίου 1 σε κάμψη για την οριακή κατάσταση αστοχίας και για τα δύο κτήρια αποτελείται από τα εξής βήματα:

1. Υπολογισμός εντατικών μεγεθών:

Τα εντατικά μεγέθη με βάση τα οποία θα διαστασιολογήσουμε κάθε δοκό στην ενότητα αυτή προκύπτουν από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης που έγινε στην ενότητα 4.2 της παρούσης. Επιλέγεται η μέθοδος αυτή έναντι της μεθόδου ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης λόγω μεγαλύτερης ακρίβειας αποτελεσμάτων. Η περιβάλλουσα των ροπών κάμψης είναι ιδιαίτερα χρήσιμη διότι μας δείχνει, σε κάθε σημείο της δοκού, τη μέγιστη ροπή που μπορεί να εμφανιστεί λόγω του συνόλου των σεισμικών συνδυασμών. Στο παράρτημα (σχήματα Π.5.Α.19 και Π.5.Α.20) παρουσιάζονται οι περιβάλλουσες των ροπών κάμψης των δοκών του πλαισίου 1 τόσο του πλαισιακού όσο και του τοιχωματικού κτηρίου.

2. Υπολογισμός του συνεργαζόμενου πλάτους:

Το συνεργαζόμενο πλάτος  $b_{eff}$  της δοκού το οποίο χρησιμοποιείται στους παρακάτω υπολογισμούς, έχει υπολογισθεί αναλυτικά στην ενότητα 3.2 της παρούσης.

3. Υπολογισμός στατικού ύψους:  $d = h - c_{nom} - \varphi_w - \varphi_l / 2$  όπου:

- $h$  το συνολικό ύψος της δοκού το οποίο είναι δεδομένο
- $c_{nom}$  η επικάλυψη των οπλισμών όπως υπολογίστηκε στην ενότητα 5.2 της παρούσης
- $\varphi_w$  η διάμετρος των χρησιμοποιούμενων εγκάρσιων συνδετήρων
- $\varphi_l$  η διάμετρος των χρησιμοποιούμενων διαμήκων ράβδων οπλισμού.

4. Έλεγχος γεωμετρικών απαιτήσεων δοκού:

Στο βήμα αυτό εξετάζουμε εάν ικανοποιούνται οι γεωμετρικοί περιορισμοί για κάθε δοκό που διαστασιολογούμε όπως ορίσαμε στην ενότητα 5.4.1, σύμφωνα με την §5.4.1.2.1 του ΕΚ-8 . Οι περιορισμοί αυτοί σχετίζονται κυρίως με το πλάτος ( $b_w$ ) των κυρίων σεισμικών δοκών.

5. Έλεγχος ελαχίστου επιτρεπόμενου διαμήκους οπλισμού:

Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε το ελάχιστο επιτρεπόμενο ποσοστό διαμήκους οπλισμού της

δοκού ως εξής:  $\rho_{\min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}$  όπου

- $f_{ctm}$  η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος και
- $f_{yk}$  το ονομαστικό όριο διαρροής του χάλυβα που χρησιμοποιούμε.

Στη συνέχεια υπολογίζουμε και την ελάχιστη επιτρεπόμενη ποσότητα διαμήκους οπλισμού ως εξής:  $A_{s \min} = \rho_{\min} \cdot b_w \cdot d$  όπου

- $\rho_{\min}$  υπολογίστηκε παραπάνω
- $b_w$  το πλάτος της δοκού και
- $d$  το στατικό ύψος της δοκού.

6. Υπολογισμός ανηγμένης ροπής και αξονικής σχεδιασμού:

Η ανηγμένη ροπή σχεδιασμού είναι ίση με:  $\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$

και η ανηγμένη αξονική σχεδιασμού είναι ίση με:  $\nu_{Ed} = \frac{N_{Eds}}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$  όπου:

- $M_{Eds}$  και  $N_{Eds}$  η δρώσα ροπή και αξονική σχεδιασμού αντίστοιχα όπως υπολογίσθηκαν στο βήμα (1)
- $b = b_{eff}$  για λειτουργία πλακοδοκού και  $b = b_w$  για λειτουργία δοκού
- $d$  το στατικό ύψος της δοκού όπως υπολογίστηκε παραπάνω
- $f_{cd}$  η αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος που στην περίπτωσή μας είναι ίση με  $f_{cd} = 25 / 1,5 = 14,17 MPa$  για σκυρόδεμα C25/30.

7. Υπολογισμός γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού:  $\omega_1 = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{Eds}}) + \nu_{Ed}$

8. Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού:  $A_{s1} = \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$  όπου

$f_{yd} = 500 / 1,15 = 434,78 MPa$  το όριο διαρροής σχεδιασμού για χάλυβα οπλισμού B500c

9. Σύγκριση απαιτούμενου οπλισμού με τον ελάχιστο απαιτούμενο. Σε περίπτωση που ο υπολογιζόμενος απαιτούμενος οπλισμός είναι μικρότερος του ελαχίστου τοποθετείται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός.
10. Επιλογή συνολικού τοποθετούμενου οπλισμού. Η τοποθέτηση του οπλισμού γίνεται με τη μορφή στρώσεων ράβδων συγκεκριμένης διαμέτρου, όχι μικρότερης των 8mm, έτσι ώστε το συνολικό εμβαδόν αυτού να υπερβαίνει την παραπάνω απαιτούμενη ποσότητα αλλά όχι τη μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα οπλισμού. Η μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα οπλισμού σε μία διατομή υπολογίζεται στο επόμενο βήμα ως εξής:
11. Έλεγχος μεγίστου ποσοστού οπλισμού. Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό οπλισμού το οποίο ισούται με:

$$\rho_{\max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_{\varphi} \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad \text{όπου}$$

- $\rho'$  το γεωμετρικό ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού στο σημείο ελέγχου
- $\mu_{\varphi} = 2 \cdot q_0 - 1$  όπου  $q_0$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς
- $\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s}$  όπου  $E_s$  το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα
- $f_{yd}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα και
- $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος.

12. Υπολογισμός μέγιστης επιτρεπόμενης ποσότητας οπλισμού.

$$A_{s,\max} = \rho_{\max} \cdot b_w \cdot d \quad \text{όπου}$$

- $\rho_{\max}$  το μέγιστο ποσοστό οπλισμού όπως υπολογίστηκε στο βήμα (11)
- $b_w$  το πλάτος της δοκού και
- $d$  το στατικό ύψος της δοκού.

13. Έλεγχος μέγιστης επιτρεπόμενης διαμέτρου διαμήκους οπλισμού:

Συμφωνα με την §5.6.2.2(2) για την αποφυγή αστοχίας συνάφειας, η διάμετρος των διαμήκων ράβδων δοκού που διέρχονται μέσω κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων,  $d_{bL}$ , θα περιορίζεται σύμφωνα με τις ακόλουθες εκφράσεις:

- α) για εσωτερικούς κόμβους δοκών-υποστυλωμάτων:

$$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot \nu_d}{1 + 0,75 k_D \cdot \rho' / \rho_{\max}} \quad (5.50a)$$

- β) για εξωτερικούς κόμβους δοκών-υποστυλωμάτων:

$$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot (1 + 0,8 \cdot \nu_d) \quad (5.50b)$$

όπου

- $h_c$  είναι το πλάτος του υποστυλώματος παράλληλα προς τις ράβδους

- $f_{ctm}$  είναι η μέση τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος
- $f_{yd}$  είναι η τιμή σχεδιασμού της τάσης διαρροής χάλυβα
- $N_d$  είναι η ανηγμένη αξονική δύναμη σχεδιασμού στο υποστύλωμα, που λαμβάνεται με την ελάχιστη τιμή της για την σεισμική κατάσταση σχεδιασμού ( $N_d = N_{Ed}/f_{cd} \cdot A_c$ );
- $k_D$  είναι συντελεστής που εκφράζει την κατηγορία πλαστιμότητας, ίσος με 1 για ΚΠΥ και με 2/3 για ΚΠΜ
- $\rho'$  είναι το ποσοστό οπλισμού των θλιβόμενων ράβδων που διέρχονται από τον κόμβο
- $\rho_{max}$  είναι το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό εφελκυόμενου οπλισμού (βλέπε 5.4.3.1.2(4) και 5.5.3.1.3(4))
- $\gamma_{Rd}$  είναι ο συντελεστής αβεβαιότητας προσομοιώματος για την τιμή σχεδιασμού των αντοχών, που λαμβάνεται ίσος με 1,2 ή 1,0 αντίστοιχα για ΚΠΥ και ΚΠΜ (λόγω υπεραντοχής προερχόμενης από την σκλήρυνση λόγω παραμόρφωσης του διαμήκους οπλισμού της δοκού

Στο τέλος του βήματος θα πρέπει να ελέγχεται αν οι οπλισμοί που τοποθετηθήκαν ικανοποιούν τους παραπάνω περιορισμούς.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν δύο παραδείγματα, ένα για το πλαισιακό κτήριο και ένα για το τοιχωματικό, στα οποία θα γίνει αναλυτική διαστασιολόγηση δύο δοκών με βάση τα παραπάνω βήματα. Με τον ίδιο τρόπο θα γίνει η διαστασιολόγηση και των υπολοίπων δοκών και των δύο κτηρίων η οποία παρουσιάζεται στο παράρτημα με τη μορφή πινάκων (πίνακες Π.5.Β.11 και Π.5.Β.12).

### 5.4.3.1.1 Παράδειγμα διαστασιολόγησης δοκού πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης στη ΟΚΑ

Στο βήμα αυτό θα γίνει λεπτομερής διαστασιολόγηση μιας δοκού του πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας ακολουθώντας τα βήματα που αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα. Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί η δοκός Β-16C του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτή των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα της παραπάνω ενότητας έχουμε:

#### 1. Υπολογισμός εντατικών μεγεθών:

Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε τις μέγιστες θετικές αλλά και τις μέγιστες αρνητικές τιμές των ροπών κάμψης στα δύο άκρα της δοκού αλλά και στο μέσο αυτής. Σύμφωνα με το σχήμα Π.5.Α.20 προκύπτουν τα εξής εντατικά μεγέθη:

$$\text{Αριστερό άκρο της δοκού: } M_{1a} = -106,74 \text{ KNm και } M_{1κ} = -22,12 \text{ KNm}$$

$$\text{Μέσο της δοκού: } M_{2a} = 32,33 \text{ KNm και } M_{1κ} = 70,15 \text{ KNm}$$

$$\text{Δεξί άκρο της δοκού: } M_{3a} = -136,00 \text{ KNm και } M_{3κ} = -56,72 \text{ KNm}$$

#### 2. Υπολογισμός του συνεργαζόμενου πλάτους:

Για τη δοκό B16-C του πλαισίου 1 ισχύει  $b_{eff} = 1,08m$

3. Υπολογισμός στατικού ύψους:

- $d = h - c_{nom} - \varphi_w - \varphi_l / 2 = 500 - 35 - 8 - 16 / 2 = 551 \text{ mm} \approx 0,55m$  όπου:
- $h = 600 \text{ mm}$  το συνολικό ύψος της δοκού το οποίο είναι δεδομένο
- $c_{nom} = 35 \text{ mm}$  η επικάλυψη των οπλισμών όπως υπολογίσθηκε στην ενότητα 5.2
- $\varphi_w = 8 \text{ mm}$  η διάμετρος των χρησιμοποιούμενων εγκάρσιων συνδετήρων
- $\varphi_l = 12 \text{ mm}$  η διάμετρος των χρησιμοποιούμενων διαμήκων ράβδων οπλισμού.

4. Έλεγχος γεωμετρικών απαιτήσεων δοκού:

Στο βήμα αυτό εξετάζουμε εάν ικανοποιούνται οι γεωμετρικοί περιορισμοί που ορίσαμε στην ενότητα 5.4.1, σύμφωνα με την §5.4.1.2.1 του ΕΚ-8. Πιο συγκεκριμένα το πλάτος της δοκού θα πρέπει να ικανοποιεί τον παρακάτω περιορισμό:

- $b_w \leq \min \{b_c + h_w ; 2b_c\} = \min \{50 + 60 ; 2 \cdot 50\} = 100 \text{ cm}$  όπου
- $h_w = 60 \text{ cm}$  είναι το ύψος της δοκού και
- $b_c = 50 \text{ cm}$  το πλάτος των υποστλωμάτων.

Παρατηρούμε ότι πράγματι το πλάτος της δοκού του παραδείγματός μας είναι ίσο με  $b = 30 \text{ cm}$  επομένως ο περιορισμός αυτός ικανοποιείται.

5. Έλεγχος ελαχίστου επιτρεπόμενου διαμήκους οπλισμού:

Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε το ελάχιστο επιτρεπόμενο ποσοστό διαμήκους οπλισμού της

δοκού ως εξής:  $\rho_{\min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,5 \cdot \frac{2,6}{500} = 0,0026$  όπου

- $f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$  η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος και
- $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$  το ονομαστικό όριο διαρροής του χάλυβα που χρησιμοποιούμε.

Στη συνέχεια υπολογίζουμε και την ελάχιστη επιτρεπόμενη ποσότητα διαμήκους οπλισμού ως εξής:  $A_{s \min} = \rho_{\min} \cdot b_w \cdot d = 0,0026 \cdot 30 \cdot 55 = 4,29 \text{ cm}^2$  όπου

- $\rho_{\min} = 0,0026$  όπως υπολογίστηκε παραπάνω
- $b_w = 30 \text{ cm}$  το πλάτος της δοκού και
- $d = 55 \text{ cm}$  το στατικό ύψος της δοκού.

6. Υπολογισμός ανηγμένης ροπής και αξονικής σχεδιασμού:

Στο βήμα αυτό, για τα δύο άκρα της δοκού αλλά και για το μέσο αυτής, τόσο για τη θετική όσο και για την αρνητική τιμή της ροπής υπολογίζουμε την τιμή της ανηγμένης ροπής:

Στο αριστερό άκρο της δοκού:

$$\mu_{E_{ds},\alpha\nu\omega} = \frac{M_{E_{ds}}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{-106,74}{0,30 \cdot 0,55^2 \cdot 14,17 \cdot 1000} = 0,0830$$

$$\mu_{E_{ds},\kappa\alpha\tau\omega} = \frac{M_{E_{ds}}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{-22,12}{1,08 \cdot 0,55^2 \cdot 14,17 \cdot 1000} = 0,00$$

Για το μέσο της δοκού κάτω:

$$\mu_{E_{ds},\alpha\nu\omega} = \frac{M_{E_{ds}}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{70,15}{1,08 \cdot 0,55^2 \cdot 14,17 \cdot 1000} = 0,0152$$

$$\mu_{E_{ds},\kappa\alpha\tau\omega} = \frac{M_{E_{ds}}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{32,33}{0,30 \cdot 0,55^2 \cdot 14,17 \cdot 1000} = 0,00$$

Για το δεξί άκρο της δοκού:

$$\mu_{E_{ds},\alpha\nu\omega} = \frac{M_{E_{ds}}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{-136,00}{0,30 \cdot 0,55^2 \cdot 14,17 \cdot 1000} = 0,1058$$

$$\mu_{E_{ds},\kappa\alpha\tau\omega} = \frac{M_{E_{ds}}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{-56,72}{1,08 \cdot 0,55^2 \cdot 14,17 \cdot 1000} = 0,00$$

Σημείωση: Όπως παρατηρήθηκε στους παραπάνω υπολογισμούς, δεν έχει νόημα να υπολογίσουμε την τιμή της ανηγμένης ροπής σε σημεία ελέγχου που υπάρχει λειτουργία πλακοδοκού (κάτω) αλλά στο μοντέλο δεν εμφανίζονται καθόλου θετικές ροπές. Το ίδιο ισχύει και στα σημεία ελέγχου που υπάρχει λειτουργία ορθογωνικής διατομής (πάνω) αλλά δεν εμφανίζονται καθόλου αρνητικές ροπές. Στα σημεία αυτά επομένως θέτουμε την τιμή της ανηγμένης ροπής ίση με μηδέν και θα τοποθετήσουμε αργότερα τον ελάχιστο απαιτούμενο οπλισμό.

7. Υπολογισμός γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού:

Για καθένα από τα παραπάνω σημεία, για τα οποία υπολογίσαμε την τιμή την ανηγμένης ροπής, θα υπολογίσουμε στο βήμα αυτό την τιμή του απαιτούμενου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού ως εξής:

Για το αριστερό άκρο της δοκού:

$$\omega_{\alpha\nu\omega} = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{E_{ds}}}) = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,0830}) = 0,0868$$

$$\omega_{\kappa\alpha\tau\omega} = 0,0$$

Για το μέσο της δοκού:

$$\omega_{\alpha\nu\omega} = 0,0$$

$$\omega_{\kappa\alpha\tau\omega} = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{E_{ds}}}) = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,0152}) = 0,0153$$



Για το δεξί άκρο της δοκού:

$$\omega_{ανω} = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{Eds}}) = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,1058}) = 0,1121$$

$$\omega_{κατω} = 0,0$$

8. Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού και σύγκριση αυτού οπλισμού με τον ελάχιστο απαιτούμενο:

Στο βήμα αυτό, για καθένα από τα παραπάνω σημεία ελέγχου, υπολογίζουμε την απαιτούμενη ποσότητα οπλισμού με βάση τα γεωμετρικά ποσοστά οπλισμού που υπολογίσαμε παραπάνω. Στη συνέχεια συγκρίνουμε τις απαιτούμενες ποσότητες οπλισμού κάθε σημείου με τις ελάχιστες επιτρεπόμενες και τοποθετούμε τελικά τη μέγιστη από αυτές. Πιο αναλυτικά:

Για το αριστερό άκρο της δοκού:

$$A_{s,ανω} = \max \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \max \left\{ 4,29 ; 0,0868 \cdot 30 \cdot 55 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} \right\} = 4,67 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,κατω} = \max \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b_{eff} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \max \{ 4,29 ; 0,00 \} = 4,29 \text{ cm}^2$$

Για το μέσο της δοκού:

$$A_{s,ανω} = \max \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b_{eff} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \max \{ 4,29 ; 0,00 \} = 4,29 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,κατω} = \max \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b_{eff} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \max \left\{ 4,29 ; 0,0153 \cdot 108 \cdot 55 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} \right\} = 4,29 \text{ cm}^2$$

Για το δεξί άκρο της δοκού:

$$A_{s,ανω} = \max \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \max \left\{ 4,29 ; 0,1121 \cdot 30 \cdot 55 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} \right\} = 6,02 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,κατω} = \max \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b_{eff} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \max \{ 4,29 ; 0,00 \} = 4,29 \text{ cm}^2$$

9. Επιλογή συνολικού τοποθετούμενου οπλισμού. Η τοποθέτηση του οπλισμού, στα παραπάνω σημεία ελέγχου, γίνεται με τη μορφή στρώσεων ράβδων συγκεκριμένης διαμέτρου έτσι ώστε το συνολικό εμβαδόν αυτού να υπερβαίνει την απαιτούμενη

ποσότητα που υπολογίσαμε στο προηγούμενο βήμα. Επομένως στα σημεία αυτά τοποθετούμε:

Στο το αριστερό άκρο της δοκού:

Άνω: 4Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 6,16 \text{ cm}^2$

Κάτω: 3Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$

Στο το μέσο της δοκού:

Άνω: 3Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$

Κάτω: 3Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$

Στο το δεξί άκρο της δοκού:

Άνω: 4Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 6,16 \text{ cm}^2$

Κάτω: 3Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$

10. Έλεγχος μεγίστου ποσοστού οπλισμού. Στο βήμα αυτό, για κάθε ένα από τα τρία σημεία της δοκού (αριστερή στήριξη, μέσο και δεξιά στήριξη), υπολογίζουμε το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό οπλισμού. Πιο αναλυτικά:

Για την αριστερή στήριξη της δοκού:

$$\rho_{\max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0028 + \frac{0,0018 \cdot 14,17}{6,8 \cdot (434,78 / 200000) \cdot 434,78} = 0,0066 \quad \text{όπου}$$

- $\rho' = 0,0028$  το γεωμετρικό ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού στο σημείο ελέγχου
- $\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 3,9 - 1 = 6,8$  όπου  $q_0 = 3,9$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς
- $\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s}$  όπου  $E_s = 200000 \text{ MPa}$  το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα
- $f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα και
- $f_{cd} = 14,17 \text{ MPa}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος.

Για το μέσο της δοκού:

$$\rho_{\max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0028 + \frac{0,0018 \cdot 14,17}{6,8 \cdot (434,78 / 200000) \cdot 434,78} = 0,0066 \quad \text{όπου}$$

- $\rho' = 0,0028$  το γεωμετρικό ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού στο σημείο ελέγχου
- $\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 3,9 - 1 = 6,8$  όπου  $q_0 = 3,9$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς

- $\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s}$  όπου  $E_s = 200000 \text{ MPa}$  το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα
- $f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα και
- $f_{cd} = 14,17 \text{ MPa}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος.

Για τη δεξιά στήριξη της δοκού:

$$\rho_{\max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0028 + \frac{0,0018 \cdot 14,17}{6,8 \cdot (434,78 / 200000) \cdot 434,78} = 0,0066 \text{ όπου}$$

- $\rho' = 0,0028$  το γεωμετρικό ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού στο σημείο ελέγχου
- $\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 3,9 - 1 = 6,8$  όπου  $q_0 = 3,9$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς
- $\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s}$  όπου  $E_s = 200000 \text{ MPa}$  το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα
- $f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα και
- $f_{cd} = 14,17 \text{ MPa}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος.

11. Υπολογισμός μέγιστης επιτρεπόμενης ποσότητας οπλισμού. Στο βήμα αυτό, με βάση τα μέγιστα επιτρεπόμενα ποσοστά οπλισμού που υπολογίσαμε παραπάνω, θα υπολογίσουμε τη μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα οπλισμού ως εξής:

Για την αριστερή στήριξη της δοκού:  $A_{s,\max} = \rho_{\max} \cdot b_w \cdot d = 0,0066 \cdot 30 \cdot 55 = 10,84 \text{ cm}^2$

Για το μέσο της δοκού:  $A_{s,\max} = \rho_{\max} \cdot b_w \cdot d = 0,0066 \cdot 30 \cdot 55 = 10,84 \text{ cm}^2$

Για τη δεξιά στήριξη της δοκού:  $A_{s,\max} = \rho_{\max} \cdot b_w \cdot d = 0,0066 \cdot 30 \cdot 55 = 10,84 \text{ cm}^2$

Παρατηρούμε ότι καμία από τις τοποθετούμενες ποσότητες οπλισμού, που υπολογίσαμε στο βήμα (9), δεν υπερβαίνει τη μέγιστη επιτρεπόμενη επομένως ο έλεγχος αυτός ικανοποιείται και προχωράμε έτσι στο επόμενο βήμα.

12. Έλεγχος μέγιστης επιτρεπόμενης διαμέτρου διαμήκους οπλισμού:

Σύμφωνα με την §5.6.2.2(2) του ΕΚ-8, για την αποφυγή αστοχίας συνάφειας η διάμετρος των τοποθετούμενων διαμήκων ράβδων δοκού που διέρχονται μέσω κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων,  $d_{bL}$ , θα περιορίζεται σύμφωνα με τους παρακάτω περιορισμούς. Επομένως για τους δύο κόμβους της δοκού θα πρέπει να ισχύουν τα παρακάτω:

- Κόμβος δοκού Β-16 με υποστύλωμα C-12 (εξωτερικός κόμβος):

$$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot (1 + 0,8 \cdot \nu_d) \Rightarrow$$

$$\frac{d_{bL}}{500} \leq \frac{7,5 \cdot 2,6}{1,00 \cdot 434,78} \cdot (1 + 0,8 \cdot 0,1248) \Rightarrow$$

$$d_{bL} \leq 24,66 \text{ mm}$$

- Κόμβος δοκού B-16 με υποστύλωμα C-6 (εσωτερικός κόμβος):

$$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot v_d}{1 + 0,75 k_D \cdot \rho' / \rho_{max}} \Rightarrow$$

$$\frac{d_{bL}}{500} \leq \frac{7,5 \cdot 2,6}{1,00 \cdot 434,78} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot 0,1795}{1 + 0,750,67 \cdot 0,0028 / 0,0066} \Rightarrow$$

$$d_{bL} \leq 21,14 \text{ mm} \text{ όπου}$$

- $h_c = 500 \text{ mm}$  είναι το πλάτος του υποστυλώματος παράλληλα προς τις ράβδους
- $f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$  είναι η μέση τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος
- $f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$  είναι η τιμή σχεδιασμού της τάσης διαρροής χάλυβα
- $v_d = 0,1248$  και  $v_d = 0,1795$  είναι η ανηγμένη αξονική δύναμη σχεδιασμού των υποστυλωμάτων στα δύο άκρα της δοκού.
- $k_D = 0,67$  είναι ο συντελεστής που εκφράζει την κατηγορία πλαστιμότητας.
- $\rho' = 0,0028$  είναι το ποσοστό οπλισμού των θλιβόμενων ράβδων που διέρχονται από τον κόμβο
- $\rho_{max} = 0,0066$
- $\gamma_{Rd} = 1,00$  για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας.

Παρατηρούμε στο σημείο αυτό ότι η διάμετρος των οπλισμών της δοκού του παραδείγματός μας που υπολογίστηκαν στο βήμα (9) ικανοποιεί τους παραπάνω περιορισμούς επομένως ο έλεγχος τελειώνει εδώ.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες της παραπάνω δοκού εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.6 του επόμενου κεφαλαίου.

### 5.4.3.1.2 Παράδειγμα διαστασιολόγησης δοκού τοιχωματικού κτηρίου έναντι κάμψης στη ΟΚΑ

Στο βήμα αυτό θα γίνει λεπτομερής διαστασιολόγηση μιας δοκού του τοιχωματικού κτηρίου έναντι κάμψης για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας ακολουθώντας τα βήματα που αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα. Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί η δοκός B-14B του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτή των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα της παραπάνω ενότητας έχουμε:

#### 1. Υπολογισμός εντατικών μεγεθών:

Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε τις μέγιστες θετικές αλλά και τις μέγιστες αρνητικές τιμές των ροπών κάμψης στα δύο άκρα της δοκού αλλά και στο μέσο αυτής. Σύμφωνα με το σχήμα Π.5.A.21 προκύπτουν τα εξής εντατικά μεγέθη:

Αριστερό άκρο της δοκού:  $M_{1a} = -63,58 \text{ KNm}$

$$M_{1κ} = 0,0 \text{ KNm}$$

Μέσο της δοκού:  $M_{2a} = 0,0 \text{ KNm}$

$$M_{1κ} = 83,11 \text{ KNm}$$

Δεξί άκρο της δοκού:  $M_{3a} = -137,16 \text{ KNm}$

$$M_{3κ} = 0,0 \text{ KNm}$$

2. Υπολογισμός του συνεργαζόμενου πλάτους:

Για τη δοκό B14-B του πλαισίου 1 ισχύει  $b_{eff} = 1,08m$  όπως υπολογίστηκε στην ενότητα 3.2 του παρόντος.

3. Υπολογισμός στατικού ύψους:

- $d = h - c_{nom} - \varphi_w - \varphi_l / 2 = 500 - 35 - 8 - 16 / 2 = 551 \text{ mm} \approx 0,55m$  όπου:
- $h = 600 \text{ mm}$  το συνολικό ύψος της δοκού το οποίο είναι δεδομένο
- $c_{nom} = 35 \text{ mm}$  η επικάλυψη των οπλισμών όπως υπολογίστηκε στην ενότητα 5.2
- $\varphi_w = 8 \text{ mm}$  η διάμετρος των χρησιμοποιούμενων εγκάρσιων συνδετήρων
- $\varphi_l = 12 \text{ mm}$  η διάμετρος των χρησιμοποιούμενων διαμήκων ράβδων οπλισμού.

4. Έλεγχος γεωμετρικών απαιτήσεων δοκού:

Στο βήμα αυτό εξετάζουμε εάν ικανοποιούνται οι γεωμετρικοί περιορισμοί που ορίσαμε στην ενότητα 5.4.1, σύμφωνα με την §5.4.1.2.1 του ΕΚ-8. Πιο συγκεκριμένα το πλάτος της δοκού θα πρέπει να ικανοποιεί τον παρακάτω περιορισμό:

- $b_w \leq \min \{b_c + h_w ; 2b_c\} = \min \{50 + 60 ; 2 \cdot 50\} = 100 \text{ cm}$  όπου
- $h_w = 60cm$  είναι το ύψος της δοκού και
- $b_c = 50cm$  το πλάτος των υποστυλωμάτων.

Παρατηρούμε ότι πράγματι το πλάτος της δοκού του παραδείγματός μας είναι ίσο με  $b = 30 \text{ cm}$  επομένως ο περιορισμός αυτός ικανοποιείται.

5. Έλεγχος ελαχίστου επιτρεπόμενου διαμήκους οπλισμού:

Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε το ελάχιστο επιτρεπόμενο ποσοστό διαμήκους οπλισμού της δοκού ως εξής:  $\rho_{min} = 0,5 \cdot \frac{f_{cm}}{f_{yk}} = 0,5 \cdot \frac{2,6}{500} = 0,0026$  όπου

- $f_{cm} = 2,6 \text{ MPa}$  η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος και
- $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$  το ονομαστικό όριο διαρροής του χάλυβα που χρησιμοποιούμε.

Στη συνέχεια υπολογίζουμε και την ελάχιστη επιτρεπόμενη ποσότητα διαμήκους οπλισμού ως εξής:  $A_{s \min} = \rho_{\min} \cdot b_w \cdot d = 0,0026 \cdot 30 \cdot 55 = 4,29 \text{ cm}^2$  όπου

- $\rho_{\min} = 0,0026$  όπως υπολογίστηκε παραπάνω
- $b_w = 30 \text{ cm}$  το πλάτος της δοκού και
- $d = 55 \text{ cm}$  το στατικό ύψος της δοκού.

6. Υπολογισμός ανηγμένης ροπής και αξονικής σχεδιασμού:

Στο βήμα αυτό, για τα δύο άκρα της δοκού αλλά και για το μέσο αυτής, τόσο για τη θετική όσο και για την αρνητική τιμή της ροπής υπολογίζουμε την τιμή της ανηγμένης ροπής:

Στο αριστερό άκρο της δοκού:

$$\mu_{E_{ds, \text{ανω}}} = \frac{M_{E_{ds}}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{-63,58}{0,30 \cdot 0,55^2 \cdot 14,17 \cdot 1000} = 0,0495$$

$$\mu_{E_{ds, \text{κάτω}}} = 0,0$$

Για το μέσο της δοκού κάτω:

$$\mu_{E_{ds, \text{ανω}}} = 0,0$$

$$\mu_{E_{ds, \text{κάτω}}} = \frac{M_{E_{ds}}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{83,11}{0,30 \cdot 1,08^2 \cdot 14,17 \cdot 1000} = 0,0179$$

Για το δεξί άκρο της δοκού:

$$\mu_{E_{ds, \text{ανω}}} = \frac{M_{E_{ds}}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{-137,16}{0,30 \cdot 0,55^2 \cdot 14,17 \cdot 1000} = 0,1067$$

$$\mu_{E_{ds, \text{κάτω}}} = 0,00$$

7. Υπολογισμός γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού:

Για καθένα από τα παραπάνω σημεία, για τα οποία υπολογίσαμε την τιμή την ανηγμένης ροπής, θα υπολογίσουμε στο βήμα αυτό την τιμή του απαιτούμενου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού ως εξής:

Για το αριστερό άκρο της δοκού:

$$\omega_{\text{ανω}} = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{E_{ds}}}) = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,0495}) = 0,0507$$

$$\omega_{\text{κάτω}} = 0,0$$

Για το μέσο της δοκού:

$$\omega_{\text{ανω}} = 0,0$$

$$\omega_{κατω} = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{Eds}}) = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,0179}) = 0,0181$$

Για το δεξί άκρο της δοκού:

$$\omega_{ανω} = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{Eds}}) = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,1067}) = 0,1131$$

$$\omega_{κατω} = 0,0$$

8. Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού και σύγκριση αυτού οπλισμού με τον ελάχιστο απαιτούμενο:

Στο βήμα αυτό, για καθένα από τα παραπάνω σημεία ελέγχου, υπολογίζουμε την απαιτούμενη ποσότητα οπλισμού με βάση τα γεωμετρικά ποσοστά οπλισμού που υπολογίσαμε παραπάνω. Στη συνέχεια συγκρίνουμε τις απαιτούμενες ποσότητες οπλισμού κάθε σημείου με τις ελάχιστες επιτρεπόμενες και τοποθετούμε τελικά τη μέγιστη από αυτές. Πιο αναλυτικά:

Για το αριστερό άκρο της δοκού:

$$A_{s,ανω} = \max \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \max \left\{ 4,29 ; 0,0507 \cdot 30 \cdot 55 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} \right\} = \max \{ 4,29 ; 2,73 \} = 4,29 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,κατω} = \max \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b_{eff} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \max \{ 4,29 ; 0,00 \} = 4,29 \text{ cm}^2$$

Για το μέσο της δοκού:

$$A_{s,ανω} = \max \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \max \{ 4,29 ; 0,00 \} = 4,29 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,κατω} = \max \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b_{eff} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \max \left\{ 4,29 ; 0,0181 \cdot 108 \cdot 55 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} \right\} = \max \{ 4,29 ; 3,51 \} = 4,29 \text{ cm}^2$$

Για το δεξί άκρο της δοκού:

$$A_{s,ανω} = \max \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} \max \left\{ 4,29 ; 0,1131 \cdot 30 \cdot 55 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} \right\} = 6,08 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,κατω} = \max \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b_{eff} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \max \{ 4,29 ; 0,00 \} = 4,29 \text{ cm}^2$$

9. Επιλογή συνολικού τοποθετούμενου οπλισμού. Η τοποθέτηση του οπλισμού, στα παραπάνω σημεία ελέγχου, γίνεται με τη μορφή στρώσεων ράβδων συγκεκριμένης διαμέτρου έτσι ώστε το συνολικό εμβαδόν αυτού να υπερβαίνει την απαιτούμενη ποσότητα που υπολογίσαμε στο προηγούμενο βήμα. Επομένως στα σημεία αυτά τοποθετούμε:

Στο το αριστερό άκρο της δοκού:

Ανω: 3Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$

Κάτω: 3Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$

Στο το μέσο της δοκού:

Ανω: 3Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$

Κάτω: 3Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$

Στο το δεξί άκρο της δοκού:

Ανω: 4Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 6,16 \text{ cm}^2$

Κάτω: 3Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$

10. Έλεγχος μεγίστου ποσοστού οπλισμού. Στο βήμα αυτό, για κάθε ένα από τα τρία σημεία της δοκού (αριστερή στήριξη, μέσο και δεξιά στήριξη), υπολογίζουμε το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό οπλισμού. Πιο αναλυτικά:

Για την αριστερή στήριξη της δοκού:

$$\rho_{\max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0028 + \frac{0,0018}{5 \cdot 0,00217} \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} = 0,0082 \text{ όπου}$$

$$- \rho' = \frac{A_{s,\theta\lambda}}{b_w \cdot d} = 0,0028 \text{ το γεωμετρικό ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού στο σημείο}$$

ελέγχου

$$- \mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 3 - 1 = 5 \text{ όπου } q_0 = 3,0 \text{ η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς}$$

$$- \varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{500 / 1,15}{200000} = 0,00217 \text{ όπου } E_s = 200000 \text{ MPa το μέτρο}$$

ελαστικότητας του χάλυβα

Για το μέσο της δοκού:

$$\rho_{\max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0008 + \frac{0,0018}{5 \cdot 0,00217} \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} = 0,00618 \text{ όπου}$$



- $\rho' = \frac{A_{s,\theta\lambda}}{b_{eff} \cdot d} = 0,0008$  το γεωμετρικό ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού στο σημείο ελέγχου
- $\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 3 - 1 = 5$  όπου  $q_0 = 3,0$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς
- $\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{500/1,15}{200000} = 0,00217$  όπου  $E_s = 200000 \text{ MPa}$  το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα

Για τη δεξιά στήριξη της δοκού:

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\varphi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0028 + \frac{0,0018}{5 \cdot 0,00217} \cdot \frac{0,85 \cdot 25/1,5}{500/1,15} = 0,0082 \text{ όπου}$$

- $\rho' = \frac{A_{s,\theta\lambda}}{b_w \cdot d} = 0,0028$  το γεωμετρικό ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού στο σημείο ελέγχου
- $\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 3 - 1 = 5$  όπου  $q_0 = 3,0$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς
- $\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{500/1,15}{200000} = 0,00217$  όπου  $E_s = 200000 \text{ MPa}$  το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα

11. Υπολογισμός μέγιστης επιτρεπόμενης ποσότητας οπλισμού. Στο βήμα αυτό, με βάση τα μέγιστα επιτρεπόμενα ποσοστά οπλισμού που υπολογίσαμε παραπάνω, θα υπολογίσουμε τη μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα οπλισμού ως εξής:

Για την αριστερή στήριξη της δοκού:  $A_{s,max} = \rho_{max} \cdot b_w \cdot d = 0,0082 \cdot 30 \cdot 55 = 13,54 \text{ cm}^2$

Για το μέσο της δοκού:  $A_{s,max} = \rho_{max} \cdot b_w \cdot d = 0,00618 \cdot 30 \cdot 55 = 10,20 \text{ cm}^2$

Για τη δεξιά στήριξη της δοκού:  $A_{s,max} = \rho_{max} \cdot b_w \cdot d = 0,0082 \cdot 30 \cdot 55 = 13,54 \text{ cm}^2$

Παρατηρούμε ότι καμία από τις τοποθετούμενες ποσότητες οπλισμού, που υπολογίσαμε στο βήμα (9), δεν υπερβαίνει τη μέγιστη επιτρεπόμενη επομένως ο έλεγχος αυτός ικανοποιείται και προχωράμε έτσι στο επόμενο βήμα.

12. Έλεγχος μέγιστης επιτρεπόμενης διαμέτρου διαμήκους οπλισμού:

Σύμφωνα με την §5.6.2.2(2) του ΕΚ-8, για την αποφυγή αστοχίας συνάφειας η διάμετρος των τοποθετούμενων διαμήκων ράβδων δοκού που διέρχονται μέσω κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων,  $d_{bL}$ , θα περιορίζεται σύμφωνα με τους παρακάτω περιορισμούς. Επομένως για τους δύο κόμβους της δοκού θα πρέπει να ισχύουν τα παρακάτω:

- Κόμβος δοκού Β-14Β με υποστύλωμα C-7 (εξωτερικός κόμβος):

$$d_{bL,max} = h_c \cdot \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot (1 + 0,8 \cdot \nu_d) = 24mm$$

- $h_c=0,5m$  είναι το πλάτος του υποστυλώματος παράλληλα προς τις ράβδους
- $f_{ctm}=2,6MPa$  είναι η μέση τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος
- $f_{yd}=500MPa/1,15$  είναι η τιμή σχεδιασμού της τάσης διαρροής χάλυβα
- $\nu_d = \frac{N_{Ed}}{f_{cd} \cdot A_c} = \frac{750,7kN}{0,3m \cdot 0,6m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,212$  είναι η ανηγμένη αξονική δύναμη σχεδιασμού στο υποστύλωμα, που λαμβάνεται με την ελάχιστη τιμή της για την σεισμική κατάσταση σχεδιασμού
- $\gamma_{Rd}=1,0$  είναι ο συντελεστής αβεβαιότητας προσομοιώματος για την τιμή σχεδιασμού των αντοχών λόγω υπεραντοχής προερχόμενης από την σκλήρυνση λόγω παραμόρφωσης του διαμήκους οπλισμού της δοκού
- Κόμβος δοκού B-14B με τοιχίο W1-B (εσωτερικός κόμβος):

$$d_{bL,max} = h_c \cdot \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot \nu_d}{1 + 0,75k_D \cdot \rho' / \rho_{max}} = 20mm$$

όπου

- $h_c=0,5m$  είναι το πλάτος του υποστυλώματος παράλληλα προς τις ράβδους
- $f_{ctm}=2,6MPa$  είναι η μέση τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος
- $f_{yd}=500MPa/1,15$  είναι η τιμή σχεδιασμού της τάσης διαρροής χάλυβα
- $\nu_d = \frac{N_{Ed}}{f_{cd} \cdot A_c} = \frac{1015,48kN}{3,5m \cdot 0,3m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,068$  είναι η ανηγμένη αξονική δύναμη σχεδιασμού στο υποστύλωμα, που λαμβάνεται με την ελάχιστη τιμή της για την σεισμική κατάσταση σχεδιασμού
- $k_D=2/3$  είναι συντελεστής που εκφράζει την κατηγορία πλαστιμότητας
- $\rho'=0,0028$  είναι το ποσοστό οπλισμού των θλιβόμενων ράβδων που διέρχονται από τον κόμβο
- $\rho_{max}=0,0082$  είναι το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό εφελκυσμένου οπλισμού (βλέπε 5.4.3.1.2(4) και 5.5.3.1.3(4))
- $\gamma_{Rd}=1,0$  είναι ο συντελεστής αβεβαιότητας προσομοιώματος για την τιμή σχεδιασμού των αντοχών λόγω υπεραντοχής προερχόμενης από την σκλήρυνση λόγω παραμόρφωσης του διαμήκους οπλισμού της δοκού

Συνεπώς οι οπλισμοί που τοποθετηθήκαν ικανοποιούν τους παραπάνω περιορισμούς.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες της παραπάνω δοκού εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.7 του επόμενου κεφαλαίου.

### 5.4.3.2 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων έναντι κάμψης και θλίψης σε ΟΚΑ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα υποστυλώματα και των δύο κατασκευών υπόκεινται σε ένα συνδυασμό θλίψης και διαξονικής κάμψης. Επομένως η διαστασιολόγηση τους θα γίνει με βάση τον παραπάνω συνδυασμό φόρτισης. Σε αντίθεση όμως με τη χαμηλή κατηγορία πλαστιμότητας (ΚΠΧ), όπου η διαστασιολόγηση των υποστυλωμάτων έγινε αποκλειστικά με βάση τις διατάξεις του ΕΚ-2, στη μέση κατηγορία πλαστιμότητας (ΚΠΜ) η διαστασιολόγηση θα πρέπει να ικανοποιεί, εκτός των διατάξεων του ΕΚ-2, και τις απαιτήσεις του ικανοτικού συνδυασμού ΕΚ-8. Η πορεία της διαστασιολόγησης των υποστυλωμάτων επομένως, σύμφωνα με τα παραπάνω, θα παρουσιαστεί αναλυτικά στα παρακάτω βήματα:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών. Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε τις τιμές της διαξονικής ροπής ( $M_{Edx}$  και  $M_{Edy}$ ) και της αξονικής δύναμης ( $N_{Ed}$ ), τόσο στην κορυφή όσο και στη βάση των υποστυλωμάτων, από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας η οποία πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό SAP2000, όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες. Στα σχήματα Π.5.Α.21 και Π.5.Α.22 παρουσιάζονται τα διαγράμματα των ροπών κάμψης κατά τον άξονα  $y$  ( $M_{Edy}$ ) των υποστυλωμάτων του πλαισίου 1 του πλαισιακού κτηρίου λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών. Στα σχήματα Π.5.Α.23 και Π.5.Α.24 παρουσιάζονται τα διαγράμματα των αξονικών δυνάμεων των ίδιων υποστυλωμάτων λόγω των δυσμενέστερων αυτών σεισμικών συνδυασμών. Με τον ίδιο τρόπο, στα σχήματα Π.5.Α.25 και Π.5.Α.26, παρουσιάζονται τα διαγράμματα της ροπής κάμψης κατά τον άξονα  $x$  ( $M_{Edx}$ ) και της αξονικής δύναμης του υποστυλώματος του πλαισίου 1 του τοιχωματικού κτηρίου λόγω του δυσμενέστερου σεισμικού συνδυασμού.
2. Έλεγχος εξαίρεσης από ικανοτικό σχεδιασμό. Εξαιρούνται από τον ικανοτικό σχεδιασμό:
  - Το δώμα πολύροφων κτηρίων (§4.4.2.3(6)).
  - Το ισόγειο δώροφων κτηρίων όπου όλα τα υποστυλώματα έχουν  $v_d < 0,3$  (§5.5.3.3.3).
  - Τα υποστυλώματα κτηρίων στα οποία τα τοιχώματα παραλαμβάνουν περισσότερο από το 50% της τέμνουσας βάσης στη συγκεκριμένη διεύθυνση.

#### ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

3. Υπολογισμός των ροπών αντοχής των δοκών που συντρέχουν στους κόμβους του υποστυλώματος τόσο κατά τη διεύθυνση  $x$  όσο και κατά τη διεύθυνση  $y$ . Για κάθε δοκό υπολογίζονται δυο ροπές αντοχής, μια για εφελκυσμό της κάτω ίνας ( $M_{Rd,b}^+$ ) και μια για εφελκυσμό της άνω ίνας ( $M_{Rd,b}^-$ ). Αυτό γίνεται διότι πραγματοποιούμε ικανοτικό σχεδιασμό και για τις δυο φορές της σεισμικής δύναμης (θετική και αρνητική), γεγονός που μεταθέτει τον εφελκυσμό στη διατομή της δοκού. Για σεισμό θετικής φοράς εφελκύεται η άνω ίνα (λειτουργία ορθογώνιος διατομής) ενώ για σεισμό αρνητικής φοράς εφελκύεται η κάτω ίνα (λειτουργία πλακοδοκού).
4. Απαιτήσεις ικανοτικού σχεδιασμού (για κάθε συνδυασμό φόρτισης). Στο βήμα αυτό θα παρουσιάσουμε τις απαιτήσεις του ικανοτικού σχεδιασμού, με τη μορφή εξισώσεων, που πρέπει να ικανοποιούνται σε κάθε κόμβο του πλαισίου. Ο ικανοτικός σχεδιασμός πραγματοποιείται και για τις δύο διευθύνσεις (σεισμός κατά  $x$  και σεισμός κατά  $y$ )

τόσο για θετική όσο και για αρνητική φορά σεισμού. Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν καταλήγουμε στις εξής εξισώσεις:

- **Ικανοτικός x-x (+):**  $M_{RCi,y}^{top} + M_{RCj,y}^{bot} \geq 1,3 \cdot (M_{Rd,B1}^{-} + M_{Rd,B2}^{+})$
- **Ικανοτικός x-x (-):**  $M_{RCi,y}^{top} + M_{RCj,y}^{bot} \geq 1,3 \cdot (M_{Rd,B1}^{+} + M_{Rd,B2}^{-})$
- **Ικανοτικός y-y (+):**  $M_{RCi,x}^{top} + M_{RCj,x}^{bot} \geq 1,3 \cdot (M_{Rd,B3}^{-} + M_{Rd,B4}^{+})$
- **Ικανοτικός y-y (-):**  $M_{RCi,x}^{top} + M_{RCj,x}^{bot} \geq 1,3 \cdot (M_{Rd,B3}^{+} + M_{Rd,B4}^{-})$  όπου
  - $M_{RCi,y}^{top}$  η ροπή αντοχής, κατά τη διεύθυνση  $y$ , της κορυφής του υποστυλώματος που συντρέχει στον κόμβο και βρίσκεται κάτω από αυτόν,
  - $M_{RCj,y}^{bot}$  η ροπή αντοχής, κατά τη διεύθυνση  $y$ , της βάσης του υποστυλώματος που συντρέχει στον κόμβο και βρίσκεται πάνω από αυτόν,
  - $M_{RCi,x}^{top}$  η ροπή αντοχής, κατά τη διεύθυνση  $x$ , της κορυφής του υποστυλώματος που συντρέχει στον κόμβο και βρίσκεται κάτω από αυτόν,
  - $M_{RCj,x}^{bot}$  η ροπή αντοχής, κατά τη διεύθυνση  $x$ , της βάσης του υποστυλώματος που συντρέχει στον κόμβο και βρίσκεται πάνω από αυτόν,
  - $M_{Rd,B1}^{-}$  και  $M_{Rd,B1}^{+}$  η αρνητική και η θετική τιμή αντίστοιχα της ροπής αντοχής της δοκού (1) που συντρέχει στον κόμβο κατά τη διεύθυνση  $x$
  - $M_{Rd,B2}^{-}$  και  $M_{Rd,B2}^{+}$  η αρνητική και η θετική τιμή αντίστοιχα της ροπής αντοχής της δοκού (2) που συντρέχει στον κόμβο κατά τη διεύθυνση  $x$
  - $M_{Rd,B3}^{-}$  και  $M_{Rd,B3}^{+}$  η αρνητική και η θετική τιμή αντίστοιχα της ροπής αντοχής της δοκού (3) που συντρέχει στον κόμβο κατά τη διεύθυνση  $y$
  - $M_{Rd,B4}^{-}$  και  $M_{Rd,B4}^{+}$  η αρνητική και η θετική τιμή αντίστοιχα της ροπής αντοχής της δοκού (4) που συντρέχει στον κόμβο κατά τη διεύθυνση  $y$ .

Επιπλέον, για τις ροπές αντοχής των υποστυλωμάτων που συντρέχουν σε κάθε κόμβο, και κατά τους δύο άξονες ( $x$  και  $y$ ) μπορεί να υποθεθεί ότι ισχύει η εξής συνθήκη:

- $M_{RC,i}^{top} = (N_{EC,i}^{top} / N_{EC,j}^{bot}) \cdot M_{RC,j}^{bot}$  όπου
- $N_{EC,i}^{top}$  και  $N_{EC,h}^{bot}$  οι μέγιστες αξονικές δυνάμεις που εμφανίζονται στα άκρα των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στον κάθε κόμβο.

Επομένως, λύνοντας για κάθε κόμβο ξεχωριστά τις παραπάνω τέσσερις εξισώσεις υπολογίζουμε τα ζητούμενα μεγέθη  $M_{RC,i,x}^{top}$ ,  $M_{RC,j,x}^{bot}$ ,  $M_{RC,i,y}^{top}$ ,  $M_{RC,j,y}^{top}$ .

5. Υπολογισμός ανηγμένης ροπής και ανηγμένης αξονικής λόγω ικανοτικού σχεδιασμού.  
Στο βήμα αυτό, για τις δύο διευθύνσεις ( $x$  και  $y$ ) αλλά και για τις δύο φορές του ικανοτικού σχεδιασμού (θετική και αρνητική φορά), θα υπολογίσουμε τις τιμές της ανηγμένης ροπής ( $\mu_d$ ) και της ανηγμένης αξονικής ( $\nu_d$ ) στα άκρα και των δύο υποστυλωμάτων που συντρέχουν στον κάθε κόμβο. Οι τιμές της ανηγμένης ροπής και της ανηγμένης αξονικής ισούται αντίστοιχα με:

$$\mu_d = \frac{M_{RC}}{bh^2 f_{cd}} \quad \text{και} \quad \nu_d = \frac{N_{Ed}}{bh f_{cd}} \quad \text{όπου}$$

- $M_{RC}$  η τιμή της ροπής αντοχής στο άκρο του υποστυλώματος όπως υπολογίστηκε στο βήμα (3)
- $b$  και  $h$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος
- $N_{Ed}$  η τιμή της δρώσας αξονικής στο άκρο του υποστυλώματος όπως αναφέρθηκε παραπάνω
- $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος.

Επομένως στο βήμα αυτό, για κάθε άκρο υποστυλώματος που συντρέχει στον κόμβο, υπολογίζονται τέσσερα διαφορετικά ζεύγη τιμών ανηγμένης ροπής και ανηγμένης αξονικής δύναμης.

6. Υπολογισμός γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού λόγω ικανοτικού σχεδιασμού. Όπως αναφέρθηκε στο βήμα (4), υπολογίζονται για κάθε άκρο υποστυλώματος τέσσερα διαφορετικά ζεύγη τιμών ανηγμένης ροπής και ανηγμένης αξονικής δύναμης τα οποία με τη σειρά τους μας δίνουν, μέσω νομογραφημάτων, τέσσερις διαφορετικές τιμές γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού ( $\omega$ ). Συνολικά λοιπόν για τα δύο άκρα υποστυλωμάτων έχουμε υπολογίσει οκτώ τιμές γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού, δύο για τον ικανοτικό σχεδιασμό κατά x με θετική φορά (x-x (+)), δύο για τον ικανοτικό κατά x με αρνητική φορά (x-x (-)), δύο για τον ικανοτικό κατά y με θετική φορά (y-y (+)) και δύο για τον ικανοτικό κατά y με αρνητική φορά (y-y (-)).
7. Υπολογισμός ενιαίου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο, θα υπολογίσουμε το ενιαίο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για τα άκρα των υποστυλωμάτων που συντρέχουν σε αυτόν ως εξής: Για κάθε μία από τις τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις του ικανοτικού σχεδιασμού που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπολογίζουμε το μέσο όρο των γεωμετρικών ποσοστών οπλισμού που αντιστοιχούν στα δύο άκρα των υποστυλωμάτων. Προκύπτουν επομένως τέσσερα διαφορετικά ενιαία ποσοστά οπλισμού ( $\omega_{ενιαίο}$ ) για τον κόμβο αυτό. Υπολογίζουμε το μέγιστο από αυτά ( $\omega_{max}$ ) το οποίο είναι τελικά το απαιτούμενο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για τον κόμβο λόγω του ικανοτικού σχεδιασμού.
8. Υπολογισμός ανηγμένης ροπής και ανηγμένης αξονικής λόγω σεισμικής φόρτισης. Όπως αναφέρθηκε στο βήμα (1), για τα άκρα των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στους κόμβους του πλαισίου 1 υπολογίσαμε τα εντατικά μεγέθη λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών. Βάση των εντατικών μεγεθών αυτών λοιπόν θα υπολογίσουμε για κάθε άκρο υποστυλώματος τις τιμές της ανηγμένης ροπής και της ανηγμένης αξονικής δύναμης. Αξίζει να σημειωθεί πάντως ότι λόγω της διαξονικής καταπόνησης, όπως αναφέρθηκε και στο βήμα (1), λαμβάνουμε σε κάθε άκρο υποστυλώματος δύο τιμές ροπής κάμψης, μία κατά x και μία κατά y ( $M_{Edx}$  και  $M_{Edy}$ ). Η μελέτη της διαξονικής κάμψης είναι ένα αρκετά πολύπλοκο θέμα ωστόσο, σύμφωνα με την §5.4.3.2.1(2), η διαξονική κάμψη μπορεί να ληφθεί υπόψη απλοποιητικά εκτελώντας τον έλεγχο ξεχωριστά για κάθε διεύθυνση προσαυξάνοντας την αντίστοιχη δρώσα ροπή κατά 30%. Επομένως για κάθε άκρο υποστυλώματος οι τιμές της δρώσας ροπής και της δρώσας αξονικής αντίστοιχα είναι ίσες με:

- $\mu_d = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}}$  και  $\nu_d = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$  όπου
- $M_{Ed} = \max \{ 1,3 \cdot M_{Ed,x} ; 1,3 \cdot M_{Ed,y} \}$  η τελική δρώσα ροπή σύμφωνα με την §5.4.3.2.1(2)
- $N_{Ed}$  η δρώσα αξονική που αντιστοιχεί στον παραπάνω δυσμενέστερο σεισμικό συνδυασμό
- $b$  και  $h$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος και
- $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος.

9. Υπολογισμός απαιτούμενου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού. Στο βήμα αυτό για τα άκρα των υποστυλωμάτων κάθε κόμβου, με βάση τις τιμές της ανηγμένης ροπής και ανηγμένης αξονικής που υπολογίσαμε παραπάνω, με χρήση νομογραφημάτων θα υπολογίσουμε το απαιτούμενο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού ( $\omega_{top}$  και  $\omega_{bot}$ ). Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε το μέσο όρο των παραπάνω γεωμετρικών ποσοστών οπλισμού για να προκύψει έτσι ένα ενιαίο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για κάθε κόμβο ( $\omega_{ενιαίο \ φόρτισης}$ ) λόγω της δυσμενέστερης σεισμικής φόρτισης.

10. Υπολογισμός τελικού απαιτούμενου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού κόμβου. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο του πλαισίου, θα υπολογίσουμε το τελικό απαιτούμενο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού ( $\omega_{δυσμεν}$ ) το οποίο ισούται με τη μέγιστη τιμή που προκύπτει λόγω του ικανοτικού σχεδιασμού και λόγω της σεισμικής φόρτισης. Έτσι για κάθε κόμβο ισχύει:

$$\omega_{δυσμεν} = \max \{ \omega_{ικαν, \max} ; \omega_{ενιαίο \ φόρτισης} \}$$

11. Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού. Στο βήμα αυτό για κάθε υποστύλωμα, με βάση το μέγιστο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού που αντιστοιχεί στα δύο άκρα του, θα υπολογίσουμε την απαιτούμενη ποσότητα οπλισμού. Πιο συγκεκριμένα υπολογίζουμε:

$$A_{s,tot} = \omega \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \text{ όπου}$$

- $\omega$  το μέγιστο απαιτούμενο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού των δύο άκρων του υποστυλώματος
- $b$  και  $h$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος
- $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος και
- $f_{yd}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα.

Ο τελικός λοιπόν απαιτούμενος οπλισμός για κάθε παρειά του υποστυλώματος είναι ίσος με  $A_{s,tot} / 2$  αλλά όχι μικρότερος από την ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα παρειάς η οποία ισούται με  $A_{s,\min \ παρειάς} = A_{s,\min} / 4 = (0,01 \cdot b \cdot h) / 4$ . Επομένως για κάθε παρειά έχουμε:  $A_{s,τελ.παρ} = \max \{ A_{s,tot} / 2 ; A_{s,\min} / 4 \}$

12. Υπολογισμός του τοποθετούμενου οπλισμού παρειάς σε ράβδους συγκεκριμένης διαμέτρου ώστε το εμβαδόν του να είναι μεγαλύτερο από αυτό του τελικού οπλισμού παρειάς. Επιπλέον, χρειάζεται προσοχή ώστε η απόσταση μεταξύ διαδοχικών διαμήκων ράβδων να μην υπερβαίνει τα 200mm, όπως ορίζεται στην §5.4.3.2.2(11β)

13. Έλεγχος ελαχίστων και μεγίστων για τον τοποθετούμενο οπλισμό. Ο τοποθετούμενος οπλισμός θα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ της ελάχιστης ( $A_{s,min}$ ) και της μεγιστης ( $A_{s,max}$ ) επιτρεπόμενης τιμης του. Οι τιμες αυτές ορίζονται ως εξής:

$A_{s,min} = 0,01 \cdot b \cdot h$  και  $A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h$  όπου  $b$  και  $h$  είναι διαστάσεις της διατομής του υποστυλώματος.

14. Υπολογισμός της ροπής αντοχής της διατομής της κεφαλής και της βάσης του υποστυλώματος διότι χρειάζεται στην διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης.

Στη συνέχεια θα δοθούν δύο παραδείγματα, ένα για το πλαισιακό και ένα για το τοιχωματικό κτήριο, στα οποία θα γίνει αναλυτική διαστασιολόγηση δύο υποστυλωμάτων σύμφωνα με την ενότητα αυτή. Με τον ίδιο τρόπο θα γίνει η διαστασιολόγηση και των υπολοίπων υποστυλωμάτων, και των δύο κτηρίων, η οποία θα παρουσιαστεί με τη μορφή πινάκων στο παράρτημα (πίνακες Π.5.Β.13 και Π.5.Β.14).

#### 5.4.3.2.1 Παράδειγμα διαστασιολόγησης υποστυλώματος πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης και θλίψης στην ΟΚΑ

Στην ενότητα αυτή επιλέγεται να διαστασιολογηθεί το υποστύλωμα C6-D του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτό των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών. Στο βήμα αυτό λαμβάνουμε τις τιμές της δρώσας ροπής κατά τις δύο διευθύνσεις ( $M_{Edx}$  και  $M_{Edy}$ ) και στα δύο άκρα του υποστυλώματος αλλά και την τιμή της δρώσας αξονικής δύναμης  $N_{Ed}$  λόγω του δυσμενέστερου σεισμικού συνδυασμού από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας η οποία πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό SAP2000. Σύμφωνα με τα σχήματα Π.5.Α.22 έως Π.5.Α.25 στο υποστύλωμα του παραδείγματός μας έχουμε τα εξής εντατικά μεγέθη:

- Ροπή στο άνω άκρο:  $M_{Edx,top} = 21,55 \text{ kNm}$  και  $M_{Edy,top} = 82,36 \text{ kNm}$
- Ροπή στο κάτω άκρο:  $M_{Edx,bot} = 24,29 \text{ kNm}$  και  $M_{Edy,bot} = 59,85 \text{ kNm}$
- Αξονική άνω και κάτω:  $N_{EC,top} = -269,804 \text{ kN}$  και  $N_{EC,bot} = -130,908 \text{ kN}$

#### ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

2. Υπολογισμός των ροπών αντοχής των δοκών που συντρέχουν στους κόμβους D και C του υποστυλώματος τόσο κατά τη διεύθυνση x όσο και κατά τη διεύθυνση y. Ακολουθεί παράδειγμα υπολογισμού των ροπών αντοχής της δοκού B16-D:

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά: ύψος:  $h=60\text{cm}$ ,

πλάτος κορμού:  $b_w=30\text{cm}$ ,

συνεργαζόμενο πλάτος:  $b_{eff}=108\text{cm}$ ,

οπλισμός 2 (άνω): 4Φ14 ( $A_{s1}=6,16\text{cm}^2$ )

οπλισμός 1 (κάτω): 3Φ14 ( $A_{s1}=4,62\text{cm}^2$ ).

Έπειτα από αρκετές δοκιμές καταλήγουμε στις λύσεις:

Λειτουργία πλακοδοκού (υπολογισμός  $M_{Rd,B16-D}^+$ ):

- Θεωρώ αστοχία της θλιβόμενης ζώνης σκυροδέματος  $\varepsilon_{c2}=-0,0035$  και παραμόρφωση κατώτερης στάθμης οπλισμού  $\varepsilon_{c1}=0,0546$ .

- Σχεδιασμός διαγράμματος παραμορφώσεων της διατομής. Η θέση του ουδετέρου άξονα είναι σε απόσταση  $x=33,19\text{mm}$  από την άνω ίνα της διατομής. Η παραμόρφωση στη στάθμη κάθε οπλισμού  $\varepsilon_{si}$  είναι:

$$\varepsilon_{s2}=0,0016$$

$$\varepsilon_{s1}=0,0546$$

- Υπολογισμός της θλιπτικής δύναμης του σκυροδέματος  $F_{cd}$ .  
Λαμβάνοντας απλοποιημένο ορθογωνικό διάγραμμα σκυροδέματος ισχύει:  
 $F_{cd} = -b(0,8x)f_{cd} = -108 \cdot 0,8 \cdot 3,32 \cdot 0,85 \cdot 25 / 1,5 = -406,2 \text{ kN}$   
η οποία ασκείται σε απόσταση  $0,4x=13,28\text{mm}$  από την άνω ίνα της διατομής.
- Υπολογισμός της παραμόρφωσης που αντιστοιχεί στη διαρροή του χάλυβα των

$$\text{οπλισμών: } \varepsilon_{yd} = \frac{F_{yd}}{E} = \frac{500 / 1,15 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}} = 0,00217$$

- Υπολογισμός δυνάμεων οπλισμών.  $F_{sd,i} = A_{s,i} \cdot \sigma_{sd,i}$   
Για τον υπολογισμό της τάσης του οπλισμού  $\sigma_{sd,i}$  γίνεται σύγκριση της παραμόρφωσης του οπλισμού με την παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη διαρροή του:

$$\text{Στάθμη οπλ. 2: } \varepsilon_{s2} = 0,0016 < \varepsilon_{yd} = 0,00217$$

$$F_{sd,2} = A_{s,2} \cdot \varepsilon_{s2} \cdot E = 6,16\text{cm}^2 \cdot 0,0016 \cdot 200000\text{MPa} = 205,39 \text{ kN}$$

$$\text{Στάθμη οπλ. 1: } \varepsilon_{s1} = 0,0546 > \varepsilon_{yd} = 0,00217$$

$$F_{sd,1} = A_{s,1} \cdot f_{yd} = 4,62\text{cm}^2 \cdot 500 / 1,15\text{MPa} = 200,87 \text{ kN}$$

- Έλεγχος ισοδυναμίας εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.

$$N_{ed} = F_{cd} + F_{sd2} + F_{sd1} \Rightarrow 0 = -406,2 + 205,39 + 200,87 \Rightarrow 0 = 0$$

Συνεπώς υπάρχει ισοδυναμία εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.

- Υπολογισμός της ροπής αντοχής ( $M_{Rd}$ ) τη στιγμή της αστοχίας της διατομής.

Ως σημείο αναφοράς επιλέγω το κέντρο βάρους της διατομής.

$$M_{Rd,B16-D}^+ = |F_{cd}| \cdot (h/2 - 0,4x) - F_{sd,2} \cdot (h/2 - y_2) + F_{sd,1} \cdot (y_1 - h/2)$$

$$M_{Rd,B16-D}^+ = 406,2 \cdot (0,3 - 0,0133) - 205,39 \cdot 0,251 + 200,87 \cdot 0,251 = 115,35 \text{ kNm}$$

Λειτουργία ορθογωνικής διατομής (υπολογισμός  $M_{Rd,B16-D}^-$ ):

- Θεωρώ αστοχία της θλιβόμενης ζώνης σκυροδέματος  $\varepsilon_{c2} = -0,0035$  και παραμόρφωση κατώτερης στάθμης οπλισμού  $\varepsilon_{s2} = 0,0283$ .
- Σχεδιασμός διαγράμματος παραμορφώσεων της διατομής. Η θέση του ουδετέρου άξονα είναι σε απόσταση  $x=60,58\text{mm}$  από την άνω ίνα της διατομής. Η παραμόρφωση στη στάθμη κάθε οπλισμού  $\varepsilon_{si}$  είναι:  
 $\varepsilon_{s1} = -0,00067$   
 $\varepsilon_{s2} = 0,0283$
- Υπολογισμός της θλιπτικής δύναμης του σκυροδέματος  $F_{cd}$ .  
Λαμβάνοντας απλοποιημένο ορθογωνικό διάγραμμα σκυροδέματος ισχύει:



$$F_{cd} = -b(0,8x)f_{cd} = -30 \cdot 0,8 \cdot 6,058 \cdot 0,85 \cdot 25 / 1,5 = -205,98 \text{ kN}$$

η οποία ασκείται σε απόσταση  $0,4x=24,23\text{mm}$  από την άνω ίνα της διατομής.

- Υπολογισμός της παραμόρφωσης που αντιστοιχεί στη διαρροή του χάλυβα των

$$\text{οπλισμών: } \varepsilon_{yd} = \frac{F_{yd}}{E} = \frac{500 / 1,15 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}} = 0,00217$$

- Υπολογισμός δυνάμεων οπλισμών.  $F_{sd,i} = A_{s,i} \cdot \sigma_{sd,i}$

Για τον υπολογισμό της τάσης του οπλισμού  $\sigma_{sd,i}$  γίνεται σύγκριση της παραμόρφωσης του οπλισμού με την παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη διαρροή του:

$$\text{Στάθμη οπλ. 1: } |\varepsilon_{s1}| = 0,00067 < \varepsilon_{yd} = 0,00217$$

$$F_{sd,1} = A_{s,1} \cdot \varepsilon_{s1} \cdot E = 4,62\text{cm}^2 \cdot 0,00067 \cdot 200000\text{MPa} = -61,84 \text{ kN}$$

$$\text{Στάθμη οπλ. 2: } \varepsilon_{s2} = 0,0283 > \varepsilon_{yd} = 0,00217$$

$$F_{sd,2} = A_{s,2} \cdot f_{yd} = 6,16\text{cm}^2 \cdot 500 / 1,15\text{MPa} = 267,82 \text{ kN}$$

- Έλεγχος ισοδυναμίας εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.

$$N_{ed} = F_{cd} + F_{sd2} + F_{sd1} \Rightarrow 0 = -205,98 - 61,84 + 267,82 \Rightarrow 0 = 0$$

Συνεπώς υπάρχει ισοδυναμία εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.

- Υπολογισμός της ροπής αντοχής ( $M_{Rd}$ ) τη στιγμή της αστοχίας της διατομής.

Ως σημείο αναφοράς επιλέγω το κέντρο βάρους της διατομής.

$$M_{Rd,B16-D}^- = |F_{cd}| \cdot (h/2 - 0,4x) + F_{sd,2} \cdot (h/2 - y_2) + F_{sd,1} \cdot (y_1 - h/2)$$

$$M_{Rd,B16-D}^- = 205,98 \cdot (0,3 - 0,0243) + 61,84 \cdot 0,251 + 267,82 \cdot 0,251 = 139,55 \text{ kNm}$$

Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται:

$$M_{Rd,B5-D}^+ = 115,46 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,B5-D}^- = 105,84 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,B17-D}^+ = 112,80 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,B17-D}^- = 139,55 \text{ kNm}$$

3. Απαιτήσεις ικανοτικού σχεδιασμού (για τον δυσμενέστερο συνδυασμό φόρτισης) και εύρεση των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων. Στο βήμα αυτό θα παρουσιάσουμε τις απαιτήσεις του ικανοτικού σχεδιασμού, με τη μορφή εξισώσεων, που πρέπει να ικανοποιούνται σε κάθε κόμβο του πλαισίου. Ο ικανοτικός σχεδιασμός πραγματοποιείται και για τις δύο διευθύνσεις (σεισμός κατά  $x$  και σεισμός κατά  $y$ ) τόσο για θετική όσο και για αρνητική φορά σεισμού. Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν καταλήγουμε στις εξής εξισώσεις:

### ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΚΟΜΒΟΣ D:

Τα δεδομένα που απαιτούνται για να σχεδιαστεί ικανοτικά ο κόμβος D είναι:

- Η αξονική της βάσης του υποστυλώματος C6-E:  $N_{EC6-E}^{bot} = -190,34 \text{ kN}$
- Η αξονική της κεφαλής του υποστυλώματος C6-D:  $N_{EC6-D}^{top} = -397,23 \text{ kN}$
- Οι ροπές αντοχής της δοκού B11-D:  $M_{Rd,B5-D}^+ = 115,46 \text{ kNm}$   
 $M_{Rd,B5-D}^- = 105,84 \text{ kNm}$
- Οι ροπές αντοχής της δοκού B16-D:  $M_{Rd,B16-D}^+ = 115,35 \text{ kNm}$   
 $M_{Rd,B16-D}^- = 139,55 \text{ kNm}$
- Οι ροπές αντοχής της δοκού B17-D:  $M_{Rd,B17-D}^+ = 112,80 \text{ kNm}$   
 $M_{Rd,B17-D}^- = 139,55 \text{ kNm}$

#### **Ικανοτικός x-x (+):**

$$(1) M_{RC6-D,y}^{top} + M_{RC6-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B5-D}^- \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,y}^{top} + M_{RC6-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot 105,84$$

$$M_{RC6-D,y}^{top} + M_{RC6-E,y}^{bot} = 137,59$$

$$(2) M_{RC6-D,y}^{top} = (N_{EC6-D}^{top} / N_{EC6-E}^{bot}) \cdot M_{RC6-E,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,y}^{top} = (-397,23 \text{ kN} / -190,34 \text{ kN}) \cdot M_{RC6-E,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,y}^{top} = 2,09 \cdot M_{RC6-E,y}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (1),(2) προκύπτουν:

$$M_{RC6-D,y}^{top} = 93,02 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC6-E,y}^{bot} = 44,57 \text{ kNm}$$

#### **Ικανοτικός x-x (-):**

$$(3) M_{RC6-D,y}^{top} + M_{RC6-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B5-D}^+ \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,y}^{top} + M_{RC6-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot 115,46$$

$$M_{RC6-D,y}^{top} + M_{RC6-E,y}^{bot} = 150,10$$

$$(4) M_{RC6-D,y}^{top} = (N_{EC6-D}^{top} / N_{EC6-E}^{bot}) \cdot M_{RC6-E,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,y}^{top} = (-397,23 \text{ kN} / -190,34 \text{ kN}) \cdot M_{RC6-E,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,y}^{top} = 2,09 \cdot M_{RC6-E,y}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (3),(4) προκύπτουν:

$$M_{RC6-D,y}^{top} = 101,47 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC6-E,y}^{bot} = 48,62 \text{ kNm}$$

#### **Ικανοτικός y-y (+):**

$$(5) M_{RC6-D,x}^{top} + M_{RC6-E,x}^{bot} = 1,3 \cdot (M_{Rd,B17-D}^- + M_{Rd,B16-D}^+) \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,x}^{top} + M_{RC6-E,x}^{bot} = 1,3 \cdot (139,55 + 115,35)$$

$$M_{RC6-D,x}^{top} + M_{RC6-E,x}^{bot} = 331,37$$

$$(6) M_{RC6-D,x}^{top} = (N_{EC6-D}^{top} / N_{EC6-E}^{bot}) \cdot M_{RC6-E,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,x}^{top} = (-397,23 \text{ kN} / -190,34 \text{ kN}) \cdot M_{RC6-E,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,x}^{top} = 2,09 \cdot M_{RC6-E,x}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (5),(6) προκύπτουν:

$$M_{RC6-D,x}^{top} = 224,02 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC6-E,x}^{bot} = 107,35 \text{ kNm}$$

**Ικανοτικός y-y (-):**

$$(7) M_{RC6-D,x}^{top} + M_{RC6-E,x}^{bot} = 1,3 \cdot (M_{Rd,B17-D}^{+} + M_{Rd,B16-D}^{-}) \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,x}^{top} + M_{RC6-E,x}^{bot} = 1,3 \cdot (112,80 + 139,55)$$

$$M_{RC6-D,x}^{top} + M_{RC6-E,x}^{bot} = 328,06$$

$$(8) M_{RC6-D,x}^{top} = (N_{EC6-D}^{top} / N_{EC6-E}^{bot}) \cdot M_{RC6-E,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,x}^{top} = (-397,23 \text{ kN} / -190,34 \text{ kN}) \cdot M_{RC6-E,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,x}^{top} = 2,09 \cdot M_{RC6-E,x}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (5),(6) προκύπτουν:

$$M_{RC6-D,x}^{top} = 221,78 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC6-E,x}^{bot} = 106,27 \text{ kNm}$$

### **ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΚΟΜΒΟΥ C:**

Τα δεδομένα που απαιτούνται για να σχεδιαστεί ικανοτικά ο κόμβος C είναι:

- Η αξονική της βάσης του υποστυλώματος C6-D:  $N_{EC6-D}^{bot} = -426,73 \text{ kN}$
- Η αξονική της κεφαλής του υποστυλώματος C6-C:  $N_{EC6-C}^{top} = -635,66 \text{ kN}$
- Οι ροπές αντοχής της δοκού B11-C:  $M_{Rd,B5-C}^{+} = 115,46 \text{ kNm}$   
 $M_{Rd,B5-C}^{-} = 105,84 \text{ kNm}$
- Οι ροπές αντοχής της δοκού B17-C:  $M_{Rd,B17-C}^{+} = 112,80 \text{ kNm}$   
 $M_{Rd,B17-C}^{-} = 139,55 \text{ kNm}$
- Οι ροπές αντοχής της δοκού B16-C:  $M_{Rd,B16-C}^{+} = 115,35 \text{ kNm}$   
 $M_{Rd,B16-C}^{-} = 139,55 \text{ kNm}$

**Ικανοτικός x-x (+):**

$$(9) M_{RC6-C,y}^{top} + M_{RC6-D,y}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B5-C}^{-} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,y}^{top} + M_{RC6-D,y}^{bot} = 1,3 \cdot 105,84$$

$$M_{RC6-C,y}^{top} + M_{RC6-D,y}^{bot} = 137,59$$

$$(10) M_{RC6-C,y}^{top} = (N_{EC6-C}^{top} / N_{EC6-D}^{bot}) \cdot M_{RC6-D,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,y}^{top} = (-635,66 \text{ kN} / -426,73 \text{ kN}) \cdot M_{RC6-D,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,y}^{top} = 1,49 \cdot M_{RC6-D,y}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (9),(10) προκύπτουν:

$$M_{RC6-D,y}^{bot} = 55,27 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC6-C,y}^{top} = 82,33 \text{ kNm}$$

**Ικανοτικός x-x (-):**

$$(11) M_{RC6-C,y}^{top} + M_{RC6-D,y}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B5-C}^+ \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,y}^{top} + M_{RC6-D,y}^{bot} = 1,3 \cdot 115,46$$

$$M_{RC6-C,y}^{top} + M_{RC6-D,y}^{bot} = 150,10$$

$$(12) M_{RC6-C,y}^{top} = (N_{EC6-C}^{top} / N_{EC6-D}^{bot}) \cdot M_{RC6-D,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,y}^{top} = (-635,66 \text{ kN} / -426,73 \text{ kN}) \cdot M_{RC6-D,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,y}^{top} = 1,49 \cdot M_{RC6-D,y}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (11),(12) προκύπτουν:

$$M_{RC6-D,y}^{bot} = 60,29 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC6-C,y}^{top} = 89,81 \text{ kNm}$$

**Ικανοτικός y-y (+):**

$$(13) M_{RC6-C,x}^{top} + M_{RC6-D,x}^{bot} = 1,3 \cdot (M_{Rd,B17-C}^- + M_{Rd,B16-C}^+) \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,x}^{top} + M_{RC6-D,x}^{bot} = 1,3 \cdot (139,55 + 115,35)$$

$$M_{RC6-C,x}^{top} + M_{RC6-D,x}^{bot} = 331,37$$

$$(14) M_{RC6-C,x}^{top} = (N_{EC6-C}^{top} / N_{EC6-D}^{bot}) \cdot M_{RC6-D,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,x}^{top} = (-635,66 \text{ kN} / -426,73 \text{ kN}) \cdot M_{RC6-D,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,x}^{top} = 1,49 \cdot M_{RC6-D,x}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (13),(14) προκύπτουν:

$$M_{RC6-D,x}^{bot} = 133,10 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC6-C,x}^{top} = 198,27 \text{ kNm}$$

**Ικανοτικός y-y (-):**

$$(15) M_{RC6-C,x}^{top} + M_{RC6-D,x}^{bot} = 1,3 \cdot (M_{Rd,B17-C}^+ + M_{Rd,B16-C}^-) \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,x}^{top} + M_{RC6-D,x}^{bot} = 1,3 \cdot (112,80 + 139,55) \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,x}^{top} + M_{RC6-D,x}^{bot} = 328,06$$

$$(16) M_{RC6-C,x}^{top} = (N_{EC6-C}^{top} / N_{EC6-D}^{bot}) \cdot M_{RC6-D,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,x}^{top} = (-635,66 \text{ kN} / -426,73 \text{ kN}) \cdot M_{RC6-D,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,x}^{top} = 1,49 \cdot M_{RC6-D,x}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (15),(16) προκύπτουν:

$$M_{RC6-D,x}^{bot} = 131,77 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC6-C,x}^{top} = 196,29 \text{ kNm}$$

4. Υπολογισμός ανηγμένης ροπής και ανηγμένης αξονικής λόγω ικανοτικού σχεδιασμού και γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού. Στο βήμα αυτό, για τις δύο διευθύνσεις ( $x$  και  $y$ ) αλλά και για τις δύο φορές του ικανοτικού σχεδιασμού (θετική και αρνητική), θα υπολογίσουμε τις τιμές της ανηγμένης ροπής ( $\mu_d$ ) και της ανηγμένης αξονικής ( $\nu_d$ ) στη βάση και στην κεφαλή του υποστυλώματος C6-D. Έπειτα υπολογίζουμε το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού από το διάγραμμα αλληλεπίδρασης θλίψης-κάμψης βάση του ζεύγους ανηγμένης αξονικής-ανηγμένης ροπής ( $\nu_d, \mu_d$ )

### **ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΚΟΜΒΟΥ D:**

**Ικανοτικός x-x (+):**

$$\mu_{C6-D,y}^{top} = \frac{M_{RC6-D,y}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{93,02 \text{ kNm}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5^2 \text{ m}^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = 0,05$$

$$\nu_{C6-D}^{top} = \frac{N_{EC6-D}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-397,23 \text{ kN}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = -0,11$$

$$\omega_{C6-D}^{top} = 0,00$$

**Ικανοτικός x-x (-):**

$$\mu_{C6-D,y}^{top} = \frac{M_{RC6-D,y}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{101,47 \text{ kNm}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5^2 \text{ m}^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = 0,06$$

$$\nu_{C6-D}^{top} = \frac{N_{EC6-D}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-397,23 \text{ kN}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = -0,11$$

$$\omega_{C6-D}^{top} = 0,010$$

**Ικανοτικός y-y (+):**

$$\mu_{C6-D,x}^{top} = \frac{M_{RC6-D,x}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{224,02 \text{ kNm}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5^2 \text{ m}^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = 0,13$$

$$\nu_{C6-D}^{top} = \frac{N_{EC6-D}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-397,23 \text{ kN}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = -0,11$$

$$\omega_{C6-D}^{top} = 0,20$$

**Ικανοτικός y-y (-):**

$$\mu_{C6-D,x}^{top} = \frac{M_{RC6-D,x}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{221,78 \text{ kNm}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5^2 \text{ m}^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = 0,13$$

$$v_{C6-D}^{top} = \frac{N_{EC6-D}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-397,23kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,11$$

$$\omega_{C6-D}^{top} = 0,20$$

Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε και το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για την βάση του C6-E. Έτσι προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

$$- \omega_{C6-E}^{bot} = 0,00$$

$$\omega_{C6-E}^{bot} = 0,010$$

$$\omega_{C6-E}^{bot} = 0,080$$

$$\omega_{C6-E}^{bot} = 0,080$$

### **ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΚΟΜΒΟΥ C:**

**Ικανοτικός x-x (+):**

$$\mu_{C6-C,y}^{top} = \frac{M_{RC6-C,y}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{82,33kNm}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,05$$

$$v_{C6-C}^{top} = \frac{N_{EC6-C}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-635,66kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,18$$

$$\omega_{C6-C}^{top} = 0,00$$

**Ικανοτικός x-x (-):**

$$\mu_{C6-C,y}^{top} = \frac{M_{RC6-C,y}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{89,81}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,05$$

$$v_{C6-C}^{top} = \frac{N_{EC6-C}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-635,66kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,18$$

$$\omega_{C6-C}^{top} = 0,00$$

**Ικανοτικός y-y (+):**

$$\mu_{C6-C,y}^{top} = \frac{M_{RC6-C,y}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{198,27kNm}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,11$$

$$v_{C6-C}^{top} = \frac{N_{EC6-C}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-635,66kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,18$$

$$\omega_{C6-C}^{top} = 0,110$$

**Ικανοτικός y-y (-):**

$$\omega_{C6-C,y}^{top} = \frac{M_{RC6-C,y}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{196,29kNm}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,11$$

$$\nu_{C6-C}^{top} = \frac{N_{EC6-C}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-635,66kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,18$$

$$\omega_{C6-C}^{top} = 0,110$$

Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε και γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για την κεφαλή του C7-C. Έτσι προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

$$- \omega_{C6-D}^{bot} = 0,00$$

$$\omega_{C6-D}^{bot} = 0,00$$

$$\omega_{C6-D}^{bot} = 0,08$$

$$\omega_{C6-D}^{bot} = 0,08$$

5. Υπολογισμός ενιαίου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο, θα υπολογίσουμε το ενιαίο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για τα άκρα των υποστυλωμάτων που συντρέχουν σε αυτόν ως εξής: Για κάθε μία από τις τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις του ικανοτικού σχεδιασμού που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπολογίζουμε το μέσο όρο των γεωμετρικών ποσοστών οπλισμού που αντιστοιχούν στα δύο άκρα των υποστυλωμάτων. Προκύπτουν επομένως τέσσερα διαφορετικά ενιαία ποσοστά οπλισμού ( $\omega_{ενιαίο}$ ) για τον κόμβο αυτό. Υπολογίζουμε το μέγιστο από αυτά ( $\omega_{max}$ ) το οποίο είναι τελικά το απαιτούμενο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για τον κόμβο λόγω του ικανοτικού σχεδιασμού.

#### ΚΟΜΒΟΣ D

$\omega_{C6-D}^{top}$	$\omega_{C6-E}^{bot}$	$\omega_{ενιαίο,D}$	$\omega_{δυσ,ικ,D}$
0,00	0,00	0,00	<b>0,140</b>
0,010	0,010	0,010	
0,200	0,080	0,140	
0,200	0,080	0,140	

#### ΚΟΜΒΟΣ C

$\omega_{C6-C}^{top}$	$\omega_{C6-D}^{bot}$	$\omega_{ενιαίο,C}$	$\omega_{δυσ,ικ,C}$
0,00	0,00	0,000	<b>0,095</b>
0,00	0,00	0,000	
0,110	0,080	0,095	
0,110	0,080	0,095	

6. Υπολογισμός ανηγμένης ροπής και ανηγμένης αξονικής λόγω σεισμικής φόρτισης. Όπως αναφέρθηκε στο βήμα (1), για τα άκρα των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στους

κόμβους του πλαισίου 1 υπολογίσαμε τα εντατικά μεγέθη λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών. Βάση των εντατικών μεγεθών αυτών λοιπόν θα υπολογίσουμε για κάθε άκρο υποστυλώματος τις τιμές της ανηγμένης ροπής και της ανηγμένης αξονικής δύναμης. Αξίζει να σημειωθεί πάντως ότι λόγω της διαξονικής καταπόνησης, όπως αναφέρθηκε και στο βήμα (1), λαμβάνουμε σε κάθε άκρο υποστυλώματος δύο τιμές ροπής κάμψης, μία κατά x και μία κατά y ( $M_{Edx}$  και  $M_{Edy}$ ). Σύμφωνα με την §5.4.3.2.1(2), η διαξονική κάμψη μπορεί να ληφθεί υπόψη απλοποιητικά εκτελώντας τον έλεγχο ξεχωριστά για κάθε διεύθυνση προσαυξάνοντας την αντίστοιχη δρώσα ροπή κατά 30%. Επομένως για κάθε άκρο υποστυλώματος οι τιμές της δρώσας ροπής και της δρώσας αξονικής αντίστοιχα είναι ίσες με:

- Ροπή στο άνω άκρο:  $M_{Edx,top} = 21,55 \text{ kNm}$  και  $M_{Edy,top} = 82,36 \text{ kNm}$
- Ροπή στο κάτω άκρο:  $M_{Edx,bot} = 23,63 \text{ kNm}$  και  $M_{Edy,bot} = 75,55 \text{ kNm}$
- Αξονική άνω και κάτω:  $N_{EC,top} = -269,804 \text{ kN}$  και  $N_{EC,bot} = -291,679 \text{ kN}$
- $M_{EC6-D}^{top} = \max \{1,3 \cdot M_{Ed,x}^{top} ; 1,3 \cdot M_{Ed,y}^{top} \} = \max \{1,3 \cdot 21,55 ; 1,3 \cdot 82,36 \} = 107,068 \text{ kNm}$   
 $M_{EC6-D}^{bot} = \max \{1,3 \cdot M_{Ed,x}^{bot} ; 1,3 \cdot M_{Ed,y}^{bot} \} = \max \{1,3 \cdot 23,63 ; 1,3 \cdot 75,55 \} = 98,215 \text{ kNm}$
- $\mu_d^{top} = \frac{M_{EC6-D}^{top}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{107,068 \text{ kNm}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5^2 \text{ m}^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = 0,060$   
 $v_d^{top} = \frac{N_{EC}^{top}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-269,804 \text{ kN}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = -0,08$   
 $\omega_{C6-D}^{top} = 0,05$
- $\mu_d^{bot} = \frac{M_{EC6-D}^{bot}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{98,215 \text{ kNm}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5^2 \text{ m}^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = 0,06$   
 $v_d^{bot} = \frac{N_{EC}^{bot}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-291,679 \text{ kN}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = -0,08$   
 $\omega_{C6-D}^{bot} = 0,05$

Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε  $\omega_{C6-E}^{bot} = 0,05$  και  $\omega_{C6-C}^{top} = 0,04$ . Έπειτα βρίσκουμε ενιαίο γεωμετρικό ποσοστό για τον κόμβο D ως μέσο όρο των  $\omega_{C6-D}^{top} = 0,05$  και  $\omega_{C6-E}^{bot} = 0,05$  και ενιαίο γεωμετρικό ποσοστό για τον κόμβο C ως μέσο όρο των  $\omega_{C7-D}^{bot} = 0,05$  και  $\omega_{C6-C}^{top} = 0,04$ . Άρα:

- $\omega_{εν,φορτ,D} = 0,050$
- $\omega_{εν,φορτ,C} = 0,045$

7. Υπολογισμός τελικού απαιτούμενου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού κόμβου. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο του πλαισίου, θα υπολογίσουμε το τελικό απαιτούμενο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού ( $\omega_{δυσμ}$ ) το οποίο ισούται με τη μέγιστη τιμή που προκύπτει λόγω του ικανοτικού σχεδιασμού και λόγω της σεισμικής φόρτισης. Έτσι για κάθε κόμβο ισχύει:

- $\omega_{δυσ,D} = \max \{ \omega_{δυσ,ικ,D} ; \omega_{εν,φορτ,D} \} = \max \{ 0,140 ; 0,050 \} = 0,140$



$$- \omega_{\delta\upsilon\sigma,C} = \max \{ \omega_{\delta\upsilon\sigma,\iota\kappa,C} ; \omega_{\epsilon\nu,\phi\acute{o}\rho\tau,C} \} = \max \{ 0,095 ; 0,045 \} = 0,095$$

8. Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού.

Αρχικά υπολογίζεται το μέγιστο από τα γεωμετρικά ποσοστά οπλισμού που αντιστοιχούν στη κεφαλή και τη βάση του υποστυλώματος:

$$- \omega_{C6-D} = \max \{ \omega_{\delta\upsilon\sigma,C} ; \omega_{\delta\upsilon\sigma,D} \} = \max \{ 0,095 ; 0,140 \} = 0,140$$

Βάσει αυτού υπολογίζεται ο απαιτούμενος οπλισμός κάμψης του υποστυλώματος από τον τύπο:

$$- A_{s,tot} = \omega_{C6-D} \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,140 \cdot 50 \cdot 50 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} = 11,41 \text{ cm}^2 \text{ όπου}$$

Έπειτα υπολογίζεται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός κάμψης για το υποστυλώμα:

$$- A_{s,min} = 0,01 \cdot b \cdot h = 0,01 \cdot 50 \cdot 50 = 25 \text{ cm}^2$$

Ο τελικός απαιτούμενος οπλισμός για κάθε παρειά του υποστυλώματος είναι ίσος με:

$$- A_{s,τελ,παρ} = \max \{ A_{s,tot} / 2 ; A_{s,min} / 4 \} = \max \{ 11,41 / 2 ; 25 / 4 \} = 6,25 \text{ cm}^2$$

9. Υπολογισμός του τοποθετούμενου οπλισμού παρειάς σε ράβδους συγκεκριμένης διαμέτρου ώστε το εμβαδόν του να είναι μεγαλύτερο από αυτό του τελικού οπλισμού παρειάς.

Επιλέγονται 4Φ18 για κάθε παρειά υποστυλώματος εμβαδού  $A_s = 10,16 \text{ cm}^2$  το οποίο σημαίνει  $4 \cdot 4 = 12$  ράβδους Φ18 συνολικού εμβαδού  $A_{s,ολ} = 30,48 \text{ cm}^2$ .

10. Έλεγχος ώστε ο τοποθετούμενος οπλισμός να μην υπερβαίνει τον μέγιστο επιτρεπόμενο ο οποίος ισούται με  $A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 50 \cdot 50 = 100 \text{ cm}^2 > A_s$

11. Ακολουθεί υπολογισμός της ροπής αντοχής της διατομής της κεφαλής και της βάσης του υποστυλώματος διότι χρειάζεται στην διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης.

- Εύρεση τοποθετούμενου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού:

$$\omega_{C6-D,τοπ} = \frac{2 \cdot A_{s,τοπ,παρ}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{2 \cdot 10,16}{50 \cdot 50} \cdot \frac{500 / 1,15}{0,85 \cdot 25 / 1,5} = 0,249$$

- Εύρεση της ανοιγμένης ροπής σχεδιασμού που αντιστοιχεί στον οπλισμό της διατομής της κεφαλής και της βάσης του υποστυλώματος μέσω διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης, δεδομένου  $\nu_{d,C6-D}^{top} = -0,08, \nu_{d,C6-D}^{bot} = -0,08$ :

$$\mu_{d,C6-D}^{top} = 0,140$$

$$\mu_{d,C6-D}^{bot} = 0,145$$

- Εύρεση ροπής αντοχής κορυφής και βάσης:

$$M_{EC6-D}^{top} = \mu_d^{top} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,14 \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,5^2 \text{ m}^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5 = 247,98 \text{ kNm}$$

$$M_{EC6-D}^{bot} = \mu_d^{bot} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,145 \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,5^2 \text{ m}^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5 = 256,83 \text{ kNm}$$

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του παραπάνω υποστυλώματος εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.8 του επόμενου κεφαλαίου.

### 5.4.3.2 Παράδειγμα διαστασιολόγησης υποστυλώματος τοιχωματικού κτιρίου έναντι διάτμησης σε ΟΚΑ

Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί το υποστύλωμα C7-D του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτό των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Τονίζεται πως παρ' ότι στο τοιχωματικό κτήριο τα υποστυλώματα θα μπορούσαν να εξαιρεθούν του ικανοτικού σχεδιασμού αφού τα τοιχώματα παραλαμβάνουν το σύνολο σχεδόν της τέμνουσας βάσης, εντούτοις πραγματοποιείται ικανότητα σχεδιασμός για μεγαλύτερη πληρότητα. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών. Στο βήμα αυτό λαμβάνουμε τις τιμές της δρώσας ροπής κατά τις δύο διευθύνσεις ( $M_{Edx}$  και  $M_{Edy}$ ) και στα δύο άκρα του υποστυλώματος αλλά και την τιμή της δρώσας αξονικής δύναμης  $N_{Ed}$ . λόγω του δυσμενέστερου σεισμικού συνδυασμού από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας η οποία πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό SAP2000. Σύμφωνα με τα σχήματα Π.5.Α.26 έως Π.5.Α.28 στο υποστύλωμα του παραδείγματός μας έχουμε τα εξής εντατικά μεγέθη:
  - Ροπή στο άνω άκρο:  $M_{Edx,top} = 10,29 \text{ kNm}$  και  $M_{Edy,top} = 66,56 \text{ kNm}$
  - Ροπή στο κάτω άκρο:  $M_{Edx,bot} = 11,64 \text{ kNm}$  και  $M_{Edy,bot} = 69,90 \text{ kNm}$
  - Αξονική άνω και κάτω:  $N_{EC,top} = -240,67 \text{ kN}$  και  $N_{EC,bot} = -262,51 \text{ kN}$

#### ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

2. Υπολογισμός των ροπών αντοχής των δοκών που συντρέχουν στους κόμβους D και C του πλαισίου τόσο κατά τη διεύθυνση x όσο και κατά τη διεύθυνση y. Ακολουθεί παράδειγμα υπολογισμού των ροπών αντοχής της δοκού B14-D:

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά: ύψος:  $h=60\text{cm}$ ,

πλάτος κορμού:  $b_w=30\text{cm}$ ,

συνεργαζόμενο πλάτος:  $b_{eff}=108\text{cm}$ ,

οπλισμός 2 (άνω): 4φ14 ( $A_{s1}=6,16\text{cm}^2$ )

οπλισμός 1 (κάτω): 3φ14 ( $A_{s1}=4,62\text{cm}^2$ ).

Έπειτα από αρκετές δοκιμές καταλήγουμε στις λύσεις:

Λειτουργία πλακοδοκού (υπολογισμός  $M_{Rd,B14-D}^+$ ):

- Θεωρώ αστοχία της θλιβόμενης ζώνης σκυροδέματος  $\varepsilon_{c2}=-0,0035$  και παραμόρφωση κατώτερης στάθμης οπλισμού  $\varepsilon_{s1}=0,0546$ .
- Σχεδιασμός διαγράμματος παραμορφώσεων της διατομής. Η θέση του ουδετέρου άξονα είναι σε απόσταση  $x=31,3\text{mm}$  από την άνω ίνα της διατομής. Η παραμόρφωση στη στάθμη κάθε οπλισμού  $\varepsilon_{si}$  είναι:
  - $\varepsilon_{s2}=0,0017$
  - $\varepsilon_{s1}=0,0546$
- Υπολογισμός της θλιπτικής δύναμης του σκυροδέματος  $F_{cd}$ .  
Λαμβάνοντας απλοποιημένο ορθογωνικό διάγραμμα σκυροδέματος ισχύει:  
 $F_{cd} = -b(0,8x)f_{cd} = -108 \cdot 0,8 \cdot 3,13 \cdot 0,85 \cdot 25 / 1,5 = -406,26 \text{ kN}$   
η οποία ασκείται σε απόσταση  $0,4x=12,52\text{mm}$  από την άνω ίνα της διατομής.

- Υπολογισμός της παραμόρφωσης που αντιστοιχεί στη διαρροή του χάλυβα των

$$\text{οπλισμών: } \varepsilon_{yd} = \frac{F_{yd}}{E} = \frac{500/1,15 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}} = 0,00217$$

- Υπολογισμός δυνάμεων οπλισμών.  $F_{sd,i} = A_{s,i} \cdot \sigma_{sd,i}$

Για τον υπολογισμό της τάσης του οπλισμού  $\sigma_{sd,i}$  γίνεται σύγκριση της παραμόρφωσης του οπλισμού με την παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη διαρροή του:

$$\text{Στάθμη οπλ. 2: } \varepsilon_{s,2} = 0,0017 < \varepsilon_{yd} = 0,00217$$

$$F_{sd,2} = A_{s,2} \cdot \varepsilon_{s,2} \cdot E = 6,16 \text{ cm}^2 \cdot 0,0017 \cdot 200000 \text{ MPa} = 205,39 \text{ kN}$$

$$\text{Στάθμη οπλ. 1: } \varepsilon_{s,1} = 0,0546 > \varepsilon_{yd} = 0,00217$$

$$F_{sd,1} = A_{s,1} \cdot f_{yd} = 4,62 \text{ cm}^2 \cdot 500/1,15 \text{ MPa} = 200,87 \text{ kN}$$

- Έλεγχος ισοδυναμίας εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.

$$N_{ed} = F_{cd} + F_{sd,2} + F_{sd,1} \Rightarrow 0 = -406,26 + 205,39 + 200,87 \Rightarrow 0 = 0$$

Συνεπώς υπάρχει ισοδυναμία εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.

- Υπολογισμός της ροπής αντοχής ( $M_{Rd}$ ) τη στιγμή της αστοχίας της διατομής.

Ως σημείο αναφοράς επιλέγω το κέντρο βάρους της διατομής.

$$M_{Rd,B14-D}^+ = |F_{cd}| \cdot (h/2 - 0,4x) - F_{sd,2} \cdot (h/2 - y_2) + F_{sd,1} \cdot (y_1 - h/2)$$

$$M_{Rd,B14-D}^+ = 115,35 \text{ kNm}$$

Λειτουργία ορθογωνικής διατομής (υπολογισμός  $M_{Rd,B14-D}^-$ ):

- Θεωρώ αστοχία της θλιβόμενης ζώνης σκυροδέματος  $\varepsilon_{c2} = -0,0035$  και παραμόρφωση κατώτερης στάθμης οπλισμού  $\varepsilon_{s2} = 0,0283$ .

- Σχεδιασμός διαγράμματος παραμορφώσεων της διατομής. Η θέση του ουδετέρου άξονα είναι σε απόσταση  $x = 60,6 \text{ mm}$  από την άνω ίνα της διατομής. Η παραμόρφωση στη στάθμη κάθε οπλισμού  $\varepsilon_{si}$  είναι:

$$\varepsilon_{s1} = -0,00067$$

$$\varepsilon_{s2} = 0,0283$$

- Υπολογισμός της θλιπτικής δύναμης του σκυροδέματος  $F_{cd}$ .

Λαμβάνοντας απλοποιημένο ορθογωνικό διάγραμμα σκυροδέματος ισχύει:

$$F_{cd} = -b(0,8x)f_{cd} = -30 \cdot 0,8 \cdot 6,06 \cdot 0,85 \cdot 25/1,5 = -205,99 \text{ kN}$$

η οποία ασκείται σε απόσταση  $0,4x = 24,24 \text{ mm}$  από την άνω ίνα της διατομής.

- Υπολογισμός της παραμόρφωσης που αντιστοιχεί στη διαρροή του χάλυβα των

$$\text{οπλισμών: } \varepsilon_{yd} = \frac{F_{yd}}{E} = \frac{500/1,15 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}} = 0,00217$$

- Υπολογισμός δυνάμεων οπλισμών.  $F_{sd,i} = A_{s,i} \cdot \sigma_{sd,i}$

Για τον υπολογισμό της τάσης του οπλισμού  $\sigma_{sd,i}$  γίνεται σύγκριση της παραμόρφωσης του οπλισμού με την παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη διαρροή του:

$$\text{Στάθμη οπλ. 1: } |\varepsilon_{s1}| = 0,00067 < \varepsilon_{yd} = 0,00217$$

$$F_{sd,1} = A_{s,1} \cdot \varepsilon_{s1} \cdot E = 4,62 \text{ cm}^2 \cdot 0,00067 \cdot 200000 \text{ MPa} = -61,84 \text{ kN}$$

$$\text{Στάθμη οπλ. 2: } \varepsilon_{s2} = 0,0283 > \varepsilon_{yd} = 0,00217$$

$$F_{sd,2} = A_{s,2} \cdot f_{yd} = 6,16 \text{ cm}^2 \cdot 500 / 1,15 \text{ MPa} = 267,83 \text{ kN}$$

– Έλεγχος ισοδυναμίας εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.

$$N_{ed} = F_{cd} + F_{sd2} + F_{sd1} \Rightarrow 0 = -205,99 - 61,84 + 267,83 \Rightarrow 0 = 0$$

Συνεπώς υπάρχει ισοδυναμία εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.

– Υπολογισμός της ροπής αντοχής ( $M_{Rd}$ ) τη στιγμή της αστοχίας της διατομής.

Ως σημείο αναφοράς επιλέγω το κέντρο βάρους της διατομής.

$$M_{Rd,B14-D}^- = |F_{cd}| \cdot (h/2 - 0,4x) + F_{sd,2} \cdot (h/2 - y_2) + F_{sd,1} \cdot (y_1 - h/2)$$

$$M_{Rd,B14-D}^- = 139,55 \text{ kNm}$$

Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται:  $M_{Rd,B11-D}^+ = 111,30 \text{ kNm}$

$$M_{Rd,B11-D}^- = 105,84 \text{ kNm}$$

3. Απαιτήσεις ικανοτικού σχεδιασμού (για τον δυσμενέστερο συνδυασμό φόρτισης) και εύρεση των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων. Στο βήμα αυτό θα παρουσιάσουμε τις απαιτήσεις του ικανοτικού σχεδιασμού, με τη μορφή εξισώσεων, που πρέπει να ικανοποιούνται σε κάθε κόμβο του πλαισίου. Ο ικανοτικός σχεδιασμός πραγματοποιείται και για τις δύο διευθύνσεις (σεισμός κατά  $x$  και σεισμός κατά  $y$ ) τόσο για θετική όσο και για αρνητική φορά σεισμού. Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν καταλήγουμε στις εξής εξισώσεις:

#### **ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΚΟΜΒΟΥ D:**

Τα δεδομένα που απαιτούνται για να σχεδιαστεί ικανοτικά ο κόμβος D είναι:

– Η αξονική της βάσης του υποστυλώματος C7-E:  $N_{EC7-E}^{bot} = -158,35 \text{ kN}$

– Η αξονική της κεφαλής του υποστυλώματος C7-D:  $N_{EC7-D}^{top} = -334,52 \text{ kN}$

– Η ροπές αντοχής της δοκού B11-D:  $M_{Rd,B11-D}^+ = 111,30 \text{ kNm}$

$$M_{Rd,B11-D}^- = -105,84 \text{ kNm}$$

– Η ροπές αντοχής της δοκού B14-D:  $M_{Rd,B14-D}^+ = 115,35 \text{ kNm}$

$$M_{Rd,B14-D}^- = -139,55 \text{ kNm}$$

**Ικανοτικός x-x (+):**

$$(17) \quad M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B11-D}^- \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot (-105,84)$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = -137,59$$

$$(18) \quad M_{RC7-D,y}^{top} = (N_{EC7-D}^{top} / N_{EC7-E}^{bot}) \cdot M_{RC7-E,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} = (-334,52 \text{ kN} / -158,35 \text{ kN}) \cdot M_{RC7-E,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} = 2,11 \cdot M_{RC7-E,y}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (1),(2) προκύπτουν:

$$M_{RC7-D,y}^{top} = -93,40 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC7-E,y}^{bot} = -44,19 \text{ kNm}$$

**Ικανοτικός x-x (-):**

$$(19) \quad M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B11-D}^+ \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot 111,30$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = 144,69$$

$$(20) \quad M_{RC7-D,y}^{top} = (N_{EC7-D}^{top} / N_{EC7-E}^{bot}) \cdot M_{RC7-E,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} = (-334,52 \text{ kN} / -158,35 \text{ kN}) \cdot M_{RC7-E,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} = 2,11 \cdot M_{RC7-E,y}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (3),(4) προκύπτουν:

$$M_{RC7-D,y}^{top} = 98,23 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC7-E,y}^{bot} = 46,47 \text{ kNm}$$

**Ικανοτικός y-y (+):**

$$(21) \quad M_{RC7-D,x}^{top} + M_{RC7-E,x}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B14-D}^- \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} + M_{RC7-E,x}^{bot} = 1,3 \cdot (-139,55)$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} + M_{RC7-E,x}^{bot} = -181,42$$

$$(22) \quad M_{RC7-D,x}^{top} = (N_{EC7-D}^{top} / N_{EC7-E}^{bot}) \cdot M_{RC7-E,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} = (-334,52 \text{ kN} / -158,35 \text{ kN}) \cdot M_{RC7-E,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} = 2,11 \cdot M_{RC7-E,x}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (5),(6) προκύπτουν:

$$M_{RC7-D,x}^{top} = -123,15 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC7-E,x}^{bot} = -58,26 \text{ kNm}$$

**Ικανοτικός y-y (-):**

$$(23) \quad M_{RC7-D,x}^{top} + M_{RC7-E,x}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B14-D}^+ \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} + M_{RC7-E,x}^{bot} = 1,3 \cdot 115,35$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} + M_{RC7-E,x}^{bot} = 149,96$$

$$(24) \quad M_{RC7-D,x}^{top} = (N_{EC7-D}^{top} / N_{EC7-E}^{bot}) \cdot M_{RC7-E,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} = (-334,52 \text{ kN} / -158,35 \text{ kN}) \cdot M_{RC7-E,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} = 2,11 \cdot M_{RC7-E,x}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (5),(6) προκύπτουν:

$$M_{RC7-D,x}^{top} = 101,80 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC7-E,x}^{bot} = 48,16 \text{ kNm}$$

### **ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΚΟΜΒΟΣ C:**

Τα δεδομένα που απαιτούνται για να σχεδιαστεί ικανοτικά ο κόμβος D είναι:

- Η αξονική της βάσης του υποστυλώματος C7-D:  $N_{EC7-D}^{bot} = -364,01 \text{ kN}$
- Η αξονική της κεφαλής του υποστυλώματος C7-C:  $N_{EC7-C}^{top} = -541,33 \text{ kN}$
- Η ροπές αντοχής της δοκού B11-D:  $M_{Rd,B11-D}^{+} = 111,30 \text{ kNm}$

$$M_{Rd,B11-D}^{-} = -105,84 \text{ kNm}$$

- Η ροπές αντοχής της δοκού B14-D:  $M_{Rd,B14-D}^{+} = 115,35 \text{ kNm}$

$$M_{Rd,B14-D}^{-} = -139,55 \text{ kNm}$$

### **Ικανοτικός x-x (+):**

$$(25) \quad M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B11-D}^{-} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot (-105,84)$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = -137,59$$

$$(26) \quad M_{RC7-C,y}^{top} = (N_{EC7-C}^{top} / N_{EC7-D}^{bot}) \cdot M_{RC7-D,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-C,y}^{top} = (-541,33 \text{ kN} / -364,01 \text{ kN}) \cdot M_{RC7-D,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-C,y}^{top} = 1,48 \cdot M_{RC7-D,y}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (9),(10) προκύπτουν:

$$M_{RC7-D,y}^{bot} = -55,32 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC7-C,y}^{top} = -82,27 \text{ kNm}$$

### **Ικανοτικός x-x (-):**

$$(27) \quad M_{RC7-C,y}^{top} + M_{RC7-D,y}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B11-C}^{+} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot 111,30$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = 144,69$$

$$(28) \quad M_{RC7-C,y}^{top} = (N_{EC7-C}^{top} / N_{EC7-D}^{bot}) \cdot M_{RC7-D,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-C,y}^{top} = (-541,33 \text{ kN} / -364,01 \text{ kN}) \cdot M_{RC7-D,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-C,y}^{top} = 1,48 \cdot M_{RC7-D,y}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (11),(12) προκύπτουν:

$$M_{RC7-D,y}^{bot} = 58,18 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC7-C,y}^{top} = 86,52 \text{ kNm}$$

### **Ικανοτικός y-y (+):**

$$(29) M_{RC7-C,x}^{top} + M_{RC7-D,x}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B14-C}^- \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} + M_{RC7-E,x}^{bot} = 1,3 \cdot (-139,55)$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} + M_{RC7-E,x}^{bot} = -181,42$$

$$(30) M_{RC7-C,x}^{top} = (N_{EC7-C}^{top} / N_{EC7-D}^{bot}) \cdot M_{RC7-D,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-C,x}^{top} = (-541,33 \text{ kN} / -364,01 \text{ kN}) \cdot M_{RC7-D,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-C,x}^{top} = 1,48 \cdot M_{RC7-D,x}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (13),(14) προκύπτουν:

$$M_{RC7-D,x}^{bot} = -72,94 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC7-C,x}^{top} = -108,47 \text{ kNm}$$

**Ικανοτικός y-y (-):**

$$(31) M_{RC7-C,x}^{top} + M_{RC7-D,x}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B14-C}^- \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} + M_{RC7-E,x}^{bot} = 1,3 \cdot 115,35$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} + M_{RC7-E,x}^{bot} = 149,96$$

$$(32) M_{RC7-C,x}^{top} = (N_{EC7-C}^{top} / N_{EC7-D}^{bot}) \cdot M_{RC7-D,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-C,x}^{top} = (-541,33 \text{ kN} / -364,01 \text{ kN}) \cdot M_{RC7-D,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-C,x}^{top} = 1,48 \cdot M_{RC7-D,x}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (15),(16) προκύπτουν:

$$M_{RC7-D,x}^{bot} = 60,29 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC7-C,x}^{top} = 89,66 \text{ kNm}$$

4. Υπολογισμός ανηγμένης ροπής και ανηγμένης αξονικής λόγω ικανοτικού σχεδιασμού και γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού. Στο βήμα αυτό, για τις δύο διευθύνσεις (  $x$  και  $y$  ) αλλά και για τις δύο φορές του ικανοτικού σχεδιασμού (θετική και αρνητική), θα υπολογίσουμε τις τιμές της ανηγμένης ροπής (  $\mu_d$  ) και της ανηγμένης αξονικής (  $\nu_d$  ) στη βάση και στη κεφαλή του υποστυλώματος C7-D. Έπειτα υπολογίζουμε το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού από το διάγραμμα αλληλεπίδρασης θλίψης-κάμψης βάση του ζεύγους ανοιγμένης αξονικής-ανοιγμένης ροπής (  $\nu_d, \mu_d$  )

#### **ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΚΟΜΒΟΥ D:**

**Ικανοτικός x-x (+):**

$$\mu_{C7-D,y}^{top} = \frac{M_{RC7-D,y}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{-93,40 \text{ kNm}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5^2 \text{ m}^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = 0,053$$

$$\nu_{C7-D}^{top} = \frac{N_{EC7-D}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-334,52 \text{ kN}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = -0,094$$

$$\omega_{C7-D}^{top} = 0,04$$

**Ικανοτικός x-x (-):**

$$\mu_{C7-D,y}^{top} = \frac{M_{RC7-D,y}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{98,23kNm}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,055$$

$$v_{C7-D}^{top} = \frac{N_{EC7-D}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-334,52kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,094$$

$$\omega_{C7-D}^{top} = 0,04$$

**Ικανοτικός y-y (+):**

$$\mu_{C7-D,x}^{top} = \frac{M_{RC7-D,x}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{-123,15kNm}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,070$$

$$v_{C7-D}^{top} = \frac{N_{EC7-D}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-334,52kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,094$$

$$\omega_{C7-D}^{top} = 0,09$$

**Ικανοτικός y-y (-):**

$$\mu_{C7-D,x}^{top} = \frac{M_{RC7-D,x}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{101,80kNm}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,057$$

$$v_{C7-D}^{top} = \frac{N_{EC7-D}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-334,52kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,094$$

$$\omega_{C7-D}^{top} = 0,04$$

Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε και το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για την βάση του C7-E. Έτσι προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

$$- \omega_{C7-E}^{bot} = 0,01$$

$$\omega_{C7-E}^{bot} = 0,01$$

$$\omega_{C7-E}^{bot} = 0,04$$

$$\omega_{C7-E}^{bot} = 0,01$$

**ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΚΟΜΒΟΥ C:****Ικανοτικός x-x (+):**

$$\mu_{C7-D,y}^{bot} = \frac{M_{RC7-D,y}^{bot}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{-55,32kNm}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,031$$



$$v_{C7-D}^{bot} = \frac{N_{EC7-D}^{bot}}{bh f_{cd}} = \frac{-364,01kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,103$$

$$\omega_{C7-D}^{bot} = 0,0$$

**Ικανοτικός x-x (-):**

$$\mu_{C7-D,y}^{bot} = \frac{M_{RC7-D,y}^{bot}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{58,18}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,033$$

$$v_{C7-D}^{bot} = \frac{N_{EC7-D}^{bot}}{bh f_{cd}} = \frac{-364,01kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,103$$

$$\omega_{C7-D}^{bot} = 0,0$$

**Ικανοτικός y-y (+):**

$$\mu_{C7-D,x}^{bot} = \frac{M_{RC7-D,x}^{bot}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{-72,94kNm}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,041$$

$$v_{C7-D}^{bot} = \frac{N_{EC7-D}^{bot}}{bh f_{cd}} = \frac{-364,01kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,103$$

$$\omega_{C7-D}^{bot} = 0,01$$

**Ικανοτικός y-y (-):**

$$\mu_{C7-D,x}^{bot} = \frac{M_{RC7-D,x}^{bot}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{60,29kNm}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,034$$

$$v_{C7-D}^{bot} = \frac{N_{EC7-D}^{bot}}{bh f_{cd}} = \frac{-364,01kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,103$$

$$\omega_{C7-D}^{bot} = 0,0$$

Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε και γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για την κεφαλή του C7-C. Έτσι προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

$$- \omega_{C7-C}^{top} = 0,0$$

$$\omega_{C7-C}^{top} = 0,0$$

$$\omega_{C7-C}^{top} = 0,0$$

$$\omega_{C7-C}^{top} = 0,0$$

5. Υπολογισμός ενιαίου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο, θα υπολογίσουμε το ενιαίο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για τα άκρα των υποστυλωμάτων που συντρέχουν σε αυτόν ως εξής: Για κάθε μία από τις τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις του ικανοτικού σχεδιασμού που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπολογίζουμε το μέσο όρο των γεωμετρικών ποσοστών οπλισμού που αντιστοιχούν στα δύο άκρα των υποστυλωμάτων. Προκύπτουν επομένως τέσσερα διαφορετικά ενιαία ποσοστά οπλισμού ( $\omega_{ενιαίο}$ ) για τον κόμβο αυτό. Υπολογίζουμε το μέγιστο από αυτά ( $\omega_{max}$ ) το οποίο είναι τελικά το απαιτούμενο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για τον κόμβο λόγω του ικανοτικού σχεδιασμού.

#### ΚΟΜΒΟΣ D

$\omega_{C7-D}^{top}$	$\omega_{C7-E}^{bot}$	$\omega_{ενιαίο,D}$	$\omega_{δυσ,ικ,D}$
0,04	0,01	0,025	<b>0,065</b>
0,04	0,01	0,025	
0,09	0,04	0,065	
0,04	0,01	0,025	

#### ΚΟΜΒΟΣ C

$\omega_{C7-C}^{top}$	$\omega_{C7-D}^{bot}$	$\omega_{ενιαίο,C}$	$\omega_{δυσ,ικ,C}$
0,00	0,00	0,000	<b>0,005</b>
0,00	0,00	0,000	
0,00	0,01	0,005	
0,00	0,00	0,000	

6. Υπολογισμός ανηγμένης ροπής και ανηγμένης αξονικής λόγω σεισμικής φόρτισης. Όπως αναφέρθηκε στο βήμα (1), για τα άκρα των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στους κόμβους του πλαισίου 1 υπολογίσαμε τα εντατικά μεγέθη λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών. Βάση των εντατικών μεγεθών αυτών λοιπόν θα υπολογίσουμε για κάθε άκρο υποστυλώματος τις τιμές της ανηγμένης ροπής και της ανηγμένης αξονικής δύναμης. Αξίζει να σημειωθεί πάντως ότι λόγω της διαξονικής καταπόνησης, όπως αναφέρθηκε και στο βήμα (1), λαμβάνουμε σε κάθε άκρο υποστυλώματος δύο τιμές ροπής κάμψης, μία κατά x και μία κατά y ( $M_{Edx}$  και  $M_{Edy}$ ). Σύμφωνα με την §5.4.3.2.1(2), η διαξονική κάμψη μπορεί να ληφθεί υπόψη απλοποιητικά εκτελώντας τον έλεγχο ξεχωριστά για κάθε διεύθυνση προσαυξάνοντας την αντίστοιχη δρώσα ροπή κατά 30%. Επομένως για κάθε άκρο υποστυλώματος οι τιμές της δρώσας ροπής και της δρώσας αξονικής αντίστοιχα είναι ίσες με:

– Ροπή στο άνω άκρο:  $M_{Edx,top} = 10,29 \text{ kNm}$  και  $M_{Edy,top} = 66,56 \text{ kNm}$

Ροπή στο κάτω άκρο:  $M_{Edx,bot} = 11,64 \text{ kNm}$  και  $M_{Edy,bot} = 69,90 \text{ kNm}$

Αξονική άνω και κάτω:  $N_{EC,top} = -240,67 \text{ kN}$  και  $N_{EC,bot} = -262,51 \text{ kN}$

$$- M_{EC7-D}^{top} = \max \{1,3 \cdot M_{Ed,x}^{top} ; 1,3 \cdot M_{Ed,y}^{top}\} = \max \{1,3 \cdot 10,29 ; 1,3 \cdot 66,56\} = 86,53 \text{ kNm}$$

$$M_{EC7-D}^{bot} = \max \{1,3 \cdot M_{Ed,x}^{bot} ; 1,3 \cdot M_{Ed,y}^{bot}\} = \max \{1,3 \cdot 11,64 ; 1,3 \cdot 69,90\} = 90,87 \text{ kNm}$$

$$- \mu_d^{top} = \frac{M_{EC7-D}^{top}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{86,53 \text{ kNm}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5^2 \text{ m}^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = 0,049$$

$$v_d^{top} = \frac{N_{EC}^{top}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-240,67 \text{ kN}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = -0,068$$

$$\omega_{C7-D}^{top} = 0,04$$

$$- \mu_d^{bot} = \frac{M_{EC7-D}^{bot}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{90,87 \text{ kNm}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5^2 \text{ m}^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = 0,051$$

$$v_d^{bot} = \frac{N_{EC}^{bot}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-262,51 \text{ kN}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = -0,074$$

$$\omega_{C7-D}^{bot} = 0,04$$

Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε  $\omega_{C7-E}^{bot} = 0,09$  και  $\omega_{C7-C}^{top} = 0,07$ . Έπειτα βρίσκουμε ενιαίο γεωμετρικό ποσοστό για τον κόμβο D ως μέσο όρο των  $\omega_{C7-D}^{top} = 0,04$  και  $\omega_{C7-E}^{bot} = 0,09$  και ενιαίο γεωμετρικό ποσοστό για τον κόμβο C ως μέσο όρο των  $\omega_{C7-D}^{bot} = 0,04$  και  $\omega_{C7-C}^{top} = 0,07$ . Άρα:

$$- \omega_{\varepsilon\nu, \phi\omicron\rho\tau, D} = 0,065$$

$$- \omega_{\varepsilon\nu, \phi\omicron\rho\tau, C} = 0,055$$

7. Υπολογισμός τελικού απαιτούμενου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού κόμβου. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο του πλαισίου, θα υπολογίσουμε το τελικό απαιτούμενο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού ( $\omega_{\delta\nu\sigma\mu}$ ) το οποίο ισούται με τη μέγιστη τιμή που προκύπτει λόγω του ικανοτικού σχεδιασμού και λόγω της σεισμικής φόρτισης. Έτσι για κάθε κόμβο ισχύει:

$$- \omega_{\delta\nu\sigma, D} = \max \{ \omega_{\delta\nu\sigma, \iota\kappa, D} ; \omega_{\varepsilon\nu, \phi\omicron\rho\tau, D} \} = \max \{ 0,065 ; 0,065 \} = 0,065$$

$$- \omega_{\delta\nu\sigma, C} = \max \{ \omega_{\delta\nu\sigma, \iota\kappa, C} ; \omega_{\varepsilon\nu, \phi\omicron\rho\tau, C} \} = \max \{ 0,005 ; 0,055 \} = 0,055$$

8. Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού.

Αρχικά υπολογίζεται το μέγιστο από τα γεωμετρικά ποσοστά οπλισμού που αντιστοιχούν στη κεφαλή και τη βάση του υποστυλώματος:

$$- \omega_{C7-D} = \max \{ \omega_{\delta\nu\sigma, C} ; \omega_{\delta\nu\sigma, D} \} = \max \{ 0,055 ; 0,065 \} = 0,065$$

Βάσει αυτού υπολογίζεται ο απαιτούμενος οπλισμός κάμψης του υποστυλώματος από τον τύπο:

$$- A_{s, tot} = \omega_{C7-D} \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,065 \cdot 50 \cdot 50 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} = 5,30 \text{ cm}^2 \text{ όπου}$$

Έπειτα υπολογίζεται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός κάμψης για το υποστυλώμα:

$$- A_{s, min} = 0,01 \cdot b \cdot h = 0,01 \cdot 50 \cdot 50 = 25 \text{ cm}^2$$

Ο τελικός απαιτούμενος οπλισμός για κάθε παρειά του υποστυλώματος είναι ίσος με:

$$- A_{s,τελ,παρ} = \max \{ A_{s,tot} / 2 ; A_{s,min} / 4 \} = \max \{ 5,30 / 2 ; 25 / 4 \} = 6,25 \text{ cm}^2$$

9. Υπολογισμός του τοποθετούμενου οπλισμού παρειάς σε ράβδους συγκεκριμένης διαμέτρου ώστε το εμβαδόν του να είναι μεγαλύτερο από αυτό του τελικού οπλισμού παρειάς.

Επιλέγονται 4φ18 για κάθε παρειά υποστυλώματος εμβαδού  $A_s = 10,16 \text{ cm}^2$  το οποίο σημαίνει  $4 \cdot 4 = 12$  ράβδους φ18 συνολικού εμβαδού  $A_{s,ολ} = 30,48 \text{ cm}^2$ .

10. Έλεγχος ώστε ο τοποθετούμενος οπλισμός να μην υπερβαίνει τον μέγιστο επιτρεπόμενο οποίος ισούται με  $A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 50 \cdot 50 = 100 \text{ cm}^2 > A_s$

11. Ακολουθεί υπολογισμός της ροπής αντοχής της διατομής της κεφαλής και της βάσης του υποστυλώματος διότι χρειάζεται στην διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης.

- Εύρεση τοποθετούμενου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού:

$$\omega_{C7-D,top} = \frac{2 \cdot A_{s,top,παρ} \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{2 \cdot 10,16}{50 \cdot 50} \cdot \frac{500 / 1,15}{0,85 \cdot 25 / 1,5} = 0,249$$

- Εύρεση της ανοιγμένης ροπής σχεδιασμού που αντιστοιχεί στον οπλισμό της διατομής της κεφαλής και της βάσης του υποστυλώματος μέσω διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης, δεδομένου  $\nu_{d,C7-D}^{top} = -0,07$ ,  $\nu_{d,C7-D}^{bot} = -0,07$ :

$$\mu_{d,C7-D}^{top} = 0,14$$

$$\mu_{d,C7-D}^{bot} = 0,14$$

- Εύρεση ροπής αντοχής κορυφής και βάσης:

$$M_{EC7-D}^{top} = \mu_d^{top} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,14 \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,5^2 \text{ m}^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5 = 247,98 \text{ kNm}$$

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του παραπάνω υποστυλώματος εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.9 του επόμενου κεφαλαίου.

## 5.4.4 Διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης σε ΟΚΑ

### 5.4.4.1 Διαστασιολόγηση δοκών έναντι διάτμησης σε ΟΚΑ

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστεί αναλυτικά η μεθοδολογία της διαστασιολόγησης των δοκών του πλαισίου 1, τόσο του πλαισιακού όσο και του τοιχωματικού κτηρίου, έναντι διάτμησης για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας. Η μεθοδολογία της διαστασιολόγησης έναντι διάτμησης, εκτός των διατάξεων του ΕΚ-2, πρέπει να ικανοποιεί και τις απαιτήσεις του ικανοτικού σχεδιασμού που ορίζει ο ΕΚ-8. Η διαστασιολόγηση μίας μεμονωμένης δοκού του πλαισίου αναλύεται λεπτομερώς στα επόμενα βήματα τα οποία είναι:

1. Υπολογισμός των ροπών αντοχής των άκρων της δοκού. Στο βήμα αυτό, και αφού έχει προηγηθεί η διαστασιολόγηση της δοκού έναντι κάμψης με την τελική επιλογή του διαμήκους οπλισμού, υπολογίζουμε τις ροπές αντοχής τόσο της αριστερής στήριξης της δοκού κατά τη θετική αλλά και κατά την αρνητική φορά της ροπής ( $M_{Rd,αρ}^+$  και  $M_{Rd,αρ}^-$  αντίστοιχα) όσο και της δεξιάς στήριξης της δοκού ( $M_{Rd,δεξ}^+$  και  $M_{Rd,δεξ}^-$  αντίστοιχα). Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται αναλυτικά οι ροπές αντοχής στα

άκρα όλων των δοκών του πλαισίου 1, τόσο για το πλαισιακό όσο και για το τοιχωματικό κτήριο.

2. Υπολογισμός των ροπών αντοχής στα άκρα των υποστυλωμάτων. Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε τις ροπές αντοχής των άκρων των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στους κόμβους στηρίξεων της δοκού. Αφού υπολογίζουμε τις παραπάνω ροπές αντοχής, προχωράμε στον υπολογισμό του αθροίσματος των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων κάθε στήριξης ξεχωριστά ( $\sum M_{RC,ap}$  και  $\sum M_{RC,δεξ}$  αντίστοιχα).

3. Λήψη των εντατικών μεγεθών. Στο βήμα αυτό θα λάβουμε τα εντατικά μεγέθη και συγκεκριμένα τις τιμές της δρώσας τέμνουσας δύναμης σε απόσταση  $d = 0,55m$  τόσο από την αριστερή όσο και από τη δεξιά στήριξη της δοκού. Αξίζει να σημειωθεί ότι θα λάβουμε τις τιμές της δρώσας τέμνουσας στα σημεία αυτά για δύο διαφορετικούς συνδυασμούς φορτίσεων και συγκεκριμένα τους συνδυασμούς  $G+0,3 \cdot Q$  και  $1,35 \cdot G+1,50 \cdot Q$ . Επομένως συνολικά θα λάβουμε τις εξής τέσσερις τιμές για τη δοκό:  $V_{G+0,3 \cdot Q}(d)$ ,  $V_{G+0,3 \cdot Q}(l-d)$ ,  $V_{1,35 \cdot G+1,5 \cdot Q}(d)$  και  $V_{1,35 \cdot G+1,5 \cdot Q}(l-d)$ . Στα σχήματα Π.5.Α.27 έως Π.5.Α.30 παρουσιάζονται οι τιμές των τεμνουσών δυνάμεων λόγω των παραπάνω συνδυασμών στα πλαίσια και των δύο κτηρίων.

4. Υπολογισμός του καθαρού μήκους της δοκού. Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε το μήκος του καθαρού ανοίγματος της δοκού (από παρειά μέχρι παρειά) το οποίο ισούται με:

- $l_{cl} = l - h_{c1} - h_{c2}$  όπου
- $l$  το συνολικό μήκος της δοκού
- $h_{c1}$  και  $h_{c2}$  οι διαστάσεις των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στα δύο άκρα της δοκού.

5. Επιλογή συντελεστή αβεβαιότητας προσομοιώματος. Σύμφωνα με την §5.6.2.2 του ΕΚ-8, για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας, ο συντελεστής αβεβαιότητας προσομοιώματος ( $\gamma_{Rd}$ ) λαμβάνεται ίσος με 1,00.

6. Υπολογισμός των ικανοτικών τεμνουσών. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε, για τα σημεία σε απόσταση  $d = 0,55m$  από τη δεξιά και την αριστερή στήριξη της δοκού αντίστοιχα, την τιμή της ικανοτικής τέμνουσας σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$- V_{i,d}(d) = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,ap}^- \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{RC,ap}}{\sum M_{Rb,ap}} \right\} + M_{Rd,δεξ}^+ \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{RC,δεξ}}{\sum M_{Rb,δεξ}} \right\})}{l_{cl}} + V_{G+0,3 \cdot Q}(d)$$

$$- V_{i,d}(l-d) = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,ap}^+ \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{RC,ap}}{\sum M_{Rb,ap}} \right\} + M_{Rd,δεξ}^- \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{RC,δεξ}}{\sum M_{Rb,δεξ}} \right\})}{l_{cl}} + V_{G+0,3 \cdot Q}(l-d)$$

όπου

- $\gamma_{Rd}$  ο συντελεστής αβεβαιότητας όπως υπολογίστηκε στο βήμα (5)
- $M_{Rd,ap}^-$ ,  $M_{Rd,δεξ}^+$ ,  $M_{Rd,ap}^+$  και  $M_{Rd,δεξ}^-$  οι ροπές αντοχής των άκρων της δοκού όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (1)
- $\sum M_{RC,ap}$  και  $\sum M_{Rb,ap}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων και των δοκών αντίστοιχα που συντρέχουν στο αριστερό άκρο της δοκού

- $\sum M_{RC,\delta\epsilon\xi}$  και  $\sum M_{Rb,\delta\epsilon\xi}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων και των δοκών αντίστοιχα που συντρέχουν στο δεξί άκρο της δοκού και
  - $V_{G+0,3-Q}(d)$  και  $V_{G+0,3-Q}(l-d)$  οι τιμές της δρώσας τέμνουσας για το συγκεκριμένο συνδυασμό φόρτισης, όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (3).
7. Υπολογισμός της μέγιστης τέμνουσας σχεδιασμού. Στο βήμα αυτό, για κάθε στήριξη της δοκού, θα υπολογίσουμε τις τιμές της μέγιστης τέμνουσας σχεδιασμού με βάση τις οποίες θα προχωρήσουμε στη διαστασιολόγηση. Αυτές είναι ίσες με:
- $V_E(d) = \max \{V_{i,d}(d) ; V_{1,35-G+1,50-Q}(d)\}$  και
  - $V_E(l-d) = \max \{V_{i,d}(l-d) ; V_{1,35-G+1,50-Q}(l-d)\}$
8. Υπολογισμός του κρίσιμου μήκους. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε το κρίσιμο μήκος της δοκού για τον έλεγχο έναντι διάτμησης. Αυτό, για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας, ισούται με  $l_{cr} = 1,00 \cdot h_w$  όπου  $h_w$  το συνολικό ύψος της δοκού.
9. Υπολογισμός της αντοχής σχεδιασμού σε τέμνουσα στοιχείων χωρίς οπλισμό διάτμησης (κατά τη ρηγμάτωση):

$$V_{Rd,c} = \max \{ [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d ; (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \}$$

σύμφωνα με την §6.2.2.(1) του ΕΚ-2 όπου:

- $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το Εθνικό προσάρτημα,
  - $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$  όπου  $d(mm)$  το στατικό ύψος της δοκού,
  - $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0,02$  το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού όπου  $A_{sl}$  το εμβαδόν του εφελκυόμενου οπλισμού της διατομής
  - $f_{ck}$  η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος
  - $k_1 = 0,15$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα
  - $\sigma_{cp} = N_{Eds} / A_c < 0,2 f_{cd}$  (MPa) όπου  $N_{Eds}$  η αξονική σχεδιασμού που καταπονεί τη δοκό, η οποία στην περίπτωσή μας είναι ίση με μηδέν
  - $b_w$  το πλάτος της διατομής της δοκού
  - $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$  όπου  $k$  και  $f_{ck}$  αναφέρονται παραπάνω.
10. Υπολογισμός της τιμής της γωνίας  $\theta$  του προσομοιώματος των θλιπτήρων σκυροδεματος σύμφωνα με την §6.2.3(1) του ΕΚ-2:

Η τιμή της γωνίας  $\theta$  μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο  $\cot \theta_\alpha = (1,2 - 1,4 \cdot \sigma_{cp} / f_{cd}) / (1 - V_{Rd,c} / V_{Ed(x=d)})$  όπου:

- $\sigma_{cp}$  υπολογίστηκε στο βήμα (9)
- $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος
- $V_{Rd,c}$  η αντοχή σχεδιασμού σε τέμνουσα στοιχείων χωρίς οπλισμό διάτμησης όπως υπολογίστηκε στο βήμα (9)

- $V_{Ed(x=d)}$  η τέμνουσα σχεδιασμού σε απόσταση  $x=d$  από την παρειά της δοκού όπως υπολογίστηκε παραπάνω.

$$\theta_\alpha = \arctan\left(\frac{1}{\cot \theta_\alpha}\right) \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$\theta = \max(\theta_\alpha; 21,8^\circ) \text{ όπου } \theta \leq 45^\circ$$

11. Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της μέγιστης τέμνουσας που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο, όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων, σύμφωνα με την §6.2.3(3) του ΕΚ-2.

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta) \text{ ή}$$

$$V_{Rd,max} = 0,18 \cdot \left[1 - \left(\frac{f_{ck}}{250}\right)\right] \cdot f_{ck} \cdot \sin 2\theta \cdot b_w \cdot d \text{ όπου:}$$

- $\alpha_{cw}=1$  ένας συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την εντατική κατάσταση στη θλιβόμενη διαγώνιο, η συνιστώμενη τιμή του οποίου δίνεται στο Εθνικό προσάρτημα,
- $z$  ο μοχλοβραχίονας της διατομής σε ένα στοιχείο σταθερού ύψους, ο οποίος αντιστοιχεί στην καμπτική ροπή που δρα στο στοιχείο. Στο σχεδιασμό έναντι διάτμησης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος χωρίς αξονικό φορτίο, μπορεί να ληφθεί για το μοχλοβραχίονα η προσεγγιστική τιμή  $z = 0,9d$ .
- $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος
- $v_1$  ένας δείκτης μείωσης της αντοχής για σκυρόδεμα ρηγματωμένο λόγω διάτμησης, η συνιστώμενη τιμή του οποίου είναι ίση με  $v = 0,6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right]$

Στο τέλος του βήματος (11) γίνεται σύγκριση της  $V_{Rd,max}$  με την  $V_{Ed,x=0}$  και στις δύο στηριζεις της δοκού. Αν  $V_{Rd,max} \leq V_{Ed,x=0}$  οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος δεν επαρκούν, επιβάλλεται αλλαγή διατομής και ο έλεγχος ξεκινά από την αρχή. Αν  $V_{Rd,max} \geq V_{Ed,x=0}$  οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος επαρκούν και ακολουθεί το βήμα (12).

12. Εύρεση του ελάχιστου οπλισμού διάτμησης. Ορίζεται στο εθνικό προσάρτημα της

$$\text{§9.2.2(5) του ΕΚ-2 ως εξής: } \left(\frac{A_{sw}}{s}\right)_{\min} = \rho_{w,\min} \cdot b_w \text{ όπου:}$$

- $\rho_{w,\min} = (0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk}$
- $f_{ck}$  η ονομαστική αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη
- $f_{yk}$  το ονομαστικό όριο διαρροής του χάλυβα και
- $b_w$  το πλάτος της δοκού.

13. Επιλογή οπλισμού διάτμησης εντός της περιοχής του κρίσιμου μήκους. Στο βήμα αυτό θα υπολογιστεί ο απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης ο οποίος θα τοποθετηθεί εντός της περιοχής του κρίσιμου μήκους της δοκού, όπως αυτό ορίστηκε στο βήμα (8).

Σύμφωνα με την §5.4.3.1.2(6) του ΕΚ-8, στην κρίσιμη περιοχή μίας κύριας σεισμικής δοκού, οι συνδετήρες που τοποθετούνται πρέπει να ικανοποιούν τις ακόλουθες συνθήκες:

- a) Η διάμετρος  $d_{bw}$  των συνδετήρων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 6 mm και
- b) Η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων  $s$  (mm) δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή  $s = \min \{ h_w / 4 ; 24 \cdot d_{bw} ; 225 ; 8 \cdot d_{bl} \}$  όπου
  - $h_w$  το ύψος της δοκού σε mm
  - $d_{bl}$  η ελάχιστη διάμετρος των διαμήκων ράβδων οπλισμού σε mm

Επιλέγω να τοποθετήσω δίσκελους συνδετήρες διαμέτρου 8mm σε απόσταση ίση με την αμέσως μικρότερη ακέραια τιμή της τιμής  $s$  που υπολογίστηκε παραπάνω. Η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων μας δίνει μια αντοχή σε τέμνουσα η οποία ισούται με:

- $V_{Rd, \min} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$  όπου
- $A_{sw}$  το συνολικό εμβαδόν της διατομής του συνδετήρα που επιλέχτηκε παραπάνω
- $s$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων όπως υπολογίστηκε παραπάνω
- $d$  το στατικό ύψος της δοκού
- $f_{ywd}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα των συνδετήρων και
- $\cot \theta$  η τιμή η οποία έχει ήδη υπολογιστεί στο βήμα (10).

Στη συνέχεια συγκρίνουμε την τιμή της  $V_{Rd, \min}$ , όπως υπολογίστηκε παραπάνω, με τις τιμές της δρώσας τέμνουσας σχεδιασμού σε απόσταση ίση με  $d$  από τις παρειές των στηρίξεων ( $V_E(d)$  και  $V_E(l-d)$  αντίστοιχα). Αν η τιμή της αντοχής είναι μεγαλύτερη από τις τιμές αυτές τότε η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων επαρκεί για την κρίσιμη περιοχή της δοκού και προχωράμε έτσι στο βήμα (14). Σε αντίθετη περίπτωση θα χρειαστεί πύκνωση των συνδετήρων και επανάληψη του βήματος (13) μέχρις ότου η αντοχή των συνδετήρων υπερβεί τις τιμές της δρώσας τέμνουσας σχεδιασμού.

14. Επιλογή οπλισμού διάτμησης εκτός της περιοχής του κρίσιμου μήκους. Στο βήμα αυτό θα υπολογιστεί ο απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης ο οποίος θα τοποθετηθεί εκτός της περιοχής του κρίσιμου μήκους της δοκού, όπως αυτό ορίστηκε στο βήμα (8). Στην περιοχή αυτή, η μέγιστη απόσταση μεταξύ των συνδετήρων δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή  $s = 0,75 \cdot d$ , όπου  $d$  το στατικό ύψος της δοκού.

Επιλέγω να τοποθετήσω δίσκελους συνδετήρες διαμέτρου 8mm σε απόσταση ίση με την αμέσως μικρότερη ακέραια τιμή της τιμής  $s$ , όπως υπολογίστηκε παραπάνω. Η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων μας δίνει μια αντοχή σε τέμνουσα η οποία ισούται με:

- $V_{Rd, \min} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$  όπου



- $A_{sw}$  το συνολικό εμβαδόν της διατομής του συνδετήρα που επιλέχτηκε παραπάνω
- $s$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων όπως υπολογίστηκε παραπάνω
- $d$  το στατικό ύψος της δοκού
- $f_{ywd}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα των συνδετήρων και
- $\cot \theta$  η τιμή η οποία έχει ήδη υπολογιστεί στο βήμα (10).

Στη συνέχεια συγκρίνουμε την τιμή της  $V_{Rd,min}$ , όπως υπολογίστηκε παραπάνω, με τις τιμές της δρώσας τέμνουσας σχεδιασμού σε απόσταση ίση με  $l_{cr}$  από τις παρειές των στηρίξεων ( $V_E(l_{cr})$  και  $V_E(l-l_{cr})$  αντίστοιχα). Αν η τιμή της αντοχής είναι μεγαλύτερη από τις τιμές αυτές τότε η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων επαρκεί για την κρίσιμη περιοχή της δοκού και ο έλεγχος τελειώνει εδώ. Σε αντίθετη περίπτωση θα χρειαστεί πυκνωση των συνδετήρων και επανάληψη του βήματος (14) μέχρις ότου η αντοχή των συνδετήρων υπερβεί τις τιμές της δρώσας τέμνουσας σχεδιασμού στα σημεία αυτά.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν δύο παραδείγματα, ένα για το πλαισιακό κτήριο και ένα για το τοιχωματικό, στα οποία θα γίνει αναλυτική διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης δύο δοκών με βάση τα παραπάνω βήματα. Με τον ίδιο τρόπο θα γίνει η διαστασιολόγηση και των υπολοίπων δοκών και των δύο κτηρίων η οποία παρουσιάζεται στο παράρτημα με τη μορφή πινάκων (πίνακες Π.5.Β.15 και Π.5.Β.16).

#### 5.4.4.1.1 Παράδειγμα διαστασιολόγησης δοκού πλαισιακού κτηρίου έναντι διάτμησης στη ΟΚΑ

Στο βήμα αυτό θα γίνει λεπτομερής διαστασιολόγηση μιας δοκού του πλαισιακού κτηρίου έναντι διάτμησης για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας ακολουθώντας τα βήματα που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα. Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί η δοκός B-17C του πλαισίου 1, λόγω εμφάνισης σε αυτή των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Υπολογισμός των ροπών αντοχής των άκρων της δοκού. Οι ροπές αντοχής της δοκού στις στηρίξεις της (αριστερά και δεξιά στήριξη αντίστοιχα), τόσο κατά τη θετική όσο και κατά την αρνητική φορά της ροπής, οι οποίες έχουν υπολογιστεί σε προηγούμενη ενότητα, ισούται με:
  - $M_{RD,ap}^+ = 112,80 \text{ KNm}$  και  $M_{RD,ap}^- = 139,55 \text{ KNm}$
  - $M_{RD,\delta\epsilon\xi}^+ = 112,80 \text{ KNm}$  και  $M_{RD,\delta\epsilon\xi}^- = 139,55 \text{ KNm}$
2. Υπολογισμός των ροπών αντοχής στα άκρα των υποστυλωμάτων. Σε προηγούμενη ενότητα υπολογίσαμε τις ροπές αντοχής των άκρων των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στους κόμβους της δοκού B17-C ( $M_{RC,C1-D}^{bot}$ ,  $M_{RC,C6-D}^{bot}$ ,  $M_{RC,C1-C}^{top}$ ,  $M_{RC,C6-C}^{top}$ ). Αφού έχουμε υπολογίσει τις παραπάνω ροπές αντοχής, προχωράμε στον υπολογισμό του αθροίσματος των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων κάθε κόμβου ξεχωριστά. Έτσι έχουμε τα εξής αθροίσματα:

- $\sum M_{RC,\alpha\rho} = 487,09 \text{ KNm}$
  - $\sum M_{RC,\delta\epsilon\xi} = 540,23 \text{ KNm}$
3. Λήψη των εντατικών μεγεθών. Για τους δύο διαφορετικούς συνδυασμούς φορτίσεων ( $G+0,3\cdot Q$  και  $1,35\cdot G+1,5\cdot Q$ ), σύμφωνα με τα σχήματα Π.5.Α.29 και Π.5.Α.30, λαμβάνουμε τις εξής τιμές της δράσας τέμνουσας:
- $V_{G+0,3\cdot Q}(d) = 32,76 \text{ KN}$
  - $V_{G+0,3\cdot Q}(l-d) = 1,96 \text{ KN}$
  - $V_{1,35\cdot G+1,5\cdot Q}(d) = 48,06 \text{ KN}$
  - $V_{1,35\cdot G+1,5\cdot Q}(l-d) = 1,04 \text{ KN}.$
4. Υπολογισμός του καθαρού μήκους της δοκού. Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε το μήκος του καθαρού ανοίγματος της δοκού (από παρειά μέχρι παρειά) το οποίο ισούται με:
- $l_{cl} = l - h_{c1} / 2 - h_{c2} / 2 = 3,20 - 0,50 / 2 - 0,50 / 2 = 2,70m$  όπου
  - $l = 3,20m$  το συνολικό μήκος της δοκού Β17-С
  - $h_{c1} = 0,50m$  και  $h_{c2} = 0,50m$  οι διαστάσεις των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στα δύο άκρα της δοκού.
5. Επιλογή συντελεστή αβεβαιότητας προσομοιώματος. Σύμφωνα με την §5.6.2.2 του ΕΚ-8, για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας, ο συντελεστής αβεβαιότητας προσομοιώματος ( $\gamma_{Rd}$ ) λαμβάνεται ίσος με 1,00.
6. Υπολογισμός των ικανοτικών τεμνουσών. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε, για τα σημεία σε απόσταση  $d = 0,55m$  από τη δεξιά και την αριστερή στήριξη της δοκού αντίστοιχα, την τιμή της ικανοτικής τέμνουσας σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$- V_{i,d}(d) = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,\alpha\rho}^- \cdot \min\left\{1,0 ; \frac{\sum M_{RC,\alpha\rho}}{\sum M_{Rb,\alpha\rho}}\right\} + M_{Rd,\delta\epsilon\xi}^+ \cdot \min\left\{1,0 ; \frac{\sum M_{RC,\delta\epsilon\xi}}{\sum M_{Rb,\delta\epsilon\xi}}\right\})}{l_{cl}} + V_{G+0,3\cdot Q}(d)$$

$$- V_{i,d}(l-d) = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,\alpha\rho}^+ \cdot \min\left\{1,0 ; \frac{\sum M_{RC,\alpha\rho}}{\sum M_{Rb,\alpha\rho}}\right\} + M_{Rd,\delta\epsilon\xi}^- \cdot \min\left\{1,0 ; \frac{\sum M_{RC,\delta\epsilon\xi}}{\sum M_{Rb,\delta\epsilon\xi}}\right\})}{l_{cl}} + V_{G+0,3\cdot Q}(l-d)$$

όπου

- $\gamma_{Rd} = 1,00$  ο συντελεστής αβεβαιότητας όπως υπολογίστηκε στο βήμα (5)
- $M_{Rd,\alpha\rho}^- = 139,55 \text{ KNm}$ ,  $M_{Rd,\delta\epsilon\xi}^+ = 112,80 \text{ KNm}$ ,  $M_{Rd,\alpha\rho}^+ = 112,80 \text{ KNm}$  και  $M_{Rd,\delta\epsilon\xi}^- = 139,55 \text{ KNm}$  οι ροπές αντοχής των άκρων της δοκού όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (1)
- $\sum M_{RC,\alpha\rho} = 487,09 \text{ KNm}$  και  $\sum M_{Rb,\alpha\rho} = 112,80 \text{ KNm}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων και των δοκών αντίστοιχα που συντρέχουν στο αριστερό άκρο της δοκού
- $\sum M_{RC,\delta\epsilon\xi} = 540,23 \text{ KNm}$  και  $\sum M_{Rb,\delta\epsilon\xi} = 254,90 \text{ KNm}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων και των δοκών αντίστοιχα που συντρέχουν στο δεξί άκρο της δοκού και

- $V_{G+0,3-Q}(d) = 32,76 \text{ KN}$  και  $V_{G+0,3-Q}(l-d) = 1,96 \text{ KN}$  οι τιμές της δρώσας τέμνουσας για το συγκεκριμένο συνδυασμό φόρτισης, όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (3).

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω επομένως, προκύπτουν οι εξής τιμές της ικανοτικής τέμνουσας:  $V_{i,d}(d) = 126,22 \text{ KN}$  και  $V_{i,d}(l-d) = 95,42 \text{ KN}$ .

7. Υπολογισμός της μέγιστης τέμνουσας σχεδιασμού. Στο βήμα αυτό, για κάθε στήριξη της δοκού, θα υπολογίσουμε τις τιμές της μέγιστης τέμνουσας σχεδιασμού με βάση τις οποίες θα προχωρήσουμε στη διαστασιολόγηση. Αυτές είναι ίσες με:

$$- V_E(d) = \max \{V_{i,d}(d) ; V_{1,35-G+1,50-Q}(d)\} = \max \{126,22 ; 48,06\} = 126,22 \text{ KN}$$

$$- V_E(l-d) = \max \{V_{i,d}(l-d) ; V_{1,35-G+1,50-Q}(l-d)\} = \max \{95,42 ; 1,04\} = 95,42 \text{ KN}$$

8. Υπολογισμός του κρίσιμου μήκους. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε το κρίσιμο μήκος της δοκού για τον έλεγχο έναντι διάτμησης. Για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας, ισούται με:

$$- l_{cr} = 1,00 \cdot h_w = 1,00 \cdot 0,60 = 0,60 \text{ m} \text{ όπου } h_w = 0,60 \text{ m} \text{ το συνολικό ύψος της δοκού.}$$

9. Υπολογισμός της αντοχής σχεδιασμού σε τέμνουσα στοιχείων χωρίς οπλισμό διάτμησης (κατά τη ρηγματώση):

$$V_{Rd,c} = \max \{ [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d ; (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \}$$

σύμφωνα με την §6.2.2.(1) του ΕΚ-2 όπου:

$$- C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_C = 0,18 / 1,5 = 0,12 \text{ η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το Εθνικό προσάρτημα,}$$

$$- k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{551}} = 1,60 \leq 2,0 \text{ όπου } d = 551 \text{ mm} \text{ το στατικό ύψος της δοκού,}$$

$$- \rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{4,62}{30 \cdot 55} = 0,00280 \leq 0,02 \text{ το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού όπου}$$

$$A_{sl} = 4,62 \text{ cm}^2 \text{ το εμβαδόν του εφελκυόμενου οπλισμού της διατομής}$$

$$- f_{ck} = 25 \text{ MPa} = 25000 \text{ KPa} \text{ η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος}$$

$$- k_1 = 0,15 \text{ η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα}$$

$$- \sigma_{cp} = N_{Eds} / A_c < 0,2 f_{cd} \text{ (MPa)} \text{ όπου } N_{Eds} \text{ η αξονική σχεδιασμού που καταπονεί τη δοκό, η οποία στην περίπτωση μας είναι ίση με μηδέν}$$

$$- b_w = 0,30 \text{ m} \text{ το πλάτος της διατομής της δοκού}$$

$$- v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,354 \text{ όπου } k \text{ και } f_{ck} \text{ αναφέρονται παραπάνω.}$$

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω επομένως προκύπτει ότι:  $V_{Rd,c} = 60,716 \text{ KN}$

10. Υπολογισμός της τιμής της γωνίας  $\theta$  του προσομοιώματος των θλιπτήρων σκυροδέματος σύμφωνα με την §6.2.3(1) του ΕΚ-2:

Η τιμή της γωνίας  $\theta$  μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο  $\cot \theta_\alpha = (1,2 - 1,4 \cdot \sigma_{cp} / f_{cd}) / (1 - V_{Rd,c} / V_{Ed(x=d)})$  όπου:

- $\sigma_{cp}$  υπολογίστηκε στο βήμα (9)
- $f_{cd} = 14,17 \text{ MPa}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος
- $V_{Rd,c} = 60,716 \text{ KN}$  η αντοχή σχεδιασμού σε τέμνουσα στοιχείων χωρίς οπλισμό διάτμησης όπως υπολογίστηκε στο βήμα (9)
- $V_{Ed(x=d)} = 32,76 \text{ KN}$  η τέμνουσα σχεδιασμού σε απόσταση  $x = d$  από την παρειά της δοκού όπως υπολογίστηκε παραπάνω.

$$\theta_\alpha = \arctan\left(\frac{1}{\cot \theta_\alpha}\right) \cdot \frac{180}{\pi} = -87,71^\circ$$

$$\theta = \max(-87,71^\circ ; 21,8^\circ) = 21,8^\circ \text{ όπου } \theta \leq 45^\circ$$

11. Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της μέγιστης τέμνουσας που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο, όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων, σύμφωνα με την §6.2.3(3) του ΕΚ-2.

$$\text{Ισχύει ότι } V_{Rd,max} = 0,18 \cdot \left[1 - \left(\frac{f_{ck}}{250}\right)\right] \cdot f_{ck} \cdot \sin 2\theta \cdot b_w \cdot d \text{ όπου:}$$

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa} = 25000 \text{ KPa}$
- $\sin(2 \cdot \theta) = 0,6896$
- $b_w = 0,30 \text{ m}$
- $d = 0,55 \text{ m}$

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει η τιμή της  $V_{Rd,max}$  η οποία ισούται με  $V_{Rd,max} = 460,84 \text{ KN}$ . Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση της  $V_{Rd,max}$  με την  $V_{Ed,x=0}$  και στις δύο στηρίξεις της δοκού. Ισχύει ότι  $V_{Rd,max} = 460,84 \text{ KN} > 49,75 \text{ KN}$  και  $V_{Rd,max} = 460,84 \text{ KN} > 81,195 \text{ KN}$  επομένως η διατομή επαρκεί και προχωράμε έτσι στο επόμενο βήμα.

12. Εύρεση του ελάχιστου οπλισμού διάτμησης. Ορίζεται στο εθνικό προσάρτημα της

$$\text{§9.2.2(5) του ΕΚ-2 ως εξής: } \left(\frac{A_{sw}}{s}\right)_{\min} = \rho_{w,\min} \cdot b_w \text{ όπου:}$$

- $\rho_{w,\min} = (0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk} = 0,08 \cdot \sqrt{25} / 500 = 0,0008$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$  η ονομαστική αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη
- $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$  το ονομαστικό όριο διαρροής του χάλυβα και
- $b_w = 300 \text{ mm}$  το πλάτος της δοκού.

$$\text{Επομένως έχουμε } \left( \frac{A_{sw}}{s} \right)_{\min} = \rho_{w,\min} \cdot b_w = 0,0008 \cdot 300 = 0,24 \text{ mm}$$

13. Επιλογή οπλισμού διάτμησης εντός της περιοχής του κρίσιμου μήκους. Στο βήμα αυτό θα υπολογιστεί ο απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης ο οποίος θα τοποθετηθεί εντός της περιοχής του κρίσιμου μήκους της δοκού, όπως αυτό ορίστηκε στο βήμα (8).

Σύμφωνα με την §5.4.3.1.2(6) του ΕΚ-8, στην κρίσιμη περιοχή μίας κύριας σεισμικής δοκού, οι συνδετήρες που τοποθετούνται πρέπει να ικανοποιούν τις ακόλουθες συνθήκες:

- a) Η διάμετρος  $d_{bw}$  των συνδετήρων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 6 mm και
- b) Η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων  $s$  (mm) δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή  $s = \min \{ h_w / 4 ; 24 \cdot d_{bw} ; 225 ; 8 \cdot d_{bl} \} = \min \{ 600 / 4 ; 24 \cdot 8 ; 225 ; 8 \cdot 14 \} = 112 \text{ mm}$  όπου
  - $h_w = 600 \text{ mm}$  το ύψος της δοκού σε mm
  - $d_{bl} = 14 \text{ mm}$  η ελάχιστη διάμετρος των διαμήκων ράβδων οπλισμού.
  - $d_{bw} = 8 \text{ mm}$  η διάμετρος των τοποθετούμενων συνδετήρων.

Επιλέγω να τοποθετήσω δίσκελους συνδετήρες διαμέτρου 8mm σε απόσταση ίση με  $s = 110 \text{ mm}$ . Η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων μας δίνει μια αντοχή σε τέμνουσα η οποία ισούται με:

- $V_{Rd,\min} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = \frac{1,01 \cdot 100}{110} \cdot 0,9 \cdot 550 \cdot 434,78 \cdot 2,5 / 1000 = 491,73 \text{ KN}$  όπου
- $A_{sw} = 1,01 \text{ cm}^2$  το συνολικό εμβαδόν της διατομής του συνδετήρα που επιλέχτηκε παραπάνω
- $s = 110 \text{ mm}$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων όπως υπολογίστηκε παραπάνω
- $d = 550 \text{ mm}$  το στατικό ύψος της δοκού
- $f_{ywd} = 434,78 \text{ MPa}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα των συνδετήρων και
- $\cot \theta = 2,50$  η τιμή η οποία έχει ήδη υπολογιστεί στο βήμα (10).

Στη συνέχεια συγκρίνουμε την τιμή της  $V_{Rd,\min}$ , όπως υπολογίστηκε παραπάνω, με τις τιμές της δρώσας τέμνουσας σχεδιασμού σε απόσταση ίση με  $d = 0,55 \text{ m}$  από τις παρειές των στηρίξεων ( $V_E(d)$  και  $V_E(l-d)$  αντίστοιχα). Ισχύει ότι:

- $V_{Rd,\min} = 491,73 \text{ KN} > V_{Ed}(d) = 130,51 \text{ KN}$
- $V_{Rd,\min} = 491,73 \text{ KN} > V_{Ed}(l-d) = 99,71 \text{ KN}$

Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων ( $\Phi 8 / 110$ ) επαρκεί για τις περιοχές εντός του κρίσιμου μήκους της δοκού.

14. Επιλογή οπλισμού διάτμησης εκτός της περιοχής του κρίσιμου μήκους. Στο βήμα αυτό θα υπολογιστεί ο απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης ο οποίος θα τοποθετηθεί εκτός της περιοχής του κρίσιμου μήκους της δοκού, όπως αυτό ορίστηκε στο βήμα (8). Στην περιοχή αυτή, η μέγιστη απόσταση μεταξύ των συνδετήρων δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή  $s = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 550 = 412,5 \text{ mm}$ , όπου  $d = 550 \text{ mm}$  το στατικό ύψος της δοκού.

Επιλέγω να τοποθετήσω δίσκελους συνδετήρες διαμέτρου  $8 \text{ mm}$  σε απόσταση ίση με  $s = 410 \text{ mm}$ . Η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων μας δίνει μια αντοχή σε τέμνουσα η οποία ισούται με:

$$- V_{Rd,\min} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = \frac{1,01 \cdot 100}{410} \cdot 0,9 \cdot 550 \cdot 434,78 \cdot 2,5 / 1000 = 131,93 \text{ KN}$$

όπου

- $A_{sw} = 1,01 \text{ cm}^2$  το συνολικό εμβαδόν της διατομής του συνδετήρα που επιλέχτηκε παραπάνω
- $s = 410 \text{ mm}$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων όπως υπολογίστηκε παραπάνω
- $d = 550 \text{ mm}$  το στατικό ύψος της δοκού
- $f_{ywd} = 500 / 1,15 = 434,78 \text{ MPa}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα των συνδετήρων και
- $\cot \theta = 2,50$  η τιμή η οποία έχει ήδη υπολογιστεί στο βήμα (10).

Στη συνέχεια συγκρίνουμε την τιμή της  $V_{Rd,\min}$ , όπως υπολογίστηκε παραπάνω, με τις τιμές της δρώσας τέμνουσας σχεδιασμού σε απόσταση ίση με  $l_{cr} = 0,60 \text{ m}$  από τις παρειές των στηρίξεων ( $V_E(l_{cr})$  και  $V_E(l-l_{cr})$  αντίστοιχα). Ισχύει ότι:

- $V_{Rd,\min} = 131,93 \text{ KN} > V_{Ed}(l_{cr})$
- $V_{Rd,\min} = 131,93 \text{ KN} > V_{Ed}(l-l_{cr})$

Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων ( $\Phi 8 / 410$ ) επαρκεί για τις περιοχές εκτός του κρίσιμου μήκους της δοκού.

Συμπέρασμα: Εντός του μήκους  $l_{cr}=0,6\text{m}$  από τις παρειες της δοκού τοποθετούνται δίτμητοι συνδετήρες  $\Phi 8/110$  και σε όλη την υπόλοιπη δοκό τοποθετούνται δίτμητοι συνδετήρες  $\Phi 8/410$ .

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες της παραπάνω δοκού εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.6 του επόμενου κεφαλαίου.

#### 5.4.4.1.2 Παράδειγμα διαστασιολόγησης δοκού τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης στη ΟΚΑ

Στο βήμα αυτό θα γίνει λεπτομερής διαστασιολόγηση μιας δοκού του τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας ακολουθώντας τα βήματα που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα. Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί η δοκός B14-

Β του πλαισίου 1, λόγω εμφάνισης σε αυτή των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Υπολογισμός των ροπών αντοχής των άκρων της δοκού. Οι ροπές αντοχής της δοκού στις στηρίξεις της (αριστερά και δεξιά στήριξη αντίστοιχα), τόσο κατά τη θετική όσο και κατά την αρνητική φορά της ροπής, οι οποίες έχουν υπολογιστεί σε προηγούμενη ενότητα, ισούται με:

$$- M_{RD,αρ}^+ = 114,82 \text{ kNm} \text{ και } M_{RD,αρ}^- = 105,84 \text{ kNm}$$

$$- M_{RD,δεξ}^+ = 115,35 \text{ kNm} \text{ και } M_{RD,δεξ}^- = 139,55 \text{ kNm}$$

2. Υπολογισμός των ροπών αντοχής στα άκρα των υποστυλωμάτων. Σε προηγούμενη ενότητα υπολογίσαμε τις ροπές αντοχής των άκρων των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στον κόμβο D της δοκού B14-D ( $M_{RC,C7-E}^{bot}$ ,  $M_{RC,C7-D}^{top}$ ). Αφού έχουμε υπολογίσει τις παραπάνω ροπές αντοχής, προχωράμε στον υπολογισμό του αθροίσματος των ροπών αντοχής του υποστυλώματος στο οποίο στηρίζεται η δοκός B14-D. Έτσι έχουμε το εξής άθροισμα:

$$- \sum M_{RC,δεξ} = 460,53 \text{ KNm}$$

3. Λήψη των εντατικών μεγεθών. Για τους δύο διαφορετικούς συνδυασμούς φορτίσεων ( $G+0,3 \cdot Q$  και  $1,35 \cdot G+1,5 \cdot Q$ ), σύμφωνα με τα σχήματα Π.5.A.31 και Π.5.A.32, λαμβάνουμε τις εξής τιμές της δρώσας τέμνουσας:

$$- V_{G+0,3 \cdot Q}(d) = 52,82 \text{ kN}$$

$$- V_{G+0,3 \cdot Q}(l-d) = 67,63 \text{ kN}$$

$$- V_{1,35 \cdot G+1,5 \cdot Q}(d) = 76,65 \text{ kN}$$

$$- V_{1,35 \cdot G+1,5 \cdot Q}(l-d) = 98,18 \text{ kN}.$$

4. Υπολογισμός του καθαρού μήκους της δοκού. Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε το μήκος του καθαρού ανοίγματος της δοκού (από παρειά μέχρι παρειά) το οποίο ισούται με:

$$- l_{cl} = l - b_{w1} / 2 - h_{c2} / 2 = 6,60 - 0,30 / 2 - 0,50 / 2 = 6,20 \text{ m} \text{ όπου}$$

$$- l = 6,60 \text{ m} \text{ το συνολικό μήκος της δοκού B14-D}$$

$$- b_{w1} = 0,30 \text{ m} \text{ και } h_{c2} = 0,50 \text{ m} \text{ οι διαστάσεις του τοιχίου και του υποστυλώματος που συντρέχουν στα δύο άκρα της δοκού.}$$

5. Επιλογή συντελεστή αβεβαιότητας προσομοιώματος. Σύμφωνα με την §5.6.2.2 του ΕΚ-8, για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας, ο συντελεστής αβεβαιότητας προσομοιώματος ( $\gamma_{Rd}$ ) λαμβάνεται ίσος με 1,00.

6. Υπολογισμός των ικανοτικών τεμνουσών. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε, για τα σημεία σε απόσταση  $d = 0,55 \text{ m}$  από τη δεξιά και την αριστερή στήριξη της δοκού αντίστοιχα, την τιμή της ικανοτικής τέμνουσας σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$- V_{i,d}(d) = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,αρ}^- \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{RC,αρ}}{\sum M_{Rb,αρ}} \right\} + M_{Rd,δεξ}^+ \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{RC,δεξ}}{\sum M_{Rb,δεξ}} \right\})}{l_{cl}} + V_{G+0,3 \cdot Q}(d)$$

$$- V_{i,d}(l-d) = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,ap}^+ \cdot \min\left\{1,0 ; \frac{\sum M_{RC,ap}}{\sum M_{Rb,ap}}\right\} + M_{Rd,\delta\epsilon\xi}^- \cdot \min\left\{1,0 ; \frac{\sum M_{RC,\delta\epsilon\xi}}{\sum M_{Rb,\delta\epsilon\xi}}\right\})}{l_{cl}} + V_{G+0,3,Q}(l-d)$$

όπου

- $\gamma_{Rd} = 1,00$  ο συντελεστής αβεβαιότητας όπως υπολογίστηκε στο βήμα (5)
- $M_{RD,ap}^- = 105,84 \text{ kNm}$ ,  $M_{RD,\delta\epsilon\xi}^+ = 115,35 \text{ kNm}$ ,  $M_{RD,ap}^+ = 114,82 \text{ kNm}$  και  $M_{RD,\delta\epsilon\xi}^- = 139,55 \text{ kNm}$  οι ροπές αντοχής των άκρων της δοκού όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (1)
- Στο αριστερό άκρο της δοκού συντρέχει τοίχιο συνεπώς ο λόγος του αθροίσματος των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων προς το άθροισμα των ροπών αντοχής των δοκών που συντρέχουν στο αριστερό άκρο της δοκού δεν λαμβάνεται υπ' όψιν.
- $\sum M_{RC,\delta\epsilon\xi} = 460,53 \text{ KNm}$  και  $\sum M_{Rb,\delta\epsilon\xi} = 153,07 \text{ KNm}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων και των δοκών αντίστοιχα που συντρέχουν στο δεξί άκρο της δοκού και
- $V_{G+0,3,Q}(d) = 52,82 \text{ kN}$  και  $V_{G+0,3,Q}(l-d) = 67,63 \text{ kN}$  οι τιμές της δρώσας τέμνουσας για το συγκεκριμένο συνδυασμό φόρτισης, όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (3).

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω επομένως, προκύπτουν οι εξής τιμές της ικανοτικής τέμνουσας:  $V_{i,d}(d) = 88,50 \text{ kN}$  και  $V_{i,d}(l-d) = 108,66 \text{ kN}$ .

7. Υπολογισμός της μέγιστης τέμνουσας σχεδιασμού. Στο βήμα αυτό, για κάθε στήριξη της δοκού, θα υπολογίσουμε τις τιμές της μέγιστης τέμνουσας σχεδιασμού με βάση τις οποίες θα προχωρήσουμε στη διαστασιολόγηση. Αυτές είναι ίσες με:
  - $V_E(d) = \max\{V_{i,d}(d) ; V_{1,35-G+1,50-Q}(d)\} = \max\{88,50 ; 76,65\} = 88,50 \text{ KN}$
  - $V_E(l-d) = \max\{V_{i,d}(l-d) ; V_{1,35-G+1,50-Q}(l-d)\} = \max\{108,66 ; 96,18\} = 108,66 \text{ KN}$
8. Υπολογισμός του κρίσιμου μήκους. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε το κρίσιμο μήκος της δοκού για τον έλεγχο έναντι διάτμησης. Για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας, ισούται με:
  - $l_{cr} = 1,00 \cdot h_w = 1,00 \cdot 0,60 = 0,60 \text{ m}$  όπου  $h_w = 0,60 \text{ m}$  το συνολικό ύψος της δοκού.
9. Υπολογισμός της αντοχής σχεδιασμού σε τέμνουσα στοιχείων χωρίς οπλισμό διάτμησης (κατά τη ρηγμάτωση):

$$V_{Rd,c} = \max\left\{[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d ; (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d\right\}$$

σύμφωνα με την §6.2.2.(1) του ΕΚ-2 όπου:

- $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_C = 0,18 / 1,5 = 0,12$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το Εθνικό προσάρτημα,



- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{551}} = 1,60 \leq 2,0$  όπου  $d = 551 \text{ mm}$  το στατικό ύψος της δοκού,
- $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{4,62}{30 \cdot 55} = 0,0028 \leq 0,02$  το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού όπου  $A_{sl} = 4,52 \text{ cm}^2$  το εμβαδόν του εφελκυσμένου οπλισμού της διατομής
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa} = 25000 \text{ KPa}$  η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος
- $k_1 = 0,15$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα
- $\sigma_{cp} = N_{Eds} / A_c < 0,2 f_{cd} \text{ (MPa)}$  όπου  $N_{Eds}$  η αξονική σχεδιασμού που καταπονεί τη δοκό, η οποία στην περίπτωση μας είναι ίση με μηδέν
- $b_w = 0,30 \text{ m}$  το πλάτος της διατομής της δοκού
- $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,354$  όπου  $k$  και  $f_{ck}$  αναφέρονται παραπάνω.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω επομένως προκύπτει ότι:  $V_{Rd,c} = 60,72 \text{ KN} < V_{Ed}$  συνεπώς χρειάζεται οπλισμός διάτμησης.

10. Υπολογισμός της τιμής της γωνίας  $\theta$  του προσομοιώματος των θλιπτήρων σκυροδέματος:

Για τη ΚΠΜ συστήνεται γωνία  $\theta = 21,8^\circ$ , συνεπώς  $\cot \theta = 2,5$

11. Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της μέγιστης τέμνουσας που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο, όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων, σύμφωνα με την §6.2.3(3) του ΕΚ-2.

Ισχύει ότι  $V_{Rd,max} = 0,18 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{f_{ck}}{250} \right) \right] \cdot f_{ck} \cdot \sin 2\theta \cdot b_w \cdot d$  όπου:

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa} = 25000 \text{ KPa}$
- $\sin(2 \cdot \theta) = 0,6896$
- $b_w = 0,30 \text{ m}$
- $d = 0,55 \text{ m}$

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει η τιμή της  $V_{Rd,max}$  η οποία ισούται με  $V_{Rd,max} = 460,84 \text{ KN} > V_{Ed,x=0}$  επομένως η διατομή επαρκεί και προχωράμε έτσι στο επόμενο βήμα.

12. Εύρεση του ελάχιστου οπλισμού διάτμησης. Ορίζεται στο εθνικό προσάρτημα της §9.2.2(5) του ΕΚ-2 ως εξής:  $\left( \frac{A_{sw}}{s} \right)_{min} = \rho_{w,min} \cdot b_w$  όπου:

- $\rho_{w,min} = (0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk} = 0,08 \cdot \sqrt{25} / 500 = 0,0008$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$  η ονομαστική αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη

- $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$  το ονομαστικό όριο διαρροής του χάλυβα και
- $b_w = 300 \text{ mm}$  το πλάτος της δοκού.

$$\text{Επομένως έχουμε } \left( \frac{A_{sw}}{s} \right)_{\min} = \rho_{w,\min} \cdot b_w = 0,0008 \cdot 300 = 0,24 \text{ mm}$$

13. Επιλογή οπλισμού διάτμησης εντός της περιοχής του κρίσιμου μήκους. Στο βήμα αυτό θα υπολογιστεί ο απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης ο οποίος θα τοποθετηθεί εντός της περιοχής του κρίσιμου μήκους της δοκού, όπως αυτό ορίστηκε στο βήμα (8).

Σύμφωνα με την §5.4.3.1.2(6) του ΕΚ-8, στην κρίσιμη περιοχή μίας κύριας σεισμικής δοκού, οι συνδετήρες που τοποθετούνται πρέπει να ικανοποιούν τις ακόλουθες συνθήκες:

- Η διάμετρος  $d_{bw}$  των συνδετήρων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 6 mm και
- Η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων  $s$  (mm) δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή  $s = \min \{ h_w / 4 ; 24 \cdot d_{bw} ; 225 ; 8 \cdot d_{bl} \} = \min \{ 600 / 4 ; 24 \cdot 8 ; 225 ; 8 \cdot 14 \} = 112 \text{ mm}$  όπου
  - $h_w = 600 \text{ mm}$  το ύψος της δοκού σε mm
  - $d_{bl} = 18 \text{ mm}$  η ελάχιστη διάμετρος των διαμήκων ράβδων οπλισμού.
  - $d_{bw} = 8 \text{ mm}$  η διάμετρος των τοποθετούμενων συνδετήρων.

Επιλέγω να τοποθετήσω δίσκελους συνδετήρες διαμέτρου 8mm ( $A_{sw}=1,01 \text{ cm}^2$ ) σε απόσταση ίση με  $s=110 \text{ mm}$ . Η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων μας δίνει μια αντοχή σε τέμνουσα η οποία ισούται με:

$$- V_{Rd,\min} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = \frac{1,01 \cdot 100}{110} \cdot 0,9 \cdot 550 \cdot 434,78 \cdot 2,5 / 1000 = 491,73 \text{ kN}$$

όπου

- $A_{sw} = 1,01 \text{ cm}^2$  το συνολικό εμβαδόν της διατομής του συνδετήρα που επιλέχτηκε παραπάνω
- $s = 110 \text{ mm}$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων όπως υπολογίστηκε παραπάνω
- $d = 550 \text{ mm}$  το στατικό ύψος της δοκού
- $f_{ywd} = 500 / 1,15 = 434,78 \text{ MPa}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα των συνδετήρων και
- $\cot \theta = 2,50$  η τιμή η οποία έχει ήδη υπολογιστεί στο βήμα (10).

Στη συνέχεια συγκρίνουμε την τιμή της  $V_{Rd,\min}$ , όπως υπολογίστηκε παραπάνω, με τις τιμές της δρώσας τέμνουσας σχεδιασμού σε απόσταση ίση με  $d = 0,55 \text{ m}$  από τις παρειές των στηρίξεων ( $V_E(d)$  και  $V_E(l-d)$  αντίστοιχα). Ισχύει ότι:

$$- V_{Rd,\min} = 491,73 \text{ KN} > V_{Ed}(d) = 88,50 \text{ KN}$$

$$- V_{Rd,min} = 491,73 \text{ KN} > V_{Ed}(l-d) = 108,66 \text{ KN}$$

Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων (Φ8/110) επαρκεί για τις περιοχές εντός του κρίσιμου μήκους της δοκού.

14. Επιλογή οπλισμού διάτμησης εκτός της περιοχής του κρίσιμου μήκους. Στο βήμα αυτό θα υπολογιστεί ο απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης ο οποίος θα τοποθετηθεί εκτός της περιοχής του κρίσιμου μήκους της δοκού, όπως αυτό ορίστηκε στο βήμα (8). Στην περιοχή αυτή, η μέγιστη απόσταση μεταξύ των συνδετήρων δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή  $s = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 550 = 412,5 \text{ mm}$ , όπου  $d = 550 \text{ mm}$  το στατικό ύψος της δοκού.

Επιλέγω να τοποθετήσω δίσκελους συνδετήρες διαμέτρου  $8\text{mm}$  σε απόσταση ίση με  $s = 410 \text{ mm}$ . Η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων μας δίνει μια αντοχή σε τέμνουσα η οποία ισούται με:

$$- V_{Rd,min} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = \frac{1,01 \cdot 100}{410} \cdot 0,9 \cdot 550 \cdot 434,78 \cdot 2,5 / 1000 = 131,93 \text{ KN}$$

όπου

- $A_{sw} = 1,01 \text{ cm}^2$  το συνολικό εμβαδόν της διατομής του συνδετήρα που επιλέχτηκε παραπάνω
- $s = 410 \text{ mm}$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων όπως υπολογίστηκε παραπάνω
- $d = 550 \text{ mm}$  το στατικό ύψος της δοκού
- $f_{ywd} = 434,78 \text{ MPa}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα των συνδετήρων και
- $\cot \theta = 2,50$  η τιμή η οποία έχει ήδη υπολογιστεί στο βήμα (10).

Στη συνέχεια συγκρίνουμε την τιμή της  $V_{Rd,min}$ , όπως υπολογίστηκε παραπάνω, με τις τιμές της δρώσας τέμνουσας σχεδιασμού σε απόσταση ίση με  $l_{cr} = 0,60 \text{ m}$  από τις παρειές των στηρίξεων ( $V_E(l_{cr})$  και  $V_E(l-l_{cr})$  αντίστοιχα). Ισχύει ότι:

$$- V_{Rd,min} = 131,93 \text{ KN} > V_{Ed}(l_{cr})$$

$$- V_{Rd,min} = 131,93 \text{ KN} > V_{Ed}(l-l_{cr})$$

Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων (Φ8/410) επαρκεί για τις περιοχές εκτός του κρίσιμου μήκους της δοκού.

Συμπέρασμα: Εντός αποστάσεως  $l_{cr}=0,6\text{m}$  από τις παρειές της δοκού τοποθετούνται δίτμητοι συνδετήρες  $\phi 8/110\text{mm}$ , σε όλη της υπόλοιπη δοκό τοποθετούνται δίτμητοι συνδετήρες  $\phi 8/410\text{mm}$

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες της παραπάνω δοκού εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.7 του επόμενου κεφαλαίου.

#### 5.4.4.2 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων έναντι διάτμησης σε Ο.Κ.Α.

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστεί αναλυτικά η μεθοδολογία της διαστασιολόγησης των υποστυλωμάτων του πλαισίου 1, τόσο της πλαισιακής όσο και της τοιχωματικής κατασκευής, έναντι διάτμησης για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας. Η μεθοδολογία αυτή, εκτός των διατάξεων του ΕΚ-2, πρέπει να ικανοποιεί και τις απαιτήσεις του ικανοτικού σχεδιασμού, όπως ορίζει ο ΕΚ-8. Η διαστασιολόγηση ενός μεμονωμένου υποστυλώματος του πλαισίου έναντι διάτμησης αναλύεται λεπτομερώς στα επόμενα βήματα τα οποία είναι:

1. Υπολογισμός των ροπών αντοχής των άκρων του υποστυλώματος. Στο βήμα αυτό, και αφού έχει προηγηθεί η διαστασιολόγηση του υποστυλώματος έναντι κάμψης και θλίψης με την τελική επιλογή του διαμήκους οπλισμού, υπολογίζουμε κατά τους δύο άξονες (  $x$  και  $y$  ) τις ροπές αντοχής τόσο της κεφαλής όσο και της βάσης του υποστυλώματος. Υπολογίζουμε επομένως τις εξής ροπές αντοχής:  $M_{Rd,C,x}^{top}$ ,  $M_{Rd,C,y}^{top}$ ,  $M_{Rd,C,x}^{bot}$ ,  $M_{Rd,C,y}^{bot}$ . Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται αναλυτικά οι ροπές αντοχής στα άκρα όλων των υποστυλωμάτων του πλαισίου 1, τόσο για το πλαισιακό όσο και για το τοιχωματικό κτήριο.
2. Υπολογισμός του αθροίσματος των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων σε κάθε κόμβο. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο του υποστυλώματος (κεφαλή και βάση) και για κάθε άξονα ξεχωριστά, υπολογίζουμε το άθροισμα των ροπών αντοχής των άκρων των υποστυλωμάτων που συντρέχουν σε αυτόν. Υπολογίζουμε επομένως τα εξής τέσσερα αθροίσματα:  $\sum M_{Rd,C,x}^{top}$ ,  $\sum M_{Rd,C,y}^{top}$ ,  $\sum M_{Rd,C,x}^{bot}$ ,  $\sum M_{Rd,C,y}^{bot}$ .
3. Υπολογισμός του αθροίσματος των ροπών αντοχής των δοκών σε κάθε κόμβο. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο του υποστυλώματος (κεφαλή και βάση) και για κάθε άξονα ξεχωριστά, υπολογίζουμε το άθροισμα των ροπών αντοχής των άκρων των δοκών που συντρέχουν σε αυτόν. Οι ροπές αντοχής των δοκών που συντρέχουν στους κόμβους του πλαισίου 1 έχουν ήδη υπολογιστεί σε προηγούμενη ενότητα αναλυτικά. Υπολογίζουμε επομένως τα εξής τέσσερα αθροίσματα:  $\sum M_{Rd,b,x}^{top}$ ,  $\sum M_{Rd,b,y}^{top}$ ,  $\sum M_{Rd,b,x}^{bot}$ ,  $\sum M_{Rd,b,y}^{bot}$ .
4. Υπολογισμός του καθαρού ύψους του υποστυλώματος. Το καθαρό ύψος του υποστυλώματος ισούται με το συνολικό ύψος του εάν αφαιρέσουμε το ύψος της δοκού που συντρέχει στον κόμβο της κεφαλής του. Επομένως ισχύει:  $H_{cl} = H - h_w$ .
5. Επιλογή του συντελεστή υπεραντοχής. Σύμφωνα με την §5.4.2.3(2) του ΕΚ-8, για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας, ο συντελεστής υπεραντοχής ( $\gamma_{Rd}$ ) λόγω σκλήρυνσης υπό παραμόρφωση του χάλυβα και λόγω περίσφιγξης της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος λαμβάνεται ίσος με 1,10.
6. Υπολογισμός των ικανοτικών τεμνουσών. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε, σύμφωνα με την §5.4.2.3 του ΕΚ-8, και για τους δύο άξονες (  $x$  και  $y$  ) την τιμή της ικανοτικής τέμνουσας σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$- V_{CD,C,x} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot \left[ M_{Rd,C,x}^{top} \cdot \min \left\{ 1, 0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,x}^{top}}{\sum M_{Rd,b,x}^{top}} \right\} + M_{Rd,C,x}^{bot} \cdot \min \left\{ 1, 0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,x}^{bot}}{\sum M_{Rd,b,x}^{bot}} \right\} \right]}{H_{cl}}$$

$$- V_{CD,C,y} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot \left[ M_{Rd,C,y}^{top} \cdot \min \left\{ 1, 0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,y}^{top}}{\sum M_{Rd,b,y}^{top}} \right\} + M_{Rd,C,y}^{bot} \cdot \min \left\{ 1, 0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,y}^{bot}}{\sum M_{Rd,b,y}^{bot}} \right\} \right]}{H_{cl}}$$

όπου:

- $\gamma_{Rd}$  ο συντελεστής υπεραντοχής όπως υπολογίστηκε στο βήμα (5)
  - $M_{Rd,C,x}^{top}$ ,  $M_{Rd,C,y}^{top}$ ,  $M_{Rd,C,x}^{bot}$ ,  $M_{Rd,C,y}^{bot}$  οι ροπές αντοχής των άκρων του υποστυλώματος όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (1)
  - $\sum M_{Rd,C,x}^{top}$ ,  $\sum M_{Rd,C,y}^{top}$ ,  $\sum M_{Rd,C,x}^{bot}$ ,  $\sum M_{Rd,C,y}^{bot}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των άκρων των υποστυλωμάτων, κατά τους δύο άξονες, που συντρέχουν στους δύο κόμβους (κεφαλή και βάση) του υπό εξέταση υποστυλώματος
  - $\sum M_{Rd,b,x}^{top}$ ,  $\sum M_{Rd,b,y}^{top}$ ,  $\sum M_{Rd,b,x}^{bot}$ ,  $\sum M_{Rd,b,y}^{bot}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των άκρων των δοκών, κατά τους δύο άξονες, που συντρέχουν στους δύο κόμβους (κεφαλή και βάση) του υπό εξέταση υποστυλώματος
  - $H_{cl}$  το καθαρό ύψος του υποστυλώματος όπως ορίστηκε στο βήμα (4).
7. Υπολογισμός των εντατικών μεγεθών λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών. Στο βήμα αυτό θα υπολογίζουμε για το υποστύλωμα τις τιμές της δρώσας τέμνουσας, και κατά τους δύο άξονες, αλλά και τη δρώσα αξονική δύναμη λόγω του δυσμενέστερου σεισμικού συνδυασμού. Λαμβάνουμε επομένως τα εξής εντατικά μεγέθη:  $V_{Ed,C,x}$ ,  $V_{Ed,C,y}$  και  $N_{Ed}$ . Στα σχήματα Π.5.A.31 έως Π.5.A.34 παρουσιάζονται οι τιμές των παραπάνω μεγεθών για τα υποστυλώματα του πλαισιακού κτηρίου ενώ στα σχήματα Π.5.A.35 έως Π.5.A.37 παρουσιάζονται οι τιμές των μεγεθών του τοιχωματικού κτηρίου.
8. Υπολογισμός τέμνουσας συνδυασμού. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε την τιμή της τέμνουσας σχεδιασμού για το υποστύλωμα με βάση την οποία θα προχωρήσουμε στη διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης. Αυτή ισούται με τη μέγιστη τιμή εκ των δύο ικανοτικών τεμνουσών και των δύο δρωσών τεμνουσών (λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών). Επομένως ισχύει:
- $V_{E,max} = \max \{ V_{CD,C,x} ; V_{CD,C,y} ; V_{Ed,C,x} ; V_{Ed,C,y} \}$
9. Υπολογισμός του μήκους της κρίσιμης περιοχής του υποστυλώματος. Σύμφωνα με την §5.4.3.2.2(4), το μήκος της κρίσιμης περιοχής ενός κύριου σεισμικού υποστυλώματος είναι ίσο με  $l_{cr} = \max \{ h_c ; H_{cr} / 6 ; ; 0,45 \}$  όπου:
- $h_c$  (m) το πλάτος του υποστυλώματος
  - $H_{cl}$  (m) το καθαρό ύψος του υποστυλώματος
10. Υπολογισμός της ανηγμένης αξονικής δύναμης του υποστυλώματος και κατόπιν έλεγχος της διατομής. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε την ανηγμένη αξονική δύναμη του υποστυλώματος ως εξής:
- $v_d = N_{Ed} / (b_c \cdot h_c \cdot f_{cd})$  όπου

- $N_{Ed}$  η αξονική δύναμη του υποστυλώματος όπως υπολογίστηκε στο βήμα (7)
- $b_c$  και  $h_c$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος και
- $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος

Στη συνέχεια συγκρίνουμε την τιμή της ανηγμένης αξονικής δύναμης που υπολογίσαμε με τη μέγιστη επιτρεπόμενη, η οποία σύμφωνα με την §5.4.3.2.1(3) του ΕΚ-8 είναι ίση με 0,65. Σε περίπτωση που  $v_d < 0,65$  ο έλεγχος ικανοποιείται και προχωράμε στο βήμα (11). Στην αντίθετη περίπτωση η διατομή του υποστυλώματος δεν επαρκεί και πρέπει να γίνει αλλαγή της διατομής.

11. Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της μέγιστης τέμνουσας που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο, όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων, σύμφωνα με την §6.2.3(3) του ΕΚ-2.

- $V_{Rd,max} = 0,18 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{f_{ck}}{250} \right) \right] \cdot f_{ck} \cdot \sin 2\theta \cdot b_c \cdot d$  όπου:
- $f_{ck}$  η ονομαστική αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη
- $\theta$  η γωνία που σχηματίζουν οι λοξοί θλιπτήρες σκυροδέματος με τον κάθετο προς τη διεύθυνση της τέμνουσας άξονα της δοκού (με  $21,8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ )
- $b_c$  το πλάτος του υποστυλώματος και
- $d$  το στατικό ύψος του υποστυλώματος.

Στο τέλος του βήματος (11) γίνεται σύγκριση της  $V_{Rd,max}$  με την  $V_{E,max}$ . Αν  $V_{Rd,max} \leq V_{E,max}$  οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος δεν επαρκούν, επιβάλλεται αλλαγή διατομής και ο έλεγχος ξεκινά από την αρχή. Αν  $V_{Rd,max} \geq V_{E,max}$  οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος επαρκούν και ακολουθεί το βήμα (12).

12. Επιλογή τύπου συνδετήρα για την περίσφιξη στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Στο βήμα αυτό λοιπόν, αλλά και στα επόμενα, θα ασχοληθούμε με την περίσφιξη στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος ( $l_{cr}$ ) όπως αυτές υπολογίστηκαν στο βήμα (9). Το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος των συνδετήρων περίσφιξης για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας είναι ίσο με  $d_{bw} = \max \{ 6 \text{ mm} ; d_{bl} / 4 \}$ , όπου  $d_{bl}$  το πάχος των τοποθετούμενων διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος. Επιλέγουμε τετρασκελείς συνδετήρες με πάχος 8 mm το κάθε σκέλος τους οποίους τοποθετούμε σε απόσταση  $s_w$  (mm).
13. Έλεγχος μέγιστης απόστασης μεταξύ των συνδετήρων περίσφιξης. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε τη μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση μεταξύ των συνδετήρων περίσφιξης στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος η οποία, σύμφωνα με την §5.4.3.3.2(11), ισούται με:
- $s_{w,max} = \min \{ b_0 / 2 ; 175 \text{ mm} ; 8 \cdot d_{bl} \}$  όπου
  - $b_0 = b_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \frac{d_{bw}}{2}$  το πλάτος του περισφιγμένου πυρήνα (έως τον άξονα των συνδετήρων περίσφιξης)

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε την απόσταση μεταξύ των συνδετήρων που επιλέξαμε παραπάνω ( $s_w$ ) με τη μέγιστη επιτρεπόμενη που υπολογίσαμε στο βήμα αυτό. Αν  $s_w \leq s_{w,max}$  ο έλεγχος αυτός ικανοποιείται και προχωράμε στο βήμα (14). Σε αντίθετη περίπτωση πυκνώνουμε τους συνδετήρες και επαναλαμβάνουμε τον έλεγχο από την αρχή.

14. Υπολογισμός απαιτούμενου ογκομετρικού ποσοστού συνδετήρων περίσφιγξης στις κρίσιμες περιοχές του υποστρώματος. Υπολογίζεται, σύμφωνα με την §5.4.3.2.2(7), ως εξής:

- $\omega_{wd,req} = \alpha \cdot 30 \cdot \mu_\phi \cdot v_d \cdot \varepsilon_{syd} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0,035$  όπου
- $\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1$  όπου  $q_0$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς της κατασκευής για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας
- $v_d$  η τιμή της ανηγμένης αξονικής δύναμης όπως υπολογίστηκε στο βήμα (10)
- $\varepsilon_{syd}$  η ανηγμένη παραμόρφωση στο σημείο διαρροής του χάλυβα
- $b_c$  το πλάτος της διατομής του υποστρώματος
- $b_0 = b_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \frac{\phi_w}{2}$  το πλάτος του περισφιγμένου πυρήνα (έως τον άξονα των συνδετήρων περίσφιγξης)
- $\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s$  ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιγξης
- $\alpha_s = (1 - \frac{s_w}{2 \cdot b_0}) \cdot (1 - \frac{s_w}{2 \cdot h_0})$  όπου  $s_w$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων περίσφιγξης,  $b_0$  υπολογίστηκε παραπάνω και  $h_0 = b_0$  για την ορθογωνική διατομή του υποστρώματός μας.
- $\alpha_n = 1 - \left[ \frac{b_0}{(n_h - 1) \cdot h_0} + \frac{h_0}{(n_b - 1) \cdot b_0} \right] / 3$  για ορθογωνικούς συνδετήρες με  $n_b = n_h = 4$  ο αριθμός των σκελών του συνδετήρα κατά τις δύο διευθύνσεις και  $b_0$  και  $h_0$  όπως ορίστηκαν παραπάνω.

Αφού λοιπόν υπολογίσουμε το απαιτούμενο ογκομετρικό ποσοστό συνδετήρων περίσφιγξης σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, το συγκρίνουμε στη συνέχεια με το ελάχιστο απαιτούμενο το οποίο για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας (§5.4.3.2.2(9)) είναι ίσο με 0,08. Το τελικό απαιτούμενο ογκομετρικό ποσοστό είναι η μέγιστη από αυτές τις δύο τιμές δηλαδή  $\omega_{wd,τελ,απαιτ} = \max \{ \omega_{wd} ; 0,08 \}$ .

15. Υπολογισμός τοποθετούμενου ογκομετρικού ποσοστού συνδετήρων περίσφιγξης στις κρίσιμες περιοχές του υποστρώματος. Το ποσοστό αυτό ισούται με:

- $\omega_{wd,prov} = V_0 \cdot f_{yd} / (V_c \cdot f_{cd})$  όπου
- $V_0$  ο συνολικός όγκος του οπλισμού περίσφιγξης ο οποίος με τη σειρά του ισούται με  $V_0 = L_{wd} \cdot A_{sw} / s_w$
- $L_{wd} = n_b \cdot b_0 + n_h \cdot h_0$  το συνολικό μήκος αναπτύγματος του εγκάρσιου οπλισμού

- $A_{sw}$  το εμβαδόν της διατομής του ενός σκέλους του συνδετήρα
- $s_w$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων
- $V_c = b_0 \cdot h_0$  ο όγκος του πυρήνα σκυροδέματος
- $b_0$  και  $h_0$  υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα
- $f_{yd}$  και  $f_{cd}$  το όριο διαρροής και η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος αντίστοιχα.

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε την τιμή του τοποθετούμενου ογκομετρικού ποσοστού που υπολογίσαμε με την τελική απαιτούμενη τιμή που υπολογίσαμε στο προηγούμενο βήμα ( $\omega_{wd,τελ,απαιτ}$ ). Εάν  $\omega_{wd,prov} \geq \omega_{wd,τελ,απαιτ}$  τότε ο τοποθετούμενος οπλισμός περίσφιγξης επαρκεί για τις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος και προχωράμε στο επόμενο βήμα. Σε αντίθετη περίπτωση, απαιτείται να αυξήσουμε τον τοποθετούμενο εγκάρσιο οπλισμό και να επαναλάβουμε τον έλεγχο αυτό.

16. Υπολογισμός απαιτούμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού για τον έλεγχο αντοχής σε τέμνουσα δύναμη. Στο βήμα αυτό, ξεχωριστά από τον έλεγχο έναντι περίσφιγξης στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος, θα υπολογίσουμε το απαιτούμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού για τον έλεγχο έναντι τέμνουσας δύναμης. Το ποσοστό αυτό ισούται με:

- $\rho_{w,req} = V_{E,max} / (0,9 \cdot b_c \cdot h_c \cdot f_{wyd})$  όπου
- $V_{E,max}$  η δρώσα τέμνουσα σχεδιασμού όπως υπολογίστηκε στο βήμα (8)
- $b_c$  και  $h_c$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος
- $f_{wyd}$  το όριο διαρροής του χάλυβα των συνδετήρων

17. Υπολογισμός και έλεγχος επάρκειας του παρεχόμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού μέσα στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Όπως αποφασίσαμε στο βήμα (12), ο τελικός τοποθετούμενος εγκάρσιος οπλισμός αποτελείται από τετράσκελους συνδετήρες (πάχους  $d_{bw} = 8mm$  το κάθε σκέλος) οι οποίοι τοποθετούνται σε απόσταση  $s_w$  μεταξύ τους. Το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού στις περιοχές αυτές υπολογίζεται ως εξής:  $\rho_{w,prov} = A_{sw} / (b_c \cdot s_w \cdot \sin a)$  όπου

- $A_{sw}$  το συνολικό εμβαδόν του τετράσκελου συνδετήρα
- $b_c$  το πλάτος του υποστυλώματος
- $s_w$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων
- $\sin a = 1$  διότι  $a = 90^\circ$  (συνδετήρες κάθετα τοποθετημένοι στο μήκος του υποστυλώματος)

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού που υπολογίσαμε παραπάνω με το απαιτούμενο ποσοστό που υπολογίσαμε στο βήμα (13). Εάν  $\rho_{w,prov} \geq \rho_{w,req}$  τότε ο τοποθετούμενος εγκάρσιος οπλισμός στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος επαρκεί έναντι διάτμησης και προχωράμε στο επόμενο βήμα. Σε αντίθετη περίπτωση απαιτείται πύκνωση του εγκάρσιου οπλισμού στις περιοχές αυτές και επανάληψη του ελέγχου.

18. Υπολογισμός του τοποθετούμενου εγκάρσιου οπλισμού εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος. Για τις μη κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος ισχύει:



- $d_{bw} \geq \max \{6 ; d_{bl} / 4\}$  όπου  $d_{bw}$  η διάμετρος του σκέλους του συνδετήρα που θα τοποθετηθεί
- $d_{bl}$  η διάμετρος των διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος.

Επιλέγεται να τοποθετηθούν δίσκελοι συνδετήρες με διάμετρο  $8mm$  το κάθε σκέλος. Η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων ( $s_w$ ) πρέπει να ικανοποιεί τον παρακάτω περιορισμό:

- $s_w \leq \min \{20 \cdot d_{bl} ; h_c ; b_c ; 400mm\}$  όπου
- $d_{bl}$  η διάμετρος των διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος
- $b_c$  και  $h_c$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος.

19. Υπολογισμός του απαιτούμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού για τον έλεγχο αντοχής σε τέμνουσα δύναμη εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε το απαιτούμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού για τον έλεγχο έναντι τέμνουσας δύναμης εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος. Το ποσοστό αυτό ισούται με:

- $\rho_{w,req} = \max \{V_{Ed,C,x} ; V_{Ed,C,y}\} / (0,9 \cdot b_c \cdot h_c \cdot f_{wyd})$  όπου
- $V_{Ed,C,x}$  και  $V_{Ed,C,y}$  οι δρώσες τέμνουσες δυνάμεις για τους δυσμενέστερους σεισμικούς συνδυασμούς, όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (7)
- $b_c$  και  $h_c$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος
- $f_{wyd}$  το όριο διαρροής του χάλυβα των συνδετήρων.

20. Υπολογισμός και έλεγχος επάρκειας του παρεχόμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος. Όπως αποφασίσαμε στο βήμα (15), ο τελικός τοποθετούμενος εγκάρσιος οπλισμός αποτελείται από δίσκελους συνδετήρες (πάχους  $d_{bw} = 8mm$  το κάθε σκέλος) οι οποίοι τοποθετούνται σε απόσταση  $s_w$  μεταξύ τους. Το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού στις περιοχές αυτές υπολογίζεται ως εξής:  $\rho_{w,prov} = A_{sw} / (b_c \cdot s_w \cdot \sin a)$  όπου

- $A_{sw}$  το συνολικό εμβαδόν του δίσκελου συνδετήρα
- $b_c$  το πλάτος του υποστυλώματος
- $s_w$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων
- $\sin a = 1$  διότι  $a = 90^\circ$  (συνδετήρες κάθετα τοποθετημένοι στο μήκος του υποστυλώματος)

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού που υπολογίσαμε παραπάνω με το απαιτούμενο ποσοστό που υπολογίσαμε στο βήμα (16). Εάν  $\rho_{w,prov} \geq \rho_{w,req}$  τότε ο τοποθετούμενος εγκάρσιος οπλισμός στις μη κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος επαρκεί έναντι διάτμησης και ο έλεγχος τελειώνει εδώ. Σε αντίθετη περίπτωση απαιτείται πύκνωση του εγκάρσιου οπλισμού στις περιοχές αυτές και επανάληψη του ελέγχου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται δύο παραδείγματα, ένα για το πλαισιακό και ένα για το τοιχωματικό κτήριο, στα οποία θα γίνει αναλυτική διαστασιολόγηση δύο υποστυλωμάτων

σύμφωνα με την ενότητα αυτή. Με τον ίδιο τρόπο θα γίνει η διαστασιολόγηση και των υπολοίπων υποστυλωμάτων, και των δύο κτηρίων, η οποία θα παρουσιαστεί με τη μορφή πινάκων στο παράρτημα (πίνακες Π.5.B.17 και Π.5.B.18).

#### 5.4.4.2.1 Παράδειγμα διαστασιολόγησης υποστυλώματος πλαισιακού κτηρίου έναντι διάτμησης στη ΟΚΑ

Στην ενότητα αυτή θα γίνει λεπτομερής διαστασιολόγηση ενός υποστυλώματος του πλαισιακού κτηρίου έναντι διάτμησης για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας ακολουθώντας τα βήματα που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα. Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί το υποστώλωμα C6-B του πλαισίου 1. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Υπολογισμός των ροπών αντοχής των άκρων του υποστυλώματος. Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε, και κατά τους δύο άξονες ( $x$  και  $y$ ), τις ροπές αντοχής τόσο της κεφαλής όσο και της βάσης του υποστυλώματος. Υπολογίζουμε επομένως τις εξής ροπές αντοχής:

$$- M_{Rd,C,x}^{top} = 301,11 \text{ KNm}$$

$$- M_{Rd,C,y}^{top} = 301,11 \text{ KNm}$$

$$- M_{Rd,C,x}^{bot} = 309,97 \text{ KNm}$$

$$- M_{Rd,C,y}^{bot} = 309,97 \text{ KNm}$$

2. Υπολογισμός του αθροίσματος των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων σε κάθε κόμβο. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο του υποστυλώματος (κεφαλή και βάση) και για κάθε άξονα ξεχωριστά, υπολογίζουμε το άθροισμα των ροπών αντοχής των άκρων των υποστυλωμάτων που συντρέχουν σε αυτόν. Υπολογίζουμε επομένως τα εξής τέσσερα αθροίσματα:

$$- \sum M_{Rd,C,x}^{top} = 593,37 \text{ KNm},$$

$$- \sum M_{Rd,C,y}^{top} = 593,37 \text{ KNm},$$

$$- \sum M_{Rd,C,x}^{bot} = 637,65 \text{ KNm},$$

$$- \sum M_{Rd,C,y}^{bot} = 637,65 \text{ KNm}.$$

3. Υπολογισμός του αθροίσματος των ροπών αντοχής των δοκών σε κάθε κόμβο. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο του υποστυλώματος (κεφαλή και βάση) και για κάθε άξονα ξεχωριστά, υπολογίζουμε το άθροισμα των ροπών αντοχής των άκρων των δοκών που συντρέχουν σε αυτόν. Υπολογίζουμε επομένως τα εξής τέσσερα αθροίσματα:

$$- \sum M_{Rd,b,x}^{top} = 115,46 \text{ KNm}$$

$$- \sum M_{Rd,b,y}^{top} = 288,80 \text{ KNm}$$

$$- \sum M_{Rd,b,x}^{bot} = 115,46 \text{ KNm}$$

$$- \sum M_{Rd,b,y}^{bot} = 254,90 \text{ KNm}$$

4. Υπολογισμός του καθαρού ύψους του υποστυλώματος. Το καθαρό ύψος του υποστυλώματος ισούται με το συνολικό ύψος του εάν αφαιρέσουμε το ύψος της δοκού που συντρέχει στον κόμβο της κεφαλής του. Επομένως ισχύει:

$$- H_{cl} = H - h_w = 3,50 - 0,60 = 2,90 \text{ m} .$$

5. Επιλογή του συντελεστή υπεραντοχής. Σύμφωνα με την §5.4.2.3(2) του ΕΚ-8, για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας, ο συντελεστής υπεραντοχής ( $\gamma_{Rd}$ ) λόγω σκλήρυνσης υπό παραμόρφωση του χάλυβα και λόγω περίσφιγξης της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος λαμβάνεται ίσος με 1,10.
6. Υπολογισμός των ικανοτικών τεμνουσών. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε και για τους δύο άξονες ( $x$  και  $y$ ) την τιμή της ικανοτικής τέμνουσας σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$- V_{CD,C,x} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot \left[ M_{Rd,C,x}^{top} \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,x}^{top}}{\sum M_{Rd,b,x}^{top}} \right\} + M_{Rd,C,x}^{bot} \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,x}^{bot}}{\sum M_{Rd,b,x}^{bot}} \right\} \right]}{H_{cl}}$$

$$- V_{CD,C,y} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot \left[ M_{Rd,C,y}^{top} \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,y}^{top}}{\sum M_{Rd,b,y}^{top}} \right\} + M_{Rd,C,y}^{bot} \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,y}^{bot}}{\sum M_{Rd,b,y}^{bot}} \right\} \right]}{H_{cl}}$$

όπου:

- $\gamma_{Rd} = 1,10$  ο συντελεστής υπεραντοχής όπως υπολογίστηκε στο βήμα (5)
- $M_{Rd,C,x}^{top} = 301,11 \text{ KNm}$ ,  $M_{Rd,C,y}^{top} = 301,11 \text{ KNm}$ ,  $M_{Rd,C,x}^{bot} = 309,97 \text{ KNm}$ ,  $M_{Rd,C,y}^{bot} = 309,97 \text{ KNm}$  οι ροπές αντοχής των άκρων του υποστυλώματος όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (1)
- $\sum M_{Rd,C,x}^{top} = 593,37 \text{ KNm}$ ,  $\sum M_{Rd,C,y}^{top} = 593,37 \text{ KNm}$ ,  $\sum M_{Rd,C,x}^{bot} = 637,65 \text{ KNm}$ ,  $\sum M_{Rd,C,y}^{bot} = 637,65 \text{ KNm}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των άκρων των υποστυλωμάτων, κατά τους δύο άξονες, που συντρέχουν στους δύο κόμβους (κεφαλή και βάση) του υπό εξέταση υποστυλώματος
- $\sum M_{Rd,b,x}^{top} = 115,46 \text{ KNm}$ ,  $\sum M_{Rd,b,y}^{top} = 288,80 \text{ KNm}$ ,  $\sum M_{Rd,b,x}^{bot} = 115,46 \text{ KNm}$ ,  $\sum M_{Rd,b,y}^{bot} = 254,90 \text{ KNm}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των άκρων των δοκών, κατά τους δύο άξονες, που συντρέχουν στους δύο κόμβους (κεφαλή και βάση) του υπό εξέταση υποστυλώματος
- $H_{cl} = 2,90 \text{ m}$  το καθαρό ύψος του υποστυλώματος όπως ορίστηκε στο βήμα (4).

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω επομένως προκύπτουν οι τελικές τιμές της ικανοτικής τέμνουσας του υποστυλώματος C6-B κατά τους δύο άξονες οι οποίες είναι ίσες με:

$$- V_{CD,C,x} = 231,79 \text{ KN} \text{ και}$$

$$- V_{CD,C,y} = 231,79 \text{ KN} .$$

7. Υπολογισμός των εντατικών μεγεθών λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών. Σύμφωνα με τα σχήματα Π.5.A.33 έως Π.5.A.36 λαμβάνουμε τα εξής εντατικά μεγέθη:

$$- V_{Ed,C,x} = 15,65 \text{ KN}$$

- $V_{Ed,C,y} = 59,43 \text{ KN}$
  - $N_{Ed} = 604,376 \text{ KN}$ .
8. Υπολογισμός τέμνουσας συνδυασμού. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε την τιμή της τέμνουσας σχεδιασμού για το υποστυλώμα με βάση την οποία θα προχωρήσουμε στη διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης. Αυτή ισούται με:
- $V_{E,max} = \max\{V_{CD,C,x}; V_{CD,C,y}; V_{Ed,C,x}; V_{Ed,C,y}\} = 231,79 \text{ KN}$
9. Υπολογισμός του μήκους της κρίσιμης περιοχής του υποστυλώματος. Το μήκος της κρίσιμης περιοχής ενός κύριου σεισμικού υποστυλώματος είναι ίσο με  $l_{cr} = \max\{h_c; H_{cr}/6; 0,45\} = 0,58 \text{ m}$  όπου:
- $h_c = 0,50 \text{ m}$  το πλάτος του υποστυλώματος
  - $H_{cl} = 2,90 \text{ m}$  το καθαρό ύψος του υποστυλώματος
10. Υπολογισμός της ανηγμένης αξονικής δύναμης του υποστυλώματος και κατόπιν έλεγχος της διατομής. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε την ανηγμένη αξονική δύναμη του υποστυλώματος ως εξής:
- $v_d = N_{Ed} / (b_c \cdot h_c \cdot f_{cd}) = 604,376 / (0,50 \cdot 0,50 \cdot 14,17 \cdot 1000) = 0,1706$  όπου
  - $N_{Ed} = 604,376 \text{ KN}$  η αξονική δύναμη του υποστυλώματος όπως υπολογίστηκε στο βήμα (7)
  - $b_c = 0,50 \text{ m}$  και  $h_c = 0,50 \text{ m}$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος και
  - $f_{cd} = 14,17 \text{ MPa}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος
- Στη συνέχεια συγκρίνουμε την τιμή της ανηγμένης αξονικής δύναμης που υπολογίσαμε με τη μέγιστη επιτρεπόμενη, η οποία σύμφωνα με την §5.4.3.2.1(3) του ΕΚ-8 είναι ίση με 0,65. Ισχύει  $v_d = 0,1706 < 0,65$  επομένως ο έλεγχος ικανοποιείται και προχωράμε στο βήμα (11).
11. Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της μέγιστης τέμνουσας που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο, όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων, σύμφωνα με την §6.2.3(3) του ΕΚ-2.

Ισχύει ότι  $V_{Rd,max} = 0,18 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{f_{ck}}{250} \right) \right] \cdot f_{ck} \cdot \sin 2\theta \cdot b_c \cdot h_c$  όπου:

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa} = 25000 \text{ KPa}$
- $\sin(2 \cdot \theta) = 0,6896$  για  $\theta = 21,8^\circ$
- $b_c = 0,50 \text{ m}$
- $h_c = 0,50 \text{ m}$

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει η τιμή της  $V_{Rd,max}$  η οποία ισούται με  $V_{Rd,max} = 698,24 \text{ KN}$ . Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση της  $V_{Rd,max}$  με την  $V_{E,max}$ . Ισχύει ότι  $V_{Rd,max} = 698,24 \text{ KN} > 228,43 \text{ KN}$  επομένως η διατομή επαρκεί και προχωράμε έτσι στο επόμενο βήμα.

12. Επιλογή τύπου συνδετήρα για την περίσφιξη στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Στο βήμα αυτό λοιπόν, αλλά και στα επόμενα, θα ασχοληθούμε με την περίσφιξη στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος ( $l_{cr}$ ). Το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος των συνδετήρων περίσφιξης για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας είναι ίσο με  $d_{bw} = \max \{6 \text{ mm} ; d_{bl} / 4\} = 6 \text{ mm}$ , όπου  $d_{bl} = 18 \text{ mm}$  το πάχος των τοποθετούμενων διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος. Επιλέγουμε τετρασκελείς συνδετήρες με πάχος  $8 \text{ mm}$  το κάθε σκέλος τους οποίους τοποθετούμε σε απόσταση  $s_w = 140,00 \text{ mm}$  μεταξύ τους.

13. Έλεγχος μεγίστης απόστασης μεταξύ των συνδετήρων περίσφιξης. Σύμφωνα με την §5.4.3.3.2(11), η απόσταση αυτή ισούται με:

$$- s_{w,\max} = \min \{b_0 / 2 ; 175\text{mm} ; 8 \cdot d_{bl}\} = 144,00 \text{ mm} \text{ όπου}$$

$$- b_0 = b_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \frac{d_{bw}}{2} = 500 - 2 \cdot 35 - 2 \cdot \frac{8}{2} = 422 \text{ mm} \text{ το πλάτος του}$$

περισφιγμένου πυρήνα και

$$- d_{bl} = 18 \text{ mm} \text{ το πάχος των τοποθετούμενων διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος.}$$

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε την απόσταση μεταξύ των συνδετήρων που επιλέξαμε παραπάνω ( $s_w = 140,00 \text{ mm}$ ) με τη μέγιστη επιτρεπόμενη που υπολογίσαμε στο βήμα αυτό. Ισχύει  $s_w = 140,00 \text{ mm} \leq s_{w,\max} = 144,00 \text{ mm}$  επομένως ο έλεγχος αυτός ικανοποιείται και προχωράμε στο βήμα (14).

14. Υπολογισμός απαιτούμενου ογκομετρικού ποσοστού συνδετήρων περίσφιξης στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Υπολογίζεται, σύμφωνα με την §5.4.3.2.2(7), ως εξής:

$$- \omega_{wd,req} = \left( 30 \cdot \mu_\phi \cdot \nu_d \cdot \varepsilon_{syd} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0,035 \right) / a \text{ όπου}$$

$$- \mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 3,9 - 1 = 6,8 \text{ όπου } q_0 = 3,9 \text{ η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς της κατασκευής για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας}$$

$$- \nu_d = 0,1706 \text{ η τιμή της ανηγμένης αξονικής δύναμης όπως υπολογίστηκε στο βήμα (10)}$$

$$- \varepsilon_{syd} = 434,78 / (200000) = 0,00217 \text{ η ανηγμένη παραμόρφωση στο σημείο διαρροής του χάλυβα}$$

$$- b_c = 0,50 \text{ m το πλάτος της διατομής του υποστυλώματος}$$

$$- b_0 = b_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \frac{\phi_w}{2} = 422\text{mm} = 0,422 \text{ m το πλάτος του περισφιγμένου πυρήνα όπως υπολογίστηκε παραπάνω.}$$

$$- \alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,54 \text{ ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιξης όπου}$$

$$- a_s = \left(1 - \frac{s_w}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s_w}{2 \cdot h_0}\right) = \left(1 - \frac{140}{2 \cdot 422}\right) \cdot \left(1 - \frac{140}{2 \cdot 422}\right) = 0,696 \quad \text{όπου } s_w = 140 \text{ mm}$$

η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων περίσφιγξης,  $b_0 = 422 \text{ mm}$  υπολογίστηκε παραπάνω και  $h_0 = b_0$  για την ορθογωνική διατομή του υποστυλώματός μας.

$$- a_n = 1 - \left[ \frac{b_0}{(n_h - 1) \cdot h_0} + \frac{h_0}{(n_b - 1) \cdot b_0} \right] / 3 = 0,777 \quad \text{για ορθογωνικούς συνδετήρες με}$$

$n_b = n_h = 4$  ο αριθμός των σκελών του συνδετήρα κατά τις δύο διευθύνσεις και  $b_0 = 422 \text{ mm}$  και  $h_0 = 422 \text{ mm}$  όπως ορίστηκαν παραπάνω.

Επομένως, με βάση τα παραπάνω δεδομένα, προκύπτει η τιμή του απαιτούμενου ποσοστού ως εξής:  $\omega_{wd,req} = \left( 30 \cdot 6,8 \cdot 0,1706 \cdot 0,00217 \cdot \frac{500}{422} - 0,035 \right) / 0,54 = 0,101$

Αφού λοιπόν υπολογίσαμε το απαιτούμενο ογκομετρικό ποσοστό συνδετήρων περίσφιγξης, το συγκρίνουμε στη συνέχεια με το ελάχιστο απαιτούμενο το οποίο για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας (§5.4.3.2.2(9)) είναι ίσο με 0,08. Το τελικό απαιτούμενο ογκομετρικό ποσοστό είναι η μέγιστη από αυτές τις δύο τιμές δηλαδή  $\omega_{wd,τελ.απαιτ} = \max \{ \omega_{wd} ; 0,08 \} = \max \{ 0,101 ; 0,08 \} = 0,101$ .

15. Υπολογισμός τοποθετούμενου ογκομετρικού ποσοστού συνδετήρων περίσφιγξης στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Το ποσοστό αυτό ισούται με:

- $\omega_{wd,prov} = V_0 \cdot f_{yd} / (V_c \cdot f_{cd})$  όπου
- $V_0$  ο συνολικός όγκος του οπλισμού περίσφιγξης ο οποίος με τη σειρά του ισούται με  $V_0 = L_{wd} \cdot A_{sw} / s_w = 1205,714 \text{ mm}^3$
- $L_{wd} = n_b \cdot b_0 + n_h \cdot h_0 = 4 \cdot 422 + 4 \cdot 422 = 3376 \text{ mm}$  το συνολικό μήκος αναπτύγματος του εγκάρσιου οπλισμού
- $A_{sw} = 0,5 \text{ cm}^2 = 50 \text{ mm}^2$  το εμβαδόν της διατομής του ενός σκέλους του συνδετήρα
- $s_w = 140 \text{ mm}$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων
- $V_c = b_0 \cdot h_0 = 422 \cdot 422 = 178084 \text{ mm}^3$  ο όγκος του πυρήνα σκυροδέματος
- $b_0$  και  $h_0$  υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα
- $f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$  και  $f_{cd} = 14,17 \text{ MPa}$  το όριο διαρροής και η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος αντίστοιχα.
- Επομένως  $\omega_{wd,prov} = 1205,714 \cdot 434,78 / (178084 \cdot 14,17) = 0,208$

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε την τιμή του τοποθετούμενου ογκομετρικού ποσοστού που υπολογίσαμε με την τελική απαιτούμενη τιμή που υπολογίσαμε στο προηγούμενο βήμα ( $\omega_{wd,τελ.απαιτ}$ ). Ισχύει  $\omega_{wd,prov} = 0,208 \geq \omega_{wd,τελ.απαιτ} = 0,101$  οπότε ο τοποθετούμενος οπλισμός περίσφιγξης επαρκεί για τις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος και προχωράμε έτσι στο επόμενο βήμα.

16. Υπολογισμός απαιτούμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού για τον έλεγχο αντοχής σε τέμνουσα δύναμη. Στο βήμα αυτό, ξεχωριστά από τον έλεγχο έναντι περίσφιγξης, θα υπολογίσουμε το απαιτούμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού για τον έλεγχο έναντι τέμνουσας δύναμης. Το ποσοστό αυτό ισούται με:

- $\rho_{w,req} = V_{E,max} / (0,9 \cdot b_c \cdot h_c \cdot f_{wyd})$  όπου
- $V_{E,max} = 231,79 \text{ KN}$  η τέμνουσα σχεδιασμού που υπολογίστηκε στο βήμα (8)
- $b_c = 0,50 \text{ m}$  και  $h_c = 0,50 \text{ m}$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος
- $f_{wyd} = 434,78 \text{ MPa} = 434780 \text{ KPa}$  το όριο διαρροής του χάλυβα των συνδετήρων
- Επομένως  $\rho_{w,req} = 235,15 / (0,9 \cdot 0,50 \cdot 0,50 \cdot 434780) = 0,0024$

17. Υπολογισμός και έλεγχος επάρκειας του παρεχόμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού μέσα στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Όπως αποφασίσαμε στο βήμα (12), ο τοποθετούμενος εγκάρσιος οπλισμός αποτελείται από τετράσκελους συνδετήρες (πάχους  $d_{bw} = 8 \text{ mm}$  το κάθε σκέλος) οι οποίοι τοποθετούνται σε απόσταση  $s_w$  μεταξύ τους. Το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού στις περιοχές αυτές υπολογίζεται ως εξής:

- $\rho_{w,prov} = A_{sw} / (b_c \cdot s_w \cdot \sin a)$  όπου
- $A_{sw} = 2,00 \text{ cm}^2$  το συνολικό εμβαδόν του τετράσκελου συνδετήρα
- $b_c = 50 \text{ cm}$  το πλάτος του υποστυλώματος
- $s_w = 14,00 \text{ cm}$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων
- $\sin a = 1$  διότι  $a = 90^\circ$  (συνδετήρες κάθετα τοποθετημένοι στο μήκος του υποστυλώματος)
- Επομένως  $\rho_{w,prov} = 2,00 / (50 \cdot 14,00 \cdot \sin a) = 0,0029$

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού που υπολογίσαμε παραπάνω με το απαιτούμενο ποσοστό που υπολογίσαμε στο βήμα (13). Ισχύει ότι  $\rho_{w,prov} = 0,0029 \geq \rho_{w,req} = 0,0024$  επομένως ο τοποθετούμενος εγκάρσιος οπλισμός στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος επαρκεί έναντι διάτμησης και προχωράμε στο επόμενο βήμα.

18. Υπολογισμός του τοποθετούμενου εγκάρσιου οπλισμού εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος. Για τις μη κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος πρέπει να ισχύει:

- $d_{bw} \geq \max \{6 ; d_{bl} / 4\} = 6 \text{ mm}$  όπου  $d_{bw}$  η διάμετρος του σκέλους του συνδετήρα που θα τοποθετηθεί
- $d_{bl} = 18 \text{ mm}$  η διάμετρος των διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος.

Επιλέγεται να τοποθετηθούν δίσκελοι συνδετήρες με διάμετρο  $8 \text{ mm}$  το κάθε σκέλος. Η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων ( $s_w$ ) πρέπει να ικανοποιεί τον παρακάτω περιορισμό:

- $s_w \leq \min \{20 \cdot d_{bl} ; h_c ; b_c ; 400 \text{ mm}\}$  όπου
- $d_{bl} = 18 \text{ mm}$  η διάμετρος των διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος

- $b_c = 500 \text{ mm}$  και  $h_c = 500 \text{ mm}$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος.
- Άρα  $s_w \leq \min\{20 \cdot d_{bl} ; h_c ; b_c ; 400\text{mm}\} = \min\{20 \cdot 18; 500; 500; 400\text{mm}\} = 360 \text{ mm}$

Επιλέγω επομένως, εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος, να τοποθετήσω δίσκελους συνδετήρες διαμέτρου  $8 \text{ mm}$  το κάθε σκέλος σε απόσταση  $320 \text{ mm}$  μεταξύ τους ( $\Phi 8 / 320$ ).

19. Υπολογισμός του απαιτούμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού για τον έλεγχο αντοχής σε τέμνουσα δύναμη εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος. Το ποσοστό αυτό ισούται με:

- $\rho_{w,req} = \max\{V_{Ed,C,x} ; V_{Ed,C,y}\} / (0,9 \cdot b_c \cdot h_c \cdot f_{wyd})$  όπου
- $V_{Ed,C,x} = 15,65 \text{ KN}$  και  $V_{Ed,C,y} = 59,43 \text{ KN}$  οι δρώσες τέμνουσες δυνάμεις για τους δυσμενέστερους σεισμικούς συνδυασμούς, όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (7)
- $b_c = 0,50 \text{ m}$  και  $h_c = 0,50 \text{ m}$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος
- $f_{wyd} = 434,78 \text{ MPa} = 434780 \text{ KPa}$  το όριο διαρροής του χάλυβα των συνδετήρων.
- Επομένως  $\rho_{w,req} = \max\{15,65 ; 59,43\} / (0,9 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 434780) = 0,000608$

20. Υπολογισμός και έλεγχος επάρκειας του παρεχόμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος. Το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού στις περιοχές αυτές υπολογίζεται ως εξής:  $\rho_{w,prov} = A_{sw} / (b_c \cdot s_w \cdot \sin a)$  όπου

- $A_{sw} = 1,00 \text{ cm}^2$  το συνολικό εμβαδόν του δίσκελου συνδετήρα
- $b_c = 50 \text{ cm}$  το πλάτος του υποστυλώματος
- $s_w = 32 \text{ cm}$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων
- $\sin a = 1$  διότι  $a = 90^\circ$  (συνδετήρες κάθετα τοποθετημένοι στο μήκος του υποστυλώματος)
- Επομένως  $\rho_{w,prov} = 1,00 / (50 \cdot 32 \cdot 1,00) = 0,000625$

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού που υπολογίσαμε παραπάνω με το απαιτούμενο ποσοστό που υπολογίσαμε στο βήμα (19). Ισχύει  $\rho_{w,prov} = 0,000625 \geq \rho_{w,req} = 0,000608$  επομένως ο τοποθετούμενος εγκάρσιος οπλισμός στις μη κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος επαρκεί έναντι διάτμησης και ο έλεγχος τελειώνει εδώ.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες όπλισης του παραπάνω υποστυλώματος παρουσιάζονται αναλυτικά στο σχήμα 6.8 της επόμενης ενότητας.

#### 5.4.4.2 Παράδειγμα διαστασιολόγησης υποστυλώματος τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης στη ΟΚΑ

Στην ενότητα αυτή θα γίνει λεπτομερής διαστασιολόγηση ενός υποστυλώματος του τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας



ακολουθώντας τα βήματα που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα. Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί το υποστυλώμα C7-C του πλαισίου 1. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Υπολογισμός των ροπών αντοχής των άκρων του υποστυλώματος. Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε, και κατά τους δύο άξονες ( $x$  και  $y$ ), τις ροπές αντοχής των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στους κομβους C και B. Υπολογίζουμε επομένως τις εξής ροπές αντοχής:

$$- M_{Rd,C7-D,y}^{bot} = 247,98 \text{ KNm} , M_{Rd,C7-D,x}^{bot} = 247,98 \text{ KNm}$$

$$- M_{Rd,C7-C,y}^{top} = 265,69 \text{ KNm} , M_{Rd,C7-C,x}^{top} = 265,69 \text{ KNm}$$

$$- M_{Rd,C7-C,y}^{bot} = 265,69 \text{ KNm} , M_{Rd,C7-C,x}^{bot} = 265,69 \text{ KNm}$$

$$- M_{Rd,C7-B,y}^{top} = 283,40 \text{ KNm} , M_{Rd,C7-B,x}^{top} = 301,11 \text{ KNm}$$

2. Υπολογισμός του αθροίσματος των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων σε κάθε κόμβο. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο του υποστυλώματος (κεφαλή και βάση) και για κάθε άξονα ξεχωριστά, υπολογίζουμε το άθροισμα των ροπών αντοχής των άκρων των υποστυλωμάτων που συντρέχουν σε αυτόν. Υπολογίζουμε επομένως τα εξής τέσσερα αθροίσματα:

$$- \sum M_{Rd,C,y}^{top} = M_{Rd,C7-D,y}^{bot} + M_{Rd,C7-C,y}^{top} = 513,66 \text{ KNm}$$

$$- \sum M_{Rd,C,x}^{top} = M_{Rd,C7-D,x}^{bot} + M_{Rd,C7-C,x}^{top} = 513,66 \text{ KNm}$$

$$- \sum M_{Rd,C,y}^{bot} = M_{Rd,C7-C,y}^{bot} + M_{Rd,C7-B,y}^{top} = 549,09 \text{ KNm}$$

$$- \sum M_{Rd,C,x}^{bot} = M_{Rd,C7-C,x}^{bot} + M_{Rd,C7-B,x}^{top} = 566,80 \text{ KNm}$$

3. Υπολογισμός του αθροίσματος των ροπών αντοχής των δοκών σε κάθε κόμβο. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο του υποστυλώματος (κεφαλή και βάση) και για κάθε άξονα ξεχωριστά, υπολογίζουμε το άθροισμα των ροπών αντοχής των άκρων των δοκών που συντρέχουν σε αυτόν. Υπολογίζουμε επομένως τα εξής τέσσερα αθροίσματα:

$$- \sum M_{Rd,b,x}^{top} = 111,30 \text{ kNm}$$

$$- \sum M_{Rd,b,y}^{top} = 115,35 \text{ kNm}$$

$$- \sum M_{Rd,b,x}^{bot} = 111,30 \text{ kNm}$$

$$- \sum M_{Rd,b,y}^{bot} = 115,35 \text{ kNm}$$

4. Υπολογισμός του καθαρού ύψους του υποστυλώματος. Το καθαρό ύψος του υποστυλώματος ισούται με το συνολικό ύψος του εάν αφαιρέσουμε το ύψος της δοκού που συντρέχει στον κόμβο της κεφαλής του. Επομένως ισχύει:

$$- H_{cl} = H - h_w = 3,50 - 0,60 = 2,90 \text{ m}.$$

5. Επιλογή του συντελεστή υπεραντοχής. Σύμφωνα με την §5.4.2.3(2) του ΕΚ-8, για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας, ο συντελεστής υπεραντοχής ( $\gamma_{Rd}$ ) λόγω σκλήρυνσης υπό παραμόρφωση του χάλυβα και λόγω περίσφιγξης της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος λαμβάνεται ίσος με 1,10.

6. Υπολογισμός των ικανοτικών τεμνουσών. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε και για τους δύο άξονες ( $x$  και  $y$ ) την τιμή της ικανοτικής τέμνουσας σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$- V_{CD,C,x} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot \left[ M_{Rd,C,x}^{top} \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,x}^{top}}{\sum M_{Rd,b,x}^{top}} \right\} + M_{Rd,C,x}^{bot} \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,x}^{bot}}{\sum M_{Rd,b,x}^{bot}} \right\} \right]}{H_{cl}}$$

$$- V_{CD,C,y} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot \left[ M_{Rd,C,y}^{top} \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,y}^{top}}{\sum M_{Rd,b,y}^{top}} \right\} + M_{Rd,C,y}^{bot} \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,y}^{bot}}{\sum M_{Rd,b,y}^{bot}} \right\} \right]}{H_{cl}}$$

όπου:

- $\gamma_{Rd} = 1,10$  ο συντελεστής υπεραντοχής όπως υπολογίστηκε στο βήμα (5)
- $M_{Rd,C7-C,x}^{top} = 265,69 \text{ KNm}$ ,  $M_{Rd,C7-C,y}^{top} = 265,69 \text{ KNm}$   
 $M_{Rd,C7-C,x}^{bot} = 265,69 \text{ KNm}$ ,  $M_{Rd,C7-C,y}^{bot} = 265,69 \text{ KNm}$  οι ροπές αντοχής των άκρων του υποστυλώματος όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (1).
- $\sum M_{Rd,C,x}^{top} = 513,66 \text{ kNm}$ ,  $\sum M_{Rd,C,y}^{top} = 513,66 \text{ kNm}$ ,  $\sum M_{Rd,C,x}^{bot} = 566,80 \text{ kNm}$ ,  
 $M_{Rd,C7-C,y}^{bot} = 549,09 \text{ kNm}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των άκρων των υποστυλωμάτων, κατά τους δύο άξονες, που συντρέχουν στους δύο κόμβους (κεφαλή και βάση) του υπό εξέταση υποστυλώματος, όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (2).
- $\sum M_{Rd,b,x}^{top} = 111,30 \text{ kNm}$ ,  $\sum M_{Rd,b,y}^{top} = 115,35 \text{ kNm}$ ,  
 $\sum M_{Rd,b,x}^{bot} = 111,30 \text{ kNm}$ ,  $\sum M_{Rd,b,y}^{bot} = 115,35 \text{ kNm}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των άκρων των δοκών, κατά τους δύο άξονες, που συντρέχουν στους δύο κόμβους (κεφαλή και βάση) του υπό εξέταση υποστυλώματος, όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (3).
- $H_{cl} = 2,90 \text{ m}$  το καθαρό ύψος του υποστυλώματος όπως ορίστηκε στο βήμα (4).

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω επομένως προκύπτουν οι τελικές τιμές της ικανοτικής τέμνουσας του υποστυλώματος C6-B κατά τους δύο άξονες οι οποίες είναι ίσες με:

- $V_{CD,C,x} = 201,56 \text{ kN}$  και
  - $V_{CD,C,y} = 201,56 \text{ KN}$ .
7. Υπολογισμός των εντατικών μεγεθών λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών. Σύμφωνα με τα σχήματα Π.5.A.37 έως Π.5.A.39 λαμβάνουμε τα εξής εντατικά μεγέθη:
- $V_{Ed,C,x} = 25,51 \text{ KN}$
  - $V_{Ed,C,y} = 40,16 \text{ KN}$
  - $N_{Ed} = -412,03 \text{ KN}$ .
8. Υπολογισμός τέμνουσας συνδυασμού. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε την τιμή της τέμνουσας σχεδιασμού για το υποστυλώμα με βάση την οποία θα προχωρήσουμε στη διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης. Αυτή ισούται με:
- $V_{E,max} = \max \{ V_{CD,C,x} ; V_{CD,C,y} ; V_{Ed,C,x} ; V_{Ed,C,y} \} = 201,56 \text{ KN}$

9. Υπολογισμός του μήκους της κρίσιμης περιοχής του υποστρώματος. Το μήκος της κρίσιμης περιοχής ενός κύριου σεισμικού υποστρώματος είναι ίσο με  $l_{cr} = \max \{h_c ; H_{cr} / 6 ; 0,45\} = 0,58 \text{ m}$  όπου:

- $h_c = 0,50 \text{ m}$  το πλάτος του υποστρώματος
- $H_{cr} = 2,90 \text{ m}$  το καθαρό ύψος του υποστρώματος

10. Υπολογισμός της ανηγμένης αξονικής δύναμης του υποστρώματος και κατόπιν έλεγχος της διατομής. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε την ανηγμένη αξονική δύναμη του υποστρώματος ως εξής:

- $v_d = N_{Ed} / (b_c \cdot h_c \cdot f_{cd}) = 412,03 / (0,50 \cdot 0,50 \cdot 0,85 \cdot 25 \cdot 1000 / 1,5) = 0,12$  όπου
- $N_{Ed} = -412,03 \text{ KN}$  η αξονική δύναμη του υποστρώματος όπως υπολογίστηκε στο βήμα (7)
- $b_c = 0,50 \text{ m}$  και  $h_c = 0,50 \text{ m}$  οι διαστάσεις του υποστρώματος και
- $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος

Στη συνέχεια συγκρίνουμε την τιμή της ανηγμένης αξονικής δύναμης που υπολογίσαμε με τη μέγιστη επιτρεπόμενη, η οποία σύμφωνα με την §5.4.3.2.1(3) του ΕΚ-8 είναι ίση με 0,65. Ισχύει  $v_d = 0,12 < 0,65$  επομένως ο έλεγχος ικανοποιείται και προχωράμε στο βήμα (11).

11. Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της μέγιστης τέμνουσας που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο, όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων, σύμφωνα με την §6.2.3(3) του ΕΚ-2.

Ισχύει ότι  $V_{Rd,max} = 0,18 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{f_{ck}}{250} \right) \right] \cdot f_{ck} \cdot \sin 2\theta \cdot b_c \cdot h_c = 698,24 \text{ kN}$  όπου:

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa} = 25000 \text{ KPa}$
- $\sin(2 \cdot \theta) = 0,6896$  για  $\theta = 21,8^\circ$
- $b_c = 0,50 \text{ m}$
- $h_c = 0,50 \text{ m}$

Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση της  $V_{Rd,max}$  με την  $V_{E,max}$ . Ισχύει ότι  $V_{Rd,max} = 698,24 \text{ KN} > V_{Ed}$  επομένως η διατομή επαρκεί και προχωράμε έτσι στο επόμενο βήμα.

12. Επιλογή τύπου συνδετήρα για την περίσφιξη στις κρίσιμες περιοχές του υποστρώματος. Στο βήμα αυτό λοιπόν, αλλά και στα επόμενα, θα ασχοληθούμε με την περίσφιξη στις κρίσιμες περιοχές του υποστρώματος ( $l_{cr}$ ). Το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος των συνδετήρων περίσφιξης για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας είναι ίσο με  $d_{bw} = \max \{6 \text{ mm} ; d_{bl} / 4\} = 6 \text{ mm}$ , όπου  $d_{bl} = 18 \text{ mm}$  το πάχος των τοποθετούμενων διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστρώματος. Επιλέγουμε τετράτητους συνδετήρες με πάχος 8 mm το κάθε σκέλος.

13. Έλεγχος μέγιστης απόστασης μεταξύ των συνδετήρων περίσφιγξης. Σύμφωνα με την §5.4.3.2(11), η απόσταση αυτή ισούται με:

- $s_{w,max} = \min \{ b_0 / 2 ; 175mm ; 8 \cdot d_{bl} \} = 144,00 \text{ mm}$  όπου
- $b_0 = b_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \frac{d_{bw}}{2} = 500 - 2 \cdot 35 - 2 \cdot \frac{8}{2} = 422 \text{ mm}$  το πλάτος του περισφιγμένου πυρήνα και
- $d_{bl} = 18 \text{ mm}$  το πάχος των τοποθετούμενων διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος.

Συνεπώς για την περίσφιγξη του υποστυλώματος επιλέγουμε φ8/140mm ώστε  $s_w = 140,00 \text{ mm} \leq s_{w,max} = 144,00 \text{ mm}$ .

14. Υπολογισμός απαιτούμενου ογκομετρικού ποσοστού συνδετήρων περίσφιγξης στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Υπολογίζεται, σύμφωνα με την §5.4.3.2.2(7), ως εξής:

- $\omega_{wd,req} = \left( 30 \cdot \mu_\phi \cdot \nu_d \cdot \varepsilon_{syd} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0,035 \right) / a$  όπου
- $\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 3,0 - 1 = 5$  όπου  $q_0 = 3,0$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς της κατασκευής για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας
- $\nu_d = 0,1706$  η τιμή της ανηγμένης αξονικής δύναμης όπως υπολογίστηκε στο βήμα (10)
- $\varepsilon_{syd} = 434,78 / (200000) = 0,00217$  η ανηγμένη παραμόρφωση στο σημείο διαρροής του χάλυβα
- $b_c = 0,50 \text{ m}$  το πλάτος της διατομής του υποστυλώματος
- $b_0 = b_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \frac{\phi_w}{2} = 422 \text{ mm} = 0,422 \text{ m}$  το πλάτος του περισφιγμένου πυρήνα όπως υπολογίστηκε παραπάνω.
- $\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,54$  ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιγξης όπου
- $\alpha_s = \left( 1 - \frac{s_w}{2 \cdot b_0} \right) \cdot \left( 1 - \frac{s_w}{2 \cdot h_0} \right) = \left( 1 - \frac{140}{2 \cdot 422} \right) \cdot \left( 1 - \frac{140}{2 \cdot 422} \right) = 0,70$  όπου  $s_w = 125 \text{ mm}$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων περίσφιγξης,  $b_0 = 422 \text{ mm}$  υπολογίστηκε παραπάνω και  $h_0 = b_0$  για την ορθογωνική διατομή του υποστυλώματός μας.
- $\alpha_n = 1 - \left[ \frac{b_0}{(n_h - 1) \cdot h_0} + \frac{h_0}{(n_b - 1) \cdot b_0} \right] / 3 = 0,777$  για ορθογωνικούς συνδετήρες με  $n_b = n_h = 4$  ο αριθμός των σκελών του συνδετήρα κατά τις δύο διευθύνσεις και  $b_0 = 422 \text{ mm}$  και  $h_0 = 422 \text{ mm}$  όπως ορίστηκαν παραπάνω.

Επομένως, με βάση τα παραπάνω δεδομένα, προκύπτει η τιμή του απαιτούμενου ποσοστού ως εξής:  $\omega_{wd,req} = \left( 30 \cdot 5 \cdot 0,12 \cdot 0,00217 \cdot \frac{500}{422} - 0,035 \right) / 0,54 = 0,018$

15. Υπολογισμός τοποθετούμενου ογκομετρικού ποσοστού συνδετήρων περίσφιγξης στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Το ποσοστό αυτό ισούται με:

- $\omega_{wd,prov} = V_0 \cdot f_{yd} / (V_c \cdot f_{cd})$  όπου
- $V_0$  ο συνολικός όγκος του οπλισμού περίσφιγξης ο οποίος με τη σειρά του ισούται με  $V_0 = L_{wd} \cdot A_{sw} / s_w = 1206 \text{ mm}^3$
- $L_{wd} = n_b \cdot b_0 + n_h \cdot h_0 = 4 \cdot 422 + 4 \cdot 422 = 3376 \text{ mm}$  το συνολικό μήκος αναπτύγματος του εγκάρσιου οπλισμού
- $A_{sw} = 0,5 \text{ cm}^2 = 50 \text{ mm}^2$  το εμβαδόν της διατομής του ενός σκέλους του συνδετήρα
- $s_w = 140 \text{ mm}$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων
- $V_c = b_0 \cdot h_0 = 422 \cdot 422 = 178084 \text{ mm}^3$  ο όγκος του πυρήνα σκυροδέματος
- $b_0$  και  $h_0$  υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα
- $f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$  και  $f_{cd} = 14,17 \text{ MPa}$  το όριο διαρροής και η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος αντίστοιχα.
- Επομένως  $\omega_{wd,prov} = 1206 \cdot 434,78 / (178084 \cdot 0,85 \cdot 25 / 1,5) = 0,208$

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε την τιμή του τοποθετούμενου ογκομετρικού ποσοστού που υπολογίσαμε με την τελική απαιτούμενη τιμή που υπολογίσαμε στο προηγούμενο βήμα. Ισχύει  $\omega_{wd,prov} = 0,208 \geq \omega_{wd,req}$  οπότε ο τοποθετούμενος οπλισμός περίσφιγξης επαρκεί για τις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος και προχωράμε έτσι στο επόμενο βήμα.

16. Υπολογισμός απαιτούμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού για τον έλεγχο αντοχής σε τέμνουσα δύναμη. Στο βήμα αυτό, ξεχωριστά από τον έλεγχο έναντι περίσφιγξης, θα υπολογίσουμε το απαιτούμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού για τον έλεγχο έναντι τέμνουσας δύναμης. Το ποσοστό αυτό ισούται με:
  - $\rho_{w,req} = V_{E,max} / (0,9 \cdot b_c \cdot h_c \cdot f_{wyd})$  όπου
  - $V_{E,max} = 201,56 \text{ KN}$  η τέμνουσα σχεδιασμού που υπολογίστηκε στο βήμα (8)
  - $b_c = 0,50 \text{ m}$  και  $h_c = 0,50 \text{ m}$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος
  - $f_{wyd} = 434,78 \text{ MPa} = 434780 \text{ KPa}$  το όριο διαρροής του χάλυβα των συνδετήρων
  - Επομένως  $\rho_{w,req} = 201,56 / (0,9 \cdot 0,50 \cdot 0,50 \cdot 434780) = 0,00206$
17. Υπολογισμός και έλεγχος επάρκειας του παρεχόμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού μέσα στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Όπως αποφασίσαμε στο βήμα (12), ο τοποθετούμενος εγκάρσιος οπλισμός αποτελείται από τετράτμητους συνδετήρες (πάχους  $d_{bw} = 8 \text{ mm}$  το κάθε σκέλος) οι οποίοι τοποθετούνται σε απόσταση  $s_w$  μεταξύ τους. Το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού στις περιοχές αυτές υπολογίζεται ως εξής:
 
$$\rho_{w,prov} = A_{sw} / (b_c \cdot s_w \cdot \sin a)$$
 όπου
  - $A_{sw} = 2,00 \text{ cm}^2$  το συνολικό εμβαδόν του τετράτμητου συνδετήρα
  - $b_c = 50 \text{ cm}$  το πλάτος του υποστυλώματος
  - $s_w = 11 \text{ cm}$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων

- $\sin a = 1$  διότι  $a = 90^\circ$  (συνδετήρες κάθετα τοποθετημένοι στο μήκος του υποστυλώματος)
- Επομένως  $\rho_{w,prov} = 2,00 / (50 \cdot 11 \cdot \sin a) = 0,0029$

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού που υπολογίσαμε παραπάνω με το απαιτούμενο ποσοστό που υπολογίσαμε στο βήμα (13). Ισχύει ότι  $\rho_{w,prov} = 0,0029 \geq \rho_{w,req} = 0,00206$  επομένως ο τοποθετούμενος εγκάρσιος οπλισμός στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος επαρκεί έναντι διάτμησης και προχωράμε στο επόμενο βήμα.

18. Υπολογισμός του τοποθετούμενου εγκάρσιου οπλισμού εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος. Για τις μη κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος πρέπει να ισχύει:

- $d_{bw} \geq \max \{6 ; d_{bl} / 4\} = 6 \text{ mm}$  όπου  $d_{bw}$  η διάμετρος του σκέλους του συνδετήρα που θα τοποθετηθεί
- $d_{bl} = 18 \text{ mm}$  η διάμετρος των διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος.

Επιλέγεται να τοποθετηθούν δίσκελοι συνδετήρες με διάμετρο  $8 \text{ mm}$  το κάθε σκέλος. Η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων ( $s_w$ ) πρέπει να ικανοποιεί τον παρακάτω περιορισμό:

- $s_w \leq \min \{20 \cdot d_{bl} ; h_c ; b_c ; 400 \text{ mm}\}$  όπου
- $d_{bl} = 18 \text{ mm}$  η διάμετρος των διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος
- $b_c = 500 \text{ mm}$  και  $h_c = 500 \text{ mm}$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος.
- Άρα  $s_w \leq \min \{20 \cdot d_{bl} ; h_c ; b_c ; 400 \text{ mm}\} = \min \{20 \cdot 18 ; 500 ; 500 ; 400 \text{ mm}\} = 360 \text{ mm}$

Επιλέγω επομένως, εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος, να τοποθετήσω δίσκελους συνδετήρες διαμέτρου  $8 \text{ mm}$  το κάθε σκέλος σε απόσταση  $360 \text{ mm}$  μεταξύ τους ( $\Phi 8 / 360$ ).

19. Υπολογισμός του απαιτούμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού για τον έλεγχο αντοχής σε τέμνουσα δύναμη εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος. Το ποσοστό αυτό ισούται με:

- $\rho_{w,req} = \max \{V_{Ed,C,x} ; V_{Ed,C,y}\} / (0,9 \cdot b_c \cdot h_c \cdot f_{wyd})$  όπου
- $V_{Ed,C,x} = 25,51 \text{ kN}$  και  $V_{Ed,C,y} = 40,16 \text{ KN}$  οι δράσεις τέμνουσες δυνάμεις για τους δυσμενέστερους σεισμικούς συνδυασμούς, όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (7)
- $b_c = 0,50 \text{ m}$  και  $h_c = 0,50 \text{ m}$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος
- $f_{wyd} = 434,78 \text{ MPa} = 434780 \text{ KPa}$  το όριο διαρροής του χάλυβα των συνδετήρων.
- Επομένως  $\rho_{w,req} = 40,16 / (0,9 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 500 \cdot 1000 / 1,15) = 0,00041$

20. Υπολογισμός και έλεγχος επάρκειας του παρεχόμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος. Το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού στις περιοχές αυτές υπολογίζεται ως εξής:  $\rho_{w,prov} = A_{sw} / (b_c \cdot s_w \cdot \sin a)$  όπου

- $A_{sw} = 1,00 \text{ cm}^2$  το συνολικό εμβαδόν του δίτητου συνδετήρα
- $b_c = 50 \text{ cm}$  το πλάτος του υποστυλώματος
- $s_w = 32 \text{ cm}$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων
- $\sin a = 1$  διότι  $a = 90^\circ$  (συνδετήρες κάθετα τοποθετημένοι στο μήκος του υποστυλώματος)
- Επομένως  $\rho_{w,prov} = 1,00 / (50 \cdot 36 \cdot \sin a) = 0,00056$

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού που υπολογίσαμε παραπάνω με το απαιτούμενο ποσοστό που υπολογίσαμε στο βήμα (19). Ισχύει  $\rho_{w,prov} > \rho_{w,req}$  επομένως ο τοποθετούμενος εγκάρσιος οπλισμός στις μη κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος επαρκεί έναντι διάτμησης και ο έλεγχος τελειώνει εδώ.

Συμπέρασμα: Εντός αποστάσεως  $l_{cr}=0,58\text{m}$  από τις παρειές της δοκού τοποθετούνται τετράτητοι συνδετήρες  $\phi 8/140\text{mm}$ , σε όλη της υπόλοιπη δοκό τοποθετούνται δίτητοι συνδετήρες  $\phi 8/360\text{mm}$ .

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες όπλισης του παραπάνω υποστυλώματος παρουσιάζονται αναλυτικά στο σχήμα 6.9 της επόμενης ενότητας.

## 5.4.5 Διαστασιολόγηση τοιχωμάτων

### 5.4.5.1 Διαστασιολόγηση έναντι κάμψης και θλίψης σε ΟΚΑ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα τοιχώματα υπόκεινται σε ένα συνδυασμό θλίψης και κάμψης. Επομένως η διαστασιολόγηση τους θα γίνει με βάση τον παραπάνω συνδυασμό φόρτισης. Σε αντίθεση όμως με τη χαμηλή κατηγορία πλαστιμότητας (ΚΠΧ), όπου η διαστασιολόγηση των τοιχωμάτων έγινε αποκλειστικά με βάση τις διατάξεις του ΕΚ-2, στη μέση κατηγορία πλαστιμότητας η διαστασιολόγηση θα πρέπει να ικανοποιεί, εκτός των διατάξεων του ΕΚ-2, και τις απαιτήσεις της §5.4 του ΕΚ-8. Η πορεία της διαστασιολόγησης των υποστυλωμάτων επομένως, σύμφωνα με τα παραπάνω, θα παρουσιαστεί αναλυτικά στα παρακάτω βήματα:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών ροπής ( $M_{ed}$ ) και αξονικής ( $N_{ed}$ ) που καταπονούν τα τοιχία από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης η οποία πραγματοποιήθηκε στο SAP2000 όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες.
2. Έλεγχος γεωμετρικών περιορισμών. Το πάχος του κορμού του τοιχίου ( $b_w$ ) θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από την ελάχιστη τιμή ( $b_{w,min}$ ) που δίνεται στην §5.4.1.2.3(1) 
$$b_{w,min} = \max\{0,15 ; h_s / 20\}$$
3. Εύρεση του μήκους κρίσιμης περιοχής του τοιχίου. Σύμφωνα με την §5.4.3.4.2(6) σε απόσταση  $l_c$  από τα ελεύθερα άκρα του τοιχίου δημιουργούνται δυο περισφιγμένα στοιχειά (κρυφοκολώνες). 
$$l_c = \max\{0,15 \cdot l_w ; 1,5 \cdot b_w ; \text{μηκος όπου } \varepsilon_c > 0,2\%\}$$

4. Έλεγχος διατάξεων για τα ενισχυμένα άκρα του τοιχίου (κρυφοκολώνες). Σύμφωνα με την §5.4.3.4.2(10) το ελάχιστο πάχος της κρίσιμης περιοχής του τοιχίου ( $b_{w0}$ ) εξαρτάται απ το μήκος της κρίσιμης ζώνης του τοιχίου ( $l_c$ ) ως εξής:

– Αν  $l_c \leq \max\{2 \cdot b_w; l_w / 5\}$  τότε  $b_{w0} \geq \max\{200; h_w / 15\}$

– Αν  $l_c > \max\{2 \cdot b_w; l_w / 5\}$  τότε  $b_{w0} \geq \max\{200; h_w / 10\}$

Υπολογισμός οπλισμού κορμού τοιχίου. Επιλέγεται πλέγμα με διάμετρο ράβδων  $d_{bv}$  ανά  $s_v$  έτσι ώστε να ικανοποιεί τη συνθήκη της §9.6.2(3) ΕΚ-2 η οποία ορίζει μέγιστη τιμή  $s_{v,max} = \min(3 \cdot b_w; 400mm)$ . Υπολογίζεται το συνολικό εμβαδό (και στις δυο παρειές)  $A_{v,prov} = A_{h,prov}$  και το ποσοστό  $\rho_{v,prov} = \rho_{h,prov} = A_v / (1m \cdot b_{w0})$  του κατακόρυφου και του οριζοντίου οπλισμού του πλέγματος αντίστοιχα.

5. Έλεγχος κατακόρυφου οπλισμού πλέγματος έναντι ελαχίστων και μεγίστων. Γίνεται έλεγχος ώστε το ποσοστό του κατακόρυφου οπλισμού του πλέγματος  $\rho_{v,prov}$  να μην είναι μικρότερο του  $\rho_{v,min} = 0,2\%$  και μεγαλύτερο του  $\rho_{v,max} = 4\%$  όπως ορίζονται στην §9.6.2(1) ΕΚ-2.

7. Έλεγχος οριζοντίου οπλισμού πλέγματος έναντι ελαχίστων και μεγίστων. Γίνεται έλεγχος ώστε το ποσοστό του οριζοντίου οπλισμού του πλέγματος  $\rho_{h,prov}$  να μην είναι μικρότερο του  $\rho_{h,min} = \max(0,1\%; 0,25 \cdot \rho_v)$  και μεγαλύτερο του  $\rho_{h,max} = 4\%$  όπως ορίζονται στην §9.6.3(1) ΕΚ-2. Ακόμα, γίνεται έλεγχος ώστε η απόσταση μεταξύ των οριζοντίων ράβδων του πλέγματος να μην υπερβαίνει τη μέγιστη τιμή  $s_{h,max} = 400mm$  όπως ορίζεται στην §9.6.3(2).

6. Υπολογισμός διαμήκους οπλισμού ενισχυμένων άκρων (κρυφοκολώνων). Ο υπολογισμός ξεκάνει με τον έλεγχο του ανοιγμένου αξονικού φορτίου της διατομής  $v_d = N_{Ed}^{bot} / (b_w \cdot l_w \cdot f_{cd})$  το οποίο δεν θα πρέπει να ξεπερνά την μέγιστη τιμή  $v_{d,max} = 0,40$  σύμφωνα με την §5.4.3.4.1(2).

7. Έλεγχος λυγηρότητας και εύρεση ροπής σχεδιασμού. Σύμφωνα με την §5.4.2.4(4)P ένα κύριο σεισμικό τοίχωμα θα θεωρείται λιγυρό όταν ο λόγος του ύψους προς το μήκος του είναι μεγαλύτερος του 2. Τότε:

– Αν  $h_w / l_w \leq 2$  το τοίχιο θα διαστασιολογείται κανονικά για την ροπή  $M_{Ed}$ .

– Αν  $h_w / l_w > 2$  σύμφωνα με την §5.4.2.4(5) το διάγραμμα κοπτικών ροπών σχεδιασμού κατά το ύψος του τοιχώματος πρέπει να προκύπτει από την περιβάλλουσα ροπών κάμψεως της ανάλυσης, με κατακόρυφη μετατόπιση (μετατόπιση της εφελκυστικής δύναμης). Η περιβάλλουσα των ροπών κάμψης δημιουργείται ως εξής:

– Υπολογισμός του διαγράμματος ροπών από το ηλεκτρονικό λογισμικό

– Χάραξη του ευθύγραμμου τμήματος AB που ενώνει τις τιμές της ροπής στη στάθμη της πάκτωσης του τοιχίου (A) και στο ανώτερο άκρο του (B).

– Χάραξη ευθείας ε ώστε να είναι παράλληλη με το AB σε απόσταση  $a_1$  κατά την διεύθυνση του άξονα του τοιχίου. Έτσι δημιουργείται το ευθύγραμμο τμήμα ΓΔ, όπου το (Γ) ορίζεται από την τομή της (ε) με το τμήμα  $a_1$  και το (Δ) απ την τομή της (ε) με την προέκταση του τμήματος που παριστάνει την τιμή της ροπής στο ανώτερο άκρο του τοιχίου.

– Ορισμός της περιβάλλουσας από τα σημεία (A),(Γ),(Δ)



8. Υπολογισμός απαιτούμενου διαμήκους οπλισμού ενισχυμένων άκρων (κρυφοκολώνων) για τον δυσμενέστερο συνδυασμό φόρτισης μέσω νομογραφημάτων αλληλεπίδρασης θλίψης-κάμψης ως εξής:

- Υπολογισμός ανοιγμένης ροπής  $\mu_d$  και αξονικής σχεδιασμού  $\nu_d$  από τους τύπους:

$$\nu_d = \frac{N_{Ed}}{b_w \cdot h_w \cdot f_{cd}} \text{ και } \mu_d = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot h_w^2 \cdot f_{cd}}$$

όπου:  $b_w$  είναι το πλάτος του τοιχίου,  $h$  είναι το ύψος του τοιχίου και  $f_{cd}$  είναι η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος.

- Εύρεση του συνολικού γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού  $\omega_{tot}$  από το νομογράφημα αλληλεπίδρασης θλίψης-κάμψης βάσει των  $\mu_d$ ,  $\nu_d$
- Υπολογισμός του συνολικού απαιτούμενου οπλισμού σε κάθε κρυφοκολώνα  $A_{s1} = A_{s2}$  από τον τύπο:

$$A_{s,1} = A_{s,2} = \omega_{tot} \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

όπου:  $b, h, f_{cd}$  όπως πριν και  $f_{yd}$  είναι η τάση διαρροής σχεδιασμού του οπλισμού και  $d=0,9l_w$ .

9. Έλεγχος έναντι ελαχίστου και μεγίστου οπλισμού ενισχυμένων άκρων (κρυφοκολώνων). Γίνεται έλεγχος ώστε ο απαιτούμενος οπλισμός σε κάθε κρυφοκολώνα να μην είναι μικρότερος του ελάχιστου  $A_{s,min} = \rho_{min} \cdot l_c \cdot b_w = 0,005 \cdot l_c \cdot b_w$  όπως ορίζεται στην την §5.4.3.4.2(8) και μεγαλύτερος του μεγίστου  $A_{s,max} = \rho_{max} \cdot l_c \cdot b_w = 0,04 \cdot l_c \cdot b_w$  όπως ορίζεται στην την §5.4.3.2.2(1)P. Αλλιώς τοποθετείται ο ελάχιστος ή ο μέγιστος οπλισμός αντίστοιχα.

10. Έλεγχος απόστασης μεταξύ των διαμηκών ράβδων οπλισμού των ενισχυμένων άκρων. Απουσας κάποιας διάταξης στον ευρωκώδικα που να περιορίζει την απόσταση μεταξύ των διαμηκών οπλισμών, χρησιμοποιείται αυτή του ΕΑΚ2000 η οποία προβλέπει μέγιστη απόσταση έως 200mm. Γίνεται χρήση της διάταξης του ΕΑΚ2000 διότι αν προχωρήσει η διαστασιολόγηση χωρίς αυτόν τον περιορισμό θα συναντηθούν δυσκολίες κατά τον έλεγχο σε περίσφιξη των ενισχυμένων άκρων και θα πρέπει να γίνει τότε πύκνωση του τοποθετούμενου οπλισμού.

11. Τελικός έλεγχος αντοχής της διατομής. Περιλαμβάνει εύρεση της ροπής αντοχής της διατομής λαμβάνοντας υπ όψιν τόσο τον διαμήκη οπλισμό των ενισχυμένων άκρων (κρυφοκολώνων) όσο και τον κατακόρυφο οπλισμό του πλέγματος του κορμού όπως ορίζεται στην §5.4.3.4.1(3)P. Η ροπή αντοχής θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη της ροπής σχεδιασμού  $M_{Ed}$  όπως αυτή ορίζεται στο βήμα (9) της παρούσης ενότητας.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί παραδείγμα στο οποίο θα γίνει αναλυτική διαστασιολόγηση ενός τοιχίου του τοιχωματικού κτηρίου με βάση τα παραπάνω βήματα. Με τον ίδιο τρόπο θα γίνει η διαστασιολόγηση και των υπολοίπων τοιχίων η οποία παρουσιάζεται στο παράρτημα με τη μορφή πίνακα (πίνακας Π.5.Β.19).

### 5.4.5.1.1 Παράδειγμα διαστασιολόγησης τοιχώματος έναντι κάμψης και θλίψης στην ΟΚΑ

Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί το τοιχίο W1-B του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτό των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών (έπειτα από τον υπολογισμό της περιβάλλουσας των

ροπών σχεδιασμού). Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα διαστασιολόγησης της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών ροπής ( $M_{ed}$ ) και αξονικής ( $N_{ed}$ ) που καταπονούν τα τοιχία από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης η οποία πραγματοποιήθηκε στο SAP2000 όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες. Σύμφωνα με τα σχήματα Π.5.Α.40 και Π.5.Α.41 στο τοιχίο του παραδείγματος εμφανίζονται τα εξής εντατικά μεγέθη:

$$- N_{Ed}^{bot} = -837,71 \text{ kN}$$

$$- M_{Ed}^{bot} = 1418,74 \text{ kNm}$$

2. Έλεγχος γεωμετρικών περιορισμών. Το πάχος του κορμού του τοιχίου ( $b_w$ ) θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από την ελάχιστη τιμή ( $b_{w,min}$ ) που δίνεται στην §5.4.1.2.3

$$b_w = 0,3m > b_{w,min} = \max\{0,15 ; h_s / 20\} = \max\{0,15 ; 3,5 / 20\} = 0,175m$$

3. Εύρεση του μήκους κρίσιμης περιοχής του τοιχίου. Σύμφωνα με την §5.4.3.4.1(6) σε απόσταση  $l_c$  από τα ελεύθερα άκρα του τοιχίου δημιουργούνται δυο περισφιγμένα στοιχειά (κρυφοκολώνες).

$$l_c = \max\{0,15 \cdot l_w ; 1,5 \cdot b_w ; \text{μηκος όπου } \varepsilon_c > 0,2\%\} = \max\{0,15 \cdot 3,5 ; 1,5 \cdot 0,3\} = 0,53m$$

4. Έλεγχος διατάξεων για τα ενισχυμένα άκρα του τοιχίου (κρυφοκολώνες). Σύμφωνα με την §5.4.3.4.2(10) το ελάχιστο πάχος της κρίσιμης περιοχής του τοιχίου ( $b_{w0}$ ) εξαρτάται απ το μήκος της κρίσιμης ζώνης του τοιχίου ( $l_c$ ):

$$l_c = 0,53m \leq \max\{2 \cdot b_w ; l_w / 5\} = \max\{2 \cdot 0,3 ; 3,5 / 5\} = 0,7m$$

$$\text{Άρα: } b_w = 300mm \geq \max\{200 ; h_w / 15\} = \max\{200 ; 3500 / 15\} = 233mm$$

5. Υπολογισμός οπλισμού κορμού τοιχίου. Επιλέγεται πλέγμα με διάμετρο ράβδων  $d_{bv}=12mm$  ανά  $s_v=200mm$  σε κάθε παρεία και υπολογίζεται το συνολικό εμβαδό:

$$A_{v,prov} = A_{h,prov} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 1,2^2}{4} \cdot \frac{1000}{200} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 1,2^2}{4} \cdot 5 = 11,3 \text{ cm}^2 \text{ ανά m}$$

και το ποσοστό του κατακόρυφου και του οριζοντίου οπλισμού του πλέγματος αντίστοιχα:

$$\rho_{v,prov} = \rho_{h,prov} = \frac{A_v}{1m \cdot b_{w0}} = \frac{11,3cm^2}{100cm \cdot 30cm} = 0,0038 = 0,38\%$$

6. Έλεγχος κατακόρυφου οπλισμού πλέγματος έναντι ελαχίστων και μεγίστων. Γίνεται έλεγχος ώστε το ποσοστό του κατακόρυφου οπλισμού του πλέγματος  $\rho_{v,prov}$  να μην είναι μικρότερο του  $\rho_{v,min}=0,2\%$  και μεγαλύτερο του  $\rho_{v,max}=4\%$  όπως ορίζονται στην §9.6.2(1) ΕΚ-2:

$$- 0,2\% \leq \rho_{v,prov} = 0,38\% \leq 4\%$$

Ακόμα, γίνεται έλεγχος ώστε η απόσταση μεταξύ των κατακόρυφων ράβδων του πλέγματος να μην υπερβαίνει τη μέγιστη τιμή όπως ορίζεται στην §9.6.2(3):

$$- s_v = 200mm < s_{v,max} = \min(3 \cdot b_w ; 400mm) = \min(3 \cdot 300 ; 400mm) = 400mm$$

Συνεπώς ικανοποιούνται και οι δυο έλεγχοι.

7. Έλεγχος οριζοντίου οπλισμού πλέγματος έναντι ελαχίστων και μεγίστων. Γίνεται έλεγχος ώστε το ποσοστό του οριζοντίου οπλισμού του πλέγματος  $\rho_{h,prov}$  να μην είναι μικρότερο του  $\rho_{h,min} = \max(0,1\% ; 0,25 \cdot \rho_v)$  και μεγαλύτερο του  $\rho_{v,max}=4\%$  όπως ορίζονται στην §9.6.3(1) ΕΚ-2:

$$- \max(0,1\%;0,25 \cdot \rho_v) = \max(0,1\%;0,25 \cdot 0,38\%) = 0,1\% \leq \rho_{h,prov} = 0,38\% \leq 4\%$$

Ακόμα, γίνεται έλεγχος ώστε η απόσταση μεταξύ των οριζοντίων ράβδων του πλέγματος να μην υπερβαίνει τη μέγιστη τιμή  $s_{h,max} = 400mm$  όπως ορίζεται στην §9.6.3(2):

$$- s_h = 200mm < s_{h,max} = 400mm$$

Συνεπώς ικανοποιούνται και οι δυο έλεγχοι.

8. Υπολογισμός διαμήκους οπλισμού ενισχυμένων άκρων (κρυφοκολώνων). Ο υπολογισμός ξεκάνει με τον έλεγχο του ανοιγμένου αξονικού φορτίου της διατομής  $v_d = N_{Ed}^{bot} / (b_w \cdot l_w \cdot f_{cd})$  το οποίο δεν θα πρέπει να ξεπερνά την μέγιστη τιμή  $v_{d,max} = 0,40$ :

$$- v_d = \frac{N_{Ed}^{bot}}{b_w \cdot l_w \cdot f_{cd}} = \frac{-837,71kN}{0,3m \cdot 3,5m \cdot 0,85 \cdot 25MPa / 1,5} = \frac{-837,71kN}{0,3m \cdot 3,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,0563$$

$$|v_d| = 0,0563 < v_{d,max} = 0,40$$

Συνεπώς ο έλεγχος ικανοποιείται.

9. Έλεγχος λυγηρότητας και εύρεση ροπής σχεδιασμού. Σύμφωνα με την §5.4.2.4(4)P ένα κύριο σεισμικό τοίχωμα θα θεωρείται λιγυρό όταν ο λόγος του ύψους προς το μήκος του είναι μεγαλύτερος του 2. Τότε:

$$- h_w/l_w = 17,5m/3,5m = 5 > 2$$

Αρα το τοίχιο είναι λιγυρό και θα πρέπει να διαστασιολογηθεί βάσει της περιβάλλουσας των ροπών η οποία υπολογίζεται όπως αναλύθηκε στην παραπάνω ενότητα και φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

10. Υπολογισμός απαιτούμενου διαμήκους οπλισμού ενισχυμένων άκρων (κρυφοκολώνων) για τον δυσμενέστερο συνδυασμό φόρτισης μέσω νομογραφημάτων αλληλεπίδρασης θλίψης-κάμψης ως εξής:

- Υπολογισμός ανοιγμένης ροπής  $\mu_d$  και αξονικής σχεδιασμού  $v_d$  από τους τύπους:

$$v_d = \frac{N_{Ed}^{bot}}{b_w \cdot h_w \cdot f_{cd}} = -0,0563$$

$$\mu_d = \frac{M_{Ed}^{bot}}{b_w \cdot h_w^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2093,5kNm}{0,3m \cdot 3,5^2m \cdot 0,85 \cdot 25MPa / 1,5} = \frac{2093,5kNm}{0,3m \cdot 3,5^2m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,0496$$

όπου:  $b_w$  είναι το πλάτος του τοιχίου,  $h$  είναι το ύψος του τοιχίου και  $f_{cd}$  είναι η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος.

- Εύρεση του συνολικού γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού  $\omega_{tot}$  από το νομογράφημα αλληλεπίδρασης θλίψης-κάμψης βάσει των  $\mu_d$ ,  $v_d$ :

$$\omega_{tot} = 0,06$$

- Υπολογισμός του συνολικού απαιτούμενου οπλισμού σε κάθε κρυφοκολώνα  $A_{s1} = A_{s2}$  από τον τύπο:

$$A_{s,1} = A_{s,2} = \omega_{tot} \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,06 \cdot 30cm \cdot 0,9 \cdot 350cm \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} = 18,47cm^2$$

11. Έλεγχος έναντι ελαχίστου και μεγίστου οπλισμού ενισχυμένων άκρων (κρυφοκολώνων).  
Γίνεται έλεγχος ώστε ο απαιτούμενος οπλισμός σε κάθε κρυφοκολώνα να μην είναι μικρότερος του ελάχιστου  $A_{s,min} = \rho_{min} \cdot l_c \cdot b_w = 0,005 \cdot l_c \cdot b_w$  όπως ορίζεται στην την §5.4.3.4.2(8) και μεγαλύτερος του μεγίστου  $A_{s,max} = \rho_{max} \cdot l_c \cdot b_w = 0,04 \cdot l_c \cdot b_w$  όπως ορίζεται στην την §5.4.3.2.2(1)P:

– Τοποθετούνται 8φ18 σε κάθε κρυφοκολώνα με εμβαδόν:

$$A_{s,prov} = 8 \cdot \frac{\pi \cdot 1,8^2}{3,14} = 20,32cm^2$$

$$A_{s,min} = 0,005 \cdot 53cm \cdot 30cm = 7,88cm^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot 53cm \cdot 30cm = 63cm^2$$

Συνεπώς ο έλεγχος ικανοποιείται.

12. Έλεγχος απόστασης μεταξύ των διαμηκών ράβδων οπλισμού των ενισχυμένων άκρων.  
Απουσας κάποιας διάταξης στον ευρωκώδικα που να περιορίζει την απόσταση μεταξύ των διαμηκών οπλισμών, χρησιμοποιείται αυτή του ΕΑΚ2000 η οποία προβλέπει μέγιστη απόσταση έως 200mm:

$$- s = \frac{530 - 2 \cdot 35}{8/2 - 1} mm = 152mm < 200mm$$

Συνεπώς ο έλεγχος ικανοποιείται.

13. Τελικός έλεγχος αντοχής της διατομής. Περιλαμβάνει εύρεση της ροπής αντοχής της διατομής λαμβάνοντας υπ όψιν τόσο τον διαμήκη οπλισμό των ενισχυμένων άκρων (κρυφοκολώνων) όσο και τον κατακόρυφο οπλισμό του πλέγματος του κορμού όπως ορίζεται στην §5.4.3.4.1(3)P. Έπειτα από αρκετές δοκιμές στο Excel πρόεκυψε η παρακάτω λύση:

- Θεωρώ αστοχία της θλιβόμενης ζώνης σκυροδέματος  $\epsilon_{c2} = -0,0035$  και παραμόρφωση κατώτερης στάθμης οπλισμού  $\epsilon_{c1} = 0,0184$ .  
– Σχεδιασμός διαγράμματος παραμορφώσεων της διατομής. Η θέση του ουδετέρου άξονα είναι σε απόσταση  $x = 550mm$  από την άνω ίνα της διατομής. Η παραμόρφωση στη στάθμη κάθε οπλισμού  $\epsilon_{si}$  είναι:

Στρώση οπλ.	Απόσταση $y_i$ από άνω ίνα (mm)	Παραμόρφωση
17	51	-0,00318
16	193	-0,00227
15	337	-0,00136
14	479	-0,00045
13	550	0,00000
12	850	0,00191
11	1150	0,00382

10	1450	0,00572
9	1750	0,00763
8	2050	0,00954
7	2350	0,01145
6	2650	0,01336
5	2950	0,01527
4	3021	0,01572
3	3163	0,01662
2	3307	0,01754
1	3449	0,01844

\*Με μπλε χρώμα αναγράφονται οι οπλισμοί των κρυφοκολώνων.

- Υπολογισμός της θλιπτικής δύναμης του σκυροδέματος  $F_{cd}$ .  
Λαμβάνοντας απλοποιημένο ορθογωνικό διάγραμμα σκυροδέματος ισχύει:  
 $F_{cd} = -b(0,8x)f_{cd} = -30 \cdot 0,8 \cdot 55 \cdot 0,85 \cdot 25 / 1,5 = -1870,73 \text{ kN}$   
η οποία ασκείται σε απόσταση  $0,4x=20,76\text{cm}$  από την άνω ίνα της διατομής.

- Υπολογισμός της παραμόρφωσης που αντιστοιχεί στη διαρροή του χάλυβα των οπλισμών:  $\varepsilon_{yd} = \frac{F_{yd}}{E} = \frac{500 / 1,15 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}} = 0,00217$

- Υπολογισμός δυνάμεων οπλισμών.  $F_{sd,i} = A_{s,i} \cdot \sigma_{sd,i}$

Για τον υπολογισμό της τάσης του οπλισμού  $\sigma_{sd,i}$  γίνεται σύγκριση της παραμόρφωσης του οπλισμού με την παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη διαρροή του:

-Στάθμη οπλ. 17:  $|\varepsilon_{s,17}| = 0,00318 > \varepsilon_{yd} = 0,00217$

$$F_{sd,17} = A_{s,i} \cdot f_{yd} = -5,089 \text{ cm}^2 \cdot 500 / 1,15 \text{ MPa} = -2212,8 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \text{ cm}^2 = -221,28 \text{ kN}$$

-Στάθμη οπλ. 16:  $|\varepsilon_{s,16}| = 0,00227 > \varepsilon_{yd} = 0,00217$

$$F_{sd,16} = A_{s,i} \cdot f_{yd} = -5,089 \text{ cm}^2 \cdot 500 / 1,15 \text{ MPa} = -2212,8 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \text{ cm}^2 = -221,28 \text{ kN}$$

-Στάθμη οπλ. 15:  $|\varepsilon_{s,15}| = 0,00136 < \varepsilon_{yd} = 0,00217$

$$F_{sd,15} = A_s \cdot \varepsilon_{s,15} \cdot E = 5,089 \text{ cm}^2 \cdot (-0,00136) \cdot 200000 \text{ MPa} = -1380,5 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \text{ cm}^2 = -138,05 \text{ kN}$$

-Στάθμη οπλ. 14:  $|\varepsilon_{s,14}| = 0,00045 < \varepsilon_{yd} = 0,00217$

$$F_{sd,14} = A_s \cdot \varepsilon_{s,14} \cdot E = 5,089 \text{ cm}^2 \cdot (-0,00045) \cdot 200000 \text{ MPa} = -461,1 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \text{ cm}^2 = -46,11 \text{ kN}$$

-Στάθμη οπλ. 13:  $\varepsilon_{s,13} = 0,000001 < \varepsilon_{yd} = 0,00217$

$$F_{sd,13} = A_s \cdot \varepsilon_{s,13} \cdot E = 2,26 \text{ cm}^2 \cdot 0,000001 \cdot 200000 \text{ MPa} = 69,5 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \text{ cm}^2 = 0,0695 \text{ kN}$$

-Στάθμη οπλ. 12:  $\varepsilon_{s,12} = 0,00191 < \varepsilon_{yd} = 0,00217$

$$F_{sd,12} = A_s \cdot \varepsilon_{s,12} \cdot E = 2,26 \text{ cm}^2 \cdot 0,00191 \cdot 200000 \text{ MPa} = 862,6 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \text{ cm}^2 = 86,26 \text{ kN}$$

-Στάθμη οπλ. 11 έως 5 :  $\varepsilon_{s,i} > \varepsilon_{yd} = 0,00217$

$$F_{sd,5-11} = A_s \cdot f_{yd} = 2,26 \text{ cm}^2 \cdot 500 / 1,15 \text{ MPa} = 983,45 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \text{ cm}^2 = 98,345 \text{ kN}$$

-Στάθμη οπλ. 4 έως 1 :  $\varepsilon_{s,i} > \varepsilon_{yd} = 0,00217$

$$F_{sd,1-4} = A_s \cdot f_{yd} = 5,089 \text{ cm}^2 \cdot 500 / 1,15 \text{ MPa} = 2212,8 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \text{ cm}^2 = 221,28 \text{ kN}$$

- Έλεγχος ισοδυναμίας εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.

$$N_{ed} = F_{cd} + \sum F_{sd,i} \Rightarrow N_{ed} = F_{cd} + F_{sd,1-23} \Rightarrow$$

$$-837,71 \text{ kN} = -837,71 \text{ kN}$$

Συνεπώς υπάρχει ισοδυναμία εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.

- Υπολογισμός της ροπής αντοχής ( $M_{Rd}$ ) τη στιγμή της αστοχίας της διατομής.

Ως σημείο αναφοράς επιλέγω το κέντρο βάρους της διατομής.

$$M_{Rd} = |F_{cd}| \cdot (h/2 - 0,4x) + \sum_{i=14}^{17} |F_{sd,i}| \cdot (h/2 - y_i) - \sum_{i=10}^{13} F_{sd,i} \cdot (h/2 - y_i) + \sum_{i=1}^8 F_{sd,i} \cdot (y_i - h/2)$$

$$M_{Rd} = 5279,56 \text{ kNm}$$

- Έλεγχος ασφαλείας:  $M_{Rd} = 5279,56 \text{ kNm} > M_{ed} = 2093,5 \text{ kNm}$

Συνεπώς το τοίχιο επαρκεί και η διαστασιολόγηση τελειώνει.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του παραπάνω τοιχώματος εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.10 του επόμενου κεφαλαίου.

### 5.4.5.2 Διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης σε Ο.Κ.Α

Η διαστασιολόγηση του τοιχώματος έναντι διάτμησης για το τοιχωματικό κτήριο περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών λόγω αξονικής ( $N_{ed}$ ) και τέμνουσας ( $V_{ed}$ ) από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης η οποία πραγματοποιήθηκε στο SAP2000 όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες.

2. Υπολογισμός της τέμνουσας σχεδιασμού  $V_{ET}^{bot}$ . Η τιμή της προκύπτει από το γινόμενο των τιμών της τέμνουσας στη βάση του τοιχίου κάθε ορόφου που υπολογίστηκε στο βήμα (1) επί τον συντελεστή  $\varepsilon=1,50$ .
3. Υπολογισμός κρίσιμου ύψους τοιχώματος. Σύμφωνα με την §5.4.3.4.2(1) Το ύψος της κρίσιμης περιοχής  $h_{cr}$  πάνω από την βάση του τοιχώματος μπορεί να εκτιμηθεί ως εξής:  $h_{cr} = \max[l_w; h_w / 6]$ . Το οποίο όμως δεν πρέπει να ξεπερνά την μέγιστη τιμή  $h_{cr,max} = \min[2 \cdot l_w; h_s]$  για  $n \leq 6$  ορόφους και  $h_{cr,max} = \max[2 \cdot l_w; 2 \cdot h_s]$  για  $n \geq 7$  ορόφους, όπου  $h_s$  το ύψος του ορόφου.
4. Έλεγχος διατομής εντος κρίσιμου ύψους. Υπολογίζεται η μέγιστη τέμνουσα που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο  $V_{Rd,max}$  όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων από την §6.2.3(3) του ΕΚ-2. Σύμφωνα με αυτήν:

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta) \text{ ή}$$

$$V_{Rd,max} = 0,18 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{f_{ck}}{250} \right) \right] \cdot f_{ck} \cdot \sin 2\theta \cdot b_w \cdot d \text{ όπου:}$$

- $\alpha_{cw} = 1$  ένας συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την εντατική κατάσταση στη θλιβόμενη διαγώνιο, η συνιστώμενη τιμή του οποίου δίνεται στο Εθνικό προσάρτημα,
- $z$  ο μοχλοβραχίονας της διατομής σε ένα στοιχείο σταθερού ύψους, ο οποίος αντιστοιχεί στην καμπτική ροπή που δρα στο στοιχείο. Στο σχεδιασμό έναντι διάτμησης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος χωρίς αξονικό φορτίο, μπορεί να ληφθεί για το μοχλοβραχίονα η προσεγγιστική τιμή  $z = 0,9d$ .
- $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος
- $\nu_1$  ένας δείκτης μείωσης της αντοχής για σκυρόδεμα ρηγματωμένο λόγω διάτμησης,

$$\text{η συνιστώμενη τιμή του οποίου είναι ίση με } \nu = 0,6 \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$$

Στο τέλος του βήματος 3 γίνεται σύγκριση της  $V_{Rd,max}$  με την  $V_{ET}^{bot}$ . Αν  $V_{Rd,max} \leq V_{ET}^{bot}$  τότε οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος δεν επαρκούν και επιβάλλεται αλλαγή διατομής. Αν  $V_{Rd,max} \geq V_{ET}^{bot}$  τότε οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος επαρκούν και ακολουθεί το βήμα 5.

5. Υπολογισμός απαιτούμενου εγκάρσιου οπλισμού εντος κρίσιμου ύψους. Υπολογισμός απαιτούμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού από τον τύπο:  $\rho_{h,req} = V_{ET}^{bot} / (0,8 \cdot b_w \cdot l_w \cdot f_{ywd})$ . Υπολογισμός του ποσοστού του οριζόντιου οπλισμού του τοποθετούμενου πλέγματος από τον τύπο:  $\rho_{h,prov} = A_{sw} / (b_w \cdot s_w)$ , όπου  $A_{sw}$  είναι το εμβαδόν των δυο σκελών του συνδετήρα και  $s_w$  είναι η απόσταση μεταξύ δυο συνδετήρων.

Στο τέλος του βήματος (5) γίνεται σύγκριση του με την  $\rho_{h,prov}$  με το  $\rho_{h,req}$ . Αν  $\rho_{h,req} \geq \rho_{h,prov}$  τότε επιβάλλεται ύπωση των συνδετήρων ή αύξηση της διατομής τους. Αν  $\rho_{h,req} \leq \rho_{h,prov}$  τότε ο οπλισμός επαρκεί και ακολουθεί το βήμα (6).

6. Έλεγχος διατομής εκτός κρίσιμου ύψους. Η μέγιστη τέμνουσα που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο  $V_{Rd,max}$  όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων η οποία ορίστηκε στο βήμα (4) συγκρίνεται με της τέμνουσα σχεδιασμού σε ύψος ίσο με το κρίσιμο  $V_{ET,cr}^{bot}$ . Αν  $V_{Rd,max} \leq V_{ET,cr}^{bot}$  τότε οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος δεν επαρκούν και επιβάλλεται αλλαγή διατομής. Αν  $V_{Rd,max} \geq V_{ET,cr}^{bot}$  τότε οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος επαρκούν και ακολουθεί το βήμα (7).
7. Υπολογισμός απαιτούμενου εγκάρσιου οπλισμού εκτός κρίσιμου ύψους. Υπολογισμός απαιτούμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού από τον τύπο:  $\rho_{h,req} = V_{ET,cr}^{bot} / (0,8 \cdot b_w \cdot l_w \cdot f_{ywd})$ . Υπολογισμός του ποσοστού του οριζόντιου οπλισμού του τοποθετούμενου πλέγματος από τον τύπο:  $\rho_{h,prov} = A_{sw} / (b_w \cdot s_w)$ , όπου  $A_{sw}$  είναι το εμβαδόν των δυο σκελών του συνδετήρα και  $s_w$  είναι η απόσταση μεταξύ δυο συνδετήρων.  
Στο τέλος του βήματος (5) γίνεται σύγκριση του με την  $\rho_{h,prov}$  με το  $\rho_{h,req}$ . Αν  $\rho_{h,req} \geq \rho_{h,prov}$  τότε επιβάλλεται ύπωση των συνδετήρων ή αύξηση της διατομής τους. Αν  $\rho_{h,req} \leq \rho_{h,prov}$  τότε ο οπλισμός επαρκεί και ακολουθεί το βήμα (8).

#### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ.

8. Επιλογή τύπου συνδετήρα για την περίσφιγξη. Το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος των συνδετήρων περίσφιγξης για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας είναι ίσο με  $d_{bw} = \max \{ 6 \text{ mm} ; d_{bl} / 4 \}$ , όπου  $d_{bl}$  το πάχος των τοποθετούμενων διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος.
9. Επιλογή τοποθετούμενου οπλισμού περίσφιγξης. Επιλέγεται εξ' αρχής η διάμετρος των συνδετήρων και η απόσταση στην απόσταση που θα τοποθετηθούν.
10. Υπολογισμός των διαστάσεων του περισφιγμένου πυρήνα σκυροδέματος. Υπολογίζεται το μήκος ( $l_{c0}$ ) και το πλάτος ( $b_0$ ) του περισφιγμένου πυρήνα ως εξής:
- $$l_{c0} = l_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \frac{d_{bw}}{2} \text{ και } b_0 = b_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \frac{d_{bw}}{2}$$
11. Υπολογισμός απαιτούμενου ογκομετρικού ποσοστού συνδετήρων περίσφιγξης στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Υπολογίζεται, σύμφωνα με την §5.4.3.4.1(4), ως εξής:

$$\omega_{wd,req} = (30 \cdot \mu_\phi \cdot (v_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{syd} \cdot \frac{b_w}{b_0} - 0,035) / a \text{ όπου}$$

- $\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1$  όπου  $q_0$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς της κατασκευής για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας
- $v_d$  η τιμή της ανηγμένης αξονικής δύναμης από τον τύπο  $v_d = \frac{N_{Ed}}{b_w \cdot l_c \cdot f_{cd}}$
- $\omega_v$  το μηχανικό ποσοστό του κατακόρυφου οπλισμού του κορμού από τον τύπο  $\omega_v = \rho_v \cdot \frac{f_{yd,v}}{f_{cd}}$
- $\varepsilon_{syd}$  η ανηγμένη παραμόρφωση στο σημείο διαρροής του χάλυβα



- $b_w$  το πλάτος της διατομής του τοιχίου
- $b_0$  από βήμα (10)
- $\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s$  ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιγξης
- $a_s = \left(1 - \frac{s_w}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s_w}{2 \cdot l_{c0}}\right)$  όπου  $s_w$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων περίσφιγξης,  $b_0$  και  $l_{c0}$  από βήμα (10)
- $a_n = 1 - \left[ \frac{b_0}{(n_h - 1) \cdot l_{c0}} + \frac{l_{c0}}{(n_b - 1) \cdot b_0} \right] / 3$  για ορθογωνικούς συνδετήρες όπου  $n_b$  ο αριθμός των σκελών του συνδετήρα που είναι παράλληλοι με το πλάτος της διατομής και  $n_h$  ο αριθμός των σκελών του συνδετήρα που είναι παράλληλοι με το μήκος της διατομής και  $b_0$  και  $l_{c0}$  από βήμα (10).

Στο τέλος του βήματος γίνεται σύγκριση του απαιτούμενου ογκομετρικού ποσοστού οπλισμού περίσφιγξης με τον ελάχιστο απαιτούμενο το οποίο για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας (§5.4.3.2.2(9)) είναι ίσο με 0,08. Το τελικό απαιτούμενο ογκομετρικό ποσοστό είναι η μέγιστη από αυτές τις δύο τιμές δηλαδή  $\omega_{wd,req} = \max \{ \omega_{wd} ; 0,08 \}$ .

## 12. Έλεγχος του τοποθετούμενου μηχανικού ογκομετρικού ποσοστού οπλισμών περίσφιγξης.

Ο υπολογισμός του ποσοστού αυτού γίνεται με τον οπλισμό που επιλέχθηκε στο βήμα (9) και δίνεται απ' τον τύπο:

$$\omega_{wd,prov} = V_0 \cdot f_{yd} / (V_c \cdot f_{cd})$$

όπου:

- $V_0$  ο συνολικός όγκος του οπλισμού περίσφιγξης ο οποίος με τη σειρά του ισούται με  $V_0 = L_{wd} \cdot A_{sw} / s_w$
- $L_{wd} = n_b \cdot b_0 + n_h \cdot h_0$  το συνολικό μήκος αναπτύγματος του εγκάρσιου οπλισμού
- $A_{sw}$  το εμβαδόν της διατομής του ενός σκέλους του συνδετήρα
- $s_w$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων
- $V_c = b_0 \cdot h_0$  ο όγκος του πυρήνα σκυροδέματος
- $b_0$  και  $h_0$  υπολογίστηκαν στο βήμα (10)
- $f_{yd}$  και  $f_{cd}$  το όριο διαρροής του οπλισμού και η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος αντίστοιχα.

Στο τέλος του βήματος αυτού γίνεται σύγκριση της τιμής του τοποθετούμενου ογκομετρικού ποσοστού που υπολογίσαμε με την τελική απαιτούμενη τιμή που υπολογίσαμε στο προηγούμενο βήμα ( $\omega_{wd,τελ}$ ). Εάν  $\omega_{wd,prov} \geq \omega_{wd,req}$  τότε ο τοποθετούμενος οπλισμός περίσφιγξης επαρκεί και η διαστασιολόγηση τελειώνει. Σε αντίθετη περίπτωση, απαιτείται πύκνωση του τοποθετούμενου εγκάρσιου οπλισμού ή αύξηση της διατομής του και επανάληψη του ελέγχου.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί παραδείγμα στο οποίο θα γίνει αναλυτική διαστασιολόγηση ενός τοιχίου του τοιχωματικού κτηρίου με βάση τα παραπάνω βήματα. Με τον ίδιο τρόπο θα

γίνει η διαστασιολόγηση και των υπολοίπων τοιχίων η οποία παρουσιάζεται στο παράρτημα με τη μορφή πίνακα (πίνακας Π.5.Β.20).

### 5.4.5.2.1 Παράδειγμα διαστασιολόγησης τοιχώματος έναντι διάτμησης σε ΟΚΑ

Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί το τοιχίο W1-IS του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτό των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα διαστασιολόγησης της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Υπολογισμός των εντατικών μεγεθών τέμνουσας ( $V_{ed}$ ) και αξονικής ( $N_{ed}$ ) που καταπονούν τα τοιχία από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης η οποία πραγματοποιήθηκε στο SAP2000 όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες. Σύμφωνα με τα σχήματα Π.5.Α.41 και Π.5.Α.42 το τοιχίο του παραδείγματος εμφανίζονται τα εξής εντατικά μεγέθη:

$$- N_{Ed} = -1039,63 \text{ kN}$$

$$- V_{Ed} = 242,93 \text{ kN}$$

2. Υπολογισμός της τέμνουσας σχεδιασμού  $V_{ET}$ . Η τιμή της προκύπτει από το γινόμενο των τιμών της τέμνουσας στη βάση του τοιχίου κάθε ορόφου που υπολογίστηκε στο βήμα (1) επί τον συντελεστή  $\varepsilon=1,50$ :

$$- V_{ET} = \varepsilon \cdot V_{Ed} = 1,5 \cdot 242,93 \text{ kN} = 364,4 \text{ kN}$$

3. Υπολογισμός κρίσιμου ύψους τοιχώματος. Σύμφωνα με την §5.4.3.4.2(1) Το ύψος της κρίσιμης περιοχής  $h_{cr}$  πάνω από την βάση του τοιχώματος μπορεί να εκτιμηθεί ως εξής:

$$- h_{cr} = \max [l_w ; h_w / 6] = \max [3,5 ; 3,5 / 6] = 3,5 \text{ m}.$$

Το οποίο όμως δεν πρέπει να ξεπερνά την μέγιστη τιμή

$$- h_{cr,max} = \min [2 \cdot l_w ; h_s] = \min [2 \cdot 3,5 ; 3,5] = 3,5 \text{ m}$$

4. Έλεγχος διατομής εντός κρίσιμου ύψους. Υπολογίζεται η μέγιστη τέμνουσα που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο  $V_{Rd,max}$  όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων από την §6.2.3(3) του ΕΚ-2:

$$V_{Rd,max} = 0,18 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{f_{ck}}{250} \right) \right] \cdot f_{ck} \cdot \sin(2\theta) \cdot b_w \cdot d = 0,18 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{25}{250} \right) \right] \cdot 25 \cdot \sin \left( 2 \cdot 21,8 \cdot \frac{\pi}{180} \right) \cdot 300 \cdot 3500$$

$$V_{Rd,max} = 2932610 \text{ N} = 2932,61 \text{ kN}$$

$$\text{Έλεγχος: } V_{Rd,max} = 2932,61 \text{ kN} > V_{ET} = 364,4 \text{ kN}$$

Συμπέρασμα: Οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος επαρκούν, συνεπώς δεν χρειάζεται αλλαγή διατομής.

5. Υπολογισμός απαιτούμενου εγκάρσιου οπλισμού εντός κρίσιμου ύψους.

$$- \rho_{h,req} = \frac{V_{ET}}{0,8 \cdot b_w \cdot l_w \cdot f_{ywd}} = \frac{364,4 \text{ kN}}{0,8 \cdot 0,3 \text{ m} \cdot 3,5 \text{ m} \cdot 500 \text{ MPa} / 1,15}$$

$$\rho_{h,req} = \frac{364,4 \text{ kN}}{0,8 \cdot 0,3 \text{ m} \cdot 3,5 \text{ m} \cdot 500000 \text{ kPa} / 1,15} = 0,1\%$$

Υπολογισμός του ποσοστού του οριζόντιου οπλισμού του τοποθετούμενου πλέγματος από τον τύπο:

$$\rho_{h,prov} = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s_w} = \frac{2,26cm^2}{30cm \cdot 20cm} = 0,38\%$$

όπου  $A_{sw} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 1,2cm^2}{4}$  είναι το εμβαδόν των δυο σκελών του συνδετήρα και  $s_w$  είναι η απόσταση μεταξύ δυο συνδετήρων.

Ισχύει πως  $\rho_{h,req} \leq \rho_{h,prov}$  οπότε ο οπλισμός επαρκεί.

#### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ.

6. Επιλογή τύπου συνδετήρα για την περίσφιγξη. Το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος των συνδετήρων περίσφιγξης για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας είναι ίσο με  $d_{bw} = \max \{6 \text{ mm} ; 16/4\} = 6mm$

7. Επιλογή τοποθετούμενου οπλισμού περίσφιγξης. Επιλέγεται συνδετήρας φ10/60mm

8. Υπολογισμός των διαστάσεων του περισφιγμένου πυρήνα σκυροδέματος. Υπολογίζεται το μήκος ( $l_{c0}$ ) και το πλάτος ( $b_0$ ) του περισφιγμένου πυρήνα ως εξής:

$$l_{c0} = l_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \frac{d_{bw}}{2} = 530 - 2 \cdot 35 - 2 \cdot 10/2 = 450mm$$

$$b_0 = b_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \frac{d_{bw}}{2} = 300 - 2 \cdot 35 - 2 \cdot 10/2 = 220mm$$

9. Υπολογισμός απαιτούμενου ογκομετρικού ποσοστού συνδετήρων περίσφιγξης στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Υπολογίζεται, σύμφωνα με την §5.4.3.4.1(4), ως εξής:

$$\omega_{wd,req} = (30 \cdot \mu_\phi \cdot (v_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{syd} \cdot \frac{b_w}{b_0} - 0,035) / a \text{ όπου}$$

-  $\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 3 - 1 = 5$  όπου  $q_0 = 3$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς της κατασκευής για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας

-  $v_d$  η τιμή της ανηγμένης αξονικής δύναμης από τον τύπο:

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{b_w \cdot l_c \cdot f_{cd}} = \frac{-1039,63kN}{0,3m \cdot 0,53m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,15} = -0,466$$

-  $\omega_v$  το μηχανικό ποσοστό του κατακόρυφου οπλισμού του κορμού από τον τύπο

$$\omega_v = \rho_v \cdot \frac{f_{yd,v}}{f_{cd}} = 0,0129 \cdot \frac{500/1,15}{0,85 \cdot 25/1,5} = 0,40$$

-  $\varepsilon_{syd} = 0,00217$  η ανηγμένη παραμόρφωση στο σημείο διαρροής του χάλυβα

-  $b_w = 0,3m$  το πλάτος της διατομής του τοιχείου

-  $b_0 = 0,22m$  από βήμα (10)

-  $\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,49$  ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιγξης

-  $a_s = \left(1 - \frac{s_w}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s_w}{2 \cdot l_{c0}}\right) = \left(1 - \frac{70}{2 \cdot 220}\right) \cdot \left(1 - \frac{70}{2 \cdot 450}\right) = 0,81$  όπου  $s_w$  η

απόσταση μεταξύ των συνδετήρων περίσφιγξης

$$- a_n = 1 - \left[ \frac{b_0}{(n_h - 1) \cdot l_{c0}} + \frac{l_{c0}}{(n_b - 1) \cdot b_0} \right] / 3 = 1 - \left[ \frac{220}{(2 - 1) \cdot 450} + \frac{450}{(4 - 1) \cdot 220} \right] / 3 = 0,61$$

όπου  $n_b=5$  ο αριθμός των σκελών του συνδετήρα που είναι παράλληλοι με το πλάτος της διατομής και  $n_h=2$  ο αριθμός των σκελών του συνδετήρα που είναι παράλληλοι με το μήκος της διατομής.

Άρα:

$$\omega_{wd,req} = (30 \cdot \mu_\varphi \cdot (v_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{syd} \cdot \frac{b_w}{b_0} - 0,035) / a$$

$$\omega_{wd,req} = (30 \cdot 5 \cdot (0,466 + 0,40) \cdot 0,00217 \cdot \frac{0,3}{0,22} - 0,035) / 0,49 = 0,71$$

Το τελικό απαιτούμενο ογκομετρικό ποσοστό είναι:  $\omega_{wd,req} = \max \{ \omega_{wd} ; 0,08 \} = 0,71$

#### 10. Έλεγχος του τοποθετούμενου μηχανικού ογκομετρικού ποσοστού οπλισμών περίσφιξης.

Ο υπολογισμός του ποσοστού αυτού γίνεται με τον οπλισμό που επιλέχθηκε στο βήμα (9) και δίνεται απ' τον τύπο:

$$\omega_{wd,prov} = V_0 \cdot f_{yd} / (V_c \cdot f_{cd})$$

όπου:

-  $V_0$  ο συνολικός όγκος του οπλισμού περίσφιξης ο οποίος με τη σειρά του ισούται με

$$V_0 = L_{wd} \cdot A_{sw} / s_w = 1780mm \cdot 0,79 \cdot 100mm^2 / 60mm = 2330,02mm^3$$

-  $L_{wd} = n_b \cdot b_0 + n_h \cdot h_0 = 4 \cdot 0,22 + 2 \cdot 0,45 = 1,78m$  το συνολικό μήκος αναπτύγματος του εγκάρσιου οπλισμού

-  $A_{sw} = \pi \cdot \frac{1^2}{4} \cdot 0,79cm^2$  το εμβαδόν της διατομής του ενός σκέλους του συνδετήρα

-  $s_w = 60mm$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων

-  $V_c = l_{c0} \cdot b_0 = 450 \cdot 220 = 99000mm^3$  ο όγκος του πυρήνα σκυροδέματος

Άρα:

$$\omega_{wd,prov} = \frac{V_0 \cdot f_{yd}}{V_c \cdot f_{cd}} = \frac{2330,02 \cdot 500 / 1,15}{99000 \cdot 0,85 \cdot 25 / 1,5} = 0,72$$

Ισχύει  $\omega_{wd,prov} \geq \omega_{wd,req}$  οπότε ο τοποθετούμενος οπλισμός περίσφιξης επαρκεί.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του παραπάνω τοιχώματος εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.10 του επόμενου κεφαλαίου.

## 5.5 Διαστασιολόγηση για κατηγορία πλαστιμότητας υψηλή (ΚΠΥ)

### 5.5.1 Γενικά

Στην ενότητα αυτή (5.5) θα πραγματοποιηθεί λεπτομερής διαστασιολόγηση του πλαισίου 1, και των δύο κατασκευών, για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας (ΚΠΥ) σύμφωνα με την §5.5 του ΕΚ-8. Η πορεία της διαστασιολόγησης για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας

(όπως και στη μέση κατηγορία) είναι διαφορετική σε σχέση με τη χαμηλή κατηγορία πλαστιμότητας. Αρχικά θα πραγματοποιηθεί η διαστασιολόγηση έναντι κάμψης τόσο των δοκών όσο και των υποστυλωμάτων και στη συνέχεια η διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης για τις δοκούς και τα υποστυλώματα. Τέλος θα πραγματοποιηθεί η διαστασιολόγηση των τοιχωμάτων τόσο έναντι κάμψης όσο και έναντι διάτμησης.

## 5.5.2 Γεωμετρικοί περιορισμοί και υλικά για την ΚΠΥ

Σύμφωνα με την §5.5.1, για να πραγματοποιηθεί η μελέτη για αυτή την κατηγορία πλαστιμότητας, πρέπει πρώτα να ικανοποιούνται κάποιες απαιτήσεις υλικών και κάποιιοι γεωμετρικοί περιορισμοί. Πιο αναλυτικά:

### – Απαιτήσεις υλικών (§5.5.1.1)

1. Σε κύρια σεισμικά στοιχεία δεν θα χρησιμοποιείται σκυρόδεμα κατηγορίας χαμηλότερης από C20/25.
2. Σε κρίσιμες περιοχές των κύριων σεισμικών στοιχείων θα χρησιμοποιούνται αποκλειστικά ράβδοι με νευρώσεις με εξαίρεση τους κλειστούς και μονοσκελείς συνδετήρες.
3. Σε κρίσιμες περιοχές των κύριων σεισμικών στοιχείων θα χρησιμοποιείται χάλυβας οπλισμού κατηγορίας C του EN 1992-1-1:2004, Πίνακας C.1.

Παρατηρούμε ότι οι παραπάνω απαιτήσεις υλικών, σύμφωνα και με τις παραδοχές σχεδιασμού που έχουμε ήδη κάνει στην ενότητα 1.2, ικανοποιούνται επομένως προχωράμε στον έλεγχο ικανοποίησης των γεωμετρικών περιορισμών.

Σύμφωνα με την §5.5.1.2, τα στοιχεία των κατασκευών που μελετάμε πρέπει να ικανοποιούν ορισμένους γεωμετρικούς περιορισμούς. Πιο αναλυτικά:

### – Γεωμετρικοί περιορισμοί δοκών (§5.5.1.2.1)

1. Η (οριζόντια) εκκεντρότητα του άξονα δοκών σε σχέση με αυτόν του υποστυλώματος στο οποίο συμβάλλει θα είναι περιορισμένη ώστε να επιτρέπει σωστή μεταφορά των ανακυκλικών ροπών από μια κύρια σεισμική δοκό σε ένα υποστύλωμα.
2. Για να καλυφθεί η απαίτηση της (1), η (οριζόντια) απόσταση μεταξύ των αξόνων των δύο μελών πρέπει να περιορίζεται σε λιγότερο από  $b_c/4$ , όπου  $b_c/4 = 50/4 = 12,5\text{cm}$  είναι η μεγαλύτερη διάσταση διατομής του υποστυλώματος κάθετα στον διαμήκη άξονα της δοκού.
3. Για την εκμετάλλευση της ευνοϊκής επίδρασης της θλίψης (του σκυροδέματος) υποστυλωμάτων στην συνάφεια των οριζόντιων ράβδων που διέρχονται μέσα στον κόμβο, το πλάτος  $b_w$  μιας κύριας σεισμικής δοκού θα ικανοποιεί την ακόλουθη έκφραση:  $b_w \leq \min \{b_c + h_w; 2b_c\} = \min \{50 + 60; 2 \cdot 50\} = 100\text{ cm}$  όπου  $h_w$  είναι το ύψος της δοκού και  $b_c$  όπως ορίζεται στην (2) της παρούσας. Παρατηρούμε ότι πράγματι το πλάτος όλων των δοκών των κατασκευών μας είναι ίσο με  $b = 30\text{ cm}$  επομένως ο περιορισμός αυτός ικανοποιείται.
4. Το πλάτος των κύριων σεισμικών δοκών δε θα είναι μικρότερο από 200mm.
5. Ο λόγος πλάτος προς ύψος του κορμού κύριων σεισμικών δοκών θα ικανοποιεί την έκφραση 5.40b του EN 1992-1-1:2004.

Συνοψίζοντας λοιπόν καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ικανοποιούνται οι παραπάνω γεωμετρικοί περιορισμοί για τις δοκούς των δύο κτηρίων.

- Γεωμετρικοί περιορισμοί υποστυλωμάτων (§5.5.1.2.2)
  1. Εκτός εάν  $\theta \leq 0,1$  (§4.4.2.2(2)), οι διαστάσεις διατομής κύριων σεισμικών υποστυλωμάτων δεν πρέπει να είναι μικρότερες από το 1/10 της μεγαλύτερης απόστασης μεταξύ του σημείου καμψής και των άκρων του υποστυλώματος, για κάμψη μέσα σε επίπεδο παράλληλο προς την εξεταζόμενη διάσταση υποστυλώματος.
  2. Η ελάχιστη διάσταση διατομής των κύριων σεισμικών υποστυλωμάτων δε θα είναι μικρότερη από 250mm.
- Γεωμετρικοί περιορισμοί πλάστιμων τοιχωμάτων (§5.4.1.2.3)
  3. Το πάχος του κορμού,  $b_{wo}$  (m) πρέπει να ικανοποιεί την ακόλουθη έκφραση:  
$$b_{wo} \geq \max\{0,15 ; h_s / 20\} = \max\{0,15 ; 3,5 / 20\} = 0,175m$$
, όπου  $h_s$  είναι το καθαρό ύψος ορόφου σε μέτρα. Πράγματι το πάχος του κορμού όλων των τοιχωμάτων, και των δύο κατασκευών, είναι ίσο με  $b_w = 0,30m$  επομένως ο γεωμετρικός περιορισμός αυτός ικανοποιείται.
  4. Πρόσθετες απαιτήσεις εφαρμόζονται όσον αφορά το πάχος των περισφιγμένων στοιχείων άκρων των τοιχωμάτων, όπως ορίζονται στην 5.4.3.4.2(10). Πιο συγκεκριμένα:

### 5.5.3 Διαστασιολόγηση έναντι κάμψης σε ΟΚΑ

#### 5.5.3.1 Διαστασιολόγηση δοκών έναντι κάμψης σε ΟΚΑ

Η διαδικασία της διαστασιολόγησης των δοκών του πλαισίου 1 σε κάμψη για την οριακή κατάσταση αστοχίας και για τα δύο κτήρια αποτελείται από τα εξής βήματα:

##### 1. Υπολογισμός εντατικών μεγεθών:

Τα εντατικά μεγέθη με βάση τα οποία θα διαστασιολογήσουμε κάθε δοκό στην ενότητα αυτή προκύπτουν από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης που έγινε στην ενότητα 4.2 της παρούσης. Επιλέγεται η μέθοδος αυτή έναντι της μεθόδου ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης λόγω μεγαλύτερης ακρίβειας αποτελεσμάτων. Στα παρακάτω σχήματα (σχ. 5.1 και 5.2) παρουσιάζονται οι περιβάλλουσες των ροπών κάμψης που καταπονούν τις δοκούς τόσο του πλαισιακού όσο και του τοιχωματικού κτηρίου. Η περιβάλλουσα των ροπών κάμψης είναι ιδιαίτερα χρήσιμη διότι μας δείχνει, σε κάθε σημείο της δοκού, τη μέγιστη ροπή που μπορεί να εμφανιστεί λόγω του συνόλου των σεισμικών συνδυασμών. Έτσι έχουμε:

##### 2. Υπολογισμός του συνεργαζόμενου πλάτους:

Το συνεργαζόμενο πλάτος  $b_{eff}$  της δοκού το οποίο χρησιμοποιείται στους παρακάτω υπολογισμούς, έχει υπολογισθεί αναλυτικά στην ενότητα 3.2 της παρούσης.

##### 3. Υπολογισμός στατικού ύψους: $d = h - c_{nom} - \varphi_w - \varphi_l / 2$ όπου:

- $h$  το συνολικό ύψος της δοκού το οποίο είναι δεδομένο
- $c_{nom}$  η επικάλυψη των οπλισμών όπως υπολογίστηκε στην ενότητα 5.2 της παρούσης

- $\varphi_w$  η διάμετρος των χρησιμοποιούμενων εγκάρσιων συνδετήρων
  - $\varphi_l$  η διάμετρος των χρησιμοποιούμενων διαμήκων ράβδων οπλισμού.
4. Έλεγχος γεωμετρικών απαιτήσεων δοκού:

Στο βήμα αυτό εξετάζουμε εάν ικανοποιούνται οι γεωμετρικοί περιορισμοί για κάθε δοκό που διαστασιολογούμε όπως ορίσαμε στην ενότητα 5.5.1, σύμφωνα με την §5.5.1.2.1 του ΕΚ-8 . Οι περιορισμοί αυτοί σχετίζονται κυρίως με το πλάτος ( $b_w$ ) των κυρίων σεισμικών δοκών.

5. Έλεγχος ελαχίστου επιτρεπόμενου διαμήκους οπλισμού:

Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε το ελάχιστο επιτρεπόμενο ποσοστό διαμήκους οπλισμού της δοκού ως εξής:  $\rho_{\min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}$  όπου

- $f_{ctm}$  η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος και
- $f_{yk}$  το ονομαστικό όριο διαρροής του χάλυβα που χρησιμοποιούμε.

Στη συνέχεια υπολογίζουμε και την ελάχιστη επιτρεπόμενη ποσότητα διαμήκους οπλισμού ως εξής:  $A_{s \min} = \rho_{\min} \cdot b_w \cdot d$  όπου

- $\rho_{\min}$  υπολογίστηκε παραπάνω
  - $b_w$  το πλάτος της δοκού και
  - $d$  το στατικό ύψος της δοκού.
6. Υπολογισμός ανηγμένης ροπής και αξονικής σχεδιασμού:

Η ανηγμένη ροπή σχεδιασμού είναι ίση με:  $\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$

και η ανηγμένη αξονική σχεδιασμού είναι ίση με:  $\nu_{Ed} = \frac{N_{Eds}}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$  όπου:

- $M_{Eds}$  και  $N_{Eds}$  η δρώσα ροπή και αξονική σχεδιασμού αντίστοιχα όπως υπολογίσθηκαν στο βήμα (1)
  - $b = b_{eff}$  για λειτουργία πλακοδοκού και  $b = b_w$  για λειτουργία δοκού
  - $d$  το στατικό ύψος της δοκού όπως υπολογίστηκε παραπάνω
  - $f_{cd}$  η αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος που στην περίπτωση μας είναι ίση με  $f_{cd} = 25 / 1,5 = 14,17 MPa$  για σκυρόδεμα C25/30.
7. Υπολογισμός γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού:  $\omega_1 = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{Eds}}) + \nu_{Ed}$

8. Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού:  $A_{s1} = \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$  όπου

$f_{yd} = 500 / 1,15 = 434,78 MPa$  το όριο διαρροής σχεδιασμού για χάλυβα οπλισμού B500c

9. Σύγκριση απαιτούμενου οπλισμού με τον ελάχιστο απαιτούμενο. Σε περίπτωση που ο υπολογιζόμενος απαιτούμενος οπλισμός είναι μικρότερος του ελαχίστου τοποθετείται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός.
10. Επιλογή συνολικού τοποθετούμενου οπλισμού. Η τοποθέτηση του οπλισμού γίνεται με τη μορφή στρώσεων ράβδων συγκεκριμένης διαμέτρου, όχι μικρότερης των 8mm, έτσι ώστε το συνολικό εμβαδόν αυτού να υπερβαίνει την παραπάνω απαιτούμενη ποσότητα αλλά όχι τη μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα οπλισμού. Η μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα οπλισμού σε μία διατομή υπολογίζεται στο επόμενο βήμα ως εξής:
11. Έλεγχος μεγίστου ποσοστού οπλισμού. Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό οπλισμού το οποίο ισούται με:

$$\rho_{\max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_{\varphi} \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \text{ όπου}$$

- $\rho'$  το γεωμετρικό ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού στο σημείο ελέγχου
- $\mu_{\varphi} = 2 \cdot q_0 - 1$  όπου  $q_0$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς
- $\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s}$  όπου  $E_s$  το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα
- $f_{yd}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα και
- $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος.

12. Υπολογισμός μέγιστης επιτρεπόμενης ποσότητας οπλισμού.

$$A_{s,\max} = \rho_{\max} \cdot b_w \cdot d \text{ όπου}$$

- $\rho_{\max}$  το μέγιστο ποσοστό οπλισμού όπως υπολογίστηκε στο βήμα (11)
- $b_w$  το πλάτος της δοκού και
- $d$  το στατικό ύψος της δοκού.

13. Έλεγχος μέγιστης επιτρεπόμενης διαμέτρου διαμήκους οπλισμού:

Συμφωνα με την §5.6.2.2(2) για την αποφυγή αστοχίας συνάφειας, η διάμετρος των διαμήκων ράβδων δοκού που διέρχονται μέσω κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων,  $d_{bL}$ , θα περιορίζεται σύμφωνα με τις ακόλουθες εκφράσεις:

α) για εσωτερικούς κόμβους δοκών-υποστυλωμάτων:

$$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot \nu_d}{1 + 0,75k_D \cdot \rho' / \rho_{\max}} \quad (5.50a)$$

β) για εξωτερικούς κόμβους δοκών-υποστυλωμάτων:

$$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot (1 + 0,8 \cdot \nu_d) \quad (5.50b)$$

όπου

- $h_c$  είναι το πλάτος του υποστυλώματος παράλληλα προς τις ράβδους



- $f_{ctm}$  είναι η μέση τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος
- $f_{yd}$  είναι η τιμή σχεδιασμού της τάσης διαρροής χάλυβα
- $N_d$  είναι η ανηγμένη αξονική δύναμη σχεδιασμού στο υποστίλωμα, που λαμβάνεται με την ελάχιστη τιμή της για την σεισμική κατάσταση σχεδιασμού ( $N_d = N_{Ed}/f_{cd} \cdot A_c$ );
- $k_D$  είναι συντελεστής που εκφράζει την κατηγορία πλαστιμότητας, ίσος με 1 για ΚΠΥ και με 2/3 για ΚΠΜ
- $\rho'$  είναι το ποσοστό οπλισμού των θλιβόμενων ράβδων που διέρχονται από τον κόμβο
- $\rho_{max}$  είναι το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό εφελκυσμένου οπλισμού (βλέπε 5.4.3.1.2(4) και 5.5.3.1.3(4))
- $\gamma_{Rd}$  είναι ο συντελεστής αβεβαιότητας προσομοιώματος για την τιμή σχεδιασμού των αντοχών, που λαμβάνεται ίσος με 1,2 ή 1,0 αντίστοιχα για ΚΠΥ και ΚΠΜ (λόγω υπεραντοχής προερχόμενης από την σκλήρυνση λόγω παραμόρφωσης του διαμήκους οπλισμού της δοκού)

Στο τέλος του βήματος θα πρέπει να ελέγχεται αν οι οπλισμοί που τοποθετηθήκαν ικανοποιούν τους παραπάνω περιορισμούς.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν δύο παραδείγματα, ένα για το πλαίσιακό κτήριο και ένα για το τοιχωματικό, στα οποία θα γίνει αναλυτική διαστασιολόγηση δύο δοκών με βάση τα παραπάνω βήματα. Με τον ίδιο τρόπο θα γίνει η διαστασιολόγηση και των υπολοίπων δοκών και των δύο κτηρίων η οποία παρουσιάζεται στο παράρτημα με τη μορφή πινάκων (πίνακες Π.5.Β.21 και Π.5.Β.22).

### 5.5.3.1.1 Παράδειγμα διαστασιολόγησης δοκού πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης στη ΟΚΑ

Στο βήμα αυτό θα γίνει λεπτομερής διαστασιολόγηση μιας δοκού του πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας ακολουθώντας τα βήματα που αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα. Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί η δοκός Β-16Β του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτή των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα της παραπάνω ενότητας έχουμε:

#### 1. Υπολογισμός εντατικών μεγεθών:

Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε τις μέγιστες θετικές αλλά και τις μέγιστες αρνητικές τιμές των ροπών κάμψης στα δύο άκρα της δοκού αλλά και στο μέσο αυτής. Σύμφωνα με το σχήμα Π.5.Α.43 προκύπτουν τα εξής εντατικά μεγέθη:

$$\text{Αριστερό άκρο της δοκού: } M_{1a} = -136,69 \text{ KNm και } M_{1κ} = -58,78 \text{ KNm}$$

$$\text{Μέσο της δοκού: } M_{2a} = 33,67 \text{ KNm και } M_{1κ} = 69,33 \text{ KNm}$$

$$\text{Δεξί άκρο της δοκού: } M_{3a} = -99,12 \text{ KNm και } M_{3κ} = -30,66 \text{ KNm}$$

2. Υπολογισμός του συνεργαζόμενου πλάτους:

Για τη δοκό B16-B του πλαισίου 1 ισχύει  $b_{eff} = 1,08m$

3. Υπολογισμός στατικού ύψους:

- $d = h - c_{nom} - \varphi_w - \varphi_l / 2 = 500 - 35 - 8 - 16 / 2 = 551 \text{ mm} \approx 0,55m$  όπου:
- $h = 600 \text{ mm}$  το συνολικό ύψος της δοκού το οποίο είναι δεδομένο
- $c_{nom} = 35 \text{ mm}$  η επικάλυψη των οπλισμών όπως υπολογίσθηκε στην ενότητα 5.2
- $\varphi_w = 8 \text{ mm}$  η διάμετρος των χρησιμοποιούμενων εγκάρσιων συνδετήρων
- $\varphi_l = 12 \text{ mm}$  η διάμετρος των χρησιμοποιούμενων διαμήκων ράβδων οπλισμού.

4. Έλεγχος γεωμετρικών απαιτήσεων δοκού:

Ήδη στην ενότητα 5.5.1 αποδείξαμε ότι οι γεωμετρικοί περιορισμοί των δοκών που θέτει ο ΕΚ-8 ικανοποιούνται, επομένως το ίδιο ισχύει και για τη δοκό B16-B του παραδείγματός μας.

5. Έλεγχος ελαχίστου επιτρεπόμενου διαμήκους οπλισμού:

Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε το ελάχιστο επιτρεπόμενο ποσοστό διαμήκους οπλισμού της

δοκού ως εξής:  $\rho_{min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,5 \cdot \frac{2,6}{500} = 0,0026$  όπου

- $f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$  η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος και
- $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$  το ονομαστικό όριο διαρροής του χάλυβα που χρησιμοποιούμε.

Στη συνέχεια υπολογίζουμε και την ελάχιστη επιτρεπόμενη ποσότητα διαμήκους οπλισμού ως εξής:  $A_{s \text{ min}} = \rho_{min} \cdot b_w \cdot d = 0,0026 \cdot 30 \cdot 55 = 4,29 \text{ cm}^2$  όπου

- $\rho_{min} = 0,0026$  όπως υπολογίστηκε παραπάνω
- $b_w = 30 \text{ cm}$  το πλάτος της δοκού και
- $d = 55 \text{ cm}$  το στατικό ύψος της δοκού.

6. Υπολογισμός ανηγμένης ροπής και αξονικής σχεδιασμού:

Στο βήμα αυτό, για τα δύο άκρα της δοκού αλλά και για το μέσο αυτής, τόσο για τη θετική όσο και για την αρνητική τιμή της ροπής, υπολογίζουμε τις τιμές της ανηγμένης ροπής και της ανηγμένης αξονικής δύναμης. Όπως αναφέρθηκε στο βήμα (1) όμως, η αξονική δύναμη της δοκού είναι μηδενική οπότε, για λόγους ευκολίας, θα θεωρούμε ότι σε κάθε σημείο η τιμή της ανηγμένης αξονικής είναι ίση με μηδέν. Επομένως έχουμε:

$$\text{Για το αριστερό άκρο της δοκού άνω: } \mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{-136,69}{0,30 \cdot 0,55^2 \cdot 14,17 \cdot 1000} = 0,1061$$

$$\text{Για το αριστερό άκρο της δοκού κάτω: } \mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{-58,78}{1,08 \cdot 0,55^2 \cdot 14,17 \cdot 1000} = 0,00$$

$$\text{Για το μέσο της δοκού κάτω: } \mu_{E_{ds}} = \frac{M_{E_{ds}}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{69,33}{1,08 \cdot 0,55^2 \cdot 14,17 \cdot 1000} = 0,015$$

$$\text{Για το μέσο της δοκού άνω: } \mu_{E_{ds}} = \frac{M_{E_{ds}}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{33,67}{0,30 \cdot 0,55^2 \cdot 14,17 \cdot 1000} = 0,00$$

$$\text{Για το δεξί άκρο της δοκού άνω: } \mu_{E_{ds}} = \frac{M_{E_{ds}}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{-99,12}{0,30 \cdot 0,55^2 \cdot 14,17 \cdot 1000} = 0,0771$$

$$\text{Για το δεξί άκρο της δοκού κάτω: } \mu_{E_{ds}} = \frac{M_{E_{ds}}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{-30,66}{1,08 \cdot 0,55^2 \cdot 14,17 \cdot 1000} = 0,00$$

Σημείωση: Όπως παρατηρήθηκε στους παραπάνω υπολογισμούς, δεν έχει νόημα να υπολογίσουμε την τιμή της ανηγμένης ροπής σε σημεία ελέγχου που υπάρχει λειτουργία πλακοδοκού (κάτω) αλλά στο μοντέλο δεν εμφανίζονται καθόλου θετικές ροπές. Το ίδιο ισχύει και στα σημεία ελέγχου που υπάρχει λειτουργία ορθογωνικής διατομής (πάνω) αλλά δεν εμφανίζονται καθόλου αρνητικές ροπές. Στα σημεία αυτά επομένως θέτουμε την τιμή της ανηγμένης ροπής ίση με μηδέν και θα τοποθετήσουμε αργότερα τον ελάχιστο απαιτούμενο οπλισμό.

#### 7. Υπολογισμός γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού:

Για καθένα από τα παραπάνω σημεία, για τα οποία υπολογίσαμε την τιμή την ανηγμένης ροπής, θα υπολογίσουμε στο βήμα αυτό την τιμή του απαιτούμενου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού ως εξής:

$$\text{Για το αριστερό άκρο της δοκού άνω: } \omega_1 = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{E_{ds}}}) = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,1061}) = 0,1124$$

$$\text{Για το αριστερό άκρο της δοκού κάτω: } \omega_1 = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{E_{ds}}}) = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,00}) = 0,00$$

$$\text{Για το μέσο της δοκού κάτω: } \omega_1 = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{E_{ds}}}) = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,015}) = 0,0151$$

$$\text{Για το μέσο της δοκού άνω: } \omega_1 = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{E_{ds}}}) = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,00}) = 0,00$$

$$\text{Για το δεξί άκρο της δοκού άνω: } \omega_1 = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{E_{ds}}}) = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,0771}) = 0,0803$$

$$\text{Για το δεξί άκρο της δοκού κάτω: } \omega_1 = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{E_{ds}}}) = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,00}) = 0,00$$

#### 8. Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού και σύγκριση αυτού οπλισμού με τον ελάχιστο απαιτούμενο:

Στο βήμα αυτό, για καθένα από τα παραπάνω σημεία ελέγχου, υπολογίζουμε την απαιτούμενη ποσότητα οπλισμού με βάση τα γεωμετρικά ποσοστά οπλισμού που υπολογίσαμε παραπάνω. Στη συνέχεια συγκρίνουμε τις απαιτούμενες ποσότητες οπλισμού κάθε σημείου με τις ελάχιστες επιτρεπόμενες και τοποθετούμε τελικά τη μέγιστη από αυτές. Πιο αναλυτικά:

Για το αριστερό άκρο της δοκού άνω:

$$A_s = \min \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \min \left\{ 4,29 ; 0,1124 \cdot 30 \cdot 55 \cdot \frac{14,17}{434,78} \right\} = 6,04 \text{ cm}^2$$

Για το δεξί άκρο της δοκού κάτω:

$$A_s = \min \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b_{eff} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \min \{ 4,29 ; 0,00 \} = 4,29 \text{ cm}^2$$

Για το μέσο της δοκού κάτω:

$$A_s = \min \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b_{eff} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \min \left\{ 4,29 ; 0,015 \cdot 108 \cdot 55 \cdot \frac{14,17}{434,78} \right\} = 4,29 \text{ cm}^2$$

Για το μέσο της δοκού άνω:

$$A_s = \min \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \min \{ 4,29 ; 0,00 \} = 4,29 \text{ cm}^2$$

Για το δεξί άκρο της δοκού άνω:

$$A_s = \min \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \min \left\{ 4,29 ; 0,0803 \cdot 30 \cdot 55 \cdot \frac{14,17}{434,78} \right\} = 4,32 \text{ cm}^2$$

Για το αριστερό άκρο της δοκού κάτω:

$$A_s = \min \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b_{eff} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \min \{ 4,29 ; 0,00 \} = 4,29 \text{ cm}^2$$

9. Επιλογή συνολικού τοποθετούμενου οπλισμού. Η τοποθέτηση του οπλισμού, στα παραπάνω σημεία ελέγχου, γίνεται με τη μορφή στρώσεων ράβδων συγκεκριμένης διαμέτρου έτσι ώστε το συνολικό εμβαδόν αυτού να υπερβαίνει την απαιτούμενη ποσότητα που υπολογίσαμε στο προηγούμενο βήμα. Επομένως στα σημεία αυτά τοποθετούμε:

Στο το αριστερό άκρο της δοκού άνω: 4Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 6,15 \text{ cm}^2$

Στο το αριστερό άκρο της δοκού κάτω: 3Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$

Στο το μέσο της δοκού κάτω: 3Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$

Στο το μέσο της δοκού άνω: 3Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$

Στο το δεξί άκρο της δοκού άνω: 3Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$

Στο το δεξί άκρο της δοκού κάτω: 3Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$

10. Έλεγχος μεγίστου ποσοστού οπλισμού. Στο βήμα αυτό, για κάθε ένα από τα τρία σημεία της δοκού (αριστερή στήριξη, μέσο και δεξιά στήριξη), υπολογίζουμε το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό οπλισμού. Πιο αναλυτικά:

Για την αριστερή στήριξη της δοκού:

$$\rho_{\max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_{\varphi} \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0026 + \frac{0,0018 \cdot 14,17}{10,7 \cdot (434,78 / 200000) \cdot 434,78} = 0,0051 \text{ όπου}$$

- $\rho' = 0,0026$  το γεωμετρικό ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού στο σημείο ελέγχου
- $\mu_{\varphi} = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 5,85 - 1 = 10,7$  όπου  $q_0 = 5,85$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς
- $\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s}$  όπου  $E_s = 200000 \text{ MPa}$  το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα
- $f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα και
- $f_{cd} = 14,17 \text{ MPa}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος.

Για το μέσο της δοκού:

$$\rho_{\max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_{\varphi} \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0026 + \frac{0,0018 \cdot 14,17}{10,7 \cdot (434,78 / 200000) \cdot 434,78} = 0,0051 \text{ όπου}$$

- $\rho' = 0,0026$  το γεωμετρικό ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού στο σημείο ελέγχου
- $\mu_{\varphi} = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 5,85 - 1 = 10,7$  όπου  $q_0 = 5,85$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς
- $\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s}$  όπου  $E_s = 200000 \text{ MPa}$  το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα
- $f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα και
- $f_{cd} = 14,17 \text{ MPa}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος.

Για τη δεξιά στήριξη της δοκού:

$$\rho_{\max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_{\varphi} \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0026 + \frac{0,0018 \cdot 14,17}{10,7 \cdot (434,78 / 200000) \cdot 434,78} = 0,0051 \text{ όπου}$$

- $\rho' = 0,0026$  το γεωμετρικό ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού στο σημείο ελέγχου
- $\mu_{\varphi} = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 5,85 - 1 = 10,7$  όπου  $q_0 = 5,85$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς
- $\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s}$  όπου  $E_s = 200000 \text{ MPa}$  το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα
- $f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα και

–  $f_{cd} = 14,17 \text{ MPa}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος.

11. Υπολογισμός μέγιστης επιτρεπόμενης ποσότητας οπλισμού. Στο βήμα αυτό, με βάση τα μέγιστα επιτρεπόμενα ποσοστά οπλισμού που υπολογίσαμε παραπάνω, θα υπολογίσουμε τη μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα οπλισμού ως εξής:

Για την αριστερή στήριξη της δοκού:  $A_{s,max} = \rho_{max} \cdot b_w \cdot d = 0,0051 \cdot 30 \cdot 55 = 8,45 \text{ cm}^2$

Για το μέσο της δοκού:  $A_{s,max} = \rho_{max} \cdot b_w \cdot d = 0,0051 \cdot 30 \cdot 55 = 8,45 \text{ cm}^2$

Για τη δεξιά στήριξη της δοκού:  $A_{s,max} = \rho_{max} \cdot b_w \cdot d = 0,0051 \cdot 30 \cdot 55 = 8,45 \text{ cm}^2$

Παρατηρούμε ότι καμία από τις τοποθετούμενες ποσότητες οπλισμού, που υπολογίσαμε στο βήμα (9), δεν υπερβαίνει τη μέγιστη επιτρεπόμενη επομένως ο έλεγχος αυτός ικανοποιείται και προχωράμε έτσι στο επόμενο βήμα.

12. Έλεγχος μέγιστης επιτρεπόμενης διαμέτρου διαμήκους οπλισμού:

Συμφωνα με την §5.6.2.2(2) του ΕΚ-8, για την αποφυγή αστοχίας συνάφειας η διάμετρος των τοποθετούμενων διαμήκων ράβδων δοκού που διέρχονται μέσω κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων,  $d_{bL}$ , θα περιορίζεται σύμφωνα με τους παρακάτω περιορισμούς. Επομένως για τους δύο κόμβους της δοκού θα πρέπει να ισχύουν τα παρακάτω:

- Κόμβος δοκού Β-16 με υποστώλιμα C-12 (εξωτερικός κόμβος):

$$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot (1 + 0,8 \cdot \nu_d) \Rightarrow$$

$$\frac{d_{bL}}{500} \leq \frac{7,5 \cdot 2,6}{1,20 \cdot 434,78} \cdot (1 + 0,8 \cdot 0,1722) \Rightarrow$$

$$d_{bL} \leq 23,20 \text{ mm}$$

- Κόμβος δοκού Β-16 με υποστώλιμα C-6 (εσωτερικός κόμβος):

$$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot \nu_d}{1 + 0,75 k_D \cdot \rho' / \rho_{max}} \Rightarrow$$

$$\frac{d_{bL}}{500} \leq \frac{7,5 \cdot 2,6}{1,20 \cdot 434,78} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot 0,2472}{1 + 0,750,67 \cdot 0,0028 / 0,0066} \Rightarrow$$

$$d_{bL} \leq 22,86 \text{ mm} \text{ όπου}$$

- $h_c = 500 \text{ mm}$  είναι το πλάτος του υποστυλώματος παράλληλα προς τις ράβδους
- $f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$  είναι η μέση τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος
- $f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$  είναι η τιμή σχεδιασμού της τάσης διαρροής χάλυβα

- $v_d = 0,1722$  και  $v_d = 0,2472$  είναι η ανηγμένη αξονική δύναμη σχεδιασμού των υποστυλωμάτων στα δύο άκρα της δοκού.
- $k_D = 1,00$  είναι ο συντελεστής που εκφράζει την κατηγορία πλαστιμότητας.
- $\rho' = 0,0028$  είναι το ποσοστό οπλισμού των θλιβόμενων ράβδων που διέρχονται από τον κόμβο
- $\rho_{\max} = 0,0066$
- $\gamma_{Rd} = 1,20$  για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας.

Παρατηρούμε στο σημείο αυτό ότι η διάμετρος των οπλισμών της δοκού του παραδείγματός μας που υπολογίστηκαν στο βήμα (9) ικανοποιεί τους παραπάνω περιορισμούς επομένως ο έλεγχος τελειώνει εδώ.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες της παραπάνω δοκού εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.11 του επόμενου κεφαλαίου.

### 5.5.3.1.2 Παράδειγμα διαστασιολόγησης δοκού τοιχωματικού κτηρίου έναντι κάμψης στη ΟΚΑ

Στο βήμα αυτό θα γίνει λεπτομερής διαστασιολόγηση μιας δοκού του τοιχωματικού κτηρίου έναντι κάμψης για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας (ΚΠΥ) ακολουθώντας τα βήματα που αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα. Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί η δοκός B-14B του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτή των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα της παραπάνω ενότητας έχουμε:

#### 1. Υπολογισμός εντατικών μεγεθών:

Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε τις μέγιστες θετικές αλλά και τις μέγιστες αρνητικές τιμές των ροπών κάμψης στα δύο άκρα της δοκού αλλά και στο μέσο αυτής. Σύμφωνα με το σχήμα Π.5.Α.44 προκύπτουν τα εξής εντατικά μεγέθη:

Αριστερό άκρο της δοκού:  $M_{1a} = -63,58 \text{ KNm}$

$$M_{1κ} = 0,0 \text{ KNm}$$

Μέσο της δοκού:  $M_{2a} = 0,0 \text{ KNm}$

$$M_{1κ} = 83,12 \text{ KNm}$$

Δεξί άκρο της δοκού:  $M_{3a} = -137,16 \text{ KNm}$

$$M_{3κ} = 0,0 \text{ KNm}$$

#### 2. Υπολογισμός του συνεργαζόμενου πλάτους:

Για τη δοκό B14-B του πλαισίου 1 ισχύει  $b_{eff} = 1,08m$  όπως υπολογίστηκε στην ενότητα 3.2 του παρόντος.

3. Υπολογισμός στατικού ύψους:

- $d = h - c_{nom} - \varphi_w - \varphi_l / 2 = 500 - 35 - 8 - 16 / 2 = 551 \text{ mm} \approx 0,55m$  όπου:
- $h = 600 \text{ mm}$  το συνολικό ύψος της δοκού το οποίο είναι δεδομένο
- $c_{nom} = 35 \text{ mm}$  η επικάλυψη των οπλισμών όπως υπολογίσθηκε στην ενότητα 5.2
- $\varphi_w = 8 \text{ mm}$  η διάμετρος των χρησιμοποιούμενων εγκάρσιων συνδετήρων
- $\varphi_l = 12 \text{ mm}$  η διάμετρος των χρησιμοποιούμενων διαμήκων ράβδων οπλισμού.

4. Έλεγχος γεωμετρικών απαιτήσεων δοκού:

Στο βήμα αυτό εξετάζουμε εάν ικανοποιούνται οι γεωμετρικοί περιορισμοί που ορίζονται στην §5.5.1.2.1 του ΕΚ-8. Πιο συγκεκριμένα το πλάτος της δοκού ( $b_w$ ) θα πρέπει να είναι μεταξύ της ελάχιστης ( $b_{w,min}$ ) και της μέγιστης ( $b_{w,max}$ ) επιτρεπόμενης τιμής:

$$b_{w,min} = 20 \text{ cm}$$

$$b_{w,max} = \min \{b_c + h_w; 2b_c\} = \min \{50 + 60; 2 \cdot 50\} = 100 \text{ cm} \text{ όπου}$$

- $h_w = 60 \text{ cm}$  είναι το ύψος της δοκού και
- $b_c = 50 \text{ cm}$  το πλάτος των υποστυλωμάτων.

Παρατηρούμε ότι πράγματι το πλάτος της δοκού του παραδείγματός μας είναι ίσο με  $b = 30 \text{ cm}$  επομένως οι περιορισμοί ικανοποιούνται.

5. Έλεγχος ελαχίστου επιτρεπόμενου διαμήκους οπλισμού:

Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε το ελάχιστο επιτρεπόμενο ποσοστό διαμήκους οπλισμού της δοκού ως εξής:  $\rho_{min} = 0,5 \cdot \frac{f_{cm}}{f_{yk}} = 0,5 \cdot \frac{2,6}{500} = 0,0026$  όπου

- $f_{cm} = 2,6 \text{ MPA}$  η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος και
- $f_{yk} = 500 \text{ MPA}$  το ονομαστικό όριο διαρροής του χάλυβα που χρησιμοποιούμε.

Στη συνέχεια υπολογίζουμε και την ελάχιστη επιτρεπόμενη ποσότητα διαμήκους οπλισμού ως εξής:  $A_{s,min} = \rho_{min} \cdot b_w \cdot d = 0,0026 \cdot 30 \cdot 55 = 4,29 \text{ cm}^2$  όπου

- $\rho_{min} = 0,0026$  όπως υπολογίστηκε παραπάνω
- $b_w = 30 \text{ cm}$  το πλάτος της δοκού και
- $d = 55 \text{ cm}$  το στατικό ύψος της δοκού.

6. Υπολογισμός ανηγμένης ροπής και αξονικής σχεδιασμού:

Στο βήμα αυτό, για τα δύο άκρα της δοκού αλλά και για το μέσο αυτής, τόσο για τη θετική όσο και για την αρνητική τιμή της ροπής υπολογίζουμε την τιμή της ανηγμένης ροπής:

Στο αριστερό άκρο της δοκού:



$$\mu_{E_{ds},\alpha\nu\omega} = \frac{M_{E_{ds}}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{-63,58}{0,30 \cdot 0,55^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 / 1,5} = 0,0495$$

$$\mu_{E_{ds},\kappa\alpha\tau\omega} = 0,0$$

Για το μέσο της δοκού κάτω:

$$\mu_{E_{ds},\alpha\nu\omega} = 0,0$$

$$\mu_{E_{ds},\kappa\alpha\tau\omega} = \frac{M_{E_{ds}}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{83,11}{0,30 \cdot 1,08^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 / 1,5} = 0,0179$$

Για το δεξί άκρο της δοκού:

$$\mu_{E_{ds},\alpha\nu\omega} = \frac{M_{E_{ds}}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{-137,16}{0,30 \cdot 0,55^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 / 1,5} = 0,1067$$

$$\mu_{E_{ds},\kappa\alpha\tau\omega} = 0,00$$

7. Υπολογισμός γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού:

Για καθένα από τα παραπάνω σημεία, για τα οποία υπολογίσαμε την τιμή την ανηγμένης ροπής, θα υπολογίσουμε στο βήμα αυτό την τιμή του απαιτούμενου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού ως εξής:

Για το αριστερό άκρο της δοκού:

$$\omega_{\alpha\nu\omega} = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{E_{ds}}}) = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,0495}) = 0,0507$$

$$\omega_{\kappa\alpha\tau\omega} = 0,0$$

Για το μέσο της δοκού:

$$\omega_{\alpha\nu\omega} = 0,0$$

$$\omega_{\kappa\alpha\tau\omega} = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{E_{ds}}}) = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,0179}) = 0,0181$$

Για το δεξί άκρο της δοκού:

$$\omega_{\alpha\nu\omega} = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{E_{ds}}}) = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,1067}) = 0,1131$$

$$\omega_{\kappa\alpha\tau\omega} = 0,0$$

8. Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού και σύγκριση αυτού οπλισμού με τον ελάχιστο απαιτούμενο:

Στο βήμα αυτό, για καθένα από τα παραπάνω σημεία ελέγχου, υπολογίζουμε την απαιτούμενη ποσότητα οπλισμού με βάση τα γεωμετρικά ποσοστά οπλισμού που

υπολογίσαμε παραπάνω. Στη συνέχεια συγκρίνουμε τις απαιτούμενες ποσότητες οπλισμού κάθε σημείου με τις ελάχιστες επιτρεπόμενες και τοποθετούμε τελικά τη μέγιστη από αυτές. Πιο αναλυτικά:

Για το αριστερό άκρο της δοκού:

$$A_{s,ανω} = \max \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \max \left\{ 4,29 ; 0,0507 \cdot 30 \cdot 55 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} \right\} = \max \{ 4,29 ; 2,73 \} = 4,29 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,κατω} = \max \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b_{eff} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \max \{ 4,29 ; 0,00 \} = 4,29 \text{ cm}^2$$

Για το μέσο της δοκού:

$$A_{s,ανω} = \max \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \max \{ 4,29 ; 0,00 \} = 4,29 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,κατω} = \max \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b_{eff} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \max \left\{ 4,29 ; 0,0181 \cdot 108 \cdot 55 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} \right\} = \max \{ 4,29 ; 3,51 \} = 4,29 \text{ cm}^2$$

Για το δεξί άκρο της δοκού:

$$A_{s,ανω} = \max \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \max \left\{ 4,29 ; 0,1131 \cdot 30 \cdot 55 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} \right\} = 6,08 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,κατω} = \max \left\{ 4,29 ; \omega_1 \cdot b_{eff} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right\} = \max \{ 4,29 ; 0,00 \} = 4,29 \text{ cm}^2$$

9. Επιλογή συνολικού τοποθετούμενου οπλισμού. Η τοποθέτηση του οπλισμού, στα παραπάνω σημεία ελέγχου, γίνεται με τη μορφή στρώσεων ράβδων συγκεκριμένης διαμέτρου έτσι ώστε το συνολικό εμβαδόν αυτού να υπερβαίνει την απαιτούμενη ποσότητα που υπολογίσαμε στο προηγούμενο βήμα. Επομένως στα σημεία αυτά τοποθετούμε:

Στο το αριστερό άκρο της δοκού:

Ανω: 3Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$

Κάτω: 3Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$

Στο το μέσο της δοκού:

Ανω: 3Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$

Κάτω: 3Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$

Στο το δεξί άκρο της δοκού:

Ανω: 4Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 6,16 \text{ cm}^2$

Κάτω: 3Φ14 με συνολικό εμβαδόν  $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$

10. Έλεγχος μεγίστου ποσοστού οπλισμού. Στο βήμα αυτό, για κάθε ένα από τα τρία σημεία της δοκού (αριστερή στήριξη, μέσο και δεξιά στήριξη), υπολογίζουμε το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό οπλισμού. Πιο αναλυτικά:

Για την αριστερή στήριξη της δοκού:

$$\rho_{\max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0028 + \frac{0,0018}{7,8 \cdot 0,00217} \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} = 0,0063 \text{ όπου}$$

- $\rho' = \frac{A_{s,\theta\lambda}}{b_w \cdot d} = 0,0028$  το γεωμετρικό ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού στο σημείο ελέγχου
- $\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 4,4 - 1 = 7,4$  όπου  $q_0 = 4,4$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς
- $\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{500 / 1,15}{200000} = 0,00217$  όπου  $E_s = 200000 \text{ MPa}$  το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα

Για το μέσο της δοκού:

$$\rho_{\max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0008 + \frac{0,0018}{7,4 \cdot 0,00217} \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} = 0,0042 \text{ όπου}$$

- $\rho' = \frac{A_{s,\theta\lambda}}{b_{eff} \cdot d} = 0,0008$  το γεωμετρικό ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού στο σημείο ελέγχου
- $\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 4,4 - 1 = 7,4$  όπου  $q_0 = 4,4$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς
- $\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{500 / 1,15}{200000} = 0,00217$  όπου  $E_s = 200000 \text{ MPa}$  το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα

Για τη δεξιά στήριξη της δοκού:

$$\rho_{\max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0028 + \frac{0,0018}{7,4 \cdot 0,00217} \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} = 0,0062 \text{ όπου}$$

- $\rho' = \frac{A_{s,\theta\lambda}}{b_w \cdot d} = 0,0028$  το γεωμετρικό ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού στο σημείο ελέγχου
- $\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 4,4 - 1 = 7,4$  όπου  $q_0 = 4,4$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς
- $\varepsilon_{s,y,d} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{500/1,15}{200000} = 0,00217$  όπου  $E_s = 200000 \text{ MPa}$  το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα

11. Υπολογισμός μέγιστης επιτρεπόμενης ποσότητας οπλισμού. Στο βήμα αυτό, με βάση τα μέγιστα επιτρεπόμενα ποσοστά οπλισμού που υπολογίσαμε παραπάνω, θα υπολογίσουμε τη μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα οπλισμού ως εξής:

Για την αριστερή στήριξη της δοκού:  $A_{s,\max} = \rho_{\max} \cdot b_w \cdot d = 0,0062 \cdot 30 \cdot 55 = 10,34 \text{ cm}^2$

Για το μέσο της δοκού:  $A_{s,\max} = \rho_{\max} \cdot b_w \cdot d = 0,0042 \cdot 30 \cdot 55 = 7,00 \text{ cm}^2$

Για τη δεξιά στήριξη της δοκού:  $A_{s,\max} = \rho_{\max} \cdot b_w \cdot d = 0,0062 \cdot 30 \cdot 55 = 10,34 \text{ cm}^2$

Παρατηρούμε ότι καμία από τις τοποθετούμενες ποσότητες οπλισμού, που υπολογίσαμε στο βήμα (9), δεν υπερβαίνει τη μέγιστη επιτρεπόμενη επομένως ο έλεγχος αυτός ικανοποιείται και προχωράμε έτσι στο επόμενο βήμα.

12. Έλεγχος μέγιστης επιτρεπόμενης διαμέτρου διαμήκους οπλισμού:

Σύμφωνα με την §5.6.2.2(2) του ΕΚ-8, για την αποφυγή αστοχίας συνάφειας η διάμετρος των τοποθετούμενων διαμήκων ράβδων δοκού που διέρχονται μέσω κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων,  $d_{bL}$ , θα περιορίζεται σύμφωνα με τους παρακάτω περιορισμούς. Επομένως για τους δύο κόμβους της δοκού θα πρέπει να ισχύουν τα παρακάτω:

- Κόμβος δοκού Β-14Β με υποστύλωμα C-7 (εξωτερικός κόμβος):

$$d_{bL,\max} = h_c \cdot \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot (1 + 0,8 \cdot \nu_d) = 20 \text{ mm}$$

- $h_c = 0,5 \text{ m}$  είναι το πλάτος του υποστυλώματος παράλληλα προς τις ράβδους
- $f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$  είναι η μέση τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος
- $f_{yd} = 500 \text{ MPa} / 1,15$  είναι η τιμή σχεδιασμού της τάσης διαρροής χάλυβα
- $\nu_d = \frac{N_{Ed}}{f_{cd} \cdot A_c} = \frac{750,7 \text{ kN}}{0,3 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m} \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = 0,212$  είναι η ανηγμένη αξονική δύναμη σχεδιασμού στο υποστύλωμα, που λαμβάνεται με την ελάχιστη τιμή της για την σεισμική κατάσταση σχεδιασμού
- $\gamma_{Rd} = 1,2$  είναι ο συντελεστής αβεβαιότητας προσομοιώματος για την τιμή σχεδιασμού των αντοχών λόγω υπεραντοχής προερχόμενης από την σκλήρυνση λόγω παραμόρφωσης του διαμήκους οπλισμού της δοκού για ΚΠΥ

- Κόμβος δοκού B-14B με τοιχίο W1-B (εσωτερικός κόμβος):

$$d_{bl,max} = h_c \cdot \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot v_d}{1 + 0,75 k_D \cdot \rho' / \rho_{max}} = 20mm$$

όπου

- $h_c=0,5m$  είναι το πλάτος του υποστυλώματος παράλληλα προς τις ράβδους
- $f_{ctm}=2,6MPa$  είναι η μέση τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος
- $f_{yd}=500MPa/1,15$  είναι η τιμή σχεδιασμού της τάσης διαρροής χάλυβα
- $v_d = \frac{N_{Ed}}{f_{cd} \cdot A_c} = \frac{1015,48kN}{3,5m \cdot 0,3m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,068$  είναι η ανηγμένη αξονική δύναμη σχεδιασμού στο υποστυλώμα, που λαμβάνεται με την ελάχιστη τιμή της για την σεισμική κατάσταση σχεδιασμού
- $k_D=2/3$  είναι συντελεστής που εκφράζει την κατηγορία πλαστιμότητας
- $\rho'=0,0028$  είναι το ποσοστό οπλισμού των θλιβόμενων ράβδων που διέρχονται από τον κόμβο
- $\rho_{max}=0,0062$  είναι το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό εφελκυσμένου οπλισμού (βλέπε 5.4.3.1.2(4) και 5.5.3.1.3(4))
- $\gamma_{Rd}=1,2$  είναι ο συντελεστής αβεβαιότητας προσομοιώματος για την τιμή σχεδιασμού των αντοχών λόγω υπεραντοχής προερχόμενης από την σκλήρυνση λόγω παραμόρφωσης του διαμήκους οπλισμού της δοκού για ΚΠΥ.

Συνεπώς οι οπλισμοί που τοποθετηθήκαν ικανοποιούν τους παραπάνω περιορισμούς.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες της παραπάνω δοκού εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.12 του επόμενου κεφαλαίου.

### 5.5.3.2 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων έναντι κάμψης και θλίψης σε ΟΚΑ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα υποστυλώματα και των δύο κατασκευών υπόκεινται σε ένα συνδυασμό θλίψης και διαξονικής κάμψης. Επομένως η διαστασιολόγησή τους θα γίνει με βάση τον παραπάνω συνδυασμό φόρτισης. Σε αντίθεση όμως με τη χαμηλή κατηγορία πλαστιμότητας (ΚΠΧ), όπου η διαστασιολόγηση των υποστυλωμάτων έγινε αποκλειστικά με βάση τις διατάξεις του ΕΚ-2, στην υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας (ΚΠΥ) η διαστασιολόγηση θα πρέπει να ικανοποιεί, εκτός των διατάξεων του ΕΚ-2 και τις απαιτήσεις ΕΚ-8. Η πορεία της διαστασιολόγησης των υποστυλωμάτων επομένως, σύμφωνα με τα παραπάνω, θα παρουσιαστεί αναλυτικά στα παρακάτω βήματα:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών. Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε τις τιμές της διαξονικής ροπής ( $M_{Edx}$  και  $M_{Edy}$ ) και της αξονικής δύναμης ( $N_{Ed}$ ), τόσο στην κορυφή όσο και στη βάση των υποστυλωμάτων, από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας η οποία πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό SAP2000, όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες.
2. Έλεγχος εξαίρεσης από ικανοτικό σχεδιασμό. Εξαιρούνται από τον ικανοτικό σχεδιασμό:

- Το δάμα πολυώροφων κτηρίων (§4.4.2.3(6)).
  - Το ισόγειο διώροφων κτηρίων όπου όλα τα υποστυλώματα έχουν  $v_d < 0,3$  (§5.5.3.3.3).
  - Τα υποστυλώματα κτηρίων στα οποία τα τοιχώματα παραλαμβάνουν περισσότερο από το 50% της τέμνουσας βάσης στη συγκεκριμένη διεύθυνση.
3. Έλεγχος κατασκευαστικών απαιτήσεων. Η ελάχιστη διάσταση διατομής των κύριων σεισμικών υποστυλωμάτων δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη των 250 mm, σύμφωνα με την §5.5.1.2.2. Ακόμα, σε κύρια σεισμικά υποστυλώματα η τιμή της ανηγμένης αξονικής δύναμης  $v_d$  δεν θα υπερβαίνει το 0,55, σύμφωνα με την §5.5.3.2.1(3)P.

### ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

4. Υπολογισμός των ροπών αντοχής των δοκών που συντρέχουν στους κόμβους του υποστυλώματος τόσο κατά τη διεύθυνση  $x$  όσο και κατά τη διεύθυνση  $y$ . Για κάθε δοκό υπολογίζονται δυο ροπές αντοχής, μια για εφελκυσμό της κάτω ίνας ( $M_{Rd,b}^+$ ) και μια για εφελκυσμό της άνω ίνας ( $M_{Rd,b}^-$ ). Αυτό γίνεται διότι πραγματοποιούμε ικανοτικό σχεδιασμό και για τις δυο φορές της σεισμικής δύναμης (θετική και αρνητική), γεγονός που μεταθέτει τον εφελκυσμό στη διατομή της δοκού. Για σεισμό θετικής φοράς εφελκύεται η άνω ίνα (λειτουργία ορθογώνιος διατομής) ενώ για σεισμό αρνητικής φοράς εφελκύεται η κάτω ίνα (λειτουργία πλακοδοκού).
5. Απαιτήσεις ικανοτικού σχεδιασμού (για κάθε συνδυασμό φόρτισης). Στο βήμα αυτό θα παρουσιάσουμε τις απαιτήσεις του ικανοτικού σχεδιασμού, με τη μορφή εξισώσεων, που πρέπει να ικανοποιούνται σε κάθε κόμβο του πλαισίου. Ο ικανοτικός σχεδιασμός πραγματοποιείται και για τις δύο διευθύνσεις (σεισμός κατά  $x$  και σεισμός κατά  $y$ ) τόσο για θετική όσο και για αρνητική φορά σεισμού. Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν καταλήγουμε στις εξής εξισώσεις:

- **Ικανοτικός x-x (+):**  $M_{RCi,y}^{top} + M_{RCj,y}^{bot} \geq 1,3 \cdot (M_{Rd,B1}^- + M_{Rd,B2}^+)$
- **Ικανοτικός x-x (-):**  $M_{RCi,y}^{top} + M_{RCj,y}^{bot} \geq 1,3 \cdot (M_{Rd,B1}^+ + M_{Rd,B2}^-)$
- **Ικανοτικός y-y (+):**  $M_{RCi,x}^{top} + M_{RCj,x}^{bot} \geq 1,3 \cdot (M_{Rd,B3}^- + M_{Rd,B4}^+)$
- **Ικανοτικός y-y (-):**  $M_{RCi,x}^{top} + M_{RCj,x}^{bot} \geq 1,3 \cdot (M_{Rd,B3}^+ + M_{Rd,B4}^-)$  όπου
  - $M_{RCi,y}^{top}$  η ροπή αντοχής, κατά τη διεύθυνση  $y$ , της κορυφής του υποστυλώματος που συντρέχει στον κόμβο και βρίσκεται κάτω από αυτόν,
  - $M_{RCj,y}^{bot}$  η ροπή αντοχής, κατά τη διεύθυνση  $y$ , της βάσης του υποστυλώματος που συντρέχει στον κόμβο και βρίσκεται πάνω από αυτόν,
  - $M_{RCi,x}^{top}$  η ροπή αντοχής, κατά τη διεύθυνση  $x$ , της κορυφής του υποστυλώματος που συντρέχει στον κόμβο και βρίσκεται κάτω από αυτόν,
  - $M_{RCj,x}^{bot}$  η ροπή αντοχής, κατά τη διεύθυνση  $x$ , της βάσης του υποστυλώματος που συντρέχει στον κόμβο και βρίσκεται πάνω από αυτόν,
  - $M_{Rd,B1}^-$  και  $M_{Rd,B1}^+$  η αρνητική και η θετική τιμή αντίστοιχα της ροπής αντοχής της δοκού (1) που συντρέχει στον κόμβο κατά τη διεύθυνση  $x$
  - $M_{Rd,B2}^-$  και  $M_{Rd,B2}^+$  η αρνητική και η θετική τιμή αντίστοιχα της ροπής αντοχής της δοκού (2) που συντρέχει στον κόμβο κατά τη διεύθυνση  $x$

- $M_{Rd,B3}^-$  και  $M_{Rd,B3}^+$  η αρνητική και η θετική τιμή αντίστοιχα της ροπής αντοχής της δοκού (3) που συντρέχει στον κόμβο κατά τη διεύθυνση  $y$
- $M_{Rd,B4}^-$  και  $M_{Rd,B4}^+$  η αρνητική και η θετική τιμή αντίστοιχα της ροπής αντοχής της δοκού (4) που συντρέχει στον κόμβο κατά τη διεύθυνση  $y$ .

Επιπλέον, για τις ροπές αντοχής των υποστυλωμάτων που συντρέχουν σε κάθε κόμβο, και κατά τους δύο άξονες ( $x$  και  $y$ ) μπορεί να υποτεθεί ότι ισχύει η εξής συνθήκη:

- $M_{RC,i}^{top} = (N_{EC,i}^{top} / N_{EC,j}^{bot}) \cdot M_{RC,j}^{bot}$  όπου
- $N_{EC,i}^{top}$  και  $N_{EC,h}^{bot}$  οι μέγιστες αξονικές δυνάμεις που εμφανίζονται στα άκρα των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στον κάθε κόμβο.

Επομένως, λύνοντας για κάθε κόμβο ξεχωριστά τις παραπάνω τέσσερις εξισώσεις υπολογίζουμε τα ζητούμενα μεγέθη  $M_{RC,i,x}^{top}$ ,  $M_{RC,j,x}^{bot}$ ,  $M_{RC,i,y}^{top}$ ,  $M_{RC,j,y}^{top}$ .

#### 6. Υπολογισμός ανηγμένης ροπής και ανηγμένης αξονικής λόγω ικανοτικού σχεδιασμού.

Στο βήμα αυτό, για τις δύο διευθύνσεις ( $x$  και  $y$ ) αλλά και για τις δύο φορές του ικανοτικού σχεδιασμού (θετική και αρνητική φορά), θα υπολογίσουμε τις τιμές της ανηγμένης ροπής ( $\mu_d$ ) και της ανηγμένης αξονικής ( $\nu_d$ ) στα άκρα και των δύο υποστυλωμάτων που συντρέχουν στον κάθε κόμβο. Οι τιμές της ανηγμένης ροπής και της ανηγμένης αξονικής ισούται αντίστοιχα με:

$$\mu_d = \frac{M_{RC}}{bh^2 f_{cd}} \quad \text{και} \quad \nu_d = \frac{N_{Ed}}{bh f_{cd}} \quad \text{όπου}$$

- $M_{RC}$  η τιμή της ροπής αντοχής στο άκρο του υποστυλώματος όπως υπολογίστηκε στο βήμα (3)
- $b$  και  $h$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος
- $N_{Ed}$  η τιμή της δρώσας αξονικής στο άκρο του υποστυλώματος όπως αναφέρθηκε παραπάνω
- $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος.

Επομένως στο βήμα αυτό, για κάθε άκρο υποστυλώματος που συντρέχει στον κόμβο, υπολογίζονται τέσσερα διαφορετικά ζεύγη τιμών ανηγμένης ροπής και ανηγμένης αξονικής δύναμης.

#### 7. Υπολογισμός γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού λόγω ικανοτικού σχεδιασμού. Όπως αναφέρθηκε στο βήμα (4), υπολογίζονται για κάθε άκρο υποστυλώματος τέσσερα διαφορετικά ζεύγη τιμών ανηγμένης ροπής και ανηγμένης αξονικής δύναμης τα οποία με τη σειρά τους μας δίνουν, μέσω νομογραφημάτων, τέσσερις διαφορετικές τιμές γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού ( $\omega$ ). Συνολικά λοιπόν για τα δύο άκρα υποστυλωμάτων έχουμε υπολογίσει οκτώ τιμές γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού, δύο για τον ικανοτικό σχεδιασμό κατά $x$ με θετική φορά ( $x-x$ (+)), δύο για τον ικανοτικό κατά $x$ με αρνητική φορά ( $x-x$ (-)), δύο για τον ικανοτικό κατά $y$ με θετική φορά ( $y-y$ (+)) και δύο για τον ικανοτικό κατά $y$ με αρνητική φορά ( $y-y$ (-)).

8. Υπολογισμός ενιαίου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο, θα υπολογίσουμε το ενιαίο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για τα άκρα των υποστυλωμάτων που συντρέχουν σε αυτόν ως εξής: Για κάθε μία από τις τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις του ικανοτικού σχεδιασμού που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπολογίζουμε το μέσο όρο των γεωμετρικών ποσοστών οπλισμού που αντιστοιχούν στα δύο άκρα των υποστυλωμάτων. Προκύπτουν επομένως τέσσερα διαφορετικά ενιαία ποσοστά οπλισμού ( $\omega_{ενιαίο}$ ) για τον κόμβο αυτό. Υπολογίζουμε το μέγιστο από αυτά ( $\omega_{max}$ ) το οποίο είναι τελικά το απαιτούμενο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για τον κόμβο λόγω του ικανοτικού σχεδιασμού.
9. Υπολογισμός ανηγμένης ροπής και ανηγμένης αξονικής λόγω σεισμικής φόρτισης. Όπως αναφέρθηκε στο βήμα (1), για τα άκρα των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στους κόμβους του πλαισίου 1 υπολογίσαμε τα εντατικά μεγέθη λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών. Βάση των εντατικών μεγεθών αυτών λοιπόν θα υπολογίσουμε για κάθε άκρο υποστυλώματος τις τιμές της ανηγμένης ροπής και της ανηγμένης αξονικής δύναμης. Αξίζει να σημειωθεί πάντως ότι λόγω της διαξονικής καταπόνησης, όπως αναφέρθηκε και στο βήμα (1), λαμβάνουμε σε κάθε άκρο υποστυλώματος δύο τιμές ροπής κάμψης, μία κατά x και μία κατά y ( $M_{Edx}$  και  $M_{Edy}$ ). Η μελέτη της διαξονικής κάμψης είναι ένα αρκετά πολύπλοκο θέμα ωστόσο, σύμφωνα με την §5.4.3.2.1(2), η διαξονική κάμψη μπορεί να ληφθεί υπόψη απλοποιητικά εκτελώντας τον έλεγχο ξεχωριστά για κάθε διεύθυνση προσαυξάνοντας την αντίστοιχη δρώσα ροπή κατά 30%. Επομένως για κάθε άκρο υποστυλώματος οι τιμές της δρώσας ροπής και της δρώσας αξονικής αντίστοιχα είναι ίσες με:

$$\mu_d = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} \text{ και } \nu_d = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} \text{ όπου}$$

- $M_{Ed} = \max \{ 1,3 \cdot M_{Ed,x} ; 1,3 \cdot M_{Ed,y} \}$  η τελική δρώσα ροπή σύμφωνα με την §5.4.3.2.1(2)
- $N_{Ed}$  η δρώσα αξονική που αντιστοιχεί στον παραπάνω δυσμενέστερο σεισμικό συνδυασμό
- $b$  και  $h$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος και
- $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος.

10. Υπολογισμός απαιτούμενου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού. Στο βήμα αυτό για τα άκρα των υποστυλωμάτων κάθε κόμβου, με βάση τις τιμές της ανηγμένης ροπής και ανηγμένης αξονικής που υπολογίσαμε παραπάνω, με χρήση νομογραφημάτων θα υπολογίσουμε το απαιτούμενο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού ( $\omega_{top}$  και  $\omega_{bot}$ ). Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε το μέσο όρο των παραπάνω γεωμετρικών ποσοστών οπλισμού για να προκύψει έτσι ένα ενιαίο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για κάθε κόμβο ( $\omega_{ενιαίο \text{ φόρτισης}}$ ) λόγω της δυσμενέστερης σεισμικής φόρτισης.

11. Υπολογισμός τελικού απαιτούμενου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού κόμβου. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο του πλαισίου, θα υπολογίσουμε το τελικό απαιτούμενο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού ( $\omega_{δυσμεν}$ ) το οποίο ισούται με τη μέγιστη τιμή που προκύπτει λόγω του ικανοτικού σχεδιασμού και λόγω της σεισμικής φόρτισης. Έτσι για κάθε κόμβο ισχύει:

$$\omega_{δυσμεν} = \max \{ \omega_{ικαν, \max} ; \omega_{ενιαίο \text{ φόρτισης}} \}$$



12. Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού. Στο βήμα αυτό για κάθε υποστυλώμα, με βάση το μέγιστο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού που αντιστοιχεί στα δύο άκρα του, θα υπολογίσουμε την απαιτούμενη ποσότητα οπλισμού. Πιο συγκεκριμένα υπολογίζουμε:

$$A_{s,tot} = \omega \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \text{ όπου}$$

- $\omega$  το μέγιστο απαιτούμενο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού των δύο άκρων του υποστυλώματος
- $b$  και  $h$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος
- $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος και
- $f_{yd}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα.

Ο τελικός λοιπόν απαιτούμενος οπλισμός για κάθε παρειά του υποστυλώματος είναι ίσος με  $A_{s,tot} / 2$  αλλά όχι μικρότερος από την ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα παρειάς η οποία ισούται με  $A_{s,min \text{ παρειάς}} = A_{s,min} / 4 = (0,01 \cdot b \cdot h) / 4$ . Επομένως για κάθε παρειά έχουμε:  $A_{s,τελ.παρ} = \max \{ A_{s,tot} / 2 ; A_{s,min} / 4 \}$ .

13. Υπολογισμός του τοποθετούμενου οπλισμού παρειάς σε ράβδους συγκεκριμένης διαμέτρου ώστε το εμβαδόν του να είναι μεγαλύτερο από αυτό του τελικού οπλισμού παρειάς. Επιπλέον, χρειάζεται προσοχή ώστε η απόσταση μεταξύ διαδοχικών διαμήκων ράβδων να μην υπερβαίνει τα 150mm, όπως ορίζεται στην §5.5.3.2.2(12γ)

14. Έλεγχος ελαχίστων και μεγίστων για τον τοποθετούμενο οπλισμό. Ο τοποθετούμενος οπλισμός θα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ της ελάχιστης ( $A_{s,min}$ ) και της μέγιστης ( $A_{s,max}$ ) επιτρεπόμενης τιμής του. Οι τιμές αυτές ορίζονται ως εξής:

$A_{s,min} = 0,01 \cdot b \cdot h$  και  $A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h$  όπου  $b$  και  $h$  είναι διαστάσεις της διατομής του υποστυλώματος.

15. Υπολογισμός της ροπής αντοχής της διατομής της κεφαλής και της βάσης του υποστυλώματος διότι χρειάζεται στην διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης.

Στη συνέχεια θα δοθούν δύο παραδείγματα, ένα για το πλαισιακό και ένα για το τοιχωματικό κτήριο, στα οποία θα γίνει αναλυτική διαστασιολόγηση δύο υποστυλωμάτων σύμφωνα με την ενότητα αυτή. Με τον ίδιο τρόπο θα γίνει η διαστασιολόγηση και των υπολοίπων υποστυλωμάτων, και των δύο κτηρίων, η οποία θα παρουσιαστεί με τη μορφή πινάκων στο παράρτημα (πίνακες Π.5.Β.23 και Π.5.Β.24).

### 5.5.3.2.1 Παράδειγμα διαστασιολόγησης υποστυλώματος πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης και θλίψης στην ΟΚΑ

Στην ενότητα αυτή επιλέγεται να διαστασιολογηθεί το υποστυλώμα C6-D του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτό των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών. Στο βήμα αυτό λαμβάνουμε τις τιμές της δρώσας ροπής κατά τις δύο διευθύνσεις ( $M_{Edx}$  και  $M_{Edy}$ ) και στα δύο άκρα του υποστυλώματος αλλά και την τιμή της δρώσας αξονικής δύναμης  $N_{Ed}$  λόγω του δυσμενέστερου σεισμικού

συνδυασμού από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας η οποία πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό SAP2000. Σύμφωνα με τα σχήματα Π.5.Α.45 έως Π.5.Α.48 στο υποστύλωμα του παραδείγματός μας έχουμε τα εξής εντατικά μεγέθη:

- Ροπή στο άνω άκρο:  $M_{Edx,top} = 20,49 \text{ kNm}$  και  $M_{Edy,top} = 67,01 \text{ kNm}$
- Ροπή στο κάτω άκρο:  $M_{Edx,bot} = 21,92 \text{ kNm}$  και  $M_{Edy,bot} = 62,65 \text{ kNm}$
- Αξονική άνω και κάτω:  $N_{EC,top} = -272,35 \text{ kN}$  και  $N_{EC,bot} = -294,22 \text{ kN}$

## ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

2. Υπολογισμός των ροπών αντοχής των δοκών που συντρέχουν στους κόμβους D και C του υποστυλώματος τόσο κατά τη διεύθυνση x όσο και κατά τη διεύθυνση y. Ακολουθεί παράδειγμα υπολογισμού των ροπών αντοχής της δοκού B16-D:

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά: ύψος:  $h=60\text{cm}$ ,

πλάτος κορμού:  $b_w=30\text{cm}$ ,

συνεργαζόμενο πλάτος:  $b_{eff}= 108\text{cm}$ ,

οπλισμός 2 (άνω):  $4\Phi 14$  ( $A_{s1}=6,16\text{cm}^2$ )

οπλισμός 1 (κάτω):  $3\Phi 14$  ( $A_{s1}=4,62\text{cm}^2$ ).

Έπειτα από αρκετές δοκιμές καταλήγουμε στις λύσεις:

Λειτουργία πλακοδοκού (υπολογισμός  $M_{Rd,B16-D}^+$ ):

- Θεωρώ αστοχία της θλιβόμενης ζώνης σκυροδέματος  $\varepsilon_{c2}=-0,0035$  και παραμόρφωση κατώτερης στάθμης οπλισμού  $\varepsilon_{c1}=0,0546$ .

- Σχεδιασμός διαγράμματος παραμορφώσεων της διατομής. Η θέση του ουδετέρου άξονα είναι σε απόσταση  $x=33,19\text{mm}$  από την άνω ίνα της διατομής. Η παραμόρφωση στη στάθμη κάθε οπλισμού  $\varepsilon_{si}$  είναι:

$$\varepsilon_{s2}=0,0016$$

$$\varepsilon_{s1}=0,0546$$

- Υπολογισμός της θλιπτικής δύναμης του σκυροδέματος  $F_{cd}$ .

Λαμβάνοντας απλοποιημένο ορθογωνικό διάγραμμα σκυροδέματος ισχύει:

$$F_{cd} = -b(0,8x)f_{cd} = -108 \cdot 0,8 \cdot 3,32 \cdot 0,85 \cdot 25 / 1,5 = -406,2 \text{ kN}$$

η οποία ασκείται σε απόσταση  $0,4x=13,28\text{mm}$  από την άνω ίνα της διατομής.

- Υπολογισμός της παραμόρφωσης που αντιστοιχεί στη διαρροή του χάλυβα των

$$\text{οπλισμών: } \varepsilon_{yd} = \frac{F_{yd}}{E} = \frac{500 / 1,15 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}} = 0,00217$$

- Υπολογισμός δυνάμεων οπλισμών.  $F_{sd,i} = A_{s,i} \cdot \sigma_{sd,i}$

Για τον υπολογισμό της τάσης του οπλισμού  $\sigma_{sd,i}$  γίνεται σύγκριση της παραμόρφωσης του οπλισμού με την παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη διαρροή του:

$$\text{Στάθμη οπλ. 2: } \varepsilon_{s2} = 0,0016 < \varepsilon_{yd} = 0,00217$$

$$F_{sd,2} = A_{s,2} \cdot \varepsilon_{s2} \cdot E = 6,16\text{cm}^2 \cdot 0,0016 \cdot 200000\text{MPa} = 205,39 \text{ kN}$$

$$\text{Στάθμη οπλ. 1: } \varepsilon_{s1} = 0,0546 > \varepsilon_{yd} = 0,00217$$

$$F_{sd,1} = A_{s,1} \cdot f_{yd} = 4,62 \text{ cm}^2 \cdot 500 / 1,15 \text{ MPa} = 200,87 \text{ kN}$$

- Έλεγχος ισοδυναμίας εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.

$$N_{ed} = F_{cd} + F_{sd,2} + F_{sd,1} \Rightarrow 0 = -406,2 + 205,39 + 200,87 \Rightarrow 0 = 0$$

Συνεπώς υπάρχει ισοδυναμία εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.

- Υπολογισμός της ροπής αντοχής ( $M_{Rd}$ ) τη στιγμή της αστοχίας της διατομής.

Ως σημείο αναφοράς επιλέγω το κέντρο βάρους της διατομής.

$$M_{Rd,B16-D}^+ = |F_{cd}| \cdot (h/2 - 0,4x) - F_{sd,2} \cdot (h/2 - y_2) + F_{sd,1} \cdot (y_1 - h/2)$$

$$M_{Rd,B16-D}^+ = 406,2 \cdot (0,3 - 0,0133) - 205,39 \cdot 0,251 + 200,87 \cdot 0,251 = 115,35 \text{ kNm}$$

Λειτουργία ορθογωνικής διατομής (υπολογισμός  $M_{Rd,B16-D}^-$ ):

- Θεωρώ αστοχία της θλιβόμενης ζώνης σκυροδέματος  $\varepsilon_{c2} = -0,0035$  και παραμόρφωση κατώτερης στάθμης οπλισμού  $\varepsilon_{s2} = 0,0283$ .

- Σχεδιασμός διαγράμματος παραμορφώσεων της διατομής. Η θέση του ουδετέρου άξονα είναι σε απόσταση  $x = 60,58 \text{ mm}$  από την άνω ίνα της διατομής. Η παραμόρφωση στη στάθμη κάθε οπλισμού  $\varepsilon_{si}$  είναι:

$$\varepsilon_{s1} = -0,00067$$

$$\varepsilon_{s2} = 0,0283$$

- Υπολογισμός της θλιπτικής δύναμης του σκυροδέματος  $F_{cd}$ .

Λαμβάνοντας απλοποιημένο ορθογωνικό διάγραμμα σκυροδέματος ισχύει:

$$F_{cd} = -b(0,8x)f_{cd} = -30 \cdot 0,8 \cdot 6,058 \cdot 0,85 \cdot 25 / 1,5 = -205,98 \text{ kN}$$

η οποία ασκείται σε απόσταση  $0,4x = 24,23 \text{ mm}$  από την άνω ίνα της διατομής.

- Υπολογισμός της παραμόρφωσης που αντιστοιχεί στη διαρροή του χάλυβα των

$$\text{οπλισμών: } \varepsilon_{yd} = \frac{F_{yd}}{E} = \frac{500 / 1,15 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}} = 0,00217$$

- Υπολογισμός δυνάμεων οπλισμών.  $F_{sd,i} = A_{s,i} \cdot \sigma_{sd,i}$

Για τον υπολογισμό της τάσης του οπλισμού  $\sigma_{sd,i}$  γίνεται σύγκριση της παραμόρφωσης του οπλισμού με την παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη διαρροή του:

$$\text{Στάθμη οπλ. 1: } |\varepsilon_{s1}| = 0,00067 < \varepsilon_{yd} = 0,00217$$

$$F_{sd,1} = A_{s,1} \cdot \varepsilon_{s1} \cdot E = 4,62 \text{ cm}^2 \cdot 0,00067 \cdot 200000 \text{ MPa} = -61,84 \text{ kN}$$

$$\text{Στάθμη οπλ. 2: } \varepsilon_{s2} = 0,0283 > \varepsilon_{yd} = 0,00217$$

$$F_{sd,2} = A_{s,2} \cdot f_{yd} = 6,16 \text{ cm}^2 \cdot 500 / 1,15 \text{ MPa} = 267,82 \text{ kN}$$

- Έλεγχος ισοδυναμίας εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.

$$N_{ed} = F_{cd} + F_{sd,2} + F_{sd,1} \Rightarrow 0 = -205,98 - 61,84 + 267,82 \Rightarrow 0 = 0$$

Συνεπώς υπάρχει ισοδυναμία εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.

- Υπολογισμός της ροπής αντοχής ( $M_{Rd}$ ) τη στιγμή της αστοχίας της διατομής.

Ως σημείο αναφοράς επιλέγω το κέντρο βάρους της διατομής.

$$M_{Rd,B16-D}^- = |F_{cd}| \cdot (h/2 - 0,4x) + F_{sd,2} \cdot (h/2 - y_2) + F_{sd,1} \cdot (y_1 - h/2)$$

$$M_{Rd,B16-D}^- = 205,98 \cdot (0,3 - 0,0243) + 61,84 \cdot 0,251 + 267,82 \cdot 0,251 = 139,55 \text{ kNm}$$

Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται:

$$M_{Rd,B5-D}^+ = 115,46 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,B5-D}^- = 105,84 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,B17-D}^+ = 112,80 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,B17-D}^- = 139,55 \text{ kNm}$$

3. Απαιτήσεις ικανοτικού σχεδιασμού (για τον δυσμενέστερο συνδυασμό φόρτισης) και εύρεση των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων. Στο βήμα αυτό θα παρουσιάσουμε τις απαιτήσεις του ικανοτικού σχεδιασμού, με τη μορφή εξισώσεων, που πρέπει να ικανοποιούνται σε κάθε κόμβο του πλαισίου. Ο ικανοτικός σχεδιασμός πραγματοποιείται και για τις δύο διευθύνσεις (σεισμός κατά  $x$  και σεισμός κατά  $y$ ) τόσο για θετική όσο και για αρνητική φορά σεισμού. Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν καταλήγουμε στις εξής εξισώσεις:

#### **ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΚΟΜΒΟΥ D:**

Τα δεδομένα που απαιτούνται για να σχεδιαστεί ικανοτικά ο κόμβος D είναι:

- Η αξονική της βάσης του υποστυλώματος C6-E:  $N_{EC6-E}^{bot} = -190,34 \text{ kN}$
- Η αξονική της κεφαλής του υποστυλώματος C6-D:  $N_{EC6-D}^{top} = -397,23 \text{ kN}$
- Οι ροπές αντοχής της δοκού B5-D:  $M_{Rd,B5-D}^+ = 115,46 \text{ kNm}$   
 $M_{Rd,B5-D}^- = 105,84 \text{ kNm}$
- Οι ροπές αντοχής της δοκού B16-D:  $M_{Rd,B16-D}^+ = 115,35 \text{ kNm}$   
 $M_{Rd,B16-D}^- = 139,55 \text{ kNm}$
- Οι ροπές αντοχής της δοκού B17-D:  $M_{Rd,B17-D}^+ = 112,80 \text{ kNm}$   
 $M_{Rd,B17-D}^- = 139,55 \text{ kNm}$

#### **Ικανοτικός x-x (+):**

$$(33) \quad M_{RC6-D,y}^{top} + M_{RC6-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B5-D}^- \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,y}^{top} + M_{RC6-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot 105,84$$

$$M_{RC6-D,y}^{top} + M_{RC6-E,y}^{bot} = 137,59$$

$$(34) \quad M_{RC6-D,y}^{top} = (N_{EC6-D}^{top} / N_{EC6-E}^{bot}) \cdot M_{RC6-E,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,y}^{top} = (-397,23 \text{ kN} / -190,34 \text{ kN}) \cdot M_{RC6-E,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,y}^{top} = 2,09 \cdot M_{RC6-E,y}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (1),(2) προκύπτουν:

$$M_{RC6-D,y}^{top} = 93,02 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC6-E,y}^{bot} = 44,57 \text{ kNm}$$

**Ικανοτικός x-x (-):**

$$(35) \quad M_{RC6-D,y}^{top} + M_{RC6-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B5-D}^+ \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,y}^{top} + M_{RC6-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot 115,46$$

$$M_{RC6-D,y}^{top} + M_{RC6-E,y}^{bot} = 150,10$$

$$(36) \quad M_{RC6-D,y}^{top} = (N_{EC6-D}^{top} / N_{EC6-E}^{bot}) \cdot M_{RC6-E,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,y}^{top} = (-397,23 \text{ kN} / -190,34 \text{ kN}) \cdot M_{RC6-E,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,y}^{top} = 2,09 \cdot M_{RC6-E,y}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (3),(4) προκύπτουν:

$$M_{RC6-D,y}^{top} = 101,47 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC6-E,y}^{bot} = 48,62 \text{ kNm}$$

**Ικανοτικός y-y (+):**

$$(37) \quad M_{RC6-D,x}^{top} + M_{RC6-E,x}^{bot} = 1,3 \cdot (M_{Rd,B17-D}^- + M_{Rd,B16-D}^+) \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,x}^{top} + M_{RC6-E,x}^{bot} = 1,3 \cdot (139,55 + 115,35)$$

$$M_{RC6-D,x}^{top} + M_{RC6-E,x}^{bot} = 331,37$$

$$(38) \quad M_{RC6-D,x}^{top} = (N_{EC6-D}^{top} / N_{EC6-E}^{bot}) \cdot M_{RC6-E,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,x}^{top} = (-397,23 \text{ kN} / -190,34 \text{ kN}) \cdot M_{RC6-E,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,x}^{top} = 2,09 \cdot M_{RC6-E,x}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (5),(6) προκύπτουν:

$$M_{RC6-D,x}^{top} = 224,02 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC6-E,x}^{bot} = 107,35 \text{ kNm}$$

**Ικανοτικός y-y (-):**

$$(39) \quad M_{RC6-D,x}^{top} + M_{RC6-E,x}^{bot} = 1,3 \cdot (M_{Rd,B17-D}^+ + M_{Rd,B16-D}^-) \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,x}^{top} + M_{RC6-E,x}^{bot} = 1,3 \cdot (112,80 + 139,55)$$

$$M_{RC6-D,x}^{top} + M_{RC6-E,x}^{bot} = 328,06$$

$$(40) \quad M_{RC6-D,x}^{top} = (N_{EC6-D}^{top} / N_{EC6-E}^{bot}) \cdot M_{RC6-E,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,x}^{top} = (-397,23 \text{ kN} / -190,34 \text{ kN}) \cdot M_{RC6-E,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-D,x}^{top} = 2,09 \cdot M_{RC6-E,x}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (5),(6) προκύπτουν:

$$M_{RC6-D,x}^{top} = 221,78 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC6-E,x}^{bot} = 106,27 \text{ kNm}$$

### **ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΚΟΜΒΟΥ C:**

Τα δεδομένα που απαιτούνται για να σχεδιαστεί ικανοτικά ο κόμβος C είναι:

- Η αξονική της βάσης του υποστρώματος C6-D:  $N_{EC6-D}^{bot} = -426,73 \text{ kN}$
- Η αξονική της κεφαλής του υποστρώματος C6-C:  $N_{EC6-C}^{top} = -635,66 \text{ kN}$

- Οι ροπές αντοχής της δοκού B11-C:  $M_{Rd,B5-C}^+ = 115,46 \text{ kNm}$   
 $M_{Rd,B5-C}^- = 105,84 \text{ kNm}$
- Οι ροπές αντοχής της δοκού B17-C:  $M_{Rd,B17-C}^+ = 112,80 \text{ kNm}$   
 $M_{Rd,B17-C}^- = 139,55 \text{ kNm}$
- Οι ροπές αντοχής της δοκού B16-C:  $M_{Rd,B16-C}^+ = 115,35 \text{ kNm}$   
 $M_{Rd,B16-C}^- = 139,55 \text{ kNm}$

**Ικανοτικός x-x (+):**

$$(41) M_{RC6-C,y}^{top} + M_{RC6-D,y}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B5-C}^- \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,y}^{top} + M_{RC6-D,y}^{bot} = 1,3 \cdot 105,84$$

$$M_{RC6-C,y}^{top} + M_{RC6-D,y}^{bot} = 137,59$$

$$(42) M_{RC6-C,y}^{top} = (N_{EC6-C}^{top} / N_{EC6-D}^{bot}) \cdot M_{RC6-D,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,y}^{top} = (-635,66 \text{ kN} / -426,73 \text{ kN}) \cdot M_{RC6-D,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,y}^{top} = 1,49 \cdot M_{RC6-D,y}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (9),(10) προκύπτουν:

$$M_{RC6-D,y}^{bot} = 55,27 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC6-C,y}^{top} = 82,33 \text{ kNm}$$

**Ικανοτικός x-x (-):**

$$(43) M_{RC6-C,y}^{top} + M_{RC6-D,y}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B5-C}^+ \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,y}^{top} + M_{RC6-D,y}^{bot} = 1,3 \cdot 115,46$$

$$M_{RC6-C,y}^{top} + M_{RC6-D,y}^{bot} = 150,10$$

$$(44) M_{RC6-C,y}^{top} = (N_{EC6-C}^{top} / N_{EC6-D}^{bot}) \cdot M_{RC6-D,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,y}^{top} = (-635,66 \text{ kN} / -426,73 \text{ kN}) \cdot M_{RC6-D,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,y}^{top} = 1,49 \cdot M_{RC6-D,y}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (11),(12) προκύπτουν:

$$M_{RC6-D,y}^{bot} = 60,29 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC6-C,y}^{top} = 89,81 \text{ kNm}$$

**Ικανοτικός y-y (+):**

$$(45) M_{RC6-C,x}^{top} + M_{RC6-D,x}^{bot} = 1,3 \cdot (M_{Rd,B17-C}^- + M_{Rd,B16-C}^+) \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,x}^{top} + M_{RC6-D,x}^{bot} = 1,3 \cdot (139,55 + 115,35)$$

$$M_{RC6-C,x}^{top} + M_{RC6-D,x}^{bot} = 331,37$$

$$(46) M_{RC6-C,x}^{top} = (N_{EC6-C}^{top} / N_{EC6-D}^{bot}) \cdot M_{RC6-D,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,x}^{top} = (-635,66 \text{ kN} / -426,73 \text{ kN}) \cdot M_{RC6-D,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,x}^{top} = 1,49 \cdot M_{RC6-D,x}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (13),(14) προκύπτουν:

$$M_{RC6-D,x}^{bot} = 133,10 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC6-C,x}^{top} = 198,27 \text{ kNm}$$

**Ικανοτικός y-y (-):**

$$(47) M_{RC6-C,x}^{top} + M_{RC6-D,x}^{bot} = 1,3 \cdot (M_{Rd,B17-C}^{+} + M_{Rd,B16-C}^{-}) \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,x}^{top} + M_{RC6-D,x}^{bot} = 1,3 \cdot (112,80 + 139,55) \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,x}^{top} + M_{RC6-D,x}^{bot} = 328,06$$

$$(48) M_{RC6-C,x}^{top} = (N_{EC6-C}^{top} / N_{EC6-D}^{bot}) \cdot M_{RC6-D,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,x}^{top} = (-635,66 \text{ kN} / -426,73 \text{ kN}) \cdot M_{RC6-D,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC6-C,x}^{top} = 1,49 \cdot M_{RC6-D,x}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (15),(16) προκύπτουν:

$$M_{RC6-D,x}^{bot} = 131,77 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC6-C,x}^{top} = 196,29 \text{ kNm}$$

4. Υπολογισμός ανηγμένης ροπής και ανηγμένης αξονικής λόγω ικανοτικού σχεδιασμού και γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού. Στο βήμα αυτό, για τις δύο διευθύνσεις ( x και y ) αλλά και για τις δύο φορές του ικανοτικού σχεδιασμού (θετική και αρνητική), θα υπολογίσουμε τις τιμές της ανηγμένης ροπής (  $\mu_d$  ) και της ανηγμένης αξονικής (  $\nu_d$  ) στη βάση και στην κεφαλή του υποστυλώματος C6-D. Έπειτα υπολογίζουμε το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού από το διάγραμμα αλληλεπίδρασης θλίψης-κάμψης βάση του ζεύγους ανηγμένης αξονικής-ανηγμένης ροπής (  $\nu_d, \mu_d$  )

### **ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΚΟΜΒΟΥ D:**

**Ικανοτικός x-x (+):**

$$\mu_{C6-D,y}^{top} = \frac{M_{RC6-D,y}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{93,02 \text{ kNm}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5^2 \text{ m}^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = 0,05$$

$$\nu_{C6-D}^{top} = \frac{N_{EC6-D}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-397,23 \text{ kN}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = -0,11$$

$$\omega_{C6-D}^{top} = 0,00$$

**Ικανοτικός x-x (-):**

$$\mu_{C6-D,y}^{top} = \frac{M_{RC6-D,y}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{101,47 \text{ kNm}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5^2 \text{ m}^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = 0,06$$

$$\nu_{C6-D}^{top} = \frac{N_{EC6-D}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-397,23 \text{ kN}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = -0,11$$

$$\omega_{C6-D}^{top} = 0,010$$

**Ικανοτικός y-y (+):**

$$\mu_{C6-D,x}^{top} = \frac{M_{RC6-D,x}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{224,02kNm}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,13$$

$$v_{C6-D}^{top} = \frac{N_{EC6-D}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-397,23kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,11$$

$$\omega_{C6-D}^{top} = 0,200$$

**Ικανοτικός y-y (-):**

$$\mu_{C6-D,x}^{top} = \frac{M_{RC6-D,x}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{221,78kNm}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,13$$

$$v_{C6-D}^{top} = \frac{N_{EC6-D}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-397,23kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,11$$

$$\omega_{C6-D}^{top} = 0,200$$

Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε και το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για την βάση του C6-E. Έτσι προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

$$- \omega_{C6-E}^{bot} = 0,000$$

$$\omega_{C6-E}^{bot} = 0,020$$

$$\omega_{C6-E}^{bot} = 0,080$$

$$\omega_{C6-E}^{bot} = 0,080$$

### **ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΚΟΜΒΟΥ C:**

**Ικανοτικός x-x (+):**

$$\mu_{C6-C,y}^{top} = \frac{M_{RC6-C,y}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{82,33kNm}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,05$$

$$v_{C6-C}^{top} = \frac{N_{EC6-C}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-635,66kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,18$$

$$\omega_{C6-C}^{top} = 0,000$$

**Ικανοτικός x-x (-):**

$$\mu_{C6-C,y}^{top} = \frac{M_{RC6-C,y}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{89,81}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,05$$



$$v_{C6-C}^{top} = \frac{N_{EC6-C}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-635,66kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,18$$

$$\omega_{C6-C}^{top} = 0,000$$

**Ικανοτικός y-y (+):**

$$\mu_{C6-C,y}^{top} = \frac{M_{RC6-C,y}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{198,27kNm}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,11$$

$$v_{C6-C}^{top} = \frac{N_{EC6-C}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-635,66kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,18$$

$$\omega_{C6-C}^{top} = 0,100$$

**Ικανοτικός y-y (-):**

$$\mu_{C6-C,y}^{top} = \frac{M_{RC6-C,y}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{196,29kNm}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,11$$

$$v_{C6-C}^{top} = \frac{N_{EC6-C}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-635,66kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,18$$

$$\omega_{C6-C}^{top} = 0,100$$

Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε και γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για τη βάση του C6-D. Έτσι προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

$$- \omega_{C6-D}^{bot} = 0,000$$

$$\omega_{C6-D}^{bot} = 0,000$$

$$\omega_{C6-D}^{bot} = 0,080$$

$$\omega_{C6-D}^{bot} = 0,080$$

5. Υπολογισμός ενιαίου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο, θα υπολογίσουμε το ενιαίο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για τα άκρα των υποστυλωμάτων που συντρέχουν σε αυτόν ως εξής: Για κάθε μία από τις τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις του ικανοτικού σχεδιασμού που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπολογίζουμε το μέσο όρο των γεωμετρικών ποσοστών οπλισμού που αντιστοιχούν στα δύο άκρα των υποστυλωμάτων. Προκύπτουν επομένως τέσσερα διαφορετικά ενιαία ποσοστά οπλισμού ( $\omega_{ενιαίο}$ ) για τον κόμβο αυτό. Υπολογίζουμε το μέγιστο από αυτά ( $\omega_{max}$ ) το οποίο είναι τελικά το απαιτούμενο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για τον κόμβο λόγω του ικανοτικού σχεδιασμού.

**ΚΟΜΒΟΣ D**

$\omega_{C6-D}^{top}$	$\omega_{C6-E}^{bot}$	$\omega_{ενιαίο,D}$	$\omega_{δυσ.ικ.,D}$
-----------------------	-----------------------	---------------------	----------------------

0,00	0,000	0,00	<b>0,140</b>
0,010	0,020	0,015	
0,200	0,080	0,140	
0,200	0,080	0,140	

### ΚΟΜΒΟΣ C

$\omega_{C6-C}^{top}$	$\omega_{C6-D}^{bot}$	$\omega_{ενιαιο,C}$	$\omega_{δυσ,ικ,C}$
0,000	0,000	0,000	<b>0,090</b>
0,000	0,000	0,000	
0,100	0,080	0,090	
0,100	0,080	0,090	

6. Υπολογισμός ανηγμένης ροπής και ανηγμένης αξονικής λόγω σεισμικής φόρτισης. Όπως αναφέρθηκε στο βήμα (1), για τα άκρα των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στους κόμβους του πλαισίου 1 υπολογίσαμε τα εντατικά μεγέθη λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών. Βάση των εντατικών μεγεθών αυτών λοιπόν θα υπολογίσουμε για κάθε άκρο υποστυλώματος τις τιμές της ανηγμένης ροπής και της ανηγμένης αξονικής δύναμης. Αξίζει να σημειωθεί πάντως ότι λόγω της διαξονικής καταπόνησης, όπως αναφέρθηκε και στο βήμα (1), λαμβάνουμε σε κάθε άκρο υποστυλώματος δύο τιμές ροπής κάμψης, μία κατά x και μία κατά y ( $M_{Edx}$  και  $M_{Edy}$ ). Σύμφωνα με την §5.5.3.2.1(2), η διαξονική κάμψη μπορεί να ληφθεί υπόψη απλοποιητικά εκτελώντας τον έλεγχο ξεχωριστά για κάθε διεύθυνση προσαυξάνοντας την αντίστοιχη δρώσα ροπή κατά 30%. Επομένως για κάθε άκρο υποστυλώματος οι τιμές της δρώσας ροπής και της δρώσας αξονικής αντίστοιχα είναι ίσες με:

- Ροπή στο άνω άκρο:  $M_{Edx,top} = 20,47 \text{ kNm}$  και  $M_{Edy,top} = 67,01 \text{ kNm}$
- Ροπή στο κάτω άκρο:  $M_{Edx,bot} = 21,92 \text{ kNm}$  και  $M_{Edy,bot} = 62,65 \text{ kNm}$
- Αξονική άνω και κάτω:  $N_{EC,top} = -272,35 \text{ kN}$  και  $N_{EC,bot} = -294,22 \text{ kN}$
- $M_{EC6-D}^{top} = \max\{1,3 \cdot M_{Ed,x}^{top} ; 1,3 \cdot M_{Ed,y}^{top}\} = \max\{1,3 \cdot 20,47 ; 1,3 \cdot 67,01\} = 87,113 \text{ kNm}$   
 $M_{EC6-D}^{bot} = \max\{1,3 \cdot M_{Ed,x}^{bot} ; 1,3 \cdot M_{Ed,y}^{bot}\} = \max\{1,3 \cdot 21,92 ; 1,3 \cdot 62,65\} = 81,445 \text{ kNm}$

$$\mu_d^{top} = \frac{M_{EC6-D}^{top}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{87,113 \text{ kNm}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5^2 \text{ m}^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = 0,050$$

$$\nu_d^{top} = \frac{N_{EC}^{top}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-272,35 \text{ kN}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = -0,08$$

$$\omega_{C6-D}^{top} = 0,04$$

$$\mu_d^{bot} = \frac{M_{EC6-D}^{bot}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{81,445 \text{ kNm}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5^2 \text{ m}^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = 0,05$$

$$v_d^{bot} = \frac{N_{EC}^{bot}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-294,22 \text{ kN}}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,08$$

$$\omega_{C6-D}^{bot} = 0,05$$

Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε  $\omega_{C6-E}^{bot} = 0,05$  και  $\omega_{C6-C}^{top} = 0,01$ . Έπειτα βρίσκουμε ενιαίο γεωμετρικό ποσοστό για τον κόμβο D ως μέσο όρο των  $\omega_{C6-D}^{top} = 0,04$  και  $\omega_{C6-E}^{bot} = 0,05$  και ενιαίο γεωμετρικό ποσοστό για τον κόμβο C ως μέσο όρο των  $\omega_{C7-D}^{bot} = 0,05$  και  $\omega_{C6-C}^{top} = 0,01$ . Άρα:

$$- \omega_{εν,φορτ,D} = 0,045$$

$$- \omega_{εν,φορτ,C} = 0,030$$

7. Υπολογισμός τελικού απαιτούμενου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού κόμβου. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο του υποστυλώματος, θα υπολογίσουμε το τελικό απαιτούμενο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού ( $\omega_{δυσμ}$ ) το οποίο ισούται με τη μέγιστη τιμή που προκύπτει λόγω του ικανοτικού σχεδιασμού και λόγω της σεισμικής φόρτισης. Έτσι για κάθε κόμβο ισχύει:

$$- \omega_{δυσ,D} = \max \{ \omega_{δυσ,ικ,D} ; \omega_{εν,φορτ,D} \} = \max \{ 0,140 ; 0,045 \} = 0,140$$

$$- \omega_{δυσ,C} = \max \{ \omega_{δυσ,ικ,C} ; \omega_{εν,φορτ,C} \} = \max \{ 0,090 ; 0,030 \} = 0,090$$

8. Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού.

Αρχικά υπολογίζεται το μέγιστο από τα γεωμετρικά ποσοστά οπλισμού που αντιστοιχούν στη κεφαλή και τη βάση του υποστυλώματος:

$$- \omega_{C6-D} = \max \{ \omega_{δυσ,C} ; \omega_{δυσ,D} \} = \max \{ 0,090 ; 0,140 \} = 0,140$$

Βάσει αυτού υπολογίζεται ο απαιτούμενος οπλισμός κάμψης του υποστυλώματος από τον τύπο:

$$- A_{s,tot} = \omega_{C6-D} \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,140 \cdot 50 \cdot 50 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} = 11,41 \text{ cm}^2 \text{ όπου}$$

Έπειτα υπολογίζεται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός κάμψης για το υποστυλώμα:

$$- A_{s,min} = 0,01 \cdot b \cdot h = 0,01 \cdot 50 \cdot 50 = 25 \text{ cm}^2$$

Ο τελικός απαιτούμενος οπλισμός για κάθε παρειά του υποστυλώματος είναι ίσος με:

$$- A_{s,τελ,παρ} = \max \{ A_{s,tot} / 2 ; A_{s,min} / 4 \} = \max \{ 11,41 / 2 ; 25 / 4 \} = 6,25 \text{ cm}^2$$

9. Υπολογισμός του τοποθετούμενου οπλισμού παρειάς σε ράβδους συγκεκριμένης διαμέτρου ώστε το εμβαδόν του να είναι μεγαλύτερο από αυτό του τελικού οπλισμού παρειάς.

Επιλέγονται 4Φ18 για κάθε παρειά υποστυλώματος εμβαδού  $A_s = 10,16 \text{ cm}^2$  το οποίο σημαίνει 12 ράβδοι Φ18 συνολικού εμβαδού  $A_{s,ολ} = 30,48 \text{ cm}^2$ .

10. Έλεγχος ώστε ο τοποθετούμενος οπλισμός να μην υπερβαίνει τον μέγιστο. Αυτός ισούται με  $A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 50 \cdot 50 = 100 \text{ cm}^2 > A_s$

11. Ακολουθεί υπολογισμός της ροπής αντοχής της διατομής της κεφαλής και της βάσης του υποστυλώματος διότι χρειάζεται στην διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης.

- Εύρεση τοποθετούμενου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού:

$$\omega_{C6-D,top} = \frac{2 \cdot A_{s,top,παρ} \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{2 \cdot 10,16}{50 \cdot 50} \cdot \frac{500/1,15}{0,85 \cdot 25/1,5} = 0,197$$

- Εύρεση της ανοιγμένης ροπής σχεδιασμού που αντιστοιχεί στον οπλισμό της διατομής της κεφαλής και της βάσης του υποστυλώματος μέσω διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης, δεδομένου  $v_{d,C6-D}^{top} = -0,08$ ,  $v_{d,C6-D}^{bot} = -0,08$ :

$$\mu_{d,C6-D}^{top} = 0,140$$

$$\mu_{d,C6-D}^{bot} = 0,145$$

- Εύρεση ροπής αντοχής κορυφής και βάσης:

$$M_{EC6-D}^{top} = \mu_d^{top} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,140 \cdot 0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5 = 247,98 \text{ kNm}$$

$$M_{EC6-D}^{bot} = \mu_d^{bot} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,145 \cdot 0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5 = 256,83 \text{ kNm}$$

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του παραπάνω υποστυλώματος εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.13 του επόμενου κεφαλαίου.

### 5.5.3.2 Παράδειγμα διαστασιολόγησης υποστυλώματος τοιχωματικού κτηρίου έναντι κάμψης και θλίψης σε ΟΚΑ

Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί το υποστυλωμα C7-D του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτό των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Τονίζεται πως παρ' ότι στο τοιχωματικό κτήριο τα υποστυλώματα θα μπορούσαν να εξαιρεθούν του ικανοτικού σχεδιασμού αφού τα τοιχώματα παραλαμβάνουν το σύνολο σχεδόν της τέμνουσας βάσης, εντούτοις πραγματοποιείται ικανότητα σχεδιασμός για μεγαλύτερη πληρότητα. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών. Στο βήμα αυτό λαμβάνουμε τις τιμές της δρώσας ροπής κατά τις δύο διεθύνσεις ( $M_{Edx}$  και  $M_{Edy}$ ) και στα δύο άκρα του υποστυλώματος αλλά και την τιμή της δρώσας αξονικής δύναμης  $N_{Ed}$ . λόγω του δυσμενέστερου σεισμικού συνδυασμού από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας η οποία πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό SAP2000. Σύμφωνα με τα σχήματα Π.5.Α.49 έως Π.5.Α.51 Στο υποστυλωμα του παραδείγματός μας έχουμε τα εξής εντατικά μεγέθη:

- Ροπή στο άνω άκρο:  $M_{Edx,top} = 7,09 \text{ kNm}$  και  $M_{Edy,top} = 60,46 \text{ kNm}$

- Ροπή στο κάτω άκρο:  $M_{Edx,bot} = 6,95 \text{ kNm}$  και  $M_{Edy,bot} = 63,25 \text{ kNm}$

- Αξονική άνω και κάτω:  $N_{EC,top} = -239,15 \text{ kN}$  και  $N_{EC,bot} = -261,02 \text{ kN}$

#### ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

2. Υπολογισμός των ροπών αντοχής των δοκών που συντρέχουν στους κόμβους D και C του πλαισίου τόσο κατά τη διεύθυνση x όσο και κατά τη διεύθυνση y. Ακολουθεί παράδειγμα υπολογισμού των ροπών αντοχής της δοκού B14-D:

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά: ύψος:  $h=60\text{cm}$ ,  
 πλάτος κορμού:  $b_w=30\text{cm}$ ,  
 συνεργαζόμενο πλάτος:  $b_{\text{eff}}=108\text{cm}$ ,  
 οπλισμός 2 (άνω): 4φ14 ( $A_{s1}=6,16\text{cm}^2$ )  
 οπλισμός 1 (κάτω): 3φ14 ( $A_{s1}=4,62\text{cm}^2$ ).

Έπειτα από αρκετές δοκιμές καταλήγουμε στις λύσεις:

Λειτουργία πλακοδοκού (υπολογισμός  $M_{Rd,B14-D}^+$ ):

- Θεωρώ αστοχία της θλιβόμενης ζώνης σκυροδέματος  $\varepsilon_{c2}=-0,0035$  και παραμόρφωση κατώτερης στάθμης οπλισμού  $\varepsilon_{c1}=0,0546$ .
- Σχεδιασμός διαγράμματος παραμορφώσεων της διατομής. Η θέση του ουδετέρου άξονα είναι σε απόσταση  $x=31,3\text{mm}$  από την άνω ίνα της διατομής. Η παραμόρφωση στη στάθμη κάθε οπλισμού  $\varepsilon_{si}$  είναι:

$$\varepsilon_{s2}=0,0017$$

$$\varepsilon_{s1}=0,0546$$

- Υπολογισμός της θλιπτικής δύναμης του σκυροδέματος  $F_{cd}$ .  
 Λαμβάνοντας απλοποιημένο ορθογωνικό διάγραμμα σκυροδέματος ισχύει:  
 $F_{cd} = -b(0,8x)f_{cd} = -108 \cdot 0,8 \cdot 3,13 \cdot 0,85 \cdot 25 / 1,5 = -406,26 \text{ kN}$   
 η οποία ασκείται σε απόσταση  $0,4x=12,52\text{mm}$  από την άνω ίνα της διατομής.
- Υπολογισμός της παραμόρφωσης που αντιστοιχεί στη διαρροή του χάλυβα των

$$\text{οπλισμών: } \varepsilon_{yd} = \frac{F_{yd}}{E} = \frac{500 / 1,15 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}} = 0,00217$$

- Υπολογισμός δυνάμεων οπλισμών.  $F_{sd,i} = A_{s,i} \cdot \sigma_{sd,i}$

Για τον υπολογισμό της τάσης του οπλισμού  $\sigma_{sd,i}$  γίνεται σύγκριση της παραμόρφωσης του οπλισμού με την παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη διαρροή του:

$$\text{Στάθμη οπλ. 2: } \varepsilon_{s2} = 0,0017 < \varepsilon_{yd} = 0,00217$$

$$F_{sd,2} = A_{s,2} \cdot \varepsilon_{s2} \cdot E = 6,16\text{cm}^2 \cdot 0,0017 \cdot 200000\text{MPa} = 205,39 \text{ kN}$$

$$\text{Στάθμη οπλ. 1: } \varepsilon_{s1} = 0,0546 > \varepsilon_{yd} = 0,00217$$

$$F_{sd,1} = A_{s,1} \cdot f_{yd} = 4,62\text{cm}^2 \cdot 500 / 1,15\text{MPa} = 200,87 \text{ kN}$$

- Έλεγχος ισοδυναμίας εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.

$$N_{ed} = F_{cd} + F_{sd,2} + F_{sd,1} \Rightarrow 0 = -406,26 + 205,39 + 200,87 \Rightarrow 0 = 0$$

Συνεπώς υπάρχει ισοδυναμία εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.

- Υπολογισμός της ροπής αντοχής ( $M_{Rd}$ ) τη στιγμή της αστοχίας της διατομής.

Ως σημείο αναφοράς επιλέγω το κέντρο βάρους της διατομής.

$$M_{Rd,B14-D}^+ = |F_{cd}| \cdot (h/2 - 0,4x) - F_{sd,2} \cdot (h/2 - y_2) + F_{sd,1} \cdot (y_1 - h/2)$$

$$M_{Rd,B14-D}^+ = 115,35 \text{ kNm}$$

Λειτουργία ορθογωνικής διατομής (υπολογισμός  $M_{Rd,B14-D}^-$ ):

- Θεωρώ αστοχία της θλιβόμενης ζώνης σκυροδέματος  $\varepsilon_{c2} = -0,0035$  και παραμόρφωση κατώτερης στάθμης οπλισμού  $\varepsilon_{s2} = 0,0283$ .
- Σχεδιασμός διαγράμματος παραμορφώσεων της διατομής. Η θέση του ουδετέρου άξονα είναι σε απόσταση  $x = 60,6 \text{ mm}$  από την άνω ίνα της διατομής. Η παραμόρφωση στη στάθμη κάθε οπλισμού  $\varepsilon_{si}$  είναι:

$$\varepsilon_{s1} = -0,00067$$

$$\varepsilon_{s2} = 0,0283$$

- Υπολογισμός της θλιπτικής δύναμης του σκυροδέματος  $F_{cd}$ .  
Λαμβάνοντας απλοποιημένο ορθογωνικό διάγραμμα σκυροδέματος ισχύει:  
 $F_{cd} = -b(0,8x)f_{cd} = -30 \cdot 0,8 \cdot 6,06 \cdot 0,85 \cdot 25 / 1,5 = -205,99 \text{ kN}$   
η οποία ασκείται σε απόσταση  $0,4x = 24,24 \text{ mm}$  από την άνω ίνα της διατομής.
- Υπολογισμός της παραμόρφωσης που αντιστοιχεί στη διαρροή του χάλυβα των οπλισμών:

$$\varepsilon_{yd} = \frac{F_{yd}}{E} = \frac{500 / 1,15 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}} = 0,00217$$

- Υπολογισμός δυνάμεων οπλισμών.  $F_{sd,i} = A_{s,i} \cdot \sigma_{sd,i}$   
Για τον υπολογισμό της τάσης του οπλισμού  $\sigma_{sd,i}$  γίνεται σύγκριση της παραμόρφωσης του οπλισμού με την παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη διαρροή του:

$$\text{Στάθμη οπλ. 1: } |\varepsilon_{s1}| = 0,00067 < \varepsilon_{yd} = 0,00217$$

$$F_{sd,1} = A_{s,1} \cdot \varepsilon_{s1} \cdot E = 4,62 \text{ cm}^2 \cdot 0,00067 \cdot 200000 \text{ MPa} = -61,84 \text{ kN}$$

$$\text{Στάθμη οπλ. 2: } \varepsilon_{s2} = 0,0283 > \varepsilon_{yd} = 0,00217$$

$$F_{sd,2} = A_{s,2} \cdot f_{yd} = 6,16 \text{ cm}^2 \cdot 500 / 1,15 \text{ MPa} = 267,83 \text{ kN}$$

- Έλεγχος ισοδυναμίας εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.  
 $N_{ed} = F_{cd} + F_{sd2} + F_{sd1} \Rightarrow 0 = -205,99 - 61,84 + 267,83 \Rightarrow 0 = 0$   
Συνεπώς υπάρχει ισοδυναμία εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.
- Υπολογισμός της ροπής αντοχής ( $M_{Rd}$ ) τη στιγμή της αστοχίας της διατομής.  
Ως σημείο αναφοράς επιλέγω το κέντρο βάρους της διατομής.

$$M_{Rd,B14-D}^- = |F_{cd}| \cdot (h/2 - 0,4x) + F_{sd,2} \cdot (h/2 - y_2) + F_{sd,1} \cdot (y_1 - h/2)$$

$$M_{Rd,B14-D}^- = 139,55 \text{ kNm}$$

Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται:  $M_{Rd,B11-D}^+ = 111,30 \text{ kNm}$

$$M_{Rd,B11-D}^- = 105,84 \text{ kNm}$$

3. Απαιτήσεις ικανοτικού σχεδιασμού (για τον δυσμενέστερο συνδυασμό φόρτισης) και εύρεση των ροπών αντοχής των υποστλωμάτων. Στο βήμα αυτό θα παρουσιάσουμε τις απαιτήσεις του ικανοτικού σχεδιασμού, με τη μορφή εξισώσεων, που πρέπει να ικανοποιούνται σε κάθε κόμβο του πλαισίου. Ο ικανοτικός σχεδιασμός πραγματοποιείται και για τις δύο διευθύνσεις (σεισμός κατά  $x$  και σεισμός κατά  $y$ )

τόσο για θετική όσο και για αρνητική φορά σεισμού. Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν καταλήγουμε στις εξής εξισώσεις:

### **ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΚΟΜΒΟΥ D:**

Τα δεδομένα που απαιτούνται για να σχεδιαστεί ικανοτικά ο κόμβος D είναι:

- Η αξονική της βάσης του υποστυλώματος C7-E:  $N_{EC7-E}^{bot} = -158,35 \text{ kN}$
- Η αξονική της κεφαλής του υποστυλώματος C7-D:  $N_{EC7-D}^{top} = -334,52 \text{ kN}$

- Η ροπές αντοχής της δοκού B11-D:  $M_{Rd,B11-D}^+ = 111,30 \text{ kNm}$

$$M_{Rd,B11-D}^- = -105,84 \text{ kNm}$$

- Η ροπές αντοχής της δοκού B14-D:  $M_{Rd,B14-D}^+ = 115,35 \text{ kNm}$

$$M_{Rd,B14-D}^- = -139,55 \text{ kNm}$$

### **Ικανοτικός x-x (+):**

$$(49) \quad M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B11-D}^- \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot (-105,84)$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = -137,59$$

$$(50) \quad M_{RC7-D,y}^{top} = (N_{EC7-D}^{top} / N_{EC7-E}^{bot}) \cdot M_{RC7-E,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} = (-334,52 \text{ kN} / -158,35 \text{ kN}) \cdot M_{RC7-E,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} = 2,11 \cdot M_{RC7-E,y}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (1),(2) προκύπτουν:

$$M_{RC7-D,y}^{top} = -93,40 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC7-E,y}^{bot} = -44,19 \text{ kNm}$$

### **Ικανοτικός x-x (-):**

$$(51) \quad M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B11-D}^+ \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot 111,30$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = 144,69$$

$$(52) \quad M_{RC7-D,y}^{top} = (N_{EC7-D}^{top} / N_{EC7-E}^{bot}) \cdot M_{RC7-E,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} = (-334,52 \text{ kN} / -158,35 \text{ kN}) \cdot M_{RC7-E,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} = 2,11 \cdot M_{RC7-E,y}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (3),(4) προκύπτουν:

$$M_{RC7-D,y}^{top} = 98,23 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC7-E,y}^{bot} = 46,47 \text{ kNm}$$

### **Ικανοτικός y-y (+):**

$$(53) \quad M_{RC7-D,x}^{top} + M_{RC7-E,x}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B14-D}^- \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} + M_{RC7-E,x}^{bot} = 1,3 \cdot (-139,55)$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} + M_{RC7-E,x}^{bot} = -181,42$$

$$(54) \quad M_{RC7-D,x}^{top} = (N_{EC7-D}^{top} / N_{EC7-E}^{bot}) \cdot M_{RC7-E,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} = (-334,52 \text{ kN} / -158,35 \text{ kN}) \cdot M_{RC7-E,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} = 2,11 \cdot M_{RC7-E,x}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (5),(6) προκύπτουν:

$$M_{RC7-D,x}^{top} = -123,15 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC7-E,x}^{bot} = -58,26 \text{ kNm}$$

**Ικανοτικός y-y (-):**

$$(55) \quad M_{RC7-D,x}^{top} + M_{RC7-E,x}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B14-D}^+ \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} + M_{RC7-E,x}^{bot} = 1,3 \cdot 115,35$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} + M_{RC7-E,x}^{bot} = 149,96$$

$$(56) \quad M_{RC7-D,x}^{top} = (N_{EC7-D}^{top} / N_{EC7-E}^{bot}) \cdot M_{RC7-E,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} = (-334,52 \text{ kN} / -158,35 \text{ kN}) \cdot M_{RC7-E,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} = 2,11 \cdot M_{RC7-E,x}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (5),(6) προκύπτουν:

$$M_{RC7-D,x}^{top} = 101,80 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC7-E,x}^{bot} = 48,16 \text{ kNm}$$

### **ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΚΟΜΒΟΥ C:**

Τα δεδομένα που απαιτούνται για να σχεδιαστεί ικανοτικά ο κόμβος D είναι:

- Η αξονική της βάσης του υποστυλώματος C7-D:  $N_{EC7-D}^{bot} = -364,01 \text{ kN}$
- Η αξονική της κεφαλής του υποστυλώματος C7-C:  $N_{EC7-C}^{top} = -541,33 \text{ kN}$
- Η ροπές αντοχής της δοκού B11-D:  $M_{Rd,B11-D}^+ = 111,30 \text{ kNm}$   
 $M_{Rd,B11-D}^- = -105,84 \text{ kNm}$
- Η ροπές αντοχής της δοκού B14-D:  $M_{Rd,B14-D}^+ = 115,35 \text{ kNm}$   
 $M_{Rd,B14-D}^- = -139,55 \text{ kNm}$

**Ικανοτικός x-x (+):**

$$(57) \quad M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B11-D}^- \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot (-105,84)$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = -137,59$$

$$(58) \quad M_{RC7-C,y}^{top} = (N_{EC7-C}^{top} / N_{EC7-D}^{bot}) \cdot M_{RC7-D,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-C,y}^{top} = (-541,33 \text{ kN} / -364,01 \text{ kN}) \cdot M_{RC7-D,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-C,y}^{top} = 1,48 \cdot M_{RC7-D,y}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (9),(10) προκύπτουν:

$$M_{RC7-D,y}^{bot} = -55,32 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC7-C,y}^{top} = -82,27 \text{ kNm}$$



**Ικανοτικός x-x (-):**

$$(59) M_{RC7-C,y}^{top} + M_{RC7-D,y}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B11-C}^+ \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = 1,3 \cdot 111,30$$

$$M_{RC7-D,y}^{top} + M_{RC7-E,y}^{bot} = 144,69$$

$$(60) M_{RC7-C,y}^{top} = (N_{EC7-C}^{top} / N_{EC7-D}^{bot}) \cdot M_{RC7-D,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-C,y}^{top} = (-541,33 \text{ kN} / -364,01 \text{ kN}) \cdot M_{RC7-D,y}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-C,y}^{top} = 1,48 \cdot M_{RC7-D,y}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (11),(12) προκύπτουν:

$$M_{RC7-D,y}^{bot} = 58,18 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC7-C,y}^{top} = 86,52 \text{ kNm}$$

**Ικανοτικός y-y (+):**

$$(61) M_{RC7-C,x}^{top} + M_{RC7-D,x}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B14-C}^- \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} + M_{RC7-E,x}^{bot} = 1,3 \cdot (-139,55)$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} + M_{RC7-E,x}^{bot} = -181,42$$

$$(62) M_{RC7-C,x}^{top} = (N_{EC7-C}^{top} / N_{EC7-D}^{bot}) \cdot M_{RC7-D,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-C,x}^{top} = (-541,33 \text{ kN} / -364,01 \text{ kN}) \cdot M_{RC7-D,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-C,x}^{top} = 1,48 \cdot M_{RC7-D,x}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (13),(14) προκύπτουν:

$$M_{RC7-D,x}^{bot} = -72,94 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC7-C,x}^{top} = -108,47 \text{ kNm}$$

**Ικανοτικός y-y (-):**

$$(63) M_{RC7-C,x}^{top} + M_{RC7-D,x}^{bot} = 1,3 \cdot M_{Rd,B14-C}^- \Rightarrow$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} + M_{RC7-E,x}^{bot} = 1,3 \cdot 115,35$$

$$M_{RC7-D,x}^{top} + M_{RC7-E,x}^{bot} = 149,96$$

$$(64) M_{RC7-C,x}^{top} = (N_{EC7-C}^{top} / N_{EC7-D}^{bot}) \cdot M_{RC7-D,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-C,x}^{top} = (-541,33 \text{ kN} / -364,01 \text{ kN}) \cdot M_{RC7-D,x}^{bot} \Rightarrow$$

$$M_{RC7-C,x}^{top} = 1,48 \cdot M_{RC7-D,x}^{bot}$$

Από τις εξισώσεις (15),(16) προκύπτουν:

$$M_{RC7-D,x}^{bot} = 60,29 \text{ kNm} \text{ και } M_{RC7-C,x}^{top} = 89,66 \text{ kNm}$$

4. Υπολογισμός ανηγμένης ροπής και ανηγμένης αξονικής λόγω ικανοτικού σχεδιασμού και γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού. Στο βήμα αυτό, για τις δύο διευθύνσεις ( x και

y) αλλά και για τις δύο φορές του ικανοτικού σχεδιασμού (θετική και αρνητική), θα υπολογίσουμε τις τιμές της ανηγμένης ροπής ( $\mu_d$ ) και της ανηγμένης αξονικής ( $\nu_d$ ) στη βάση και στη κεφαλή του υποστυλώματος C7-D. Έπειτα υπολογίζουμε το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού από το διάγραμμα αλληλεπίδρασης θλίψης-κάμψης βάση του ζεύγους ανοιγμένης αξονικής-ανοιγμένης ροπής ( $\nu_d, \mu_d$ )

### **ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΚΟΜΒΟΥ D:**

#### **Ικανοτικός x-x (+):**

$$\mu_{C7-D,y}^{top} = \frac{M_{RC7-D,y}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{-93,40kNm}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,053$$

$$\nu_{C7-D}^{top} = \frac{N_{EC7-D}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-334,52kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,094$$

$$\omega_{C7-D}^{top} = 0,04$$

#### **Ικανοτικός x-x (-):**

$$\mu_{C7-D,y}^{top} = \frac{M_{RC7-D,y}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{98,23kNm}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,055$$

$$\nu_{C7-D}^{top} = \frac{N_{EC7-D}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-334,52kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,094$$

$$\omega_{C7-D}^{top} = 0,04$$

#### **Ικανοτικός y-y (+):**

$$\mu_{C7-D,x}^{top} = \frac{M_{RC7-D,x}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{-123,15kNm}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,070$$

$$\nu_{C7-D}^{top} = \frac{N_{EC7-D}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-334,52kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,094$$

$$\omega_{C7-D}^{top} = 0,09$$

#### **Ικανοτικός y-y (-):**

$$\mu_{C7-D,x}^{top} = \frac{M_{RC7-D,x}^{top}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{101,80kNm}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,057$$

$$\nu_{C7-D}^{top} = \frac{N_{EC7-D}^{top}}{bh f_{cd}} = \frac{-334,52kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,094$$

$$\omega_{C7-D}^{top} = 0,04$$

Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε και το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για την βάση του C7-E. Έτσι προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

$$- \omega_{C7-E}^{bot} = 0,01$$

$$\omega_{C7-E}^{bot} = 0,01$$

$$\omega_{C7-E}^{bot} = 0,04$$

$$\omega_{C7-E}^{bot} = 0,01$$

### **ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΚΟΜΒΟΥ C:**

**Ικανοτικός x-x (+):**

$$\mu_{C7-D,y}^{bot} = \frac{M_{RC7-D,y}^{bot}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{-55,32kNm}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,031$$

$$v_{C7-D}^{bot} = \frac{N_{EC7-D}^{bot}}{bh f_{cd}} = \frac{-364,01kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,103$$

$$\omega_{C7-D}^{bot} = 0,0$$

**Ικανοτικός x-x (-):**

$$\mu_{C7-D,y}^{bot} = \frac{M_{RC7-D,y}^{bot}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{58,18}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,033$$

$$v_{C7-D}^{bot} = \frac{N_{EC7-D}^{bot}}{bh f_{cd}} = \frac{-364,01kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,103$$

$$\omega_{C7-D}^{bot} = 0,0$$

**Ικανοτικός y-y (+):**

$$\mu_{C7-D,x}^{bot} = \frac{M_{RC7-D,x}^{bot}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{-72,94kNm}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,041$$

$$v_{C7-D}^{bot} = \frac{N_{EC7-D}^{bot}}{bh f_{cd}} = \frac{-364,01kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,103$$

$$\omega_{C7-D}^{bot} = 0,01$$

**Ικανοτικός y-y (-):**

$$\mu_{C7-D,x}^{bot} = \frac{M_{RC7-D,x}^{bot}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{60,29kNm}{0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = 0,034$$

$$v_{C7-D}^{bot} = \frac{N_{EC7-D}^{bot}}{bh f_{cd}} = \frac{-364,01kN}{0,5m \cdot 0,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,103$$

$$\omega_{C7-D}^{bot} = 0,0$$

Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε και γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για την κεφαλή του C7-C. Έτσι προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

$$- \omega_{C7-C}^{top} = 0,0$$

$$\omega_{C7-C}^{top} = 0,0$$

$$\omega_{C7-C}^{top} = 0,0$$

$$\omega_{C7-C}^{top} = 0,0$$

5. Υπολογισμός ενιαίου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο, θα υπολογίσουμε το ενιαίο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για τα άκρα των υποστυλωμάτων που συντρέχουν σε αυτόν ως εξής: Για κάθε μία από τις τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις του ικανοτικού σχεδιασμού που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπολογίζουμε το μέσο όρο των γεωμετρικών ποσοστών οπλισμού που αντιστοιχούν στα δύο άκρα των υποστυλωμάτων. Προκύπτουν επομένως τέσσερα διαφορετικά ενιαία ποσοστά οπλισμού ( $\omega_{ενιαίο}$ ) για τον κόμβο αυτό. Υπολογίζουμε το μέγιστο από αυτά ( $\omega_{max}$ ) το οποίο είναι τελικά το απαιτούμενο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού για τον κόμβο λόγω του ικανοτικού σχεδιασμού.

#### ΚΟΜΒΟΣ D

$\omega_{C7-D}^{top}$	$\omega_{C7-E}^{bot}$	$\omega_{ενιαίο,D}$	$\omega_{δυσ,ικ,D}$
0,04	0,01	0,025	<b>0,065</b>
0,04	0,01	0,025	
0,09	0,04	0,065	
0,04	0,01	0,025	

#### ΚΟΜΒΟΣ C

$\omega_{C7-C}^{top}$	$\omega_{C7-D}^{bot}$	$\omega_{ενιαίο,C}$	$\omega_{δυσ,ικ,C}$
0,00	0,00	0,000	<b>0,005</b>
0,00	0,00	0,000	
0,00	0,01	0,005	
0,00	0,00	0,000	

6. Υπολογισμός ανηγμένης ροπής και ανηγμένης αξονικής λόγω σεισμικής φόρτισης. Όπως αναφέρθηκε στο βήμα (1), για τα άκρα των υποστυλωμάτων που συντρέχουν

στους κόμβους του πλαισίου 1 υπολογίσαμε τα εντατικά μεγέθη λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών. Βάση των εντατικών μεγεθών αυτών λοιπόν θα υπολογίσουμε για κάθε άκρο υποστυλώματος τις τιμές της ανηγμένης ροπής και της ανηγμένης αξονικής δύναμης. Αξίζει να σημειωθεί πάντως ότι λόγω της διαξονικής καταπόνησης, όπως αναφέρθηκε και στο βήμα (1), λαμβάνουμε σε κάθε άκρο υποστυλώματος δύο τιμές ροπής κάμψης, μία κατά x και μία κατά y ( $M_{Edx}$  και  $M_{Edy}$ ). Σύμφωνα με την §5.4.3.2.1(2), η διαξονική κάμψη μπορεί να ληφθεί υπόψη απλοποιητικά εκτελώντας τον έλεγχο ξεχωριστά για κάθε διεύθυνση προσαυξάνοντας την αντίστοιχη δρώσα ροπή κατά 30%. Επομένως για κάθε άκρο υποστυλώματος οι τιμές της δρώσας ροπής και της δρώσας αξονικής αντίστοιχα είναι ίσες με:

$$- \text{Ροπή στο άνω άκρο: } M_{Edx,top} = 7,09 \text{ kNm και } M_{Edy,top} = 60,46 \text{ kNm}$$

$$\text{Ροπή στο κάτω άκρο: } M_{Edx,bot} = 6,95 \text{ kNm και } M_{Edy,bot} = 63,25 \text{ kNm}$$

$$\text{Αξονική άνω και κάτω: } N_{EC,top} = -239,15 \text{ kN και } N_{EC,bot} = -261,02 \text{ kN}$$

$$- M_{EC7-D}^{top} = \max \{ 1,3 \cdot M_{Ed,x}^{top} ; 1,3 \cdot M_{Ed,y}^{top} \} = \max \{ 1,3 \cdot 7,09 ; 1,3 \cdot 60,46 \} = 78,60 \text{ kNm}$$

$$M_{EC7-D}^{bot} = \max \{ 1,3 \cdot M_{Ed,x}^{bot} ; 1,3 \cdot M_{Ed,y}^{bot} \} = \max \{ 1,3 \cdot 6,95 ; 1,3 \cdot 63,25 \} = 82,23 \text{ kNm}$$

$$- \mu_d^{top} = \frac{M_{EC7-D}^{top}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{78,60 \text{ kNm}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5^2 \text{ m}^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = 0,044$$

$$v_d^{top} = \frac{N_{EC}^{top}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-239,15 \text{ kN}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = -0,068$$

$$\omega_{C7-D}^{top} = 0,03$$

$$- \mu_d^{bot} = \frac{M_{EC7-D}^{bot}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{82,23 \text{ kNm}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5^2 \text{ m}^2 \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = 0,046$$

$$v_d^{bot} = \frac{N_{EC}^{bot}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-261,02 \text{ kN}}{0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,85 \cdot 25000 \text{ kPa} / 1,5} = -0,074$$

$$\omega_{C7-D}^{bot} = 0,03$$

Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε  $\omega_{C7-E}^{bot} = 0,08$  και  $\omega_{C7-C}^{top} = 0,07$ . Έπειτα βρίσκουμε ενιαίο γεωμετρικό ποσοστό για τον κόμβο D ως μέσο όρο των  $\omega_{C7-D}^{top} = 0,03$  και  $\omega_{C7-E}^{bot} = 0,08$  και ενιαίο γεωμετρικό ποσοστό για τον κόμβο C ως μέσο όρο των  $\omega_{C7-D}^{bot} = 0,03$  και  $\omega_{C7-C}^{top} = 0,07$ . Άρα:

$$- \omega_{\text{εν,φορτ},D} = 0,055$$

$$- \omega_{\text{εν,φορτ},C} = 0,050$$

7. Υπολογισμός τελικού απαιτούμενου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού κόμβου. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο του πλαισίου, θα υπολογίσουμε το τελικό απαιτούμενο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού ( $\omega_{\text{δυσμ}}$ ) το οποίο ισούται με τη μέγιστη τιμή που προκύπτει λόγω του ικανοτικού σχεδιασμού και λόγω της σεισμικής φόρτισης. Έτσι για κάθε κόμβο ισχύει:

$$- \omega_{\text{δυσ},D} = \max \{ \omega_{\text{δυσ,ικ},D} ; \omega_{\text{εν,φορτ},D} \} = \max \{ 0,065 ; 0,055 \} = 0,065$$

$$- \omega_{\delta\upsilon\sigma,C} = \max \{ \omega_{\delta\upsilon\sigma,\kappa,C} ; \omega_{\epsilon\nu,\phi\acute{o}\rho\tau,C} \} = \max \{ 0,005 ; 0,050 \} = 0,050$$

8. Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού.

Αρχικά υπολογίζεται το μέγιστο από τα γεωμετρικά ποσοστά οπλισμού που αντιστοιχούν στη κεφαλή και τη βάση του υποστυλώματος:

$$- \omega_{C7-D} = \max \{ \omega_{\delta\upsilon\sigma,C} ; \omega_{\delta\upsilon\sigma,D} \} = \max \{ 0,050 ; 0,065 \} = 0,065$$

Βάσει αυτού υπολογίζεται ο απαιτούμενος οπλισμός κάμψης του υποστυλώματος από τον τύπο:

$$- A_{s,tot} = \omega_{C7-D} \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,065 \cdot 50 \cdot 50 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} = 5,30 \text{ cm}^2 \text{ όπου}$$

Έπειτα υπολογίζεται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός κάμψης για το υποστυλώμα:

$$- A_{s,min} = 0,01 \cdot b \cdot h = 0,01 \cdot 50 \cdot 50 = 25 \text{ cm}^2$$

Ο τελικός απαιτούμενος οπλισμός για κάθε παρειά του υποστυλώματος είναι ίσος με:

$$- A_{s,τελ,παρ} = \max \{ A_{s,tot} / 2 ; A_{s,min} / 4 \} = \max \{ 5,30 / 2 ; 25 / 4 \} = 6,25 \text{ cm}^2$$

9. Υπολογισμός του τοποθετούμενου οπλισμού παρειάς σε ράβδους συγκεκριμένης διαμέτρου ώστε το εμβαδόν του να είναι μεγαλύτερο από αυτό του τελικού οπλισμού παρειάς.

Επιλέγονται 4φ18 για κάθε παρειά υποστυλώματος εμβαδού  $A_s = 10,16 \text{ cm}^2$  το οποίο σημαίνει  $4 \cdot 4 = 12$  ράβδους φ18 συνολικού εμβαδού  $A_{s,ολ} = 30,48 \text{ cm}^2$ .

Ακόμα η απόσταση μεταξύ διαδοχικών διαμήκων ράβδων είναι  $s_L = 132 \text{ mm} < s_{L,max} = 150 \text{ mm}$ .

10. Έλεγχος ώστε ο τοποθετούμενος οπλισμός να μην υπερβαίνει τον μέγιστο επιτρεπόμενο οποίος ισούται με  $A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 50 \cdot 50 = 100 \text{ cm}^2 > A_s$

11. Έλεγχος ελαχίστων και μεγίστων για τον τοποθετούμενο οπλισμό. Ο τοποθετούμενος οπλισμός θα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ της ελάχιστης ( $A_{s,min}$ ) και της μέγιστης ( $A_{s,max}$ ) επιτρεπόμενης τιμής του. Οι τιμές αυτές ορίζονται ως εξής:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 50 \cdot 50 = 100 \text{ cm}^2 > A_s \quad A_{s,min} = 0,01 \cdot b \cdot h$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 50 \cdot 50 = 100 \text{ cm}^2 > A_s \quad A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h$$

όπου  $b$  και  $h$  είναι διαστάσεις της διατομής του υποστυλώματος.

12. Υπολογισμός της ροπής αντοχής της διατομής της κεφαλής και της βάσης του υποστυλώματος διότι χρειάζεται στην διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης.

- Εύρεση τοποθετούμενου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού:

$$\omega_{C7-D,top} = \frac{2 \cdot A_{s,top,παρ}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{2 \cdot 10,16}{50 \cdot 50} \cdot \frac{500 / 1,15}{0,85 \cdot 25 / 1,5} = 0,249$$

- Εύρεση της ανοιγμένης ροπής σχεδιασμού που αντιστοιχεί στον οπλισμό της διατομής της κεφαλής και της βάσης του υποστυλώματος μέσω διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης, δεδομένου  $V_{d,C7-D}^{top} = -0,07$ ,  $V_{d,C7-D}^{bot} = -0,07$ :

$$\mu_{d,C7-D}^{top} = 0,14$$

$$\mu_{d,C7-D}^{bot} = 0,14$$

- Εύρεση ροπής αντοχής κορυφής και βάσης:

$$M_{EC7-D}^{top} = \mu_d^{top} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,14 \cdot 0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5 = 247,98 \text{ kNm}$$

$$M_{EC7-D}^{bot} = \mu_d^{bot} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,14 \cdot 0,5m \cdot 0,5^2 m^2 \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5 = 247,98 \text{ kNm}$$

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του παραπάνω υποστυλώματος εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.14 του επόμενου κεφαλαίου.

## 5.5.4 Διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης σε ΟΚΑ

### 5.5.4.1 Διαστασιολόγηση δοκών έναντι διάτμησης σε ΟΚΑ

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστεί αναλυτικά η μεθοδολογία της διαστασιολόγησης των δοκών του πλαισίου 1, τόσο του πλαισιακού όσο και του τοιχωματικού κτηρίου, έναντι διάτμησης για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας. Η μεθοδολογία της διαστασιολόγησης έναντι διάτμησης, εκτός των διατάξεων του ΕΚ-2, πρέπει να ικανοποιεί και τις απαιτήσεις του ικανοτικού σχεδιασμού που ορίζει η §5.5.2.1 του ΕΚ-8. Η διαστασιολόγηση μίας μεμονωμένης δοκού του πλαισίου αναλύεται λεπτομερώς στα επόμενα βήματα τα οποία είναι:

1. Υπολογισμός των ροπών αντοχής των άκρων της δοκού. Στο βήμα αυτό, και αφού έχει προηγηθεί η διαστασιολόγηση της δοκού έναντι κάμψης με την τελική επιλογή του διαμήκους οπλισμού, υπολογίζουμε τις ροπές αντοχής τόσο της αριστερής στήριξης της δοκού κατά τη θετική αλλά και κατά την αρνητική φορά της ροπής ( $M_{Rd,ap}^+$  και  $M_{Rd,ap}^-$  αντίστοιχα) όσο και της δεξιάς στήριξης της δοκού ( $M_{Rd,δεξ}^+$  και  $M_{Rd,δεξ}^-$  αντίστοιχα). Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται αναλυτικά οι ροπές αντοχής στα άκρα όλων των δοκών του πλαισίου 1, τόσο για το πλαισιακό όσο και για το τοιχωματικό κτήριο.
2. Υπολογισμός των ροπών αντοχής στα άκρα των υποστυλωμάτων. Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε τις ροπές αντοχής των άκρων των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στους κόμβους των στηρίξεων της δοκού. Αφού υπολογίζουμε τις παραπάνω ροπές αντοχής, προχωράμε στον υπολογισμό του αθροίσματος των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων κάθε στήριξης ξεχωριστά ( $\sum M_{RC,ap}$  και  $\sum M_{RC,δεξ}$  αντίστοιχα).
3. Λήψη των εντατικών μεγεθών. Στο βήμα αυτό θα λάβουμε τα εντατικά μεγέθη και συγκεκριμένα τις τιμές της δρώσας τέμνουσας δύναμης σε απόσταση  $d = 0,55m$  τόσο από την αριστερή όσο και από τη δεξιά στήριξη της δοκού. Αξίζει να σημειωθεί ότι θα λάβουμε τις τιμές της δρώσας τέμνουσας στα σημεία αυτά για δύο διαφορετικούς συνδυασμούς φορτίσεων και συγκεκριμένα τους συνδυασμούς  $G+0,3 \cdot Q$  και  $1,35 \cdot G+1,50 \cdot Q$ . Επομένως συνολικά θα λάβουμε τις εξής τέσσερις τιμές για τη δοκό:  $V_{G+0,3Q}(d)$ ,  $V_{G+0,3Q}(l-d)$ ,  $V_{1,35G+1,5Q}(d)$  και  $V_{1,35G+1,5Q}(l-d)$ .
4. Υπολογισμός του καθαρού μήκους της δοκού. Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε το μήκος του καθαρού ανοίγματος της δοκού (από παρειά μέχρι παρειά) το οποίο ισούται με:

- $l_{cl} = l - h_{c1} / 2 - h_{c2} / 2$  όπου
- $l$  το συνολικό μήκος της δοκού
- $h_{c1}$  και  $h_{c2}$  οι διαστάσεις των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στα δύο άκρα της δοκού.

5. Επιλογή συντελεστή αβεβαιότητας προσομοιώματος. Σύμφωνα με την §5.5.2.1(3) του ΕΚ-8, για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας, ο συντελεστής αβεβαιότητας προσομοιώματος ( $\gamma_{Rd}$ ) λαμβάνεται ίσος με 1,20.

6. Υπολογισμός των ικανοτικών τεμνουσών. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε, για τα σημεία σε απόσταση  $d = 0,55m$  από τη δεξιά και την αριστερή στήριξη της δοκού αντίστοιχα, την τιμή της ικανοτικής τέμνουσας σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$- V_{i,d}(d) = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,ap}^- \cdot \min\left\{1,0 ; \frac{\sum M_{RC,ap}}{\sum M_{Rb,ap}}\right\} + M_{Rd,\delta\epsilon\xi}^+ \cdot \min\left\{1,0 ; \frac{\sum M_{RC,\delta\epsilon\xi}^+}{\sum M_{Rb,\delta\epsilon\xi}^+}\right\})}{l_{cl}} + V_{G+0,3-Q}(d)$$

$$- V_{i,d}(l-d) = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,ap}^+ \cdot \min\left\{1,0 ; \frac{\sum M_{RC,ap}}{\sum M_{Rb,ap}}\right\} + M_{Rd,\delta\epsilon\xi}^- \cdot \min\left\{1,0 ; \frac{\sum M_{RC,\delta\epsilon\xi}^-}{\sum M_{Rb,\delta\epsilon\xi}^-}\right\})}{l_{cl}} + V_{G+0,3-Q}(l-d)$$

όπου

- $\gamma_{Rd}$  ο συντελεστής αβεβαιότητας όπως υπολογίστηκε στο βήμα (5)
  - $M_{Rd,ap}^-$ ,  $M_{Rd,\delta\epsilon\xi}^+$ ,  $M_{Rd,ap}^+$  και  $M_{Rd,\delta\epsilon\xi}^-$  οι ροπές αντοχής των άκρων της δοκού όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (1)
  - $\sum M_{RC,ap}$  και  $\sum M_{Rb,ap}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων και των δοκών αντίστοιχα που συντρέχουν στο αριστερό άκρο της δοκού σύμφωνα με τον κανόνα του ικανοτικού σχεδιασμού (§5.5.2.1(2)).
  - $\sum M_{RC,\delta\epsilon\xi}$  και  $\sum M_{Rb,\delta\epsilon\xi}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων και των δοκών αντίστοιχα που συντρέχουν στο δεξί άκρο της δοκού σύμφωνα με τον κανόνα του ικανοτικού σχεδιασμού (§5.5.2.1(2)).
  - $V_{G+0,3-Q}(d)$  και  $V_{G+0,3-Q}(l-d)$  οι τιμές της δρώσας τέμνουσας για το συγκεκριμένο συνδυασμό φόρτισης, όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (3).
7. Υπολογισμός της μέγιστης τέμνουσας σχεδιασμού. Στο βήμα αυτό, για κάθε στήριξη της δοκού, θα υπολογίσουμε τις τιμές της μέγιστης τέμνουσας σχεδιασμού με βάση τις οποίες θα προχωρήσουμε στη διαστασιολόγηση. Αυτές είναι ίσες με:

$$- V_E(d) = \max\{V_{i,d}(d) ; V_{1,35-G+1,50-Q}(d)\} \text{ και}$$

$$- V_E(l-d) = \max\{V_{i,d}(l-d) ; V_{1,35-G+1,50-Q}(l-d)\}$$

8. Υπολογισμός του κρίσιμου μήκους. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε το κρίσιμο μήκος της δοκού για τον έλεγχο έναντι διάτμησης. Αυτό, για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας, ισούται με  $l_{cr} = 1,50 \cdot h_w$  όπου  $h_w$  το συνολικό ύψος της δοκού.

9. Υπολογισμός της αντοχής σχεδιασμού σε τέμνουσα στοιχείων χωρίς οπλισμό διάτμησης (κατά τη ρηγμάτωση):



$$V_{Rd,c} = \max \left\{ [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d; (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\}$$

σύμφωνα με την §6.2.2.(1) του ΕΚ-2 όπου:

- $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_C$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το Εθνικό προσάρτημα,
- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$  όπου  $d(mm)$  το στατικό ύψος της δοκού,
- $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0,02$  το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού όπου  $A_{sl}$  το εμβαδόν του εφελκόμενου διαμήκους οπλισμού της διατομής
- $f_{ck}$  η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος
- $k_1 = 0,15$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα
- $\sigma_{cp} = N_{Eds} / A_c < 0,2 f_{cd}$  (MPa) όπου  $N_{Eds}$  η αξονική σχεδιασμού που καταπονεί τη δοκό, η οποία στην περίπτωση μας είναι ίση με μηδέν
- $b_w$  το πλάτος της διατομής της δοκού
- $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$  όπου  $k$  και  $f_{ck}$  αναφέρονται παραπάνω.

10. Υπολογισμός της τιμής της γωνίας  $\theta$  του προσομοιώματος των θλιπτήρων σκυροδεματος σύμφωνα με την §6.2.3(1) του ΕΚ-2:

Για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας, σύμφωνα με την §5.5.3.1.2(2), η κλίση του θλιπτήρα στο προσομοίωμα δικτυώματος θα είναι ίση με  $\theta = 45^\circ$ .

11. Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της μέγιστης τέμνουσας που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο, όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων, σύμφωνα με την §6.2.3(3) του ΕΚ-2.

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta) \text{ ή}$$

$$V_{Rd,max} = 0,18 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{f_{ck}}{250} \right) \right] \cdot f_{ck} \cdot \sin 2\theta \cdot b_w \cdot d \text{ όπου:}$$

- $\alpha_{cw} = 1$  ένας συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την εντατική κατάσταση στη θλιβόμενη διαγώνιο, η συνιστώμενη τιμή του οποίου δίνεται στο Εθνικό προσάρτημα,
- $z$  ο μοχλοβραχίονας της διατομής σε ένα στοιχείο σταθερού ύψους, ο οποίος αντιστοιχεί στην καμπτική ροπή που δρα στο στοιχείο. Στο σχεδιασμό έναντι διάτμησης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος χωρίς αξονικό φορτίο, μπορεί να ληφθεί για το μοχλοβραχίονα η προσεγγιστική τιμή  $z = 0,9d$ .
- $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος
- $v_1$  ένας δείκτης μείωσης της αντοχής για σκυρόδεμα ρηγματωμένο λόγω διάτμησης, η συνιστώμενη τιμή του οποίου είναι ίση με  $v = 0,6 \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$

Στο τέλος του βήματος (11) γίνεται σύγκριση της  $V_{Rd,max}$  με την  $V_{Ed,x=0}$  και στις δύο στηρίξεις της δοκού. Αν  $V_{Rd,max} \leq V_{Ed,x=0}$  οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος δεν επαρκούν, επιβάλλεται αλλαγή διατομής και ο έλεγχος ξεκινά από την αρχή. Αν  $V_{Rd,max} \geq V_{Ed,x=0}$  οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος επαρκούν και ακολουθεί το βήμα (12).

12. Έλεγχος αναστροφής της τέμνουσας δύναμης. Σύμφωνα με την §5.5.3.1.2(3), στο άκρο μιας κύριας σεισμικής δοκού όπου αυτή συνδέεται με υποστύλωμα, πρέπει να εξετάζεται η περίπτωση κατά την οποία αναμένεται πλήρης αναστροφή της τέμνουσας δύναμης. Η περίπτωση αυτή σχετίζεται άμεσα από το λόγο  $\zeta = V_{Ed,min} / V_{Ed,max}$  (όπου  $V_{Ed,min}$  και  $V_{Ed,max}$  οι τιμές της ελάχιστης και της μέγιστης δρώσας τέμνουσας αντίστοιχα). Πιο συγκεκριμένα:

- Εάν  $\zeta \geq -0,5$  τότε η διατμητική αντοχή της δοκού υπολογίζεται κατά τα γνωστά, σύμφωνα με τις διατάξεις του ΕΚ-2.
- Εάν  $\zeta \leq -0,5$  δηλαδή όταν αναμένεται σχεδόν πλήρης αναστροφή των τεμνουσών δυνάμεων τότε:
  - Εάν  $|V_E|_{max} \leq (2 + \zeta) \cdot f_{ct} \cdot b_w \cdot d$  ισχύει το ίδιο με την περίπτωση όπου  $\zeta \geq -0,5$  όσον αφορά τη διατμητική αντοχή της δοκού
  - Εάν  $|V_E|_{max} \geq (2 + \zeta) \cdot f_{ct} \cdot b_w \cdot d$  ο έλεγχος έναντι διάτμησης γίνεται αρκετά πολύπλοκος καθώς απαιτείται τοποθέτηση δισδιαγώνιου οπλισμού.

13. Επιλογή οπλισμού διάτμησης εντός της περιοχής του κρίσιμου μήκους. Στο βήμα αυτό θα υπολογιστεί ο απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης ο οποίος θα τοποθετηθεί εντός της περιοχής του κρίσιμου μήκους της δοκού, όπως αυτό ορίστηκε στο βήμα (8).

Σύμφωνα με την §5.5.3.1.3 του ΕΚ-8, στην κρίσιμη περιοχή μίας κύριας σεισμικής δοκού, οι συνδετήρες που τοποθετούνται πρέπει να ικανοποιούν τις ακόλουθες συνθήκες:

- a) Η διάμετρος  $d_{bw}$  των συνδετήρων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 6 mm και
- b) Η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων  $s$  (mm) δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή  $s = \min \{ h_w / 4 ; 24 \cdot d_{bw} ; 175 ; 6 \cdot d_{bl} \}$  όπου
  - $h_w$  το ύψος της δοκού σε mm
  - $d_{bl}$  η ελάχιστη διάμετρος των διαμήκων ράβδων οπλισμού σε mm

Επιλέγω να τοποθετήσω δίσκελους συνδετήρες διαμέτρου 8mm σε απόσταση ίση με την αμέσως μικρότερη ακέραια τιμή της τιμής  $s$  που υπολογίστηκε παραπάνω. Η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων μας δίνει μια αντοχή σε τέμνουσα η οποία ισούται με:

- $V_{Rd,min} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$  όπου
- $A_{sw}$  το συνολικό εμβαδόν της διατομής του συνδετήρα που επιλέχτηκε παραπάνω
- $s$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων όπως υπολογίστηκε παραπάνω
- $d$  το στατικό ύψος της δοκού

- $f_{ywd}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα των συνδετήρων και
- $\cot \theta$  η τιμή η οποία έχει ήδη υπολογιστεί στο βήμα (10).

Στη συνέχεια συγκρίνουμε την τιμή της  $V_{Rd,min}$ , όπως υπολογίστηκε παραπάνω, με τις τιμές της δρώσας τέμνουσας σχεδιασμού σε απόσταση ίση με  $d$  από τις παρειές των στηρίξεων ( $V_E(d)$  και  $V_E(l-d)$  αντίστοιχα). Αν η τιμή της αντοχής είναι μεγαλύτερη από τις τιμές αυτές τότε η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων επαρκεί για την κρίσιμη περιοχή της δοκού και προχωράμε έτσι στο βήμα (14). Σε αντίθετη περίπτωση θα χρειαστεί πύκνωση των συνδετήρων και επανάληψη του βήματος (13) μέχρις ότου η αντοχή των συνδετήρων υπερβεί τις τιμές της δρώσας τέμνουσας σχεδιασμού.

14. Επιλογή οπλισμού διάτμησης εκτός της περιοχής του κρίσιμου μήκους. Στο βήμα αυτό θα υπολογιστεί ο απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης ο οποίος θα τοποθετηθεί εκτός της περιοχής του κρίσιμου μήκους της δοκού, όπως αυτό ορίστηκε στο βήμα (8). Στην περιοχή αυτή, η μέγιστη απόσταση μεταξύ των συνδετήρων δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή  $s = 0,75 \cdot d$ , όπου  $d$  το στατικό ύψος της δοκού.

Επιλέγω να τοποθετήσω δίσκελους συνδετήρες διαμέτρου  $8mm$  σε απόσταση ίση με την αμέσως μικρότερη ακέραια τιμή της τιμής  $s$ , όπως υπολογίστηκε παραπάνω. Η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων μας δίνει μια αντοχή σε τέμνουσα η οποία ισούται με:

- $V_{Rd,min} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$  όπου
- $A_{sw}$  το συνολικό εμβαδόν της διατομής του συνδετήρα που επιλέχτηκε παραπάνω
- $s$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων όπως υπολογίστηκε παραπάνω
- $d$  το στατικό ύψος της δοκού
- $f_{ywd}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα των συνδετήρων και
- $\cot \theta$  η τιμή η οποία έχει ήδη υπολογιστεί στο βήμα (10).

Στη συνέχεια συγκρίνουμε την τιμή της  $V_{Rd,min}$ , όπως υπολογίστηκε παραπάνω, με τις τιμές της δρώσας τέμνουσας σχεδιασμού σε απόσταση ίση με  $l_{cr}$  από τις παρειές των στηρίξεων ( $V_E(l_{cr})$  και  $V_E(l-l_{cr})$  αντίστοιχα). Αν η τιμή της αντοχής είναι μεγαλύτερη από τις τιμές αυτές τότε η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων επαρκεί για την κρίσιμη περιοχή της δοκού και ο έλεγχος τελειώνει εδώ. Σε αντίθετη περίπτωση θα χρειαστεί πύκνωση των συνδετήρων και επανάληψη του βήματος (14) μέχρις ότου η αντοχή των συνδετήρων υπερβεί τις τιμές της δρώσας τέμνουσας σχεδιασμού στα σημεία αυτά.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν δύο παραδείγματα, ένα για το πλαίσιακό κτήριο και ένα για το τοιχωματικό, στα οποία θα γίνει αναλυτική διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης δύο δοκών με βάση τα παραπάνω βήματα. Με τον ίδιο τρόπο θα γίνει η διαστασιολόγηση και των υπολοίπων δοκών και των δύο κτηρίων η οποία παρουσιάζεται στο παράρτημα με τη μορφή πινάκων (πίνακες Π.5.Β.25 και Π.5.Β.26).

### 5.5.4.1.1 Παράδειγμα διαστασιολόγησης δοκού πλαισιακού κτηρίου έναντι διάτμησης στη ΟΚΑ

Στην ενότητα αυτή θα γίνει λεπτομερής διαστασιολόγηση μιας δοκού του πλαισιακού κτηρίου έναντι διάτμησης για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας ακολουθώντας τα βήματα που περιγράψαμε παραπάνω. Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί η δοκός B-17B του πλαισίου 1, λόγω εμφάνισης σε αυτή των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Υπολογισμός των ροπών αντοχής των άκρων της δοκού. Οι ροπές αντοχής της δοκού στις στηρίξεις της (αριστερά και δεξιά στήριξη αντίστοιχα), τόσο κατά τη θετική όσο και κατά την αρνητική φορά της ροπής, οι οποίες έχουν υπολογιστεί σε προηγούμενη ενότητα, ισούται με:

$$- M_{RD,ap}^+ = 112,47 \text{ KNm} \text{ και } M_{RD,ap}^- = 105,84 \text{ KNm}$$

$$- M_{RD,\delta\epsilon\xi}^+ = 112,80 \text{ KNm} \text{ και } M_{RD,\delta\epsilon\xi}^- = 139,55 \text{ KNm}$$

2. Υπολογισμός των ροπών αντοχής στα άκρα των υποστυλωμάτων. Σε προηγούμενη ενότητα υπολογίσαμε τις ροπές αντοχής των άκρων των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στους κόμβους της δοκού B17-B ( $M_{RC,C1-C}^{bot}$ ,  $M_{RC,C6-C}^{bot}$ ,  $M_{RC,C1-B}^{top}$ ,  $M_{RC,C6-B}^{top}$ ). Αφού έχουμε υπολογίσει τις παραπάνω ροπές αντοχής, προχωράμε στον υπολογισμό του αθροίσματος των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων κάθε κόμβου ξεχωριστά. Έτσι έχουμε τα εξής αθροίσματα:

$$- \sum M_{RC,ap} = 522,52 \text{ KNm}$$

$$- \sum M_{RC,\delta\epsilon\xi} = 593,37 \text{ KNm}$$

3. Λήψη των εντατικών μεγεθών. Για τους δύο διαφορετικούς συνδυασμούς φορτίσεων ( $G+0,3\cdot Q$  και  $1,35\cdot G+1,5\cdot Q$ ), σύμφωνα με τα σχήματα Π.5.A.52 και Π.5.A.53, λαμβάνουμε τις εξής τιμές της δρώσας τέμνουσας:

$$- V_{G+0,3Q}(d) = 31,09 \text{ KN}$$

$$- V_{G+0,3Q}(l-d) = 3,63 \text{ KN}$$

$$- V_{1,35G+1,5Q}(d) = 45,57 \text{ KN}$$

$$- V_{1,35G+1,5Q}(l-d) = 3,53 \text{ KN}.$$

4. Υπολογισμός του καθαρού μήκους της δοκού. Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε το μήκος του καθαρού ανοίγματος της δοκού (από παρειά μέχρι παρειά) το οποίο ισούται με:

$$- l_{cl} = l - h_{c1} / 2 - h_{c2} / 2 = 3,20 - 0,50 / 2 - 0,50 / 2 = 2,70m \text{ όπου}$$

$$- l = 3,20m \text{ το συνολικό μήκος της δοκού B17-B}$$

$$- h_{c1} = 0,50m \text{ και } h_{c2} = 0,50m \text{ οι διαστάσεις των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στα δύο άκρα της δοκού.}$$

5. Επιλογή συντελεστή αβεβαιότητας προσομοιώματος. Σύμφωνα με την §5.5.2.1 του ΕΚ-8, για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας, ο συντελεστής αβεβαιότητας προσομοιώματος ( $\gamma_{Rd}$ ) λαμβάνεται ίσος με 1,20.

6. Υπολογισμός των ικανοτικών τεμνουσών. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε, για τα σημεία σε απόσταση  $d = 0,55m$  από τη δεξιά και την αριστερή στήριξη της δοκού αντίστοιχα, τις τιμές της ικανοτικής τέμνουσας σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$- V_{i,d}(d) = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,ap}^- \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{RC,ap}}{\sum M_{Rb,ap}} \right\} + M_{Rd,\delta\epsilon\xi}^+ \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{RC,\delta\epsilon\xi}}{\sum M_{Rb,\delta\epsilon\xi}} \right\})}{l_{cl}} + V_{G+0,3Q}(d)$$

$$- V_{i,d}(l-d) = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,ap}^+ \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{RC,ap}}{\sum M_{Rb,ap}} \right\} + M_{Rd,\delta\epsilon\xi}^- \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{RC,\delta\epsilon\xi}}{\sum M_{Rb,\delta\epsilon\xi}} \right\})}{l_{cl}} + V_{G+0,3Q}(l-d)$$

όπου

- $\gamma_{Rd} = 1,20$  ο συντελεστής αβεβαιότητας όπως υπολογίστηκε στο βήμα (5)
- $M_{Rd,ap}^- = 105,84 \text{ KNm}$ ,  $M_{Rd,\delta\epsilon\xi}^+ = 112,80 \text{ KNm}$ ,  $M_{Rd,ap}^+ = 112,47 \text{ KNm}$  και  $M_{Rd,\delta\epsilon\xi}^- = 139,55 \text{ KNm}$  οι ροπές αντοχής των άκρων της δοκού όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (1)
- $\sum M_{RC,ap} = 522,52 \text{ KNm}$  και  $\sum M_{Rb,ap} = 105,84 \text{ KNm}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των υποστλωμάτων και των δοκών αντίστοιχα που συντρέχουν στο αριστερό άκρο της δοκού
- $\sum M_{RC,\delta\epsilon\xi} = 593,37 \text{ KNm}$  και  $\sum M_{Rb,\delta\epsilon\xi} = 252,35 \text{ KNm}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των υποστλωμάτων και των δοκών αντίστοιχα που συντρέχουν στο δεξί άκρο της δοκού και
- $V_{G+0,3Q}(d) = 31,09 \text{ KN}$  και  $V_{G+0,3Q}(l-d) = 3,63 \text{ KN}$  οι τιμές της δρώσας τέμνουσας για το συγκεκριμένο συνδυασμό φόρτισης, όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (3).

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω επομένως, προκύπτουν οι εξής τιμές της ικανοτικής τέμνουσας:  $V_{i,d}(d) = 128,26 \text{ KN}$  και  $V_{i,d}(l-d) = 115,64 \text{ KN}$ .

7. Υπολογισμός της μέγιστης τέμνουσας σχεδιασμού. Στο βήμα αυτό, για κάθε στήριξη της δοκού, θα υπολογίσουμε τις τιμές της μέγιστης τέμνουσας σχεδιασμού με βάση τις οποίες θα προχωρήσουμε στη διαστασιολόγηση. Αυτές είναι ίσες με:

$$- V_E(d) = \max \{ V_{i,d}(d) ; V_{1,35-G+1,50-Q}(d) \} = \max \{ 128,26 ; 45,57 \} = 128,26 \text{ KN}$$

$$- V_E(l-d) = \max \{ V_{i,d}(l-d) ; V_{1,35-G+1,50-Q}(l-d) \} = \max \{ 115,64 ; 3,53 \} = 115,64 \text{ KN}$$

8. Υπολογισμός του κρίσιμου μήκους. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε το κρίσιμο μήκος της δοκού για τον έλεγχο έναντι διάτμησης. Για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας, ισούται με:

$$- l_{cr} = 1,50 \cdot h_w = 1,50 \cdot 0,60 = 0,90m \text{ όπου } h_w = 0,60m \text{ το συνολικό ύψος της δοκού.}$$

9. Υπολογισμός της αντοχής σχεδιασμού σε τέμνουσα στοιχείων χωρίς σπλισμό διάτμησης (κατά τη ρηγμάτωση):

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d; (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\}$$

σύμφωνα με την §6.2.2.(1) του ΕΚ-2 όπου:

- $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_C = 0,18 / 1,5 = 0,12$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το Εθνικό προσάρτημα,
- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{551}} = 1,60 \leq 2,0$  όπου  $d = 551 \text{ mm}$  το στατικό ύψος της δοκού,
- $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{4,62}{30 \cdot 55} = 0,0028 \leq 0,02$  το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού όπου  $A_{sl} = 4,62 \text{ cm}^2$  το εμβαδόν του εφελκόμενου οπλισμού της διατομής
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa} = 25000 \text{ KPa}$  η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος
- $k_1 = 0,15$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα
- $\sigma_{cp} = N_{Eds} / A_c < 0,2 f_{cd}$  (MPa) όπου  $N_{Eds}$  η αξονική σχεδιασμού που καταπονεί τη δοκό, η οποία στην περίπτωση μας είναι ίση με μηδέν
- $b_w = 0,30 \text{ m}$  το πλάτος της διατομής της δοκού
- $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,354$  όπου  $k$  και  $f_{ck}$  αναφέρονται παραπάνω.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω επομένως προκύπτει ότι:  $V_{Rd,c} = 60,716 \text{ KN}$ .

10. Υπολογισμός της τιμής της γωνίας  $\theta$  του προσομοιώματος των θλιπτήρων σκυροδεματος σύμφωνα με την §6.2.3(1) του ΕΚ-2:

Για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας, σύμφωνα με την §5.5.3.1.2(2), η κλίση του θλιπτήρα στο προσομοίωμα δικτύωματος θα είναι ίση με  $\theta = 45^\circ$ .

11. Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της μέγιστης τέμνουσας που μπορεί να αναληφθεί από το στοιγείο, όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων, σύμφωνα με την §6.2.3(3) του ΕΚ-2.

$$\text{Ισχύει ότι } V_{Rd,max} = 0,18 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{f_{ck}}{250} \right) \right] \cdot f_{ck} \cdot \sin 2\theta \cdot b_w \cdot d \text{ όπου:}$$

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa} = 25000 \text{ KPa}$
- $\sin(2 \cdot \theta) = 1,00$
- $b_w = 0,30 \text{ m}$
- $d = 0,55 \text{ m}$

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει η τιμή της  $V_{Rd,max}$  η οποία ισούται με  $V_{Rd,max} = 668,25 \text{ KN}$ . Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση της  $V_{Rd,max}$  με την  $V_{Ed,x=0}$  και στις δύο στηρίξεις της δοκού. Ισχύει ότι  $V_{Rd,max} = 668,25 \text{ KN} > 66,07 \text{ KN}$  και

$V_{Rd,max} = 668,25 \text{ KN} > 26,78 \text{ KN}$  επομένως η διατομή επαρκεί και προχωράμε έτσι στο επόμενο βήμα.

12. Έλεγχος αναστροφής της τέμνουσας δύναμης. Σύμφωνα με την §5.5.3.1.2(3), στα άκρα της σεισμικής δοκού του παραδείγματός μας, πρέπει να εξετάζεται η περίπτωση κατά την οποία αναμένεται πλήρης αναστροφή της τέμνουσας δύναμης. Η περίπτωση αυτή σχετίζεται άμεσα από το λόγο  $\zeta = V_{Ed,min} / V_{Ed,max}$  (όπου  $V_{Ed,min}$  και  $V_{Ed,max}$  οι τιμές της ελάχιστης και της μέγιστης δρώσας τέμνουσας αντίστοιχα). Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

$$- \zeta = -\frac{115,64}{128,26} = -0,902 \leq -0,5 \text{ άρα αναμένεται σχεδόν πλήρης αναστροφή των}$$

τεμνουσών δυνάμεων και έτσι έχουμε:

$$- |V_E|_{\max} = 128,26 \text{ KN} < (2 + \zeta) \cdot f_{ct} \cdot b_w \cdot d = (2 - 0,902) \cdot 0,26 \cdot 30 \cdot 55 = 471,22 \text{ KN}$$

επομένως ισχύει το ίδιο με την περίπτωση όπου  $\zeta \geq -0,5$  και έτσι αγνοούμε την αναστροφή της τέμνουσας δύναμης.

13. Εύρεση του ελάχιστου οπλισμού διάτμησης. Ορίζεται στο εθνικό προσάρτημα της

§9.2.2(5) του ΕΚ-2 ως εξής:  $\left(\frac{A_{sw}}{s}\right)_{\min} = \rho_{w,min} \cdot b_w$  όπου:

$$- \rho_{w,min} = (0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk} = 0,08 \cdot \sqrt{25} / 500 = 0,0008$$

$$- f_{ck} = 25 \text{ MPa} \text{ η ονομαστική αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη}$$

$$- f_{yk} = 500 \text{ MPa} \text{ το ονομαστικό όριο διαρροής του χάλυβα και}$$

$$- b_w = 300 \text{ mm} \text{ το πλάτος της δοκού.}$$

$$\text{Επομένως έχουμε } \left(\frac{A_{sw}}{s}\right)_{\min} = \rho_{w,min} \cdot b_w = 0,0008 \cdot 300 = 0,24 \text{ mm}$$

14. Επιλογή οπλισμού διάτμησης εντός της περιοχής του κρίσιμου μήκους. Στο βήμα αυτό θα υπολογιστεί ο απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης ο οποίος θα τοποθετηθεί εντός της περιοχής του κρίσιμου μήκους της δοκού, όπως αυτό ορίστηκε στο βήμα (8).

Σύμφωνα με την §5.5.3.1.3 του ΕΚ-8, στην κρίσιμη περιοχή μίας κύριας σεισμικής δοκού, οι συνδετήρες που τοποθετούνται πρέπει να ικανοποιούν τις ακόλουθες συνθήκες:

a) Η διάμετρος  $d_{bw}$  των συνδετήρων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 6 mm και

b) Η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων  $s$  (mm) δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή

$$s = \min \{h_w / 4 ; 24 \cdot d_{bw} ; 175 ; 6 \cdot d_{bl}\} = \min \{600 / 4 ; 24 \cdot 8 ; 175 ; 6 \cdot 14\} = 84 \text{ mm}$$

όπου

$$- h_w = 600 \text{ mm} \text{ το ύψος της δοκού σε mm}$$

$$- d_{bl} = 14 \text{ mm} \text{ η ελάχιστη διάμετρος των διαμήκων ράβδων οπλισμού.}$$

$$- d_{bw} = 8 \text{ mm} \text{ η διάμετρος των τοποθετούμενων συνδετήρων.}$$

Επιλέγω να τοποθετήσω δίσκελους συνδετήρες διαμέτρου  $8mm$  σε απόσταση ίση με  $s = 80 mm$ . Η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων μας δίνει μια αντοχή σε τέμνουσα η οποία ισούται με:

$$- V_{Rd,min} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = \frac{1,01 \cdot 100}{80} \cdot 0,9 \cdot 550 \cdot 434,78 \cdot 1/1000 = 270,45 \text{ KN}$$

όπου

- $A_{sw} = 1,01 \text{ cm}^2$  το συνολικό εμβαδόν της διατομής του συνδετήρα που επιλέχτηκε παραπάνω
- $s = 80 mm$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων όπως υπολογίστηκε παραπάνω
- $d = 550 mm$  το στατικό ύψος της δοκού
- $f_{ywd} = 434,78 \text{ MPa}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα των συνδετήρων και
- $\cot \theta = 1,00$  για γωνία  $\theta$  ίση με  $45^\circ$ .

Στη συνέχεια συγκρίνουμε την τιμή της  $V_{Rd,min}$ , όπως υπολογίστηκε παραπάνω, με τις τιμές της δρώσας τέμνουσας σχεδιασμού σε απόσταση ίση με  $d = 0,55 m$  από τις παρειές των στηρίξεων ( $V_E(d)$  και  $V_E(l-d)$  αντίστοιχα). Ισχύει ότι:

- $V_{Rd,min} = 270,45 \text{ KN} > V_{Ed}(d) = 129,77 \text{ KN}$
- $V_{Rd,min} = 270,45 \text{ KN} > V_{Ed}(l-d) = 117,23 \text{ KN}$

Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων ( $\Phi 8/80$ ) επαρκεί για τις περιοχές εντός του κρίσιμου μήκους της δοκού.

15. Επιλογή οπλισμού διάτμησης εκτός της περιοχής του κρίσιμου μήκους. Στο βήμα αυτό θα υπολογιστεί ο απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης ο οποίος θα τοποθετηθεί εκτός της περιοχής του κρίσιμου μήκους της δοκού, όπως αυτό ορίστηκε στο βήμα (8). Στην περιοχή αυτή, η μέγιστη απόσταση μεταξύ των συνδετήρων δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή  $s = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 550 = 412,5 mm$ , όπου  $d = 550 mm$  το στατικό ύψος της δοκού.

Επιλέγω να τοποθετήσω δίσκελους συνδετήρες διαμέτρου  $8mm$  σε απόσταση ίση με  $s = 150 mm$ . Η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων μας δίνει μια αντοχή σε τέμνουσα η οποία ισούται με:

$$- V_{Rd,min} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = \frac{1,01 \cdot 100}{150} \cdot 0,9 \cdot 550 \cdot 434,78 \cdot 1,00/1000 = 144,24 \text{ KN}$$

όπου

- $A_{sw} = 1,01 \text{ cm}^2$  το συνολικό εμβαδόν της διατομής του συνδετήρα που επιλέχτηκε παραπάνω
- $s = 150 mm$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων όπως υπολογίστηκε παραπάνω
- $d = 550 mm$  το στατικό ύψος της δοκού



- $f_{ywd} = 434,78 \text{ MPa}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα των συνδετήρων και
- $\cot \theta = 1,00$  για γωνία  $\theta$  ίση με  $45^\circ$ .

Στη συνέχεια συγκρίνουμε την τιμή της  $V_{Rd,min}$ , όπως υπολογίστηκε παραπάνω, με τις τιμές της δρώσας τέμνουσας σχεδιασμού σε απόσταση ίση με  $l_{cr} = 0,60 \text{ m}$  από τις παρειές των στηρίξεων ( $V_E(l_{cr})$  και  $V_E(l-l_{cr})$  αντίστοιχα). Ισχύει ότι:

- $V_{Rd,min} = 144,24 \text{ KN} > V_{Ed}(l_{cr})$
- $V_{Rd,min} = 144,24 \text{ KN} > V_{Ed}(l-l_{cr})$

Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων ( $\Phi 8/150$ ) επαρκεί για τις περιοχές εκτός του κρίσιμου μήκους της δοκού.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες της παραπάνω δοκού εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.11 του επόμενου κεφαλαίου.

#### 5.5.4.1.2 Παράδειγμα διαστασιολόγησης δοκού τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης στη ΟΚΑ

Στο βήμα αυτό θα γίνει λεπτομερής διαστασιολόγηση μιας δοκού του τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας ακολουθώντας τα βήματα που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα. Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί η δοκός B14-B του πλαισίου 1, λόγω εμφάνισης σε αυτή των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Υπολογισμός των ροπών αντοχής των άκρων της δοκού. Οι ροπές αντοχής της δοκού στις στηρίξεις της (αριστερά και δεξιά στήριξη αντίστοιχα), τόσο κατά τη θετική όσο και κατά την αρνητική φορά της ροπής, οι οποίες έχουν υπολογιστεί σε προηγούμενη ενότητα, ισούται με:
  - $M_{RD,ap}^+ = 114,82 \text{ kNm}$  και  $M_{RD,ap}^- = 105,84 \text{ kNm}$
  - $M_{RD,δεξ}^+ = 115,35 \text{ kNm}$  και  $M_{RD,δεξ}^- = 139,55 \text{ kNm}$
2. Υπολογισμός των ροπών αντοχής στα άκρα των υποστυλωμάτων. Σε προηγούμενη ενότητα υπολογίσαμε τις ροπές αντοχής των άκρων των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στον κόμβο D της δοκού B14-D ( $M_{RC,C7-E}^{bot}$ ,  $M_{RC,C7-D}^{top}$ ). Αφού έχουμε υπολογίσει τις παραπάνω ροπές αντοχής, προχωράμε στον υπολογισμό του αθροίσματος των ροπών αντοχής του υποστυλώματος στο οποίο στηρίζεται η δοκός B14-D. Έτσι έχουμε το εξής άθροισμα:
  - $\sum M_{RC,δεξ} = 460,53 \text{ KNm}$
3. Λήψη των εντατικών μεγεθών. Για τους δύο διαφορετικούς συνδυασμούς φορτίσεων ( $G+0,3 \cdot Q$  και  $1,35 \cdot G+1,5 \cdot Q$ ), σύμφωνα με τα σχήματα Π.5.A.54 και Π.5.A.55, λαμβάνουμε τις εξής τιμές της δρώσας τέμνουσας:

- $V_{G+0,3-Q}(d) = 52,82 \text{ kN}$
- $V_{G+0,3-Q}(l-d) = 67,63 \text{ kN}$
- $V_{1,35-G+1,5-Q}(d) = 76,65 \text{ kN}$
- $V_{1,35-G+1,5-Q}(l-d) = 98,18 \text{ kN}$ .

4. Υπολογισμός του καθαρού μήκους της δοκού. Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε το μήκος του καθαρού ανοίγματος της δοκού (από παρειά μέχρι παρειά) το οποίο ισούται με:

- $l_{cl} = l - b_{w1} / 2 - h_{c2} / 2 = 6,60 - 0,30 / 2 - 0,50 / 2 = 6,20m$  όπου
- $l = 6,60m$  το συνολικό μήκος της δοκού B14-D
- $b_{w1} = 0,30m$  και  $h_{c2} = 0,50m$  οι διαστάσεις του τοιχίου και του υποστυλώματος που συντρέχουν στα δύο άκρα της δοκού.

5. Επιλογή συντελεστή αβεβαιότητας προσομοιώματος. Σύμφωνα με την §5.5.2.1 του ΕΚ-8, για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας, ο συντελεστής αβεβαιότητας προσομοιώματος ( $\gamma_{Rd}$ ) λαμβάνεται ίσος με 1,20.

6. Υπολογισμός των ικανοτικών τεμνουσών. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε, για τα σημεία σε απόσταση  $d = 0,55m$  από τη δεξιά και την αριστερή στήριξη της δοκού αντίστοιχα, την τιμή της ικανοτικής τέμνουσας σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$- V_{i,d}(d) = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,ap}^- \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{RC,ap}}{\sum M_{Rb,ap}} \right\} + M_{Rd,\delta\epsilon\xi}^+ \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{RC,\delta\epsilon\xi}}{\sum M_{Rb,\delta\epsilon\xi}} \right\})}{l_{cl}} + V_{G+0,3-Q}(d)$$

$$- V_{i,d}(l-d) = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,ap}^+ \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{RC,ap}}{\sum M_{Rb,ap}} \right\} + M_{Rd,\delta\epsilon\xi}^- \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{RC,\delta\epsilon\xi}}{\sum M_{Rb,\delta\epsilon\xi}} \right\})}{l_{cl}} + V_{G+0,3-Q}(l-d)$$

όπου

- $\gamma_{Rd} = 1,20$  ο συντελεστής αβεβαιότητας όπως υπολογίστηκε στο βήμα (5)
- $M_{RD,ap}^- = 105,84 \text{ kNm}$ ,  $M_{RD,\delta\epsilon\xi}^+ = 115,35 \text{ kNm}$ ,  $M_{RD,ap}^+ = 114,82 \text{ kNm}$  και  $M_{RD,\delta\epsilon\xi}^- = 139,55 \text{ kNm}$  οι ροπές αντοχής των άκρων της δοκού όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (1)
- Στο αριστερό άκρο της δοκού συντρέχει τοίχιο συνεπώς ο λόγος του αθροίσματος των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων προς το άθροισμα των ροπών αντοχής των δοκών που συντρέχουν στο αριστερό άκρο της δοκού δεν λαμβάνεται υπ' όψιν.
- $\sum M_{RC,\delta\epsilon\xi} = 460,53 \text{ KNm}$  και  $M_{RD,\delta\epsilon\xi}^- = 139,55 \text{ kNm}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων και των δοκών αντίστοιχα που συντρέχουν στο δεξί άκρο της δοκού και
- $V_{G+0,3-Q}(d) = 52,82 \text{ kN}$  και  $V_{G+0,3-Q}(l-d) = 67,63 \text{ kN}$  οι τιμές της δρώσας τέμνουσας για το συγκεκριμένο συνδυασμό φόρτισης, όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (3).

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω επομένως, προκύπτουν οι εξής τιμές της ικανοτικής τέμνουσας:  $V_{i,d}(d) = 95,63 \text{ kN}$  και  $V_{i,d}(l-d) = 116,86 \text{ kN}$ .

7. Υπολογισμός της μέγιστης τέμνουσας σχεδιασμού. Στο βήμα αυτό, για κάθε στήριξη της δοκού, θα υπολογίσουμε τις τιμές της μέγιστης τέμνουσας σχεδιασμού με βάση τις οποίες θα προχωρήσουμε στη διαστασιολόγηση. Αυτές είναι ίσες με:

$$- V_E(d) = \max \{V_{i,d}(d) ; V_{1,35-G+1,50-Q}(d)\} = \max \{95,63 ; 76,65\} = 95,63 \text{ KN}$$

$$- V_E(l-d) = \max \{V_{i,d}(l-d) ; V_{1,35-G+1,50-Q}(l-d)\} = \max \{116,86 ; 96,18\} = 116,86 \text{ KN}$$

8. Υπολογισμός του κρίσιμου μήκους. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε το κρίσιμο μήκος της δοκού για τον έλεγχο έναντι διάτμησης. Για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας, ισούται με:

$$- l_{cr} = 1,50 \cdot h_w = 1,50 \cdot 0,60 = 0,90m \text{ όπου } h_w = 0,60m \text{ το συνολικό ύψος της δοκού.}$$

9. Υπολογισμός της αντοχής σχεδιασμού σε τέμνουσα στοιχείων χωρίς οπλισμό διάτμησης (κατά τη ρηγμάτωση):

$$V_{Rd,c} = \max \{ [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d ; (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \}$$

σύμφωνα με την §6.2.2.(1) του ΕΚ-2 όπου:

- $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το Εθνικό προσάρτημα,

- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{551}} = 1,60 \leq 2,0$  όπου  $d = 551 \text{ mm}$  το στατικό ύψος της δοκού,

- $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{4,62}{30 \cdot 55} = 0,0028 \leq 0,02$  το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού όπου

$A_{sl} = 4,62 \text{ cm}^2$  το εμβαδόν του εφελκόμενου οπλισμού της διατομής

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa} = 25000 \text{ KPa}$  η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος

- $k_1 = 0,15$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα

- $\sigma_{cp} = N_{Eds} / A_c < 0,2 f_{cd}$  (MPa) όπου  $N_{Eds}$  η αξονική σχεδιασμού που καταπονεί τη δοκό, η οποία στην περίπτωσή μας είναι ίση με μηδέν

- $b_w = 0,30 \text{ m}$  το πλάτος της διατομής της δοκού

- $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,354$  όπου  $k$  και  $f_{ck}$  αναφέρονται παραπάνω.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω επομένως προκύπτει ότι:  $V_{Rd,c} = 60,72 \text{ KN} < V_{Ed}$  συνεπώς χρειάζεται οπλισμός διάτμησης.

10. Υπολογισμός της τιμής της γωνίας  $\theta$  του προσομοιώματος των θλιπτήρων σκυροδεματος:

Για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας, σύμφωνα με την §5.5.3.1.2(2), η κλίση του θλιπτήρα στο προσομοίωμα δικτύωματος θα είναι ίση με  $\theta = 45^\circ$ .

11. Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της μέγιστης τέμνουσας που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο, όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων, σύμφωνα με την §6.2.3(3) του ΕΚ-2.

$$\text{Ισχύει ότι } V_{Rd,max} = 0,18 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{f_{ck}}{250} \right) \right] \cdot f_{ck} \cdot \sin 2\theta \cdot b_w \cdot d \text{ όπου:}$$

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa} = 25000 \text{ KPa}$
- $\sin(2 \cdot \theta) = 0,6896$
- $b_w = 0,30 \text{ m}$
- $d = 0,55 \text{ m}$

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει η τιμή της  $V_{Rd,max}$  η οποία ισούται με  $V_{Rd,max} = 668,25 \text{ KN} > V_{Ed,x=0}$  επομένως η διατομή επαρκεί και προχωράμε έτσι στο επόμενο βήμα.

12. Έλεγχος αναστροφής της τέμνουσας δύναμης. Σύμφωνα με την §5.5.3.1.2(3), στα άκρα της σεισμικής δοκού του παραδείγματός μας, πρέπει να εξετάζεται η περίπτωση κατά την οποία αναμένεται πλήρης αναστροφή της τέμνουσας δύναμης. Η περίπτωση αυτή σχετίζεται άμεσα από το λόγο  $\zeta = V_{Ed,min} / V_{Ed,max}$  (όπου  $V_{Ed,min}$  και  $V_{Ed,max}$  οι τιμές της ελάχιστης και της μέγιστης δρώσας τέμνουσας αντίστοιχα). Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

$$- \zeta = -\frac{95,63}{116,86} = -0,82 \leq -0,5 \text{ άρα αναμένεται σχεδόν πλήρης αναστροφή των}$$

τεμνουσών δυνάμεων και έτσι έχουμε:

$$- |V_E|_{\max} = 116,86 < (2 + \zeta) \cdot f_{ct} \cdot b_w \cdot d = (2 - 0,82) \cdot 0,26 \cdot 30 \cdot 55 = 506,22 \text{ kN}$$

επομένως ισχύει το ίδιο με την περίπτωση όπου  $\zeta \geq -0,5$  και έτσι αγνοούμε την αναστροφή της τέμνουσας δύναμης

13. Εύρεση του ελάχιστου οπλισμού διάτμησης. Ορίζεται στο εθνικό προσάρτημα της §9.2.2(5) του ΕΚ-2 ως εξής:  $\left(\frac{A_{sw}}{s}\right)_{\min} = \rho_{w,min} \cdot b_w$  όπου:

- $\rho_{w,min} = (0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk} = 0,08 \cdot \sqrt{25} / 500 = 0,0008$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$  η ονομαστική αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη
- $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$  το ονομαστικό όριο διαρροής του χάλυβα και
- $b_w = 300 \text{ mm}$  το πλάτος της δοκού.

$$\text{Επομένως έχουμε } \left(\frac{A_{sw}}{s}\right)_{\min} = \rho_{w,min} \cdot b_w = 0,0008 \cdot 300 = 0,24 \text{ mm}$$

14. Επιλογή οπλισμού διάτμησης εντός της περιοχής του κρίσιμου μήκους. Στο βήμα αυτό θα υπολογιστεί ο απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης ο οποίος θα τοποθετηθεί εντός της περιοχής του κρίσιμου μήκους της δοκού, όπως αυτό ορίστηκε στο βήμα (8).

Σύμφωνα με την §5.5.3.1.3 του ΕΚ-8, στην κρίσιμη περιοχή μίας κύριας σεισμικής δοκού, οι συνδετήρες που τοποθετούνται πρέπει να ικανοποιούν τις ακόλουθες συνθήκες:

- c) Η διάμετρος  $d_{bw}$  των συνδετήρων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 6 mm και

d) Η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων  $s$  ( $mm$ ) δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή  $s = \min\{h_w/4 ; 24 \cdot d_{bw} ; 225 ; 6 \cdot d_{bl}\} = \min\{600/4 ; 24 \cdot 8 ; 225 ; 6 \cdot 14\} = 84 \text{ mm}$  όπου

- $h_w = 600 \text{ mm}$  το ύψος της δοκού σε  $mm$
- $d_{bl} = 18 \text{ mm}$  η ελάχιστη διάμετρος των διαμήκων ράβδων οπλισμού.
- $d_{bw} = 8 \text{ mm}$  η διάμετρος των τοποθετούμενων συνδετήρων.

Επιλέγω να τοποθετήσω δίσκελους συνδετήρες διαμέτρου  $8 \text{ mm}$  ( $A_{sw}=1,01 \text{ cm}^2$ ) σε απόσταση ίση με  $s = 80 \text{ mm}$ . Η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων μας δίνει μια αντοχή σε τέμνουσα η οποία ισούται με:

$$- V_{Rd,\min} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = \frac{1,01 \cdot 100}{80} \cdot 0,9 \cdot 550 \cdot 434,78 \cdot 1 / 1000 = 270,45 \text{ kN}$$

όπου

- $A_{sw} = 1,01 \text{ cm}^2$  το συνολικό εμβαδόν της διατομής του συνδετήρα που επιλέχτηκε παραπάνω
- $s = 80 \text{ mm}$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων όπως υπολογίστηκε παραπάνω
- $d = 550 \text{ mm}$  το στατικό ύψος της δοκού
- $f_{ywd} = 500 / 1,15 = 434,78 \text{ MPa}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα των συνδετήρων και
- $\cot \theta = 1,00$  η τιμή η οποία έχει ήδη υπολογιστεί στο βήμα (10).

Στη συνέχεια συγκρίνουμε την τιμή της  $V_{Rd,\min}$ , όπως υπολογίστηκε παραπάνω, με τις τιμές της δρώσας τέμνουσας σχεδιασμού σε απόσταση ίση με  $d = 0,55 \text{ m}$  από τις παρειές των στηρίξεων ( $V_E(d)$  και  $V_E(l-d)$  αντίστοιχα). Ισχύει ότι:

- $V_{Rd,\min} = 270,45 \text{ KN} > V_{Ed}(d) = 95,63 \text{ KN}$
- $V_{Rd,\min} = 270,45 \text{ KN} > V_{Ed}(l-d) = 116,86 \text{ KN}$

Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων ( $\Phi 8 / 80$ ) επαρκεί για τις περιοχές εντός του κρίσιμου μήκους της δοκού.

15. Επιλογή οπλισμού διάτμησης εκτός της περιοχής του κρίσιμου μήκους. Στο βήμα αυτό θα υπολογιστεί ο απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης ο οποίος θα τοποθετηθεί εκτός της περιοχής του κρίσιμου μήκους της δοκού, όπως αυτό ορίστηκε στο βήμα (8). Στην περιοχή αυτή, η μέγιστη απόσταση μεταξύ των συνδετήρων δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή  $s = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 550 = 412,5 \text{ mm}$ , όπου  $d = 550 \text{ mm}$  το στατικό ύψος της δοκού.

Επιλέγω να τοποθετήσω δίσκελους συνδετήρες διαμέτρου  $8 \text{ mm}$  σε απόσταση ίση με  $s = 180 \text{ mm}$ . Η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων μας δίνει μια αντοχή σε τέμνουσα η οποία ισούται με:

$$- V_{Rd,min} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta = \frac{1,01 \cdot 100}{180} \cdot 0,9 \cdot 550 \cdot 434,78 \cdot 1,00 / 1000 = 120,20 \text{ KN}$$

όπου

- $A_{sw} = 1,01 \text{ cm}^2$  το συνολικό εμβαδόν της διατομής του συνδετήρα που επιλέχτηκε παραπάνω
- $s = 180 \text{ mm}$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων όπως υπολογίστηκε παραπάνω
- $d = 550 \text{ mm}$  το στατικό ύψος της δοκού
- $f_{ywd} = 434,78 \text{ MPa}$  το όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα των συνδετήρων και
- $\cot\theta = 1,00$  για γωνία  $\theta$  ίση με  $45^\circ$ .

Στη συνέχεια συγκρίνουμε την τιμή της  $V_{Rd,min}$ , όπως υπολογίστηκε παραπάνω, με τις τιμές της δρώσας τέμνουσας σχεδιασμού σε απόσταση ίση με  $l_{cr} = 0,90 \text{ m}$  από τις παρειές των στηρίξεων ( $V_E(l_{cr})$  και  $V_E(l - l_{cr})$  αντίστοιχα). Ισχύει ότι:

- $V_{Rd,min} = 120,20 \text{ KN} > V_{Ed}(l_{cr})$
- $V_{Rd,min} = 120,20 \text{ KN} > V_{Ed}(l - l_{cr})$

Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η συγκεκριμένη διάταξη συνδετήρων ( $\Phi 8/180$ ) επαρκεί για τις περιοχές εκτός του κρίσιμου μήκους της δοκού.

Συμπέρασμα: Εντός αποστάσεως  $l_{cr}=0,9\text{m}$  από τις παρειές της δοκού τοποθετούνται δίτμητοι συνδετήρες  $\phi 8/80\text{mm}$ , σε όλη της υπόλοιπη δοκό τοποθετούνται δίτμητοι συνδετήρες  $\phi 8/180\text{mm}$ .

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες της παραπάνω δοκού εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.12 του επόμενου κεφαλαίου.

#### 5.5.4.2 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων έναντι διάτμησης σε Ο.Κ.Α.

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστεί αναλυτικά η μεθοδολογία της διαστασιολόγησης των υποστυλωμάτων του πλαισίου 1, τόσο της πλαισιακής όσο και της τοιχωματικής κατασκευής, έναντι διάτμησης για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας. Η μεθοδολογία αυτή, εκτός των διατάξεων του ΕΚ-2, πρέπει να ικανοποιεί και τις απαιτήσεις του ικανοτικού σχεδιασμού, όπως ορίζει ο ΕΚ-8. Η διαστασιολόγηση ενός μεμονωμένου υποστυλώματος του πλαισίου έναντι διάτμησης αναλύεται λεπτομερώς στα επόμενα βήματα τα οποία είναι:

1. Υπολογισμός των ροπών αντοχής των άκρων του υποστυλώματος. Στο βήμα αυτό, και αφού έχει προηγηθεί η διαστασιολόγηση του υποστυλώματος έναντι κάμψης και θλίψης με την τελική επιλογή του διαμήκους οπλισμού, υπολογίζουμε κατά τους δύο άξονες ( $x$  και  $y$ ) τις ροπές αντοχής τόσο της κεφαλής όσο και της βάσης του υποστυλώματος.

Υπολογίζουμε επομένως τις εξής ροπές αντοχής:  $M_{Rd,C,x}^{top}$ ,  $M_{Rd,C,y}^{top}$ ,  $M_{Rd,C,x}^{bot}$ ,

$M_{Rd,C,y}^{bot}$  . Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται αναλυτικά οι ροπές αντοχής στα άκρα όλων των υποστυλωμάτων του πλαισίου 1, τόσο για το πλαισιακό όσο και για το τοιχωματικό κτήριο.

2. Υπολογισμός του αθροίσματος των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων σε κάθε κόμβο. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο του υποστυλώματος (κεφαλή και βάση) και για κάθε άξονα ξεχωριστά, υπολογίζουμε το άθροισμα των ροπών αντοχής των άκρων των υποστυλωμάτων που συντρέχουν σε αυτόν. Υπολογίζουμε επομένως τα εξής τέσσερα αθροίσματα:  $\sum M_{Rd,C,x}^{top}$  ,  $\sum M_{Rd,C,y}^{top}$  ,  $\sum M_{Rd,C,x}^{bot}$  ,  $\sum M_{Rd,C,y}^{bot}$  .
3. Υπολογισμός του αθροίσματος των ροπών αντοχής των δοκών σε κάθε κόμβο. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο του υποστυλώματος (κεφαλή και βάση) και για κάθε άξονα ξεχωριστά, υπολογίζουμε το άθροισμα των ροπών αντοχής των άκρων των δοκών που συντρέχουν σε αυτόν. Οι ροπές αντοχής των δοκών που συντρέχουν στους κόμβους του πλαισίου 1 έχουν ήδη υπολογιστεί σε προηγούμενη ενότητα αναλυτικά. Υπολογίζουμε επομένως τα εξής τέσσερα αθροίσματα:  $\sum M_{Rd,b,x}^{top}$  ,  $\sum M_{Rd,b,y}^{top}$  ,  $\sum M_{Rd,b,x}^{bot}$  ,  $\sum M_{Rd,b,y}^{bot}$  .
4. Υπολογισμός του καθαρού ύψους του υποστυλώματος. Το καθαρό ύψος του υποστυλώματος ισούται με το συνολικό ύψος του εάν αφαιρέσουμε το ύψος της δοκού που συντρέχει στον κόμβο της κεφαλής του. Επομένως ισχύει:  $H_{cl} = H - h_w$  .
5. Επιλογή του συντελεστή υπεραντοχής. Σύμφωνα με την §5.5.2.2(3) του ΕΚ-8, για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας, ο συντελεστής υπεραντοχής ( $\gamma_{Rd}$ ) λόγω σκλήρυνσης υπό παραμόρφωση του χάλυβα και λόγω περίσφιγξης της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος λαμβάνεται ίσος με 1,30.
6. Υπολογισμός των ικανοτικών τεμνουσών. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε, σύμφωνα με την §5.5.2.2(2) του ΕΚ-8, και για τους δύο άξονες ( $x$  και  $y$ ) την τιμή της ικανοτικής τεμνουσας σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$- V_{CD,C,x} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot \left[ M_{Rd,C,x}^{top} \cdot \min \left\{ 1, 0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,x}^{top}}{\sum M_{Rd,b,x}^{top}} \right\} + M_{Rd,C,x}^{bot} \cdot \min \left\{ 1, 0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,x}^{bot}}{\sum M_{Rd,b,x}^{bot}} \right\} \right]}{H_{cl}}$$

$$- V_{CD,C,y} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot \left[ M_{Rd,C,y}^{top} \cdot \min \left\{ 1, 0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,y}^{top}}{\sum M_{Rd,b,y}^{top}} \right\} + M_{Rd,C,y}^{bot} \cdot \min \left\{ 1, 0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,y}^{bot}}{\sum M_{Rd,b,y}^{bot}} \right\} \right]}{H_{cl}}$$

όπου:

- $\gamma_{Rd}$  ο συντελεστής υπεραντοχής όπως υπολογίστηκε στο βήμα (5)
- $M_{Rd,C,x}^{top}$  ,  $M_{Rd,C,y}^{top}$  ,  $M_{Rd,C,x}^{bot}$  ,  $M_{Rd,C,y}^{bot}$  οι ροπές αντοχής των άκρων του υποστυλώματος όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (1)
- $\sum M_{Rd,C,x}^{top}$  ,  $\sum M_{Rd,C,y}^{top}$  ,  $\sum M_{Rd,C,x}^{bot}$  ,  $\sum M_{Rd,C,y}^{bot}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των άκρων των υποστυλωμάτων, κατά τους δύο άξονες, που συντρέχουν στους δύο κόμβους (κεφαλή και βάση) του υπό εξέταση υποστυλώματος

- $\sum M_{Rd,b,x}^{top}$ ,  $\sum M_{Rd,b,y}^{top}$ ,  $\sum M_{Rd,b,x}^{bot}$ ,  $\sum M_{Rd,b,y}^{bot}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των άκρων των δοκών, κατά τους δύο άξονες, που συντρέχουν στους δύο κόμβους (κεφαλή και βάση) του υπό εξέταση υποστυλώματος
- $H_{cl}$  το καθαρό ύψος του υποστυλώματος όπως ορίστηκε στο βήμα (4).
- 7. Υπολογισμός των εντατικών μεγεθών λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών. Στο βήμα αυτό θα υπολογίζουμε για το υποστύλωμα τις τιμές της δρώσας τέμνουσας, και κατά τους δύο άξονες, αλλά και τη δρώσα αξονική δύναμη λόγω του δυσμενέστερου σεισμικού συνδυασμού. Λαμβάνουμε επομένως τα εξής εντατικά μεγέθη:  $V_{Ed,C,x}$ ,  $V_{Ed,C,y}$  και  $N_{Ed}$ .
- 8. Υπολογισμός τέμνουσας συνδυασμού. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε την τιμή της τέμνουσας σχεδιασμού για το υποστύλωμα με βάση την οποία θα προχωρήσουμε στη διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης. Αυτή ισούται με τη μέγιστη τιμή εκ των δύο ικανοτικών τεμνουσών και των δύο δρωσών τεμνουσών (λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών). Επομένως ισχύει:
  - $V_{E,max} = \max \{V_{CD,C,x} ; V_{CD,C,y} ; V_{Ed,C,x} ; V_{Ed,C,y}\}$
- 9. Υπολογισμός του μήκους της κρίσιμης περιοχής του υποστυλώματος. Σύμφωνα με την §5.5.3.2.2(4), το μήκος της κρίσιμης περιοχής ενός κύριου σεισμικού υποστυλώματος είναι ίσο με  $l_{cr} = \max \{1,5 \cdot h_c ; H_{cl} / 6 ; 0,60\}$  όπου:
  - $h_c$  (m) το πλάτος του υποστυλώματος
  - $H_{cl}$  (m) το καθαρό ύψος του υποστυλώματος
- 10. Υπολογισμός της ανηγμένης αξονικής δύναμης του υποστυλώματος και κατόπιν έλεγχος της διατομής. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε την ανηγμένη αξονική δύναμη του υποστυλώματος ως εξής:
  - $v_d = N_{Ed} / (b_c \cdot h_c \cdot f_{cd})$  όπου
  - $N_{Ed}$  η αξονική δύναμη του υποστυλώματος όπως υπολογίστηκε στο βήμα (7)
  - $b_c$  και  $h_c$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος και
  - $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος

Στη συνέχεια συγκρίνουμε την τιμή της ανηγμένης αξονικής δύναμης που υπολογίσαμε με τη μέγιστη επιτρεπόμενη, η οποία σύμφωνα με την §5.5.3.2.1(3) του ΕΚ-8 είναι ίση με 0,55. Σε περίπτωση που  $v_d < 0,55$  ο έλεγχος ικανοποιείται και προχωράμε στο βήμα (11). Στην αντίθετη περίπτωση η διατομή του υποστυλώματος δεν επαρκεί και πρέπει να γίνει αλλαγή της διατομής.

- 11. Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της μέγιστης τέμνουσας που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο, όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων, σύμφωνα με την §6.2.3(3) του ΕΚ-2.

- $V_{Rd,max} = 0,18 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{f_{ck}}{250} \right) \right] \cdot f_{ck} \cdot \sin 2\theta \cdot b_c \cdot d$  όπου:

- $f_{ck}$  η ονομαστική αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη
- $\theta$  η γωνία που σχηματίζουν οι λοξοί θλιπτήρες σκυροδέματος με τον κάθετο προς τη διεύθυνση της τέμνουσας άξονα της δοκού (με  $21,8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ )



- $b_c$  το πλάτος του υποστυλώματος και
- $d$  το στατικό ύψος του υποστυλώματος.

Στο τέλος του βήματος (11) γίνεται σύγκριση της  $V_{Rd,max}$  με την  $V_{E,max}$ . Αν  $V_{Rd,max} \leq V_{E,max}$  οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος δεν επαρκούν, επιβάλλεται αλλαγή διατομής και ο έλεγχος ξεκινά από την αρχή. Αν  $V_{Rd,max} \geq V_{E,max}$  οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος επαρκούν και ακολουθεί το βήμα (12).

12. Επιλογή τύπου συνδετήρα για την περίσφιξη στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Στο βήμα αυτό λοιπόν, αλλά και στα επόμενα, θα ασχοληθούμε με την περίσφιξη στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος ( $l_{cr}$ ) όπως αυτές υπολογίστηκαν στο βήμα (9). Το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος των συνδετήρων περίσφιξης για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας είναι ίσο με  $d_{bw} = \max \left\{ 6 \text{ mm} ; 0,4 \cdot d_{bl} \cdot \sqrt{f_{yd} / f_{ywd}} \right\}$ , όπου  $d_{bl}$  το πάχος των τοποθετούμενων διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος. Επιλέγουμε τετρασκελείς συνδετήρες με πάχος 8 mm το κάθε σκέλος τους οποίους τοποθετούμε σε απόσταση  $s_w$  (mm).

13. Έλεγχος μέγιστης απόστασης μεταξύ των συνδετήρων περίσφιξης. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε τη μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση μεταξύ των συνδετήρων περίσφιξης στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος η οποία, σύμφωνα με την §5.5.3.2.2(12), ισούται με:

- $s_{w,max} = \min \{ b_0 / 3 ; 125 \text{ mm} ; 6 \cdot d_{bl} \}$  όπου
- $b_0 = b_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \frac{d_{bw}}{2}$  το πλάτος του περισφιγμένου πυρήνα (έως τον άξονα των συνδετήρων περίσφιξης)

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε την απόσταση μεταξύ των συνδετήρων που επιλέξαμε παραπάνω ( $s_w$ ) με τη μέγιστη επιτρεπόμενη που υπολογίσαμε στο βήμα αυτό. Αν  $s_w \leq s_{w,max}$  ο έλεγχος αυτός ικανοποιείται και προχωράμε στο βήμα (14). Σε αντίθετη περίπτωση πυκνώνουμε τους συνδετήρες και επαναλαμβάνουμε τον έλεγχο από την αρχή.

14. Υπολογισμός απαιτούμενου ογκομετρικού ποσοστού συνδετήρων περίσφιξης στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Υπολογίζεται, σύμφωνα με την §5.5.3.2.2(9), ως εξής:

- $\omega_{wd,req} = \alpha \cdot 30 \cdot \mu_\phi \cdot v_d \cdot \varepsilon_{syd} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0,035$  όπου
- $\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1$  όπου  $q_0$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς της κατασκευής για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας
- $v_d$  η τιμή της ανηγμένης αξονικής δύναμης όπως υπολογίστηκε στο βήμα (10)
- $\varepsilon_{syd}$  η ανηγμένη παραμόρφωση στο σημείο διαρροής του χάλυβα
- $b_c$  το πλάτος της διατομής του υποστυλώματος

- $b_0 = b_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \frac{\varphi_w}{2}$  το πλάτος του περισφιγμένου πυρήνα (έως τον άξονα των συνδετήρων περίσφιγξης)
- $\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s$  ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιγξης
- $a_s = (1 - \frac{s_w}{2 \cdot b_0}) \cdot (1 - \frac{s_w}{2 \cdot h_0})$  όπου  $s_w$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων περίσφιγξης,  $b_0$  υπολογίστηκε παραπάνω και  $h_0 = b_0$  για την ορθογωνική διατομή του υποστυλώματός μας.
- $a_n = 1 - \left[ \frac{b_0}{(n_h - 1) \cdot h_0} + \frac{h_0}{(n_b - 1) \cdot b_0} \right] / 3$  για ορθογωνικούς συνδετήρες με  $n_b = n_h = 4$  ο αριθμός των σκελών του συνδετήρα κατά τις δύο διευθύνσεις και  $b_0$  και  $h_0$  όπως ορίστηκαν παραπάνω.

Αφού λοιπόν υπολογίσουμε το απαιτούμενο ογκομετρικό ποσοστό συνδετήρων περίσφιγξης σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, το συγκρίνουμε στη συνέχεια με το ελάχιστο απαιτούμενο το οποίο για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας (§5.5.3.2.2(10)) είναι ίσο με 0,08. Το τελικό απαιτούμενο ογκομετρικό ποσοστό είναι η μέγιστη από αυτές τις δύο τιμές δηλαδή  $\omega_{wd,τελ,απαιτ} = \max \{ \omega_{wd} ; 0,08 \}$ .

15. Υπολογισμός τοποθετούμενου ογκομετρικού ποσοστού συνδετήρων περίσφιγξης στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Το ποσοστό αυτό ισούται με:

- $\omega_{wd,prov} = V_0 \cdot f_{yd} / (V_c \cdot f_{cd})$  όπου
- $V_0$  ο συνολικός όγκος του οπλισμού περίσφιγξης ο οποίος με τη σειρά του ισούται με  $V_0 = L_{wd} \cdot A_{sw} / s_w$
- $L_{wd} = n_b \cdot b_0 + n_h \cdot h_0$  το συνολικό μήκος αναπτύγματος του εγκάρσιου οπλισμού
- $A_{sw}$  το εμβαδόν της διατομής του ενός σκέλους του συνδετήρα
- $s_w$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων
- $V_c = b_0 \cdot h_0$  ο όγκος του πυρήνα σκυροδέματος
- $b_0$  και  $h_0$  υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα
- $f_{yd}$  και  $f_{cd}$  το όριο διαρροής και η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος αντίστοιχα.

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε την τιμή του τοποθετούμενου ογκομετρικού ποσοστού που υπολογίσαμε με την τελική απαιτούμενη τιμή που υπολογίσαμε στο προηγούμενο βήμα ( $\omega_{wd,τελ,απαιτ}$ ). Εάν  $\omega_{wd,prov} \geq \omega_{wd,τελ,απαιτ}$  τότε ο τοποθετούμενος οπλισμός περίσφιγξης επαρκεί για τις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος και προχωράμε στο επόμενο βήμα. Σε αντίθετη περίπτωση, απαιτείται να αυξήσουμε τον τοποθετούμενο εγκάρσιο οπλισμό και να επαναλάβουμε τον έλεγχο αυτό.

16. Υπολογισμός απαιτούμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού για τον έλεγχο αντοχής σε τέμνουσα δύναμη. Στο βήμα αυτό, ξεχωριστά από τον έλεγχο έναντι περίσφιγξης στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος, θα υπολογίσουμε το απαιτούμενο ποσοστό

εγκαρσίου οπλισμού για τον έλεγχο έναντι τέμνουσας δύναμης. Το ποσοστό αυτό ισούται με:

- $\rho_{w,req} = V_{E,max} / (0,9 \cdot b_c \cdot h_c \cdot f_{wyd})$  όπου
- $V_{E,max}$  η δρώσα τέμνουσα σχεδιασμού όπως υπολογίστηκε στο βήμα (8)
- $b_c$  και  $h_c$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος
- $f_{wyd}$  το όριο διαρροής του χάλυβα των συνδετήρων

17. Υπολογισμός και έλεγχος επάρκειας του παρεχόμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού μέσα στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Όπως αποφασίσαμε στο βήμα (12), ο τελικός τοποθετούμενος εγκάρσιος οπλισμός αποτελείται από τετράσκελους συνδετήρες (πάχους  $d_{bw} = 8mm$  το κάθε σκέλος) οι οποίοι τοποθετούνται σε απόσταση  $s_w$  μεταξύ τους. Το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού στις περιοχές αυτές υπολογίζεται ως εξής:  $\rho_{w,prov} = A_{sw} / (b_c \cdot s_w \cdot \sin a)$  όπου

- $A_{sw}$  το συνολικό εμβαδόν του τετράσκελου συνδετήρα
- $b_c$  το πλάτος του υποστυλώματος
- $s_w$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων
- $\sin a = 1$  διότι  $a = 90^\circ$  (συνδετήρες κάθετα τοποθετημένοι στο μήκος του υποστυλώματος)

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού που υπολογίσαμε παραπάνω με το απαιτούμενο ποσοστό που υπολογίσαμε στο βήμα (13). Εάν  $\rho_{w,prov} \geq \rho_{w,req}$  τότε ο τοποθετούμενος εγκάρσιος οπλισμός στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος επαρκεί έναντι διάτμησης και προχωράμε στο επόμενο βήμα. Σε αντίθετη περίπτωση απαιτείται πύκνωση του εγκάρσιου οπλισμού στις περιοχές αυτές και επανάληψη του ελέγχου.

18. Υπολογισμός του τοποθετούμενου εγκάρσιου οπλισμού εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος. Για τις μη κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος ισχύει:

- $d_{bw} \geq \max \{6 ; d_{bl} / 4\}$  όπου  $d_{bw}$  η διάμετρος του σκέλους του συνδετήρα που θα τοποθετηθεί
- $d_{bl}$  η διάμετρος των διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος.

Επιλέγεται να τοποθετηθούν δίσκελοι συνδετήρες με διάμετρο  $8mm$  το κάθε σκέλος. Η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων ( $s_w$ ) πρέπει να ικανοποιεί τον παρακάτω περιορισμό:

- $s_w \leq \min \{20 \cdot d_{bl} ; h_c ; b_c ; 400mm\}$  όπου
- $d_{bl}$  η διάμετρος των διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος
- $b_c$  και  $h_c$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος.

19. Υπολογισμός του απαιτούμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού για τον έλεγχο αντοχής σε τέμνουσα δύναμη εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε το απαιτούμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού για τον έλεγχο έναντι τέμνουσας δύναμης εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος. Το ποσοστό αυτό ισούται με:

- $\rho_{w,req} = \max \{ V_{Ed,C,x} ; V_{Ed,C,y} \} / (0,9 \cdot b_c \cdot h_c \cdot f_{wyd})$  όπου
  - $V_{Ed,C,x}$  και  $V_{Ed,C,y}$  οι δρώσες τέμνουσες δυνάμεις για τους δυσμενέστερους σεισμικούς συνδυασμούς, όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (7)
  - $b_c$  και  $h_c$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος
  - $f_{wyd}$  το όριο διαρροής του χάλυβα των συνδετήρων.
20. Υπολογισμός και έλεγχος επάρκειας του παρεχόμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος. Όπως αποφασίσαμε στο βήμα (15), ο τελικός τοποθετούμενος εγκάρσιος οπλισμός αποτελείται από δίσκελους συνδετήρες (πάχους  $d_{bw} = 8mm$  το κάθε σκέλος) οι οποίοι τοποθετούνται σε απόσταση  $s_w$  μεταξύ τους. Το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού στις περιοχές αυτές υπολογίζεται ως εξής:  $\rho_{w,prov} = A_{sw} / (b_c \cdot s_w \cdot \sin a)$  όπου
- $A_{sw}$  το συνολικό εμβαδόν του δίσκελου συνδετήρα
  - $b_c$  το πλάτος του υποστυλώματος
  - $s_w$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων
  - $\sin a = 1$  διότι  $a = 90^\circ$  (συνδετήρες κάθετα τοποθετημένοι στο μήκος του υποστυλώματος)

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού που υπολογίσαμε παραπάνω με το απαιτούμενο ποσοστό που υπολογίσαμε στο βήμα (19). Εάν  $\rho_{w,prov} \geq \rho_{w,req}$  τότε ο τοποθετούμενος εγκάρσιος οπλισμός στις μη κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος επαρκεί έναντι διάτμησης και ο έλεγχος τελειώνει εδώ. Σε αντίθετη περίπτωση απαιτείται πύκνωση του εγκάρσιου οπλισμού στις περιοχές αυτές και επανάληψη του ελέγχου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται δύο παραδείγματα, ένα για το πλαίσιακό και ένα για το τοιχωματικό κτήριο, στα οποία θα γίνει αναλυτική διαστασιολόγηση δύο υποστυλωμάτων σύμφωνα με την ενότητα αυτή. Με τον ίδιο τρόπο θα γίνει η διαστασιολόγηση και των υπολοίπων υποστυλωμάτων, και των δύο κτηρίων, η οποία θα παρουσιαστεί με τη μορφή πινάκων στο παράρτημα (πίνακες Π.5.Β.27 και Π.5.Β.28).

#### 5.5.4.2.1 Παράδειγμα διαστασιολόγησης υποστυλώματος πλαίσιακού κτηρίου έναντι διάτμησης στη ΟΚΑ

Στην ενότητα αυτή θα γίνει λεπτομερής διαστασιολόγηση ενός υποστυλώματος του πλαίσιακού κτηρίου έναντι διάτμησης για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας ακολουθώντας τα βήματα που περιγράψαμε παραπάνω. Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί το υποστυλώμα C6-B του πλαισίου 1. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Υπολογισμός των ροπών αντοχής των άκρων του υποστυλώματος. Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε, και κατά τους δύο άξονες ( $x$  και  $y$ ), τις ροπές αντοχής τόσο της κεφαλής όσο και της βάσης του υποστυλώματος. Υπολογίζουμε επομένως τις εξής ροπές αντοχής:

- $M_{Rd,C,x}^{top} = 301,11 \text{ KNm}$
- $M_{Rd,C,y}^{top} = 301,11 \text{ KNm}$
- $M_{Rd,C,x}^{bot} = 309,97 \text{ KNm}$
- $M_{Rd,C,y}^{bot} = 309,97 \text{ KNm}$

2. Υπολογισμός του αθροίσματος των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων σε κάθε κόμβο. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο του υποστυλώματος (κεφαλή και βάση) και για κάθε άξονα ξεχωριστά, υπολογίζουμε το άθροισμα των ροπών αντοχής των άκρων των υποστυλωμάτων που συντρέχουν σε αυτόν. Υπολογίζουμε επομένως τα εξής τέσσερα αθροίσματα:

- $\sum M_{Rd,C,x}^{top} = 593,37 \text{ KNm}$ ,
- $\sum M_{Rd,C,y}^{top} = 593,37 \text{ KNm}$ ,
- $\sum M_{Rd,C,x}^{bot} = 637,65 \text{ KNm}$ ,
- $\sum M_{Rd,C,y}^{bot} = 637,65 \text{ KNm}$ .

3. Υπολογισμός του αθροίσματος των ροπών αντοχής των δοκών σε κάθε κόμβο. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο του υποστυλώματος (κεφαλή και βάση) και για κάθε άξονα ξεχωριστά, υπολογίζουμε το άθροισμα των ροπών αντοχής των άκρων των δοκών που συντρέχουν σε αυτόν. Υπολογίζουμε επομένως τα εξής τέσσερα αθροίσματα:

- $\sum M_{Rd,b,x}^{top} = 115,46 \text{ KNm}$
- $\sum M_{Rd,b,y}^{top} = 254,90 \text{ KNm}$
- $\sum M_{Rd,b,x}^{bot} = 115,46 \text{ KNm}$
- $\sum M_{Rd,b,y}^{bot} = 254,90 \text{ KNm}$

4. Υπολογισμός του καθαρού ύψους του υποστυλώματος. Το καθαρό ύψος του υποστυλώματος ισούται με το συνολικό ύψος του εάν αφαιρέσουμε το ύψος της δοκού που συντρέχει στον κόμβο της κεφαλής του. Επομένως ισχύει:

$$- H_{cl} = H - h_w = 3,50 - 0,60 = 2,90 \text{ m} .$$

5. Επιλογή του συντελεστή υπεραντοχής. Σύμφωνα με την §5.5.2.2(3) του ΕΚ-8, για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας, ο συντελεστής υπεραντοχής ( $\gamma_{Rd}$ ) λόγω σκλήρυνσης υπό παραμόρφωση του χάλυβα και λόγω περίσφιγξης της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος λαμβάνεται ίσος με 1,30.

6. Υπολογισμός των ικανοτικών τεμνουσών. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε και για τους δύο άξονες ( $x$  και  $y$ ) την τιμή της ικανοτικής τέμνουσας σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$- V_{CD,C,x} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot \left[ M_{Rd,C,x}^{top} \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,x}^{top}}{\sum M_{Rd,b,x}^{top}} \right\} + M_{Rd,C,x}^{bot} \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,x}^{bot}}{\sum M_{Rd,b,x}^{bot}} \right\} \right]}{H_{cl}}$$

$$- V_{CD,C,y} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot \left[ M_{Rd,C,y}^{top} \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,y}^{top}}{\sum M_{Rd,b,y}^{top}} \right\} + M_{Rd,C,y}^{bot} \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,y}^{bot}}{\sum M_{Rd,b,y}^{bot}} \right\} \right]}{H_{cl}}$$

όπου:

- $\gamma_{Rd} = 1,30$  ο συντελεστής υπεραντοχής όπως υπολογίστηκε στο βήμα (5)
- $M_{Rd,C,x}^{top} = 301,11 \text{ KNm}$ ,  $M_{Rd,C,y}^{top} = 301,11 \text{ KNm}$ ,  $M_{Rd,C,x}^{bot} = 309,97 \text{ KNm}$ ,  
 $M_{Rd,C,y}^{bot} = 309,97 \text{ KNm}$  οι ροπές αντοχής των άκρων του υποστυλώματος όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (1)
- $\sum M_{Rd,C,x}^{top} = 593,37 \text{ KNm}$ ,  $\sum M_{Rd,C,y}^{top} = 593,37 \text{ KNm}$ ,  $\sum M_{Rd,C,x}^{bot} = 637,65 \text{ KNm}$ ,  
 $\sum M_{Rd,C,y}^{bot} = 637,65 \text{ KNm}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των άκρων των υποστυλωμάτων, κατά τους δύο άξονες, που συντρέχουν στους δύο κόμβους (κεφαλή και βάση) του υπό εξέταση υποστυλώματος
- $\sum M_{Rd,b,x}^{top} = 115,46 \text{ KNm}$ ,  $\sum M_{Rd,b,y}^{top} = 254,90 \text{ KNm}$ ,  $\sum M_{Rd,b,x}^{bot} = 115,46 \text{ KNm}$ ,  
 $\sum M_{Rd,b,y}^{bot} = 254,90 \text{ KNm}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των άκρων των δοκών, κατά τους δύο άξονες, που συντρέχουν στους δύο κόμβους (κεφαλή και βάση) του υπό εξέταση υποστυλώματος
- $H_{cl} = 2,90 \text{ m}$  το καθαρό ύψος του υποστυλώματος όπως ορίστηκε στο βήμα (4).

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω επομένως προκύπτουν οι τελικές τιμές της ικανοτικής τέμνουσας του υποστυλώματος C6-B κατά τους δύο άξονες οι οποίες είναι ίσες με:

- $V_{CD,C,x} = 273,93 \text{ KN}$  και
- $V_{CD,C,y} = 273,93 \text{ KN}$ .

7. Υπολογισμός των εντατικών μεγεθών λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών. Από τα σχήματα Π.5.A.56 έως Π.5.A.59 λαμβάνουμε τα εξής εντατικά μεγέθη:

- $V_{Ed,C,x} = 15,65 \text{ KN}$
- $V_{Ed,C,y} = 46,62 \text{ KN}$
- $N_{Ed} = 604,376 \text{ KN}$ .

8. Υπολογισμός τέμνουσας συνδυασμού. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε την τιμή της τέμνουσας σχεδιασμού για το υποστυλώμα με βάση την οποία θα προχωρήσουμε στη διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης. Αυτή ισούται με:

$$- V_{E,max} = \max \{ V_{CD,C,x} ; V_{CD,C,y} ; V_{Ed,C,x} ; V_{Ed,C,y} \} = 273,93 \text{ KN}$$

9. Υπολογισμός του μήκους της κρίσιμης περιοχής του υποστυλώματος. Το μήκος της κρίσιμης περιοχής ενός κύριου σεισμικού υποστυλώματος είναι ίσο με  $l_{cr} = \max \{ 1,5 \cdot h_c ; H_{cl} / 5 ; 0,60 \} = 0,75 \text{ m}$  όπου:

- $h_c = 0,50 \text{ m}$  το πλάτος του υποστυλώματος
- $H_{cl} = 2,90 \text{ m}$  το καθαρό ύψος του υποστυλώματος

10. Υπολογισμός της ανηγμένης αξονικής δύναμης του υποστυλώματος και κατόπιν έλεγχος της διατομής. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε την ανηγμένη αξονική δύναμη του υποστυλώματος ως εξής:

- $v_d = N_{Ed} / (b_c \cdot h_c \cdot f_{cd}) = 604,376 / (0,50 \cdot 0,50 \cdot 14,17 \cdot 1000) = 0,1706$  όπου
- $N_{Ed} = 604,376 \text{ KN}$  η αξονική δύναμη του υποστυλώματος όπως υπολογίστηκε στο βήμα (7)
- $b_c = 0,50 \text{ m}$  και  $h_c = 0,50 \text{ m}$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος και
- $f_{cd} = 14,17 \text{ MPa}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος

Στη συνέχεια συγκρίνουμε την τιμή της ανηγμένης αξονικής δύναμης που υπολογίσαμε με τη μέγιστη επιτρεπόμενη, η οποία σύμφωνα με την §5.5.3.2.1(3) του ΕΚ-8 είναι ίση με 0,55. Ισχύει  $v_d = 0,1706 < 0,55$  επομένως ο έλεγχος ικανοποιείται και προχωράμε στο βήμα (11).

11. Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της μέγιστης τέμνουσας που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο, όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων, σύμφωνα με την §6.2.3(3) του ΕΚ-2.

Ισχύει ότι  $V_{Rd,max} = 0,18 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{f_{ck}}{250} \right) \right] \cdot f_{ck} \cdot \sin 2\theta \cdot b_c \cdot h_c$  όπου:

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa} = 25000 \text{ KPa}$
- $\sin(2 \cdot \theta) = 0,6896$  για  $\theta = 21,8^\circ$
- $b_c = 0,50 \text{ m}$
- $h_c = 0,50 \text{ m}$

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει η τιμή της  $V_{Rd,max}$  η οποία ισούται με  $V_{Rd,max} = 698,24 \text{ KN}$ . Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση της  $V_{Rd,max}$  με την  $V_{E,max}$ . Ισχύει ότι  $V_{Rd,max} = 698,24 \text{ KN} > 273,93 \text{ KN}$  επομένως η διατομή επαρκεί και προχωράμε έτσι στο επόμενο βήμα.

12. Επιλογή τύπου συνδετήρα για την περίσφιξη στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Στο βήμα αυτό λοιπόν, αλλά και στα επόμενα, θα ασχοληθούμε με την περίσφιξη στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος ( $l_{cr}$ ). Το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος των συνδετήρων περίσφιξης για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας είναι ίσο με  $d_{bw} = \max \left\{ 6 \text{ mm} ; 0,4 \cdot d_{bl} \cdot \sqrt{f_{yd} / f_{ywd}} \right\} = 7,20 \text{ mm}$ , όπου  $d_{bl} = 18 \text{ mm}$  το πάχος των τοποθετούμενων διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος. Επιλέγουμε τετρασκελείς συνδετήρες με πάχος 8 mm το κάθε σκέλος τους οποίους τοποθετούμε σε απόσταση  $s_w = 100,00 \text{ mm}$  μεταξύ τους.

13. Έλεγχος μεγίστης απόστασης μεταξύ των συνδετήρων περίσφιξης. Σύμφωνα με την §5.5.3.2.2(12), η απόσταση αυτή ισούται με:

- $s_{w,max} = \min \{ b_0 / 3 ; 125 \text{ mm} ; 6 \cdot d_{bl} \} = 108,00 \text{ mm}$  όπου

- $b_0 = b_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \frac{d_{bw}}{2} = 500 - 2 \cdot 35 - 2 \cdot \frac{8}{2} = 422 \text{ mm}$  το πλάτος του περισφιγμένου πυρήνα και
- $d_{bl} = 18 \text{ mm}$  το πάχος των τοποθετούμενων διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος.

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε την απόσταση μεταξύ των συνδετήρων που επιλέξαμε παραπάνω ( $s_w = 100,00 \text{ mm}$ ) με τη μέγιστη επιτρεπόμενη που υπολογίσαμε στο βήμα αυτό. Ισχύει  $s_w = 100,00 \text{ mm} \leq s_{w,max} = 108,00 \text{ mm}$  επομένως ο έλεγχος αυτός ικανοποιείται και προχωράμε στο βήμα (14).

14. Υπολογισμός απαιτούμενου ογκομετρικού ποσοστού συνδετήρων περίσφιξης στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Υπολογίζεται, σύμφωνα με την §5.5.3.2.2(9), ως εξής:

- $\omega_{wd,req} = \left( 30 \cdot \mu_\phi \cdot v_d \cdot \varepsilon_{syd} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0,035 \right) / a$  όπου
- $\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 5,85 - 1 = 10,7$  όπου  $q_0 = 5,85$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς της κατασκευής για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας
- $v_d = 0,1706$  η τιμή της ανηγμένης αξονικής δύναμης όπως υπολογίστηκε στο βήμα (10)
- $\varepsilon_{syd} = 434,78 / (200000) = 0,00217$  η ανηγμένη παραμόρφωση στο σημείο διαρροής του χάλυβα
- $b_c = 0,50 \text{ m}$  το πλάτος της διατομής του υποστυλώματος
- $b_0 = b_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \frac{\phi_w}{2} = 422 \text{ mm} = 0,422 \text{ m}$  το πλάτος του περισφιγμένου πυρήνα όπως υπολογίστηκε παραπάνω.
- $\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,60$  ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιξης όπου
- $\alpha_s = \left( 1 - \frac{s_w}{2 \cdot b_0} \right) \cdot \left( 1 - \frac{s_w}{2 \cdot h_0} \right) = \left( 1 - \frac{100}{2 \cdot 422} \right) \cdot \left( 1 - \frac{100}{2 \cdot 422} \right) = 0,777$  όπου  $s_w = 100 \text{ mm}$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων περίσφιξης,  $b_0 = 422 \text{ mm}$  υπολογίστηκε παραπάνω και  $h_0 = b_0$  για την ορθογωνική διατομή του υποστυλώματός μας.
- $\alpha_n = 1 - \left[ \frac{b_0}{(n_h - 1) \cdot h_0} + \frac{h_0}{(n_b - 1) \cdot b_0} \right] / 3 = 0,777$  για ορθογωνικούς συνδετήρες με  $n_b = n_h = 4$  ο αριθμός των σκελών του συνδετήρα κατά τις δύο διευθύνσεις και  $b_0 = 422 \text{ mm}$  και  $h_0 = 422 \text{ mm}$  όπως ορίστηκαν παραπάνω.

Επομένως, με βάση τα παραπάνω δεδομένα, προκύπτει η τιμή του απαιτούμενου ποσοστού ως εξής:  $\omega_{wd,req} = \left( 30 \cdot 10,7 \cdot 0,1706 \cdot 0,00217 \cdot \frac{500}{422} - 0,035 \right) / 0,60 = 0,176$



Αφού λοιπόν υπολογίσαμε το απαιτούμενο ογκομετρικό ποσοστό συνδετήρων περίσφιγξης, το συγκρίνουμε στη συνέχεια με το ελάχιστο απαιτούμενο το οποίο για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας (§5.5.3.2.2(10)) είναι ίσο με 0,08. Το τελικό απαιτούμενο ογκομετρικό ποσοστό είναι η μέγιστη από αυτές τις δύο τιμές δηλαδή  $\omega_{wd,τελ,απαιτ} = \max\{\omega_{wd} ; 0,08\} = \max\{0,171 ; 0,08\} = 0,176$ .

15. Υπολογισμός τοποθετούμενου ογκομετρικού ποσοστού συνδετήρων περίσφιγξης στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Το ποσοστό αυτό ισούται με:

- $\omega_{wd,prov} = V_0 \cdot f_{yd} / (V_c \cdot f_{cd})$  όπου
- $V_0$  ο συνολικός όγκος του οπλισμού περίσφιγξης ο οποίος με τη σειρά του ισούται με  $V_0 = L_{wd} \cdot A_{sw} / s_w = 1688,00 \text{ mm}^3$
- $L_{wd} = n_b \cdot b_0 + n_h \cdot h_0 = 4 \cdot 422 + 4 \cdot 422 = 3376 \text{ mm}$  το συνολικό μήκος αναπτύγματος του εγκάρσιου οπλισμού
- $A_{sw} = 0,5 \text{ cm}^2 = 50 \text{ mm}^2$  το εμβαδόν της διατομής του ενός σκέλους του συνδετήρα
- $s_w = 100 \text{ mm}$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων
- $V_c = b_0 \cdot h_0 = 422 \cdot 422 = 178084 \text{ mm}^3$  ο όγκος του πυρήνα σκυροδέματος
- $b_0$  και  $h_0$  υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα
- $f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$  και  $f_{cd} = 14,17 \text{ MPa}$  το όριο διαρροής και η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος αντίστοιχα.
- Επομένως  $\omega_{wd,prov} = 1688,00 \cdot 434,78 / (178084 \cdot 14,17) = 0,291$

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε την τιμή του τοποθετούμενου ογκομετρικού ποσοστού που υπολογίσαμε με την τελική απαιτούμενη τιμή που υπολογίσαμε στο προηγούμενο βήμα ( $\omega_{wd,τελ,απαιτ}$ ). Ισχύει  $\omega_{wd,prov} = 0,291 \geq \omega_{wd,τελ,απαιτ} = 0,176$  οπότε ο τοποθετούμενος οπλισμός περίσφιγξης επαρκεί για τις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος και προχωράμε έτσι στο επόμενο βήμα.

16. Υπολογισμός απαιτούμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού για τον έλεγχο αντοχής σε τέμνουσα δύναμη. Στο βήμα αυτό, ξεχωριστά από τον έλεγχο έναντι περίσφιγξης, θα υπολογίσουμε το απαιτούμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού για τον έλεγχο έναντι τέμνουσας δύναμης. Το ποσοστό αυτό ισούται με:

- $\rho_{w,req} = V_{E,max} / (0,9 \cdot b_c \cdot h_c \cdot f_{wyd})$  όπου
- $V_{E,max} = 273,93 \text{ KN}$  η τέμνουσα σχεδιασμού που υπολογίστηκε στο βήμα (8)
- $b_c = 0,50 \text{ m}$  και  $h_c = 0,50 \text{ m}$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος
- $f_{wyd} = 434,78 \text{ MPa} = 434780 \text{ KPa}$  το όριο διαρροής του χάλυβα των συνδετήρων
- Επομένως  $\rho_{w,req} = 273,93 / (0,9 \cdot 0,50 \cdot 0,50 \cdot 434780) = 0,0028$

17. Υπολογισμός και έλεγχος επάρκειας του παρεχόμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού μέσα στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Όπως αποφασίσαμε στο βήμα (12), ο τοποθετούμενος εγκάρσιος οπλισμός αποτελείται από τετράσκελους συνδετήρες (πάχους

$d_{bw} = 8mm$  το κάθε σκέλος) οι οποίοι τοποθετούνται σε απόσταση  $s_w$  μεταξύ τους. Το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού στις περιοχές αυτές υπολογίζεται ως εξής:

$$\rho_{w,prov} = A_{sw} / (b_c \cdot s_w \cdot \sin a) \text{ όπου}$$

- $A_{sw} = 2,00 \text{ cm}^2$  το συνολικό εμβαδόν του τετράσκελου συνδετήρα
- $b_c = 50 \text{ cm}$  το πλάτος του υποστυλώματος
- $s_w = 10,00 \text{ cm}$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων
- $\sin a = 1$  διότι  $a = 90^\circ$  (συνδετήρες κάθετα τοποθετημένοι στο μήκος του υποστυλώματος)
- Επομένως  $\rho_{w,prov} = 2,00 / (50 \cdot 10,00 \cdot \sin a) = 0,0040$

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού που υπολογίσαμε παραπάνω με το απαιτούμενο ποσοστό που υπολογίσαμε στο βήμα (13). Ισχύει ότι  $\rho_{w,prov} = 0,0040 \geq \rho_{w,req} = 0,0028$  επομένως ο τοποθετούμενος εγκάρσιος οπλισμός στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος επαρκεί έναντι διάτμησης και προχωράμε στο επόμενο βήμα.

18. Υπολογισμός του τοποθετούμενου εγκάρσιου οπλισμού εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος. Για τις μη κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος πρέπει να ισχύει:

- $d_{bw} \geq \max \{6 ; d_{bl} / 4\} = 6 \text{ mm}$  όπου  $d_{bw}$  η διάμετρος του σκέλους του συνδετήρα που θα τοποθετηθεί
- $d_{bl} = 18 \text{ mm}$  η διάμετρος των διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος.

Επιλέγεται να τοποθετηθούν δίσκελοι συνδετήρες με διάμετρο  $8mm$  το κάθε σκέλος. Η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων ( $s_w$ ) πρέπει να ικανοποιεί τον παρακάτω περιορισμό:

- $s_w \leq \min \{20 \cdot d_{bl} ; h_c ; b_c ; 400mm\}$  όπου
- $d_{bl} = 18 \text{ mm}$  η διάμετρος των διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος
- $b_c = 500 \text{ mm}$  και  $h_c = 500 \text{ mm}$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος.
- Άρα  $s_w \leq \min \{20 \cdot d_{bl} ; h_c ; b_c ; 400mm\} = \min \{20 \cdot 18; 500; 500; 400mm\} = 360 \text{ mm}$

Επιλέγω επομένως, εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος, να τοποθετησώ δίσκελους συνδετήρες διαμέτρου  $8 \text{ mm}$  το κάθε σκέλος σε απόσταση  $360 \text{ mm}$  μεταξύ τους ( $\Phi 8 / 360$ ).

19. Υπολογισμός του απαιτούμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού για τον έλεγχο αντοχής σε τέμνουσα δύναμη εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος. Το ποσοστό αυτό ισούται με:

- $\rho_{w,req} = \max \{V_{Ed,C,x} ; V_{Ed,C,y}\} / (0,9 \cdot b_c \cdot h_c \cdot f_{wyd})$  όπου
- $V_{Ed,C,x} = 15,65 \text{ KN}$  και  $V_{Ed,C,y} = 46,62 \text{ KN}$  οι δρώσες τέμνουσες δυνάμεις για τους δυσμενέστερους σεισμικούς συνδυασμούς, όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (7)
- $b_c = 0,50 \text{ m}$  και  $h_c = 0,50 \text{ m}$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος

- $f_{wyd} = 434,78 \text{ MPa} = 434780 \text{ KPa}$  το όριο διαρροής του χάλυβα των συνδετήρων.
  - Επομένως  $\rho_{w,req} = \max\{15,65 ; 46,62\} / (0,9 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 434780) = 0,000477$
20. Υπολογισμός και έλεγχος επάρκειας του παρεχόμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος. Το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού στις περιοχές αυτές υπολογίζεται ως εξής:  $\rho_{w,prov} = A_{sw} / (b_c \cdot s_w \cdot \sin a)$  όπου
- $A_{sw} = 1,00 \text{ cm}^2$  το συνολικό εμβαδόν του δίσκελου συνδετήρα
  - $b_c = 50 \text{ cm}$  το πλάτος του υποστυλώματος
  - $s_w = 36 \text{ cm}$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων
  - $\sin a = 1$  διότι  $a = 90^\circ$  (συνδετήρες κάθετα τοποθετημένοι στο μήκος του υποστυλώματος)
  - Επομένως  $\rho_{w,prov} = 1,00 / (50 \cdot 36 \cdot 1,00) = 0,000555$

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού που υπολογίσαμε παραπάνω με το απαιτούμενο ποσοστό που υπολογίσαμε στο βήμα (19). Ισχύει  $\rho_{w,prov} = 0,000555 \geq \rho_{w,req} = 0,000477$  επομένως ο τοποθετούμενος εγκάρσιος οπλισμός στις μη κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος επαρκεί έναντι διάτμησης και ο έλεγχος τελειώνει εδώ.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του παραπάνω υποστυλώματος εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.13 του επόμενου κεφαλαίου.

#### 5.5.4.2 Παράδειγμα διαστασιολόγησης υποστυλώματος τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης στη ΟΚΑ

Στην ενότητα αυτή θα γίνει λεπτομερής διαστασιολόγηση ενός υποστυλώματος του τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας ακολουθώντας τα βήματα που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα. Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί το υποστυλώμα C7-C του πλαισίου 1. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Υπολογισμός των ροπών αντοχής των άκρων του υποστυλώματος. Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε, και κατά τους δύο άξονες ( $x$  και  $y$ ), τις ροπές αντοχής των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στους κόμβους C και B. Υπολογίζουμε επομένως τις εξής ροπές αντοχής:
  - $M_{Rd,C7-D,y}^{bot} = 247,98 \text{ KNm}$  ,  $M_{Rd,C7-D,x}^{bot} = 247,98 \text{ KNm}$
  - $M_{Rd,C7-C,y}^{top} = 265,69 \text{ KNm}$  ,  $M_{Rd,C7-C,x}^{top} = 265,69 \text{ KNm}$
  - $M_{Rd,C7-C,y}^{bot} = 265,69 \text{ KNm}$  ,  $M_{Rd,C7-C,x}^{bot} = 265,69 \text{ KNm}$
  - $M_{Rd,C7-B,y}^{top} = 283,40 \text{ KNm}$  ,  $M_{Rd,C7-B,x}^{top} = 301,11 \text{ KNm}$
2. Υπολογισμός του αθροίσματος των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων σε κάθε κόμβο. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο του υποστυλώματος (κεφαλή και βάση) και για κάθε άξονα ξεχωριστά, υπολογίζουμε το άθροισμα των ροπών αντοχής των άκρων των

υποστυλωμάτων που συντρέχουν σε αυτόν. Υπολογίζουμε επομένως τα εξής τέσσερα αθροίσματα:

$$\begin{aligned} - \sum M_{Rd,C,y}^{top} &= M_{Rd,C7-D,y}^{bot} + M_{Rd,C7-C,y}^{top} = 513,66 \text{ KNm} \\ - \sum M_{Rd,C,x}^{top} &= M_{Rd,C7-D,x}^{bot} + M_{Rd,C7-C,x}^{top} = 513,66 \text{ KNm} \\ - \sum M_{Rd,C,y}^{bot} &= M_{Rd,C7-C,y}^{bot} + M_{Rd,C7-B,y}^{top} = 549,09 \text{ KNm} \\ - \sum M_{Rd,C,x}^{bot} &= M_{Rd,C7-C,x}^{bot} + M_{Rd,C7-B,x}^{top} = 566,80 \text{ KNm} \end{aligned}$$

3. Υπολογισμός του αθροίσματος των ροπών αντοχής των δοκών σε κάθε κόμβο. Στο βήμα αυτό, για κάθε κόμβο του υποστυλώματος (κεφαλή και βάση) και για κάθε άξονα ξεχωριστά, υπολογίζουμε το άθροισμα των ροπών αντοχής των άκρων των δοκών που συντρέχουν σε αυτόν. Υπολογίζουμε επομένως τα εξής τέσσερα αθροίσματα:

$$\begin{aligned} - \sum M_{Rd,b,x}^{top} &= 111,30 \text{ kNm} \\ - \sum M_{Rd,b,y}^{top} &= 115,35 \text{ kNm} \\ - \sum M_{Rd,b,x}^{bot} &= 111,30 \text{ kNm} \\ - \sum M_{Rd,b,y}^{bot} &= 115,35 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4. Υπολογισμός του καθαρού ύψους του υποστυλώματος. Το καθαρό ύψος του υποστυλώματος ισούται με το συνολικό ύψος του εάν αφαιρέσουμε το ύψος της δοκού που συντρέχει στον κόμβο της κεφαλής του. Επομένως ισχύει:

$$- H_{cl} = H - h_w = 3,50 - 0,60 = 2,90 \text{ m} .$$

5. Επιλογή του συντελεστή υπεραντοχής. Σύμφωνα με την §5.5.2.2(3) του ΕΚ-8, για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας, ο συντελεστής υπεραντοχής ( $\gamma_{Rd}$ ) λόγω σκλήρυνσης υπό παραμόρφωση του χάλυβα και λόγω περίσφιγξης της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος λαμβάνεται ίσος με 1,30.
6. Υπολογισμός των ικανοτικών τεμνουσών. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε και για τους δύο άξονες ( $x$  και  $y$ ) την τιμή της ικανοτικής τέμνουσας σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$- V_{CD,C,x} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot \left[ M_{Rd,C,x}^{top} \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,x}^{top}}{\sum M_{Rd,b,x}^{top}} \right\} + M_{Rd,C,x}^{bot} \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,x}^{bot}}{\sum M_{Rd,b,x}^{bot}} \right\} \right]}{H_{cl}}$$

$$- V_{CD,C,y} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot \left[ M_{Rd,C,y}^{top} \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,y}^{top}}{\sum M_{Rd,b,y}^{top}} \right\} + M_{Rd,C,y}^{bot} \cdot \min \left\{ 1,0 ; \frac{\sum M_{Rd,C,y}^{bot}}{\sum M_{Rd,b,y}^{bot}} \right\} \right]}{H_{cl}}$$

όπου:

- $\gamma_{Rd} = 1,30$  ο συντελεστής υπεραντοχής όπως υπολογίστηκε στο βήμα (5)
- $M_{Rd,C7-C,x}^{top} = 265,69 \text{ KNm}$ ,  $M_{Rd,C7-C,y}^{top} = 265,69 \text{ KNm}$   
 $M_{Rd,C7-C,x}^{bot} = 265,69 \text{ KNm}$ ,  $M_{Rd,C7-C,y}^{bot} = 265,69 \text{ KNm}$  οι ροπές αντοχής των άκρων του υποστυλώματος όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (1).

- $\sum M_{Rd,C,x}^{top} = 513,66 \text{ kNm}$ ,  $\sum M_{Rd,C,y}^{top} = 513,66 \text{ kNm}$ ,  $\sum M_{Rd,C,x}^{bot} = 566,80 \text{ kNm}$ ,  $M_{Rd,C7-C,y}^{bot} = 549,09 \text{ kNm}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των άκρων των υποστυλωμάτων, κατά τους δύο άξονες, που συντρέχουν στους δύο κόμβους (κεφαλή και βάση) του υπό εξέταση υποστυλώματος, όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (2).
- $\sum M_{Rd,b,x}^{top} = 111,30 \text{ kNm}$ ,  $\sum M_{Rd,b,y}^{top} = 115,35 \text{ kNm}$ ,  $\sum M_{Rd,b,x}^{bot} = 111,30 \text{ kNm}$ ,  $\sum M_{Rd,b,y}^{bot} = 115,35 \text{ kNm}$  τα αθροίσματα των ροπών αντοχής των άκρων των δοκών, κατά τους δύο άξονες, που συντρέχουν στους δύο κόμβους (κεφαλή και βάση) του υπό εξέταση υποστυλώματος, όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (3).
- $H_{cl} = 2,90 \text{ m}$  το καθαρό ύψος του υποστυλώματος όπως ορίστηκε στο βήμα (4).

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω επομένως προκύπτουν οι τελικές τιμές της ικανοτικής τέμνουσας του υποστυλώματος C7-C κατά τους δύο άξονες οι οποίες είναι ίσες με:

- $V_{CD,C,x} = 238,20 \text{ kN}$  και
  - $V_{CD,C,y} = 238,20 \text{ kN}$ .
7. Υπολογισμός των εντατικών μεγεθών λόγω των δυσμενέστερων σεισμικών συνδυασμών. Από τα σχήματα Π.5.A.60 έως Π.5.A.62 λαμβάνουμε τα εξής εντατικά μεγέθη:
- $V_{Ed,C,x} = 14,52 \text{ kN}$
  - $V_{Ed,C,y} = 40,04 \text{ KN}$
  - $N_{Ed} = -541,33 \text{ kN}$ .
8. Υπολογισμός τέμνουσας συνδυασμού. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε την τιμή της τέμνουσας σχεδιασμού για το υποστυλώμα με βάση την οποία θα προχωρήσουμε στη διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης. Αυτή ισούται με:
- $V_{E,max} = \max \{V_{CD,C,x} ; V_{CD,C,y} ; V_{Ed,C,x} ; V_{Ed,C,y}\} = 238,20 \text{ KN}$
9. Υπολογισμός του μήκους της κρίσιμης περιοχής του υποστυλώματος. Το μήκος της κρίσιμης περιοχής ενός κύριου σεισμικού υποστυλώματος είναι ίσο με  $l_{cr} = \max \{1,5 \cdot h_c ; H_{cl} / 5 ; 0,60\} = 0,75 \text{ m}$  όπου:
- $h_c = 0,50 \text{ m}$  το πλάτος του υποστυλώματος
  - $H_{cl} = 2,90 \text{ m}$  το καθαρό ύψος του υποστυλώματος
10. Υπολογισμός της ανηγμένης αξονικής δύναμης του υποστυλώματος και κατόπιν έλεγχος της διατομής. Στο βήμα αυτό θα υπολογίσουμε την ανηγμένη αξονική δύναμη του υποστυλώματος ως εξής:
- $v_d = N_{Ed} / (b_c \cdot h_c \cdot f_{cd}) = -541,33 / (0,50 \cdot 0,50 \cdot 0,85 \cdot 25 \cdot 1000 / 1,5) = -0,15$   
όπου
  - $N_{Ed} = -541,33 \text{ kN}$  η αξονική δύναμη του υποστυλώματος όπως υπολογίστηκε στο βήμα (7)
  - $b_c = 0,50 \text{ m}$  και  $h_c = 0,50 \text{ m}$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος και
  - $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος

Στη συνέχεια συγκρίνουμε την τιμή της ανηγμένης αξονικής δύναμης που υπολογίσαμε με τη μέγιστη επιτρεπόμενη, η οποία σύμφωνα με την §5.5.3.2.1(3) του ΕΚ-8 είναι ίση με 0,55. Ισχύει  $v_d = 0,15 < 0,55$  επομένως ο έλεγχος ικανοποιείται και προχωράμε στο βήμα (11).

11. Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της μέγιστης τέμνουσας που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο, όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων, σύμφωνα με την §6.2.3(3) του ΕΚ-2.

$$\text{Ισχύει ότι } V_{Rd,max} = 0,18 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{f_{ck}}{250} \right) \right] \cdot f_{ck} \cdot \sin 2\theta \cdot b_c \cdot h_c = 1012,50 \text{ kN} \text{ όπου:}$$

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa} = 25000 \text{ KPa}$
- $\theta = 45^\circ$  για ΚΠΥ
- $b_c = 0,50 \text{ m}$
- $h_c = 0,50 \text{ m}$

Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση της  $V_{Rd,max}$  με την  $V_{E,max}$ . Ισχύει ότι  $V_{Rd,max} = 1012,50 \text{ kN} > V_{Ed}$  επομένως η διατομή επαρκεί και προχωράμε έτσι στο επόμενο βήμα.

12. Επιλογή τύπου συνδετήρα για την περίσφιξη στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Στο βήμα αυτό λοιπόν, αλλά και στα επόμενα, θα ασχοληθούμε με την περίσφιξη στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος ( $l_{cr}$ ). Το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος των συνδετήρων περίσφιξης για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας είναι ίσο με  $d_{bw} = \max \left\{ 6 \text{ mm} ; 0,4 \cdot d_{bl} \cdot \sqrt{f_{yd} / f_{ywd}} \right\} = 7,2 \text{ mm}$ , όπου  $d_{bl} = 18 \text{ mm}$  το πάχος των τοποθετούμενων διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος. Συνεπώς επιλέγονται συνδετήρες φ8

13. Έλεγχος μέγιστης απόστασης μεταξύ των συνδετήρων περίσφιξης. Σύμφωνα με την §5.5.3.2.2(12), η απόσταση αυτή ισούται με:

- $s_{w,max} = \min \{ b_0 / 3 ; 125 \text{ mm} ; 6 \cdot d_{bl} \} = 108,00 \text{ mm}$  όπου
- $b_0 = b_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \frac{d_{bw}}{2} = 500 - 2 \cdot 35 - 2 \cdot \frac{8}{2} = 422 \text{ mm}$  το πλάτος του περισφιγμένου πυρήνα και
- $d_{bl} = 18 \text{ mm}$  το πάχος των τοποθετούμενων διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος.

Συνεπώς για την περίσφιξη του υποστυλώματος επιλέγουμε φ8/90mm ώστε  $s_w = 100,00 \text{ mm} \leq s_{w,max} = 108,00 \text{ mm}$ .

14. Υπολογισμός απαιτούμενου ογκομετρικού ποσοστού συνδετήρων περίσφιξης στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Υπολογίζεται, σύμφωνα με την §5.5.3.2.2(9), ως εξής:

$$\omega_{wd,req} = \left( 30 \cdot \mu_\phi \cdot v_d \cdot \varepsilon_{syd} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0,035 \right) / a \text{ όπου}$$

- $\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 4,4 - 1 = 7,8$  όπου  $q_0 = 4,4$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς της κατασκευής για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας
- $\nu_d = 0,15$  η τιμή της ανηγμένης αξονικής δύναμης όπως υπολογίστηκε στο βήμα (10)
- $\varepsilon_{syd} = 434,78 / (200000) = 0,00217$  η ανηγμένη παραμόρφωση στο σημείο διαρροής του χάλυβα
- $b_c = 0,50 \text{ m}$  το πλάτος της διατομής του υποστυλώματος
- $b_0 = b_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \frac{\varphi_w}{2} = 422 \text{ mm} = 0,422 \text{ m}$  το πλάτος του περισφιγμένου πυρήνα όπως υπολογίστηκε παραπάνω.
- $\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,60$  ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιξης όπου
- $a_s = \left(1 - \frac{s_w}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s_w}{2 \cdot h_0}\right) = \left(1 - \frac{100}{2 \cdot 422}\right) \cdot \left(1 - \frac{100}{2 \cdot 422}\right) = 0,78$  όπου  $s_w = 125 \text{ mm}$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων περίσφιξης,  $b_0 = 422 \text{ mm}$  υπολογίστηκε παραπάνω και  $h_0 = b_0$  για την ορθογωνική διατομή του υποστυλώματός μας.

- $a_n = 1 - \left[ \frac{b_0}{(n_b - 1) \cdot h_0} + \frac{h_0}{(n_h - 1) \cdot b_0} \right] / 3 = 0,777$  για ορθογωνικούς συνδετήρες με  $n_b = n_h = 4$  ο αριθμός των σκελών του συνδετήρα κατά τις δύο διευθύνσεις και  $b_0 = 422 \text{ mm}$  και  $h_0 = 422 \text{ mm}$  όπως ορίστηκαν παραπάνω.

Επομένως, με βάση τα παραπάνω δεδομένα, προκύπτει η τιμή του απαιτούμενου ποσοστού ως εξής:  $\omega_{wd,req} = \left( 30 \cdot 7,4 \cdot 0,15 \cdot 0,00217 \cdot \frac{500}{422} - 0,035 \right) / 0,60 = 0,095$

15. Υπολογισμός τοποθετούμενου ογκομετρικού ποσοστού συνδετήρων περίσφιξης στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Το ποσοστό αυτό ισούται με:

$$\omega_{wd,prov} = V_0 \cdot f_{yd} / (V_c \cdot f_{cd}) \text{ όπου}$$

- $V_0$  ο συνολικός όγκος του οπλισμού περίσφιξης ο οποίος με τη σειρά του ισούται με  $V_0 = L_{wd} \cdot A_{sw} / s_w = 1688 \text{ mm}^3$
- $L_{wd} = n_b \cdot b_0 + n_h \cdot h_0 = 4 \cdot 422 + 4 \cdot 422 = 3376 \text{ mm}$  το συνολικό μήκος αναπτύγματος του εγκάρσιου οπλισμού
- $A_{sw} = 0,5 \text{ cm}^2 = 50 \text{ mm}^2$  το εμβαδόν της διατομής του ενός σκέλους του συνδετήρα
- $s_w = 100 \text{ mm}$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων
- $V_c = b_0 \cdot h_0 = 422 \cdot 422 = 178084 \text{ mm}^3$  ο όγκος του πυρήνα σκυροδέματος
- $b_0$  και  $h_0$  υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα
- $f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$  και  $f_{cd} = 14,17 \text{ MPa}$  το όριο διαρροής και η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος αντίστοιχα.
- Επομένως  $\omega_{wd,prov} = 1688 \cdot 434,78 / (178084 \cdot 0,85 \cdot 25 / 1,5) = 0,291$

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε την τιμή του τοποθετούμενου ογκομετρικού ποσοστού που υπολογίσαμε με την τελική απαιτούμενη τιμή που υπολογίσαμε στο προηγούμενο βήμα. Ισχύει  $\omega_{wd,prov} = 0,291 \geq \omega_{wd,req}$  οπότε ο τοποθετούμενος οπλισμός περίσφιγξης επαρκεί για τις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος και προχωράμε έτσι στο επόμενο βήμα.

16. Υπολογισμός απαιτούμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού για τον έλεγχο αντοχής σε τέμνουσα δύναμη. Στο βήμα αυτό, ξεχωριστά από τον έλεγχο έναντι περίσφιγξης, θα υπολογίσουμε το απαιτούμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού για τον έλεγχο έναντι τέμνουσας δύναμης. Το ποσοστό αυτό ισούται με:

$$\rho_{w,req} = V_{E,max} / (0,9 \cdot b_c \cdot h_c \cdot f_{wyd}) \text{ όπου}$$

- $V_{E,max} = 238,20 \text{ kN}$  η τέμνουσα σχεδιασμού που υπολογίστηκε στο βήμα (8)
- $b_c = 0,50 \text{ m}$  και  $h_c = 0,50 \text{ m}$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος
- $f_{wyd} = 434,78 \text{ MPa} = 434780 \text{ KPa}$  το όριο διαρροής του χάλυβα των συνδετήρων
- Επομένως  $\rho_{w,req} = 238,20 / (0,9 \cdot 0,50 \cdot 0,50 \cdot 434780) = 0,00243$

17. Υπολογισμός και έλεγχος επάρκειας του παρεχόμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού μέσα στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Όπως αποφασίσαμε στο βήμα (12), ο τοποθετούμενος εγκάρσιος οπλισμός αποτελείται από τετράτμητους συνδετήρες (πάχους  $d_{bw} = 8 \text{ mm}$  το κάθε σκέλος) οι οποίοι τοποθετούνται σε απόσταση  $s_w$  μεταξύ τους. Το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού στις περιοχές αυτές υπολογίζεται ως εξής:

$$\rho_{w,prov} = A_{sw} / (b_c \cdot s_w \cdot \sin a) \text{ όπου}$$

- $A_{sw} = 2,00 \text{ cm}^2$  το συνολικό εμβαδόν του τετράτμητου συνδετήρα
- $b_c = 50 \text{ cm}$  το πλάτος του υποστυλώματος
- $s_w = 10 \text{ cm}$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων
- $\sin a = 1$  διότι  $a = 90^\circ$  (συνδετήρες κάθετα τοποθετημένοι στο μήκος του υποστυλώματος)
- Επομένως  $\rho_{w,prov} = 2,00 / (50 \cdot 10 \cdot \sin a) = 0,0040$

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού που υπολογίσαμε παραπάνω με το απαιτούμενο ποσοστό που υπολογίσαμε στο βήμα (13). Ισχύει ότι  $\rho_{w,prov} = 0,0040 \geq \rho_{w,req} = 0,00243$  επομένως ο τοποθετούμενος εγκάρσιος οπλισμός στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος επαρκεί έναντι διάτμησης και προχωράμε στο επόμενο βήμα.

18. Υπολογισμός του τοποθετούμενου εγκάρσιου οπλισμού εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος.

Για τις μη κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος πρέπει να ισχύει:

- $d_{bw} \geq \max \{6 ; d_{bl} / 4\} = 6 \text{ mm}$  όπου  $d_{bw}$  η διάμετρος του σκέλους του συνδετήρα που θα τοποθετηθεί και  $d_{bl} = 18 \text{ mm}$  η διάμετρος των διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος.



Επιλέγεται να τοποθετηθούν δίσκελοι συνδετήρες με διάμετρο  $8\text{mm}$  το κάθε σκέλος. Η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων ( $s_w$ ) πρέπει να ικανοποιεί τον παρακάτω περιορισμό:

- $s_w \leq \min\{20 \cdot d_{bl} ; h_c ; b_c ; 400\text{mm}\}$  όπου
- $d_{bl} = 18\text{ mm}$  η διάμετρος των διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος
- $b_c = 500\text{ mm}$  και  $h_c = 500\text{ mm}$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος.
- Άρα  $s_w \leq \min\{20 \cdot d_{bl} ; h_c ; b_c ; 400\text{mm}\} = \min\{20 \cdot 18; 500; 500; 400\text{mm}\} = 360\text{ mm}$

Επιλέγω επομένως, εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος, να τοποθετήσω δίσκελους συνδετήρες διαμέτρου  $8\text{ mm}$  το κάθε σκέλος σε απόσταση  $360\text{ mm}$  μεταξύ τους ( $\Phi 8/360$ ).

19. Υπολογισμός του απαιτούμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού για τον έλεγχο αντοχής σε τέμνουσα δύναμη εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος. Το ποσοστό αυτό ισούται με:

- $\rho_{w,req} = \max\{V_{Ed,C,x} ; V_{Ed,C,y}\} / (0,9 \cdot b_c \cdot h_c \cdot f_{wyd})$  όπου
- $V_{Ed,C,x} = 14,52\text{ kN}$  και  $V_{Ed,C,y} = 40,04\text{ KN}$  οι δρώσες τέμνουσες δυνάμεις για τους δυσμενέστερους σεισμικούς συνδυασμούς, όπως υπολογίστηκαν στο βήμα (7)
- $b_c = 0,50\text{ m}$  και  $h_c = 0,50\text{ m}$  οι διαστάσεις του υποστυλώματος
- $f_{wyd} = 434,78\text{ MPa} = 434780\text{ KPa}$  το όριο διαρροής του χάλυβα των συνδετήρων.
- Επομένως  $\rho_{w,req} = 40,04 / (0,9 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 500 \cdot 1000 / 1,15) = 0,00041$

20. Υπολογισμός και έλεγχος επάρκειας του παρεχόμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού εκτός των κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος. Το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού στις περιοχές αυτές υπολογίζεται ως εξής:  $\rho_{w,prov} = A_{sw} / (b_c \cdot s_w \cdot \sin a)$  όπου

- $A_{sw} = 1,00\text{ cm}^2$  το συνολικό εμβαδόν του δίτητου συνδετήρα
- $b_c = 50\text{ cm}$  το πλάτος του υποστυλώματος
- $s_w = 36\text{cm}$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων
- $\sin a = 1$  διότι  $a = 90^\circ$  (συνδετήρες κάθετα τοποθετημένοι στο μήκος του υποστυλώματος)
- Επομένως  $\rho_{w,prov} = 1,00 / (50 \cdot 36 \cdot \sin a) = 0,00056$

Στο τέλος του βήματος αυτού συγκρίνουμε το παρεχόμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού που υπολογίσαμε παραπάνω με το απαιτούμενο ποσοστό που υπολογίσαμε στο βήμα (19). Ισχύει  $\rho_{w,prov} > \rho_{w,req}$  επομένως ο τοποθετούμενος εγκάρσιος οπλισμός στις μη κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος επαρκεί έναντι διάτμησης και ο έλεγχος τελειώνει εδώ.

Συμπέρασμα: Εντός αποστάσεως  $l_{cr}=0,75\text{m}$  από τις παρειές της δοκού τοποθετούνται τετράτητοι συνδετήρες  $\phi 8/100\text{mm}$ , σε όλη της υπόλοιπη δοκό τοποθετούνται δίτητοι συνδετήρες  $\phi 8/360\text{mm}$ .

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του παραπάνω υποστυλώματος εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.14 του επόμενου κεφαλαίου.

## 5.5.5 Διαστασιολόγηση τοιχωμάτων

### 5.5.5.1 Διαστασιολόγηση έναντι κάμψης και θλίψης σε ΟΚΑ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα τοιχώματα υπόκεινται σε ένα συνδυασμό θλίψης και κάμψης. Επομένως η διαστασιολόγηση τους θα γίνει με βάση τον παραπάνω συνδυασμό φόρτισης. Σε αντίθεση όμως με τη χαμηλή κατηγορία πλαστιμότητας (ΚΠΧ), όπου η διαστασιολόγηση των τοιχωμάτων έγινε αποκλειστικά με βάση τις διατάξεις του ΕΚ-2, στη μέση κατηγορία πλαστιμότητας η διαστασιολόγηση θα πρέπει να ικανοποιεί, εκτός των διατάξεων του ΕΚ-2, και τις απαιτήσεις της §5.5 του ΕΚ-8. Η πορεία της διαστασιολόγησης των υποστυλωμάτων επομένως, σύμφωνα με τα παραπάνω, θα παρουσιαστεί αναλυτικά στα παρακάτω βήματα:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών ροπής ( $M_{ed}$ ) και αξονικής ( $N_{ed}$ ) που καταπονούν τα τοιχία από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης η οποία πραγματοποιήθηκε στο SAP2000 όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες.
2. Έλεγχος γεωμετρικών περιορισμών. Το πάχος του κορμού του τοιχίου ( $b_w$ ) θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από την ελάχιστη τιμή ( $b_{w,min}$ ) που δίνεται στην §5.5.1.2.3(2)  $b_{w,min} = \max\{0,15 ; h_s / 20\}$
3. Εύρεση του μήκους κρίσιμης περιοχής του τοιχίου. Σύμφωνα με την §5.5.3.4.5(6) σε απόσταση  $l_c$  από τα ελεύθερα άκρα του τοιχίου δημιουργούνται δυο περισφιγμένα στοιχειά (κρυφοκολώνες).  $l_c = \max\{0,15 \cdot l_w ; 1,5 \cdot b_w ; \text{μηκος όπου } \varepsilon_c > 0,2\%\}$
4. Έλεγχος διατάξεων για τα ενισχυμένα άκρα του τοιχίου (κρυφοκολώνες). Σύμφωνα με την §5.5.3.4.5(8) το ελάχιστο πάχος της κρίσιμης περιοχής του τοιχίου ( $b_{w0}$ ) εξαρτάται απ το μήκος της κρίσιμης ζώνης του τοιχίου ( $l_c$ ) ως εξής:
  - Αν  $l_c \leq \max\{2 \cdot b_w ; l_w / 5\}$  τότε  $b_{w0} \geq \max\{200 ; h_w / 15\}$
  - Αν  $l_c > \max\{2 \cdot b_w ; l_w / 5\}$  τότε  $b_{w0} \geq \max\{200 ; h_w / 10\}$
5. Υπολογισμός οπλισμού κορμού τοιχίου. Επιλέγεται πλέγμα με διάμετρο ράβδων  $d_{bv}$  ανά  $s_v$  έτσι ώστε να ικανοποιεί τη συνθήκη της §5.5.3.4.5(15) η οποία ορίζει  $8mm < d_{bv} \leq b_{w0} / 8$  και μέγιστη τιμή  $s_{v,max} = \min(25 \cdot b_{bv} ; 250mm)$ . Υπολογίζεται το συνολικό εμβαδό (και στις δυο παρειές)  $A_{v,prov} = A_{h,prov}$  και το ποσοστό  $\rho_{v,prov} = \rho_{h,prov} = A_v / (l_m \cdot b_{w0})$  του κατακόρυφου και του οριζοντίου οπλισμού του πλέγματος αντίστοιχα.
6. Έλεγχος κατακόρυφου οπλισμού πλέγματος έναντι ελαχίστων και μεγίστων. Γίνεται έλεγχος ώστε το ποσοστό του κατακόρυφου οπλισμού του πλέγματος  $\rho_{v,prov}$  να μην είναι μικρότερο του  $\rho_{v,min} = 0,2\%$  και μεγαλύτερο του  $\rho_{v,max} = 4\%$  όπως ορίζονται στην §5.5.3.4.5.(13)P και §9.6.2(1) ΕΚ-2 αντίστοιχα.
7. Έλεγχος οριζοντίου οπλισμού πλέγματος έναντι ελαχίστων και μεγίστων. Γίνεται έλεγχος ώστε το ποσοστό του οριζοντίου οπλισμού του πλέγματος  $\rho_{h,prov}$  να μην είναι μικρότερο του  $\rho_{h,min} = 0,2\%$  και μεγαλύτερο του  $\rho_{h,max} = 4\%$  όπως ορίζονται στην §5.5.3.4.5.(13)P και

§9.6.2(1) ΕΚ-2 αντίστοιχα. Ακόμα, γίνεται έλεγχος ώστε να ικανοποιείται η συνθήκη της §5.5.3.4.5(15) η οποία ορίζει  $8mm < d_{bh} \leq b_{w0} / 8$  και μέγιστη τιμή  $s_{h,max} = \min(25 \cdot b_{bh}; 250mm)$ .

8. Υπολογισμός διαμήκους οπλισμού ενισχυμένων άκρων (κρυφοκολώνων). Ο υπολογισμός ξεκάνει με τον έλεγχο του ανοιγμένου αξονικού φορτίου της διατομής  $v_d = N_{Ed}^{bot} / (b_w \cdot l_w \cdot f_{cd})$  το οποίο δεν θα πρέπει να ξεπερνά την μέγιστη τιμή  $v_{d,max} = 0,35$  σύμφωνα με την §5.5.3.4.1(2).

9. Έλεγχος λυγηρότητας και εύρεση ροπής σχεδιασμού. Σύμφωνα με την §5.5.2.4.1(4)P ένα κύριο σεισμικό τοίχωμα θα θεωρείται λιγυρό όταν ο λόγος του ύψους προς το μήκος του είναι μεγαλύτερος του 2. Τότε:

- Αν  $h_w/l_w \leq 2$  το τοίχιο θα διαστασιολογείται κανονικά για την ροπή  $M_{Ed}$ .
- Αν  $h_w/l_w > 2$  σύμφωνα με την §5.5.2.4.1(5) το διάγραμμα κοπτικών ροπών σχεδιασμού κατά το ύψος του τοιχώματος πρέπει να προκύπτει από την περιβάλλουσα ροπών κάμψεως της ανάλυσης, με κατακόρυφη μετατόπιση (μετατόπιση της εφελκυστικής δύναμης). Η περιβάλλουσα των ροπών κάμψης δημιουργείται ως εξής:
  - Υπολογισμός του διαγράμματος ροπών από το ηλεκτρονικό λογισμικό
  - Χάραξη του ευθύγραμμου τμήματος AB που ενώνει τις τιμές της ροπής στη στάθμη της πάκτωσης του τοιχίου (A) και στο ανώτερο άκρο του (B).
  - Χάραξη ευθείας ε ώστε να είναι παράλληλη με το AB σε απόσταση  $a_1$  κατά την διεύθυνση του άξονα του τοιχίου. Έτσι δημιουργείται το ευθύγραμμο τμήμα ΓΔ, όπου το (Γ) ορίζεται από την τομή της (ε) με το τμήμα  $a_1$  και το (Δ) απ την τομή της (ε) με την προέκταση του τμήματος που παριστάνει την τιμή της ροπής στο ανώτερο άκρο του τοιχίου.
  - Ορισμός της περιβάλλουσας από τα σημεία (A),(Γ),(Δ)

10. Υπολογισμός απαιτούμενου διαμήκους οπλισμού ενισχυμένων άκρων (κρυφοκολώνων) για τον δυσμενέστερο συνδυασμό φόρτισης μέσω νομογραφημάτων αλληλεπίδρασης θλίψης-κάμψης ως εξής:

- Υπολογισμός ανοιγμένης ροπής  $\mu_d$  και αξονικής σχεδιασμού  $v_d$  από τους τύπους:

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{b_w \cdot h_w \cdot f_{cd}} \text{ και } \mu_d = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot h_w^2 \cdot f_{cd}}$$

όπου:  $b_w$  είναι το πλάτος του τοιχίου,  $h$  είναι το ύψος του τοιχίου και  $f_{cd}$  είναι η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος.

- Εύρεση του συνολικού γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού  $\omega_{tot}$  από το νομογράφημα αλληλεπίδρασης θλίψης-κάμψης βάσει των  $\mu_d, v_d$
- Υπολογισμός του συνολικού απαιτούμενου οπλισμού σε κάθε κρυφοκολώνα  $A_{s1} = A_{s2}$  από τον τύπο:

$$A_{s,1} = A_{s,2} = \omega_{tot} \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

όπου:  $b, h, f_{cd}$  όπως πριν και  $f_{yd}$  είναι η τάση διαρροής σχεδιασμού του οπλισμού και  $d=0,9l_w$ .

11. Έλεγχος έναντι ελάχιστου και μεγίστου οπλισμού ενισχυμένων άκρων (κρυφοκολώνων).

Γίνεται έλεγχος ώστε ο απαιτούμενος οπλισμός σε κάθε κρυφοκολώνα να μην είναι μικρότερος του ελάχιστου  $A_{s,min} = \rho_{min} \cdot l_c \cdot b_w = 0,005 \cdot l_c \cdot b_w$  όπως ορίζεται στην την §5.5.3.4.5(7) και μεγαλύτερος του μεγίστου  $A_{s,max} = \rho_{max} \cdot l_c \cdot b_w = 0,04 \cdot l_c \cdot b_w$  όπως

ορίζεται στην την §5.5.3.2.2(1)P. Αλλιώς τοποθετείται ο ελάχιστος ή ο μέγιστος οπλισμός αντίστοιχα.

12. Έλεγχος απόστασης μεταξύ των διαμήκων ράβδων οπλισμού των ενισχυμένων άκρων. Απουσας κάποιας διάταξης στον ευρωκώδικα που να περιορίζει την απόσταση μεταξύ των διαμήκων οπλισμών, χρησιμοποιείται αυτή του ΕΑΚ2000 η οποία προβλέπει μέγιστη απόσταση έως 200mm. Γίνεται χρήση της διάταξης του ΕΑΚ2000 διότι αν προχωρήσει η διαστασιολόγηση χωρίς αυτόν τον περιορισμό θα συναντηθούν δυσκολίες κατά τον έλεγχο σε περίσφιξη των ενισχυμένων άκρων και θα πρέπει να γίνει τότε πύκνωση του τοποθετούμενου οπλισμού.
13. Τελικός έλεγχος αντοχής της διατομής. Περιλαμβάνει εύρεση της ροπής αντοχής της διατομής λαμβάνοντας υπ όψιν τόσο τον διαμήκη οπλισμό των ενισχυμένων άκρων (κρυφοκολώνων) όσο και τον κατακόρυφο οπλισμό του πλέγματος του κορμού όπως ορίζεται στην §5.4.3.4.1(3)P. Η ροπή αντοχής θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη της ροπής σχεδιασμού  $M_{Ed}$  όπως αυτή ορίζεται στο βήμα (9) της παρούσης ενότητας.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί παραδείγμα στο οποίο θα γίνει αναλυτική διαστασιολόγηση ενός τοιχίου του τοιχωματικού κτηρίου με βάση τα παραπάνω βήματα. Με τον ίδιο τρόπο θα γίνει η διαστασιολόγηση και των υπολοίπων τοιχιών η οποία παρουσιάζεται στο παράρτημα με τη μορφή πίνακα (πίνακας Π.5.Β.29).

### 5.5.5.1.1 Παράδειγμα διαστασιολόγησης τοιχώματος έναντι κάμψης και θλίψης στην ΟΚΑ

Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί το τοιχίο W1-B του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτό των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών (έπειτα από τον υπολογισμό της περιβάλλουσας των ροπών σχεδιασμού). Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα διαστασιολόγησης της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών ροπής ( $M_{ed}$ ) και αξονικής ( $N_{ed}$ ) που καταπονούν τα τοιχία από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης η οποία πραγματοποιήθηκε στο SAP2000 όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες. Σύμφωνα με τα σχήματα Π.5.Α.63 και Π.5.Α.64 στο τοιχίο του παραδείγματος εμφανίζονται τα εξής εντατικά μεγέθη:

$$- N_{Ed}^{bot} = -828,64 \text{ kN}$$

$$- M_{Ed}^{bot} = 996,5 \text{ kNm}$$

2. Έλεγχος γεωμετρικών περιορισμών. Το πάχος του κορμού του τοιχίου ( $b_w$ ) θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από την ελάχιστη τιμή ( $b_{w,min}$ ) που δίνεται στην §5.5.1.2.3(2)  $b_w = 0,3m > b_{w,min} = \max\{0,15 ; h_s / 20\} = \max\{0,15 ; 3,5 / 20\} = 0,175m$

3. Εύρεση του μήκους κρίσιμης περιοχής του τοιχίου. Σύμφωνα με την §5.5.3.4.5(6) σε απόσταση  $l_c$  από τα ελεύθερα άκρα του τοιχίου δημιουργούνται δυο περισφιγμένα στοιχειά (κρυφοκολώνες).

$$l_c = \max\{0,15 \cdot l_w ; 1,5 \cdot b_w ; \text{μηκος οπου } \varepsilon_c > 0,2\% \} = \max\{0,15 \cdot 3,5 ; 1,5 \cdot 0,3\} = 0,53m$$

4. Έλεγχος διατάξεων για τα ενισχυμένα άκρα του τοιχίου (κρυφοκολώνες). Σύμφωνα με την §5.5.3.4.5(8) το ελάχιστο πάχος της κρίσιμης περιοχής του τοιχίου ( $b_{w0}$ ) εξαρτάται απ το μήκος της κρίσιμης ζώνης του τοιχίου ( $l_c$ ):

$$l_c = 0,53m \leq \max\{2 \cdot b_w; l_w / 5\} = \max\{2 \cdot 0,3; 3,5 / 5\} = 0,7m$$

$$\text{Άρα: } b_w = 300mm \geq \max\{200; h_w / 15\} = \max\{200; 3500 / 15\} = 233mm$$

5. Υπολογισμός οπλισμού κορμού τοιχίου.

Γίνεται έλεγχος των περιορισμών για τον οπλισμό του κορμού του τοιχίου σύμφωνα με την §5.5.3.4.5(15):

$$- 8mm < d_{bv} \leq b_{w0} / 8 \Rightarrow 8mm < d_{bv} \leq 230mm / 8 \Rightarrow 8mm < d_{bv} \leq 29mm \text{ επιλέγω } \phi 12$$

$$- s_{v,max} = \min(25 \cdot b_{bv}; 250mm) = \min(25 \cdot 12; 250mm) = \min(300; 250mm) = 250mm$$

Συνεπώς επιλέγεται πλέγμα με διάμετρο ράβδων  $d_{bv}=12mm$  ανά  $s_v=250mm$  σε κάθε παρεία και υπολογίζεται το συνολικό εμβαδό:

$$- A_{v,prov} = A_{h,prov} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 1,2^2}{4} \cdot \frac{1000}{250} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 1,2^2}{4} \cdot 4 = 9,04 \text{ cm}^2 \text{ ανά m}$$

και το ποσοστό του κατακόρυφου και του οριζοντίου οπλισμού του πλέγματος αντίστοιχα:

$$- \rho_{v,prov} = \rho_{h,prov} = \frac{A_v}{1m \cdot b_{w0}} = \frac{9,04cm^2}{100cm \cdot 30cm} = 0,0030 = 0,30\%$$

6. Έλεγχος κατακόρυφου οπλισμού πλέγματος έναντι ελαχίστων και μεγίστων. Γίνεται έλεγχος ώστε το ποσοστό του κατακόρυφου οπλισμού του πλέγματος  $\rho_{v,prov}$  να μην είναι μικρότερο του  $\rho_{v,min}=0,2\%$  και μεγαλύτερο του  $\rho_{v,max}=4\%$  όπως ορίζονται στην §9.6.2(1) ΕΚ-2:

$$- 0,2\% \leq \rho_{v,prov} = 0,3\% \leq 4\%$$

Συνεπώς ικανοποιείται ο έλεγχος.

7. Έλεγχος οριζοντίου οπλισμού πλέγματος έναντι ελαχίστων και μεγίστων.

Γίνεται έλεγχος των περιορισμών για τον οπλισμό του κορμού του τοιχίου σύμφωνα με την §5.5.3.4.5(15):

$$- 8mm < d_{bh} \leq b_{w0} / 8 \Rightarrow 8mm < 12mm \leq 230mm / 8 \Rightarrow 8mm < 12mm \leq 29mm$$

$$- s_{h,max} = \min(25 \cdot b_{bh}; 250mm) = \min(25 \cdot 12; 250mm) = \min(300; 250mm) = 250mm$$

Ακόμα γίνεται έλεγχος ώστε το ποσοστό του οριζοντίου οπλισμού του πλέγματος  $\rho_{h,prov}$  να μην είναι μικρότερο του  $\rho_{h,min} = 0,2\%$  και μεγαλύτερο του  $\rho_{v,max}=4\%$  όπως ορίζονται στην §5.5.3.4.5.(13)P και §9.6.2(1) ΕΚ-2 αντίστοιχα.:

$$- 0,2\% \leq \rho_{h,prov} = 0,3\% \leq 4\%$$

Συνεπώς ικανοποιούνται και οι τρεις έλεγχοι.

8. Υπολογισμός διαμήκους οπλισμού εντισχυμένων άκρων (κρυφοκολώνων). Ο υπολογισμός ξεκάνει με τον έλεγχο του ανοιγμένου αξονικού φορτίου της διατομής  $v_d = N_{Ed}^{bot} / (b_w \cdot l_w \cdot f_{cd})$  το οποίο δεν θα πρέπει να ξεπερνά την μέγιστη τιμή  $v_{d,max} = 0,35$  σύμφωνα με την §5.5.3.4.1(2):

$$- v_d = \frac{N_{Ed}^{bot}}{b_w \cdot l_w \cdot f_{cd}} = \frac{-828,64kN}{0,3m \cdot 3,5m \cdot 0,85 \cdot 25MPa / 1,5} = \frac{-828,64kN}{0,3m \cdot 3,5m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,5} = -0,0557$$

$$|v_d| = 0,0563 < v_{d,max} = 0,35$$

Συνεπώς ο έλεγχος ικανοποιείται.

9. Έλεγχος λυγρότητας και εύρεση ροπής σχεδιασμού. Σύμφωνα με την §5.4.2.4(4)P ένα κύριο σεισμικό τοίχωμα θα θεωρείται λυγρό όταν ο λόγος του ύψους προς το μήκος του είναι μεγαλύτερος του 2. Τότε:

$$- h_w/l_w = 17,5\text{m}/3,5\text{m} = 5 > 2$$

Αρα το τοίχιο είναι λυγρό και θα πρέπει να διαστασιολογηθεί βάσει της περιβάλλουσας των ροπών η οποία υπολογίζεται όπως αναλύθηκε στην παραπάνω ενότητα και φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

10. Υπολογισμός απαιτούμενου διαμήκου οπλισμού ενισχυμένων άκρων (κρυφοκολώνων) για τον δυσμενέστερο συνδυασμό φόρτισης μέσω νομογραφημάτων αλληλεπίδρασης θλίψης-κάμψης ως εξής:

- Υπολογισμός ανοιγμένης ροπής  $\mu_d$  και αξονικής σχεδιασμού  $\nu_d$  από τους τύπους:

$$\nu_d = \frac{N_{Ed}^{bot}}{b_w \cdot h_w \cdot f_{cd}} = -0,0557$$

$$\mu_d = \frac{M_{Ed}^{bot}}{b_w \cdot h_w^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1284,50\text{kNm}}{0,3\text{m} \cdot 3,5^2\text{m} \cdot 0,85 \cdot 25\text{MPa} / 1,5} = \frac{1284,50\text{kNm}}{0,3\text{m} \cdot 3,5^2\text{m} \cdot 0,85 \cdot 25000\text{kPa} / 1,5} = 0,0305$$

όπου:  $b_w$  είναι το πλάτος του τοιχίου,  $h$  είναι το ύψος του τοιχίου και  $f_{cd}$  είναι η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος.

- Εύρεση του συνολικού γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού  $\omega_{tot}$  από το νομογράφημα αλληλεπίδρασης θλίψης-κάμψης βάσει των  $\mu_d$ ,  $\nu_d$ :

$$\omega_{tot} = 0,03$$

- Υπολογισμός του συνολικού απαιτούμενου οπλισμού σε κάθε κρυφοκολώνα  $A_{s1} = A_{s2}$  από τον τύπο:

$$A_{s,1} = A_{s,2} = \omega_{tot} \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,03 \cdot 30\text{cm} \cdot 0,9 \cdot 350\text{cm} \cdot \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} = 9,24\text{cm}^2$$

11. Έλεγχος έναντι ελαχίστου και μεγίστου οπλισμού ενισχυμένων άκρων (κρυφοκολώνων). Γίνεται έλεγχος ώστε ο απαιτούμενος οπλισμός σε κάθε κρυφοκολώνα να μην είναι μικρότερος του ελάχιστου  $A_{s,min} = \rho_{min} \cdot l_c \cdot b_w = 0,005 \cdot l_c \cdot b_w$  όπως ορίζεται στην την §5.5.3.4.5(7) και μεγαλύτερος του μεγίστου  $A_{s,max} = \rho_{max} \cdot l_c \cdot b_w = 0,04 \cdot l_c \cdot b_w$  όπως ορίζεται στην την §5.5.3.2.2(1)P:

- Τοποθετούνται 6φ16 σε κάθε κρυφοκολώνα με εμβαδόν:

$$A_{s,prov} = 6 \cdot \frac{\pi \cdot 1,6^2}{3,14} = 12,06\text{cm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,005 \cdot 53\text{cm} \cdot 30\text{cm} = 7,88\text{cm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot 53\text{cm} \cdot 30\text{cm} = 63\text{cm}^2$$

Συνεπώς ο έλεγχος ικανοποιείται.

12. Έλεγχος απόστασης μεταξύ των διαμήκων ράβδων οπλισμού των ενισχυμένων άκρων. Απουσας κάποιας διάταξης στον ευρωκώδικα που να περιορίζει την απόσταση μεταξύ των διαμήκων οπλισμών, χρησιμοποιείται αυτή του ΕΑΚ2000 η οποία προβλέπει μέγιστη απόσταση έως 200mm:

$$- s = \frac{530 - 2 \cdot 35}{6/2 - 1} \text{ mm} = 228 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$$

Συνεπώς τοποθετώ 8φ16 και ελέγγω ξανά.

$$- s = \frac{530 - 2 \cdot 35}{8/2 - 1} \text{ mm} = 152 \text{ mm} < 200 \text{ mm}$$

Συνεπώς ο έλεγχος ικανοποιείται.

13. Τελικός έλεγχος αντοχής της διατομής. Περιλαμβάνει εύρεση της ροπής αντοχής της διατομής λαμβάνοντας υπ όψιν τόσο τον διαμήκη οπλισμό των ενισχυμένων άκρων (κρυφοκολώνων) όσο και τον κατακόρυφο οπλισμό του πλέγματος του κορμού όπως ορίζεται στην §5.4.3.4.1(3)P. Έπειτα από αρκετές δοκιμές στο Excel πρόεκυψε η παρακάτω λύση:

- Θεωρώ αστοχία της θλιβόμενης ζώνης σκυροδέματος  $\epsilon_{c2} = -0,0035$  και παραμόρφωση κατώτερης στάθμης οπλισμού  $\epsilon_{c1} = 0,0184$ .
- Σχεδιασμός διαγράμματος παραμορφώσεων της διατομής. Η θέση του ουδετέρου άξονα είναι σε απόσταση  $x = 62 \text{ cm}$  από την άνω ίνα της διατομής. Η παραμόρφωση στη στάθμη κάθε οπλισμού  $\epsilon_{si}$  είναι:

Στρώση οπλ.	Απόσταση $y_i$ από άνω ίνα (mm)	Παραμόρφωση
17	51	-0,00318
16	193	-0,00228
15	337	-0,00136
14	479	-0,00046
13	750	0,00126
12	1000	0,00284
11	1250	0,00443
10	1500	0,00602
9	1750	0,00760
8	2000	0,00919
7	2250	0,01078
6	2500	0,01236
5	2750	0,01395
4	3021	0,01567

3	3163	0,01657
2	3307	0,01748
1	3449	0,01838

\*Με μπλε χρώμα αναγράφονται οι οπλισμοί των κρυφοκολώνων.

- Υπολογισμός της θλιπτικής δύναμης του σκυροδέματος  $F_{cd}$ .

Λαμβάνοντας απλοποιημένο ορθογωνικό διάγραμμα σκυροδέματος ισχύει:

$$F_{cd} = -b(0,8x)f_{cd} = -30 \cdot 0,8 \cdot 55,2 \cdot 0,85 \cdot 25 / 1,5 = -1875,61 \text{ kN}$$

η οποία ασκείται σε απόσταση  $0,4x=20,76\text{cm}$  από την άνω ίνα της διατομής.

- Υπολογισμός της παραμόρφωσης που αντιστοιχεί στη διαρροή του χάλυβα των

οπλισμών:  $\varepsilon_{yd} = \frac{F_{yd}}{E} = \frac{500 / 1,15 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}} = 0,00217$

- Υπολογισμός δυνάμεων οπλισμών.  $F_{sd,i} = A_{s,i} \cdot \sigma_{sd,i}$

Για τον υπολογισμό της τάσης του οπλισμού  $\sigma_{sd,i}$  γίνεται σύγκριση της παραμόρφωσης του οπλισμού με την παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη διαρροή του:

-Στάθμη οπλ. 17:  $|\varepsilon_{s,17}| = 0,00318 > \varepsilon_{yd} = 0,00217$

$$F_{sd,17} = A_{s,i} \cdot f_{yd} = -4,02 \text{ cm}^2 \cdot 500 / 1,15 \text{ MPa} = -1748,4 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \text{ cm}^2 = -174,84 \text{ kN}$$

-Στάθμη οπλ. 16:  $|\varepsilon_{s,16}| = 0,00228 > \varepsilon_{yd} = 0,00217$

$$F_{sd,16} = A_{s,i} \cdot f_{yd} = -4,02 \text{ cm}^2 \cdot 500 / 1,15 \text{ MPa} = -1748,4 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \text{ cm}^2 = -174,84 \text{ kN}$$

-Στάθμη οπλ. 15:  $|\varepsilon_{s,15}| = 0,00136 < \varepsilon_{yd} = 0,00217$

$$F_{sd,15} = A_s \cdot \varepsilon_{s,15} \cdot E = 4,02 \text{ cm}^2 \cdot (-0,00136) \cdot 200000 \text{ MPa} = -1095,3 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \text{ cm}^2 = -109,53 \text{ kN}$$

-Στάθμη οπλ. 14:  $|\varepsilon_{s,14}| = 0,00046 < \varepsilon_{yd} = 0,00217$

$$F_{sd,14} = A_s \cdot \varepsilon_{s,14} \cdot E = 4,02 \text{ cm}^2 \cdot (-0,00046) \cdot 200000 \text{ MPa} = -370,7 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \text{ cm}^2 = -37,07 \text{ kN}$$

-Στάθμη οπλ. 13:  $\varepsilon_{s,13} = 0,00126 < \varepsilon_{yd} = 0,00217$

$$F_{sd,13} = A_s \cdot \varepsilon_{s,13} \cdot E = 2,26 \text{ cm}^2 \cdot 0,00126 \cdot 200000 \text{ MPa} = 569,3 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \text{ cm}^2 = 56,93 \text{ kN}$$

-Στάθμη οπλ. 12 έως 5 :  $\varepsilon_{s,i} > \varepsilon_{yd} = 0,00217$

$$F_{sd,5-12} = A_s \cdot f_{yd} = 2,26 \text{ cm}^2 \cdot 500 / 1,15 \text{ MPa} = 983,45 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \text{ cm}^2 = 98,345 \text{ kN}$$

-Στάθμη οπλ. 4 έως 1 :  $\varepsilon_{s,i} > \varepsilon_{yd} = 0,00217$



$$F_{sd,1-4} = A_s \cdot f_{yd} = 4,02 \text{ cm}^2 \cdot 500 / 1,15 \text{ MPa} = 1748,4 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \text{ cm}^2 = 174,84 \text{ kN}$$

- Έλεγχος ισοδυναμίας εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.

$$N_{ed} = F_{cd} + \sum F_{sd,i} \Rightarrow N_{ed} = F_{cd} + F_{sd,1-23} \Rightarrow$$

$$-828,64 \text{ kN} = -828,64 \text{ kN}$$

Συνεπώς υπάρχει ισοδυναμία εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων.

- Υπολογισμός της ροπής αντοχής ( $M_{Rd}$ ) τη στιγμή της αστοχίας της διατομής.

Ως σημείο αναφοράς επιλέγω το κέντρο βάρους της διατομής.

$$M_{Rd} = |F_{cd}| \cdot (h/2 - 0,4x) + \sum_{i=14}^{17} |F_{sd,i}| \cdot (h/2 - y_i) - \sum_{i=10}^{13} F_{sd,i} \cdot (h/2 - y_i) + \sum_{i=1}^8 F_{sd,i} \cdot (y_i - h/2)$$

$$M_{Rd} = 4719,54 \text{ kNm}$$

- Έλεγχος ασφαλείας:  $M_{Rd} = 4719,54 \text{ kNm} > M_{ed} = 1284,50 \text{ kNm}$

Συνεπώς το τοίχιο επαρκεί και η διαστασιολόγηση τελειώνει.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του παραπάνω τοιχώματος εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.15 του επόμενου κεφαλαίου.

### 5.5.5.2 Διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης σε Ο.Κ.Α

Η διαστασιολόγηση του τοιχώματος έναντι διάτμησης για το τοιχωματικό κτήριο περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

1. Λήψη των εντατικών μεγεθών λόγω αξονικής ( $N_{ed}$ ) και τέμνουσας ( $V_{ed}$ ) από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης η οποία πραγματοποιήθηκε στο SAP2000 όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες.
2. Υπολογισμός της τέμνουσας σχεδιασμού  $V_{Ed}^{bot}$ . Η τιμή της προκύπτει, σύμφωνα με την §5.5.2.4.1(7), από το γινόμενο των τιμών της τέμνουσας στη βάση του τοιχίου κάθε ορόφου που υπολογίστηκε στο βήμα (1) επί τον συντελεστή μεγένθυσης  $\epsilon$ . Ο συντελεστής  $\epsilon$  εξαρτάται απ' το αν το τοίχωμα είναι λυγρό.

- Αν δεν είναι λυγρό ( $h_w/l_w \leq 2$ ) τότε:  $\epsilon = 1,2 \cdot \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} \leq q$

- Αν είναι λυγρό ( $h_w/l_w \geq 2$ ) τότε:  $\epsilon = q \cdot \sqrt{\left(\frac{\gamma_{Rd}}{q} \cdot \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}\right)^2 + 0,1 \cdot \left(\frac{S_e(T_C)}{S_e(T_1)}\right)^2} \leq q$

3. Υπολογισμός κρίσιμου ύψους τοιχώματος. Σύμφωνα με την §5.5.3.4.5(1) Το ύψος της κρίσιμης περιοχής  $h_{cr}$  πάνω από την βάση του τοιχώματος μπορεί να εκτιμηθεί ως εξής:  $h_{cr} = \max[l_w; h_w/6]$ . Το οποίο όμως δεν πρέπει να ξεπερνά την μέγιστη τιμή  $h_{cr,max} = \min[2 \cdot l_w; h_s]$  για  $n \leq 6$  ορόφους και  $h_{cr,max} = \max[2 \cdot l_w; 2 \cdot h_s]$  για  $n \geq 7$  ορόφους, όπου  $h_s$  το ύψος του ορόφου.

4. Έλεγχος διατομής εντός κρίσιμου ύψους. Υπολογίζεται η μέγιστη τέμνουσα που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο  $V_{Rd,max}$  όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων σύμφωνα με την §5.5.3.4.2:

– Εκτός κρίσιμης περιοχής από την §6.2.3(3) του ΕΚ-2. Σύμφωνα με αυτήν:

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta) \text{ ή}$$

$$V_{Rd,max} = 0,18 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{f_{ck}}{250} \right) \right] \cdot f_{ck} \cdot \sin 2\theta \cdot b_w \cdot d \text{ όπου:}$$

- $\alpha_{cw} = 1$  ένας συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την εντατική κατάσταση στη θλιβόμενη διαγώνιο, η συνιστώμενη τιμή του οποίου δίνεται στο Εθνικό προσάρτημα,
- $z = 0,8 \cdot l_w$  ο μοχλοβραχίονας της διατομής σε ένα στοιχείο σταθερού ύψους, ο οποίος αντιστοιχεί στην καμπτική ροπή που δρα στο στοιχείο. Στο σχεδιασμό έναντι διάτμησης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος χωρίς αξονικό φορτίο.
- $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος
- $v_1$  ένας δείκτης μείωσης της αντοχής για σκυρόδεμα ρηγματωμένο λόγω διάτμησης, η συνιστώμενη τιμή του οποίου είναι ίση με  $v = 0,6 \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$
- $\theta = 45^\circ$  για ΚΠΥ σύμφωνα με την §5.5.3.4.2(1)α
- Εντός της κρίσιμης περιοχής λαμβάνεται το 40% της τιμής που έχει η  $V_{Rd,max}$  εκτός της κρίσιμης περιοχής, όπως υπολογίστηκε ανωτέρω.

Στο τέλος του βήματος 3 γίνεται σύγκριση της  $V_{Rd,max}$  με την  $V_{ET}^{bot}$ . Αν  $V_{Rd,max} \leq V_{ET}^{bot}$  τότε οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος δεν επαρκούν και επιβάλλεται αλλαγή διατομής. Αν  $V_{Rd,max} \geq V_{ET}^{bot}$  τότε οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος επαρκούν και ακολουθεί το βήμα 5.

5. Υπολογισμός απαιτούμενου εγκάρσιου οπλισμού εντός κρίσιμου ύψους. Σύμφωνα με την §5.5.3.4.3 ο υπολογισμός του απαιτούμενου οπλισμού κορμού εντός του κρίσιμου μήκους του τοιχείου πρέπει να λαμβάνει υπ' όψιν την τιμή του λόγου διάτμησης ( $\alpha_s$ ) ώστε να αποφεύγεται διαγώνιος εφελκυστική αστοχία:

– Αν  $\alpha_s = \frac{M_{Ed}}{V_{Ed} \cdot l_w} \geq 2$  τότε ισχύει κανονικά η §6.2.3(3) ΕΚ-2 σύμφωνα με την οποία το

απαιτούμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού δίνεται από τον τύπο:

$$\rho_{h,req} = V_{ET}^{bot} / (0,8 \cdot b_w \cdot l_w \cdot f_{ywd}).$$

– Αν  $\alpha_s = \frac{M_{Ed}}{V_{Ed} \cdot l_w} < 2$  τότε σύμφωνα με την §5.5.3.4.3(3):

$$\rho_{h,req} = \frac{V_{ET}^{bot} - V_{Rd,c}}{0,75 \cdot f_{yd,h} \cdot b_{wo} \cdot \alpha_s \cdot l_w} \text{ όπου}$$

$\rho_h$  είναι το ποσοστό οπλισμού οριζόντιων ράβδων κορμού ( $\rho_h = A_h / (b_{wo} \cdot s_h)$ );

$f_{yd,h}$  είναι η τιμή σχεδιασμού της τάσης διαρροής του οριζόντιου οπλισμού κορμού

$V_{Rd,c}$  είναι η τιμή σχεδιασμού της διατμητικής αντοχής για μέλη χωρίς διατμητικό οπλισμό και εξαρτάται από το  $N_{Ed}$ :

– Αν  $N_{Ed} \geq 0$  τότε  $V_{Rd,c}=0$

– Αν  $N_{Ed} < 0$  τότε το  $V_{Rd,c}$  υπολογίζεται σύμφωνα με την §6.2.2(1) ΕΚ-2:

$$V_{Rd,c} = \max\{ [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_l \sigma_{cp}] bh, (v_{\min} + k_l \sigma_{cp}) bh \} \text{ όπου:}$$

–  $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_C$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το Εθνικό προσάρτημα

–  $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$  όπου  $d(mm)$  το στατικό ύψος του τοιχώματος όπως έχει ήδη υπολογιστεί

–  $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0,02$  το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού όπου  $A_{sl}$  το εμβαδόν του εφελκόμενου οπλισμού της διατομής

–  $f_{ck}$  η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, η οποία στην περίπτωσή μας ισούται με 25MPa

–  $k_l = 0,15$  η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα

–  $\sigma_{cp} = N_{Eds} / A_c < 0,2 f_{cd} [MPa]$  όπου  $N_{Eds}$  η αξονική σχεδιασμού που καταπονεί τη δοκό, όπως υπολογίστηκε στο βήμα (1).

–  $b$  το πλάτος της διατομής του τοιχώματος

–  $h$  το μήκος της διατομής του τοιχώματος

Έπειτα υπολογίζεται το ποσοστό του οριζόντιου οπλισμού του τοποθετούμενου πλέγματος από τον τύπο:  $\rho_{h,prov} = A_{sw} / (b_w \cdot s_w)$ , όπου  $A_{sw}$  είναι το εμβαδόν των δυο σκελών του συνδετήρα και  $s_w$  είναι η απόσταση μεταξύ δυο συνδετήρων.

Στο τέλος του βήματος (5) γίνεται σύγκριση του με την  $\rho_{h,prov}$  με το  $\rho_{h,req}$ . Αν  $\rho_{h,req} \geq \rho_{h,prov}$  τότε επιβάλλεται ύπωση των συνδετήρων ή αύξηση της διατομής τους. Αν  $\rho_{h,req} \leq \rho_{h,prov}$  τότε ο οπλισμός επαρκεί και ακολουθεί το βήμα (6).

6. Έλεγχος διατομής εκτός κρίσιμου ύψους. Η μέγιστη τέμνουσα που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο  $V_{Rd,max}$  όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων η οποία ορίστηκε στο βήμα (4) συγκρίνεται με της τέμνουσα σχεδιασμού σε ύψος ίσο με το κρίσιμο  $V_{ET,cr}^{bot}$ . Αν  $V_{Rd,max} \leq V_{ET,cr}^{bot}$  τότε οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος δεν επαρκούν και επιβάλλεται αλλαγή διατομής. Αν  $V_{Rd,max} \geq V_{ET,cr}^{bot}$  τότε οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος επαρκούν και ακολουθεί το βήμα (7).
7. Υπολογισμός απαιτούμενου εγκάρσιου οπλισμού εκτός κρίσιμου ύψους. Υπολογισμός απαιτούμενου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού από τον τύπο:  $\rho_{h,req} = V_{ET,cr}^{bot} / (0,8 \cdot b_w \cdot l_w \cdot f_{ywd})$ . Υπολογισμός του ποσοστού του οριζόντιου οπλισμού του τοποθετούμενου πλέγματος από τον τύπο:  $\rho_{h,prov} = A_{sw} / (b_w \cdot s_w)$ , όπου  $A_{sw}$  είναι το

εμβαδόν των δυο σκελών του συνδετήρα και  $s_w$  είναι η απόσταση μεταξύ δυο συνδετήρων.

Στο τέλος του βήματος (5) γίνεται σύγκριση του με την  $\rho_{h,prov}$  με το  $\rho_{h,req}$ . Αν  $\rho_{h,req} \geq \rho_{h,prov}$  τότε επιβάλλεται ύπωση των συνδετήρων ή αύξηση της διατομής τους. Αν  $\rho_{h,req} \leq \rho_{h,prov}$  τότε ο οπλισμός επαρκεί και ακολουθεί το βήμα (8).

#### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ.

8. Επιλογή τύπου συνδετήρα για την περίσφιγξη. Το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος των συνδετήρων περίσφιγξης για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας, σύμφωνα με την §5.5.3.4.5(10), είναι ίσο με  $d_{bw} = \max \left\{ 6 \text{ mm} ; 0,4 \cdot \sqrt{f_{yd} / f_{wd}} \cdot d_{bL} \right\}$ , όπου  $d_{bL}$  το πάχος των τοποθετούμενων διαμήκων ράβδων οπλισμού του υποστυλώματος.
9. Επιλογή τοποθετούμενου οπλισμού περίσφιγξης. Επιλέγεται εξ' αρχής η διάμετρος των συνδετήρων και η απόσταση στην απόσταση που θα τοποθετηθούν.
10. Υπολογισμός των διαστάσεων του περισφιγμένου πυρήνα σκυροδέματος. Υπολογίζεται το μήκος ( $l_{c0}$ ) και το πλάτος ( $b_0$ ) του περισφιγμένου πυρήνα ως εξής:
 
$$l_{c0} = l_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \frac{d_{bw}}{2} \text{ και } b_0 = b_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \frac{d_{bw}}{2}$$
11. Υπολογισμός απαιτούμενου ογκομετρικού ποσοστού συνδετήρων περίσφιγξης στις κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος. Υπολογίζεται, σύμφωνα με την §5.5.3.4.5(4), ως εξής:

$$\omega_{wd,req} = (30 \cdot \mu_\phi \cdot (v_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{syd} \cdot \frac{b_w}{b_0} - 0,035) / \alpha \text{ όπου}$$

- $\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1$  όπου  $q_0$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς της κατασκευής για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας
- $v_d$  η τιμή της ανηγμένης αξονικής δύναμης από τον τύπο  $v_d = \frac{N_{Ed}}{b_w \cdot l_c \cdot f_{cd}}$
- $\omega_v$  το μηχανικό ποσοστό του κατακόρυφου οπλισμού του κορμού από τον τύπο
 
$$\omega_v = \rho_v \cdot \frac{f_{yd,v}}{f_{cd}}$$
- $\varepsilon_{syd}$  η ανηγμένη παραμόρφωση στο σημείο διαρροής του χάλυβα
- $b_w$  το πλάτος της διατομής του τοιχίου
- $b_0$  από βήμα (10)
- $\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s$  ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιγξης
- $\alpha_s = \left( 1 - \frac{s_w}{2 \cdot b_0} \right) \cdot \left( 1 - \frac{s_w}{2 \cdot l_{c0}} \right)$  όπου  $s_w$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων περίσφιγξης,  $b_0$  και  $l_{c0}$  από βήμα (10)
- $\alpha_n = 1 - \left[ \frac{b_0}{(n_h - 1) \cdot l_{c0}} + \frac{l_{c0}}{(n_b - 1) \cdot b_0} \right] / 3$  για ορθογωνικούς συνδετήρες όπου  $n_b$  ο αριθμός των σκελών του συνδετήρα που είναι παράλληλοι με το πλάτος της διατομής

και  $n_h$  ο αριθμός των σκελών του συνδετήρα που είναι παράλληλοι με το μήκος της διατομής και  $b_0$  και  $l_{c0}$  από βήμα (10).

Στο τέλος του βήματος γίνεται σύγκριση του απαιτούμενου ογκομετρικού ποσοστού οπλισμού περίσφιξης με τον ελάχιστο απαιτούμενο το οποίο για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας (§5.5.3.4.5(10)) είναι ίσο με 0,12. Το τελικό απαιτούμενο ογκομετρικό ποσοστό είναι η μέγιστη από αυτές τις δύο τιμές δηλαδή  $\omega_{wd,req} = \max \{ \omega_{wd} ; 0,12 \}$ .

12. Έλεγχος του τοποθετούμενου μηχανικού ογκομετρικού ποσοστού οπλισμών περίσφιξης.  
Ο υπολογισμός του ποσοστού αυτού γίνεται με τον οπλισμό που επιλέχθηκε στο βήμα (9) και δίνεται απ' τον τύπο:

$$\omega_{wd,prov} = V_0 \cdot f_{yd} / (V_c \cdot f_{cd})$$

όπου:

- $V_0$  ο συνολικός όγκος του οπλισμού περίσφιξης ο οποίος με τη σειρά του ισούται με  $V_0 = L_{wd} \cdot A_{sw} / s_w$
- $L_{wd} = n_b \cdot b_0 + n_h \cdot h_0$  το συνολικό μήκος αναπτύγματος του εγκάρσιου οπλισμού
- $A_{sw}$  το εμβαδόν της διατομής του ενός σκέλους του συνδετήρα
- $s_w$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων
- $V_c = b_0 \cdot h_0$  ο όγκος του πυρήνα σκυροδέματος
- $b_0$  και  $h_0$  υπολογίστηκαν στο βήμα (10)
- $f_{yd}$  και  $f_{cd}$  το όριο διαρροής του οπλισμού και η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος αντίστοιχα.

Στο τέλος του βήματος αυτού γίνεται σύγκριση της τιμής του τοποθετούμενου ογκομετρικού ποσοστού που υπολογίσαμε με την τελική απαιτούμενη τιμή που υπολογίσαμε στο προηγούμενο βήμα ( $\omega_{wd,τελ}$ ). Εάν  $\omega_{wd,prov} \geq \omega_{wd,req}$  τότε ο τοποθετούμενος οπλισμός περίσφιξης επαρκεί και η διαστασιολόγηση τελειώνει. Σε αντίθετη περίπτωση, απαιτείται πύκνωση του τοποθετούμενου εγκάρσιου οπλισμού ή αύξηση της διατομής του και επανάληψη του ελέγχου.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί παραδείγμα στο οποίο θα γίνει αναλυτική διαστασιολόγηση ενός τοιχίου του τοιχωματικού κτηρίου με βάση τα παραπάνω βήματα. Με τον ίδιο τρόπο θα γίνει η διαστασιολόγηση και των υπολοίπων τοιχίων η οποία παρουσιάζεται στο παράρτημα με τη μορφή πίνακα (πίνακας Π.5.Β.30).

### 5.5.5.2.1 Παράδειγμα διαστασιολόγησης τοιχώματος έναντι διάτμησης σε ΟΚΑ

Επιλέγεται να διαστασιολογηθεί το τοίχιο W1-IS του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτό των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα διαστασιολόγησης της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Υπολογισμός των εντατικών μεγεθών τέμνουσας ( $V_{ed}$ ) και αξονικής ( $N_{ed}$ ) που καταπονούν τα τοιχία από την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης η οποία πραγματοποιήθηκε στο SAP2000 όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες. Σύμφωνα με τα σχήματα

Π.5.A.64 και Π.5.A.65 στο τοιχίο του παραδείγματος εμφανίζονται τα εξής εντατικά μεγέθη:

$$- N_{Ed} = -1029,76 \text{ kN}$$

$$- V_{Ed} = 171,19 \text{ kN}$$

Υπολογισμός της τέμνουσας σχεδιασμού  $V_{ET}$ . Η τιμή της προκύπτει, σύμφωνα με την §5.5.2.4.1(7), από το γινόμενο των τιμών της τέμνουσας στη βάση του τοιχίου κάθε ορόφου που υπολογίστηκε στο βήμα (1) επί τον συντελεστή μεγένθυνσης  $\varepsilon$ .  $h_w/l_w=17,5/3,5=5 > 2$  συνεπώς το τοιχίο είναι λυγρό και

$$\varepsilon = q \cdot \sqrt{\left(\frac{\gamma_{Rd}}{q} \cdot \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}\right)^2 + 0,1 \cdot \left(\frac{S_e(T_C)}{S_e(T_1)}\right)^2} \leq q$$

$$\varepsilon = 3,06 \cdot \sqrt{\left(\frac{1,2}{3,06} \cdot \frac{4975,35}{1439,70}\right)^2 + 0,1 \cdot \left(\frac{7,20}{4,29}\right)^2} = 6,60$$

$$\text{Άρα } \varepsilon = q = 3,06$$

$$- V_{ET} = \varepsilon \cdot V_{Ed} = 3,06 \cdot 171,19 \text{ kN} = 523,84 \text{ kN}$$

2. Υπολογισμός κρίσιμου ύψους τοιχώματος. Σύμφωνα με την §5.5.3.4.5(1) Το ύψος της κρίσιμης περιοχής  $h_{cr}$  πάνω από την βάση του τοιχώματος μπορεί να εκτιμηθεί ως εξής:

$$- h_{cr} = \max[l_w; h_w / 6] = \max[3,5 ; 3,5 / 6] = 3,5 \text{ m}.$$

Το οποίο όμως δεν πρέπει να ξεπερνά την μέγιστη τιμή

$$- h_{cr,max} = \min[2 \cdot l_w; h_s] = \min[2 \cdot 3,5 ; 3,5] = 3,5 \text{ m}$$

3. Έλεγχος διατομής εντος κρίσιμου ύψους. Υπολογίζεται η μέγιστη τέμνουσα που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο  $V_{Rd,max}$  όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων από την §6.2.3(3) του ΕΚ-2:

$$V_{Rd,max} = 0,4 \cdot 0,18 \cdot \left[1 - \left(\frac{f_{ck}}{250}\right)\right] \cdot f_{ck} \cdot \sin(2\theta) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,max} = 0,4 \cdot 0,18 \cdot \left[1 - \left(\frac{25}{250}\right)\right] \cdot 25 \cdot \sin\left(2 \cdot 45 \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot 300 \cdot 3500$$

$$V_{Rd,max} = 1701000 \text{ N} = 1701,00 \text{ kN}$$

$$\text{Έλεγχος: } V_{Rd,max} = 1701,00 \text{ kN} > V_{ET} = 523,84 \text{ kN}$$

Συμπέρασμα: Οι διαγώνιοι θλιπτήρες σκυροδέματος επαρκούν, συνεπώς δεν χρειάζεται αλλαγή διατομής.

4. Υπολογισμός απαιτούμενου εγκάρσιου οπλισμού εντος κρίσιμου ύψους.

Σύμφωνα με την §5.5.3.4.3 ο υπολογισμός του απαιτούμενου οπλισμού κορμού εντός του κρίσιμου μήκους του τοιχίου πρέπει να λαμβάνει υπ' όψιν την τιμή του λόγου διάτμησης ( $\alpha_s$ ) ώστε να αποφεύγεται διαγώνιος εφελκυστική αστοχία:

$$\alpha_s = \frac{M_{Ed}}{V_{Ed} \cdot l_w} = \frac{1439,70}{171,19 \cdot 3,5} = 2,4 > 2 \text{ τότε ισχύει κανονικά η §6.2.3(3) ΕΚ-2 σύμφωνα}$$

με την οποία το απαιτούμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού δίνεται από τον τύπο:

$$\rho_{h,req} = \frac{V_{ET}}{0,8 \cdot b_w \cdot l_w \cdot f_{ywd}} = \frac{523,84kN}{0,8 \cdot 0,3m \cdot 3,5m \cdot 500MPa / 1,15}$$

$$\rho_{h,req} = \frac{523,84kN}{0,8 \cdot 0,3m \cdot 3,5m \cdot 500000kPa / 1,15} = 0,14\%$$

Υπολογισμός του ποσοστού του οριζώντιου οπλισμού του τοποθετούμενου πλέγματος από τον τύπο:

$$\rho_{h,prov} = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s_w} = \frac{2,26cm^2}{30cm \cdot 25cm} = 0,30\%$$

όπου  $A_{sw} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 1,2cm^2}{4} = 2,26cm^2$  είναι το εμβαδόν των δυο σκελών του συνδετήρα

και  $s_w$  είναι η απόσταση μεταξύ δυο συνδετήρων.

Ισχύει πως  $\rho_{h,req} \leq \rho_{h,prov}$  οπότε ο οπλισμός επαρκεί.

#### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ.

5. Επιλογή τύπου συνδετήρα για την περίσφιγξη. Το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος των συνδετήρων περίσφιγξης για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας, σύμφωνα με την §5.5.3.4.5(10), είναι ίσο με:

$$d_{bw} = \max \left\{ 6 \text{ mm} ; 0,4 \cdot \sqrt{f_{yd} / f_{wd}} \cdot d_{bL} \right\} = \max \left\{ 6 \text{ mm} ; 0,4 \cdot 1,16 \right\} = 6,4mm$$

6. Επιλογή τοποθετούμενου οπλισμού περίσφιγξης. Επιλέγεται συνδετήρας  $\phi 10/40mm$
7. Υπολογισμός των διαστάσεων του περισφιγμένου πυρήνα σκυροδέματος. Υπολογίζεται το μήκος ( $l_{c0}$ ) και το πλάτος ( $b_0$ ) του περισφιγμένου πυρήνα ως εξής:

$$l_{c0} = l_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \frac{d_{bw}}{2} = 530 - 2 \cdot 35 - 2 \cdot 10 / 2 = 450mm$$

$$b_0 = b_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \frac{d_{bw}}{2} = 300 - 2 \cdot 35 - 2 \cdot 10 / 2 = 220mm$$

8. Υπολογισμός απαιτούμενου ογκομετρικού ποσοστού συνδετήρων περίσφιγξης στις κρίσιμες περιοχές του υποστρώματος. Υπολογίζεται, σύμφωνα με την §5.5.3.4.5(4), ως εξής:

$$\omega_{wd,req} = (30 \cdot \mu_\phi \cdot (v_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{syd} \cdot \frac{b_w}{b_0} - 0,035) / a \text{ όπου}$$

- $\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 4,4 - 1 = 7,8$  όπου  $q_0 = 4,4$  η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς της κατασκευής για τη υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας
- $v_d$  η τιμή της ανηγμένης αξονικής δύναμης από τον τύπο:

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{b_w \cdot l_c \cdot f_{cd}} = \frac{-1029,76kN}{0,3m \cdot 0,53m \cdot 0,85 \cdot 25000kPa / 1,15} = -0,462$$

–  $\omega_v$  το μηχανικό ποσοστό του κατακόρυφου οπλισμού του κορμού από τον τύπο

$$\omega_v = \rho_v \cdot \frac{f_{yd,v}}{f_{cd}} = 0,0102 \cdot \frac{500 / 1,15}{0,85 \cdot 25 / 1,5} = 0,31$$

–  $\varepsilon_{syd} = 0,00217$  η ανηγμένη παραμόρφωση στο σημείο διαρροής του χάλυβα

–  $b_w = 0,3m$  το πλάτος της διατομής του τοιχίου

–  $b_0 = 0,22m$  από βήμα (10)

–  $\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,53$  ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιγξης

–  $a_s = \left(1 - \frac{s_w}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s_w}{2 \cdot l_{c0}}\right) = \left(1 - \frac{40}{2 \cdot 220}\right) \cdot \left(1 - \frac{40}{2 \cdot 450}\right) = 0,87$  όπου  $s_w$  η

απόσταση μεταξύ των συνδετήρων περίσφιγξης

–  $a_n = 1 - \left[ \frac{b_0}{(n_b - 1) \cdot l_{c0}} + \frac{l_{c0}}{(n_h - 1) \cdot b_0} \right] / 3 = 1 - \left[ \frac{220}{(2 - 1) \cdot 450} + \frac{450}{(4 - 1) \cdot 220} \right] / 3 = 0,61$

όπου  $n_b=4$  ο αριθμός των σκελών του συνδετήρα που είναι παράλληλοι με το πλάτος της διατομής και  $n_h=2$  ο αριθμός των σκελών του συνδετήρα που είναι παράλληλοι με το μήκος της διατομής.

Άρα:

$$\omega_{wd,req} = (30 \cdot \mu_\phi \cdot (v_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{syd} \cdot \frac{b_w}{b_0} - 0,035) / \alpha$$

$$\omega_{wd,req} = (30 \cdot 7,8 \cdot (0,462 + 0,31) \cdot 0,00217 \cdot \frac{0,3}{0,22} - 0,035) / 0,53 = 0,95$$

Το τελικό απαιτούμενο ογκομετρικό ποσοστό είναι:  $\omega_{wd,req} = \max \{ \omega_{wd} ; 0,12 \} = 0,95$

9. Έλεγχος του τοποθετούμενου μηχανικού ογκομετρικού ποσοστού οπλισμών περίσφιγξης.

Ο υπολογισμός του ποσοστού αυτού γίνεται με τον οπλισμό που επιλέχθηκε στο βήμα (9) και δίνεται απ' τον τύπο:

$$\omega_{wd,prov} = V_0 \cdot f_{yd} / (V_c \cdot f_{cd})$$

όπου:

–  $V_0$  ο συνολικός όγκος του οπλισμού περίσφιγξης ο οποίος με τη σειρά του ισούται με

$$V_0 = L_{wd} \cdot A_{sw} / s_w = 1780mm \cdot 0,79 \cdot 100mm^2 / 40mm = 3495,02mm^3$$

–  $L_{wd} = n_b \cdot b_0 + n_h \cdot h_0 = 4 \cdot 0,22 + 2 \cdot 0,45 = 1,78m$  το συνολικό μήκος αναπτύγματος του εγκάρσιου οπλισμού

–  $A_{sw} = \pi \cdot \frac{1^2}{4} \cdot 0,79cm^2$  το εμβαδόν της διατομής του ενός σκέλους του συνδετήρα

–  $s_w = 40mm$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων

–  $V_c = l_{c0} \cdot b_0 = 450 \cdot 220 = 99000mm^3$  ο όγκος του πυρήνα σκυροδέματος

Άρα:



$$\omega_{wd,prov} = \frac{V_0 \cdot f_{yd}}{V_c \cdot f_{cd}} = \frac{3495,02 \cdot 500 / 1,15}{99000 \cdot 0,85 \cdot 25 / 1,5} = 1,08$$

Ισχύει  $\omega_{wd,prov} \geq \omega_{wd,req}$  οπότε ο τοποθετούμενος οπλισμός περίσφιγξης επαρκεί

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του παραπάνω τοιχώματος εμφανίζονται αναλυτικά στο σχέδιο 6.15 του επόμενου κεφαλαίου.

### 5.5.6 Ελεγχος κόμβου δοκού-υποστυλώματος.

Στην ΚΠΥ απαιτείται έλεγχος ακεραιότητας των κομβών εναντι διαγωνιας θλίψης §5.5.3.3(2) και διαγωνίου εφελκυσμού §5.5.3.3(3),(4). Η πορεία του ελεγχου θα παρουσιαστεί αναλυτικά στα παρακάτω βήματα:

1. Ευρεση οριζόντιας διατμητικής δύναμης στον στον πυρήνα. Συμφωνα με την §5.5.2.3(2) επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται απλουστευμένες εκφράσεις για την οριζόντια τέμνουσα δύναμη που δρα στον πυρήνα σκυροδέματος των κόμβων ως εξής:

α) σε εσωτερικούς κόμβους δοκών-υποστυλωμάτων:

$$V_{jhd} = \gamma_{Rd} (A_{s1} + A_{s2}) f_{yd} - V_C \quad (5.22)$$

β) σε εξωτερικούς κόμβους δοκών-υποστυλωμάτων:

$$V_{jhd} = \gamma_{Rd} \cdot A_{s1} \cdot f_{yd} - V_C \quad (5.23)$$

όπου

$A_{s1}$  είναι η διατομή του άνω οπλισμού της δοκού

$A_{s2}$  είναι η διατομή του κάτω οπλισμού της δοκού

$V_C$  είναι η τέμνουσα δύναμη του υποστυλώματος πάνω από τον κόμβο, από την ανάλυση σε σεισμική κατάσταση σχεδιασμού

$\gamma_{Rd}$  είναι συντελεστής υπεραντοχής λόγω σκλήρυνσης από παραμόρφωση του χάλυβα και δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 1,2.

2. Έλεγχος αντοχής της διατομής σε διαγώνια θλίψη. Συμφωνα με την §5.5.3.3(2) :

α) Σε εσωτερικούς κόμβους δοκών-υποστυλωμάτων πρέπει να ικανοποιείται η ακόλουθη έκφραση:

$$V_{jhd} \leq \eta f_{cd} \sqrt{1 - \frac{v_d}{\eta}} b_j h_{jc} \quad (5.33)$$

όπου

$$\eta = 0,6(1 - f_{ck}/250);$$

$h_{jc}$  είναι η απόσταση μεταξύ των ακραίων στρώσεων οπλισμού του υποστυλώματος

$b_j$  είναι όπως ορίζεται στην έκφραση (5.34)

$v_d$  είναι η ανηγμένη αξονική δύναμη του υπερκείμενου υποστυλώματος, και

$f_{ck}$  δίνεται σε MPa.

β) Σε εξωτερικούς κόμβους δοκών-υποστυλωμάτων:

$V_{jhd}$  πρέπει να είναι μικρότερη από το 80% της τιμής που δίνεται από το δεξιό μέρος της έκφρασης (5.33) όπου:

$V_{jhd}$  δίνεται από τις εκφράσεις (5.22) ή (5.23) αντίστοιχα και το δρων πλάτος κόμβου  $b_j$  είναι:

$$\alpha) \text{ εάν } b_c > b_w: b_j = \min \{b_c; (b_w + 0,5 \cdot h_c)\} \quad (5.34a)$$

$$\beta) \text{ εάν } b_c < b_w: b_j = \min \{b_w; (b_c + 0,5 \cdot h_c)\} \quad (5.34b)$$

3. Έλεγχος αντοχής της διατομής σε διαγώνιο εφελκυσμο. Σύμφωνα με την §5.5.3.3(4) η ακεραιότητα του κόμβου μετά από διαγώνια ρηγμάτωση μπορεί να εξασφαλιστεί με οπλισμό οριζόντιων κλειστών συνδετήρων. Αρχικά θεωρείται ότι συνεχίζονται οι συνδετήρες της περισφυγξής των υποστυλωμάτων και γίνεται έλεγχος για το αν ικανοποιούνται οι ακόλουθες εκφράσεις:

α) Σε εσωτερικούς κόμβους:

$$A_{sh}f_{ywd} \geq \gamma_{Rd}(A_{s1}+A_{s2})f_{yd}(1-0,8\nu_d) \quad (5.36a)$$

β) Σε εξωτερικούς κόμβους:

$$A_{sh}f_{ywd} \geq \gamma_{Rd}A_{s2}f_{yd}(1-0,8\nu_d) \quad (5.36\beta)$$

όπου ο  $\gamma_{Rd}$  είναι ίσος με 1,2 και η ανηγμένη αξονική δύναμη αναφέρεται στο υπερκείμενο υποστυλώμα.

Αν ο έλεγχος δεν ικανοποιείται τότε απαιτείται πύκνωση των οπλισμών. Γίνεται επίλυση των εκφρασεων (5.36α), (5.36β) ως προς το  $A_{sh}$  και τοποθετούνται οι οπλισμοί που προκύπτουν.

4. Έλεγχος επαρκείας κατακόρυφου οπλισμού. Στον κόμβο συνεχίζουν οι διαμήκης οπλισμοί του υποστυλώματος οι οποίοι σύμφωνα με την §5.5.3.3(5) πρέπει να ικανοποιούν τον έλεγχο:  $A_{sv,i} \geq (2/3) \cdot A_{sh} \cdot (h_{jc} / h_{jw})$

όπου

- $A_{sh}$  είναι η απαιτούμενη συνολική διατομή των οριζόντιων συνδετήρων σύμφωνα με τις
- $A_{sv,i}$  είναι η συνολική διατομή των ράβδων που διατάσσονται ανάμεσα στις γωνιακές ράβδους στις αντίστοιχες παρειές των υποστυλωμάτων (οι οποίες συμπεριλαμβάνουν και ράβδους που συνεισφέρουν στον διαμήκη οπλισμό των υποστυλωμάτων).

Σε περίπτωση που ο έλεγχος δεν ικανοποιείται θα πρέπει να τοποθετηθούν επιπλέον κατακόρυφοι οπλισμοί στον κόμβο.

### 5.5.6.1 Παράδειγμα ελέγχου κόμβου δοκού-υποστυλώματος πλαισιακού κτηρίου

Στην ενότητα αυτή θα γίνει λεπτομερής έλεγχος ενός κόμβου δοκού-υποστυλώματος του πλαισιακού κτηρίου ακολουθώντας τα βήματα που περιγράψαμε παραπάνω. Επιλέγεται να ελεγχθεί ο κόμβος Α στην κορυφή του υποστυλώματος C6-A του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης σε αυτόν των δυσμενέστερων αποτελεσμάτων. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Εύρεση οριζόντιας διατμητικής δύναμης στον στον πυρήνα. Ο κόμβος Α είναι εσωτερικός κόμβος συνεπώς σύμφωνα με την §5.5.2.3(2) η οριζόντια τέμνουσα δύναμη που δρα στον πυρήνα σκυροδέματος του κόμβου δίνεται απ' τον τύπο:

$$V_{jhd} = \gamma_{Rd} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd} - V_C = 1,2 \cdot (4,62\text{cm}^2 + 6,15\text{cm}^2) \cdot \frac{500}{1,5 \cdot 10} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 528,21 \text{ kN}$$

όπου

$A_{s1} = 4,62 \text{ cm}^2$  είναι η διατομή του άνω οπλισμού των δοκών του κόμβου

$V_C = 33,70 \text{ kN}$  είναι η τέμνουσα δύναμη από την ανάλυση για τη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού

$$\gamma_{Rd} = 1,2$$

2. Έλεγχος αντοχής της διατομής σε διαγώνια θλίψη. Συμφωνα με την §5.5.3.3(2) σε εσωτερικούς κόμβους δοκών-υποστυλωμάτων η οριζόντια τέμνουσα που δρα στον πυρήνα στου σκυροδέματος δεν πρέπει να υπερβαίνει την παρακάτω μέγιστη τιμή:

$$V_{jhd,max} = \eta \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{1 - \frac{v_d}{\eta}} \cdot b_j \cdot h_{jc}$$

όπου

$$\eta = 0,6 \cdot (1 - f_{ck} / 250) = 0,54$$

$$h_{jc} = h_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \varphi_w - 2 \cdot \varphi_L / 2 = 500 - 2 \cdot 35 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 14 / 2 = 400\text{mm} = 40,00 \text{ cm}$$

είναι η απόσταση μεταξύ των ακραίων στρώσεων οπλισμού του υποστυλώματος

$$b_j = \min \{b_c; (b_w + 0,5 \cdot h_c)\} = \min \{50; (30 + 0,5 \cdot 50)\} = 50\text{cm} \text{ αφού } b_c > b_w$$

$$v_d = -0,16 \text{ είναι η ανηγμένη αξονική δύναμη του υπερκείμενου υποστυλώματος, και}$$

$$f_{ck} = 25\text{MPa}$$

Άρα:

$$V_{jhd,max} = 0,8 \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{1 - \frac{v_d}{\eta}} \cdot b_j \cdot h_{jc} = 0,8 \cdot 0,54 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 \text{ kN}}{1,5 \cdot 10 \text{ cm}^2} \cdot \sqrt{1 - \frac{-0,16}{0,54}} \cdot 50,0\text{cm} \cdot 40,0\text{cm}$$

$$V_{jhd,max} = 1758,95 \text{ kN}$$

Συνεπώς ο έλεγχος ικανοποιείται αφού  $V_{jhd} = 528,21\text{kN} < V_{jhd,max} = 1758,95 \text{ kN}$  .

3. Έλεγχος αντοχής της διατομής σε διαγώνιο εφελκυσμο. Αρχικά συνεχίζουμε τους συνδετήρες της περισφυγξης των υποστυλωμάτων, δηλαδή τετράτμητους συνδετήρες Φ8/100mm, και γίνεται έλεγχος για το αν ικανοποιούν την ακόλουθη έκφραση όπως ορίζεται στην §5.5.3.3(4) για εσωτερικό κόμβο:

$$A_{sh} f_{ywd} > \gamma_{Rd} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8 \cdot v_d) \quad (5.36\beta)$$

όπου ο  $\gamma_{Rd} = 1,2$  και η ανηγμένη αξονική δύναμη αναφέρεται στο υπερκείμενο υποστυλώμα.

$$- A_{sh} f_{ywd} = 12 \text{ cm}^2 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1,15 \text{ cm}^2} = 521,74 \text{ kN} \text{ όπου}$$

$$\text{όπου } A_{sh} = n_w \cdot A_{sw} = 6 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,8^2}{4} = 6 \cdot 2 \text{ cm}^2 = 12 \text{ cm}^2$$

$$- \gamma_{Rd} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8 \cdot v_d) = 1,2 \cdot (4,62 + 6,15) \cdot \frac{50}{1,15} \cdot (1 - 0,8 \cdot (-0,1737)) = 640,00 \text{ kN}$$

$$\text{Άρα: } A_{sh} f_{ywd} = 521,74 \text{ kN} > \gamma_{Rd} \cdot A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8 \cdot v_d) = 640,00 \text{ kN}$$

Συνεπώς ο έλεγχος δεν ικανοποιείται και απαιτείται πύκνωση των συνδετήρων του κόμβου. Τοποθετώ στον κόμβο, μεταξύ του άνω και του κάτω οπλισμού της δοκού, συνολικά οκτώ τετράτητους συνδετήρες και επαναλαμβάνω τον έλεγχο. Πιο συγκεκριμένα:

$$- A_{sh} f_{ywd} = 16 \text{ cm}^2 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1,15 \text{ cm}^2} = 695,65 \text{ kN} \text{ όπου}$$

$$\text{όπου } A_{sh} = n_w \cdot A_{sw} = 8 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,8^2}{4} = 8 \cdot 2 \text{ cm}^2 = 16 \text{ cm}^2$$

$$- \gamma_{Rd} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8 \cdot v_d) = 1,2 \cdot (4,62 + 6,15) \cdot \frac{50}{1,15} \cdot (1 - 0,8 \cdot (-0,1737)) = 640,00 \text{ kN}$$

$$\text{Άρα: } A_{sh} f_{ywd} = 695,65 \text{ kN} > \gamma_{Rd} \cdot A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8 \cdot v_d) = 640,00 \text{ kN}$$

Επομένως τοποθετώντας στον κόμβο οκτώ τετράτητους συνδετήρες διαμέτρου 8mm ικανοποιείται ο έλεγχος και προχωράμε έτσι στο επόμενο βήμα.

4. Έλεγχος επαρκείας κατακόρυφου οπλισμού. Στον κόμβο συνεχίζουν οι διαμήκης οπλισμοί του υποστυλώματος, δηλαδή 12Φ18 με  $A_s = 30,48 \text{ cm}^2$ , οι οποίοι σύμφωνα με την §5.5.3.3(5) πρέπει να ικανοποιούν τον έλεγχο:

$$A_{sv,i} \geq (2/3) \cdot A_{sh} \cdot (h_{jc} / h_{jw})$$

όπου:

$$- A_{sh} = 16 \text{ cm}^2 \text{ όπως υπολογίστηκε στο προηγούμενο βήμα.}$$

$$- A_{sv,i} = 30,48 \text{ cm}^2 \text{ ο συνολικός κατακόρυφος οπλισμός εντός του κόμβου.}$$

$$\text{Άρα: } A_{sv,i} = 30,48 \text{ cm}^2 \geq (2/3) \cdot A_{sh} \cdot (h_{jc} / h_{jw}) = 8,50 \text{ cm}^2$$

Συνεπώς ο έλεγχος αυτός ικανοποιείται και έτσι ο έλεγχος του κόμβου Α στην κορυφή του υποστυλώματος C6-A τελειώνει εδώ.

### 5.5.6.2 Παράδειγμα ελέγχου κόμβου δοκού-υποστυλώματος τοιχωματικού κτηρίου

Στην ενότητα αυτή θα γίνει λεπτομερής έλεγχος ενός κόμβου δοκού-υποστυλώματος του τοιχωματικού κτηρίου ακολουθώντας τα βήματα που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα. Επιλέγεται να ελεγχθεί ο κόμβος IS (B14-IS και C7-C) του πλαισίου 1 λόγω εμφάνισης  $\sigma'$  αυτόν των δυσμενέστερων αποτελεσμάτων. Σύμφωνα λοιπόν με τα βήματα της παραπάνω ενότητας έχουμε:

1. Εύρεση οριζόντιας διατμητικής δύναμης στον στον πυρήνα. Ο κόμβος IS είναι εξωτερικός κόμβος συνεπώς σύμφωνα με την §5.5.2.3(2) η οριζόντια τέμνουσα δύναμη που δρα στον πυρήνα σκυροδέματος του κόμβου δίνεται απ' τον τύπο:

$$V_{jhd} = \gamma_{Rd} \cdot A_{s1} \cdot f_{yd} - V_C = 1,2 \cdot 6,78 \text{ cm}^2 \cdot \frac{500}{1,5 \cdot 10} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 329,15 \text{ kN}$$

όπου

$A_{s1} = 6,78 \text{ cm}^2$  είναι η διατομή του άνω οπλισμού της δοκού B14-IS

$V_C = 24,59 \text{ kN}$  είναι η τέμνουσα δύναμη στη βάση του υποστυλώματος C7-B πάνω από τον κόμβο, από την ανάλυση σε σεισμική κατάσταση σχεδιασμού

$$\gamma_{Rd} = 1,2$$

2. Έλεγχος αντοχής της διατομής σε διαγώνια θλίψη. Σύμφωνα με την §5.5.3.3(2) σε εξωτερικούς κόμβους δοκών-υποστυλωμάτων η οριζόντια τέμνουσα που δρα στον πυρήνα στου σκυροδέματος δεν πρέπει  $\beta = \alpha$  να υπερβαίνει την παρακάτω μέγιστη τιμή:

$$V_{jhd,max} = 0,8 \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{1 - \frac{v_d}{\eta}} \cdot b_j \cdot h_{jc}$$

όπου

$$\eta = 0,6 \cdot (1 - f_{ck} / 250) = 0,54$$

$$h_{jc} = h_c - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \varphi_w - 2 \cdot \varphi_L / 2 = 500 - 2 \cdot 35 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 12 / 2 = 402 \text{ mm} = 40,2 \text{ cm}$$

είναι η απόσταση μεταξύ των ακραίων στρώσεων οπλισμού του υποστυλώματος

$$b_j = \min \{ b_c; (b_w + 0,5 \cdot h_c) \} = \min \{ 50; (30 + 0,5 \cdot 50) \} = 50 \text{ cm} \text{ αφού } b_c > b_w$$

$v_d = -0,16$  είναι η ανηγμένη αξονική δύναμη του υπερκείμενου υποστυλώματος, και

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

Άρα:

$$V_{jhd,max} = 0,8 \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{1 - \frac{v_d}{\eta}} \cdot b_j \cdot h_{jc} = 0,8 \cdot 0,54 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{1,5 \cdot 10} \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot \sqrt{1 - \frac{-0,16}{0,54}} \cdot 50 \text{ cm} \cdot 40,2 \text{ cm}$$

$$V_{jhd,max} = 1398,66 \text{ kN}$$

Συνεπώς ο έλεγχος ικανοποιείται αφού  $V_{jhd} = 329,15 \text{ kN} < V_{jhd,max} = 1398,66 \text{ kN}$ .

3. Έλεγχος αντοχής της διατομής σε διαγώνιο εφελκυσμο. Αρχικά συνεχίζουμε τους συνδετήρες της περισφυγξης των υποστυλωμάτων, δηλαδή τετράτητους συνδετήρες φ8/90mm, και γίνεται έλεγχος για το αν ικανοποιούν την ακόλουθη έκφραση όπως ορίζεται στην §5.5.3.3(4) για εξωτερικό κόμβο:

$$A_{sh} f_{ywd} > \gamma_{Rd} \cdot A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8 \cdot v_d) \quad (5.36\beta)$$

όπου ο  $\gamma_{Rd} = 1,2$  και η ανηγμένη αξονική δύναμη αναφέρεται στο υπερκείμενο υποστύλωμα.

$$- A_{sh} f_{ywd} = 12 \text{ cm}^2 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1,15 \text{ cm}^2} = 521,74 \text{ kN} \text{ όπου}$$

$$\text{όπου } A_{sh} = n_w \cdot A_{sw} = 6 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,8^2}{4} = 6 \cdot 2 \text{ cm}^2 = 12 \text{ cm}^2$$

$$- \gamma_{Rd} \cdot A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8 \cdot v_d) = 1,2 \cdot 4,52 \text{ cm}^2 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1,15 \text{ cm}^2} \cdot (1 - 0,8 \cdot (-0,16)) = 265,66 \text{ kN}$$

όπου  $A_{s2}$  είναι η διατομή του κάτω οπλισμού της δοκού.

$$\text{Άρα: } A_{sh} f_{ywd} = 512,21 \text{ kN} > \gamma_{Rd} \cdot A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8 \cdot v_d) = 265,66 \text{ kN}$$

Συνεπώς ο έλεγχος ικανοποιείται.

4. Έλεγχος επαρκείας κατακόρυφου οπλισμού. Στον κόμβο συνεχίζουν οι διαμήκης οπλισμοί του υποστυλώματος, δηλαδή 16φ16 με  $A_s = 32,16 \text{ cm}^2$ , οι οποίοι σύμφωνα με την §5.5.3.3(5) πρέπει να ικανοποιούν τον έλεγχο:

$$A_{sv,i} \geq (2/3) \cdot A_{sh} \cdot (h_{jc} / h_{jw})$$

όπου:

$$- A_{sh} = 12 \text{ cm}^2 \text{ όπως υπολογίστηκε στο προηγούμενο βήμα.}$$

$$- A_{sv,i} = 32,16 \text{ cm}^2 \text{ ο συνολικός κατακόρυφος οπλισμός εντός του κόμβου.}$$

$$\text{Άρα: } A_{sv,i} = 32,16 \text{ cm}^2 \geq (2/3) \cdot A_{sh} \cdot (h_{jc} / h_{jw}) = 6,41 \text{ cm}^2$$

Συνεπώς ο έλεγχος ικανοποιείται.

## **6 Κατασκευαστικά σχέδια**

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα κατασκευαστικά σχέδια των μελών που διαστασιολογήσαμε παραπάνω. Πιο συγκεκριμένα, θα παρουσιαστούν οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες των οπλισμών των δοκών, των υποστυλωμάτων και των τοιχίων τόσο της πλαισιακής όσο και της τοιχωματικής κατασκευής οι οποίοι υπολογίστηκαν αναλυτικά στα παραδείγματα του προηγούμενου κεφαλαίου. Στο τέλος θα δοθούν και τα αναπτύγματα των οπλισμών των δύο πλαισίων συνολικά.

Πιο αναλυτικά, στα σχέδια 1 έως 5 παρουσιάζονται οι λεπτομέρειες των οπλισμών των μελών των δύο κτηρίων, όπως υπολογίστηκαν για τη χαμηλή κατηγορία πλαστιμότητας, στα σχέδια 6 έως 10 παρουσιάζονται οι λεπτομέρειες των οπλισμών για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας ενώ στα σχέδια 11 έως 15 παρουσιάζονται οι λεπτομέρειες των οπλισμών για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας. Στο τέλος, στα σχέδια 16 έως 21, παρουσιάζονται οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες των οπλισμών των μελών των πλαισίων των δύο κατασκευών συνολικά.

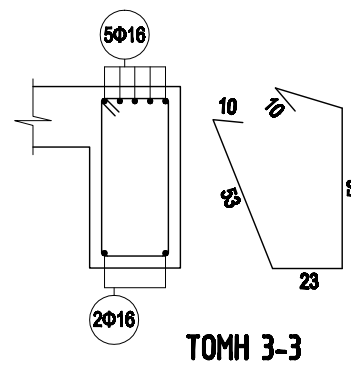
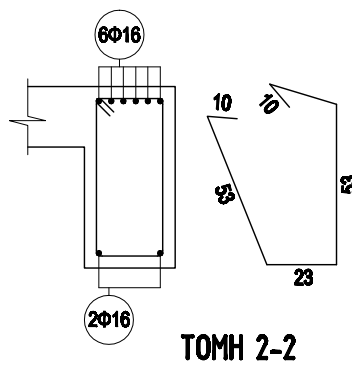
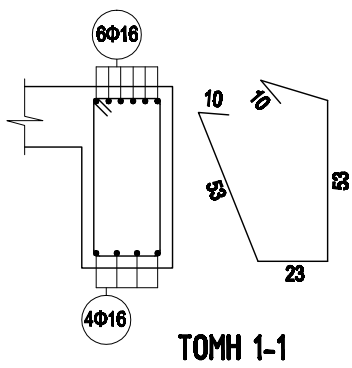
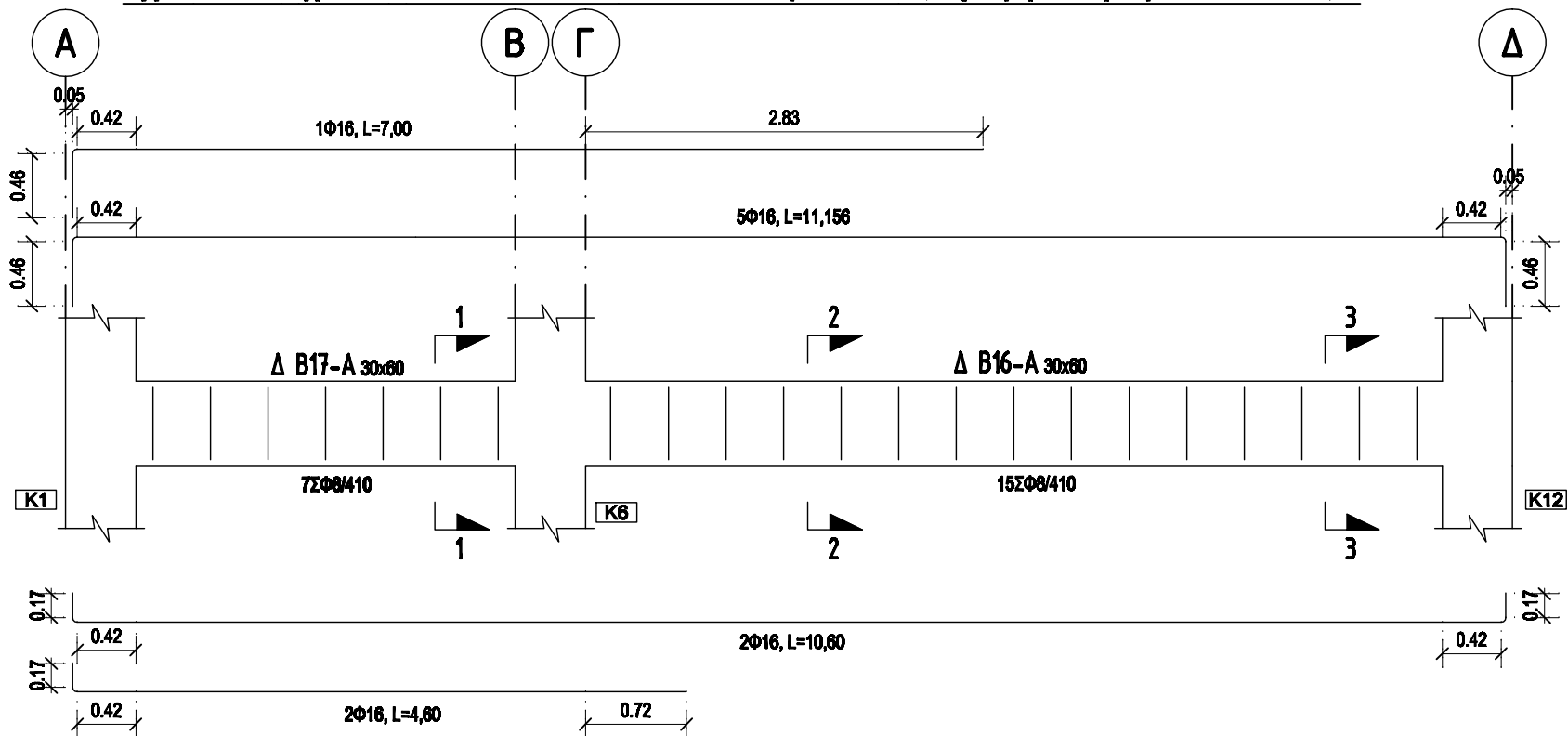
Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες των οπλισμών όπως τα μήκη αγκύρωσης, τα μήκη υπερκάλυψης, και οι καμπυλότητες των ράβδων οπλισμού υπολογίστηκαν αναλυτικά με βάση τις αντίστοιχες διατάξεις του ΕΚ-2 (κεφάλαιο 8) και παρουσιάζονται συνοπτικά στον επόμενο πίνακα (πίνακας 6.1).

Πίνακας 6.1 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες οπλισμών

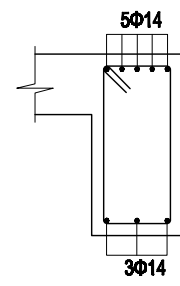
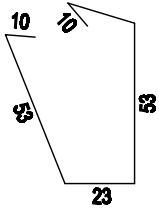
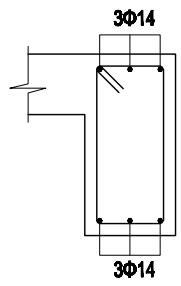
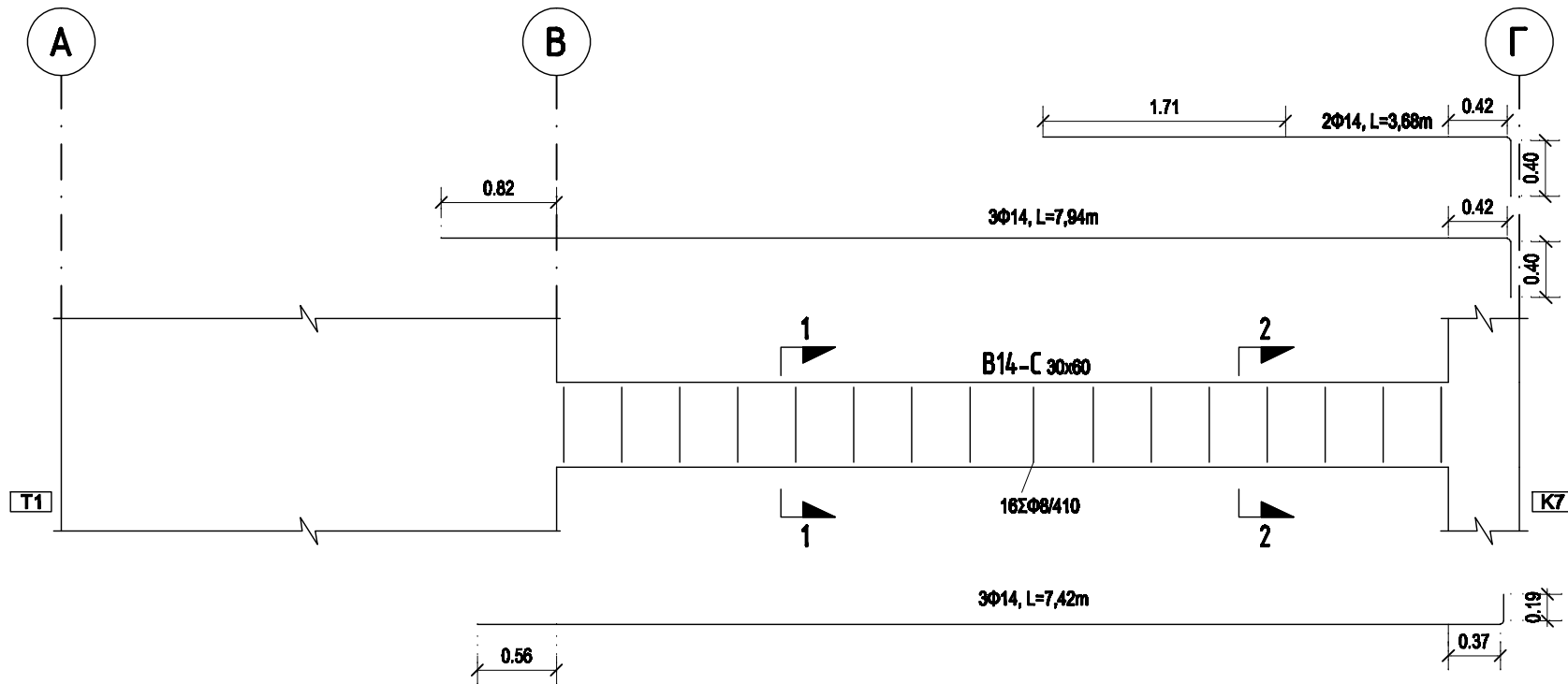
			Φ12	Φ14	Φ16	Φ18	Φ20	Φ25			
Κακή Περιοχή Αγκύρωσης (Άνω Οπλισμοί)	Μη περισιφιμένη περιοχή	Βασικό Μήκος Αγκύρωσης	$l_b = \frac{\Phi \cdot 500/1,15}{4 \cdot 0,70 \cdot 2,7} = 58\Phi$		696	812	928	1044	1160	1450	
		Ελάχιστο Μήκος Αγκύρωσης	Ε	$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_b, 10 \cdot \Phi, 100) = 18\Phi$		216	252	288	324	360	450
			Θ	$l_{b,min} = \max(0,6 \cdot l_b, 10 \cdot \Phi, 100) = 35\Phi$		420	490	560	630	700	875
		Ελάχιστο Πλάτος Υποστρώματος	Ε	$b_c = 5\Phi + l_{b,min} + c = 23\Phi + c$		276	322	368	414	460	575
			Θ	$b_c = 5\Phi + l_{b,min} + c = 41\Phi + c$		492	574	656	738	820	1025
	Μήκος Υπερκάλυψης	$l_0 = 1,5 \cdot l_b = 87\Phi$		1044	1218	1392	1566	1740	2175		
	Ελάχιστο Μήκος Υπερκάλυψης	$l_{0,min} = \max(0,3 \cdot 1,5 \cdot l_b, 15 \cdot \Phi, 200) = 27\Phi$		324	378	432	486	540	675		
	Περισιφιμένη περιοχή	Βασικό Μήκος Αγκύρωσης	$l_b = \frac{\Phi \cdot 500/1,15}{4 \cdot 0,70 \cdot (1,4 \cdot 2,7)} = 40\Phi$		480	560	640	720	800	1000	
		Ελάχιστο Μήκος Αγκύρωσης	Ε	$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_b, 10 \cdot \Phi, 100) = 12\Phi$		144	168	192	216	240	300
			Θ	$l_{b,min} = \max(0,6 \cdot l_b, 10 \cdot \Phi, 100) = 24\Phi$		288	336	384	432	480	600
Ελάχιστο Πλάτος Υποστρώματος		Ε	$b_c = 5\Phi + l_{b,min} + c = 17\Phi + c$		204	238	272	306	340	425	
		Θ	$b_c = 5\Phi + l_{b,min} + c = 29\Phi + c$		348	406	464	522	580	725	
Μήκος Υπερκάλυψης	$l_0 = 1,5 \cdot l_b = 60\Phi$		720	840	960	1080	1200	1500			
Ελάχιστο Μήκος Υπερκάλυψης	$l_{0,min} = \max(0,3 \cdot 1,5 \cdot l_b, 15 \cdot \Phi, 200) = 18\Phi$		216	252	288	324	360	450			
Καλή Περιοχή Αγκύρωσης (Κάτω Οπλισμοί)	Μη περισιφιμένη περιοχή	Βασικό Μήκος Αγκύρωσης	$l_b = \frac{\Phi \cdot 500/1,15}{4 \cdot 2,7} = 40\Phi$		480	560	640	720	800	1000	
		Ελάχιστο Μήκος Αγκύρωσης	Ε	$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_b, 10 \cdot \Phi, 100) = 12\Phi$		144	168	192	216	240	300
			Θ	$l_{b,min} = \max(0,6 \cdot l_b, 10 \cdot \Phi, 100) = 24\Phi$		288	336	384	432	480	600
		Ελάχιστο Πλάτος Υποστρώματος	Ε	$b_c = 5\Phi + l_{b,min} + c = 17\Phi + c$		204	238	272	306	340	425
			Θ	$b_c = 5\Phi + l_{b,min} + c = 29\Phi + c$		348	406	464	522	580	725
	Μήκος Υπερκάλυψης	$l_0 = 1,5 \cdot l_b = 60\Phi$		720	840	960	1080	1200	1500		
	Ελάχιστο Μήκος Υπερκάλυψης	$l_{0,min} = \max(0,3 \cdot 1,5 \cdot l_b, 15 \cdot \Phi, 200) = 18\Phi$		216	252	288	324	360	450		
	Περισιφιμένη περιοχή	Βασικό Μήκος Αγκύρωσης	$l_b = \frac{\Phi \cdot 500/1,15}{4 \cdot (1,4 \cdot 2,7)} = 29\Phi$		348	406	464	522	580	725	
		Ελάχιστο Μήκος Αγκύρωσης	Ε	$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_b, 10 \cdot \Phi, 100) = 9\Phi$		108	126	144	162	180	225
			Θ	$l_{b,min} = \max(0,6 \cdot l_b, 10 \cdot \Phi, 100) = 18\Phi$		216	252	288	324	360	450
Ελάχιστο Πλάτος Υποστρώματος		Ε	$b_c = 5\Phi + l_{b,min} + c = 14\Phi + c$		168	196	224	252	280	350	
		Θ	$b_c = 5\Phi + l_{b,min} + c = 23\Phi + c$		276	322	368	414	460	575	
Μήκος Υπερκάλυψης	$l_0 = 1,5 \cdot l_b = 44\Phi$		528	616	704	792	880	1100			
Ελάχιστο Μήκος Υπερκάλυψης	$l_{0,min} = \max(0,3 \cdot 1,5 \cdot l_b, 15 \cdot \Phi, 200) = 14\Phi$		168	196	224	252	280	350			
			Καμπυλότητα d=4Φ		48	56	64	72	80	100	
			Καμπυλότητα D=20Φ		240	280	320	360	400	500	



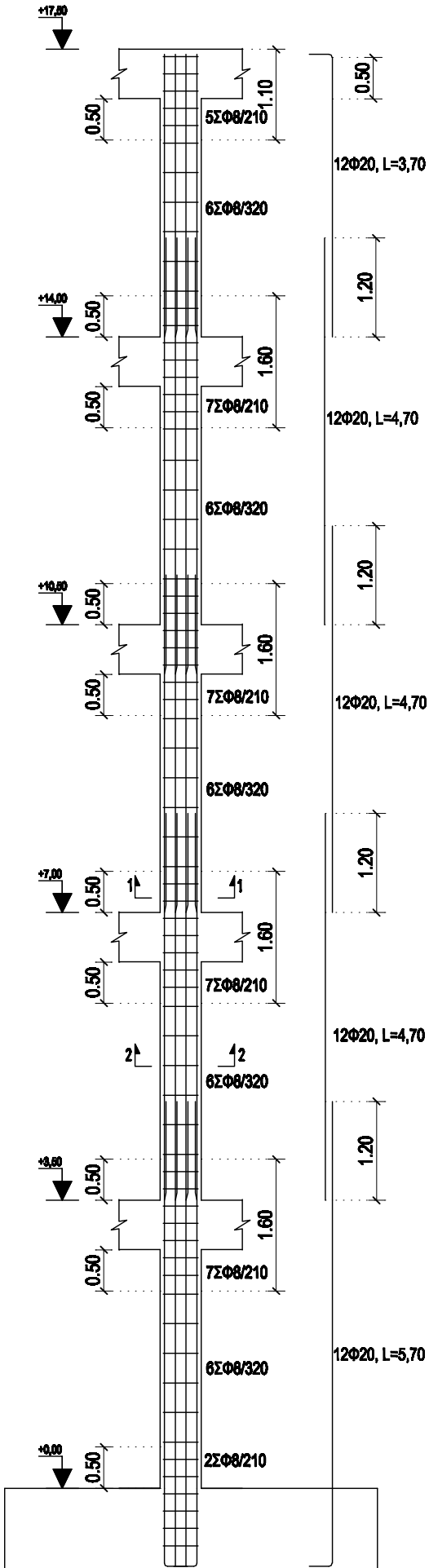
**Σχ.1 Αναπτύγματα δοκών B17-B16 πλαισιακού για ΚΠΧ (Οροφή Α' Ορόφου στ.+3.50)**



**Σχ.2 Ανάπτυγμα Δοκού Β14 τοιχωματικού για ΚΠΧ ( Οροφή Δ' Ορόφου στ.+14.00)**

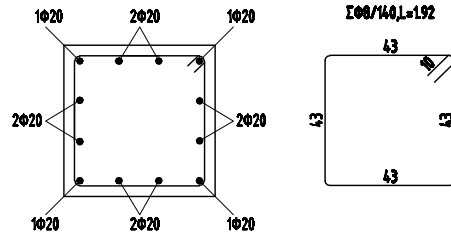


**Σχ.3 Ανάπτυγμα υποστυλώματος C6 πλαίσιακού για ΚΠΧ**



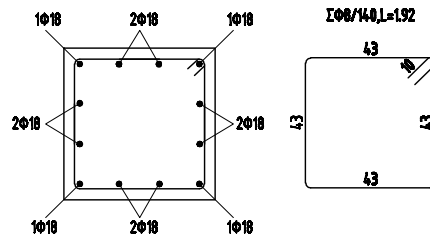
**Τομή 1-1 υποστυλώματος C6**

50x50

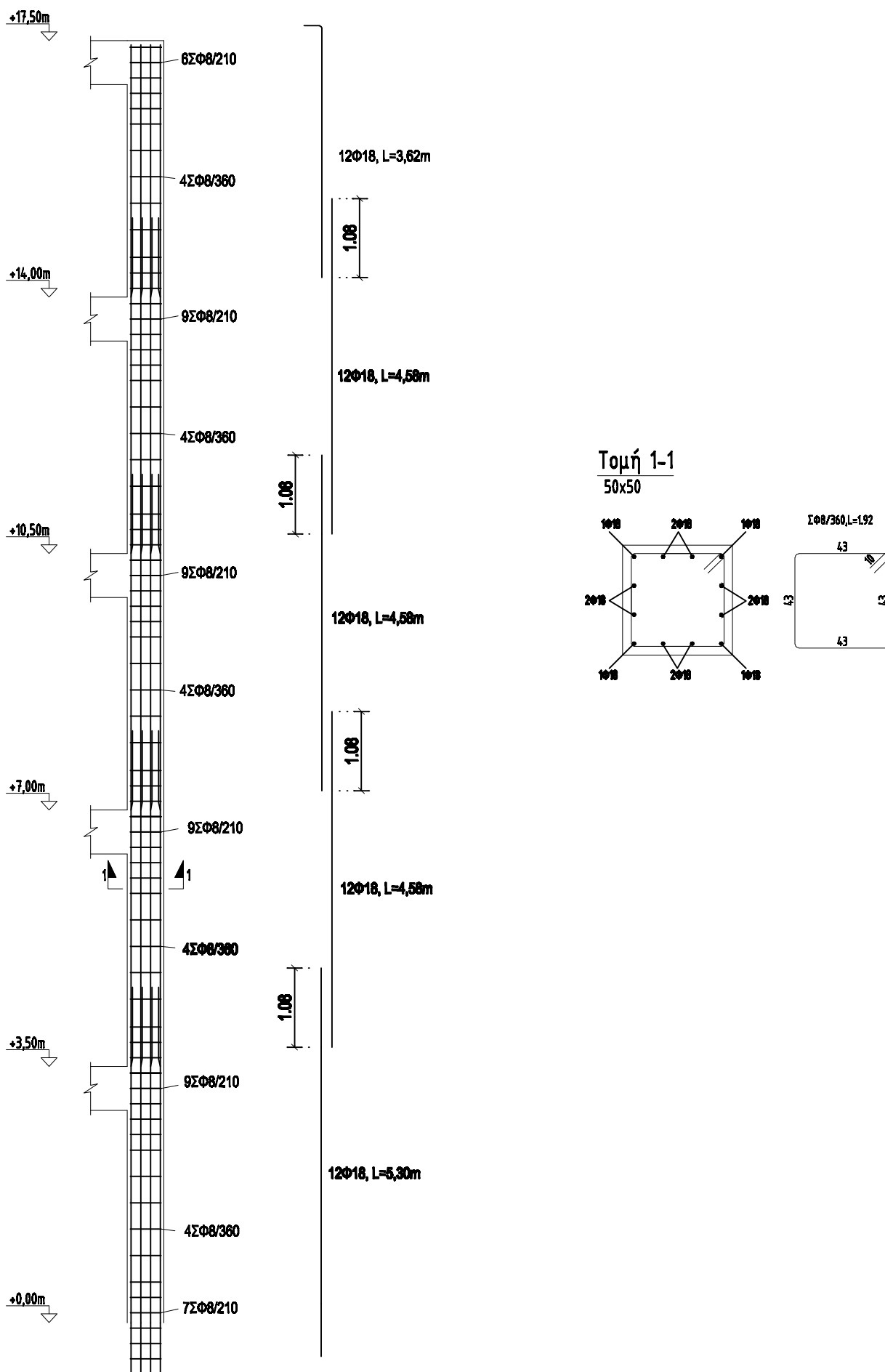


**Τομή 2-2 υποστυλώματος C6**

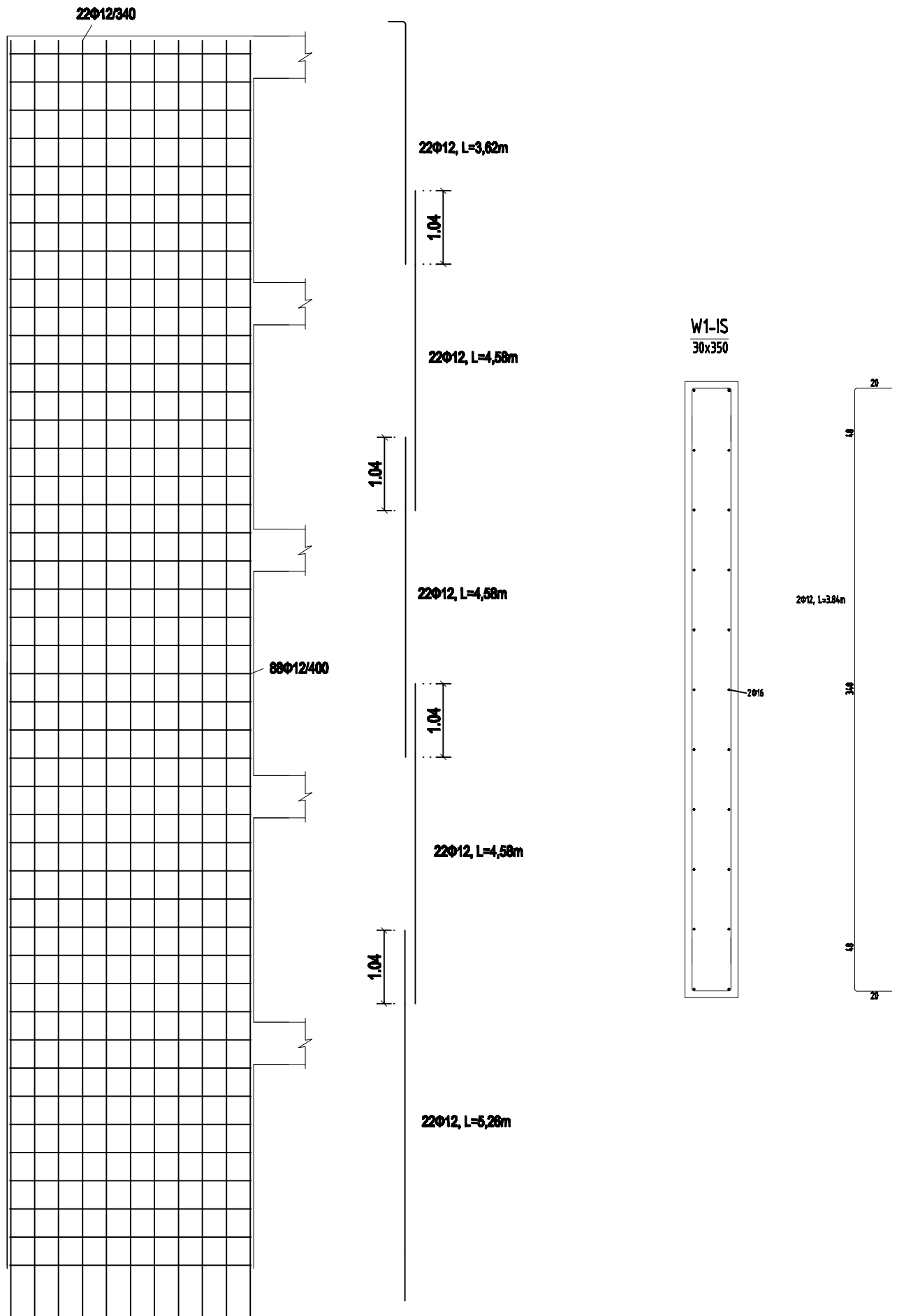
50x50



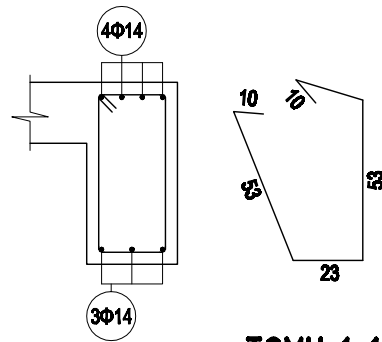
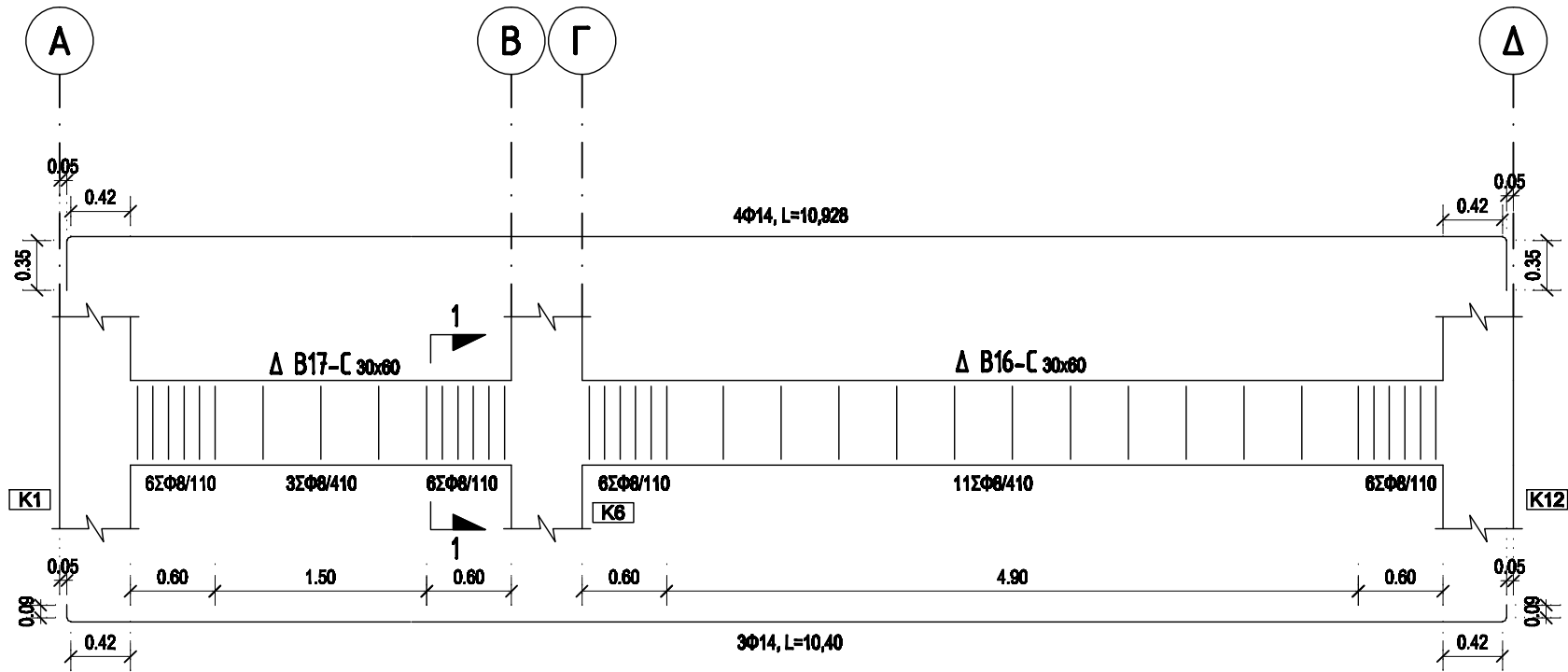
**Σχ.4 Ανάπτυγμα Υποστυλώματος C7 τοιχωματικού για ΚΠΧ**



Σχ.5 Ανάπτυγμα Τοιχώματος W1 τοιχωματικού για ΚΠΧ

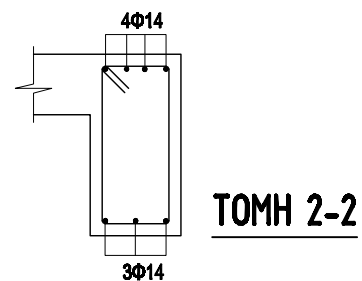
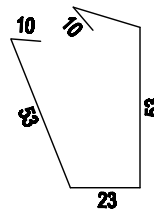
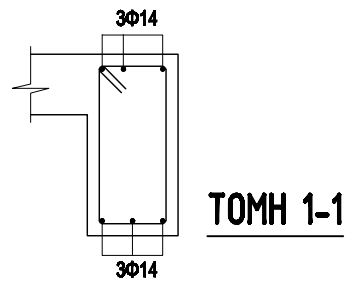
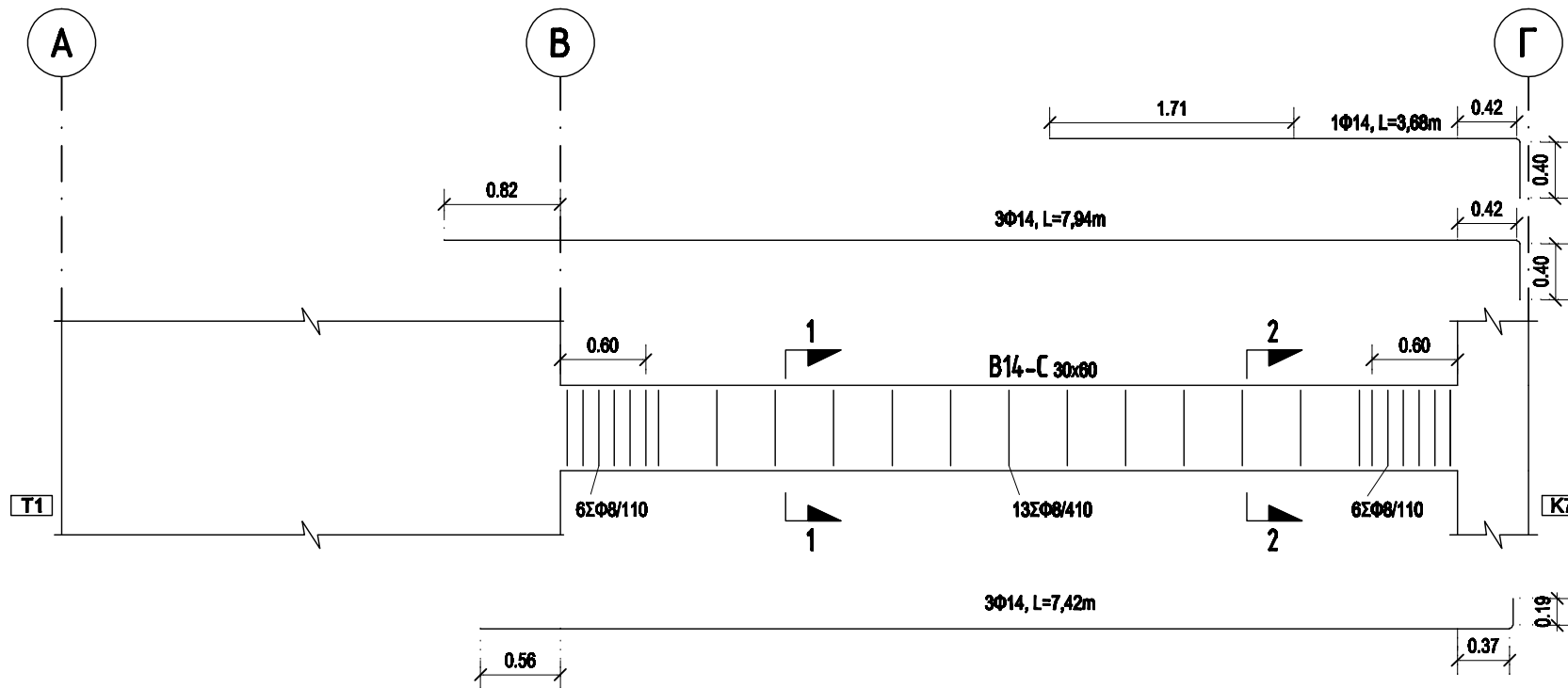


**Σχ.6 Αναπτύγματα δοκών B17-B16 πλαισιακού για ΚΠΜ (Οροφή Γ' Ορόφου στ.+10,50)**

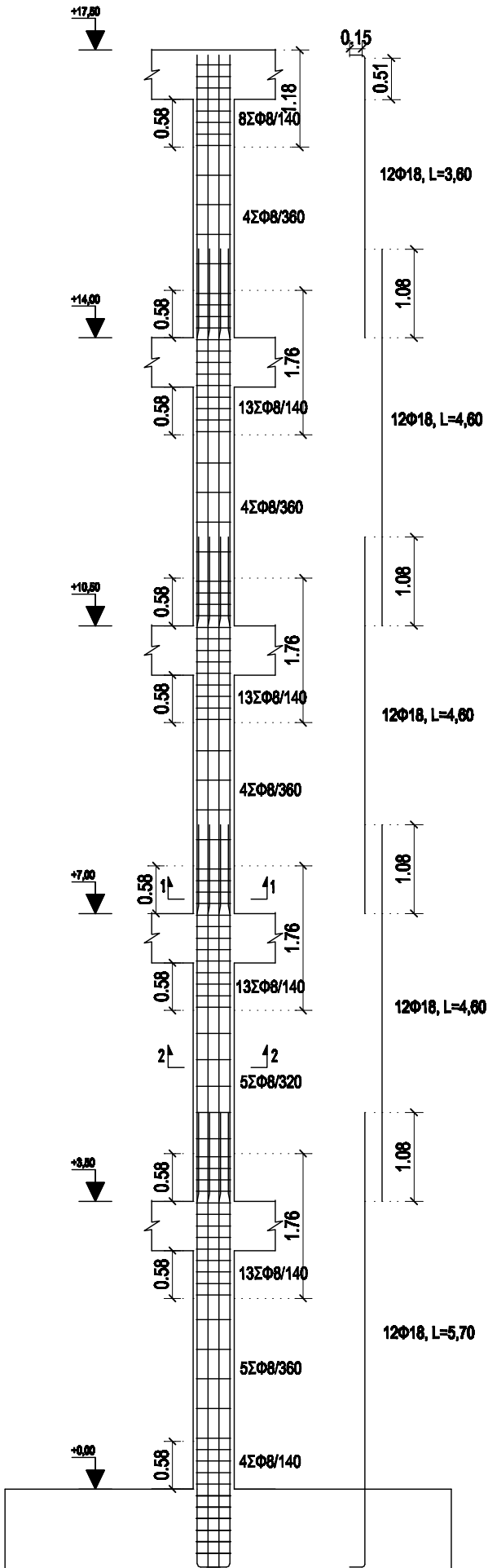


**TOMH 1-1**

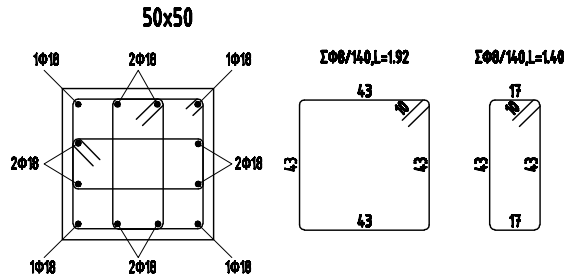
**Σχ.7 Ανάπτυγμα Δοκού Β14 τοιχωματικού για ΚΠΜ ( Οροφή Β' Ορόφου στ.+7.00)**



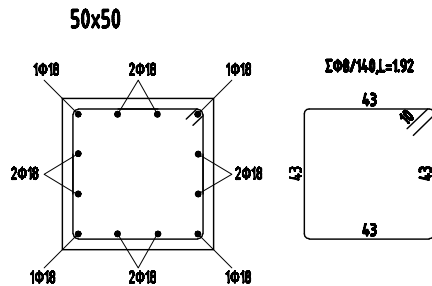
**Σχ.8 Ανάπτυγμα υποστυλώματος C6 πλαισιακού για ΚΓΙΜ**



**Τομή 1-1 υποστυλώματος C6**

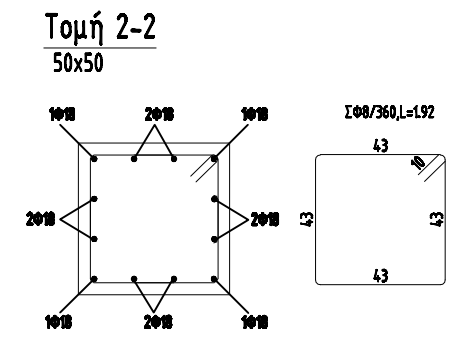
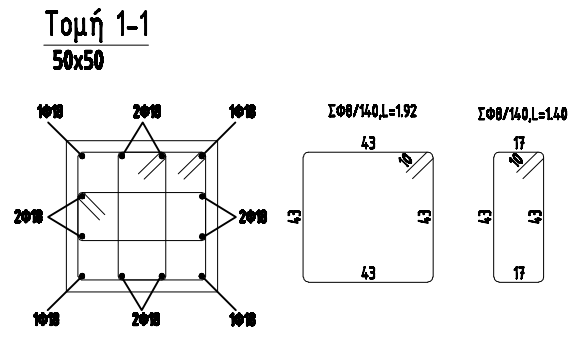
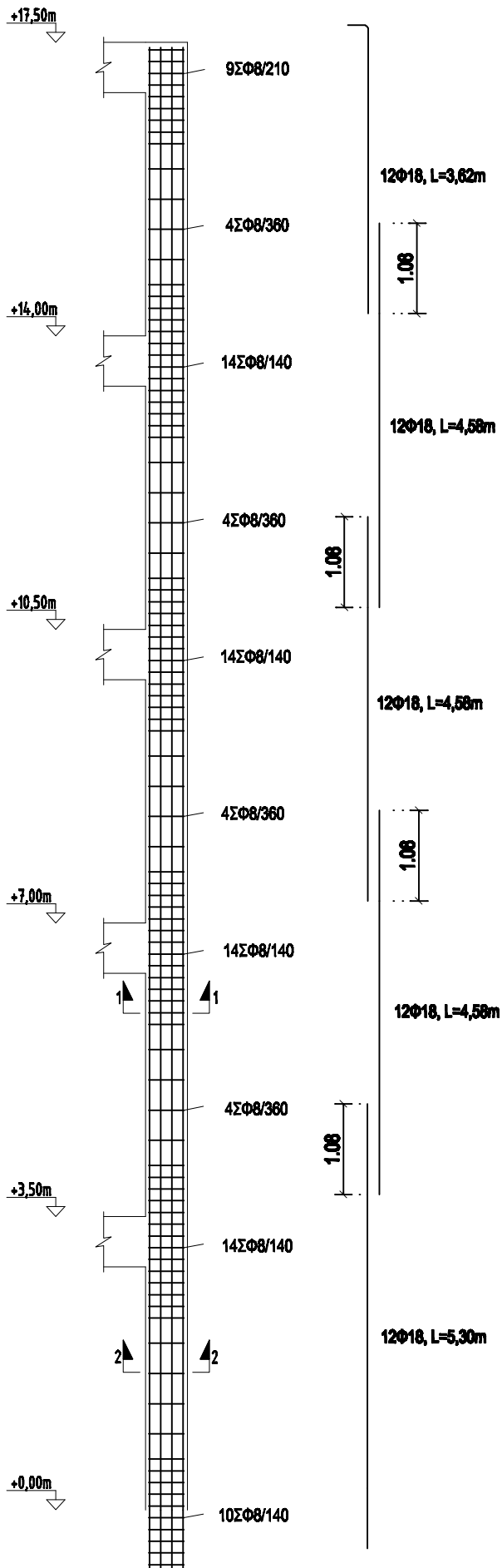


**Τομή 2-2 υποστυλώματος C6**

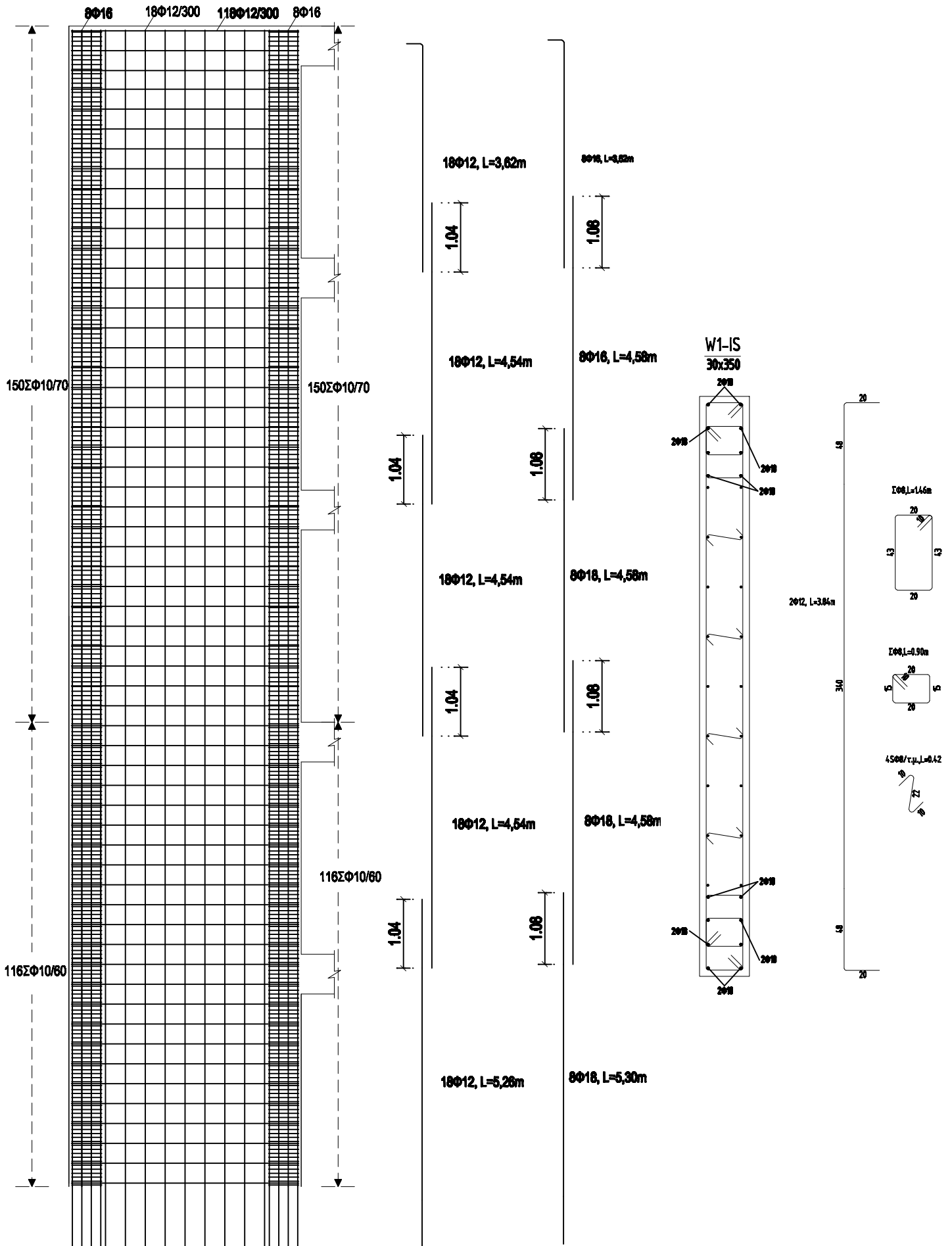




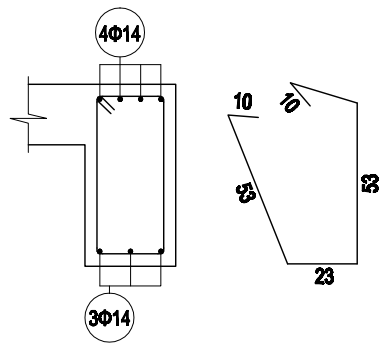
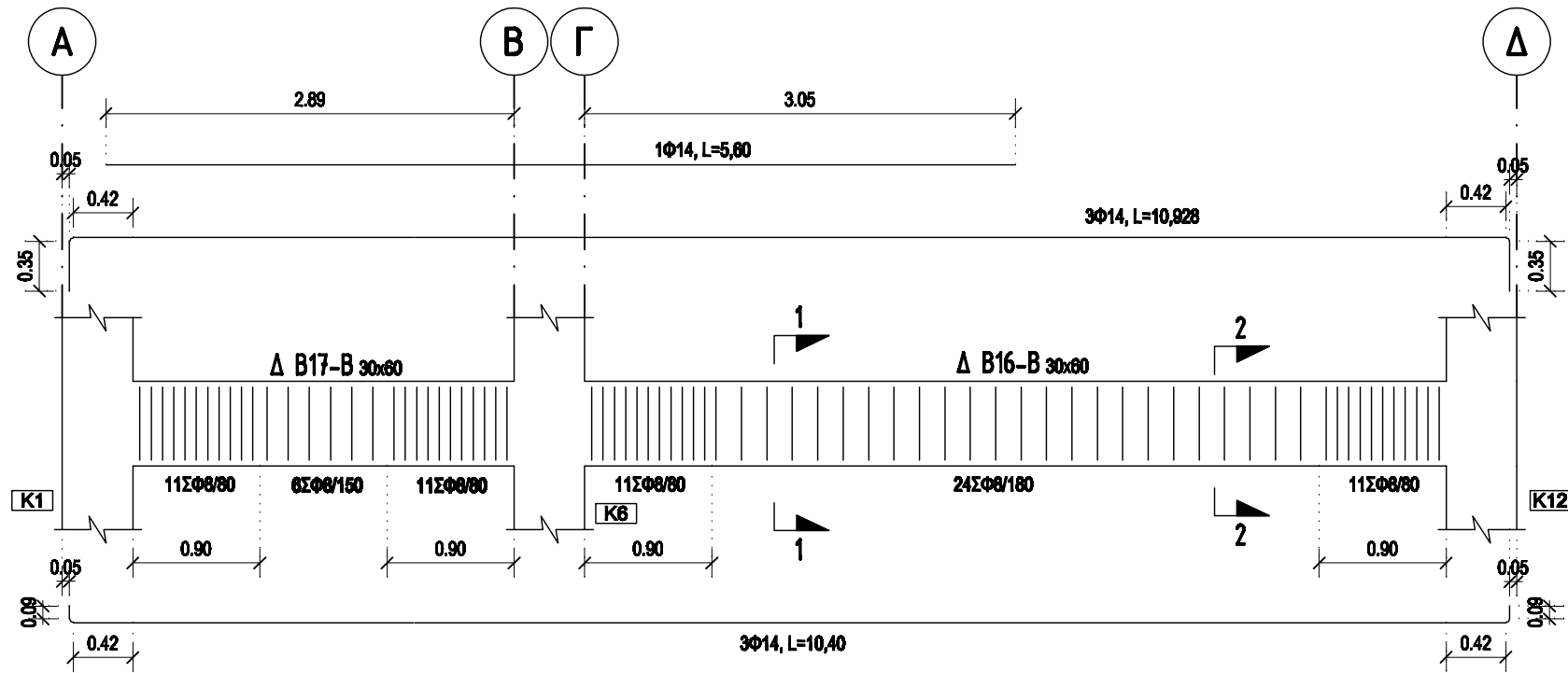
**Σχ.9 Ανάπτυγμα Υποστυλώματος τοιχωματικού για Β14 ΚΠΜ**



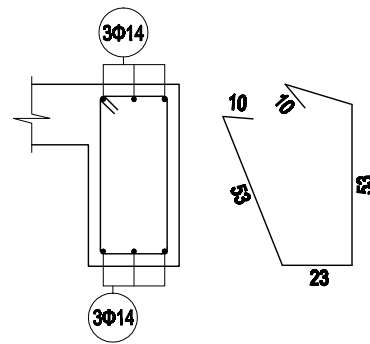
Σχ.10 Ανάπτυγμα Τοιχώματος W1 τοιχωματικού για ΚΠΜ



**Σχ.11 Αναπτύγματα δοκών Β17-Β16 πλαισιακού για ΚΠΥ (Οροφή Β' Ορόφου στ.+7.00)**

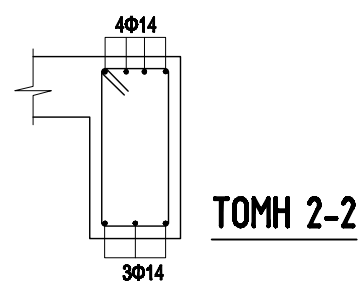
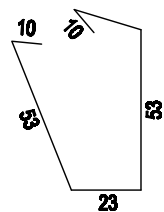
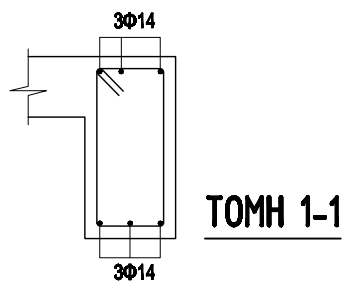
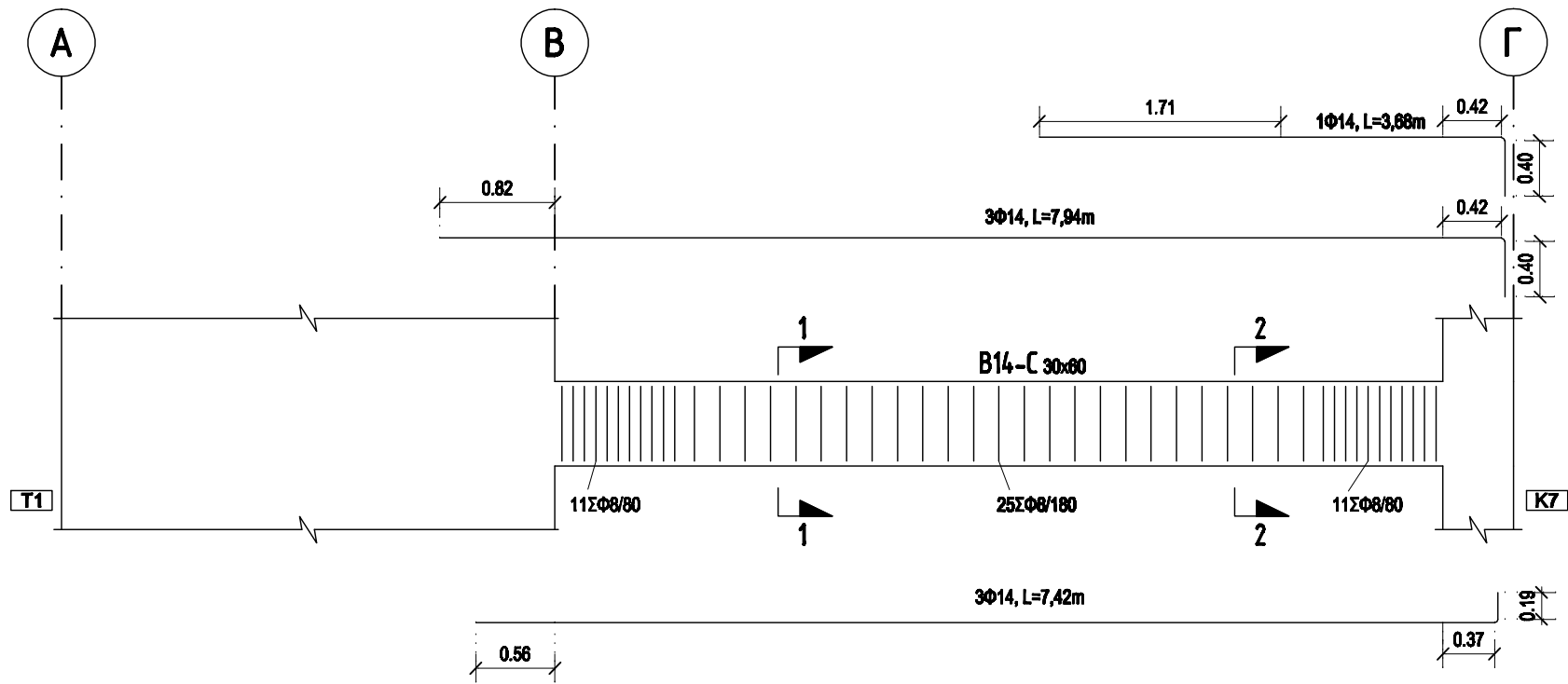


**TOMH 1-1**

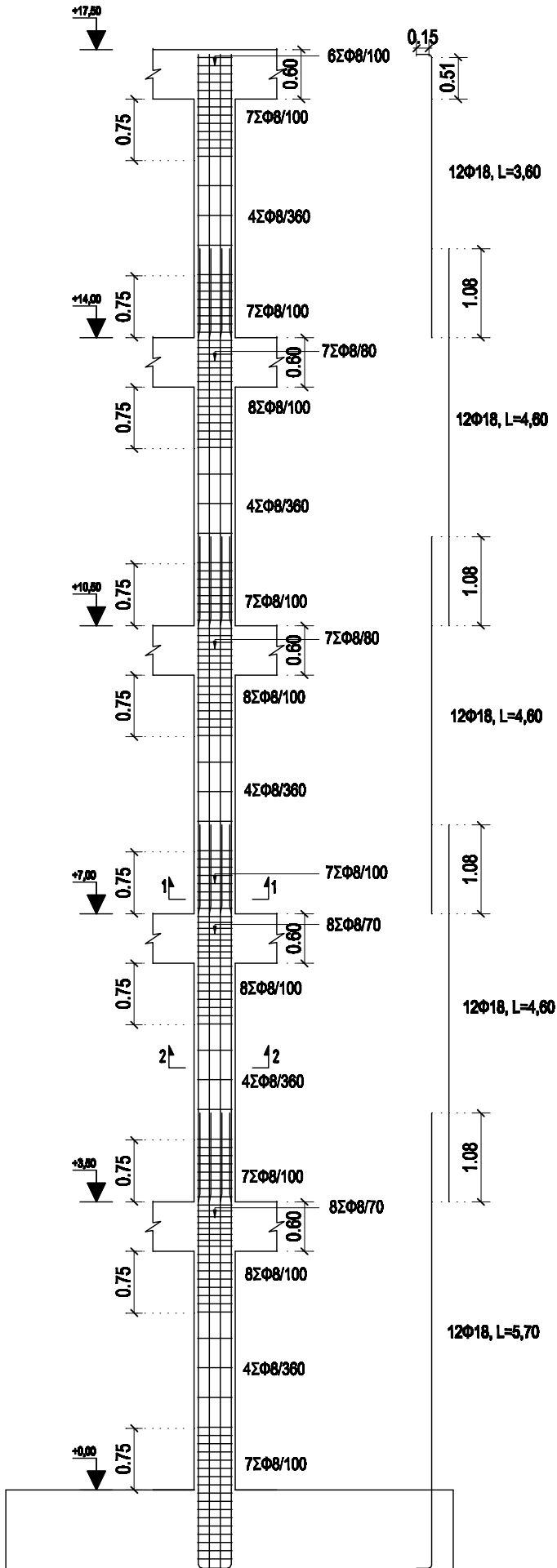


**TOMH 2-2**

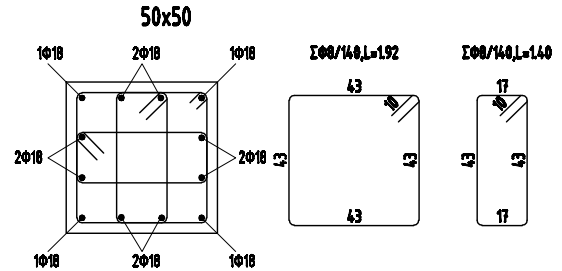
**Σχ.12 Ανάπτυγμα Δοκού Β14 τοιχωματικού για ΚΠΥ (Οροφή Β' Ορόφου στ.+7.00)**



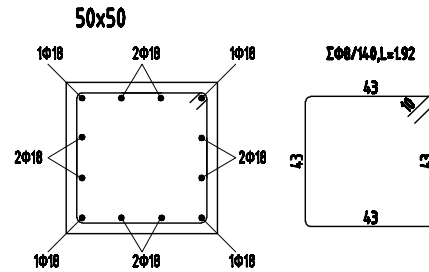
Σχ.13 Ανάπτυγμα υποστρώματος C6 πλακισιακού για ΚΤΥ



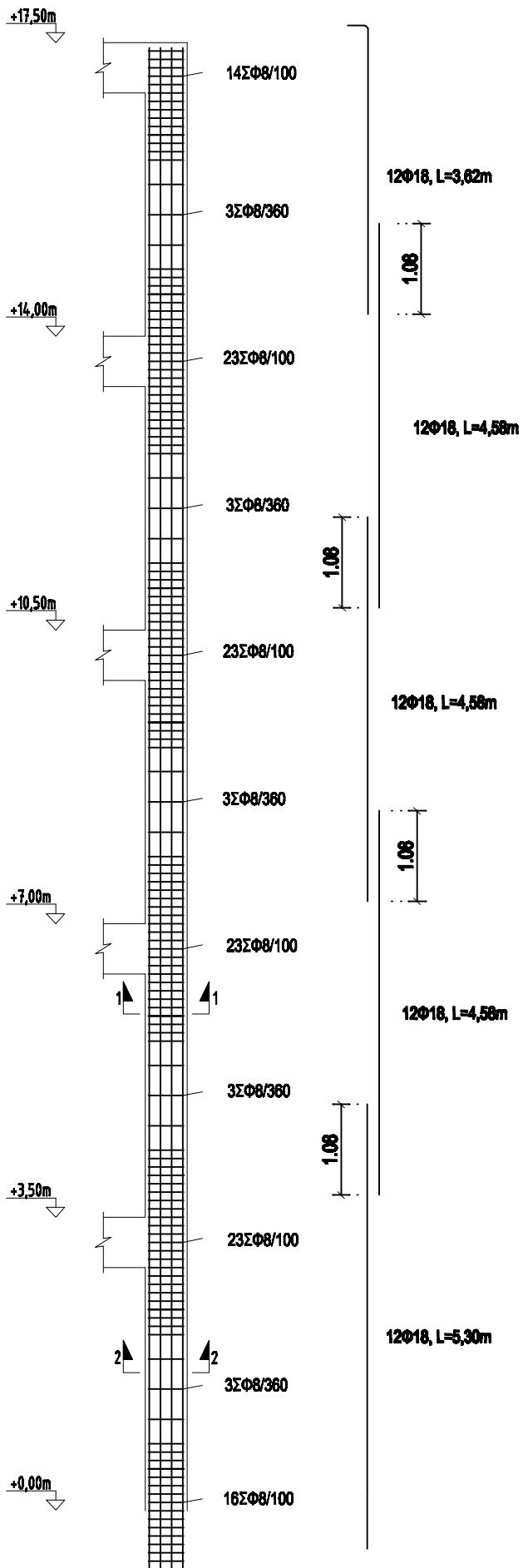
**Τομή 1-1 υποστρώματος C6**



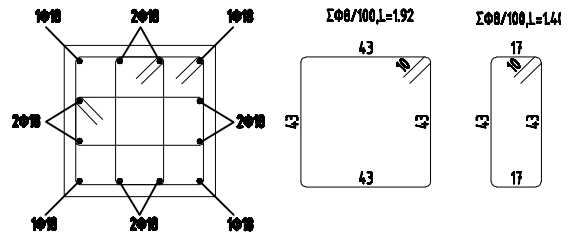
**Τομή 2-2 υποστρώματος C6**



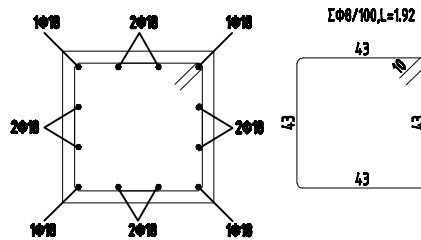
Σχ.14 Ανάπτυγμα Υποστυλώματος τοιχωματικού για Β14 ΚΠΥ



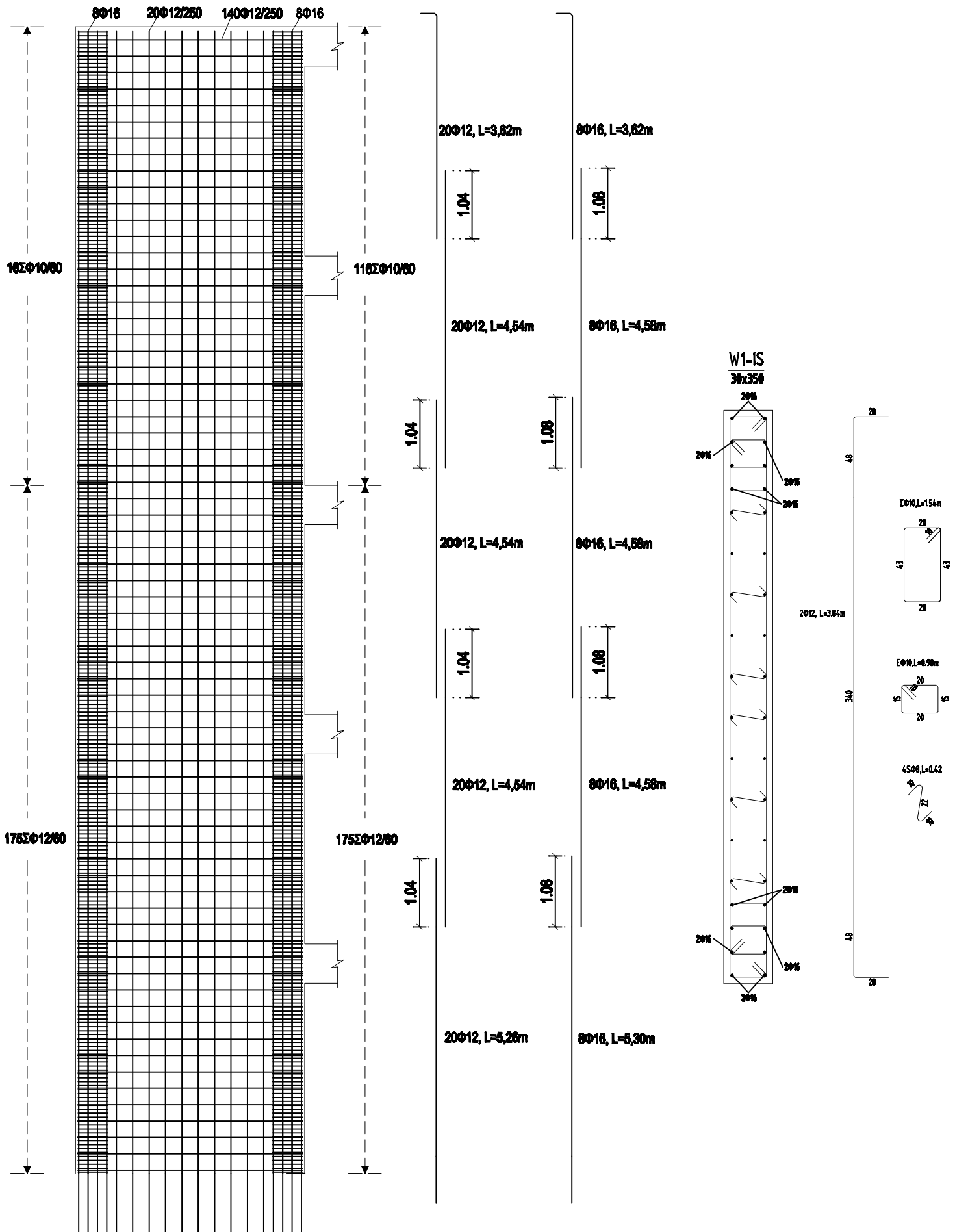
Τομή 1-1  
50x50



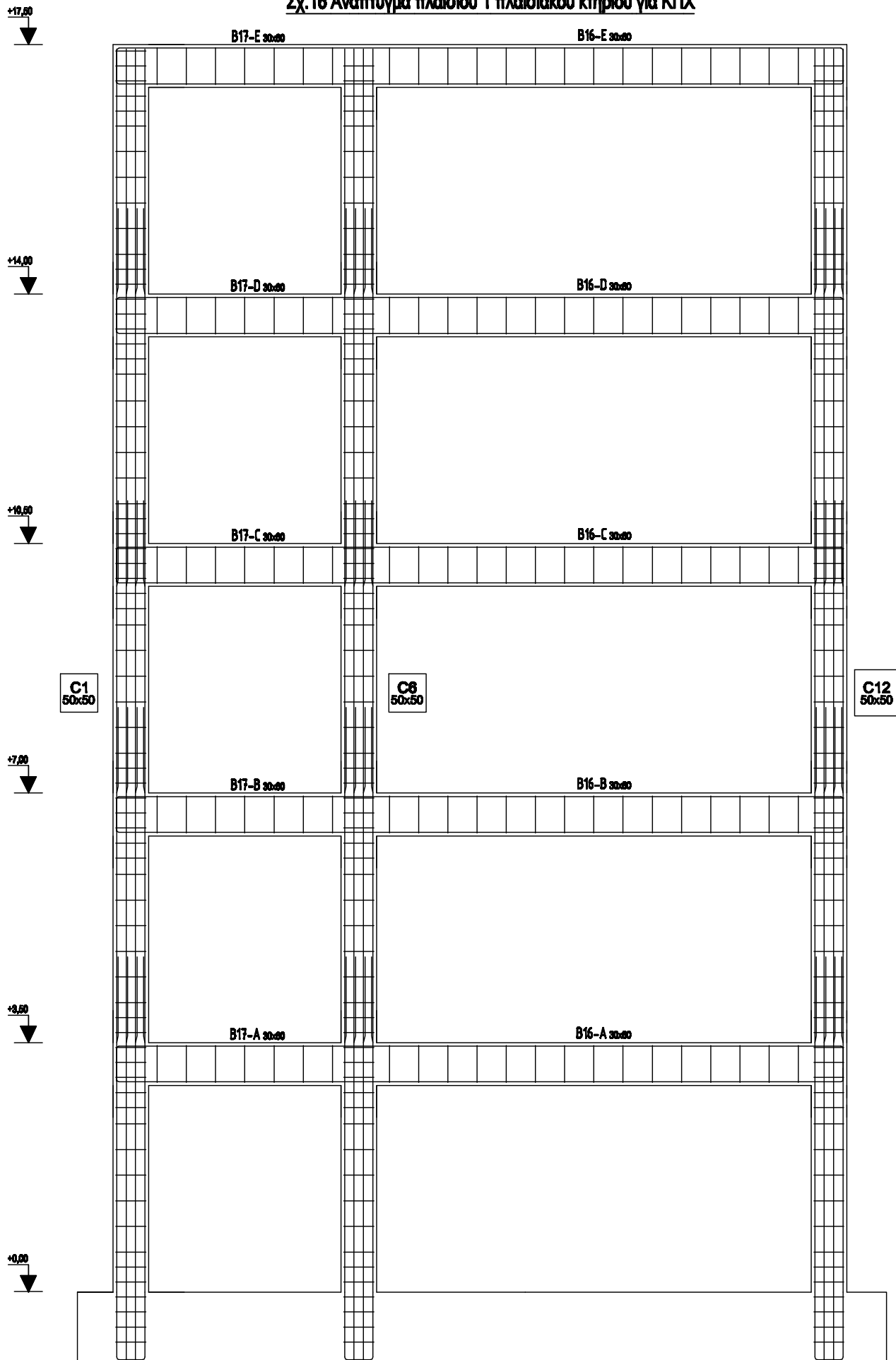
Τομή 2-2  
50x50



Σχ.15 Ανάπτυγμα Τοιχώματος W1 τοιχωματικού για ΚΠΥ

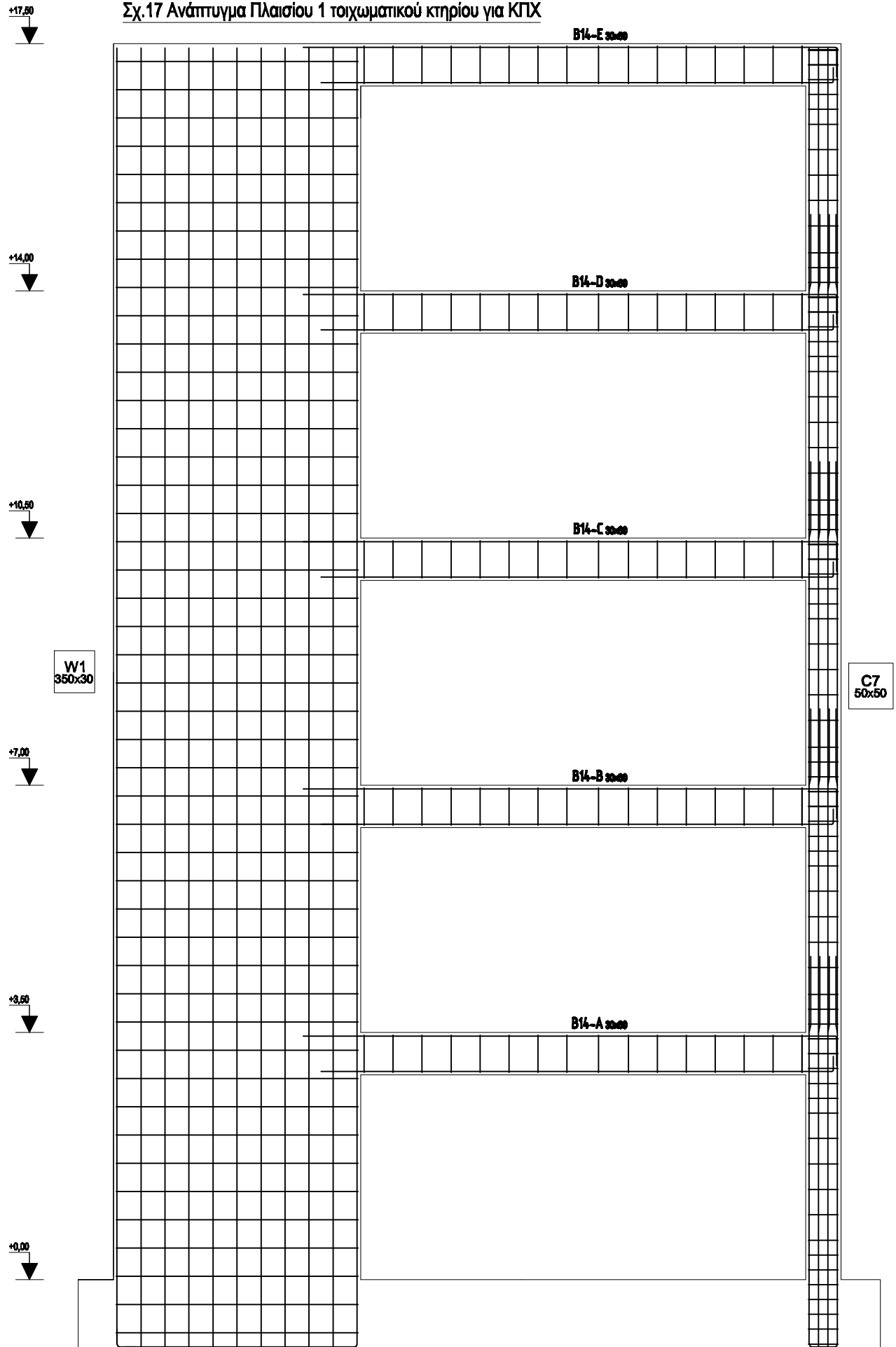


Σχ.16 Ανάπτυγμα πλαισίου 1 πλαισιακού κτηρίου για ΚΤΧ

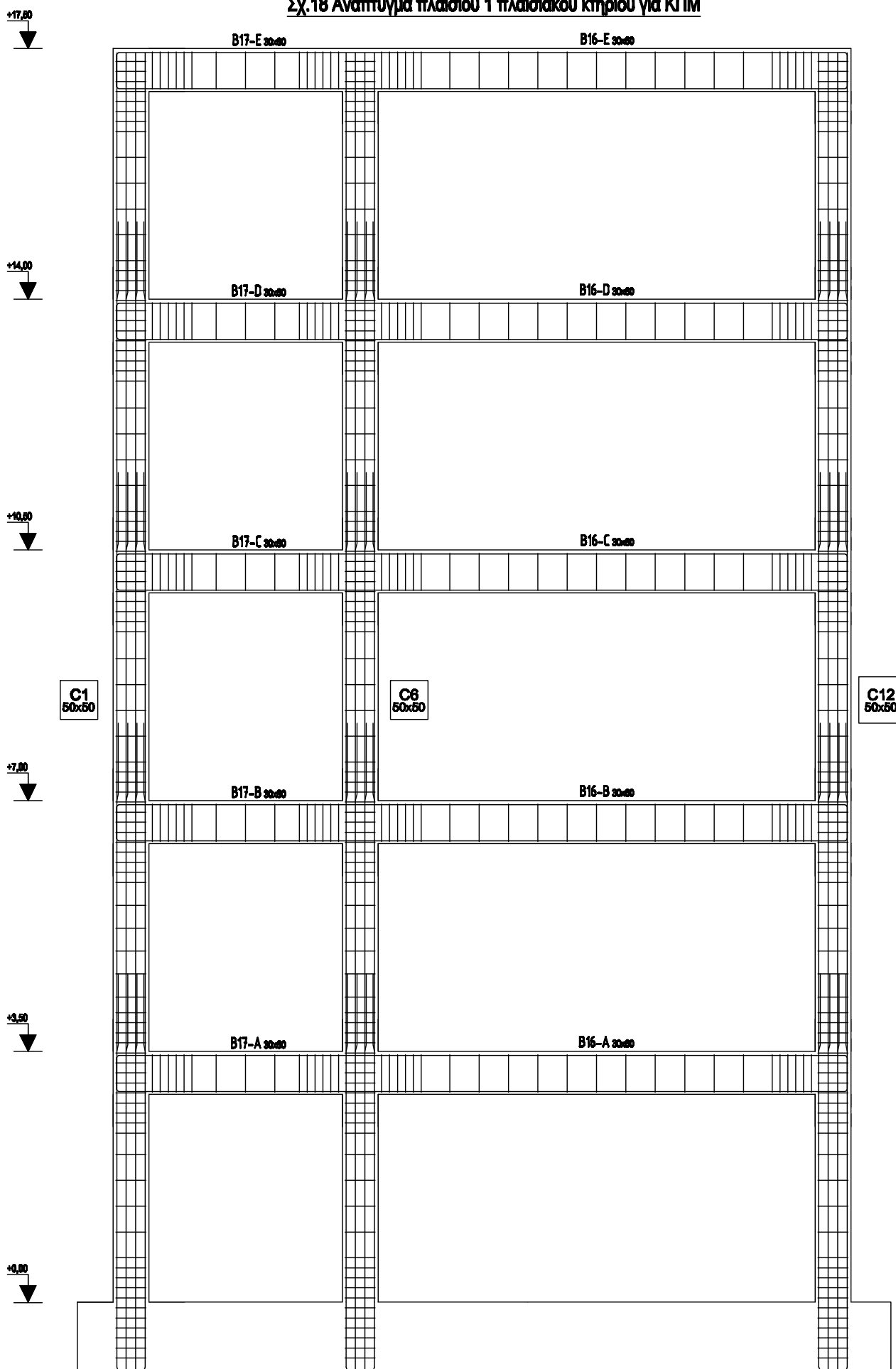




Σχ.17 Ανάπτυγμα Πλαισίου 1 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΧ



**Σχ.18 Ανάπτυγμα πλαισίου 1 πλαισιακού κτηρίου για ΚΤΙΜ**



+17,50

Σχ.19 Ανάπτυγμα Πλαισίου 1 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΜ

B14-E 30x60

+14,00

B14-D 30x60

+10,50

B14-C 30x60

W1  
350x30

+7,00

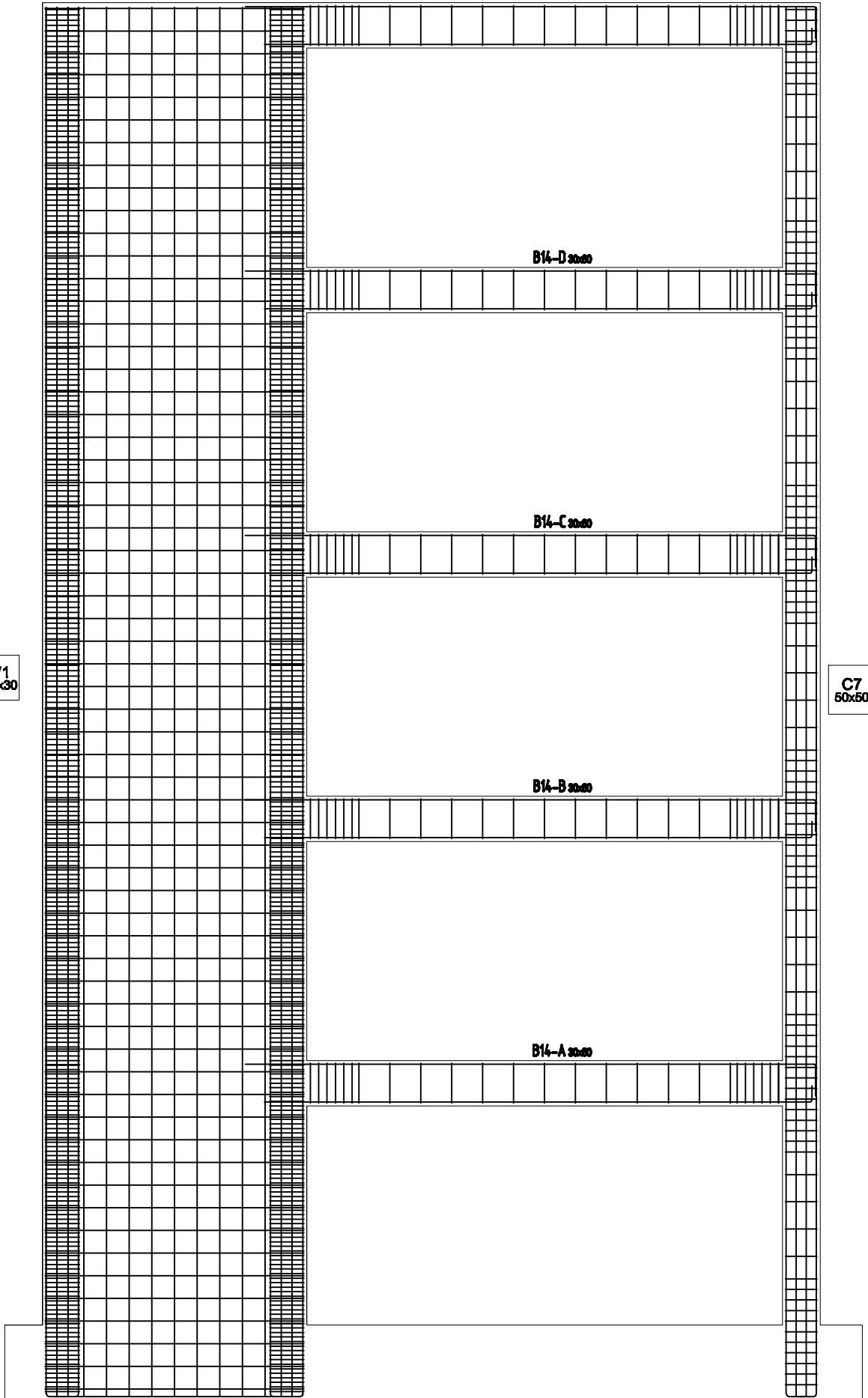
B14-B 30x60

C7  
50x50

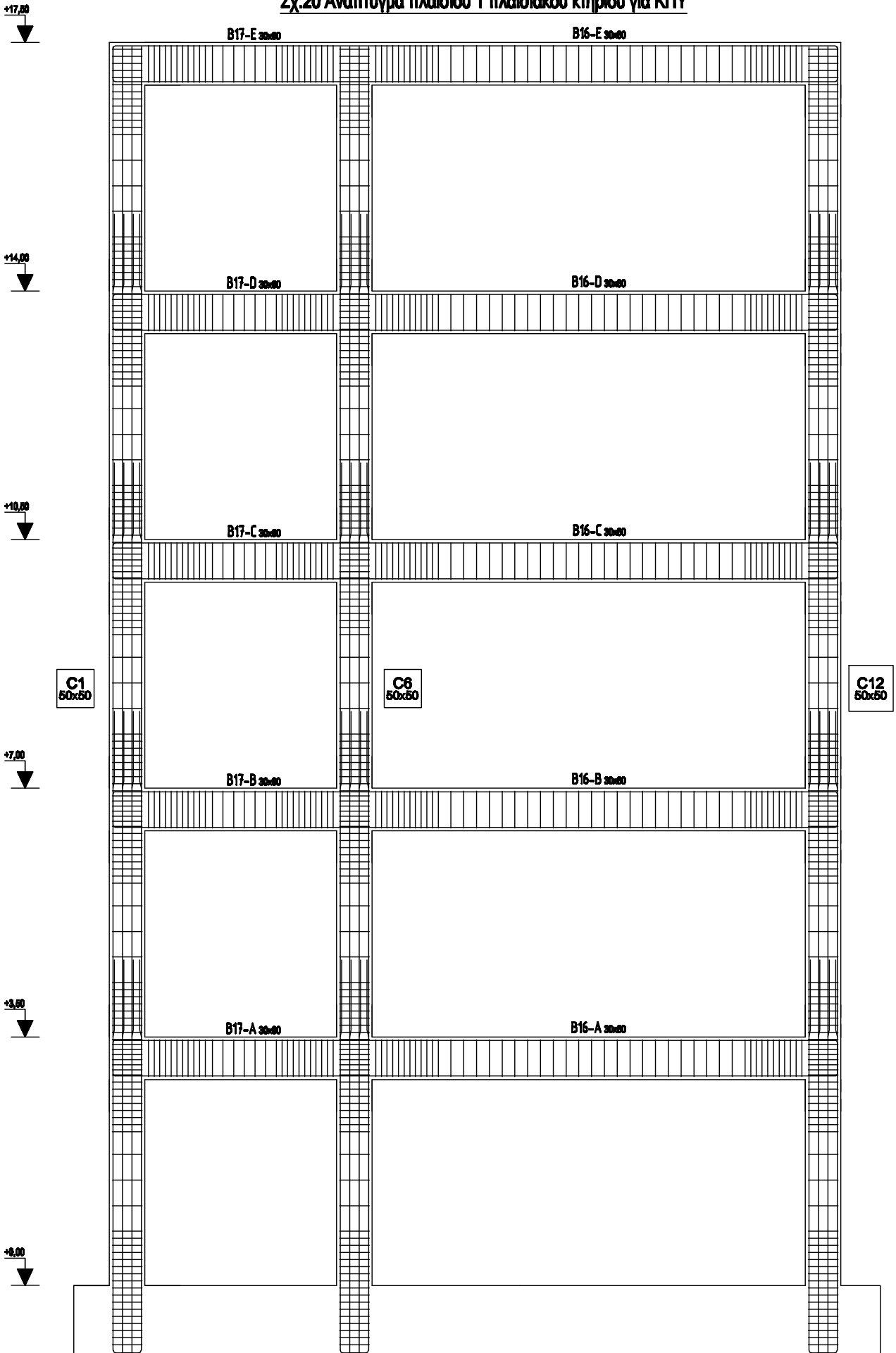
+3,50

B14-A 30x60

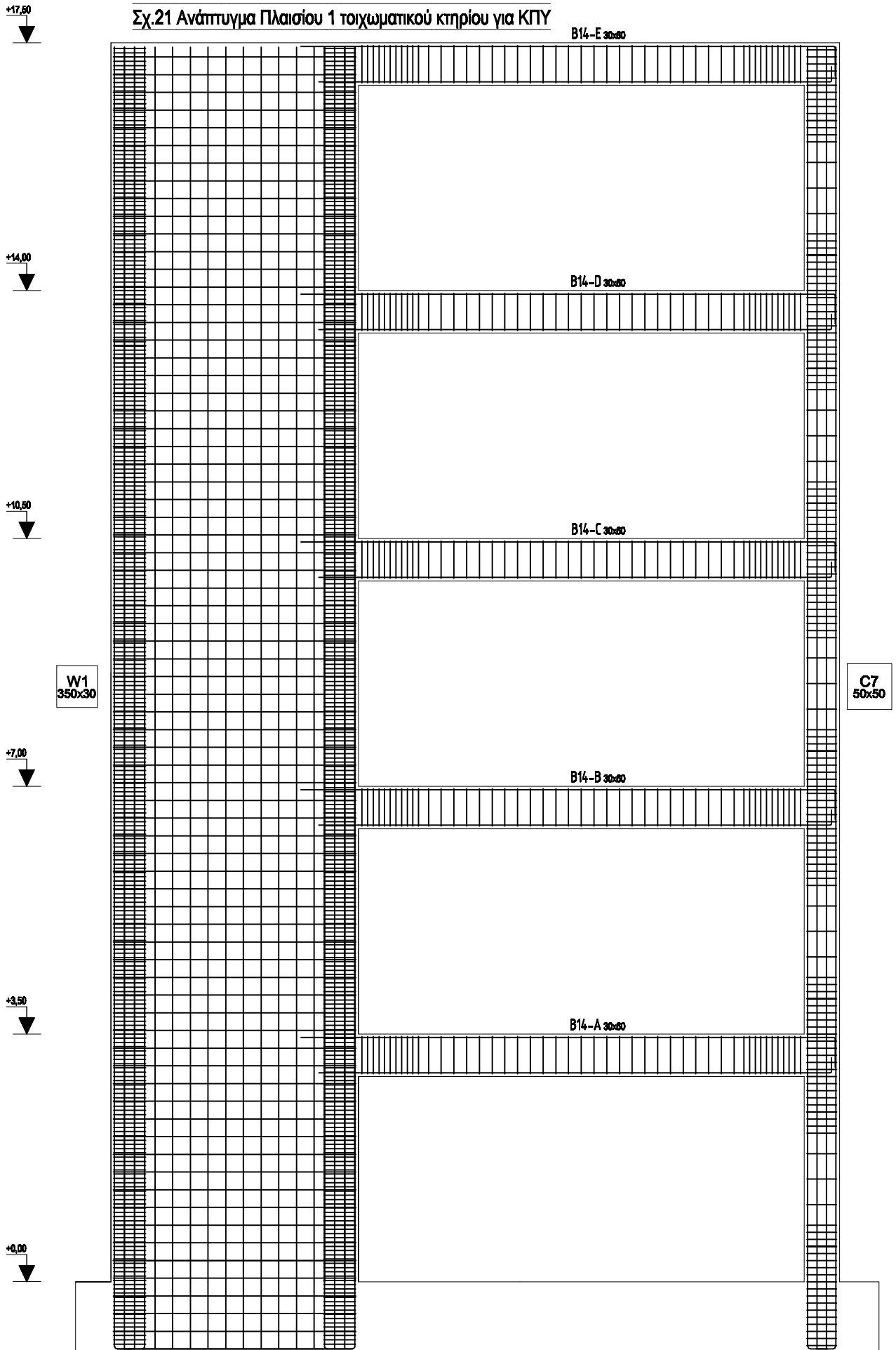
+0,00



Σχ.20 Ανάπτυγμα πλαισίου 1 πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΥ



Σχ.21 Ανάπτυγμα Πλαισίου 1 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΥ



## 7 Συμπεράσματα

### 7.1 Γενικά

Στην ενότητα αυτή καταλήγουμε σε ορισμένα συμπεράσματα για τα δύο κτήριά μας τα οποία προκύπτουν από τη διαστασιολόγηση των πλαισίων (ενότητα 5) αλλά και την ανάλυση των κατασκευών (ενότητα 4). Τα συμπεράσματα αυτά σχετίζονται με τους τοποθετούμενους οπλισμούς των δύο πλαισίων των κτηρίων, τους συνολικούς τοποθετούμενους οπλισμούς των δύο κτηρίων, την ποσότητα σκυροδέματος που απαιτείται και τέλος τις μετρούμενες μετακινήσεις των δύο κτηρίων για τις τρεις κατηγορίες πλαστιμότητας.

### 7.2 Σύγκριση ποσοτήτων τοποθετούμενων οπλισμών για το πλαίσιο μεταξύ των τριών κατηγοριών πλαστιμότητας

Στην ενότητα αυτή, για κάθε κτήριο ξεχωριστά, θα συγκρίνουμε τις ποσότητες των τοποθετούμενων οπλισμών του πλαισίου που διαστασιολογήσαμε (πλαίσιο 1) στην ενότητα 5 για τις τρεις διαφορετικές κατηγορίες πλαστιμότητας. Θα σχολιάσουμε επομένως, για κάθε κατασκευή, με βάση ποια κατηγορία πλαστιμότητας είναι ιδανικότερο να διαστασιολογηθεί το πλαίσιο από άποψη κόστους τοποθετούμενων οπλισμών. Η επιλογή της ιδανικότερης κατηγορίας πλαστιμότητας για κάθε κατασκευή, επομένως, θα γίνει με βάση την προμέτρηση των τοποθετούμενων οπλισμών του πλαισίου η οποία παρουσιάζεται παρακάτω με τη μορφή πινάκων. Οι προμετρήσεις περιλαμβάνουν αναλυτική καταγραφή και περιγραφή των οπλισμών κάθε μέλους, που αφορά την ποσότητα, τη διάμετρο, το μήκος και τον όγκο κάθε οπλισμού και καταλήγουν στη συνολική ποσότητα τοποθετούμενων οπλισμών του πλαισίου για τις τρεις κατηγορίες πλαστιμότητας. Η συνολική ποσότητα των οπλισμών μετράται σε συνολικό βάρος (kg) χάλυβα. Στις επόμενες δύο ενότητες 7.2.1 και 7.2.2 παρουσιάζονται οι πίνακες προμέτρησης των οπλισμών των πλαισίων και τα συμπεράσματα που απορρέουν από αυτούς για το πλαισιακό και το τοιχωματικό κτήριο αντιστοίχα.

#### 7.2.1 Σύγκριση ποσοτήτων τοποθετούμενων οπλισμών πλαισιακού κτηρίου μεταξύ των τριών κατηγοριών πλαστιμότητας

Συνολικός οπλισμός πλαισίου 1	ΚΠΧ	ΚΠΜ	ΚΠΥ
σε kg	2884,73	2586,5	2897,81
σε ποσοστό %	111,5	100	112,0

Πίνακας 7.1

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η πλέον συμφέρουσα κατηγορία πλαστιμότητας, με βάση την οποία πρέπει να διαστασιολογηθεί το πλαίσιο 1 του πλαισιακού κτηρίου, είναι η μέση κατηγορία

πλαστιμότητας. Πιο συγκεκριμένα, η διαστασιολόγηση του πλαισίου για την κατηγορία αυτή απαιτεί ποσότητα οπλισμού συνολικού βάρους 2586,50 kg σε αντίθεση με τη χαμηλή και την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας στις οποίες απαιτείται ποσότητα συνολικού βάρους 2884,73 kg και 2897,81 kg αντίστοιχα. Επομένως στη χαμηλή κατηγορία πλαστιμότητας η απαιτούμενη ποσότητα οπλισμού είναι κατά 11,53% μεγαλύτερη ενώ στην υψηλή κατά 12,04% μεγαλύτερη σε σχέση με τη μέση κατηγορία. Ποσοστά της τάξης του 11~12% επιπλέον οπλισμού για το πλαίσιο που διαστασιολογούμε (και πιθανότατα της κατασκευής κατ' επέκταση) είναι αρκετά μεγάλα και οδηγούν σε αυξημένο κόστος κατασκευής.

## 7.2.2 Σύγκριση ποσοτήτων τοποθετούμενων οπλισμών τοιχωματικού κτηρίου μεταξύ των τριών κατηγοριών πλαστιμότητας

Συνολικός οπλισμός πλαισίου 1	ΚΠΧ	ΚΠΜ	ΚΠΥ
σε kg	1661,69	3265,52	3726,32
σε ποσοστό %	100	197	224

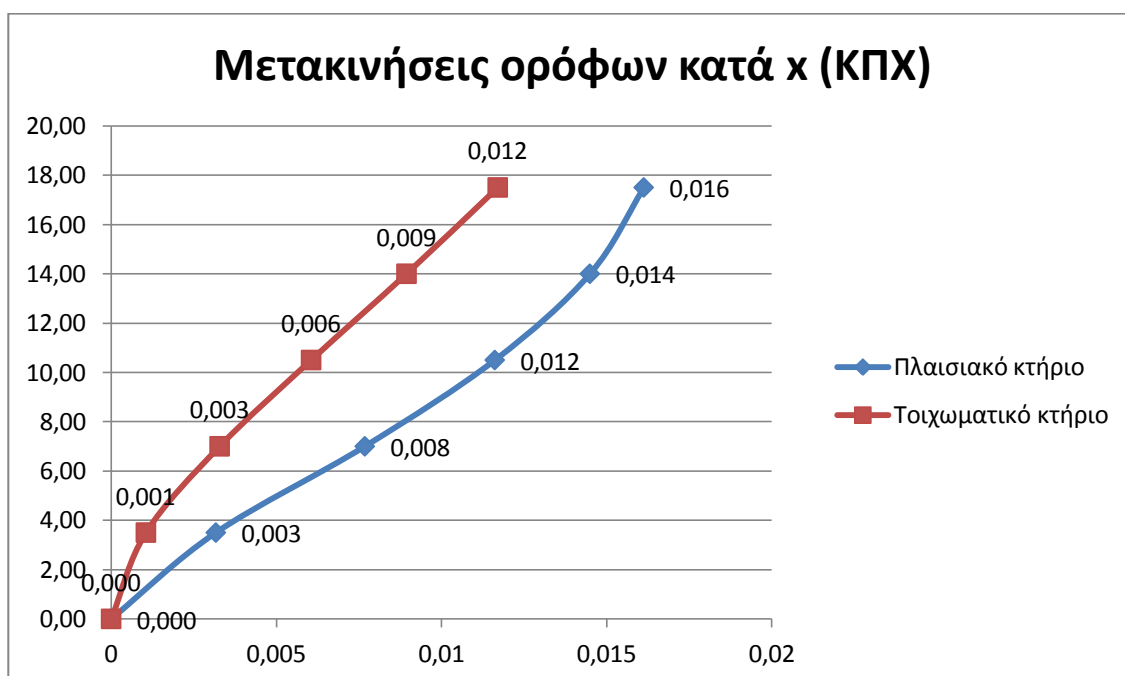
Πίνακας 7.2

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η πλέον συμφέρουσα κατηγορία πλαστιμότητας, βάσει οικονομικότητας της κατασκευής, για την οποία πρέπει να διαστασιολογηθεί το πλαίσιο 1 του τοιχωματικού κτηρίου, είναι η χαμηλή κατηγορία πλαστιμότητας. Πιο συγκεκριμένα, η διαστασιολόγηση του πλαισίου για την ΚΠΧ απαιτεί ποσότητα οπλισμού συνολικού βάρους 1661,69 kg σε αντίθεση με τη χαμηλή και την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας στις οποίες απαιτείται ποσότητα συνολικού βάρους 3265,52 kg και 3726,32 kg αντίστοιχα. Επομένως στη μέση κατηγορία πλαστιμότητας η απαιτούμενη ποσότητα οπλισμού είναι κατά 97% μεγαλύτερη ενώ στην υψηλή κατά 124% μεγαλύτερη σε σχέση με τη χαμηλή κατηγορία. Παρατηρείται, λοιπόν, πως στη μέση και την υψηλή κατηγορία η ποσότητα του τοποθετούμενου οπλισμού τουλάχιστον διπλασιάζεται για το πλαίσιο που διαστασιολογούμε (και πιθανότατα κατ' επέκταση και ολόκληρη την κατασκευή) οδηγώντας σε διπλάσιο κόστος κατασκευής. Αξίζει εδώ να σημειωθεί πως η διαστασιολόγηση του πλαισίου του τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΧ είναι μακράν οικονομικότερη, σε επίπεδο ποσότητας τοποθετούμενου χαλυβα οπλισμού, και από τη διαστασιολόγηση του πλαισίου του πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΜ.

### 7.3 Σύγκριση των μετακινήσεων μεταξύ των δύο κτηρίων για κάθε κατηγορία πλαστιμότητας.

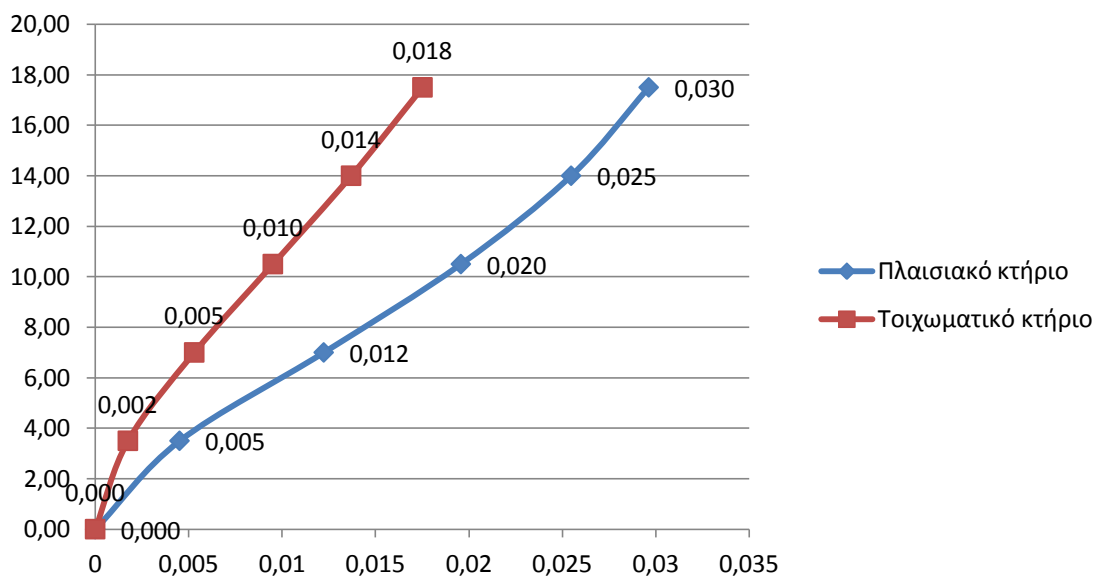
Στην ενότητα αυτή, για κάθε κατηγορία πλαστιμότητας ξεχωριστά, θα συγκρίνουμε τις μετακινήσεις και τις στροφές που παρουσιάζει κάθε κτήριο. Σκοπός αυτής της σύγκρισης είναι να διαπιστωθεί πια από τις δύο κατασκευές είναι ιδανικότερη όταν υπάρχουν περιορισμοί μετακινήσεων. Οι περιπτώσεις που απαντώνται τέτοιοι περιορισμοί είναι συνήθως δύο. Η πρώτη αφορά τους σεισμικούς αρμούς που τοποθετούνται μεταξύ γειτονικών κτηρίων και τότε το κρίσιμο μέγεθος είναι η συνολική μετακίνηση κάθε ορόφου και τελικά η μέγιστη μετακίνηση του τελευταίου ορόφου. Η δεύτερη αφορά τη φθορά της τοιχοποιίας πλήρωσης και με κρίσιμο μέγεθος τη σχετική μετακίνηση μεταξύ κάθε ορόφου της κατασκευής. Παρακάτω, λοιπόν, παρουσιάζονται τα διαγράμματα των μετακινήσεων κατά  $x$  και  $y$  και των στροφών που εμφανίζουν τα δύο κτήρια και στις τρεις κατηγορίες πλαστιμότητας και έπειτα αναλύονται τα συμπεράσματα που εξάγονται από αυτά.

#### 7.3.1 Μετακινήσεις και στροφές πλαισιακού και τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΧ.

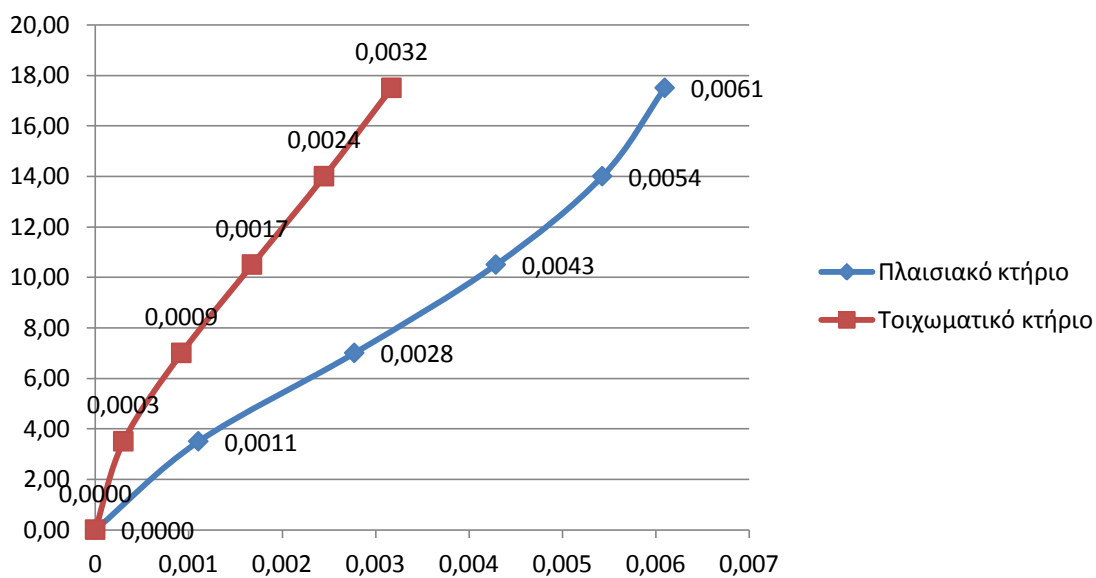




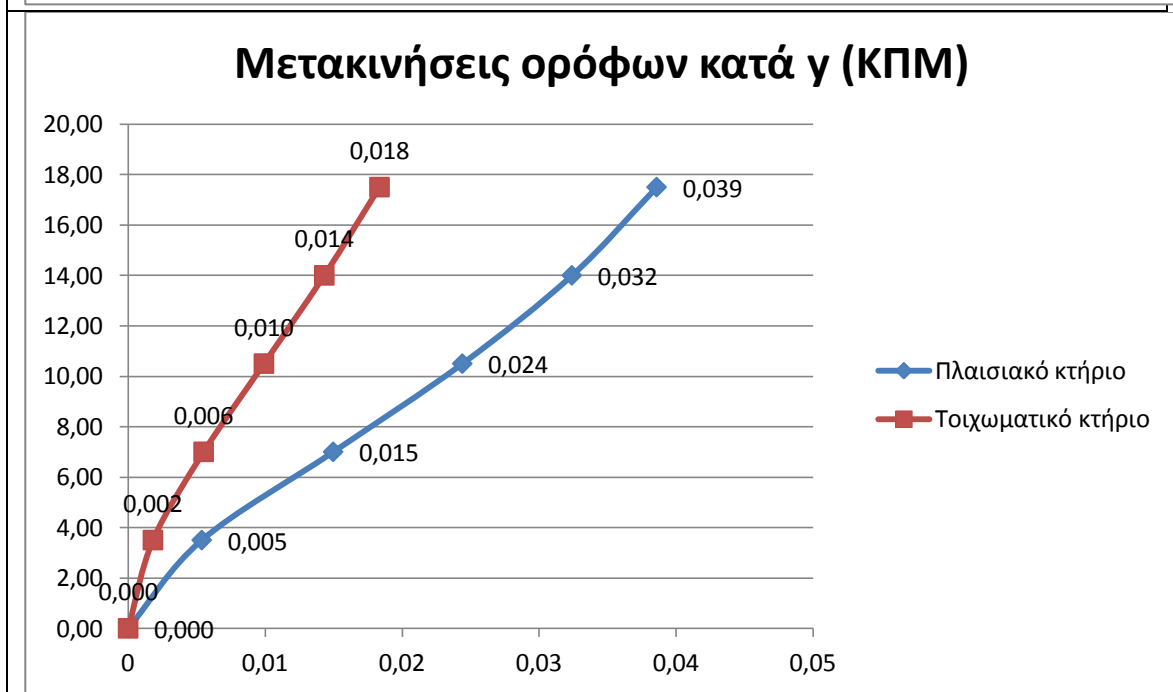
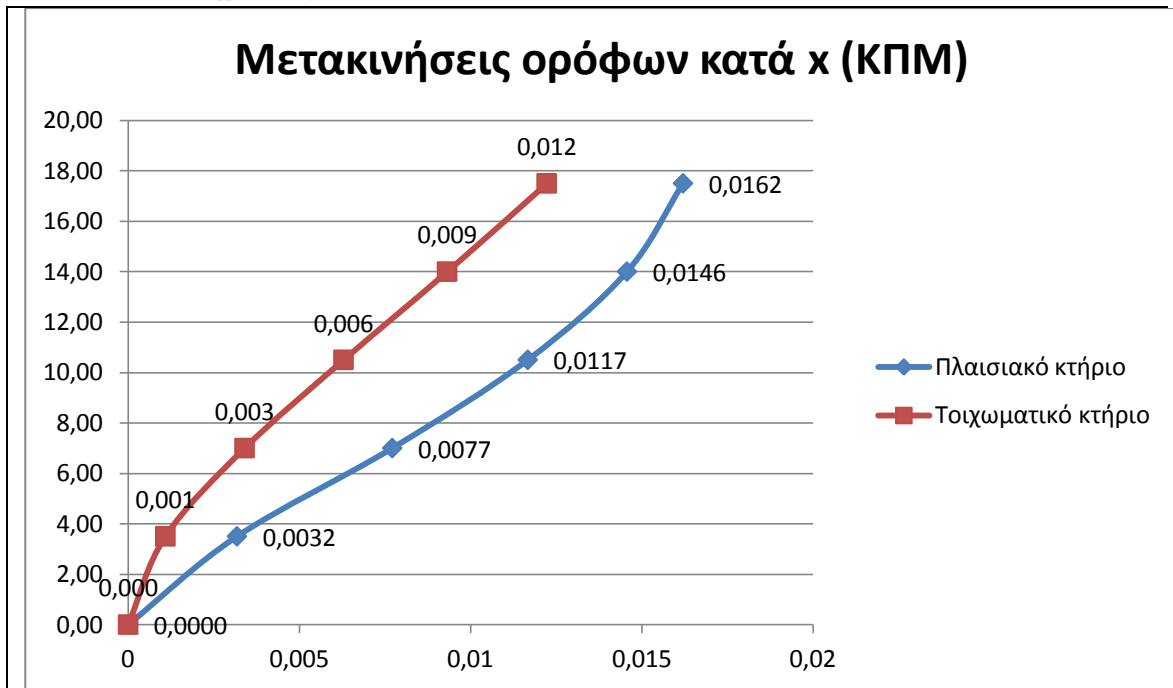
### Μετακινήσεις ορόφων κατά γ (ΚΠΧ)

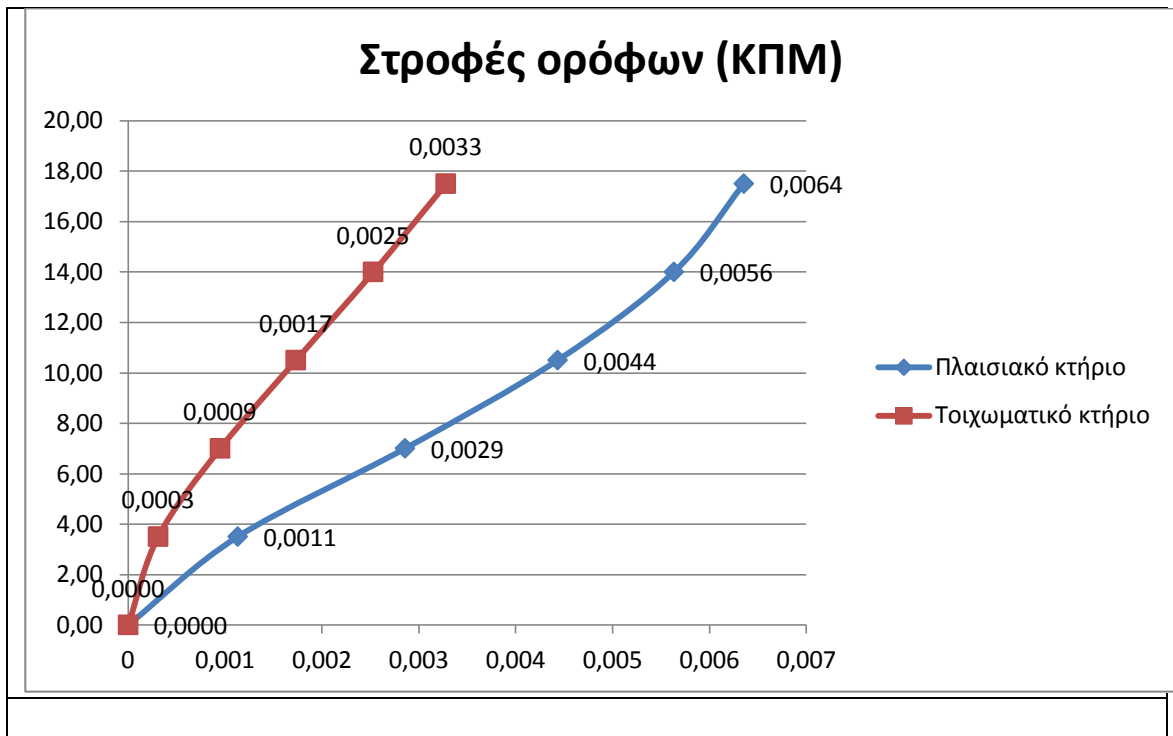


### Στροφές ορόφων (ΚΠΧ)

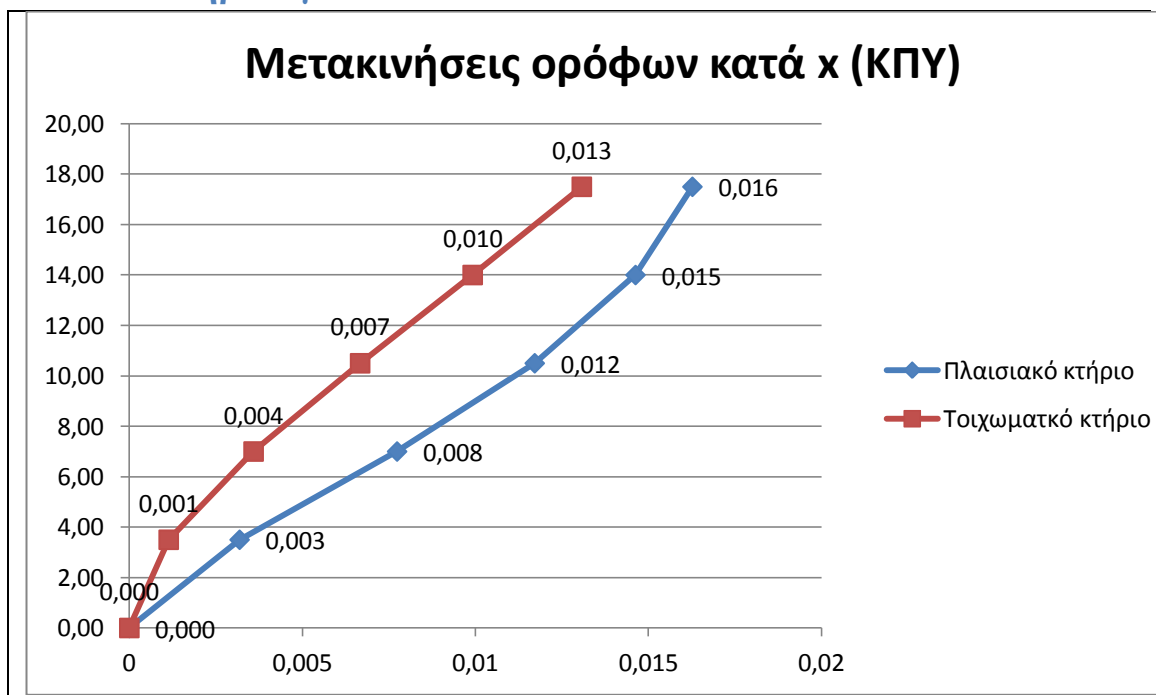


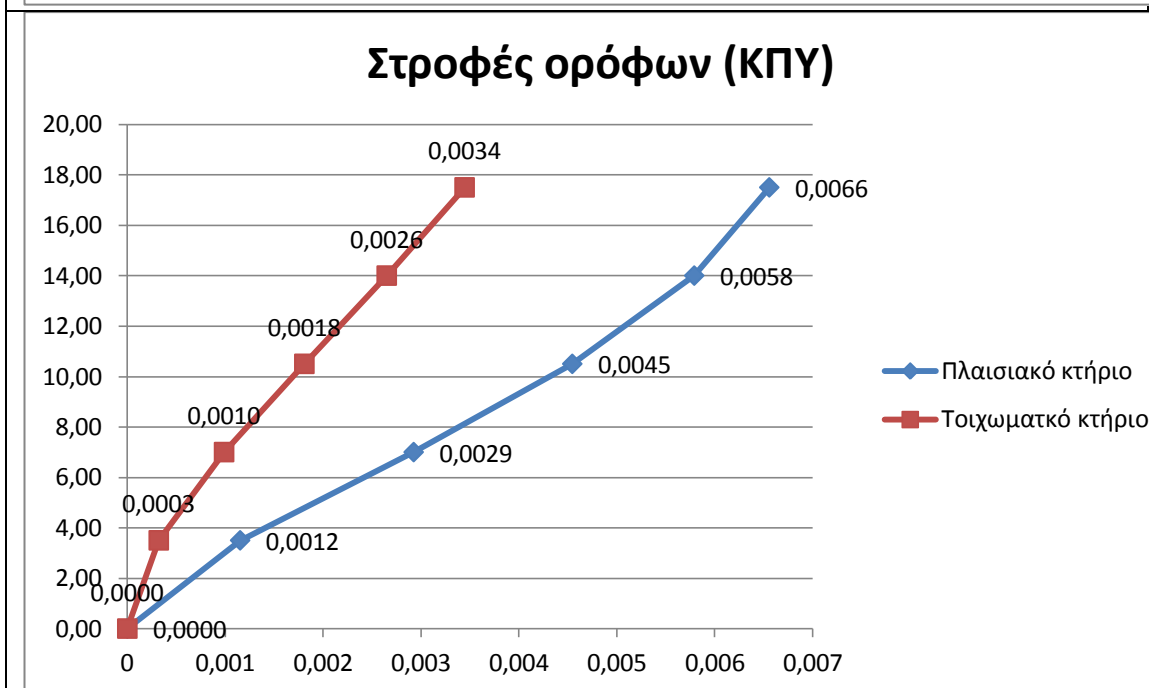
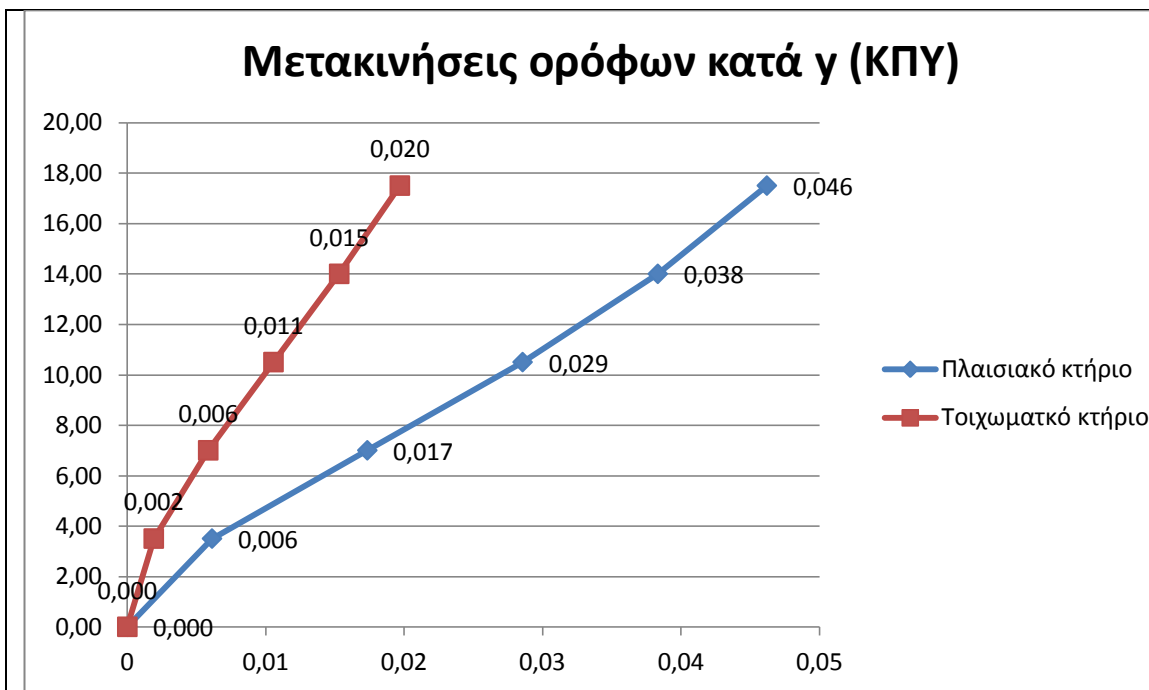
### 7.3.2 Μετακινήσεις και στροφές πλαισιακού και τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΜ.





### 7.3.3 Μετακινήσεις και στροφές πλαισιακού και τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΥ.





#### 7.3.4 Συμπεράσματα σύγκρισης μετακινήσεων μεταξύ των δύο κτηρίων.

Με βάση τα αποτελέσματα των παραπάνω γραφημάτων παρατηρείται πως το τοιχωματικό κτήριο, όπως αναμενόταν λόγω μεγαλύτερης δυσκαμψίας, παρουσιάζει κατά πολύ μικρότερες μετακινήσεις (και κατά τους δύο άξονες) και στροφές σε σχέση με το πλαίσιακό. Συγκεκριμένα το τοιχωματικό κτήριο παρουσιάζει μειωμένες μετακινήσεις της τάξης του 25% κατά τη διεύθυνση x, του 55% κατά τη διεύθυνση y και 48% στις στροφές σε σχέση με το πλαίσιακό.

Ακόμα, το τοιχωματικό κτήριο παρουσιάζει μικρότερες σχετικές μετακινήσεις μεταξύ των ορόφων του σε σχέση με το πλαίσιακό. Συγκεκριμένα, η μέγιστη σχετική μετακίνηση κατά x για το τοιχωματικό κτήριο είναι  $d_{rx,τοιχ} = 0,003m$  που εμφανίζεται μεταξύ τρίτου και τέταρτου ορόφου ενώ για το πλαίσιακό είναι  $d_{rx,πλ} = 0,0045m$  που εμφανίζεται μεταξύ πρώτου και δεύτερου ορόφου. Η μέγιστη σχετική μετακίνηση κατά y για το τοιχωματικό κτήριο είναι περίπου  $d_{ry,τοιχ} = 0,0044m$  που εμφανίζεται μεταξύ τρίτου και τέταρτου ορόφου ενώ για το πλαίσιακό είναι περίπου  $d_{ry,πλ} = 0,0095m$  που εμφανίζεται μεταξύ πρώτου και δεύτερου ορόφου. Συνεπώς, στο τοιχωματικό κτήριο παρουσιάζονται μικρότερες σχετικές μετακινήσεις της τάξης του 33% κατά x και 54% κατά y σε σχέση με το πλαίσιακό.

Τελικά, το τοιχωματικό κτήριο παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά σε σχέση με το πλαίσιακό όσον αφορά τόσο τις ολικές όσο και τις σχετικές μετακινήσεις. Το γεγονός αυτό το καθιστά προτιμότερο σε περιπτώσεις που το κριτήριο των μετακινήσεων είναι καθοριστικό για την επιλογή του τύπου της κατασκευής.

#### **7.4 Σύγκριση ποσοτήτων συνολικών τοποθετούμενων οπλισμών των δύο κτηρίων για τις τρεις κατηγορίες πλαστιμότητας.**

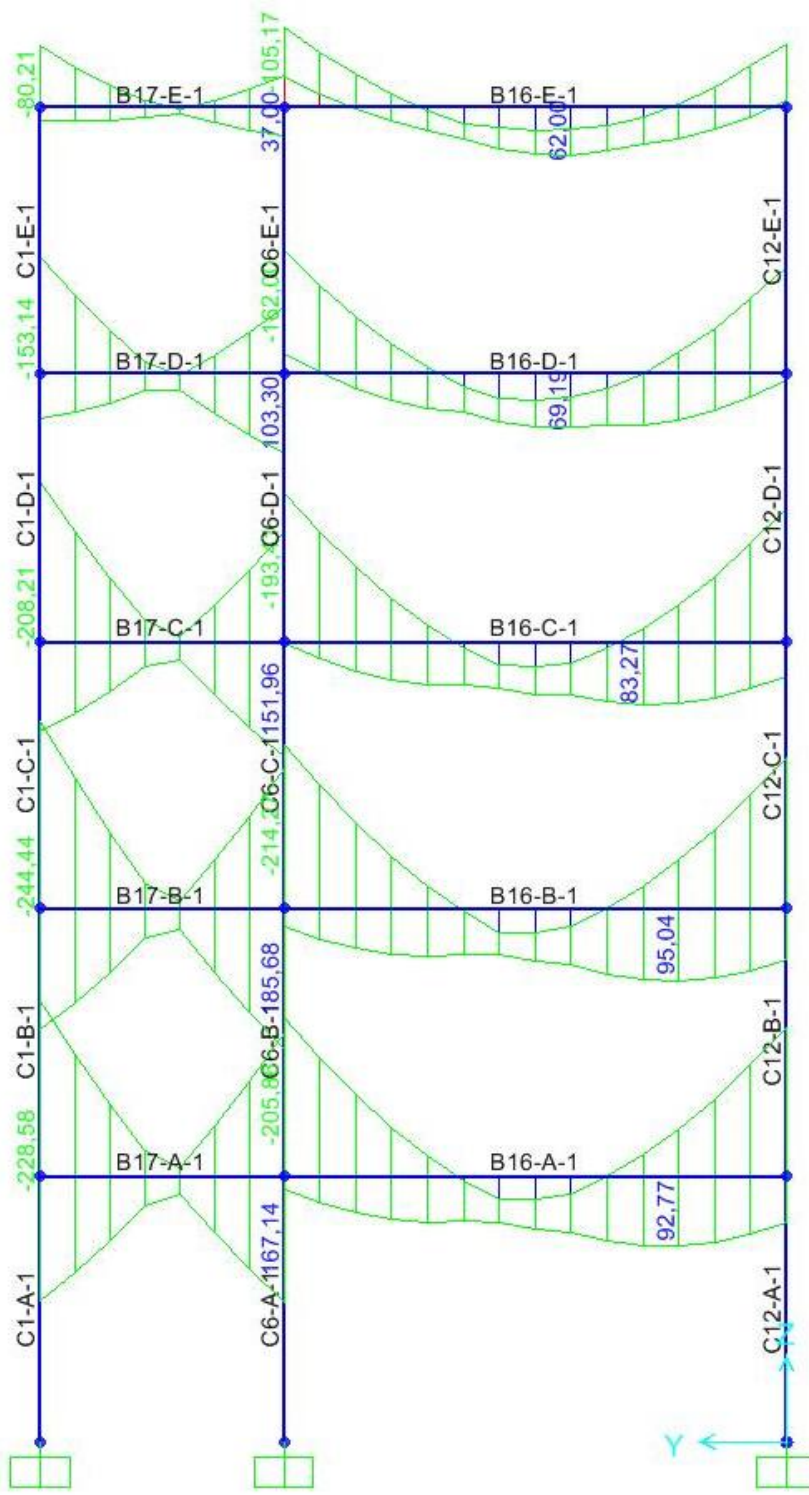
Στην ενότητα αυτή, για κάθε κατηγορία πλαστιμότητας ξεχωριστά, θα συγκρίνουμε τις ποσότητες των συνολικών τοποθετούμενων οπλισμών μεταξύ των δύο κτηρίων. Ο υπολογισμός του συνολικού απαιτούμενου οπλισμού κάθε κτηρίου προέκυψε μέσα από τη διαδικασία του σχεδιασμού (“Design”) η οποία πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό SAP2000. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε αφού πρώτα βεβαιωθήκαμε ότι τα αποτελέσματα αυτής προσεγγίζουν σε ικανοποιητικό βαθμό τα αποτελέσματα των υπολογισμών των τοποθετούμενων οπλισμών του πλαισίου 1 (ενότητα 5). Αφού λοιπόν τα αποτελέσματα της λειτουργίας αυτής όσον αφορά τους οπλισμούς του πλαισίου 1 είναι αποδεκτά, μπορούμε να πούμε ότι μας δίνει αξιόπιστες τιμές και για το σύνολο του τοποθετούμενου οπλισμού κάθε κτηρίου. Ο υπολογισμός του συνολικού τοποθετούμενου οπλισμού κάθε κτηρίου για τις τρεις διαφορετικές κατηγορίες πλαστιμότητας παρουσιάζεται με τη μορφή πινάκων αναλυτικά στο παράρτημα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών καταλήγουμε στο εξής συμπέρασμα: Η πλαίσιακή κατασκευή, για κάθε κατηγορία πλαστιμότητας, απαιτεί για το σχεδιασμό της μικρότερη ποσότητα χάλυβα απ’ ότι η τοιχωματική. Πιο συγκεκριμένα, για τη χαμηλή κατηγορία πλαστιμότητας η κατασκευή του πλαίσιακού κτηρίου απαιτεί συνολικά 14013,33 kg χάλυβα ενώ η κατασκευή του τοιχωματικού 18221,70 kg χάλυβα. Για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας η κατασκευή του πλαίσιακού κτηρίου απαιτεί 16562,25 kg χάλυβα ενώ η κατασκευή του τοιχωματικού 25373,62 kg χάλυβα. Τέλος για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας η κατασκευή του πλαίσιακού κτηρίου απαιτεί συνολικά 19051,79 kg χάλυβα ενώ η κατασκευή του τοιχωματικού 26646,90 kg . Αυτό σημαίνει ότι η κατασκευή του τοιχωματικού κτηρίου απαιτεί 30% περισσότερη ποσότητα χάλυβα για τη χαμηλή κατηγορία πλαστιμότητας, 53% περισσότερη ποσότητα χάλυβα για τη μέση κατηγορία πλαστιμότητας και τέλος 39% περισσότερη ποσότητα χάλυβα για την υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας. Ποσότητα της τάξης του 30% ~ 53% περισσότερου τοποθετούμενου οπλισμού καθιστά την τοιχωματική κατασκευή ιδιαίτερα δαπανηρή.

Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η επιλογή της κατασκευής ενός τοιχωματικού κτηρίου λίγων ορόφων (όπως η δική μας πενταώροφη κατασκευή) δεν είναι ιδιαίτερα αποδοτική και αυξάνει σημαντικά το κόστος. Για ολιγόωρες κατασκευές είναι αποδοτικότερες οι πλασιακές ενώ η επιλογή τοιχωματικών κτηρίων θα πρέπει να γίνεται για περισσότερους ορόφους (για παράδειγμα άνω των 10 ορόφων) όπου η κατασκευή πλασιακών κτηρίων δεν ενδείκνυται.

## **8 Παράρτημα**

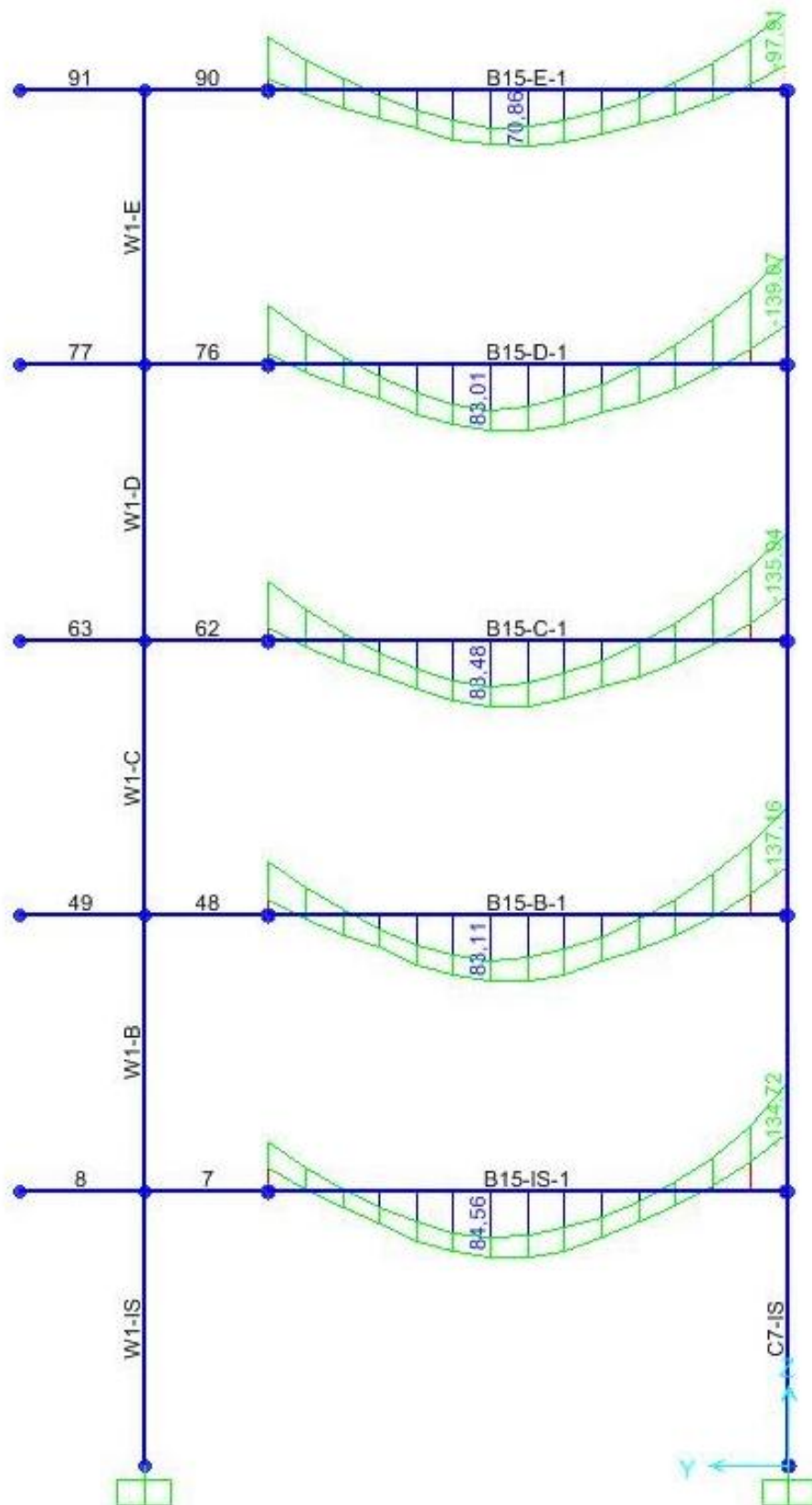
### **8.1 Παράρτημα Α**

**(διαγράμματα εντατικών μεγεθών)**

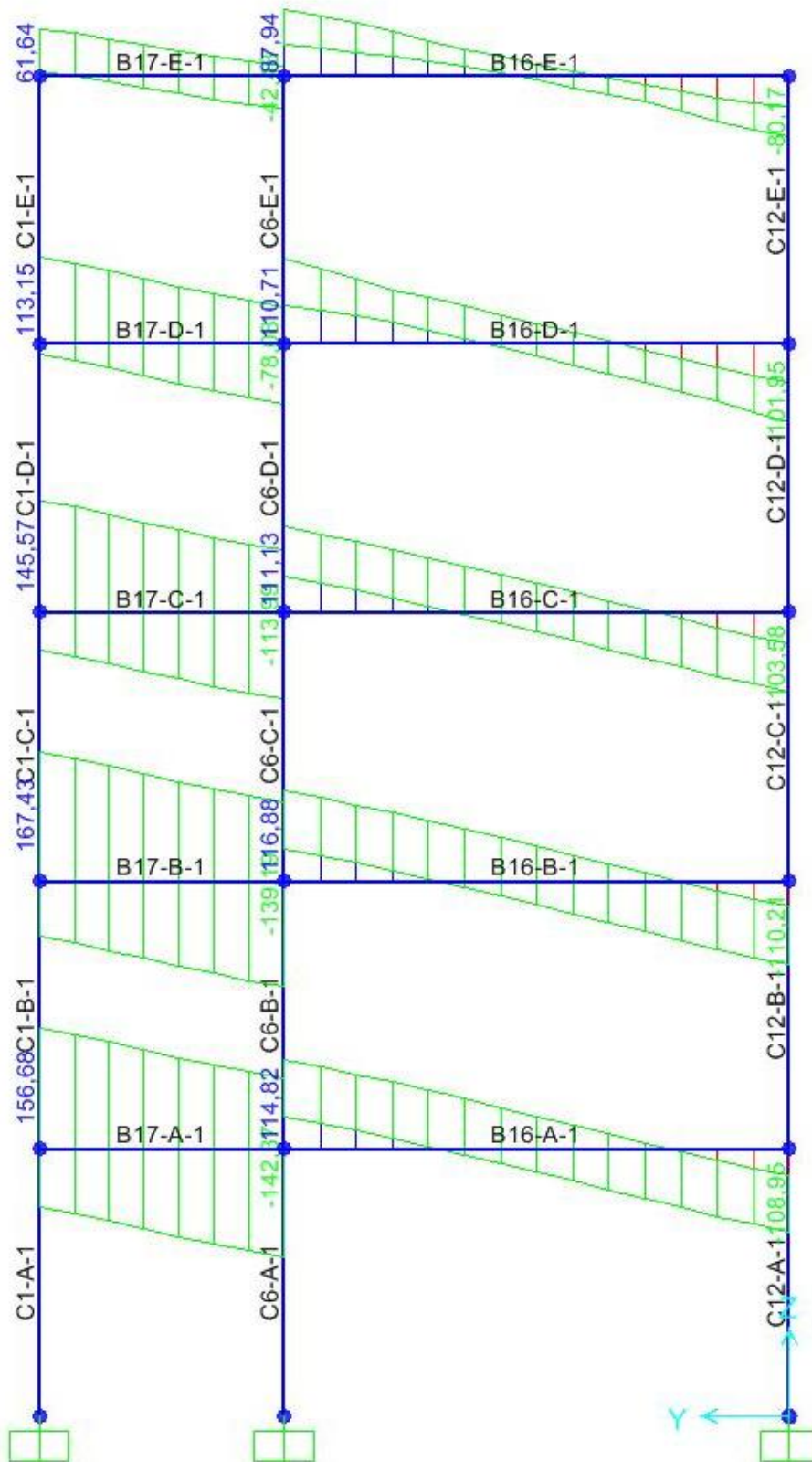


Σχ.Π.5.Α.1 Περιβάλλουσες ροπών κάμψης δοκών πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΧ

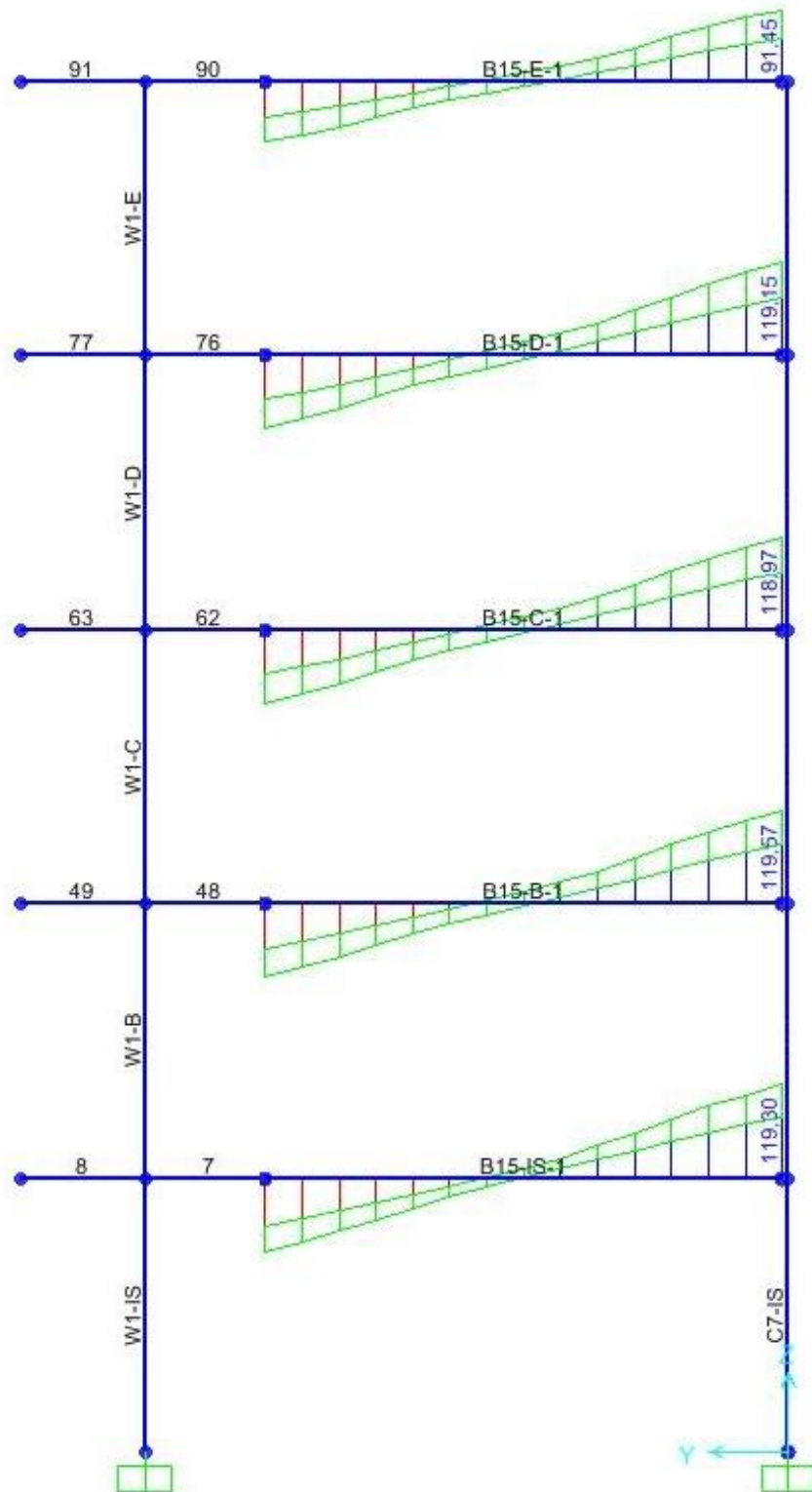




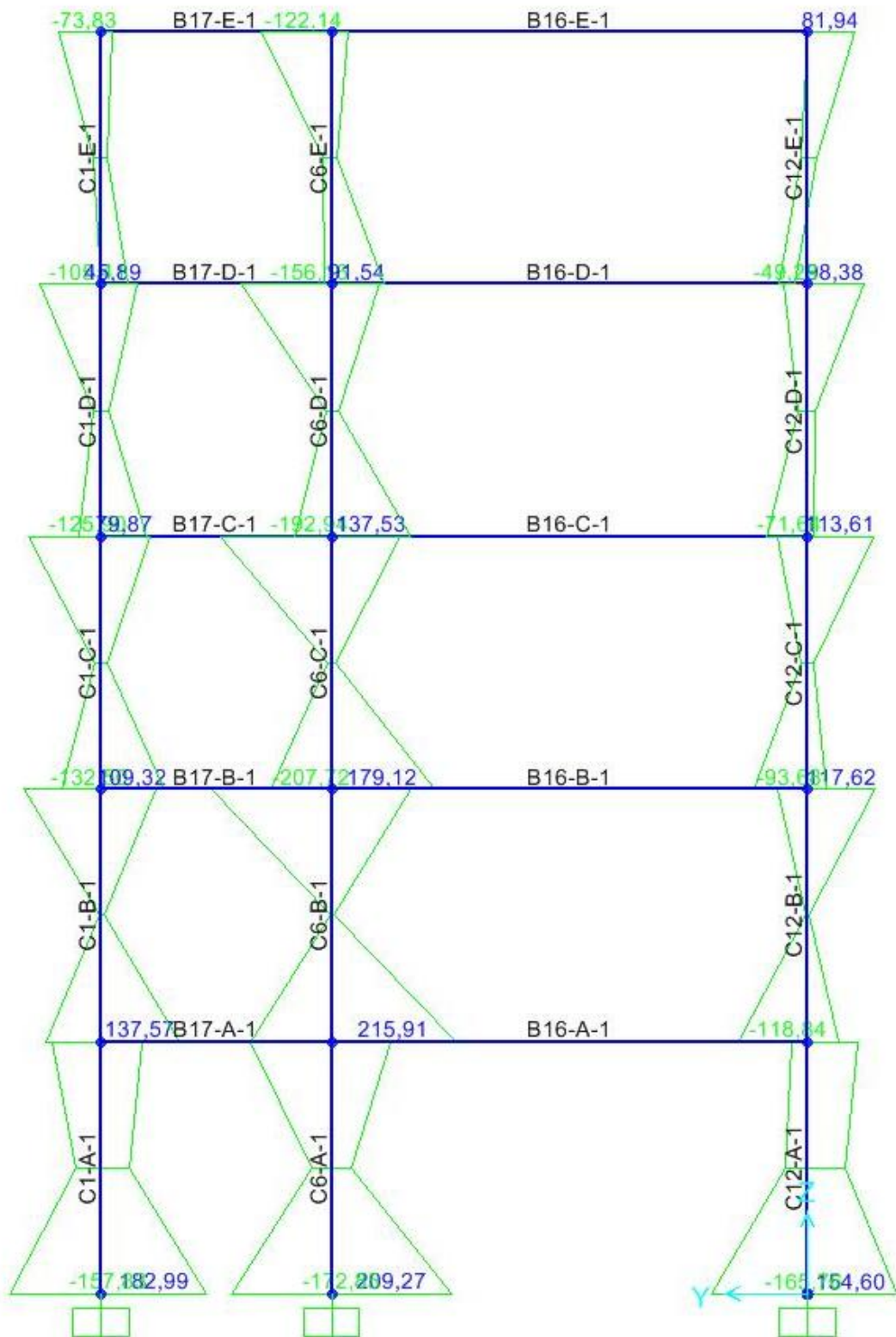
Σχ.Π.5.Α.2 Περιβάλλουσες ροπών κάμψης δοκών τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΧ



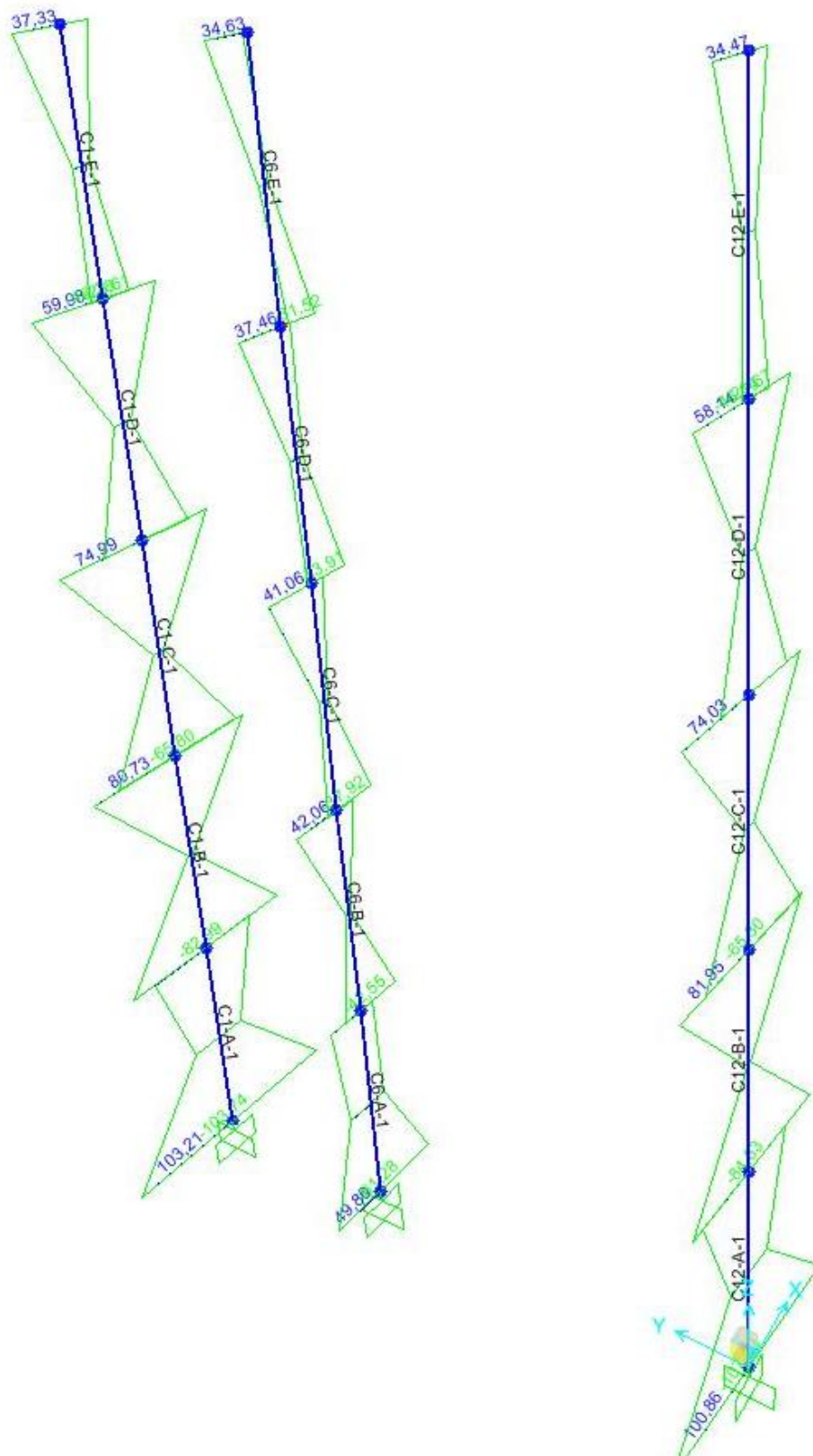
Σχ.Π.5.Α.3 Περιβάλλουσες τεμνουσών δυνάμεων δοκών πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΧ



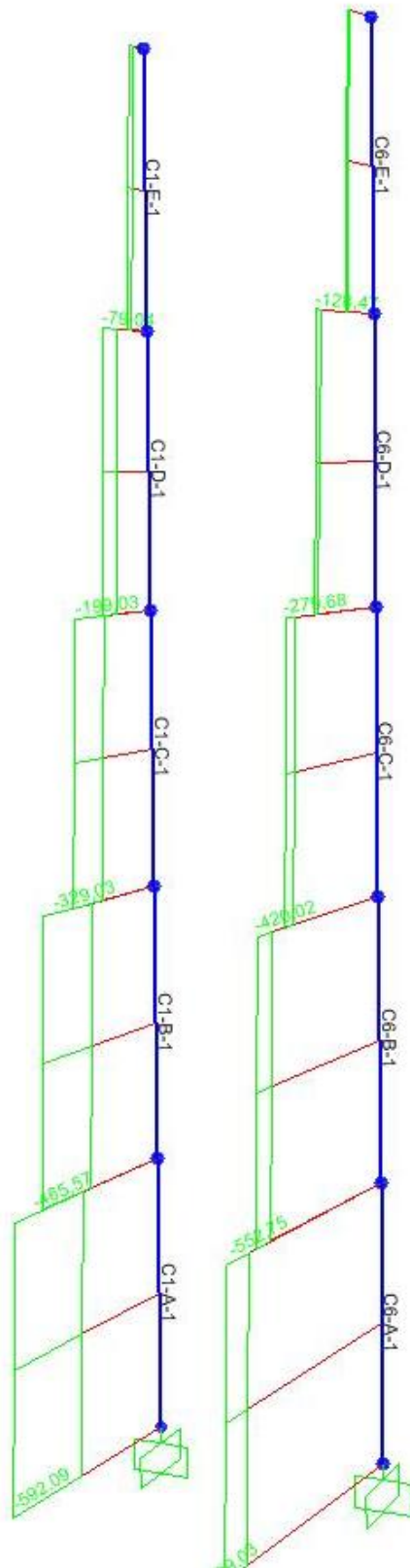
Σχ.Π.5.Α.4 Περιβάλλουσες τεμνουσών δυνάμεων δοκών τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΧ



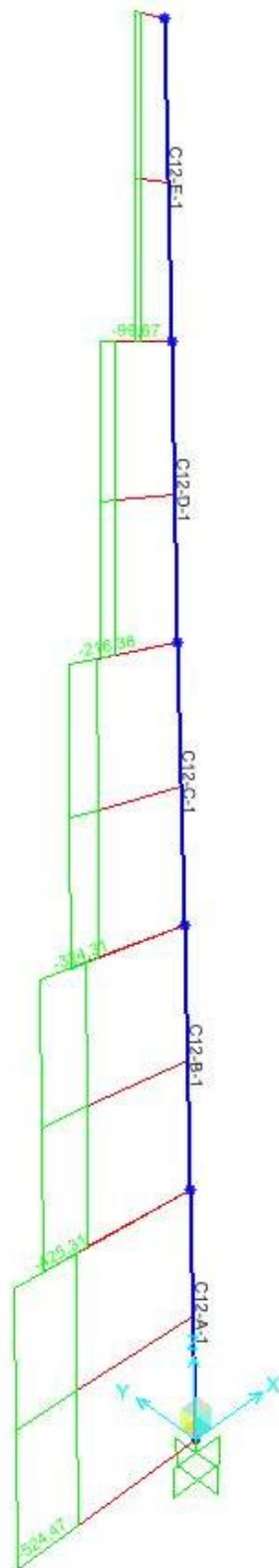
Σχ.Π.5.Α.5 Διαγράμματα ροπών κάμψης κατά y υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΧ



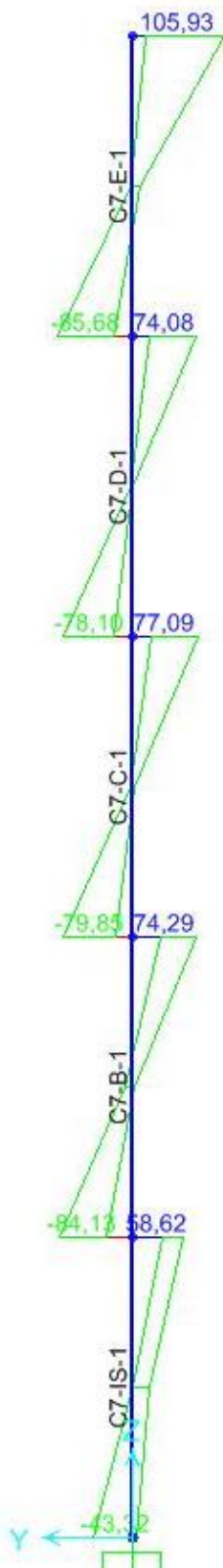
Σχ.Π.5.Α.6 Διαγράμματα ροπών κάμψης κατά x υποστυλωμάτων παισιαικού κτηρίου για ΚΠΧ



Σχ.Π.5.Α.7 Διαγράμματα αξονικών δυνάμεων υποστυλωμάτων C1 και C6 πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΧ

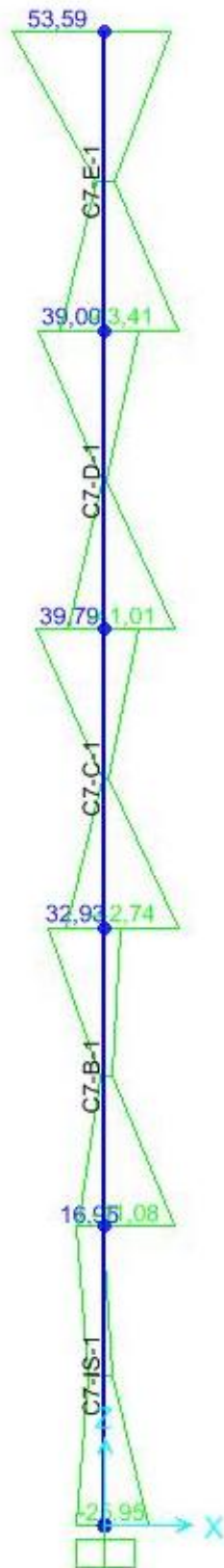


Σχ.Π.5.Α.8 Διάγραμμα αξονικής δύναμης υποστυλώματος C12 πλαίσιακού κτηρίου για ΚΠΧ

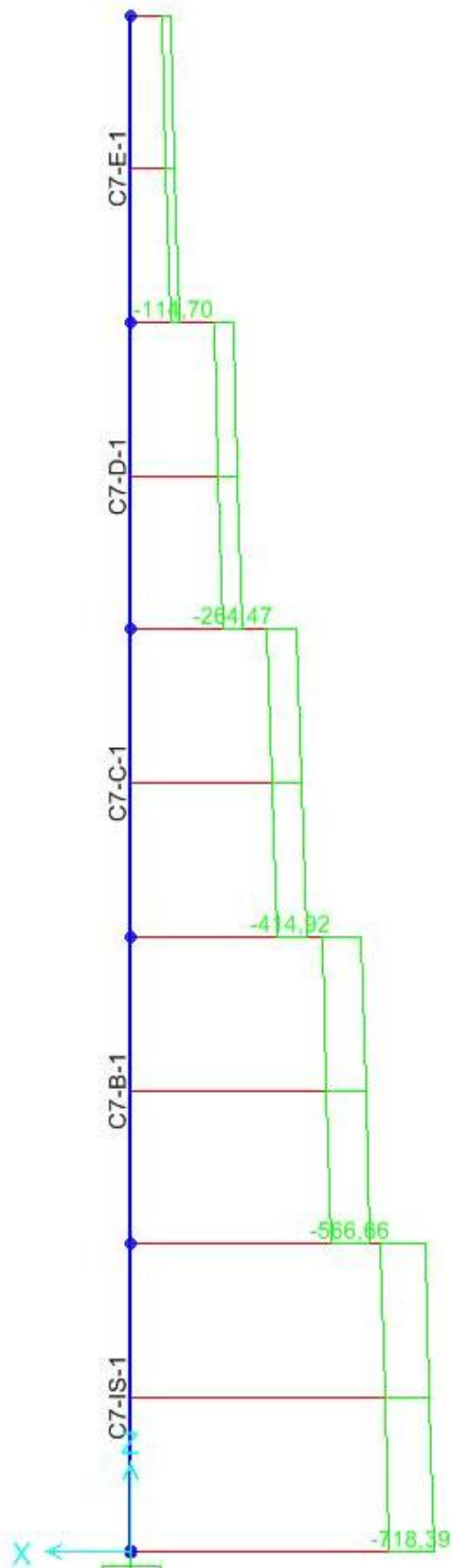


Σχ.Π.5.Α.9 Διάγραμμα ροπών κάμψης κατά γ υποστυλώματος C7 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΧ

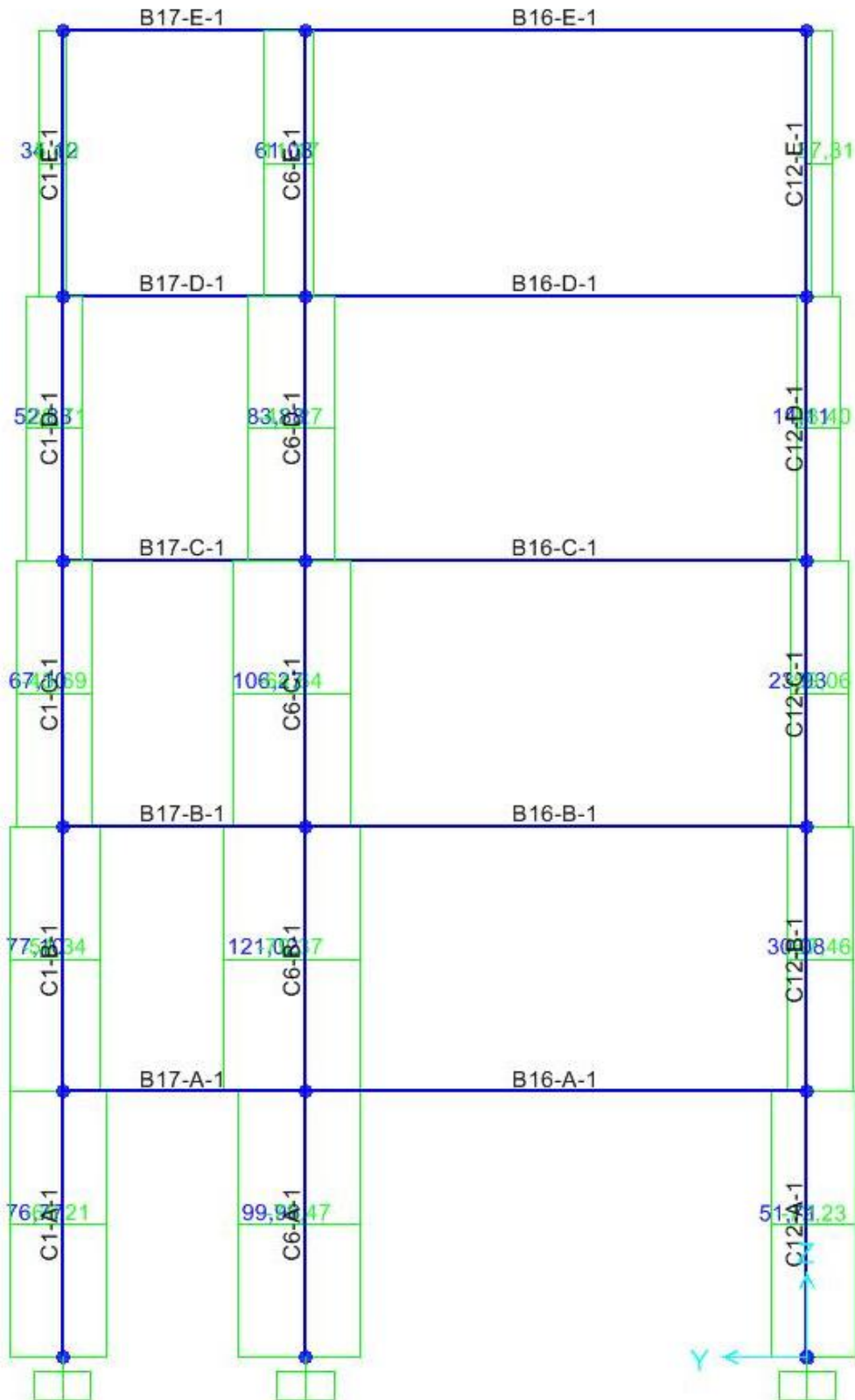




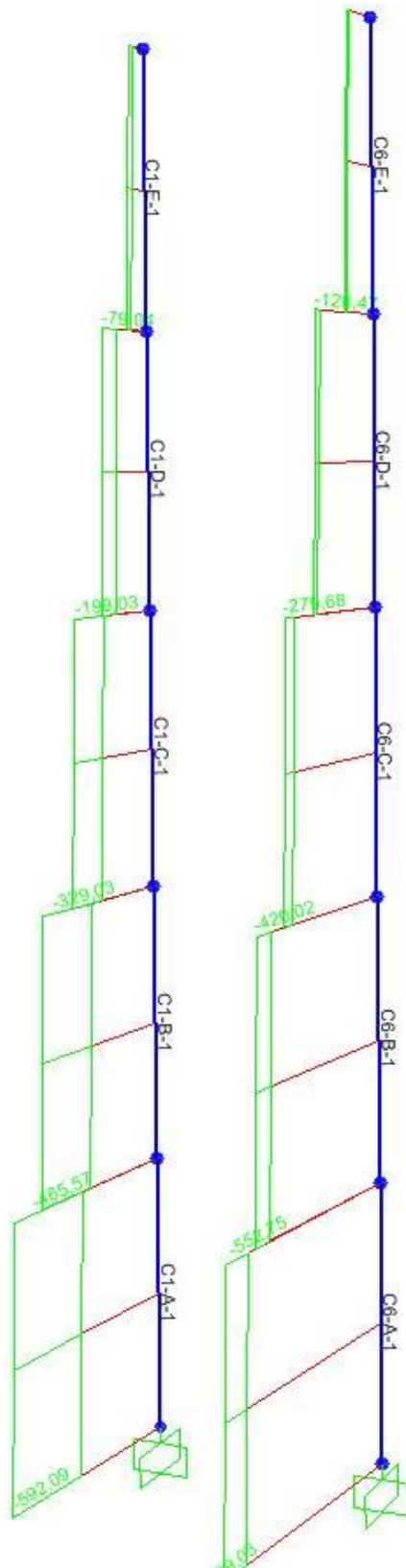
Σχ.Π.5.Α.10 Διάγραμμα ροπών κάμψης κατά x υποστυλώματος C7 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΧ



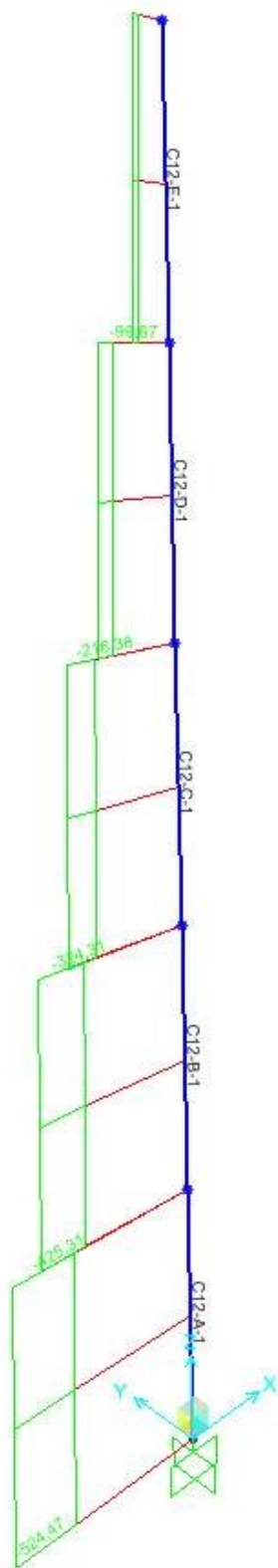
Σχ.Π.5.Α.11 Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων υποστυλώματος C7 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΧ



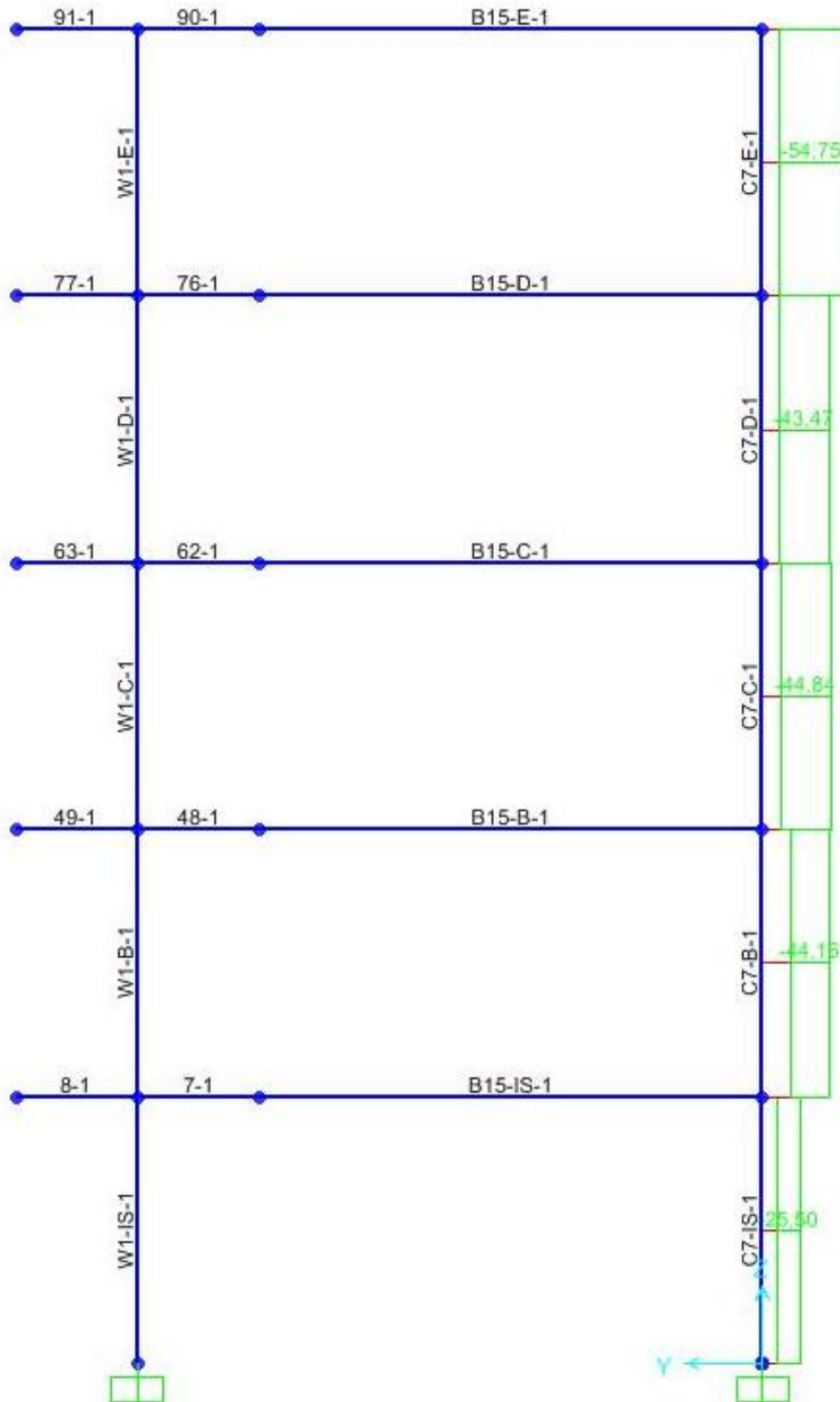
Σχ.Π.5.Α.12 Περιβάλλουσες τεμνουσών δυνάμεων υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΧ



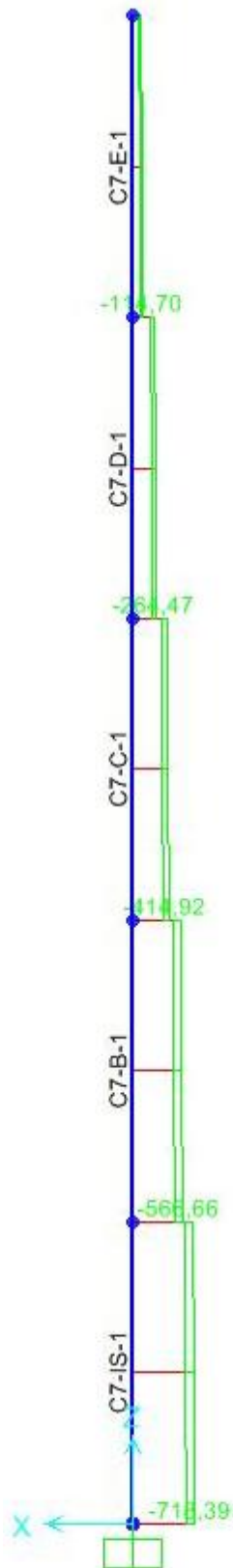
Σχ.Π.5.Α.13 Διαγράμματα αξονικών δυνάμεων υποστυλωμάτων C1 και C6 πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΧ



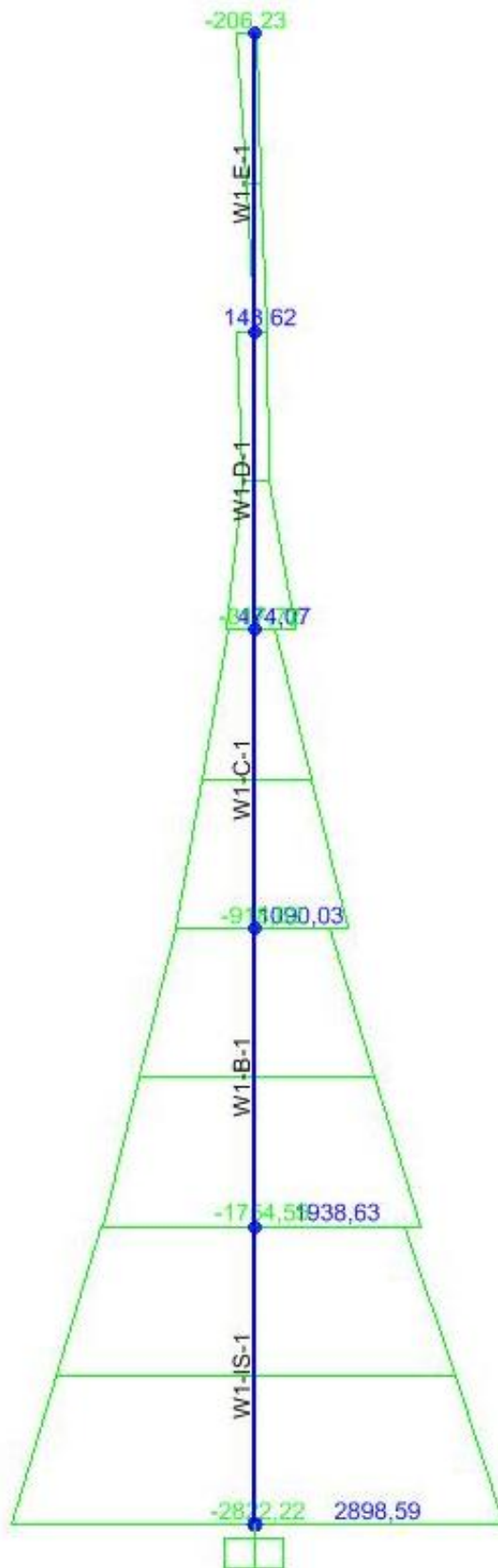
Σχ.Π.5.A.14 Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων υποστρώματος C12 πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΧ



Σχ.Π.5.Α.15 Περιβάλλουσα τεμνουσών δυνάμεων υποστυλώματος τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΧ

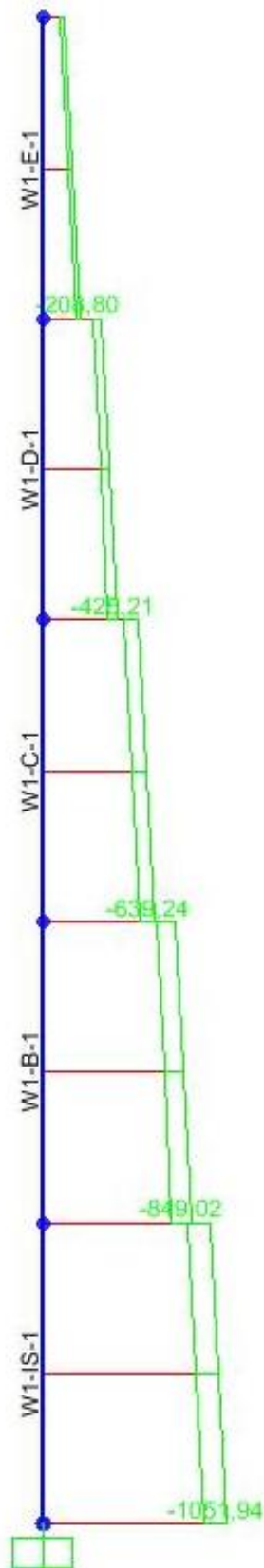


Σχ.Π.5.Α.16 Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων υποστυλώματος C7 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΧ

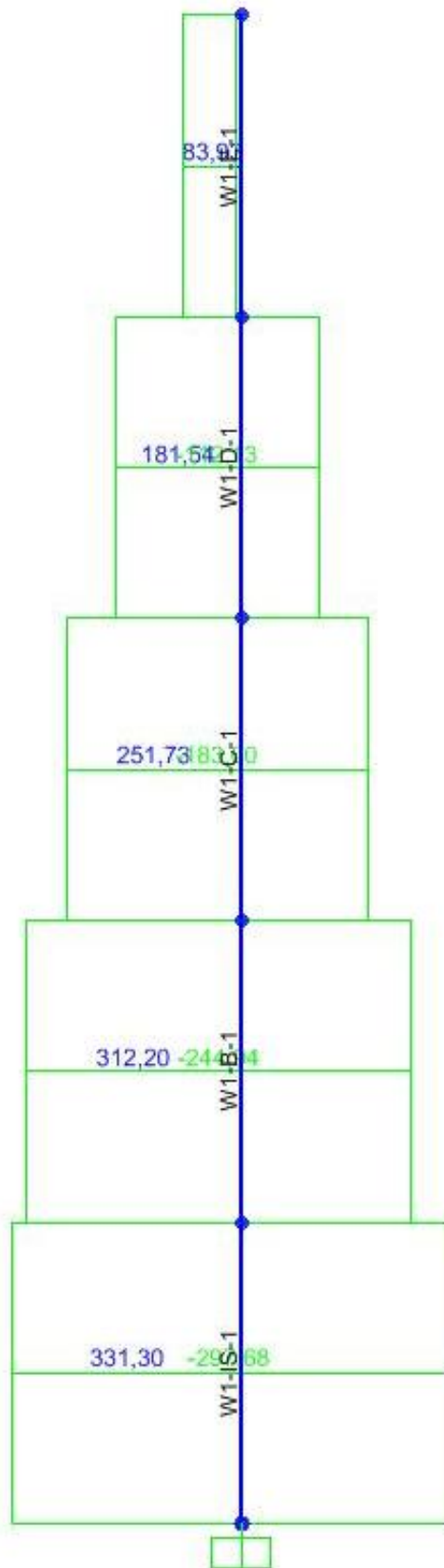


Σχ.Π.5.Α.17 Διάγραμμα ροπών κάμψης τοιχώματος W1 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΧ

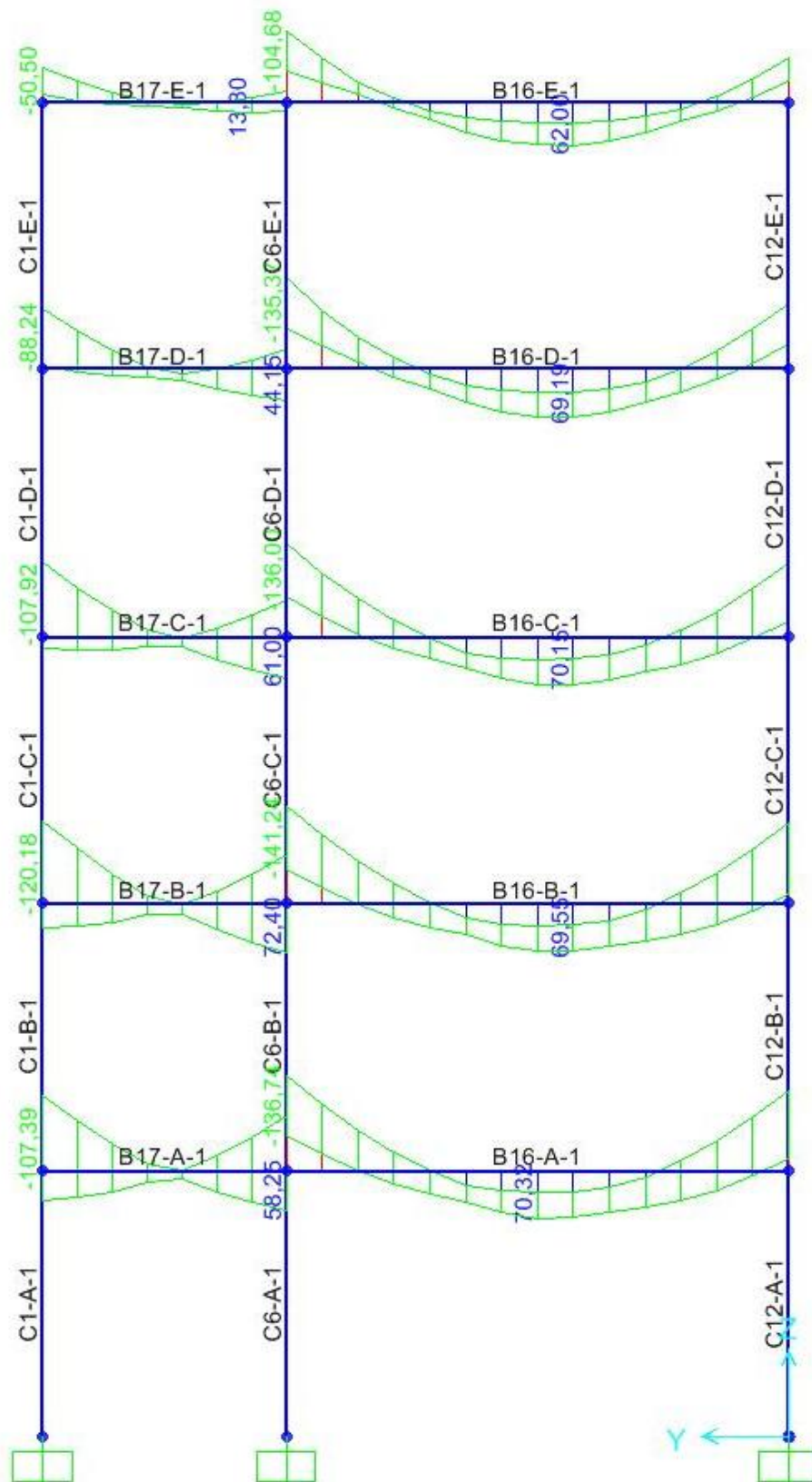




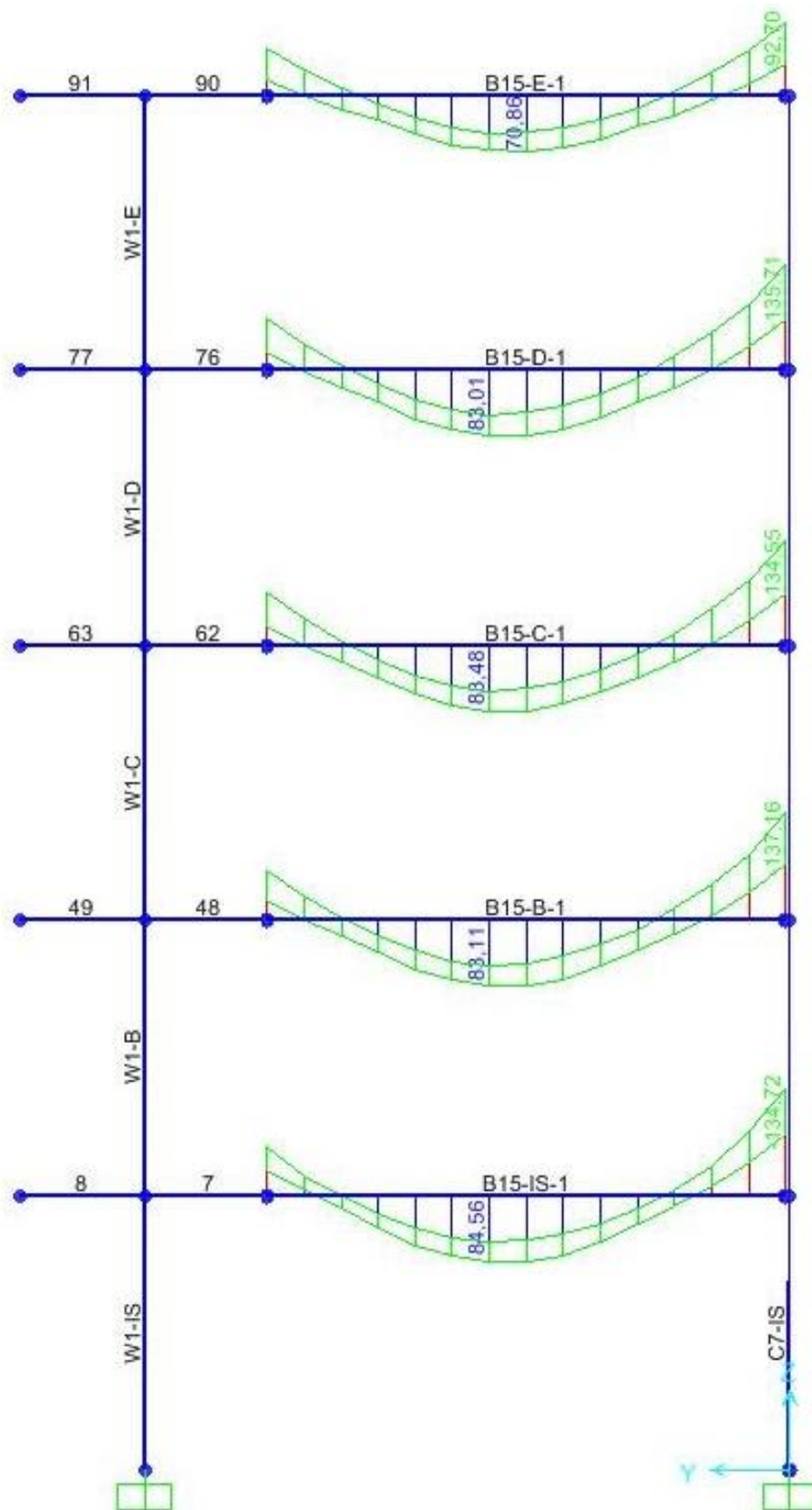
Σχ.Π.5.Α.18 Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων τοιχώματος W1 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΙΧ



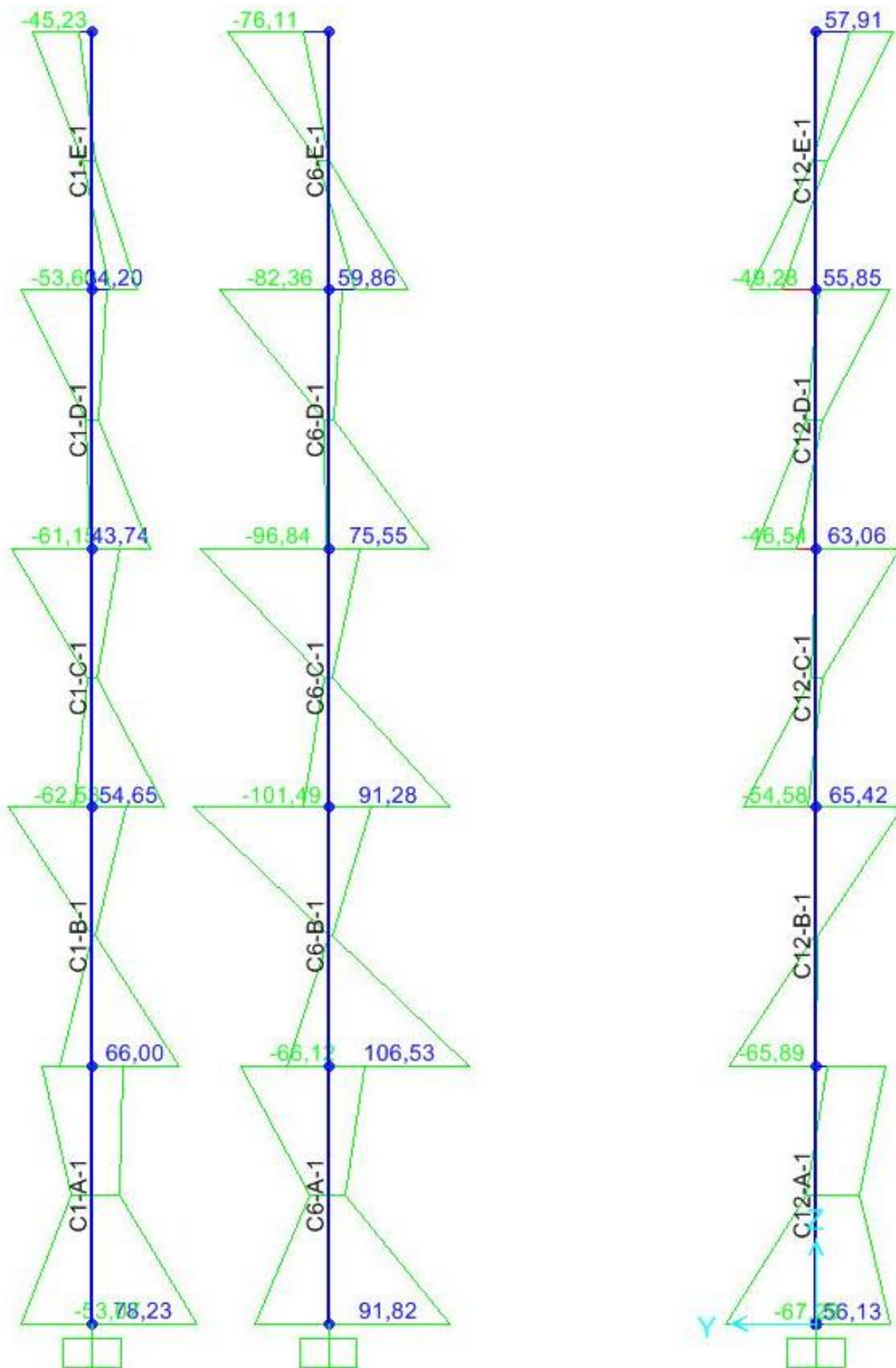
Σχ.Π.5.Α.19 Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων τοιχώματος W1 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΧ



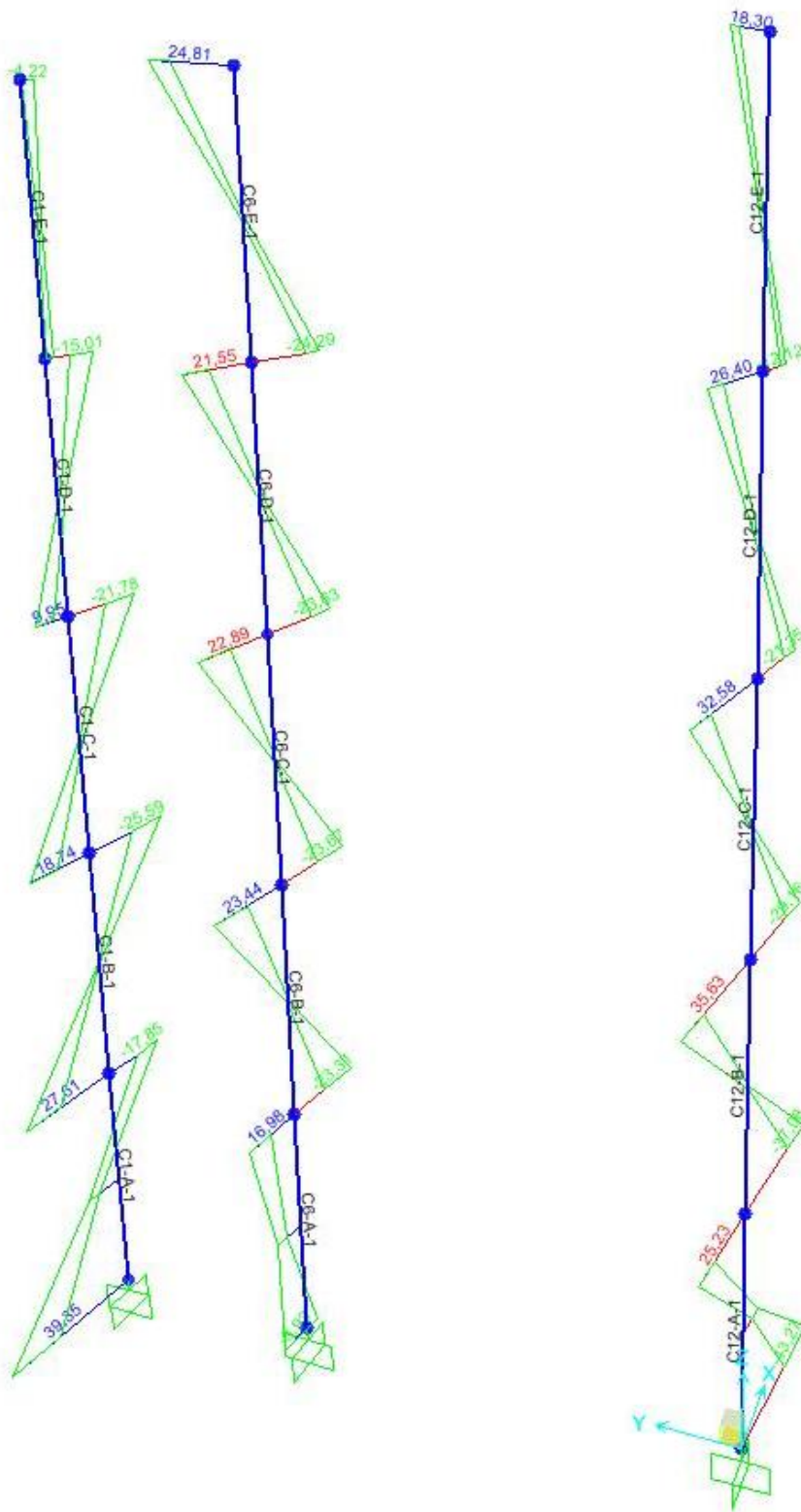
Σχ.Π.5.Α.20 Περιβάλλουσες ροπών κάμψης δοκών πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΜ



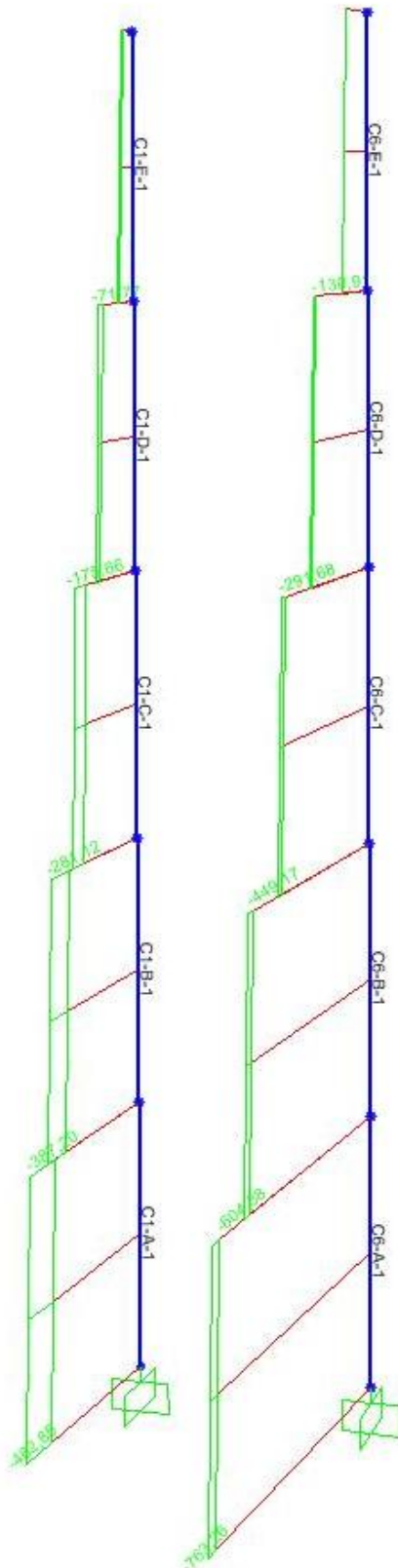
Σχ.Π.5.Α.21 Περιβάλλουσες ροπών κάμψης δοκών τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΜ



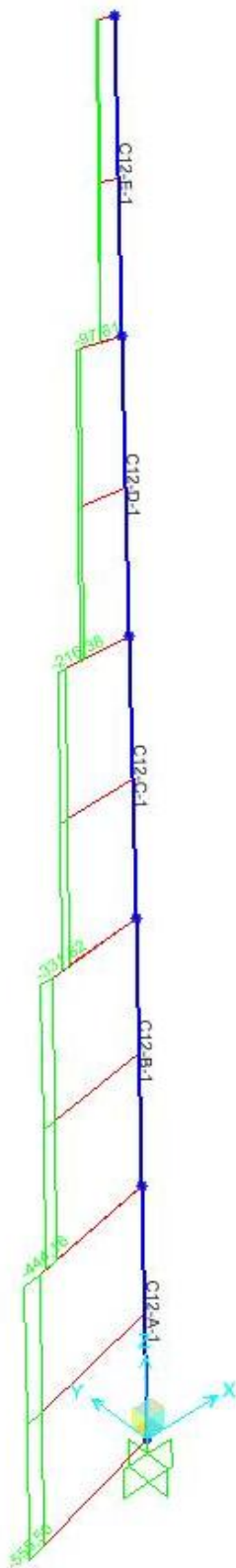
Σχ.Π.5.Α.22 Διαγράμματα ροπών κάμψης κατά γ υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΙΜ



Σχ.Π.5.Α.23 Διαγράμματα ροπών κάμψης κατά x υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΜ

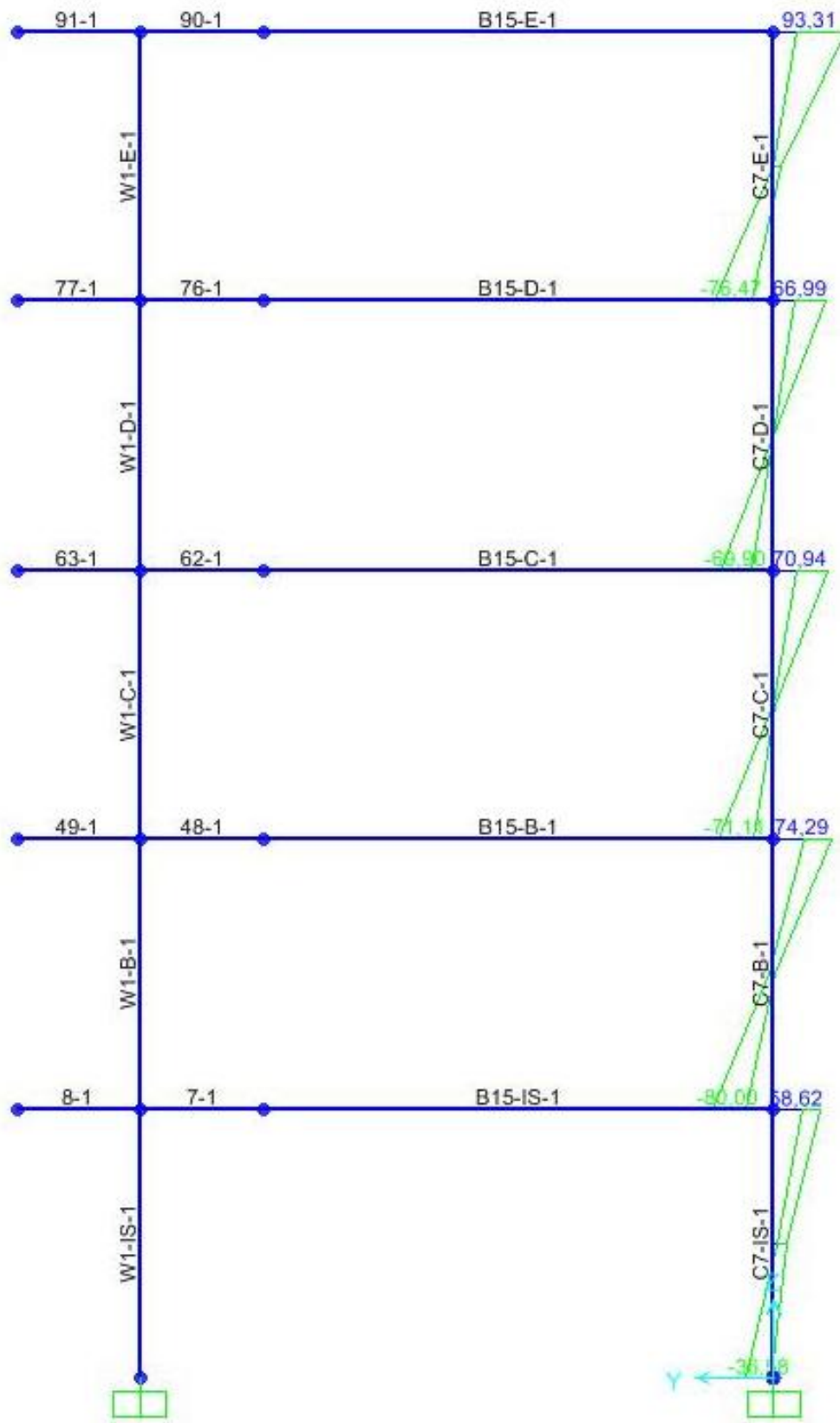


Σχ.Π.5.Α.24 Διαγράμματα αξονικών δυνάμεων υποστυλωμάτων C1 και C6 πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΜ

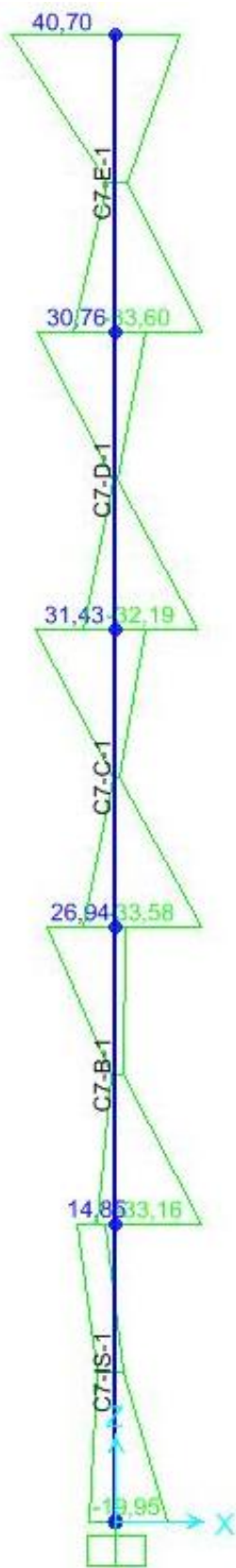


Σχ.Π.5.Α.25 Διάγραμμα αξονικής δύναμης υποστύλωματος C12 πλαίσιακού κτηρίου για KIPM

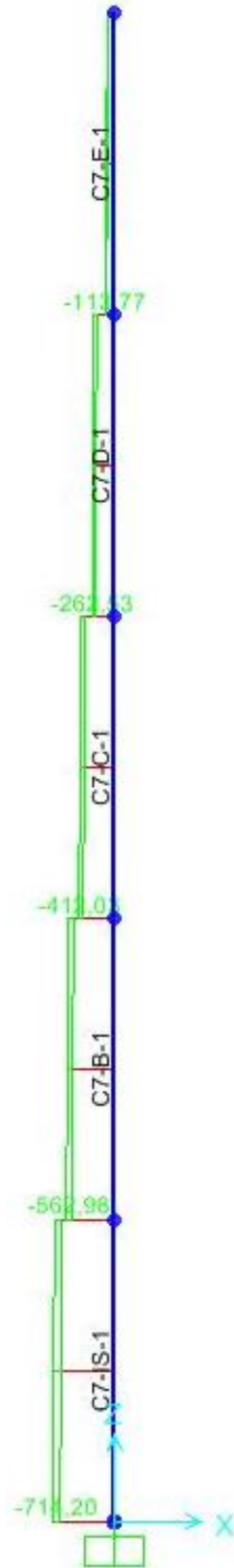




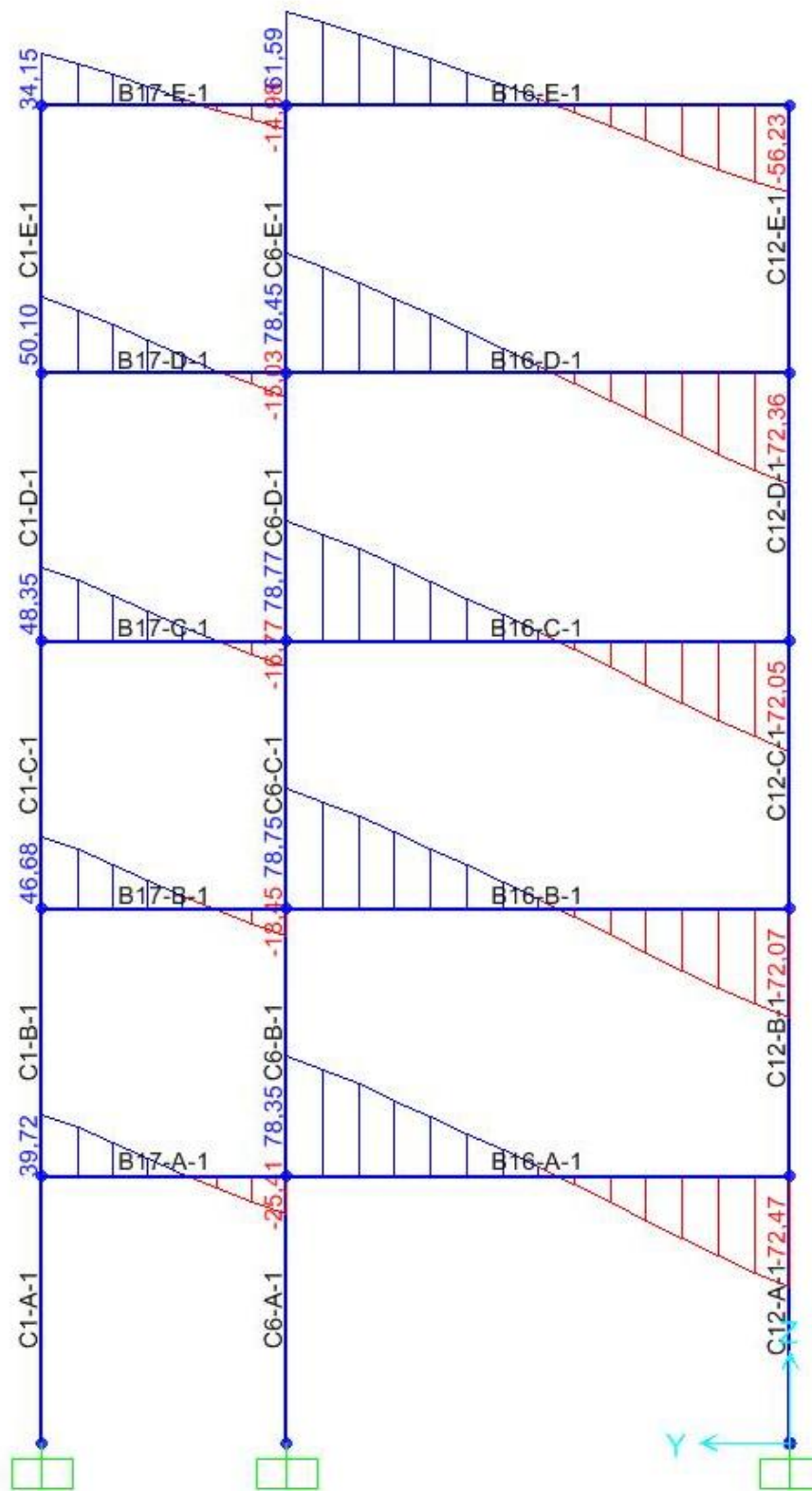
Σχ.Π.5.Α.26 Διάγραμμα ροπών κάμψης κατά γ υποστυλώματος C7 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΜ



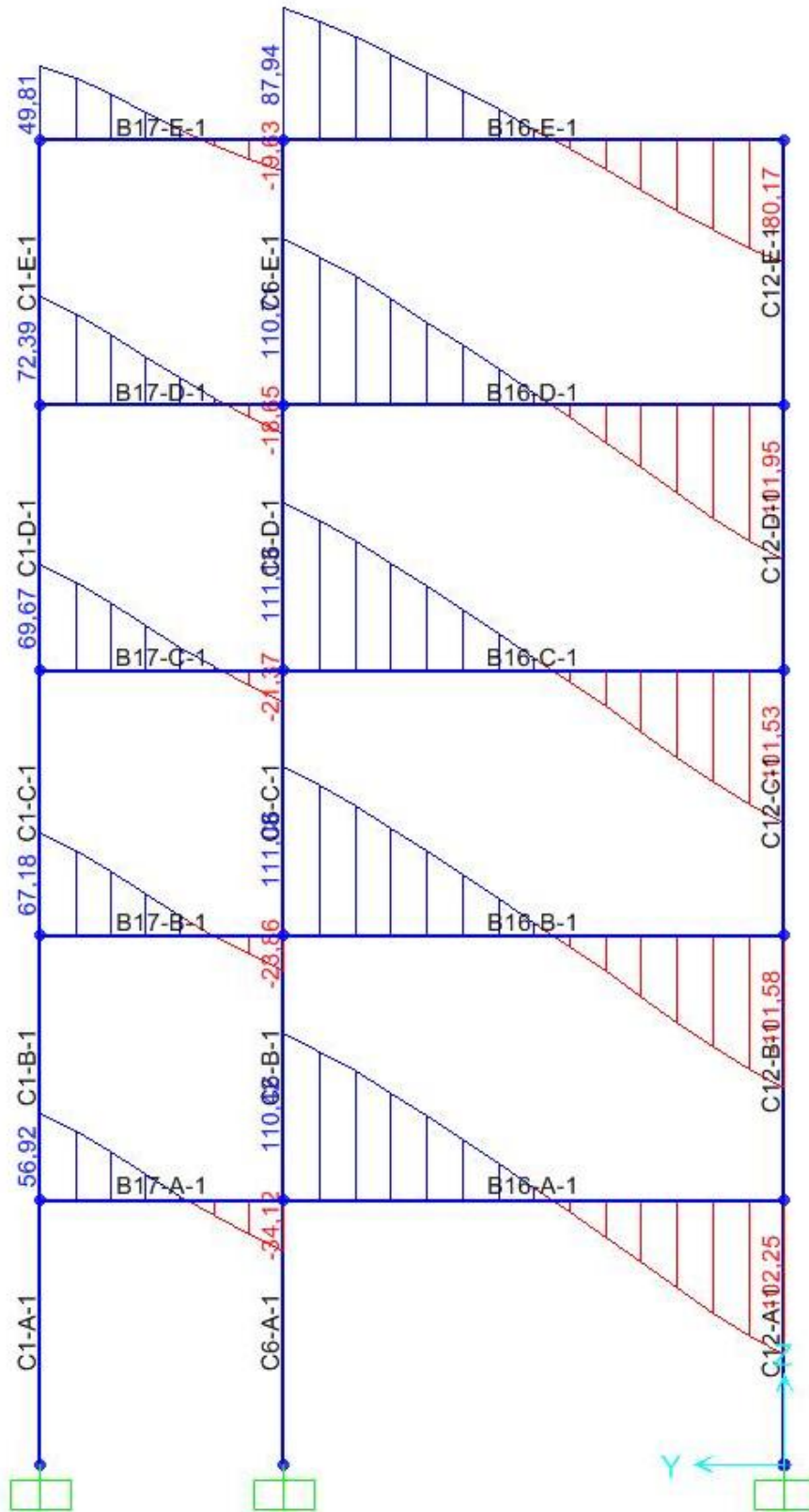
Σχ.Π.5.Α.27 Διάγραμμα ροπών κάμψης κατά x υποστυλώματος C7 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΙΜ



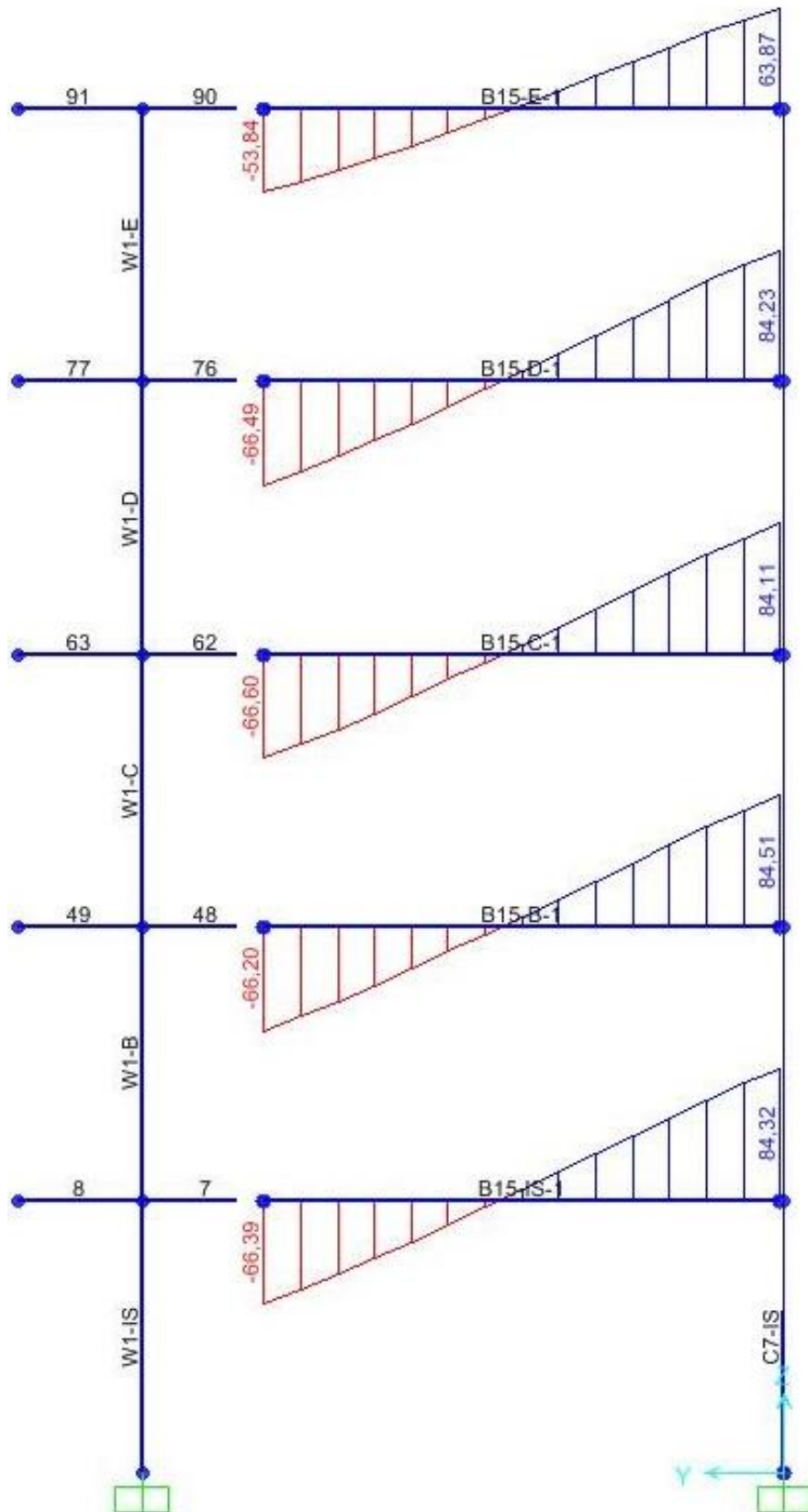
Σχ.Π.5.Α.28 Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων υποστυλώματος C7 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΙΜ



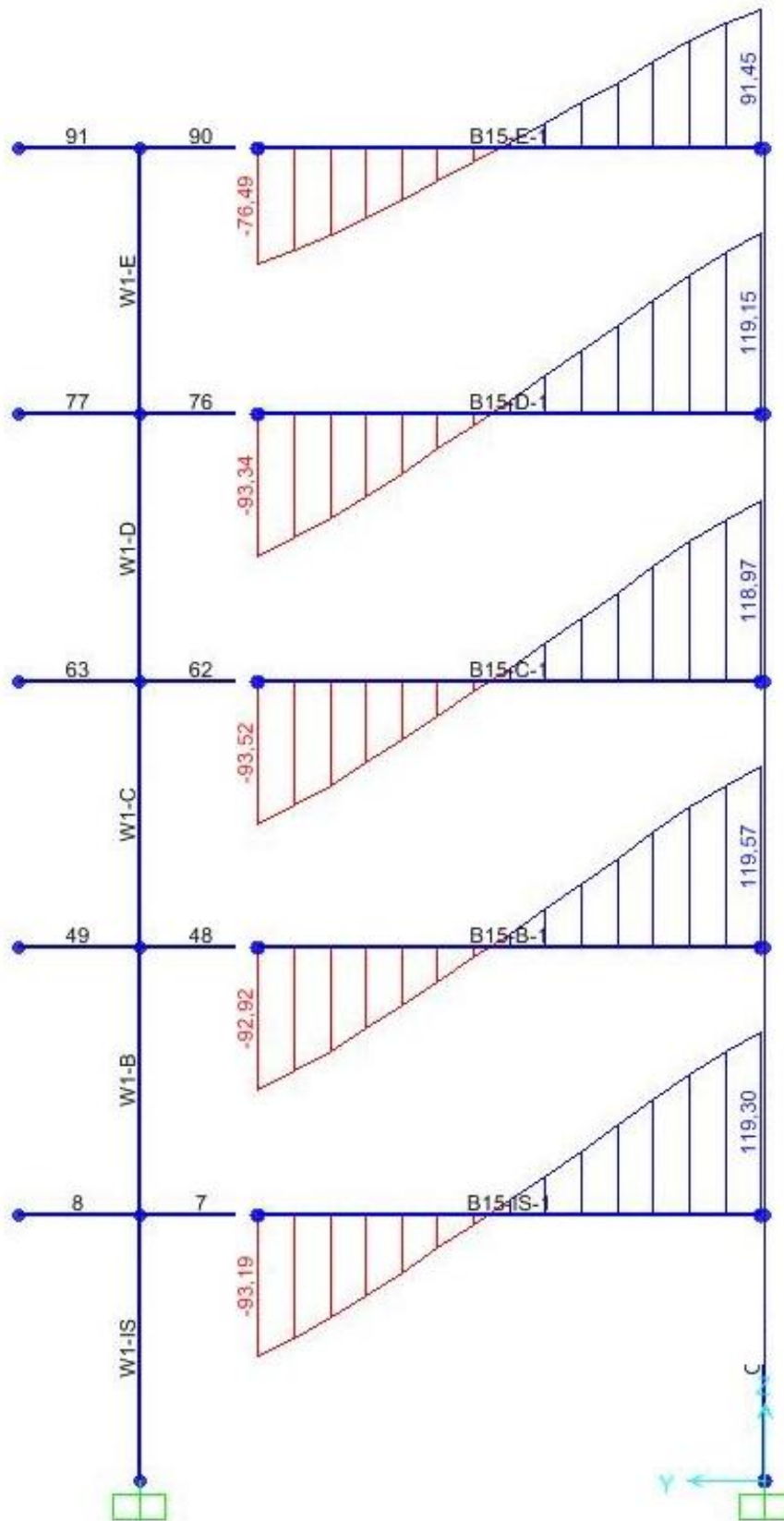
Σχ.Π.5.Α.29 Διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων δοκών για G+0,3Q πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΜ



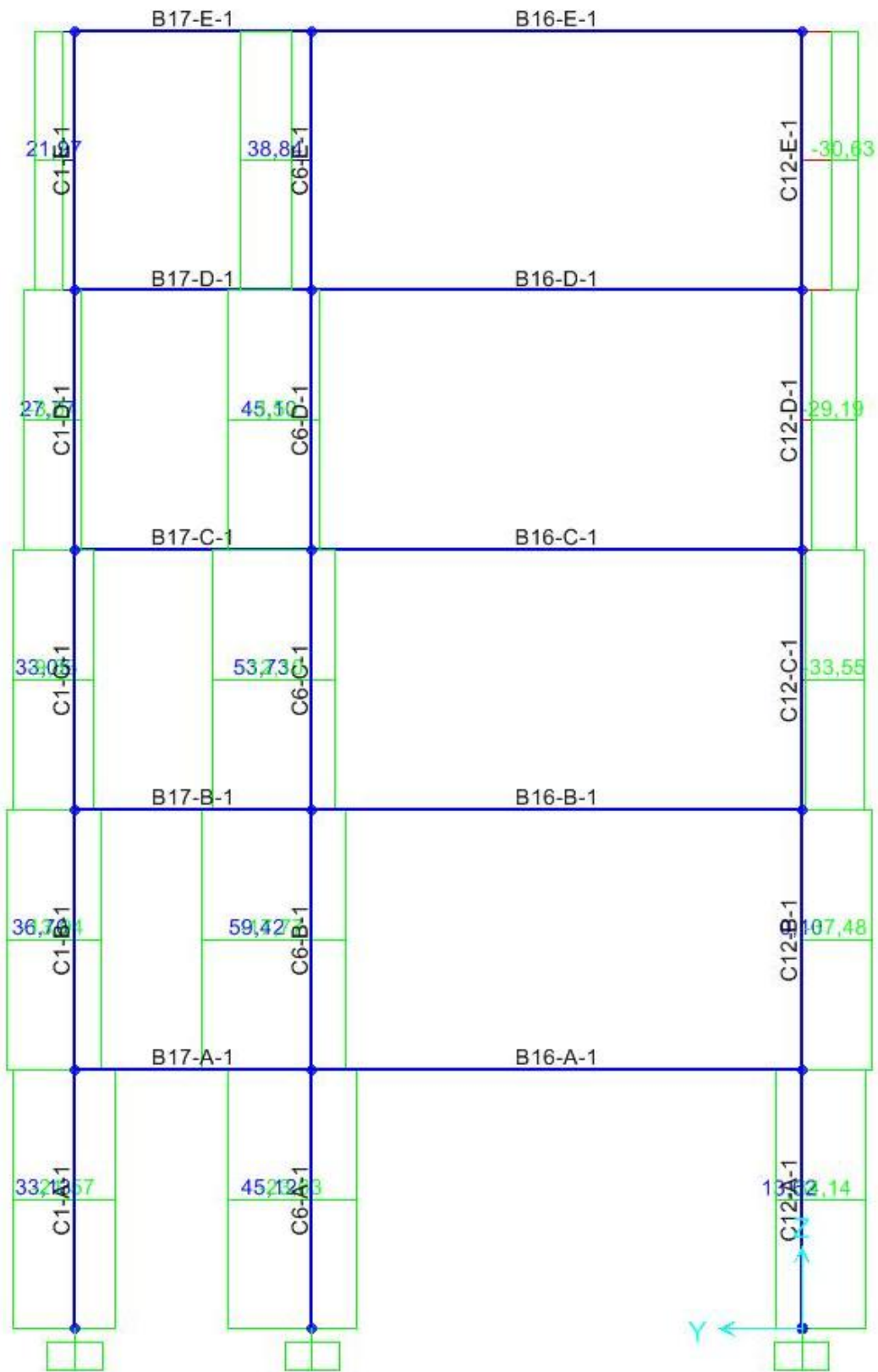
Σχ.Π.5.Α.30 Διαγράμματα τεινουσών δυνάμεων δοκών για 1,35G+1,50Q πλαισιακού κτηρίου για ΚΙΠΜ



Σχ.Π.5.Α.31 Διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων δοκών για G+0,3Q τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΜ

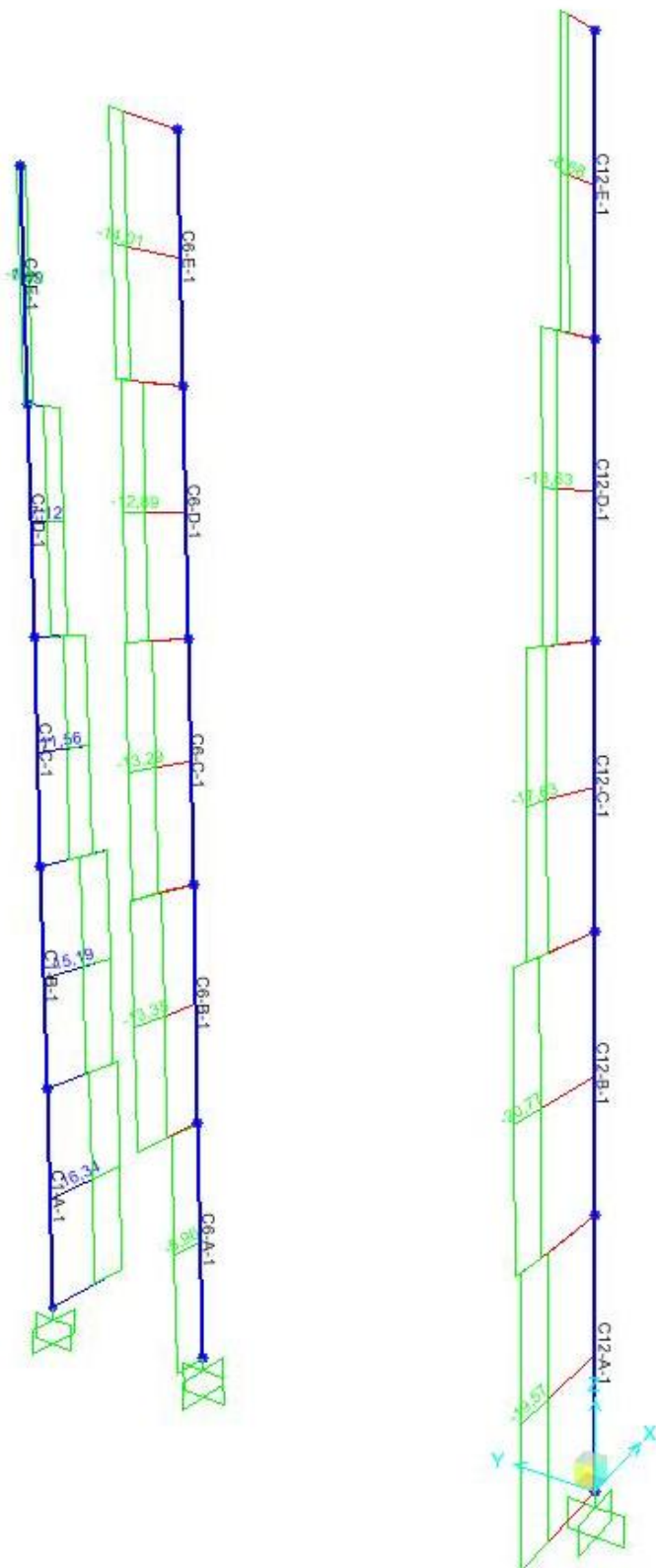


Σχ.Π.5.Α.32 Διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων δοκών για 1,35G+1,5Q τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΜ

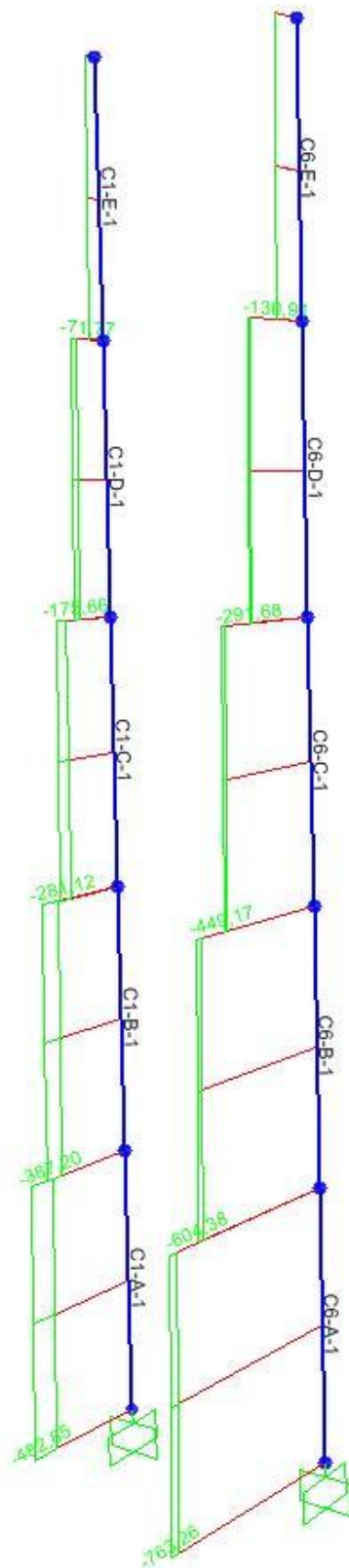


Σχ.Π.5.Α.33 Περιβάλλουσες τεμνουσών δυνάμειν υποστυλωμάτων κατά γ πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΜ

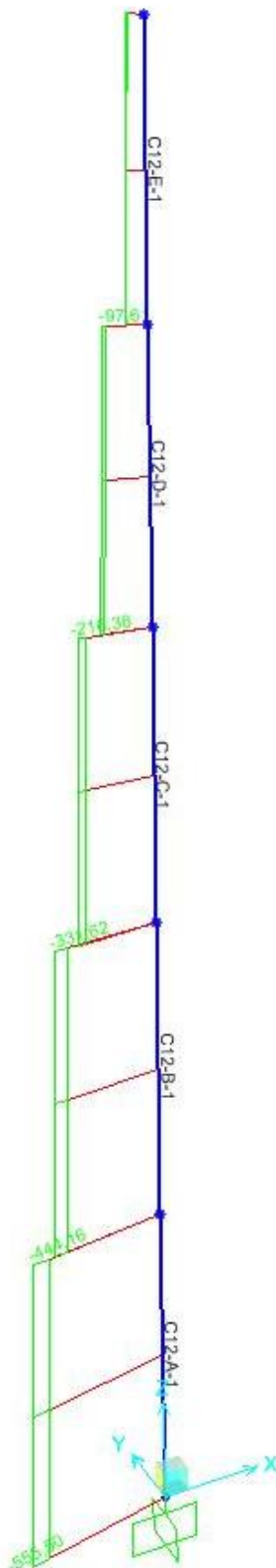




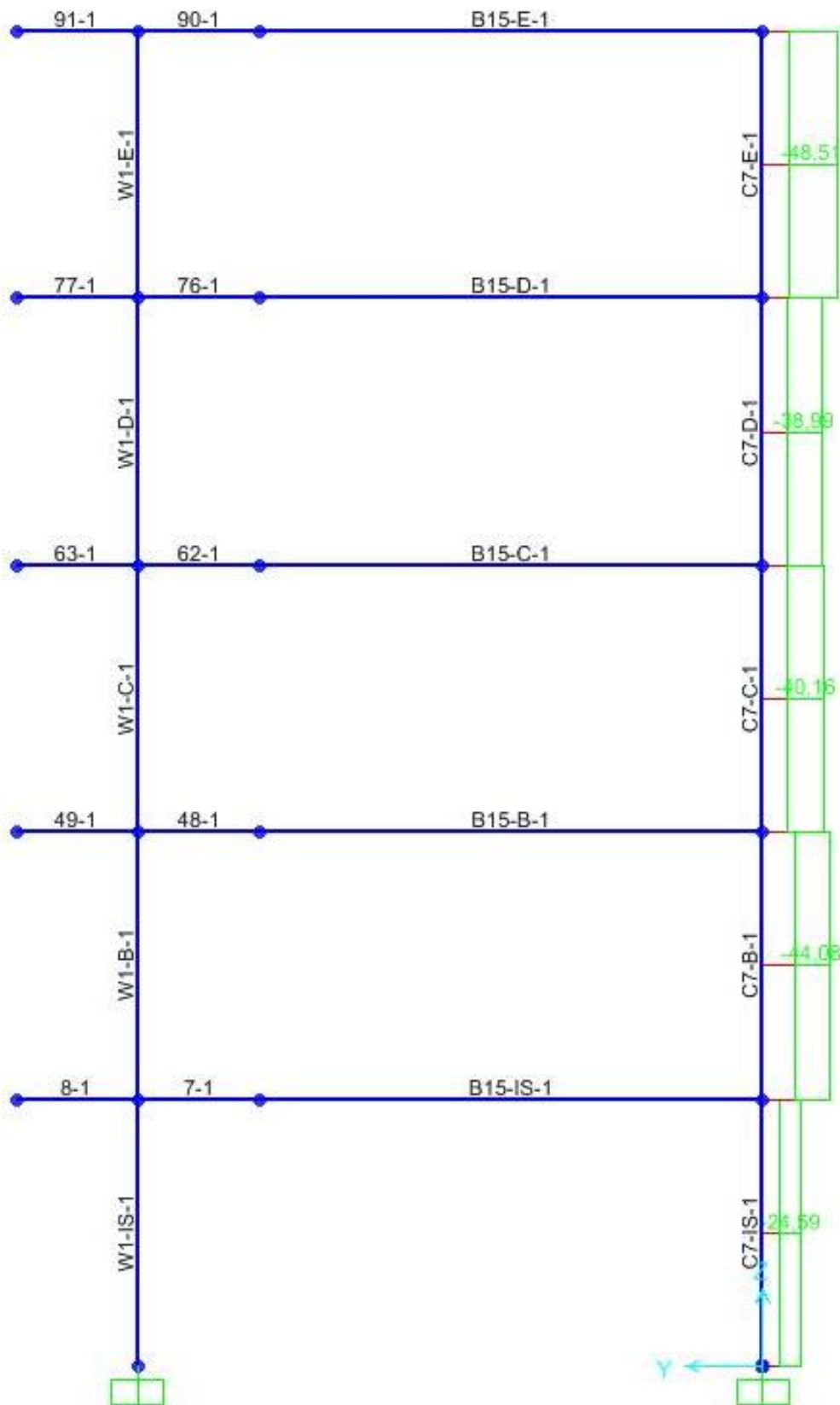
Σχ.Π.5.Α.34 Περιβάλλουσες τεμνουσών δυνάμεων υποστυλωμάτων κατά x πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΜ



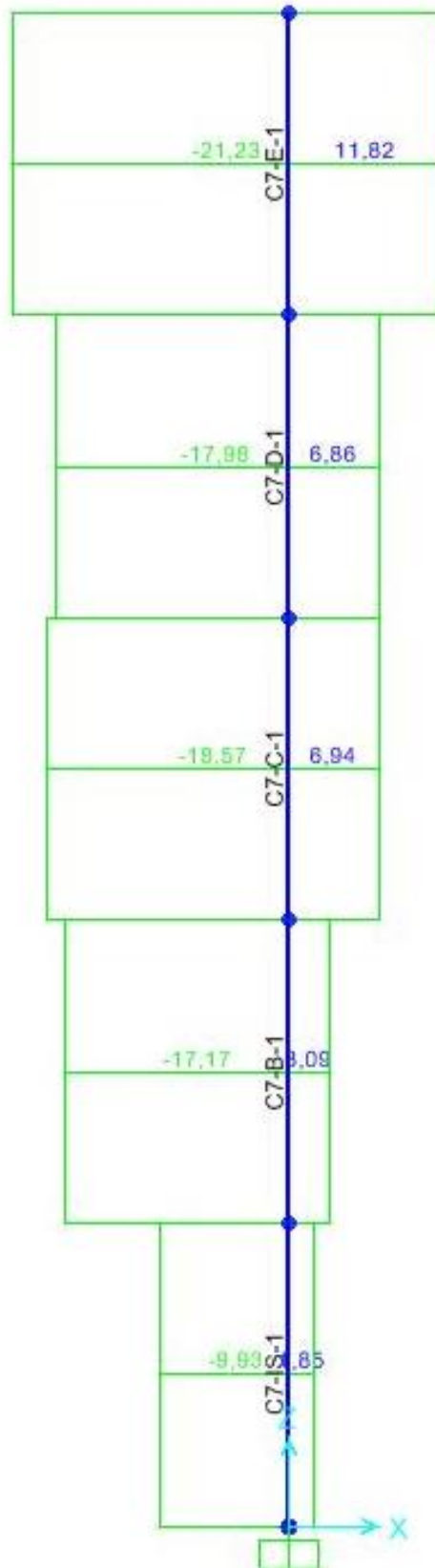
Σχ.Π.5.Α.35 Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων υποστυλωμάτων C1 και C6 πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΜ



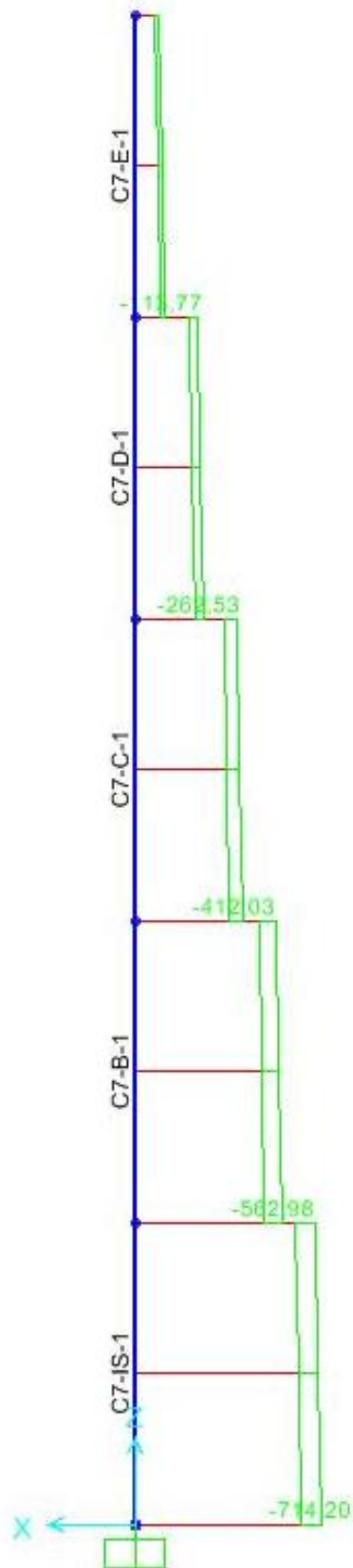
Σχ.Π.5.A.36 Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων υποστυλώματος C12 πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΜ



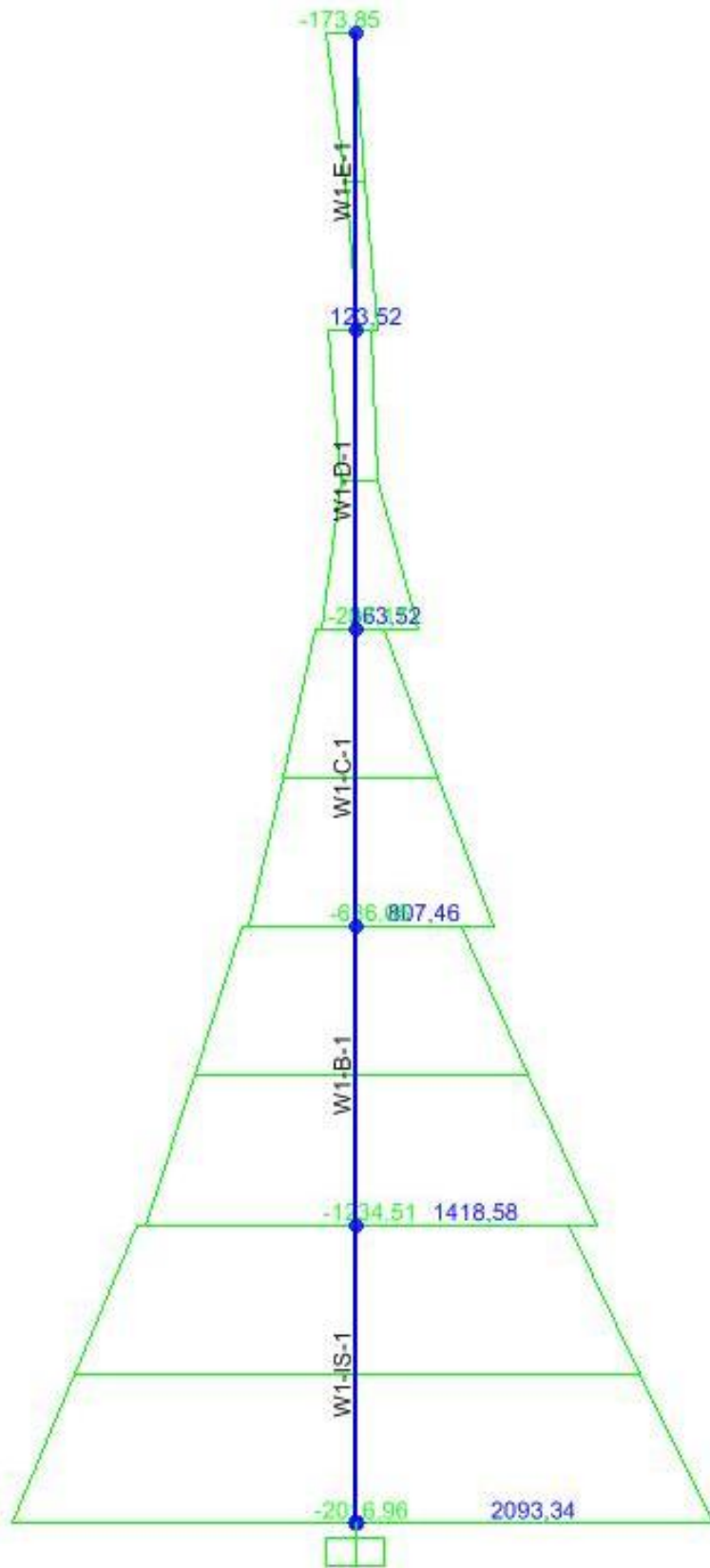
Σχ.Π.5.Α.37 Περιβάλλουσα τεμνουσών δυνάμεων κατά γ υποστυλώματος C7 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΜ



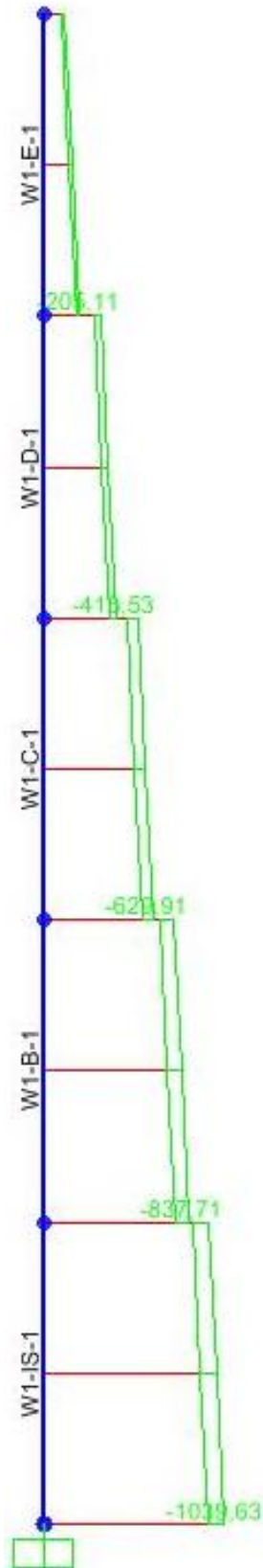
Σχ.Π.5.Α.38 Περιβάλλουσα τεμνουσών δυνάμεων κατά x υποστυλώματος C7 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΜ



Σχ.Π.5.Α.39 Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων τοιχώματος W1 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΙΠΜ

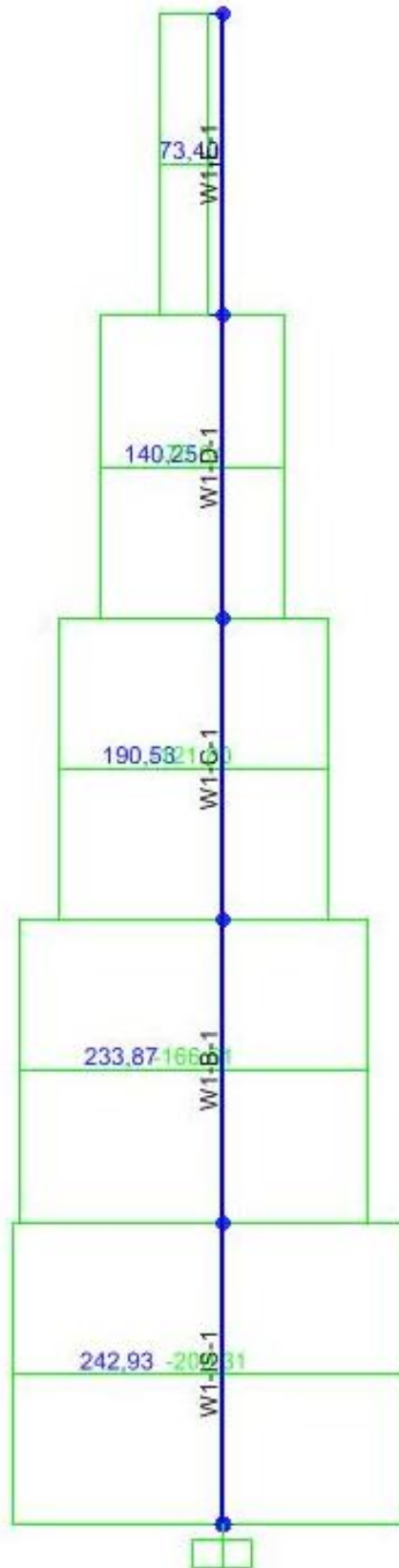


Σχ.Π.5.Α.40 Διάγραμμα ροπών κάμψης τοιχώματος W1 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΧ

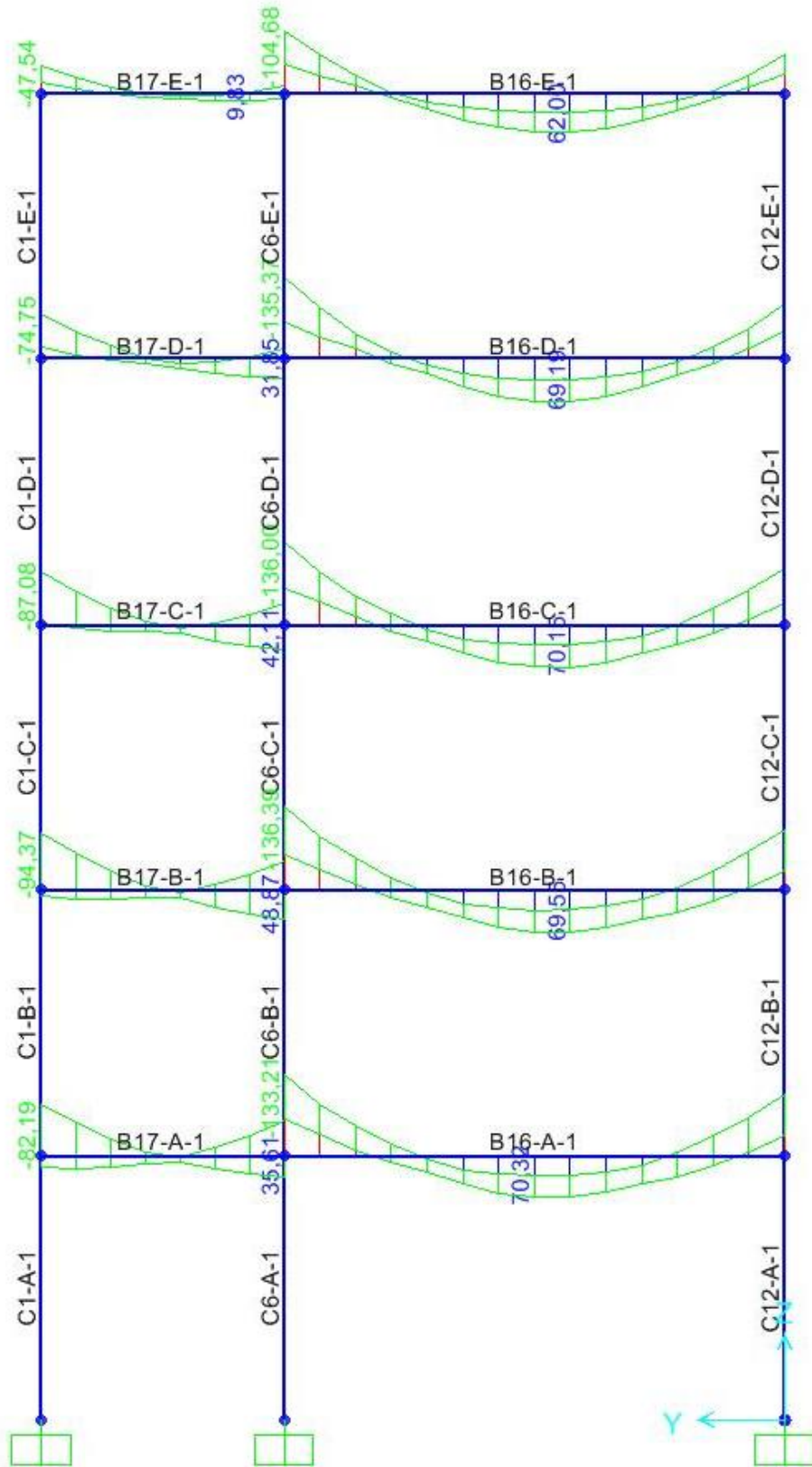


Σχ.Π.5.Α.41 Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων τοιχώματος W1 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΙΜ

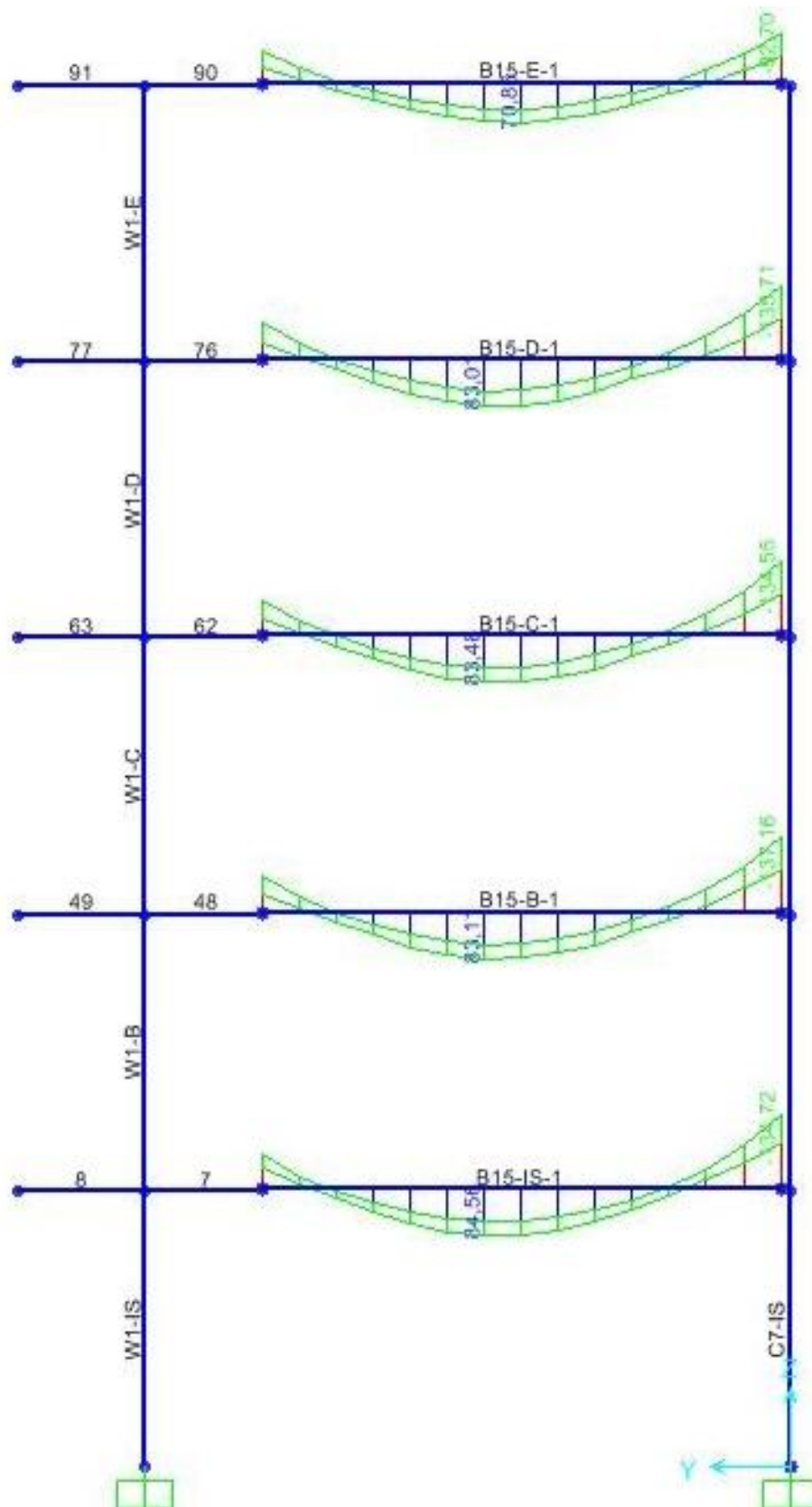




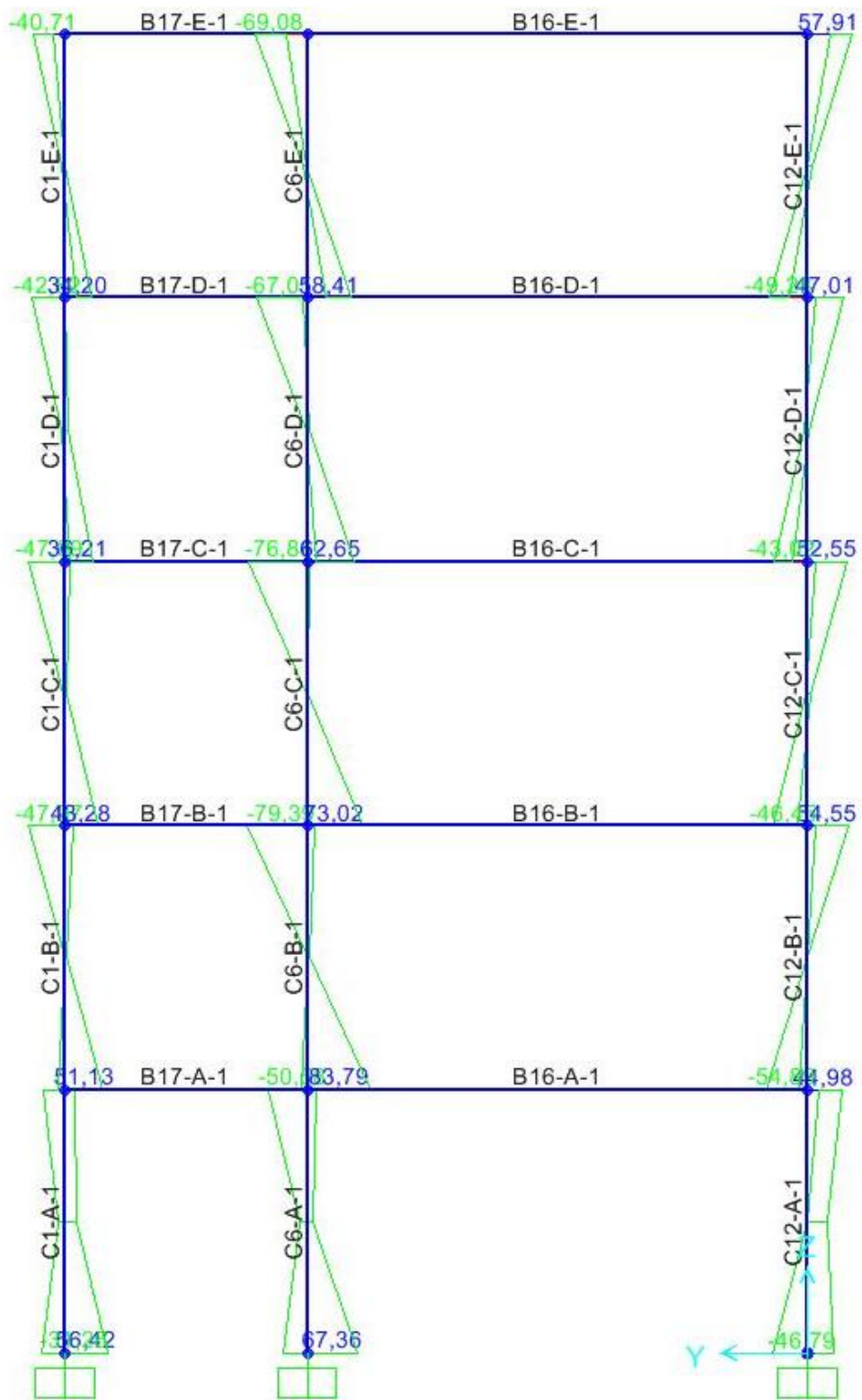
Σχ.Π.5.Α.42 Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων τοιχώματος W1 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΙΜ



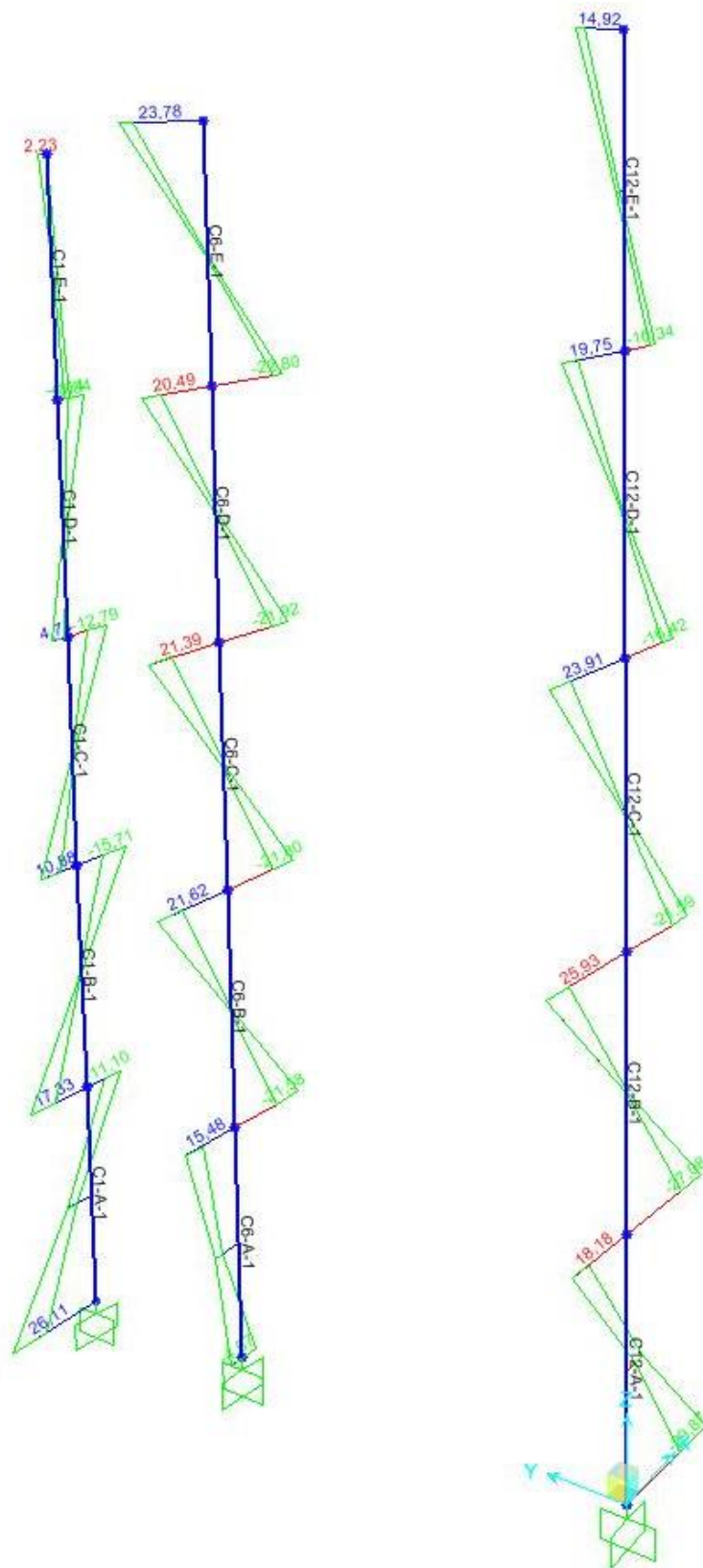
Σχ.Π.5.Α.43 Περιβάλλουσες ροπών κάμψης δοκών πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΥ



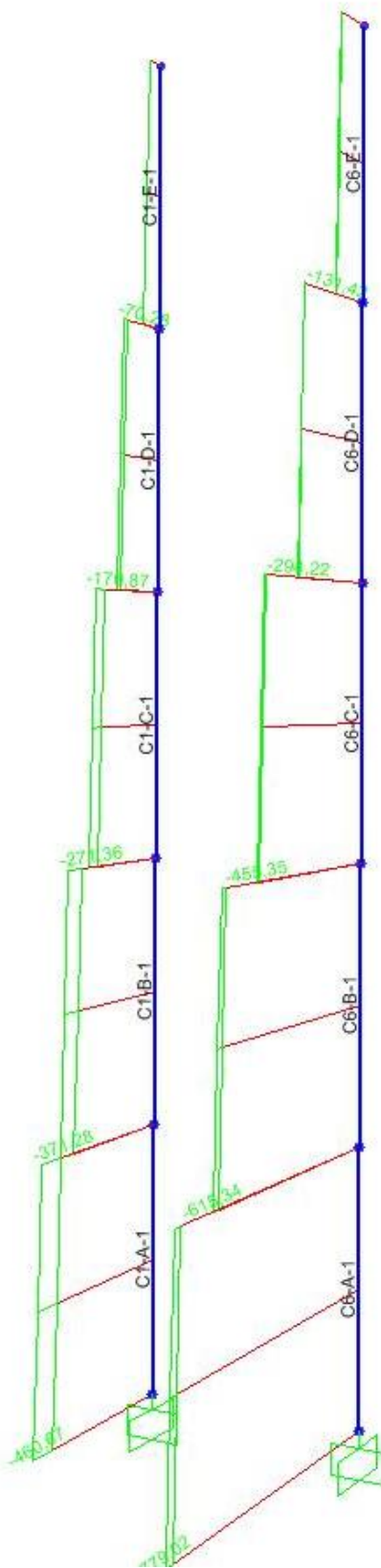
Σχ.Π.5.Α.44 Περιβάλλουσες ροπών κάμψης δοκών τοιχωματικού κτηρίου για ΚΙΡΥ



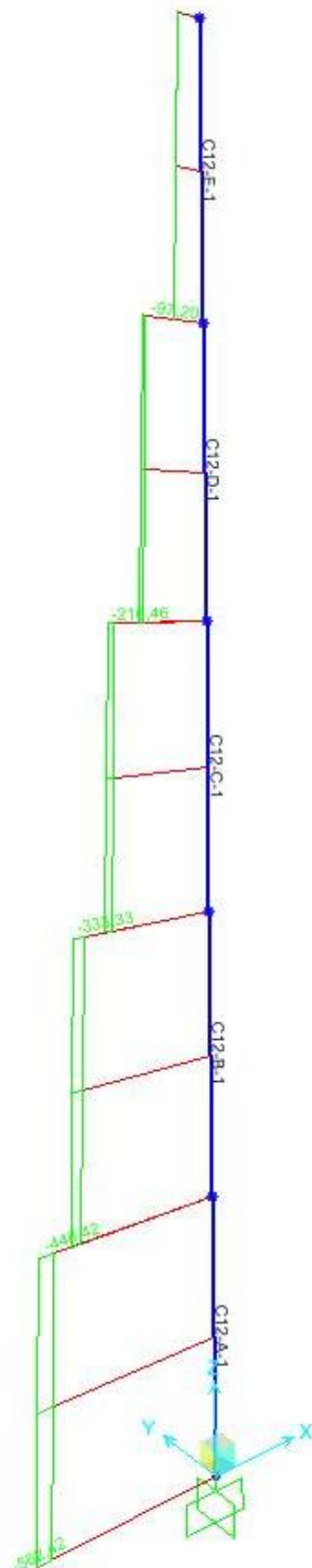
Σχ.Π.5.Α.45 Διαγράμματα ροπών κάμψης κατά γ υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΥ



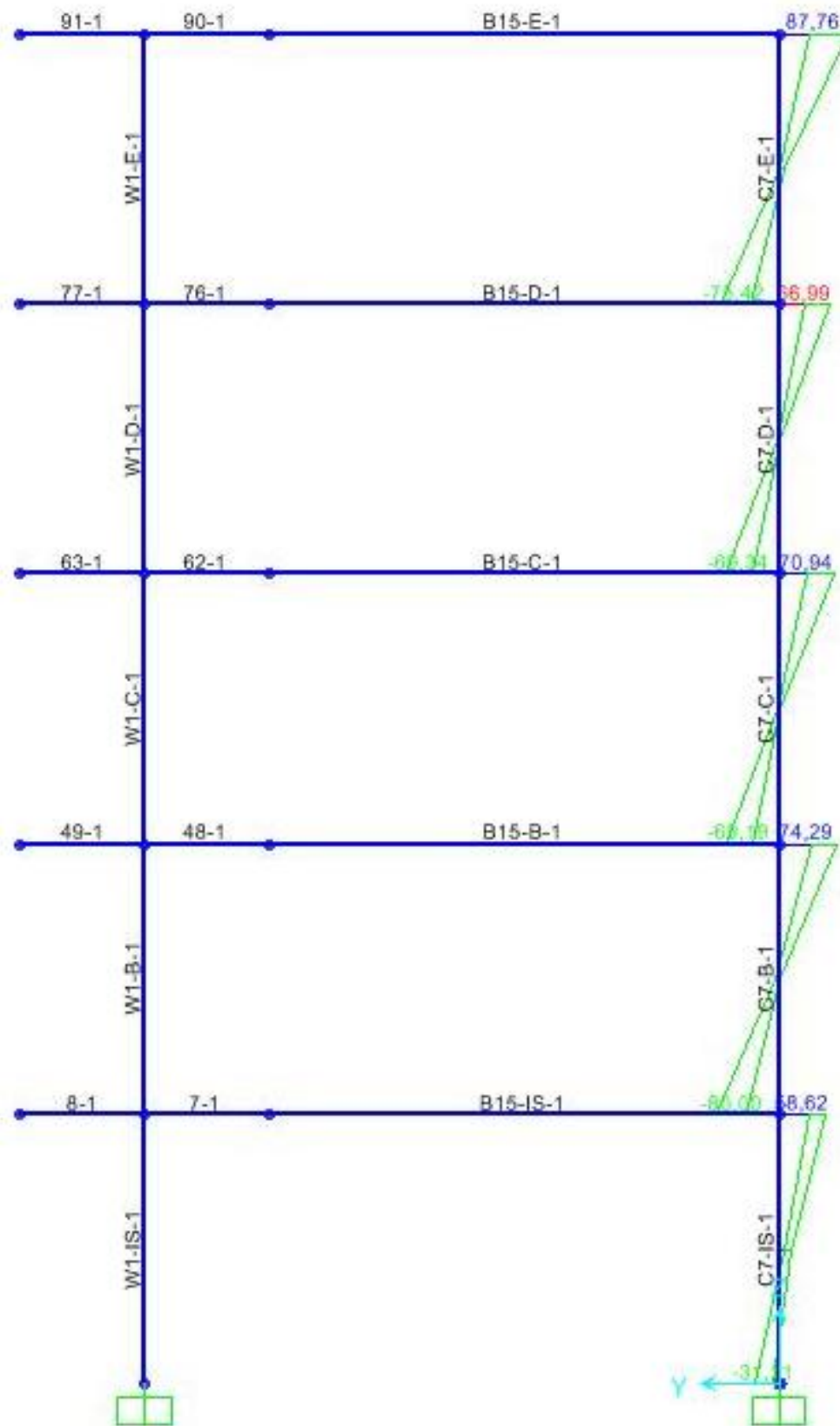
Σχ.Π.5.Α.46 Διαγράμματα ροπών κάμψης κατά x υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΥ



Σχ.Π.5.Α.47 Διαγράμματα αξονικών δυνάμεων υποστυλωμάτων C1 και C6 πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΥ

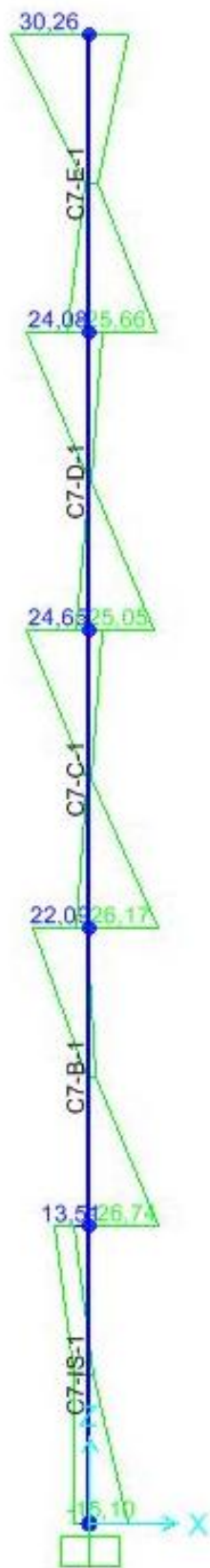


Σχ.Π.5.Α.48 Διάγραμμα αξονικής δύναμης υποστυλώματος C12 πλαισιακού κτηρίου για KIIY

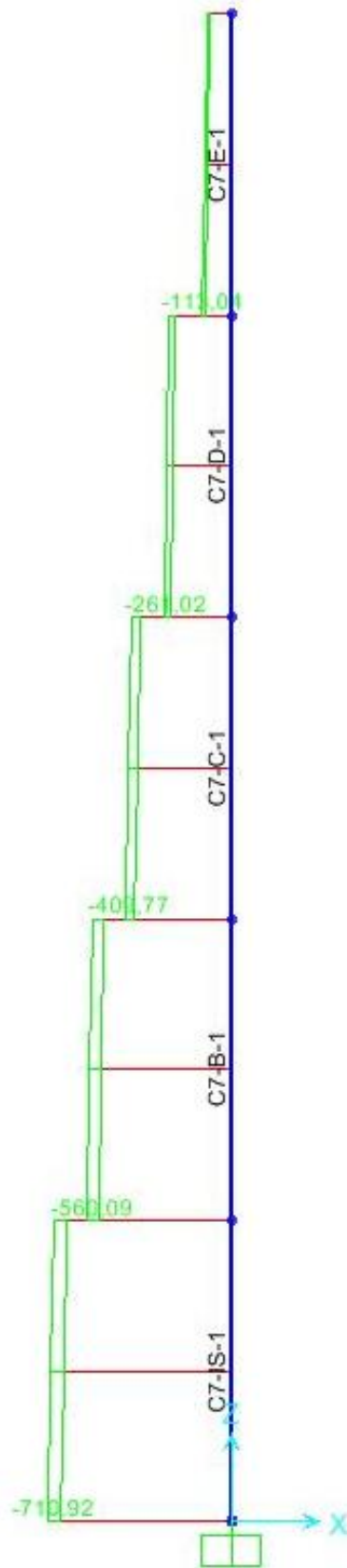


Σχ.Π.5.Α.49 Διάγραμμα ροπών κάμψης κατά  $y$  υποστυλώματος C7 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΥ

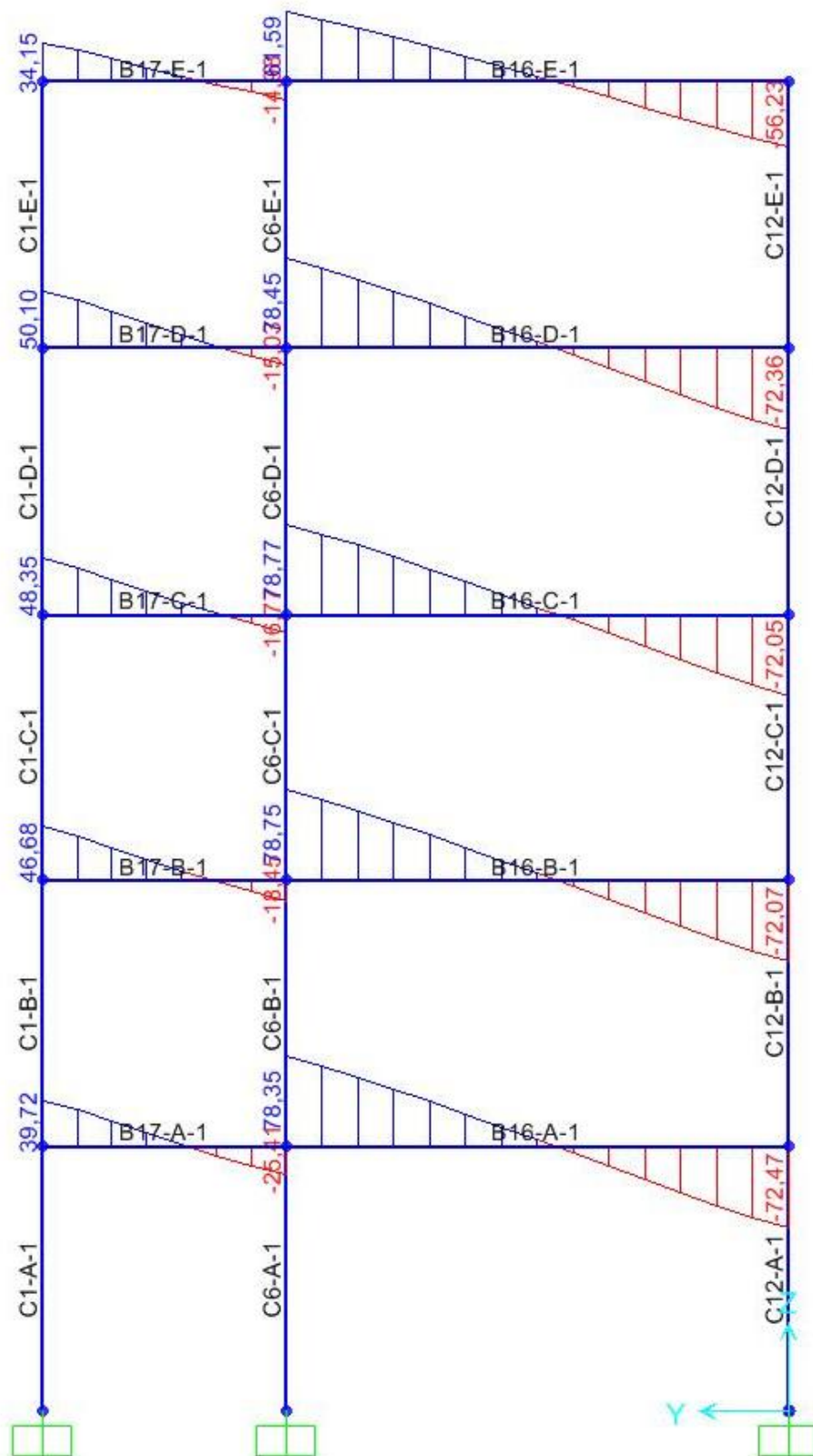




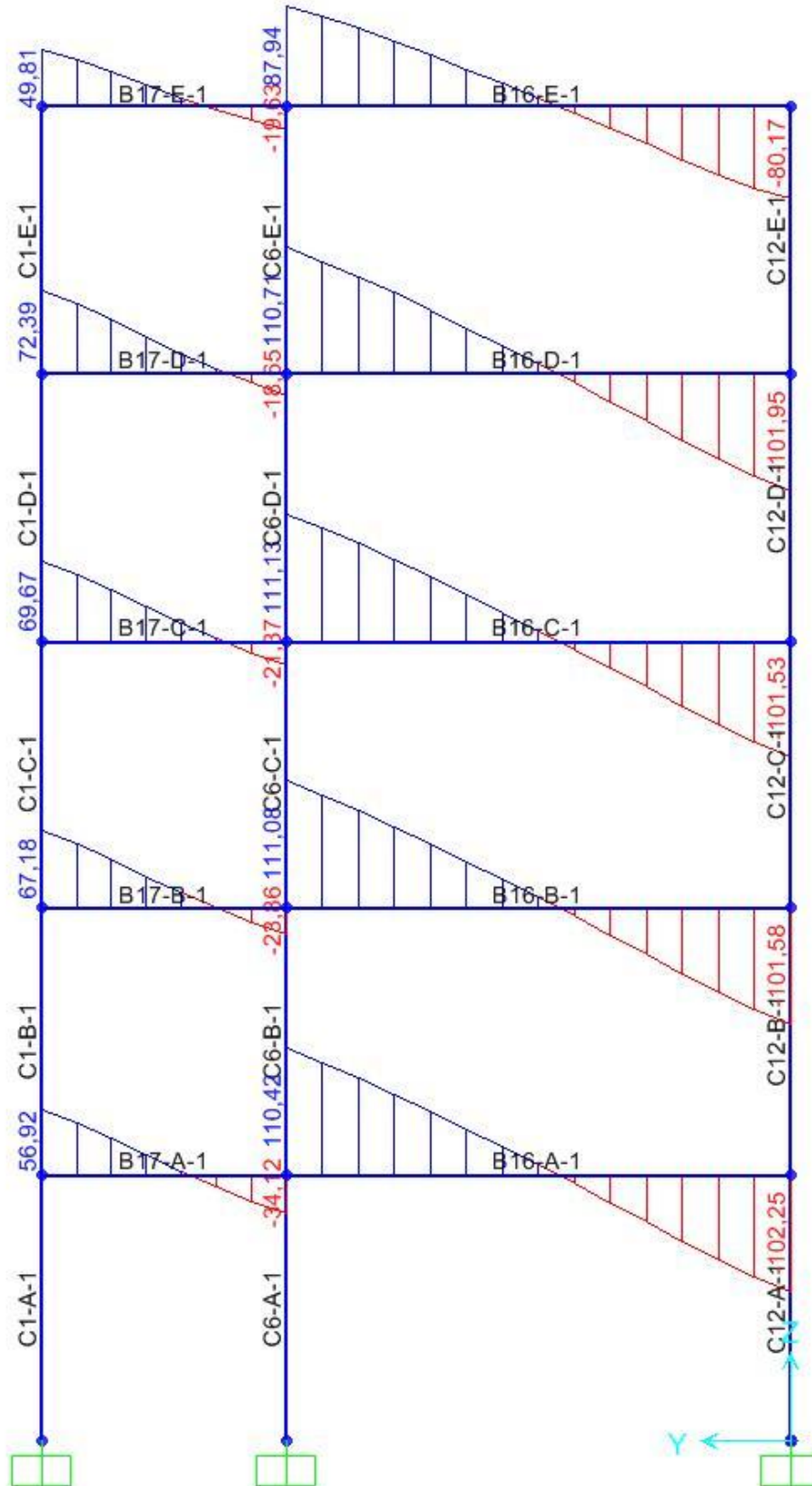
Σχ.Π.5.Α.50 Διάγραμμα ροπών κάμψης κατά x υποστυλώματος C7 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΥ



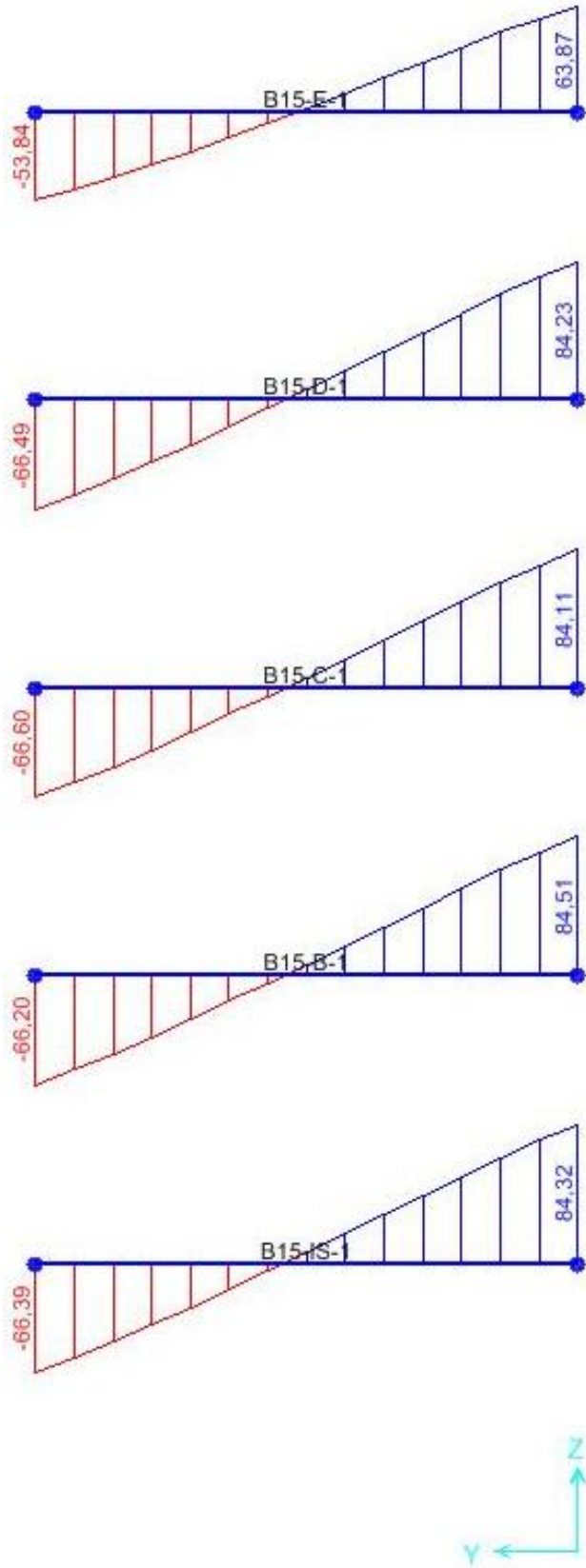
Σχ.Π.5.A.51 Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων υποστυλώματος C7 τοιχωματικού κτηρίου για KIIY



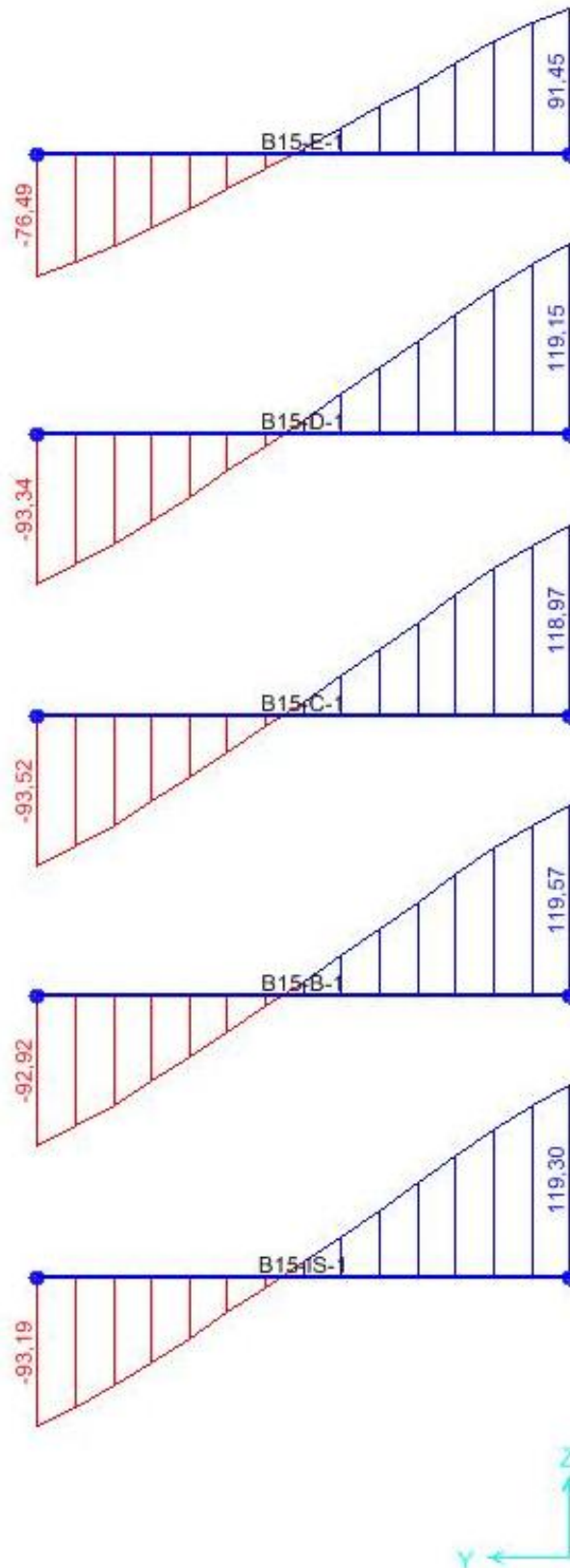
Σχ.Π.5.Α.52 Διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων δοκών για G+0,3Q πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΥ



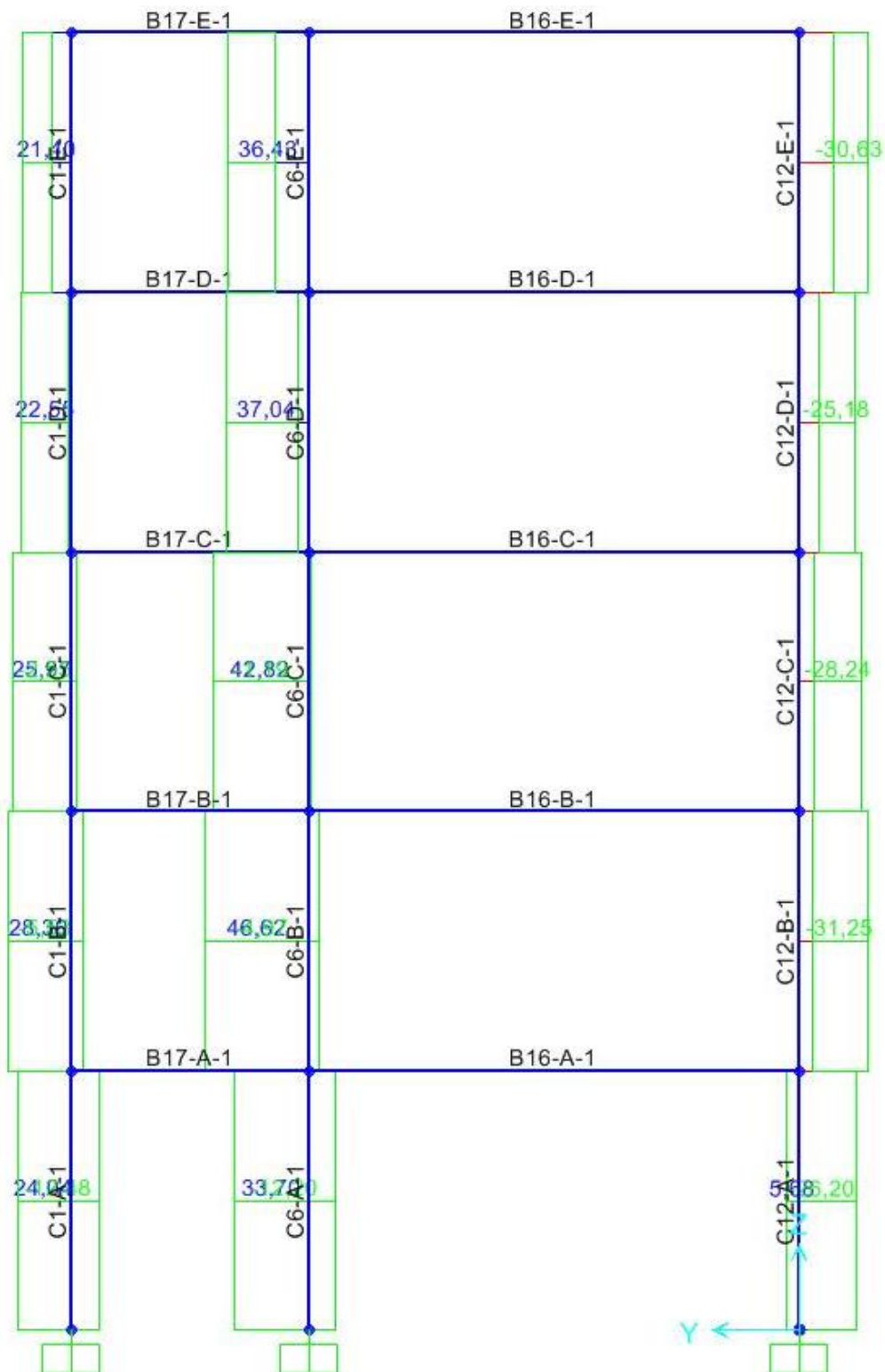
Σχ.Π.5.A.53 Διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων δοκών για 1,35G+1,50Q πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΥ



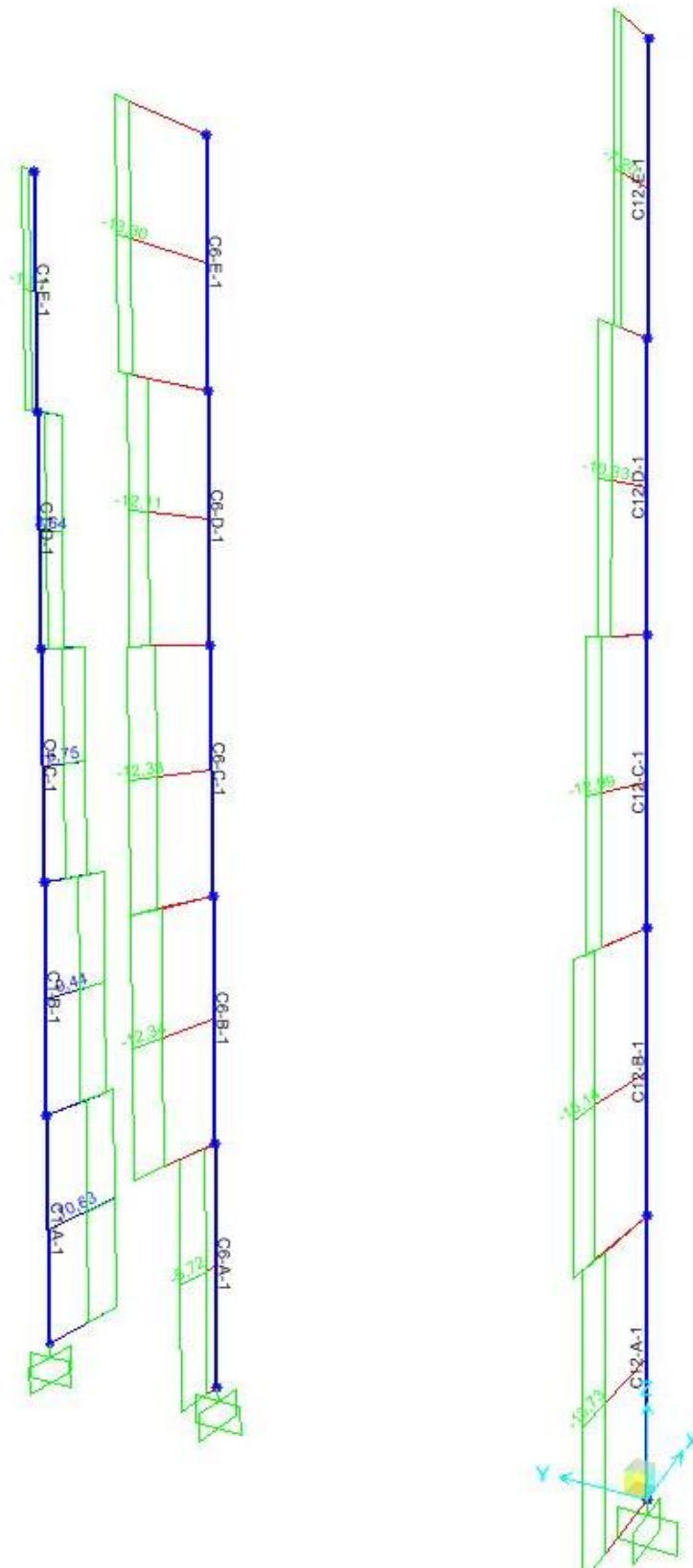
Σχ.Π.5.Α.54 Διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων δοκών για  $G+0,3Q$  τοιχωματικού κτηρίου για ΚΙΠΥ



Σχ.Π.5.Α.55 Διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων δοκών για 1,35G+1,5Q τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΥ

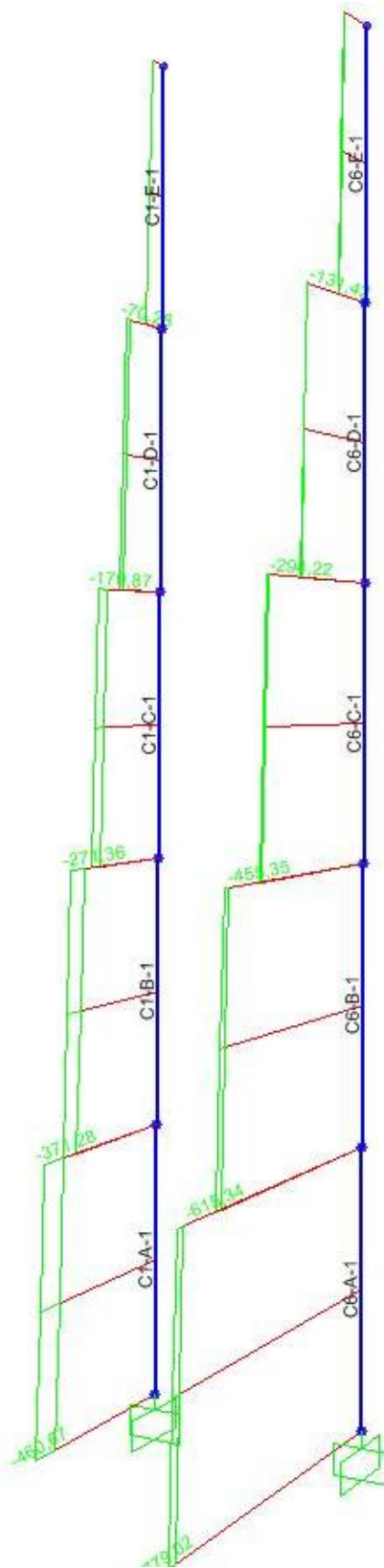


Σχ.Π.5.Α.56 Περιβάλλουσες τεμνουσών δυνάμεων υποστυλωμάτων κατά γ πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΥ

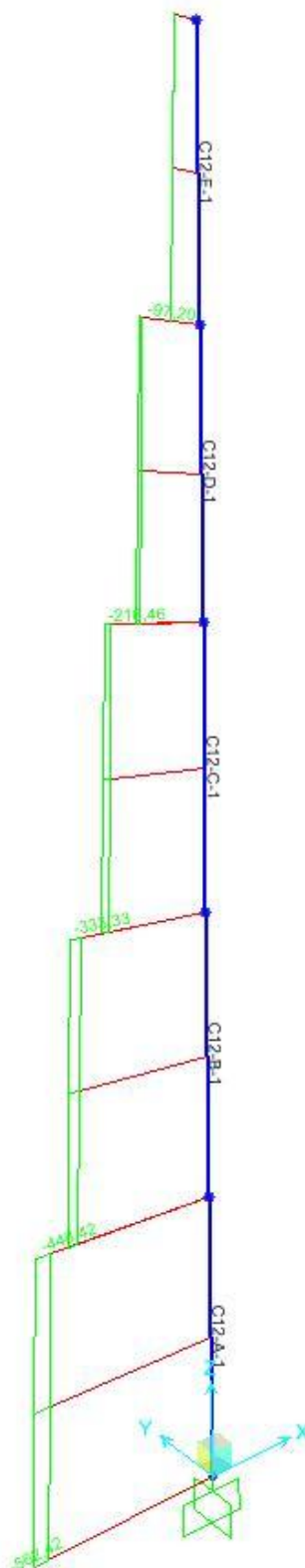


Σχ.Π.5.Α.57 Περιβάλλουσες τεμνουσών δυνάμεων υποστυλωμάτων κατά x πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΥ

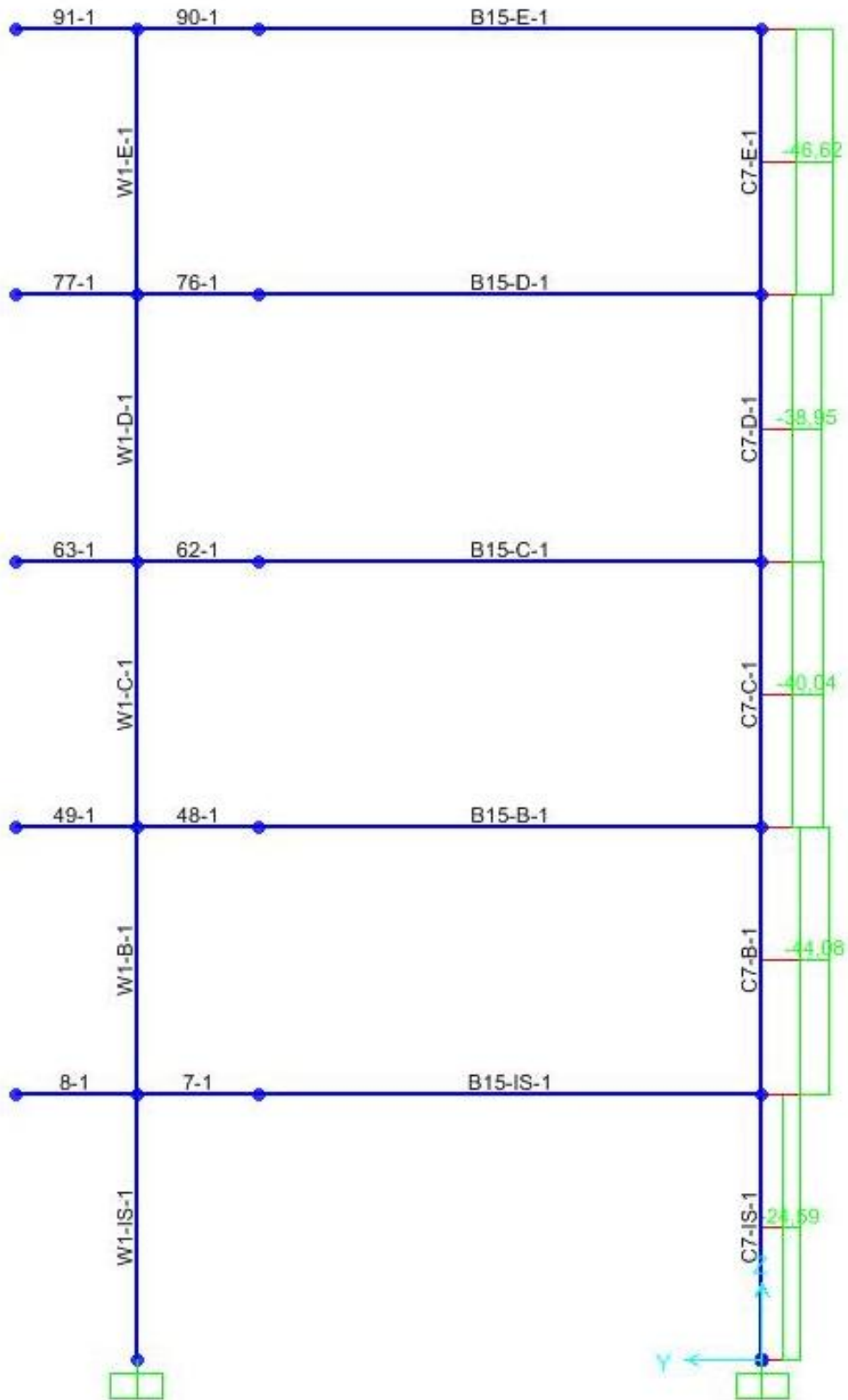




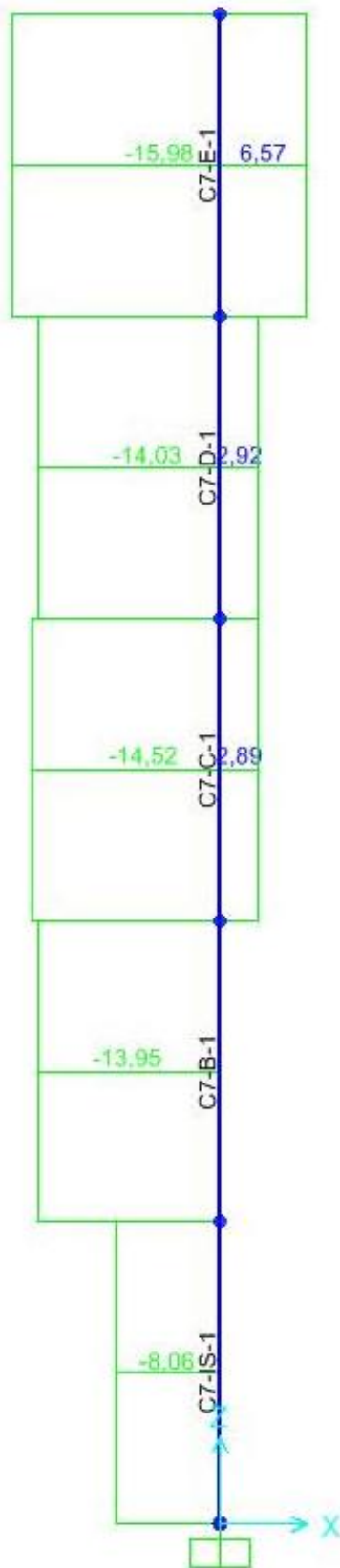
Σχ.Π.5.Α.58 Διαγράμματα αξονικών δυνάμεων υποστυλωμάτων C1 και C6 πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΥ



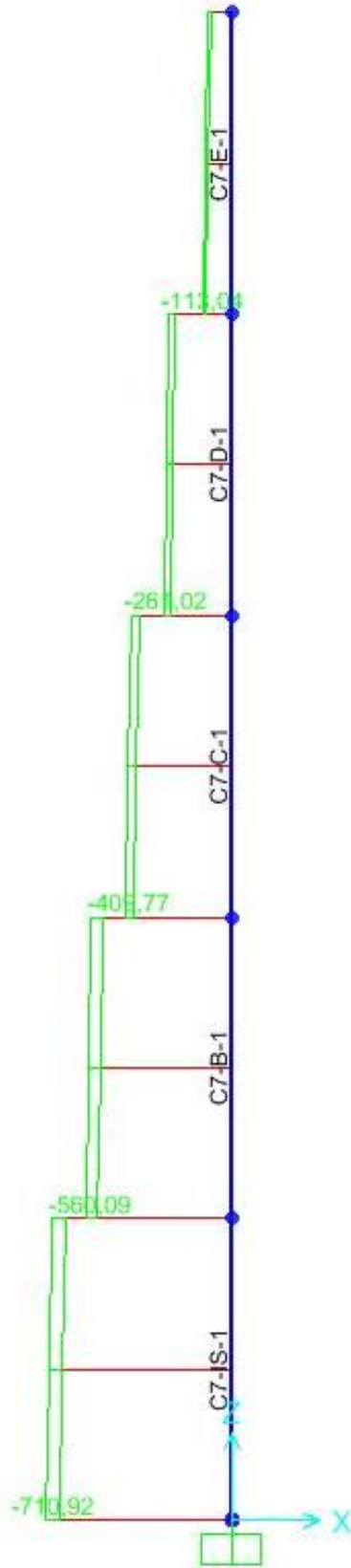
Σχ.Π.5.A.59 Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων υποστύλωματος C12 πλαισιακού κτηρίου για KPIY



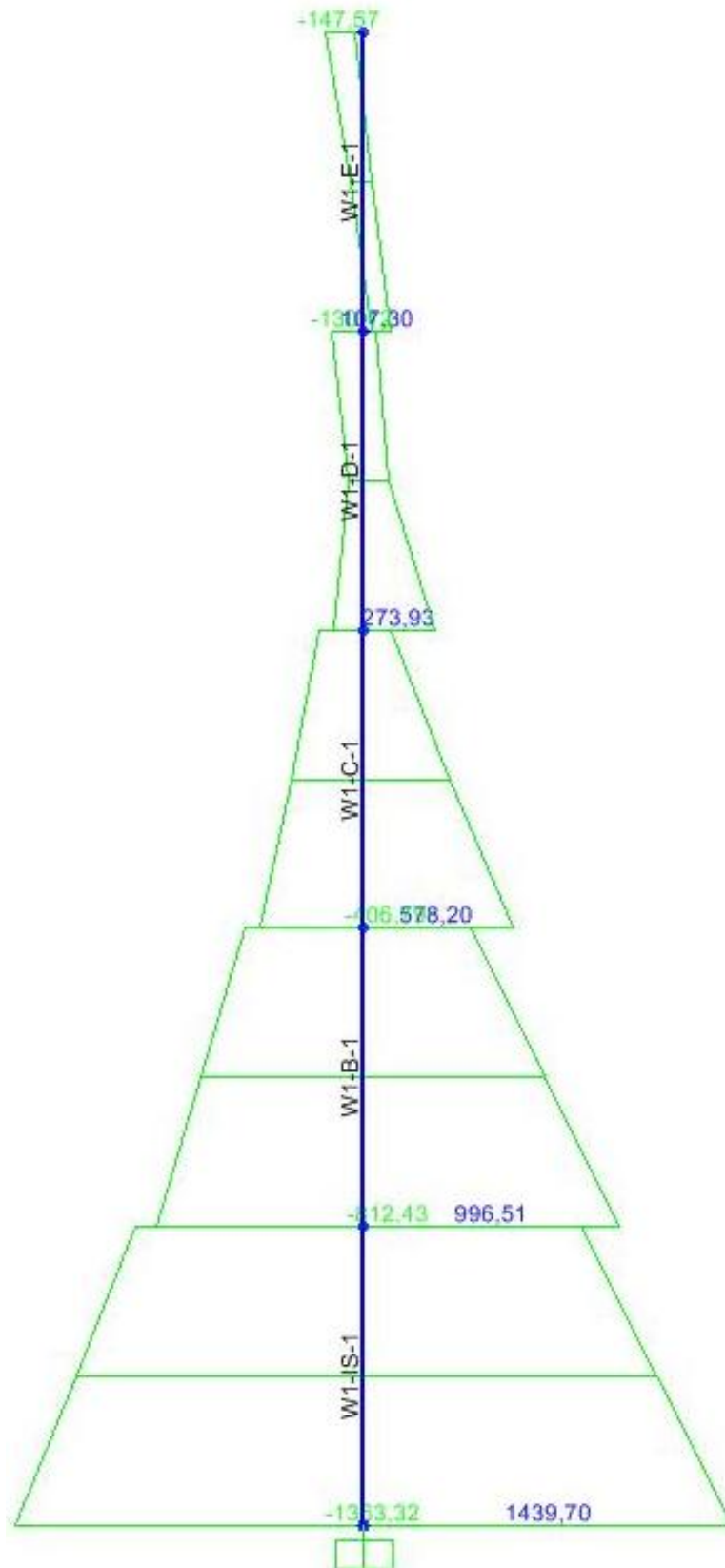
Σχ.Π.5.Α.60 Περιβάλλουσα τεμνουσών δυνάμεων κατά γ υποστύλωματος C7 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΥ



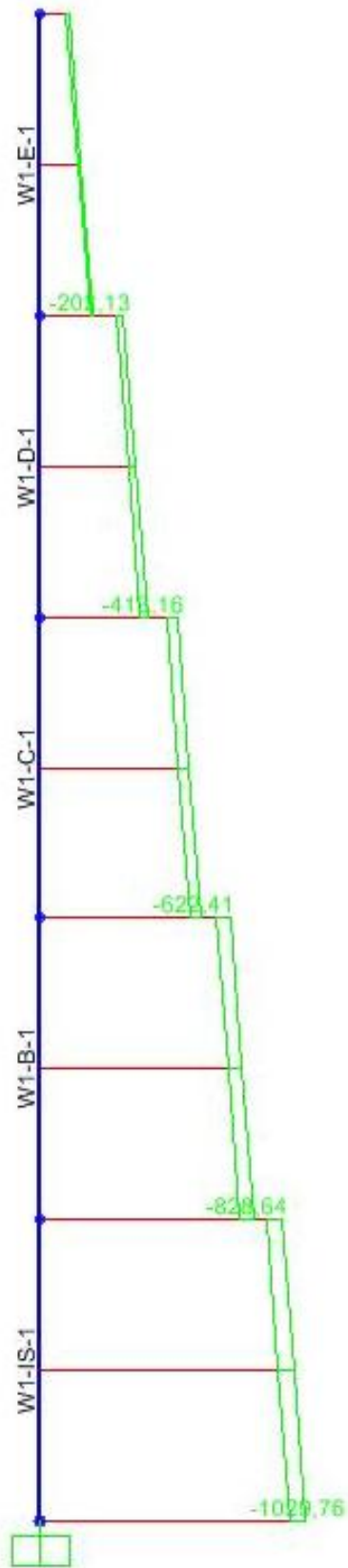
Σχ.Π.5.Α.61 Περιβάλλουσα τεμνουσών δυνάμεων κατά x υποστυλώματος C7 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΥ



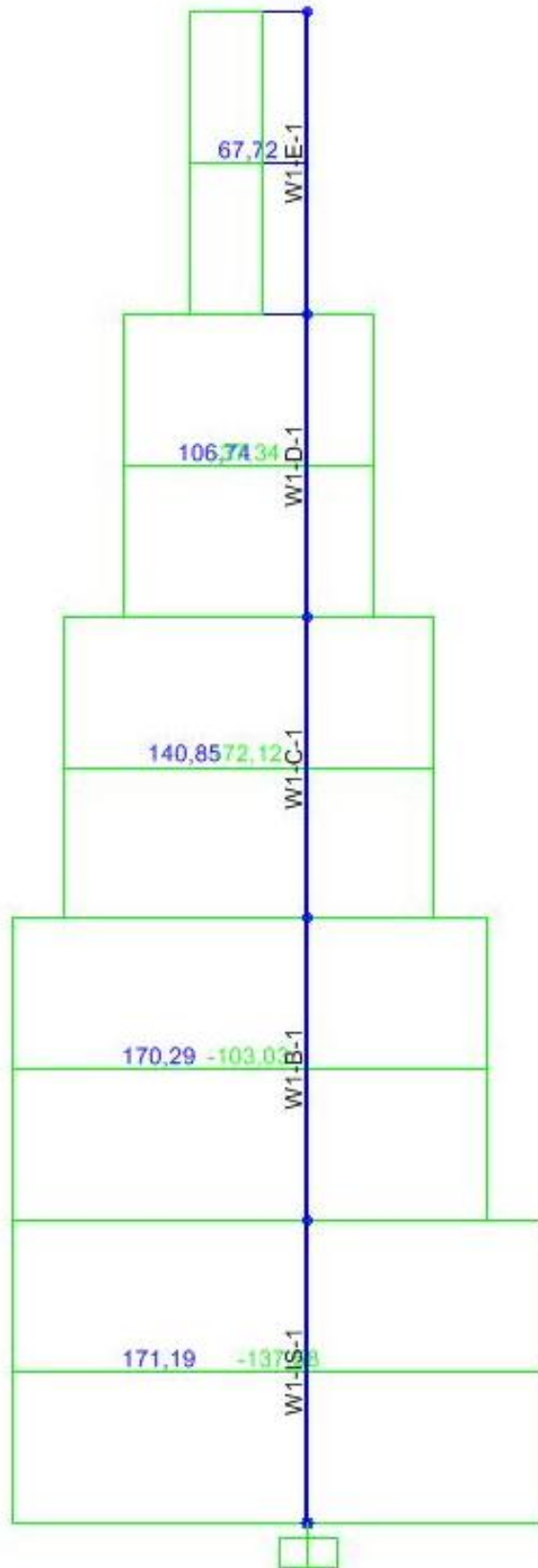
Σχ.Π.5.Α.62 Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων τοιχώματος W1 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΥ



Σχ.Π.5.Α.63 Διάγραμμα ροπών κάμψης τοιχώματος W1 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΥ



Σχ.Π.5.Α.64 Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων τοιχώματος W1 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΥ



Σχ.Π.5.Α.65 Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων τοιχώματος W1 τοιχωματικού κτηρίου για ΚΙΙΥ



## **8.2 Παράρτημα Β**

**(πίνακες διαστασιολόγησης στο Excel)**

Πίνακας Π.5.Β.1 Διαστασιολόγηση δοκών πλασιακής κατασκευής έναντι κάμψης για ΚΠΧ

Στοιχείο	Σημείο ελέγχου χ (m)	b <sub>eff</sub> (m)	b <sub>w</sub> (m)	d (m)	A <sub>smin</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>smax</sub> (cm <sup>2</sup> )	f <sub>yd</sub> (MPa)	f <sub>cd</sub> (MPa)	Αποτελέσματα SAP2000		Κάτω		
									maxM (KNm)	minM (KNm)	μ <sub>sd</sub>	ω	A <sub>s,απαιτ</sub> (cm <sup>2</sup> )
B17-E	0	0,84	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	37,00	-42,32	0,0103	0,0103	1,56
B17-E	1,6	0,84	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	9,42	-3,36	0,0026	0,0026	0,39
B17-E	3,2	0,84	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	16,45	-80,21	0,0046	0,0046	0,69
B16-E	0	1,08	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	-8,06	-80,93	0,0000	0,0000	0,00
B16-E	3,3	1,08	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	45,13	29,17	0,0098	0,0098	1,90
B16-E	6,6	1,08	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	-39,24	-105,17	0,0000	0,0000	0,00
B17-D	0	0,84	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	103,30	-89,12	0,0287	0,0291	4,38
B17-D	1,6	0,84	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	20,84	-8,00	0,0058	0,0058	0,87
B17-D	3,2	0,84	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	57,99	-153,14	0,0161	0,0162	2,44
B16-D	0	1,08	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	8,41	-140,38	0,0018	0,0018	0,35
B16-D	3,3	1,08	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	52,17	33,14	0,0113	0,0113	2,19
B16-D	6,6	1,08	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	-27,27	-162,00	0,0000	0,0000	0,00
B17-C	0	0,84	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	151,96	-143,95	0,0422	0,0431	6,49
B17-C	1,6	0,84	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	28,36	-16,10	0,0079	0,0079	1,19
B17-C	3,2	0,84	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	118,06	-208,21	0,0328	0,0334	5,02
B16-C	0	1,08	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	45,40	-174,26	0,0098	0,0099	1,91
B16-C	3,3	1,08	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	54,95	32,91	0,0119	0,0119	2,31
B16-C	6,6	1,08	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	3,11	-193,41	0,0007	0,0007	0,13
B17-B	0	0,84	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	185,68	-182,84	0,0516	0,0530	7,98
B17-B	1,6	0,84	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	33,82	-21,39	0,0094	0,0094	1,42
B17-B	3,2	0,84	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	159,81	-244,44	0,0444	0,0454	6,84
B16-B	0	1,08	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	68,01	-197,80	0,0147	0,0148	2,87
B16-B	3,3	1,08	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	55,83	32,30	0,0121	0,0121	2,35
B16-B	6,6	1,08	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	23,31	-214,27	0,0050	0,0051	0,98
B17-A	0	0,84	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	167,14	-187,13	0,0464	0,0476	7,16
B17-A	1,6	0,84	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	32,68	-20,80	0,0091	0,0091	1,37
B17-A	3,2	0,84	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	165,69	-228,58	0,0460	0,0471	7,10
B16-A	0	1,08	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	62,83	-193,80	0,0136	0,0137	2,65
B16-A	3,3	1,08	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	57,45	32,57	0,0124	0,0125	2,42
B16-A	6,6	1,08	0,30	0,55	2,23	72,00	434,78	14,17	19,00	-205,86	0,0041	0,0041	0,80

Πίνακας Π.5.Β.1 Διαστασιολόγηση δοκών πλασιακής κατασκευής έναντι κάμψης για ΚΠΧ

Πάνω				Τοποθετούμενος κάτω (cm <sup>2</sup> )	Τοποθετούμενος πάνω (cm <sup>2</sup> )	Έλεγχος μεγίστου ποσοστού οπλισμού (κάτω)	Έλεγχος μεγίστου ποσοστού οπλισμού (πάνω)	Τοποθετούμενος κάτω (φ10)		Τοποθετούμενος πάνω (φ12)	
Στοιχείο	μ <sub>sd</sub>	ω	A <sub>s,απαιτ</sub> (cm <sup>2</sup> )								
B17-E	0,0329	0,0335	1,80	2,23	2,23	TRUE	TRUE	2	(φ14)	2	(φ14)
B17-E	0,0026	0,0026	0,14	2,23	2,23	TRUE	TRUE	2	(φ14)	2	(φ14)
B17-E	0,0624	0,0645	3,47	2,23	3,47	TRUE	TRUE	2	(φ14)	3	(φ14)
B16-E	0,0630	0,0651	3,50	2,23	3,50	TRUE	TRUE	2	(φ14)	3	(φ14)
B16-E	0,0000	0,0000	0,00	2,23	2,23	TRUE	TRUE	2	(φ14)	2	(φ14)
B16-E	0,0818	0,0855	4,59	2,23	4,59	TRUE	TRUE	2	(φ14)	3	(φ14)
B17-D	0,0693	0,0719	3,87	4,38	3,87	TRUE	TRUE	3	(φ14)	3	(φ14)
B17-D	0,0062	0,0062	0,34	2,23	2,23	TRUE	TRUE	2	(φ14)	2	(φ14)
B17-D	0,1191	0,1272	6,84	2,44	6,84	TRUE	TRUE	2	(φ14)	5	(φ14)
B16-D	0,1092	0,1159	6,23	2,23	6,23	TRUE	TRUE	2	(φ14)	5	(φ14)
B16-D	0,0000	0,0000	0,00	2,23	2,23	TRUE	TRUE	2	(φ14)	2	(φ14)
B16-D	0,1260	0,1351	7,27	2,23	7,27	TRUE	TRUE	2	(φ14)	5	(φ14)
B17-C	0,1120	0,1191	6,40	6,49	6,40	TRUE	TRUE	5	(φ14)	5	(φ14)
B17-C	0,0125	0,0126	0,68	2,23	2,23	TRUE	TRUE	2	(φ14)	2	(φ14)
B17-C	0,1619	0,1777	9,56	5,02	9,56	TRUE	TRUE	4	(φ14)	7	(φ14)
B16-C	0,1355	0,1462	7,86	2,23	7,86	TRUE	TRUE	2	(φ14)	6	(φ14)
B16-C	0,0000	0,0000	0,00	2,31	2,23	TRUE	TRUE	2	(φ14)	2	(φ14)
B16-C	0,1504	0,1639	8,81	2,23	8,81	TRUE	TRUE	2	(φ14)	6	(φ14)
B17-B	0,1422	0,1541	8,28	7,98	8,28	TRUE	TRUE	4	(φ16)	5	(φ16)
B17-B	0,0166	0,0168	0,90	2,23	2,23	TRUE	TRUE	2	(φ16)	2	(φ16)
B17-B	0,1901	0,2128	11,44	6,84	11,44	TRUE	TRUE	4	(φ16)	6	(φ16)
B16-B	0,1538	0,1680	9,03	2,87	9,03	TRUE	TRUE	2	(φ16)	5	(φ16)
B16-B	0,0000	0,0000	0,00	2,35	2,23	TRUE	TRUE	2	(φ16)	2	(φ16)
B16-B	0,1667	0,1835	9,87	2,23	9,87	TRUE	TRUE	2	(φ16)	5	(φ16)
B17-A	0,1455	0,1580	8,50	7,16	8,50	TRUE	TRUE	4	(φ16)	5	(φ16)
B17-A	0,0162	0,0163	0,88	2,23	2,23	TRUE	TRUE	2	(φ16)	2	(φ16)
B17-A	0,1778	0,1972	10,60	7,10	10,60	TRUE	TRUE	4	(φ16)	6	(φ16)
B16-A	0,1507	0,1642	8,83	2,65	8,83	TRUE	TRUE	2	(φ16)	5	(φ16)
B16-A	0,0000	0,0000	0,00	2,42	2,23	TRUE	TRUE	2	(φ16)	2	(φ16)
B16-A	0,1601	0,1755	9,44	2,23	9,44	TRUE	TRUE	2	(φ16)	5	(φ16)

Πίνακας Π.5.Β.2 Διαστασιολόγηση δοκών τοιχωματικού κτηρίου έναντι κάμψης για ΚΠΧ

Δοκος	b <sub>w</sub> (m)	b <sub>eff</sub> (m)	d (m)	f <sub>yd</sub> (Μpa)	f <sub>cd</sub> (Μpa)	Αποτελεσματα SAP			A <sub>s,min</sub> (cm <sup>2</sup> )
						M <sub>αp</sub> (kNm)	M <sub>μεσο</sub> (kNm)	M <sub>δεξ</sub> (kNm)	
B14-E	0,30	1,08	0,55	434,78	14,17	-66,83	70,86	-97,91	2,23
B14-D	0,30	1,08	0,55	434,78	14,17	-76,02	83,01	-139,07	2,23
B14-C	0,30	1,08	0,55	434,78	14,17	-74,84	83,48	-135,94	2,23
B14-B	0,30	1,08	0,55	434,78	14,17	-70,00	83,11	-137,16	2,23
B14-IS	0,30	1,08	0,55	434,78	14,17	-62,87	84,56	-134,72	2,23

Δοκος	Απαιτούμενος οπλισμός								
	ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΑΝΩ			ΚΕΝΤΡΟ ΚΑΤΩ			ΔΕΞΙΑ ΑΝΩ		
	μ <sub>sd</sub>	ω	A <sub>s,απ</sub> (cm <sup>2</sup> )	μ <sub>sd</sub>	ω	A <sub>s,απ</sub> (cm <sup>2</sup> )	μ <sub>sd</sub>	ω	A <sub>s,απ</sub> (cm <sup>2</sup> )
B14-E	0,052	0,053	2,87	0,015	0,015	2,99	0,076	0,079	4,26
B14-D	0,059	0,061	3,28	0,018	0,018	3,50	0,108	0,115	6,17
B14-C	0,058	0,060	3,23	0,018	0,018	3,52	0,106	0,112	6,02
B14-B	0,054	0,056	3,01	0,018	0,018	3,51	0,107	0,113	6,08
B14-IS	0,049	0,050	2,70	0,018	0,018	3,57	0,105	0,111	5,96

Δοκος	Τελική απαίτηση οπλισμού			Τοποθετούμενες ράβδοι οπλισμού			Τοποθετούμενος οπλισμός		
	ΑΡ. ΑΝΩ	ΚΕΝ. ΚΑΤΩ	ΔΕΞ. ΑΝΩ	ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΑΝΩ	ΚΕΝΤΡΟ ΚΑΤΩ	ΔΕΞΙΑ ΑΝΩ	ΑΡ. ΑΝΩ	ΚΕΝ. ΚΑΤΩ	ΔΕΞ. ΑΝΩ
	A <sub>s,τελ</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,τελ</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,τελ</sub> (cm <sup>2</sup> )				A <sub>s,τοπ</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,τοπ</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,τοπ</sub> (cm <sup>2</sup> )
B14-E	2,87	2,99	4,26	2 φ14	2 φ14	3 φ14	3,08	3,08	4,62
B14-D	3,28	3,50	6,17	3 φ14	3 φ14	5 φ14	4,62	4,62	7,7
B14-C	3,23	3,52	6,02	3 φ14	3 φ14	4 φ14	4,62	4,62	6,16
B14-B	3,01	3,51	6,08	2 φ14	3 φ14	4 φ14	3,08	4,62	6,16
B14-IS	2,70	3,57	5,96	2 φ14	3 φ14	4 φ14	3,08	4,62	6,16

Πίνακας Π.5.Β.3 Διαστασιολόγηση δοκών πλαισιακού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΧ

Μέλος	L <sub>παρ</sub> (m)	b <sub>w</sub> (m)	h (m)	d (m)	Αποτελέσματα SAP2000			f <sub>ywk</sub> (MPa)	f <sub>ywd</sub> (MPa)	f <sub>ck</sub> (MPa)	f <sub>cd</sub> (MPa)	N <sub>Ed</sub> (kN)	σ <sub>cd</sub>	k	A <sub>sl</sub> (cm <sup>2</sup> )
					V <sub>Ed</sub> (kN)	V <sub>Ed,x=0</sub> (kN)	V <sub>Ed,x=d</sub> (kN)								
B17-E	2,70	0,3	0,6	0,55	61,64	58,29	48,90	500	434,78	25	14,17	0	0,00	1,6030	3,0800
B16-E	6,10	0,3	0,6	0,55	87,94	83,13	71,60	500	434,78	25	14,17	0	0,00	1,6030	3,0800
B17-D	2,70	0,3	0,6	0,55	113,16	108,55	97,36	500	434,78	25	14,17	0	0,00	1,6030	4,6200
B16-D	6,10	0,3	0,6	0,55	110,71	104,22	88,90	500	434,78	25	14,17	0	0,00	1,6030	3,0800
B17-C	2,70	0,3	0,6	0,55	145,57	140,96	129,77	500	434,78	25	14,17	0	0,00	1,6030	7,7000
B16-C	6,10	0,3	0,6	0,55	111,13	105,92	94,38	500	434,78	25	14,17	0	0,00	1,6030	3,0800
B17-B	2,70	0,3	0,6	0,55	167,43	162,82	151,63	500	434,78	25	14,17	0	0,00	1,6030	8,0400
B16-B	6,10	0,3	0,6	0,55	116,88	112,11	100,96	500	434,78	25	14,17	0	0,00	1,6030	4,0200
B17-A	2,70	0,3	0,6	0,55	156,68	152,07	140,88	500	434,78	25	14,17	0	0,00	1,6030	8,0400
B16-A	6,10	0,3	0,6	0,55	114,82	110,05	98,90	500	434,78	25	14,17	0	0,00	1,6030	4,0200

Μέλος	ρ <sub>l</sub>	V <sub>Rdc</sub> (kN)	cotθα	θα	θ	cotθ	V <sub>Rdmax</sub> (kN)	Έλεγχος διατομής	Ελάχιστος οπλισμός						
									[A <sub>sw</sub> /s] <sub>min</sub> (mm)	[A <sub>sw</sub> /s] <sub>min</sub> (cm <sup>2</sup> /m)	s <sub>lmax</sub> (cm)	A <sub>sw</sub> (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	Φ8/s (mm)	
B17-E	0,00187	58,605													
B16-E	0,00187	58,605	6,61	8,60	21,80	2,50	460,84	TRUE	0,24	2,4	41,25	1,01	41,89	41	
B17-D	0,00280	60,716	3,19	17,41	21,80	2,50	460,84	TRUE	0,24	2,4	41,25	1,01	41,89	41	
B16-D	0,00187	58,605	3,52	15,85	21,80	2,50	460,84	TRUE	0,24	2,4	41,25	1,01	41,89	41	
B17-C	0,00467	71,987	2,70	20,36	21,80	2,50	460,84	TRUE	0,24	2,4	41,25	1,01	41,89	41	
B16-C	0,00187	58,605	3,17	17,53	21,80	2,50	460,84	TRUE	0,24	2,4	41,25	1,01	41,89	41	
B17-B	0,00487	73,031	2,32	23,36	23,36	2,50	486,53	TRUE	0,24	2,4	41,25	1,01	41,89	41	
B16-B	0,00244	58,605	2,86	19,27	21,80	2,50	460,84	TRUE	0,24	2,4	41,25	1,01	41,89	41	
B17-A	0,00487	73,031	2,49	21,87	21,87	2,50	461,97	TRUE	0,24	2,4	41,25	1,01	41,89	41	
B16-A	0,00244	58,605	2,95	18,75	21,80	2,50	460,84	TRUE	0,24	2,4	41,25	1,01	41,89	41	

Πίνακας Π.5.Β.3 Διαστασιολόγηση δοκών πλαίσιακού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΧ

Τοποθετούμενος σε απόσταση $x$ από το μέσο της δοκού						Κεντρικό τμήμα (2x)		Τμήματα παρειών (l-x)	
$V_{Rmin}$ (kN)	$x$	$A_{sw}/s$ (mm)	$A_{sw}/s$ (cm <sup>2</sup> /m)	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> )	$s$ (cm)	(cm)		(cm)	
						φ8/	41	φ8/	41
131,93	4,84	0,05	0,50	1,01	199,83	φ8/	41	φ8/	41
131,93	1,64	0,14	1,42	1,01	70,86	φ8/	41	φ8/	41
131,93	3,86	0,12	1,17	1,01	85,70	φ8/	41	φ8/	41
131,93	1,26	0,22	2,24	1,01	44,93	φ8/	41	φ8/	41
131,93	3,80	0,14	1,39	1,01	72,58	φ8/	41	φ8/	41
131,93	1,09	0,30	3,04	1,01	33,03	φ8/	41	φ8/	33
131,93	3,59	0,16	1,64	1,01	61,30	φ8/	41	φ8/	41
131,93	1,17	0,26	2,63	1,01	38,27	φ8/	41	φ8/	38
131,93	3,66	0,16	1,56	1,01	64,43	φ8/	41	φ8/	41

Πίνακας Π.5.Β.4 Διαστασιολόγηση δοκών τοιχωματικού κτηρίου εναντιμ διάτμησης για ΚΠΧ

Δοκός	$b_w$ (m)	h (m)	d (m)	$l_{cl}$ (m)	$V_{ed,στηρ}$ (kN)	$V_{ed,x=0}$ (kN)	$V_{ed,x=d}$ (kN)	$N_{ed}$ (kN)
B14-E	0,3	0,6	0,55	6,2	91,45	86,4	73,63	0
B14-D	0,3	0,6	0,55	6,2	119,16	112,41	95,87	0
B14-C	0,3	0,6	0,55	6,2	118,97	112,23	95,69	0
B14-B	0,3	0,6	0,55	6,2	119,57	112,82	96,28	0
B14-IS	0,3	0,6	0,55	6,2	119,3	112,56	96,02	0

Δοκός	$f_{yw,k}$ (Mpa)	$f_{ywd}$ (Mpa)	$f_{ck}$ (Mpa)	$f_{cd}$ (Mpa)	$\sigma_{cd}$	k	$A_{sl}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_l$
B14-E	500	434,78	25	14,17	0,00	1,6030	3,08	0,0019
B14-D	500	434,78	25	14,17	0,00	1,6030	4,62	0,0028
B14-C	500	434,78	25	14,17	0,00	1,6030	4,62	0,0028
B14-B	500	434,78	25	14,17	0,00	1,6030	4,62	0,0028
B14-IS	500	434,78	25	14,17	0,00	1,6030	4,62	0,0028

Δοκός	$V_{Rdc}$ (kN)	cot $\theta$	$\theta$	$\theta$	cot $\theta$	$V_{rd,max}$ (kN)	Έλεγχος
							διατομής
B14-E	58,60	5,88	9,65	21,80	2,50	460,84	TRUE
B14-D	60,72	3,27	16,99	21,80	2,50	460,84	TRUE
B14-C	60,72	3,28	16,94	21,80	2,50	460,84	TRUE
B14-B	60,72	3,25	17,11	21,80	2,50	460,84	TRUE
B14-IS	60,72	3,26	17,03	21,80	2,50	460,84	TRUE

Δοκός	Ελάχιστος οπλισμός						
	$[A_{sw}/s]_{min}$ (mm)	$[A_{sw}/s]_{min}$ (cm <sup>2</sup> /m)	$s_{lmax}$ (cm)	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> ) $\phi 8$	s (cm)	$\phi 8/s$ (cm)	$V_{rd,min}$ (kN)
B14-E	0,24	2,4	41,25	1,01	41,89	41	131,93
B14-D	0,24	2,4	41,25	1,01	41,89	41	131,93
B14-C	0,24	2,4	41,25	1,01	41,89	41	131,93
B14-B	0,24	2,4	41,25	1,01	41,89	41	131,93
B14-IS	0,24	2,4	41,25	1,01	41,89	41	131,93

Δοκός	Τοποθετούμενος σε x εκατέρωθεν του κέντρου της δοκού					Σημείωση:
	x (m)	$A_{sw}/s$ (mm)	$A_{sw}/s$ (cm <sup>2</sup> /m)	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> ) $\phi 8$	s (cm)	
B14-E	4,73	0,058	0,582	1,01	172,80	Παρατηρείται πως στην περιπτώσή μας $V_{rd,min} > V_{ed,x=d}$ συνεπώς οι στηλες αυτές δε χρησιμοποιούνται. Τοποθετείται παντού ο ελάχιστος.
B14-D	3,64	0,136	1,361	1,01	73,86	
B14-C	3,64	0,135	1,354	1,01	74,24	
B14-B	3,63	0,138	1,377	1,01	73,00	
B14-IS	3,63	0,137	1,367	1,01	73,54	

Δοκός	Τοποθετούμενος Οπλισμός	
	κεντρικό τμήμα (2x)	τμήματα παρείων (l-x)
	(cm)	(cm)
B14-E	$\phi 8/ 41$	$\phi 8/ 41$
B14-D	$\phi 8/ 41$	$\phi 8/ 41$
B14-C	$\phi 8/ 41$	$\phi 8/ 41$
B14-B	$\phi 8/ 41$	$\phi 8/ 41$
B14-IS	$\phi 8/ 41$	$\phi 8/ 41$

Πίνακας Π.5.Β.5 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης-θλίψης για ΚΠΧ

Υποσύλωμα	b (m)	h (m)	f <sub>cd</sub> (MPa)	f <sub>ck</sub> (MPa)	h <sub>clear</sub> (m)	Αξονική	Ροπή πάνω		Ροπή κάτω		M <sub>Edx</sub> (KNm)	M <sub>Edy</sub> (KNm)
						N <sub>Ed</sub> (KN)	M <sub>x</sub> (KNm)	M <sub>y</sub> (KNm)	M <sub>x</sub> (KNm)	M <sub>y</sub> (KNm)		
C1-A	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-592,09	-50,07	-85,86	102,39	182,99	102,39	182,99
C6-A	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-689,01	24,33	-140,65	31,25	209,27	31,25	209,27
C12-A	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-524,47	-50,52	87,34	100,86	-165,76	100,86	165,76
C1-B	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-465,57	-72,77	-132,50	76,68	137,57	76,68	137,57
C6-B	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-552,75	32,43	-207,72	-31,82	215,91	32,43	215,91
C12-B	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-425,41	-68,76	117,62	70,55	-118,84	70,55	118,84
C1-C	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-329,03	-64,73	-125,90	56,25	109,32	64,73	125,90
C6-C	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-419,99	30,32	-192,94	-32,89	179,12	32,89	192,94
C12-C	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-324,31	-60,83	113,61	52,29	-93,68	60,83	113,61
C1-D	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-199,03	-48,28	79,87	34,78	-105,41	48,28	105,41
C6-D	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-279,68	26,81	-156,16	-32,00	137,53	32,00	156,16
C12-D	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-216,38	-45,14	98,38	31,65	-71,64	45,14	98,38
C1-E	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-79,02	-22,66	-73,83	9,99	45,89	22,66	73,83
C6-E	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-128,45	29,83	-122,14	-32,52	91,54	32,52	122,14
C12-E	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-99,67	-18,15	81,94	7,15	-49,20	18,15	81,94

Υποσύλωμα	F	l <sub>o</sub> (m)	λ	e <sub>i</sub> (mm)	M <sub>01x</sub> (KNm)	M <sub>02x</sub> (KNm)	M <sub>01y</sub> (KNm)	M <sub>02y</sub> (KNm)	λ <sub>lim x</sub>	λ <sub>lim y</sub>	A	B	C <sub>x</sub>
C1-A	0,75	2,18	2,60	96,67	107,31	159,63	143,09	240,23	89,36	86,48	0,70	1,10	2,37
C6-A	0,75	2,18	2,60	96,67	90,94	97,85	207,25	275,87	91,81	85,60	0,70	1,10	2,63
C12-A	0,75	2,18	2,60	96,67	101,22	151,56	138,03	216,46	94,77	93,56	0,70	1,10	2,37
C1-B	0,75	2,18	2,60	96,67	117,77	121,68	177,50	182,58	113,33	113,51	0,70	1,10	2,67
C6-B	0,75	2,18	2,60	96,67	85,25	85,86	261,16	269,34	104,99	104,08	0,70	1,10	2,69
C12-B	0,75	2,18	2,60	96,67	109,88	111,67	158,75	159,96	119,28	119,65	0,70	1,10	2,68
C1-C	0,75	2,18	2,60	96,67	88,06	96,53	141,12	157,71	132,00	131,12	0,70	1,10	2,61
C6-C	0,75	2,18	2,60	96,67	70,92	73,49	219,72	233,54	119,20	118,11	0,70	1,10	2,67
C12-C	0,75	2,18	2,60	96,67	83,64	92,18	125,03	144,96	132,71	130,42	0,70	1,10	2,61
C1-D	0,75	2,18	2,60	96,67	54,02	67,52	99,11	124,65	162,43	162,11	0,70	1,10	2,50
C6-D	0,75	2,18	2,60	96,67	53,84	59,04	164,57	183,20	143,16	142,41	0,70	1,10	2,61
C12-D	0,75	2,18	2,60	96,67	52,57	66,05	92,56	119,30	155,52	154,27	0,70	1,10	2,50
C1-E	0,75	2,18	2,60	96,67	17,63	30,30	53,53	81,47	235,30	243,04	0,70	1,10	2,28
C6-E	0,75	2,18	2,60	96,67	42,25	44,94	103,96	134,56	213,52	199,97	0,70	1,10	2,64
C12-E	0,75	2,18	2,60	96,67	16,78	27,78	58,83	91,57	211,54	215,07	0,70	1,10	2,30



**Πίνακας Π.5.Β.5 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης-θλίψης για ΚΠΧ**

Υποστύλωμα	C <sub>y</sub>	r <sub>mx</sub>	r <sub>my</sub>	n	Έλεγχος κατά x	Έλεγχος κατά y	1ο κριτήριο		e <sub>x</sub> (m)	e <sub>y</sub> (m)	2ο κριτήριο		Διαξονική κάμψη
							Λόγος λ <sub>x</sub> /λ <sub>y</sub>	Λόγος λ <sub>y</sub> /λ <sub>x</sub>			(e <sub>y</sub> /h)/(e <sub>x</sub> /b)	(e <sub>x</sub> /b)/(e <sub>y</sub> /h)	
C1-A	2,30	-0,67	-0,60	0,17	TRUE	TRUE	1,00	1,00	0,08	0,15	1,71	0,58	TRUE
C6-A	2,45	-0,93	-0,75	0,19	TRUE	TRUE	1,00	1,00	0,04	0,20	5,78	0,17	TRUE
C12-A	2,34	-0,67	-0,64	0,15	TRUE	TRUE	1,00	1,00	0,10	0,17	1,73	0,58	TRUE
C1-B	2,67	-0,97	-0,97	0,13	TRUE	TRUE	1,00	1,00	0,16	0,28	1,82	0,55	TRUE
C6-B	2,67	-0,99	-0,97	0,16	TRUE	TRUE	1,00	1,00	0,06	0,38	6,41	0,16	TRUE
C12-B	2,69	-0,98	-0,99	0,12	TRUE	TRUE	1,00	1,00	0,16	0,28	1,71	0,58	TRUE
C1-C	2,59	-0,91	-0,89	0,09	TRUE	TRUE	1,00	1,00	0,20	0,38	1,95	0,51	TRUE
C6-C	2,64	-0,97	-0,94	0,12	TRUE	TRUE	1,00	1,00	0,07	0,46	6,36	0,16	TRUE
C12-C	2,56	-0,91	-0,86	0,09	TRUE	TRUE	1,00	1,00	0,19	0,35	1,87	0,54	TRUE
C1-D	2,50	-0,80	-0,80	0,06	TRUE	TRUE	1,00	1,00	0,24	0,40	1,65	0,60	TRUE
C6-D	2,60	-0,91	-0,90	0,08	TRUE	TRUE	1,00	1,00	0,10	0,56	5,83	0,17	TRUE
C12-D	2,48	-0,80	-0,78	0,06	TRUE	TRUE	1,00	1,00	0,21	0,45	2,18	0,46	TRUE
C1-E	2,36	-0,58	-0,66	0,02	TRUE	TRUE	1,00	1,00	0,29	0,93	3,26	0,31	TRUE
C6-E	2,47	-0,94	-0,77	0,04	TRUE	TRUE	1,00	1,00	0,23	0,95	4,09	0,24	TRUE
C12-E	2,34	-0,60	-0,64	0,03	TRUE	TRUE	1,00	1,00	0,18	0,82	4,52	0,22	TRUE

Υποστύλωμα	b' (mm)	h' (mm)	M <sub>Edx</sub> /h'	M <sub>Edy</sub> /b'	v <sub>d</sub>	β	M <sub>Ed</sub> (KNm)	μ <sub>d</sub>	d/h	ω <sub>tot</sub>	A <sub>s,tot</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,min</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,tot,παρ</sub> (cm <sup>2</sup> )
C1-A	445,00	445,00	0,23	0,41	0,17	0,83	268,27	0,15	0,08	0,20	16,30	5,00	8,15
C6-A	445,00	445,00	0,07	0,47	0,19	0,81	234,44	0,13	0,08	0,15	12,22	5,00	6,11
C12-A	445,00	445,00	0,23	0,37	0,15	0,85	251,69	0,14	0,08	0,2	16,30	5,00	8,15
C1-B	445,00	445,00	0,17	0,31	0,13	0,87	204,18	0,12	0,08	0,15	12,22	5,00	6,11
C6-B	445,00	445,00	0,07	0,49	0,16	0,84	243,28	0,14	0,08	0,19	15,48	5,00	7,74
C12-B	445,00	445,00	0,16	0,27	0,12	0,88	180,92	0,10	0,08	0,2	16,30	5,00	8,15
C1-C	445,00	445,00	0,15	0,28	0,09	0,91	184,62	0,10	0,08	0,14	11,41	5,00	5,70
C6-C	445,00	445,00	0,07	0,43	0,12	0,88	221,93	0,13	0,08	0,2	16,30	5,00	8,15
C12-C	445,00	445,00	0,14	0,26	0,09	0,91	168,87	0,10	0,08	0,15	12,22	5,00	6,11
C1-D	445,00	445,00	0,11	0,24	0,06	0,94	150,98	0,09	0,08	0,14	11,41	5,00	5,70
C6-D	445,00	445,00	0,07	0,35	0,08	0,92	185,64	0,10	0,08	0,15	12,22	5,00	6,11
C12-D	445,00	445,00	0,10	0,22	0,06	0,94	140,76	0,08	0,08	0,13	10,59	5,00	5,30
C1-E	445,00	445,00	0,05	0,17	0,02	0,98	95,99	0,05	0,08	0,1	8,15	5,00	4,07
C6-E	445,00	445,00	0,07	0,27	0,04	0,96	153,49	0,09	0,08	0,17	13,85	5,00	6,93
C12-E	445,00	445,00	0,04	0,18	0,03	0,97	99,57	0,06	0,08	0,1	8,15	5,00	4,07

**Πίνακας Π.5.Β.5 Διαστασιολόγηση υποστύλων πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης-θλίψης για ΚΠΧ**

Υποσύλωμα	Αριθμός ράβδων ανά παρειά	Διάμετρος ράβδου (mm)	Συνολικός αριθμός ράβδων (Φ20)	$A_{s,tot}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,max}$ (cm <sup>2</sup> )	Έλεγχος μεγίστου οπλισμού
C1-A	4	20	12	37,68	100	TRUE
C6-A	3	20	8	25,12	100	TRUE
C12-A	4	20	12	37,68	100	TRUE
C1-B	3	20	8	25,12	100	TRUE
C6-B	4	20	12	37,68	100	TRUE
C12-B	4	20	12	37,68	100	TRUE
C1-C	3	20	8	25,12	100	TRUE
C6-C	4	20	12	37,68	100	TRUE
C12-C	3	20	8	25,12	100	TRUE
C1-D	3	20	8	25,12	100	TRUE
C6-D	3	20	8	25,12	100	TRUE
C12-D	3	20	8	25,12	100	TRUE
C1-E	3	20	8	25,12	100	TRUE
C6-E	4	20	12	37,68	100	TRUE
C12-E	3	20	8	25,12	100	TRUE

Πίνακας Π.5.Β.6 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων τοιχωματικού κτηρίου έναντι κάμψης για ΚΠΧ

Υποστυλ λωμα	Αποτελέσματα SAP2000												
	b (m)	h (m)	f <sub>yd</sub> (MPa)	f <sub>cd</sub> (MPa)	f <sub>ck</sub> (MPa)	h <sub>clear</sub> (m)	Αξονική	Ροπή Κεφαλής		Ροπή βάσης		M <sub>Edx</sub> (kNm)	M <sub>Ey</sub> (kNm)
							N <sub>Ed</sub> (KN)	M <sub>Ex,top</sub> (kNm)	M <sub>Ey,top</sub> (kNm)	M <sub>Ex,bot</sub> (kNm)	M <sub>Ey,bot</sub> (kNm)		
C7-E	0,50	0,50	434,78	14,17	25,00	2,90	-134,05	53,49	105,93	-43,41	-85,68	53,49	105,93
C7-D	0,50	0,50	434,78	14,17	25,00	2,90	-308,00	39,00	74,08	-40,93	-78,10	40,93	78,10
C7-C	0,50	0,50	434,78	14,17	25,00	2,90	-483,54	39,79	77,09	-42,66	-79,85	42,66	79,85
C7-B	0,50	0,50	434,78	14,17	25,00	2,90	-656,71	32,93	70,46	-41,08	-84,13	41,08	84,13
C7-IS	0,50	0,50	434,78	14,17	25,00	2,90	-822,47	16,93	46,05	-25,95	-43,32	25,95	46,05

Υποστυλ λωμα	F	L <sub>o</sub> (m)	λ	e <sub>i</sub> (mm)	M <sub>01x</sub> (kNm)	M <sub>02x</sub> (kNm)	M <sub>01y</sub> (kNm)	M <sub>02y</sub> (kNm)	n	r <sub>mx</sub>	r <sub>my</sub>	A	B
	0,75	2,18	2,60	96,67	56,37	66,45	98,64	118,89	0,04	-0,85	-0,83	0,70	1,10
C7-D	0,75	2,18	2,60	96,67	68,77	70,70	103,85	107,87	0,09	-0,97	-0,96	0,70	1,10
C7-C	0,75	2,18	2,60	96,67	86,53	89,40	123,83	126,59	0,14	-0,97	-0,98	0,70	1,10
C7-B	0,75	2,18	2,60	96,67	96,41	104,56	133,94	147,61	0,19	-0,92	-0,91	0,70	1,10
C7-IS	0,75	2,18	2,60	96,67	96,44	105,46	122,83	125,56	0,23	-0,91	-0,98	0,70	1,10

Υποστυλ λωμα	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	λ <sub>lim x</sub>	λ <sub>lim y</sub>	Έλεγχος λυγηρότητας κατά x	Έλεγχος λυγηρότητας κατά y	Κριτήρια εφαρμογής διαξονικής κάμψης						Εφαρμογή διαξονικής κάμψης
							1ο κριτήριο		2ο κριτήριο		2ο κριτήριο		
							λ <sub>x</sub> /λ <sub>y</sub>	λ <sub>y</sub> /λ <sub>x</sub>	e <sub>x</sub> (m)	e <sub>y</sub> (m)	(e <sub>y</sub> /h)/(e <sub>x</sub> /b)	(e <sub>x</sub> /b)/(e <sub>y</sub> /h)	
	2,55	2,53	201,74	200,27	TRUE	TRUE	1,00	1,00	0,40	0,79	1,98	0,50	TRUE
C7-D	2,67	2,66	139,59	139,07	TRUE	TRUE	1,00	1,00	0,13	0,24	1,90	0,53	TRUE
C7-C	2,67	2,68	111,21	111,64	TRUE	TRUE	1,00	1,00	0,08	0,16	1,94	0,52	TRUE
C7-B	2,62	2,61	93,78	93,26	TRUE	TRUE	1,00	1,00	0,05	0,11	2,14	0,47	TRUE
C7-IS	2,61	2,68	83,56	85,60	TRUE	TRUE	1,00	1,00	0,02	0,06	2,72	0,37	TRUE

Πίνακας Π.5.Β.6 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων τοιχωματικού κτηρίου έναντι κάμψης για ΚΠΧ

Υποστυλωμα	b' (mm)	h' (mm)	Medx/h'	Medy/b'	ν <sub>d</sub>	β	M <sub>ed</sub> (kNm)	μ <sub>d</sub>	d/h	ω	A <sub>s,tot</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,tot,παρ</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,min,1</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,min,2</sub> (cm <sup>2</sup> )
C7-D	460	460	0,09	0,17	0,09	0,91	115,47	0,07	0,08	0,10	8,15	4,07	0,71	5,00
C7-C	460	460	0,09	0,17	0,14	0,86	116,69	0,07	0,08	0,10	8,15	4,07	1,11	5,00
C7-B	460	460	0,09	0,18	0,19	0,81	117,59	0,07	0,08	0,00	0,00	0,00	1,51	5,00
C7-IS	460	460	0,06	0,10	0,23	0,77	65,98	0,04	0,08	0,00	0,00	0,00	1,89	5,00

Υποστυλωμα	Απαιτούμενος Οπλισμός		Τοποθετούμενος Οπλισμός		A <sub>s,τοπ,ολ</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,max</sub> (cm <sup>2</sup> )
	A <sub>s,min</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,τελ,παρ</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,απ,παρ</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,τοπ,παρ</sub> (cm <sup>2</sup> )		
C7-E	5,00	8,15	4 φ18	10,16	30,48	100
C7-D	5,00	4,07	2 φ18	5,08	30,48	100
C7-C	5,00	4,07	2 φ18	5,08	30,48	100
C7-B	5,00	1,25	1 φ18	2,54	30,48	100
C7-IS	5,00	1,25	1 φ18	2,54	30,48	100

Πίνακας Π.5.Β.7 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων έναντι διάτμησης για ΚΠΧ

Υποστύλωμα	b (m)	h (m)	L (m)	d (m)	V <sub>Ed</sub> (kN)	f <sub>ywk</sub> (MPa)	f <sub>ywd</sub> (MPa)	f <sub>ck</sub> (MPa)	f <sub>cd</sub> (MPa)	N <sub>Ed</sub> (kN)	σ <sub>cd</sub>	k	A <sub>sl</sub> (cm <sup>2</sup> )
C1-A	0,50	0,50	3,50	0,45	76,77	500,00	434,78	25,00	14,17	592,09	2,37	1,67	9,42
C6-A	0,50	0,50	3,50	0,45	99,96	500,00	434,78	25,00	14,17	523,85	2,10	1,67	6,28
C12-A	0,50	0,50	3,50	0,45	72,23	500,00	434,78	25,00	14,17	805,83	3,22	1,67	9,42
C1-B	0,50	0,50	3,50	0,45	77,11	500,00	434,78	25,00	14,17	477,82	1,91	1,67	6,28
C6-B	0,50	0,50	3,50	0,45	121,02	500,00	434,78	25,00	14,17	904,94	3,62	1,67	9,42
C12-B	0,50	0,50	3,50	0,45	67,46	500,00	434,78	25,00	14,17	639,23	2,56	1,67	9,42
C1-C	0,50	0,50	3,50	0,45	67,10	500,00	434,78	25,00	14,17	355,13	1,42	1,67	6,28
C6-C	0,50	0,50	3,50	0,45	106,27	500,00	434,78	25,00	14,17	665,19	2,66	1,67	9,42
C12-C	0,50	0,50	3,50	0,45	59,06	500,00	434,78	25,00	14,17	471,52	1,89	1,67	6,28
C1-D	0,50	0,50	3,50	0,45	52,83	500,00	434,78	25,00	14,17	227,87	0,91	1,67	6,28
C6-D	0,50	0,50	3,50	0,45	83,88	500,00	434,78	25,00	14,17	426,76	1,71	1,67	6,28
C12-D	0,50	0,50	3,50	0,45	48,40	500,00	434,78	25,00	14,17	303,77	1,22	1,67	6,28
C1-E	0,50	0,50	3,50	0,45	34,12	500,00	434,78	25,00	14,17	94,99	0,38	1,67	6,28
C6-E	0,50	0,50	3,50	0,45	61,03	500,00	434,78	25,00	14,17	190,34	0,76	1,67	9,42
C12-E	0,50	0,50	3,50	0,45	37,31	500,00	434,78	25,00	14,17	135,68	0,54	1,67	6,28

Υποστύλωμα	ρ <sub>i</sub>	V <sub>Rdc</sub> (kN)	φ <sub>i,min</sub> (mm)	Ελάχιστος σπλισμός					Κεντρικό τμήμα		I <sub>cr</sub> από παρειά	
				φ <sub>min</sub> (mm)	s <sub>cl,t,max</sub> (mm)	0,6*s <sub>cl,t,max</sub> (mm)	φ <sub>τοπ</sub> (mm)	I <sub>cr</sub> (m)				
C1-A	0,0042	198,18	18,00	6,00	360,00	216,00	8,00	0,50	φ8/36	φ8/21		
C6-A	0,0028	174,12	18,00	6,00	360,00	216,00	8,00	0,50	φ8/36	φ8/21		
C12-A	0,0042	230,25	18,00	6,00	360,00	216,00	8,00	0,50	φ8/36	φ8/21		
C1-B	0,0028	167,22	18,00	6,00	360,00	216,00	8,00	0,50	φ8/36	φ8/21		
C6-B	0,0042	245,11	18,00	6,00	360,00	216,00	8,00	0,50	φ8/36	φ8/21		
C12-B	0,0042	205,26	18,00	6,00	360,00	216,00	8,00	0,50	φ8/36	φ8/21		
C1-C	0,0028	148,82	18,00	6,00	360,00	216,00	8,00	0,50	φ8/36	φ8/21		
C6-C	0,0042	209,15	18,00	6,00	360,00	216,00	8,00	0,50	φ8/36	φ8/21		
C12-C	0,0028	166,27	18,00	6,00	360,00	216,00	8,00	0,50	φ8/36	φ8/21		
C1-D	0,0028	129,73	18,00	6,00	360,00	216,00	8,00	0,50	φ8/36	φ8/21		
C6-D	0,0028	159,56	18,00	6,00	360,00	216,00	8,00	0,50	φ8/36	φ8/21		
C12-D	0,0028	141,11	18,00	6,00	360,00	216,00	8,00	0,50	φ8/36	φ8/21		
C1-E	0,0028	109,79	18,00	6,00	360,00	216,00	8,00	0,50	φ8/36	φ8/21		
C6-E	0,0042	137,92	18,00	6,00	360,00	216,00	8,00	0,50	φ8/36	φ8/21		
C12-E	0,0028	115,90	18,00	6,00	360,00	216,00	8,00	0,50	φ8/36	φ8/21		

**Πίνακας Π.5.Β.8 Διαστασιολόγηση υποστηλώματος τοιχωματικού κτηρίου εναντι διάτμησης για ΚΠΧ**

Υποστ.	b (m)	h (m)	l (m)	d (m)	V <sub>ed</sub> (kN)	N <sub>ed</sub> (kN)	f <sub>ywk</sub> (Mpa)	f <sub>ywd</sub> (Mpa)
C7 -E	0,5	0,5	3,5	0,45	54,75	114,7	500	434,78
C7 -D	0,5	0,5	3,5	0,45	43,74	264,47	500	434,78
C7 -C	0,5	0,5	3,5	0,45	44,84	414,92	500	434,78
C7 -B	0,5	0,5	3,5	0,45	44,16	566,67	500	434,78
C7 -IS	0,5	0,5	3,5	0,45	25,5	718,39	500	434,78

Υποστ.	f <sub>ck</sub> (Mpa)	f <sub>cd</sub> (Mpa)	σ <sub>cd</sub>	k	A <sub>sl</sub> (cm <sup>2</sup> )	ρ <sub>l</sub>	V <sub>Rdc</sub> (kN)	Ελεγχος
C7 -E	25	14,17	0,46	1,6667	10,16	0,0045	129,37	TRUE
C7 -D	25	14,17	1,06	1,6667	10,16	0,0045	151,83	TRUE
C7 -C	25	14,17	1,66	1,6667	10,16	0,0045	174,40	TRUE
C7 -B	25	14,17	2,27	1,6667	10,16	0,0045	197,16	TRUE
C7 -IS	25	14,17	2,87	1,6667	10,16	0,0045	219,92	TRUE

Υποστ.	Ελάχιστος οπλισμός					
	φ <sub>lmin</sub> (mm)	φ <sub>min</sub> (mm)	s <sub>cl,t max</sub> (mm)	0,6*s <sub>cl,t max</sub> (mm)	φ <sub>τοπ</sub> (mm)	l <sub>cr</sub> (m)
C7 -E	18	6	360	216	8	0,5
C7 -D	18	6	360	216	8	0,5
C7 -C	18	6	360	216	8	0,5
C7 -B	18	6	360	216	8	0,5
C7 -IS	18	6	360	216	8	0,5

Υποστ.	Τοποθετούμενος Οπλισμός	
	κεντ. τμήμα	l <sub>cr</sub> απο παρεία
	(cm)	(cm)
C7 -E	φ8/ 36	φ8/ 21
C7 -D	φ8/ 36	φ8/ 21
C7 -C	φ8/ 36	φ8/ 21
C7 -B	φ8/ 36	φ8/ 21
C7 -IS	φ8/ 36	φ8/ 21

Πίνακας Π.5.Β.9 Διαστασιολόγηση τοιχίου τοιχωματικού κτηρίου εναντι κάμψης για

<b>W1-IS</b>				<b>ΚΠΧ</b>			
<b>N<sub>ed</sub> (kN)</b>	-1051,94	<b>M<sub>ed</sub> (kNm)</b>	2897,4				
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>		
30	3500	35	12	49	3451		
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,00350	<b>x (mm)</b>					
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,01976	519					
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,00217			<b>f<sub>cd</sub> (Mpa)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (kNm)</b>	
<b>F<sub>yd</sub> (Mpa)</b>	434,78			25	-1765,25	2722,59	
<b>οπλισμοί (i)</b>	<b>γ<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (Mpa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>si</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>si</sub> (kNm)</b>
11	50	-0,00316	-434,78	12	2,26	-98,35	167,19
10	390	-0,00087	-174,18	12	2,26	-39,40	53,58
9	730	0,00142	284,22	12	2,26	64,29	-65,58
8	1070	0,00371	434,78	12	2,26	98,35	-66,87
7	1410	0,00601	434,78	12	2,26	98,35	-33,44
6	1750	0,00830	434,78	12	2,26	98,35	0,00
5	2090	0,01059	434,78	12	2,26	98,35	33,44
4	2430	0,01288	434,78	12	2,26	98,35	66,87
3	2770	0,01517	434,78	12	2,26	98,35	100,31
2	3110	0,01747	434,78	12	2,26	98,35	133,75
1	3450	0,01976	434,78	12	2,26	98,35	167,19
				<b>Συνολο</b>	24,88	-1051,94	3279,03
<b>Ελεγχος απαιτήσεων</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>s (mm)</b>	<b>A<sub>s,min</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>A<sub>s,max</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>s<sub>max</sub></b>	<b>Ελεγχος</b>	
	24,88	340	21	420	400	TRUE	

<b>W1-B</b>							
<b>N<sub>ed</sub> (kN)</b>	-849,02	<b>M<sub>ed</sub> (kNm)</b>	1938,63				
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>		
30	3500	35	12	49	3451		
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,00350	<b>x (mm)</b>					
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,02220	470					
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,00217			<b>f<sub>cd</sub> (Mpa)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (kNm)</b>	
<b>F<sub>yd</sub> (Mpa)</b>	434,78			25	-1598,06	2496,16	
<b>οπλισμοί (i)</b>	<b>γ<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (Mpa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>si</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>si</sub> (kNm)</b>
11	50	-0,00313	-434,78	12	2,26	-98,35	167,19
10	390	-0,00060	-119,17	12	2,26	-26,96	36,66
9	730	0,00194	387,19	12	2,26	87,58	-89,33
8	1070	0,00447	434,78	12	2,26	98,35	-66,87
7	1410	0,00700	434,78	12	2,26	98,35	-33,44
6	1750	0,00953	434,78	12	2,26	98,35	0,00
5	2090	0,01206	434,78	12	2,26	98,35	33,44
4	2430	0,01460	434,78	12	2,26	98,35	66,87
3	2770	0,01713	434,78	12	2,26	98,35	100,31
2	3110	0,01966	434,78	12	2,26	98,35	133,75
1	3450	0,02219	434,78	12	2,26	98,35	167,19
				<b>Συνολο</b>	24,88	-849,02	3011,93
<b>Ελεγχος απαιτήσεων</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>s (mm)</b>	<b>A<sub>s,min</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>A<sub>s,max</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>s<sub>max</sub></b>	<b>Ελεγχος</b>	
	24,88	340	21	420	400	TRUE	

Πίνακας Π.5.Β.9 Διαστασιολόγηση τοιχίου τοιχωματικού κτηρίου εναντι κάμψης για

W1-C		ΚΠΧ					
$N_{ed}$ (kN)	-639,24	$M_{ed}$ (kNm)	1090,31				
b (cm)	h (mm)	$c_{nom}$ (mm)	$\phi$ (mm)	c (mm)	d (mm)		
30	3500	35	12	49	3451		
$\epsilon_c$	0,00350	x (mm)					
$\epsilon_{s1}$	0,02550			416			
$\epsilon_{yd}$	0,00217			$f_{cd}$ (Mpa)	$F_{cd}$ (kN)	$M_{cd}$ (kNm)	
$F_{yd}$ (Mpa)	434,78			25	-1415,95	2242,03	
οπλισμοί (i)	$y_i$ (mm)	$\epsilon_{si}$	$\sigma_{si}$ (Mpa)	$\phi$ (mm)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$F_{si}$ (kN)	$M_{si}$ (kNm)
11	50	-0,00308	-434,78	12	2,26	-98,35	167,19
10	390	-0,00022	-44,47	12	2,26	-10,06	13,68
9	730	0,00264	434,78	12	2,26	98,35	-100,31
8	1070	0,00549	434,78	12	2,26	98,35	-66,87
7	1410	0,00835	434,78	12	2,26	98,35	-33,44
6	1750	0,01121	434,78	12	2,26	98,35	0,00
5	2090	0,01406	434,78	12	2,26	98,35	33,44
4	2430	0,01692	434,78	12	2,26	98,35	66,87
3	2770	0,01978	434,78	12	2,26	98,35	100,31
2	3110	0,02264	434,78	12	2,26	98,35	133,75
1	3450	0,02549	434,78	12	2,26	98,35	167,19
Συνολο					24,88	-639,24	2723,84
Ελεγχος απαιτήσεων		$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	s (mm)	$A_{s,min}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,max}$ (cm <sup>2</sup> )	$s_{max}$	Ελεγχος
		24,88	340	21	420	400	TRUE

W1-D		ΚΠΧ					
$N_{ed}$ (kN)	-425,21	$M_{ed}$ (kNm)	474,07				
b (cm)	h (mm)	$c_{nom}$ (mm)	$\phi$ (mm)	c (mm)	d (mm)		
30	3500	35	12	49	3451		
$\epsilon_c$	0,00350	x (mm)					
$\epsilon_{s1}$	0,03002			360			
$\epsilon_{yd}$	0,00217			$f_{cd}$ (Mpa)	$F_{cd}$ (kN)	$M_{cd}$ (kNm)	
$F_{yd}$ (Mpa)	434,78			25	-1225,03	1967,24	
οπλισμοί (i)	$y_i$ (mm)	$\epsilon_{si}$	$\sigma_{si}$ (Mpa)	$\phi$ (mm)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$F_{si}$ (kN)	$M_{si}$ (kNm)
11	50	-0,00301	-434,78	12	2,26	-98,35	167,19
10	390	0,00029	57,70	12	2,26	13,05	-17,75
9	730	0,00359	434,78	12	2,26	98,35	-100,31
8	1070	0,00689	434,78	12	2,26	98,35	-66,87
7	1410	0,01020	434,78	12	2,26	98,35	-33,44
6	1750	0,01350	434,78	12	2,26	98,35	0,00
5	2090	0,01680	434,78	12	2,26	98,35	33,44
4	2430	0,02011	434,78	12	2,26	98,35	66,87
3	2770	0,02341	434,78	12	2,26	98,35	100,31
2	3110	0,02671	434,78	12	2,26	98,35	133,75
1	3450	0,03001	434,78	12	2,26	98,35	167,19
Συνολο					24,88	-425,21	2417,62
Ελεγχος απαιτήσεων		$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	s (mm)	$A_{s,min}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,max}$ (cm <sup>2</sup> )	$s_{max}$	Ελεγχος
		24,88	340	21	420	400	TRUE



Πίνακας Π.5.Β.9 Διαστασιολόγηση τοιχίου τοιχωματικού κτηρίου εναντι κάμψης για

W1-E		ΚΠΧ					
<b>N<sub>ed</sub> (kN)</b>	-116,96	<b>M<sub>ed</sub> (kNm)</b>	206,23				
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>r<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>		
30	3500	35	12	49	3451		
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,00350	<b>x (mm)</b>					
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,03913	283					
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,00217			<b>f<sub>cd</sub> (Mpa)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (kNm)</b>	
<b>F<sub>yd</sub> (Mpa)</b>	434,7826087			25	-963,33	1576,66	
<b>οπλισμοί (i)</b>	<b>γ<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (Mpa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>si</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>si</sub> (kNm)</b>
11	50	#####	-434,78	12	2,26	-98,35	167,19
10	390	0,00132	263,53	12	2,26	59,61	-81,07
9	730	0,00552	434,78	12	2,26	98,35	-100,31
8	1070	0,00972	434,78	12	2,26	98,35	-66,87
7	1410	0,01392	434,78	12	2,26	98,35	-33,44
6	1750	0,01812	434,78	12	2,26	98,35	0,00
5	2090	0,02232	434,78	12	2,26	98,35	33,44
4	2430	0,02652	434,78	12	2,26	98,35	66,87
3	2770	0,03072	434,78	12	2,26	98,35	100,31
2	3110	0,03492	434,78	12	2,26	98,35	133,75
1	3450	0,03912	434,78	12	2,26	98,35	167,19
				<b>Συνολο</b>	<b>24,88</b>	<b>-116,96</b>	<b>1963,71</b>
<b>Ελεγχος απαιτήσεων</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>s (mm)</b>	<b>A<sub>s,min</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>A<sub>s,max</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>s<sub>max</sub></b>	<b>Ελεγχος</b>	
	24,88	340	21	420	400	TRUE	

Πίνακας Π.5.Β.10 Διαστασιολόγηση τοιχίου τοιχωματικού κτηρίου εναντι δάτμησης για ΚΠΧ

Τοιχίο	b (m)	h (m)	l (m)	d (m)	V <sub>ed</sub> (kN)	f <sub>ywk</sub> (Mpa)	f <sub>ywd</sub> (Mpa)	f <sub>ck</sub> (Mpa)	f <sub>cd</sub> (Mpa)	N <sub>ed</sub> (kN)	σ <sub>cd</sub>	k	A <sub>sl</sub> (cm <sup>2</sup> )
W1 -E	0,3	3,5	3,5	3,45	83,93	500	434,78	25	14,17	116,96	0,11	1,24	24,88
W1 -D	0,3	3,5	3,5	3,45	181,54	500	434,78	25	14,17	333,45	0,32	1,24	24,88
W1 -C	0,3	3,5	3,5	3,45	251,73	500	434,78	25	14,17	547,39	0,52	1,24	24,88
W1 -B	0,3	3,5	3,5	3,45	312,20	500	434,78	25	14,17	757,00	0,72	1,24	24,88
W1 -IS	0,3	3,5	3,5	3,45	331,30	500	434,78	25	14,17	960,19	0,91	1,24	24,88

Τοιχίο	ρ <sub>i</sub>	V <sub>Rdc</sub> (kN)	Ελεγχος	Φ <sub>l,min</sub> (mm)	Ελάχιστος οπλισμός						Τοποθετούμενος Οπλισμός
					A <sub>sh,min,ολ</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>sh,min,παρ</sub> (cm <sup>2</sup> )	Φ <sub>h</sub> (mm)	A <sub>s</sub> (mm)	s <sub>h</sub> (mm)	s <sub>hmax</sub> (mm)	(mm)
W1 -E	0,0024	301,78	TRUE	12	10,50	5,25	12	1,13	700	400	φ12/ 400
W1 -D	0,0024	334,25	TRUE	12	10,50	5,25	12	1,13	700	400	φ12/ 400
W1 -C	0,0024	366,34	TRUE	12	10,50	5,25	12	1,13	700	400	φ12/ 400
W1 -B	0,0024	397,79	TRUE	12	10,50	5,25	12	1,13	700	400	φ12/ 400
W1 -IS	0,0024	428,26	TRUE	12	10,50	5,25	12	1,13	700	400	φ12/ 400

Πίνακας Π.5.Β.11 Διαστασιολόγηση δοκών πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης για ΚΠΜ

Δοκός	b <sub>w</sub> (m)	b <sub>eff</sub> (m)	d (m)	f <sub>ctm</sub> (MPa)	f <sub>cd</sub> (MPa)	f <sub>yd</sub> (MPa)	Αποτελέσματα SAP						Ελάχιστος	
							M <sub>1α</sub> (kNm)	M <sub>1κ</sub> (kNm)	M <sub>2κ</sub> (kNm)	M <sub>2α</sub> (kNm)	M <sub>3κ</sub> (kNm)	M <sub>3α</sub> (kNm)	ρ <sub>min</sub>	A <sub>s,min</sub> (cm <sup>2</sup> )
B17-E	0,3	0,84	0,55	2,6	14,17	434,78	-50,50	-13,26	13,30	-7,57	12,62	-17,94	0,0026	4,29
B16-E	0,3	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	-104,10	-47,10	62,00	29,27	-31,38	-64,87	0,0026	4,29
B17-D	0,3	0,84	0,55	2,6	14,17	434,78	-88,01	-6,84	12,40	0,68	44,15	-29,97	0,0026	4,29
B16-D	0,3	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	-135,37	-59,60	69,19	32,59	-37,33	-94,65	0,0026	4,29
B17-C	0,3	0,84	0,55	2,6	14,17	434,78	-107,92	17,77	14,69	-2,43	61,00	-53,99	0,0026	4,29
B16-C	0,3	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	-136,00	-56,72	70,15	32,33	-22,12	-106,74	0,0026	4,29
B17-B	0,3	0,84	0,55	2,6	14,17	434,78	-120,18	35,55	16,85	-4,42	72,40	-69,57	0,0026	4,29
B16-B	0,3	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	-141,24	-49,71	69,55	31,59	-13,69	-116,09	0,0026	4,29
B17-A	0,3	0,84	0,55	2,6	14,17	434,78	-107,39	44,50	16,25	-4,36	58,25	-78,23	0,0026	4,29
B16-A	0,3	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	-136,74	-50,12	70,32	33,85	-16,05	-114,92	0,0026	4,29

Δοκός	Απαιτούμενος Οπλισμός											
	1 ANΩ			1 KATΩ			2 KATΩ			2 ANΩ		
	μ <sub>sd</sub>	ω	A <sub>s,απ</sub> (cm <sup>2</sup> )	μ <sub>sd</sub>	ω	A <sub>s,απ</sub> (cm <sup>2</sup> )	μ <sub>sd</sub>	ω	A <sub>s,απ</sub> (cm <sup>2</sup> )	μ <sub>sd</sub>	ω	A <sub>s,απ</sub> (cm <sup>2</sup> )
B17-E	0,0393	0,0401	4,29	0,0000	0,0000	4,29	0,0037	0,0037	4,29	0,0059	0,0059	4,29
B16-E	0,0810	0,0846	4,55	0,0000	0,0000	4,29	0,0134	0,0135	4,29	0,0000	0,0000	4,29
B17-D	0,0685	0,0710	4,29	0,0000	0,0000	4,29	0,0034	0,0035	4,29	0,0000	0,0000	4,29
B16-D	0,1053	0,1115	6,00	0,0000	0,0000	4,29	0,0149	0,0151	4,29	0,0000	0,0000	4,29
B17-C	0,0839	0,0878	4,72	0,0049	0,0049	4,29	0,0041	0,0041	4,29	0,0019	0,0019	4,29
B16-C	0,1058	0,1121	6,02	0,0000	0,0000	4,29	0,0152	0,0153	4,29	0,0000	0,0000	4,29
B17-B	0,0935	0,0983	5,29	0,0099	0,0099	4,29	0,0047	0,0047	4,29	0,0034	0,0034	4,29
B16-B	0,1099	0,1167	6,27	0,0000	0,0000	4,29	0,0150	0,0151	4,29	0,0000	0,0000	4,29
B17-A	0,0835	0,0873	4,70	0,0124	0,0124	4,29	0,0045	0,0045	4,29	0,0034	0,0034	4,29
B16-A	0,1064	0,1127	6,06	0,0000	0,0000	4,29	0,0152	0,0153	4,29	0,0000	0,0000	4,29

Πίνακας Π.5.Β.11 Διαστασιολόγηση δοκών πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης για ΚΠΜ

Δοκός	Απαιτούμενος Οπλισμός						Τελική Απαίτηση Οπλισμού					
	3 ΚΑΤΩ			3 ΑΝΩ			1 ΑΝΩ	1 ΚΑΤΩ	2 ΚΑΤΩ	2 ΑΝΩ	3 ΚΑΤΩ	3 ΑΝΩ
	$\mu_{sd}$	$\omega$	$A_{s,απ}$ (cm <sup>2</sup> )	$\mu_{sd}$	$\omega$	$A_{s,απ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τελ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τελ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τελ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τελ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τελ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τελ}$ (cm <sup>2</sup> )
B17-E	0,00	0,0035	4,29	0,0140	0,0141	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
B16-E	0,00	0,0000	4,29	0,0505	0,0518	4,29	4,55	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
B17-D	0,01	0,0123	4,29	0,0233	0,0236	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
B16-D	0,00	0,0000	4,29	0,0736	0,0765	4,29	6,00	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
B17-C	0,02	0,0171	4,29	0,0420	0,0429	4,29	4,72	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
B16-C	0,00	0,0000	4,29	0,0830	0,0868	4,67	6,02	4,29	4,29	4,29	4,29	4,67
B17-B	0,02	0,0203	4,29	0,0541	0,0557	4,29	5,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
B16-B	0,00	0,0000	4,29	0,0903	0,0948	5,10	6,27	4,29	4,29	4,29	4,29	5,10
B17-A	0,02	0,0163	4,29	0,0608	0,0628	4,29	4,70	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
B16-A	0,00	0,0000	4,29	0,0894	0,0938	5,04	6,06	4,29	4,29	4,29	4,29	5,04

Δοκός	Απαιτούμενος Οπλισμός											
	1 ΑΝΩ		1 ΚΑΤΩ		2 ΚΑΤΩ		2 ΑΝΩ		3 ΚΑΤΩ		3 ΑΝΩ	
B17-E	3	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14
B16-E	3	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14
B17-D	3	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14
B16-D	4	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14
B17-C	4	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14
B16-C	4	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14	4	φ14
B17-B	4	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14
B16-B	5	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14	4	φ14
B17-A	4	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14
B16-A	4	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14	3	φ14	4	φ14

Πίνακας Π.5.Β.11 Διαστασιολόγηση δοκών πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης για ΚΠΜ

Δοκός	Τοποθετούμενος οπλισμός							
	Αριστερά άνω (Φ14)	Αριστερά κάτω (Φ14)	Δεξιά άνω (Φ14)	Δεξιά κάτω (Φ14)	Αριστερά άνω (cm <sup>2</sup> )	Αριστερά κάτω (cm <sup>2</sup> )	Δεξιά άνω (cm <sup>2</sup> )	Δεξιά κάτω (cm <sup>2</sup> )
B17-E	3	3	3	3	4,62	4,62	4,62	4,62
B16-E	3	3	3	3	4,62	4,62	4,62	4,62
B17-D	3	3	4	3	4,62	4,62	6,16	4,62
B16-D	4	3	3	3	6,16	4,62	4,62	4,62
B17-C	4	3	4	3	6,16	4,62	6,16	4,62
B16-C	4	3	4	3	6,16	4,62	6,16	4,62
B17-B	4	3	5	3	6,16	4,62	7,7	4,62
B16-B	5	3	4	3	7,7	4,62	6,16	4,62
B17-A	4	3	4	3	6,16	4,62	6,16	4,62
B16-A	4	3	4	3	6,16	4,62	6,16	4,62

Δοκός	Έλεγχος Μεγίστου Ποσοστού						Αποτελέσματα SAP		
	Σημείο 1		Σημείο 2		Σημείο 3		Αξονικές δυνάμεις		
	$\rho_{\max}$	$A_{s\max}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_{\max}$	$A_{s\max}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_{\max}$	$A_{s\max}$ (cm <sup>2</sup> )	$N_{Ed}$ C1	$N_{Ed}$ C6	$N_{Ed}$ C12
B17-E	0,0066	10,84	0,0066	10,84	0,0066	10,84	-65,458	-160,811	-106,153
B16-E	0,0066	10,84	0,0066	10,84	0,0066	10,84	-65,458	-160,811	-106,153
B17-D	0,0066	10,84	0,0066	10,84	0,0066	10,84	-198,337	-397,231	-274,239
B16-D	0,0066	10,84	0,0066	10,84	0,0066	10,84	-198,337	-397,231	-274,239
B17-C	0,0066	10,84	0,0066	10,84	0,0066	10,84	-325,6	-635,662	-441,987
B16-C	0,0066	10,84	0,0066	10,84	0,0066	10,84	-325,6	-635,662	-441,987
B17-B	0,0066	10,84	0,0066	10,84	0,0066	10,84	-448,314	-875,408	-609,698
B16-B	0,0066	10,84	0,0066	10,84	0,0066	10,84	-448,314	-875,408	-609,698
B17-A	0,0066	10,84	0,0066	10,84	0,0066	10,84	-555,273	-1120,296	-776,296
B16-A	0,0066	10,84	0,0066	10,84	0,0066	10,84	-555,273	-1120,296	-776,296

Πίνακας Π.5.Β.11 Διαστασιολόγηση δοκών πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης για ΚΠΜ

Δοκός	Έλεγχος μέγιστης διαμέτρου σπλισμού											
	Κόμβος C12-B16 (εξωτερικός)		Κόμβος C6-B16 (εσωτερικός)				Κόμβος C6-B17 (εσωτερικός)				Κόμβος C1-B17 (εξωτερικός)	
	$v_d$	$d_{bl}$ (mm)	$v_d$	$k_D$	$\rho'$	$d_{bl}$ (mm)	$v_d$	$k_D$	$\rho'$	$d_{bl}$ (mm)	$v_d$	$d_{bl}$ (mm)
<b>B17-E</b>							-0,0454	0,67	0,0028	19,16	-0,0185	22,09
<b>B16-E</b>	-0,0300	22,96	-0,0454	0,67	0,0028	19,16						
<b>B17-D</b>							-0,1122	0,67	0,0028	20,14	-0,0560	21,42
<b>B16-D</b>	-0,0774	23,81	-0,1122	0,67	0,0028	20,14						
<b>B17-C</b>							-0,1795	0,67	0,0028	21,14	-0,0919	20,78
<b>B16-C</b>	-0,1248	24,66	-0,1795	0,67	0,0028	21,14						
<b>B17-B</b>							-0,2472	0,67	0,0028	22,14	-0,1266	20,15
<b>B16-B</b>	-0,1722	25,51	-0,2472	0,67	0,0028	22,14						
<b>B17-A</b>							-0,3163	0,67	0,0028	23,16	-0,1568	19,61
<b>B16-A</b>	-0,2192	26,36	-0,3163	0,67	0,0028	23,16						

Π.5.Β.12 Διαστασιολόγηση δοκού τοιχωματικού κτηρίου έναντι κάμψης για ΚΠΜ

Δοκοί	$b_w$ (m)	$b_{eff}$ (m)	d (m)	$f_{ctm}$ (Mpa)	$f_{cd}$ (Mpa)	$f_{yd}$ (Mpa)	$\rho_{min}$	$A_{s,min}$ (cm <sup>2</sup> )	Αποτελέσματα SAP					
									Αριστερή στήριξη		Μεσο δοκού		Δεξιά στήριξη	
									Άνω	Κάτω	Κάτω	Άνω	Κάτω	Άνω
B14-E	0,30	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	0,0026	4,29	$M_{αρ,α}$ (kNm)	$M_{αρ,κ}$ (kNm)	$M_{μ,κ}$ (kNm)	$M_{μ,α}$ (kNm)	$M_{δ,κ}$ (kNm)	$M_{δ,α}$ (kNm)
B14-D	0,30	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	0,0026	4,29	-59,35	0	70,86	0	0	-92,7
B14-C	0,30	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	0,0026	4,29	-67,52	0	83,01	0	0	-135,71
B14-B	0,30	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	0,0026	4,29	-66,68	0	83,48	0	0	-134,55
B14-B	0,30	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	0,0026	4,29	-63,58	0	83,11	0	0	-137,16
B14-IS	0,30	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	0,0026	4,29	-62,32	0	84,56	0	0	-134,72

Δοκοί	Αριστερή στήριξη				Μέσο δοκού				Δεξιά στήριξη			
	Άνω		Κάτω		Κάτω		Άνω	$A_{s,απ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,απ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,απ}$ (cm <sup>2</sup> )	Άνω	
	$\mu_{sd}$	$\omega$	$A_{s,απ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,απ}$ (cm <sup>2</sup> )	$\mu_{sd}$	$\omega$	$A_{s,απ}$ (cm <sup>2</sup> )				$\mu_{sd}$	$\omega$
B14-E	0,0462	0,0473	2,54	0	0,0153	0,0154	2,99	0	0	0,0721	0,0749	4,03
B14-D	0,0525	0,0540	2,90	0	0,0179	0,0181	3,50	0	0	0,1056	0,1118	6,01
B14-C	0,0519	0,0533	2,86	0	0,0180	0,0182	3,52	0	0	0,1047	0,1108	5,96
B14-B	0,0495	0,0507	2,73	0	0,0179	0,0181	3,51	0	0	0,1067	0,1131	6,08
B14-IS	0,0485	0,0497	2,67	0	0,0183	0,0184	3,57	0	0	0,1048	0,1109	5,96

Δοκοί	Τελική Απαιτηση Οπλισμού					
	Αριστερή στήριξη		Μέσο δοκού		Δεξιά στήριξη	
	Άνω	Κάτω	Κάτω	Άνω	Κάτω	Άνω
	$A_{s,τελ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τελ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τελ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τελ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τελ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τελ}$ (cm <sup>2</sup> )
B14-E	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
B14-D	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	6,01
B14-C	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	5,96
B14-B	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	6,08
B14-IS	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	5,96

Π.5.Β.12 Διαστασιολόγηση δοκού τοιχωματικού κτηρίου έναντι κάμψης για ΚΠΜ

Δοκοί	Τοποθετούμενες Ράβδοι Οπλισμού						Τοποθετούμενος Οπλισμός	
	Αριστερή στήριξη		Μέσο δοκού		Δεξιά στήριξη		ΚΑΤΩ	ΑΝΩ
	Άνω	Κάτω	Κάτω	Άνω	Κάτω	Άνω	$A_{s,τοπ} (cm^2)$	$A_{s,τοπ} (cm^2)$
B14-E	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	4,62	4,62
B14-D	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	4 φ14	4,62	6,16
B14-C	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	4 φ14	4,62	6,16
B14-B	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	4 φ14	4,62	6,16
B14-IS	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	4 φ14	4,62	6,16

Δοκοί	Έλεγχος Μεγίστου Ποσοστού Οπλισμού								
	Αριστερή στήριξη			Μέσο δοκού			Δεξιά στήριξη		
	$\rho'$	$\rho_{max}$	$A_{s,max} (cm^2)$	$\rho'$	$\rho_{max}$	$A_{s,max} (cm^2)$	$\rho'$	$\rho_{max}$	$A_{s,max} (cm^2)$
B14-E	0,0028	0,00821	13,54	0,0008	0,0062	10,20	0,0028	0,008206	13,54
B14-D	0,0028	0,00821	13,54	0,0008	0,0062	10,20	0,0028	0,008206	13,54
B14-C	0,0028	0,00821	13,54	0,0008	0,0062	10,20	0,0028	0,008206	13,54
B14-B	0,0028	0,00821	13,54	0,0008	0,0062	10,20	0,0028	0,008206	13,54
B14-IS	0,0028	0,00821	13,54	0,0008	0,0062	10,20	0,0028	0,008206	13,54

Δοκοί	$\gamma R_d$	Έλεγχος μέγιστης διαμέτρου οπλισμών							
		$N_{ed,W1} (κN)$	$N_{ed,C7} (κN)$	κόμβος B14-W1 (εσωτ.)				κόμβος B14-C7 (εξωτ.)	
				$k_D$	$v_d$	$k_2$	$d_{bl} (mm)$	$v_d$	$d_{bl} (mm)$
B14-E	1	-152,05	-128,73	0,67	0,0102	1,17147	19	0,04	23
B14-D	1	-442,08	-334,52	0,67	0,0297	1,17147	20	0,09	23
B14-C	1	-730,18	-541,33	0,67	0,0491	1,17147	20	0,15	23
B14-B	1	-1015,48	-750,7	0,67	0,0683	1,17147	20	0,21	24
B14-IS	1	-1295,63	-961,37	0,67	0,0871	1,17147	20	0,27	24



**Πίνακας Π.5.Β.13 Υπολογισμός ροπών αντοχής δοκών πλαισιακού κτηρίου**

B17 (3Φ14)		Λειτουργία ορθογωνικής διατομής		$N_{Ed}$ (KN)=	0		
$b_w$ (cm)	$h$ (mm)	$c_{nom}$ (mm)	$\phi$ (mm)	$c$ (mm)	$d$ (mm)		
30,00	600,00	35,00	12,00	49,00	551,00		
$\epsilon_c$	0,0035	$x$ (mm)		$f_{cd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$F_{cd}$ (KN)	$M_{cd}$ (KNm)	
$\epsilon_{s1}$	0,0332	52,59		2,50	-178,80	49,88	
$\epsilon_{yd}$	0,0022						
$F_{yd}$	434,78						
Οπλισμοί	$y_i$ (mm)	$\epsilon_{si}$	$\sigma_{si}$ (MPa)	$\phi$ (mm)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$F_i$ (kN)	$M_{Rd}^-$ (kNm)
2	49,00	-0,0002	-47,7671	3Φ14	4,62	-22,07	5,54
1	551,00	0,0332	434,7826	3Φ14	4,62	200,87	50,42
					9,24	0,00	105,84

B17 (3Φ14)		Λειτουργία πλακοδοκού		$N_{Ed}$ (KN)=	0		
$b_w$ (cm)	$h$ (mm)	$b_{eff}$ (cm)	$c_{nom}$ (mm)	$\phi$ (mm)	$c$ (mm)	$d$ (mm)	
30,00	600,00	84,00	35,00	12,00	49,00	551,00	
$\epsilon_c$	0,0035	$x$ (mm)		$f_{cd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$F_{cd}$ (KN)	$M_{cd}$ (KNm)	
$\epsilon_{s1}$	0,0518	34,87		2,50	-331,94	94,95	
$\epsilon_{yd}$	0,0022						
$F_{yd}$	434,78						
Οπλισμοί	$y_i$ (mm)	$\epsilon_{si}$	$\sigma_{si}$ (MPa)	$\phi$ (mm)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$F_i$ (kN)	$M_{Rd}^+$ (kNm)
2	49,00	0,0014	283,7097	3Φ14	4,62	131,07	-32,90
1	551,00	0,0518	434,7826	3Φ14	4,62	200,87	50,42
					9,24	0,00	112,47

B16 (3Φ14)		Λειτουργία ορθογωνικής διατομής		$N_{Ed}$ (KN)=	0		
$b_w$ (cm)	$h$ (mm)	$c_{nom}$ (mm)	$\phi$ (mm)	$c$ (mm)	$d$ (mm)		
30,00	600,00	35,00	12,00	49,00	551,00		
$\epsilon_c$	0,0035	$x$ (mm)		$f_{cd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$F_{cd}$ (KN)	$M_{cd}$ (KNm)	
$\epsilon_{s1}$	0,0332	52,59		2,50	-178,80	49,88	
$\epsilon_{yd}$	0,0022						
$F_{yd}$	434,78						
Οπλισμοί	$y_i$ (mm)	$\epsilon_{si}$	$\sigma_{si}$ (MPa)	$\phi$ (mm)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$F_i$ (kN)	$M_{Rd}^-$ (kNm)
2	49,00	-0,0002	-47,7671	3Φ14	4,62	-22,07	5,54
1	551,00	0,0332	434,7826	3Φ14	4,62	200,87	50,42
					9,24	0,00	105,84

**Πίνακας Π.5.Β.13 Υπολογισμός ροπών αντοχής δοκών πλαισιακού κτηρίου**

<b>B16 (3Φ14)</b>		<b>Λειτουργία πλακοδοκού</b>			<b>N<sub>Ed</sub> (KN)=</b>	<b>0</b>	
<b>b<sub>w</sub> (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>b<sub>eff</sub> (cm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>	
30,00	600,00	108,00	35,00	12,00	49,00	551,00	
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035		<b>x (mm)</b>		<b>f<sub>cd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (KN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (KNm)</b>
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0581		31,32		2,50	-383,39	110,21
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022						
<b>F<sub>yd</sub></b>	434,78						
<b>Οπλισμοί</b>	<b>y<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sub>2</sub>)</b>	<b>F<sub>i</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>Rd</sub><sup>+</sup> (kNm)</b>
<b>2</b>	49,00	0,0020	395,0599	3Φ14	4,62	182,52	-45,81
<b>1</b>	551,00	0,0581	434,7826	3Φ14	4,62	200,87	50,42
					9,24	0,00	114,82

<b>B17 (4Φ14)</b>		<b>Λειτουργία ορθογωνικής διατομής</b>			<b>N<sub>Ed</sub> (KN)=</b>	<b>0</b>	
<b>b<sub>w</sub> (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>		
30,00	600,00	35,00	12,00	49,00	551,00		
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035		<b>x (mm)</b>		<b>f<sub>cd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (KN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (KNm)</b>
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0283		60,58		2,50	-205,99	56,80
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022						
<b>F<sub>yd</sub></b>	434,78						
<b>Οπλισμοί</b>	<b>y<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sub>2</sub>)</b>	<b>F<sub>i</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>Rd</sub><sup>+</sup> (kNm)</b>
<b>2</b>	49,00	-0,0007	-133,8495	3Φ14	4,62	-61,84	15,52
<b>1</b>	551,00	0,0283	434,7826	4Φ14	6,16	267,83	67,22
					10,78	0,00	139,55

<b>B17 (4Φ14)</b>		<b>Λειτουργία πλακοδοκού</b>			<b>N<sub>Ed</sub> (KN)=</b>	<b>0</b>	
<b>b<sub>w</sub> (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>b<sub>eff</sub> (cm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>	
30,00	600,00	84,00	35,00	12,00	49,00	551,00	
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035		<b>x (mm)</b>		<b>f<sub>cd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (KN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (KNm)</b>
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0493		36,54		2,50	-347,88	99,28
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022						
<b>F<sub>yd</sub></b>	434,78						
<b>Οπλισμοί</b>	<b>y<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sub>2</sub>)</b>	<b>F<sub>i</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>Rd</sub><sup>+</sup> (kNm)</b>
<b>2</b>	49,00	0,0012	238,6509	4Φ14	6,16	147,01	-36,90
<b>1</b>	551,00	0,0493	434,7826	3Φ14	4,62	200,87	50,42
					10,78	0,00	112,80

**Πίνακας Π.5.Β.13 Υπολογισμός ροπών αντοχής δοκών πλαισιακού κτηρίου**

<b>B16 (4Φ14)</b>	Λειτουργία ορθογωνικής διατομής			<b>N<sub>Ed</sub> (KN)=</b>	<b>0</b>		
<b>b<sub>w</sub> (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>		
30,00	600,00	35,00	12,00	49,00	551,00		
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035		<b>x (mm)</b>		<b>f<sub>cd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (KN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (KNm)</b>
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0283		60,58		2,50	-205,99	56,80
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022						
<b>F<sub>yd</sub></b>	434,78						
<b>Οπλισμοί</b>	<b>γ<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>i</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>Rd</sub><sup>+</sup> (kNm)</b>
<b>2</b>	49,00	-0,0007	-133,8495	3Φ14	4,62	-61,84	15,52
<b>1</b>	551,00	0,0283	434,7826	4Φ14	6,16	267,83	67,22
					10,78	0,00	139,55

<b>B16 (4Φ14)</b>	Λειτουργία πλακοδοκού			<b>N<sub>Ed</sub> (KN)=</b>	<b>0</b>		
<b>b<sub>w</sub> (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>b<sub>eff</sub> (cm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>	
30,00	600,00	108,00	35,00	12,00	49,00	551,00	
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035		<b>x (mm)</b>		<b>f<sub>cd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (KN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (KNm)</b>
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0546		33,19		2,50	-406,26	116,48
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022						
<b>F<sub>yd</sub></b>	434,78						
<b>Οπλισμοί</b>	<b>γ<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>i</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>Rd</sub><sup>+</sup> (kNm)</b>
<b>2</b>	49,00	0,0017	333,4187	4Φ14	6,16	205,39	-51,55
<b>1</b>	551,00	0,0546	434,7826	3Φ14	4,62	200,87	50,42
					10,78	0,00	115,35

<b>B17 (5Φ14)</b>	Λειτουργία ορθογωνικής διατομής			<b>N<sub>Ed</sub> (KN)=</b>	<b>0</b>		
<b>b<sub>w</sub> (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>		
30,00	600,00	35,00	12,00	49,00	551,00		
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035		<b>x (mm)</b>		<b>f<sub>cd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (KN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (KNm)</b>
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0241		69,96		2,50	-237,88	64,71
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022						
<b>F<sub>yd</sub></b>	434,78						
<b>Οπλισμοί</b>	<b>γ<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>i</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>Rd</sub><sup>+</sup> (kNm)</b>
<b>2</b>	49,00	-0,0010	-209,7494	3Φ14	4,62	-96,90	24,32
<b>1</b>	551,00	0,0241	434,7826	5Φ14	7,70	334,78	84,03
					12,32	0,00	173,06

**Πίνακας Π.5.Β.13 Υπολογισμός ροπών αντοχής δοκών πλαισιακού κτηρίου**

<b>B17 (5Φ14)</b>	<b>Λειτουργία πλακοδοκού</b>			<b>N<sub>Ed</sub> (kN)=</b>	<b>0</b>		
<b>b<sub>w</sub> (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>b<sub>eff</sub> (cm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>	
30,00	600,00	84,00	35,00	12,00	49,00	551,00	
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035		<b>x (mm)</b>		<b>f<sub>cd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (kNm)</b>
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0475		37,83		2,50	-360,10	102,58
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022						
<b>F<sub>yd</sub></b>	434,78						
<b>Οπλισμοί</b>	<b>γ<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sub>2</sub>)</b>	<b>F<sub>i</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>Rd</sub><sup>+</sup> (kNm)</b>
<b>2</b>	49,00	0,0010	206,7927	5Φ14	7,70	159,23	-39,97
<b>1</b>	551,00	0,0475	434,7826	3Φ14	4,62	200,87	50,42
					12,32	0,00	113,03

<b>B16 (5Φ14)</b>	<b>Λειτουργία ορθογωνικής διατομής</b>			<b>N<sub>Ed</sub> (kN)=</b>	<b>0</b>		
<b>b<sub>w</sub> (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>		
30,00	600,00	35,00	12,00	49,00	551,00		
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035		<b>x (mm)</b>		<b>f<sub>cd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (kNm)</b>
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0241		69,96		2,50	-237,88	64,71
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022						
<b>F<sub>yd</sub></b>	434,78						
<b>Οπλισμοί</b>	<b>γ<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sub>2</sub>)</b>	<b>F<sub>i</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>Rd</sub><sup>+</sup> (kNm)</b>
<b>2</b>	49,00	-0,0010	-209,7494	3Φ14	4,62	-96,90	24,32
<b>1</b>	551,00	0,0241	434,7826	5Φ14	7,70	334,78	84,03
					12,32	0,00	173,06

<b>B16 (5Φ14)</b>	<b>Λειτουργία πλακοδοκού</b>			<b>N<sub>Ed</sub> (kN)=</b>	<b>0</b>		
<b>b<sub>w</sub> (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>b<sub>eff</sub> (cm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>	
30,00	600,00	108,00	35,00	12,00	49,00	551,00	
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035		<b>x (mm)</b>		<b>f<sub>cd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (kNm)</b>
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0522		34,65		2,50	-424,11	121,35
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022						
<b>F<sub>yd</sub></b>	434,78						
<b>Οπλισμοί</b>	<b>γ<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sub>2</sub>)</b>	<b>F<sub>i</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>Rd</sub><sup>+</sup> (kNm)</b>
<b>2</b>	49,00	0,0014	289,9192	5Φ14	7,70	223,24	-56,03
<b>1</b>	551,00	0,0522	434,7826	3Φ14	4,62	200,87	50,42
					12,32	0,00	115,74

## Π.5.Β.14 Ροπές αντοχής δοκών τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΜ

### B14-D,C,B,IS

#### Λειτουργία Πλακοδοκού

<b><math>N_{ed}</math> (kN)</b>	0					
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b><math>b_{eff}</math> (cm)</b>	<b><math>c_{nom}</math> (mm)</b>	<b><math>\phi</math> (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>
30	600	108	35	12	49	551

$\epsilon_c$	0,0035
$\epsilon_{s1}$	0,05460
$\epsilon_{yd}$	0,00217
$F_{yd}$ (MPa)	434,78

<b>x (mm)</b>
33

<b><math>f_{cd}</math> (MPa)</b>	<b><math>F_{cd}</math> (kN)</b>	<b><math>M_{cd}</math> (kNm)</b>
25	-406,26	116,48

Οπλισμοί (i)	$\gamma_i$ (mm)	$\epsilon_{si}$	$\sigma_{si}$ (MPa)	$\phi$ (mm)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$F_{si}$ (kN)	$M_{si}$ (kNm)
2	49	0,0017	333,418811	4 $\phi$ 14	6,16	205,39	-51,55
1	551	0,0546	434,782609	3 $\phi$ 14	4,62	200,87	50,42
<b>Σύνολο</b>					<b>10,78</b>	<b>0,00</b>	<b>115,35</b>

$M_{Rd}^+$ (kNm)= 115,35
--------------------------

#### Λειτουργία ορθογωνικής διατομής

<b><math>N_{ed}</math> (kN)</b>	0	
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	
30	600	

<b><math>c_{nom}</math> (mm)</b>	<b><math>\phi</math> (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>
35	12	49	551

$\epsilon_c$	0,0035
$\epsilon_{s1}$	0,02833
$\epsilon_{yd}$	0,00217
$F_{yd}$ (MPa)	434,78

<b>x (mm)</b>
61

<b><math>f_{cd}</math> (MPa)</b>	<b><math>F_{cd}</math> (kN)</b>	<b><math>M_{cd}</math> (kNm)</b>
25	-205,99	56,80

Οπλισμοί (i)	$\gamma_i$ (mm)	$\epsilon_{si}$	$\sigma_{si}$ (MPa)	$\phi$ (mm)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$F_{si}$ (kN)	$M_{si}$ (kNm)
1	49	-0,0007	-133,8483	3 $\phi$ 14	4,62	-61,84	15,52
2	551	0,0283	434,782609	4 $\phi$ 14	6,16	267,83	67,22
<b>Σύνολο</b>					<b>10,78</b>	<b>0,00</b>	<b>139,55</b>

$M_{Rd}^-$ (kNm)= 139,55
--------------------------

## Π.5.Β.14 Ροπές αντοχής δοκών τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΜ

### B14-E

#### Λειτουργία Πλακοδοκού

<b>N<sub>ed</sub> (kN)</b>	0					
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>b<sub>eff</sub> (cm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>
30	600	108	35	12	49	551

<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,05807
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,00217
<b>F<sub>yd</sub> (MPa)</b>	434,78

<b>x (mm)</b>
31

<b>f<sub>cd</sub> (Mpa)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (kNm)</b>
25	-383,387243	110,21

Οπλισμοί (i)	γ <sub>i</sub> (mm)	ε <sub>si</sub>	σ <sub>si</sub> (Mpa)	φ (mm)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	F <sub>si</sub> (kN)	M <sub>si</sub> (kNm)
2	49	0,0020	395,06	3φ14	4,62	182,52	-45,81
1	551	0,0581	434,78	3φ14	4,62	200,87	50,42
<b>Σύνολο</b>					<b>9,24</b>	<b>0,00</b>	<b>114,82</b>

<b>M<sub>Rd</sub><sup>+</sup> (kNm)= 114,82</b>
---

#### Λειτουργία ορθογωνικής διατομής

<b>N<sub>ed</sub> (kN)</b>	0	
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	
30	600	

<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>
35	12	49	551

<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,03317
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,00217
<b>F<sub>yd</sub> (MPa)</b>	434,78

<b>x (mm)</b>
53

<b>f<sub>cd</sub> (Mpa)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (kNm)</b>
25	-178,80	49,88

Οπλισμοί (i)	γ <sub>i</sub> (mm)	ε <sub>si</sub>	σ <sub>si</sub> (Mpa)	φ (mm)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	F <sub>si</sub> (kN)	M <sub>si</sub> (kNm)
1	49	-0,0002	-47,77	3φ14	4,62	-22,07	5,54
2	551	0,0332	434,78	3φ14	4,62	200,87	50,42
<b>Σύνολο</b>					<b>9,24</b>	<b>0,00</b>	<b>105,84</b>

<b>M<sub>Rd</sub><sup>-</sup> (kNm)= 105,84</b>
---

## Π.5.Β.14 Ροπές αντοχής δοκών τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΜ

### B11-E,D,C,B,IS

#### Λειτουργία Πλακοδοκού

<b>N<sub>ed</sub> (kN)</b>	0					
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>b<sub>eff</sub> (cm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>
30	600	73	35	12	49	551

<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,04865
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,00217
<b>F<sub>yd</sub> (MPa)</b>	434,78

<b>x (mm)</b>
36,98

<b>f<sub>cd</sub> (Mpa)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (kNm)</b>
25	-305,96	87,26

Οπλισμοί (i)	y <sub>i</sub> (mm)	ε <sub>si</sub>	σ <sub>si</sub> (Mpa)	φ (mm)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	F <sub>si</sub> (kN)	M <sub>si</sub> (kNm)
2	49	0,0011	227,48	3φ14	4,62	105,09	-26,38
1	551	0,0486	434,78	3φ14	4,62	200,87	50,42
<b>Σύνολο</b>					<b>9,24</b>	<b>305,96</b>	<b>24,04</b>

$$M_{Rd}^+ \text{ (kNm)} = 24,04$$

#### Λειτουργία ορθογωνικής διατομής

<b>N<sub>ed</sub> (kN)</b>	0	
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	
30	600	

<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>
35	12	49	551

<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,03317
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,00217
<b>F<sub>yd</sub> (MPa)</b>	434,78

<b>x (mm)</b>
52,59

<b>f<sub>cd</sub> (Mpa)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (kNm)</b>
25	-178,80	49,88

Οπλισμοί (i)	y <sub>i</sub> (mm)	ε <sub>si</sub>	σ <sub>si</sub> (Mpa)	φ (mm)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	F <sub>si</sub> (kN)	M <sub>si</sub> (kNm)
1	49	-0,0002	-47,77	3φ14	4,62	-22,07	5,54
2	551	0,0332	434,78	3φ14	4,62	200,87	50,42
<b>Σύνολο</b>					<b>9,24</b>	<b>178,80</b>	<b>55,96</b>

$$M_{Rd}^- \text{ (kNm)} = 55,96$$

Πίνακας Π.5.Β.15 Διαστασιολόγηση υποστύλων πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης-θλίψης για ΚΠΜ

Υποσύλωμα	b (m)	h (m)	f <sub>cd</sub> (MPa)	f <sub>ck</sub> (MPa)	h <sub>clear</sub> (m)	N <sub>EC</sub> <sup>top</sup> (KN)	N <sub>EC</sub> <sup>bot</sup> (KN)	M <sub>ECx</sub> <sup>top</sup> (KNm)	M <sub>ECy</sub> <sup>top</sup> (KNm)	M <sub>ECx</sub> <sup>bot</sup> (KNm)	M <sub>ECy</sub> <sup>bot</sup> (KNm)
C12-E	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-75,73	0,00	2,20	56,72	0,00	0,00
C12-D	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-194,50	-97,61	13,40	55,85	4,02	40,60
C12-C	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-309,75	-216,38	19,38	63,06	8,13	46,54
C12-B	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-422,29	-331,62	22,44	65,42	16,15	54,58
C12-A	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-776,30	-444,16	25,22	59,30	22,79	65,89
C6-E	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-109,03	0,00	24,81	76,11	0,00	0,00
C6-D	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-269,80	-130,91	21,55	82,36	24,29	59,85
C6-C	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-427,30	-291,68	22,83	96,84	23,63	75,55
C6-B	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-582,50	-449,17	23,44	101,49	23,67	91,28
C6-A	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-741,38	-604,38	16,98	66,12	23,31	106,53
C1-E	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-49,90	0,00	4,22	45,23	0,00	0,00
C1-D	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-153,78	-71,77	15,01	53,60	2,78	31,79
C1-C	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-259,25	-175,66	21,78	61,15	9,95	43,74
C1-B	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-365,33	-281,12	25,59	62,53	18,74	54,65
C1-A	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-460,98	-387,20	17,85	37,78	27,61	66,00

Υποσύλωμα	d/h	μ <sub>d</sub> <sup>top</sup>	v <sub>d</sub> <sup>top</sup>	ω <sup>top</sup>	μ <sub>d</sub> <sup>bot</sup>	v <sub>d</sub> <sup>bot</sup>	ω <sup>bot</sup>	ω <sub>ενιαίο φόρτισης</sub>	ω <sub>ικαν, max</sub>	ω <sub>δυσμεν</sub>
C12-E	0,08	0,04	-0,02	0,08	0,00	0,00	0,00	0,040	0,000	0,040
C12-D	0,08	0,04	-0,05	0,04	0,03	-0,03	0,03	0,035	0,055	0,055
C12-C	0,08	0,05	-0,09	0,01	0,03	-0,06	0,00	0,005	0,005	0,005
C12-B	0,08	0,05	-0,12	0,00	0,04	-0,09	0,01	0,005	0,000	0,005
C12-A	0,08	0,04	-0,22	0,00	0,05	-0,13	0,00	0,000	0,000	0,000
C6-E	0,08	0,06	-0,03	0,10	0,00	0,00	0,00	0,050	0,000	0,050
C6-D	0,08	0,06	-0,08	0,05	0,04	-0,04	0,05	0,050	0,140	0,140
C6-C	0,08	0,07	-0,12	0,04	0,06	-0,08	0,05	0,045	0,095	0,095
C6-B	0,08	0,07	-0,16	0,05	0,07	-0,13	0,04	0,045	0,025	0,045
C6-A	0,08	0,05	-0,21	0,00	0,08	-0,17	0,06	0,030	0,050	0,050
C1-E	0,08	0,03	-0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,025	0,000	0,025
C1-D	0,08	0,04	-0,04	0,06	0,02	-0,02	0,03	0,045	0,045	0,045
C1-C	0,08	0,04	-0,07	0,03	0,03	-0,05	0,01	0,020	0,040	0,040
C1-B	0,08	0,05	-0,10	0,00	0,04	-0,08	0,01	0,005	0,000	0,005
C1-A	0,08	0,03	-0,13	0,00	0,05	-0,11	0,00	0,000	0,000	0,000



Πίνακας Π.5.Β.15 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης-θλίψης για ΚΠΜ

Ικανοτικός σχεδιασμός κόμβων υποστυλώματος C12							
Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C12-D	x-x (+)	-135,68	-274,24	105,84	0,00	45,54	92,05
	x-x (-)	-135,68	-274,24	111,30	0,00	47,89	96,80
	γ-γ (+)	-135,68	-274,24	105,84	0,00	45,54	92,05
	γ-γ (-)	-135,68	-274,24	114,82	0,00	49,41	99,86

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C12-C	x-x (+)	-303,77	-441,99	105,84	0,00	56,05	81,55
	x-x (-)	-303,77	-441,99	111,30	0,00	58,94	85,75
	γ-γ (+)	-303,77	-441,99	139,55	0,00	73,90	107,52
	γ-γ (-)	-303,77	-441,99	115,35	0,00	61,08	88,87

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C12-B	x-x (+)	-471,52	-609,70	105,84	0,00	60,00	77,59
	x-x (-)	-471,52	-609,70	111,30	0,00	63,10	81,59
	γ-γ (+)	-471,52	-609,70	139,55	0,00	79,12	102,30
	γ-γ (-)	-471,52	-609,70	115,35	0,00	65,40	84,56

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C12-A	x-x (+)	-639,23	-776,30	105,84	0,00	62,13	75,46
	x-x (-)	-639,23	-776,30	111,30	0,00	65,34	79,35
	γ-γ (+)	-639,23	-776,30	139,55	0,00	81,92	99,49
	γ-γ (-)	-639,23	-776,30	115,35	0,00	67,72	82,24

Πίνακας Π.5.Β.15 Διαστασιολόγηση υποστρωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης-θλίψης για ΚΠΜ

ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΟΜΒΩΝ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ C12 (Συνέχεια)														
C12-D (κεφαλή)							C12-E (βάση)							
Κόμβος	$M_{RC\ y\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ y\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$\omega_{ενιαίο}$	$\omega_{max}$
C12-D	92,05	0,00	-274,24	-0,08	0,05	0,050	45,54	0,00	-135,68	-0,04	0,03	0,050	0,050	0,055
	96,80	0,00	-274,24	-0,08	0,05	0,050	47,89	0,00	-135,68	-0,04	0,03	0,050	0,050	
	0,00	92,05	-274,24	-0,08	0,05	0,050	0,00	45,54	-135,68	-0,04	0,03	0,050	0,050	
	0,00	99,86	-274,24	-0,08	0,06	0,060	0,00	49,41	-135,68	-0,04	0,03	0,050	0,055	

C12-C (κεφαλή)							C12-D (βάση)							
Κόμβος	$M_{RC\ y\ top}$	$M_{RC\ x\ top}$	$N_{EC\ top}$	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ y\ bot}$	$M_{RC\ x\ bot}$	$N_{EC\ bot}$	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$\omega_{ενιαίο}$	$\omega_{max}$
C12-C	81,55	0,00	-441,99	-0,12	0,05	0,000	56,05	0,00	-303,77	-0,09	0,03	0,000	0,000	0,005
	85,75	0,00	-441,99	-0,12	0,05	0,000	58,94	0,00	-303,77	-0,09	0,03	0,000	0,000	
	0,00	107,52	-441,99	-0,12	0,06	0,010	0,00	73,90	-303,77	-0,09	0,04	0,000	0,005	
	0,00	88,87	-441,99	-0,12	0,05	0,010	0,00	61,08	-303,77	-0,09	0,03	0,000	0,005	

C12-B (κεφαλή)							C12-C (βάση)							
Κόμβος	$M_{RC\ y\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ y\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$\omega_{ενιαίο}$	$\omega_{max}$
C12-B	77,59	0,00	-609,70	-0,17	0,04	0,000	60,00	0,00	-471,52	-0,13	0,03	0,000	0,000	0,000
	81,59	0,00	-609,70	-0,17	0,05	0,000	63,10	0,00	-471,52	-0,13	0,04	0,000	0,000	
	0,00	102,30	-609,70	-0,17	0,06	0,000	0,00	79,12	-471,52	-0,13	0,04	0,000	0,000	
	0,00	84,56	-609,70	-0,17	0,05	0,000	0,00	65,40	-471,52	-0,13	0,04	0,000	0,000	

C12-A (κεφαλή)							C12-B (βάση)							
Κόμβος	$M_{RC\ y\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ y\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$\omega_{ενιαίο}$	$\omega_{max}$
C12-A	75,46	0,00	-776,30	-0,22	0,04	0,000	62,13	0,00	-639,23	-0,18	0,04	0,000	0,000	0,000
	79,35	0,00	-776,30	-0,22	0,04	0,000	65,34	0,00	-639,23	-0,18	0,04	0,000	0,000	
	0,00	99,49	-776,30	-0,22	0,06	0,000	0,00	81,92	-639,23	-0,18	0,05	0,000	0,000	
	0,00	82,24	-776,30	-0,22	0,05	0,000	0,00	67,72	-639,23	-0,18	0,04	0,000	0,000	

Πίνακας Π.5.Β.15 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης-θλίψης για ΚΠΜ

Ικανοτικός σχεδιασμός κόμβων υποστυλώματος C6							
Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD1</sub> (KNm)	M <sub>RD2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C6-D	x-x (+)	190,34	397,23	105,84	0,00	44,57	93,02
	x-x (-)	190,34	397,23	115,46	0,00	48,62	101,47
	γ-γ (+)	190,34	397,23	139,55	115,35	107,35	224,02
	γ-γ (-)	190,34	397,23	112,80	139,55	106,27	221,78

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD1</sub> (KNm)	M <sub>RD2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C6-C	x-x (+)	426,73	635,66	105,84	0,00	55,27	82,33
	x-x (-)	426,73	635,66	115,46	0,00	60,29	89,81
	γ-γ (+)	426,73	635,66	139,55	115,35	133,10	198,27
	γ-γ (-)	426,73	635,66	112,80	139,55	131,77	196,29

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD1</sub> (KNm)	M <sub>RD2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C6-B	x-x (+)	665,19	875,41	105,84	0,00	59,41	78,18
	x-x (-)	665,19	875,41	115,46	0,00	64,81	85,29
	γ-γ (+)	665,19	875,41	173,06	115,74	162,11	213,33
	γ-γ (-)	665,19	875,41	113,03	173,06	160,58	211,33

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD1</sub> (KNm)	M <sub>RD2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C6-A	x-x (+)	904,91	1120,30	105,84	0,00	61,48	76,11
	x-x (-)	904,91	1120,30	115,46	0,00	67,07	83,03
	γ-γ (+)	904,91	1120,30	139,55	115,35	148,06	183,31
	γ-γ (-)	904,91	1120,30	112,80	139,55	146,58	181,47

Πίνακας Π.5.Β.15 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης-θλίψης για ΚΠΜ

Ικανοτικός σχεδιασμός κόμβων υποστυλώματος C6 (συνέχεια)														
C6-D (κεφαλή)							C6-E (βάση)							
Κόμβος	$M_{RC\gamma\ top}$ (KNm)	$M_{RC\chi\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\gamma\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\chi\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$\omega_{ενιαίο}$	$\omega_{max}$
C6-D	93,02	0,00	-397,23	-0,11	0,05	0,000	44,57	0,00	-190,34	-0,05	0,03	0,000	0,000	0,140
	101,47	0,00	-397,23	-0,11	0,06	0,010	48,62	0,00	-190,34	-0,05	0,03	0,010	0,010	
	0,00	224,02	-397,23	-0,11	0,13	0,200	0,00	107,35	-190,34	-0,05	0,06	0,080	0,140	
	0,00	221,78	-397,23	-0,11	0,13	0,200	0,00	106,27	-190,34	-0,05	0,06	0,080	0,140	

C6-C (κεφαλή)							C6-D (βάση)							
Κόμβος	$M_{RC\gamma\ top}$	$M_{RC\chi\ top}$	$N_{EC\ top}$	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\gamma\ bot}$	$M_{RC\chi\ bot}$	$N_{EC\ bot}$	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$\omega_{ενιαίο}$	$\omega_{max}$
C6-C	82,33	0,00	-635,66	-0,18	0,05	0,000	55,27	0,00	-426,73	-0,12	0,03	0,000	0,000	0,095
	89,81	0,00	-635,66	-0,18	0,05	0,000	60,29	0,00	-426,73	-0,12	0,03	0,000	0,000	
	0,00	198,27	-635,66	-0,18	0,11	0,110	0,00	133,10	-426,73	-0,12	0,08	0,080	0,095	
	0,00	196,29	-635,66	-0,18	0,11	0,110	0,00	131,77	-426,73	-0,12	0,07	0,080	0,095	

C6-B (κεφαλή)							C6-C (βάση)							
Κόμβος	$M_{RC\gamma\ top}$ (KNm)	$M_{RC\chi\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\gamma\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\chi\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$\omega_{ενιαίο}$	$\omega_{max}$
C6-B	78,18	0,00	-875,41	-0,25	0,04	0,000	59,41	0,00	-665,19	-0,19	0,03	0,000	0,000	0,025
	85,29	0,00	-875,41	-0,25	0,05	0,000	64,81	0,00	-665,19	-0,19	0,04	0,000	0,000	
	0,00	213,33	-875,41	-0,25	0,12	0,020	0,00	162,11	-665,19	-0,19	0,09	0,030	0,025	
	0,00	211,33	-875,41	-0,25	0,12	0,020	0,00	160,58	-665,19	-0,19	0,09	0,030	0,025	

C6-A (κεφαλή)							C6-B (βάση)							
Κόμβος	$M_{RC\gamma\ top}$ (KNm)	$M_{RC\chi\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\gamma\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\chi\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$\omega_{ενιαίο}$	$\omega_{max}$
C6-A	76,11	0,00	-1120,30	-0,32	0,04	0,000	61,48	0,00	-904,91	-0,26	0,03	0,000	0,000	0,005
	83,03	0,00	-1120,30	-0,32	0,05	0,000	67,07	0,00	-904,91	-0,26	0,04	0,000	0,000	
	0,00	183,31	-1120,30	-0,32	0,10	0,010	0,07	148,06	-904,91	-0,26	0,08	0,000	0,005	
	0,00	181,47	-1120,30	-0,32	0,10	0,010	0,07	146,58	-904,91	-0,26	0,08	0,000	0,005	

Πίνακας Π.5.Β.15 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης-θλίψης για ΚΠΜ

Ικανοτικός σχεδιασμός κόμβων υποστυλώματος C1							
Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C1-D	x-x (+)	94,99	198,34	105,84	0,00	44,56	93,04
	x-x (-)	94,99	198,34	111,30	0,00	46,86	97,83
	γ-γ (+)	94,99	198,34	105,84	0,00	44,56	93,04
	γ-γ (-)	94,99	198,34	112,47	0,00	47,35	98,86

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C1-C	x-x (+)	227,87	325,60	105,84	0,00	56,65	80,94
	x-x (-)	227,87	325,60	111,30	0,00	59,57	85,12
	γ-γ (+)	227,87	325,60	139,55	0,00	74,69	106,72
	γ-γ (-)	227,87	325,60	112,80	0,00	60,37	86,27

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C1-B	x-x (+)	355,13	448,28	105,84	0,00	60,82	76,77
	x-x (-)	355,13	448,28	111,30	0,00	63,96	80,73
	γ-γ (+)	355,13	448,28	139,55	0,00	80,19	101,22
	γ-γ (-)	355,13	448,28	112,80	0,00	64,82	81,82

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C1-A	x-x (+)	477,82	555,27	105,84	0,00	63,64	73,95
	x-x (-)	477,82	555,27	111,30	0,00	66,92	77,77
	γ-γ (+)	477,82	555,27	139,55	0,00	83,91	97,51
	γ-γ (-)	477,82	555,27	112,80	0,00	67,82	78,82

Πίνακας Π.5.Β.15 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης-θλίψης για ΚΠΜ

Ικανοτικός σχεδιασμός κόμβων υποστυλώματος C1 (συνέχεια)														
C1-D (κεφαλή)							C1-E (βάση)							
Κόμβος	M <sub>RC y top</sub> (KNm)	M <sub>RC x top</sub> (KNm)	N <sub>EC top</sub> (KN)	v <sub>d</sub>	μ <sub>d</sub>	ω	M <sub>RC y bot</sub> (KNm)	M <sub>RC x bot</sub> (KNm)	N <sub>EC bot</sub> (KN)	v <sub>d</sub>	μ <sub>d</sub>	ω	ω <sub>ενιαίο</sub>	ω <sub>max</sub>
C1-D	93,04	0,00	-198,34	-0,06	0,05	0,050	44,56	0,00	-94,99	-0,03	0,03	0,000	0,025	0,045
	97,83	0,00	-198,34	-0,06	0,06	0,050	46,86	0,00	-94,99	-0,03	0,03	0,040	0,045	
	0,00	93,04	-198,34	-0,06	0,05	0,050	0,00	44,56	-94,99	-0,03	0,03	0,000	0,025	
	0,00	98,86	-198,34	-0,06	0,06	0,050	0,00	47,35	-94,99	-0,03	0,03	0,040	0,045	
C1-C (κεφαλή)							C1-D (βάση)							
Κόμβος	M <sub>RC y top</sub> (KNm)	M <sub>RC x top</sub> (KNm)	N <sub>EC top</sub> (KN)	v <sub>d</sub>	μ <sub>d</sub>	ω	M <sub>RC y bot</sub> (KNm)	M <sub>RC x bot</sub> (KNm)	N <sub>EC bot</sub> (KN)	v <sub>d</sub>	μ <sub>d</sub>	ω	ω <sub>ενιαίο</sub>	ω <sub>max</sub>
C1-C	80,94	0,00	-325,60	-0,09	0,05	0,000	56,65	0,00	-227,87	-0,06	0,03	0,020	0,010	0,040
	85,12	0,00	-325,60	-0,09	0,05	0,020	59,57	0,00	-227,87	-0,06	0,03	0,020	0,020	
	0,00	106,72	-325,60	-0,09	0,06	0,040	0,00	74,69	-227,87	-0,06	0,04	0,040	0,040	
	0,00	86,27	-325,60	-0,09	0,05	0,020	0,00	60,37	-227,87	-0,06	0,03	0,020	0,020	
C1-B (κεφαλή)							C1-C (βάση)							
Κόμβος	M <sub>RC y top</sub> (KNm)	M <sub>RC x top</sub> (KNm)	N <sub>EC top</sub> (KN)	v <sub>d</sub>	μ <sub>d</sub>	ω	M <sub>RC y bot</sub> (KNm)	M <sub>RC x bot</sub> (KNm)	N <sub>EC bot</sub> (KN)	v <sub>d</sub>	μ <sub>d</sub>	ω	ω <sub>ενιαίο</sub>	ω <sub>max</sub>
C1-B	76,77	0,00	-448,28	-0,13	0,04	0,000	60,82	0,00	-355,13	-0,10	0,03	0,000	0,000	0,000
	80,73	0,00	-448,28	-0,13	0,05	0,000	63,96	0,00	-355,13	-0,10	0,04	0,000	0,000	
	0,00	101,22	-448,28	-0,13	0,06	0,000	0,00	80,19	-355,13	-0,10	0,05	0,000	0,000	
	0,00	81,82	-448,28	-0,13	0,05	0,000	0,00	64,82	-355,13	-0,10	0,04	0,000	0,000	
C1-A (κεφαλή)							C1-B (βάση)							
Κόμβος	M <sub>RC y top</sub> (KNm)	M <sub>RC x top</sub> (KNm)	N <sub>EC top</sub> (KN)	v <sub>d</sub>	μ <sub>d</sub>	ω	M <sub>RC y bot</sub> (KNm)	M <sub>RC x bot</sub> (KNm)	N <sub>EC bot</sub> (KN)	v <sub>d</sub>	μ <sub>d</sub>	ω	ω <sub>ενιαίο</sub>	ω <sub>max</sub>
C1-A	73,95	0,00	-555,27	-0,16	0,04	0,000	63,64	0,00	-477,82	-0,13	0,04	0,000	0,000	0,000
	77,77	0,00	-555,27	-0,16	0,04	0,000	66,92	0,00	-477,82	-0,13	0,04	0,000	0,000	
	0,00	97,51	-555,27	-0,16	0,06	0,000	0,00	83,91	-477,82	-0,13	0,05	0,000	0,000	
	0,00	78,82	-555,27	-0,16	0,04	0,000	0,00	67,82	-477,82	-0,13	0,04	0,000	0,000	

Πίνακας Π.5.Β.15 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαίσιακού κτηρίου έναντι κάμψης-θλίψης για ΚΠΜ

Επιλογή τοποθετούμενου διαμήκους οπλισμού υποστυλωμάτων												
Υποσύλωμα 1	$\omega_{\max}$		$A_{s,\min}$ (cm <sup>2</sup> )	$\omega_{\text{διαστ}}$	$A_{s,\text{tot}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{tot,παρ}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{τελ,παρ}}$ (cm <sup>2</sup> )	Τοποθετούμενος		$A_{s,\text{τοπ}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{max}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{tot}}$ (cm <sup>2</sup> )
Κόμβος Ε	0,025	C1-E	25,00	0,045	3,67	1,83	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος D	0,045	C1-D	25,00	0,045	3,67	1,83	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος C	0,040	C1-C	25,00	0,040	3,26	1,63	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος Β	0,005	C1-B	25,00	0,005	0,41	0,20	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος Α	0,000	C1-A	25,00	0,000	0,00	0,00	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48

Υποσύλωμα 6	$\omega_{\max}$		$A_{s,\min}$ (cm <sup>2</sup> )	$\omega_{\text{διαστ}}$	$A_{s,\text{tot}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{tot,παρ}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{τελ,παρ}}$ (cm <sup>2</sup> )	Τοποθετούμενος		$A_{s,\text{τοπ}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{max}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{tot}}$ (cm <sup>2</sup> )
Κόμβος Ε	0,050	C6-E	25,00	0,140	11,41	5,70	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος D	0,140	C6-D	25,00	0,140	11,41	5,70	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος C	0,095	C6-C	25,00	0,095	7,74	3,87	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος Β	0,045	C6-B	25,00	0,050	4,07	2,04	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος Α	0,050	C6-A	25,00	0,050	4,07	2,04	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48

Υποσύλωμα 12	$\omega_{\max}$		$A_{s,\min}$ (cm <sup>2</sup> )	$\omega_{\text{διαστ}}$	$A_{s,\text{tot}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{tot,παρ}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{τελ,παρ}}$ (cm <sup>2</sup> )	Τοποθετούμενος		$A_{s,\text{τοπ}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{max}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{tot}}$ (cm <sup>2</sup> )
Κόμβος Ε	0,040	C12-E	25,00	0,055	4,48	2,24	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος D	0,055	C12-D	25,00	0,055	4,48	2,24	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος C	0,005	C12-C	25,00	0,005	0,41	0,20	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος Β	0,005	C12-B	25,00	0,005	0,41	0,20	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος Α	0,000	C12-A	25,00	0,000	0,00	0,00	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48

Πίνακας Π.5.Β.15 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης-θλίψης για ΚΠΜ

Υπολογισμός των ροπών αντοχής των άκρων των υποστυλωμάτων								
Υποσύλωμα	$\omega_{tot,top}$	$v_{d,top}$	$\mu_{RD,top}$	$M_{RD,C,top}$ (KNm)	$v_{d,bot}$	$\mu_{RD,bot}$	$M_{RD,C,bot}$ (KNm)	$\Sigma_{MR,C}$ (KNm)
C1-E	0,249	-0,01	0,120	212,55	0,00	0,000	0,00	212,55
C1-D	0,249	-0,04	0,130	230,26	-0,02	0,125	221,41	451,67
C1-C	0,249	-0,07	0,140	247,98	-0,05	0,135	239,12	487,09
C1-B	0,249	-0,10	0,150	265,69	-0,08	0,145	256,83	522,52
C1-A	0,249	-0,13	0,160	283,40	-0,11	0,155	274,54	557,94

Υποσύλωμα	$\omega_{tot,top}$	$v_{d,top}$	$\mu_{RD,top}$	$M_{RD,C,top}$ (KNm)	$v_{d,bot}$	$\mu_{RD,bot}$	$M_{RD,C,bot}$ (KNm)	$\Sigma_{MR,C}$ (KNm)
C6-E	0,249	-0,03	0,125	221,41	0,00	0,000	0,00	221,41
C6-D	0,249	-0,08	0,140	247,98	-0,04	0,130	230,26	478,24
C6-C	0,249	-0,12	0,160	283,40	-0,08	0,145	256,83	540,23
C6-B	0,249	-0,16	0,170	301,11	-0,13	0,165	292,26	593,37
C6-A	0,249	-0,21	0,185	327,68	-0,17	0,175	309,97	637,65

Υποσύλωμα	$\omega_{tot,top}$	$v_{d,top}$	$\mu_{RD,top}$	$M_{RD,C,top}$ (KNm)	$v_{d,bot}$	$\mu_{RD,bot}$	$M_{RD,C,bot}$ (KNm)	$\Sigma_{MR,C}$ (KNm)
C12-E	0,249	-0,02	0,125	221,41	0,00	0,000	0,00	221,41
C12-D	0,249	-0,05	0,135	239,12	-0,03	0,130	230,26	469,38
C12-C	0,249	-0,09	0,145	256,83	-0,06	0,140	247,98	504,81
C12-B	0,249	-0,12	0,160	283,40	-0,09	0,150	265,69	549,09
C12-A	0,249	-0,22	0,185	327,68	-0,13	0,165	292,26	619,94



**Π.5.Β.16 Διαστασιολόγηση υποστηλώματος τοιχωματικού κτηρίου εναντι θλίψης -κάμψης για ΚΠΜ**

Υποστύλ.	b (m)	h (m)	h <sub>clear</sub> (m)	f <sub>yd</sub> (MPa)	f <sub>cd</sub> (MPa)	Αποτελέσματα SAP2000					
						N <sub>EC</sub> <sup>top</sup> (kN)	N <sub>EC</sub> <sup>bot</sup> (kN)	M <sub>ECx</sub> <sup>top</sup> (kNm)	M <sub>ECy</sub> <sup>top</sup> (kNm)	M <sub>ECx</sub> <sup>bot</sup> (kNm)	M <sub>ECy</sub> <sup>bot</sup> (kNm)
C12-E	0,50	0,50	2,90	434,78	14,17	-91,90	-113,77	23,40	93,31	15,12	76,47
C12-D	0,50	0,50	2,90	434,78	14,17	-240,67	-262,51	10,29	66,56	11,64	69,90
C12-C	0,50	0,50	2,90	434,78	14,17	-390,17	-412,03	10,37	69,45	11,99	71,11
C12-B	0,50	0,50	2,90	434,78	14,17	-457,94	-605,80	8,58	65,35	9,12	76,32
C12-IS	0,50	0,50	2,90	434,78	14,17	-692,33	-714,20	8,31	44,70	9,93	42,53

Υποστύλ.	M <sub>EC,top</sub> (kNm)	M <sub>EC,bot</sub> (kNm)	v <sub>d,top</sub>	μ <sub>d,top</sub>	ω <sub>top</sub>	v <sub>d,bot</sub>	μ <sub>d,bot</sub>	ω <sub>bot</sub>
C12-E	121,30	99,41	-0,026	0,068	0,110	-0,032	0,056	0,090
C12-D	86,53	90,87	-0,068	0,049	0,040	-0,074	0,051	0,040
C12-C	90,29	92,44	-0,110	0,051	0,070	-0,116	0,052	0,070
C12-B	84,96	99,22	-0,129	0,048	0,000	-0,171	0,056	0,000
C12-IS	58,11	55,29	-0,195	0,033	0,000	-0,202	0,031	0,000

κόμβος	ενιαίο ω
E	0,110
D	0,065
C	0,055
B	0,035
IS	0,000

**Π.5.Β.16 Διαστασιολόγηση υποστηλώματος τοιχωματικού κτηρίου εναντι θλίψης -κάμψης για ΚΠΜ**

**ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ C7**

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
D	xx(+)	-158,25	-334,52	-105,84	0	-44,19	-93,40
	xx(-)	-158,25	-334,52	111,30	0	46,47	98,23
	γγ(+)	-158,25	-334,52	-139,55	0	-58,26	-123,15
	γγ(-)	-158,25	-334,52	115,35	0	48,16	101,80

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C	xx(+)	-364,01	-541,33	-105,84	0	-55,32	-82,27
	xx(-)	-364,01	-541,33	111,30	0	58,18	86,52
	γγ(+)	-364,01	-541,33	-139,55	0	-72,94	-108,47
	γγ(-)	-364,01	-541,33	115,35	0	60,29	89,66

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
B	xx(+)	-570,83	-750,70	-105,84	0	-59,43	-78,16
	xx(-)	-570,83	-750,70	111,30	0	62,50	82,19
	γγ(+)	-570,83	-750,70	-139,55	0	-78,36	-103,05
	γγ(-)	-570,83	-750,70	115,35	0	64,77	85,18

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
IS	xx(+)	-780,23	-961,37	-105,84	0	-61,64	-75,95
	xx(-)	-780,23	-961,37	111,30	0	64,82	79,87
	γγ(+)	-780,23	-961,37	-139,55	0	-81,27	-100,14
	γγ(-)	-780,23	-961,37	115,35	0	67,18	82,78

**Π.5.Β.16 Διαστασιολόγηση υποστηλώματος τοιχωματικού κτηρίου εναντι θλίψης -κάμψης για ΚΠΜ**

Κόμβος	C12-D(κεφαλη)						C12-E(βαση)						$\omega_{\text{ενιαίο}}$	$\omega_{\text{max}}$
	$M_{RC\ y\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ y\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$		
D	-93,40	0	-334,52	0,053	-0,094	0,040	-44,19	0	-158,25	0,025	-0,045	0,010	0,025	<b>0,065</b>
	98,23	0	-334,52	0,055	-0,094	0,040	46,47	0	-158,25	0,026	-0,045	0,010	0,025	
	0	-123,15	-334,52	0,070	-0,094	0,090	0	-58,26	-158,25	0,033	-0,045	0,040	0,065	
	0	101,80	-334,52	0,057	-0,094	0,040	0	48,16	-158,25	0,027	-0,045	0,010	0,025	
Κόμβος	C12-C(κεφαλη)						C12-D(βαση)						$\omega_{\text{ενιαίο}}$	$\omega_{\text{max}}$
	$M_{RC\ y\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ y\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$		
C	-82,27	0	-541,33	0,046	-0,153	0,000	-55,32	0	-364,01	0,031	-0,103	0,000	0,000	<b>0,005</b>
	86,52	0	-541,33	0,049	-0,153	0,000	58,18	0	-364,01	0,033	-0,103	0,000	0,000	
	0	-108,47	-541,33	0,061	-0,153	0,000	0	-72,94	-364,01	0,041	-0,103	0,010	0,005	
	0	89,66	-541,33	0,051	-0,153	0,000	0	60,29	-364,01	0,034	-0,103	0,000	0,000	
Κόμβος	C12-B(κεφαλη)						C12-C(βαση)						$\omega_{\text{ενιαίο}}$	$\omega_{\text{max}}$
	$M_{RC\ y\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ y\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$		
B	-78,16	0	-750,70	0,044	-0,212	0,000	-59,43	0	-570,83	0,034	-0,161	0,000	0,000	<b>0,000</b>
	82,19	0	-750,70	0,046	-0,212	0,000	62,50	0	-570,83	0,035	-0,161	0,000	0,000	
	0	-103,05	-750,70	0,058	-0,212	0,000	0	-78,36	-570,83	0,044	-0,161	0,000	0,000	
	0	85,18	-750,70	0,048	-0,212	0,000	0	64,77	-570,83	0,037	-0,161	0,000	0,000	
Κόμβος	C12-IS(κεφαλη)						C12-B(βαση)						$\omega_{\text{ενιαίο}}$	$\omega_{\text{max}}$
	$M_{RC\ y\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ y\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$		
IS	-75,95	0	-961,37	0,043	-0,271	0,000	-61,64	0	-780,23	0,035	-0,220	0,000	0,000	<b>0,000</b>
	79,87	0	-961,37	0,045	-0,271	0,000	64,82	0	-780,23	0,037	-0,220	0,000	0,000	
	0	-100,14	-961,37	0,057	-0,271	0,000	0	-81,27	-780,23	0,046	-0,220	0,000	0,000	
	0	82,78	-961,37	0,047	-0,271	0,000	0	67,18	-780,23	0,038	-0,220	0,000	0,000	

**Π.5.Β.16 Διαστασιολόγηση υποστηλώματος τοιχωματικού κτηρίου εναντι θλίψης -κάμψης για ΚΠΜ**

Κόμβος	Τελικό $\omega$
E	0,110
D	0,065
C	0,055
B	0,035
IS	0,000

Υποστύλ.	Απαιτούμενος Οπλισμός				Τοποθετούμενος Οπλισμός					
	$\omega$	$A_{s,tot}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,min}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τελ,παρ}$ (cm <sup>2</sup> )		$A_{s,τοπ,παρ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τοπ,ολ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,max}$ (cm <sup>2</sup> )	$s_{τοπ}$ (mm)	$s_{max}$ (mm)
C12-E	0,110	8,96	25,00	6,25	4 $\phi$ 18	10,16	30,48	100	100	200
C12-D	0,065	5,30	25,00	6,25	4 $\phi$ 18	10,16	30,48	100	100	200
C12-C	0,055	4,48	25,00	6,25	4 $\phi$ 18	10,16	30,48	100	100	200
C12-B	0,035	2,85	25,00	6,25	4 $\phi$ 18	10,16	30,48	100	100	200
C12-IS	0,000	0,00	25,00	6,25	4 $\phi$ 18	10,16	30,48	100	100	200

Υποστύλ.	$\omega_{tot,τοπ}$	$v_{d,top}$	$\mu_{Cd,top}$	$v_{d,bot}$	$\mu_{Cd,bot}$
C12-E	0,249	-0,03	0,12	-0,03	0,12
C12-D	0,249	-0,07	0,14	-0,07	0,14
C12-C	0,249	-0,11	0,15	-0,12	0,15
C12-B	0,249	-0,13	0,16	-0,17	0,17
C12-IS	0,249	-0,20	0,18	-0,20	0,18

Κόμβος	$\mu_{Cd,top}$	$\mu_{Cd,bot}$	$M_{Cd,top}$ (κNm)	$M_{Cd,bot}$ (κNm)	$\Sigma M_{Cd}$ (κNm)
E	0,12		212,550		212,550
D	0,14	0,12	247,975	212,55	460,525
C	0,15	0,14	265,688	247,975	513,663
B	0,16	0,15	283,400	265,6875	549,088
IS	0,18	0,17	318,825	301,1125	619,938

Υποστύλ.	$M_{Cd,top}$ (κNm)	$M_{Cd,bot}$ (κNm)
C12-E	212,55	212,55
C12-D	247,98	247,98
C12-C	265,69	265,69
C12-B	283,40	301,11
C12-IS	318,83	318,83

Πίνακας Π.5.Β.17 Διαστασιολόγηση δοκών πλαισιακού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΜ

Μέλος	L <sub>παρ</sub> (m)	b <sub>w</sub> (m)	h <sub>w</sub> (m)	d (m)	V <sub>G+0,3Q</sub>		V <sub>1,35G+1,5Q</sub>		M <sub>RD,απ</sub> <sup>+</sup> (KNm)	M <sub>RD,απ</sub> <sup>-</sup> (KNm)	M <sub>RD,δεξ</sub> <sup>+</sup> (KNm)	M <sub>RD,δεξ</sub> <sup>-</sup> (KNm)
					V <sub>Ed,x=d</sub> (kN)	V <sub>Edx=l-d</sub> (kN)	V <sub>Ed,x=d</sub> (kN)	V <sub>Edx=l-d</sub> (kN)				
B17-E	2,70	0,3	0,6	0,55	22,56	4,17	33,60	4,70	112,47	105,84	112,47	105,84
B16-E	6,10	0,3	0,6	0,55	49,87	43,64	71,81	62,60	114,82	105,84	114,82	105,84
B17-D	2,70	0,3	0,6	0,55	34,51	0,21	50,78	1,68	112,47	105,84	112,80	139,55
B16-D	6,10	0,3	0,6	0,55	62,74	55,77	89,18	78,97	115,35	139,55	114,82	105,84
B17-C	2,70	0,3	0,6	0,55	32,76	1,96	48,06	1,04	112,80	139,55	112,80	139,55
B16-C	6,10	0,3	0,6	0,55	63,05	55,46	89,60	78,55	115,35	139,55	115,35	139,55
B17-B	2,70	0,3	0,6	0,55	31,09	3,63	45,57	3,53	112,80	139,55	113,03	173,06
B16-B	6,10	0,3	0,6	0,55	63,03	55,48	89,55	78,60	115,74	173,06	115,35	139,55
B17-A	2,70	0,3	0,6	0,55	24,13	10,59	35,31	13,79	112,80	139,55	112,80	139,55
B16-A	6,10	0,3	0,6	0,55	62,63	55,88	88,89	79,27	115,35	139,55	115,35	139,55

Μέλος	ΣM <sub>RC,δεξ</sub> (KNm)	ΣM <sub>RC,απ</sub> (KNm)	γ <sub>Rd</sub>	Ικανοτική τέμνουσα		Τέμνουσα σχεδιασμού		l <sub>cr</sub> (m)	f <sub>ywk</sub> (MPa)	f <sub>ywd</sub> (MPa)	f <sub>ck</sub> (MPa)	f <sub>cd</sub> (MPa)
				V <sub>i,d</sub> (d) (KN)	V <sub>j,d</sub> (l-d) (KN)	V <sub>E</sub> (d) (KN)	V <sub>E</sub> (l-d) (KN)					
B17-E	221,41	212,55	1,00	101,28	85,03	101,28	85,03	0,6	500	434,78	25	14,17
B16-E	221,41	221,41	1,00	86,04	79,81	86,04	79,81	0,6	500	434,78	25	14,17
B17-D	478,24	451,67	1,00	115,49	93,55	115,49	93,55	0,6	500	434,78	25	14,17
B16-D	469,38	478,24	1,00	104,44	92,03	104,44	92,03	0,6	500	434,78	25	14,17
B17-C	540,23	487,09	1,00	126,22	95,42	126,22	95,42	0,6	500	434,78	25	14,17
B16-C	504,81	540,23	1,00	104,84	97,25	104,84	97,25	0,6	500	434,78	25	14,17
B17-B	593,37	522,52	1,00	124,64	109,50	124,64	109,50	0,6	500	434,78	25	14,17
B16-B	549,09	593,37	1,00	110,31	97,33	110,31	97,33	0,6	500	434,78	25	14,17
B17-A	637,65	557,94	1,00	117,59	104,05	117,59	104,05	0,6	500	434,78	25	14,17
B16-A	619,94	637,65	1,00	104,42	97,67	104,42	97,67	0,6	500	434,78	25	14,17

Πίνακας Π.5.Β.17 Διαστασιολόγηση δοκών πλαισιακού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΜ

Μέλος	$N_{Ed}$ (kN)	$\sigma_{cd}$	k	$A_{sl}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_l$	$V_{Rdc}$ (kN)	$\cot\theta\alpha$	$\theta\alpha$	$\theta$	$\cot\theta$	$V_{Rd,max}$ (kN)	Έλεγχος αριστερά	Έλεγχος δεξιά
B17-E	0	0,00	1,6030	4,6200	0,00280	60,716	-0,09	-84,94	21,80	2,50	460,84	TRUE	TRUE
B16-E	0	0,00	1,6030	4,6200	0,00280	60,716	-3,07	-18,06	21,80	2,50	460,84	TRUE	TRUE
B17-D	0	0,00	1,6030	4,6200	0,00280	60,716	0,00	-89,76	21,80	2,50	460,84	TRUE	TRUE
B16-D	0	0,00	1,6030	4,6200	0,00280	60,716	-13,53	-4,23	21,80	2,50	460,84	TRUE	TRUE
B17-C	0	0,00	1,6030	4,6200	0,00280	60,716	-0,04	-87,71	21,80	2,50	460,84	TRUE	TRUE
B16-C	0	0,00	1,6030	4,6200	0,00280	60,716	-12,66	-4,52	21,80	2,50	460,84	TRUE	TRUE
B17-B	0	0,00	1,6030	4,6200	0,00280	60,716	-0,08	-85,64	21,80	2,50	460,84	TRUE	TRUE
B16-B	0	0,00	1,6030	4,6200	0,00280	60,716	-12,71	-4,50	21,80	2,50	460,84	TRUE	TRUE
B17-A	0	0,00	1,6030	4,6200	0,00280	60,716	-0,25	-75,77	21,80	2,50	460,84	TRUE	TRUE
B16-A	0	0,00	1,6030	4,6200	0,00280	60,716	-13,87	-4,13	21,80	2,50	460,84	TRUE	TRUE

Μέλος	Ελάχιστος οπλισμός		Εντός κρίσιμου μήκους					Εκτός κρίσιμου μήκους					Έλεγχος επάρκειας
	$[A_{sw}/s]_{min}$ (mm)	$[A_{sw}/s]_{min}$ (cm <sup>2</sup> /m)	$s_{lmax}$ (mm)	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	$\Phi 8/s$ (mm/cm)	$V_{R,min}$ (kN)	$s_{lmax}$ (cm)	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	$\Phi 8/s$ (mm/cm)	$V_{R,min}$ (kN)	
B17-E	0,24	2,4	112,00	1,01	11,20	11	491,73	412,50	1,01	41,25	41	131,93	TRUE
B16-E	0,24	2,4	112,00	1,01	11,20	11	491,73	412,50	1,01	41,25	41	131,93	TRUE
B17-D	0,24	2,4	112,00	1,01	11,20	11	491,73	412,50	1,01	41,25	41	131,93	TRUE
B16-D	0,24	2,4	112,00	1,01	11,20	11	491,73	412,50	1,01	41,25	41	131,93	TRUE
B17-C	0,24	2,4	112,00	1,01	11,20	11	491,73	412,50	1,01	41,25	41	131,93	TRUE
B16-C	0,24	2,4	112,00	1,01	11,20	11	491,73	412,50	1,01	41,25	41	131,93	TRUE
B17-B	0,24	2,4	112,00	1,01	11,20	11	491,73	412,50	1,01	41,25	41	131,93	TRUE
B16-B	0,24	2,4	112,00	1,01	11,20	11	491,73	412,50	1,01	41,25	41	131,93	TRUE
B17-A	0,24	2,4	112,00	1,01	11,20	11	491,73	412,50	1,01	41,25	41	131,93	TRUE
B16-A	0,24	2,4	112,00	1,01	11,20	11	491,73	412,50	1,01	41,25	41	131,93	TRUE

Πίνακας Π.5.Β.17 Διαστασιολόγηση δοκών πλαισιακού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΜ

Τοποθετούμενος οπλισμός διάτμησης				
Μέλος	Εντός κρίσιμου μήκους της δοκού		Εκτός κρίσιμου μήκους της δοκού	
	B17-E	φ8/	110	φ8/
B16-E	φ8/	110	φ8/	410
B17-D	φ8/	110	φ8/	410
B16-D	φ8/	110	φ8/	410
B17-C	φ8/	110	φ8/	410
B16-C	φ8/	110	φ8/	410
B17-B	φ8/	110	φ8/	410
B16-B	φ8/	110	φ8/	410
B17-A	φ8/	110	φ8/	410
B16-A	φ8/	110	φ8/	410

Π.5.Β.18 Διαστασιολόγηση δοκών τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΜ

Μέλος	$l_{clear}$ (m)	$b_w$ (m)	$h_w$ (m)	$d$ (m)	$V_{G+0,3Q}$		$V_{1,35G+1,5Q}$		$M_{Rd,αρ}^-$ (kNm)	$M_{Rd,αρ}^+$ (kNm)	$M_{Rd,δεξ}^-$ (kNm)	$M_{Rd,δεξ}^+$ (kNm)
					$V_{Ed,x=d}$ (kN)	$V_{Edx=l-d}$ (kN)	$V_{Ed,x=d}$ (kN)	$V_{Edx=l-d}$ (kN)				
B14-E	6,2	0,3	0,6	0,55	43,68	51,28	62,53	73,88	105,84	114,82	105,84	114,82
B14-D	6,2	0,3	0,6	0,55	52,82	67,63	76,65	96,18	105,84	114,82	139,55	115,35
B14-C	6,2	0,3	0,6	0,55	52,82	67,63	76,65	96,18	105,84	114,82	139,55	113,30
B14-B	6,2	0,3	0,6	0,55	52,82	67,63	76,65	96,18	105,84	114,82	139,55	113,30
B14-IS	6,2	0,3	0,6	0,55	52,82	67,63	76,65	96,18	105,84	114,82	139,55	113,30

Μέλος	$\Sigma M_{RC,δεξ}$ (kNm)	$\Sigma M_{RC,αρ}$ (kNm)	$\gamma_{Rd}$	Ικανοτική τέμνουσα		Τέμνουσα σχεδιασμού		$l_{cr}$ (m)	$f_{ywk}$ (MPa)	$f_{ywd}$ (MPa)	$f_{ck}$ (MPa)	$f_{cd}$ (MPa)
				$V_{i,d}(d)$ (kN)	$V_{j,d}(l-d)$ (kN)	$V_{Ed}(d)$ (kN)	$V_{Ed}(l-d)$ (kN)					
B14-E	212,55	0,00	1,00	79,27	85,56	79,27	85,56	0,60	500	434,78	25	14,17
B14-D	460,53	0,00	1,00	88,50	108,66	88,50	108,66	0,60	500	434,78	25	14,17
B14-C	513,66	0,00	1,00	88,16	108,66	88,16	108,66	0,60	500	434,78	25	14,17
B14-B	549,09	0,00	1,00	88,16	108,66	88,16	108,66	0,60	500	434,78	25	14,17
B14-IS	619,94	0,00	1,00	88,16	108,66	88,16	108,66	0,60	500	434,78	25	14,17

Μέλος	$N_{Ed}$ (kN)	$\sigma_{cd}$	$k$	$A_{sl}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_l$	$V_{Rdc}$ (kN)	$\cot\theta\alpha$	$\theta\alpha$	$\theta$	$\cot\theta$	$V_{Rd,max}$ (kN)	Έλεγχος διατομής
B14-E	0	0,00	1,60	4,62	0,0028	60,72	41,37	1,38	21,80	2,50	460,84	TRUE
B14-D	0	0,00	1,60	4,62	0,0028	60,72	5,77	9,83	21,80	2,50	460,84	TRUE
B14-C	0	0,00	1,60	4,62	0,0028	60,72	5,77	9,83	21,80	2,50	460,84	TRUE
B14-B	0	0,00	1,60	4,62	0,0028	60,72	5,77	9,83	21,80	2,50	460,84	TRUE
B14-IS	0	0,00	1,60	4,62	0,0028	60,72	5,77	9,83	21,80	2,50	460,84	TRUE



**Π.5.Β.18 Διαστασιολόγηση δοκών τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΜ**

Μέλος	$d_{bl}$ (mm)	Ελάχιστος οπλισμός		Εντός κρίσιμου μήκους				
		$[A_{sw}/s]_{min}$ (mm)	$[A_{sw}/s]_{min}$ (cm <sup>2</sup> /m)	$s_{lmax}$ (mm)	$A_{sw,\phi 8}$ (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	$\Phi 8/s$ (cm)	$V_{R,min}$ (kN)
B14-E	14	0,24	2,4	112	1,01	11,20	11	491,73
B14-D	14	0,24	2,4	112	1,01	11,20	11	491,73
B14-C	14	0,24	2,4	112	1,01	11,20	11	491,73
B14-B	14	0,24	2,4	112	1,01	11,20	11	491,73
B14-IS	14	0,24	2,4	112	1,01	11,20	11	491,73

Μέλος	Εκτός κρίσιμου μήκους					
	$s_{lmax}$ (cm)	$A_{sw,\phi 8}$ (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	$\Phi 8/s$ (cm)	$V_{R,min}$ (kN)	Έλεγχος επάρκειας ελαχίστου
B14-E	412,5	1,01	41,25	41	131,93	TRUE
B14-D	412,5	1,01	41,25	41	131,93	TRUE
B14-C	412,5	1,01	41,25	41	131,93	TRUE
B14-B	412,5	1,01	41,25	41	131,93	TRUE
B14-IS	412,5	1,01	41,25	41	131,93	TRUE

Μέλος	Τοποθετούμενος οπλισμός διάτμησης	
	Εντός κρίσιμου μήκους της δοκού	Εκτός κρίσιμου μήκους της δοκού
	(mm)	(mm)
B14-E	φ8/ 110	φ8/ 410
B14-D	φ8/ 110	φ8/ 410
B14-C	φ8/ 110	φ8/ 410
B14-B	φ8/ 110	φ8/ 410
B14-IS	φ8/ 110	φ8/ 410

Πίνακας Π.5.Β.19 Διαστασιολόγηση υποστρωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΜ

Μέλος	$b_c$ (m)	$h_c$ (m)	H (m)	$H_{cl}$ (m)	$\gamma_{RD}$	d (m)	$M_{Rd,C,x,top}$ (KNm)	$M_{Rd,C,y,top}$ (KNm)	$M_{Rd,C,x,bot}$ (KNm)	$M_{Rd,C,y,bot}$ (KNm)
C1-E	0,5	0,5	3,5	2,9	1,1	0,45	212,55	212,55	221,41	221,41
C1-D	0,5	0,5	3,5	2,9	1,1	0,45	230,26	230,26	239,12	239,12
C1-C	0,5	0,5	3,5	2,9	1,1	0,45	247,98	247,98	256,83	256,83
C1-B	0,5	0,5	3,5	2,9	1,1	0,45	265,69	265,69	274,54	274,54
C1-A	0,5	0,5	3,5	2,9	1,1	0,45	283,40	283,40	292,26	292,26
C6-E	0,5	0,5	3,5	2,9	1,1	0,45	221,41	221,41	230,26	230,26
C6-D	0,5	0,5	3,5	2,9	1,1	0,45	247,98	247,98	256,83	256,83
C6-C	0,5	0,5	3,5	2,9	1,1	0,45	283,40	283,40	292,26	292,26
C6-B	0,5	0,5	3,5	2,9	1,1	0,45	301,11	301,11	309,97	309,97
C6-A	0,5	0,5	3,5	2,9	1,1	0,45	327,68	327,68	336,54	336,54
C12-E	0,5	0,5	3,5	2,9	1,1	0,45	221,41	221,41	230,26	230,26
C12-D	0,5	0,5	3,5	2,9	1,1	0,45	239,12	239,12	247,98	247,98
C12-C	0,5	0,5	3,5	2,9	1,1	0,45	256,83	256,83	265,69	265,69
C12-B	0,5	0,5	3,5	2,9	1,1	0,45	283,40	283,40	292,26	292,26
C12-A	0,5	0,5	3,5	2,9	1,1	0,45	327,68	327,68	336,54	336,54

Μέλος	$\Sigma M_{Rd,C,x}$ (KNm)	$\Sigma M_{Rd,C,y}$ (KNm)	$\Sigma M_{Rd,b,x}$ (KNm)	$\Sigma M_{Rd,b,y}$ (KNm)	$V_{CD,C,x}$ (KN)	$V_{CD,C,y}$ (KN)	$V_{Ed,C,x}$ (KN)	$V_{Ed,C,y}$ (KN)	$V_{E,max}$ (KN)	$N_{Ed}$ (kN)
C1-E	212,55	212,55	111,30	105,84	164,60	164,60	9,18	21,97	164,60	71,772
C1-D	451,67	451,67	111,30	105,84	178,04	178,04	13,67	27,77	178,04	175,657
C1-C	487,09	487,09	111,30	139,55	191,48	191,48	17,23	33,05	191,48	281,123
C1-B	522,52	522,52	111,30	139,55	204,92	204,92	19,27	36,70	204,92	387,203
C1-A	557,94	557,94	111,30	139,55	218,35	218,35	17,90	33,13	218,35	482,85
C6-E	221,41	221,41	115,46	220,66	171,32	171,32	18,75	38,84	171,32	130,908
C6-D	478,24	478,24	115,46	254,90	191,48	191,48	16,14	45,10	191,48	291,679
C6-C	540,23	540,23	115,46	254,90	218,35	218,35	15,91	53,73	218,35	449,17
C6-B	593,37	593,37	115,46	288,80	231,79	231,79	15,65	59,43	231,79	604,376
C6-A	637,65	637,65	115,46	254,90	251,95	251,95	13,19	45,12	251,95	763,26
C12-E	221,41	221,41	111,30	112,47	171,32	171,32	8,68	30,63	171,32	97,606
C12-D	469,38	469,38	111,30	112,47	184,76	184,76	13,63	29,19	184,76	216,379
C12-C	504,81	504,81	111,30	112,80	198,20	198,20	17,63	33,55	198,20	331,622
C12-B	549,09	549,09	111,30	112,80	218,35	218,35	20,77	37,48	218,35	444,163
C12-A	619,94	619,94	111,30	112,80	251,95	251,95	19,57	34,14	251,95	555,5

Πίνακας Π.5.Β.19 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΜ

Μέλος	$l_{cr}$ (m)	$f_{ywk}$ (MPa)	$f_{ywd}$ (MPa)	$f_{ck}$ (MPa)	$f_{cd}$ (MPa)	$v_d$	Έλεγχος διατομής	$\theta$	$\cot\theta$	$V_{Rd,max}$ (KN)	Έλεγχος διατομής
C1-E	0,58	500	434,78	25	14,17	0,02027	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C1-D	0,58	500	434,78	25	14,17	0,04960	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C1-C	0,58	500	434,78	25	14,17	0,07938	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C1-B	0,58	500	434,78	25	14,17	0,10933	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C1-A	0,58	500	434,78	25	14,17	0,13633	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C6-E	0,58	500	434,78	25	14,17	0,03696	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C6-D	0,58	500	434,78	25	14,17	0,08236	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C6-C	0,58	500	434,78	25	14,17	0,12682	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C6-B	0,58	500	434,78	25	14,17	0,17065	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C6-A	0,58	500	434,78	25	14,17	0,21551	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C12-E	0,58	500	434,78	25	14,17	0,02756	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C12-D	0,58	500	434,78	25	14,17	0,06110	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C12-C	0,58	500	434,78	25	14,17	0,09363	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C12-B	0,58	500	434,78	25	14,17	0,12541	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C12-A	0,58	500	434,78	25	14,17	0,15685	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE

Μέλος	$\rho_{w,req}$	Έλεγχος περίσφιγξης εντός των κρίσιμων περιοχών των υποστυλωμάτων									
		$\mu_\phi$	$\epsilon_{s,yd}$	$d_{bw}$ (mm)	Σκέλη	$b_0$ (m)	$h_0$ (m)	Τοποθετούμενος ( $\Phi 8/s$ (mm))		$\alpha_s$	$n_b$
C1-E	0,0017	6,8	0,0022	6,00	4	0,422	0,422	$\Phi 8/$	140,000	0,696	4
C1-D	0,0018	6,8	0,0022	6,00	4	0,422	0,422	$\Phi 8/$	140,000	0,696	4
C1-C	0,0020	6,8	0,0022	6,00	4	0,422	0,422	$\Phi 8/$	140,000	0,696	4
C1-B	0,0021	6,8	0,0022	6,00	4	0,422	0,422	$\Phi 8/$	140,000	0,696	4
C1-A	0,0022	6,8	0,0022	6,00	4	0,422	0,422	$\Phi 8/$	140,000	0,696	4
C6-E	0,0018	6,8	0,0022	6,00	4	0,422	0,422	$\Phi 8/$	140,000	0,696	4
C6-D	0,0020	6,8	0,0022	6,00	4	0,422	0,422	$\Phi 8/$	140,000	0,696	4
C6-C	0,0022	6,8	0,0022	6,00	4	0,422	0,422	$\Phi 8/$	140,000	0,696	4
C6-B	0,0024	6,8	0,0022	6,00	4	0,422	0,422	$\Phi 8/$	140,000	0,696	4
C6-A	0,0026	6,8	0,0022	6,00	4	0,422	0,422	$\Phi 8/$	140,000	0,696	4
C12-E	0,0018	6,8	0,0022	6,00	4	0,422	0,422	$\Phi 8/$	140,000	0,696	4
C12-D	0,0019	6,8	0,0022	6,00	4	0,422	0,422	$\Phi 8/$	140,000	0,696	4
C12-C	0,0020	6,8	0,0022	6,00	4	0,422	0,422	$\Phi 8/$	140,000	0,696	4
C12-B	0,0022	6,8	0,0022	6,00	4	0,422	0,422	$\Phi 8/$	140,000	0,696	4
C12-A	0,0026	6,8	0,0022	6,00	4	0,422	0,422	$\Phi 8/$	140,000	0,696	4

**Πίνακας Π.5.Β.19 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΜ**

Έλεγχος περίσφιξης εντός των κρίσιμων περιοχών των υποστυλωμάτων												
Μέλος	$n_h$	$\alpha_n$	$\alpha$	$\omega_{wd,req}$	$\omega_{wd,τελ απαιτ}$	$L_{wd}$ (m)	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> )	$V_0$ (mm <sup>3</sup> )	$V_c$ (mm <sup>3</sup> )	$\omega_{w,prov}$	$s_{w,max}$ (mm)	Έλεγχος $\omega$
C1-E	4	0,78	0,54	-0,045	0,080	3,376	0,500	1205,714	178084,000	0,208	144,00	TRUE
C1-D	4	0,78	0,54	-0,017	0,080	3,376	0,500	1205,714	178084,000	0,208	144,00	TRUE
C1-C	4	0,78	0,54	0,012	0,080	3,376	0,500	1205,714	178084,000	0,208	144,00	TRUE
C1-B	4	0,78	0,54	0,041	0,080	3,376	0,500	1205,714	178084,000	0,208	144,00	TRUE
C1-A	4	0,78	0,54	0,068	0,080	3,376	0,500	1205,714	178084,000	0,208	144,00	TRUE
C6-E	4	0,78	0,54	-0,029	0,080	3,376	0,500	1205,714	178084,000	0,208	144,00	TRUE
C6-D	4	0,78	0,54	0,015	0,080	3,376	0,500	1205,714	178084,000	0,208	144,00	TRUE
C6-C	4	0,78	0,54	0,058	0,080	3,376	0,500	1205,714	178084,000	0,208	144,00	TRUE
C6-B	4	0,78	0,54	0,101	0,101	3,376	0,500	1205,714	178084,000	0,208	144,00	TRUE
C6-A	4	0,78	0,54	0,145	0,145	3,376	0,500	1205,714	178084,000	0,208	144,00	TRUE
C12-E	4	0,78	0,54	-0,038	0,080	3,376	0,500	1205,714	178084,000	0,208	144,00	TRUE
C12-D	4	0,78	0,54	-0,005	0,080	3,376	0,500	1205,714	178084,000	0,208	144,00	TRUE
C12-C	4	0,78	0,54	0,026	0,080	3,376	0,500	1205,714	178084,000	0,208	144,00	TRUE
C12-B	4	0,78	0,54	0,057	0,080	3,376	0,500	1205,714	178084,000	0,208	144,00	TRUE
C12-A	4	0,78	0,54	0,088	0,088	3,376	0,500	1205,714	178084,000	0,208	144,00	TRUE

Μέλος	$\rho_{w,prov}$	Έλεγχος του $\rho$	Τοποθετ.	Έλεγχος εκτός κρίσιμων περιοχών των υποστυλωμάτων							Εντός κρίσιμων περιοχών	Εκτός κρίσιμων περιοχών
				$d_{bw,min}$ (mm)	$s_{w,max}$ (mm)	Τοποθετούμενος	$\rho_{w,prov}$	$\rho_{w,req}$	Έλεγχος			
C1-E	0,0029	TRUE	Φ8/140	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,00056	0,00022	TRUE	Φ8/140	Φ8/360	
C1-D	0,0029	TRUE	Φ8/140	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,00056	0,00028	TRUE	Φ8/140	Φ8/360	
C1-C	0,0029	TRUE	Φ8/140	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,00056	0,00034	TRUE	Φ8/140	Φ8/360	
C1-B	0,0029	TRUE	Φ8/140	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,00056	0,00038	TRUE	Φ8/140	Φ8/360	
C1-A	0,0029	TRUE	Φ8/140	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,00056	0,00034	TRUE	Φ8/140	Φ8/360	
C6-E	0,0029	TRUE	Φ8/140	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,00056	0,00040	TRUE	Φ8/140	Φ8/360	
C6-D	0,0029	TRUE	Φ8/140	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,00056	0,00046	TRUE	Φ8/140	Φ8/360	
C6-C	0,0029	TRUE	Φ8/140	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,00056	0,00055	TRUE	Φ8/140	Φ8/360	
C6-B	0,0029	TRUE	Φ8/140	6,00	360,00	Φ8/320,00	0,00063	0,00061	TRUE	Φ8/140	Φ8/320	
C6-A	0,0029	TRUE	Φ8/140	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,00056	0,00046	TRUE	Φ8/140	Φ8/360	
C12-E	0,0029	TRUE	Φ8/140	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,00056	0,00031	TRUE	Φ8/140	Φ8/360	
C12-D	0,0029	TRUE	Φ8/140	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,00056	0,00030	TRUE	Φ8/140	Φ8/360	
C12-C	0,0029	TRUE	Φ8/140	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,00056	0,00034	TRUE	Φ8/140	Φ8/360	
C12-B	0,0029	TRUE	Φ8/140	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,00056	0,00038	TRUE	Φ8/140	Φ8/360	
C12-A	0,0029	TRUE	Φ8/140	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,00056	0,00035	TRUE	Φ8/140	Φ8/360	

### Π.5.Β.20 Διάτμηση υποστηλομάτων τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΜ

Μέλος	$b_c$ (m)	$h_c$ (m)	H (m)	$H_{cl}$ (m)	d (m)	$M_{Rd,C,y,top}$ (KNm)	$M_{Rd,C,y,bot}$ (KNm)	$M_{Rd,C,x,top}$ (KNm)	$M_{Rd,C,x,bot}$ (KNm)	$V_{RD}$
C7-E	0,5	0,5	3,5	2,9	0,45	212,55	212,55	212,55	212,55	1,1
C7-D	0,5	0,5	3,5	2,9	0,45	247,98	247,98	247,98	247,98	1,1
C7-C	0,5	0,5	3,5	2,9	0,45	265,69	265,69	265,69	265,69	1,1
C7-B	0,5	0,5	3,5	2,9	0,45	283,40	283,40	301,11	301,11	1,1
C7-IS	0,5	0,5	3,5	2,9	0,45	318,83	318,83	318,83	318,83	1,1

#### Αποτελέσματα SAP2000

Μέλος	$\Sigma M_{Rd,C,y}$ (KNm)	$\Sigma M_{Rd,C,x}$ (KNm)	$\Sigma M_{Rd,b,y}^+$ (KNm)	$\Sigma M_{Rd,b,x}^+$ (KNm)	$V_{CD,C,y}$ (KN)	$V_{CD,C,x}$ (KN)	$V_{Ed,C,y}$ (KN)	$V_{Ed,C,x}$ (KN)	$N_{Ed}$ (kN)	$V_{E,max}$ (KN)
C7-E	212,55	212,55	114,82	111,30	161,24	161,24	48,51	33,05	-113,77	161,24
C7-D	460,53	460,53	115,35	111,30	188,12	188,12	38,99	24,84	-262,51	188,12
C7-C	513,66	513,66	115,35	111,30	201,56	201,56	40,16	25,51	-412,03	201,56
C7-B	549,09	566,80	115,35	111,30	214,99	228,43	40,16	20,25	-605,80	228,43
C7-IS	602,23	619,94	115,35	111,30	241,87	241,87	44,80	11,78	-714,20	241,87

Μέλος	$l_{cr}$ (m)	$f_{ywk}$ (MPa)	$f_{ywd}$ (MPa)	$f_{ck}$ (MPa)	$f_{cd}$ (MPa)	$v_d$	$\theta$	$\cot\theta$	$V_{Rd,max}$ (KN)	Ελεγχος διατομής
C7-E	0,58	500	434,78	25	14,17	-0,03	21,8	2,5	698,24	TRUE
C7-D	0,58	500	434,78	25	14,17	-0,07	21,8	2,5	698,24	TRUE
C7-C	0,58	500	434,78	25	14,17	-0,12	21,8	2,5	698,24	TRUE
C7-B	0,58	500	434,78	25	14,17	-0,17	21,8	2,5	698,24	TRUE
C7-IS	0,58	500	434,78	25	14,17	-0,20	21,8	2,5	698,24	TRUE

#### Εντός κρίσιμων περιοχών

#### Περίσφιγξη

Μέλος	$d_{bl}$ (mm)	$q_0$	$\mu_\phi$	$\epsilon_{s,yd}$	$d_{bw}$ (mm)	$s_{L,max}$ (mm)	σκέλη συνδ	$b_0$ (m)	$h_0$ (m)	$s_{w,max}$ (mm)	$\phi 8/$ (mm)
C7-E	18	3	5	0,00217	6	200	4	0,422	0,422	144,00	140
C7-D	18	3	5	0,00217	6	200	4	0,422	0,422	144,00	140
C7-C	18	3	5	0,00217	6	200	4	0,422	0,422	144,00	140
C7-B	18	3	5	0,00217	6	200	4	0,422	0,422	144,00	140
C7-IS	18	3	5	0,00217	6	200	4	0,422	0,422	144,00	140

### Π.5.Β.20 Διάτμηση υποστηλομάτων τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΜ

#### Εντός κρισίμων περιοχών

#### Περίσφιγξη

Μέλος	$\alpha_s$	$n_b$	$n_h$	$\alpha_n$	$\alpha$	$\omega_{wd,req}$	$\omega_{wd,min}$	$L_{wd}$ (m)	$A_{sw}$	$V_0$ (mm <sup>3</sup> )	$V_c$ (mm <sup>3</sup> )	$\omega_{w,prov}$	Έλεγχος $\omega$
C7-E	0,70	4	4	0,78	0,54	-0,042	0,000	3,376	0,500	1206	178084	0,208	TRUE
C7-D	0,70	4	4	0,78	0,54	-0,012	0,000	3,376	0,500	1206	178084	0,208	TRUE
C7-C	0,70	4	4	0,78	0,54	0,018	0,000	3,376	0,500	1206	178084	0,208	TRUE
C7-B	0,70	4	4	0,78	0,54	0,057	0,000	3,376	0,500	1206	178084	0,208	TRUE
C7-IS	0,70	4	4	0,78	0,54	0,079	0,080	3,376	0,500	1206	178084	0,208	TRUE

#### Εντός κρισίμων περιοχών

#### Εκτός κρισίμων περιοχών

#### Έλεγχος επάρκειας έναντι Τέμνουσας

#### Ελαχιστος οπλισμος

#### Έλεγχος επαρκειας εναντι Τεμνουσας

Μέλος	Εντός κρισίμων περιοχών				Εκτός κρισίμων περιοχών			Εκτός κρισίμων περιοχών			
	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_{w,prov}$	$\rho_{w,req}$	Έλεγχος $\rho_w$	$d_{bwmin}$ (mm)	$s_{w,max}$ (mm)	$\phi 8/$ (mm)	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_{w,prov}$	$\rho_{w,req}$	Έλεγχος $\rho_w$
C7-E	2,000	0,0029	0,00165	TRUE	6	360	360	1,000	0,00056	0,00050	TRUE
C7-D	2,000	0,0029	0,00192	TRUE	6	360	360	1,000	0,00056	0,00040	TRUE
C7-C	2,000	0,0029	0,00206	TRUE	6	360	360	1,000	0,00056	0,00041	TRUE
C7-B	2,000	0,0029	0,00234	TRUE	6	360	360	1,000	0,00056	0,00041	TRUE
C7-IS	2,000	0,0029	0,00247	TRUE	6	360	360	1,000	0,00056	0,00046	TRUE

#### Τοποθετούμενος Εγκάρσιος Οπλισμός

#### Εντός κρισίμου μήκους

#### Εκτός κρισίμου μήκους

Μέλος	Εντός κρισίμου μήκους		Εκτός κρισίμου μήκους	
		(mm)		(mm)
C7-E	4	* $\phi 8/$ 140	2	* $\phi 8/$ 360
C7-D	4	* $\phi 8/$ 140	2	* $\phi 8/$ 360
C7-C	4	* $\phi 8/$ 140	2	* $\phi 8/$ 360
C7-B	4	* $\phi 8/$ 140	2	* $\phi 8/$ 360
C7-IS	4	* $\phi 8/$ 140	2	* $\phi 8/$ 360

Π.5.Β.21 Διαστασιολόγηση τοιχίου τοιχωματικού κτηρίου έναντι κάμψης για ΚΠΜ

Τοιχίο	$l_w$ (m)	$b_w$ (m)	$h_w$ (m)	$h_{st}$ (m)	$b_{w,min}$ (m)	Έλεγχος $b_w$	$l_c$ (m)	$l_{c,max}$ (m)	Έλεγχος $l_c$	$b_{w0,min}$ (m)	Έλεγχος $b_{w0}$
W1-E	3,50	0,30	17,00	3,50	0,175	TRUE	0,53	0,70	TRUE	0,23	TRUE
W1-D	3,50	0,30		3,50	0,175	TRUE	0,53	0,70	TRUE	0,23	TRUE
W1-C	3,50	0,30		3,50	0,175	TRUE	0,53	0,70	TRUE	0,23	TRUE
W1-B	3,50	0,30		3,50	0,175	TRUE	0,53	0,70	TRUE	0,23	TRUE
W1-IS	3,50	0,30		3,50	0,175	TRUE	0,53	0,70	TRUE	0,23	TRUE

Υπολογισμός πλέγματος κορμού

Τοιχίο	Επιλογή πλέγματος		Έλεγχος κατακόρυφου οπλισμού					Έλεγχος οριζόντιου οπλισμού				
		$A_{v,prov}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_{v,prov}$	$\rho_{v,min}$	$\rho_{v,max}$	Έλεγχος $\rho_v$	$s_{v,max}$ (mm)	$\rho_{h,prov}$	$\rho_{h,min}$	$\rho_{h,max}$	Έλεγχος $\rho_h$	$s_{h,max}$ (mm)
W1-E	2*φ12/300	18,09	0,0025	0,002	0,040	TRUE	400	0,0025	0,001	0,040	TRUE	400
W1-D	2*φ12/300	18,09	0,0025	0,002	0,040	TRUE	400	0,0025	0,001	0,040	TRUE	400
W1-C	2*φ12/300	18,09	0,0025	0,002	0,040	TRUE	400	0,0025	0,001	0,040	TRUE	400
W1-B	2*φ12/300	18,09	0,0025	0,002	0,040	TRUE	400	0,0025	0,001	0,040	TRUE	400
W1-IS	2*φ12/300	18,09	0,0025	0,002	0,040	TRUE	400	0,0025	0,001	0,040	TRUE	400

Αποτελέσματα SAP

Τοιχίο	$h_w/l_w$	Έλεγχος λυγηρότητας	$z$ (m)	$d$ (m)	$a_l$ (m)	$f_{ctm}$ (Mpa)	$f_{cd}$ (Mpa)	$f_{yd}$ (Mpa)	$N_{ed}$ (kN)	$M_{ed}$ (kNm)
W1-E	5	TRUE	2,80	3,15	3,50	2,6	14,17	434,78	-205,11	846,00
W1-D			2,80	3,15		2,6	14,17	434,78	-418,53	1256,00
W1-C			2,80	3,15		2,6	14,17	434,78	-626,91	1675,00
W1-B			2,80	3,15		2,6	14,17	434,78	-837,71	2093,50
W1-IS			2,80	3,15		2,6	14,17	434,78	-1039,63	2093,50

Απαιτούμενος οπλισμός

Τοποθετούμενος οπλισμός

Τοιχίο	$v_d$	$\mu_{sd}$	$\omega$	$A_{s,req}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_{min}$	$A_{s,min}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τελ}$ (cm <sup>2</sup> )			$A_{s,prov}$ (cm <sup>2</sup> )
W1-E	-0,0138	0,0201	0,0200	6,16	0,0050	7,88	7,88	4 φ18	4 φ18	10,16
W1-D	-0,0281	0,0298	0,0400	12,32	0,0050	7,88	12,32	5 φ18	6 φ18	15,24
W1-C	-0,0421	0,0397	0,0600	18,47	0,0050	7,88	18,47	8 φ18	8 φ18	20,32
W1-B	-0,0563	0,0496	0,0600	18,47	0,0050	7,88	18,47	8 φ18	8 φ18	20,32
W1-IS	-0,0699	0,0496	0,0500	15,40	0,0050	7,88	15,40	7 φ18	8 φ18	20,32

$v_{d,max} = -0,4$

Π.5.Β.21 Διαστασιολόγηση τοιχίου τοιχωματικού κτηρίου έναντι κάμψης για ΚΠΜ

Έλεγχος αποστάσεων διαμήκων ράβδων οπλισμού εντός κρυφοκολώνων										
Τοιχίο	n <sub>L</sub>	s (mm)	s <sub>max</sub> (mm) (ΕΑΚ2000)	Έλεγχος s	Τοποθετούμενος οπλισμός		n <sub>L</sub>	s (mm)	s <sub>max</sub> (mm) (ΕΑΚ2000)	Έλεγχος s
						A <sub>s,prov</sub> (cm <sup>2</sup> )				
W1-E	2	455	200	FALSE	8 φ16	16,08	4	152	200	TRUE
W1-D	3	228	200	FALSE	8 φ16	16,08	4	152	200	TRUE
W1-C	4	152	200	TRUE	8 φ18	20,32	4	152	200	TRUE
W1-B	4	152	200	TRUE	8 φ18	20,32	4	152	200	TRUE
W1-IS	4	152	200	TRUE	8 φ18	20,32	4	152	200	TRUE

Έλεγχος μεγίστου οπλισμού			
Τοιχίο	ρ <sub>max</sub>	A <sub>s,max</sub> (cm <sup>2</sup> )	Έλεγχος A <sub>s</sub>
W1-E	0,04	63	TRUE
W1-D	0,04	63	TRUE
W1-C	0,04	63	TRUE
W1-B	0,04	63	TRUE
W1-IS	0,04	63	TRUE



### Π.5.Β.22 Ροπές αντοχής τοιχείου τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΜ

<u>W1-IS</u>								
<b>N<sub>ed</sub> (kN)</b>		-1039,63	<b>M<sub>ed</sub> (kNm)</b>		2093,5			
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l<sub>c</sub> (m)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>		
30	3500	0,53	35	16	51	3449		
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,00350	<b>x (mm)</b>						
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,01693	591						
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,00217			<b>f<sub>cd</sub> (MPa)</b>		<b>F<sub>cd</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (kNm)</b>	
<b>F<sub>yd</sub> (MPa)</b>	434,78			25		-2008,69	3040,52	
Τμήμα	Οπλισμοί (i)	γ <sub>i</sub> (mm)	ε <sub>si</sub>	σ <sub>si</sub> (MPa)	φ (mm)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	F <sub>si</sub> (kN)	M <sub>si</sub> (kNm)
Κρυφο κολώνα	17	51	-0,0032	-434,78	18	5,09	-221,28	375,95
	16	193	-0,0024	-434,78	18	5,09	-221,28	344,53
	15	337	-0,0015	-300,70	18	5,09	-153,04	216,25
	14	479	-0,0007	-132,46	18	5,09	-67,41	85,68
Κορμός	13	550	-0,0002	-48,33	12	2,26	-10,93	13,12
	12	850	0,0015	307,12	12	2,26	69,47	-62,52
	11	1150	0,0033	434,78	12	2,26	98,35	-59,01
	10	1450	0,0051	434,78	12	2,26	98,35	-29,50
	9	1750	0,0069	434,78	12	2,26	98,35	0,00
	8	2050	0,0086	434,78	12	2,26	98,35	29,50
	7	2350	0,0104	434,78	12	2,26	98,35	59,01
	6	2650	0,0122	434,78	12	2,26	98,35	88,51
5	2950	0,0140	434,78	12	2,26	98,35	118,01	
Κρυφο κολώνα	4	3021	0,0144	434,78	18	5,09	221,28	281,24
	3	3163	0,0152	434,78	18	5,09	221,28	312,66
	2	3307	0,0161	434,78	18	5,09	221,28	344,53
	1	3449	0,0169	434,78	18	5,09	221,28	375,95
					Σύνολο	61,07	-1039,63	5534,43
							M <sub>Rd</sub> = 5534,43	
Έλεγχος απαιτήσεων								
A <sub>s,prov</sub> (cm <sup>2</sup> )	s (mm)	A <sub>s,min</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,max</sub> (cm <sup>2</sup> )	s <sub>max</sub> (mm)	Έλεγχος			
61,07	340	21	420	400	TRUE			

### Π.5.Β.22 Ροπές αντοχής τοιχίου τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΜ

W1-B									
<b>N<sub>ed</sub> (kN)</b>	-837,71	<b>M<sub>ed</sub> (kNm)</b>	2093,5						
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l<sub>c</sub> (m)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>			
30	3500	0,53	35	16	51	3449			
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,00350	<b>x (mm)</b>							
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,01844	550							
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,00217						<b>f<sub>cd</sub> (MPa)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (kNm)</b>
<b>F<sub>yd</sub> (MPa)</b>	434,78						25	-1870,82	2862,18
Τμήμα	Οπλισμοί (i)	γ <sub>i</sub> (mm)	ε <sub>si</sub>	σ <sub>si</sub> (MPa)	φ (mm)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	F <sub>si</sub> (kN)	M <sub>si</sub> (kNm)	
Κρυφο κολώνα	17	51	-0,0032	-434,78	18	5,09	-221,28	375,95	
	16	193	-0,0023	-434,78	18	5,09	-221,28	344,53	
	15	337	-0,0014	-271,28	18	5,09	-138,06	195,08	
	14	479	-0,0005	-90,63	18	5,09	-46,13	58,63	
Κορμός	13	550	0,0000	0,31	12	2,26	0,07	-0,08	
	12	850	0,0019	381,34	12	2,26	86,26	-77,63	
	11	1150	0,0038	434,78	12	2,26	98,35	-59,01	
	10	1450	0,0057	434,78	12	2,26	98,35	-29,50	
	9	1750	0,0076	434,78	12	2,26	98,35	0,00	
	8	2050	0,0095	434,78	12	2,26	98,35	29,50	
	7	2350	0,0114	434,78	12	2,26	98,35	59,01	
	6	2650	0,0134	434,78	12	2,26	98,35	88,51	
5	2950	0,0153	434,78	12	2,26	98,35	118,01		
Κρυφο κολώνα	4	3021	0,0157	434,78	18	5,09	221,28	281,24	
	3	3163	0,0166	434,78	18	5,09	221,28	312,66	
	2	3307	0,0175	434,78	18	5,09	221,28	344,53	
	1	3449	0,0184	434,78	18	5,09	221,28	375,95	
<b>Σύνολο</b>						<b>61,07</b>	<b>-837,71</b>	<b>5279,56</b>	
							<b>M<sub>Rd</sub> = 5279,56</b>		
Έλεγχος απαιτήσεων									
A <sub>s,prov</sub> (cm <sup>2</sup> )	s (mm)	A <sub>s,min</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,max</sub> (cm <sup>2</sup> )	s <sub>max</sub> (mm)	Έλεγχος				
61,07	340	21	420	400	TRUE				

### Π.5.Β.22 Ροπές αντοχής τοιχίου τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΜ

W1-C									
<b>N<sub>ed</sub> (kN)</b>	-626,91	<b>M<sub>ed</sub> (kNm)</b>	1675						
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l<sub>c</sub> (m)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>			
30	3500	0,53	35	16	51	3449			
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,00350	<b>x (mm)</b>							
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,02024	508							
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,00217								
<b>F<sub>yd</sub> (MPa)</b>	434,78								
				<b>f<sub>cd</sub> (MPa)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (kNm)</b>			
				25	-1728,68	2673,62			
Τμήμα	Οπλισμοί (i)	γ <sub>i</sub> (mm)	ε <sub>si</sub>	σ <sub>si</sub> (MPa)	φ (mm)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	F <sub>si</sub> (kN)	M <sub>si</sub> (kNm)	
Κρυφο κολώνα	17	51	-0,0031	-434,78	18	5,09	-221,28	375,95	
	16	193	-0,0022	-434,28	18	5,09	-221,02	344,13	
	15	337	-0,0012	-236,03	18	5,09	-120,12	169,73	
	14	479	-0,0002	-40,53	18	5,09	-20,62	26,21	
Κορμός	13	550	0,0003	57,23	12	2,26	12,94	-15,53	
	12	850	0,0024	434,78	12	2,26	98,35	-88,51	
	11	1150	0,0044	434,78	12	2,26	98,35	-59,01	
	10	1450	0,0065	434,78	12	2,26	98,35	-29,50	
	9	1750	0,0085	434,78	12	2,26	98,35	0,00	
	8	2050	0,0106	434,78	12	2,26	98,35	29,50	
	7	2350	0,0127	434,78	12	2,26	98,35	59,01	
	6	2650	0,0147	434,78	12	2,26	98,35	88,51	
5	2950	0,0168	434,78	12	2,26	98,35	118,01		
Κρυφο κολώνα	4	3021	0,0173	434,78	18	5,09	221,28	281,24	
	3	3163	0,0183	434,78	18	5,09	221,28	312,66	
	2	3307	0,0193	434,78	18	5,09	221,28	344,53	
	1	3449	0,0202	434,78	18	5,09	221,28	375,95	
						<b>Σύνολο</b>	<b>61,07</b>	<b>-626,91</b>	<b>5006,52</b>
							<b>M<sub>Rd</sub> = 5006,52</b>		
<b>Έλεγχος απαιτήσεων</b>									
<b>A<sub>s,prov</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>s (mm)</b>	<b>A<sub>s,min</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>A<sub>s,max</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>s<sub>max</sub> (mm)</b>	<b>Έλεγχος</b>				
61,07	340	21	420	400	TRUE				

### Π.5.Β.22 Ροπές αντοχής τοιχίου τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΜ

W1-D								
<b>N<sub>ed</sub> (kN)</b>	-418,53	<b>M<sub>ed</sub> (kNm)</b>	2093,5					
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l<sub>c</sub> (m)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>		
30	3500	0,53	35	16	51	3449		
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,00350	<b>x (mm)</b>						
<b>ε<sub>s1</sub></b>	-0,00350	454						
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,00217			<b>f<sub>cd</sub> (Mpa)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (kNm)</b>		
<b>F<sub>yd</sub> (MPa)</b>	434,78			25	-1544,14	2421,72		
Τμήμα	Οπλισμοί (i)	γ <sub>i</sub> (mm)	ε <sub>si</sub>	σ <sub>si</sub> (Mpa)	φ (mm)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	F <sub>si</sub> (kN)	M <sub>si</sub> (kNm)
Κρυφο κολώνα	17	51	-0,0031	-434,78	16	4,02	-174,84	297,05
	16	193	-0,0020	-402,53	16	4,02	-161,87	252,02
	15	337	-0,0009	-180,58	16	4,02	-72,61	102,60
	14	479	0,0002	38,29	16	4,02	15,40	-19,57
Κορμός	13	550	0,0007	147,72	12	2,26	33,41	-40,10
	12	850	0,0031	434,78	12	2,26	98,35	-88,51
	11	1150	0,0054	434,78	12	2,26	98,35	-59,01
	10	1450	0,0077	434,78	12	2,26	98,35	-29,50
	9	1750	0,0100	434,78	12	2,26	98,35	0,00
	8	2050	0,0123	434,78	12	2,26	98,35	29,50
	7	2350	0,0146	434,78	12	2,26	98,35	59,01
	6	2650	0,0169	434,78	12	2,26	98,35	88,51
5	2950	0,0192	434,78	12	2,26	98,35	118,01	
Κρυφο κολώνα	4	3021	0,0198	434,78	16	4,02	174,84	222,22
	3	3163	0,0209	434,78	16	4,02	174,84	247,04
	2	3307	0,0220	434,78	16	4,02	174,84	272,22
	1	3449	0,0231	434,78	16	4,02	174,84	297,05
					Σύνολο	52,53	-418,53	4170,28
							M <sub>Rd</sub> = 4170,28	
Έλεγχος απαιτήσεων								
A <sub>s,prov</sub> (cm <sup>2</sup> )	s (mm)	A <sub>s,min</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,max</sub> (cm <sup>2</sup> )	s <sub>max</sub> (mm)	Έλεγχος			
52,53	340	21	420	400	TRUE			

### Π.5.Β.22 Ροπές αντοχής τοιχίου τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΜ

W1-E								
<b>N<sub>ed</sub> (kN)</b>	-205,11	<b>M<sub>ed</sub> (kNm)</b>	1256					
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l<sub>c</sub> (m)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>		
30	3500	0,53	35	16	51	3449		
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,00350	<b>x (mm)</b>						
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,00000	414						
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,00217			<b>f<sub>cd</sub> (Mpa)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (kNm)</b>		
<b>F<sub>yd</sub> (MPa)</b>	434,78			25	-1409,05	2232,26		
Τμήμα	Οπλισμοί (i)	γ <sub>i</sub> (mm)	ε <sub>si</sub>	σ <sub>si</sub> (Mpa)	φ (mm)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	F <sub>si</sub> (kN)	M <sub>si</sub> (kNm)
Κρυφο κολώνα	17	51	-0,0031	-434,78	16	4,02	-174,84	297,05
	16	193	-0,0019	-374,01	16	4,02	-150,40	234,17
	15	337	-0,0007	-130,78	16	4,02	-52,59	74,31
	14	479	0,0005	109,07	16	4,02	43,86	-55,74
Κορμός	13	550	0,0011	228,99	12	2,26	51,80	-62,16
	12	850	0,0037	434,78	12	2,26	98,35	-88,51
	11	1150	0,0062	434,78	12	2,26	98,35	-59,01
	10	1450	0,0087	434,78	12	2,26	98,35	-29,50
	9	1750	0,0113	434,78	12	2,26	98,35	0,00
	8	2050	0,0138	434,78	12	2,26	98,35	29,50
	7	2350	0,0163	434,78	12	2,26	98,35	59,01
	6	2650	0,0189	434,78	12	2,26	98,35	88,51
5	2950	0,0214	434,78	12	2,26	98,35	118,01	
Κρυφο κολώνα	4	3021	0,0220	434,78	16	4,02	174,84	222,22
	3	3163	0,0232	434,78	16	4,02	174,84	247,04
	2	3307	0,0244	434,78	16	4,02	174,84	272,22
	1	3449	0,0256	434,78	16	4,02	174,84	297,05
<b>Σύνολο</b>						<b>52,53</b>	<b>-205,11</b>	<b>3876,43</b>
							<b>M<sub>Rd</sub> =</b>	<b>3876,43</b>
Έλεγχος απαιτήσεων								
A <sub>s,prov</sub> (cm <sup>2</sup> )	s (mm)	A <sub>s,min</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,max</sub> (cm <sup>2</sup> )	s <sub>max</sub> (mm)	Έλεγχος			
52,53	340	21	420	400	TRUE			

### Π.5.Β.23 Διαστασιολόγηση τοιχίου τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΜ

Τοιχίο	$l_w$ (m)	$b_w$ (m)	$h_w$ (m)	$h_{st}$ (m)	$b_{w,min}$ (m)	Ελεγχος $b_w$	$l_c$ (m)	$l_{c,max}$ (m)	Ελεγχος $l_c$	$h_{cr}$ (m)	$h_{cr,max}$ (m)
W1-E	3,50	0,30	17,00	3,50	0,175	TRUE	0,53	0,70	TRUE	3,5	3,5
W1-D	3,50	0,30	17,00	3,50	0,175	TRUE	0,53	0,70	TRUE		
W1-C	3,50	0,30	17,00	3,50	0,175	TRUE	0,53	0,70	TRUE		
W1-B	3,50	0,30	17,00	3,50	0,175	TRUE	0,53	0,70	TRUE		
W1-IS	3,50	0,30	17,00	3,50	0,175	TRUE	0,53	0,70	TRUE		

#### Ελεγχος έναντι διάτμησης εντός κρίσιμου μήκους

Τοιχίο	$\varepsilon^*V_{EdTbot}$	$f_{ck}$ (Mpa)	$f_{cd}$ (Mpa)	$f_{yd}$ (Mpa)	$V_{rd,max}$ (kN)	Ελεγχος διατομής	$M_{ed}$ (kN)	$\rho_{h,req}$	υπάρχον πλέγμα	$A_{s,prov}$ (cm <sup>2</sup> )/m	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_{h,prov}$	Ελεγχος $\rho$
W1-IS	364,40	25	14,17	434,78	2932,61	TRUE	2093,5	0,0010	2*φ12/300	18,09	2,26	0,0025	TRUE

#### Ελεγχος έναντι διάτμησης εκτός κρίσιμου μήκους

Τοιχίο	$\varepsilon^*V_{EdTbot}$	$f_{ck}$ (Mpa)	$f_{cd}$ (Mpa)	$f_{yd}$ (Mpa)	$V_{rd,max}$ (kN)	Ελεγχος διατομής	$M_{ed}$ (kN)	$\rho_{h,req}$	υπάρχον πλέγμα	$A_{s,prov}$ (cm <sup>2</sup> )/m	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_{h,prov}$	Ελεγχος $\rho$
W1-E	182,20	25	14,17	434,78	2932,61	TRUE	846,00	0,0005	2*φ12/300	18,09	2,26	0,0025	TRUE
W1-D	232,50	25	14,17	434,78	2932,61	TRUE	1256,00	0,0006	2*φ12/300	18,09	2,26	0,0025	TRUE
W1-C	283,00	25	14,17	434,78	2932,61	TRUE	1675,00	0,0008	2*φ12/300	18,09	2,26	0,0025	TRUE
W1-B	350,81	25	14,17	434,78	2932,61	TRUE	2093,50	0,0010	2*φ12/300	18,09	2,26	0,0025	TRUE

Τοιχίο	Οπλισμός ανα κρυφοκολωνα	$A_{s,top}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_L$	$N_{ed}$ (kN)	$\omega_{wd,min}$	$V_d$	$q_o$	$\mu_\phi$	$\varepsilon_{yd}$
W1-E	8 φ16	16,08	0,0102	-205,11	0,08	-0,0919	3	5	0,0022
W1-D	8 φ16	16,08	0,0102	-418,53	0,08	-0,1876	3	5	0,0022
W1-C	8 φ18	20,32	0,0129	-626,91	0,08	-0,2810	3	5	0,0022
W1-B	8 φ18	20,32	0,0129	-837,71	0,08	-0,3754	3	5	0,0022
W1-IS	8 φ18	20,32	0,0129	-1039,63	0,08	-0,4659	3	5	0,0022

### Π.5.Β.23 Διαστασιολόγηση τοιχίου τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΜ

Απαιτούμενο μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό οπλισμού

Τοιχίο	$d_{bwmin}$ (mm)	$s_{w,max}$ (mm)	$s_w$ (mm)	$l_{co}$ (mm)	$b_0$ (mm)	$\alpha_s$	$n_b$	$n_h$	$\alpha_n$	$\alpha$	$\omega_v$	$\alpha\omega_{wd}$	$\omega_{wd,req}$
W1-E	6	110	70	450	220	0,78	4	2	0,61	0,47	0,31	0,15	0,31
W1-D	6	110	70	450	220	0,78	4	2	0,61	0,47	0,31	0,19	0,40
W1-C	6	110	70	450	220	0,78	4	2	0,61	0,47	0,40	0,27	0,56
W1-B	6	110	60	450	220	0,81	4	2	0,61	0,49	0,40	0,31	0,63
W1-IS	6	110	60	450	220	0,81	4	2	0,61	0,49	0,40	0,35	0,71

Τοποθετούμενο μηχανικό ποσοστό οπλισμού

Τοιχίο	$L_{wd}$ (m)	$\phi_w$ (mm)	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> )	$V_0$ (mm <sup>3</sup> )	$V_c$ (mm <sup>3</sup> )	$\omega_{wd,prov}$	Ελεγχος $\omega$	Τελική περίσφιγξη	
								$\phi$	(mm)
W1-E	1,78	10	0,79	1997,155	99000	0,62	TRUE	10	/ 70
W1-D	1,78	10	0,79	1997,155	99000	0,62	TRUE	10	/ 70
W1-C	1,78	10	0,79	1997,155	99000	0,62	TRUE	10	/ 70
W1-B	1,78	10	0,79	2330,015	99000	0,72	TRUE	10	/ 60
W1-IS	1,78	10	0,79	2330,015	99000	0,72	TRUE	10	/ 60

Πίνακας Π.5.Β.24 Διαστασιολόγηση δοκών πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης για ΚΠΥ

Δοκός	$b_w$ (m)	$b_{eff}$ (m)	d (m)	$f_{ctm}$ (MPa)	$f_{cd}$ (MPa)	$f_{yd}$ (MPa)	Αποτελέσματα SAP						Ελάχιστος	
							$M_{1\alpha}$ (kNm)	$M_{1\kappa}$ (kNm)	$M_{2\kappa}$ (kNm)	$M_{2\alpha}$ (kNm)	$M_{3\kappa}$ (kNm)	$M_{3\alpha}$ (kNm)	$\rho_{min}$	$A_{s,min}$ (cm <sup>2</sup> )
B17-E	0,3	0,84	0,55	2,6	14,17	434,78	-47,54	-18,98	5,74	0,89	7,54	-12,87	0,0026	4,29
B16-E	0,3	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	-104,68	-48,43	61,43	29,67	-33,22	-64,87	0,0026	4,29
B17-D	0,3	0,84	0,55	2,6	14,17	434,78	-74,75	-20,41	11,18	2,08	31,85	-17,67	0,0026	4,29
B16-D	0,3	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	-135,37	-61,81	69,13	33,82	-46,84	-92,28	0,0026	4,29
B17-C	0,3	0,84	0,55	2,6	14,17	434,78	-87,08	-3,06	12,11	0,33	42,11	-34,09	0,0026	4,29
B16-C	0,3	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	-136,00	-60,01	69,90	34,03	-36,14	-92,71	0,0026	4,29
B17-B	0,3	0,84	0,55	2,6	14,17	434,78	-94,37	9,75	13,33	-0,89	48,87	-46,04	0,0026	4,29
B16-B	0,3	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	-136,39	-58,78	69,33	33,67	-30,66	-99,12	0,0026	4,29
B17-A	0,3	0,84	0,55	2,6	14,17	434,78	-82,19	19,31	12,83	-0,94	35,60	-55,59	0,0026	4,29
B16-A	0,3	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	-133,21	-57,72	70,32	34,11	-32,45	-98,52	0,0026	4,29

Δοκός	Απαιτούμενος Οπλισμός											
	<u>1 ANΩ</u>			<u>1 KATΩ</u>			<u>2 KATΩ</u>			<u>2 ANΩ</u>		
	$\mu_{sd}$	$\omega$	$A_{s,οπ}$ (cm <sup>2</sup> )	$\mu_{sd}$	$\omega$	$A_{s,οπ}$ (cm <sup>2</sup> )	$\mu_{sd}$	$\omega$	$A_{s,οπ}$ (cm <sup>2</sup> )	$\mu_{sd}$	$\omega$	$A_{s,οπ}$ (cm <sup>2</sup> )
B17-E	0,0370	0,0377	4,29	0,0000	0,0000	4,29	0,0016	0,0016	4,29	0,0000	0,0000	4,29
B16-E	0,0814	0,0850	4,57	0,0000	0,0000	4,29	0,0133	0,0134	4,29	0,0000	0,0000	4,29
B17-D	0,0581	0,0599	4,29	0,0000	0,0000	4,29	0,0031	0,0031	4,29	0,0000	0,0000	4,29
B16-D	0,1053	0,1115	6,00	0,0000	0,0000	4,29	0,0149	0,0150	4,29	0,0000	0,0000	4,29
B17-C	0,0677	0,0702	4,29	0,0000	0,0000	4,29	0,0034	0,0034	4,29	0,0000	0,0000	4,29
B16-C	0,1058	0,1121	6,02	0,0000	0,0000	4,29	0,0151	0,0152	4,29	0,0000	0,0000	4,29
B17-B	0,0734	0,0763	4,29	0,0027	0,0027	4,29	0,0037	0,0037	4,29	0,0007	0,0007	4,29
B16-B	0,1061	0,1124	6,04	0,0000	0,0000	4,29	0,0150	0,0151	4,29	0,0000	0,0000	4,29
B17-A	0,0639	0,0661	4,29	0,0054	0,0054	4,29	0,0036	0,0036	4,29	0,0007	0,0007	4,29
B16-A	0,1036	0,1096	5,89	0,0000	0,0000	4,29	0,0152	0,0153	4,29	0,0000	0,0000	4,29



Πίνακας Π.5.Β.24 Διαστασιολόγηση δοκών πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης για ΚΠΥ

Δοκός	Απαιτούμενος Οπλισμός						Τελική Απαίτηση Οπλισμού					
	3 ΚΑΤΩ			3 ΑΝΩ			1 ΑΝΩ	1 ΚΑΤΩ	2 ΚΑΤΩ	2 ΑΝΩ	3 ΚΑΤΩ	3 ΑΝΩ
	$\mu_{sd}$	$\omega$	$A_{s,οπ} (cm^2)$	$\mu_{sd}$	$\omega$	$A_{s,οπ} (cm^2)$	$A_{s,τελ} (cm^2)$	$A_{s,τελ} (cm^2)$	$A_{s,τελ} (cm^2)$	$A_{s,τελ} (cm^2)$	$A_{s,τελ} (cm^2)$	$A_{s,τελ} (cm^2)$
B17-E	0,00	0,0021	4,29	0,0100	0,0101	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
B16-E	0,00	0,0000	4,29	0,0505	0,0518	4,29	4,57	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
B17-D	0,01	0,0089	4,29	0,0137	0,0138	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
B16-D	0,00	0,0000	4,29	0,0718	0,0746	4,29	6,00	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
B17-C	0,01	0,0118	4,29	0,0265	0,0269	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
B16-C	0,00	0,0000	4,29	0,0721	0,0749	4,29	6,02	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
B17-B	0,01	0,0137	4,29	0,0358	0,0365	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
B16-B	0,00	0,0000	4,29	0,0771	0,0803	4,32	6,04	4,29	4,29	4,29	4,29	4,32
B17-A	0,01	0,0099	4,29	0,0432	0,0442	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
B16-A	0,00	0,0000	4,29	0,0766	0,0798	4,29	5,89	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29

Δοκός	Απαιτούμενος Οπλισμός					
	1 ΑΝΩ	1 ΚΑΤΩ	2 ΚΑΤΩ	2 ΑΝΩ	3 ΚΑΤΩ	3 ΑΝΩ
B17-E	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14
B16-E	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14
B17-D	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14
B16-D	4 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14
B17-C	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14
B16-C	4 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14
B17-B	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14
B16-B	4 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14
B17-A	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14
B16-A	4 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14

Πίνακας Π.5.Β.24 Διαστασιολόγηση δοκών πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης για ΚΠΥ

Δοκός	Τοποθετούμενος οπλισμός							
	Αριστερά άνω (Φ14)	Αριστερά κάτω (Φ14)	Δεξιά άνω (Φ14)	Δεξιά κάτω (Φ14)	Αριστερά άνω (cm <sup>2</sup> )	Αριστερά κάτω (cm <sup>2</sup> )	Δεξιά άνω (cm <sup>2</sup> )	Δεξιά κάτω (cm <sup>2</sup> )
B17-E	3	3	3	3	4,62	4,62	4,62	4,62
B16-E	3	3	3	3	4,62	4,62	4,62	4,62
B17-D	3	3	3	3	4,62	4,62	4,62	4,62
B16-D	4	3	3	3	6,16	4,62	4,62	4,62
B17-C	3	3	3	3	4,62	4,62	4,62	4,62
B16-C	4	3	3	3	6,16	4,62	4,62	4,62
B17-B	3	3	3	3	4,62	4,62	4,62	4,62
B16-B	4	3	3	3	6,16	4,62	4,62	4,62
B17-A	3	3	3	3	4,62	4,62	4,62	4,62
B16-A	4	3	3	3	6,16	4,62	4,62	4,62

Δοκός	Έλεγχος Μεγίστου Ποσοστού οπλισμού						Αποτελέσματα SAP		
	Σημείο 1		Σημείο 2		Σημείο 3		Αξονικές δυνάμεις		
	$\rho_{max}$	$A_{smax}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_{max}$	$A_{smax}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_{max}$	$A_{smax}$ (cm <sup>2</sup> )	$N_{Ed}$ C1	$N_{Ed}$ C6	$N_{Ed}$ C12
B17-E	0,0051	8,45	0,0051	8,45	0,0051	8,45	-65,458	-160,811	-106,153
B16-E	0,0051	8,45	0,0051	8,45	0,0051	8,45	-65,458	-160,811	-106,153
B17-D	0,0051	8,45	0,0051	8,45	0,0051	8,45	-198,337	-397,231	-274,239
B16-D	0,0051	8,45	0,0051	8,45	0,0051	8,45	-198,337	-397,231	-274,239
B17-C	0,0051	8,45	0,0051	8,45	0,0051	8,45	-325,6	-635,662	-441,987
B16-C	0,0051	8,45	0,0051	8,45	0,0051	8,45	-325,6	-635,662	-441,987
B17-B	0,0051	8,45	0,0051	8,45	0,0051	8,45	-448,314	-875,408	-609,698
B16-B	0,0051	8,45	0,0051	8,45	0,0051	8,45	-448,314	-875,408	-609,698
B17-A	0,0051	8,45	0,0051	8,45	0,0051	8,45	-555,273	-1120,296	-776,296
B16-A	0,0051	8,45	0,0051	8,45	0,0051	8,45	-555,273	-1120,296	-776,296

Πίνακας Π.5.Β.24 Διαστασιολόγηση δοκών πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης για ΚΠΥ

Δοκός	Έλεγχος μέγιστης διαμέτρου οπλισμού												
	$\gamma_{Rd}$	Κόμβος C12-B16 (εξωτερικός)		Κόμβος C6-B16 (εσωτερικός)				Κόμβος C6-B17 (εσωτερικός)				Κόμβος C1-B17 (εξωτερικός)	
		$v_d$	$d_{bl}$ (mm)	$v_d$	$k_D$	$\rho'$	$d_{bl}$ (mm)	$v_d$	$k_D$	$\rho'$	$d_{bl}$ (mm)	$v_d$	$d_{bl}$ (mm)
<b>B17-E</b>	1,20							-0,0454	1,00	0,0028	19,78	-0,0185	26,51
<b>B16-E</b>	1,20	-0,0300	26,26	-0,0454	1,00	0,0028	19,78						
<b>B17-D</b>	1,20							-0,1122	1,00	0,0028	20,80	-0,0560	25,70
<b>B16-D</b>	1,20	-0,0774	25,24	-0,1122	1,00	0,0028	20,80						
<b>B17-C</b>	1,20							-0,1795	1,00	0,0028	21,82	-0,0919	24,93
<b>B16-C</b>	1,20	-0,1248	24,22	-0,1795	1,00	0,0028	21,82						
<b>B17-B</b>	1,20							-0,2472	1,00	0,0028	22,86	-0,1266	24,18
<b>B16-B</b>	1,20	-0,1722	23,20	-0,2472	1,00	0,0028	22,86						
<b>B17-A</b>	1,20							-0,3163	1,00	0,0028	23,91	-0,1568	23,53
<b>B16-A</b>	1,20	-0,2192	22,19	-0,3163	1,00	0,0028	23,91						

Π.5.Β.25 Διαστασιολόγηση δοκού τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΥ

Δοκοί	$b_w$ (m)	$b_{eff}$ (m)	d (m)	$f_{ctm}$ (Μpa)	$f_{cd}$ (Μpa)	$f_{yd}$ (Μpa)	$\rho_{min}$	$A_{s,min}$ (cm <sup>2</sup> )	Αποτελεσματα SAP					
									Αριστερή στήριξη		Μέσο δοκού		Δεξιά στήριξη	
									Άνω	Κάτω	Κάτω	Άνω	Κάτω	Άνω
B14-E	0,30	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	0,0026	4,29	$M_{\alpha\rho,\alpha}$ (kNm)	$M_{\alpha\rho,\kappa}$ (kNm)	$M_{\mu,\kappa}$ (kNm)	$M_{\mu,\alpha}$ (kNm)	$M_{\delta,\kappa}$ (kNm)	$M_{\delta,\alpha}$ (kNm)
B14-D	0,30	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	0,0026	4,29	-59,06	0	70,86	0	0	-92,7
B14-C	0,30	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	0,0026	4,29	-64,84	0	83,01	0	0	-135,72
B14-B	0,30	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	0,0026	4,29	-64,89	0	83,48	0	0	-134,55
B14-IS	0,30	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	0,0026	4,29	-63,58	0	83,12	0	0	-137,16
B14-IS	0,30	1,08	0,55	2,6	14,17	434,78	0,0026	4,29	-62,87	0	84,56	0	0	-134,72

Δοκοί	Αριστερή στήριξη				Μέσο δοκού				Δεξιά στήριξη			
	Άνω		Κάτω		Κάτω		Άνω		Κάτω		Άνω	
	$\mu_{sd}$	$\omega$	$A_{s,απ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,απ}$ (cm <sup>2</sup> )	$\mu_{sd}$	$\omega$	$A_{s,απ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,απ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,απ}$ (cm <sup>2</sup> )	$\mu_{sd}$	$\omega$	$A_{s,απ}$ (cm <sup>2</sup> )
B14-E	0,0459	0,0470	2,53	0	0,0153	0,0154	2,99	0	0,0721	0,0749	4,03	0
B14-D	0,0504	0,0518	2,78	0	0,0179	0,0181	3,50	0	0,1056	0,1118	6,01	0
B14-C	0,0505	0,0518	2,79	0	0,0180	0,0182	3,52	0	0,1047	0,1108	5,96	0
B14-B	0,0495	0,0507	2,73	0	0,0179	0,0181	3,51	0	0,1067	0,1131	6,08	0
B14-IS	0,0489	0,0502	2,70	0	0,0183	0,0184	3,57	0	0,1048	0,1109	5,96	0

Δοκοί	Τελική Απαιτηση Οπλισμού					
	Αριστερή στήριξη		Μέσο δοκού		Δεξιά στήριξη	
	Άνω	Κάτω	Κάτω	Άνω	Κάτω	Άνω
$A_{s,τελ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τελ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τελ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τελ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τελ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τελ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τελ}$ (cm <sup>2</sup> )
B14-E	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
B14-D	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	6,01
B14-C	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	5,96
B14-B	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	6,08
B14-IS	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	5,96

Π.5.Β.25 Διαστασιολόγηση δοκού τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΥ

Δοκοί	Τοποθετούμενες Ράβδοι Οπλισμού						Τοποθετούμενος Οπλισμός	
	Αριστερή στήριξη		Μέσο δοκού		Δεξιά στήριξη		ΚΑΤΩ	ΑΝΩ
	Άνω	Κάτω	Κάτω	Άνω	Κάτω	Άνω	$A_{s,τοπ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τοπ}$ (cm <sup>2</sup> )
B14-E	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	4,62	4,62
B14-D	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	4 φ14	4,62	6,16
B14-C	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	4 φ14	4,62	6,16
B14-B	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	4 φ14	4,62	6,16
B14-IS	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	3 φ14	4 φ14	4,62	6,16

Δοκοί	Έλεγχος Μεγίστου Ποσοστού Οπλισμού								
	Αριστερή στήριξη			Μέσο δοκού			Δεξιά στήριξη		
	$\rho'$	$\rho_{max}$	$A_{smax}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho'$	$\rho_{max}$	$A_{smax}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho'$	$\rho_{max}$	$A_{smax}$ (cm <sup>2</sup> )
B14-E	0,0028	0,0063	10,34	0,0008	0,0042	7,00	0,0028	0,0063	10,34
B14-D	0,0028	0,0063	10,34	0,0008	0,0042	7,00	0,0028	0,0063	10,34
B14-C	0,0028	0,0063	10,34	0,0008	0,0042	7,00	0,0028	0,0063	10,34
B14-B	0,0028	0,0063	10,34	0,0008	0,0042	7,00	0,0028	0,0063	10,34
B14-IS	0,0028	0,0063	10,34	0,0008	0,0042	7,00	0,0028	0,0063	10,34

Δοκοί	$\gamma_{Rd}$	Έλεγχος μέγιστης διαμέτρου οπλισμών							
		$N_{ed,w1}$ (κΝ)	$N_{ed,c7}$ (κΝ)	κόμβος B14-W1 (εσωτ.)				κόμβος B14-C7 (εξωτ.)	
				$k_D$	$v_d$	$k_2$	$d_{bl}$ (mm)	$v_d$	$d_{bl}$ (mm)
B14-E	1,2	-152,05	-128,73	1	0,010	1,0003	19	0,036	19
B14-D	1,2	-442,08	-334,52	1	0,030	1,0003	19	0,094	19
B14-C	1,2	-730,18	-541,33	1	0,049	1,0003	19	0,153	19
B14-B	1,2	-1015,48	-750,70	1	0,068	1,0003	20	0,212	20
B14-IS	1,2	-1295,63	-961,37	1	0,087	1,0003	20	0,271	20

**Πίνακας Π.5.Β.26 Υπολογισμός ροπών αντοχής δοκών πλαισιακού κτηρίου**

<b>B17 (3Φ14)</b>		<b>Λειτουργία ορθογωνικής διατομής</b>		<b>N<sub>Ed</sub> (KN)=</b>	<b>0</b>		
<b>b<sub>w</sub> (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>		
30,00	600,00	35,00	12,00	49,00	551,00		
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035	<b>x (mm)</b>		<b>f<sub>cd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (KN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (KNm)</b>	
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0332	52,59		2,50	-178,80	49,88	
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022						
<b>F<sub>yd</sub></b>	434,78						
<b>Οπλισμοί</b>	<b>y<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>i</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>Rd</sub><sup>-</sup> (kNm)</b>
<b>2</b>	49,00	-0,0002	-47,7671	3Φ14	4,62	-22,07	5,54
<b>1</b>	551,00	0,0332	434,7826	3Φ14	4,62	200,87	50,42
					9,24	0,00	105,84

<b>B17 (3Φ14)</b>		<b>Λειτουργία πλακοδοκού</b>		<b>N<sub>Ed</sub> (KN)=</b>	<b>0</b>		
<b>b<sub>w</sub> (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>b<sub>eff</sub> (cm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>	
30,00	600,00	84,00	35,00	12,00	49,00	551,00	
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035	<b>x (mm)</b>		<b>f<sub>cd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (KN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (KNm)</b>	
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0518	34,87		2,50	-331,94	94,95	
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022						
<b>F<sub>yd</sub></b>	434,78						
<b>Οπλισμοί</b>	<b>y<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>i</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>Rd</sub><sup>+</sup> (kNm)</b>
<b>2</b>	49,00	0,0014	283,7097	3Φ14	4,62	131,07	-32,90
<b>1</b>	551,00	0,0518	434,7826	3Φ14	4,62	200,87	50,42
					9,24	0,00	112,47

<b>B16 (3Φ14)</b>		<b>Λειτουργία ορθογωνικής διατομής</b>		<b>N<sub>Ed</sub> (KN)=</b>	<b>0</b>		
<b>b<sub>w</sub> (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>		
30,00	600,00	35,00	12,00	49,00	551,00		
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035	<b>x (mm)</b>		<b>f<sub>cd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (KN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (KNm)</b>	
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0332	52,59		2,50	-178,80	49,88	
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022						
<b>F<sub>yd</sub></b>	434,78						
<b>Οπλισμοί</b>	<b>y<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>i</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>Rd</sub><sup>-</sup> (kNm)</b>
<b>2</b>	49,00	-0,0002	-47,7671	3Φ14	4,62	-22,07	5,54
<b>1</b>	551,00	0,0332	434,7826	3Φ14	4,62	200,87	50,42
					9,24	0,00	105,84

**Πίνακας Π.5.Β.26 Υπολογισμός ροπών αντοχής δοκών πλαισιακού κτηρίου**

<b>B16 (3Φ14)</b>		<b>Λειτουργία πλακοδοκού</b>			<b>N<sub>Ed</sub> (KN)=</b>	<b>0</b>	
<b>b<sub>w</sub> (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>b<sub>eff</sub> (cm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>	
30,00	600,00	108,00	35,00	12,00	49,00	551,00	
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035		<b>x (mm)</b>		<b>f<sub>cd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (KN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (KNm)</b>
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0581		31,32		2,50	-383,39	110,21
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022						
<b>F<sub>yd</sub></b>	434,78						
<b>Οπλισμοί</b>	<b>y<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sub>2</sub>)</b>	<b>F<sub>i</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>Rd</sub><sup>+</sup> (kNm)</b>
<b>2</b>	49,00	0,0020	395,0599	3Φ14	4,62	182,52	-45,81
<b>1</b>	551,00	0,0581	434,7826	3Φ14	4,62	200,87	50,42
					9,24	0,00	114,82

<b>B17 (4Φ14)</b>		<b>Λειτουργία ορθογωνικής διατομής</b>			<b>N<sub>Ed</sub> (KN)=</b>	<b>0</b>	
<b>b<sub>w</sub> (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>		
30,00	600,00	35,00	12,00	49,00	551,00		
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035		<b>x (mm)</b>		<b>f<sub>cd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (KN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (KNm)</b>
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0283		60,58		2,50	-205,99	56,80
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022						
<b>F<sub>yd</sub></b>	434,78						
<b>Οπλισμοί</b>	<b>y<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sub>2</sub>)</b>	<b>F<sub>i</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>Rd</sub><sup>+</sup> (kNm)</b>
<b>2</b>	49,00	-0,0007	-133,8495	3Φ14	4,62	-61,84	15,52
<b>1</b>	551,00	0,0283	434,7826	4Φ14	6,16	267,83	67,22
					10,78	0,00	139,55

<b>B17 (4Φ14)</b>		<b>Λειτουργία πλακοδοκού</b>			<b>N<sub>Ed</sub> (KN)=</b>	<b>0</b>	
<b>b<sub>w</sub> (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>b<sub>eff</sub> (cm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>	
30,00	600,00	84,00	35,00	12,00	49,00	551,00	
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035		<b>x (mm)</b>		<b>f<sub>cd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (KN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (KNm)</b>
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0493		36,54		2,50	-347,88	99,28
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022						
<b>F<sub>yd</sub></b>	434,78						
<b>Οπλισμοί</b>	<b>y<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sub>2</sub>)</b>	<b>F<sub>i</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>Rd</sub><sup>+</sup> (kNm)</b>
<b>2</b>	49,00	0,0012	238,6509	4Φ14	6,16	147,01	-36,90
<b>1</b>	551,00	0,0493	434,7826	3Φ14	4,62	200,87	50,42
					10,78	0,00	112,80

**Πίνακας Π.5.Β.26 Υπολογισμός ροπών αντοχής δοκών πλαισιακού κτηρίου**

<b>B16 (4Φ14)</b>	Λειτουργία ορθογωνικής διατομής			<b>N<sub>Ed</sub> (KN)=</b>	<b>0</b>		
<b>b<sub>w</sub> (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>		
30,00	600,00	35,00	12,00	49,00	551,00		
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035		<b>x (mm)</b>		<b>f<sub>cd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (KN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (KNm)</b>
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0283		60,58		2,50	-205,99	56,80
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022						
<b>F<sub>yd</sub></b>	434,78						
<b>Οπλισμοί</b>	<b>γ<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sub>2</sub>)</b>	<b>F<sub>i</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>Rd</sub><sup>+</sup> (kNm)</b>
<b>2</b>	49,00	-0,0007	-133,8495	3Φ14	4,62	-61,84	15,52
<b>1</b>	551,00	0,0283	434,7826	4Φ14	6,16	267,83	67,22
					10,78	0,00	139,55

<b>B16 (4Φ14)</b>	Λειτουργία πλακοδοκού			<b>N<sub>Ed</sub> (KN)=</b>	<b>0</b>		
<b>b<sub>w</sub> (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>b<sub>eff</sub> (cm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>	
30,00	600,00	108,00	35,00	12,00	49,00	551,00	
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035		<b>x (mm)</b>		<b>f<sub>cd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (KN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (KNm)</b>
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0546		33,19		2,50	-406,26	116,48
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022						
<b>F<sub>yd</sub></b>	434,78						
<b>Οπλισμοί</b>	<b>γ<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sub>2</sub>)</b>	<b>F<sub>i</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>Rd</sub><sup>+</sup> (kNm)</b>
<b>2</b>	49,00	0,0017	333,4187	4Φ14	6,16	205,39	-51,55
<b>1</b>	551,00	0,0546	434,7826	3Φ14	4,62	200,87	50,42
					10,78	0,00	115,35

<b>B17 (5Φ14)</b>	Λειτουργία ορθογωνικής διατομής			<b>N<sub>Ed</sub> (KN)=</b>	<b>0</b>		
<b>b<sub>w</sub> (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>		
30,00	600,00	35,00	12,00	49,00	551,00		
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035		<b>x (mm)</b>		<b>f<sub>cd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (KN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (KNm)</b>
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0241		69,96		2,50	-237,88	64,71
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022						
<b>F<sub>yd</sub></b>	434,78						
<b>Οπλισμοί</b>	<b>γ<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sub>2</sub>)</b>	<b>F<sub>i</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>Rd</sub><sup>+</sup> (kNm)</b>
<b>2</b>	49,00	-0,0010	-209,7494	3Φ14	4,62	-96,90	24,32
<b>1</b>	551,00	0,0241	434,7826	5Φ14	7,70	334,78	84,03
					12,32	0,00	173,06



**Πίνακας Π.5.Β.26 Υπολογισμός ροπών αντοχής δοκών πλαισιακού κτηρίου**

<b>B17 (5Φ14)</b>	<b>Λειτουργία πλακοδοκού</b>			<b>N<sub>Ed</sub> (KN)=</b>	<b>0</b>		
<b>b<sub>w</sub> (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>b<sub>eff</sub> (cm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>	
30,00	600,00	84,00	35,00	12,00	49,00	551,00	
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035		<b>x (mm)</b>		<b>f<sub>cd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (KN)</b>	
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0475		37,83		2,50	-360,10	
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022					<b>M<sub>cd</sub> (KNm)</b>	
<b>F<sub>yd</sub></b>	434,78					102,58	
<b>Οπλισμοί</b>	<b>γ<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sub>2</sub>)</b>	<b>F<sub>i</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>Rd</sub><sup>+</sup> (kNm)</b>
<b>2</b>	49,00	0,0010	206,7927	5Φ14	7,70	159,23	-39,97
<b>1</b>	551,00	0,0475	434,7826	3Φ14	4,62	200,87	50,42
					12,32	0,00	113,03

<b>B16 (5Φ14)</b>	<b>Λειτουργία ορθογωνικής διατομής</b>			<b>N<sub>Ed</sub> (KN)=</b>	<b>0</b>		
<b>b<sub>w</sub> (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>		
30,00	600,00	35,00	12,00	49,00	551,00		
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035		<b>x (mm)</b>		<b>f<sub>cd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (KN)</b>	
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0241		69,96		2,50	-237,88	
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022					<b>M<sub>cd</sub> (KNm)</b>	
<b>F<sub>yd</sub></b>	434,78					64,71	
<b>Οπλισμοί</b>	<b>γ<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sub>2</sub>)</b>	<b>F<sub>i</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>Rd</sub><sup>+</sup> (kNm)</b>
<b>2</b>	49,00	-0,0010	-209,7494	3Φ14	4,62	-96,90	24,32
<b>1</b>	551,00	0,0241	434,7826	5Φ14	7,70	334,78	84,03
					12,32	0,00	173,06

<b>B16 (5Φ14)</b>	<b>Λειτουργία πλακοδοκού</b>			<b>N<sub>Ed</sub> (KN)=</b>	<b>0</b>		
<b>b<sub>w</sub> (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>b<sub>eff</sub> (cm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>	
30,00	600,00	108,00	35,00	12,00	49,00	551,00	
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035		<b>x (mm)</b>		<b>f<sub>cd</sub> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (KN)</b>	
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0522		34,65		2,50	-424,11	
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022					<b>M<sub>cd</sub> (KNm)</b>	
<b>F<sub>yd</sub></b>	434,78					121,35	
<b>Οπλισμοί</b>	<b>γ<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sub>2</sub>)</b>	<b>F<sub>i</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>Rd</sub><sup>+</sup> (kNm)</b>
<b>2</b>	49,00	0,0014	289,9192	5Φ14	7,70	223,24	-56,03
<b>1</b>	551,00	0,0522	434,7826	3Φ14	4,62	200,87	50,42
					12,32	0,00	115,74

## Π.5.Β.27 Ροπές αντοχής δοκών τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΥ

### B14-D,C,B,IS

#### Λειτουργία Πλακοδοκού

<b><math>N_{ed}</math> (kN)</b>	0					
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b><math>b_{eff}</math> (cm)</b>	<b><math>c_{nom}</math> (mm)</b>	<b><math>\phi</math> (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>
30	600	108	35	12	49	551

$\epsilon_c$	0,0035
$\epsilon_{s1}$	0,05460
$\epsilon_{yd}$	0,00217
$F_{yd}$ (MPa)	434,78

<b>x (mm)</b>
33

<b><math>f_{cd}</math> (MPa)</b>	<b><math>F_{cd}</math> (kN)</b>	<b><math>M_{cd}</math> (kNm)</b>
25	-406,26	116,48

Οπλισμοί (i)	$\gamma_i$ (mm)	$\epsilon_{si}$	$\sigma_{si}$ (MPa)	$\phi$ (mm)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$F_{si}$ (kN)	$M_{si}$ (kNm)
2	49	0,0017	333,418811	4 $\phi$ 14	6,16	205,39	-51,55
1	551	0,0546	434,782609	3 $\phi$ 14	4,62	200,87	50,42
<b>Σύνολο</b>					<b>10,78</b>	<b>0,00</b>	<b>115,35</b>
						<b><math>M_{Rd}^+</math> (kNm)= 115,35</b>	

#### Λειτουργία ορθογωνικής διατομής

<b><math>N_{ed}</math> (kN)</b>	0					
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b><math>c_{nom}</math> (mm)</b>	<b><math>\phi</math> (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>	
30	600	35	12	49	551	

$\epsilon_c$	0,0035
$\epsilon_{s1}$	0,02833
$\epsilon_{yd}$	0,00217
$F_{yd}$ (MPa)	434,78

<b>x (mm)</b>
61

<b><math>f_{cd}</math> (MPa)</b>	<b><math>F_{cd}</math> (kN)</b>	<b><math>M_{cd}</math> (kNm)</b>
25	-205,99	56,80

Οπλισμοί (i)	$\gamma_i$ (mm)	$\epsilon_{si}$	$\sigma_{si}$ (MPa)	$\phi$ (mm)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$F_{si}$ (kN)	$M_{si}$ (kNm)
1	49	-0,0007	-133,8483	3 $\phi$ 14	4,62	-61,84	15,52
2	551	0,0283	434,782609	4 $\phi$ 14	6,16	267,83	67,22
<b>Σύνολο</b>					<b>10,78</b>	<b>0,00</b>	<b>139,55</b>
						<b><math>M_{Rd}^-</math> (kNm)= 139,55</b>	

## Π.5.Β.27 Ροπές αντοχής δοκών τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΥ

### B14-E

#### Λειτουργία Πλακοδοκού

<b>N<sub>ed</sub> (kN)</b>	0					
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>b<sub>eff</sub> (cm)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>
30	600	108	35	12	49	551

<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,05807
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,00217
<b>F<sub>yd</sub> (MPa)</b>	434,78

<b>x (mm)</b>
31

<b>f<sub>cd</sub> (Mpa)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (kNm)</b>
25	-383,387243	110,21

Οπλισμοί (i)	γ <sub>i</sub> (mm)	ε <sub>si</sub>	σ <sub>si</sub> (Mpa)	φ (mm)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	F <sub>si</sub> (kN)	M <sub>si</sub> (kNm)
2	49	0,0020	395,06	3φ14	4,62	182,52	-45,81
1	551	0,0581	434,78	3φ14	4,62	200,87	50,42
<b>Σύνολο</b>					<b>9,24</b>	<b>0,00</b>	<b>114,82</b>
						<b>M<sub>Rd</sub><sup>+</sup> (kNm)= 114,82</b>	

#### Λειτουργία ορθογωνικής διατομής

<b>N<sub>ed</sub> (kN)</b>	0	
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	
30	600	

<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>
35	12	49	551

<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,03317
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,00217
<b>F<sub>yd</sub> (MPa)</b>	434,78

<b>x (mm)</b>
53

<b>f<sub>cd</sub> (Mpa)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (kNm)</b>
25	-178,80	49,88

Οπλισμοί (i)	γ <sub>i</sub> (mm)	ε <sub>si</sub>	σ <sub>si</sub> (Mpa)	φ (mm)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	F <sub>si</sub> (kN)	M <sub>si</sub> (kNm)
1	49	-0,0002	-47,77	3φ14	4,62	-22,07	5,54
2	551	0,0332	434,78	3φ14	4,62	200,87	50,42
<b>Σύνολο</b>					<b>9,24</b>	<b>0,00</b>	<b>105,84</b>
						<b>M<sub>Rd</sub><sup>-</sup> (kNm)= 105,84</b>	

## Π.5.Β.27 Ροπές αντοχής δοκών τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΥ

### B11-E,D,C,B,IS

#### Λειτουργία Πλακοδοκού

<b><math>N_{ed}</math> (kN)</b>	0					
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b><math>b_{eff}</math> (cm)</b>	<b><math>c_{nom}</math> (mm)</b>	<b><math>\phi</math> (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>
30	600	73	35	12	49	551

$\epsilon_c$	0,0035
$\epsilon_{s1}$	0,04865
$\epsilon_{yd}$	0,00217
$F_{yd}$ (MPa)	434,78

<b>x (mm)</b>
36,98

<b><math>f_{cd}</math> (Mpa)</b>	<b><math>F_{cd}</math> (kN)</b>	<b><math>M_{cd}</math> (kNm)</b>
25	-305,96	87,26

Οπλισμοί (i)	$y_i$ (mm)	$\epsilon_{si}$	$\sigma_{si}$ (Mpa)	$\phi$ (mm)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$F_{si}$ (kN)	$M_{si}$ (kNm)
2	49	0,0011	227,48	3 $\phi$ 14	4,62	105,09	-26,38
1	551	0,0486	434,78	3 $\phi$ 14	4,62	200,87	50,42
<b>Σύνολο</b>					<b>9,24</b>	<b>305,96</b>	<b>24,04</b>
						<b><math>M_{Rd}^+</math> (kNm)= 24,04</b>	

#### Λειτουργία ορθογωνικής διατομής

<b><math>N_{ed}</math> (kN)</b>	0	
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	
30	600	

<b><math>c_{nom}</math> (mm)</b>	<b><math>\phi</math> (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>
35	12	49	551

$\epsilon_c$	0,0035
$\epsilon_{s1}$	0,03317
$\epsilon_{yd}$	0,00217
$F_{yd}$ (MPa)	434,78

<b>x (mm)</b>
52,59

<b><math>f_{cd}</math> (Mpa)</b>	<b><math>F_{cd}</math> (kN)</b>	<b><math>M_{cd}</math> (kNm)</b>
25	-178,80	49,88

Οπλισμοί (i)	$y_i$ (mm)	$\epsilon_{si}$	$\sigma_{si}$ (Mpa)	$\phi$ (mm)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$F_{si}$ (kN)	$M_{si}$ (kNm)
1	49	-0,0002	-47,77	3 $\phi$ 14	4,62	-22,07	5,54
2	551	0,0332	434,78	3 $\phi$ 14	4,62	200,87	50,42
<b>Σύνολο</b>					<b>9,24</b>	<b>178,80</b>	<b>55,96</b>
						<b><math>M_{Rd}^-</math> (kNm)= 55,96</b>	

Πίνακας Π.5.Β.28 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαίσιακού κτηρίου έναντι κάμψης-θλίψης για ΚΠΥ

Υποσύλωμα	b (m)	h (m)	f <sub>cd</sub> (MPa)	f <sub>ck</sub> (MPa)	h <sub>clear</sub> (m)	N <sub>EC</sub> <sup>top</sup> (KN)	N <sub>EC</sub> <sup>bot</sup> (KN)	M <sub>ECx</sub> <sup>top</sup> (KNm)	M <sub>ECy</sub> <sup>top</sup> (KNm)	M <sub>ECx</sub> <sup>bot</sup> (KNm)	M <sub>ECy</sub> <sup>bot</sup> (KNm)
C12-E	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-75,730	0,000	4,21	51,46	0,00	0,00
C12-D	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-194,590	-97,200	6,75	47,01	4,95	38,80
C12-C	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-311,460	-216,460	10,70	52,55	3,21	41,30
C12-B	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-426,540	-333,330	12,74	54,55	8,58	46,45
C12-A	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-540,550	-448,420	9,87	44,97	12,79	54,89
C6-E	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-109,550	0,000	19,95	66,52	0,00	0,00
C6-D	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-272,350	-131,430	20,49	67,01	22,80	53,25
C6-C	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-433,480	-294,220	21,39	76,86	21,92	62,65
C6-B	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-593,460	-455,350	21,62	79,39	21,80	73,02
C6-A	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-757,150	-615,340	15,48	50,58	21,58	83,79
C1-E	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-48,400	0,000	2,23	39,27	0,00	0,00
C1-D	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-149,000	-70,270	8,04	42,82	4,13	28,85
C1-C	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-249,490	-170,870	12,79	47,69	4,74	36,21
C1-B	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-349,400	-271,360	15,71	47,97	10,88	43,28
C1-A	0,50	0,50	14,17	25,00	2,90	-438,790	-371,280	11,10	27,74	17,33	51,13

Υποσύλωμα	d/h	μ <sub>d</sub> <sup>top</sup>	v <sub>d</sub> <sup>top</sup>	ω <sup>top</sup>	μ <sub>d</sub> <sup>bot</sup>	v <sub>d</sub> <sup>bot</sup>	ω <sup>bot</sup>	ω <sub>ενιαίο φόρτισης</sub>	ω <sub>ικαν,max</sub>	ω <sub>δυσμεν</sub>
C12-E	0,08	0,04	-0,02	0,08	0,00	0,00	0,00	0,040	0,000	0,040
C12-D	0,08	0,03	-0,05	0,04	0,03	-0,03	0,03	0,035	0,055	0,055
C12-C	0,08	0,04	-0,09	0,01	0,03	-0,06	0,03	0,020	0,000	0,020
C12-B	0,08	0,04	-0,12	0,00	0,03	-0,09	0,01	0,005	0,000	0,005
C12-A	0,08	0,03	-0,15	0,00	0,04	-0,13	0,00	0,000	0,000	0,000
C6-E	0,08	0,05	-0,03	0,10	0,00	0,00	0,00	0,050	0,000	0,050
C6-D	0,08	0,05	-0,08	0,04	0,04	-0,04	0,05	0,045	0,140	0,140
C6-C	0,08	0,06	-0,12	0,01	0,05	-0,08	0,05	0,030	0,090	0,090
C6-B	0,08	0,06	-0,17	0,00	0,05	-0,13	0,00	0,000	0,020	0,020
C6-A	0,08	0,04	-0,21	0,00	0,06	-0,17	0,00	0,000	0,000	0,000
C1-E	0,08	0,03	-0,01	0,07	0,00	0,00	0,00	0,035	0,000	0,035
C1-D	0,08	0,03	-0,04	0,06	0,02	-0,02	0,01	0,035	0,045	0,045
C1-C	0,08	0,04	-0,07	0,04	0,03	-0,05	0,03	0,035	0,025	0,035
C1-B	0,08	0,04	-0,10	0,00	0,03	-0,08	0,01	0,005	0,000	0,005
C1-A	0,08	0,02	-0,12	0,00	0,04	-0,10	0,00	0,000	0,000	0,000

Πίνακας Π.5.Β.28 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης-θλίψης για ΚΠΥ

Ικανοτικός σχεδιασμός κόμβων υποστυλώματος C12							
Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C12-D	x-x (+)	-135,68	-274,24	105,84	0,00	45,54	92,05
	x-x (-)	-135,68	-274,24	111,30	0,00	47,89	96,80
	γ-γ (+)	-135,68	-274,24	105,84	0,00	45,54	92,05
	γ-γ (-)	-135,68	-274,24	114,82	0,00	49,41	99,86

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C12-C	x-x (+)	-303,77	-441,99	105,84	0,00	56,05	81,55
	x-x (-)	-303,77	-441,99	111,30	0,00	58,94	85,75
	γ-γ (+)	-303,77	-441,99	105,84	0,00	56,05	81,55
	γ-γ (-)	-303,77	-441,99	114,82	0,00	60,80	88,47

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C12-B	x-x (+)	-471,52	-609,70	105,84	0,00	60,00	77,59
	x-x (-)	-471,52	-609,70	111,30	0,00	63,10	81,59
	γ-γ (+)	-471,52	-609,70	105,84	0,00	60,00	77,59
	γ-γ (-)	-471,52	-609,70	114,82	0,00	65,09	84,17

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C12-A	x-x (+)	-639,23	-776,30	105,84	0,00	62,13	75,46
	x-x (-)	-639,23	-776,30	111,30	0,00	65,34	79,35
	γ-γ (+)	-639,23	-776,30	105,84	0,00	62,13	75,46
	γ-γ (-)	-639,23	-776,30	114,82	0,00	67,41	81,86

Πίνακας Π.5.Β.28 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης-θλίψης για ΚΠΥ

Ικανοτικός σχεδιασμός κόμβων υποστυλώματος C12 (συνέχεια)														
C12-D (κεφαλή)							C12-E (βάση)							
Κόμβος	$M_{RC\ \gamma\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ \chi\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ \gamma\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\ \chi\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$\omega_{ενιαίο}$	$\omega_{max}$
C12-D	92,05	0,00	-274,24	-0,08	0,05	0,050	45,54	0,00	-135,68	-0,04	0,03	0,050	0,050	0,055
	96,80	0,00	-274,24	-0,08	0,05	0,050	47,89	0,00	-135,68	-0,04	0,03	0,050	0,050	
	0,00	92,05	-274,24	-0,08	0,05	0,050	0,00	45,54	-135,68	-0,04	0,03	0,050	0,050	
	0,00	99,86	-274,24	-0,08	0,06	0,060	0,00	49,41	-135,68	-0,04	0,03	0,050	0,055	
C12-C (κεφαλή)							C12-D (βάση)							
Κόμβος	$M_{RC\ \gamma\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ \chi\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ \gamma\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\ \chi\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$\omega_{ενιαίο}$	$\omega_{max}$
C12-C	81,55	0,00	-441,99	-0,12	0,05	0,000	56,05	0,00	-303,77	-0,09	0,03	0,000	0,000	0,000
	85,75	0,00	-441,99	-0,12	0,05	0,000	58,94	0,00	-303,77	-0,09	0,03	0,000	0,000	
	0,00	81,55	-441,99	-0,12	0,05	0,000	0,00	56,05	-303,77	-0,09	0,03	0,000	0,000	
	0,00	88,47	-441,99	-0,12	0,05	0,000	0,00	60,80	-303,77	-0,09	0,03	0,000	0,000	
C12-B (κεφαλή)							C12-C (βάση)							
Κόμβος	$M_{RC\ \gamma\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ \chi\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ \gamma\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\ \chi\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$\omega_{ενιαίο}$	$\omega_{max}$
C12-B	77,59	0,00	-609,70	-0,17	0,04	0,000	60,00	0,00	-471,52	-0,13	0,03	0,000	0,000	0,000
	81,59	0,00	-609,70	-0,17	0,05	0,000	63,10	0,00	-471,52	-0,13	0,04	0,000	0,000	
	0,00	77,59	-609,70	-0,17	0,04	0,000	0,00	60,00	-471,52	-0,13	0,03	0,000	0,000	
	0,00	84,17	-609,70	-0,17	0,05	0,000	0,00	65,09	-471,52	-0,13	0,04	0,000	0,000	
C12-A (κεφαλή)							C12-B (βάση)							
Κόμβος	$M_{RC\ \gamma\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ \chi\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ \gamma\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\ \chi\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$\omega_{ενιαίο}$	$\omega_{max}$
C12-A	75,46	0,00	-776,30	-0,22	0,04	0,000	62,13	0,00	-639,23	-0,18	0,04	0,000	0,000	0,000
	79,35	0,00	-776,30	-0,22	0,04	0,000	65,34	0,00	-639,23	-0,18	0,04	0,000	0,000	
	0,00	75,46	-776,30	-0,22	0,04	0,000	0,00	62,13	-639,23	-0,18	0,04	0,000	0,000	
	0,00	81,86	-776,30	-0,22	0,05	0,000	0,00	67,41	-639,23	-0,18	0,04	0,000	0,000	

Πίνακας Π.5.Β.28 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης-θλίψης για ΚΠΥ

Ικανοτικός σχεδιασμός κόμβων υποστυλώματος C6							
Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C6-D	x-x (+)	190,34	397,23	105,84	0,00	44,57	93,02
	x-x (-)	190,34	397,23	115,46	0,00	48,62	101,47
	γ-γ (+)	190,34	397,23	139,55	115,35	107,35	224,02
	γ-γ (-)	190,34	397,23	112,80	139,55	106,27	221,78

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C6-C	x-x (+)	426,73	635,66	105,84	0,00	55,27	82,33
	x-x (-)	426,73	635,66	115,46	0,00	60,29	89,81
	γ-γ (+)	426,73	635,66	139,55	115,35	133,10	198,27
	γ-γ (-)	426,73	635,66	112,80	139,55	131,77	196,29

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C6-B	x-x (+)	665,19	875,41	105,84	0,00	59,41	78,18
	x-x (-)	665,19	875,41	115,46	0,00	64,81	85,29
	γ-γ (+)	665,19	875,41	139,55	115,35	143,08	188,29
	γ-γ (-)	665,19	875,41	112,80	139,55	141,65	186,41

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C6-A	x-x (+)	904,91	1120,30	105,84	0,00	61,48	76,11
	x-x (-)	904,91	1120,30	115,46	0,00	67,07	83,03
	γ-γ (+)	904,91	1120,30	139,55	115,35	148,06	183,31
	γ-γ (-)	904,91	1120,30	112,80	139,55	146,58	181,47



Πίνακας Π.5.Β.28 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης-θλίψης για ΚΠΥ

Ικανοτικός σχεδιασμός κόμβων υποστυλώματος C6 (συνέχεια)														
C6-D (κεφαλή)							C6-E (βάση)							
Κόμβος	$M_{RC\ y\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ y\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$\omega_{\epsilon\nu\iota\alpha\iota\omicron}$	$\omega_{max}$
C6-D	93,02	0,00	-397,23	-0,11	0,05	0,000	44,57	0,00	-190,34	-0,05	0,03	0,000	0,000	0,140
	101,47	0,00	-397,23	-0,11	0,06	0,010	48,62	0,00	-190,34	-0,05	0,03	0,020	0,015	
	0,00	224,02	-397,23	-0,11	0,13	0,200	0,00	107,35	-190,34	-0,05	0,06	0,080	0,140	
	0,00	221,78	-397,23	-0,11	0,13	0,200	0,00	106,27	-190,34	-0,05	0,06	0,080	0,140	

C6-C (κεφαλή)							C6-D (βάση)							
Κόμβος	$M_{RC\ y\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ y\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$\omega_{\epsilon\nu\iota\alpha\iota\omicron}$	$\omega_{max}$
C6-C	82,33	0,00	-635,66	-0,18	0,05	0,000	55,27	0,00	-426,73	-0,12	0,03	0,000	0,000	0,090
	89,81	0,00	-635,66	-0,18	0,05	0,000	60,29	0,00	-426,73	-0,12	0,03	0,000	0,000	
	0,00	198,27	-635,66	-0,18	0,11	0,100	0,00	133,10	-426,73	-0,12	0,08	0,080	0,090	
	0,00	196,29	-635,66	-0,18	0,11	0,100	0,00	131,77	-426,73	-0,12	0,07	0,080	0,090	

C6-B (κεφαλή)							C6-C (βάση)							
Κόμβος	$M_{RC\ y\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ y\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$\omega_{\epsilon\nu\iota\alpha\iota\omicron}$	$\omega_{max}$
C6-B	78,18	0,00	-875,41	-0,25	0,04	0,000	59,41	0,00	-665,19	-0,19	0,03	0,000	0,000	0,020
	85,29	0,00	-875,41	-0,25	0,05	0,000	64,81	0,00	-665,19	-0,19	0,04	0,000	0,000	
	0,00	188,29	-875,41	-0,25	0,11	0,020	0,00	143,08	-665,19	-0,19	0,08	0,020	0,020	
	0,00	186,41	-875,41	-0,25	0,11	0,020	0,00	141,65	-665,19	-0,19	0,08	0,020	0,020	

C6-A (κεφαλή)							C6-B (βάση)							
Κόμβος	$M_{RC\ y\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ y\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$\omega_{\epsilon\nu\iota\alpha\iota\omicron}$	$\omega_{max}$
C6-A	76,11	0,00	-1120,30	-0,32	0,04	0,000	61,48	0,00	-904,91	-0,26	0,03	0,000	0,000	0,000
	83,03	0,00	-1120,30	-0,32	0,05	0,000	67,07	0,00	-904,91	-0,26	0,04	0,000	0,000	
	0,00	183,31	-1120,30	-0,32	0,10	0,000	0,00	148,06	-904,91	-0,26	0,08	0,000	0,000	
	0,00	181,47	-1120,30	-0,32	0,10	0,000	0,00	146,58	-904,91	-0,26	0,08	0,000	0,000	

Πίνακας Π.5.Β.28 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης-θλίψης για ΚΠΥ

Ικανοτικός σχεδιασμός κόμβων υποστυλώματος C1							
Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C1-D	x-x (+)	94,99	198,34	105,84	0,00	44,56	93,04
	x-x (-)	94,99	198,34	111,30	0,00	46,86	97,83
	γ-γ (+)	94,99	198,34	112,47	0,00	47,35	98,86
	γ-γ (-)	94,99	198,34	105,84	0,00	44,56	93,04

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C1-C	x-x (+)	227,87	325,60	105,84	0,00	56,65	80,94
	x-x (-)	227,87	325,60	111,30	0,00	59,57	85,12
	γ-γ (+)	227,87	325,60	112,47	0,00	60,20	86,01
	γ-γ (-)	227,87	325,60	105,84	0,00	56,65	80,94

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C1-B	x-x (+)	355,13	448,28	105,84	0,00	60,82	76,77
	x-x (-)	355,13	448,28	111,30	0,00	63,96	80,73
	γ-γ (+)	355,13	448,28	112,47	0,00	64,63	81,58
	γ-γ (-)	355,13	448,28	105,84	0,00	60,82	76,77

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C1-A	x-x (+)	477,82	555,27	105,84	0,00	63,64	73,95
	x-x (-)	477,82	555,27	111,30	0,00	66,92	77,77
	γ-γ (+)	477,82	555,27	112,47	0,00	67,62	78,59
	γ-γ (-)	477,82	555,27	105,84	0,00	63,64	73,95

Πίνακας Π.5.Β.28 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης-θλίψης για ΚΠΥ

Ικανοτικός σχεδιασμός κόμβων υποστυλώματος C1 (συνέχεια)														
C1-D (κεφαλή)							C1-E (βάση)							
Κόμβος	$M_{RC\ y\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ y\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$\omega_{ενιαίο}$	$\omega_{max}$
C1-D	93,04	0,00	-198,34	-0,06	0,05	0,050	44,56	0,00	-94,99	-0,03	0,03	0,020	0,035	0,045
	97,83	0,00	-198,34	-0,06	0,06	0,050	46,86	0,00	-94,99	-0,03	0,03	0,040	0,045	
	0,00	98,86	-198,34	-0,06	0,06	0,050	0,00	47,35	-94,99	-0,03	0,03	0,020	0,035	
	0,00	93,04	-198,34	-0,06	0,05	0,050	0,00	44,56	-94,99	-0,03	0,03	0,040	0,045	

C1-C (κεφαλή)							C1-D (βάση)							
Κόμβος	$M_{RC\ y\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ y\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$\omega_{ενιαίο}$	$\omega_{max}$
C1-C	80,94	0,00	-325,60	-0,09	0,05	0,010	56,65	0,00	-227,87	-0,06	0,03	0,030	0,020	0,025
	85,12	0,00	-325,60	-0,09	0,05	0,020	59,57	0,00	-227,87	-0,06	0,03	0,030	0,025	
	0,00	86,01	-325,60	-0,09	0,05	0,010	0,00	60,20	-227,87	-0,06	0,03	0,030	0,020	
	0,00	80,94	-325,60	-0,09	0,05	0,020	0,00	56,65	-227,87	-0,06	0,03	0,030	0,025	

C1-B (κεφαλή)							C1-C (βάση)							
Κόμβος	$M_{RC\ y\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ y\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$\omega_{ενιαίο}$	$\omega_{max}$
C1-B	76,77	0,00	-448,28	-0,13	0,04	0,000	60,82	0,00	-355,13	-0,10	0,03	0,000	0,000	0,000
	80,73	0,00	-448,28	-0,13	0,05	0,000	63,96	0,00	-355,13	-0,10	0,04	0,000	0,000	
	0,00	81,58	-448,28	-0,13	0,05	0,000	0,00	64,63	-355,13	-0,10	0,04	0,000	0,000	
	0,00	76,77	-448,28	-0,13	0,04	0,000	0,00	60,82	-355,13	-0,10	0,03	0,000	0,000	

C1-A (κεφαλή)							C1-B (βάση)							
Κόμβος	$M_{RC\ y\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ y\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$\omega_{ενιαίο}$	$\omega_{max}$
C1-A	73,95	0,00	-555,27	-0,16	0,04	0,000	63,64	0,00	-477,82	-0,13	0,04	0,000	0,000	0,000
	77,77	0,00	-555,27	-0,16	0,04	0,000	66,92	0,00	-477,82	-0,13	0,04	0,000	0,000	
	0,00	78,59	-555,27	-0,16	0,04	0,000	0,00	67,62	-477,82	-0,13	0,04	0,000	0,000	
	0,00	73,95	-555,27	-0,16	0,04	0,000	0,00	63,64	-477,82	-0,13	0,04	0,000	0,000	

Πίνακας Π.5.Β.28 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαίσιακού κτηρίου έναντι κάμψης-θλίψης για ΚΠΥ

Επιλογή τοποθετούμενου διαμήκους οπλισμού υποστυλωμάτων												
Υποσύλωμα 1	$\omega_{\max}$		$A_{s,\min}$ (cm <sup>2</sup> )	$\omega_{\text{διαστ}}$	$A_{s,\text{tot}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{tot,παρ}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{τελ,παρ}}$ (cm <sup>2</sup> )	Τοποθετούμενος		$A_{s,\text{τοπ}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\max}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{tot}}$ (cm <sup>2</sup> )
Κόμβος Ε	0,035	C1-E	25,00	0,045	3,67	1,83	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος D	0,045	C1-D	25,00	0,045	3,67	1,83	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος C	0,035	C1-C	25,00	0,035	2,85	1,43	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος Β	0,005	C1-B	25,00	0,005	0,41	0,20	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος Α	0,000	C1-A	25,00	0,000	0,00	0,00	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48

Υποσύλωμα 6	$\omega_{\max}$		$A_{s,\min}$ (cm <sup>2</sup> )	$\omega_{\text{διαστ}}$	$A_{s,\text{tot}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{tot,παρ}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{τελ,παρ}}$ (cm <sup>2</sup> )	Τοποθετούμενος		$A_{s,\text{τοπ}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\max}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{tot}}$ (cm <sup>2</sup> )
Κόμβος Ε	0,050	C6-E	25,00	0,140	11,41	5,70	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος D	0,140	C6-D	25,00	0,140	11,41	5,70	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος C	0,090	C6-C	25,00	0,090	7,33	3,67	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος Β	0,020	C6-B	25,00	0,020	1,63	0,81	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος Α	0,000	C6-A	25,00	0,000	0,00	0,00	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48

Υποσύλωμα 12	$\omega_{\max}$		$A_{s,\min}$ (cm <sup>2</sup> )	$\omega_{\text{διαστ}}$	$A_{s,\text{tot}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{tot,παρ}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{τελ,παρ}}$ (cm <sup>2</sup> )	Τοποθετούμενος		$A_{s,\text{τοπ}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\max}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{tot}}$ (cm <sup>2</sup> )
Κόμβος Ε	0,040	C12-E	25,00	0,055	4,48	2,24	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος D	0,055	C12-D	25,00	0,055	4,48	2,24	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος C	0,020	C12-C	25,00	0,020	1,63	0,81	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος Β	0,005	C12-B	25,00	0,005	0,41	0,20	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48
Κόμβος Α	0,000	C12-A	25,00	0,000	0,00	0,00	6,25	4	φ18	10,16	100,00	30,48

Πίνακας Π.5.Β.28 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι κάμψης-θλίψης για ΚΠΥ

Υπολογισμός των ροπών αντοχής των άκρων των υποστυλωμάτων								
Υποστώλωμα	$\omega_{tot,top}$	$V_{d,top}$	$\mu_{RD,top}$	$M_{RD,C,top}$ (KNm)	$V_{d,bot}$	$\mu_{RD,bot}$	$M_{RD,C,bot}$ (KNm)	$\Sigma_{MR,C}$ (KNm)
C1-E	0,197	-0,01	0,120	212,55	0,00	0,000	0,00	212,55
C1-D	0,197	-0,04	0,130	230,26	-0,02	0,125	221,41	451,67
C1-C	0,197	-0,07	0,140	247,98	-0,05	0,135	239,12	487,09
C1-B	0,197	-0,10	0,150	265,69	-0,08	0,145	256,83	522,52
C1-A	0,197	-0,12	0,160	283,40	-0,10	0,155	274,54	557,94

Υποστώλωμα	$\omega_{tot,top}$	$V_{d,top}$	$\mu_{RD,top}$	$M_{RD,C,top}$ (KNm)	$V_{d,bot}$	$\mu_{RD,bot}$	$M_{RD,C,bot}$ (KNm)	$\Sigma_{MR,C}$ (KNm)
C6-E	0,197	-0,03	0,125	221,41	0,00	0,000	0,00	221,41
C6-D	0,197	-0,08	0,140	247,98	-0,04	0,130	230,26	478,24
C6-C	0,197	-0,12	0,160	283,40	-0,08	0,145	256,83	540,23
C6-B	0,197	-0,17	0,170	301,11	-0,13	0,165	292,26	593,37
C6-A	0,197	-0,21	0,185	327,68	-0,17	0,175	309,97	637,65

Υποστώλωμα	$\omega_{tot,top}$	$V_{d,top}$	$\mu_{RD,top}$	$M_{RD,C,top}$ (KNm)	$V_{d,bot}$	$\mu_{RD,bot}$	$M_{RD,C,bot}$ (KNm)	$\Sigma_{MR,C}$ (KNm)
C12-E	0,197	-0,02	0,125	221,41	0,00	0,000	0,00	221,41
C12-D	0,197	-0,05	0,135	239,12	-0,03	0,130	230,26	469,38
C12-C	0,197	-0,09	0,145	256,83	-0,06	0,140	247,98	504,81
C12-B	0,197	-0,12	0,160	283,40	-0,09	0,150	265,69	549,09
C12-A	0,197	-0,15	0,185	327,68	-0,13	0,165	292,26	619,94

Π.5.Β.29 Διαστασιολόγηση υποστυλώματος τοιχωματικού κτηρίου έναντι θλίψης-κάμψης για ΚΠΥ

Υποστύλ.	b (m)	h (m)	h <sub>clear</sub> (m)	f <sub>yd</sub> (Mpa)	f <sub>cd</sub> (MPa)	Αποτελέσματα SAP2000					
						N <sub>EC</sub> <sup>top</sup> (kN)	N <sub>EC</sub> <sup>bot</sup> (kN)	M <sub>ECx</sub> <sup>top</sup> (kNm)	M <sub>ECy</sub> <sup>top</sup> (kNm)	M <sub>ECx</sub> <sup>bot</sup> (kNm)	M <sub>ECy</sub> <sup>bot</sup> (kNm)
C12-E	0,50	0,50	2,90	434,78	14,17	-91,17	-113,04	13,77	83,07	7,57	69,00
C12-D	0,50	0,50	2,90	434,78	14,17	-239,15	-261,02	7,09	60,46	6,95	63,25
C12-C	0,50	0,50	2,90	434,78	14,17	-387,90	-409,77	7,29	63,25	7,29	64,01
C12-B	0,50	0,50	2,90	434,78	14,17	-538,22	-560,10	9,58	61,21	10,36	69,99
C12-IS	0,50	0,50	2,90	434,78	14,17	-689,05	-710,92	8,69	43,60	5,28	31,12

Υποστύλ.	M <sub>EC,top</sub> (kNm)	M <sub>EC,bot</sub> (kNm)	v <sub>d,top</sub>	μ <sub>d,top</sub>	ω <sub>top</sub>	v <sub>d,bot</sub>	μ <sub>d,bot</sub>	ω <sub>bot</sub>
C12-E	107,99	89,70	-0,026	0,061	0,110	-0,032	0,051	0,080
C12-D	78,60	82,23	-0,068	0,044	0,030	-0,074	0,046	0,030
C12-C	82,23	83,21	-0,109	0,046	0,070	-0,116	0,047	0,070
C12-B	79,57	90,99	-0,152	0,045	0,010	-0,158	0,051	0,000
C12-IS	56,68	40,46	-0,195	0,032	0,000	-0,201	0,023	0,000

|v<sub>d,max</sub>|=0,55

|v<sub>d,max</sub>|=0,55

κόμβος	ενιαίο ω
E	0,110
D	0,055
C	0,050
B	0,040
IS	0,000

Π.5.Β.29 Διαστασιολόγηση υποστυλώματος τοιχωματικού κτηρίου έναντι θλίψης-κάμψης για ΚΠΥ

ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ C7

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
D	xx(+)	-158,25	-334,52	-105,84	0	-44,19	-93,40
	xx(-)	-158,25	-334,52	111,30	0	46,47	98,23
	γγ(+)	-158,25	-334,52	-139,55	0	-58,26	-123,15
	γγ(-)	-158,25	-334,52	115,35	0	48,16	101,80

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
C	xx(+)	-364,01	-541,33	-105,84	0	-55,32	-82,27
	xx(-)	-364,01	-541,33	111,30	0	58,18	86,52
	γγ(+)	-364,01	-541,33	-139,55	0	-72,94	-108,47
	γγ(-)	-364,01	-541,33	115,35	0	60,29	89,66

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
B	xx(+)	-570,83	-750,70	-105,84	0	-59,43	-78,16
	xx(-)	-570,83	-750,70	111,30	0	62,50	82,19
	γγ(+)	-570,83	-750,70	-139,55	0	-78,36	-103,05
	γγ(-)	-570,83	-750,70	115,35	0	64,77	85,18

Κόμβος	Ικανοτικός	N <sub>ED bot</sub> (KN)	N <sub>ED top</sub> (KN)	M <sub>RD 1</sub> (KNm)	M <sub>RD 2</sub> (KNm)	M <sub>RC bot</sub> (KNm)	M <sub>RC top</sub> (KNm)
IS	xx(+)	-780,23	-961,37	-105,84	0	-61,64	-75,95
	xx(-)	-780,23	-961,37	111,30	0	64,82	79,87
	γγ(+)	-780,23	-961,37	-139,55	0	-81,27	-100,14
	γγ(-)	-780,23	-961,37	115,35	0	67,18	82,78

Π.5.Β.29 Διαστασιολόγηση υποστυλώματος τοιχωματικού κτηρίου έναντι θλίψης-κάμψης για ΚΠΥ

Κόμβος	C12-D(κεφαλη)						C12-E(βαση)						$\omega_{ενιαιο}$	$\omega_{max}$
	$M_{RC\ y\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ y\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$		
D	-93,40	0	-334,52	0,053	-0,094	0,040	-44,19	0	-158,25	0,025	-0,045	0,010	0,025	0,065
	98,23	0	-334,52	0,055	-0,094	0,040	46,47	0	-158,25	0,026	-0,045	0,010	0,025	
	0	-123,15	-334,52	0,070	-0,094	0,090	0	-58,26	-158,25	0,033	-0,045	0,040	0,065	
	0	101,80	-334,52	0,057	-0,094	0,040	0	48,16	-158,25	0,027	-0,045	0,010	0,025	
Κόμβος	C12-C(κεφαλη)						C12-D(βαση)						$\omega_{ενιαιο}$	$\omega_{max}$
	$M_{RC\ y\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ y\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$		
C	-82,27	0	-541,33	0,046	-0,153	0,000	-55,32	0	-364,01	0,031	-0,103	0,000	0,000	0,005
	86,52	0	-541,33	0,049	-0,153	0,000	58,18	0	-364,01	0,033	-0,103	0,000	0,000	
	0	-108,47	-541,33	0,061	-0,153	0,000	0	-72,94	-364,01	0,041	-0,103	0,010	0,005	
	0	89,66	-541,33	0,051	-0,153	0,000	0	60,29	-364,01	0,034	-0,103	0,000	0,000	
Κόμβος	C12-B(κεφαλη)						C12-C(βαση)						$\omega_{ενιαιο}$	$\omega_{max}$
	$M_{RC\ y\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ y\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$		
B	-78,16	0	-750,70	0,044	-0,212	0,000	-59,43	0	-570,83	0,034	-0,161	0,000	0,000	0,000
	82,19	0	-750,70	0,046	-0,212	0,000	62,50	0	-570,83	0,035	-0,161	0,000	0,000	
	0	-103,05	-750,70	0,058	-0,212	0,000	0	-78,36	-570,83	0,044	-0,161	0,000	0,000	
	0	85,18	-750,70	0,048	-0,212	0,000	0	64,77	-570,83	0,037	-0,161	0,000	0,000	
Κόμβος	C12-IS(κεφαλη)						C12-B(βαση)						$\omega_{ενιαιο}$	$\omega_{max}$
	$M_{RC\ y\ top}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ top}$ (KNm)	$N_{EC\ top}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$	$M_{RC\ y\ bot}$ (KNm)	$M_{RC\ x\ bot}$ (KNm)	$N_{EC\ bot}$ (KN)	$v_d$	$\mu_d$	$\omega$		
IS	-75,95	0	-961,37	0,043	-0,271	0,000	-61,64	0	-780,23	0,035	-0,220	0,000	0,000	0,000
	79,87	0	-961,37	0,045	-0,271	0,000	64,82	0	-780,23	0,037	-0,220	0,000	0,000	
	0	-100,14	-961,37	0,057	-0,271	0,000	0	-81,27	-780,23	0,046	-0,220	0,000	0,000	
	0	82,78	-961,37	0,047	-0,271	0,000	0	67,18	-780,23	0,038	-0,220	0,000	0,000	



Π.5.Β.29 Διαστασιολόγηση υποστυλώματος τοιχωματικού κτηρίου έναντι θλίψης-κάμψης για ΚΠΥ

Κόμβος	Τελικό $\omega$
E	0,110
D	0,065
C	0,050
B	0,040
IS	0,000

Υποστύλ.	Απαιτούμενος Οπλισμός				Τοποθετούμενος Οπλισμός		$A_{s,τοπ,ολ}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,max}$ (cm <sup>2</sup> )	$s_{τοπ}$ (mm)	$s_{max}$ (mm)
	$\omega$	$A_{s,tot}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,min}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,τελ,παρ}$ (cm <sup>2</sup> )		$A_{s,τοπ,παρ}$ (cm <sup>2</sup> )				
C12-E	0,110	8,96	25,00	6,25	4 $\phi$ 18	10,16	30,48	100	100	200
C12-D	0,065	5,30	25,00	6,25	4 $\phi$ 18	10,16	30,48	100	100	200
C12-C	0,050	4,07	25,00	6,25	4 $\phi$ 18	10,16	30,48	100	100	200
C12-B	0,040	3,26	25,00	6,25	4 $\phi$ 18	10,16	30,48	100	100	200
C12-IS	0,000	0,00	25,00	6,25	4 $\phi$ 18	10,16	30,48	100	100	200

Υποστύλ.	$\omega_{tot,top}$	$v_{d,top}$	$\mu_{Cd,top}$	$v_{d,bot}$	$\mu_{Cd,bot}$
C12-E	0,249	-0,03	0,12	-0,03	0,12
C12-D	0,249	-0,07	0,14	-0,07	0,14
C12-C	0,249	-0,11	0,15	-0,12	0,15
C12-B	0,249	-0,13	0,16	-0,17	0,17
C12-IS	0,249	-0,20	0,18	-0,20	0,18

Κόμβος	$\mu_{Cd,top}$	$\mu_{Cd,bot}$	$M_{Cd,top}$ (κNm)	$M_{Cd,bot}$ (κNm)	$\Sigma M_{Cd}$ (κNm)
E	0,12		212,550		212,550
D	0,14	0,12	247,975	212,55	460,525
C	0,15	0,14	265,688	247,975	513,663
B	0,16	0,15	283,400	265,6875	549,088
IS	0,18	0,17	318,825	301,1125	619,938

Υποστύλ.	$M_{Cd,top}$ (κNm)	$M_{Cd,bot}$ (κNm)
C12-E	212,55	212,55
C12-D	247,98	247,98
C12-C	265,69	265,69
C12-B	283,40	301,11
C12-IS	318,83	318,83

Πίνακας Π.5.Β.30 Διαστασιολόγηση δοκών πλαισιακού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΥ

Μέλος	L <sub>ταρ</sub> (m)	b <sub>w</sub> (m)	h <sub>w</sub> (m)	d (m)	V <sub>G+0,3Q</sub>		V <sub>1,35G+1,5Q</sub>		M <sub>RD,αρ</sub> <sup>+</sup> (KNm)	M <sub>RD,αρ</sub> <sup>-</sup> (KNm)	M <sub>RD,δεξ</sub> <sup>+</sup> (KNm)	M <sub>RD,δεξ</sub> <sup>-</sup> (KNm)
					V <sub>Ed,x=d</sub> (kN)	V <sub>Edx=l-d</sub> (kN)	V <sub>Ed,x=d</sub> (kN)	V <sub>Edx=l-d</sub> (kN)				
B17-E	2,70	0,30	0,60	0,55	22,56	4,17	33,60	4,70	112,47	105,84	112,47	105,84
B16-E	6,10	0,30	0,60	0,55	49,87	43,64	71,81	62,60	114,82	105,84	114,82	105,84
B17-D	2,70	0,30	0,60	0,55	34,51	0,21	50,78	1,68	112,47	105,84	112,80	139,55
B16-D	6,10	0,30	0,60	0,55	62,74	55,77	89,18	78,97	115,35	139,55	114,82	105,84
B17-C	2,70	0,30	0,60	0,55	32,76	1,96	48,06	1,04	112,47	105,84	112,80	139,55
B16-C	6,10	0,30	0,60	0,55	63,05	55,46	89,60	78,55	115,35	139,55	114,82	105,84
B17-B	2,70	0,30	0,60	0,55	31,09	3,63	45,57	3,53	112,47	105,84	112,80	139,55
B16-B	6,10	0,30	0,60	0,55	63,03	55,48	89,55	78,60	115,35	139,55	114,82	105,84
B17-A	2,70	0,30	0,60	0,55	24,13	10,59	35,31	13,79	112,47	105,84	112,80	139,55
B16-A	6,10	0,30	0,60	0,55	62,63	55,88	88,89	79,27	115,35	139,55	114,82	105,84

Μέλος	ΣM <sub>RC,δεξ</sub> (KNm)	ΣM <sub>RC,αρ</sub> (KNm)	γ <sub>Rd</sub>	Ικανοτική τέμνουσα		Τέμνουσα σχεδιασμού		I <sub>cr</sub> (m)	f <sub>ywk</sub> (MPa)	f <sub>ywd</sub> (MPa)	f <sub>ck</sub> (MPa)	f <sub>cd</sub> (MPa)
				V <sub>i,d</sub> (d) (KN)	V <sub>j,d</sub> (l-d) (KN)	V <sub>E</sub> (d) (KN)	V <sub>E</sub> (l-d) (KN)					
B17-E	221,41	212,55	1,20	117,03	101,20	117,03	101,20	0,9	500	434,78	25	14,17
B16-E	221,41	221,41	1,20	93,28	87,05	93,28	87,05	0,9	500	434,78	25	14,17
B17-D	478,24	451,67	1,20	131,68	112,22	131,68	112,22	0,9	500	434,78	25	14,17
B16-D	469,38	478,24	1,20	112,78	99,28	112,78	99,28	0,9	500	434,78	25	14,17
B17-C	540,23	478,09	1,20	129,93	113,97	129,93	113,97	0,9	500	434,78	25	14,17
B16-C	504,81	540,23	1,20	113,09	98,97	113,09	98,97	0,9	500	434,78	25	14,17
B17-B	593,37	522,52	1,20	128,26	115,64	128,26	115,64	0,9	500	434,78	25	14,17
B16-B	549,09	593,37	1,20	113,07	98,99	113,07	98,99	0,9	500	434,78	25	14,17
B17-A	637,65	557,94	1,20	121,30	122,60	121,30	122,60	0,9	500	434,78	25	14,17
B16-A	619,94	637,65	1,20	112,67	99,39	112,67	99,39	0,9	500	434,78	25	14,17

Πίνακας Π.5.Β.30 Διαστασιολόγηση δοκών πλαισιακού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΥ

Μέλος	$N_{Ed}$ (kN)	$\sigma_{cd}$	k	$A_{sI}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_I$	$V_{Rdc}$ (kN)	cot $\theta_a$	$\theta_a$	$\theta$	cot $\theta$	$V_{Rd,max}$ (kN)	Έλεγχος αριστερά	Έλεγχος δεξιά
B17-E	0	0,00	1,6030	4,6200	0,00280	60,716	-0,09	-84,94	45,00	1,00	668,25	TRUE	TRUE
B16-E	0	0,00	1,6030	4,6200	0,00280	60,716	-3,07	-18,06	45,00	1,00	668,25	TRUE	TRUE
B17-D	0	0,00	1,6030	4,6200	0,00280	60,716	0,00	-89,76	45,00	1,00	668,25	TRUE	TRUE
B16-D	0	0,00	1,6030	4,6200	0,00280	60,716	-13,53	-4,23	45,00	1,00	668,25	TRUE	TRUE
B17-C	0	0,00	1,6030	4,6200	0,00280	60,716	-0,04	-87,71	45,00	1,00	668,25	TRUE	TRUE
B16-C	0	0,00	1,6030	4,6200	0,00280	60,716	-12,66	-4,52	45,00	1,00	668,25	TRUE	TRUE
B17-B	0	0,00	1,6030	4,6200	0,00280	60,716	-0,08	-85,64	45,00	1,00	668,25	TRUE	TRUE
B16-B	0	0,00	1,6030	4,6200	0,00280	60,716	-12,71	-4,50	45,00	1,00	668,25	TRUE	TRUE
B17-A	0	0,00	1,6030	4,6200	0,00280	60,716	-0,25	-75,77	45,00	1,00	668,25	TRUE	TRUE
B16-A	0	0,00	1,6030	4,6200	0,00280	60,716	-13,87	-4,13	45,00	1,00	668,25	TRUE	TRUE

Μέλος	Έλεγχος αναστροφής της			Ελάχιστος οπλισμός		Εντός κρίσιμου μήκους					Εκτός κρίσιμου μήκους		
	$\zeta$	$V_{E,max}$ (kN)	Έλεγχος	$[A_{sw}/s]_{min}$ (mm)	$[A_{sw}/s]_{min}$ (cm <sup>2</sup> /m)	$s_{lmax}$ (mm)	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	$\Phi s/s$ (mm/cm)	$V_{R,min}$ (kN)	$s_{lmax}$ (cm)	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> )	s (cm)
B17-E	-0,865	487,03	TRUE	0,24	2,4	84,00	1,01	8,40	8	270,45	412,50	1,01	41,25
B16-E	-0,933	457,65	TRUE	0,24	2,4	84,00	1,01	8,40	8	270,45	412,50	1,01	41,25
B17-D	-0,852	492,41	TRUE	0,24	2,4	84,00	1,01	8,40	8	270,45	412,50	1,01	41,25
B16-D	-0,880	480,34	TRUE	0,24	2,4	84,00	1,01	8,40	8	270,45	412,50	1,01	41,25
B17-C	-0,877	481,71	TRUE	0,24	2,4	84,00	1,01	8,40	8	270,45	412,50	1,01	41,25
B16-C	-0,875	482,55	TRUE	0,24	2,4	84,00	1,01	8,40	8	270,45	412,50	1,01	41,25
B17-B	-0,902	471,22	TRUE	0,24	2,4	84,00	1,01	8,40	8	270,45	412,50	1,01	41,25
B16-B	-0,876	482,41	TRUE	0,24	2,4	84,00	1,01	8,40	8	270,45	412,50	1,01	41,25
B17-A	-1,011	424,42	TRUE	0,24	2,4	84,00	1,01	8,40	8	270,45	412,50	1,01	41,25
B16-A	-0,882	479,55	TRUE	0,24	2,4	84,00	1,01	8,40	8	270,45	412,50	1,01	41,25

Πίνακας Π.5.Β.30 Διαστασιολόγηση δοκών πλαισιακού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΥ

Μέλος	Εκτός κρίσιμου μήκους			Εντός κρίσιμου μήκους		Εκτός κρίσιμου μήκους	
	Φ8/s (mm/cm)	V <sub>R,min</sub> (kN)	Έλεγχος επάρκειας				
B17-E	18	120,20	TRUE	φ8/	80	φ8/	180
B16-E	18	120,20	TRUE	φ8/	80	φ8/	180
B17-D	15	144,24	TRUE	φ8/	80	φ8/	150
B16-D	18	120,20	TRUE	φ8/	80	φ8/	180
B17-C	15	144,24	TRUE	φ8/	80	φ8/	150
B16-C	18	120,20	TRUE	φ8/	80	φ8/	180
B17-B	15	144,24	TRUE	φ8/	80	φ8/	150
B16-B	18	120,20	TRUE	φ8/	80	φ8/	180
B17-A	15	144,24	TRUE	φ8/	80	φ8/	150
B16-A	18	120,20	TRUE	φ8/	80	φ8/	180

Π.5.Β.31 Διαστασιολόγηση δοκών τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΥ

Μέλος	$l_{clear}$ (m)	$b_w$ (m)	$h_w$ (m)	$d$ (m)	$V_{G+0,3Q}$		$V_{1,35G+1,5Q}$		$M_{Rd,ap}^-$ (kNm)	$M_{Rd,ap}^+$ (kNm)	$M_{Rd,δεξ}^-$ (kNm)	$M_{Rd,δεξ}^+$ (kNm)
					$V_{Ed,x=d}$ (kN)	$V_{Edx=l-d}$ (kN)	$V_{Ed,x=d}$ (kN)	$V_{Edx=l-d}$ (kN)				
B14-E	6,2	0,3	0,6	0,55	43,68	51,28	62,53	73,88	105,84	114,82	105,84	114,82
B14-D	6,2	0,3	0,6	0,55	52,82	67,63	76,65	96,18	105,84	114,82	139,55	115,35
B14-C	6,2	0,3	0,6	0,55	52,82	67,63	76,65	96,18	105,84	114,82	139,55	113,30
B14-B	6,2	0,3	0,6	0,55	52,82	67,63	76,65	96,18	105,84	114,82	139,55	113,30
B14-IS	6,2	0,3	0,6	0,55	52,82	67,63	76,65	96,18	105,84	114,82	139,55	113,30

Μέλος	$\Sigma M_{RC,δεξ}$ (kNm)	$\Sigma M_{RC,ap}$ (kNm)	$V_{Rd}$	Ικανοτική τέμνουσα		Τέμνουσα σχεδιασμού		$l_{cr}$ (m)	$f_{yw,k}$ (MPa)	$f_{ywd}$ (MPa)	$f_{ck}$ (MPa)	$f_{cd}$ (MPa)
				$V_{i,d}(d)$ (kN)	$V_{j,d}(l-d)$ (kN)	$V_{Ed}(d)$ (kN)	$V_{Ed}(l-d)$ (kN)					
B14-E	212,55	0,00	1,20	86,39	92,42	86,39	92,42	0,90	500	434,78	25	14,17
B14-D	460,53	0,00	1,20	95,63	116,86	95,63	116,86	0,90	500	434,78	25	14,17
B14-C	513,66	0,00	1,20	95,23	116,86	95,23	116,86	0,90	500	434,78	25	14,17
B14-B	549,09	0,00	1,20	95,23	116,86	95,23	116,86	0,90	500	434,78	25	14,17
B14-IS	619,94	0,00	1,20	95,23	116,86	95,23	116,86	0,90	500	434,78	25	14,17

Μέλος	$N_{Ed}$ (kN)	$\sigma_{cd}$	k	$A_{sI}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_I$	$V_{Rdc}$ (kN)	$\cot\theta\alpha$	$\theta\alpha$	$\theta$	$\cot\theta$	$V_{Rd,max}$ (kN)	Έλεγχος διατομής
B14-E	0	0,00	1,60	4,62	0,00280	60,72	41,37	1,38	45,00	1,00	668,25	TRUE
B14-D	0	0,00	1,60	4,62	0,00280	60,72	5,77	9,83	45,00	1,00	668,25	TRUE
B14-C	0	0,00	1,60	4,62	0,00280	60,72	5,77	9,83	45,00	1,00	668,25	TRUE
B14-B	0	0,00	1,60	4,62	0,00280	60,72	5,77	9,83	45,00	1,00	668,25	TRUE
B14-IS	0	0,00	1,60	4,62	0,00280	60,72	5,77	9,83	45,00	1,00	668,25	TRUE

Π.5.Β.31 Διαστασιολόγηση δοκών τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΥ

Μέλος	$d_{bL}$ (mm)	Ελεγχος αναστροφής της τέμνουσας			Ελαχιστος οπλισμος		Εντός κρίσιμου μήκους				
		$\zeta$	$V_{E_{max}}$	Ελεγχος $V_{E_{max}}$	$[A_{sw}/s]_{min}$ (mm)	$[A_{sw}/s]_{min}$ (cm <sup>2</sup> /m)	$s_{lmax}$ (mm)	$A_{sw,\phi 8}$ (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	$\Phi 8/s$ (cm)	$V_{R,min}$ (kN)
B14-E	14	-0,93	457,00	TRUE	0,24	2,4	84	1,01	8,40	8	270,45
B14-D	14	-0,82	506,94	TRUE	0,24	2,4	84	1,01	8,40	8	270,45
B14-C	14	-0,81	508,40	TRUE	0,24	2,4	84	1,01	8,40	8	270,45
B14-B	14	-0,81	508,40	TRUE	0,24	2,4	84	1,01	8,40	8	270,45
B14-IS	14	-0,81	508,40	TRUE	0,24	2,4	84	1,01	8,40	8	270,45

Μέλος	Εκτός κρίσιμου μήκους					
	$s_{lmax}$ (cm)	$A_{sw,\phi 8}$ (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	$\Phi 8/s$ (cm)	$V_{R,min}$ (kN)	επάρκειας ελαχίστου
B14-E	412,5	1,01	23,00	23	94,07	TRUE
B14-D	412,5	1,01	18,00	18	120,20	TRUE
B14-C	412,5	1,01	18,00	18	120,20	TRUE
B14-B	412,5	1,01	18,00	18	120,20	TRUE
B14-IS	412,5	1,01	18,00	18	120,20	TRUE

Μέλος	Τοποθετούμενος οπλισμός διάτμησης	
	Εντός κρίσιμου μήκους της	Εκτός κρίσιμου μήκους της
	(mm)	(mm)
B14-E	$\phi 8/ 80$	$\phi 8/ 230$
B14-D	$\phi 8/ 80$	$\phi 8/ 180$
B14-C	$\phi 8/ 80$	$\phi 8/ 180$
B14-B	$\phi 8/ 80$	$\phi 8/ 180$
B14-IS	$\phi 8/ 80$	$\phi 8/ 180$

Πίνακας Π.5.Β.32 Διαστασιολόγηση υποστρωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΥ

Μέλος	$b_c$ (m)	$h_c$ (m)	H (m)	$H_{cl}$ (m)	$\gamma_{RD}$	d (m)	$M_{Rd,C,x,top}$ (KNm)	$M_{Rd,C,y,top}$ (KNm)	$M_{Rd,C,x,bot}$ (KNm)	$M_{Rd,C,y,bot}$ (KNm)
C1-E	0,5	0,5	3,5	2,9	1,30	0,45	212,55	212,55	221,41	221,41
C1-D	0,5	0,5	3,5	2,9	1,30	0,45	230,26	230,26	239,12	239,12
C1-C	0,5	0,5	3,5	2,9	1,30	0,45	247,98	247,98	256,83	256,83
C1-B	0,5	0,5	3,5	2,9	1,30	0,45	265,69	265,69	274,54	274,54
C1-A	0,5	0,5	3,5	2,9	1,30	0,45	283,40	283,40	292,26	292,26
C6-E	0,5	0,5	3,5	2,9	1,30	0,45	221,41	221,41	230,26	230,26
C6-D	0,5	0,5	3,5	2,9	1,30	0,45	247,98	247,98	256,83	256,83
C6-C	0,5	0,5	3,5	2,9	1,30	0,45	283,40	283,40	292,26	292,26
C6-B	0,5	0,5	3,5	2,9	1,30	0,45	301,11	301,11	309,97	309,97
C6-A	0,5	0,5	3,5	2,9	1,30	0,45	327,68	327,68	336,54	336,54
C12-E	0,5	0,5	3,5	2,9	1,30	0,45	221,41	221,41	230,26	230,26
C12-D	0,5	0,5	3,5	2,9	1,30	0,45	239,12	239,12	247,98	247,98
C12-C	0,5	0,5	3,5	2,9	1,30	0,45	256,83	256,83	265,69	265,69
C12-B	0,5	0,5	3,5	2,9	1,30	0,45	283,40	283,40	292,26	292,26
C12-A	0,5	0,5	3,5	2,9	1,30	0,45	327,68	327,68	336,54	336,54

Μέλος	$\Sigma M_{Rd,C,x}$ (KNm)	$\Sigma M_{Rd,C,y}$ (KNm)	$\Sigma M_{Rd,b,x}$ (KNm)	$\Sigma M_{Rd,b,y}$ (KNm)	$V_{CD,C,x}$ (KN)	$V_{CD,C,y}$ (KN)	$V_{Ed,C,x}$ (KN)	$V_{Ed,C,y}$ (KN)	$V_{E,max}$ (KN)	$N_{Ed}$ (kN)
C1-E	212,55	212,55	111,30	112,47	194,53	194,53	7,46	21,40	194,53	71,772
C1-D	451,67	451,67	111,30	112,47	210,41	210,41	10,20	22,55	210,41	175,657
C1-C	487,09	487,09	111,30	112,47	226,29	226,29	12,42	25,97	226,29	281,123
C1-B	522,52	522,52	111,30	112,47	242,17	242,17	13,51	29,00	242,17	387,203
C1-A	557,94	557,94	111,30	112,47	258,05	258,05	12,17	24,04	258,05	482,85
C6-E	221,41	221,41	115,46	220,66	202,47	202,47	18,15	36,43	202,47	130,908
C6-D	478,24	478,24	115,46	254,90	226,29	226,29	16,14	37,04	226,29	291,679
C6-C	540,23	540,23	115,46	254,90	258,05	258,05	15,91	42,82	258,05	449,17
C6-B	593,37	593,37	115,46	254,90	273,93	273,93	15,65	46,62	273,93	604,376
C6-A	637,65	637,65	115,46	254,90	297,75	297,75	10,53	33,70	297,75	763,26
C12-E	221,41	221,41	111,30	105,84	202,47	202,47	7,20	30,63	202,47	97,606
C12-D	469,38	469,38	111,30	105,84	218,35	218,35	10,33	25,18	218,35	216,379
C12-C	504,81	504,81	111,30	105,84	234,23	234,23	12,99	28,24	234,23	331,622
C12-B	549,09	549,09	111,30	105,84	258,05	258,05	15,14	31,25	258,05	444,163
C12-A	619,94	619,94	111,30	105,84	297,75	297,75	13,73	26,20	297,75	555,5

Πίνακας Π.5.Β.32 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΥ

Μέλος	$l_{cr}$ (m)	$f_{yw,k}$ (MPa)	$f_{ywd}$ (MPa)	$f_{ck}$ (MPa)	$f_{cd}$ (MPa)	$v_d$	Έλεγχος διατομής	$\theta$	$\cot\theta$	$V_{Rd,max}$ (KN)	Έλεγχος διατομής
C1-E	0,75	500	434,78	25	14,17	0,0203	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C1-D	0,75	500	434,78	25	14,17	0,0496	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C1-C	0,75	500	434,78	25	14,17	0,0794	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C1-B	0,75	500	434,78	25	14,17	0,1093	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C1-A	0,75	500	434,78	25	14,17	0,1363	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C6-E	0,75	500	434,78	25	14,17	0,0370	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C6-D	0,75	500	434,78	25	14,17	0,0824	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C6-C	0,75	500	434,78	25	14,17	0,1268	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C6-B	0,75	500	434,78	25	14,17	0,1706	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C6-A	0,75	500	434,78	25	14,17	0,2155	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C12-E	0,75	500	434,78	25	14,17	0,0276	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C12-D	0,75	500	434,78	25	14,17	0,0611	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C12-C	0,75	500	434,78	25	14,17	0,0936	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C12-B	0,75	500	434,78	25	14,17	0,1254	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE
C12-A	0,75	500	434,78	25	14,17	0,1568	TRUE	21,80	2,50	698,24	TRUE

Μέλος	$\rho_{w,req}$	Έλεγχος περίσφιγξης εντός των κρισίμων περιοχών των υποστυλωμάτων									
		$\mu_\phi$	$\epsilon_{s,yd}$	$d_{bw}$ (mm)	Σκέλη	$b_0$ (m)	$h_0$ (m)	Τοποθετούμενος (Φ8/s (mm))	$\alpha_s$	$n_b$	
C1-E	0,0020	10,7	0,0022	7,20	4	0,422	0,422	Φ8/100,000	0,777	4	
C1-D	0,0022	10,7	0,0022	7,20	4	0,422	0,422	Φ8/100,000	0,777	4	
C1-C	0,0023	10,7	0,0022	7,20	4	0,422	0,422	Φ8/100,000	0,777	4	
C1-B	0,0025	10,7	0,0022	7,20	4	0,422	0,422	Φ8/100,000	0,777	4	
C1-A	0,0026	10,7	0,0022	7,20	4	0,422	0,422	Φ8/100,000	0,777	4	
C6-E	0,0021	10,7	0,0022	7,20	4	0,422	0,422	Φ8/100,000	0,777	4	
C6-D	0,0023	10,7	0,0022	7,20	4	0,422	0,422	Φ8/100,000	0,777	4	
C6-C	0,0026	10,7	0,0022	7,20	4	0,422	0,422	Φ8/100,000	0,777	4	
C6-B	0,0028	10,7	0,0022	7,20	4	0,422	0,422	Φ8/100,000	0,777	4	
C6-A	0,0030	10,7	0,0022	7,20	4	0,422	0,422	Φ8/100,000	0,777	4	
C12-E	0,0021	10,7	0,0022	7,20	4	0,422	0,422	Φ8/100,000	0,777	4	
C12-D	0,0022	10,7	0,0022	7,20	4	0,422	0,422	Φ8/100,000	0,777	4	
C12-C	0,0024	10,7	0,0022	7,20	4	0,422	0,422	Φ8/100,000	0,777	4	
C12-B	0,0026	10,7	0,0022	7,20	4	0,422	0,422	Φ8/100,000	0,777	4	
C12-A	0,0030	10,7	0,0022	7,20	4	0,422	0,422	Φ8/100,000	0,777	4	



Πίνακας Π.5.Β.32 Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΥ

Έλεγχος περίσφιξης εντός των κρίσιμων περιοχών των υποστυλωμάτων												
Μέλος	$n_h$	$\alpha_n$	$\alpha$	$\omega_{wd,req}$	$\omega_{wd,τελ\ απαιτ}$	$L_{wd}$ (m)	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> )	$V_n$ (mm <sup>3</sup> )	$V_c$ (mm <sup>3</sup> )	$\omega_{w,prov}$	$s_{w,max}$ (mm)	Έλεγχος $\omega$
C1-E	4	0,78	0,60	-0,030	0,080	3,376	0,500	1688,000	178084,00	0,291	108,00	TRUE
C1-D	4	0,78	0,60	0,010	0,080	3,376	0,500	1688,000	178084,00	0,291	108,00	TRUE
C1-C	4	0,78	0,60	0,051	0,080	3,376	0,500	1688,000	178084,00	0,291	108,00	TRUE
C1-B	4	0,78	0,60	0,092	0,092	3,376	0,500	1688,000	178084,00	0,291	108,00	TRUE
C1-A	4	0,78	0,60	0,129	0,129	3,376	0,500	1688,000	178084,00	0,291	108,00	TRUE
C6-E	4	0,78	0,60	-0,007	0,080	3,376	0,500	1688,000	178084,00	0,291	108,00	TRUE
C6-D	4	0,78	0,60	0,055	0,080	3,376	0,500	1688,000	178084,00	0,291	108,00	TRUE
C6-C	4	0,78	0,60	0,116	0,116	3,376	0,500	1688,000	178084,00	0,291	108,00	TRUE
C6-B	4	0,78	0,60	0,176	0,176	3,376	0,500	1688,000	178084,00	0,291	108,00	TRUE
C6-A	4	0,78	0,60	0,237	0,237	3,376	0,500	1688,000	178084,00	0,291	108,00	TRUE
C12-E	4	0,78	0,60	-0,020	0,080	3,376	0,500	1688,000	178084,00	0,291	108,00	TRUE
C12-D	4	0,78	0,60	0,026	0,080	3,376	0,500	1688,000	178084,00	0,291	108,00	TRUE
C12-C	4	0,78	0,60	0,070	0,080	3,376	0,500	1688,000	178084,00	0,291	108,00	TRUE
C12-B	4	0,78	0,60	0,114	0,114	3,376	0,500	1688,000	178084,00	0,291	108,00	TRUE
C12-A	4	0,78	0,60	0,157	0,157	3,376	0,500	1688,000	178084,00	0,291	108,00	TRUE

Μέλος	$\rho_{w,prov}$	Έλεγχος του $\rho$	Τοποθετ.	Έλεγχος εκτός κρίσιμων περιοχών των υποστυλωμάτων						Τελικοί οπλισμοί	
				$d_{bw,min}$ (mm)	$s_{w,max}$ (mm)	Τοποθετούμενος	$\rho_{w,prov}$	$\rho_{w,req}$	Έλεγχος $\rho$	Εντός	Εκτός
C1-E	0,0040	TRUE	Φ8/100	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,000555556	0,000219	TRUE	Φ8/100	Φ8/360
C1-D	0,0040	TRUE	Φ8/100	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,000555556	0,000231	TRUE	Φ8/100	Φ8/360
C1-C	0,0040	TRUE	Φ8/100	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,000555556	0,000265	TRUE	Φ8/100	Φ8/360
C1-B	0,0040	TRUE	Φ8/100	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,000555556	0,000296	TRUE	Φ8/100	Φ8/360
C1-A	0,0040	TRUE	Φ8/100	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,000555556	0,000246	TRUE	Φ8/100	Φ8/360
C6-E	0,0040	TRUE	Φ8/100	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,000555556	0,000372	TRUE	Φ8/100	Φ8/360
C6-D	0,0040	TRUE	Φ8/100	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,000555556	0,000379	TRUE	Φ8/100	Φ8/360
C6-C	0,0040	TRUE	Φ8/100	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,000555556	0,000438	TRUE	Φ8/100	Φ8/360
C6-B	0,0040	TRUE	Φ8/100	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,000555556	0,000477	TRUE	Φ8/100	Φ8/360
C6-A	0,0040	TRUE	Φ8/100	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,000555556	0,000344	TRUE	Φ8/100	Φ8/360
C12-E	0,0040	TRUE	Φ8/100	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,000555556	0,000313	TRUE	Φ8/100	Φ8/360
C12-D	0,0040	TRUE	Φ8/100	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,000555556	0,000257	TRUE	Φ8/100	Φ8/360
C12-C	0,0040	TRUE	Φ8/100	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,000555556	0,000289	TRUE	Φ8/100	Φ8/360
C12-B	0,0040	TRUE	Φ8/100	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,000555556	0,000319	TRUE	Φ8/100	Φ8/360
C12-A	0,0040	TRUE	Φ8/100	6,00	360,00	Φ8/360,00	0,000555556	0,000268	TRUE	Φ8/100	Φ8/360

**Π.5.Β.33 Διαστασιολόγηση υποστυλώματος τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΥ**

Μέλος	$b_c$ (m)	$h_c$ (m)	H (m)	$H_{cl}$ (m)	d (m)	$M_{Rd,C,y,top}$ (KNm)	$M_{Rd,C,y,bot}$ (KNm)	$M_{Rd,C,x,top}$ (KNm)	$M_{Rd,C,x,bot}$ (KNm)	$\gamma_{RD}$
C7-E	0,5	0,5	3,5	2,9	0,45	212,55	212,55	212,55	212,55	1,3
C7-D	0,5	0,5	3,5	2,9	0,45	247,98	247,98	247,98	247,98	1,3
C7-C	0,5	0,5	3,5	2,9	0,45	265,69	265,69	265,69	265,69	1,3
C7-B	0,5	0,5	3,5	2,9	0,45	283,40	283,40	301,11	301,11	1,3
C7-IS	0,5	0,5	3,5	2,9	0,45	318,83	318,83	318,83	318,83	1,3

Μέλος	$\Sigma M_{Rd,C,y}$ (KNm)	$\Sigma M_{Rd,C,x}$ (KNm)	$\Sigma M_{Rd,b,y}^+$ (KNm)	$\Sigma M_{Rd,b,x}^+$ (KNm)	$V_{CD,C,y}$ (kN)	$V_{CD,C,x}$ (kN)	Αποτελέσματα SAP2000			
							$V_{Ed,C,y}$ (KN)	$V_{Ed,C,x}$ (KN)	$N_{Ed}$ (kN)	$V_{E,max}$ (KN)
C7-E	212,55	212,55	114,82	111,30	190,56	190,56	46,62	15,98	-128,73	46,62
C7-D	460,53	460,53	115,35	111,30	222,32	222,32	38,95	14,04	-334,49	38,95
C7-C	513,66	513,66	115,35	111,30	238,20	238,20	40,04	14,52	-541,33	40,04
C7-B	549,09	566,80	115,35	111,30	254,08	269,96	44,08	13,95	-750,70	44,08
C7-IS	602,23	619,94	115,35	111,30	285,84	285,84	24,59	8,06	-961,34	24,59

Μέλος	$l_{cr}$ (m)	$f_{yw,k}$ (MPa)	$f_{ywd}$ (MPa)	$f_{ck}$ (MPa)	$f_{cd}$ (MPa)	$v_d$	$\theta$	$\cot\theta$	$V_{Rd,max}$ (KN)	Έλεγχος διατομής
C7-E	0,75	500	434,78	25	14,17	-0,04	45	1	1012,50	TRUE
C7-D	0,75	500	434,78	25	14,17	-0,09	45	1	1012,50	TRUE
C7-C	0,75	500	434,78	25	14,17	-0,15	45	1	1012,50	TRUE
C7-B	0,75	500	434,78	25	14,17	-0,21	45	1	1012,50	TRUE
C7-IS	0,75	500	434,78	25	14,17	-0,27	45	1	1012,50	TRUE

Εντός κρίσιμων περιοχών											
Περίσφιγξη											
Μέλος	$d_{bl}$ (mm)	$q_o$	$\mu_\phi$	$\epsilon_{s,yd}$	$d_{bw}$ (mm)	$s_{L,max}$ (mm)	σκέλη συνδ	$b_0$ (m)	$h_0$ (m)	$s_{w,max}$ (mm)	$\phi 8/$ (mm)
C7-E	18	4,4	7,8	0,00217	7,2	150	4	0,422	0,422	108,00	100
C7-D	18	4,4	7,8	0,00217	7,2	150	4	0,422	0,422	108,00	100
C7-C	18	4,4	7,8	0,00217	7,2	150	4	0,422	0,422	108,00	100
C7-B	18	4,4	7,8	0,00217	7,2	150	4	0,422	0,422	108,00	100
C7-IS	18	4,4	7,8	0,00217	7,2	150	4	0,422	0,422	108,00	100

Π.5.Β.33 Διαστασιολόγηση υποστυλώματος τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΥ

Εντός κρίσιμων περιοχών													
Περίσφιγξη													
Μέλος	$\alpha_s$	$n_b$	$n_h$	$\alpha_n$	$\alpha$	$\omega_{wd,req}$	$\omega_{wd,min}$	$L_{wd}$ (m)	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> )	$V_o$ (mm <sup>3</sup> )	$V_c$ (mm <sup>3</sup> )	$\omega_{w,prov}$	Έλεγχος $\omega$
C7-E	0,78	4	4	0,78	0,60	-0,022	0,080	3,376	0,500	1688	178084	0,291	TRUE
C7-D	0,78	4	4	0,78	0,60	0,036	0,080	3,376	0,500	1688	178084	0,291	TRUE
C7-C	0,78	4	4	0,78	0,60	0,095	0,080	3,376	0,500	1688	178084	0,291	TRUE
C7-B	0,78	4	4	0,78	0,60	0,153	0,080	3,376	0,500	1688	178084	0,291	TRUE
C7-IS	0,78	4	4	0,78	0,60	0,213	0,120	3,376	0,500	1688	178084	0,291	TRUE

Μέλος	Εντός κρίσιμων περιοχών				Εκτός κρίσιμων περιοχών							
	Έλεγχος επάρκειας έναντι Τέμνουσας				Ελάχιστος οπλισμός			Έλεγχος επάρκειας έναντι Τέμνουσας				
	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_{w,prov}$	$\rho_{w,req}$	Έλεγχος $\rho_w$	$d_{bwmin}$ (mm)	$s_{w,max}$ (mm)	$\phi 8/$ (mm)	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_{w,prov}$	$\rho_{w,req}$	Έλεγχος $\rho_w$	
C7-E	2,00	0,0040	0,00048	TRUE	6,0	360	360	1,000	0,0006	0,00048	TRUE	
C7-D	2,00	0,0040	0,00040	TRUE	6,0	360	360	1,000	0,0006	0,00040	TRUE	
C7-C	2,00	0,0040	0,00041	TRUE	6,0	360	360	1,000	0,0006	0,00041	TRUE	
C7-B	2,00	0,0040	0,00045	TRUE	6,0	360	360	1,000	0,0006	0,00045	TRUE	
C7-IS	2,00	0,0040	0,00025	TRUE	6,0	360	360	1,000	0,0006	0,00045	TRUE	

Μέλος	Τοποθετούμενος Εγκάρσιος Οπλισμός					
	Εντός κρίσιμου μήκους			Εκτός κρίσιμου μήκους		
		$\phi 8/$	(mm)		$\phi 8/$	(mm)
C7-E	4	$\phi 8/$	100	2	$\phi 8/$	360
C7-D	4	$\phi 8/$	100	2	$\phi 8/$	360
C7-C	4	$\phi 8/$	100	2	$\phi 8/$	360
C7-B	4	$\phi 8/$	100	2	$\phi 8/$	360
C7-IS	4	$\phi 8/$	100	2	$\phi 8/$	360

**Π.5.Β.34 Διαστασιολόγηση τοιχίου τοιχωματικού κτηρίου έναντι κάμψης για ΚΠΥ**

Τοιχίο	$l_w$ (m)	$b_w$ (m)	$h_w$ (m)	$h_{st}$ (m)	$b_{w,min}$ (m)	Έλεγχος $b_w$	$l_c$ (m)	$l_{c,max}$ (m)	Έλεγχος $l_c$	$b_{w0,min}$ (m)	Έλεγχος $b_{w0}$
W1-E	3,50	0,30	17,00	3,50	0,175	TRUE	0,53	0,70	TRUE	0,23	TRUE
W1-D	3,50	0,30	17,00	3,50	0,175	TRUE	0,53	0,70	TRUE	0,23	TRUE
W1-C	3,50	0,30	17,00	3,50	0,175	TRUE	0,53	0,70	TRUE	0,23	TRUE
W1-B	3,50	0,30	17,00	3,50	0,175	TRUE	0,53	0,70	TRUE	0,23	TRUE
W1-IS	3,50	0,30	17,00	3,50	0,175	TRUE	0,53	0,70	TRUE	0,23	TRUE

Υπολογισμός πλέγματος κορμού												
Τοιχίο	Επιλογή πλέγματος		Έλεγχος κατακόρυφου οπλισμού					Έλεγχος οριζόντιου οπλισμού				
	$A_{v,prov}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_{v,prov}$	$\rho_{v,min}$	$\rho_{v,max}$	Έλεγχος $\rho_v$	$s_{v,max}$ (mm)	$\rho_{h,prov}$	$\rho_{h,min}$	$\rho_{h,max}$	Έλεγχος $\rho_h$	$s_{h,max}$ (mm)	
W1-E	2*φ12/250	9,04	0,0030	0,002	0,040	TRUE	250	0,0030	0,002	0,040	TRUE	250
W1-D	2*φ12/250	9,04	0,0030	0,002	0,040	TRUE	250	0,0030	0,002	0,040	TRUE	250
W1-C	2*φ12/250	9,04	0,0030	0,002	0,040	TRUE	250	0,0030	0,002	0,040	TRUE	250
W1-B	2*φ12/250	9,04	0,0030	0,002	0,040	TRUE	250	0,0030	0,002	0,040	TRUE	250
W1-IS	2*φ12/250	9,04	0,0030	0,002	0,040	TRUE	250	0,0030	0,002	0,040	TRUE	250
$d_{b,v,h,max}$ (mm)	29											

Τοιχίο	$h_w/l_w$	Έλεγχος λυγηρότητας	z (m)	d (m)	$a_l$ (m)	$f_{ctm}$ (Mpa)	$f_{cd}$ (Mpa)	$f_{yd}$ (Mpa)	Αποτελέσματα SAP	
									$N_{ed}$ (kN)	$M_{ed}$ (kNm)
W1-E	5	TRUE	2,80	3,15	1,40	2,6	14,17	434,78	-201,19	509,50
W1-D			2,80	3,15		2,6	14,17	434,78	-413,16	767,50
W1-C			2,80	3,15		2,6	14,17	434,78	-622,41	1026,00
W1-B			2,80	3,15		2,6	14,17	434,78	-828,64	1284,50
W1-IS			2,80	3,15		2,6	14,17	434,78	-1029,76	1439,70

Τοιχίο	$v_d$	$\mu_{sd}$	$\omega$	$A_{s,req}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_{min}$	$A_{s,min}$ (cm <sup>2</sup> )	Απαιτούμενος οπλισμός		Τοποθετούμενος οπλισμός			
							$A_{s,τελ}$ (cm <sup>2</sup> )				$A_{s,prov}$ (cm <sup>2</sup> )	
W1-E	-0,0135	0,0121	0,0100	3,08	0,0050	7,88	7,88	4	φ16	4	φ16	8,04
W1-D	-0,0278	0,0182	0,0100	3,08	0,0050	7,88	7,88	4	φ16	4	φ16	8,04
W1-C	-0,0418	0,0243	0,0200	6,16	0,0050	7,88	7,88	4	φ16	4	φ16	8,04
W1-B	-0,0557	0,0305	0,0300	9,24	0,0050	7,88	9,24	5	φ16	6	φ16	12,06
W1-IS	-0,0692	0,0341	0,0200	6,16	0,0050	7,88	7,88	4	φ16	6	φ16	12,06

$v_{d,max} = -0,35$

Π.5.Β.34 Διαστασιολόγηση τοιχίου τοιχωματικού κτηρίου έναντι κάμψης για ΚΠΥ

Έλεγχος αποστάσεων διαμήκων ράβδων οπλισμού εντός κρυφοκολώνων											
Τοιχίο	n <sub>L</sub>	s (mm)	s <sub>max</sub> (mm) (ΕΑΚ2000)	Έλεγχος s	Τοποθετούμενος οπλισμός			n <sub>L</sub>	s (mm)	s <sub>max</sub> (mm) (ΕΑΚ2000)	Έλεγχος s
							A <sub>s,prov</sub> (cm <sup>2</sup> )				
W1-E	2	455	200	FALSE	8	φ16	16,08	4	152	200	TRUE
W1-D	2	455	200	FALSE	8	φ16	16,08	4	152	200	TRUE
W1-C	2	455	200	FALSE	8	φ16	16,08	4	152	200	TRUE
W1-B	3	228	200	FALSE	8	φ16	16,08	4	152	200	TRUE
W1-IS	3	228	200	FALSE	8	φ16	16,08	4	152	200	TRUE

Έλεγχος μεγίστου οπλισμού			
Τοιχίο	ρ <sub>max</sub>	A <sub>s,max</sub> (cm <sup>2</sup> )	Έλεγχος A <sub>s</sub>
W1-E	0,04	63	TRUE
W1-D	0,04	63	TRUE
W1-C	0,04	63	TRUE
W1-B	0,04	63	TRUE
W1-IS	0,04	63	TRUE

Π.5.Β.35 Ροπές αντοχής τοιχίων τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΥ

<u>W1-IS</u>									
<b>N<sub>ed</sub> (kN)</b>	-1029,76	<b>M<sub>ed</sub> (kNm)</b>	1439,70						
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l<sub>c</sub> (m)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>			
30	3500	0,53	35	16	51	3449			
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,0035	<b>x (mm)</b>							
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,0164	605							
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,0022			<b>f<sub>cd</sub> (Mpa)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (kNm)</b>			
<b>F<sub>yd</sub> (MPa)</b>	434,78			25	-2058,29	3103,59			
<b>Τμήμα</b>	<b>Οπλισμοί (i)</b>	<b>γ<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (Mpa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>si</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>si</sub> (kNm)</b>	
Κρυφο κολώνα	18	51	-0,0032	-434,78	16	4,02	-174,84	297,05	
	17	193	-0,0024	-434,78	16	4,02	-174,84	272,22	
	16	337	-0,0016	-310,33	16	4,02	-124,79	176,33	
	15	479	-0,0007	-146,13	16	4,02	-58,76	74,69	
Κορμός	14	625	0,0001	22,69	12	2,26	5,13	-5,77	
	13	875	0,0016	311,76	12	2,26	70,52	-61,70	
	12	1125	0,0030	434,78	12	2,26	98,35	-61,47	
	11	1375	0,0044	434,78	12	2,26	98,35	-36,88	
	10	1625	0,0059	434,78	12	2,26	98,35	-12,29	
	9	1875	0,0073	434,78	12	2,26	98,35	12,29	
	8	2125	0,0088	434,78	12	2,26	98,35	36,88	
	7	2375	0,0102	434,78	12	2,26	98,35	61,47	
	6	2625	0,0117	434,78	12	2,26	98,35	86,05	
5	2875	0,0131	434,78	12	2,26	98,35	110,64		
Κρυφο κολώνα	4	3021	0,0140	434,78	16	4,02	174,84	222,22	
	3	3163	0,0148	434,78	16	4,02	174,84	247,04	
	2	3307	0,0156	434,78	16	4,02	174,84	272,22	
	1	3449	0,0164	434,78	16	4,02	174,84	297,05	
						<b>Σύνολο</b>	54,79	-1029,76	5091,62
								<b>M<sub>Rd</sub> =</b>	5091,62
<b>Έλεγχος απαιτήσεων</b>									
<b>A<sub>s,prov</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>s (mm)</b>	<b>A<sub>s,min</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>A<sub>s,max</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>s<sub>max</sub> (mm)</b>	<b>Έλεγχος</b>				
54,79	340	21	420	400	TRUE				

### Π.5.Β.35 Ροπές αντοχής τοιχίων τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΥ

<u>W1-B</u>										
<b>N<sub>ed</sub> (kN)</b>	-828,64	<b>M<sub>ed</sub> (kNm)</b>	1284,50							
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l<sub>c</sub> (m)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>				
30	3500	0,53	35	16	51	3449				
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,00350	<b>x (mm)</b>								
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,01793									
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,00217	563								
<b>F<sub>yd</sub> (MPa)</b>	434,78	<b>f<sub>cd</sub> (MPa)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (kN)</b>						<b>M<sub>cd</sub> (kNm)</b>	
		25	-1914,94						2919,74	
<b>Τμήμα</b>	<b>Οπλισμοί (i)</b>	<b>γ<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (MPa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>si</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>si</sub> (kNm)</b>		
<b>Κρυφο κολώνα</b>	18	51	-0,0032	-434,78	16	4,02	-174,84	297,05		
	17	193	-0,0023	-434,78	16	4,02	-174,84	272,22		
	16	337	-0,0014	-281,16	16	4,02	-113,06	159,75		
	15	479	-0,0005	-104,67	16	4,02	-42,09	53,50		
<b>Κορμός</b>	14	625	0,0004	76,79	12	2,26	17,37	-19,54		
	13	875	0,0019	387,50	12	2,26	87,65	-76,69		
	12	1125	0,0035	434,78	12	2,26	98,35	-61,47		
	11	1375	0,0050	434,78	12	2,26	98,35	-36,88		
	10	1625	0,0066	434,78	12	2,26	98,35	-12,29		
	9	1875	0,0082	434,78	12	2,26	98,35	12,29		
	8	2125	0,0097	434,78	12	2,26	98,35	36,88		
	7	2375	0,0113	434,78	12	2,26	98,35	61,47		
	6	2625	0,0128	434,78	12	2,26	98,35	86,05		
<b>Κρυφο κολώνα</b>	5	2875	0,0144	434,78	12	2,26	98,35	110,64		
	4	3021	0,0153	434,78	16	4,02	174,84	222,22		
	3	3163	0,0162	434,78	16	4,02	174,84	247,04		
	2	3307	0,0171	434,78	16	4,02	174,84	272,22		
	1	3449	0,0179	434,78	16	4,02	174,84	297,05		
<b>Σύνολο</b>						54,79	-828,64	4841,24		
						<b>M<sub>Rd</sub> = 4841,24</b>				
<b>Έλεγχος απαιτήσεων</b>										
<b>A<sub>s,prov</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>s (mm)</b>	<b>A<sub>s,min</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>A<sub>s,max</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>s<sub>max</sub> (mm)</b>	<b>Έλεγχος</b>					
54,79	340	21	420	400	TRUE					

Π.5.Β.35 Ροπές αντοχής τοιχίων τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΥ

W1-C									
$N_{ed}$ (kN)	-622,41	$M_{ed}$ (kNm)	1026,00						
b (cm)	h (mm)	$I_c$ (m)	$c_{nom}$ (mm)	$\phi$ (mm)	c (mm)	d (mm)			
30	3500	0,53	35	16	51	3449			
$\epsilon_c$	0,00350	$x$ (mm)							
$\epsilon_{s1}$	0,01972	520							
$\epsilon_{yd}$	0,00217			$f_{cd}$ (MPa)	$F_{cd}$ (kN)	$M_{cd}$ (kNm)			
$F_{yd}$ (MPa)	434,78			25	-1767,93	2726,17			
Τμήμα	Οπλισμοί (i)	$\gamma_i$ (mm)	$\epsilon_{si}$	$\sigma_{si}$ (MPa)	$\phi$ (mm)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$F_{si}$ (kN)	$M_{si}$ (kNm)	
Κρυφο κολώνα	18	51	-0,0032	-434,78	16	4,02	-174,84	297,05	
	17	193	-0,0022	-434,78	16	4,02	-174,84	272,22	
	16	337	-0,0012	-246,33	16	4,02	-99,05	139,96	
	15	479	-0,0003	-55,17	16	4,02	-22,18	28,20	
Κορμός	14	625	0,0007	141,38	12	2,26	31,98	-35,98	
	13	875	0,0024	434,78	12	2,26	98,35	-86,05	
	12	1125	0,0041	434,78	12	2,26	98,35	-61,47	
	11	1375	0,0058	434,78	12	2,26	98,35	-36,88	
	10	1625	0,0074	434,78	12	2,26	98,35	-12,29	
	9	1875	0,0091	434,78	12	2,26	98,35	12,29	
	8	2125	0,0108	434,78	12	2,26	98,35	36,88	
	7	2375	0,0125	434,78	12	2,26	98,35	61,47	
	6	2625	0,0142	434,78	12	2,26	98,35	86,05	
Κρυφο κολώνα	5	2875	0,0159	434,78	12	2,26	98,35	110,64	
	4	3021	0,0168	434,78	16	4,02	174,84	222,22	
	3	3163	0,0178	434,78	16	4,02	174,84	247,04	
	2	3307	0,0188	434,78	16	4,02	174,84	272,22	
	1	3449	0,0197	434,78	16	4,02	174,84	297,05	
						Σύνολο	54,79	-622,41	4576,78
						$M_{Rd} = 4576,78$			
Έλεγχος απαιτήσεων									
$A_{s,prov}$ (cm <sup>2</sup> )	s (mm)	$A_{s,min}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,max}$ (cm <sup>2</sup> )	$s_{max}$ (mm)	Έλεγχος				
54,79	340	21	420	400	TRUE				



### Π.5.B.35 Ροπές αντοχής τοιχίων τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΥ

<b>W1-D</b>								
<b>N<sub>ed</sub> (kN)</b>		-413,16		<b>M<sub>ed</sub> (kNm)</b>		767,50		
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l<sub>c</sub> (m)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>		
30	3500	0,53	35	16	51	3449		
<b>ε<sub>c</sub></b>		0,00350		<b>x (mm)</b>				
<b>ε<sub>s1</sub></b>		0,02180		477				
<b>ε<sub>yd</sub></b>		0,00217				<b>f<sub>cd</sub> (Mpa)</b>	<b>F<sub>cd</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (kNm)</b>
<b>F<sub>yd</sub> (MPa)</b>		434,78				25	-1622,52	2529,70
Τμήμα	Οπλισμοί (i)	γ <sub>i</sub> (mm)	ε <sub>si</sub>	σ <sub>si</sub> (Mpa)	φ (mm)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	F <sub>si</sub> (kN)	M <sub>si</sub> (kNm)
<b>Κρυφο κολώνα</b>	18	51	-0,0031	-434,78	16	4,02	-174,84	297,05
	17	193	-0,0021	-416,90	16	4,02	-167,64	261,02
	16	337	-0,0010	-205,67	16	4,02	-82,70	116,86
	15	479	0,0000	2,62	16	4,02	1,05	-1,34
<b>Κορμός</b>	14	625	0,0011	216,78	12	2,26	49,04	-55,16
	13	875	0,0029	434,78	12	2,26	98,35	-86,05
	12	1125	0,0048	434,78	12	2,26	98,35	-61,47
	11	1375	0,0066	434,78	12	2,26	98,35	-36,88
	10	1625	0,0084	434,78	12	2,26	98,35	-12,29
	9	1875	0,0103	434,78	12	2,26	98,35	12,29
	8	2125	0,0121	434,78	12	2,26	98,35	36,88
	7	2375	0,0139	434,78	12	2,26	98,35	61,47
	6	2625	0,0158	434,78	12	2,26	98,35	86,05
<b>Κρυφο κολώνα</b>	5	2875	0,0176	434,78	12	2,26	98,35	110,64
	4	3021	0,0187	434,78	16	4,02	174,84	222,22
	3	3163	0,0197	434,78	16	4,02	174,84	247,04
	2	3307	0,0208	434,78	16	4,02	174,84	272,22
	1	3449	0,0218	434,78	16	4,02	174,84	297,05
<b>Σύνολο</b>						54,79	-413,16	4297,29
						<b>M<sub>Rd</sub> = 4297,29</b>		
Έλεγχος απαιτήσεων								
A <sub>s,prov</sub> (cm <sup>2</sup> )	s (mm)	A <sub>s,min</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,max</sub> (cm <sup>2</sup> )	s <sub>max</sub> (mm)	Ελεγχος			
54,79	340	21	420	400	TRUE			

Π.5.Β.35 Ροπές αντοχής τοιχίων τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΥ

W1-E								
<b>N<sub>ed</sub> (kN)</b>	-201,19	<b>M<sub>ed</sub> (kNm)</b>	509,50					
<b>b (cm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l<sub>c</sub> (m)</b>	<b>c<sub>nom</sub> (mm)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>c (mm)</b>	<b>d (mm)</b>		
30	3500	0,53	35	16	51	3449		
<b>ε<sub>c</sub></b>	0,00350	<b>x (mm)</b>						
<b>ε<sub>s1</sub></b>	0,02414	437						
<b>ε<sub>yd</sub></b>	0,00217			<b>f<sub>cd</sub> (Mpa)</b>		<b>F<sub>cd</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>cd</sub> (kNm)</b>	
<b>F<sub>yd</sub> (MPa)</b>	434,78			25		-1484,92	2339,20	
<b>Τμήμα</b>	<b>Οπλισμοί (i)</b>	<b>γ<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>ε<sub>si</sub></b>	<b>σ<sub>si</sub> (Mpa)</b>	<b>φ (mm)</b>	<b>A<sub>s</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>si</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>si</sub> (kNm)</b>
Κρυφο κολώνα	18	51	-0,0031	-434,78	16	4,02	-174,84	297,05
	17	193	-0,0020	-390,66	16	4,02	-157,09	244,60
	16	337	-0,0008	-159,86	16	4,02	-64,28	90,83
	15	479	0,0003	67,73	16	4,02	27,24	-34,62
Κορμός	14	625	0,0015	301,74	12	2,26	68,25	-76,78
	13	875	0,0035	434,78	12	2,26	98,35	-86,05
	12	1125	0,0055	434,78	12	2,26	98,35	-61,47
	11	1375	0,0075	434,78	12	2,26	98,35	-36,88
	10	1625	0,0095	434,78	12	2,26	98,35	-12,29
	9	1875	0,0115	434,78	12	2,26	98,35	12,29
	8	2125	0,0135	434,78	12	2,26	98,35	36,88
	7	2375	0,0155	434,78	12	2,26	98,35	61,47
	6	2625	0,0175	434,78	12	2,26	98,35	86,05
5	2875	0,0195	434,78	12	2,26	98,35	110,64	
Κρυφο κολώνα	4	3021	0,0207	434,78	16	4,02	174,84	222,22
	3	3163	0,0218	434,78	16	4,02	174,84	247,04
	2	3307	0,0230	434,78	16	4,02	174,84	272,22
	1	3449	0,0241	434,78	16	4,02	174,84	297,05
					Σύνολο	54,79	-201,19	4009,44
							M <sub>Rd</sub> =	4009,44
Έλεγχος απαιτήσεων								
<b>A<sub>s,prov</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>s (mm)</b>	<b>A<sub>s,min</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>A<sub>s,max</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>s<sub>max</sub> (mm)</b>	<b>Έλεγχος</b>			
54,79	340	21	420	400	TRUE			

Π.5.Β.36 Διαστασιολόγηση τοιχίου τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΥ

Τοιχίο	$l_w$ (m)	$b_w$ (m)	$h_w$ (m)	$h_{st}$ (m)	$b_{w,min}$ (m)	Έλεγχος $b_w$	$l_c$ (m)	$l_{c,max}$ (m)	Έλεγχος $l_c$	$h_{cr}$ (m)	$h_{cr,max}$ (m)	Έλεγχος λυγηρότητας
W1-E	3,50	0,30	17,00	3,50	0,175	TRUE	0,53	0,70	TRUE	3,5	3,5	5
W1-D	3,50	0,30	17,00	3,50	0,175	TRUE	0,53	0,70	TRUE			5
W1-C	3,50	0,30	17,00	3,50	0,175	TRUE	0,53	0,70	TRUE			5
W1-B	3,50	0,30	17,00	3,50	0,175	TRUE	0,53	0,70	TRUE			5
W1-IS	3,50	0,30	17,00	3,50	0,175	TRUE	0,53	0,70	TRUE			5

q	$\gamma_{Rd}$	$M_{ed}$	$M_{Rd}$	$T_c$	$T_1$	$S_e(T_c)$	$S_e(T_1)$	$\epsilon'$	$\epsilon_{min=q}$	$\epsilon$
3,06	1,20	1439,70	4975,35	0,50	0,84	7,20	4,29	6,60	3,06	3,06

Έλεγχος έναντι διάτμησης εντός κρισίμου μήκους

Τοιχίο	$\epsilon * V_{EdTbot}$	$V_{EdTbot,τελ}$	$f_{ck}$ (Mpa)	$f_{cd}$ (Mpa)	$f_{yd}$ (Mpa)	$V_{rd,max}$ (kN)	Έλεγχος διατομής	$M_{ed}$ (kN)	$\alpha_s$	$\rho_{h,req}$	υπάρχον πλέγμα	$A_{s,prov}$ (cm <sup>2</sup> )/m	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_{h,prov}$	Έλεγχος $\rho$
W1-IS	171,19	523,84	25	14,17	434,78	1701,00	TRUE	1439,70	2,40	0,0014	2*φ12/250	9,04	2,26	0,0030	TRUE

Έλεγχος έναντι διάτμησης εκτός κρισίμου μήκους

Τοιχίο	$\epsilon * V_{EdTbot}$	$V_{EdTbot,τελ}$	$f_{ck}$ (Mpa)	$f_{cd}$ (Mpa)	$f_{yd}$ (Mpa)	$V_{rd,max}$ (kN)	Έλεγχος διατομής	$M_{ed}$ (kN)	$\alpha_s$	$\rho_{h,req}$	υπάρχον πλέγμα	$A_{s,prov}$ (cm <sup>2</sup> )/m	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_{h,prov}$	Έλεγχος $\rho$
W1-E	64,89	339,50	25	14,17	434,78	4252,50	TRUE	509,50	2,24	0,0009	2*φ12/250	9,04	2,26	0,0030	TRUE
W1-D	106,70	417,25	25	14,17	434,78	4252,50	TRUE	767,50	2,06	0,0011	2*φ12/250	9,04	2,26	0,0030	TRUE
W1-C	140,85	495,00	25	14,17	434,78	4252,50	TRUE	1026,00	2,08	0,0014	2*φ12/250	9,04	2,26	0,0030	TRUE
W1-B	170,30	512,21	25	14,17	434,78	4252,50	TRUE	1284,50	2,16	0,0014	2*φ12/250	9,04	2,26	0,0030	TRUE

Π.5.Β.36 Διαστασιολόγηση τοιχίου τοιχωματικού κτηρίου έναντι διάτμησης για ΚΠΥ

Τοιχίο	Οπλισμός ανα κρυφοκολώνα	$A_{s,τοπ}$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_L$	$N_{ed}$ (kN)	$\omega_{wd,min}$	$v_d$	$q_o$	$\mu_\phi$	$\epsilon_{yd}$
W1-E	8 $\phi$ 16	16,08	0,0102	-201,19	0,12	-0,0902	4,4	7,8	0,0022
W1-D	8 $\phi$ 16	16,08	0,0102	-413,16	0,12	-0,1852	4,4	7,8	0,0022
W1-C	8 $\phi$ 16	16,08	0,0102	-622,41	0,12	-0,2790	4,4	7,8	0,0022
W1-B	8 $\phi$ 16	16,08	0,0102	-828,64	0,12	-0,3714	4,4	7,8	0,0022
W1-IS	8 $\phi$ 16	16,08	0,0102	-1029,76	0,12	-0,4615	4,4	7,8	0,0022

<2%

Απαιτούμενο μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό οπλισμού													
Τοιχίο	$d_{bwmin}$ (mm)	$s_{w,max}$ (mm)	$s_w$ (mm)	$l_{c0}$ (mm)	$b_o$ (mm)	$\alpha_s$	$n_b$	$n_h$	$\alpha_n$	$\alpha$	$\omega_v$	$\alpha\omega_{wd}$	$\omega_{wd,req}$
W1-E	6,4	73	60	450	220	0,81	4	2	0,61	0,49	0,31	0,24	0,50
W1-D	6,4	73	60	450	220	0,81	4	2	0,61	0,49	0,31	0,31	0,63
W1-C	6,4	73	60	450	220	0,81	4	2	0,61	0,49	0,31	0,38	0,76
W1-B	6,4	73	60	450	220	0,81	4	2	0,61	0,49	0,31	0,44	0,90
W1-IS	6,4	73	60	450	220	0,81	4	2	0,61	0,49	0,31	0,50	1,02

Τοποθετούμενο μηχανικό ποσοστό οπλισμού								Τελική περίσφιγξη	
Τοιχίο	$L_{wd}$ (m)	$\phi_w$ (mm)	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> )	$V_o$ (mm <sup>3</sup> )	$V_c$ (mm <sup>3</sup> )	$\omega_{wd,prov}$	Ελεγχος $\omega$	$\phi$ (mm)	
W1-E	1,78	10	0,79	2330,015	99000	0,72	TRUE	10	/ 60
W1-D	1,78	10	0,79	2330,015	99000	0,72	TRUE	10	/ 60
W1-C	1,78	12	1,13	3355,221	99000	1,04	TRUE	12	/ 60
W1-B	1,78	12	1,13	3355,221	99000	1,04	TRUE	12	/ 60
W1-IS	1,78	12	1,13	3355,221	99000	1,04	TRUE	12	/ 60

Πίνακας Π.5.Β.37 Διαστασιολόγηση κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων πλαισιακού κτηρίου για ΚΠΥ

Κόμβος	Κόμβος	$b_w$ (m)	$h_w$ (m)	$b_c$ (m)	$h_c$ (m)	$f_{ywd}$ (MPa)	$f_{cd}$ (MPa)	$f_{ctm}$ (Mpa)	$A_{s1}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s2}$ (cm <sup>2</sup> )	$V_{RD}$	$V_c$ (KN)	$V_{jhd}$ (KN)	$\eta$
C1-E	Εξωτερικός	0,30	0,60	0,50	0,50	434,78	14,17	2,60	4,62	4,62	1,20	21,40	219,64	0,54
C1-D	Εξωτερικός	0,30	0,60	0,50	0,50	434,78	14,17	2,60	4,62	4,62	1,20	22,55	218,49	0,54
C1-C	Εξωτερικός	0,30	0,60	0,50	0,50	434,78	14,17	2,60	4,62	4,62	1,20	25,97	215,07	0,54
C1-B	Εξωτερικός	0,30	0,60	0,50	0,50	434,78	14,17	2,60	4,62	4,62	1,20	29,00	212,04	0,54
C1-A	Εξωτερικός	0,30	0,60	0,50	0,50	434,78	14,17	2,60	4,62	4,62	1,20	24,04	217,00	0,54
C12-E	Εξωτερικός	0,30	0,60	0,50	0,50	434,78	14,17	2,60	4,62	4,62	1,20	30,63	210,41	0,54
C12-D	Εξωτερικός	0,30	0,60	0,50	0,50	434,78	14,17	2,60	4,62	4,62	1,20	25,18	215,86	0,54
C12-C	Εξωτερικός	0,30	0,60	0,50	0,50	434,78	14,17	2,60	4,62	4,62	1,20	28,24	212,80	0,54
C12-B	Εξωτερικός	0,30	0,60	0,50	0,50	434,78	14,17	2,60	4,62	4,62	1,20	31,25	209,79	0,54
C12-A	Εξωτερικός	0,30	0,60	0,50	0,50	434,78	14,17	2,60	4,62	4,62	1,20	26,20	214,84	0,54
C6-E	Εσωτερικός	0,30	0,60	0,50	0,50	434,78	14,17	2,60	4,62	4,62	1,20	36,43	445,66	0,54
C6-D	Εσωτερικός	0,30	0,60	0,50	0,50	434,78	14,17	2,60	4,62	6,15	1,20	37,04	524,87	0,54
C6-C	Εσωτερικός	0,30	0,60	0,50	0,50	434,78	14,17	2,60	4,62	6,15	1,20	42,82	519,09	0,54
C6-B	Εσωτερικός	0,30	0,60	0,50	0,50	434,78	14,17	2,60	4,62	6,15	1,20	46,62	515,29	0,54
C6-A	Εσωτερικός	0,30	0,60	0,50	0,50	434,78	14,17	2,60	4,62	6,15	1,20	33,70	528,21	0,54

Κόμβος	$v_d$	$b_j$ (cm)	$h_{jc}$ (cm)	$V_{jhd,max}$ (KN)	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> )	Αριθμός συνδετήρων	$A_{sh}$ (cm <sup>2</sup> )	$h_{jw}$ (KN)	$F_t$ (KN)	$F_{t,min}$ (KN)	Έλεγχος	$A_{sv}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{sv,min}$ (cm <sup>2</sup> )	Έλεγχος
C1-E	0,0000	50,00	40,00	1224,00	0,50	6	12,00	50,20	521,74	241,04	TRUE	30,48	6,37	TRUE
C1-D	-0,0198	50,00	40,00	1246,28	0,50	6	12,00	50,20	521,74	244,87	TRUE	30,48	6,37	TRUE
C1-C	-0,0482	50,00	40,00	1277,50	0,50	6	12,00	50,20	521,74	250,34	TRUE	30,48	6,37	TRUE
C1-B	-0,0766	50,00	40,00	1307,94	0,50	6	12,00	50,20	521,74	255,81	TRUE	30,48	6,37	TRUE
C1-A	-0,1048	50,00	40,00	1337,52	0,50	6	12,00	50,20	521,74	261,25	TRUE	30,48	6,37	TRUE
C12-E	0,0000	50,00	40,00	1224,00	0,50	6	12,00	50,20	521,74	241,04	TRUE	30,48	6,37	TRUE
C12-D	-0,0274	50,00	40,00	1254,71	0,50	6	12,00	50,20	521,74	246,33	TRUE	30,48	6,37	TRUE
C12-C	-0,0611	50,00	40,00	1291,40	0,50	6	12,00	50,20	521,74	252,83	TRUE	30,48	6,37	TRUE
C12-B	-0,0941	50,00	40,00	1326,36	0,50	6	12,00	50,20	521,74	259,19	TRUE	30,48	6,37	TRUE
C12-A	-0,1266	50,00	40,00	1359,91	0,50	6	12,00	50,20	521,74	265,45	TRUE	30,48	6,37	TRUE
C6-E	0,0000	50,00	40,00	1530,00	0,50	6	12,00	50,20	521,74	482,09	TRUE	30,48	6,37	TRUE
C6-D	-0,0371	50,00	40,00	1581,69	0,50	7	14,00	50,20	608,70	578,59	TRUE	30,48	7,44	TRUE
C6-C	-0,0831	50,00	40,00	1643,45	0,50	7	14,00	50,20	608,70	599,25	TRUE	30,48	7,44	TRUE
C6-B	-0,1285	50,00	40,00	1702,39	0,50	8	16,00	50,20	695,65	619,70	TRUE	30,48	8,50	TRUE
C6-A	-0,1737	50,00	40,00	1758,95	0,50	8	16,00	50,20	695,65	640,00	TRUE	30,48	8,50	TRUE

Π.5.Β.38 Έλεγχος κόμβων τοιχωματικού κτηρίου για ΚΠΥ

Κόμβος	Τύπος	$b_w$ (m)	$h_w$ (m)	$b_c$ (m)	$h_c$ (m)	$f_{ywd}$ (MPa)	$f_{cd}$ (MPa)	$f_{ctm}$ (Mpa)	$\gamma_{RD}$	$A_{s1}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s2}$ (cm <sup>2</sup> )	$V_{ed,c}$ (kN)	$V_{jhd}$ (kN)
E	Εξωτερικός	0,3	0,6	0,5	0,5	434,78	14,17	2,6	1,2	4,62	4,62	46,62	194,42
D	Εξωτερικός	0,3	0,6	0,5	0,5	434,78	14,17	2,6	1,2	6,16	4,62	38,95	282,44
C	Εξωτερικός	0,3	0,6	0,5	0,5	434,78	14,17	2,6	1,2	6,16	4,62	40,04	281,35
B	Εξωτερικός	0,3	0,6	0,5	0,5	434,78	14,17	2,6	1,2	6,16	4,62	44,08	277,31
IS	Εξωτερικός	0,3	0,6	0,5	0,5	434,78	14,17	2,6	1,2	6,16	4,62	24,59	296,80

Κόμβος	$\eta$	$v_d$	$b_j$ (cm)	$h_{jc}$ (cm)	$V_{jhd,max}$ (kN)	$A_{sw}$ (cm <sup>2</sup> )	$h_{jw}$ (cm)	Αριθμός συνδετήρων	$A_{sh}$ (cm <sup>2</sup> )	$F_t$ (kN)	$F_{t,min}$ (kN)	Έλεγχος $F_t$
D	0,54	-0,03	50	40,2	1265,94	2,00	50,2	6	12	521,74	247,20	TRUE
C	0,54	-0,07	50	40,2	1311,36	2,00	50,2	6	12	521,74	255,25	TRUE
B	0,54	-0,12	50	40,2	1355,48	2,00	50,2	6	12	521,74	263,35	TRUE
IS	0,54	-0,16	50	40,2	1398,66	2,00	50,2	6	12	521,74	271,53	TRUE

Κόμβος	$A_{sv,prov}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{sv,min}$ (cm <sup>2</sup> )	Έλεγχος $A_{sv}$
E	30,48	6,41	TRUE
D	30,48	6,41	TRUE
C	30,48	6,41	TRUE
B	30,48	6,41	TRUE
IS	30,48	6,41	TRUE

## 9 Βιβλιογραφία

- [1] Ευρωκώδικας 0, EN 1990:2002 «*Βάσεις σχεδιασμού*»
- [2] Ευρωκώδικας 1, EN 1991-1-1:2002 «*Γενικές δράσεις – Πυκνότητες, ίδιον βάρος, επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια*»
- [3] Ευρωκώδικας 1, EN 1991-1-1:2002 «*Γενικές δράσεις – Πυκνότητες, ίδιον βάρος, επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια*»  
Εθνικό προσάρτημα
- [4] Ευρωκώδικας 2, EN 1992: 2004 «*Σχεδιασμός φορέων από σκυρόδεμα*»  
Μέρος 1-1 «*Γενικοί Κανόνες και κανόνες για κτίρια*»
- [5] Ευρωκώδικας 8, EN 1998:2004 «*Αντισεισμικός σχεδιασμός*»  
Μέρος 1 «*Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια*»
- [6] Ευρωκώδικας 8, EN 1998:2004 «*Αντισεισμικός σχεδιασμός*»  
Μέρος 1 «*Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια*»  
Εθνικό προσάρτημα
- [7] Πλούταρχος Γιαννόπουλος, Αναπληρώτης καθηγητής Ε.Μ.Π.  
«*Σημειώσεις για το μάθημα ΣΙΔΗΡΟΠΑΓΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ 7<sup>ο</sup> εξαμήνου*»  
Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος  
Τομέας Δομοστατικής  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.
- [8] Πλούταρχος Γιαννόπουλος, Αναπληρώτης καθηγητής Ε.Μ.Π.  
«*Σημειώσεις για το μάθημα ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ 8<sup>ο</sup> εξαμήνου*»  
Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος  
Τομέας Δομοστατικής  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.
- [9] Ι. Αβραμίδης , Α. Αθανατοπούλου , Κ. Μορφίδης , Α. Σέξτος  
«*Αντισεισμικός σχεδιασμός κτιρίων Ο/Σ και αριθμητικά παραδείγματα ανάλυσης & διαστασιολόγησης*»  
Θεσσαλονίκη 2011