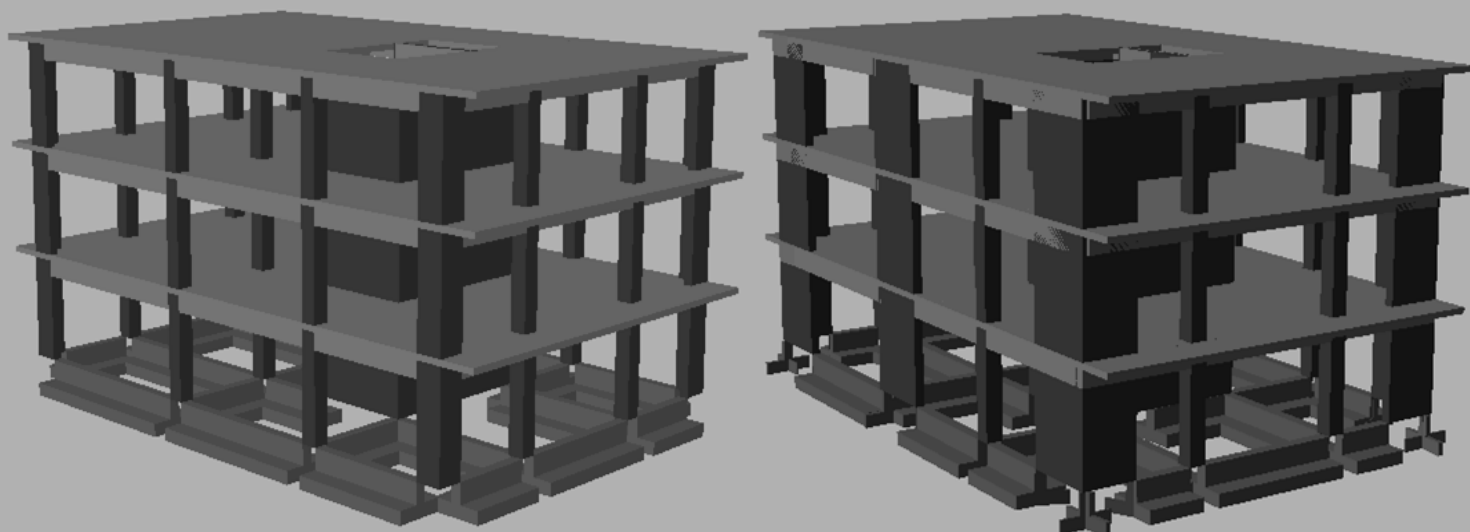


## ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟΝ  
ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΡΙΩΡΟΦΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**



Εκπόνηση: Γαλαζούδη Ελένη, προπτυχιακή φοιτήτρια

Επιβλέπουσα: Στεφανίδου Σωτηρία, έκτακτη Καθηγήτρια ΔΙ.ΠΑ.Ε.

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ**

Στεφανίδου Σωτηρία, έκτακτη Καθηγήτρια ΔΙ.ΠΑ.Ε.

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

Αναγνωστόπουλος Κωνσταντίνος, Καθηγητής ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Κωνσταντινίδης Δημήτριος, Καθηγητής ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Στεφανίδου Σωτηρία, έκτακτη Καθηγήτρια ΔΙ.ΠΑ.Ε.

# Πρόλογος

---

Οι απαιτήσεις για βέλτιστη αντισεισμική προστασία και εξισορρόπηση με το κόστος, οδήγησαν στην θέσπιση κανονισμών, προς την διασφάλιση των ελάχιστων επιπέδων ασφαλείας. Τα σύγχρονα κανονιστικά κείμενα αντισεισμικού σχεδιασμού των τεχνικών έργων, στα οποία περιλαμβάνεται και ο Ευρωκώδικας 8 (E.C.8), αποδέχονται την εμφάνιση βλαβών, κατά τον σεισμό σχεδιασμού. Στο πρώτο μέρος του Ευρωκώδικα 8, αναφέρεται πως η μερική αντισεισμική προστασία των κτιριακών έργων, υλοποιείται μέσω της επιλογής της Κατηγορίας Πλαστιμότητας (στην Ελλάδα, επιτρεπόμενες κατηγορίες: Κ.Π.Μ. & Κ.Π.Υ.).

Πέρα από την επιλογή Κατηγορίας Πλαστιμότητας, από τον κύριο και μελετητή του έργου, ορίζεται και ο τύπος Στατικού Συστήματος που θα πλαισιώνει τον εκάστοτε φορέα. Η επιλογή του επιπέδου Πλαστιμότητας και του τύπου Στατικού Συστήματος αρκετές φορές, οδηγεί σε διαφορετικές απαιτήσεις ανά την περίπτωση, όσον αφορά τους γεωμετρικούς περιορισμούς και τα υλικά, τα εντατικά μεγέθη, τις τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ , τους ελέγχους Οριακής Κατάστασης Αστοχίας και τους κανόνες διαμόρφωσης των κατασκευαστικών λεπτομερειών.

Στην διπλωματική εργασία της Νικολή Μ. (2011), πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός δύο φορέων, σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες (E.C.), με δύο διαφορετικές Κατηγορίες Πλαστιμότητας (Κ.Π.Μ. & Κ.Π.Υ.) και στην συνέχεια ακολούθησε ο προϋπολογισμός τους και εξήχθησαν συμπεράσματα, σχετικά με την παραπάνω άποψη. Ακόμη, στην διπλωματική εργασία της Σκουλίδου Δ. (2012), πραγματοποιήθηκε συγκριτική αποτίμηση, σχετικά με την επιτελεστικότητα δύο φορέων, των δύο διαφορετικών Κατηγοριών Πλαστιμότητας (Κ.Π.Μ. & Κ.Π.Υ.). Στην παρούσα εργασία, με στόχο την βελτιστοποίηση του κόστους, μελετάται η επιρροή του τύπου Στατικού Συστήματος στον συνολικό προϋπολογισμό φορέων Οπλισμένου Σκυροδέματος.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, εκπονήθηκε στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης (το οποίο βάσει του Ν.4610/2019, ΦΕΚ 70/τ.Α'/07/05/2019, εντάχθηκε στο Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, της Σχολής Μηχανικών του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος), κατά το ακαδημαϊκό έτος 2018-2019 και αποτελεί μία πρόταση, για την οικονομικότητα των κτιριακών φορέων, σε συνήθη οικοδομικά έργα, όσον αφορά την επιλογή εγκατάστασης, ενός Διπλού Στατικού Συστήματος λειτουργίας-Ισοδύναμου προς Πλαισιακού, έναντι ενός Διπλού Στατικού Συστήματος λειτουργίας-Ισοδύναμου προς Τοιχωματικού, σε κτίρια με Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (Κ.Π.Μ.).

Κλείνοντας το εισαγωγικό σημείωμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά και ειλικρινά την κυρία Σωτηρία Στεφανίδου, που δέχτηκε την μεταξύ μας συνεργασία και βοήθησε σημαντικά με την καθοδήγησή της, στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Χάρη στην συνεχή επικοινωνία και υποστήριξη, καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας, κατάφερα όχι μόνο να ολοκληρώσω επιτυχώς, αλλά και να αποκομίσω πολύ σημαντικές γνώσεις, τόσο σε ακαδημαϊκό, όσο και σε επαγγελματικό επίπεδο. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την εταιρεία "ΛΗ Λογισμική", με έδρα της την Αθήνα, η οποία μου χορήγησε για ένα αρχικό διάστημα την ακαδημαϊκή έκδοση του στατικού προγράμματος υψηλής απόδοσης Fespa (έκδοση: 7.6.0.4) και την ανανέωσε όσες φορές χρειάστηκε. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου, στα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τους καθηγητές μου, κυρίους Δημήτριο Κωνσταντινίδη και Κωνσταντίνο Αναγνωστόπουλο, για την συμμετοχή τους στην διαδικασία πραγμάτωσης του παρόντος έργου και την σοβαρή παρουσία τους σε όλα τα ακαδημαϊκά μου έτη.

Πρόλογος	3
Περιεχόμενα	4
Κατάλογος Πινάκων	8
Κατάλογος Εικόνων	10
Περίληψη	13
Υπεύθυνη Δήλωση	14
<b>1. Εισαγωγή και βιβλιογραφική επισκόπηση</b>	<b>15</b>
1.1 Αντισεισμικός Σχεδιασμός κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος, με βάση τους Ευρωκώδικες (E.C.2 & E.C.8)	15
1.2 Σχετική βιβλιογραφία	17
1.3 Στόχοι της παρούσας εργασίας	18
1.4 Διάρθρωση της εργασίας	19
Βιβλιογραφικές Αναφορές 1 <sup>ου</sup> Κεφαλαίου	20
<b>2. Αντισεισμικός Σχεδιασμός με βάση τους Ευρωκώδικες (E.C.2 &amp; E.C.8)</b>	<b>21</b>
2.1 Θεμελιώδεις απαιτήσεις και κριτήρια σχεδιασμού με βάση τους Ευρωκώδικες	21
Βιβλιογραφία	24
2.2 Δράσεις σχεδιασμού	25
2.2.1 Περιγραφή των δράσεων σχεδιασμού	25
2.2.2 Μόνιμες δράσεις σχεδιασμού	25
2.2.3 Μεταβλητές δράσεις σχεδιασμού	25
2.2.4 Συντελεστές ασφαλείας και συνδυασμοί δράσεων σχεδιασμού	26
Βιβλιογραφία	27
2.3 Συντελεστής συμπεριφοράς $q$	28
2.3.1 Γενική ανάλυση του συντελεστή συμπεριφοράς $q$ και υπολογισμός επιμέρους παραμέτρων του	28
2.3.2 Επίσημος ορισμός συντελεστή συμπεριφοράς $q$	31
2.3.3 Παράγοντες επιρροής συντελεστή συμπεριφοράς $q$	31
Βιβλιογραφία	32
2.4 Γραμμικές μέθοδοι ανάλυσης και έλεγχοι λειτουργικότητας	33
2.4.1 Εισαγωγή στις γραμμικές μεθόδους ανάλυσης	33
2.4.2 Δυναμική φασματική μέθοδος	33
2.4.2.1 Βήματα εφαρμογής της Δυναμικής φασματικής μεθόδου	34
2.4.3 Απλοποιημένη φασματική μέθοδος	34

2.4.3.1 Θεμελιώδης ιδιοερίοδος κατασκευής T	35
2.4.3.2 Τέμνουσα βάσης	36
2.4.3.3 Καθ' ύψος κατανομή σεισμικών φορτίων	36
2.4.3.4 Βήματα εφαρμογής της Απλοποιημένης φασματικής μεθόδου	37
2.4.4 Έλεγχοι λειτουργικότητας	37
2.4.4.1 Έλεγχος περιορισμού των σχετικών μετακινήσεων των ορόφων	38
2.4.4.2 Έλεγχος επιρροής φαινομένων 2 <sup>α</sup> τάξεως	39
Βιβλιογραφία	41
<b>2.5 Η φιλοσοφία του Ικανοτικού Σχεδιασμού</b>	<b>42</b>
2.5.1 Γενικά	42
2.5.2 Ικανοτικός Σχεδιασμός Κόμβων	43
2.5.3 Ικανοτικός Σχεδιασμός Τέμνουσας	43
Βιβλιογραφία	46
<b>2.6 Διαστασιολόγηση γραμμικών δομικών στοιχείων, με βάση τους Ευρωκώδικες (E.C2 &amp; E.C.8)</b>	<b>47</b>
2.6.1 Εισαγωγή	47
2.6.2 Διαστασιολόγηση έναντι ροπών κάμψης	47
2.6.2.1 Υποσύλωμα	47
2.6.2.2 Δοκός	48
2.6.2.3 Τοίχωμα	49
2.6.3 Διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης, λόγω τεμνουσών δυνάμεων	50
2.6.3.1 Υποσύλωμα	50
2.6.3.2 Δοκός	51
2.6.3.3 Τοίχωμα	53
Βιβλιογραφία	55
<b>3. Παρουσίαση των υπό μελέτη τριώροφων κτιρίων Οπλισμένου Σκυροδέματος</b>	<b>56</b>
<b>3.1 Επιλογή στατικού συστήματος και γεωμετρικά χαρακτηριστικά</b>	<b>56</b>
3.1.1 Τύποι Στατικών Συστημάτων	57
3.1.2 Επιλογή Στατικού Συστήματος	58
3.1.3 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά (περιγραφή των φορέων)	59
<b>3.2 Επιλογή Κατηγορίας Πλαστιμότητας (D.C.M)</b>	<b>68</b>
<b>3.3 Υλικά κατασκευής</b>	<b>70</b>
3.3.1 Σκυρόδεμα	70
3.3.2 Χάλυβας	71
<b>3.4 Φορτία και μάζες</b>	<b>73</b>
3.4.1 Φορτία	73

3.4.2 Μάζες	75
Βιβλιογραφικές Αναφορές 3 <sup>ου</sup> Κεφαλαίου	77
<b>4. Περίπτωση Α: Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Πλαισιακό</b>	<b>78</b>
4.1 Ανάλυση Δομήματος	78
4.1.1 Κριτήρια για κανονικότητα σε κάτοψη	78
4.1.2 Κριτήρια για κανονικότητα σε όψη	80
4.1.3 Στρεπτική δυσκαμψία	80
4.1.4 Υπολογισμός συντελεστή συμπεριφοράς $\alpha$	81
Βιβλιογραφία	83
4.2 Διαστασιολόγηση Υποστυλώματος Κ13 (όροφος: 0, νο: 13)	84
4.2.1 Περιγραφή της καταπόνησης σε διαξονική κάμψη	84
4.2.2 Διατομή Υποστυλώματος Κ13 και βασικές παράμετροι διαστασιολόγησης	85
4.2.3 Διαστασιολόγηση Υποστυλώματος Κ13 σε κάμψη	86
4.2.4 Διαστασιολόγηση Υποστυλώματος Κ13 σε διάτμηση (§6.2, Ε.С.2)	92
Βιβλιογραφία	99
4.3 Διαστασιολόγηση Δοκού Δ6.1 (όροφος: 0, νο: 6.1)	100
4.3.1 Διατομή Δοκού Δ6.1 και βασικές παράμετροι διαστασιολόγησης	100
4.3.2 Υπολογισμός συνεργαζόμενου πλάτους $b_{eff}$	102
4.3.3 Διαστασιολόγηση Δοκού Δ6.1 σε κάμψη	103
4.3.4 Διαστασιολόγηση Δοκού Δ6.1 σε διάτμηση (§6.2, Ε.С.2)	114
Βιβλιογραφία	121
4.4 Διαστασιολόγηση Τοιχώματος Κ14 (όροφος: 0, νο: 14)	122
4.4.1 Διατομή Τοιχώματος Κ14 και βασικές παράμετροι διαστασιολόγησης	122
4.4.2 Αρχικοί έλεγχοι διαμόρφωσης της διατομής του τοιχώματος	123
4.4.3 Διαστασιολόγηση Τοιχώματος Κ14 σε κάμψη	125
4.4.4 Διαστασιολόγηση Τοιχώματος Κ14 σε διάτμηση	133
Βιβλιογραφία	139
4.5 Αποτελέσματα στατικού προγράμματος Fespa	140
4.5.1 Διαστασιολόγηση Υποστυλώματος Κ13 (όροφος: 0, νο: 13)	140
4.5.2 Διαστασιολόγηση Δοκού Δ6.1 (όροφος: 0, νο: 6.1)	143
4.5.3 Διαστασιολόγηση Τοιχώματος Κ14 (όροφος: 0, νο: 14)	145
4.5.4 Συνολική Προμέτρηση Κτιρίου	148
<b>5. Περίπτωση Β: Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Τοιχωματικό</b>	<b>151</b>
5.1 Ανάλυση Δομήματος	151
5.1.1 Κριτήρια για κανονικότητα σε κάτοψη	151

5.1.2 Κριτήρια για κανονικότητα σε όψη	151
5.1.3 Στρεπτική δυσκαμψία	151
5.1.4 Υπολογισμός συντελεστή συμπεριφοράς $\alpha$	152
Βιβλιογραφία	156
<b>5.2 Διαστασιολόγηση Υποστυλώματος Κ7 (όροφος: 0, νο: 7)</b>	<b>157</b>
5.2.1 Περιγραφή της καταπόνησης σε διαξονική κάμψη	157
5.2.2 Διατομή Υποστυλώματος Κ7 και βασικές παράμετροι διαστασιολόγησης	157
5.2.3 Διαστασιολόγηση Υποστυλώματος Κ7 σε κάμψη	158
5.2.4 Διαστασιολόγηση Υποστυλώματος Κ7 σε διάτμηση (§6.2, Ε.С.2)	164
Βιβλιογραφία	171
<b>5.3 Διαστασιολόγηση Δοκού Δ6.1 (όροφος: 0, νο: 6.1)</b>	<b>172</b>
5.3.1 Διατομή Δοκού Δ6.1 και βασικές παράμετροι διαστασιολόγησης	172
5.3.2 Υπολογισμός συνεργαζόμενου πλάτους $b_{eff}$	174
5.3.3 Διαστασιολόγηση Δοκού Δ6.1 σε κάμψη	175
5.3.4 Διαστασιολόγηση Δοκού Δ6.1 σε διάτμηση (§6.2, Ε.С.2)	184
Βιβλιογραφία	191
<b>5.4 Διαστασιολόγηση Τοιχώματος Κ12 (όροφος: 0, νο: 12)</b>	<b>192</b>
5.4.1 Διατομή Τοιχώματος Κ12 και βασικές παράμετροι διαστασιολόγησης	192
5.4.2 Αρχικοί έλεγχοι διαμόρφωσης της διατομής του τοιχώματος	193
5.4.3 Διαστασιολόγηση Τοιχώματος Κ12 σε κάμψη	195
5.4.4 Διαστασιολόγηση Τοιχώματος Κ12 σε διάτμηση	203
Βιβλιογραφία	209
<b>5.5 Αποτελέσματα στατικού προγράμματος Fespa</b>	<b>210</b>
5.5.1 Διαστασιολόγηση Υποστυλώματος Κ7 (όροφος: 0, νο: 7)	210
5.5.2 Διαστασιολόγηση Δοκού Δ6.1 (όροφος: 0, νο: 6.1)	213
5.5.3 Διαστασιολόγηση Τοιχώματος Κ12 (όροφος: 0, νο: 12)	215
5.5.4 Συνολική Προμέτρηση Κτιρίου	218
<b>6. Συγκριτική αποτίμηση επιρροής Στατικού Συστήματος στον προϋπολογισμό-Συμπεράσματα</b>	<b>221</b>
<b>6.1 Συγκριτική Αποτίμηση επιλογής Στατικού Συστήματος στον προϋπολογισμό</b>	<b>221</b>
6.1.1 Ανάλυση πριν τα αποτελέσματα	221
6.1.2 Προϋπολογισμός	224
<b>6.2 Συμπεράσματα</b>	<b>227</b>
Βιβλιογραφικές Αναφορές 6 <sup>ου</sup> Κεφαλαίου	228

## Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή και βιβλιογραφική επισκόπηση

## Κεφάλαιο 2 - Αντισεισμικός Σχεδιασμός με βάση τους Ευρωκώδικες (E.C.2 & E.C.8)

- 2.1 Τιμές του συντελεστή σπουδαιότητας  $\gamma_l$ , ανάλογα με την κατηγορία σπουδαιότητας.
- 2.2 Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας  $\gamma_g$ .
- 2.3 Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας  $\gamma_q$ .
- 2.4 Βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς,  $q_o$ , για συστήματα κανονικά σε όψη.
- 2.5 Τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ , κτιρίων Ο/Σ, που σχεδιάζονται για αυξημένη πλαστιμότητα, κατά τον Ευρωκώδικα (E.C.8).

## Κεφάλαιο 3 - Παρουσίαση των υπό μελέτη τριώροφων κτιρίων Οπλισμένου Σκυροδέματος

- 3.1 Κατάταξη κτιρίων Οπλισμένου Σκυροδέματος, με βάση το Στατικό τους Σύστημα.
- 3.2 Χαρακτηριστικά κατηγορίας  $C_{20/25}$  σκυροδέματος.
- 3.3 Χαρακτηριστικά ποιότητας χάλυβα  $B_{500C}$ .
- 3.4 Υλικά κατασκευής.
- 3.5 Μόνιμα φορτία.
- 3.6 Μεταβλητά φορτία.
- 3.7 Χαρακτηριστικά μεγέθη εδάφους.
- 3.8 Σεισμολογικά στοιχεία.
- 3.9 Τιμές μειωτικού συντελεστή  $\phi$ .

## Κεφάλαιο 4 - Περίπτωση Α: Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Πλαισιακό

- 4.1 Δεδομένα ανάλυσης Φορέα I (Ι.Π.Π.), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.
- 4.2 Δεδομένα για τον συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ , στον Φορέα I (Ι.Π.Π.), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.
- 4.3 Διαστασιολόγηση σε κάμψη για το Υποσύλωμα K13.
- 4.4 Μέγιστα εγκάρσιου οπλισμού για το Υποσύλωμα K13.
- 4.5 Μέγιστα οπλισμών ροπών κάμψης για την Δοκό Δ6.1.
- 4.6 Γενικός Πίνακας υπολογισμού ορθογωνικών διατομών χωρίς θλιβόμενο οπλισμό, υπό κάμψη με ή χωρίς ορθή δύναμη ( $\epsilon_s = 25\%$ ), για  $B_{500C}$ , οριζόντιος και κεκλιμένος κλάδος χάλυβα,  $\alpha_{cc} = 0,85$ .
- 4.7 Μέγιστα οπλισμών διάτμησης και στρέψης για την Δοκό Δ6.1.
- 4.8 Διαστασιολόγηση σε κάμψη για το Τοίχωμα K14.
- 4.9 Μέγιστα εγκάρσιου οπλισμού για το Τοίχωμα K14.

## Κεφάλαιο 5 - Περίπτωση Β: Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Τοιχωματικό

- 5.1 Δεδομένα ανάλυσης Φορέα II (Ι.Π.Τ.), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.
- 5.2 Δεδομένα για τον συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ , στον Φορέα II (Ι.Π.Τ.), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.
- 5.3 Διαστασιολόγηση σε κάμψη για το Υποσύλωμα K7.
- 5.4 Μέγιστα εγκάρσιου οπλισμού για το Υποσύλωμα K7.
- 5.5 Μέγιστα οπλισμών ροπών κάμψης για την Δοκό Δ6.1.



- 5.6 Μέγιστα οπλισμών διάτμησης και στρέψης για την Δοκό Δ6.1.
- 5.7 Διαστασιολόγηση σε κάμψη για το Τοίχωμα Κ14.
- 5.8 Μέγιστα εγκάρσιου οπλισμού για το Τοίχωμα Κ12.

#### **Κεφάλαιο 6 - Συγκριτική αποτίμηση επιρροής Στατικού Συστήματος στον προϋπολογισμό-Συμπεράσματα**

- 6.1 Ενδεικτικές διαφορές, σε ορισμένα από τα κοινά μεταξύ των δύο κτιρίων δομικά στοιχεία, με απαίτηση περισσότερου οπλισμού στο Ι.Π.Π. Στατικό Σύστημα, σε σχέση με το Ι.Π.Τ.
  - 6.2 Τιμές κόστους Σκυροδέματος, Σιδηρού Οπλισμού και εργατικών εξόδων.
  - 6.3 Συνολικές ποσότητες Σκυροδέματος και Σιδηρού Οπλισμού, από τον αναλυτικό προϋπολογισμό του στατικού προγράμματος Fespa, για τον προϋπολογισμό των δύο κτιρίων.
  - 6.4 Συνολικό κόστος κατασκευής των υπό μελέτη φορέων.
  - 6.5 Διαφορές με ποσοστά επί τοις εκατό, μεταξύ των δύο κτιρίων (στρογγυλοποιημένες τιμές).
-

## Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή και βιβλιογραφική επισκόπηση

## Κεφάλαιο 2 - Αντισεισμικός Σχεδιασμός με βάση τους Ευρωκώδικες (E.C.2 & E.C.8)

- 2.1 Πρόσθετες ροπές 2<sup>ης</sup> τάξεως. Το κριτήριο για τον τρόπο συνυπολογισμού, αποτελεί ο λόγος:  $\theta = M_{II}/M_I$  (Καραγιάννης Χρ. 2016).
- 2.2 Τιμές Ικανοτικού Σχεδιασμού τεμνουσών δυνάμεων σε δοκούς.
- 2.3 Τέμνουσα δύναμη Ικανοτικού Σχεδιασμού σε υποστυλώματα.

## Κεφάλαιο 3 - Παρουσίαση των υπό μελέτη τριώροφων κτιρίων Οπλισμένου Σκυροδέματος

- 3.1 Αρχιτεκτονική κάτοψη τυπικού ορόφου (κοινή και για τα δύο κτίρια).
- 3.2 Αρχιτεκτονική κάτοψη τυπικού ορόφου 1<sup>ου</sup> κτιρίου, στην οποία απεικονίζονται και τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία (υποστυλώματα-τοιχώματα).
- 3.3 Τρισδιάστατη απεικόνιση του Φορέα I (Νότιο-Ανατολική όψη), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.
- 3.4 Τρισδιάστατη απεικόνιση του Φορέα I (Νότιο-Δυτική όψη), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.
- 3.5 Τρισδιάστατη απεικόνιση του Φορέα I (Βόρειο-Δυτική όψη), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.
- 3.6 Τρισδιάστατη απεικόνιση του Φορέα I (Βόρειο-Ανατολική όψη), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.
- 3.7 Αρχιτεκτονική κάτοψη τυπικού ορόφου 2<sup>ου</sup> κτιρίου, στην οποία απεικονίζονται και τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία (υποστυλώματα-τοιχώματα).
- 3.8 Τρισδιάστατη απεικόνιση του Φορέα II (Νότιο-Ανατολική όψη), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.
- 3.9 Τρισδιάστατη απεικόνιση του Φορέα II (Νότιο-Δυτική όψη), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.
- 3.10 Τρισδιάστατη απεικόνιση του Φορέα II (Βόρειο-Δυτική όψη), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.
- 3.11 Τρισδιάστατη απεικόνιση του Φορέα II (Βόρειο-Ανατολική όψη), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.
- 3.12 Παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, για σκυρόδεμα υπό θλίψη.
- 3.13 Εξιδανικευμένο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων και διάγραμμα σχεδιασμού χάλυβα οπλισμού (για εφελκυσμό και θλίψη).

## Κεφάλαιο 4 - Περίπτωση Α: Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Πλαισιακό

- 4.1 Ορθογωνική διατομή δομικού στοιχείου, με ροπές κάμψης ως προς τους δύο άξονες συμμετρίας και με ορθή δύναμη στο κέντρο.
- 4.2 Επιφάνεια αλληλεπίδρασης για διαξονική κάμψη με αξονικό φορτίο.
- 4.3 Η ακριβής θέση του εσωτερικού υποστυλώματος που εξετάζεται (K13), στην κάτοψη του στατικού συστήματος του 1<sup>ου</sup> κτιρίου.
- 4.4 Υποσύλωμα K13, με διαστάσεις πλάτος επί ύψος:  $b \times h = 0,45 \times 0,45(m^2)$ .
- 4.5 Εύρεση του στατικού ύψους  $d$  και της απόστασης  $d_1$  και τελική λύση όπλισης στο Υποσύλωμα K13.
- 4.6 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης για ορθογωνική διατομή σε διαξονική κάμψη ( $B_{500C}$ , σημειακή κατανομή οπλισμού,  $d_1/h = b_1/b = 0,10$ ).
- 4.7 Έλεγχοι απαιτούμενων αποστάσεων ( $b_i$ ) μεταξύ των ράβδων οπλισμού (από το κέντρο της μίας ράβδου έως το κέντρο της άλλης), κατά τις δύο διευθύνσεις  $x$  και  $y$  του Υποστυλώματος K13.

- 4.8 Η ακριβής θέση της εσωτερικής δοκού που εξετάζεται (Δ6.1), στην κάτοψη του στατικού συστήματος του 1<sup>ου</sup> κτιρίου.
- 4.9 Διατομή πλακοδοκού Δ6.1, με διαστάσεις:  $b_w/h/b_{eff}/h_f = 0,25/0,60/1,914/0,16$  (m).
- 4.10 Τομή 2-2' πλακοδοκού Δ6.1, με βάση την Εικόνα 4.9 και αναπτύγματα οπλισμών διάτμησης και κάμψης.
- 4.11 Εύρεση του στατικού ύψους  $d$  και της απόστασης  $d_1$  και τελική λύση όπλισης στην Δοκό Δ6.1.
- 4.12 Διάγραμμα υπολογισμού οπλισμού απλά οπλισμένης ορθογωνικής διατομής και του ύψους της θλιβόμενης ζώνης.
- 4.13 Έλεγχοι απαιτούμενων αποστάσεων ( $b_i$ ) μεταξύ των ράβδων οπλισμού (από το κέντρο της μίας ράβδου έως το κέντρο της άλλης), κατά τις δύο διευθύνσεις  $x$  και  $y$  της Δοκού Δ6.1.
- 4.14 Περιπτώσεις διατμητικής αστοχίας δοκού.
- 4.15 Η ακριβής θέση του εσωτερικού τοιχώματος που εξετάζεται (Κ14), στην κάτοψη του στατικού συστήματος του 1<sup>ου</sup> κτιρίου.
- 4.16 Τοίχωμα Κ14, με διαστάσεις μήκος επί πλάτος:  $l_w \times b_w = 2,50 \times 0,25$  (m<sup>2</sup>).
- 4.17 Τμήματα στο Τοίχωμα Κ14 που διαστασιολογούνται για κάμψη (κρυφο-κολώνες, σε απόσταση  $l_c$ , από τα άκρα) και διάτμηση (σχάρα, στον πυρήνα της διατομής), καθώς και η τελική λύση όπλισης του τοιχώματος.
- 4.18 Κανονιστική περιβάλλουσα καμπτικής ροπής σχεδιασμού [ $M_{Ed}$ ] σε όλο το ύψος του Τοιχώματος Κ14.
- 4.19 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης για ορθογωνική διατομή σε διαξονική κάμψη ( $B_{500c}$ , σημειακή κατανομή οπλισμού,  $d_1/h = b_1/b = 0,10$ ).
- 4.20 Τομή Τοιχώματος Κ14 σε απόσταση  $l_c$ , ώστε να φανεί η διατομή της κρυφο-κολώνας, αλλά και να πραγματοποιηθούν οι έλεγχοι των απαιτούμενων αποστάσεων ( $b_i$ ) μεταξύ των ράβδων οπλισμού (από το κέντρο της μίας ράβδου έως το κέντρο της άλλης), κατά τις δύο διευθύνσεις  $x$  και  $y$  του τοιχώματος.
- 4.21 Κανονιστική περιβάλλουσα τεμνουσών δυνάμεων σχεδιασμού [ $V_{Ed}$ ] σε όλο το ύψος του Τοιχώματος Κ14.

## Κεφάλαιο 5 - Περίπτωση Β: Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Τοιχωματικό

- 5.1 Τα μήκη (σε μέτρα) των τοιχωμάτων και στις δύο διευθύνσεις ( $x$  &  $z$ ), που υπάρχουν στον Φορέα II (Ι.Π.Τ.).
- 5.2 Η ακριβής θέση του εσωτερικού υποστυλώματος που εξετάζεται (Κ7), στην κάτοψη του στατικού συστήματος του 2<sup>ου</sup> κτιρίου.
- 5.3 Υποσύλωμα Κ7, με διαστάσεις πλάτος επί ύψος:  $b \times h = 0,45 \times 0,45$  (m<sup>2</sup>).
- 5.4 Εύρεση του στατικού ύψους  $d$  και της απόστασης  $d_1$  και τελική λύση όπλισης στο Υποσύλωμα Κ7.
- 5.5 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης για ορθογωνική διατομή σε διαξονική κάμψη ( $B_{500c}$ , σημειακή κατανομή οπλισμού,  $d_1/h = b_1/b = 0,10$ ).
- 5.6 Έλεγχοι απαιτούμενων αποστάσεων ( $b_i$ ) μεταξύ των ράβδων οπλισμού (από το κέντρο της μίας ράβδου έως το κέντρο της άλλης), κατά τις δύο διευθύνσεις  $x$  και  $y$  του Υποστυλώματος Κ7.
- 5.7 Η ακριβής θέση της εσωτερικής δοκού που εξετάζεται (Δ6.1), στην κάτοψη του στατικού συστήματος του 2<sup>ου</sup> κτιρίου.
- 5.8 Διατομή πλακοδοκού Δ6.1, με διαστάσεις:  $b_w/h/b_{eff}/h_f = 0,25/0,60/1,914/0,16$  (m).
- 5.9 Τομή 2-2' πλακοδοκού Δ6.1, με βάση την Εικόνα 5.8 και αναπτύγματα οπλισμών διάτμησης και κάμψης.
- 5.10 Εύρεση του στατικού ύψους  $d$  και της απόστασης  $d_1$  και τελική λύση όπλισης στην Δοκό Δ6.1.
- 5.11 Διάγραμμα υπολογισμού οπλισμού απλά οπλισμένης ορθογωνικής διατομής και του ύψους της θλιβόμενης ζώνης.

- 5.12 Έλεγχοι απαιτούμενων αποστάσεων ( $b_i$ ) μεταξύ των ράβδων οπλισμού (από το κέντρο της μίας ράβδου έως το κέντρο της άλλης), κατά τις δύο διευθύνσεις  $x$  και  $y$  της Δοκού Δ6.1.
- 5.13 Η ακριβής θέση του εσωτερικού τοιχώματος που εξετάζεται (K12), στην κάτοψη του στατικού συστήματος του 2<sup>ου</sup> κτιρίου.
- 5.14 Τοίχωμα K12, με διαστάσεις μήκος επί πλάτος:  $l_w \times b_w = 2,50 \times 0,25(m^2)$ .
- 5.15 Τμήματα στο Τοίχωμα K12 που διαστασιολογούνται για κάμψη (κρυφο-κολώνες, σε απόσταση  $l_c$ , από τα άκρα) και διάτμηση (σχάρα, στον πυρήνα της διατομής), καθώς και η τελική λύση όπλισης του τοιχώματος.
- 5.16 Κανονιστική περιβάλλουσα καμπτικής ροπής σχεδιασμού [ $M_{Ed}$ ] σε όλο το ύψος του Τοιχώματος K12.
- 5.17 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης για ορθογωνική διατομή σε διαξονική κάμψη ( $B_{500C}$ , σημειακή κατανομή οπλισμού,  $d_1/h = b_1/b = 0,10$ ).
- 5.18 Τομή Τοιχώματος K12 σε απόσταση  $l_c$ , ώστε να φανεί η διατομή της κρυφο-κολώνας, αλλά και να πραγματοποιηθούν οι έλεγχοι απαιτούμενων αποστάσεων ( $b_i$ ) μεταξύ των ράβδων οπλισμού (από το κέντρο της μίας ράβδου έως το κέντρο της άλλης), κατά τις δύο διευθύνσεις  $x$  και  $y$  του τοιχώματος.
- 5.19 Κανονιστική περιβάλλουσα τεμνουσών δυνάμεων σχεδιασμού [ $V_{Ed}$ ] σε όλο το ύψος του Τοιχώματος K12.

#### **Κεφάλαιο 6 - Συγκριτική αποτίμηση επιρροής Στατικού Συστήματος στον προϋπολογισμό-Συμπεράσματα**

- 6.1 Φορέας I (Ι.Π.Π.), διαστασιολόγηση όλων των δομικών στοιχείων στην στάθμη του ορόφου 0.
  - 6.2 Φορέας II (Ι.Π.Τ.), διαστασιολόγηση όλων των δομικών στοιχείων στην στάθμη του ορόφου 0.
  - 6.3 Ιστογράμματα για την σύγκριση των ποσοτήτων υλικών κατασκευής, που απαιτούνται στους δύο φορείς.
  - 6.4 Ιστόγραμμα για την οικονομική σύγκριση του κόστους κατασκευής των δύο φορέων.
-

# Περίληψη

---

Στην παρούσα εργασία, διερευνάται η επιρροή της επιλογής του τύπου Στατικού Συστήματος, στον συνολικό προϋπολογισμό μίας τριώροφης κατασκευής Οπλισμένου Σκυροδέματος. Η συγκεκριμένη μελέτη, αποτελεί μία πρόταση, για την οικονομικότητα των κτιριακών φορέων, σε συνήθη οικοδομικά έργα, όσον αφορά την επιλογή εγκατάστασης, ενός Διπλού Στατικού Συστήματος λειτουργίας-Ισοδύναμου προς Πλαισιακού, έναντι ενός Διπλού Στατικού Συστήματος λειτουργίας-Ισοδύναμου προς Τοιχωματικού.

Σχεδιάζονται λοιπόν δύο φορείς, ίδιας Κατηγορίας Πλαστιμότητας (Κ.Π.Μ./D.C.M), με βάση μία κοινή Αρχιτεκτονική κάτοψη και φαινομενικά, είναι όμοιοι, διαφέρουν όμως ως προς το Στατικό Σύστημα παραλαβής των σεισμικών δυνάμεων. Οι δύο φορείς, σχεδιάζονται τόσο σύμφωνα με τις διατάξεις των κανονισμών (E.C.2 & E.C.8), όσο και με την βοήθεια του στατικού προγράμματος Fespa. Έτσι, θα διεξαχθεί αναλυτική διαστασιολόγηση κάθε στοιχείου που επιλέχθηκε να εξετασθεί ως αντιπροσωπευτικό δείγμα σε κάθε κτίριο, τόσο με τις διατάξεις των κανονισμών (E.C.2 & E.C.8), όσο και με το στατικό πρόγραμμα. Βέβαια, από την ανάλυση του προγράμματος, γίνονται γνωστά τα αποτελέσματα, για όλα τα δομικά στοιχεία που πλαισιώνουν τον εκάστοτε φορέα. Στην συνέχεια, συγκρίνονται τα αποτελέσματα των δύο τρόπων (αναλυτικές διατάξεις κανονισμού έναντι αποτελεσμάτων προγράμματος) και διαπιστώνεται πλήρης συμφωνία, όσον αφορά την διαστασιολόγηση των μελών έναντι κάμψης, αλλά και διάτμησης και στους δύο φορείς.

Όσον αφορά τον προϋπολογισμό, με βάση λοιπόν τα αποτελέσματα που παρατίθενται στο 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, προκύπτει πως ο Φορέας II (Ι.Π.Τ.), απαιτεί μεγαλύτερο όγκο Σκυροδέματος και περισσότερο βάρος Σιδηρού Οπλισμού για την κατασκευή του, απ' ότι ο Φορέας I (Ι.Π.Π.). Συγκεκριμένα, ο Φορέας II (Ι.Π.Τ.), παρουσιάζει πλεόνασμα: σε όγκο Σκυροδέματος **6%**, σε βάρος Σιδηρού Οπλισμού **18%** και τελικά σε κόστος **12%**. Η καθαρή διαφορά στην τιμή ανέγερσής των δύο κτιρίων, είναι **6.072,23€** επιπλέον για τον Φορέα II (Ι.Π.Τ.), πράγμα που σημαίνει ότι, όσο μικρού σχετικά μεγέθους και αν είναι το ποσό, αναφερόμενοι πάντοτε στα ποσά που απαιτούνται για συνήθη οικοδομικά έργα, δεν παύει να καθιστά οικονομικότερο τον Φορέα I (Ι.Π.Π.).

Επομένως, από την παρούσα μελέτη, συμπεραίνεται, πως στα συνήθη οικοδομικά έργα, η πιο οικονομική κατασκευή, είναι εκείνη, στην οποία ο Δομοστατικός Πολιτικός Μηχανικός, θα επιλέξει να εγκαταστήσει, ένα Διπλό Στατικό Σύστημα λειτουργίας-Ισοδύναμο προς Πλαισιακό, έναντι σε ένα Διπλό Στατικό Σύστημα λειτουργίας-Ισοδύναμο προς Τοιχωματικό. Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση, η επιλογή γίνεται με βάση την κρίση του αρμόδιου μηχανικού, λαμβάνοντας υπόψη μία πληθώρα παραγόντων και ακολουθώντας τις διατάξεις του ισχύοντα κανονισμού.

## Υπεύθυνη δήλωση

Ως η κάτωθι υπογεγραμμένη σπουδάστρια, έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι η συγγραφέας αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου, έχοντας αναφέρει στα εδάφια της Βιβλιογραφίας, όλες τις πηγές που χρησιμοποιήθηκαν και λήφθηκαν από αυτές ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης, ότι οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο, το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία, προερχόμενο από βιβλία ή άλλες εργασίες, γραμμένο επακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και τον τίτλο του έργου του και τις σχετικές σελίδες. Ακόμη, αναφέρω ότι κάθε εδάφιο κειμένου που συγγράφηκε, βασιζόμενο σε συγκεκριμένη πηγή ή που περιέχει δεδομένα από άλλη εργασία ή κανονισμό, αναφέρεται στην αρχή ή στο τέλος της εκάστοτε παραγράφου με αριθμητικό δείκτη παραπομπής στην Βιβλιογραφία.

Η σπουδάστρια  
Γαλαζούδη Ελένη  
28/06/2019

### 1.1 Αντισεισμικός Σχεδιασμός κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος, με βάση τους Ευρωκώδικες (E.C.2 & E.C.8)<sup>[1]</sup>

Το σημαντικότερο θέμα, που πρέπει να γίνεται κατανοητό εις βάθος, από τους σύγχρονους μελετητές δομοστατικούς μηχανικούς, προκειμένου να εκπονούν αξιόπιστες μελέτες, είναι το βασικό σκεπτικό που διέπει τον Αντισεισμικό Σχεδιασμό των κατασκευών, δηλαδή, αυτό που συχνά καλείται και «Φιλοσοφία του Αντισεισμικού Σχεδιασμού». Από το βασικό αυτό σκεπτικό, προκύπτει μία σειρά θεμελιωδών κανόνων για την μόρφωση του φέροντος οργανισμού μιας αντισεισμικής κατασκευής και βάσει αυτών, κατανοείται η μεγάλη σημασία όλων των επί μέρους διατάξεων των ισχυόντων αντισεισμικών κανονισμών.

Η απαίτηση κατασκευής όλων των κτιρίων μίας Πολιτείας, ώστε αυτά να αντέχουν χωρίς καμία βλάβη (δηλαδή ελαστικά), στον προκαθορισθέντα σεισμό σχεδιασμού, δηλαδή η απαίτηση κατασκευής κτιρίων με πλήρη αντισεισμική προστασία, θεωρείται μία οικονομικώς επίπονη διαδικασία, καθώς θα απαιτούσε υπερβολική μεταφορά πόρων από όλους τους τομείς ζωτικής σημασίας για το κοινωνικό σύνολο. Για τους λόγους αυτούς, επιδιώκεται, μέσω του Αντισεισμικού Κανονισμού, να θεσπίζεται από τις εκάστοτε Πολιτείες, ένας συνδυασμός κοινωνικής πρόνοιας (για την προστασία της ζωής) και οικονομίας, με στόχο την επίτευξη ενός επιπέδου αντισεισμικής ασφάλειας, που είναι τόσο κοινωνικά-ψυχολογικά, όσο και οικονομικά αποδεκτό. Έτσι, οι κατασκευές, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τις ειδικές κατασκευές «υψηλού κινδύνου» (όπως π.χ.: συγκροτήματα ατομικών αντιδραστήρων, πετροχημικές εγκαταστάσεις με αποθήκες επικίνδυνων αερίων ή υγρών) και τις συμβατικές κατασκευές «κανονικού κινδύνου» (όπως π.χ.: κτίρια κατοικιών ή γραφείων, σχολεία, νοσοκομεία κ.α.).

Γίνεται αντιληπτό ότι, οι βλάβες ή ακόμη περισσότερο η κατάρρευση στην πρώτη κατηγορία κατασκευών, δύναται να προκαλέσει πολύ αρνητικές συνέπειες σε μία ευρύτερη περιοχή και κοινότητα ανθρώπων και ζώων, σε αντίθεση με τις συνέπειες στην δεύτερη κατηγορία, οι οποίες περιορίζονται ενδεχομένως στην γύρω συνοικία. Στις κατασκευές «υψηλού κινδύνου», επιβάλλεται πλήρης προστασία, μέσω της απαίτησης παντελούς αποφυγής των βλαβών, ενώ σε εκείνες «κανονικού κινδύνου», εγκαταλείπεται η επιδίωξη πλήρους αντισεισμικής προστασίας και γίνεται αποδεκτή η εμφάνιση βλαβών, οι οποίες επιτρέπουν την «μερική αντισεισμική προστασία», δηλαδή εμφάνιση επιτηδευμένων αστοχιών, πλάστιμου πάντοτε χαρακτήρα, οι οποίες όμως, δεν οδηγούν στην κατάρρευση του φορέα.

Η αποδοχή βλαβών υπό τον σεισμό σχεδιασμού, αποτελεί την βάση όλων των σύγχρονων Αντισεισμικών Κανονισμών, οι οποίοι αναφέρονται σε κατασκευές «κανονικού κινδύνου». Η φιλοσοφία της μερικής κατάρρευσης, θα μπορούσε να συνοψιστεί στους παρακάτω στόχους σχεδιασμού, οι οποίοι αποτελούν τις ελάχιστες απαιτήσεις αντισεισμικής επίδοσης των κατασκευών:

- **για συχνούς και μικρής έντασης σεισμούς (ασθενείς)**, που εκδηλώνονται περισσότερες φορές κατά την διάρκεια ζωής μίας κατασκευής, υπάρχει **απαίτηση μηδενικών βλαβών και απρόσκοπτης λειτουργίας** (οριακή κατάσταση λειτουργικότητας της κατασκευής),
- **για μέσης έντασης σεισμούς**, που εκδηλώνονται περιστασιακά (λίγες φορές), υπάρχει **απαίτηση περιορισμένων βλαβών και οικονομικών απωλειών** (οριακή κατάσταση κόστους) και
- **για ισχυρούς σεισμούς**, που εκδηλώνονται σπάνια και έχουν ένταση τουλάχιστον ίδιας τάξης με τους ισχυρότερους σεισμούς που εκδηλώθηκαν στο παρελθόν ή εκτιμάται ότι θα δημιουργηθούν στο μέλλον, υπάρχει **απαίτηση αποφυγής της κατάρρευσης και προστασίας της ζωής** (οριακή κατάσταση αστοχίας της κατασκευής).

**!Σημειώνεται** ότι, τα κτίρια που είναι σημαντικά για το κοινωνικό σύνολο (π.χ.: επιτελικού χαρακτήρα) και κτίρια των οποίων η κατάρρευση, θα προκαλούσε σημαντικές απώλειες σε μία ευρύτερη περιοχή, θα πρέπει ακόμη και μετά από έναν ισχυρή έντασης σεισμό, να παραμένουν λειτουργικά (και όχι απλώς να μην καταρρέουν), ώστε να εξυπηρετούν άμεσα τον σκοπό τους.

Η ικανοποίηση των προαναφερθέντων στόχων του Αντισεισμικού Σχεδιασμού, ανάλογα με την ένταση του εκάστοτε σεισμού, επιβάλλει γενικώς τον σταθμισμένο εφοδιασμό της κατασκευής με επαρκή και κατάλληλα κατανεμημένη στιβαρότητα, αντοχή και πλαστιμότητα:

- ✓ **Απαιτείται ένα επαρκές επίπεδο στιβαρότητας του φέροντος οργανισμού:** ο όρος στιβαρότητα, περιλαμβάνει την δυσκαμψία και είναι απαραίτητη σε έναν φορέα, ώστε:
  - i. κατά τους συχνούς ασθενείς σεισμούς, οι μετακινήσεις του, να παραμένουν μικρές και η κατασκευή ελαστική (χωρίς βλάβες) και
  - ii. κατά τον ισχυρό σεισμό σχεδιασμού (ή και έναν ισχυρότερο), οι μετακινήσεις της κατασκευής, να μην προκαλούν ενεργοποίηση φαινομένων 2<sup>ος</sup> τάξεως.
- ✓ **Απαιτείται ένα επαρκές επίπεδο αντοχής των φερόντων στοιχείων:** ώστε σε σεισμούς μέτριας έντασης, να διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα οι βλάβες τους.
- ✓ **Απαιτείται ένα επαρκές επίπεδο πλαστιμότητας:** Ο όρος πλαστιμότητα, αναφέρεται στην ικανότητα ενός φορέα ή ενός μέλους του, για πλαστική παραμόρφωση, χωρίς σημαντική απομείωση της δυσκαμψίας και της αντοχής, κατά τους επαναλαμβανόμενους κύκλους δυναμικής φόρτισης-αποφόρτισης. Το επίπεδο πλαστιμότητας, επιβάλλεται να είναι επαρκές, ώστε σε ισχυρούς σεισμούς, οι αναπόφευκτες βλάβες των φερόντων στοιχείων, να είναι πλάστιμες και όχι ψαθυρές, προκειμένου να μην οδηγηθεί ταχύτερα ο φορέας σε κατάρρευση. Επιπλέον απαιτείται και η σωστή κατανομή της πλαστιμότητας, στο σύνολο του φορέα, ώστε να αποφευχθεί η εμφάνιση κινηματικών μηχανισμών κατάρρευσης.



## 1.2 Σχετική Βιβλιογραφία

---

Η σχετική βιβλιογραφία που εντοπίστηκε και χρησιμοποιήθηκε, για την συγγραφή και ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, παρατίθεται όπως ακολουθεί:

- ✎ **Αβραμίδης Ι., Αθανατοπούλου Α., Μορφίδης Κ., Σέξτος Α. (2017).** Αντισεισμικός Σχεδιασμός Κτιρίων Ο/Σ και Αριθμητικά Παραδείγματα Ανάλυσης & Διαστασιολόγησης σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες. Εκδόσεις "Σοφία". Θεσσαλονίκη (Ελλάδα), 2017.
- ✎ **Ιγνατάκης Χρ., Σέξτος Α. (2015).** Κτίρια από Οπλισμένο Σκυρόδεμα: Διαστασιολόγηση σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 2 και 8. Εκδόσεις "Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών". Αθήνα (Ελλάδα), 2015.
- ✎ **Καραγιάννης Χρ. (2016).** Σχεδιασμός Συμπεριφορά Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα έναντι Σεισμού. Εκδόσεις "Σοφία". Θεσσαλονίκη (Ελλάδα), 2016.
- ✎ **Τσώνος Αλ.-Δ. (2017).** Σχεδιασμός Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες (Τόμος Ι). Εκδόσεις "Σοφία". Θεσσαλονίκη (Ελλάδα), 2017.
  
- **Καρτσάκας Α. (2008).** Στατική Αντισεισμική Μελέτη και Σχεδιασμός Κτιρίου Διοίκησης Ε.Α.Π. Προπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών.
- **Λώλου Α., Μακοπούλου Σ. (2016).** Υπολογισμός της Αντοχής και Ικανότητας Παραμόρφωσης Μελών Ο/Σ σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα. Προπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών.
- **Νικολή Μ. (2011).** Συγκριτική Αποτίμηση της επιρροής της Κατηγορίας Πλαστιμότητας κατά τον Ευρωκώδικα 8 στον Προϋπολογισμό Κτιρίων Ο.Σ. Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.
- **Ραμαντάνης Γ. (2006).** Διερεύνηση της επιρροής των Αντισεισμικών Τοιχωμάτων στην Αντισεισμική Συμπεριφορά των Κατασκευών. Προπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., ΑΕΙ Πειραιά Τ.Τ.
- **Σκουλίδου Δ. (2012).** Συγκριτική Αποτίμηση της επιρροής της Κατηγορίας Πλαστιμότητας κατά τον Ευρωκώδικα 8 στην Επιτελεστικότητα Έργων Ο.Σ. Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.
- **Στεφανίδου Σ. (2007).** Αντισεισμικός Σχεδιασμός κτιρίων ΟΣ για σκοπούμενη επιτελεστικότητα με τη βοήθεια ανελαστικών δυναμικών αναλύσεων. Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.
  
- ✎ **Μωρέττη Μ. (2014/15).** Διαστασιολόγηση δοκών περί Πλαστιμότητας-Ακυρώσεων-Μορφών Αστοχίας-Τέμνουσας Σημειώσεις μαθήματος «Δομική Μηχανική ΙΙΙ». Ε.Μ.Π.
- ✎ **Παναγόπουλος Γ., Κίρτας Ε. (2005).** Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος Ι. Σημειώσεις μαθήματος «Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος Ι». Τ.Ε.Ι.Σερρών.

### 1.3 Στόχοι της παρούσας εργασίας

---

Στόχος της παρούσας εργασίας, είναι η διερεύνηση της επιρροής στην επιλογή του τύπου Στατικού Συστήματος, στον συνολικό προϋπολογισμό μίας κατασκευής Οπλισμένου Σκυροδέματος, καθώς και η εκμάθηση του περιβάλλοντος του στατικού προγράμματος Fespa. Παρόμοιες έρευνες, έχουν διεξαχθεί έως τα τωρινά δεδομένα, με την διαφοροποίηση όμως της μελέτης, να στοχεύει στην διαπίστωση της επιρροής της Κατηγορίας Πλαστιμότητας, άλλοτε στον προϋπολογισμό (Μ. Νικολή, 2011)<sup>[2]</sup> και άλλοτε στην επιτελεσματικότητα (Δ. Σκουλίδου, 2012)<sup>[3]</sup> των κτιριακών έργων. Ωστόσο, δεν έχει βρεθεί, κατά την βιβλιογραφική αναζήτηση που έγινε στα πλαίσια της παρούσας έρευνας, κάποια μελέτη που να εξετάζει την επιρροή του Στατικού Συστήματος στον προϋπολογισμό.

Επιλέγεται λοιπόν, να προσομοιωθούν δύο φορείς, ίδιας Κατηγορίας Πλαστιμότητας (Κ.Π.Μ./D.C.M), ο ένας με Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Πλαισιακό (Φορέας Ι) και ο άλλος με Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Τοιχωματικό (Φορέας ΙΙ). Οι δύο φορείς, σχεδιάζονται σύμφωνα με τις διατάξεις των κανονισμών (Ε.Σ.2 & Ε.Σ.8) και επιλέγεται να εξεταστεί ένα γραμμικό δομικό στοιχείο, κάθε κατηγορίας (ένα υποστύλωμα, μία δοκός και ένα τοίχωμα), σε κάθε ένα από τα δύο κτίρια, στην ίδια στάθμη (ισόγειο/όροφος 0) και σε κοινή θέση. Η προσομοίωση, πραγματοποιείται με την βοήθεια του στατικού προγράμματος Fespa (έκδοση: 7.6.0.4), της εταιρείας "ΛΗ Λογισμική". Έτσι, θα διεξαχθεί αναλυτική διαστασιολόγηση κάθε στοιχείου, τόσο με τις διατάξεις των κανονισμών (Ε.Σ.2 & Ε.Σ.8), όσο και με το στατικό πρόγραμμα. Βέβαια, από την ανάλυση του προγράμματος, γίνονται γνωστά τα αποτελέσματα, για όλα τα δομικά στοιχεία που πλαισιώνουν τον εκάστοτε φορέα.

Με βάση τα αποτελέσματα λοιπόν, που θα προκύψουν από τους δύο τρόπους ανάλυσης, πρόκειται να ελεγχθεί αρχικά, εάν υπάρχει συμφωνία μεταξύ του αναλυτικού τρόπου διαστασιολόγησης δομικών στοιχείων με βάση τους κανονισμούς και του τρόπου που επιλύει και διαστασιολογεί κάθε δομικό στοιχείο το στατικό πρόγραμμα Fespa, συγκρίνοντας τα δείγματα που εξετάζονται αναλυτικά, με τις επιλογές διαστασιολόγησης που πραγματοποιήθηκαν από το στατικό πρόγραμμα. Στην συνέχεια, πρόκειται να συγκριθούν οι ποσότητες των απαιτούμενων για την κατασκευή υλικών, που προκύπτουν από τον συνολικό προϋπολογισμό του κάθε φορέα, ώστε να διαπιστωθεί ο οικονομικότερος εκ των δύο.

Επομένως, η συγκεκριμένη μελέτη, αποτελεί μία πρόταση, για την οικονομικότητα των κτιριακών φορέων, σε συνήθη οικοδομικά έργα, όσον αφορά την επιλογή εγκατάστασης, ενός Διπλού Στατικού Συστήματος λειτουργίας-Ισοδύναμου προς Πλαισιακού, έναντι ενός Διπλού Στατικού Συστήματος λειτουργίας-Ισοδύναμου προς Τοιχωματικού. Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση, η επιλογή γίνεται με βάση την κρίση του αρμόδιου μηχανικού, λαμβάνοντας υπόψη μία πληθώρα παραγόντων και ακολουθώντας τις διατάξεις του ισχύοντα κανονισμού.

## 1.4 Διάρθρωση της εργασίας

---

Η παρούσα εργασία, αποτελείται από έξι (6) κεφάλαια:

- Το 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, συνιστά την παρούσα εισαγωγή.
- Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, περιγράφονται αναλυτικά οι απαιτήσεις και τα κριτήρια σχεδιασμού που θέτουν οι Ευρωκώδικες (E.C.), οι δράσεις σχεδιασμού που επιβάλλει ο κανονισμός για τον σχεδιασμό των κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος (μόνιμες & μεταβλητές), ορίζεται ο συντελεστής συμπεριφοράς  $\alpha$ , αναφέρονται οι γραμμικές μέθοδοι ανάλυσης, οι έλεγχοι λειτουργικότητας και η φιλοσοφία του Ικανοτικού Σχεδιασμού και τέλος επισημαίνονται συνοπτικά τα βασικότερα βήματα της μεθοδολογίας για την διαστασιολόγηση των γραμμικών δομικών στοιχείων (δοκοί, υποστυλώματα, τοιχώματα) τόσο σε κάμψη όσο και σε διάτμηση.
- Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, παρατίθενται οι τύποι των Στατικών Συστημάτων, για την κατάταξη των κτιρίων Οπλισμένου Σκυροδέματος, αναλύεται το σκεπτικό της επιλογής των συγκεκριμένων στατικών συστημάτων (Ι.Π.Π. & Ι.Π.Τ.), περιγράφονται αναλυτικά οι φορείς και όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των μελών τους, γίνεται αναφορά στις Κατηγορίες Πλαστιμότητας και τον λόγο που στην παρούσα εργασία, επιλέχθηκε να γίνει εφαρμογή Κατηγορίας Πλαστιμότητας Μέσης (Κ.Π.Μ./D.C.M.) και στους δύο φορείς και τέλος παρουσιάζονται τα χρησιμοποιούμενα υλικά κατασκευής, τα φορτία και οι μάζες.
- Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, διαστασιολογούνται αναλυτικά, με βάση τους Ευρωκώδικες (E.C.2 & E.C.8), τρία δομικά στοιχεία κάθε κατηγορίας (ένα υποστύλωμα, μία δοκός και ένα τοίχωμα) έναντι κάμψης και διάτμησης, στον Φορέα Ι (Ι.Π.Π.) και τα αποτελέσματα της όπλισης, συγκρίνονται με εκείνα που προέκυψαν από το στατικό πρόγραμμα Fespa.
- Στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, πραγματοποιείται η ίδια διαδικασία με το 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, εξετάζοντας όμως τα δομικά στοιχεία του Φορέα ΙΙ (Ι.Π.Τ.)
- Στο 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, αναπτύσσεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε, προκειμένου να προκύψει η συγκριτική αποτίμηση σχετικά με την επιλογή του Στατικού Συστήματος στον προϋπολογισμό· αρχικά αναλύεται η αναμενόμενη έκβαση των αποτελεσμάτων, η οποία όμως δεν είναι καθοριστική, έπειτα παρατίθενται τα αποτελέσματα, δηλαδή οι συνολικές ποσότητες απαιτούμενων υλικών κατασκευής (κιλά Σιδηρού Οπλισμού & όγκος Σκυροδέματος), με βάση τα τελευταία, πραγματοποιείται ο προϋπολογισμός για το κόστος κατασκευής του κάθε φορέα και τέλος ακολουθούν τα συμπεράσματα από την παραπάνω ανάλυση.

**!Σημειώνεται** ότι οι βιβλιογραφικές αναφορές, αναγράφονται στην τελευταία σελίδα του κάθε κεφαλαίου, ή έπειτα από το τέλος κάθε παραγράφου, προς διευκόλυνση της μελέτης, όπως ακολουθεί στην συνέχεια.

1. **Αβραμίδης Ι., Αθανατοπούλου Α., Μορφίδης Κ., Σέξτος Α. (2017).** Αντισεισμικός Σχεδιασμός Κτιρίων Ο/Σ και Αριθμητικά Παραδείγματα Ανάλυσης & Διαστασιολόγησης σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες. Εκδόσεις "Σοφία". Θεσσαλονίκη (Ελλάδα), 2017. Σελ.: 3-9.
2. **Νικολή Μ. (2011).** Συγκριτική Αποτίμηση της επιρροής της Κατηγορίας Πλαστιμότητας κατά τον Ευρωκώδικα 8 στον Προϋπολογισμό Κτιρίων Ο.Σ. Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.
3. **Σκουλίδου Δ. (2012).** Συγκριτική Αποτίμηση της επιρροής της Κατηγορίας Πλαστιμότητας κατά τον Ευρωκώδικα 8 στην Επιτελεστικότητα Έργων Ο.Σ. Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

### 2.1 Θεμελιώδεις απαιτήσεις και κριτήρια σχεδιασμού με βάση τους Ευρωκώδικες

Ο σύγχρονος αντισεισμικός κανονισμός (E.C.8), θέτει ορισμένες απαιτήσεις, ώστε οι φορείς οι οποίοι θα σχεδιάζονται και θα κατασκευάζονται σε σεισμογενείς περιοχές, να εμφανίζουν ένα επιθυμητό και ελεγχόμενο επίπεδο βλαβών κατά τις ενδεχόμενες σεισμικές διεγέρσεις. Σύμφωνα λοιπόν με την §2.1 του Ευρωκώδικα (E.C.8), οι θεμελιώδεις αυτές απαιτήσεις είναι δύο (2) και αναλύονται ως εξής:

1. **Απαίτηση μη-κατάρρευσης:** βάσει αυτής, κάθε φορέας, θα πρέπει να είναι ικανός να αναλαμβάνει την σεισμική δράση σχεδιασμού, η οποία έχει πιθανότητα υπέρβασης ( $P_{NCR}$ ) 10% στα 50 χρόνια ( $T_1$ ) ή διαφορετικά που αντιστοιχεί στον σεισμό, ο οποίος έχει μέση περίοδο επαναφοράς ( $T_{NCR}$ ) ίση με 475 χρόνια. Ωστόσο κατά την ανάληψη της σεισμικής αυτής δράσης, θα πρέπει να αποτρέπεται η τοπική ή γενική κατάρρευση του φορέα, αλλά ταυτόχρονα να διατηρείται η στατική του ακεραιότητα και η παραμένουσα φέρουσα ικανότητα μετά τα σεισμικά γεγονότα.
2. **Απαίτηση περιορισμού των βλαβών:** σύμφωνα με την διάταξη αυτή, ο φορέας, θα πρέπει να εξασφαλίζεται έναντι της σεισμικής δράσης, η οποία έχει μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης από την σεισμική δράση σχεδιασμού, αποκλείοντας συγχρόνως την εμφάνιση βλαβών (και τους συνεπακόλουθους περιορισμούς χρήσης λόγω αυτών), για την επιδιόρθωση των οποίων οι δαπάνες θα ήταν δυσανάλογα υψηλές, συγκριτικά με εκείνες που απαιτούνται για την κατασκευή του ίδιου του φορέα. Η σεισμική δράση που λαμβάνεται υπόψη, προκειμένου οι βλάβες να είναι περιορισμένες, έχει πιθανότητα υπέρβασης ( $P_{DLR}$ ) 10% στα 10 χρόνια ( $T_1$ ) ή διαφορετικά που αντιστοιχεί στον σεισμό, ο οποίος έχει μέση περίοδο επαναφοράς ( $T_{DLR}$ ) ίση με 95 χρόνια.

**!Σημειώνεται** ότι σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, οι παράμετροι για την παράγραφο αυτή, προσδιορίζονται ως εξής:

- **Τιμή αναφοράς  $T_{NCR}$  της περιόδου επαναφοράς της σεισμικής δράσης για την απαίτηση αποφυγής κατάρρευσης (ή ισοδύναμα, τιμή αναφοράς  $P_{NCR}$  της πιθανότητας υπέρβασης σε 50 χρόνια).** Ισχύουν οι συνιστώμενες τιμές  $T_{NCR} = 475$  χρόνια και  $P_{NCR} = 10\%$ .
- **Τιμή αναφοράς  $T_{DLR}$  της περιόδου επαναφοράς της σεισμικής δράσης για τον περιορισμό βλαβών (ή ισοδύναμα, τιμή αναφοράς  $P_{DLR}$  της πιθανότητας υπέρβασης σε 10 χρόνια).** Ισχύουν οι συνιστώμενες τιμές  $T_{DLR} = 95$  χρόνια και  $P_{DLR} = 10\%$ .

Ακόμη, σημειώνεται ότι η σεισμική δράση σχεδιασμού που αναφέρθηκε παραπάνω, πέρα από την τιμή αναφοράς που περιγράφηκε σε κάθε περίπτωση, εκφράζεται και με τον συντελεστή σπουδαιότητας  $\gamma_I$ , ώστε να ληφθεί υπόψη η διαφοροποίηση της αξιοπιστίας. Ο συντελεστής αυτός, λαμβάνει τιμές οι οποίες κυμαίνονται από: 0,8 έως 1,40, ανάλογα με την κατηγορία σπουδαιότητας (**Πίνακας 2.1**).<sup>[1, 2, 3, 4]</sup>

**Πίνακας 2.1.** Τιμές του συντελεστή σπουδαιότητας  $\gamma_I$ , ανάλογα με την κατηγορία σπουδαιότητας.

**Τιμές του Συντελεστή Σπουδαιότητας  $\gamma_I$**

Κατηγορία Σπουδαιότητας	I	II	III	IV
Συντελεστής Σπουδαιότητας $\gamma_I$	0,80	1,00	1,20	1,40

Ο σκοπός για την ικανοποίηση των δύο παραπάνω θεμελιωδών απαιτήσεων, ορίζεται από τις Εθνικές Αρχές, για τους διαφορετικούς τύπους κτιρίων και λοιπών έργων πολιτικού μηχανικού, με βάση τις συνέπειες της εκάστοτε αστοχίας. Έτσι, οι φορείς ταξινομούνται σε διαφορετικές κατηγορίες σπουδαιότητας, σε κάθε μία από τις οποίες καθορίζεται ένας συντελεστής σπουδαιότητας  $\gamma_I$ , ο οποίος όπου είναι δυνατόν, πρέπει να λαμβάνει μία συγκεκριμένη τιμή. Η τιμή αυτή, θα είναι τέτοια, ώστε να αντιστοιχεί σε υψηλότερη ή χαμηλότερη τιμή της περιόδου επαναφοράς του σεισμικού γεγονότος, συγκριτικά με την τιμή αναφοράς της περιόδου επαναφοράς, ανάλογα πάντα με την περίπτωση για την μελέτη της συγκεκριμένης κατηγορίας φορέων.<sup>[2]</sup>

Σύμφωνα με τις §2.1(4) και §3.2.1(3) του Ευρωκώδικα (E.C.8), η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση αναφοράς που επιλέγεται από τις Εθνικές Αρχές για κάθε μία σεισμική ζώνη, αντιστοιχεί στην τιμή αναφοράς της περιόδου επαναφοράς ( $T_{NCR}$ ) της σεισμικής δράσης για την απαίτηση μη κατάρρευσης ή διαφορετικά, την τιμή αναφοράς της πιθανότητας υπέρβασης ( $P_{NCR}$ ) στα 50 έτη ( $T_L$ ). Για την συγκεκριμένη τιμή αναφοράς της περιόδου επαναφοράς, ορίζεται συντελεστής σπουδαιότητας  $\gamma_I$ , ίσος με την μονάδα (1,00). Για τιμή της περιόδου επαναφοράς, η οποία είναι διαφορετική από την τιμή αναφοράς, η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού σε έδαφος τύπου A,  $a_{gR}$ , είναι ίση με  $a_{gR}$  επί τον συντελεστή σπουδαιότητας, δηλαδή:

$$\gamma_I(\alpha_g = \gamma_I * \alpha_{gR})$$

Τα διαφορετικά επίπεδα αξιοπιστίας, για την απαίτηση μη-κατάρρευσης και για την απαίτηση περιορισμού των βλαβών, λαμβάνονται με πολλαπλασιασμό της σεισμικής δράσης αναφοράς ή στην περίπτωση που χρησιμοποιείται γραμμική ανάλυση, των αντίστοιχων εντατικών μεγεθών ή μετακινήσεων, με αυτόν τον συντελεστή σπουδαιότητας. Λεπτομερείς οδηγίες σχετικά με τις κατηγορίες σπουδαιότητας και τους αντίστοιχους συντελεστές σπουδαιότητας παρέχονται στα σχετικά Μέρη του EN 1998.<sup>[2]</sup>

Τα κριτήρια συμμόρφωσης προς τις βασικές θεμελιώδεις απαιτήσεις που αναφέρθηκαν, είναι δύο οριακές καταστάσεις, οι οποίες πρέπει να ελέγχονται κατά τον σχεδιασμό και την μελέτη και είναι οι εξής:

➤ Οριακές καταστάσεις αστοχίας και

➤ Καταστάσεις περιορισμού των βλαβών (οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας).

Οι οριακές καταστάσεις αστοχίας, σχετίζονται με κατάρρευση ή άλλες μορφές δομικής αστοχίας, οι οποίες ενδέχεται να είναι επικίνδυνες για την ανθρώπινη ασφάλεια, ενώ, οι καταστάσεις περιορισμού των βλαβών, συνδέονται με βλάβες, πέρα από τις οποίες παύουν πλέον να ικανοποιούνται οι προκαθορισμένες απαιτήσεις λειτουργίας.<sup>[2]</sup>

Σύμφωνα με την §2.2.2 του Ευρωκώδικα (E.C.8), οι έλεγχοι που περιλαμβάνει η εξασφάλιση των οριακών καταστάσεων αστοχίας, είναι οι εξής:

1. Ο φορέας, θα πρέπει να ελέγχεται, με σκοπό να έχει εξασφαλισθεί πως έχει την απαιτούμενη αντοχή και ικανότητα απόδοσης ενέργειας, που καθορίζονται στα σχετικά μέρη του EN 1998.
2. Η αντοχή και η ικανότητα απόδοσης ενέργειας που θα καθοριστούν για τον εκάστοτε φορέα, εξαρτώνται από τον βαθμό εκμετάλλευσης της μη γραμμικής απόκρισής του. Η σχέση αυτή, μεταξύ της αντοχής και της ικανότητας απόδοσης ενέργειας, χαρακτηρίζεται από τις τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  και την κατηγορία πλαστιμότητας. Στην περίπτωση μελέτης φορέων, οι οποίοι κατατάσσονται στην κατηγορία με απαιτήσεις απόδοσης ενέργειας, δηλαδή πλαστικούς, ο συντελεστής συμπεριφοράς  $q$ , λαμβάνεται μεγαλύτερος από την τιμή 1,50 και μικρότερος από 3,90 ( $1,50 < q < 3,90$ ) για φορείς με Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (Κ.Π.Μ.), ενώ στην περίπτωση όπου η Κατηγορία Πλαστιμότητας είναι Υψηλή (Κ.Π.Υ.), ο συντελεστής συμπεριφοράς  $q$ , λαμβάνεται γενικώς μεγαλύτερος από την τιμή 4,00, για τα συνήθη στατικά συστήματα, ενώ ειδικότερα, κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 2,00 έως 5,85 ( $2,00 < q < 5,85$ ) και αντιπροσωπεύει την υστερητική απόδοση ενέργειας που εμφανίζεται κυρίως στις ζώνες ειδικού σχεδιασμού, οι οποίες αποκαλούνται ζώνες απόδοσης ενέργειας ή κρίσιμες περιοχές.<sup>[5]</sup>

3. Ο φορέας, θα πρέπει να ελέγχεται συνολικά, ώστε να εξασφαλισθεί ότι είναι ευσταθής υπό την σεισμική δράση σχεδιασμού. Συγκεκριμένα, εξετάζονται η ευστάθεια σε ανατροπή και σε ολίσθηση, με βάση τους κανόνες για τον έλεγχο ανατροπής φορέων, που δίνονται στα σχετικά μέρη του EN 1998.
4. Ακόμη, θα πρέπει να εξετάζεται ότι τόσο το έδαφος θεμελίωσης, όσο και τα μέλη αυτής, είναι ικανά για την ανάληψη των εντατικών μεγεθών που προκύπτουν από την απόκριση της ανωδομής, χωρίς σημαντικές μόνιμες παραμορφώσεις. Για τον καθορισμό των αντιδράσεων, θα πρέπει να δίνεται πολλή προσοχή στην πραγματική αντοχή που πιθανόν θα αναπτυχθεί από τα φέροντα στοιχεία που μεταφέρουν τις δράσεις.
5. Στην ανάλυση, θα λαμβάνεται υπόψη η ενδεχόμενη επιρροή αποτελεσμάτων δευτέρας τάξεως στις τιμές των αποτελεσμάτων δράσεως.
6. Τέλος, θα πρέπει να ελέγχεται ότι κατά την σεισμική δράση σχεδιασμού, η συμπεριφορά των διαφόρων μη-φερόντων στοιχείων, δεν θα προκαλέσει πιθανούς κινδύνους για ανθρώπους, αλλά δεν θα έχει και επιβλαβείς συνέπειες στην απόκριση των φερόντων στοιχείων.<sup>[2]</sup>

Σύμφωνα με την §2.2.3 του Ευρωκώδικα (E.C.8), η οριακή κατάσταση περιορισμού των βλαβών, περιλαμβάνει τις παρακάτω απαιτήσεις:

1. Θα πρέπει να εξασφαλίζεται ικανοποιητικός βαθμός αξιοπιστίας έναντι των ανεπιθύμητων βλαβών, μέσω της ικανοποίησης ορίων παραμόρφωσης ή άλλων σχετικών ορίων, τα οποία καθορίζονται στα σχετικά Μέρη του EN 1998.
2. Οι φορείς οι οποίοι είναι σημαντικοί για την αστική προστασία, απαιτείται να ελέγχονται, ώστε το φέρον σύστημά τους να διαθέτει ικανοποιητική αντοχή και δυσκαμψία, για την διατήρηση της λειτουργίας των εγκαταστάσεων υπηρεσιών ζωτικής σημασίας, υπό σεισμικά γεγονότα που αντιστοιχούν σε κατάλληλη περίοδο επαναφοράς.<sup>[2]</sup>

## Βιβλιογραφία

---

1. **Στεφανίδου Σ. (2007).** Αντισεισμικός Σχεδιασμός κτιρίων ΟΣ για σκοπούμενη επιτελεσματικότητα με τη βοήθεια ανελαστικών δυναμικών αναλύσεων. Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.
2. **Ευρωκώδικας 8-E.C.8 (EN 1998-1: 2004 GR).** Αντισεισμικός Σχεδιασμός, Μέρος 1: Γενικοί Κανόνες, Σεισμικές Δράσεις και Κανόνες για Κτίρια. Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση (C.E.N.). Σελ.: 31-34, 38.
3. **Στεφανίδου Σ. (2018).** Διάλεξη 1<sup>η</sup>. Σημειώσεις μαθήματος «Οπλισμένο Σκυρόδεμα ΙΙΙ». Α.Τ.Ε.Ι.Θ. Σελ.: 19-21.
4. **Εθνικό προσάρτημα Ευρωκώδικα 8- E.C.8 (EN 1998-1: 2004 GR).**
5. **Στεφανίδου Σ. (2018).** Διάλεξη 2<sup>η</sup>. Σημειώσεις μαθήματος «Οπλισμένο Σκυρόδεμα ΙΙΙ». Α.Τ.Ε.Ι.Θ. Σελ.: 41.



## 2.2 Δράσεις σχεδιασμού

### 2.2.1 Περιγραφή των δράσεων σχεδιασμού<sup>[1]</sup>

Σύμφωνα με τους υφιστάμενους κανονισμούς (Ευρωκώδικες), οι δράσεις με βάση τις οποίες γίνεται ο σχεδιασμός των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος (Ο.Σ.), είναι οι ακόλουθες:

1. **Οι μόνιμες και μεταβλητές (με διάρκεια) δράσεις**, οι οποίες, αναφέρονται στις συνθήκες κανονικής χρήσης.
2. **Οι τυχηματικές δράσεις**, οι οποίες παραπέμπουν σε εξαιρετικές συνθήκες, οι οποίες μπορεί να εμφανιστούν κατά την διάρκεια της ζωής μίας κατασκευής ή και όχι, όπως για παράδειγμα, αποτελεί: η πυρκαγιά, η έκρηξη, η πρόσκρουση, οι συνέπειες μίας τοπικής αστοχίας, κ.α.
3. **Οι σεισμικές δράσεις**, οι οποίες αφορούν την απόκριση του φορέα μίας κατασκευής σε σεισμικές διεγέρσεις.
4. **Οι παροδικές δράσεις**, οι οποίες σχετίζονται με καταστάσεις που εμφανίζονται στον φορέα για ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα, όπως για παράδειγμα κατά την διάρκεια της κατασκευής ή επισκευής.

### 2.2.2 Μόνιμες δράσεις σχεδιασμού<sup>[1]</sup>

Στις μόνιμες δράσεις, με χαρακτηριστική τιμή  $G_k$ , περιλαμβάνονται:

- ✓ το ίδιο βάρος της φέρουσας κατασκευής,
- ✓ το βάρος του οργανισμού πλήρωσης (τοιχοπληρώσεις), των επιστρώσεων (δάπεδα) και επικαλύψεων και
- ✓ γενικότερα το βάρος κάθε πρόσθετης κατασκευής, η οποία, πρόκειται να παραμείνει μόνιμως στο έργο.

$$G_d = \gamma_g * G_k$$

**Πίνακας 2.2.** Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας  $\gamma_g$ .

Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας $\gamma_g$			
Οριακές καταστάσεις	Συνδυασμοί	Επιρροή δράσης	
		Δυσμενής	Ευμενής
Αστοχίας	Βασικοί	1.35	1.00
	Τυχηματικοί	1.00	1.00
Λειτουργικότητας	Βασικοί	1.00	1.00

### 2.2.3 Μεταβλητές δράσεις σχεδιασμού<sup>[1]</sup>

Στις μεταβλητές δράσεις, με χαρακτηριστική τιμή  $Q_k$ , περιλαμβάνονται:

- ✓ τα ωφέλιμα φορτία μίας κατασκευής, όπως για παράδειγμα αποτελεί ο εξοπλισμός, οι ένοικοι, τα οχήματα, κ.α.,
- ✓ περιβαλλοντικές δράσεις, όπως είναι ο άνεμος, το χιόνι, κ.τ.λ. και

- ✓ έμμεσες δράσεις / επιβαλλόμενες παραμορφώσεις, όπως είναι οι διαφορικές καθιζήσεις, η θερμοκρασία, η συστολή ξήρανσης, κ.α.

$$Q_d = \gamma_q * Q_k$$

**Πίνακας 2.3.** Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας  $\gamma_q$ .

Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας $\gamma_q$			
Οριακές καταστάσεις	Συνδυασμοί	Επιρροή δράσης	
		Δυσμενής	Ευμενής
Αστοχίας	Βασικοί	1.50	0.00
	Τυχηματικοί	1.00	0.00
Λειτουργικότητας	Βασικοί	1.00	0.00

### 2.2.4 Συντελεστές ασφαλείας και συνδυασμοί δράσεων σχεδιασμού<sup>[2]</sup>

Οι συντελεστές ασφαλείας, για τις Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας (Ο.Κ.Α.), δηλαδή **με απουσία σεισμού**, έχουν ως εξής:

- ▶ **Μόνιμα φορτία**  $\gamma_G = 1,35$
- ▶ **Κινητά φορτία**  $\gamma_Q = 1,50$

Για τον τυχηματικό συνδυασμό των δράσεων, δηλαδή λαμβάνοντας υπόψη την **παρουσία σεισμού**, οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας μεταβάλλονται ως εξής:

- ▶ **Μόνιμα φορτία**  $\gamma_G = 1,00$
- ▶ **Κινητά φορτία**  $\gamma_Q = 1,00$

Ωστόσο, οι συνδυασμοί των δράσεων, με βάση τους οποίους γίνεται ο σχεδιασμός των φορέων, είναι ο βασικός συνδυασμός δράσεων (χωρίς σεισμό) και ο σεισμικός συνδυασμός δράσεων, όπως παρακάτω:

$$E_{d1} = E * (\gamma_G * G_k + \gamma_Q * Q_k) = E * (1,35 * G_k + 1,50 * Q_k) \leftarrow \text{Βασικός Συνδυασμός Δράσεων}$$

$$E_E = E * (G_k + A_{Ek} + \psi_{2,i} * Q_k) = E * (G_k + A_{Ek} + 0,30 * Q_k) \leftarrow \text{Σεισμικός Συνδυασμός Δράσεων}$$

όπου:

- $A_{Ek}$ : είναι η χαρακτηριστική τιμή της σεισμικής δράσης και
- $\psi_{2,i}$ : είναι ο συντελεστής συνδυασμού δράσεων για τον οιονεί-μόνιμο συνδυασμό, με τιμή ίση με: 0,30· ο συντελεστής αυτός, λαμβάνει υπόψη την πιθανότητα να μην υπάρχει το σύνολο των θεωρούμενων μεταβλητών φορτίων στην κατασκευή, κατά την σεισμική διέγερση, ενώ συμπεριλαμβάνει την πιθανότητα μειωμένης συμμετοχής των μαζών στη σεισμική κίνηση, χάρη στην μη άκαμπτη σύνδεσή τους.

## Βιβλιογραφία

---

1. **Στεφανίδου Σ. (2018)**. Διάλεξη 2<sup>η</sup>. Σημειώσεις μαθήματος «Οπλισμένο Σκυρόδεμα III». Α.Τ.Ε.Ι.Θ. Σελ.: 8, 11-12.
2. **Στεφανίδου Σ. (2007)**. Αντισεισμικός Σχεδιασμός κτιρίων ΟΣ για σκοπούμενη επιτελεσματικότητα με τη βοήθεια ανελαστικών δυναμικών αναλύσεων. Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ. Σελ.: 44.

## 2.3 Συντελεστής συμπεριφοράς q

### 2.3.1 Γενική ανάλυση του συντελεστή συμπεριφοράς q και υπολογισμός επιμέρους παραμέτρων του

Ο συντελεστής συμπεριφοράς q, είναι ένας συντελεστής για την μείωση του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού, σχεδιάζοντας τελικά για μειωμένες δυνάμεις, δεχόμενοι βλάβες και μειωμένες παραμορφώσεις. Η ανώτατη τιμή του συντελεστή αυτού, προκειμένου να εκφράσει την ικανότητα απόδοσης ενέργειας, υπολογίζεται για κάθε διεύθυνση σχεδιασμού, από την γενική σχέση:

$$q = q_o * k_w \geq 1,50$$

όπου:

- $q_o$ : είναι η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς, η οποία εξαρτάται από τον τύπο του στατικού συστήματος και από την κανονικότητά του σε όψη [§5.2.2.2(2), E.C.8] και
- $k_w$ : είναι συντελεστής που εκφράζει την επικρατούσα μορφή αστοχίας σε στατικά συστήματα με τοιχώματα [§5.2.2.2(11), E.C.8].

Η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς,  $q_o$ , μπορεί να ευρεθεί από τον παρακάτω **Πίνακα 2.4.**, ο οποίος παρέχεται στον κανονισμό (E.C.8), αλλά και τον **Πίνακα 2.5**, ανάλογα με τον τύπο του εκάστοτε στατικού συστήματος και την κατηγορία πλαστιμότητας.

**Πίνακας 2.4.** Βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς,  $q_o$ , για συστήματα κανονικά σε όψη.<sup>[4]</sup>

ΤΥΠΟΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	ΚΠΜ	ΚΠΥ
Πλαισιωτό σύστημα, διπλό σύστημα, σύστημα συζευγμένων τοιχωμάτων	3,0 $\alpha_w/\alpha_1$	4,5 $\alpha_w/\alpha_1$
Σύστημα ασύζευκτων τοιχωμάτων	3,0	4,0 $\alpha_w/\alpha_1$
Στρεπτικά εύκαμπτο σύστημα	2,0	3,0
Σύστημα ανεστραμμένου εκκρεμούς	1,5	2,0

**!Σημειώνεται** ότι για κτίρια **ΜΗ** κανονικά σε όψη, η τιμή του  $q_o$ , θα πρέπει να μειώνεται κατά 20%, εφόσον όμως ο συντελεστής συμπεριφοράς q, παραμένει μεγαλύτερος από 1,50, όπως απαιτείται ( $q > 1,50$ ).<sup>[1, 4]</sup>

**Πίνακας 2.5.** Τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ , κτιρίων Ο/Σ, που σχεδιάζονται για αυξημένη Πλαστιμότητα, κατά τον Ευρωκώδικα (Ε.С.8).<sup>[5]</sup>

Δομικό σύστημα	Κανονικό καθ' ύψος και σε κάτοψη			Κανονικό καθ' ύψος, όχι σε κάτοψη			Κανονικό σε κάτοψη, όχι καθ' ύψος			Μη-κανονικό σε κάτοψη και καθ' ύψος		
	ΕΑΚ	EC8		ΕΑΚ	EC8		ΕΑΚ	EC8		ΕΑΚ	EC8	
		DCM	DCH		DCM	DCH		DCM	DCH		DCM	DCH
Στρεπτικά ευαίσθητο	3.5*	2.0	3.0	3.5*	2.0	3.0	3.5*	1.6	2.4	3.5*	1.6	2.4
Ανεστραμμένο εκκρεμές	2.0	1.5	2.0	2.0	1.5	2.0	2.0	1.5	1.6	2.0	1.5	1.6
Τοιχωματικό με >2 ασύζευκτα τοιχώματα/διεύθυνση	3.0	3.0	4.4	3.0	3.0	4.2	3.0	2.4	3.5	3.0	2.4	3.35
Τοιχωματικό με 2 ασύζευκτα τοιχώματα/διεύθυνση	3.0	3.0	4.0	3.0	3.0	4.0	3.0	2.4	3.2	3.0	2.4	3.2
Μικτό τοιχωματικό, τοιχωματικό συζευγμένων τοιχωμάτων ή πολυώροφο πλαίσιακό ή μικτό πλαίσιακό με ένα άνοιγμα	3.5	3.6	5.4	3.5	3.3	4.95	3.5	2.9	4.3	3.5	2.65	3.95
Πολυώροφο πλαίσιακό ή μικτό πλαίσιακό	3.5	3.9	5.85	3.5	3.45	5.2	3.5	3.1	4.7	3.5	2.75	4.15
Μονώροφο πλαίσιακό ή μικτό πλαίσιακό	3.5	3.3	4.95	3.5	3.15	4.7	3.5	2.65	3.95	3.5	2.5	3.8

Τα  $\alpha_u$  και  $\alpha_1$ , ορίζονται ως εξής:

- $\alpha_u$ : είναι η τιμή με την οποία πρέπει να πολλαπλασιαστεί η οριζόντια σεισμική δράση σχεδιασμού, για να αναπτυχθούν **πλαστικές αρθρώσεις σε τόσες θέσεις ώστε να σχηματιστεί πλήρως πλαστικός μηχανισμός**, ενώ όλες οι άλλες δράσεις σχεδιασμού παραμένουν σταθερές και
- $\alpha_1$ : είναι η τιμή με την οποία πρέπει να πολλαπλασιαστεί η οριζόντια σεισμική δράση σχεδιασμού, ώστε για πρώτη φορά, η καμπτική επιπόνηση **να γίνει ίση με την καμπτική αντοχή σε οποιοδήποτε στοιχείο στον φορέα**, ενώ όλες οι άλλες δράσεις σχεδιασμού παραμένουν σταθερές.<sup>[4]</sup>

Ο συντελεστής  $\alpha_u$ , μπορεί να υπολογιστεί από μη-γραμμική στατική γενική ανάλυση. οι δύο αυτές τιμές  $\alpha_u$  και  $\alpha_1$  και κατά συνέπεια ο λόγος τους, υπολογίζονται με δύο τρόπους:

- i. είτε μέσω μη-γραμμικής στατικής ανάλυσης, με την χρήση διαγράμματος,
- ii. είτε προσεγγιστικά, συναρτήσει του τύπου του στατικού συστήματος και του αριθμού των ορόφων της εκάστοτε κατασκευής.<sup>[1, 4]</sup>

Ωστόσο, όταν ο πολλαπλασιαστικός συντελεστής  $\alpha_u / \alpha_1$ , δεν έχει υπολογιστεί με ειδικό υπολογισμό, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθες προσεγγιστικές τιμές  $\alpha_u / \alpha_1$ , για κτίρια κανονικά σε κάτοψη, με:<sup>[4]</sup>

1. Πλασιωτά συστήματα ή ισοδύναμα προς πλασιωτά διπλά συστήματα, λαμβάνονται οι παρακάτω τιμές, κατά περίπτωση:
  - μονώροφα κτίρια:  $\alpha_u / \alpha_1 = 1,10$ ,
  - πολυώροφα δίστυλα πλασιωτά κτίρια:  $\alpha_u / \alpha_1 = 1,20$  και

- πολυώροφα πολύστυλα πλαισιωτά κτίρια ή ισοδύναμα προς αυτά διπλά συστήματα:  $\alpha_u / \alpha_1 = 1,30$ .
2. Συστήματα τοιχωμάτων ή ισοδύναμα προς αυτά διπλά συστήματα, λαμβάνονται οι παρακάτω τιμές, κατά περίπτωση:
- συστήματα τοιχωμάτων με μόνον δύο ασύζευκτα τοιχώματα σε κάθε οριζόντια διεύθυνση:  $\alpha_u / \alpha_1 = 1,00$ ,
  - Άλλα συστήματα ασύζευκτων τοιχωμάτων:  $\alpha_u / \alpha_1 = 1,10$  και
  - Ισοδύναμα προς τοιχώματα διπλά συστήματα ή συστήματα συζευγμένων τοιχωμάτων:  $\alpha_u / \alpha_1 = 1,20$ .

**!Σημειώνεται** ότι:

1. Για κτίρια **ΜΗ** κανονικά σε κάτοψη, η προσεγγιστική τιμή του  $\alpha_u / \alpha_1$ , που μπορεί να χρησιμοποιηθεί εάν δεν γίνει ειδικός υπολογισμός για την αποτίμησή του, είναι ίση με την μέση τιμή μεταξύ της μονάδας (1,00) και της τιμής που δίνεται στην αμέσως προηγούμενη παράγραφο, ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση.
2. Ακόμη, υψηλότερες τιμές του  $\alpha_u / \alpha_1$ , από αυτές που δίνονται στην αμέσως προηγούμενη παράγραφο και την πρώτη παρατήρηση της παρούσας σημείωσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εφόσον επιβεβαιώνονται από μη-γραμμική στατική γενική ανάλυση.
3. Τέλος, η μέγιστη τιμή του  $\alpha_u / \alpha_1$ , που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην μελέτη είναι ίση με: 1,50, ακόμα και όταν η ανάλυση που αναφέρεται στην δεύτερη παρατήρηση της παρούσας σημείωσης, οδηγεί σε υψηλότερες τιμές.<sup>[4]</sup>

Ο συντελεστής  $k_w$ , ο οποίος εκφράζει την κυρίαρχη μορφή αστοχίας σε στατικά συστήματα με τοιχώματα θα λαμβάνεται ως εξής:

$$k_w = \begin{cases} 1,00 & \text{για πλαισιωτά και ισοδύναμα προς πλαισιωτά συστήματα τοιχωμάτων} \\ \frac{1 + \alpha_o}{3} \leq 1,00 & \text{αλλά όχι μικρότερη από 0,50, για συστήματα τοιχωμάτων,} \\ & \text{ισοδύναμα προς τοιχώματα διπλά συστήματα και στρεπτικά} \\ & \text{εύστρεπτα συστήματα} \end{cases}$$

όπου:

- $\alpha_o$ : είναι κυριαρχούσα τιμή του λόγου όψεως των τοιχωμάτων του στατικού συστήματος και υπολογίζεται προσεγγιστικά από την παρακάτω σχέση, εφόσον οι λόγοι όψεως  $h_{wi} / l_{wi}$  όλων των τοιχωμάτων  $i$  του στατικού συστήματος, δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές:

$$\alpha_o = \frac{\sum h_{wi}}{\sum l_{wi}}$$

όπου:

- ▶  $h_{wi}$ : είναι το ύψος του τοιχώματος  $i$  και
- ▶  $l_{wi}$ : είναι το μήκος της διατομής του τοιχώματος  $i$ .<sup>[1, 4]</sup>

### 2.3.2 Επίσημος ορισμός συντελεστή συμπεριφοράς $q$ <sup>[2]</sup>

Ο συντελεστής συμπεριφοράς  $q$ , με τον τρόπο που χρησιμοποιείται από τους κανονισμούς, αποτελεί μία προσπάθεια να καθορισθεί, για κάθε είδος κατασκευής, ένας **αποτελεσματικός λόγος**:

- των **μέγιστων σεισμικών δυνάμεων**, που θα αναπτύσσονταν στο δομικό σύστημα, για πλήρως ελαστική απόκριση και ιξώδη απόσβεση 5%

#### προς τις

- **σεισμικές δυνάμεις**, που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για τον σχεδιασμό του δομικού συστήματος, με χρήση απλής ελαστικής ανάλυσης, ώστε αυτή η απλοποιημένη διαδικασία, να εξασφαλίζει σε περίπτωση υλοποίησης του σεισμού σχεδιασμού, ασφαλή ανελαστική απόκριση, με το επιθυμητό επίπεδο ανελαστικοποίησης (αποδεκτό επίπεδο δομικών βλαβών).

**!Σημειώνεται** ότι, η επιτυχία του σχεδιασμού με την διαδικασία αυτή, εξαρτάται κυρίως από την αποτελεσματικότητα των διατάξεων που προδιαγράφει ο κανονισμός για:

- i. τον Ικανοτικό Σχεδιασμό και
- ii. τις λεπτομέρειες όπλισης.

### 2.3.3 Παράγοντες επιρροής συντελεστή συμπεριφοράς $q$ <sup>[3]</sup>

Ο δείκτης συμπεριφοράς  $q$ , μπορεί προσεγγιστικά να θεωρηθεί ως ο λόγος των σεισμικών δυνάμεων που θα δρούσαν σε μία κατασκευή, εάν η απόκρισή της ήταν πλήρως ελαστική, προς τις αντίστοιχες δυνάμεις που θα χρησιμοποιηθούν σε έναν ισοδύναμο σχεδιασμό, με ένα συμβατικό ελαστικό μοντέλο, με ταυτόχρονη εξασφάλιση της δυνατότητας ανάπτυξης μεγάλων πλαστικών παραμορφώσεων, ικανών να απορροφήσουν την ενέργεια ενός μεγάλου σεισμού, χωρίς κατάρρευση. Ωστόσο, η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ , εξαρτάται από:

- ✓ την στάθμη της πλαστιμότητας (D.C.M. ή D.C.H.) και συγκεκριμένα, αυξάνεται με την αύξηση της στάθμης της πλαστιμότητας,
- ✓ την κανονικότητα της κατασκευής καθ' ύψος,
- ✓ την ευστρεψία του συστήματος και
- ✓ την ύπαρξη ή όχι *pilotis* (ανεστραμμένο εκκρεμές).

1. **Στεφανίδου Σ. (2018)**. Διάλεξη 2<sup>η</sup>. Σημειώσεις μαθήματος «Οπλισμένο Σκυρόδεμα III». Α.Τ.Ε.Ι.Θ. Σελ.: 22, 42-45.
2. **Καραγιάννης Χρ. (2016)**. Σχεδιασμός Συμπεριφορά Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα έναντι Σεισμού. Εκδόσεις "Σοφία". Θεσσαλονίκη (Ελλάδα), 2016. Σελ.: 58-60, 68-74.
3. **Στεφανίδου Σ. (2007)**. Αντισεισμικός Σχεδιασμός κτιρίων ΟΣ για σκοπούμενη επιτελεστικότητα με τη βοήθεια ανελαστικών δυναμικών αναλύσεων. Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ. Σελ.: 10-11.
4. **Ευρωκώδικας 8-E.C.8 (EN 1998-1: 2004 GR)**. Αντισεισμικός Σχεδιασμός, Μέρος 1: Γενικοί Κανόνες, Σεισμικές Δράσεις και Κανόνες για Κτίρια. Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση (C.E.N.). Σελ.: 88-91.
5. **Νικολή Μ. (2011)**. Συγκριτική Αποτίμηση της επιρροής της Κατηγορίας Πλαστιμότητας κατά τον Ευρωκώδικα 8 στον Προϋπολογισμό Κτιρίων Ο.Σ. Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ. Σελ.: 46.



## 2.4 Γραμμικές μέθοδοι ανάλυσης και έλεγχοι λειτουργικότητας

### 2.4.1 Εισαγωγή στις γραμμικές μεθόδους ανάλυσης

Οι γραμμικές μέθοδοι ανάλυσης των κατασκευών που προβλέπονται από τον υφιστάμενο αντισεισμικό κανονισμό (E.C.8), είναι οι παρακάτω δύο:

- i. **Δυναμική φασματική μέθοδος** (κατά E.C.8 modal response spectrum analysis-ιδιομορφική ανάλυση με φάσμα απόκρισης), η οποία αποτελεί δυναμική ανάλυση, με επαλληλία ιδιομορφών και χρήση απλοποιημένου φάσματος σχεδιασμού.
- ii. **Απλοποιημένη φασματική μέθοδος** (κατά E.C.8 lateral force method of analysis-μέθοδος ανάλυσης με οριζόντια φόρτιση), η οποία πρόκειται για στατική ανάλυση με ισοδύναμη οριζόντια φόρτιση, η οποία προσδιορίζεται με χρήση ομαλοποιημένου φάσματος σχεδιασμού (ισοδύναμη στατική μέθοδος).

Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του φορέα του κτιρίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία από τις δύο αυτές προβλεπόμενες μεθόδους γραμμικής-ελαστικής ανάλυσης. Ωστόσο, η Δυναμική φασματική μέθοδος, θεωρείται γενικής εφαρμογής, μπορεί δηλαδή να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις περιπτώσεις τύπων κτιρίων, ενώ η Απλοποιημένη φασματική μέθοδος, επιτρέπεται να εφαρμοσθεί για τον σχεδιασμό κατασκευών, μόνο όταν τηρούνται ορισμένες προϋποθέσεις όπως αναλύονται παρακάτω.<sup>[1]</sup>

### 2.4.2 Δυναμική φασματική μέθοδος

Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο, η μέγιστη απόκριση της κατασκευής, προκύπτει από επαλληλία, έπειτα από κατάλληλη διαδικασία, με τις μέγιστες αποκρίσεις των ιδιομορφών. Η μέγιστη απόκριση κάθε ιδιομορφής, λαμβάνεται με βάση το φάσμα επιταχύνσεων σχεδιασμού.<sup>[1]</sup> Συγκεκριμένα, βάσει της §4.3.3.3.1 του Ευρωκώδικα (E.C.8), θα λαμβάνεται υπόψη η απόκριση όλων των ιδιομορφών ταλάντωσης που συμβάλλουν σημαντικά στη συνολική απόκριση, δηλαδή οι «σημαντικότερες ιδιομορφές»: αυτό, θεωρείται ότι ικανοποιείται εάν μπορεί να αποδειχθεί οποιαδήποτε από τις ακόλουθες συνθήκες:

- ✓ το άθροισμα των δρυσών ιδιομορφικών μαζών για τις ιδιομορφές που λαμβάνονται υπόψη είναι τουλάχιστον το 90% της συνολικής μάζας του φορέα, **είτε**
- ✓ λαμβάνονται υπόψη όλες οι ιδιομορφές με δρώσες ιδιομορφικές μάζες μεγαλύτερες από το 5% της συνολικής μάζας.<sup>[3]</sup>

**!Σημειώνεται** ότι η δρώσα ιδιομορφική μάζα  $m_k$ , που αντιστοιχεί σε ιδιομορφή  $k$ , καθορίζεται έτσι ώστε η τέμνουσα δύναμη βάσης  $F_{bk}$ , που δρα στην διεύθυνση εφαρμογής της σεισμικής δράσης, να μπορεί να εκφραστεί ως  $F_{bk} = S_d(T_k) * m_k$ . Αποδεικνύεται ότι το άθροισμα των δρυσών ιδιομορφικών μαζών (για όλες τις ιδιομορφές και μια δεδομένη διεύθυνση) είναι ίσο με τη μάζα του φορέα. Ακόμη, όταν χρησιμοποιείται χωρικό προσομοίωμα, οι παραπάνω συνθήκες πρέπει να ελέγχονται σε κάθε απαιτούμενη διεύθυνση.<sup>[3]</sup>

Όσον αφορά την επαλληλία των ιδιομορφών που αναφέρθηκε παραπάνω, συνίσταται από τον κανονισμό (§4.3.3.3.2, E.C.8), η εφαρμογή της σύμφωνα με την μέθοδο της **τετραγωνικής ρίζας του αθροίσματος των τετραγώνων των επιμέρους μεγίστων ιδιομορφικών αποκρίσεων (S.R.S.S. method)**. Έτσι, εάν για παράδειγμα  $x_i$ , είναι η τιμή της μέγιστης απόκρισης του μεγέθους  $X$  (μέγεθος έντασης ή παραμόρφωσης) κατά την  $i$  ιδιομορφή, τότε οι αντίστοιχες ακραίες τιμές:  $ex X$  (μέγιστη και ελάχιστη) κατά την απόκριση του συστήματος, μπορούν να λαμβάνονται από την ακόλουθη σχέση:

$$ex X = \pm \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_k^2} \quad (1)$$

όπου:

- **k**: είναι ο αριθμός των σημαντικών ιδιομορφών.

Για την εφαρμογή της επαλληλίας με βάση την παραπάνω σχέση, απαιτείται όλες οι ιδιομορφές που λαμβάνονται υπόψη, να είναι μεταξύ τους ασυσχέτιστες. Δύο διαφορετικές ιδιομορφές  $i$  και  $j$ , θεωρούνται ασυσχέτιστες όταν ισχύει η παρακάτω ανίσωση μεταξύ τους:

$$T_j \leq 0,90 * T_i$$

Σε κάθε διαφορετική περίπτωση, δηλαδή όταν οι δύο ιδιομορφές δεν είναι ασυσχέτιστες, θα πρέπει να εφαρμοστούν ακριβέστερες μέθοδοι, όπως ο «Πλήρης Τετραγωνικός Συνδυασμός» (C.Q.C.-κανόνας: Complete Quadratic Combination), όπου ο συντελεστής συσχέτισής τους  $\epsilon_{ij}$ , προσδιορίζεται από την σχέση:

$$\epsilon_{ij} = \frac{8\zeta^2 * (1 + r) * r^{3/2}}{[10^4 * (1 - r^2)] + [4\zeta^2 * r * (1 + r)^2]}$$

Και έτσι, για την περίπτωση αυτή κατά την οποία οι ιδιομορφές δεν είναι ασυσχέτιστες, η σχέση (1), μετατρέπεται ως εξής:<sup>[1, 3]</sup>

$$ex X = \pm \sqrt{\sum_i \sum_j (\epsilon_{ij} * X_i * X_j)}$$

#### 2.4.2.1 Βήματα εφαρμογής της Δυναμικής φασματικής μεθόδου

Η Δυναμική φασματική μέθοδος, με βάση τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω στην ανάλυσή της, εφαρμόζεται ακολουθώντας τα παρακάτω τέσσερα (4) βήματα με την σειρά που αναφέρονται:

1. Αρχικά υπολογίζονται όλες οι ιδιομορφές και οι αντίστοιχες ιδιοπερίοδοι του συστήματος. Συνήθως, απαιτείται να ληφθεί υπόψη ένας περιορισμένος μόνο αριθμός ιδιομορφών, οι οποίες ονομάζονται **σημαντικές ιδιομορφές**.
2. Έπειτα, υπολογίζεται η μέγιστη απόκριση κάθε ιδιομορφής, με την χρήση του φάσματος επιταχύνσεων σχεδιασμού.
3. Στην συνέχεια, γίνεται επαλληλία των μέγιστων αποκρίσεων των ιδιομορφών, με την κατάλληλη μέθοδο (όπως αναλύεται στην §2.4.2, του παρόντος), προκειμένου να εκτιμηθεί η μέγιστη απόκριση του συστήματος. Αυτό συμβαίνει για κάθε συνιστώσα της σεισμικής δράσης σχεδιασμού.
4. Τέλος, εφαρμόζεται επαλληλία, με κατάλληλη μέθοδο των μέγιστων αποκρίσεων, με σκοπό την ταυτόχρονη δράση των συνιστωσών του σεισμού.<sup>[1]</sup>

#### 2.4.3 Απλοποιημένη φασματική μέθοδος

Κατά την μέθοδο αυτή, εφαρμόζονται στην κατασκευή ισοδύναμα στατικά φορτία, τα οποία προκαλούν σε αυτή παραμορφώσεις παραπλήσιες με εκείνες της Πρώτης Ιδιομορφής και υπολογίζονται βάσει της φασματικής επιτάχυνσης σχεδιασμού. Η τελευταία, προσδιορίζεται από το φάσμα σχεδιασμού, με την χρήση της θεμελιώδους ιδιοπερίόδου της κατασκευής, η οποία συνήθως, είναι η ιδιοπερίοδος της Πρώτης Ιδιομορφής. Σε κάθε περίπτωση, οι φορτίσεις εφαρμόζονται στην κατασκευή δύο (2) φορές, κατά δύο (2) κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις και για να καλύπτουν αυτές οι φορτίσεις, σε ικανοποιητικό βαθμό την πραγματική απόκριση της κατασκευής σε σεισμικές διεγέρσεις, θα πρέπει:

- ✓ Η κατασκευή να ταλαντώνεται σε μεγάλο βαθμό, σύμφωνα με την Πρώτη Ιδιομορφή.
- ✓ Η κίνησή της, να είναι κυρίως μεταφορική, δηλαδή να μην περιλαμβάνει όσο είναι εφικτό στροφή.

Αυτό σημαίνει πως για κάθε μία από τις δύο (2) αυτές διευθύνσεις, η ιδιομορφή με υψηλό ποσοστό συμμετοχής στην σεισμική απόκριση, θα πρέπει να είναι κυρίως η πρώτη μεταφορική και για αυτούς τους λόγους, οι διευθύνσεις φόρτισης, επιλέγεται να είναι παράλληλες προς τις κύριες διευθύνσεις του κτιρίου.<sup>[1]</sup>

Σε αντίθεση με την Δυναμική Φασματική, η Απλοποιημένη Φασματική Μέθοδος, εφαρμόζεται για το σχεδιασμό μίας κατασκευής, μόνο εφόσον τηρούνται οι δύο (2) εξής προϋποθέσεις:

- i. το εκάστοτε κτίριο, θα πρέπει να ικανοποιεί τα κριτήρια για κανονικότητα σε όψη, όπως περιγράφονται στον κανονισμό (§4.2.3.3 και §4.3.6.3.2, E.C.8), όπου ελέγχονται: **α) η συνέχεια των κατακόρυφων στοιχείων, β) η καθ' ύψος συνέχεια των τοιχοπληρώσεων και γ) οι εσοχές** και
- ii. να έχει θεμελιώδεις περιόδους ταλάντωσης ( $T_1$ ), στις δύο (2) κύριες διευθύνσεις ( $T_{1x}$  και  $T_{1y}$ ), οι οποίες ικανοποιούν την συνθήκη:

$$T_{1x} \leq \max(4T_c \text{ ή } 2,00\text{sec}) \text{ και αντίστοιχα}$$

$$T_{1y} \leq \max(4T_c \text{ ή } 2,00\text{sec})$$

όπου:

- $T_c$ : είναι η περίοδος άνω ορίου του κλάδου σταθερής φασματικής επιτάχυνσης.

Ωστόσο, εάν το κτίριο που μελετάται, **ΔΕΝ είναι κανονικό σε όψη**, επιβάλλεται από τον κανονισμό (E.C.8), να γίνεται εφαρμογή της Δυναμικής Φασματικής Μεθόδου, η οποία όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι γενικής εφαρμογής, και στην περίπτωση αυτή, οι τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ , πολλαπλασιάζονται επί 0,80, λαμβάνονται δηλαδή μειωμένες κατά 20%.<sup>[1,3]</sup>

#### 2.4.3.1 Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος κατασκευής T

Η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος της ταλάντωσης κατά την διεύθυνση της σεισμικής δράσης για την οποία μελετάται και τελικά σχεδιάζεται μία κατασκευή, δηλαδή η ιδιοπερίοδος της Πρώτης Ιδιομορφής, επιτρέπεται βάσει του κανονισμού (E.C.8) να υπολογίζεται με οποιαδήποτε από τις περιεχόμενες προσεγγιστική μέθοδο της δυναμικής των κατασκευών. Αναφέρονται προσεγγιστικές μέθοδοι για τις διάφορες πιθανές περιπτώσεις, όπως:

- για κατασκευές με ύψος έως και τα 40(m),
- για κατασκευές με καθαρά Πλαισιακό στατικό σύστημα,
- για κατασκευές των οποίων το στατικό σύστημα αποτελείται από Πλαίσια και Τοιχώματα (διπλό στατικό σύστημα) ή/και Τοιχοποιίες Πλήρωσης,
- για κτίρια με Τοιχωματικό στατικό σύστημα.

Παράλληλα με τις προσεγγιστικές μεθόδους, παρέχονται από τον κανονισμό (§4.3.3.2.2, E.C.8) και εναλλακτικοί τρόποι εκτίμησης της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου ταλάντωσης ενός κτιρίου κατά την διεύθυνση της σεισμικής δράσης, με χρήση διαφόρων προτεινόμενων μαθηματικών σχέσεων. Ωστόσο, όλες αυτές οι συνθήκες, έχουν προσεγγιστικό χαρακτήρα όπως αναφέρθηκε, και για τον λόγο αυτό, στην παρούσα παράγραφο, θα αναλυθεί η συνεπέστερη και ευρείας αποδοχής και εφαρμογής σχέση, η οποία δίνει την τιμή της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, βάσει της μεθόδου Rayleigh. Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο:

1. αρχικά εφαρμόζονται στους ορόφους:  $i = 1, 2, \dots, N$ , δυνάμεις:  $F_i$
2. έπειτα υπολογίζονται οι οριζόντιες μετατοπίσεις  $\delta_i$  που έχουν προκληθεί στην κατασκευή, στις στάθμες των ορόφων, λόγω των δυνάμεων  $F_i$  και τέλος
3. με την βοήθεια των τιμών  $F_i$  και  $\delta_i$  που έχουν ληφθεί, η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος, υπολογίζεται με σχετικά καλύτερη προσέγγιση από την σχέση:

$$T = 2\pi * \left( \frac{\sum_{i=1}^N W_i * \delta_i^2}{\sum_{i=1}^N F_i * \delta_i} \right)$$

όπου:

- $F_i$ : είναι οριζόντιες δυνάμεις που εφαρμόζονται στους ορόφους  $i = 1, 2, \dots, N$ ,
- $\delta_i$ : είναι οι οριζόντιες μετατοπίσεις της κατασκευής που προκύπτουν από τις δυνάμεις  $F_i$  στα επίπεδα των ορόφων και
- $W_i$ : είναι το βάρος του ορόφου  $i$ .

**!Σημειώνεται** ότι το αποτέλεσμα για την εκτίμηση της  $T$  από την παραπάνω σχέση, δεν επηρεάζεται σημαντικά από το μέγεθος των δυνάμεων  $F_i$  που εκλέγονται. Παρόλα αυτά, η κατάλληλη εκλογή τους, περιορίζει την ανάγκη για επανάληψη της διαδικασίας.<sup>[1]</sup>

#### 2.4.3.2 Τέμνουσα βάσης

Για τον υπολογισμό της τέμνουσας βάσης, απαιτούνται οι τιμές του φάσματος επιταχύνσεων σχεδιασμού, με την αντίστοιχη χρήση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, όπως αυτή εκτιμάται από την σχέση που αναλύθηκε παραπάνω. Το συνολικό μέγεθος των σεισμικών φορτίων  $F_b$  (τέμνουσα βάσης), υπολογίζεται από την σχέση:

$$F_b = S_d(T) * m * \lambda$$

όπου:

- $m$ : είναι η συνολική ταλαντούμενη μάζα της κατασκευής,
- $S_d(T)$ : είναι η τιμή της φασματικής επιτάχυνσης σχεδιασμού,
- $T$ : είναι η θεμελιώδης περίοδος ταλαντώσεως της κατασκευής και
- $\lambda$ : είναι ο συντελεστής διόρθωσης, ο οποίος δηλώνει ότι στην Πρώτη Ιδιομορφή, η συμμετοχή της δρώσας μάζας, είναι μικρότερη από το 85% της συνολικής ταλαντούμενης μάζας του κτιρίου:

$$\lambda = 0,85 \text{ \acute{e}\acute{a}\nu } T \leq 2T_c \text{ \textit{ και το κτίριο διαθέτει πάνω από δύο (2) ορόφους,}$$

$$\lambda = 1,00 \text{ σε κάθε άλλη περίπτωση.}^{[1]}$$

#### 2.4.3.3 Καθ' ύψος κατανομή σεισμικών φορτίων<sup>[1]</sup>

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, αφού υπολογιστεί η τέμνουσα βάσης, θα πρέπει να γίνει και η κατανομή της στα επίπεδα των ορόφων, με την μορφή συνιστωσών οριζόντιων δυνάμεων. Κατά την κατανομή αυτή, επιδιώκεται οι συνιστώσες δυνάμεις που σχηματίζονται, να δημιουργήσουν στην κατασκευή παραμορφώσεις, όμοιες με εκείνες που θα προξενούσε η αντίστοιχη σεισμική διέγερση σχεδιασμού (μέγιστες τιμές). Προκειμένου λοιπόν να επιτευχθεί αυτό και θεωρώντας πως στην κάθε ελαστική σεισμική παραμόρφωση, ενός συνήθους οικοδομικού έργου, κυριαρχεί η συμμετοχή της Πρώτης Ιδιομορφής, η καθ' ύψος κατανομή της τέμνουσας βάσης, στοχεύει να ακολουθεί κατά το δυνατό, **το ιδιόσχημα της Πρώτης Θεμελιώδους Ιδιομορφής**. Η τέμνουσα βάσης  $F_b$ , κατανέμεται στους ορόφους σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$F_i = F_b * \left( \frac{m_i * \Phi_i}{\sum_{j=1}^N m_j * \Phi_j} \right)$$

όπου:

- $F_i$ : είναι η οριζόντια συνιστώσα δύναμη που επιβάλλεται στο κέντρο μάζας του ορόφου  $i$ ,
- $\Phi_i$ : είναι η μεταφορική συνιστώσα της Πρώτης Ιδιομορφής στο κέντρο μάζας του ορόφου  $i$  και
- $N$ : είναι ο συνολικός αριθμός των ορόφων.

Ωστόσο, στην περίπτωση όπου η Πρώτη Ιδιομορφή προσεγγίζεται από οριζόντιες μετακινήσεις, οι οποίες αυξάνονται γραμμικώς με το ύψος του κτιρίου, επιτρέπεται η καθ' ύψος κατανομή των σεισμικών φορτίων, να έχει τριγωνική μορφή, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση (τριγωνική προσέγγιση του σχήματος της Πρώτης Ιδιομορφής):

$$F_i = F_b * \left( \frac{m_i * \Phi_i}{\sum_{j=1}^N m_j * z_j} \right)$$

όπου:

- $z_i$ : είναι η απόσταση της στάθμης (ορόφου)  $i$  από την βάση.

#### 2.4.3.4 Βήματα εφαρμογής της Απλοποιημένης φασματικής μεθόδου<sup>[1]</sup>

Συνοπτικά λοιπόν, τα βήματα που περιλαμβάνει η διαδικασία σχεδιασμού με χρήση της Απλοποιημένης φασματικής μεθόδου, έπειτα και από όσα αναφέρθηκαν αναλυτικά παραπάνω, είναι τα εξής επτά (7) και εφαρμόζονται με την σειρά που αναφέρονται:

1. Προσεγγιστική εκτίμηση της φυσικής περιόδου της Πρώτης Ιδιομορφής.
2. Εκτίμηση-επιλογή του κατάλληλου σεισμικού συντελεστή.
3. Υπολογισμός της τέμνουσας βάσης.
4. Κατανομή της τέμνουσας βάσης, υπό μορφή οριζοντίων συνιστωσών δυνάμεων, στα επίπεδα των ορόφων του κτιρίου.
5. Ανάλυση της κατασκευής για τις στατικές οριζόντιες δυνάμεις που προσδιορίστηκαν στο προηγούμενο βήμα και υπολογισμός των μεγεθών έντασης στα επιμέρους δομικά στοιχεία του κτιρίου.
6. Υπολογισμός των μετατοπίσεων της κατασκευής και ιδιαίτερα των μεταξύ των ορόφων μετατοπίσεων.
7. Σχεδιασμός και διαστασιολόγηση των δομικών στοιχείων της κατασκευής.

#### 2.4.4 Έλεγχοι λειτουργικότητας

Σύμφωνα με τις παραγράφους §4.4.3.2(1) και §4.4.2.2(2 & 3) του Ευρωκώδικα (E.C.8), υπάρχουν ορισμένοι έλεγχοι, οι οποίοι επιδιώκουν με την εφαρμογή τους ως απαίτηση, την εξασφάλιση του περιορισμού των βλαβών στην περίπτωση σεισμού έντασης αντίστοιχου της στάθμης λειτουργικότητας. Ένας τέτοιος σεισμός, έχει πιθανότητα εμφάνισης 10% στα 10 χρόνια και ο κανονισμός (E.C.8) προβλέπει κατάλληλες διατάξεις, προκειμένου να θέσει τα επιθυμητά όρια στις σχετικές μετακινήσεις των ορόφων, ώστε αυτές να είναι κατά το δυνατόν ελεγχόμενες.<sup>[2]</sup> Παρόλα αυτά, κατά την σεισμική διέγερση, χάρη στην πρόσθετη ένταση που αναπτύσσεται σε έναν φορέα λόγω των παραμορφώσεων που προέρχονται από τις οριζόντιες σεισμικές

φορτίσεις που του επιβάλλονται, προκαλούνται στα υπάρχοντα κατακόρυφα φορτία ροπές 2<sup>ας</sup> τάξεως και επομένως, υπάρχει μεγαλύτερη ένταση.<sup>[1]</sup> Οι δύο αυτοί έλεγχοι που θα αναλυθούν περαιτέρω στις αμέσως επόμενες παραγράφους, είναι:

- i. ο έλεγχος **περιορισμού των σχετικών μετακινήσεων των ορόφων** και
- ii. ο έλεγχος για τον **συνυπολογισμό ή όχι της επιρροής των φαινομένων 2<sup>ας</sup> τάξεως**.

#### 2.4.4.1 Έλεγχος περιορισμού των σχετικών μετακινήσεων των ορόφων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω και σύμφωνα με την παράγραφο §4.4.3.2(1) του Ευρωκώδικα (E.C.8), προκειμένου οι σχετικές μετακινήσεις των ορόφων να κυμαίνονται εντός συγκεκριμένων ορίων, με σκοπό τον περιορισμό των βλαβών, κατά την διάρκεια μίας πιθανής σεισμικής διέγερσης, θα πρέπει να τηρούνται τα ακόλουθα, κατά περίπτωση:

- i. στα κτίρια με μη-φέροντα στοιχεία από ψαθυρό υλικό, τα οποία είναι συνδεδεμένα με τον φορέα, ελέγχεται εάν ισχύει η ανίσωση:

$$d_r * v \leq 0,005 * h$$

- ii. στα κτίρια με πλάσιμα μη-φέροντα στοιχεία, ελέγχεται εάν ισχύει η ανίσωση:

$$d_r * v \leq 0,005 * h$$

- iii. στα κτίρια με μη-φέροντα στοιχεία αγκυρωμένα με τον κατάλληλο τρόπο, προκειμένου να μην επηρεάζονται από τις παραμορφώσεις του φορέα, ή στα κτίρια που δεν έχουν μη-φέροντα στοιχεία, ελέγχεται εάν ισχύει η ανίσωση:

$$d_r * v \leq 0,010 * h \quad [3]$$

όπου:

- **h**: είναι το ύψος του ορόφου,
- **d<sub>r</sub>**: είναι η σχετική μετακίνηση ορόφου, η οποία υπολογίζεται ως η διαφορά των μετακινήσεων d<sub>s</sub> των σταθμών, στην κορυφή και στη βάση του υπό εξέταση ορόφου:

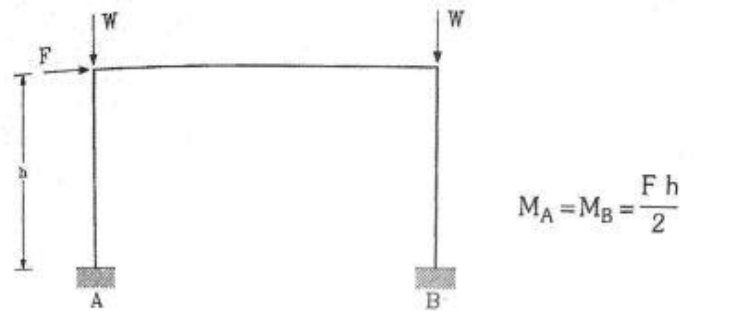
$$d_s = q_d * d_e$$

- **d<sub>s</sub>**: είναι η ανελαστική μετακίνηση του θεωρούμενου σημείου της κατασκευής,
- **q<sub>d</sub>**: είναι ο δείκτης συμπεριφοράς που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των μετακινήσεων και συνήθως θεωρείται ίσος με τον συντελεστή συμπεριφοράς q,
- **d<sub>e</sub>**: είναι η μετακίνηση που προκύπτει για το θεωρούμενο σημείο της κατασκευής, από μία γραμμική ελαστική ανάλυση με βάση το φάσμα σχεδιασμού και
- **v**: είναι συντελεστής μείωσης, ο οποίος λαμβάνει υπόψη τη μικρότερη περίοδο επαναφοράς της σεισμικής δράσης που συνδέεται με την απαίτηση περιορισμού βλαβών (σεισμός λειτουργικότητας)· ακόμη, η τιμή του μειωτικού αυτού συντελεστή, εξαρτάται και από την κατηγορία σπουδαιότητας, στην οποία ανήκει ο προς σχεδίαση φορέας και σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, οι συνιστώμενες τιμές του v, είναι: 0,40 για τις κατηγορίες σπουδαιότητας III και IV και: 0,50 για τις κατηγορίες σπουδαιότητας I και II.

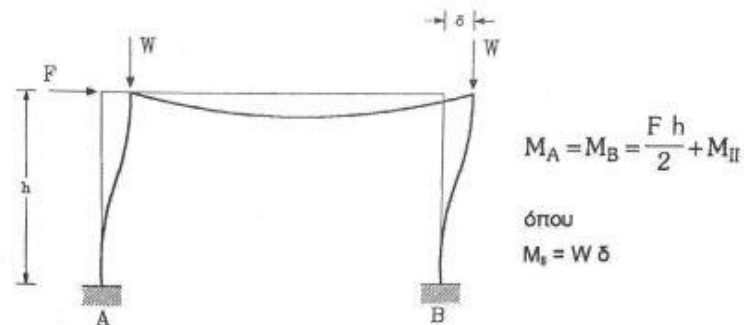
**!Σημειώνεται** ότι γίνεται η υπόθεση ότι το φάσμα που αντιστοιχεί στον σεισμό λειτουργικότητας, έχει την ίδια μορφή με το φάσμα που αντιστοιχεί στον σεισμό σχεδιασμού.<sup>[2, 3, 4]</sup>

### 2.4.4.2 Έλεγχος επιρροής φαινομένων 2<sup>ας</sup> τάξεως

Ο όρος «φαινόμενα 2<sup>ας</sup> τάξεως», παραπέμπει στην επιπρόσθετη ένταση (περισσότερες ροπές), η οποία αναπτύσσεται σε έναν φορέα λόγω των παραμορφώσεων που προέρχονται από τις οριζόντιες σεισμικές φορτίσεις που του επιβάλλονται. Οι οριζόντιες αυτές σεισμικές φορτίσεις, δημιουργούν εκκεντρότητες, δηλαδή πλάγιες μετακινήσεις ή αυξάνουν τις ήδη υπάρχουσες, με αποτέλεσμα, τα υπάρχοντα κατακόρυφα φορτία να αναπτύσσουν επιπλέον ροπές (ροπές 2<sup>ας</sup> τάξεως), όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 2.1**.



(α) Ανάλυση του δομικού συστήματος με συνήθεις μεθόδους στατικής



$M_I$  η πρόσθετη ροπή 2ας τάξεως λόγω της παραμόρφωσης του φορέα από την αρχική φόρτιση του πλαισίου

(β) Ροπές 2ας τάξεως (P-δ effect). Ανάλυση του δομικού συστήματος με στατική 2ας τάξεως

**Εικόνα 2.1.** Πρόσθετες ροπές 2<sup>ας</sup> τάξεως. Το κριτήριο για τον τρόπο συνυπολογισμού, αποτελεί ο λόγος:  $\theta = M_{II}/M_I$  (Καραγιάννης Χρ. 2016).<sup>[1]</sup>

Ως κριτήριο για το εάν θα συνυπολογίζονται ή όχι τα φαινόμενα 2<sup>ας</sup> τάξεως, τίθεται ο **δείκτης θ**, ο οποίος είναι ο **λόγος των ροπών 2<sup>ας</sup> τάξεως προς τις ροπές 1<sup>ης</sup> τάξεως**:

$$\theta = \frac{M_{II}}{M_I} \rightarrow \theta = \frac{N_{o\lambda} * \Delta}{V_{o\lambda} * h}$$

όπου:

- **h**: είναι το ύψος του ορόφου,
- **N<sub>ολ</sub>**: είναι το συνολικό κατακόρυφο φορτίο ορόφου, για τους συνδυασμούς φορτίσεων με σεισμό,
- **V<sub>ολ</sub>**: είναι η συνολική τέμνουσα δύναμη ορόφου και
- **Δ**: είναι η σχετική υπολογιστική μετακίνηση των κέντρων μάζας των πλακών του ορόφου.

Ο δείκτης αυτός, υπολογίζεται **σε κάθε όροφο** της κατασκευής και φανερώνει την ευαισθησία του ορόφου σε πλευρική παραμόρφωση.<sup>[1]</sup> Ακόμη, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο γεγονός ότι ο υπολογισμός των σχετικών μετακινήσεων ορόφων, προκειμένου να προσδιοριστεί ο δείκτης  $\theta$ , **πραγματοποιείται στα κέντρα μάζας των ορόφων (σημεία συγκέντρωσης μάζας)**.<sup>[2]</sup> Τέλος, τονίζεται ότι, η ολική μετακίνηση του εκάστοτε ορόφου, σε σχέση με τον κάτω όροφο, μπορεί να ληφθεί ως ίση με την ελάχιστη σχετική μετακίνηση ( $\Delta_{el}$ ), πολλαπλασιασμένη με τον συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  της κατασκευής:

$$\Delta = q * \Delta_{el}$$

Οι τιμές των  $N_{ολ}$ ,  $V_{ολ}$ ,  $\Delta_{el}$ , προκύπτουν για τον συνδυασμό φορτίσεων που περιλαμβάνει την δράση του σεισμού  $E$ , από ελαστική ανάλυση, είτε με την Δυναμική Φασματική είτε με την Απλοποιημένη Φασματική Μέθοδο. Παρόλα αυτά, ο συνήθης συνδυασμός φορτίσεων με σεισμό, για τα οικοδομικά έργα, έχει την μορφή:

$$S_d = G_k + P_{\infty} + \sum \Psi_{2,i} * Q_{k,i} \pm E$$

όπου:

- $G_k$ : είναι η χαρακτηριστική τιμή των μονίμων δράσεων,
- $P_{\infty}$ : είναι η προένταση μετά τον υπολογισμό των χρόνιων απωλειών,
- $Q_{k,i}$ : είναι η χαρακτηριστική τιμή της μεταβλητής δράσης  $i$  και
- $\Psi_{2,i}$ : είναι ο συντελεστής μεταβλητής δράσης  $i$ , για μακροχρόνια δράσης (οιονεί μόνιμη τιμή).<sup>[1]</sup>

Έτσι λοιπόν, η επιρροή των φαινομένων 2<sup>ος</sup> τάξεως, συνυπολογίζεται ή αγνοείται, σύμφωνα με τις εξής περιπτώσεις:

- Όταν ικανοποιείται η παρακάτω ανίσωση σε όλους τους ορόφους μίας κατασκευής, **τότε μονάχα, επιτρέπεται εκ κανονισμού (Ε.С.8), να παραληφθεί η επιρροή των φαινομένων 2<sup>ος</sup> τάξεως:**

$$\theta \leq 0,10$$

- Αν σε κάποιους ορόφους, ισχύει η παρακάτω σχέση, **τότε επιβάλλεται να λαμβάνεται υπόψη η επιρροή των φαινομένων 2<sup>ος</sup> τάξεως, επιτρέπεται όμως αυτή να λαμβάνεται προσεγγιστικά**, ως επαύξηση της αντίστοιχης σεισμικής δράσης, επί συντελεστή ίσο με:  $1/(1-\theta)$ :

$$0,10 < \theta \leq 0,20$$

- Αν σε κάποιους ορόφους ισχύει η παρακάτω σχέση, **τότε επιβάλλεται να γίνεται ακριβέστερος προσδιορισμός των επιρροών 2<sup>ος</sup> τάξεως στην κατασκευή**, με χρήση μεθόδων ανάλυσης που λαμβάνουν υπόψη την πραγματική κατανομή των αξονικών δυνάμεων, την επίδραση της στροφής και τις αναπτυσσόμενες παραμορφώσεις του φορέα (στατική 2<sup>ος</sup> τάξεως):

$$0,20 < \theta \leq 0,30$$

- Σε καμία περίπτωση κατασκευής, **δεν επιτρέπεται εκ κανονισμού (Ε.С.8), να ισχύει η σχέση:**

$$\theta > 0,30$$



1. **Καραγιάννης Χρ. (2016).** Σχεδιασμός Συμπεριφορά Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα έναντι Σεισμού. Εκδόσεις "Σοφία". Θεσσαλονίκη (Ελλάδα), 2016. Σελ.: 90-101, 103.
2. **Στεφανίδου Σ. (2007).** Αντισεισμικός Σχεδιασμός κτιρίων ΟΣ για σκοπούμενη επιτελεσματικότητα με τη βοήθεια ανελαστικών δυναμικών αναλύσεων. Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ. Σελ.: 15-25.
3. **Ευρωκώδικας 8-E.C.8 (EN 1998-1: 2004 GR).** Αντισεισμικός Σχεδιασμός, Μέρος 1: Γενικοί Κανόνες, Σεισμικές Δράσεις και Κανόνες για Κτίρια. Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση (C.E.N.). Σελ.: 58-66, 77-78, 82-83.
4. **Ευρωκώδικας 2-E.C.2 (EN 1992-1-1: 2004 GR).** Σχεδιασμός Φορέων από Σκυρόδεμα, Μέρος 1-1: Γενικοί Κανόνες και Κανόνες για Κτίρια. Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση (C.E.N.). Σελ.: 84.
5. **Εθνικό προσάρτημα Ευρωκώδικα 8- E.C.8 (EN 1998-1: 2004 GR).**

## 2.5 Η φιλοσοφία του Ικανοτικού Σχεδιασμού

### 2.5.1 Γενικά

Η λογική των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών (E.C.8), έχει ως πρωταρχικό στόχο την αποφυγή των ψαθυρών μορφών αστοχίας, όπως είναι οι διατμητικού τύπου αστοχίες. Για τον λόγο αυτό, επιβάλλεται στα δομικά στοιχεία, στα άκρα των οποίων είναι πιθανόν να σχηματισθούν πλαστικές αρθρώσεις (κρίσιμες περιοχές), να λαμβάνεται ως τέμνουσα σχεδιασμού, η τέμνουσα από τον κανόνα του Ικανοτικού Σχεδιασμού.<sup>[5]</sup> Βάσει λοιπόν των παραπάνω, επιδιώκεται να εξασφαλισθεί στην κατασκευή, στο σύνολό της, η ικανότητα για την μεγαλύτερη δυνατή απορρόφηση ενέργειας, χωρίς να επέλθει μερική ή ολική αστοχία (κατάρρευση).<sup>[1]</sup>

Για την μεγαλύτερη λοιπόν δυνατή απορρόφηση ενέργειας από την κατασκευή, ο Ικανοτικός Σχεδιασμός, θέτει ως βασικούς άξονες για την επιτυχία του στόχου του, τους παρακάτω τρεις:

1. η κατασκευή, θα πρέπει να εκμεταλλεύεται **όλα τα αποθέματα αντοχής στα διάφορα επί μέρους δομικά στοιχεία της**,
2. θα πρέπει να παρέχεται η απαραίτητη **ιεράρχηση των βλαβών και η εξασφάλιση εκδήλωσής τους με την επιθυμητή σειρά** και
3. τέλος, **οι πιθανές βλάβες**, είναι σημαντικό, **να κατανέμονται σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο αριθμό δομικών στοιχείων**.<sup>[1]</sup>

Σύμφωνα με τις παραπάνω απαιτήσεις, επιλέγονται εκ των προτέρων, στοχευμένα τα στοιχεία του δομικού συστήματος, τα οποία κατά την διάρκεια ενός πιθανού σεισμού, θα υποστούν βλάβη. Τα εν λόγω στοιχεία, μελετώνται και διαστασιολογούνται κατάλληλα κατά την κατασκευή, για να έχουν επαρκή πλαστιμότητα, δηλαδή, την δυνατότητα για μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις, χωρίς αστοχία (θραύση). Τα σημεία τα οποία υφίστανται διαρροή, καλούνται από τον κανονισμό, ως **πλαστικές αρθρώσεις** και είναι μικρές περιοχές στα δομικά στοιχεία. Έτσι, τα τμήματα κάθε στοιχείου, στα οποία αναμένεται να σχηματισθούν οι πλαστικές αρθρώσεις, χαρακτηρίζονται ως **κρίσιμες περιοχές** και για αυτές προβλέπονται ειδικές, πιο αυστηρές διατάξεις σχεδιασμού, από τον κανονισμό, ώστε να τους προσδίδεται **ικανή διαθέσιμη πλαστιμότητα και εξασφάλιση αποφυγής ανεπιθύμητων διατμητικών αστοχιών ψαθυρού χαρακτήρα**.<sup>[1]</sup>

Ο Ικανοτικός Σχεδιασμός, επικεντρώνεται στην ανάπτυξη αστοχιών σε συγκεκριμένες επιθυμητές περιοχές των στοιχείων της κατασκευής, οι οποίες σε καμία περίπτωση, δεν είναι τα κοινά τμήματα δοκών-υποστυλωμάτων, δηλαδή, οι κόμβοι. Οι τελευταίοι, αποτελούν ζωτικής σημασίας στοιχεία για μία κατασκευή, καθώς οποιαδήποτε αστοχία σε αυτούς, είναι πολύ δύσκολα επισκευάσιμη, σε σχέση με πιθανές βλάβες στα υπόλοιπα δομικά στοιχεία, ενώ είναι πιθανό να οδηγήσουν ολόκληρη την κατασκευή σε κατάρρευση. Για τους παραπάνω λόγους, μέσω των ειδικών διατάξεων, ο κανονισμός, προσπαθεί να οδηγήσει τις βλάβες, στις δοκούς αποκλειστικά, με τον επερχόμενο σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα αυτών (κρίσιμες περιοχές), δημιουργώντας τελικά ασθενείς δοκούς και ισχυρά υποστυλώματα, ενώ οι κόμβοι παραμένουν στην ελαστική περιοχή, όπως είναι επιθυμητό, στην διάρκεια μίας σεισμικής διέγερσης.<sup>[4, 3]</sup>

Υπάρχει επομένως διαχωρισμός των ελέγχων που επιβάλλει ο κανονισμός (E.C.8) για τον Ικανοτικό Σχεδιασμό, όπως αναλύεται εκτενώς στις παρακάτω παραγράφους (§2.5.2 και §2.5.3 του παρόντος), στις εξής δύο περιπτώσεις:

- i. έλεγχος για **Ικανοτικό Σχεδιασμό Κόμβων** και
- ii. έλεγχος για **Ικανοτικό Σχεδιασμό Τέμνουσας**.

## 2.5.2 Ικανοτικός Σχεδιασμός Κόμβων

Σύμφωνα με την §5.2.3.3(2) του Ευρωκώδικα (E.C.8), τα κύρια σεισμικά υποστυλώματα των φορέων από σκυρόδεμα, τα οποία ανήκουν σε κατασκευή με Πλαισιωτό στατικό σύστημα ή Διπλό-Ισοδύναμο προς Πλαισιωτό σύστημα τοιχωμάτων, θα πρέπει σε όλους τους κόμβους ανάμεσα σε βασικές ή δευτερεύουσες σεισμικές δοκούς και βασικά σεισμικά υποστυλώματα, να καλύπτουν την παρακάτω συνθήκη:

$$\Sigma M_{Rc} \geq 1,3 \Sigma M_{Rb} \quad (2.1)$$

όπου:

- $\Sigma M_{Rc}$ : το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων που συμβάλλουν στον κόμβο και
- $\Sigma M_{Rb}$ : το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των δοκών που συμβάλλουν στον κόμβο.

**!Σημειώνεται** ότι η αυστηρή ερμηνεία της έκφρασης (2.1), απαιτεί τον υπολογισμό των ροπών στο κέντρο του κόμβου. Οι ροπές αυτές αντιστοιχούν στην ανάπτυξη των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων ή των δοκών στις εξωτερικές παρειές του κόμβου, καθώς και κατάλληλη πρόβλεψη για τις ροπές που οφείλονται στις τέμνουσες δυνάμεις των παρειών του κόμβου. Εντούτοις, η απώλεια στην ακρίβεια είναι μικρή και η απλοποίηση είναι σημαντική εάν αγνοηθεί η επίδραση των τεμνουσών. Επομένως η προσέγγιση αυτή θεωρείται τότε αποδεκτή.

Η παραπάνω ικανοτική συνθήκη σχεδιασμού (2.1), θα πρέπει να ικανοποιείται όπως αναφέρθηκε, με τις ακόλουθες όμως εξαιρέσεις, όπου **ΔΕΝ** εφαρμόζεται:

- στο δώμα πολυώροφων συστημάτων,
- στα επίπεδα πλαίσια, με τουλάχιστον τέσσερα (4) υποστυλώματα, τα οποία διαθέτουν περίπου ίδιες διατομές, δεν είναι απαραίτητο να καλύπτεται η σχέση (2.1) σε όλα τα υποστυλώματα, αλλά αρκούν τρία (3) από κάθε τέσσερα (4) από αυτά και
- τέλος, δεν είναι απαραίτητο, να εφαρμόζεται η συνθήκη (2.1), στον κατώτατο όροφο διώροφων κτιρίων, εφόσον η τιμή της ανηγμένης αξονικής δύναμης  $V_d$ , δεν υπερβαίνει το 0,30 ( $V_d \leq 0,30$ ), σε οποιοδήποτε υποστυλώμα.

Τέλος, σύμφωνα με την §5.2.3.3(3) του Ευρωκώδικα (E.C.8), ο σπλισμός της πλάκας, ο οποίος είναι παράλληλος προς την δοκό και βρίσκεται εντός του συνεργαζόμενου πλάτους της δοκού, όπως αυτό ορίζεται από τον κανονισμό [§5.4.3.1.1(3), E.C.8], θα θεωρείται πως συνεισφέρει στον υπολογισμό του  $\Sigma M_{Rb}$  στην έκφραση (2.1), εάν αυτός είναι αγκυρωμένος πέρα από την παρειά της δοκού στον κόμβο.<sup>[2]</sup>

## 2.5.3 Ικανοτικός Σχεδιασμός Τέμνουσας<sup>[2, 3]</sup>

Για τις κύριες σεισμικές **δοκούς** (§5.4.2.2, E.C.8), οι τέμνουσες δυνάμεις σχεδιασμού, επιβάλλεται να καθορίζονται σύμφωνα με τον κανόνα του Ικανοτικού Σχεδιασμού, με βάση την ισορροπία της δοκού υπό:

- το εγκάρσιο (κατακόρυφο) φορτίο που δρα επί της δοκού, στην σεισμική κατάσταση σχεδιασμού και
- τις ροπές των άκρων  $M_{i,d}$ , που αντιστοιχούν σε σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων, για θετικές και αρνητικές διευθύνσεις σεισμικής φόρτισης (με:  $i=1, 2$  συμβολίζονται οι ακραίες διατομές της δοκού)

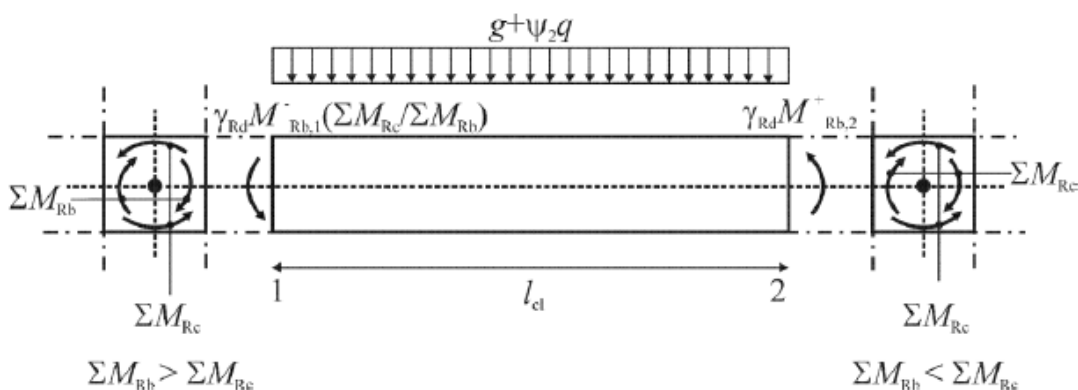
Οι πλαστικές αρθρώσεις θα θεωρείται ότι σχηματίζονται στα άκρα των δοκών ή (εάν σχηματίζονται εκεί πρώτα) στα κατακόρυφα στοιχεία που συνδέονται με τους κόμβους στους οποίους συνδέονται μονοιθικά τα άκρα της δοκού (**Εικόνα 2.2**). Όσα αναφέρθηκαν, θα πρέπει να εφαρμόζονται ως εξής:

1. Στην ακραία διατομή  $i$ , θα πρέπει να υπολογίζονται δύο τιμές της δρώσας δύναμης, δηλαδή: η μέγιστη  $V_{Ed,max,i}$  και η ελάχιστη  $V_{Ed,min,i}$ . Οι τιμές αυτές, αντιστοιχούν στις μέγιστες θετικές και τις μέγιστες αρνητικές ακραίες ροπές  $M_{i,d}$ , που μπορεί να σχηματισθούν, στα άκρα 1 και 2 της δοκού.
2. Οι ροπές των άκρων  $M_{i,d}$ , μπορούν να υπολογιστούν ως εξής:

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} * M_{Rb,i} * \min \left\{ \frac{1,00}{\sum M_{Rc}}, \frac{\sum M_{Rb}}{\sum M_{Rb}} \right\} \quad (2.2)$$

όπου:

- $\gamma_{Rd}$ : ο συντελεστής υπεραντοχής, λόγω σκλήρυνσης υπό παραμόρφωση του χάλυβα, η οποία στην περίπτωση των δοκών Κατηγορίας Πλαστιμότητας Μέσης (**D.C.M.**) μπορεί να ληφθεί ως ίσος με **1,00**, ενώ στην περίπτωση των δοκών Κατηγορίας Πλαστιμότητας Υψηλής (**D.C.H.**) μπορεί να ληφθεί ως ίσος με **1,20**,
  - $M_{Rb,i}$ : η τιμή σχεδιασμού της ροπής αντοχής στο άκρο  $i$ , στην φορά της σεισμικής ροπής κάμψης που αντιστοιχεί στην εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης και
  - $\sum M_{Rc}$  και  $\sum M_{Rb}$ : το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων και το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των δοκών αντίστοιχα, που συνδέονται μονολιθικά στον κόμβο. Η τιμή του  $\sum M_{Rc}$ , πρέπει να αντιστοιχεί στην αξονική δύναμη ή δυνάμεις του υποστυλώματος στην σεισμική κατάσταση σχεδιασμού, για την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης.
3. Σε άκρο όπου η δοκός εδράζεται έμμεσα σε μία άλλη δοκό, η τοπική ροπή του άκρου δοκού  $M_{i,d}$ , μπορεί να ληφθεί ίση με την δρώσα ροπή στο ακραίο τμήμα της δοκού στην σεισμική κατάσταση σχεδιασμού, αντί να συμβάλλει σε κατακόρυφο μέλος.



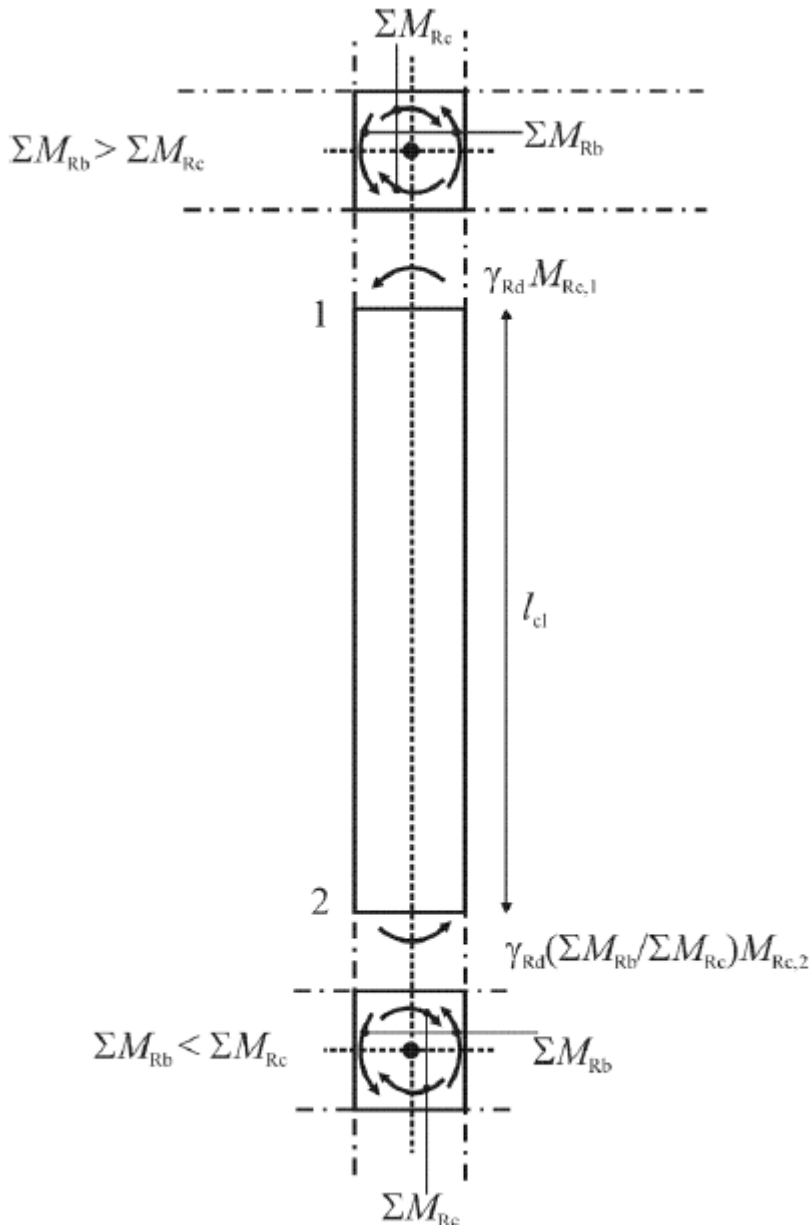
**Εικόνα 2.2.** Τιμές Ικανοτικού Σχεδιασμού τεμνουσών δυνάμεων σε δοκούς.<sup>[2]</sup>

Στα κύρια σεισμικά **υποστυλώματα** (§5.4.2.3, Ε.С.8), οι τέμνουσες δυνάμεις σχεδιασμού, θα υπολογίζονται και πάλι σύμφωνα με τον κανόνα του Ικανοτικού Σχεδιασμού, με βάση την ισορροπία του υποστυλώματος υπό τις ροπές των άκρων  $M_{i,d}$ , που αντιστοιχούν σε σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων, για θετικές και αρνητικές διευθύνσεις σεισμικής φόρτισης (με:  $i=1, 2$  συμβολίζονται οι ακραίες διατομές του υποστυλώματος). Οι πλαστικές αρθρώσεις θα θεωρείται ότι σχηματίζονται στα άκρα των δοκών που συνδέονται με τους κόμβους στα άκρα του υποστυλώματος ή (εάν σχηματίζονται εκεί πρώτα) στα άκρα των υποστυλωμάτων (**Εικόνα 2.3**). Ωστόσο, οι ροπές των άκρων  $M_{i,d}$ , μπορούν να καθορισθούν από την παρακάτω έκφραση:

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} * M_{Rc,i} * \min \left\{ \frac{\sum M_{Rb}}{\sum M_{Rc}} \right\} \quad (2.3)$$

όπου:

- $\gamma_{Rd}$ : ο συντελεστής υπεραντοχής λόγω σκλήρυνσης υπό παραμόρφωση του χάλυβα και λόγω περίσφιξης της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος, ο οποίος στην περίπτωση Κατηγορίας Πλαστιμότητας Μέσης (D.C.M.) μπορεί να ληφθεί ως ίσος με **1,10**, ενώ στην περίπτωση Κατηγορίας Πλαστιμότητας Υψηλής (D.C.H.), λαμβάνεται ίσος με **1,30**,
- $M_{Rb,i}$ : η τιμή σχεδιασμού της ροπής αντοχής του υποστυλώματος στο άκρο  $i$  στην φορά της σεισμικής ροπής κάμψευς για την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης και
- $\sum M_{Rc}$  και  $\sum M_{Rb}$ : το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων και το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των δοκών αντίστοιχα, που συνδέονται μονολιθικά στον κόμβο. Οι τιμές των  $\sum M_{Rc,i}$  και  $\sum M_{Rc}$ , πρέπει να αντιστοιχούν στην αξονική δύναμη ή δυνάμεις του υποστυλώματος στην σεισμική κατάσταση σχεδιασμού, για την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης.



Εικόνα 2.3. Τέμνουσα δύναμη Ικανοτικού Σχεδιασμού σε υποστυλώματα.<sup>[2]</sup>

## Βιβλιογραφία

---

1. **Καραγιάννης Χρ. (2016).** Σχεδιασμός Συμπεριφορά Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα έναντι Σεισμού. Εκδόσεις "Σοφία". Θεσσαλονίκη (Ελλάδα), 2016.
2. **Ευρωκώδικας 8-E.C.8 (EN 1998-1: 2004 GR).** Αντισεισμικός Σχεδιασμός, Μέρος 1: Γενικοί Κανόνες, Σεισμικές Δράσεις και Κανόνες για Κτίρια. Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση (C.E.N.). Σελ.: 79, 81-82, 91, 93, 97-101.
3. **Στεφανίδου Σ. (2018).** Διάλεξη 3<sup>η</sup>. Σημειώσεις μαθήματος «Οπλισμένο Σκυρόδεμα III». Α.Τ.Ε.Ι.Θ. Σελ.: 15, 25-27, 31-33.
4. **Καλογερόπουλος Γ. (2018).** Διάλεξη 1<sup>η</sup>. Σημειώσεις μαθήματος «Οπλισμένο Σκυρόδεμα III». Α.Τ.Ε.Ι.Θ. Σελ: 32-39.
5. **Καλογερόπουλος Γ. (2018).** Διάλεξη 5<sup>η</sup>. Σημειώσεις μαθήματος «Οπλισμένο Σκυρόδεμα III». Α.Τ.Ε.Ι.Θ. Σελ.: 23-33.

## 2.6 Διαστασιολόγηση γραμμικών δομικών στοιχείων, με βάση τους Ευρωκώδικες (E.C.2 & E.C.8)

### 2.6.1 Εισαγωγή

Στην παράγραφο αυτή, περιγράφονται συνοπτικά τα βασικότερα βήματα της μεθοδολογίας για την διαστασιολόγηση των γραμμικών δομικών στοιχείων (δοκοί, υποστυλώματα, τοιχώματα) τόσο σε διάτμηση όσο και σε κάμψη. Στα κεφάλαια 4 και 5 του παρόντος, πραγματοποιείται πλήρης περιγραφική αριθμητική διαδικασία, με την επίλυση παραδειγμάτων δομικών στοιχείων, για την περίπτωση Κατηγορίας Πλαστιμότητας Μέσης (D.C.M.), στην οποία αντιστοιχούν οι κατασκευές που μελετώνται· ωστόσο, όπου είναι απαραίτητο, θα αναφέρονται και τα ισχύοντα από τον κανονισμό (E.C.), για την περίπτωση Κατηγορίας Πλαστιμότητας Υψηλής (D.C.H.).

### 2.6.2 Διαστασιολόγηση έναντι ροπών κάμψης

#### 2.6.2.1 Υποσύλωμα<sup>[1, 3, 4, 5]</sup>

Τα βήματα της μεθοδολογίας για την διαστασιολόγηση ενός υποστυλώματος σε κάμψη, είναι τα παρακάτω:

1. αναγνώριση του στατικού συστήματος και επίλυσή του,
2. λήψη της απόφασης για το εάν ο πόδας και η κεφαλή του υποστυλώματος (οι θέσεις δηλαδή όπου οι ροπές παίρνουν τις μέγιστες τιμές τους), θα οπλιστούν με τον ίδιο τρόπο (σε συνήθη οικοδομικά έργα, τοποθετείται ο ίδιος οπλισμός, ενώ σε μεγαλύτερα έργα, είναι δυνατόν να διαφέρει),
3. υπολογισμός των ανηγμένων τιμών των ροπών σχεδιασμού ( $\mu_z$  &  $\mu_y$  και κατ' επέκταση  $\mu_1$  &  $\mu_2$ ) και του αξονικού φορτίου ( $v_d$ ),
4. ελέγχεται εάν η ανηγμένη τιμή του αξονικού φορτίου ( $v_d$ ), καλύπτει την απαίτηση:

$$v_d \leq 0,65 \rightarrow \text{για D.C.M. και}$$

$$v_d \leq 0,55 \rightarrow \text{για D.C.H.}$$

και εάν όχι, ο κανονισμός (E.C.8), επιβάλλει αλλαγή των διαστάσεων της διατομής,

5. υπολογισμός του απαιτούμενου οπλισμού ( $A_{s,required}$ ), με βάση το κατάλληλο διάγραμμα αλληλεπίδρασης,
6. σύγκριση του απαιτούμενου οπλισμού ( $A_{s,required}$ ), με τον ελάχιστο ( $A_{s,min}$ ) και μέγιστο ( $A_{s,max}$ ) οπλισμό που ορίζει ο Ευρωκώδικας (§4.1.3 και §5.1.3 του παρόντος)<sup>[3]</sup>,
7. στην περίπτωση που προκύψει μικρότερος απαιτούμενος οπλισμός από τον ελάχιστο ( $A_{s,required} < A_{s,min}$ ), τότε τοποθετείται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός εκ κανονισμού ( $A_{s,min}$ ),
8. στην περίπτωση που προκύψει μεγαλύτερος απαιτούμενος οπλισμός από τον μέγιστο ( $A_{s,required} > A_{s,max}$ ), τότε απαιτείται αλλαγή της διατομής και επανάληψη της διαδικασίας,
9. επιλογή ράβδων διαμήκους οπλισμού (οπλισμός κάμψης) και έλεγχος των μεταξύ τους αποστάσεων ( $b_i$ ), ώστε η μία ράβδος να απέχει από την άλλη και στις δύο διευθύνσεις της διατομής (x & y), απόσταση, σύμφωνη με την απαίτηση του κανονισμού:<sup>[3, 4]</sup>

$$b_i \leq \min \left\{ \begin{array}{l} \text{πάχος κορμού } b \\ 200(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow \text{ΣΥΝΗΘΩΣ: } b_i \leq 200(mm) \rightarrow \text{D.C.M.}$$

$$b_i \leq \min \left\{ \begin{array}{l} \text{πάχος κορμού } b \\ 150(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow \text{ΣΥΝΗΘΩΣ: } b_i \leq 150(mm) \rightarrow \text{D.C.H.}$$

10. και τέλος, γίνεται η τοποθέτηση του οπλισμού στην διατομή και η σχεδίαση ενδεικτικών σκαριφημάτων με την ακριβή θέση του.

### 2.6.2.2 Δοκός<sup>[1, 3, 4, 5]</sup>

Τα βήματα της μεθοδολογίας για την διαστασιολόγηση μίας δοκού σε κάμψη, είναι τα παρακάτω:

1. αναγνώριση του στατικού συστήματος και επίλυσή του,
2. με βάση το διάγραμμα των ροπών που προκύπτει, γίνεται επιλογή των κρίσιμων θέσεων για τον υπολογισμό και την τοποθέτηση του διαμήκου οπλισμού: αυτές οι θέσεις, είναι τα σημεία μηδενισμού των τεμνουσών δυνάμεων της δοκού, όπου εμφανίζονται οι μέγιστες ροπές (στηρίξεις και ανοίγματα) και ελέγχεται σε ποια από αυτές τις θέσεις, υπάρχει λειτουργία πλακοδοκού (εφόσον εξετάζεται πλακοδοκός) και σε ποια ορθογωνικής διατομής,
3. εάν υπάρχει λειτουργία πλακοδοκού, χρησιμοποιείται το συνεργαζόμενο πλάτος  $b_{eff}$ , το οποίο υπολογίζεται, σύμφωνα με την §5.3.2.1 του Ε.Κ.2.<sup>[3]</sup>,
4. στην περίπτωση που δεν δίνεται το ύψος της δοκού, υπολογίζεται βάσει των παρακάτω:

- υπολογίζεται το στατικό ύψος  $d$ , θέτοντας όπου  $\mu_{sd}$ , το  $\mu_{lim}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b_w * d^2 * f_{cd}} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{M_{sd}}{\mu_{lim} * b * f_{cd}}}$$

- και στην συνέχεια, το ύψος της διατομής, προκύπτει από το άθροισμα του στατικού ύψους  $d$  και της απόστασης  $d_1$  (παράδειγμα: **Εικόνα 4.9** και **5.8**):

$$h = d + d_1$$

- εάν σχεδιάζεται δοκός **χωρίς απαίτηση θλιβόμενου οπλισμού** και είναι πάλι ζητούμενο το ύψος της διατομής, τότε επιλύεται η παρακάτω σχέση ως εξής:

$$\mu_{sd} \leq \mu_{lim} \Rightarrow \frac{M_{sd}}{b_w * d^2 * f_{cd}} \leq \mu_{lim} \Rightarrow d \geq \sqrt{\frac{M_{sd}}{b_w * \mu_{lim} * f_{cd}}}$$

- εάν σχεδιάζεται δοκός **με απαίτηση θλιβόμενου οπλισμού** και είναι πάλι ζητούμενο το ύψος της διατομής, τότε επιλύεται η παρακάτω σχέση ως εξής:

$$\mu_{sd} > \mu_{lim} \Rightarrow \frac{M_{sd}}{b_w * d^2 * f_{cd}} > \mu_{lim} \Rightarrow d < \sqrt{\frac{M_{sd}}{b_w * \mu_{lim} * f_{cd}}}$$

5. υπολογισμός της ανηγμένης ροπής σχεδιασμού  $\mu_{sd}$  και σύγκρισή της με την οριακή τιμή  $\mu_{lim}$ , ώστε να εξακριβωθεί εάν απαιτείται και θλιβόμενος οπλισμός ή όχι, όταν δηλαδή:

- ισχύει η σχέση:  $\mu_{sd} \leq \mu_{lim} \Rightarrow$  τότε **ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ** θλιβόμενος οπλισμός
- ισχύει η σχέση:  $\mu_{sd} > \mu_{lim} \Rightarrow$  τότε **ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ** θλιβόμενος οπλισμός



6. υπολογισμός του απαιτούμενου εφελκυσμένου οπλισμού  $A_{s,required}$  (και εάν απαιτείται υπολογισμός και του θλιβόμενου οπλισμού),
7. σύγκριση του απαιτούμενου οπλισμού ( $A_{s,required}$ ), με τον ελάχιστο ( $A_{s,min}$ ) και μέγιστο ( $A_{s,max}$ ) οπλισμό που ορίζει ο Ευρωκώδικας (§4.2.3 και §5.2.3 του παρόντος)<sup>[3]</sup>,
8. στην περίπτωση που προκύψει μικρότερος απαιτούμενος οπλισμός από τον ελάχιστο ( $A_{s,required} < A_{s,min}$ ), τότε τοποθετείται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός εκ κανονισμού ( $A_{s,min}$ ),
9. στην περίπτωση που προκύψει μεγαλύτερος απαιτούμενος οπλισμός από τον μέγιστο ( $A_{s,required} > A_{s,max}$ ), τότε απαιτείται αλλαγή της διατομής και επανάληψη της διαδικασίας,
10. επιλογή ράβδων διαμήκους οπλισμού (οπλισμός κάμψης) και έλεγχος των μεταξύ τους αποστάσεων ( $b_i$ ), ώστε η μία ράβδος να απέχει από την άλλη και στις δύο διευθύνσεις της διατομής ( $x$  &  $y$ ), απόσταση, σύμφωνη με την απαίτηση του κανονισμού:<sup>[3, 4]</sup>

$$b_i \leq \min \left\{ \begin{array}{l} \text{πάχος κορμού } b_w \\ 200(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow \text{ΣΥΝΗΘΩΣ: } b_i \leq 200(mm) \rightarrow D. C. M.$$

$$b_i \leq \min \left\{ \begin{array}{l} \text{πάχος κορμού } b_w \\ 150(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow \text{ΣΥΝΗΘΩΣ: } b_i \leq 150(mm) \rightarrow D. C. H.$$

11. και τέλος, γίνεται η τοποθέτηση του οπλισμού στην διατομή και η σχεδίαση ενδεικτικών σκαριφημάτων με την ακριβή θέση του.

### 2.6.2.3 Τοίχωμα<sup>[5, 6]</sup>

Στα τοιχώματα, η διαστασιολόγηση σε κάμψη, αφορά την εύρεση του απαιτούμενου καμπτικού οπλισμού στα ακραία τμήματα τους, τα οποία είναι γνωστά και ως «κρυφο-κολώνες», διότι αποτελούν σε κάθε τοίχωμα, δύο «κρυμμένα» υποστυλώματα και ως τέτοια διαστασιολογούνται (**Εικόνα 4.16**). Η πορεία, μέσα από τα διαδοχικά βήματα, περιγράφεται συνοπτικά ως εξής:

1. χάραξη της κανονιστικής περιβάλλουσας καμπτικής ροπής σχεδιασμού σε όλο το ύψος του τοιχώματος, με την λήψη των διαγραμμάτων των ροπών (που προέκυψαν από την ανάλυση), από το ισόγειο έως και τον τελευταίο όροφο,
2. εύρεση του κρίσιμου/δυσμενέστερου συνδυασμού, μεταξύ των ροπών των δύο διευθύνσεων και του αξονικού φορτίου ( $M_x$ ,  $M_y$  &  $N$ ), προκειμένου να διαπιστωθεί εάν επηρεάζει περισσότερο η μεγάλη ροπή ή το μεγάλο αξονικό φορτίο,
3. υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού  $A_{s,required}$ , με την συμμετοχή του μηχανικού ποσοστού οπλισμού  $\omega$ , που προκύπτει από τον δυσμενέστερο συνδυασμό μεταξύ  $M_x$ ,  $M_y$  &  $N$ ,
4. έλεγχος μέγιστου και ελάχιστου οπλισμού [με την εύρεση του μέγιστου ( $\rho_{max}$ ) και ελάχιστου ( $\rho_{min}$ ) ποσοστού οπλισμού], στα όρια των οποίων θα πρέπει να κυμαίνεται ο καμπτικός οπλισμός ( $A_{s,required}$ ) κάθε κρυφο-κολώνας (§4.3.3 και §5.3.3 του παρόντος),
5. στην περίπτωση που προκύψει μικρότερος απαιτούμενος οπλισμός από τον ελάχιστο ( $A_{s,required} < A_{s,min}$ ), τότε τοποθετείται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός εκ κανονισμού ( $A_{s,min}$ ),
6. στην περίπτωση που προκύψει μεγαλύτερος απαιτούμενος οπλισμός από τον μέγιστο ( $A_{s,required} > A_{s,max}$ ), τότε απαιτείται αλλαγή της διατομής και επανάληψη της διαδικασίας,
7. επιλογή ράβδων διαμήκους οπλισμού (οπλισμός κάμψης) και τελικός τοποθετούμενος οπλισμός στις κρυφο-κολώνες ( $A_{s,provided}$ ), αλλά και έλεγχος των αποστάσεων μεταξύ των ράβδων ( $b_i$ ), ώστε η μία να απέχει από την άλλη και στις δύο διευθύνσεις της διατομής ( $x$  &  $y$ ), απόσταση, σύμφωνη με την απαίτηση του κανονισμού, όπως συμβαίνει στα υποστυλώματα:

$$b_i \leq \min \left\{ \begin{array}{l} \text{πάχος κορμού } b_w \\ 200(\text{mm}) \end{array} \right\} \Rightarrow \text{ΣΥΝΗΘΩΣ: } b_i \leq 200(\text{mm}) \rightarrow \text{D. C. M.}$$

$$b_i \leq \min \left\{ \begin{array}{l} \text{πάχος κορμού } b_w \\ 150(\text{mm}) \end{array} \right\} \Rightarrow \text{ΣΥΝΗΘΩΣ: } b_i \leq 150(\text{mm}) \rightarrow \text{D. C. H.}$$

8. και τέλος, γίνεται η τοποθέτηση του οπλισμού στην διατομή και η σχεδίαση ενδεικτικών σκαριφημάτων με την ακριβή θέση του.

### 2.6.3 Διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης, λόγω τεμνουσών δυνάμεων

#### 2.6.3.1 Υποστύλωμα<sup>[1, 2, 3, 5]</sup>

Για την παραλαβή των εφελκυστικών τάσεων που προκαλούνται από τις τέμνουσες δυνάμεις, απαιτείται τοποθέτηση οπλισμού, κάθετα προς την διεύθυνση των πιθανών ρηγματών που θα σχηματιστούν σε περίπτωση σεισμού. Αυτός ο οπλισμός, είναι ο εγκάρσιος οπλισμός, ο οποίος εξασφαλίζει την διατομή του υποστυλώματος έναντι της διάτμησης και αποτελείται από τους λεγόμενους «συνδετήρες». Τα βήματα της μεθοδολογίας για την διαστασιολόγηση σε διάτμηση, είναι τα παρακάτω:<sup>[1]</sup>

1. λήψη εντατικών μεγεθών σχεδιασμού από την στατική επίλυση του συστήματος,
2. **έλεγχος περιορισμού λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού (Τέμνουσα Αντοχής σχεδιασμού, λόγω θλίψης κορμού)**, δηλαδή ελέγχεται εάν απαιτείται αλλαγή της διατομής του υποστυλώματος και συγκεκριμένα, θα πρέπει οι διαστάσεις του κορμού, να είναι τέτοιες ώστε η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)  $V_{Ed}$ , να είναι **μικρότερη ή ίση** της Αντοχής Σχεδιασμού λοξού θλιπτήρα  $V_{Rd,max}$ , ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

3. **έλεγχος απαίτησης οπλισμού διάτμησης**, δηλαδή ελέγχεται εάν απαιτείται να τοποθετηθεί τελικά οπλισμός έναντι της αναπτυσσόμενης διάτμησης στο υποστύλωμα, με βάση το ποσοστό εφελκυσμένου χάλυβα  $\rho_l$ , το οποίο είναι ο λόγος του συνολικού τοποθετούμενου οπλισμού κάμψης ( $A_{s,prov,ολικό}$ ) που υπολογίστηκε, προς τις διαστάσεις της διατομής: συγκεκριμένα, θα πρέπει η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)  $V_{Ed}$ , να είναι **μικρότερη** της Αντοχής Σχεδιασμού σε Τέμνουσα  $V_{Rd,c}$ , που αναπτύσσεται χάρη στον οπλισμό κάμψης, ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$V_{Ed} < V_{Rd,c}$$

4. υπολογισμός βάσει Κατηγορίας Πλαστιμότητας, των κρίσιμων περιοχών (περιοχές σχηματισμού επιθυμητών πλαστικών αρθρώσεων) στα άκρα του υποστυλώματος, όπου σε αυτές, η περίσφιξη με συνδετήρες, είναι περισσότερο πυκνή σε σχέση με τις μη κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος:<sup>[5]</sup>

$$l_{cr} = \max \left\{ \begin{array}{l} h_c \\ l_{cl}/6 \\ 0,45(m) \end{array} \right\} \rightarrow \text{D. C. M.}$$

$$l_{cr} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,50 * h_c \\ l_{cl}/6 \\ 0,60(m) \end{array} \right\} \rightarrow \text{D. C. H.}$$

όπου:

- $h_c$ : η μεγαλύτερη διάσταση της διατομής του υποστυλώματος σε μέτρα και
- $l_{cl}$ : το καθαρό μήκος του υποστυλώματος σε μέτρα.

5. επιλογή οπλισμού διάτμησης, με υπολογισμό ελάχιστων συνδετήρων:

i. **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών

$$s_{max} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} b_{min} \\ 20 * d_{bl,min} \\ 400(mm) \end{array} \right\} \rightarrow D.C.M. \text{ και } D.C.H.$$

όπου:

- $b_{min}$ : η μικρότερη πλευρά του υποστυλώματος σε χιλιοστά και
- $d_{bl,min}$ : η μικρότερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων που συμμετέχει στην κάμψη σε χιλιοστά.

ii. **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών

$$s_{max} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} b_o/2 \\ 8 * d_{bl,min} \\ 175(mm) \end{array} \right\} \rightarrow D.C.M.$$

$$s_{max} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} b_o/3 \\ 6 * d_{bl,min} \\ 125(mm) \end{array} \right\} \rightarrow D.C.H.$$

όπου:

- $b_o$ : η ελάχιστη διάσταση του πυρήνα σκυροδέματος σε χιλιοστά και
- $d_{bl}$ : η ελάχιστη διάμετρος των διαμήκων ράβδων σε χιλιοστά.

6. **έλεγχος, για το εάν η λύση που επιλέχθηκε**, δηλαδή ο τοποθετούμενος οπλισμός διάτμησης (ΕΝΤΟΣ και ΕΚΤΟΣ κρίσιμων περιοχών) **επαρκεί** και συγκεκριμένα, θα πρέπει η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)  $V_{Ed}$ , να είναι **μικρότερη ή ίση** της Τέμνουσας Συνδετήρων  $V_{Rd,s}$  που αναπτύσσεται χάρη στην επιλογή που έγινε για τον οπλισμό διάτμησης, ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:<sup>[2]</sup>

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$$

### 2.6.3.2 Δοκός<sup>[1, 2, 3, 5]</sup>

Για την παραλαβή των εφελκυστικών τάσεων που προκαλούνται από τις τέμνουσες δυνάμεις, απαιτείται τοποθέτηση οπλισμού, κάθετα προς την διεύθυνση των πιθανών ρηγμάτων που θα σχηματιστούν σε περίπτωση σεισμού. Παράδειγμα τέτοιου είδους ρηγμάτων, φαίνεται στην **Εικόνα 4.13**. Αυτός ο οπλισμός, είναι ο εγκάρσιος οπλισμός, ο οποίος εξασφαλίζει την διατομή της δοκού έναντι της διάτμησης και αποτελείται από τους λεγόμενους «συνδετήρες». Τα βήματα της μεθοδολογίας για την διαστασιολόγηση σε διάτμηση, είναι τα παρακάτω:<sup>[1]</sup>

1. λήψη εντατικών μεγεθών σχεδιασμού από την στατική επίλυση του συστήματος,
2. **έλεγχος περιορισμού λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού (Τέμνουσα Αντοχής σχεδιασμού, λόγω θλίψης κορμού)**, δηλαδή ελέγχεται εάν απαιτείται αλλαγή της διατομής της δοκού και συγκεκριμένα, θα πρέπει οι διαστάσεις της, να είναι τέτοιες ώστε η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)  $V_{Ed}$ , να είναι **μικρότερη ή ίση** της Αντοχής Σχεδιασμού λοξού θλιπτήρα  $V_{Rd,max}$ , ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

3. **έλεγχος απαίτησης οπλισμού διάτμησης**, δηλαδή ελέγχεται εάν απαιτείται να τοποθετηθεί τελικά οπλισμός έναντι της αναπτυσσόμενης διάτμησης στην δοκό, με βάση το ποσοστό εφελκόμενου χάλυβα  $\rho_l$ , το οποίο είναι ο λόγος του συνολικού τοποθετούμενου οπλισμού κάμψης ( $A_{s,prov,ολικό}$ ) που υπολογίστηκε, προς τις διαστάσεις της διατομής· συγκεκριμένα, θα πρέπει η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)  $V_{Ed}$ , να είναι **μικρότερη** της Αντοχής Σχεδιασμού σε Τέμνουσα  $V_{Rd,c}$  που αναπτύσσεται χάρη στον οπλισμό κάμψης, ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$V_{Ed} < V_{Rd,c}$$

4. υπολογισμός βάσει Κατηγορίας Πλαστιμότητας, των κρίσιμων περιοχών (περιοχές σχηματισμού επιθυμητών πλαστικών αρθρώσεων) στα άκρα της δοκού, όπου σε αυτά, η περίσφιξη με συνδετήρες, είναι περισσότερο πυκνή σε σχέση με τις μη κρίσιμες περιοχές (άνοιγμα) της δοκού,

$$l_{cr} = h_w \rightarrow D. C. M.$$

$$l_{cr} = 1,50 * h_w \rightarrow D. C. H.$$

όπου:

- $h_w$ : το ύψος της δοκού σε χιλιοστά.

5. επιλογή οπλισμού διάτμησης, με υπολογισμό ελάχιστων συνδετήρων:

- i. **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών

$$s_{l,max} = 0,75 * d$$

όπου:

- $d$ : το στατικό ύψος σε χιλιοστά.

- ii. **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών

$$s_{max} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} h_w/4 \\ 24 * d_{bw} \\ 8 * d_{bl,min} \\ 225(mm) \end{array} \right\} \rightarrow D. C. M.$$

$$s_{max} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} h_w/4 \\ 24 * d_{bw} \\ 6 * d_{bl,min} \\ 175(mm) \end{array} \right\} \rightarrow D. C. H.$$

όπου:

- $h_w$ : το ύψος της δοκού σε χιλιοστά,
- $d_{bw}$ : η διάμετρος των συνδετήρων που τοποθετούνται, σε χιλιοστά και
- $d_{bl,min}$ : η ελάχιστη διάμετρος των διαμήκων ράβδων σε χιλιοστά.

6. **έλεγχος, για το εάν η λύση που επιλέχθηκε**, δηλαδή ο τοποθετούμενος οπλισμός διάτμησης (ΕΝΤΟΣ και ΕΚΤΟΣ κρίσιμων περιοχών) **επαρκεί** και συγκεκριμένα, θα πρέπει η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή

(δράση)  $V_{Ed}$ , να είναι **μικρότερη ή ίση** της Τέμνουσας Συνδετήρων  $V_{Rd,s}$  που αναπτύσσεται χάρη στην επιλογή που έγινε για τον οπλισμό διάτμησης, ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:<sup>[2]</sup>

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$$

### 2.6.3.3 Τοίχωμα<sup>[3, 5, 6]</sup>

Στα τοιχώματα, η διαστασιολόγηση σε διάτμηση, αφορά την εύρεση του απαιτούμενου διατμητικού οπλισμού στον πυρήνα τους, ο οποίος είναι γνωστός και ως «σχάρα», διότι αποτελείται από μία οριζόντια και μία κατακόρυφη τοποθέτηση οπλισμού, η οποία σχηματίζει ένα πλέγμα στο κέντρο κάθε τοιχώματος, δηλαδή στον κορμό του. Η κρίσιμη από τις δύο αυτές σχάρες, είναι η οριζόντια, σε σχέση με την κατακόρυφη, καθώς αυτή αναλαμβάνει την τέμνουσα δύναμη που αναπτύσσεται στην κατασκευή. Παρακάτω, περιγράφεται συνοπτικά η πορεία, μέσα από τα εξής διαδοχικά βήματα:

1. χάραξη της κανονιστικής περιβάλλουσας τεμνουσών δυνάμεων σχεδιασμού σε όλο το ύψος του τοιχώματος, με την λήψη των διαγραμμάτων των τεμνουσών (που προέκυψαν από την επίλυση), από το ισόγειο έως και τον τελευταίο όροφο,
2. **έλεγχος επάρκειας θλιθόμενων διαγωνίων σκυροδέματος**, ο οποίος πραγματοποιείται με την μέγιστη τιμή της κανονιστικής τέμνουσας σχεδιασμού  $V_{Ed,max}$  και η οποία, απαιτείται να είναι **μικρότερη ή ίση** της Αντοχής Σχεδιασμού λοξού θλιπτήρα  $V_{Rd,max}$ , ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$V_{Ed,max} \leq V_{Rd,max}$$

3. υπολογισμός των απαιτούμενων οριζόντιων οπλισμών κορμού (οριζόντια σχάρα)  $A_{s,h}$  και επιλογή των ράβδων που θα τοποθετηθούν, όπου αρκεί η κανονιστική τέμνουσα σχεδιασμού  $V_{Ed,max}$ , να είναι μικρότερη ή ίση με την αντοχή σε τέμνουσα που θα προσφέρει ο οριζόντιος τοποθετούμενος οπλισμός  $V_{Rd,s}$ , ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$V_{Ed,max} \leq V_{Rd,s}$$

για την εύρεση του οριζόντιου οπλισμού, ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$A_{s,h,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 25\% * A_{s,v} \\ 0,001 * A_c \end{array} \right\} \rightarrow D.C.M. \text{ και } D.C.H.$$

$$\text{και: } s_{h,max} = 400(mm) \rightarrow D.C.M.$$

$$s_{h,max} = 250(mm) \rightarrow D.C.H.$$

όπου:

- $A_{s,v}$ : το εμβαδόν του κατακόρυφου οπλισμού σχάρας, σε τετραγωνικά εκατοστά,
- $A_c$ : το εμβαδόν της διατομής του τοιχώματος, σε τετραγωνικά εκατοστά.

4. υπολογισμός των απαιτούμενων κατακόρυφων οπλισμών κορμού (κατακόρυφη σχάρα)  $A_{s,v}$  και επιλογή των ράβδων που θα τοποθετηθούν, με βάση τον ελάχιστο απαιτούμενο διατμητικό οπλισμό τοιχώματος που προκύπτει, εφόσον η κατακόρυφη σχάρα, δεν είναι η κρίσιμη· η εύρεση του κατακόρυφου οπλισμού, πραγματοποιείται, με βάση τις παρακάτω σχέσεις:

$$A_{s,v,min} = 0,002 * A_c \rightarrow D.C.M. \text{ και } D.C.H$$

$$A_{s,v,max} = 0,04 * A_c \rightarrow D.C.M. \text{ και } D.C.H$$

$$s_{v,max} = \min \left\{ \frac{3 * b_{wo}}{400(mm)} \right\} \rightarrow D.C.M. \text{ και } D.C.H$$

όπου:

- $A_c$ : το εμβαδόν της διατομής του τοιχώματος, σε τετραγωνικά εκατοστά και
  - $b_{wo}$ : το πλάτος της διατομής του τοιχώματος, σε μέτρα.
5. υπολογισμός των ελάχιστων συνδετήρων περίσφιξης των άκρων, δηλαδή εύρεση του οπλισμός διάτμησης των στύλων (κρυφο-κολώνες), στα άκρα του τοιχώματος  $A_{s,w,στύλων}$ , με βάση τα ισχύοντα για τους στύλους, όπως αναφέρθηκαν στην §2.6.3.1 του παρόντος, για κάθε Κατηγορία Πλαστιμότητας
  6. και τέλος, γίνεται η τοποθέτηση του οπλισμού στην διατομή και η σχεδίαση ενδεικτικών σκαριφημάτων με την ακριβή θέση του.

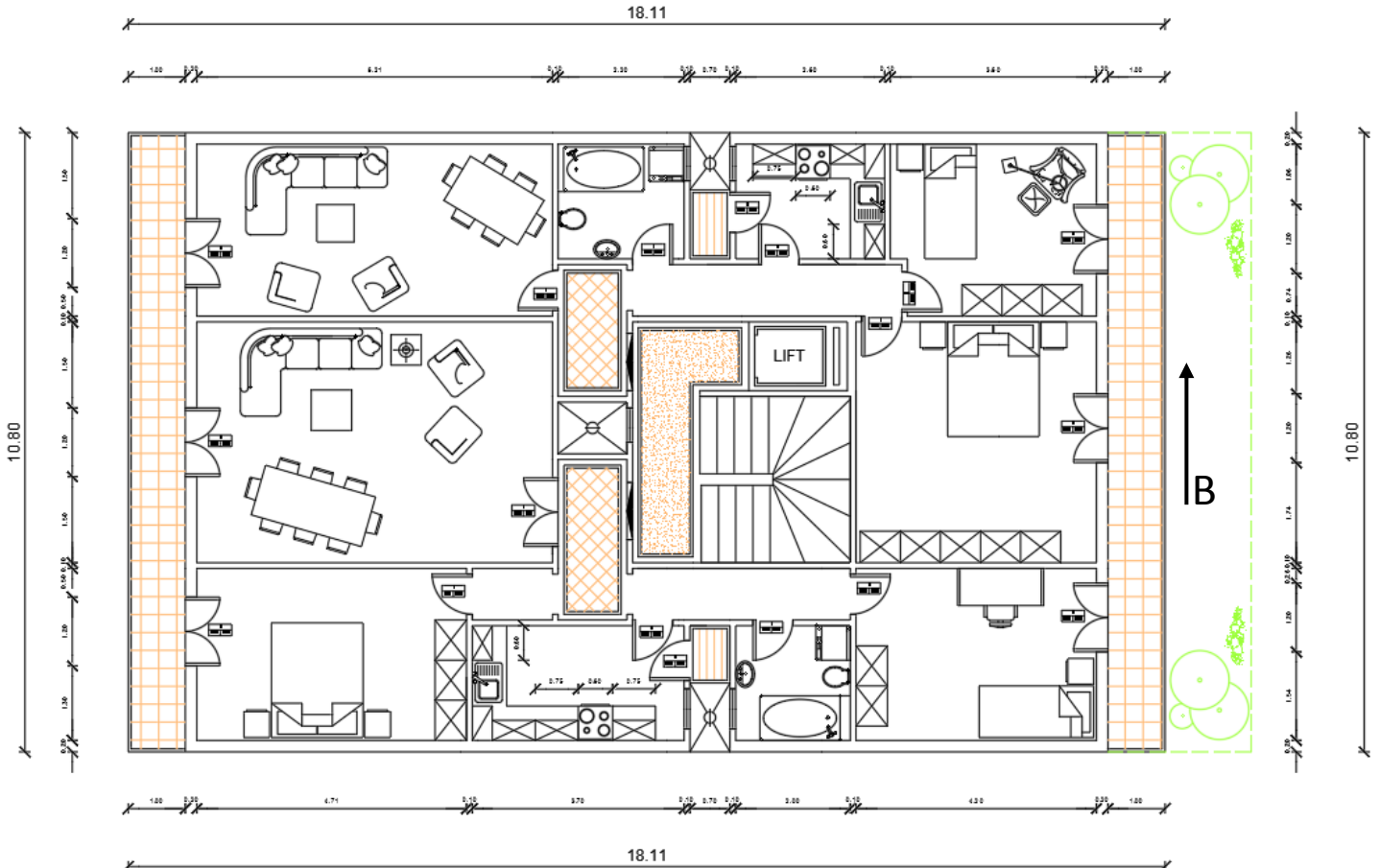
1. **Παναγόπουλος Γ., Κίρτας Ε. (2005).** Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος Ι. Σημειώσεις μαθήματος «Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος Ι». Τ.Ε.Ι.Σερρών.
2. **Καραγιάννης Χρ. (2016).** Σχεδιασμός Συμπεριφορά Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα έναντι Σεισμού. Εκδόσεις "Σοφία". Θεσσαλονίκη (Ελλάδα), 2016. Σελ.: 260-261, 284-285, 413-421.
3. **Ευρωκώδικας 2-E.C.2 (EN 1992-1-1: 2004 GR).** Σχεδιασμός Φορέων από Σκυρόδεμα, Μέρος 1-1: Γενικοί Κανόνες και Κανόνες για Κτίρια. Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση (C.E.N.). Σελ.: 76, 113-124, 165-166, 195-196, 202, 211-214.
4. **ΔΙΠΑΔ/οικ/473/31-12-2008.** Προσωρινές Συστάσεις για το σχεδιασμό έργων γεφυροποιίας σε συνδυασμό με τους αντίστοιχους Ευρωκώδικες (ΠΡΟΣΥ). Εφημερίδα της Κυβέρνησης (ΦΕΚ 2692/Β/31-12-2008). Σελ.: 37-38.
5. **Ευρωκώδικας 8-E.C.8 (EN 1998-1: 2004 GR).** Αντισεισμικός Σχεδιασμός, Μέρος 1: Γενικοί Κανόνες, Σεισμικές Δράσεις και Κανόνες για Κτίρια. Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση (C.E.N.). Σελ.: 105-104, 107-108, 119-121.
6. **Ιγνατάκης Χρ., Σέξτος Α. (2015).** Κτίρια από Οπλισμένο Σκυρόδεμα: Διαστασιολόγηση σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 2 και 8. Εκδόσεις "Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών". Αθήνα (Ελλάδα), 2015. Σελ.: 173-190.

# Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

## Παρουσίαση των υπό μελέτη τριώροφων κτιρίων Οπλισμένου Σκυροδέματος

### 3.1 Επιλογή στατικού συστήματος και γεωμετρικά χαρακτηριστικά

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, μελετώνται δύο κτίρια, τα οποία φαινομενικά είναι πανομοιότυπα και διαθέτουν τις ίδιες περιμετρικές διαστάσεις καθώς έχουν και κοινή Αρχιτεκτονική κάτοψη (**Εικόνα 3.1**), διαφέρουν όμως ως προς την σεισμική συμπεριφορά, καθώς στελεχώνονται από δύο διαφορετικά στατικά συστήματα. Τα συγκεκριμένα κτίρια, είναι τριώροφα (συμπεριλαμβανομένου και του ισογείου), με ύψος ορόφων το οποίο ανέρχεται στα 3(m) και ο **Φορέας I (1<sup>ο</sup> κτίριο)**, διαθέτει **Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Πλαισιακό (Ι.Π.Π.)**, ενώ ο **Φορέας II (2<sup>ο</sup> κτίριο)**, **Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Τοιχωματικό (Ι.Π.Τ.)**. Όλα τα κοινά δομικά τους στοιχεία, έχουν την ίδια θέση και πανομοιότυπα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, με μόνη εξαίρεση το Τοίχωμα K14 (Ι.Π.Π.), το οποίο διαφέρει από το αντίστοιχο K12 (Ι.Π.Τ.) σε μήκος (**Εικόνες 3.2 & 3.7**)· η διαφορά των δύο στατικών συστημάτων, εντοπίζεται στο γεγονός ότι στην θέση των υποστυλωμάτων του 1<sup>ου</sup> κτιρίου, υπάρχουν τοιχώματα στο 2<sup>ο</sup> κτίριο, στοιχείο που καθορίζει και τα στατικά συστήματα μελέτης της παρούσας εργασίας. Για κάθε ένα από τα δύο αυτά κτίρια, πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός τους και η επίλυση, τόσο σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες (E.C.2 & E.C.8), όσο και με την βοήθεια του στατικού προγράμματος Fespa, ενώ στην συνέχεια συγκρίνονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τους δύο αυτούς τρόπους (**Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> & 5<sup>ο</sup>**). Η γεωμετρία του εκάστοτε φορέα, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, τα φορτία και οι μάζες, παρουσιάζονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους του παρόντος κεφαλαίου.<sup>[1]</sup>



**Εικόνα 3.1.** Αρχιτεκτονική κάτοψη τυπικού ορόφου (κοινή και για τα δύο κτίρια).



### 3.1.1 Τύποι Στατικών Συστημάτων

Σύμφωνα με την §5.2.2.1, του Ευρωκώδικα (E.C.8), τα κτίρια από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, κατατάσσονται σε μία από τις κατηγορίες που αναλύονται στον παρακάτω **Πίνακα 3.1**, ανάλογα με το στατικό σύστημα που διαθέτουν. Για τον ορισμό της κάθε κατηγορίας, ο όρος «Διατμητική Αντοχή», είναι δυνατόν να αντικατασταθεί από αυτόν της «Διατμητικής Σεισμικής Δύναμης»: προκειμένου δηλαδή να προσδιοριστεί η κατηγορία του εκάστοτε κτιρίου, επιτρέπεται ο υπολογισμός να πραγματοποιείται με βάση την κατανομή των σεισμικών δυνάμεων στα κατακόρυφα στοιχεία του κατώτερου ορόφου (βάση), αντί της αντίστοιχης διατμητικής τους αντοχής.<sup>[5]</sup>

Στους πιο πρόσφατους αντισεισμικούς κανονισμούς, για την μελέτη και τον σχεδιασμό κτιρίων από σκυρόδεμα, γίνονται αποδεκτοί, χαμηλότεροι συντελεστές συμπεριφοράς για τα τοιχωματικά, απ' ότι για τα πλαίσιακά στατικά συστήματα. Οι λόγοι που συμβαίνει το παραπάνω γεγονός, είναι οι κάτωθι:

- ✓ τα τοιχώματα με μεγάλο μήκος  $l_w$ , διαθέτουν γενικώς χαμηλότερα ποσοστά διατμητικού οπλισμού, σε σχέση με τις δοκούς και τα υποστυλώματα των πλαισίων, πράγμα που σημαίνει ότι η διάτμηση, επηρεάζει περισσότερο την ικανότητα παραμόρφωσης και την κυκλική συμπεριφορά τους,
- ✓ η ακριβής συμπεριφορά των τοιχωμάτων και γενικότερα των τοιχωματικών συστημάτων, στην ανακυκλιζόμενη φόρτιση, έχει μελετηθεί σε μικρότερο βαθμό συγκριτικά με τα πλαίσιακά συστήματα, καθώς οι επιστημονικές έρευνες σε τοιχώματα είναι πρακτικώς δυσκολότερες και οι αναλυτικές έρευνες πιο απαιτητικές, ώστε οι κανονισμοί, έχουν θέσει μεγαλύτερα περιθώρια ασφαλείας.<sup>[2]</sup>

Ωστόσο, τόσο χάρη στα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η σεισμική συμπεριφορά των τοιχωμάτων, όσο και από την έως τώρα εμπειρία για την πολύ καλή συμπεριφορά τους έναντι πολύ ισχυρών σεισμικών διεγέρσεων, υπάρχει μία τάση προς σύγκλιση των συντελεστών συμπεριφοράς των πλαίσιακών με των τοιχωματικών στατικών συστημάτων.<sup>[2]</sup>

**Πίνακας 3.1.** Κατάταξη κτιρίων Οπλισμένου Σκυροδέματος, με βάση το Στατικό τους Σύστημα.<sup>[2]</sup>

Χαρακτηρισμός	Επεξήγηση
<b>Πλαισιακό Σύστημα</b>	τα πλαίσια δοκών-υποστυλωμάτων, αναλαμβάνουν ποσοστό της σεισμικής τέμνουσας βάσης, μεγαλύτερο από 65% κατά την ελαστική ανάλυση
<b>Τοιχωματικό Σύστημα</b>	τα τοιχώματα (όπως ορίζονται κατά τον E.C.2, ως κατακόρυφα στοιχεία, με λόγο πλευρών διατομής, μεγαλύτερο ή ίσο με: 4,00) αναλαμβάνουν ποσοστό της σεισμικής τέμνουσας βάσης, μεγαλύτερο από 65% κατά την ελαστική ανάλυση
<b>Διπλό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Πλαισιακό</b>	όπου τα πλαίσια δοκών-υποστυλωμάτων, αναλαμβάνουν ποσοστό της σεισμικής τέμνουσας βάσης, μεταξύ 50% και 65% κατά την ελαστική ανάλυση
<b>Διπλό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Τοιχωματικό</b>	όπου τα τοιχώματα αναλαμβάνουν ποσοστό της σεισμικής τέμνουσας βάσης, μεταξύ 50% και 65% κατά την ελαστική ανάλυση

<b>Στρεπτικά Εύκαμπτο Σύστημα</b>	η ελάχιστη ακτίνα δυστρεψίας μεταξύ των δυο οριζόντιων διευθύνσεων, είναι σε κάποιον όροφο μικρότερη από την ακτίνα αδρανείας της μάζας ορόφου, με ενδεχόμενο αποτέλεσμα κυρίαρχες περί τον κατακόρυφο άξονα στρεπτικές ταλαντώσεις
<b>Σύστημα Ανεστραμμένου Εκκρεμούς</b>	τουλάχιστον η μισή μάζα, βρίσκεται συγκεντρωμένη στα άνω τρίτα του ύψους ή η ανελαστική παραμόρφωση και η απορρόφηση σεισμικής ενέργειας, συγκεντρώνονται στην βάση ενός μόνο κατακόρυφου στοιχείου (στον EC8, δεν θεωρούνται ως ανεστραμμένα εκκρεμή: μονώροφα πλαίσιακά συστήματα, με δοκούς και κατά τις δύο οριζόντιες διευθύνσεις, αν η ανηγμένη αξονική δύναμη $v_d = N_d/A_c * f_{cd}$ , είναι μικρότερη από 0,30 σε όλα τα υποστυλώματα)

### 3.1.2 Επιλογή Στατικού Συστήματος

Όσον αφορά την επιλογή του Στατικού Συστήματος σε κάθε φορέα, αρχικά μελετήθηκε η Αρχιτεκτονική κάτοψη τυπικού ορόφου (**Εικόνα 3.1**) και με βάση της ανάγκες των χώρων και την αντίστοιχη διαμόρφωση, τοποθετήθηκαν κατάλληλα όλα τα δομικά στοιχεία. Γενικά, είχε αποφασισθεί εξ αρχής, ότι θα δημιουργηθούν δύο διαφορετικοί φορείς με βάση την Αρχιτεκτονική αυτή κάτοψη, οι οποίοι, θα διαθέτουν ο ένας Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Πλαισιακό (Ι.Π.Π.) και ο άλλος Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Τοιχωματικό (Ι.Π.Τ.). Παρακάτω, περιγράφεται αναλυτικά, η ακριβής διαδικασία και ο τρόπος σκέψης, που οδήγησαν στην δημιουργία με τον σωστό τρόπο, των επιθυμητών στατικών συστημάτων στους φορείς.

#### Φορέας Ι (Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Πλαισιακό)

Για την τοποθέτηση των κατάλληλων δομικών στοιχείων στον Φορέα Ι (Ι.Π.Π.), χρησιμοποιήθηκε η **Εικόνα 3.1**, από την οποία προέκυψε η **Εικόνα 3.2**. Στην τελευταία, διακρίνεται καθαρά, η θέση τοποθέτησης του κάθε δομικού στοιχείου και συγκεκριμένα, τοποθετήθηκε, όπως παρατηρείται ο ίδιος αριθμός δομικών στοιχείων και μάλιστα με κοινές διαστάσεις, τόσο στις εύκαμπτες, όσο και στις σχετικά δύσκαμπτες πλευρές του κτιρίου. Εύκαμπτες, αποτελούν οι μικρότερες σε διαστάσεις πλευρές ενός κτιρίου και θα πρέπει να διαθέτουν περισσότερα στοιχεία, πράγμα που συμβαίνει, καθώς οι πλευρές με τις μικρότερες διαστάσεις (10,80 m), έχουν τον ίδιο αριθμό δομικών στοιχείων με τις μεγαλύτερες σε διαστάσεις πλευρές (18,11 m), δηλαδή συγκριτικά περισσότερα δομικά στοιχεία για την έκτασή τους.

Περιμετρικά το κτίριο, πλαισιώνεται αποκλειστικά από υποστυλώματα, οκτώ (8) τετραγωνικής διατομής και τέσσερα (4) διατομής Γ. Στο κέντρο, τοποθετήθηκε ακόμη ένα (1) υποστυλώμα τετραγωνικής διατομής, κοινής με τα υπόλοιπα της περιμέτρου και δημιουργήθηκε η αναπόφευκτη επιλογή, για πλαισίωση του κλιμακοστασίου και ασανσέρ με τοιχώματα. Σχηματίστηκε λοιπόν ένας πυρήνας τοιχωμάτων διπλού Π, γύρω από το κλιμακοστάσιο και το ασανσέρ και ως αντίσταση σε αυτόν τον διπλό πυρήνα, ακριβώς απέναντι, τοποθετήθηκε ακόμη ένα τοίχωμα, με την μεγάλη του διάσταση κατά την διεύθυνση x (**Εικόνα 3.2**). Τα στοιχεία γύρω από τον πυρήνα και εκείνο που τοποθετήθηκε ως αντίσταση σε αυτόν, χαρακτηρίζονται ως τοιχώματα, καθώς σύμφωνα με τον κανονισμό (Ε.Σ.2), έτσι καλούνται τα κατακόρυφα στοιχεία, με λόγο πλευρών διατομής, μεγαλύτερο ή ίσο με: 4,00.

Δοκοί τοποθετήθηκαν εξωτερικά και εσωτερικά στην κάτοψη (**Εικόνα 6.1**) και δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να μην είναι άκομψη αισθητικά η θέση τους. Παράδειγμα τέτοιας αισθητικής, θα μπορούσε να είναι μία δοκός

που να βρίσκεται στο κέντρο ενός σαλονιού και να αδικεί τον χώρο· το γεγονός αυτό, δεν αποτελεί λάθος και πολλές φορές συμβαίνει στην πράξη, ωστόσο στην συγκεκριμένη περίπτωση, αποφεύχθηκε. Ακόμη, παρόμοιας λογικής, ήταν και η τοποθέτηση των υποστυλωμάτων, ώστε να μην έχουν θέση διαφορετική από την περιμετρική σε ένα δωμάτιο, καθώς σε κάθε άλλη περίπτωση, είναι δυνατόν να εμποδίζουν την λειτουργικότητα και εργονομία ενός χώρου.

Τέλος, οι πλάκες τοποθετήθηκαν σε όλο το μήκος της εκάστοτε στάθμης, με τους προβόλους (μπαλκόνια), να εξέχουν. Το μοναδικό τμήμα που δεν διαθέτει πλάκα, προφανώς είναι η περιοχή του ανοίγματος του κλιμακοστασίου και του ασανσέρ.

### Φορέας II (Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Τοιχωματικό)

Για την τοποθέτηση των κατάλληλων δομικών στοιχείων στον Φορέα II (Ι.Π.Τ.), χρησιμοποιήθηκε και πάλι η **Εικόνα 3.1**, από την οποία προέκυψε η **Εικόνα 3.7**. Στην τελευταία, διακρίνεται καθαρά, η θέση τοποθέτησης του κάθε δομικού στοιχείου και συγκεκριμένα, τοποθετήθηκε όπως παρατηρείται μεγάλος αριθμός τοιχωμάτων περιμετρικά του κτιρίου και προς τις δύο διευθύνσεις  $x$  και  $y$ , καθώς όσο πιο μακριά από τον πυρήνα του κλιμακοστασίου, που σχηματίζεται στο κέντρο, υπάρχουν τοιχώματα, τόσο περισσότερο βοηθούν την αντίσταση του κτιρίου στην στρέψη, διότι βρίσκονται περιμετρικά στοιβαγμένα.

Σε αντίθεση με τον Φορέα I (Ι.Π.Π.), εδώ το κτίριο περιμετρικά, δεν πλαισιώνεται αποκλειστικά από τοιχώματα, διότι υπάρχουν και υποστυλώματα. Συγκεκριμένα, έχουν τοποθετηθεί δέκα (10) τοιχώματα ορθογωνικής διατομής και προς τις δύο διευθύνσεις  $x$  και  $y$ , από τα οποία ορισμένα βρίσκονται το ένα σε συνέχεια του άλλου και σχηματίζουν διατομές τοιχωμάτων τύπου Γ, αλλά και έξι (6) υποστυλώματα τετραγωνικής διατομής. Στο κέντρο, τοποθετήθηκε ακόμη ένα (1) υποστυλόμετρο τετραγωνικής διατομής, κοινής με τα υπόλοιπα της περιμέτρου και δημιουργήθηκε η αναπόφευκτη επιλογή, για πλαισίωση του κλιμακοστασίου και ασανσέρ με τοιχώματα. Σχηματίστηκε λοιπόν ένας πυρήνας τοιχωμάτων διπλού Π, γύρω από το κλιμακοστάσιο και το ασανσέρ και ως αντίσταση σε αυτόν τον διπλό πυρήνα, ακριβώς απέναντι, τοποθετήθηκε ακόμη ένα (1) τοίχωμα, με την μεγάλη του διάσταση κατά την διεύθυνση  $x$  (**Εικόνα 3.7**). Όλα τα δομικά στοιχεία, που χαρακτηρίζονται ως τοιχώματα, είναι σύμφωνα με τις διατάξεις του κανονισμού (Ε.Σ.2), με βάση τον οποίο, έχουν λόγο πλευρών διατομής, μεγαλύτερο ή ίσο με: 4,00.

Δοκοί τοποθετήθηκαν εξωτερικά και εσωτερικά στην κάτοψη (**Εικόνα 6.2**) και η λογική της αισθητικής που ακολουθήθηκε, τόσο για τις δοκούς, όσο και για την θέση των υποστυλωμάτων, είναι ακριβώς η ίδια με εκείνη για τον Φορέα I (Ι.Π.Π.).

Τέλος, για τις πλάκες, ισχύουν και πάλι, όσα αναφέρθηκαν και για τον Φορέα I (Ι.Π.Π.).

#### 3.1.3 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά (περιγραφή των φορέων)

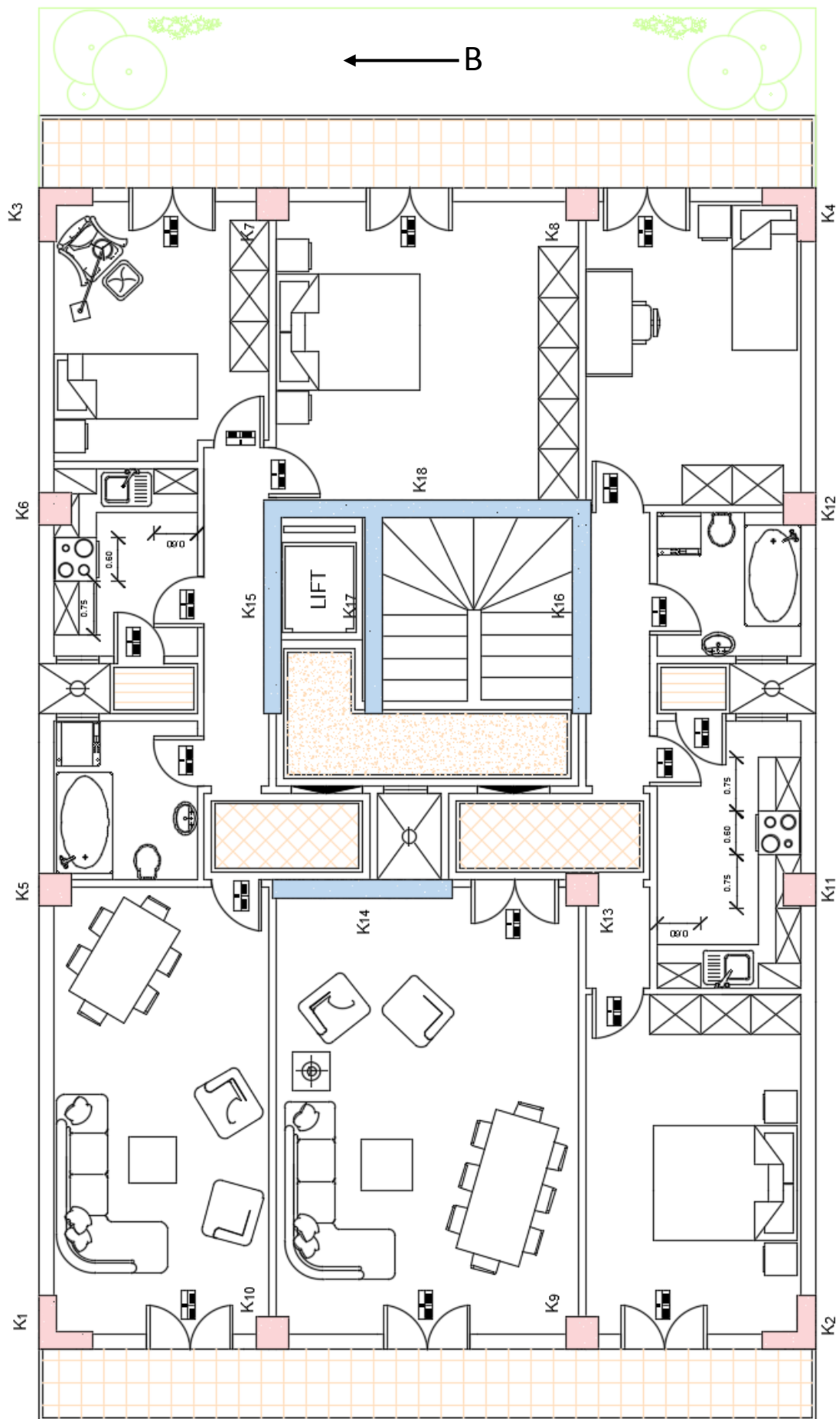
##### Φορέας I (Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Πλαισιακό)

Η γεωμετρία του φορέα, επιλέχθηκε τυχαία, στα πλαίσια της παρούσας μελέτης. Όπως αναφέρθηκε, το κτίριο, αποτελείται από δύο ορόφους ( $1^{ος}$  &  $2^{ος}$ ) και το ισόγειο, δεν διατίθεται πυλωτή (pilotis), αλλά ούτε και υπόγειο. Έχει εμβαδόν κάτοψης (χωρίς τους εξώστες) περίπου **174,00 (m<sup>2</sup>)** και το ύψος του εκάστοτε ορόφου, ανέρχεται στα **3,00 (m)**. Η θεμελίωση, έγινε με Πέδιλο-Δοκούς, ενώ δεν προβλέπεται προσθήκη καθ' ύψος.<sup>[2]</sup>

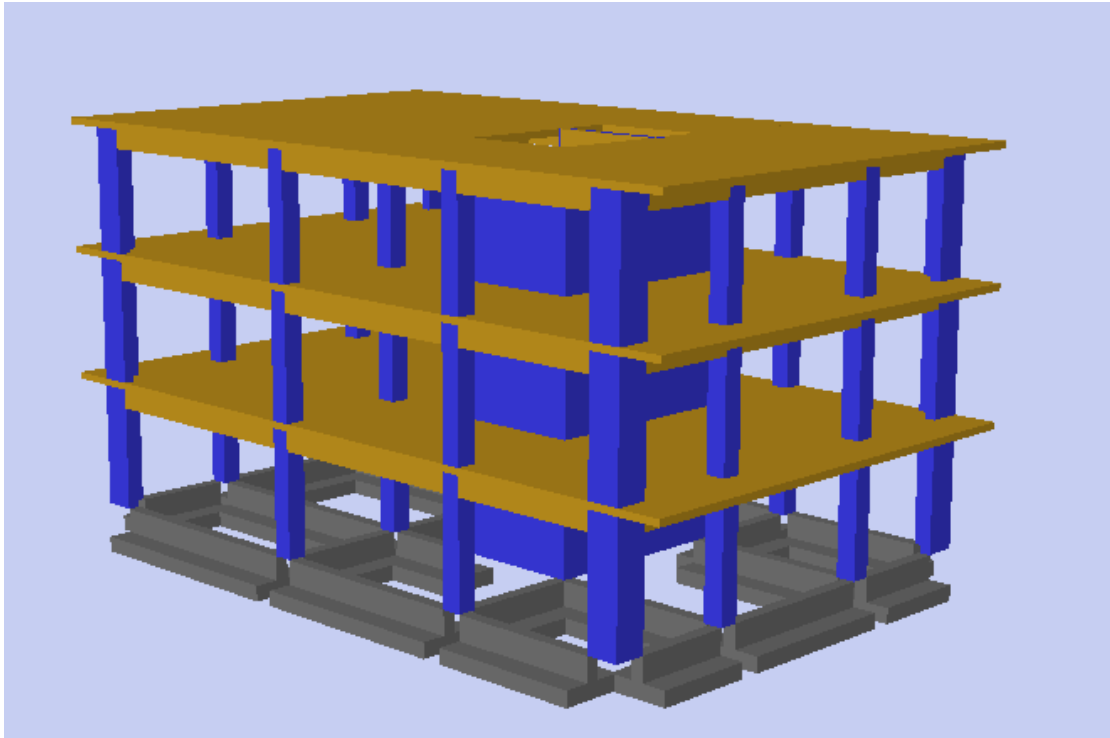
Πρόκειται για ένα κτίριο, με σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα, ορθογωνική κάτοψη διαστάσεων **(18,11 x 10,80) (m)**, κανονικό καθ' ύψος και σε κάτοψη, με Πλαισιακό κυρίως κατασκευαστικό σύστημα. Το κτίριο κατασκευάζεται σε περιοχή που ανήκει σε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I, σε έδαφος κατηγορίας Β, η σπουδαιότητά του είναι συνήθης, καθώς προορίζεται για κατοικία (όροφος  $1^{ος}$  &  $2^{ος}$ ) ή πιθανά καταστήματα και γραφεία (ισόγειο/όροφος 0) και το πάχος των επικαλύψεων των δομικών στοιχείων, είναι **35 (cm)**.

Συνολικά, το κτίριο διαθέτει τέσσερα (4) διαμερίσματα (δύο σε κάθε όροφο) και τέσσερα (4) πιθανά καταστήματα ή γραφεία. Συγκεκριμένα, ο φέροντας οργανισμός αποτελείται από τα παρακάτω δομικά στοιχεία, τα οποία διακρίνονται και στις **Εικόνες 3.2 - 3.6** που ακολουθούν:

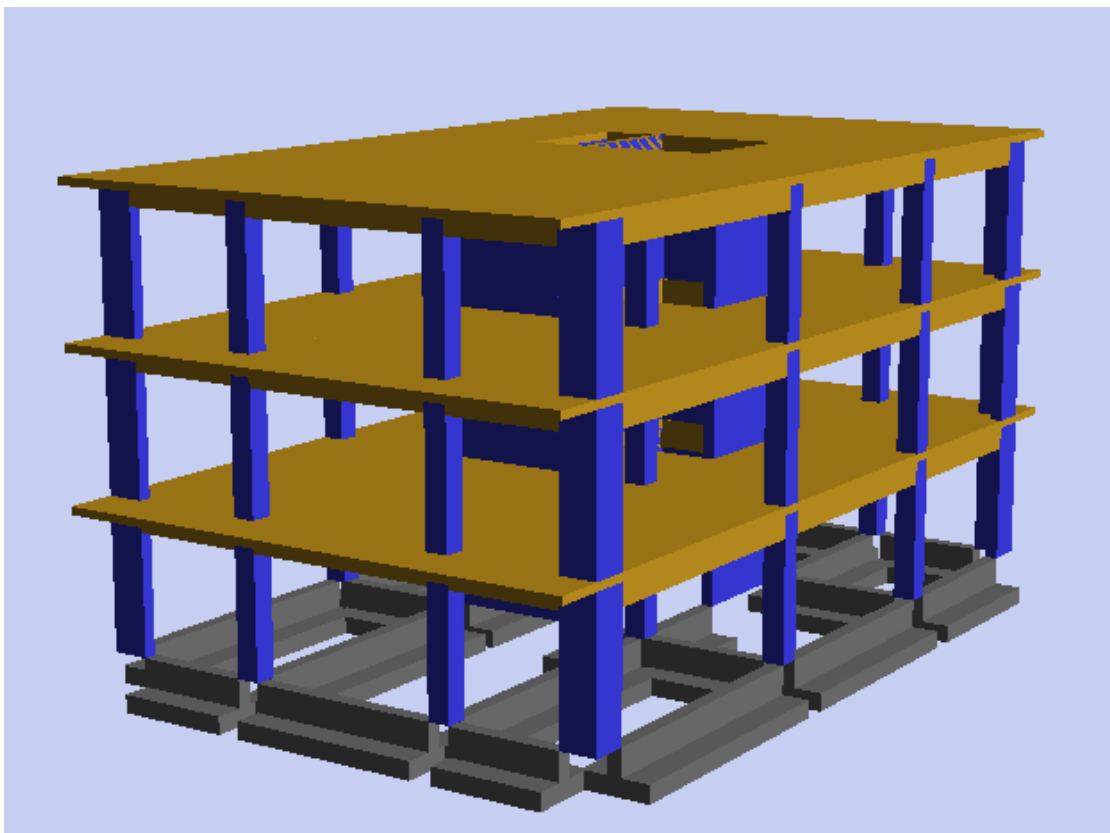
- **οκτώ (8) υποστυλώματα τετραγωνικής διατομής (45 x 45) (cm)** στην περίμετρο του κτιρίου και **ένα (1)** στο κέντρο περίπου της κάτοψης, της ίδιας πάλι διατομής,
- **τέσσερα (4) υποστυλώματα μορφής Γ, διατομής (25 x 75 x 25 x 75) (cm)**, ένα σε κάθε γωνία του κτιρίου,
- **δύο (2) τοιχώματα κατά την διεύθυνση γ**, στο κέντρο της κάτοψης του κτιρίου, με διαστάσεις διατομής **(25 x 250) (cm)** και **(25 x 455) (cm)**,
- **τρία (3) τοιχώματα κατά την διεύθυνση χ**, στο κέντρο της κάτοψης του κτιρίου, με διαστάσεις διατομής **(25 x 285) (cm)** έκαστο,
- όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 3.2**, τα τοιχώματα και των δύο διευθύνσεων, σχηματίζουν μεταξύ τους έναν πυρήνα διπλού Π, στο κέντρο περίπου της κάτοψης, ο οποίος περικλείει το κλιμακοστάσιο στην μία πλευρά και το ασανσέρ στην άλλη, καθ' όλο το ύψος του κτιρίου,
- **έντεκα (11) πλάκες** στην οροφή κάθε ορόφου, συμπεριλαμβανομένων των εξωστών (33 συνολικά στο κτίριο), με πάχος  $h_f = 16$  (cm) έκαστη,
- **είκοσι-εφτά (27) συνολικά στην ανωδομή πλακοδοκούς** με διαστάσεις διατομής:  $b_w/h/b_{eff}/h_f = 25/60/191,4/16$  (cm) [εννέα (9) στην οροφή κάθε υπέργειου ορόφου] και
- εσχάρα θεμελίωσης με Πέδιλο-Δοκούς.<sup>[2, 3]</sup>



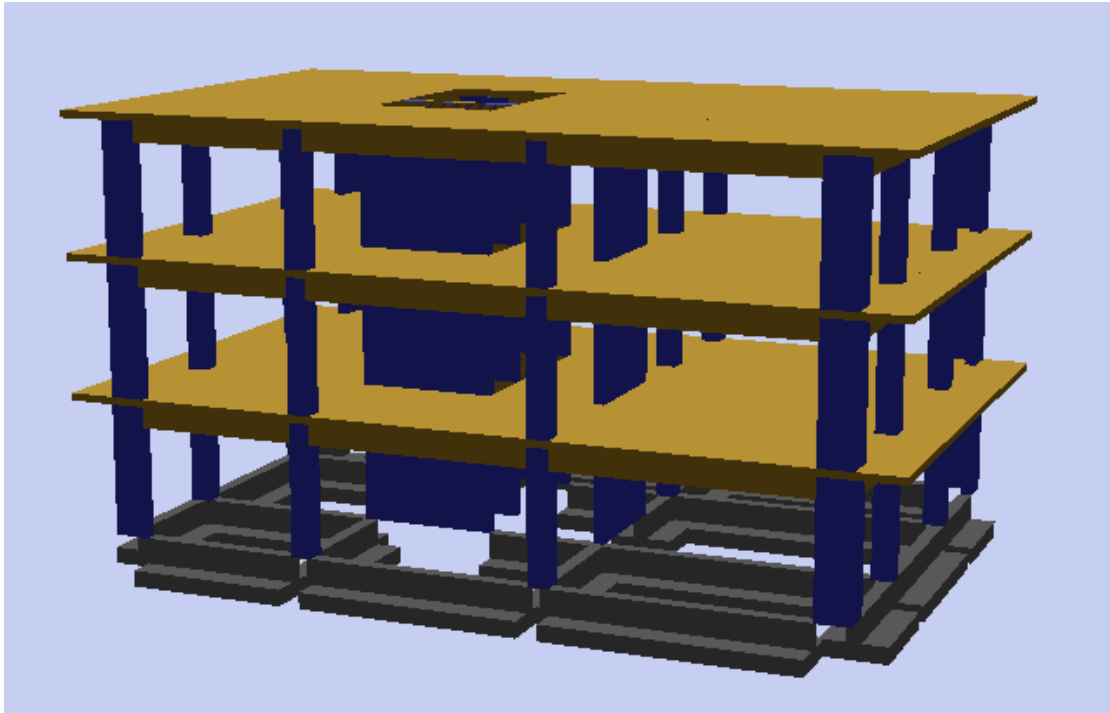
**Εικόνα 3.2.** Αρχιτεκτονική κάτοψη τυπικού ορόφου 1<sup>ου</sup> κτιρίου, στην οποία απεικονίζονται και τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία (υποστυλώματα-τοιχώματα).



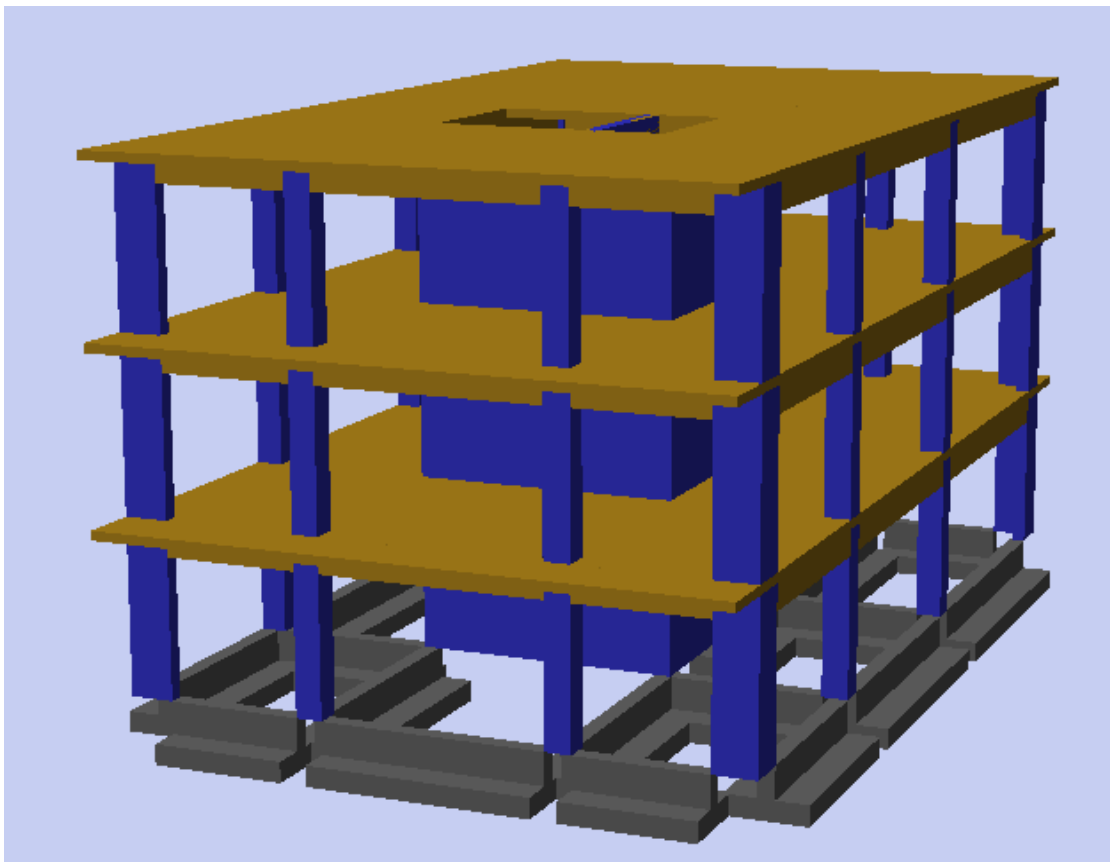
**Εικόνα 3.3.** Τρισδιάστατη απεικόνιση του Φορέα Ι (Νότιο-Ανατολική όψη), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.



**Εικόνα 3.4.** Τρισδιάστατη απεικόνιση του Φορέα Ι (Νότιο-Δυτική όψη), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.



**Εικόνα 3.5.** Τρισδιάστατη απεικόνιση του Φορέα Ι (Βόρειο-Δυτική όψη), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.



**Εικόνα 3.6.** Τρισδιάστατη απεικόνιση του Φορέα Ι (Βόρειο-Ανατολική όψη), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.

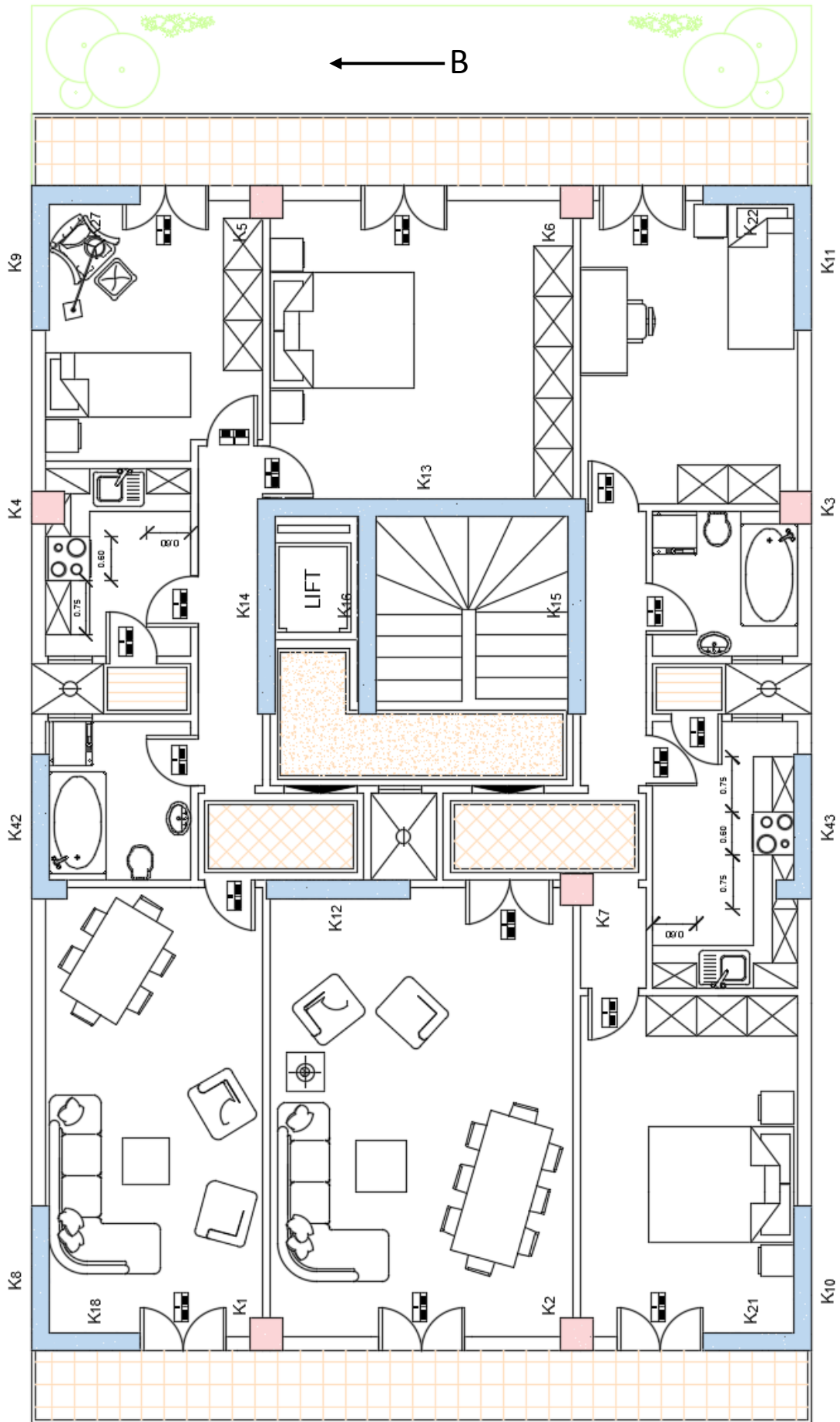
## Φορέας II (Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Τοιχωματικό)

Η γεωμετρία του φορέα, επιλέχθηκε και πάλι τυχαία. Το κτίριο, αποτελείται από δύο τυπικούς ορόφους (1<sup>ος</sup> & 2<sup>ος</sup>) και το ισόγειο, δεν διατίθεται πυλωτή (pilotis), αλλά ούτε και υπόγειο. Έχει εμβαδόν κάτοψης (χωρίς τους εξώστες) περίπου **174,00 (m<sup>2</sup>)** και το ύψος του εκάστοτε ορόφου, ανέρχεται στα **3,00 (m)**. Η θεμελίωση, έγινε με Πέδιλο-Δοκούς, ενώ δεν προβλέπεται προσθήκη καθ' ύψος.<sup>[2]</sup>

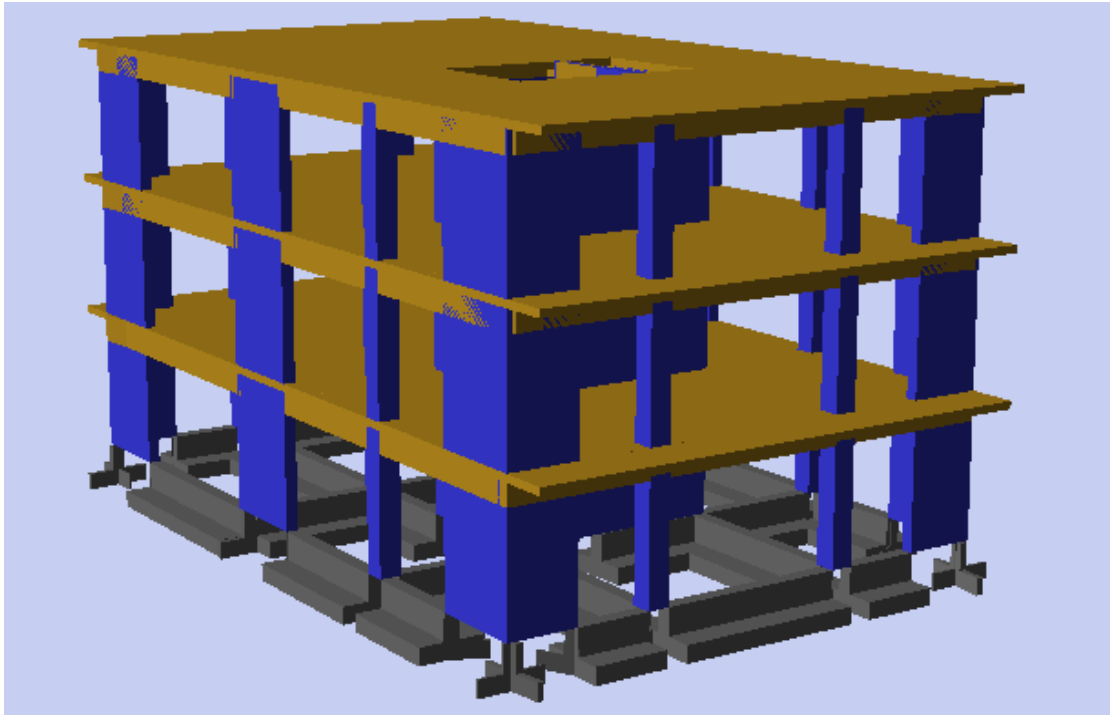
Πρόκειται για ένα κτίριο, με σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα, ορθογωνική κάτοψη διαστάσεων **(18,11 x 10,80) (m)**, κανονικό καθ' ύψος και σε κάτοψη, με Τοιχωματικό κυρίως κατασκευαστικό σύστημα. Το κτίριο κατασκευάζεται σε περιοχή που ανήκει σε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I, σε έδαφος κατηγορίας B, η σπουδαιότητά του είναι συνήθης, καθώς προορίζεται για κατοικία (όροφος 1<sup>ος</sup> & 2<sup>ος</sup>) ή πιθανά καταστήματα και γραφεία (ισόγειο/όροφος 0) και το πάχος των επικαλύψεων των δομικών στοιχείων, είναι **35 (cm)**. Συνολικά, το κτίριο διαθέτει τέσσερα (4) διαμερίσματα (δύο σε κάθε όροφο) και τέσσερα (4) πιθανά καταστήματα ή γραφεία. Συγκεκριμένα, ο φέρωντας οργανισμός αποτελείται από τα παρακάτω δομικά στοιχεία, τα οποία διακρίνονται και στις **Εικόνες 3.7 - 3.11** που ακολουθούν:

- **έξι (6) υποστυλώματα τετραγωνικής διατομής (45 x 45) (cm)** στην περίμετρο του κτιρίου και **ένα (1)** στο κέντρο περίπου της κάτοψης, της ίδιας πάλι διατομής,
- **έξι (6) τοιχώματα κατά την διεύθυνση γ**
  - i. **ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ:** 4 με διαστάσεις διατομής **(25 x 150) (cm)** και
  - ii. **ΚΕΝΤΡΙΚΑ:** 1 με διαστάσεις διατομής **(25 x 200) (cm)** και 1 με διαστάσεις διατομής **(25 x 455) (cm)**,
- **εννέα (9) τοιχώματα κατά την διεύθυνση x**
  - i. **ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ:** 4 με διαστάσεις διατομής **(25 x 200) (cm)** και 2 με διαστάσεις διατομής **(25 x 200 x 25 x 50) (cm)** και
  - ii. **ΚΕΝΤΡΙΚΑ:** 3 με διαστάσεις διατομής **(25 x 285) (cm)** έκαστο,
- όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 3.7**, τα τοιχώματα και των δύο διευθύνσεων, σχηματίζουν μεταξύ τους έναν πυρήνα διπλού Π, στο κέντρο περίπου της κάτοψης, ο οποίος περικλείει το κλιμακοστάσιο στην μία πλευρά και το ασανσέρ στην άλλη, καθ' όλο το ύψος του κτιρίου· ακόμη, στην περίμετρο, σε κάθε γωνία του κτιρίου, σχηματίζονται και συστήματα τοιχωμάτων μορφής Γ, πάλι από τοιχώματα των δύο διευθύνσεων,
- **έντεκα (11) πλάκες** στην οροφή κάθε ορόφου, συμπεριλαμβανομένων των εξωστών (33 συνολικά στο κτίριο), με πάχος  $h_f = 16$  (cm) έκαστη,
- **είκοσι-εφτά (27) συνολικά στην ανωδομή πλακοδοκούς** με διαστάσεις διατομής:  $b_w/h/b_{eff}/h_f = 25/60/191,4/16$  (cm) [εννέα (9) στην οροφή κάθε υπέργειου ορόφου] και
- εσχάρα θεμελίωσης με Πέδιλο-Δοκούς.<sup>[2, 3]</sup>

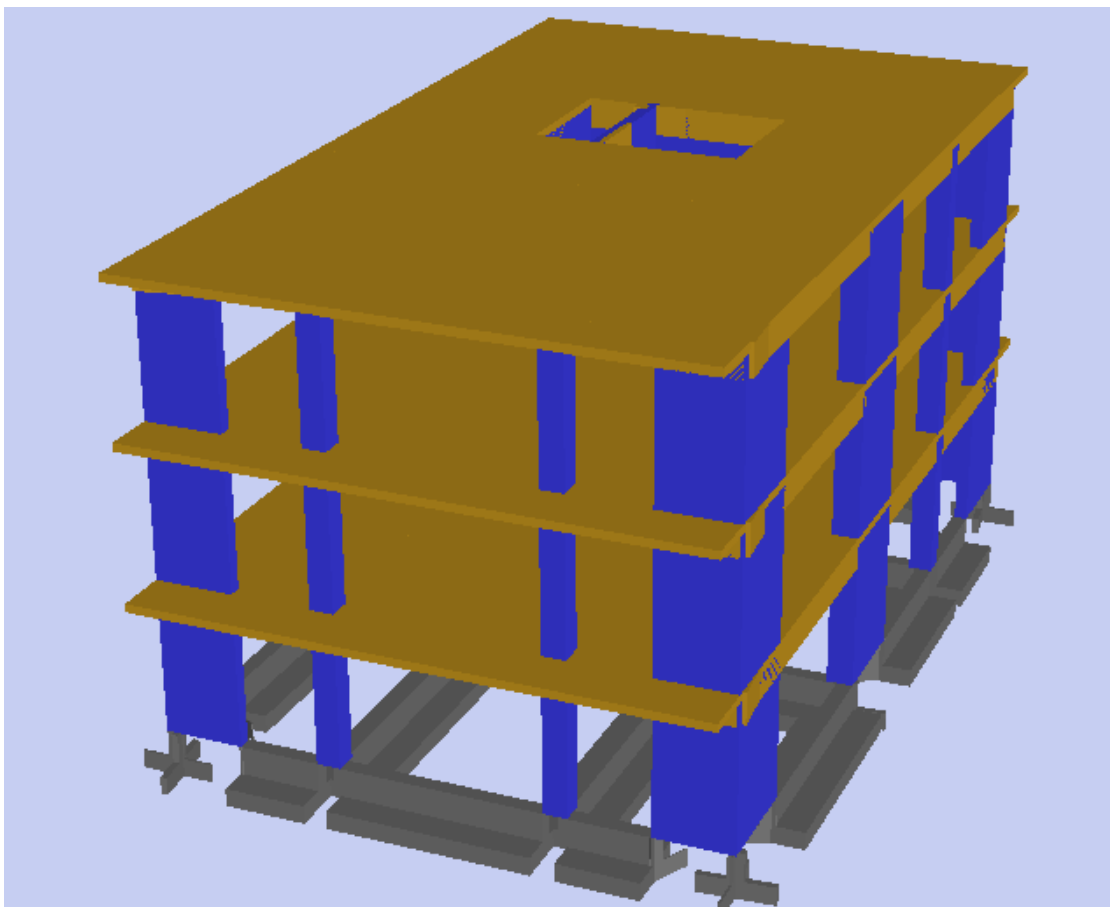




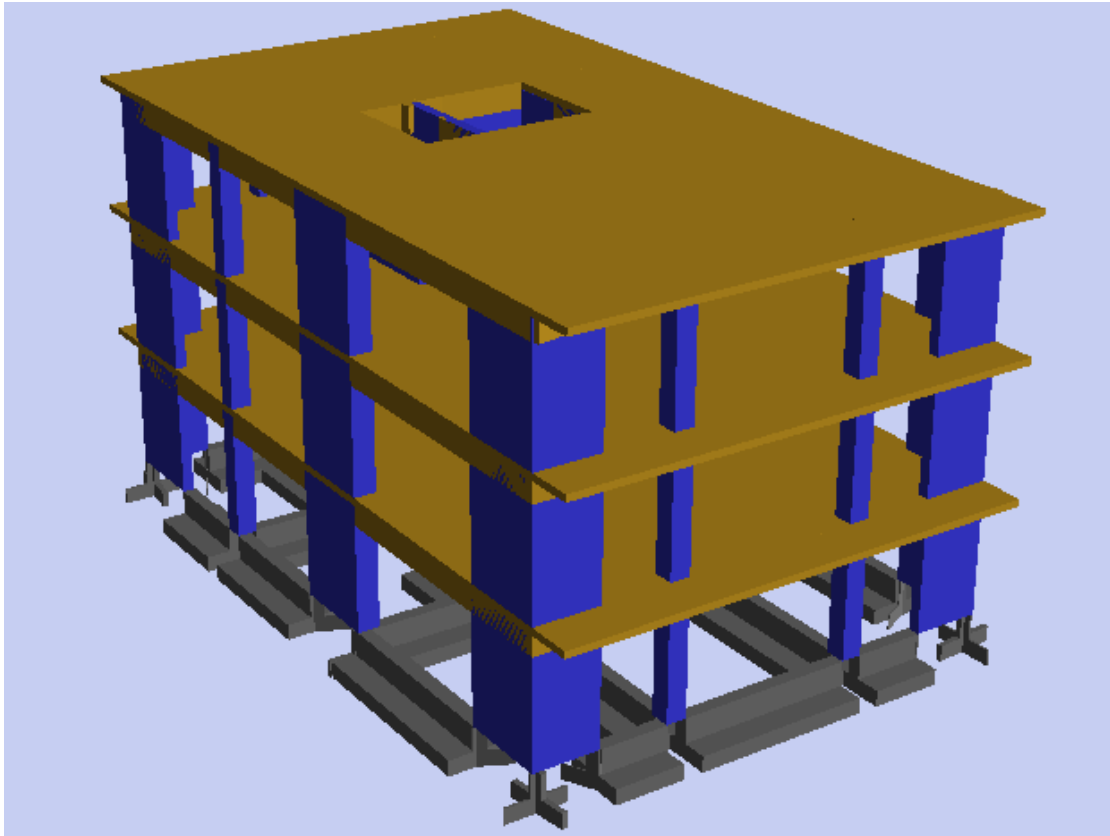
**Εικόνα 3.7.** Αρχιτεκτονική κάτοψη τυπικού ορόφου 2<sup>ου</sup> κτιρίου, στην οποία απεικονίζονται και τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία (υποστυλώματα-τοιχώματα).



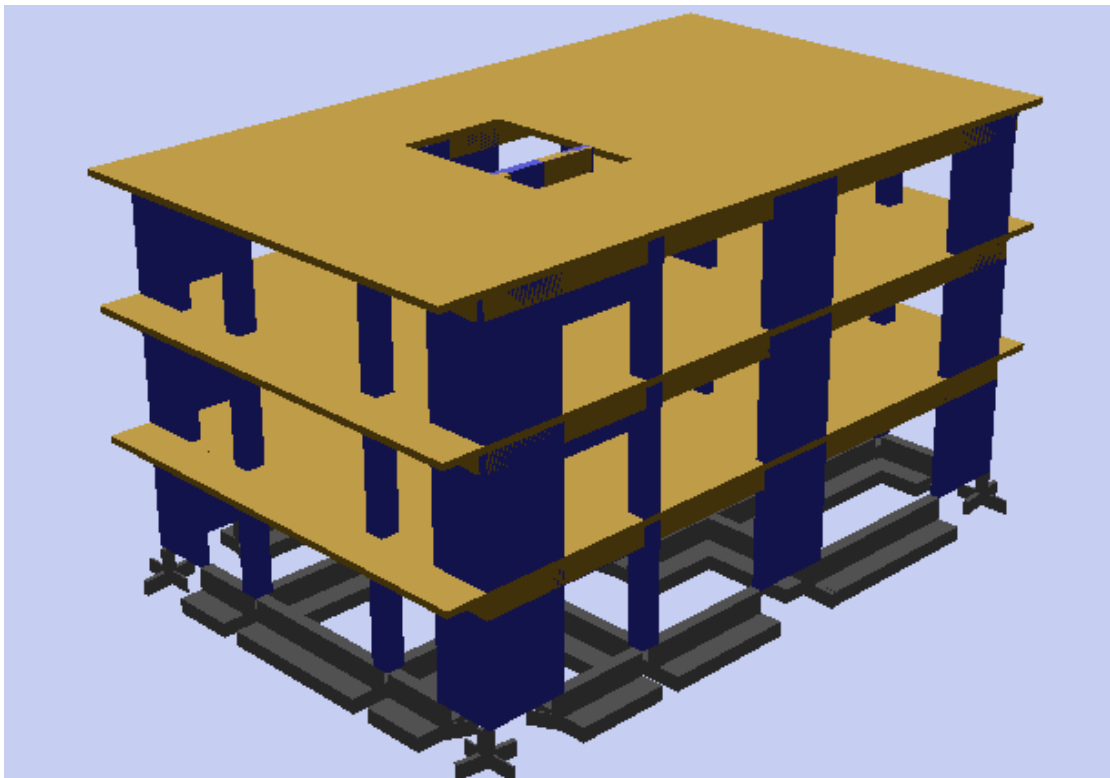
**Εικόνα 3.8.** Τρισδιάστατη απεικόνιση του Φορέα II (Νότιο-Ανατολική όψη), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.



**Εικόνα 3.9.** Τρισδιάστατη απεικόνιση του Φορέα II (Νότιο-Δυτική όψη), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.



**Εικόνα 3.10.** Τρισδιάστατη απεικόνιση του Φορέα II (Βόρειο-Δυτική όψη), από το στατικό πρόγραμμα Fesra.



**Εικόνα 3.11.** Τρισδιάστατη απεικόνιση του Φορέα II (Βόρειο-Ανατολική όψη), από το στατικό πρόγραμμα Fesra.

### 3.2 Επιλογή Κατηγορίας Πλαστιμότητας (D.C.M)

Σκοπός των σύγχρονων Αντισεισμικών Κανονισμών (E.C.), είναι η διασφάλιση της προστασίας της ζωής όσων βρίσκονται εντός κατασκευών, κατά την διάρκεια έντονων σεισμικών διεγέρσεων, παράλληλα με την περιορισμένη εμφάνιση βλαβών από συχνότερους και μικρότερης έντασης σεισμούς. Γενικά, ο κανονισμός επιτρέπει την απόκριση είτε με απορρόφηση ενέργειας, μέσα από μηχανισμούς απόσβεσης (πλάστιμη συμπεριφορά), είτε χωρίς απόσβεση ενέργειας (ουσιαστικά ελαστική συμπεριφορά). Παρόλα αυτά, προτιμάται η απόκριση σε έντονη σεισμική διέγερση, με απορρόφηση ενέργειας.<sup>[2]</sup>

Ως πλαστιμότητα, ορίζεται η ικανότητα που διαθέτει μία κατασκευή στο σύνολό της ή ενός μέλους μίας κατασκευής, να υποβάλλεται σε μεγάλες παραμορφώσεις, πέρα από το σημείο διαρροής (συνήθως για πολλούς κύκλους), χωρίς σοβαρή μείωση της αρχικής αντοχής. Η απαίτηση πλαστιμότητας, αποτελεί τον βαθμό πλαστιμότητας, που πρέπει να διαθέτει μία κατασκευή, κατά την διάρκεια του σεισμού σχεδιασμού της και είναι συνάρτηση, τόσο της ίδιας της κατασκευής, όσο και του πιθανού σεισμού. Η διαθέσιμη πλαστιμότητα, είναι αμιγώς ιδιότητα της κατασκευής και αποτελεί το μέγιστο επίπεδο πλαστιμότητας που η κατασκευή δύναται να διατηρήσει, χωρίς θραύση.<sup>[2]</sup>

Έτσι, στόχος του κανονισμού, είναι η εξασφάλιση αξιόπιστων μηχανισμών απορρόφησης ενέργειας, από προκαθορισμένες περιοχές. Στην περίπτωση κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος, μία τέτοια συμπεριφορά, μπορεί να επιτευχθεί, μονάχα εάν η μείωση της αντοχής κατά την σεισμική διέγερση, δεν απειλείται από ψαθυρούς τρόπους αστοχίας, όπως είναι η διάτμηση, η κάμψη του οπλισμού ή η σύνθλιψη του σκυροδέματος. Αυτό επιτυγχάνεται, μέσα από κατάλληλες κατασκευαστικές διατάξεις στις κρίσιμες περιοχές, οι οποίες θα εξασφαλίσουν μία αξιόπιστη πλάστιμη συμπεριφορά.<sup>[2]</sup>

Στον κανονισμό, αναφέρονται τρία επίπεδα πλαστιμότητας:

- **χαμηλό [Κατηγορία Πλαστιμότητας Χαμηλή (Κ.Π.Χ./D.C.L.)]**, στο οποίο δεν επιδιώκεται υστερητική πλαστιμότητα και η σεισμική απόκριση, βασίζεται στην αντοχή της κατασκευής, παρά στην πλαστιμότητά της ( $q=1,50$ ),
- **μέσο [Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (Κ.Π.Μ./D.C.M.)]**, στο οποίο επιτρέπονται αρκετά υψηλά επίπεδα πλαστιμότητας, με τις αντίστοιχες απαιτήσεις σχεδιασμού και κατασκευαστικής διαμόρφωσης ( $1,50 < q < 4,00$ ) και
- **υψηλό [Κατηγορία Πλαστιμότητας Υψηλή (Κ.Π.Υ./D.C.H.)]**, στο οποίο επιτρέπονται πολύ μεγάλες ανελαστικές αποκρίσεις, συνοδευόμενες από ακόμη πιο σύνθετες απαιτήσεις σχεδιασμού και κατασκευαστικής διαμόρφωσης ( $q > 4,00$ ).<sup>[2]</sup>

Κατασκευές που βρίσκονται σε περιοχές με περιορισμένη σεισμικότητα, διαστασιολογούνται μονάχα με βάση τις διατάξεις του E.C.2. Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, δεν επιτρέπεται ο σχεδιασμός φορέων κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος για Κ.Π.Χ. στην Ελλάδα. Επομένως, οι δύο επιτρεπόμενες κατηγορίες πλαστιμότητας στην χώρα, είναι οι: Κ.Π.Μ. και Κ.Π.Υ. και σε αυτές, ο σχεδιασμός βασίζεται στην ικανότητα απορρόφησης ενέργειας της κατασκευής και χρησιμοποιούνται τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ , μεγαλύτερες από: 1,50. Πέρα από τους διαφορετικούς συντελεστές συμπεριφοράς  $q$ , οι δύο αυτές κατηγορίες διαφοροποιούνται και στα ακόλουθα:

- ▶ στους γεωμετρικούς περιορισμούς και στα υλικά (ολκιμότητα χάλυβα),
- ▶ στα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού και
- ▶ στους κανόνες Ικανοτικού Σχεδιασμού και τοπικής πλαστιμότητας (διαμόρφωση λεπτομερειών).<sup>[2]</sup>

Στην Κ.Π.Υ., εφαρμόζονται περισσότεροι και αυστηρότεροι έλεγχοι και διατάξεις κατά την μελέτη, για αυτό και οι κατασκευές με τέτοιο επίπεδο πλαστιμότητας, διαθέτουν μεγαλύτερα περιθώρια ασφαλείας, έναντι τοπικών ή γενικών αστοχιών, σε περίπτωση σεισμικών διεγέρσεων, μεγαλύτερων από τον σεισμό σχεδιασμού. Αντίθετα, αν και οι κατασκευές με Κ.Π.Μ., εξασφαλίζουν καλή σεισμική συμπεριφορά, μόνο για σεισμούς

ανάλογης ισχύος του σεισμού σχεδιασμού, παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ευκολότερης και επομένως οικονομικότερης κατασκευής, λόγω των μειωμένων ειδικών διατάξεων που εφαρμόζονται. Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, δεν επιτρέπεται η εφαρμογή Κ.Π.Μ., σε κτίρια σπουδαιότητας III ή IV, τα οποία κατασκευάζονται σε ζώνες  $Z_2$  ή  $Z_3$ , με εξαίρεση τα προκατασκευασμένα κτίρια με τοιχώματα ή κυψελωτούς φορείς. Ακόμη, συστήματα με μεγάλα ελαφρά οπλισμένα τοιχώματα, δεν επιτρέπεται να σχεδιάζονται για Κ.Π.Υ., αλλά μόνο για μέση πλαστιμότητα (Κ.Π.Μ.).<sup>[5]</sup>

Πρέπει να σημειωθεί επίσης, ότι ο Ε.Σ.8, δεν συνδέει την επιλογή μεταξύ των δύο κατηγοριών πλαστιμότητας, με την σεισμικότητα της εκάστοτε περιοχής ή την σπουδαιότητα του έργου, ούτε θέτει κάποιο όριο στην εφαρμογή τους. Εξαρτάται από τα κράτη, να επιλέξουν για τις διάφορες περιοχές και για τα διάφορα είδη κατασκευών ή ακόμη καλύτερα, να αφήσουν την επιλογή αυτή στον μελετητή.<sup>[2]</sup>

Στην προκειμένη περίπτωση, εφόσον οι φορείς σχεδιάζονται και μελετώνται για κατασκευή σε περιοχή με ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I ( $a_{gR}/g = 0,16$ ), παρόλο που δεν εξαρτάται όπως αναφέρθηκε από αυτόν τον παράγοντα, αλλά ούτε και από την σπουδαιότητα της κάθε κατασκευής (εδώ: κατοικίες, καταστήματα, γραφεία), επιλέγεται να γίνει εφαρμογή Κατηγορίας Πλαστιμότητας Μέσης (Κ.Π.Μ.) και στους δύο φορείς, καθώς η κατασκευή των κτιρίων, θα είναι ευκολότερη και οικονομικότερη. Τέλος, αναφέρεται, πως η επιλογή αυτή, έγινε χάρη στο γεγονός ότι οι διατάξεις και οι έλεγχοι που απαιτούνται να πραγματοποιηθούν, δεν θα είναι τόσο αυστηροί σε σχέση με την περίπτωση όπου θα επιλέγονταν εφαρμογή Κ.Π.Υ. και η επίλυση των φορέων, θα είναι απλούστερη, καθώς η παρούσα μελέτη, προορίζεται για εκπαιδευτικούς σκοπούς.

### 3.3 Υλικά κατασκευής<sup>[1, 6, 7]</sup>

Οι δύο φορείς, που σχεδιάστηκαν σύμφωνα με τις διατάξεις των κανονισμών (E.C.), αλλά και με το στατικό πρόγραμμα Fespa, διαθέτουν τις ίδιες κατηγορίες υλικών. Οι ποιότητες και οι ιδιότητες των υλικών, καθώς και οι νόμοι των τάσεων παραμορφώσεων που επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν, συμφωνούν με τις προδιαγραφές των Ευρωκωδίκων (E.C.) και παρουσιάζονται αναλυτικά στην συνέχεια της παρούσας παραγράφου.

#### 3.3.1 Σκυρόδεμα

Η χρησιμοποιούμενη ποιότητα σκυροδέματος, είναι: C<sub>20/25</sub>.

Η παραπάνω ποιότητα, είναι συμβατή με τις απαιτήσεις των κανονισμών για την εξασφάλιση της απαιτούμενης συνάφειας υπό ανακυκλιζόμενη ένταση, στην στάθμη της Κατηγορίας Πλαστιμότητας Μέσης (D.C.M.). Συγκεκριμένα, για αυτή την στάθμη πλαστιμότητας, η κατώτερη επιτρεπόμενη ποιότητα σκυροδέματος, είναι η C<sub>16/20</sub>. Παρακάτω, στον **Πίνακα 3.2**, παρατίθενται τα χαρακτηριστικά του χρησιμοποιούμενου τύπου σκυροδέματος (C<sub>20/25</sub>).

**Πίνακας 3.2.** Χαρακτηριστικά κατηγορίας C<sub>20/25</sub> σκυροδέματος.

Χαρακτηριστικό	Τιμή
Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλίνδρου	$f_{ck} = 20 \text{ (MPa)}$
Χαρακτηριστική αντοχή κύβου	$f_{ck,cube} = 25 \text{ (MPa)}$
Μέση θλιπτική αντοχή	$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 28 \text{ (MPa)}$
Μέση εφελκυστική αντοχή	$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} = 2,21 \text{ (MPa)}$
Χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή	$f_{ctk0,05} = 0,70 * f_{ctm} = 1,547 \text{ (MPa)}$ $f_{ctk0,95} = 1,30 * f_{ctm} = 2,873 \text{ (MPa)}$
Μέτρο ελαστικότητας	$E_{cm} = 30 \text{ (GPa)}$
Λόγος Poisson	$\nu = 0,20$
Μειωτικός συντελεστής θλιπτικής αντοχής, λόγω μακροχρόνιας δράσης	$\alpha_{cc} = 1,00$
Μειωτικός συντελεστής εφελκυστικής αντοχής, λόγω μακροχρόνιας δράσης	$\alpha_{ct} = 1,00$

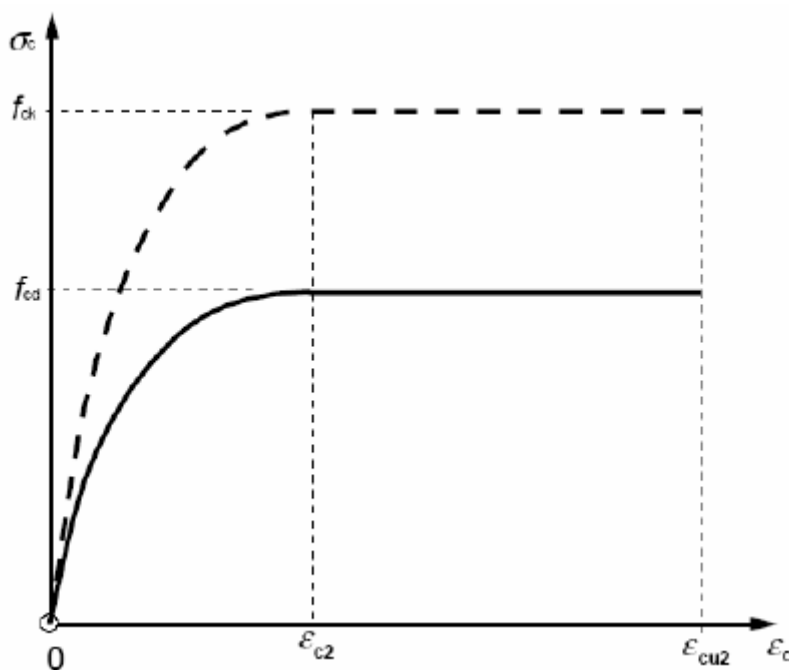
Ο συντελεστή ασφαλείας του σκυροδέματος, είναι ίσος με:  $\gamma_c = 1,50$  και έτσι, η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, θα ισούται με:

$$f_{cd} = a_{cc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,00 * \frac{20}{1,50} = 13,33 \text{ (MPa)}$$

**!Σημειώνεται** ότι σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, η τιμή του συντελεστή  $a_{cc}$ , δίνεται ίση με 0,85, επιλέγεται ωστόσο να χρησιμοποιηθεί η τιμή που προτείνεται στον Ευρωκώδικα (Ε.Σ.2).

Το διάγραμμα των τάσεων-παραμορφώσεων, δίνεται παρακάτω, στην **Εικόνα 3.12**, όπου:

- $\epsilon_{c2}$ : είναι η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη μέγιστη αντοχή,
- $\epsilon_{cu2}$ : είναι η παραμόρφωση αστοχίας.



**Εικόνα 3.12.** Παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, για σκυρόδεμα υπό θλίψη.<sup>[6]</sup>

### 3.3.2 Χάλυβας

Η χρησιμοποιούμενη ποιότητα χάλυβα, είναι: **B<sub>500c</sub>**.

Η ποιότητα χάλυβα, επιλέγεται, με τρόπο ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών (Ε.Σ.). Σύμφωνα με τους τελευταίους, θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι στις κατασκευές μέσης στάθμης πλαστιμότητας (D.C.M.), η κατηγορία χαλύβων στις κρίσιμες περιοχές, είναι τουλάχιστον Β ή Σ. Παρακάτω, στον **Πίνακα 3.3**, παρατίθενται τα χαρακτηριστικά της χρησιμοποιούμενης ποιότητας χάλυβα (B<sub>500c</sub>).

**Πίνακας 3.3.** Χαρακτηριστικά ποιότητας χάλυβα B<sub>500c</sub>.

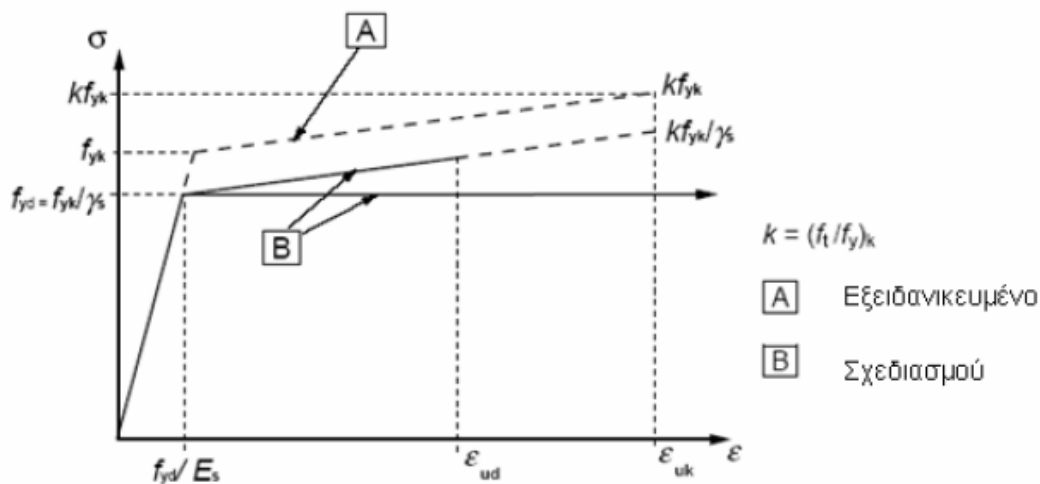
Χαρακτηριστικό	Τιμή
Χαρακτηριστική αντοχή	$f_{yk} = 500 \text{ (MPa)}$
Μέτρο ελαστικότητας	$E_s = 200 \text{ (MPa)}$
Πυκνότητα	$\rho = 7,850 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

Ο συντελεστής ασφαλείας του χάλυβα, ισούται με  $\gamma_s = 1,15$  και συνεπώς, η αντοχή σχεδιασμού του χάλυβα, υπολογίζεται όπως παρακάτω:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ (MPa)}$$

Το διάγραμμα των τάσεων-παραμορφώσεων του χάλυβα, δίνεται παρακάτω, στην **Εικόνα 3.13**, όπου:

- $\epsilon_{ud}$ : είναι η συνολική ανηγμένη παραμόρφωση στο μέγιστο φορτίο, για τον σχεδιασμό,
- $\epsilon_{uk}$ : είναι η χαρακτηριστική συνολική ανηγμένη παραμόρφωση στο μέγιστο φορτίο.



**Εικόνα 3.13.** Εξειδανικευμένο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων και διάγραμμα σχεδιασμού χάλυβα οπλισμού (για εφελκυσμό και θλίψη).<sup>[6]</sup>



## 3.4 Φορτία και μάζες

### 3.4.1 Φορτία

Όσον αφορά τις φορτίσεις που εφαρμόζονται στο κτίριο, παρακάτω, ακολουθούν αναλυτικοί πίνακες, οι οποίοι είναι κοινοί για τα δύο κτίρια και έχουν ληφθεί από το αναλυτικό τεύχος που συνοδεύει την επίλυση των κτιρίων με το στατικό πρόγραμμα Fespa. Πέρα από τα φορτία, παρουσιάζονται και οι γενικές παραδοχές υπολογισμού (**Πίνακες 3.4-3.8**).

**Πίνακας 3.4.** Υλικά κατασκευής.

<b>[1] Υλικά</b>	
Σκυρόδεμα	C20/25
Χάλυβας οπλισμού	B500C
Κατηγορία έκθεσης	[XC3]
Δομικός χάλυβας	S235
Δομική Ξυλεία	C24

**Πίνακας 3.5.** Μόνιμα φορτία.

<b>[2] Μόνιμα φορτία</b>	
Ειδικό βάρος σκυροδέματος	25.0 kN/m <sup>3</sup>
Ειδικό βάρος χάλυβα	78.5 kN/m <sup>3</sup>
Δρομικής πλινθοδομής	2.1 kN/m <sup>2</sup>
Μπατικής πλινθοδομής	3.6 kN/m <sup>2</sup>
Επικάλυψη πλακών γενικά	1.2 kN/m <sup>2</sup>
Επικάλυψη κλιμάκων	2.5 kN/m <sup>2</sup>
Επικάλυψη δώματος/Στέγης	2.0 kN/m <sup>2</sup>
Ειδικό βάρος γαών	20.0 kN/m <sup>3</sup>
Ειδικό βάρος Δομικής Ξυλείας	3.5 kN/m <sup>3</sup>

**Πίνακας 3.6.** Μεταβλητά φορτία.

<b>[3] Μεταβλητά φορτία</b>	
Δάπεδα κατοικιών-γραφείων	2.0 kN/m <sup>2</sup>
Δάπεδα και κλιμάκ. καταστημάτων	5.0 kN/m <sup>2</sup>
Κλιμάκων κατοικίας-γραφείων	3.5 kN/m <sup>2</sup>
Δάπεδα εξωστών	5.0 kN/m <sup>2</sup>
Δάπεδα χώρων στάθμευσης	5.0 kN/m <sup>2</sup>
Δώμα / Στέγη (μη βατή)	0.5 kN/m <sup>2</sup>

**Πίνακας 3.7.** Χαρακτηριστικά μεγέθη εδάφους.

<b>[5] Έδαφος</b>	
Μέθοδος υπολογισμού Δείκτης εδάφους	Απλοποιημένη μεθ. $K_v=28000,00 \text{ kN/m}^2$
Επιτρεπόμενη τάση	$\sigma_{\text{επ}}=250,00 \text{ kN/m}^2$
Γωνία τριβής στη βάση θεμελίου Συντελεστές ασφαλείας (Ολίσθηση)	$\delta=30,00[^\circ]$ Στατικά $\gamma_{RH}=1.10$ Σεισμικά $\gamma_{RH}=1.00$
Συντελεστές ασφαλείας (Φέρουσα Ικανότητα)	Στατικά $\gamma_{RV}=1.40$ Σεισμικά $\gamma_{RV}=1.00$

**Πίνακας 3.8.** Σεισμολογικά στοιχεία.

<b>[6] Στοιχεία αντισεισμικού σχεδιασμού</b>			
Εθνικό προσάρτημα			GR(Ελλάς)
Κατηγορία πλαστιμότητας			ΚΠΜ
Σεισμική ζώνη	Z1	$a_{gR} = 0,160$	$a_{VgR} = 0,144$
Σπουδαιότητα		II	$\gamma_I = 1,00$
Κατακόρυφη συνιστώσα			ΟΧΙ
Τύπος φάσματος Σχεδιασμού			1
Εδαφικός τύπος		B	$S = 1,20$
Ιδιοπερίοδοι φάσματος	$T_B=0,15$	$T_C=0,50$	$T_D=2,50$
Συντ. απόσβεσης			$\xi=5,00\%$
Συντελεστής τοπογραφίας			$S_T = 1,00$

**!Σημειώνεται** ότι, πέρα από τις παραπάνω παραδοχές που αυτομάτως έκανε το στατικό πρόγραμμα Fespa, τοποθετήθηκαν συγκεκριμένες τιμές φορτίων πριν την επίλυση, όπως ακολουθεί:

■ **Πλάκες οροφής ορόφου 0 & οροφής ορόφου 1:**

Μόνιμα φορτία:  $1,50 \text{ (kN/m}^2\text{)}$   
Κινητά φορτία:  $2,00 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

■ **Πλάκες-εξώστες οροφής ορόφου 0 & οροφής ορόφου 1:**

Μόνιμα φορτία:  $1,50 \text{ (kN/m}^2\text{)}$   
Κινητά φορτία:  $5,00 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

■ **Πλάκες οροφής ορόφου 2:**

Μόνιμα φορτία:  $3,00 \text{ (kN/m}^2\text{)}$   
Κινητά φορτία:  $2,00 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

■ **Πλάκες-εξώστες οροφής ορόφου 2:**

Μόνιμα φορτία:  $3,00 \text{ (kN/m}^2\text{)}$   
Κινητά φορτία:  $2,00 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

Ακόμη, υπολογίστηκαν και τοποθετήθηκαν τα μόνιμα φορτία ( $q_y$ ) των δοκών, λόγω τοιχοποιιών. Κάθε εξωτερική δοκός, φορτίζεται από μπατική πλινθοδομή, ενώ κάθε εσωτερική δοκός, από δρομική πλινθοδομή, όπως παρακάτω:

Βάρος δρομικής πλινθοδομής	2,10	(kN/m <sup>2</sup> )
Βάρος μπατικής πλινθοδομής	3,60	(kN/m <sup>2</sup> )
Υψος ορόφου	3,00	(m)
Υψος κρέμασης δοκού	0,60	(m)

$$q_y = 2,10 * (h_{ορόφου} - h_{κρέμασης\ δοκού}) = 2,10 * (3,00 - 0,60) = 5,04 \text{ (kN/m)} \rightarrow \text{λόγω δρομικής πλινθοδομής}$$

$$q_y = 3,60 * (h_{ορόφου} - h_{κρέμασης\ δοκού}) = 3,60 * (3,00 - 0,60) = 8,64 \text{ (kN/m)} \rightarrow \text{λόγω μπατικής πλινθοδομής}$$

### 3.4.2 Μάζες<sup>[5]</sup>

Για τον υπολογισμό της σεισμικής δράσης σχεδιασμού (αδρανειακά φορτία), λαμβάνονται υπόψη, οι μάζες που συνδέονται με όλα τα φορτία βαρύτητας, τα οποία περιλαμβάνονται στον παρακάτω συνδυασμό δράσεων:

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} * Q_{k,i}$$

όπου:

- $\psi_{E,i} = \phi * \psi_{2,i}$
- $\phi$ : είναι ο μειωτικός συντελεστής, με τιμές όπως στον Πίνακα 3.9,
- $\psi_{2,i}$ : είναι ο συντελεστής συνδυασμού για μεταβλητή δράση, σύμφωνα με τον E.C.O.

**Πίνακας 3.9.** Τιμές μειωτικού συντελεστή  $\phi$ .

Κατηγορία κτιρίου	Όροφος	$\phi$
A-C	Δώμα	1.0
	Όροφοι με συσχετισμένες χρήσεις	0.8
	Όροφοι με μη-συσχετισμένες χρήσεις	0.5
D-F		1.0

Ο συντελεστής συνδυασμού  $\psi_{E,i}$ , για κάθε μεταβλητή δράση  $i$ , είναι γενικά μικρότερος από τον συντελεστή  $\psi_{2,i}$  ( $\phi \leq 1,00$ ), για δύο λόγους:

- i. για να λαμβάνεται υπόψη η πιθανότητα τα φορτία, να μην είναι παρόντα σε ολόκληρο τον φορέα, κατά την διάρκεια του σεισμού και

- ii. για να λαμβάνεται υπόψη η μειωμένη συμμετοχή των μαζών στην κίνηση του φορέα, λόγω μη-στερεάς σύνδεσής τους.

***!Σημειώνεται*** ότι ο μειωτικός συντελεστής  $\phi$ , λαμβάνεται υπόψη, μόνο στον υπολογισμό των μαζών των μεταβλητών φορτίων που συμμετέχουν στην σεισμική δύναμη. Στον σεισμικό συνδυασμό, τα εντατικά μεγέθη από τα μη-σεισμικά φορτία των μεταβλητών δράσεων, υπολογίζονται σύμφωνα με τον E.C.O, για ολόκληρο τον συντελεστή  $\psi_{2,i}$ , χωρίς τον μειωτικό συντελεστή  $\phi$ .

1. **Στεφανίδου Σ. (2007).** Αντισεισμικός Σχεδιασμός κτιρίων ΟΣ για σκοπούμενη επιτελεσματικότητα με τη βοήθεια ανελαστικών δυναμικών αναλύσεων. Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ. Σελ.: 43-58.
2. **Νικολή Μ. (2011).** Συγκριτική Αποτίμηση της επιρροής της Κατηγορίας Πλαστιμότητας κατά τον Ευρωκώδικα 8 στον Προϋπολογισμό Κτιρίων Ο.Σ. Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ. Σελ.: 34-46, 49-64.
3. **Ραμαντάνης Γ. (2006).** Διερεύνηση της επιρροής των Αντισεισμικών Τοιχωμάτων στην Αντισεισμική Συμπεριφορά των Κατασκευών. Προπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., ΑΕΙ Πειραιά Τ.Τ. Σελ.: 7.
4. **Καρτσάκας Α. (2008).** Στατική Αντισεισμική Μελέτη και Σχεδιασμός Κτιρίου Διοίκησης Ε.Α.Π. Προπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών. Σελ.: 93-99, 152-161.
5. **Λώλου Α., Μακοπούλου Σ. (2016).** Υπολογισμός της Αντοχής και Ικανότητας Παραμόρφωσης Μελών Ο/Σ σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα. Προπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών Σελ.: 20-37.
6. **Ευρωκώδικας 2-E.C.2 (EN 1992-1-1: 2004 GR).** Σχεδιασμός Φορέων από Σκυρόδεμα, Μέρος 1-1: Γενικοί Κανόνες και Κανόνες για Κτίρια. Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση (C.E.N.). Σελ.: 36, 43-44, 53.
7. **Ευρωκώδικας 8-E.C.8 (EN 1998-1: 2004 GR).** Αντισεισμικός Σχεδιασμός, Μέρος 1: Γενικοί Κανόνες, Σεισμικές Δράσεις και Κανόνες για Κτίρια. Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση (C.E.N.). Σελ: 89-90, 97.

### 4.1 Ανάλυση Δομήματος

#### 4.1.1 Κριτήρια για κανονικότητα σε κάτοψη<sup>[1]</sup>

Σύμφωνα με την §4.2.3.2 του Ευρωκώδικα (E.C.8), για τον χαρακτηρισμό ενός κτιρίου ως κανονικό σε κάτοψη, θα πρέπει να πληρούνται όλοι οι παρακάτω όροι:

- Για την αντοχή σε οριζόντια φορτία και την κατάλληλη κατανομή της μάζας, αρκεί το κτίριο να είναι συμμετρικό σε κάτοψη (προσεγγιστικά), σε σχέση με δύο ορθογώνιους άξονες.
- Η κάτοψη, θα πρέπει να διαμορφώνεται με τρόπο ώστε να είναι συμπαγής, δηλαδή, κάθε πλάκα ορόφου, θα οριοθετείται από μία κυρτή πολυγωνική γραμμή. Ωστόσο, η κανονικότητα σε κάτοψη, μπορεί να θεωρηθεί ότι ικανοποιείται εάν οι τυχόν ανωμαλίες στην περίμετρο (εισέχουσες γωνίες ή εσοχές στην περίμετρο), δεν επηρεάζουν την δυσκαμψία της πλάκας στο επίπεδό της, αλλά και σε κάθε μία από αυτές τις ανωμαλίες, η περιοχή ανάμεσα στο περίγραμμα της πλάκας και την κυρτή αυτή πολυγωνική γραμμή που περιβάλλει την πλάκα, δεν πρέπει να υπερβαίνει το ποσοστό του 5% της επιφάνειας του ορόφου.
- Η δυσκαμψία των πλακών στο επίπεδό τους, θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη συγκριτικά με την οριζόντια δυσκαμψία των κατακόρυφων φερόντων στοιχείων, με σκοπό, η παραμόρφωση της πλάκας, να έχει μικρή επίδραση στην κατανομή των δυνάμεων μεταξύ των κατακόρυφων φερόντων στοιχείων. Έτσι λοιπόν, κατόψεις με μορφή L, Π, Η, Ι, και Χ, θα πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά, ιδίως σχετικά με την δυσκαμψία των κλάδων, η οποία πρέπει να είναι συγκρίσιμη με αυτήν του κεντρικού σκέλους, ώστε να ικανοποιείται η συνθήκη άκαμπτου διαφράγματος. Η συγκεκριμένη παράγραφος, έχει εφαρμογή για την γενική συμπεριφορά του κτιρίου.
- Η λυγρότητα “λ” του κτιρίου σε κάτοψη, η οποία ισούται με τον λόγο της μεγαλύτερης προς την μικρότερη διάσταση του δομήματος σε κάτοψη ( $\lambda = L_{max}/L_{min}$ ), μετρούμενη σε ορθογώνιες διευθύνσεις, δεν πρέπει να υπερβαίνει το τέσσερα (4). Στο συγκεκριμένο κτίριο, μετρήθηκαν οι δύο διαστάσεις, χωρίς τα μπαλκόνια και βρέθηκαν ίσες με:  $l_{max} = 16,11(m)$  και  $l_{min} = 10,80(m)$ , ενώ η συνθήκη ικανοποιείται όπως παρακάτω:

$$\lambda \leq 4 \Rightarrow$$

$$\frac{l_{max}}{l_{min}} \leq 4 \Rightarrow$$

$$\frac{16,11 (m)}{10,80 (m)} \leq 4 \Rightarrow$$

$$1,4917 \leq 4 \Rightarrow$$

$$\lambda \leq 4 \Rightarrow \text{😊}$$

- Η στατική εκκεντρότητα “ $e_o$ ” και η ακτίνα δυστροπιάς “ $r$ ”, σε κάθε επίπεδο και για κάθε διεύθυνση της ανάλυσης  $x$  και  $y$ , θα πρέπει να ικανοποιούν τις δύο παρακάτω συνθήκες οι οποίες δίνονται για την διεύθυνση  $y$  της ανάλυσης:

$$e_{ox} \leq 0,30 * r_x$$

$$\text{με } r_x \geq l_s$$

όπου:

- $e_{ox}$ , είναι η απόσταση μεταξύ του κέντρου δυσκαμψίας και του κέντρου μάζας, που μετράται κατά την διεύθυνση x, η οποία είναι κάθετη στην εξεταζόμενη διεύθυνση της ανάλυσης, η οποία σύμφωνα με το πρόγραμμα (Fespa), έχει τιμές για κάθε ένα από τα τρία (3) επίπεδα/ορόφους, ίσες με: **Πίνακας 4.1**,
- $r_x$ , είναι η τετραγωνική ρίζα του λόγου της δυστρεψιάς προς την μεταφορική δυσκαμψία στην διεύθυνση y («ακτίνα δυστρεψιάς») η οποία σύμφωνα με το πρόγραμμα (Fespa), έχει τιμές για κάθε ένα από τα τρία (3) επίπεδα/ορόφους, ίσες με: **Πίνακας 4.1** και
- $I_s$ , είναι η ακτίνα αδράνειας της μάζας της πλάκας ορόφου σε κάτοψη (τετραγωνική ρίζα του λόγου ( $\alpha$ ) της πολικής ροπής αδράνειας της μάζας της πλάκας του ορόφου σε κάτοψη, ως προς το κέντρο μάζας της πλάκας του ορόφου προς ( $\beta$ ) την μάζα της πλάκας του ορόφου) η οποία σύμφωνα με το πρόγραμμα (Fespa), έχει τιμές για κάθε ένα από τα τρία (3) επίπεδα/ορόφους, ίσες με: **Πίνακας 4.1**.

**Πίνακας 4.1.** Δεδομένα ανάλυσης Φορέα Ι (Ι.Π.Π.), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.

### Κριτήρια κανονικότητας σε κάτοψη - EC8-1 §4.2.3.2

Ελεγχος στρεπτικής δυσκαμψίας ορόφων - EC8-1 §5.2.2.1(4)P { $r > I_s$ }

Επίπεδο [/]	Υψόμετρο οροφής [m]	$rI$ [m]	>	$I_s$ [m]	$rII$ [m]	>	$I_s$ [m]
3	9,00	7,12	>	6,23	7,29	>	6,23
2	6,00	7,12	>	6,28	7,29	>	6,28
1:nv	3,00	7,12	>	6,25	7,29	>	6,25

■ Το δόμημα είναι στρεπτικά δύσκαμπτο.

Ελεγχος περιορισμού στατικής εκκεντρότητας - EC8-1 §4.2.3.2(6) { $0.30*r > |eoI|$ }

Επίπεδο [/]	Υψόμετρο οροφής [m]	$0.30*rI$ [m]	>	$ eoI $ [m]	$0.30*rII$ [m]	>	$ eoII $ [m]
3	9,00	2,14	>	0,57	2,19	>	0,15
2	6,00	2,13	>	0,46	2,19	>	0,16
1:nv	3,00	2,13	>	0,44	2,19	>	0,16

■ Το δόμημα ενδεχομένως είναι κανονικό σε κάτοψη\*\*.

\* ==> όπου: ? = μη πληρούμενο κριτήριο

\*\* ==> Απαιτείται επιπλέον έλεγχος των γεωμετρικών κριτηρίων των §4.2.3.2(2) - (5)

- Στα πολυώροφα κτίρια, το κέντρο δυσκαμψίας και η ακτίνα δυστρεψιάς, είναι δυνατόν να οριστούν μονάχα κατά προσέγγιση. Ωστόσο, για την ταξινόμηση της στατικής κανονικότητας σε κάτοψη και για την προσεγγιστική ανάλυση των στρεπτικών αποτελεσμάτων, αρκεί να ικανοποιούνται οι παρακάτω δύο (2) συνθήκες:
  1. Όλα τα συστήματα ανάληψης των οριζόντιων φορτίων, όπως είναι οι πυρήνες και τα φέροντα τοιχώματα ή πλαίσια, θα πρέπει να είναι συνεχή, χωρίς καμία διακοπή, από τα θεμέλιά τους έως και την κορυφή του κτιρίου, πράγμα που συμβαίνει στο συγκεκριμένο κτίριο, επομένως η πρώτη συνθήκη καλύπτεται και
  2. Οι μορφές παραμόρφωσης των επιμέρους συστημάτων υπό οριζόντια φορτία, δεν πρέπει να παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές. Αυτή η συνθήκη, θεωρείται πως καλύπτεται, σύμφωνα με τον κανονισμό, στις περιπτώσεις όπου το κτίριο διαθέτει πλαίσιακό σύστημα ή σύστημα τοιχωμάτων, ενώ γενικώς δεν ικανοποιείται σε διπλά συστήματα. Το συγκεκριμένο κτίριο, διαθέτει διπλό σύστημα - ισοδύναμο προς πλαίσιακό και στην περίπτωση αυτή, ο Ευρωκώδικας (E.C.8), παραπέμπει στο Εθνικό Προσάρτημα, το οποίο με την σειρά του αναφέρει πως στην §3.3.3, στο Παράρτημα ΣΤ του ΕΑΚ2000 και στα σχετικά σχόλια, διατίθενται οι ορισμοί του κέντρου της δυσκαμψίας και της ακτίνας δυστρεψιάς σε πολυώροφα κτίρια, τα οποία πληρούν ή όχι τους όρους ( $\alpha$ ) και ( $\beta$ ) της 8<sup>ns</sup> παραγράφου της §4.2.3.2.

- Στα πλαίσιακά συστήματα, στα οποία επικρατεί η παραμόρφωση των στοιχείων σε κάμψη, η θέση του κέντρου δυσκαμψίας και της ακτίνας δυστρεψίας του κάθε ορόφου, δύναται να υπολογιστούν βάσει των ροπών αδράνειας των διατομών των κατακόρυφων στοιχείων. Πέρα όμως από τις καμπτικές, εάν είναι σημαντικές και οι διατμητικές παραμορφώσεις, αυτές λαμβάνονται υπόψη με την χρήση ισοδύναμης ροπής αδράνειας της διατομής.

#### 4.1.2 Κριτήρια για κανονικότητα σε όψη<sup>[1]</sup>

Σύμφωνα με την §4.2.3.3 του Ευρωκώδικα (E.C.8), για τον χαρακτηρισμό ενός κτιρίου ως κανονικό σε κάτοψη, θα πρέπει να πληρούνται όλοι οι παρακάτω όροι:

- Όλα τα συστήματα ανάληψης των οριζόντιων φορτίων, όπως είναι οι πυρήνες και τα φέροντα τοιχώματα ή πλαίσια, θα πρέπει να είναι συνεχή, χωρίς καμία διακοπή, από τα θεμέλιά τους έως και την άνω επιφάνεια του κτιρίου ή στην περίπτωση που υπάρχουν ζώνες εσοχών με διαφορετικά ύψη, από τα θεμέλια έως και την άνω επιφάνεια της σχετικής ζώνης του κτιρίου. Η συγκεκριμένη απαίτηση, καλύπτεται, διότι στο συγκεκριμένο κτίριο, τα συστήματα ανάληψης των οριζόντιων φορτίων, είναι συνεχές.
- Η μάζα του κάθε ορόφου ξεχωριστά, καθώς και η μεταφορική δυσκαμψία, θα πρέπει να παραμένουν σταθερές ή να μειώνονται βαθμιαία, χωρίς να υπάρχουν απότομες αλλαγές από την βάση έως και την κορυφή ενός κτιρίου. Όπως φαίνεται και αυτή η απαίτηση ικανοποιείται, καθώς το τριώροφο κτίριο, δεν παρουσιάζει αλλαγές στην μάζα του από όροφο σε όροφο, συνολικά από την βάση μέχρι και την κορυφή.
- Στα κτίρια με πλαίσιακό σύστημα, ο λόγος της πραγματικής αντοχής των ορόφων προς την αντοχή που απαιτείται, βάσει της ανάλυσης, δεν πρέπει να παρουσιάζει σημαντικές διαφορές ανάμεσα σε συνεχόμενους ορόφους. Τα ειδικά θέματα που αφορούν πλαίσια με τοιχοπληρώσεις εξετάζονται στην §4.3.6.3.2 του Ευρωκώδικα (E.C.8), σύμφωνα με την 1<sup>η</sup> παράγραφο της οποίας, εάν εμφανίζονται σημαντικές μη κανονικότητες στην όψη, όπως είναι η δραστική μείωση των τοιχοπληρώσεων σε έναν ή περισσότερους ορόφους, συγκριτικά με τους υπόλοιπους, τα εντατικά μεγέθη λόγω της σεισμικής δράσης στα κατακόρυφα στοιχεία των εκάστοτε ορόφων, θα πρέπει να λαμβάνονται αυξημένα. Όπως φαίνεται όμως από την όψη του κτιρίου, δεν υπάρχουν μη κανονικότητες, συνολικά από όροφο σε όροφο, επομένως το δεύτερο σκέλος της απαίτησης, ικανοποιείται.
- Η 5<sup>η</sup> παράγραφος της §4.2.3.3, δεν χρειάζεται να εξεταστεί, διότι δεν υπάρχουν εσοχές στο κτίριο.

#### 4.1.3 Στρεπτική δυσκαμψία<sup>[1]</sup>

Σύμφωνα με την §5.2.2.1 του Ευρωκώδικα (E.C.8), τα κτίρια με διπλά συστήματα, όπως το συγκεκριμένο, θα έχουν μία ελάχιστη στρεπτική δυσκαμψία, η οποία θα ικανοποιεί την σχέση 4.1b και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις.

Βέβαια, με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε για την κανονικότητα σε κάτοψη, και σύμφωνα με τον κανονισμό (E.C.8), στα κτίρια με συστήματα πλαισίων, τα οποία παρουσιάζουν καλή κατανομή σε κάτοψη, όπως το συγκεκριμένο, μπορεί να θεωρηθεί ότι η παραπάνω απαίτηση καλύπτεται, χωρίς να χρειάζεται εφαρμογή αναλυτικού ελέγχου.

Τέλος, το συγκεκριμένο κτίριο, με το Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Πλαισιακό, είναι στρεπτικώς δύσκαμπτο, καθώς διαθέτει μία ελάχιστη στρεπτική δυσκαμψία.



#### 4.1.4 Υπολογισμός συντελεστή συμπεριφοράς $q$ <sup>[1]</sup>

Σύμφωνα με την §5.2.2.2 του Ευρωκώδικα (E.C.8), η ανώτατη τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ , που εκφράζει την ικανότητα απόδοσης ενέργειας, υπολογίζεται για κάθε διεύθυνση σχεδιασμού ( $x$  &  $z \rightarrow q_x$  &  $q_z$ ), από την παρακάτω σχέση:

$$q = q_o * k_w \geq 1,50$$

- ▶ **Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (Κ.Π.Μ./D.C.M.),**
- ▶  $k_w = 1,00$ : είναι ο συντελεστής που εκφράζει την επικρατούσα μορφή αστοχίας σε στατικά συστήματα με τοιχώματα,
- ▶  $q_o = 3,00 * (\alpha_u/\alpha_1)$ : είναι η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς, που εξαρτάται από τον τύπο του στατικού συστήματος και από την κανονικότητά του σε όψη (**Πίνακας 2.4**) και
- ▶  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,30$ : σύμφωνα με την §2.3.1, του παρόντος, λαμβάνεται η συγκεκριμένη τιμή, προσεγγιστικά, ως συνάρτηση του στατικού συστήματος και του αριθμού των ορόφων  $\rightarrow$  εδώ: πολυώροφα πολύσυλλα πλαισιακά κτίρια ή ισοδύναμα προς αυτά διπλά συστήματα.

Επομένως, θα ισχύει:

$$q = q_o * k_w \geq 1,50 \Rightarrow$$

$$q = [3,00 * (\alpha_u/\alpha_1)] * k_w \geq 1,50 \Rightarrow$$

$$q = 3,00 * 1,30 * 1,00 \geq 1,50 \Rightarrow$$

$$q = 3,90 \geq 1,50 \Rightarrow \text{😊}$$

Η τιμή που προέκυψε, ανήκει και στα επιτρεπτά όρια που θέτει ο κανονισμός, για κτίρια με Μέσο επίπεδο Πλαστιμότητας (Κ.Π.Μ./D.C.M.):

$$1,50 \leq q \leq 3,90 \Rightarrow \text{😊}$$

**!Σημειώνεται** ότι ο συντελεστής συμπεριφοράς  $q$ , έχει την ίδια τιμή και στις δύο διευθύνσεις, καθώς τόσο κατά την διεύθυνση  $x$ , όσο και κατά την διεύθυνση  $z$ , το στατικό σύστημα λειτουργίας, δεν διαφέρει και είναι Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Πλαισιακό. Δηλαδή, ο λόγος  $\alpha_u/\alpha_1$ , ισούται με 1,30 και στις δύο διευθύνσεις, άρα θα ισχύει:

$$q = q_x = q_z = 3,90 \geq 1,50 \Rightarrow \text{😊}$$

Τέλος, στον **Πίνακα 4.2** που ακολουθεί, παρατίθενται και τα αποτελέσματα της ανάλυσης που πραγματοποίησε το στατικό πρόγραμμα Fespa, από τα οποία προκύπτει το συμπέρασμα ότι η παραπάνω διαδικασία είναι ορθή.

**Πίνακας 4.2.** Δεδομένα για τον συντελεστή συμπεριφοράς  $\alpha$ , στον Φορέα Ι (Ι.Π.Π.), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.

<b>[6.1] Συντελεστής συμπεριφοράς</b>		
Συντ. σεισμικής συμπεριφοράς οριζ.	$\alpha_{\chi}=3,90$	$\alpha_{\zeta}=3,90$
Συντ. σεισμικής συμπεριφοράς κατακόρυφα		$\alpha_{\nu}=1,50$
Στατικό σύστημα: (Διεύθυνση Χ) ΠΛΑΙΣΙΩΤΟ ΠΟΛΥΩΡΟΦΟ ΣΥΣΤΗΜΑ(ΠΟΛΛΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ)		
Στατικό σύστημα: (Διεύθυνση Ζ) ΠΛΑΙΣΙΩΤΟ ΠΟΛΥΩΡΟΦΟ ΣΥΣΤΗΜΑ(ΠΟΛΛΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ)		
Κανονικότητα σε κάτοψη		OXI
Κανονικότητα καθ' ύψος	X: NAI	Z: NAI
Βασική τιμή συντ. συμπεριφοράς	$\alpha_{0\chi}=3,90$	$\alpha_{0\zeta}=3,90$
Λόγος υπεραντοχής	$\alpha_{\mu}/\alpha_{1\_x}=1,15$	$\alpha_{\mu}/\alpha_{1\_z}=1,15$
Συντελεστής τοιχωμάτων	$K_{w\_x}=1,00$	$K_{w\_z}=1,00$
Αντισεισμική Ανάλυση	Δυναμική με Μ.Μαζών	
Ανάλυση pushover		OXI
Συντ. μείωσης μετακινήσεων Ο.Κ.Π.Β.		$\nu=0,50$
Ικανοτικός σχεδιασμός σε κάμψη	X: NAI	Z: NAI

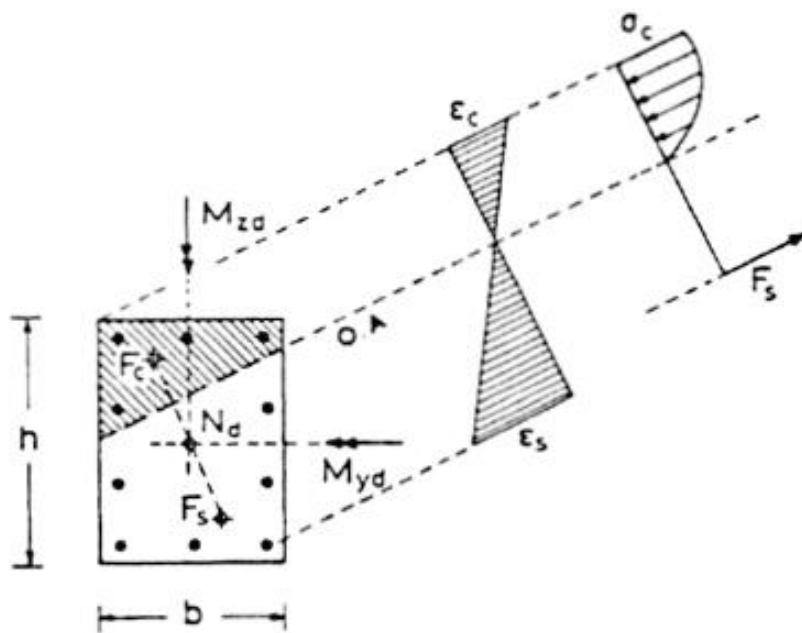
## Βιβλιογραφία

---

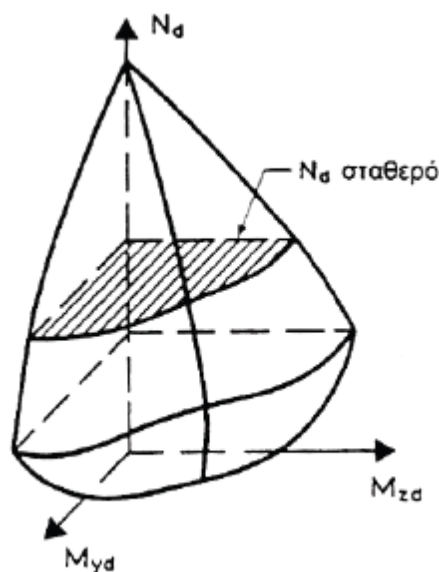
1. **Ευρωκώδικας 8-Ε.Σ.8 (EN 1998-1: 2004 GR)**. Αντισεισμικός Σχεδιασμός, Μέρος 1: Γενικοί Κανόνες, Σεισμικές Δράσεις και Κανόνες για Κτίρια. Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση (C.E.N.). Σελ.: 55-58, 90-92.

4.2.1 Περιγραφή της καταπόνησης σε διαξονική κάμψη

Το υποστύλωμα K13, καταπονείται σε διαξονική κάμψη, υπό αξονική φόρτιση. Στην περίπτωση αυτή, η διατομή του καταπονείται και κατά τις δύο διευθύνσεις, με καμπτικές ροπές  $M_y$  και  $M_z$ . Κατά την διαξονική κάμψη, η ουδέτερη γραμμή είναι κεκλιμένη ως προς τις διευθύνσεις των πλευρών της διατομής (**Εικόνα 4.1**) και για τον λόγο αυτόν, η συγκεκριμένη περίπτωση κάμψης, συχνά αναφέρεται και ως **λοξή κάμψη**. Τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του μηχανικού ποσοστού σπλισμού ( $\omega_{tot}$ ), αντιστοιχούν ουσιαστικά σε επιφάνειες αλληλεπίδρασης των δύο ροπών με την αξονική δύναμη, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 4.2**. Ωστόσο, οι παραδοχές για τον υπολογισμό του διαμήκους σπλισμού (σπλισμός κάμψης), είναι οι ίδιες με αυτές που ισχύουν και στην περίπτωση της μονοαξονικής κάμψης.<sup>[1]</sup>



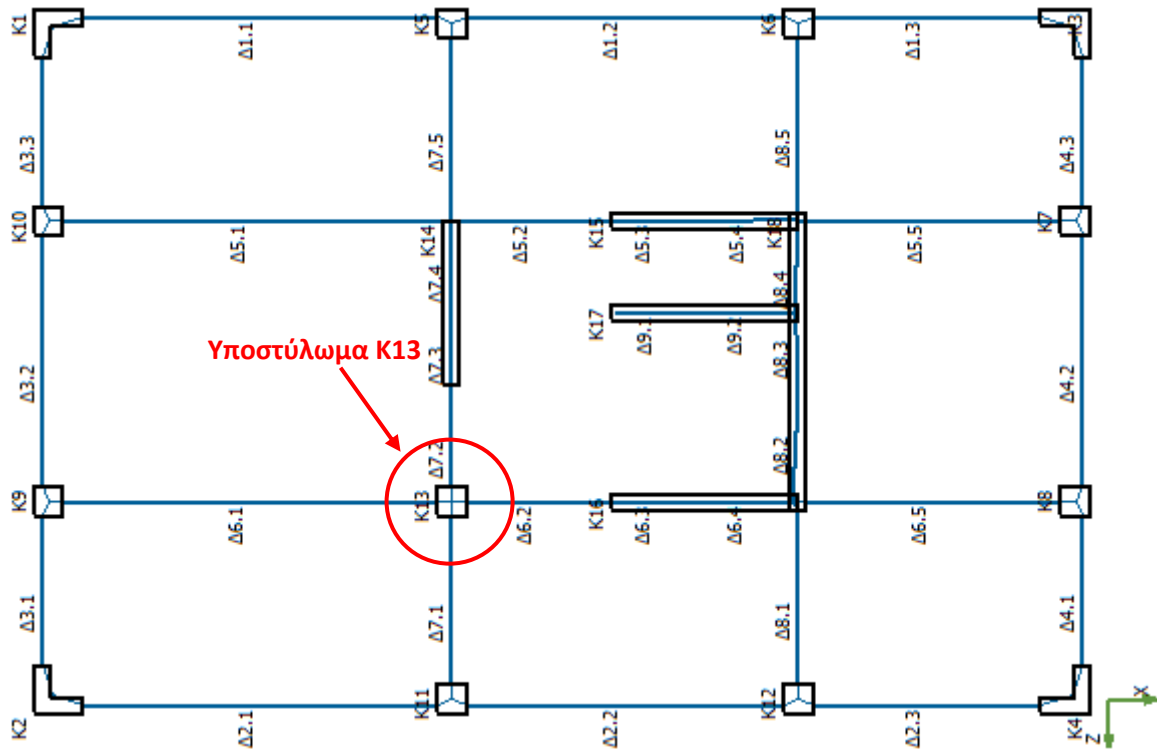
**Εικόνα 4.1.** Ορθογωνική διατομή δομικού στοιχείου, με ροπές κάμψης ως προς τους δύο άξονες συμμετρίας και με ορθή δύναμη στο κέντρο.<sup>[1]</sup>



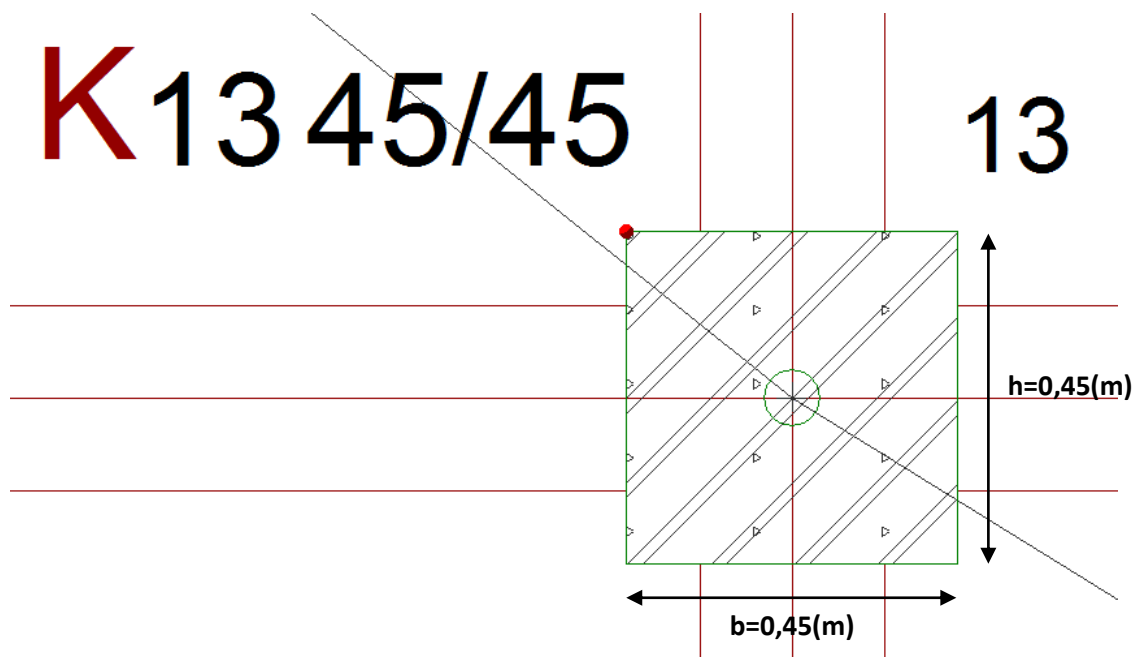
**Εικόνα 4.2.** Επιφάνεια αλληλεπίδρασης για διαξονική κάμψη με αξονικό φορτίο.<sup>[1]</sup>

#### 4.2.2 Διατομή Υποστυλώματος K13 και βασικές παράμετροι διαστασιολόγησης

Το Υποστύλωμα K13, είναι ένα εσωτερικό υποστύλωμα, του οποίου η θέση φαίνεται ακριβώς στην κάτοψη του στατικού συστήματος του κτιρίου παρακάτω (**Εικόνα 4.3**), ενώ η διατομή του, παρουσιάζεται αναλυτικά στην **Εικόνα 4.4**.



**Εικόνα 4.3.** Η ακριβής θέση του εσωτερικού υποστυλώματος που εξετάζεται (K13), στην κάτοψη του στατικού συστήματος του 1<sup>ου</sup> κτιρίου.



**Εικόνα 4.4.** Υποστύλωμα K13, με διαστάσεις πλάτους επί ύψος:  $b \times h = 0,45 \times 0,45(m^2)$ .

Το κτίριο με το Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο Προς Πλαισιακό, παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά, τα οποία καθορίζουν αρκετά μέρη της επίλυσης, με βάση τις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα:

- ↗ διαθέτει Κατηγορία Πλαστικότητα Μέση (D.C.M.),
- ↗ ανήκει σε περιοχή με ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I  $a_{gR}/g = 0,16$ ,
- ↗ κατηγορία εδάφους B
- ↗ χρησιμοποιείται ποιότητα σκυροδέματος C<sub>20/25</sub>,
- ↗ ποιότητα χάλυβα ράβδων οπλισμού B<sub>500C</sub>,
- ↗ η ονομαστική επικάλυψη των ράβδων οπλισμού, ισούται με  $c_{nom} = 0,035(m)$ ,
- ↗ το καθαρό ύψος ορόφου ( $l_{ci}$ ), ισούται με το καθαρό μήκος/ύψος του υποστυλώματος ( $l_c$ ), δηλαδή  $l_{clear} = l_{column} = 3,00(m)$ .

#### 4.2.3 Διαστασιολόγηση Υποστυλώματος K13 σε κάμψη<sup>[1]</sup>

Τα βήματα της μεθοδολογίας για την διαστασιολόγηση σε κάμψη, είναι τα παρακάτω:

1. αναγνώριση του στατικού συστήματος και επίλυσή του,
2. λήψη της απόφασης για το εάν ο πόδας και η κεφαλή του υποστυλώματος (οι θέσεις δηλαδή όπου οι ροπές παίρνουν τις μέγιστες τιμές τους), θα οπλιστούν με τον ίδιο τρόπο (σε συνήθη οικοδομικά έργα, τοποθετείται ο ίδιος οπλισμός, ενώ σε μεγαλύτερα έργα, είναι δυνατόν να διαφέρει),
3. υπολογισμός των ανηγμένων τιμών των ροπών σχεδιασμού ( $\mu_z$  &  $\mu_y$  και κατ' επέκταση  $\mu_1$  &  $\mu_2$ ) και του αξονικού φορτίου ( $v_d$ ),
4. ελέγχεται εάν η ανηγμένη τιμή του αξονικού φορτίου ( $v_d$ ), καλύπτει την απαίτηση:

$$v_d \leq 0,65 \rightarrow \text{για D.C.M.} \text{ και}$$

$$v_d \leq 0,55 \rightarrow \text{για D.C.H.}$$

και εάν όχι, ο κανονισμός (E.C.8), επιβάλλει αλλαγή των διαστάσεων της διατομής,

5. υπολογισμός του απαιτούμενου οπλισμού ( $A_{s,required}$ ), με βάση το κατάλληλο διάγραμμα αλληλεπίδρασης,
6. σύγκριση του απαιτούμενου οπλισμού ( $A_{s,required}$ ), με τον ελάχιστο ( $A_{s,min}$ ) και μέγιστο ( $A_{s,max}$ ) οπλισμό που ορίζει ο Ευρωκώδικας<sup>[3]</sup>,
7. στην περίπτωση που προκύψει μικρότερος απαιτούμενος οπλισμός από τον ελάχιστο ( $A_{s,required} < A_{s,min}$ ), τότε τοποθετείται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός εκ κανονισμού ( $A_{s,min}$ ),
8. στην περίπτωση που προκύψει μεγαλύτερος απαιτούμενος οπλισμός από τον μέγιστο ( $A_{s,required} > A_{s,max}$ ), τότε απαιτείται αλλαγή της διατομής και επανάληψη της διαδικασίας,
9. επιλογή ράβδων διαμήκους οπλισμού (οπλισμός κάμψης) και έλεγχος των μεταξύ τους αποστάσεων ( $b_i$ ), ώστε η μία ράβδος να απέχει από την άλλη και στις δύο διευθύνσεις της διατομής (x & y), απόσταση, σύμφωνη με την απαίτηση του κανονισμού:<sup>[3, 4]</sup>

$$b_i \leq \min \left\{ \begin{array}{l} \text{πάχος κορμού } b \\ 200(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow b_i \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 450(mm) \\ 200(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow b_i \leq 200(mm)$$

10. και τέλος, γίνεται η τοποθέτηση του οπλισμού στην διατομή και η σχεδίαση ενδεικτικών σκαριφημάτων με την ακριβή θέση του.

Παρακάτω, ακολουθεί η επίλυση, με βάση τα όσα αναφέρθηκαν:

1. Το στατικό σύστημα του κτιρίου, είναι Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Πλαισιακό και έχει επιλυθεί με την βοήθεια του στατικού προγράμματος Fespa, από το οποίο προέκυψαν και τα εντατικά μεγέθη που θα χρησιμοποιηθούν στην διαστασιολόγηση. Συγκεκριμένα, στο αναλυτικό τεύχος που συνοδεύει την επίλυση, για το Υποστυλώμα K13, εντοπίζεται από το πρόγραμμα, ο δυσμενέστερος από όλους τους συνδυασμούς μεταξύ των ροπών των δύο διευθύνσεων και του αξονικού φορτίου. Από αυτόν τον συνδυασμό, τα ζητούμενα, είναι τρία: το αξονικό φορτίο ( $N_{Ed}$ ), η ροπή κατά y ( $M_{Edy}$ ) και η ροπή κατά z ( $M_{Edz}$ ) (τιμές με κόκκινο, στον **Πίνακα 4.3** που ακολουθεί).

Πίνακας 4.3. Διαστασιολόγηση σε κάμψη για το Υποστυλώμα Κ13.

Φορτία [/]	Κόμβος [/]	$v_d$ [/]	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Edy}$ [kNm]	$M_{Edz}$ [kNm]	$\lambda = E_d/R_d$ [/]
ΣΣ:+x	13(0) +	-0,144	-388,32	-230,20	-34,32	0,94

- Τόσο ο πόδας, όσο και η κεφαλή του υποστυλώματος, θα σπλιστούν με τον ίδιο τρόπο, καθώς το συγκεκριμένο τριώροφο κτίριο, χωρίς υπόγειο, αποτελεί ένα κοινό οικοδομικό έργο.
- Υπολογισμός ανηγμένων τιμών σχεδιασμού ροπών και αξονικού φορτίου:

$$\mu_y = \frac{M_{Edy}}{b * h^2 * f_{cd}} = \frac{-230,20 (kNm) * 1,50(m^2)}{0,45^3(m^3) * (20 * 10^3)(kN)} \Rightarrow \mu_y = -0,1895 \approx -0,19$$

$$\mu_z = \frac{M_{Edz}}{b^2 * h * f_{cd}} = \frac{-34,32 (kNm) * 1,50(m^2)}{0,45^3(m^3) * (20 * 10^3)(kN)} \Rightarrow \mu_z = -0,0282 \approx -0,03$$

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{b * h * f_{cd}} = \frac{-388,32 (kN) * 1,50(m^2)}{0,45^2(m^2) * (20 * 10^3)(kN)} \Rightarrow v_d = -0,1438 \approx -0,10$$

- Η ανηγμένη τιμή του αξονικού φορτίου ( $v_d$ ), καλύπτει την απαίτηση του κανονισμού (E.C.8) για την περίπτωση την Κατηγορίας Πλαστιμότητας Μέσης (D.C.M.) και επομένως, δεν χρειάζεται να γίνει αλλαγή των διαστάσεων της διατομής:

$$v_d = -0,10 \leq 0,65 \Rightarrow \text{😊}$$

- Στην συνέχεια, γίνεται η εκλογή των:  $\mu_1$  και  $\mu_2$ , από τις τιμές:  $\mu_z$  και  $\mu_y$ , με τον τρόπο που προσδιορίζεται σε κάθε διάγραμμα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, θα γίνει χρήση του διαγράμματος αλληλεπίδρασης που θα προκύψει με βάση τα ακόλουθα στοιχεία:

- έστω ότι θα γίνει χρήση ράβδων διαμέτρου:  $\varnothing_l=18(\text{mm})$  [ $\varnothing_{18}$ ], διαμήκους σπλισμού και διαμέτρου:  $\varnothing_w=8(\text{mm})$  [ $\varnothing_8$ ], εγκάρσιου σπλισμού,
- η ονομαστική επικάλυψη, ισούται με:  $c_{nom} = 0,035(\text{m})$ ,
- επομένως, προκύπτει πως το στατικό ύψος ( $d$ ), θα ισούται με  $0,398(\text{m})$  και η απόσταση  $d_1=0,052(\text{m})$ , όπως φαίνεται αναλυτικά στις πράξεις που ακολουθούν και στην **Εικόνα 4.5** παρακάτω:

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing_w + \frac{\varnothing_l}{2} = 35 + 8 + \frac{18}{2} = 52(\text{mm}) \Rightarrow d_1 = 0,052(\text{m})$$

$$d = h - d_1 = 450 - 52 = 398(\text{mm}) \Rightarrow d = 0,398(\text{m})$$

Από το λόγο λοιπόν:  $d_1/h \approx 0,10$ , επιλέγεται το κατάλληλο διάγραμμα αλληλεπίδρασης ορθογωνικής διατομής σε διαξονική κάμψη, για σημειακή και όχι διανεμημένη κατανομή σπλισμού (**Εικόνα 4.6**). Σε αυτό, εισάγονται τα:  $v_d$ ,  $\mu_1$  και  $\mu_2$  (με τα πρόσημα για τις ανηγμένες τιμές των ροπών, να παραβλέπονται) και έτσι προσδιορίζεται το μηχανικό ποσοστό σπλισμού  $\omega_{tot}$ , το οποίο θα χρειαστεί για τον υπολογισμό του συνολικού εμβαδού απαιτούμενου σπλισμού  $A_{s,req}$ . Η διαδικασία, περιγράφεται σχηματικά επάνω στην **Εικόνα 4.6** που ακολουθεί, με το  $\mu_1$  να τοποθετείται στον κατακόρυφο άξονα και το  $\mu_2$  στον οριζόντιο άξονα του διαγράμματος, ενώ το  $\omega_{tot}$  προκύπτει ίσο με **0,37**.

Ο απαιτούμενος οπλισμός ( $A_{s,req}$ ), δίνεται από την σχέση:

$$A_{s,req} = \omega_{tot} * \frac{b * h * f_{cd}}{f_{yd}} = 0,37 * \frac{0,45^2 * 20 * 1,15}{500 * 1,50} \Rightarrow A_{s,req} = 22,98(cm^2)$$

6. Έλεγχοι μέγιστων και ελάχιστων οπλισμών, με βάση τον κανονισμό [§5.4.3.2.2(1), E.C.8], όπου θα πρέπει ο απαιτούμενος οπλισμός που προέκυψε παραπάνω ( $A_{s,req}$ ), να βρίσκεται εντός των παρακάτω ορίων, προκειμένου να επιτευχθεί τοπική πλαστιμότητα:

$$A_{s,min} \leq A_{s,req} \leq A_{s,max} \Rightarrow$$

$$\rho_{min} * A_c \leq A_{s,req} \leq \rho_{max} * A_c \Rightarrow$$

$$\rho_{min} * b * h \leq A_{s,req} \leq \rho_{max} * b * h \Rightarrow$$

$$1\% * 45 * 45 \leq 22,98 \leq 4\% * 45 * 45 \Rightarrow$$

$$20,25(cm^2) \leq 22,98(cm^2) \leq 81,00(cm^2) \Rightarrow \text{😊}$$

7. Το βήμα αυτό, παραλείπεται, εφόσον ΔΕΝ προέκυψε μικρότερος απαιτούμενος οπλισμός από τον ελάχιστο που ορίζει ο κανονισμός (E.C.8).
8. Το βήμα αυτό, παραλείπεται, εφόσον ΔΕΝ προέκυψε μεγαλύτερος απαιτούμενος οπλισμός από τον μέγιστο που ορίζει ο κανονισμός (E.C.8).
9. Επιλέγεται, ο αρχικός τοποθετούμενος οπλισμός κάμψης ( $A_{s,prov}$ ), να είναι δέκα (10) ράβδοι, διαμέτρου:  $\varnothing_{18}$  και  $\varnothing_{16}$ , πέντε (5) στην μία ( $2\varnothing_{18}$  &  $3\varnothing_{16}$ ) και πέντε (5) στην άλλη παρειά του υποστυλώματος ( $2\varnothing_{18}$  &  $3\varnothing_{16}$ ) (**Εικόνα 4.5**), δηλαδή:

$$A_{s,prov} = 4\varnothing_{18} + 6\varnothing_{16} = 10,18 + 12,06 = 22,24(cm^2)$$

Ωστόσο, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν και ορισμένοι έλεγχοι που ορίζονται από τον Ευρωκώδικα, ώστε οι αποστάσεις ( $b_i$ ) μεταξύ των ράβδων οπλισμού (από το κέντρο της μίας ράβδου έως το κέντρο της άλλης), τόσο κατά την διεύθυνση  $x$ , όσο και κατά την διεύθυνση  $y$  της διατομής, για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (D.C.M.), να μην απέχουν περισσότερο από 20(cm), όπως ακολουθεί:

► ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ Υ:

- $b - (2 * c_{nom}) - (2 * \varnothing_8) - \left(\frac{2 * \varnothing_{18}}{2}\right) = 450 - (2 * 35) - (2 * 8) - \left(\frac{2 * 18}{2}\right) = 346(mm) \rightarrow$  απόσταση  $\alpha_1$  στην **Εικόνα 4.7**

- $\alpha_1 = 346,00(mm) \leq b_i = 200,00(mm) \Rightarrow \text{✗}$

- επομένως, **απαιτείται** να τοποθετηθεί  $1\varnothing_{16}$  επιπλέον ράβδος διαμήκους οπλισμού, σε κάθε παρειά (συνολικά  $2\varnothing_{16}$ ), κατά την διεύθυνση  $y$ , εφόσον οι δύο (2) υπάρχουσες ράβδοι (δεξιά και αριστερά) της διατομής, δημιουργούν μία (1) απόσταση ( $\alpha_1$ ), μεγαλύτερη των 20(cm) (**Εικόνα 4.7**).

- $\frac{\alpha_1}{2} = \frac{346}{2} = 173,00(mm) \leq b_i = 200,00(mm) \Rightarrow \text{😊} \rightarrow$   
απόσταση  $\alpha_2$  στην **Εικόνα 4.7**



▶ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ Χ:

- $h - (2 * c_{nom}) - (2 * \varnothing_8) - \left(\frac{2 * \varnothing_{18}}{2}\right) = 450 - (2 * 35) - (2 * 8) - \left(\frac{2 * 18}{2}\right) = 346(mm) \rightarrow$  απόσταση  $\beta_1$  στην **Εικόνα 4.7**

- $\frac{\beta_1}{4} = \frac{346}{4} = 86,50(mm) \leq b_i = 200,00(mm) \Rightarrow \text{😊} \rightarrow$   
απόσταση  $\beta_2$  στην **Εικόνα 4.7**

- επομένως, **δεν απαιτείται** να τοποθετηθούν επιπλέον ράβδοι διαμήκους οπλισμού κατά την διεύθυνση χ, εφόσον μεταξύ των πέντε (5) ράβδων, σε κάθε παρειά (άνω και κάτω) της διατομής, δημιουργούνται τέσσερις (4) αποστάσεις ( $\beta_2$ ), μικρότερες των 20(cm) (**Εικόνα 4.7**).

- ▶ Με βάση λοιπόν τα παραπάνω, ο τελικός τοποθετούμενος οπλισμός κάμψης ( $A_{s,prov,ολικό}$ ), ο οποίος και πάλι κινείται εντός των απαιτούμενων ορίων του μέγιστου και ελάχιστου οπλισμού, είναι δέκα: **(10) ράβδοι, διαμέτρου:  $\varnothing_{18}$  και  $\varnothing_{16}$**  πέντε ( $2\varnothing_{18}$  &  $3\varnothing_{16}$ ) στην άνω και πέντε ( $2\varnothing_{18}$  &  $3\varnothing_{16}$ ) στην κάτω παρειά **ΚΑΙ δύο (2) ράβδοι, διαμέτρου:  $\varnothing_{16}$** , μία ( $1\varnothing_{16}$ ) δεξιά και μία ( $1\varnothing_{16}$ ) αριστερά, στην διατομή του υποστυλώματος (**Εικόνα 4.5**), δηλαδή:

$$A_{s,prov,ολικό} = 4\varnothing_{18} + 8\varnothing_{16} = 10,18 + 16,08 \Rightarrow A_{s,prov,ολικό} = 26,26(cm^2)$$

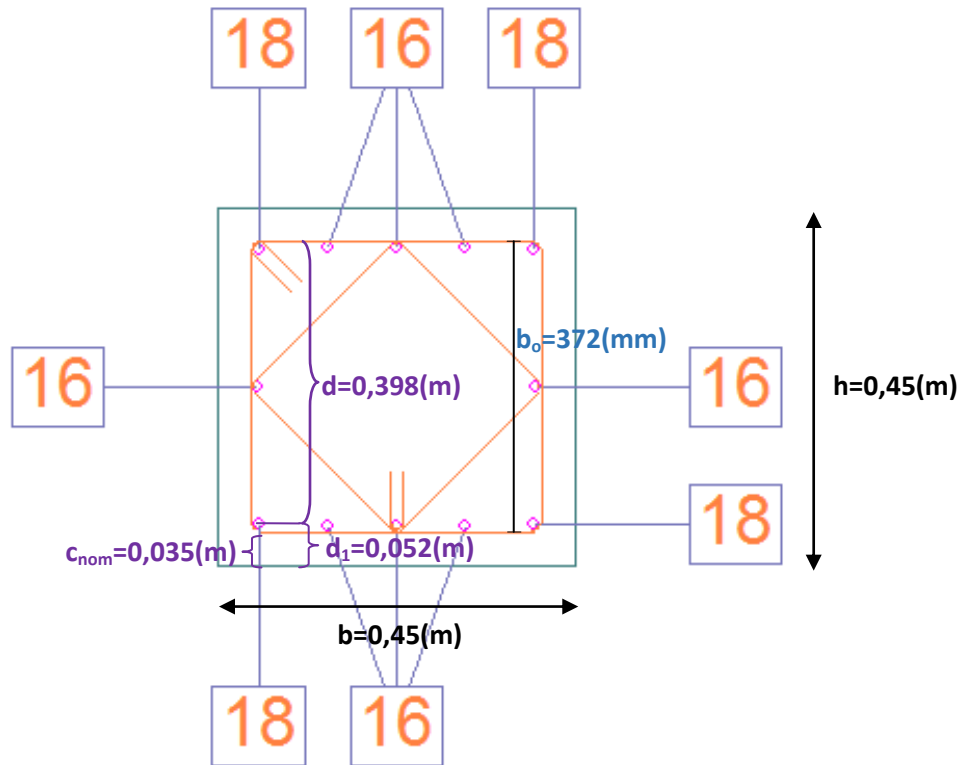
$$\text{και πάλι ισχύει: } A_{s,min} \leq A_{s,prov,ολικό} \leq A_{s,max} \Rightarrow \text{😊}$$

10. Στην **Εικόνα 4.5** παρακάτω, φαίνεται η τελική επιλογή τοποθέτησης του οπλισμού κάμψης στην διατομή και η ακριβής θέση του.

# K13

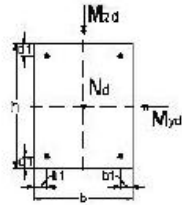
# 45/45

$4\phi_{18} + 8\phi_{16}$   
 $\Sigma \phi_8/20,00 \text{ (cm)}$  &  
 $\Sigma \phi_8/12,50 \text{ (cm)}$

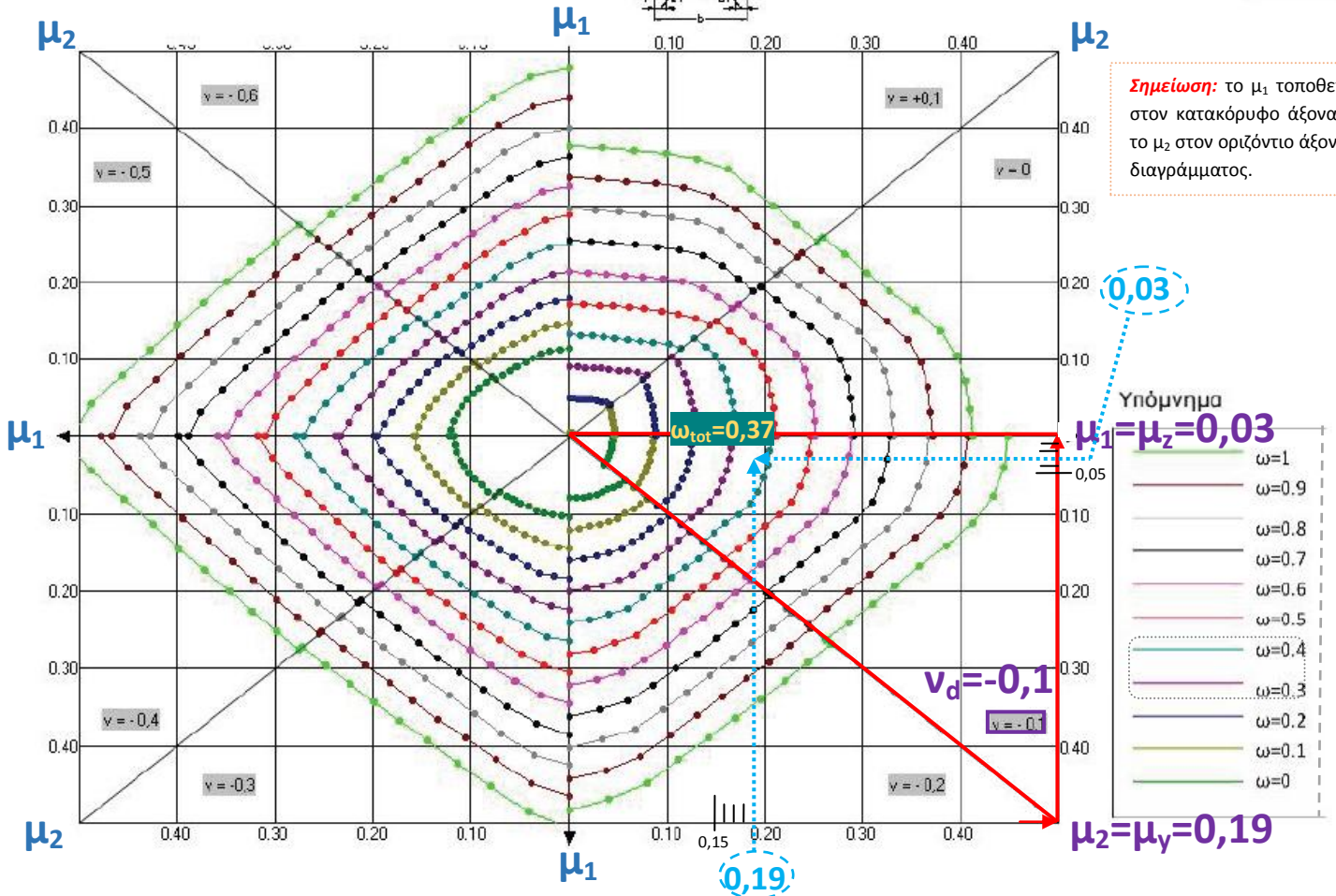
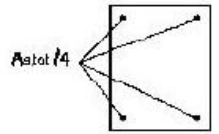


**Εικόνα 4.5.** Εύρεση του στατικού ύψους  $d$  και της απόστασης  $d_1$  και τελική λύση όπλισης στο Υποστύλωμα K13.

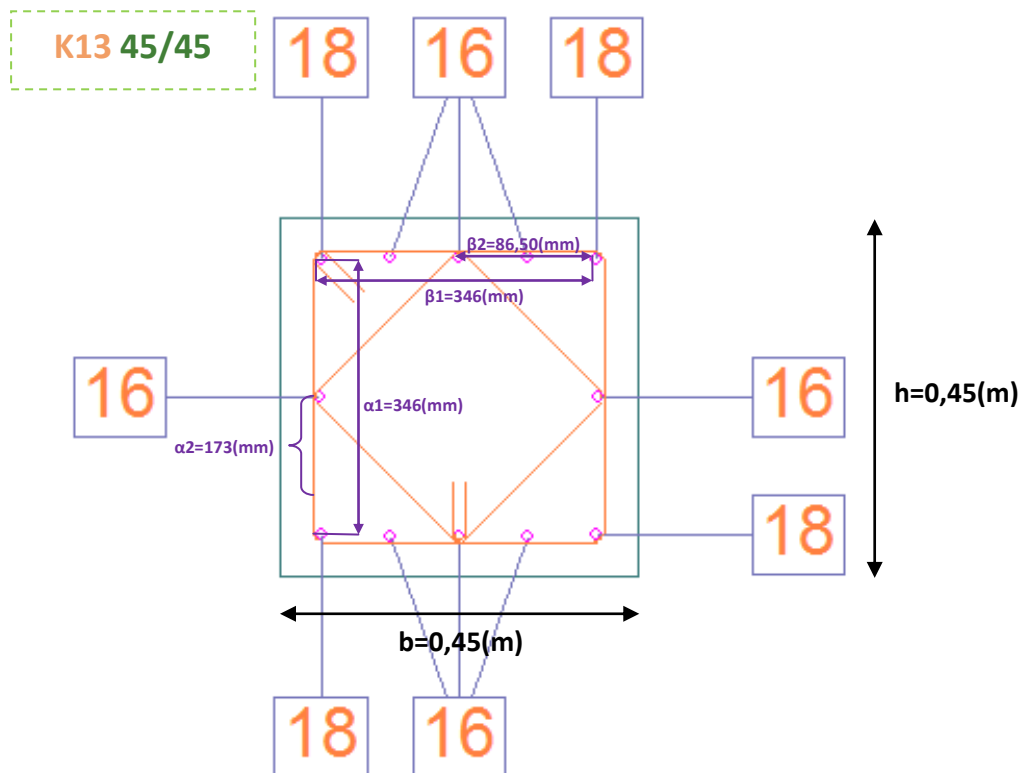
Διάγραμμα αλληλεπίδρασης για ορθογωνική διατομή σε διαξονική κάμψη σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2 (σημειακή κατανομή οπλισμού)



Όλες οι κατηγορίες σκυροδέματος  
Χάλυβας B500c  
 $d_1/h = b_1/b = 0.10$



Εικόνα 4.6. Διάγραμμα αλληλεπίδρασης για ορθογωνική διατομή σε διαξονική κάμψη ( $B_{500C}$ , σημειακή κατανομή οπλισμού,  $d_1/h = b_1/b = 0,10$ ).<sup>[1]</sup>



**Εικόνα 4.7.** Έλεγχοι απαιτούμενων αποστάσεων ( $b_i$ ) μεταξύ των ράβδων οπλισμού (από το κέντρο της μίας ράβδου έως το κέντρο της άλλης), κατά τις δύο διευθύνσεις  $x$  και  $y$  του Υποστυλώματος K13.

#### 4.2.4 Διαστασιολόγηση Υποστυλώματος K13 σε διάτμηση (§6.2, E.C.2)

Για την παραλαβή των εφελκυστικών τάσεων που προκαλούνται από τις τέμνουσες δυνάμεις, απαιτείται τοποθέτηση οπλισμού, κάθετα προς την διεύθυνση των πιθανών ρηγμάτων που θα σχηματιστούν σε περίπτωση σεισμού (παράδειγμα τέτοιου είδους ρηγμάτων, φαίνεται στην **Εικόνα 4.13**, όμως όπως συμβαίνει στις δοκούς). Αυτός ο οπλισμός, είναι ο εγκάρσιος οπλισμός, ο οποίος εξασφαλίζει την διατομή του υποστυλώματος έναντι της διάτμησης και αποτελείται από τους λεγόμενους «συνδετήρες». Τα βήματα της μεθοδολογίας για την διαστασιολόγηση σε διάτμηση, είναι τα παρακάτω:<sup>[1]</sup>

1. λήψη εντατικών μεγεθών σχεδιασμού από την στατική επίλυση του συστήματος που έγινε με το πρόγραμμα Fespa,
2. **έλεγχος περιορισμού λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού (Τέμνουσα Αντοχής σχεδιασμού, λόγω θλίψης κορμού)**, δηλαδή ελέγχεται εάν απαιτείται αλλαγή της διατομής του Υποστυλώματος K13 και συγκεκριμένα, θα πρέπει οι διαστάσεις του κορμού, να είναι τέτοιες ώστε η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)  $V_{Ed}$ , να είναι **μικρότερη ή ίση** της Αντοχής Σχεδιασμού λοξού θλιπτήρα  $V_{Rd,max}$ , ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

3. **έλεγχος απαίτησης οπλισμού διάτμησης**, δηλαδή ελέγχεται εάν απαιτείται να τοποθετηθεί τελικά οπλισμός έναντι της αναπτυσσόμενης διάτμησης στο Υποστυλώμα K13, με βάση το ποσοστό εφελκυστικού χάλυβα  $\rho_i$ , το οποίο είναι ο λόγος του συνολικού τοποθετούμενου οπλισμού κάμψης [ $A_{s,prov,ολικό}=26,26(\text{cm}^2)$ ], που υπολογίστηκε παραπάνω προς τις διαστάσεις της διατομής· συγκεκριμένα, θα πρέπει η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)  $V_{Ed}$ , να είναι **μικρότερη** της Αντοχής Σχεδιασμού σε Τέμνουσα  $V_{Rd,c}$  που αναπτύσσεται χάρη στον οπλισμό κάμψης, ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$V_{Ed} < V_{Rd,c}$$

4. υπολογισμός βάσει Κατηγορίας Πλαστιμότητας (εδώ: D.C.M.), των κρίσιμων περιοχών (περιοχές σχηματισμού επιθυμητών πλαστικών αρθρώσεων) στα άκρα του υποστυλώματος, όπου σε αυτές, η περίσφιξη με συνδετήρες, είναι περισσότερο πυκνή σε σχέση με τις μη κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος,
5. επιλογή οπλισμού διάτμησης, με υπολογισμό ελάχιστων συνδετήρων:
- EKTOΣ** κρίσιμων περιοχών και
  - ENTOS** κρίσιμων περιοχών
6. **έλεγχος, για το εάν η λύση που επιλέχθηκε**, δηλαδή ο τοποθετούμενος οπλισμός διάτμησης (ENTOS και EKTOΣ κρίσιμων περιοχών) **επαρκεί** και συγκεκριμένα, θα πρέπει η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)  $V_{Ed}$ , να είναι **μικρότερη ή ίση** της Τέμνουσας Συνδετήρων  $V_{Rd,s}$  που αναπτύσσεται χάρη στην επιλογή που έγινε για τον οπλισμό διάτμησης, ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:<sup>[2]</sup>

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$$

Παρακάτω, ακολουθεί η επίλυση, με βάση τα όσα αναφέρθηκαν:<sup>[2, 3, 4]</sup>

1. Το στατικό σύστημα του κτιρίου, είναι Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Πλαισιακό και έχει επιλυθεί με την βοήθεια του στατικού προγράμματος Fespa, από το οποίο προέκυψαν και τα εντατικά μεγέθη που θα χρησιμοποιηθούν στην διαστασιολόγηση. Συγκεκριμένα, στο αναλυτικό τεύχος που συνοδεύει την επίλυση, για το Υποστύλωμα K13, εντοπίζεται από το πρόγραμμα και για τις δύο διευθύνσεις, ο δυσμενέστερος από όλους τους συνδυασμούς για την Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)  $V_{Ed}$ . Από τον **Πίνακα 4.4** του Fespa που ακολουθεί, λαμβάνεται η μεγαλύτερη-δυσμενέστερη δράση ( $V_{Ed}$ ), η οποία ανήκει στην διεύθυνση z (τιμή με κόκκινο, στον **Πίνακα 4.4**), ενώ συγκρατούνται και οι τιμές των:  $V'_{Rd,c}$ ,  $V_{Rd,c}$  και  $V_{Rd,max}$ , ώστε να ελέγχεται εάν τα αποτελέσματα του προγράμματος, συνάδουν με τα αποτελέσματα της επίλυσης που ακολουθεί.

**Πίνακας 4.4.** Μέγιστα εγκάρσιου οπλισμού για το Υποστύλωμα K13.

Φορτία [/]	Διεύθυνση [/]	$v_d$ [/]	$V_{Ed}$ [kN]	$T_{Ed}$ [kNm]	$V'_{Rd,c}$ [kN]	$V_{Rd,c}$ [kN]	$V_{Rd,max}$ [kN]
ΣΣ:-x	Z	-0,212	<b>+154,01</b>	0,33	77,67	156,88	<b>588,71</b>
ΣΣ:-x	Y	-0,212	<b>+130,75</b>	0,33	77,67	156,88	<b>588,71</b>

2. **Ο έλεγχος περιορισμού λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού (Τέμνουσα Αντοχής σχεδιασμού, λόγω θλίψης κορμού  $V_{Rd,max}$ )**, περιλαμβάνει τον υπολογισμό των παρακάτω παραμέτρων:

$$\blacktriangleright V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} * b_w * Z * v_1 * f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta} = \frac{1,00 * 0,45 * 0,3582 * 0,60 * \left(\frac{20}{1,50}\right)}{2,50 + 0,40} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Rd,max} = 0,44466(MN) = 444,66(kN)$$

- $\alpha_{cw} = 1,00$ :** συντελεστής για να ληφθεί υπόψη η εντατική κατάσταση στο θλιβόμενο πέλμα και η συνιστώμενη τιμή του είναι ίση με την μονάδα, για μη προεντεταμένες κατασκευές
- $b_w = 0,45(m)$ :** το μικρότερο πλάτος κορμού στην εφελκόμενη περιοχή

- ▶  $z = 0,90 * d = 0,90 * 39,80 = 35,82(cm) = 0,3582(m)$ : ο μοχλοβραχίονας της διατομής σε ένα στοιχείο σταθερού ύψους, ο οποίος αντιστοιχεί στην καμπτική ροπή που δρα στο στοιχείο (στον σχεδιασμό έναντι διάτμησης στοιχείων σπλισμένου σκυροδέματος, χωρίς αξονικό φορτίο, μπορεί να ληφθεί για τον μοχλοβραχίονα η προσεγγιστική τιμή  $z = 0,9d$ )
- ▶  $v_1 = 0,60$ : ο δείκτης μείωσης της αντοχής για σκυρόδεμα ρηγματωμένο λόγω διάτμησης (τιμή για  $f_{ck} \leq 60 MPa$ )
- ▶  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,50} = 13,3333(MPa)$ : η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος ποιότητας: C<sub>20/25</sub>
- ▶  $\theta = 21,80^\circ$ : η γωνία των καμπτο-διατμητικών ρηγμάτων ως προς την κατακόρυφο ( $\cot\theta=2,50$  και  $\tan\theta=0,40$ )
- ▶  $V_{Ed} = 154,01(kN)$ : η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)
- ▶ Επομένως, η απαίτηση του κανονισμού, **ικανοποιείται** και δεν απαιτείται να γίνει αλλαγή των διαστάσεων της διατομής, εφόσον ισχύει η σχέση:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} \Rightarrow 154,01(kN) \leq 444,66(kN) \Rightarrow \text{😊}$$

3. Για τον έλεγχο απαίτησης σπλισμού διάτμησης, αρκεί να γίνει ο υπολογισμός των παρακάτω παραμέτρων:

- ▶  $V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 * \sigma_{cp} \right] * b_w * d \Rightarrow$   
 $\Rightarrow V_{Rd,c} = \left[ 0,12 * 1,709 * (100 * 0,013 * 20)^{\frac{1}{3}} + 0,15 * 0 \right] * 0,45 * 0,398 \Rightarrow$   
 $\Rightarrow V_{Rd,c} = 0,10881(MN) = 108,81(kN)$
- ▶  $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,50} = 0,12$ : συντελεστής από δοκιμές, η τιμή του οποίου λαμβάνεται από το Εθνικό Προσάρτημα
- ▶  $k = 1,00 + \sqrt{\frac{200}{d(mm)}} \leq 2,00 \Rightarrow k = 1,00 + \sqrt{\frac{200}{398}} \Rightarrow k = 1,709 \leq 2,00 \Rightarrow \text{😊}$   
: συντελεστής, ο οποίος, θα πρέπει να έχει τιμή μικρότερη ή ίση με δύο και στην περίπτωση αυτή, η απαίτηση καλύπτεται
- ▶  $\rho_l = \frac{A_{s,prov,ολικό}}{b_w * d} \leq 0,02 \Rightarrow \rho_l = \frac{26,26}{45 * 45} \Rightarrow \rho_l = 0,013 \leq 0,02 \Rightarrow \text{😊}$   
: το ποσοστό εφελκόμενου χάλυβα
- ▶  $f_{ck} = 20(MPa)$ : η ελάχιστη χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου, σκυροδέματος ποιότητας: C<sub>20/25</sub>
- ▶  $k_1 = 0,15$ : συντελεστής, η τιμή του οποίου λαμβάνεται από το Εθνικό Προσάρτημα
- ▶  $\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = \frac{0}{b_w * d} = 0(MPa)$ : η θλιπτική τάση του σκυροδέματος στο κέντρο βάρους, λόγω αξονικού φορτίου ή και προέντασης

- ▶  $b_w = 0,45(m)$ : το μικρότερο πλάτος κορμού στην εφελκυσμένη περιοχή
- ▶  $d = 0,398(m)$ : το στατικό ύψος
- ▶ εισάγοντας την ελάχιστη τιμή  $v_{min}$ , η  $V_{Rd,c}$  θα ισούται με την  $V'_{Rd,c}$ :

$$\begin{aligned} V'_{Rd,c} &= (V_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d \Rightarrow \\ \Rightarrow V'_{Rd,c} &= (0,350 + 0,15 * 0) * 0,45 * 0,398 \Rightarrow \\ \Rightarrow V'_{Rd,c} &= 0,06269(MN) = 62,69(kN) \end{aligned}$$

- ▶  $v_{min} = 0,035 * K^{\frac{3}{2}} * f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 * 1,709^{1,5} * 20^{0,5} = 0,350$ : τύπος από Εθνικό Προσάρτημα
- ▶  $V_{Ed} = 154,01(kN)$ : η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)
- ▶ Επομένως, η απαίτηση του κανονισμού, **ΔΕΝ ικανοποιείται**, και θα πρέπει να τοποθετηθεί οπλισμός διάτμησης, εφόσον δεν ισχύει η σχέση:

$$V_{Ed} < V_{Rd,c} \Rightarrow 154,01(kN) < 108,81(kN) \Rightarrow \times$$

4. Στα υποστυλώματα, όπως και στις δοκούς, τα ακραία σημεία, θεωρούνται κρίσιμα (πλαστικά σημεία: κρίσιμα σημεία, προκειμένου να σχηματισθούν σε αυτά οι επιθυμητές πλαστικές αρθρώσεις) και για τον λόγο αυτό, διαστασιοποιούνται σε διάτμηση, με πιο πυκνούς συνδετήρες από ότι οι μη κρίσιμες περιοχές· έτσι λοιπόν, για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (D.C.M.), το κρίσιμο μήκος για υποστυλώμα  $l_{cr}$ , θα ισούται με:

$$l_{cr} = \max \left\{ \begin{array}{l} h = 0,45(m) \\ l_c/6 = 3/6 = 0,50(m) \\ 0,45(m) \end{array} \right\} \Rightarrow l_{cr} = 0,50(m)$$

5. Για την επιλογή του οπλισμού διάτμησης, πρόκειται να επιλυθούν δύο διαφορετικές περιπτώσεις διαστασιολόγησης σε διάτμηση (μία εκτός και μία εντός των κρίσιμων περιοχών):

- i. ελάχιστοι συνδετήρες **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών:

$$s_{max} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} b_{min} = 450(mm) \\ 20 * d_{bl,min} = 20 * 16 = 320(mm) \\ 400(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow s_{max} \leq 320(mm)$$

- όπου  $b_{min}$ : η μικρότερη πλευρά του υποστυλώματος
- όπου  $d_{bl,min}$ : η μικρότερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων που συμμετέχει στην κάμψη
- επιλέγεται η απόσταση τοποθέτησης συνδετήρων **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, να είναι:

$$s_{max} = s = 200(mm) = 20(cm)$$

- η μη κρίσιμη περιοχή του Υποστυλώματος K13, μπορεί να ευρεθεί εάν από το συνολικό μήκος του στύλου  $l_c$ , αφαιρεθούν τα δύο κρίσιμα άκρα  $l_{cr}$ :

$$l_{μη\ κρίσιμο} = l_c - 2 * l_{cr} = 3 - 2 * 0,50 \Rightarrow l_{μη\ κρίσιμο} = 2,00(m)$$

- επιλέγεται λοιπόν, **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, να τοποθετηθούν δέκα (10) 4-τμητοι συνδετήρες, διαμέτρου:  $\emptyset_8$  και σε απόσταση 20(cm) μεταξύ τους (αριθμός ράβδων εγκάρσιου οπλισμού μη κρίσιμων περιοχών:  $NA_{s,w,μη\ κρίσιμο}$ ):

$$NA_{s,w,μη\ κρίσιμο} = \frac{l_{μη\ κρίσιμο}}{s_{max}} = \frac{200}{20} \Rightarrow NA_{s,w,μη\ κρίσιμο} = 10\emptyset_8/20(cm)$$

- επομένως, ο τελικός οπλισμός διάτμησης **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών ( $A_{s,w,μη\ κρίσιμο}$ ), θα είναι (**Εικόνα 4.5**):

$$A_{s,w,μη\ κρίσιμο} = 10\emptyset_8/20(cm) = 5,03(cm^2)$$

ii. ελάχιστοι συνδετήρες **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών:

$$s_{max} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} b_o/2 = 372/2 = 186(mm) \\ 8 * d_{bl,min} = 8 * 16 = 128(mm) \\ 175(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow s_{max} \leq 128(mm)$$

- $b_o = b - 2 * c_{nom} - 2 * \frac{\emptyset_{συνδετήρα}}{2} = 450 - 2 * 35 - 8 = 372(mm)$   
: το πλάτος του περισφιγμένου πυρήνα, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 4.5** (έως τον άξονα των συνδετήρων)
- όπου  $d_{bl,min}$ : η μικρότερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων που συμμετέχει στην κάμψη
- επιλέγεται η απόσταση τοποθέτησης συνδετήρων **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, να είναι:

$$s_{max} = s = 125(mm) = 12,50(cm)$$

- οι κρίσιμες περιοχές  $l_{cr}$ , του Υποστυλώματος K13, είναι δύο, η μία βρίσκεται στην κεφαλή και η άλλη στον πόδα του στύλου:

$$l_{cr} = 0,50(m) \quad και \quad l_{cr,ολικό} = 2 * l_{cr} = 2 * 0,50 = 1,00(m)$$

- επιλέγεται λοιπόν, **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, να τοποθετηθούν οκτώ (8) 4-τμητοι συνδετήρες (4 στο άνω και 4 στο κάτω άκρο), διαμέτρου:  $\emptyset_8$  και σε απόσταση 12,50(cm) μεταξύ τους (αριθμός ράβδων εγκάρσιου οπλισμού κρίσιμων περιοχών:  $NA_{s,w,κρίσιμο}$ ):

$$NA_{s,w,κρίσιμο} = \frac{l_{cr,ολικό}}{s} = \frac{100}{12,50} \Rightarrow NA_{s,w,κρίσιμο} = 8\emptyset_8/12,50(cm)$$

- επομένως, ο τελικός οπλισμός διάτμησης **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών ( $A_{s,w,κρίσιμο}$ ), θα είναι (**Εικόνα 4.5**):

$$A_{s,w,κρίσιμο} = 8\emptyset_8/12,50(cm) = 4,02(cm^2)$$

6. Ελέγχεται για το εάν ο τοποθετούμενος οπλισμός διάτμησης (ΕΝΤΟΣ και ΕΚΤΟΣ κρίσιμων περιοχών) επαρκεί και συγκεκριμένα:

i. **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών:



$$V_{Rd,s} = \frac{A_{s,w}}{s} * z * f_{ywd} * cot\theta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Rd,s} = \frac{1,01}{20} * 35,82 * \frac{500}{1,15 * 10} * 2,50 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Rd,s} = 196,62(kN)$$

- $A_{s,w} = 2 * 1\emptyset_8 = 2 * 0,503 \approx 1,01(cm^2)$ : το εμβαδόν της διατομής του οπλισμού διάτμησης, επειδή οι συνδετήρες είναι 4-τμητοι
- $z = 0,90 * d = 0,90 * 39,80 = 35,82(cm)$ : ο μοχλοβραχίονας της διατομής σε ένα στοιχείο σταθερού ύψους, ο οποίος αντιστοιχεί στην καμπτική ροπή που δρα στο στοιχείο (στον σχεδιασμό έναντι διάτμησης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος, χωρίς αξονικό φορτίο, μπορεί να ληφθεί για τον μοχλοβραχίονα η προσεγγιστική τιμή  $z = 0,9d$ )
- $f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_y} = \frac{500}{1,15} = 434,78(MPa)$ : η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του οπλισμού διάτμησης
- $\theta = 21,80^\circ$ : η γωνία των καμπτο-διατμητικών ρηγμάτων ως προς την κατακόρυφο ( $cot\theta=2,50$  και  $\tan\theta=0,40$ )
- $V_{Ed} = 154,01(kN)$ : η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)
- Επομένως, ο οπλισμός διάτμησης που τοποθετήθηκε **EKTOS** κρίσιμων περιοχών, καλύπτει την απαίτηση του κανονισμού (E.C.), η οποία επιβάλλει τοποθέτηση ράβδων συνδετήρων, με διάμετρο μεγαλύτερη ή ίση με 8(mm)  $\rightarrow (\emptyset_w \geq \emptyset_8)$  και τελικώς, επαρκεί εφόσον ισχύει η απαιτούμενη σχέση:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} \Rightarrow 154,01(kN) \leq 196,62(kN) \Rightarrow \text{😊}$$

ii. **ENTOS** κρίσιμων περιοχών:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{s,w}}{s} * z * f_{ywd} * cot\theta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Rd,s} = \frac{1,01}{12,50} * 35,82 * \frac{500}{1,15 * 10} * 2,50 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Rd,s} = 314,59(kN)$$

- $A_{s,w} = 2 * 1\emptyset_8 = 2 * 0,503 \approx 1,01(cm^2)$ : το εμβαδόν της διατομής του οπλισμού διάτμησης, επειδή οι συνδετήρες είναι 4-τμητοι
- $z = 0,90 * d = 0,90 * 39,80 = 35,82(cm)$ : ο μοχλοβραχίονας της διατομής σε ένα στοιχείο σταθερού ύψους, ο οποίος αντιστοιχεί στην καμπτική ροπή που δρα στο στοιχείο (στον σχεδιασμό έναντι διάτμησης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος, χωρίς αξονικό φορτίο, μπορεί να ληφθεί για τον μοχλοβραχίονα η προσεγγιστική τιμή  $z = 0,9d$ )
- $f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_y} = \frac{500}{1,15} = 434,78(MPa)$ : η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του οπλισμού διάτμησης

- $\theta = 21,80^\circ$ : η γωνία των καμπτο-διατμητικών ρηγμάτων ως προς την κατακόρυφο ( $\cot\theta=2,50$  και  $\tan\theta=0,40$ )
- $V_{Ed} = 154,01(kN)$ : η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)
- Επομένως, ο σπλισμός διάτμησης που τοποθετήθηκε **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, καλύπτει την απαίτηση του κανονισμού (E.C.), η οποία επιβάλλει τοποθέτηση ράβδων συνδετήρων, με διάμετρο μεγαλύτερη ή ίση με 8(mm)  $\rightarrow (\varnothing_w \geq \varnothing_8)$  και τελικώς, επαρκεί εφόσον ισχύει η απαιτούμενη σχέση:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} \Rightarrow 154,01(kN) \leq 314,59(kN) \Rightarrow \text{😊}$$

## Βιβλιογραφία

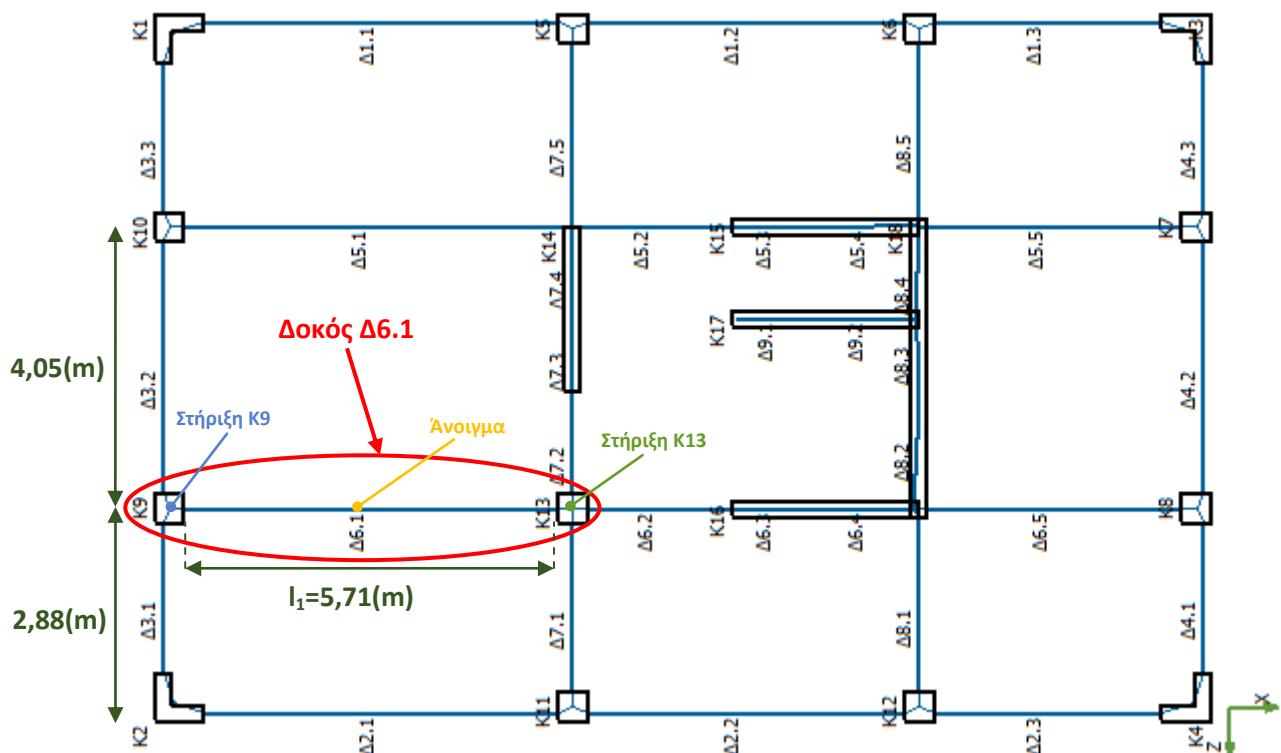
---

1. **Παναγόπουλος Γ., Κίρτας Ε. (2005).** Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος Ι. Σημειώσεις μαθήματος «Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος Ι». Τ.Ε.Ι.Σερρών.
2. **Καραγιάννης Χρ. (2016).** Σχεδιασμός Συμπεριφορά Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα έναντι Σεισμού. Εκδόσεις "Σοφία". Θεσσαλονίκη (Ελλάδα), 2016, Σελ.: 413-421.
3. **Ευρωκώδικας 2-Ε.Σ.2 (EN 1992-1-1: 2004 GR).** Σχεδιασμός Φορέων από Σκυρόδεμα, Μέρος 1-1: Γενικοί Κανόνες και Κανόνες για Κτίρια. Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση (C.E.N.). Σελ.: 113-124, 165-166, 211.
4. **ΔΙΠΑΔ/οικ/473/31-12-2008.** Προσωρινές Συστάσεις για το σχεδιασμό έργων γεφυροποιίας σε συνδυασμό με τους αντίστοιχους Ευρωκώδικες (ΠΡΟΣΥ). Εφημερίδα της Κυβέρνησης (ΦΕΚ 2692/Β/31-12-2008). Σελ.: 37-38.

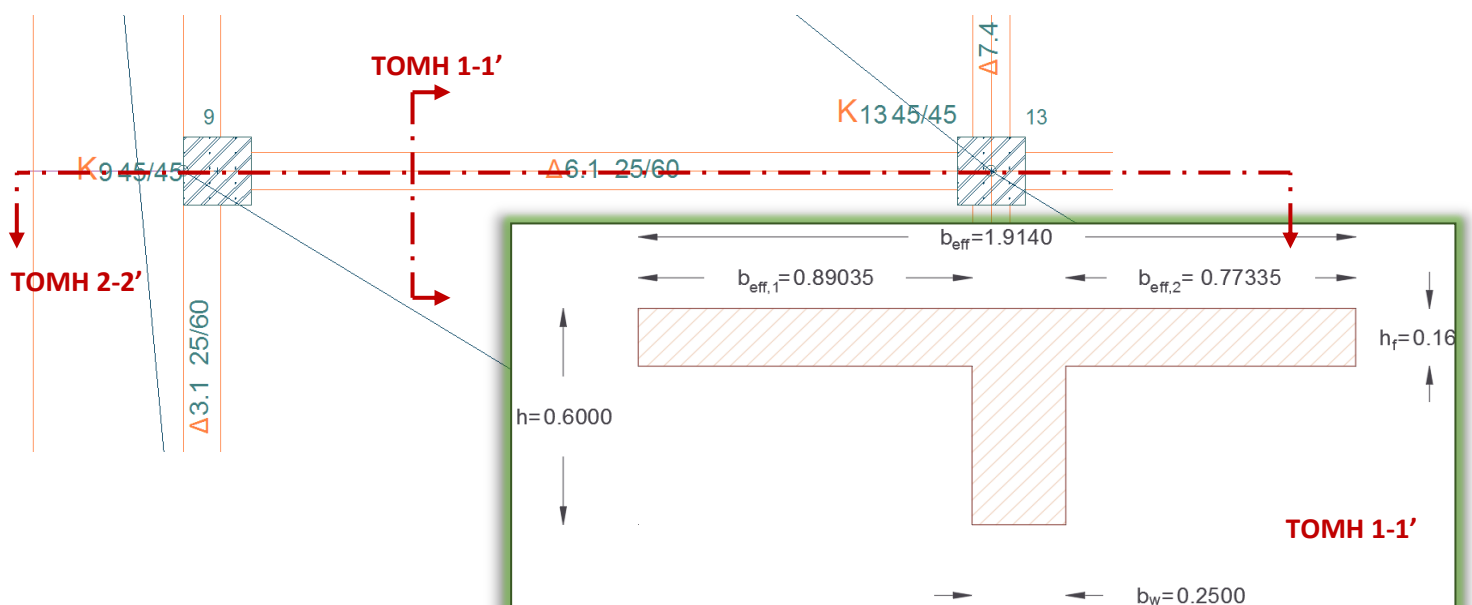
#### 4.3 Διαστασιολόγηση Δοκού Δ6.1 (όροφος: 0, νο: 6.1)

##### 4.3.1 Διατομή Δοκού Δ6.1 και βασικές παράμετροι διαστασιολόγησης

Η Δοκός Δ6.1, είναι μία εσωτερική πλακοδοκός, της οποίας η θέση φαίνεται ακριβώς στην κάτοψη του στατικού συστήματος του κτιρίου παρακάτω (**Εικόνα 4.8**), ενώ η διατομή της, παρουσιάζεται αναλυτικά στην **Εικόνα 4.9** και το συνεργαζόμενο πλάτος που φαίνεται στην εικόνα, είναι αποτέλεσμα της επίλυσης που ακολουθεί στην §4.2.2 του παρόντος.

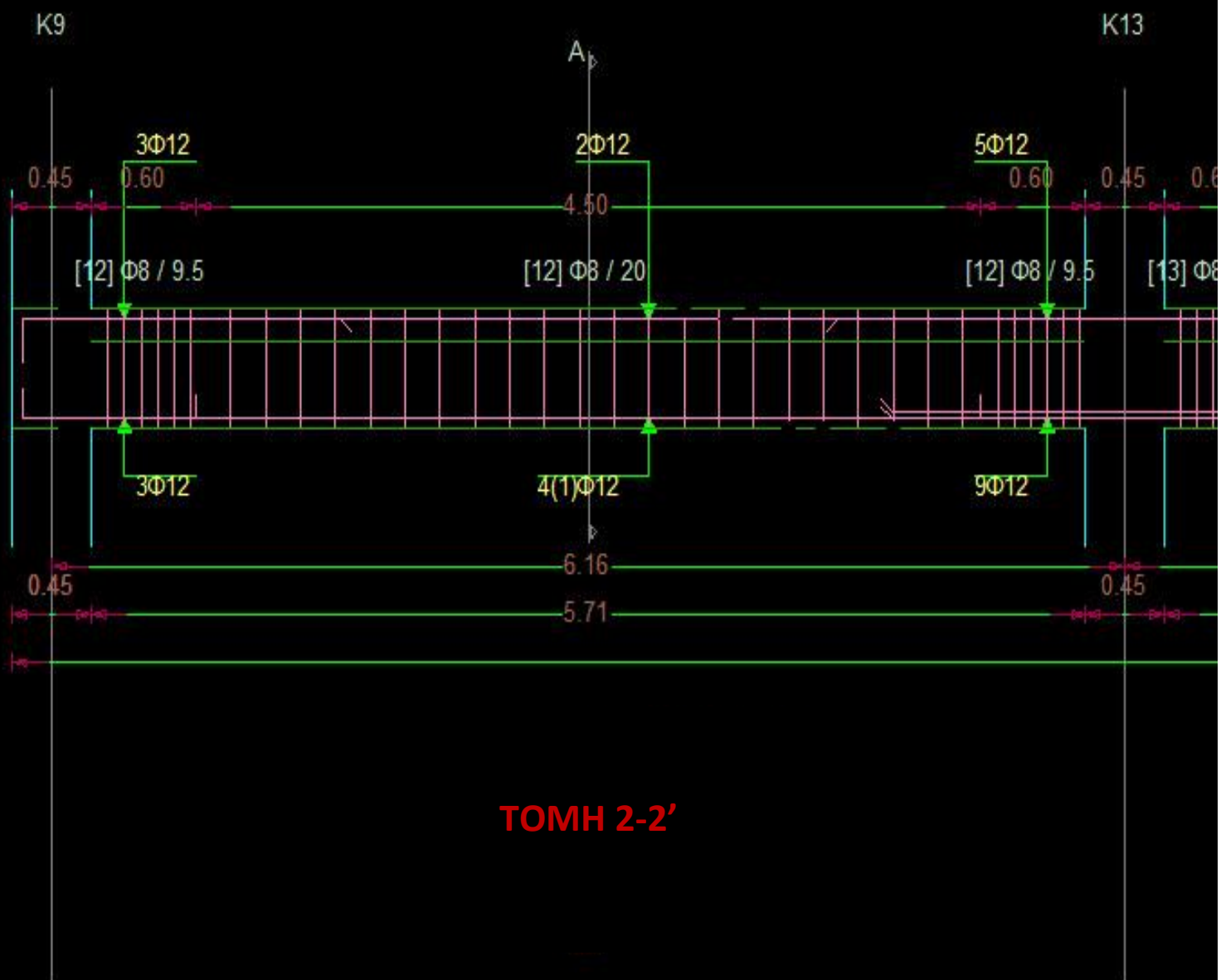


**Εικόνα 4.8.** Η ακριβής θέση της εσωτερικής δοκού που εξετάζεται (Δ6.1), στην κάτοψη του στατικού συστήματος του 1<sup>ου</sup> κτιρίου.



**Εικόνα 4.9.** Διατομή πλακοδοκού Δ6.1, με διαστάσεις:  $b_w/h/b_{eff}/h_f = 0,25/0,60/1,914/0,16$  (m).

# Οροφος:0 Δοκός:6



Εικόνα 4.10. Τομή 2-2' πλακοδοκού Δ6.1, με βάση την Εικόνα 4.9 και αναπτύγματα οπλισμών διάτμησης και κάμψης.

Το κτίριο με το Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο Προς Πλαισιακό, παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά, τα οποία καθορίζουν αρκετά μέρη της επίλυσης, με βάση τις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα:

- ↻ διαθέτει Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (D.C.M.),
- ↻ ανήκει σε περιοχή με ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας  $I_{a_{gR}}/g = 0,16$ ,
- ↻ κατηγορία εδάφους B,
- ↻ χρησιμοποιείται ποιότητα σκυροδέματος  $C_{20/25}$ ,
- ↻ ποιότητα χάλυβα ράβδων οπλισμού  $B_{500C}$ ,
- ↻ η ονομαστική επικάλυψη των ράβδων οπλισμού, ισούται με  $c_{nom} = 0,035(m)$ ,
- ↻ το καθαρό ύψος ορόφου ( $l_{ci}$ ), ισούται με τρία μέτρα, δηλαδή  $l_{clear} = 3,00(m)$ .

Τα βασικά χαρακτηριστικά της εσωτερικής Δοκού Δ6.1, είναι τα παρακάτω:

- ↻ ύψος πλακοδοκού  $h = 0,60 (m)$ ,
- ↻ πλάτος νευρώνα πλακοδοκού  $b_w = 0,25 (m)$  και
- ↻ πάχος πλάκας πλακοδοκού (πέλημα)  $h_f = 0,16 (m)$ .

#### 4.3.2 Υπολογισμός συνεργαζόμενου πλάτους $b_{eff}^{[1,3]}$

Το συνεργαζόμενο πλάτος πλακοδοκού  $b_{eff}$ , για όλες τις οριακές καταστάσεις, υπολογίζεται βάσει της παραγράφου §5.3.2.1 του Ε.Σ.2, με βάση την απόσταση μεταξύ των σημείων μηδενισμού των ροπών  $l_o$ . Ο Ε.Σ.2, για συνήθεις δράσεις δέχεται ότι το  $l_o$  σε συνεχείς δοκούς οικοδομικών έργων, μπορεί να λαμβάνεται σταθερό:

1. σε κάθε μεσαίο άνοιγμα ίσο με:  $l_o = 0,70 * l$  και
2. σε κάθε ακραίο άνοιγμα ίσο με:  $l_o = 0,85 * l$

και επομένως, για το ακραίο άνοιγμα της δοκού που εξετάζεται (**Εικόνα 4.8**), λαμβάνεται:

$$l_o = 0,85 * l_1 = 0,85 * 5,71 \Rightarrow l_o = 4,8535(m)$$

Το συνεργαζόμενο πλάτος, δίνεται από την σχέση:

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \quad \text{και θα πρέπει να ισχύει πως: } b_{eff} \leq b$$

$$b_{eff} = (b_{eff,1} + b_{eff,1}) + b_w = 0,89035 + 0,77335 + 0,25 \Rightarrow b_{eff} = 1,9137(m) \approx 1,914(m)$$

$$\text{και ισχύει πως: } b_{eff} \leq b \Rightarrow 1,9137(m) \leq 3,715(m) \Rightarrow \text{😊}$$

όπου:

- ▶  $b = b_1 + b_2 + b_w = \frac{4,05}{2} + \frac{2,88}{2} + 0,25 = 2,025 + 1,44 + 0,25 = 3,715(m)$ : η απόσταση μεταξύ των μέσων των πραγματικών ανοιγμάτων εκατέρωθεν της δοκού και δεδομένου ότι η δοκός είναι μεσαία δοκός και απέχει από την επόμενη δοκό (Δ5.1) και την προηγούμενη δοκό (Δ2.1) αποστάσεις: 4,05(m) και 2,88(m) αντίστοιχα και το πλάτος νευρώνα πλακοδοκού ισούται με:  $b_w = 0,25 (m)$ ,

$$\text{▶ } b_{eff,i} = 0,20 * b_i + 0,10 * l_o \quad \text{και} \quad b_{eff,i} \leq 0,20 * l_o$$

$$\text{και} \quad b_{eff,i} \leq b_i$$

επομένως:

$$b_{eff,1} = 0,20 * b_1 + 0,10 * l_o = 0,20 * 2,025 + 0,10 * 4,8535 \Rightarrow b_{eff,1} = 0,89035(m)$$

$$b_{eff,2} = 0,20 * b_2 + 0,10 * l_o = 0,20 * 1,44 + 0,10 * 4,8535 \Rightarrow b_{eff,2} = 0,77335(m)$$

και ισχύουν και τα απαιτούμενα:

$$b_{eff,1} \leq 0,20 * l_o \Rightarrow 0,89035 \leq 0,20 * 4,8535 \Rightarrow 0,8895(m) \leq 0,9707(m) \Rightarrow \text{😊}$$

$$b_{eff,1} \leq b_i \Rightarrow 0,89035 \leq b_1 \Rightarrow 0,8895(m) \leq 2,025(m) \Rightarrow \text{😊}$$

$$b_{eff,2} \leq 0,20 * l_o \Rightarrow 0,77335 \leq 0,20 * 4,8535 \Rightarrow 0,7725(m) \leq 0,9707(m) \Rightarrow \text{😊}$$

$$b_{eff,2} \leq b_i \Rightarrow 0,77335 \leq b_2 \Rightarrow 0,77335(m) \leq 1,44(m) \Rightarrow \text{😊}$$

- $b_i$ : το ήμισυ του πραγματικού ανοίγματος μεταξύ της δοκού που εξετάζεται και της επόμενης ή της προηγούμενης δοκού, για:  $i = 1$  ή  $2$  αντιστοίχως και δεδομένου ότι η δοκός είναι μεσαία δοκός και απέχει από την επόμενη δοκό ( $\Delta 5.1$ ) και την προηγούμενη δοκό ( $\Delta 2.1$ ) αποστάσεις:  $4,05(m)$  και  $2,88(m)$  αντίστοιχα:

$$b_1 = \frac{4,05}{2} \Rightarrow b_1 = 2,025(m)$$

$$b_2 = \frac{2,88}{2} \Rightarrow b_2 = 1,44(m)$$

#### 4.3.3 Διαστασιολόγηση Δοκού $\Delta 6.1$ σε κάμψη<sup>[2,5]</sup>

Τα βήματα της μεθοδολογίας για την διαστασιολόγηση σε κάμψη, είναι τα παρακάτω:

1. αναγνώριση του στατικού συστήματος και επίλυσή του,
2. με βάση το διάγραμμα των ροπών που προκύπτει, γίνεται επιλογή των κρίσιμων θέσεων για τον υπολογισμό και την τοποθέτηση του διαμήκους οπλισμού· αυτές οι θέσεις, είναι τα σημεία μηδενισμού των τεμνουσών δυνάμεων της δοκού, όπου εμφανίζονται οι μέγιστες ροπές (στηρίξεις και ανοίγματα) και ελέγχεται σε ποια από αυτές τις θέσεις, υπάρχει λειτουργία πλακοδοκού και σε ποια ορθογωνικής διατομής,
3. εάν υπάρχει λειτουργία πλακοδοκού, χρησιμοποιείται το συνεργαζόμενο πλάτος  $b_{eff}$ , το οποίο υπολογίστηκε στην παράγραφο §4.2.2 του παρόντος, σύμφωνα με την §5.3.2.1 του Ε.Σ.2<sup>[3]</sup>,
4. στην περίπτωση που δεν δίνεται το ύψος της δοκού, υπολογίζεται βάσει των παρακάτω:
  - υπολογίζεται το στατικό ύψος  $d$ , θέτοντας όπου  $\mu_{sd}$ , το  $\mu_{lim}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b_w * d^2 * f_{cd}} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{M_{sd}}{\mu_{lim} * b * f_{cd}}}$$

- και στην συνέχεια, το ύψος της διατομής, προκύπτει από το άθροισμα του στατικού ύψους  $d$  και της απόστασης  $d_1$  (**Εικόνα 4.11**):

$$h = d + d_1$$

- εάν σχεδιάζεται δοκός **χωρίς απαίτηση θλιβόμενου οπλισμού** και είναι πάλι ζητούμενο το ύψος της διατομής, τότε επιλύεται η παρακάτω σχέση ως εξής:

$$\mu_{sd} \leq \mu_{lim} \Rightarrow \frac{M_{sd}}{b_w * d^2 * f_{cd}} \leq \mu_{lim} \Rightarrow d \geq \sqrt{\frac{M_{sd}}{b_w * \mu_{lim} * f_{cd}}}$$

- εάν σχεδιάζεται δοκός **με απαίτηση θλιβόμενου οπλισμού** και είναι πάλι ζητούμενο το ύψος της διατομής, τότε επιλύεται η παρακάτω σχέση ως εξής:

$$\mu_{sd} > \mu_{lim} \Rightarrow \frac{M_{sd}}{b_w * d^2 * f_{cd}} > \mu_{lim} \Rightarrow d < \sqrt{\frac{M_{sd}}{b_w * \mu_{lim} * f_{cd}}}$$

5. υπολογισμός της ανηγμένης ροπής σχεδιασμού  $\mu_{sd}$  και σύγκρισή της με την οριακή τιμή  $\mu_{lim}$ , ώστε να εξακριβωθεί εάν απαιτείται και θλιβόμενος οπλισμός ή όχι, όταν δηλαδή:

- ισχύει η σχέση:  $\mu_{sd} \leq \mu_{lim}$   $\Rightarrow$  τότε **ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ** θλιβόμενος οπλισμός
- ισχύει η σχέση:  $\mu_{sd} > \mu_{lim}$   $\Rightarrow$  τότε **ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ** θλιβόμενος οπλισμός

6. υπολογισμός του απαιτούμενου εφελκυσμένου οπλισμού  $A_{s,required}$  (και εάν απαιτείται υπολογισμός και του θλιβόμενου οπλισμού),
7. σύγκριση του απαιτούμενου οπλισμού ( $A_{s,required}$ ), με τον ελάχιστο ( $A_{s,min}$ ) και μέγιστο ( $A_{s,max}$ ) οπλισμό που ορίζει ο Ευρωκώδικας<sup>[3]</sup>,
8. στην περίπτωση που προκύψει μικρότερος απαιτούμενος οπλισμός από τον ελάχιστο ( $A_{s,required} < A_{s,min}$ ), τότε τοποθετείται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός εκ κανονισμού ( $A_{s,min}$ ),
9. στην περίπτωση που προκύψει μεγαλύτερος απαιτούμενος οπλισμός από τον μέγιστο ( $A_{s,required} > A_{s,max}$ ), τότε απαιτείται αλλαγή της διατομής και επανάληψη της διαδικασίας,
10. επιλογή ράβδων διαμήκους οπλισμού (οπλισμός κάμψης) και έλεγχος των μεταξύ τους αποστάσεων ( $b_i$ ), ώστε η μία ράβδος να απέχει από την άλλη και στις δύο διευθύνσεις της διατομής ( $x$  &  $y$ ), απόσταση, σύμφωνη με την απαίτηση του κανονισμού:<sup>[3, 4]</sup>

$$b_i \leq \min \left\{ \begin{array}{l} \text{πάχος κορμού } b_w \\ 200(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow b_i \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 250(mm) \\ 200(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow b_i \leq 200(mm)$$

11. και τέλος, γίνεται η τοποθέτηση του οπλισμού στην διατομή και η σχεδίαση ενδεικτικών σκαριφημάτων με την ακριβή θέση του.

Παρακάτω, ακολουθεί η επίλυση, με βάση τα όσα αναφέρθηκαν:

1. Το στατικό σύστημα του κτιρίου, είναι Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Πλαισιακό και έχει επιλυθεί με την βοήθεια του στατικού προγράμματος Fespa, από το οποίο προέκυψαν και τα εντατικά μεγέθη που θα χρησιμοποιηθούν στην διαστασιολόγηση. Συγκεκριμένα, στο αναλυτικό τεύχος που συνοδεύει την επίλυση, για την Δοκό Δ6.1, εντοπίζονται από το πρόγραμμα, οι δυσμενέστεροι από όλους τους συνδυασμούς μεταξύ των ροπών και του αξονικού φορτίου για τις τρεις κρίσιμες θέσεις (**Εικόνα 4.8**: Στήριξη K9, Άνοιγμα και Στήριξη K13). Από αυτούς τους συνδυασμούς, ζητούμενη, είναι η ροπή ( $M_{Ed}$ ), με την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή της στις τρεις αυτές θέσεις (τιμές με κόκκινο, στον **Πίνακα 4.5** που ακολουθεί, όπου παρατηρείται πως για την Στήριξη K13, υπάρχει μόνο μία τιμή ροπής).

**Πίνακας 4.5.** Μέγιστα οπλισμών ροπών κάμψης για την Δοκό Δ6.1.

Φορτία [/]	Κόμβος [/]	Θέση [m]	$M_{Ed}$ [kNm]	$N_{Ed}$ [kN]
ΣΣ:-x	9	0,00	-75,92 (max)	46,45
ΣΣ:+z	9	0,00	+19,39 (min)	44,72
1,15G + 1,50QA	0	2,28	+53,38 (min)	44,13
1,35G + 1,05Q	0	2,85	+76,67 (max)	50,65
ΣΣ:-x	13	0,00	-115,62	46,45



2. Οι κρίσιμες θέσεις που προκύπτουν από την ανάλυση του στατικού προγράμματος Fespa, είναι η Στήριξη K9, το Άνοιγμα και η Στήριξη K13. Ωστόσο, στις τρεις αυτές περιπτώσεις των κρίσιμων θέσεων, για τις οποίες θα γίνει διαστασιολόγηση σε κάμψη, η πλακοδοκός Δ6.1, έχει διαφορετική λειτουργία και συγκεκριμένα:
- στην **Στήριξη K9**, λειτουργεί ως **ορθογωνική διατομή**,
  - στο **Άνοιγμα**, λειτουργεί ως **πλακοδοκός** και
  - στην **Στήριξη K13**, λειτουργεί ως **ορθογωνική διατομή**.
3. Εφόσον υπάρχει λειτουργία πλακοδοκού, θα γίνει χρήση του  $b_{eff}$ , όπως υπολογίστηκε στην παράγραφο §4.3.2 του παρόντος.
4. Το βήμα αυτό παραλείπεται εφόσον το ύψος της Δοκού Δ6.1 είναι γνωστό:  $h = 0,60(m)$ .
5. Για τον υπολογισμό των ανηγμένων τιμών σχεδιασμού ροπών ( $\mu_{sd}$ ), για τις τρεις κρίσιμες θέσεις ξεχωριστά (Στήριξη K9, Άνοιγμα και Στήριξη K13), χρησιμοποιείται η  $M_{Ed,max}$  της κάθε περίπτωσης (**Πίνακας 4.5**) και στην συνέχεια συγκρίνονται με την οριακή τιμή  $\mu_{lim}$ , ώστε να εξακριβωθεί εάν απαιτείται και θλιβόμενος οπλισμός ή όχι, ενώ χρειάζεται να υπολογιστεί και το στατικό ύψος  $d$  (αναλυτικά στις πράξεις που ακολουθούν και στην **Εικόνα 4.11** παρακάτω):

- υπολογισμός στατικού ύψους  $d$ , με βάση τα ακόλουθα:

- έστω ότι θα γίνει χρήση ράβδων διαμέτρου:  $\varnothing_l=14(mm)$  [ $\varnothing_{14}$ ], κάτω διαμήκους οπλισμού και διαμέτρου:  $\varnothing_w=8(mm)$  [ $\varnothing_8$ ], εγκάρσιου οπλισμού,
- η ονομαστική επικάλυψη, ισούται με:  $c_{nom} = 0,035(m)$ ,
- επομένως, προκύπτει πως το στατικό ύψος ( $d$ ), θα ισούται με  $0,55(m)$  και η απόσταση  $d_1=0,05(m)$ , όπως φαίνεται αναλυτικά στις πράξεις που ακολουθούν:

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing_w + \frac{\varnothing_l}{2} = 35 + 8 + \frac{14}{2} = 50(mm) \Rightarrow d_1 = 0,05(m)$$

$$d = h - d_1 = 600 - 50 = 550(mm) \Rightarrow d = 0,55(m)$$

- υπολογισμός ανηγμένης ροπής σχεδιασμού  $\mu_{sd}$  στην **Στήριξη K9**:

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed,max}}{b_w * d^2 * f_{cd}} = \frac{-75,92 (kNm) * 1,50(m^2)}{0,25(m) * 0,55^2(m^2) * (20 * 10^3)(kN)} \Rightarrow \mu_{sd} = -0,0753$$

εφόσον:  $\mu_{sd} \leq \mu_{lim} \Rightarrow -0,0753 \leq 0,316 \Rightarrow$  **ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ** θλιβόμενος οπλισμός

- υπολογισμός ανηγμένης ροπής σχεδιασμού  $\mu_{sd}$  στο **Άνοιγμα**:

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed,max}}{b_{eff} * d^2 * f_{cd}} = \frac{+76,67 (kNm) * 1,50(m^2)}{1,914(m) * 0,55^2(m^2) * (20 * 10^3)(kN)} \Rightarrow \mu_{sd} = +0,0099$$

εφόσον:  $\mu_{sd} \leq \mu_{lim} \Rightarrow 0,0099 \leq 0,316 \Rightarrow$  **ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ** θλιβόμενος οπλισμός

- υπολογισμός ανηγμένης ροπής σχεδιασμού  $\mu_{sd}$  στην **Στήριξη K13**:

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed,max}}{b_w * d^2 * f_{cd}} = \frac{-115,62 (kNm) * 1,50(m^2)}{0,25(m) * 0,55^2(m^2) * (20 * 10^3)(kN)} \Rightarrow \mu_{sd} = -0,1147$$

εφόσον:  $\mu_{sd} \leq \mu_{lim} \Rightarrow -0,1147 \leq 0,316 \Rightarrow$  **ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ** θλιβόμενος οπλισμός

- επομένως, τόσο στην Στήριξη K9, όσο και στο Άνοιγμα και την Στήριξη K13, ως θλιβόμενος οπλισμός, θα τοποθετηθεί ο ελάχιστος απαιτούμενος εκ κανονισμού  $A_{s,min}$ , που υπολογίζεται στην συνέχεια.

6. Υπολογισμός του απαιτούμενου εφελκόμενου οπλισμού ( $A_{s,required}$ ), στις τρεις κρίσιμες θέσεις της διατομής της Δοκού Δ6.1. Συγκεκριμένα, στις Στηρίξεις K9 & K13, γίνεται διαστασιολόγηση για ορθογωνική διατομή, ενώ στο Άνοιγμα, για πλακοδοκό:

- Στήριξη K9:**

υπολογισμός  $\mu_{lim}$ :

$$\xi_{lim} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{1 + (f_{yk}/805)} = \frac{1}{1 + (500/805)} = 0,617 \\ 0,601 * \left(\frac{h}{d}\right) = 0,601 * \left(\frac{60}{55}\right) = 0,656 \end{array} \right\} \Rightarrow \xi_{lim} = 0,617$$

$$\mu_{lim} = (0,688 - 0,286 * \xi_{lim}) * \xi_{lim} = (0,688 - 0,286 * 0,617) * 0,617 \Rightarrow \mu_{lim} = 0,316$$

με χρήση των κατάλληλων πινάκων CEB (**Πίνακας 4.6**), για τον σχεδιασμό ορθογωνικών διατομών, υλικά: σκυρόδεμα κατηγορίας C<sub>20/25</sub> και χάλυβας B<sub>500c</sub>, και  $\mu_{sd} = -0,0753$ , προκύπτει με γραμμική παρεμβολή το μηχανικό ποσοστό οπλισμού  $\omega$ , το οποίο θα χρειαστεί για τον υπολογισμό του συνολικού εμβαδού απαιτούμενου οπλισμού  $A_{s,req}$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_{sd} = 0,07 \rightarrow \omega = 0,0728 \\ \mu_{sd} = 0,08 \rightarrow \omega = 0,0836 \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \alpha = 0,07 \rightarrow \beta = 0,0728 \\ x = 0,0753 \rightarrow y = ? \\ \gamma = 0,08 \rightarrow \delta = 0,0836 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y = \beta + (\delta - \beta) * \frac{(x - \alpha)}{(\gamma - \alpha)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y = 0,0728 + (0,0836 - 0,0728) * \frac{(0,0753 - 0,07)}{(0,08 - 0,07)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y = \omega = 0,0785$$

επομένως, στην περίπτωση διαστασιολόγησης δοκού, η οποία λειτουργεί ως ορθογωνική διατομή, ο απαιτούμενος εφελκόμενος οπλισμός  $A_{s,req}$ , δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$A_{s,req}^{Στηρ. K9} = \omega * b_w * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0785 * 0,25 * 0,55 * \frac{20 * 1,15}{500 * 1,50} * 10^4 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_{s,req}^{Στηρ. K9} = 3,31 (cm^2)$$

■ **Άνοιγμα:**

η διατομή της Δοκού Δ6.1, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στο Άνοιγμα, διαστασιολογείται ως πλακοδοκός, εφόσον αυτής την λειτουργία έχει από το διάγραμμα της **Εικόνας 4.12**, προκύπτει το μηχανικό ποσοστό οπλισμού  $\omega$ , το οποίο θα χρειαστεί για τον υπολογισμό του συνολικού εμβαδού απαιτούμενου οπλισμού  $A_{s,req}$ , ως εξής:

- i. αρχικά τοποθετείται η ανηγμένη τιμή ροπής  $\mu_{sd} = 0,0099$  στον κατακόρυφο άξονα του διαγράμματος,
- ii. από το σημείο που συναντά την διαγώνιο γραμμή, με κατακόρυφη προβολή στον άνω οριζόντιο άξονα του διαγράμματος, προκύπτει η τιμή του λόγου του ύψους του Ουδέτερου Άξονα από την άνω παρειά της δοκού (εντός πέλματος) προς το στατικό ύψος  $d$  ( $x/d$ ). ο λόγος αυτός, επιλύεται ως προς το ύψος του Ουδέτερου Άξονα ( $x$ ) και διαπιστώνεται εάν όντως ο Ουδέτερος Άξονας, βρίσκεται εντός του πάχους της πλάκας (πέλμα) και εφόσον η θλιβόμενη ζώνη βρίσκεται εντός της πλάκας, στο Άνοιγμα της Δοκού Δ6.1, θα υπάρχει λειτουργία πλακοδοκού, η οποία επιλύεται στην πράξη ως μία ορθογωνική διατομή με διαστάσεις  $b_{eff} \times h$ , δείχνοντας έτσι πως συμμετέχει και το συνεργαζόμενο πλάτος (για να ισχύει αυτό, θα πρέπει να ικανοποιείται η σχέση:  $x < h_f$ ):<sup>[6]</sup>

$$\frac{x}{d} = 0,0125 \Rightarrow x = 0,0125 * d = 0,0125 * 0,55 \Rightarrow x = 0,006875(m)$$

$$x < h_f \Rightarrow 0,006875(m) < 0,16(m) \Rightarrow \text{😊}$$

- iii. από το ίδιο σημείο που συνάντησε την διαγώνιο γραμμή στο αμέσως προηγούμενο βήμα, με κατακόρυφη προβολή στον κάτω οριζόντιο άξονα του διαγράμματος, προκύπτει η τιμή του μηχανικού ποσοστού οπλισμού  $\omega$ :

$$\omega = 0,0099$$

επομένως, στην περίπτωση αυτή, ο απαιτούμενος εφελκυσμένος οπλισμός  $A_{s,req}$ , δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$A_{s,req}^{\text{Άνοιγμα}} = \omega * b_{eff} * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0099 * 1,914 * 0,55 * \frac{20 * 1,15}{500 * 1,50} * 10^4 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_{s,req}^{\text{Άνοιγμα}} = 3,20(cm^2)$$

■ **Στήριξη K13:**

υπολογισμός  $\mu_{lim}$ :

$$\xi_{lim} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{1 + (f_{yk}/805)} = \frac{1}{1 + (500/805)} = 0,617 \\ 0,601 * \left(\frac{h}{d}\right) = 0,601 * \left(\frac{60}{55}\right) = 0,656 \end{array} \right\} \Rightarrow \xi_{lim} = 0,617$$

$$\mu_{lim} = (0,688 - 0,286 * \xi_{lim}) * \xi_{lim} = (0,688 - 0,286 * 0,617) * 0,617 \Rightarrow \mu_{lim} = 0,316$$

με χρήση των κατάλληλων πινάκων CEB (**Πίνακας 4.6**), για τον σχεδιασμό ορθογωνικών διατομών, υλικά: σκυρόδεμα κατηγορίας  $C_{20/25}$  και χάλυβας  $B_{500C}$ , και  $\mu_{sd} = -0,1147$ , προκύπτει με

**γραμμική παρεμβολή** το μηχανικό ποσοστό οπλισμού  $\omega$ , το οποίο θα χρειαστεί για τον υπολογισμό του συνολικού εμβαδού απαιτούμενου οπλισμού  $A_{s,req}$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_{sd} = 0,11 \rightarrow \omega = 0,1170 \\ \mu_{sd} = \mathbf{0,1147} \rightarrow \omega = ? \\ \mu_{sd} = 0,12 \rightarrow \omega = 0,1285 \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \alpha = 0,11 \rightarrow \beta = 0,1170 \\ \mathbf{x = 0,1147} \rightarrow \mathbf{y = ?} \\ \gamma = 0,12 \rightarrow \delta = 0,1285 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y = \beta + (\delta - \beta) * \frac{(x - \alpha)}{(\gamma - \alpha)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y = 0,1170 + (0,1285 - 0,1170) * \frac{(0,1147 - 0,11)}{(0,12 - 0,11)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y = \mathbf{\omega = 0,1224}$$

επομένως, στην περίπτωση διαστασιολόγησης δοκού, η οποία λειτουργεί ως ορθογωνική διατομή, **ο απαιτούμενος εφελκόμενος οπλισμός  $A_{s,req}$** , δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$A_{s,req}^{\Sigma\tau\eta\rho. K13} = \omega * b_w * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,1224 * 0,25 * 0,55 * \frac{20 * 1,15}{500 * 1,50} * 10^4 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbf{A_{s,req}^{\Sigma\tau\eta\rho. K13} = 5,16(cm^2)}$$

7. Έλεγχοι μέγιστων και ελάχιστων οπλισμών, με βάση τον κανονισμό (§9.2.1.1, Ε.Σ.2), όπου θα πρέπει ο απαιτούμενος οπλισμός που προέκυψε σε κάθε περίπτωση ( $A_{s,req}$ ), να βρίσκεται εντός των επιτρεπτών ορίων.<sup>[5]</sup>

αρχικά, υπολογίζεται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός  $A_{s,min}$ :

$$A_{s,min} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} * b_t * d = 0,26 * \frac{[0,30 * f_{ck}^{(2/3)}]}{f_{yk}} * b_t * d = 0,26 * \frac{[0,30 * 20^{(2/3)}]}{500} * 25 * 55 \Rightarrow$$

$$\mathbf{A_{s,min} = 1,58(cm^2)}$$

και θα πρέπει ακόμη να ισχύει πως:

$$A_{s,min} > 0,0013 * b_t * d \Rightarrow$$

$$1,58(cm^2) > 0,0013 * 25 * 55(cm^2) \Rightarrow$$

$$\mathbf{1,58(cm^2) > 1,7875(cm^2) \Rightarrow \times}$$

**ΕΠΟΜΕΝΩΣ ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ:**

$$\mathbf{A_{s,min} = 1,80(cm^2)}$$

- $b_t = b_w = 55(cm)$ : δηλώνει το μέσο πλάτος της εφελκόμενης ζώνης (για πλακοδοκό με θλιβόμενο το πέλμα της πλάκας, μόνο το πλάτος του κορμού θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της τιμής του  $b_t$ )

στην συνέχεια, υπολογίζεται ο μέγιστος επιτρεπόμενος οπλισμός  $A_{s,max}$ :

$$A_{s,max} = 0,04 * A_c = 0,04 * b_w * h = 0,04 * 25 * 60 \Rightarrow \mathbf{A_{s,max} = 60,00(cm^2)}$$

τέλος, ελέγχεται εάν σε κάθε κρίσιμη θέση ξεχωριστά (Στήριξη K9, Άνοιγμα και Στήριξη K13), προέκυψε κατάλληλος οπλισμός, δηλαδή εντός των επιτρεπτών ορίων:

■ Στήριξη K9:

$$A_{s,min} \leq A_{s,req}^{Στηρ. K9} \leq A_{s,max} \Rightarrow$$

$$1,80(cm^2) \leq 3,31(cm^2) \leq 60,00(cm^2) \Rightarrow \text{😊}$$

■ Άνοιγμα:

$$A_{s,min} \leq A_{s,req}^{Άνοιγμα} \leq A_{s,max} \Rightarrow$$

$$1,80(cm^2) \leq 3,20(cm^2) \leq 60,00(cm^2) \Rightarrow \text{😊}$$

■ Στήριξη K13:

$$A_{s,min} \leq A_{s,req}^{Στηρ. K13} \leq A_{s,max} \Rightarrow$$

$$1,80(cm^2) \leq 5,16(cm^2) \leq 60,00(cm^2) \Rightarrow \text{😊}$$

8. Από το βήμα 7, ΔΕΝ προέκυψε μικρότερος απαιτούμενος οπλισμός ( $A_{s,req}$ ), από τον ελάχιστο ( $A_{s,min}$ ), που ορίζει ο κανονισμός (Ε.Σ.2) σε καμία από τις τρεις θέσεις που εξετάστηκαν (Στηρίξεις K9 & K13 Άνοιγμα).
9. Το βήμα αυτό, παραλείπεται, εφόσον ΔΕΝ προέκυψε μεγαλύτερος απαιτούμενος οπλισμός από τον μέγιστο που ορίζει ο κανονισμός (Ε.Σ.).
10. Επιλέγεται, ο τοποθετούμενος οπλισμός κάμψης ( $A_{s,prov}$ ), σε όλες τις κρίσιμες θέσεις, να είναι ίδιος και αυτός είναι: τέσσερις (4) ράβδοι, διαμέτρου:  $\varnothing_{14}$  και  $\varnothing_{12}$ ,  $2\varnothing_{14}$  στην κάτω παρειά και  $2\varnothing_{12}$  στην άνω παρειά της δοκού (**Εικόνα 4.11**), δηλαδή:

$$A_{s,prov} = 2\varnothing_{14} + 2\varnothing_{12} = 3,08 + 2,26 = 5,34(cm^2)$$

Ωστόσο, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν και ορισμένοι έλεγχοι που ορίζονται από τον Ευρωκώδικα, ώστε οι αποστάσεις ( $b_i$ ) μεταξύ των ράβδων οπλισμού (από το κέντρο της μίας ράβδου έως το κέντρο της άλλης), τόσο κατά την διεύθυνση  $x$ , όσο και κατά την διεύθυνση  $y$  της διατομής, για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (D.C.M.), να μην απέχουν περισσότερο από 20(cm), όπως ακολουθεί:

► ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ Υ:

- $h - (2 * c_{nom}) - (2 * \varnothing_8) - \left(\frac{\varnothing_{14}}{2}\right) - \left(\frac{\varnothing_{12}}{2}\right) = 600 - (2 * 35) - (2 * 8) - \left(\frac{14}{2}\right) - \left(\frac{12}{2}\right) = 501(mm) \rightarrow$  απόσταση  $\alpha_1$  στην **Εικόνα 4.13**

- $\alpha_1 = 501,00(mm) \leq b_i = 200,00(mm) \Rightarrow \text{✗}$

- επομένως, **απαιτείται** να τοποθετηθούν  $2\varnothing_{12}$  επιπλέον ράβδοι διαμήκους οπλισμού σε κάθε παρειά (συνολικά  $4\varnothing_{12}$ ), κατά την διεύθυνση  $y$ , εφόσον οι δύο (2) υπάρχουσες ράβδοι (δεξιά και αριστερά) της διατομής, δημιουργούν μία (1) απόσταση ( $\alpha_1$ ), μεγαλύτερη των 20(cm) (**Εικόνα 4.13**).

- $\frac{\alpha_1}{3} = \frac{501}{3} = 167,00(mm) \leq b_i = 200,00(mm) \Rightarrow \text{😊} \rightarrow$   
απόσταση  $\alpha_2$  στην **Εικόνα 4.13**

▶ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ Χ:

- $b_w - (2 * c_{nom}) - (2 * \varnothing_8) - \left(\frac{2 * \varnothing_{14}}{2}\right) = 250 - (2 * 35) - (2 * 8) - \left(\frac{2 * 14}{2}\right) = 150(mm) \rightarrow$   
**ΚΑΤΩ απόσταση  $\beta_1$  στην Εικόνα 4.13**
- $b_w - (2 * c_{nom}) - (2 * \varnothing_8) - \left(\frac{2 * \varnothing_{12}}{2}\right) = 250 - (2 * 35) - (2 * 8) - \left(\frac{2 * 12}{2}\right) = 152(mm) \rightarrow$   
**ΑΝΩ απόσταση  $\beta_2$  στην Εικόνα 4.13**
- $\beta_1 = 150,00(mm) \leq b_i = 200,00(mm) \Rightarrow \text{😊}$
- $\beta_2 = 152,00(mm) \leq b_i = 200,00(mm) \Rightarrow \text{😊}$
- επομένως, **δεν απαιτείται** να τοποθετηθούν επιπλέον ράβδοι διαμήκους οπλισμού κατά την διεύθυνση χ, εφόσον οι δύο (2) ράβδοι σε κάθε παρειά (άνω και κάτω) της διατομής, δημιουργούν μία (1) απόσταση ( $\beta_1$  ή  $\beta_2$ ), μικρότερη των 20(cm) (**Εικόνα 4.13**).

- ▶ Με βάση λοιπόν τα παραπάνω, ο τελικός τοποθετούμενος οπλισμός κάμψης ( $A_{s,prov,ολικό}$ ) και για τις τρεις κρίσιμες θέσεις (Στήριξη Κ9, Άνοιγμα και Στήριξη Κ13), ο οποίος και πάλι κινείται εντός των απαιτούμενων ορίων του μέγιστου και ελάχιστου οπλισμού, είναι: **τέσσερις (4) ράβδοι, διαμέτρων:  $\varnothing_{14}$  και  $\varnothing_{12}$** , δύο ( $2\varnothing_{14}$ ) στην κάτω και δύο ( $2\varnothing_{12}$ ) στην άνω παρειά **ΚΑΙ τέσσερις (4) ράβδοι, διαμέτρου:  $\varnothing_{12}$** , δύο ( $2\varnothing_{12}$ ) αριστερά και δύο ( $2\varnothing_{12}$ ) δεξιά στην διατομή της δοκού, ώστε να καλύπτουν τις απαιτούμενες αποστάσεις εκ κανονισμού (**Εικόνα 4.11**), δηλαδή:

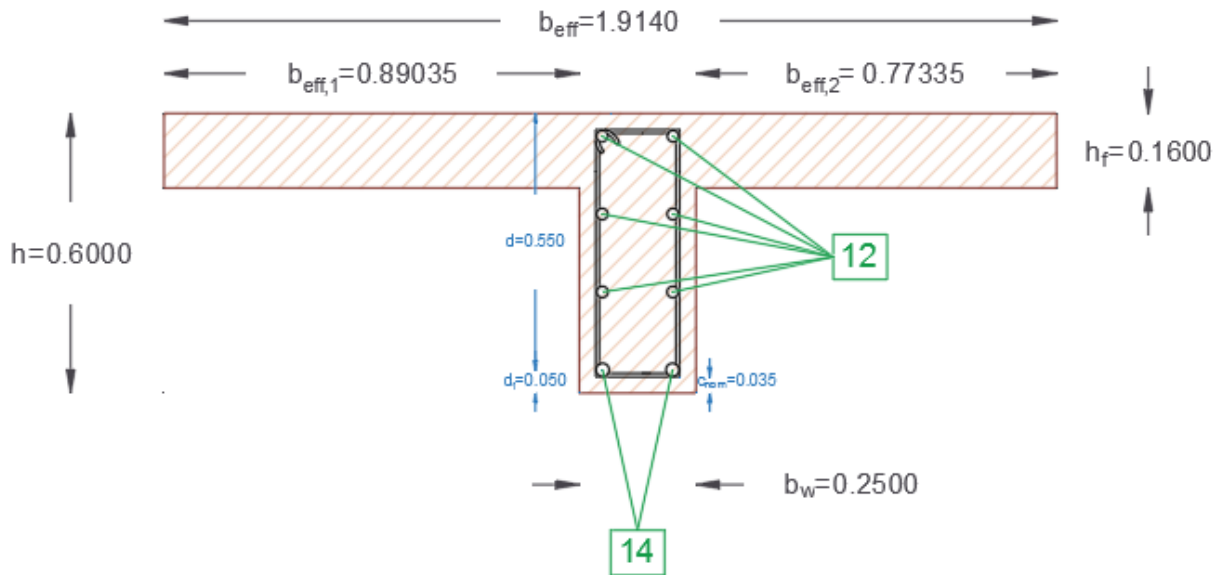
$$A_{s,prov,ολικό} = 2\varnothing_{14} + 6\varnothing_{12} = 3,08 + 6,79 \Rightarrow A_{s,prov,ολικό} = 9,87(cm^2)$$

$$\text{και πάλι ισχύει: } A_{s,min} \leq A_{s,prov,ολικό} \leq A_{s,max} \Rightarrow \text{😊}$$

11. Στην **Εικόνα 4.11** παρακάτω, φαίνεται η τελική επιλογή τοποθέτησης του οπλισμού κάμψης στην διατομή και η ακριβής θέση του.

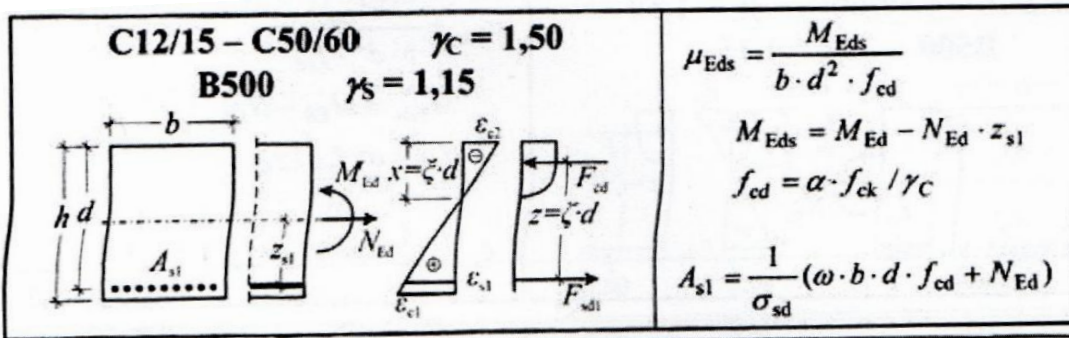
## Δ6.1 25/60

$2\phi 14 + 6\phi 12$   
 $\Sigma \phi 8/20,00$  (cm) &  
 $\Sigma \phi 8/9,50$  (cm)



**Εικόνα 4.11.** Εύρεση του στατικού ύψους  $d$  και της απόστασης  $d_1$  και τελική λύση όπλισης στην Δοκό Δ6.1.

**Πίνακας 4.6.** Γενικός Πίνακας υπολογισμού ορθογωνικών διατομών χωρίς θλιβόμενο σπλισμό, υπό κάμψη με ή χωρίς ορθή δύναμη ( $\epsilon_s = 25\%$ ), για  $B_{500C}$ , οριζόντιος και κεκλιμένος κλάδος χάλυβα,  $\alpha_{cc} = 0,85$ .



$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

$$M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}$$

$$f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c$$

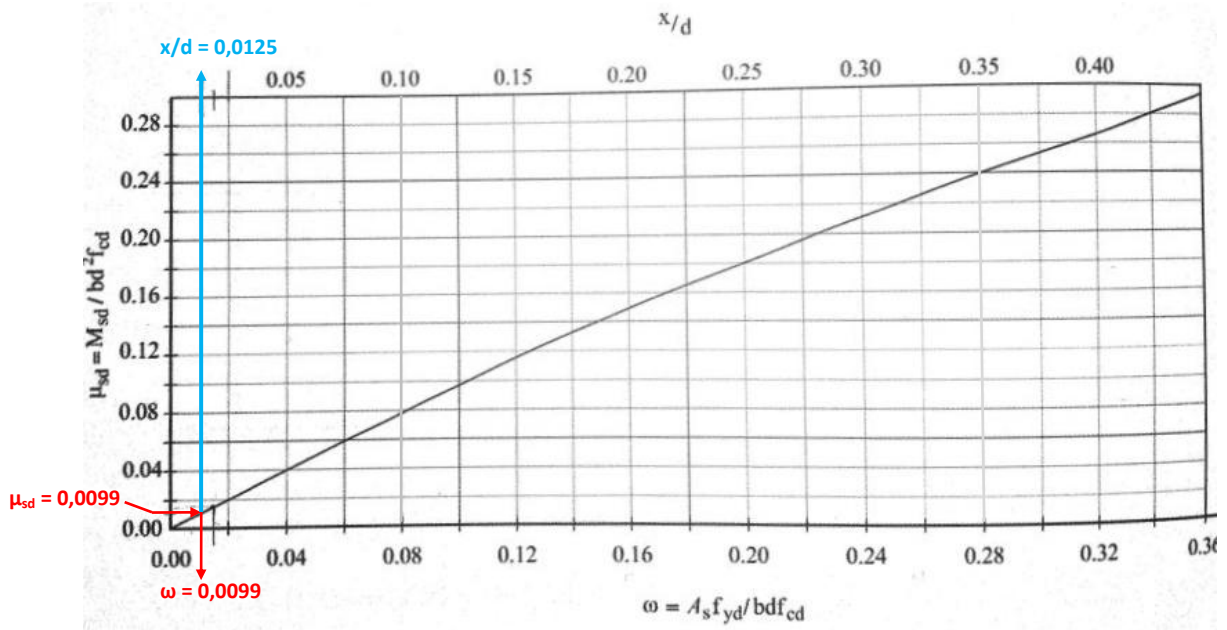
$$A_{s1} = \frac{1}{\sigma_{sd}} (\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed})$$

$\mu_{Eds}$	$\omega$	$\xi = x/d$	$\zeta = z/d$	$\epsilon_{c2}$ [‰]	$\epsilon_{s1}$ [‰]	$\sigma_{sd}^{1)}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{sd}^{2)}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
0,01	0,0101	0,030	0,990	-0,773	25,000	434,78	456,52
0,02	0,0203	0,044	0,985	-1,146	25,000	434,78	456,52
0,03	0,0306	0,055	0,980	-1,464	25,000	434,78	456,52
0,04	0,0410	0,066	0,976	-1,763	25,000	434,78	456,52
0,05	0,0515	0,076	0,971	-2,060	25,000	434,78	456,52
0,06	0,0621	0,086	0,967	-2,365	25,000	434,78	456,52
0,07	0,0728	0,097	0,962	-2,682	25,000	434,78	456,52
0,08	0,0836	0,107	0,956	-3,009	25,000	434,78	456,52
0,09	0,0946	0,118	0,951	-3,349	25,000	434,78	456,52
0,10	0,1057	0,131	0,946	-3,500	23,294	434,78	454,90
0,11	0,1170	0,145	0,940	-3,500	20,709	434,78	452,43
0,12	0,1285	0,159	0,934	-3,500	18,552	434,78	450,38
0,13	0,1401	0,173	0,928	-3,500	16,726	434,78	448,64
0,14	0,1518	0,188	0,922	-3,500	15,159	434,78	447,15
0,15	0,1638	0,202	0,916	-3,500	13,799	434,78	445,85
0,16	0,1759	0,217	0,910	-3,500	12,608	434,78	444,72
0,17	0,1882	0,232	0,903	-3,500	11,555	434,78	443,72
0,18	0,2007	0,248	0,897	-3,500	10,617	434,78	442,82
0,181	0,2024	0,250	0,896	-3,500	10,500	434,78	442,71
0,19	0,2134	0,264	0,890	-3,500	9,777	434,78	442,02
0,20	0,2263	0,280	0,884	-3,500	9,019	434,78	441,30
0,21	0,2395	0,296	0,877	-3,500	8,332	434,78	440,65
0,22	0,2529	0,312	0,870	-3,500	7,706	434,78	440,05
0,23	0,2665	0,329	0,863	-3,500	7,132	434,78	439,50
0,24	0,2804	0,346	0,856	-3,500	6,605	434,78	439,00
0,25	0,2946	0,364	0,849	-3,500	6,118	434,78	438,54
0,26	0,3091	0,382	0,841	-3,500	5,667	434,78	438,11
0,27	0,3239	0,400	0,834	-3,500	5,247	434,78	437,71
0,28	0,3391	0,419	0,826	-3,500	4,856	434,78	437,34
0,29	0,3546	0,438	0,818	-3,500	4,490	434,78	436,99
0,296	0,3643	0,450	0,813	-3,500	4,278	434,78	436,79
0,30	0,3706	0,458	0,810	-3,500	4,146	434,78	436,66
0,31	0,3869	0,478	0,801	-3,500	3,823	434,78	436,35
0,32	0,4038	0,499	0,793	-3,500	3,517	434,78	436,06
0,33	0,4211	0,520	0,784	-3,500	3,228	434,78	435,79
0,34	0,4391	0,542	0,774	-3,500	2,953	434,78	435,52
0,35	0,4576	0,565	0,765	-3,500	2,692	434,78	435,28
0,36	0,4768	0,589	0,755	-3,500	2,442	434,78	435,04
0,37	0,4968	0,614	0,745	-3,500	2,203	434,78	434,81
0,371	0,4994	0,617	0,743	-3,500	2,174	434,78	434,78
0,38	0,5706	0,640	0,734	-3,500	1,973	394,51	394,51
0,39	0,6702	0,667	0,723	-3,500	1,750	350,10	350,10

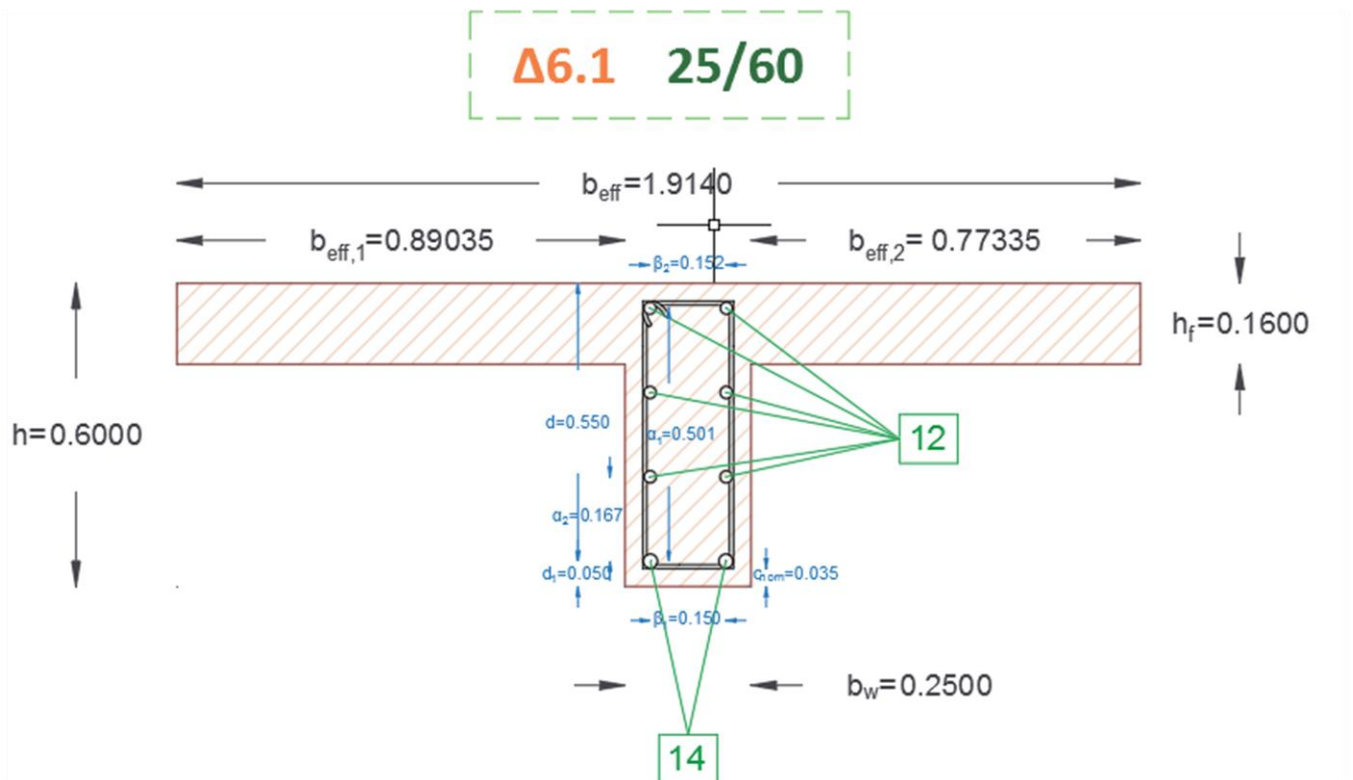
Στήριξη K9 & K2

Στήριξη K13 & K7





Εικόνα 4.12. Διάγραμμα υπολογισμού σπλισμού απλά σπλισμένης ορθογωνικής διατομής και του ύψους της θλιβόμενης ζώνης.<sup>[5]</sup>



Εικόνα 4.13. Έλεγχοι απαιτούμενων αποστάσεων ( $b_i$ ) μεταξύ των ράβδων σπλισμού (από το κέντρο της μίας ράβδου έως το κέντρο της άλλης), κατά τις δύο διευθύνσεις  $x$  και  $y$  της Δοκού Δ6.1.

#### 4.3.4 Διαστασιολόγηση Δοκού Δ6.1 σε διάτμηση (§6.2, E.C.2)

Για την παραλαβή των εφελκυστικών τάσεων που προκαλούνται από τις τέμνουσες δυνάμεις, απαιτείται τοποθέτηση οπλισμού, κάθετα προς την διεύθυνση των πιθανών ρηγματών που θα σχηματιστούν σε περίπτωση σεισμού. Παράδειγμα τέτοιου είδους ρηγματών, φαίνεται στην **Εικόνα 4.14**. Αυτός ο οπλισμός, είναι ο εγκάρσιος οπλισμός, ο οποίος εξασφαλίζει την διατομή της δοκού έναντι της διάτμησης και αποτελείται από τους λεγόμενους «συνδετήρες». Τα βήματα της μεθοδολογίας για την διαστασιολόγηση σε διάτμηση, είναι τα παρακάτω:<sup>[2]</sup>

1. λήψη εντατικών μεγεθών σχεδιασμού από την στατική επίλυση του συστήματος που έγινε με το πρόγραμμα Fespa,
2. **έλεγχος περιορισμού λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού (Τέμνουσα Αντοχής σχεδιασμού, λόγω θλίψης κορμού)**, δηλαδή ελέγχεται εάν απαιτείται αλλαγή της διατομής της Δοκού Δ6.1 και συγκεκριμένα, θα πρέπει οι διαστάσεις της, να είναι τέτοιες ώστε η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)  $V_{Ed}$ , να είναι **μικρότερη ή ίση** της Αντοχής Σχεδιασμού λοξού θλιπτήρα  $V_{Rd,max}$ , ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

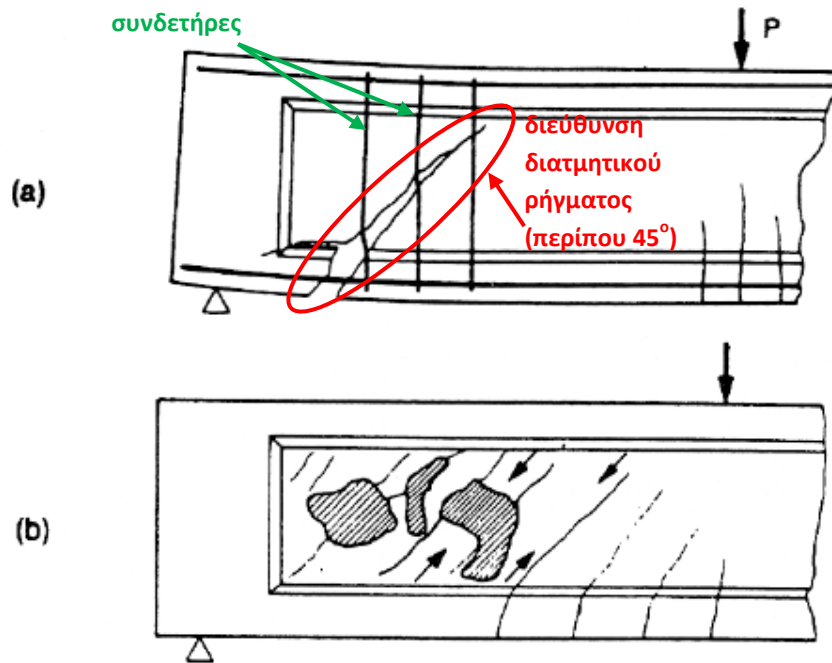
3. **έλεγχος απαίτησης οπλισμού διάτμησης**, δηλαδή ελέγχεται εάν απαιτείται να τοποθετηθεί τελικά οπλισμός έναντι της αναπτυσσόμενης διάτμησης στην Δοκό Δ6.1, με βάση το ποσοστό εφελκυσμένου χάλυβα  $\rho_l$ , το οποίο είναι ο λόγος του συνολικού τοποθετούμενου οπλισμού κάμψης [ $A_{s,prov,ολικό}=9,87(\text{cm}^2)$ ], που υπολογίστηκε παραπάνω προς τις διαστάσεις της διατομής· συγκεκριμένα, θα πρέπει η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)  $V_{Ed}$ , να είναι **μικρότερη** της Αντοχής Σχεδιασμού σε Τέμνουσα  $V_{Rd,c}$  που αναπτύσσεται χάρη στον οπλισμό κάμψης, ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$V_{Ed} < V_{Rd,c}$$

4. υπολογισμός βάσει Κατηγορίας Πλαστιμότητας (εδώ: D.C.M.), των κρίσιμων περιοχών (περιοχές σχηματισμού επιθυμητών πλαστικών αρθρώσεων) στα άκρα της δοκού, όπου σε αυτά, η περίσφιξη με συνδετήρες, είναι περισσότερο πυκνή σε σχέση με τις μη κρίσιμες περιοχές (άνοιγμα) της δοκού,
5. επιλογή οπλισμού διάτμησης, με υπολογισμό ελάχιστων συνδετήρων:
  - i. **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών και
  - ii. **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών

6. **έλεγχος, για το εάν η λύση που επιλέχθηκε**, δηλαδή ο τοποθετούμενος οπλισμός διάτμησης (ΕΝΤΟΣ και ΕΚΤΟΣ κρίσιμων περιοχών) **επαρκεί** και συγκεκριμένα, θα πρέπει η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)  $V_{Ed}$ , να είναι **μικρότερη ή ίση** της Τέμνουσας Συνδετήρων  $V_{Rd,s}$  που αναπτύσσεται χάρη στην επιλογή που έγινε για τον οπλισμό διάτμησης, ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:<sup>[1]</sup>

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$$



Εικόνα 4.14. Περιπτώσεις διατμητικής αστοχίας δοκού.<sup>[2]</sup>

Παρακάτω, ακολουθεί η επίλυση, με βάση τα όσα αναφέρθηκαν:<sup>[1, 3, 4, 5]</sup>

1. Το στατικό σύστημα του κτιρίου, είναι Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Πλαισιακό και έχει επιλυθεί με την βοήθεια του στατικού προγράμματος Fespa, από το οποίο προέκυψαν και τα εντατικά μεγέθη που θα χρησιμοποιηθούν στην διαστασιολόγηση. Συγκεκριμένα, στο αναλυτικό τεύχος που συνοδεύει την επίλυση, για την Δοκό Δ6.1, παρατηρείται πως παρουσιάζονται οι τιμές για τις Τέμνουσες Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)  $V_{Ed}$ , **ΜΟΝΟ** για τις δύο Στήριξεις (K9 & K13) και όχι για το Άνοιγμα, ενώ εντοπίζεται από το πρόγραμμα, ο δυσμενέστερος από όλους τους συνδυασμούς για την κάθε περίπτωση. Από τον **Πίνακα 4.7** του Fespa που ακολουθεί, λαμβάνεται η μεγαλύτερη-δυσμενέστερη δράση  $V_{Ed}$  (τιμή με κόκκινο, στον **Πίνακα 4.7**), δηλαδή, γίνεται διαστασιολόγηση σε διάτμηση, με βάση την μεγαλύτερη αναπτυσσόμενη δράση ( $V_{Ed}$ ), η οποία εντοπίζεται στην στήριξη K13, ενώ συγκρατούνται και οι τιμές των:  $V'_{Rd,c}$ ,  $V_{Rd,c}$  και  $V_{Rd,max}$ , ώστε να ελέγχεται εάν τα αποτελέσματα του προγράμματος, συνάδουν με τα αποτελέσματα της επίλυσης που ακολουθεί.

Πίνακας 4.7. Μέγιστα οπλισμών διάτμησης και στρέψης για την Δοκό Δ6.1.

Φορτία [/]	Κόμβος [/]	Θέση [m]	$V_{Ed,max}$ [kN]	$\zeta$ [/]	$T_{Ed}$ [kNm]	Θέση [m]	$V_{Ed}$ [kN]	$V'_{Rdc}$ [kN]	$V_{Rdc}$ [kN]	$V_{Rd,max}$ [kN]
ΣΣ:-x	9	0,00	101,64	0,26	0,23	0,55	<b>87,43</b>	80,72	43,83	453,74
ΣΣ:-x	13	0,00	121,14	0,38	0,23	0,55	<b>106,93</b>	80,72	51,17	453,74

2. Ο έλεγχος περιορισμού λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού (Τέμνουσα Αντοχής σχεδιασμού, λόγω θλίψης κορμού  $V_{Rd,max}$ ), περιλαμβάνει τον υπολογισμό των παρακάτω παραμέτρων:

$$\blacktriangleright V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} * b_w * Z * v_1 * f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta} = \frac{1,00 * 0,25 * 0,495 * 0,60 * (\frac{20}{1,50})}{2,50 + 0,40} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Rd,max} = 0,34138(MN) = 341,38(kN)$$

- ▶  $\alpha_{cw} = 1,00$ : συντελεστής για να ληφθεί υπόψη η εντατική κατάσταση στο θλιβόμενο πέλμα και η συνιστώμενη τιμή του είναι ίση με την μονάδα, για μη προεντεταμένες κατασκευές
- ▶  $b_w = 0,25(m)$ : το μικρότερο πλάτος κορμού στην εφελκυσμένη περιοχή
- ▶  $z = 0,90 * d = 0,90 * 55 = 49,50(cm)$ : ο μοχλοβραχίονας της διατομής σε ένα στοιχείο σταθερού ύψους, ο οποίος αντιστοιχεί στην καμπτική ροπή που δρα στο στοιχείο (στον σχεδιασμό έναντι διάτμησης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος, χωρίς αξονικό φορτίο, μπορεί να ληφθεί για τον μοχλοβραχίονα η προσεγγιστική τιμή  $z = 0,9d$ )
- ▶  $v_1 = 0,60$ : ο δείκτης μείωσης της αντοχής για σκυρόδεμα ρηγματωμένο λόγω διάτμησης (τιμή για  $f_{ck} \leq 60$  MPa)
- ▶  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,50} = 13,3333(MPa)$ : η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος ποιότητας: C<sub>20/25</sub>
- ▶  $\theta = 21,80^\circ$ : η γωνία των καμπτο-διατμητικών ρηγμάτων ως προς την κατακόρυφο ( $\cot\theta=2,50$  και  $\tan\theta=0,40$ )
- ▶  $V_{Ed} = 106,93(kN)$ : η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)
- ▶ Επομένως, η απαίτηση του κανονισμού, **ικανοποιείται** και δεν απαιτείται να γίνει αλλαγή των διαστάσεων της διατομής, εφόσον ισχύει η σχέση:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} \Rightarrow 106,93(kN) \leq 341,38(kN) \Rightarrow \text{😊}$$

3. Για τον έλεγχο απαίτησης οπλισμού διάτμησης, αρκεί να γίνει ο υπολογισμός των παρακάτω παραμέτρων:

$$\blacktriangleright V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 * \sigma_{cp} \right] * b_w * d \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Rd,c} = \left[ 0,12 * 1,632 * (100 * 0,007 * 20)^{\frac{1}{3}} + 0,15 * 0 \right] * 0,25 * 0,55 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Rd,c} = 0,06490(MN) = 64,90(kN)$$

- ▶  $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,50} = 0,12$ : συντελεστής από δοκιμές, η τιμή του οποίου λαμβάνεται από το Εθνικό Προσάρτημα

$$\blacktriangleright k = 1,00 + \sqrt{\frac{200}{d(mm)}} \leq 2,00 \Rightarrow k = 1,00 + \sqrt{\frac{200}{550}} \Rightarrow k = 1,632 \leq 2,00 \Rightarrow \text{😊}$$

: συντελεστής, ο οποίος, θα πρέπει να έχει τιμή μικρότερη ή ίση με δύο και στην περίπτωση αυτή, η απαίτηση καλύπτεται

▶  $\rho_l = \frac{A_{s,prov,ολικό}}{b_w * d} \leq 0,02 \Rightarrow \rho_l = \frac{9,87}{25 * 55} \Rightarrow \rho_l = 0,007 \leq 0,02 \Rightarrow \text{😊}$   
: το ποσοστό εφελκόμενου χάλυβα

▶  $f_{ck} = 20(MPa)$ : η ελάχιστη χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου, σκυροδέματος ποιότητας: C<sub>20/25</sub>

▶  $k_1 = 0,15$ : συντελεστής, η τιμή του οποίου λαμβάνεται από το Εθνικό Προσάρτημα

▶  $\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = \frac{0}{b_w * d} = 0(MPa)$ : η θλιπτική τάση του σκυροδέματος στο κέντρο βάρους, λόγω αξονικού φορτίου ή και προέντασης

▶  $b_w = 0,25(m)$ : το μικρότερο πλάτος κορμού στην εφελκόμενη περιοχή

▶  $d = 0,55(m)$ : το στατικό ύψος

▶ εισάγοντας την ελάχιστη τιμή  $v_{min}$ , η  $V_{Rd,c}$  θα ισούται με την  $V'_{Rd,c}$ :

$$\begin{aligned} V'_{Rd,c} &= (V_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d \Rightarrow \\ \Rightarrow V'_{Rd,c} &= (0,3263 + 0,15 * 0) * 0,25 * 0,55 \Rightarrow \\ \Rightarrow V'_{Rd,c} &= 0,04487(MN) = 44,87(kN) \end{aligned}$$

▶  $v_{min} = 0,035 * K^{\frac{3}{2}} * f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 * 1,632^{1,5} * 20^{0,5} = 0,3263$ : τύπος από Εθνικό Προσάρτημα

▶  $V_{Ed} = 106,93(kN)$ : η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)

▶ Επομένως, η απαίτηση του κανονισμού, **ΔΕΝ ικανοποιείται**, και θα πρέπει να τοποθετηθεί οπλισμός διάτμησης, εφόσον δεν ισχύει η σχέση:

$$V_{Ed} < V_{Rd,c} \Rightarrow 106,93(kN) < 64,90(kN) \Rightarrow \text{✗}$$

4. Στις δοκούς, όπως και στα υποστυλώματα, τα ακραία σημεία, θεωρούνται κρίσιμα (πλαστικά σημεία: κρίσιμα σημεία, προκειμένου να σχηματισθούν σε αυτά οι επιθυμητές πλαστικές αρθρώσεις) και για τον λόγο αυτό, διαστασιολογούνται σε διάτμηση, με πιο πυκνούς συνδετήρες από ότι οι μη κρίσιμες περιοχές: έτσι λοιπόν, για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (D.C.M.), το κρίσιμο μήκος για δοκό  $l_{cr}$ , θα ισούται με το ύψος της δοκού ( $h_w$ ):

$$l_{cr} = h_w = 0,60(m) \Rightarrow l_{cr} = 0,60(m)$$

5. Για την επιλογή του οπλισμού διάτμησης, πρόκειται να επιλυθούν δύο διαφορετικές περιπτώσεις διαστασιολόγησης σε διάτμηση (μία εκτός και μία εντός των κρίσιμων περιοχών):<sup>[1]</sup>

i. ελάχιστοι συνδετήρες **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών:

▪  $\rho_w = \frac{A_{s,w}}{s * b_w} \leq \rho_{w,min} \Rightarrow s \leq \frac{A_{s,w}}{\rho_{w,min} * b_w} = \frac{1,01(cm^2)}{0,0007(cm) * 25} \Rightarrow s \leq 57,71(cm)$

▪  $A_{sw} = 2 * 1\emptyset_8 = 2 * 0,503 \approx 1,01(cm^2)$ : το εμβαδόν της διατομής του οπλισμού διάτμησης, έστω ότι θα τοποθετηθούν ράβδοι διαμέτρου:  $\emptyset_8$

▪  $b_w = 0,25(m)$ : το μικρότερο πλάτος κορμού στην εφελκόμενη περιοχή

- $\rho_{w,min} = 0,08 * \left(\frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}\right) = 0,08 * \left(\frac{\sqrt{20}}{500}\right) \Rightarrow \rho_{w,min} = 0,0007$ : ελάχιστο ποσοστό συνδετήρων
- $f_{ck} = 20(MPa)$ : η ελάχιστη χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου, σκυροδέματος ποιότητας: C<sub>20/25</sub>
- $f_{yk} = 500(MPa)$ : η χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής του οπλισμού διάτμησης
- $s_{l,max} = 0,75 * d = 0,75 * 0,55 \Rightarrow s_{l,max} = 0,4125(m)$ : μέγιστη απόσταση μεταξύ συνδετήρων
- $d = 0,55(m)$ : το στατικό ύψος
- επιλέγεται η απόσταση τοποθέτησης συνδετήρων **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, να είναι τελικά:

$$s < s_{l,max} \Rightarrow 200(mm) < 412,5(mm) \rightarrow \text{δηλαδή: } s = 20(cm)$$

- η μη κρίσιμη περιοχή της Δοκού Δ6.1, μπορεί να ευρεθεί εάν από το συνολικό μήκος της  $l_b$  το οποίο ισούται με το μήκος  $l_1$  (**Εικόνα 4.8**), αφαιρεθούν τα δύο κρίσιμα άκρα  $l_{cr}$ :

$$l_{μη\ κρίσιμο} = l_1 - 2 * l_{cr} = 5,70 - 2 * 0,60 \Rightarrow l_{μη\ κρίσιμο} = 4,50(m)$$

- επιλέγεται λοιπόν, **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, να τοποθετηθούν είκοσι-τρεις (23) 2-τμητοι συνδετήρες, διαμέτρου:  $\emptyset_8$  και σε απόσταση 20(cm) μεταξύ τους (αριθμός ράβδων εγκάρσιου οπλισμού μη κρίσιμων περιοχών:  $NA_{s,w,μη\ κρίσιμο}$ ):

$$NA_{s,w,μη\ κρίσιμο} = \frac{l_{μη\ κρίσιμο}}{s} = \frac{450}{20} \Rightarrow NA_{s,w,μη\ κρίσιμο} \approx 23\emptyset_8/20(cm)$$

- επομένως, ο τελικός οπλισμός διάτμησης **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών ( $A_{s,w,μη\ κρίσιμο}$ ), θα είναι:

$$A_{s,w,μη\ κρίσιμο} = 23\emptyset_8/20(cm) = 11,57(cm^2)$$

- ii. ελάχιστοι συνδετήρες **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών:

$$s_{max} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} h_w/4 = 600/4 = 150(mm) \\ 24 * d_{bw} = 24 * \emptyset_8 = 24 * 8 = 192(mm) \\ 8 * d_{bl,min} = 8 * \emptyset_{12} = 8 * 12 = 96(mm) \\ 225(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow s_{max} \leq 96(mm)$$

- $h_w = 0,60(m)$ : το ύψος της δοκού
- $d_{b,w} = \emptyset_8 = 8(mm)$ : η διάμετρος των συνδετήρων, έστω ότι θα τοποθετηθούν ράβδοι διαμέτρου:  $\emptyset_8$
- $d_{bl,min} = \emptyset_{12} = 12(mm)$ : η μικρότερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων που συμμετέχει στην κάμψη
- επιλέγεται η απόσταση τοποθέτησης συνδετήρων **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, να είναι:

$$s_{max} = s = 95(mm) = 9,50(cm)$$

- οι κρίσιμες περιοχές  $l_{cr}$ , της Δοκού Δ6.1, είναι δύο, η μία βρίσκεται στο αριστερό και η άλλη στο δεξί άκρο της δοκού:

$$l_{cr} = 0,60(m) \quad \text{και} \quad l_{cr,ολικό} = 2 * l_{cr} = 2 * 0,60 = 1,20(m)$$

- επιλέγεται λοιπόν, **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, να τοποθετηθούν δεκατέσσερις (14) 2-μητοι συνδετήρες (7 στο αριστερό άκρο και 7 στο δεξί άκρο), διαμέτρου:  $\emptyset_8$  και σε απόσταση 9,50(cm) μεταξύ τους (αριθμός ράβδων εγκάρσιου σπλισμού κρίσιμων περιοχών:  $NA_{s,w,κρίσιμο}$ ):

$$NA_{s,w,κρίσιμο} = \frac{l_{cr,ολικό}}{s} = \frac{120}{9,50} \Rightarrow NA_{s,w,κρίσιμο} \approx 14\emptyset_8/9,50(cm)$$

- επομένως, ο τελικός σπλισμός διάτμησης **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών ( $A_{s,w,κρίσιμο}$ ), θα είναι:

$$A_{s,w,κρίσιμο} = 14\emptyset_8/9,50(cm) = 7,04(cm^2)$$

6. Ελέγχεται για το εάν ο τοποθετούμενος σπλισμός διάτμησης (ΕΝΤΟΣ και ΕΚΤΟΣ κρίσιμων περιοχών) επαρκεί και συγκεκριμένα:

- i. **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{s,w}}{s} * z * f_{ywd} * \cot\theta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Rd,s} = \frac{1,01}{20} * 49,50 * \frac{500}{1,15 * 10} * 2,50 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Rd,s} = 271,71(kN)$$

- $A_{s,w} = 2 * 1\emptyset_8 = 2 * 0,503 \approx 1,01(cm^2)$ : το εμβαδόν της διατομής του σπλισμού διάτμησης
- $z = 0,90 * d = 0,90 * 55 = 49,50(cm)$ : ο μοχλοβραχίονας της διατομής σε ένα στοιχείο σταθερού ύψους, ο οποίος αντιστοιχεί στην καμπτική ροπή που δρα στο στοιχείο (στον σχεδιασμό έναντι διάτμησης στοιχείων σπλισμένου σκυροδέματος, χωρίς αξονικό φορτίο, μπορεί να ληφθεί για τον μοχλοβραχίονα η προσεγγιστική τιμή  $z = 0,9d$ )
- $f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_y} = \frac{500}{1,15} = 434,78(MPa)$ : η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του σπλισμού διάτμησης
- $\theta = 21,80^\circ$ : η γωνία των καμπτο-διατμητικών ρηγμάτων ως προς την κατακόρυφο ( $\cot\theta=2,50$  και  $\tan\theta=0,40$ )
- $V_{Ed} = 106,93(kN)$ : η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)
- Επομένως, ο σπλισμός διάτμησης που τοποθετήθηκε **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, καλύπτει την απαίτηση του κανονισμού (Ε.Σ.), η οποία επιβάλλει τοποθέτηση ράβδων συνδετήρων, με διάμετρο μεγαλύτερη ή ίση με 8(mm)  $\rightarrow (\emptyset_w \geq \emptyset_8)$  και τελικώς, επαρκεί εφόσον ισχύει η απαιτούμενη σχέση:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} \Rightarrow 106,93(kN) \leq 271,71(kN) \Rightarrow \text{😊}$$

ii. **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} * z * f_{ywd} * \cot\theta \Rightarrow$$
$$\Rightarrow V_{Rd,s} = \frac{1,01}{9,50} * 49,50 * \frac{500}{1,15 * 10} * 2,50 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow V_{Rd,s} = 572,03(kN)$$

- $A_{s,w} = 2 * 1\varnothing_8 = 2 * 0,503 \approx 1,01(cm^2)$ : το εμβαδόν της διατομής του οπλισμού διάτμησης
- $z = 0,90 * d = 0,90 * 55 = 49,50(cm)$ : ο μοχλοβραχίονας της διατομής σε ένα στοιχείο σταθερού ύψους, ο οποίος αντιστοιχεί στην καμπτική ροπή που δρα στο στοιχείο (στον σχεδιασμό έναντι διάτμησης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος, χωρίς αξονικό φορτίο, μπορεί να ληφθεί για τον μοχλοβραχίονα η προσεγγιστική τιμή  $z = 0,9d$ )
- $f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_y} = \frac{500}{1,15} = 434,78(MPa)$ : η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του οπλισμού διάτμησης
- $\theta = 21,80^\circ$ : η γωνία των καμπτο-διατμητικών ρηγμάτων ως προς την κατακόρυφο ( $\cot\theta=2,50$  και  $\tan\theta=0,40$ )
- $V_{Ed} = 106,93(kN)$ : η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)
- Επομένως, ο οπλισμός διάτμησης που τοποθετήθηκε **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, καλύπτει την απαίτηση του κανονισμού (Ε.Σ.), η οποία επιβάλλει τοποθέτηση ράβδων συνδετήρων, με διάμετρο μεγαλύτερη ή ίση με  $8(mm) \rightarrow (\varnothing_w \geq \varnothing_8)$  και τελικώς, επαρκεί εφόσον ισχύει η απαιτούμενη σχέση:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} \Rightarrow 106,93(kN) \leq 572,03(kN) \Rightarrow \text{😊}$$

Στην **Εικόνα 4.10**, φαίνονται τα αναπτύγματα των οπλισμών κάμψης και οι συνδετήρες διάτμησης, σε τομή της Δοκού Δ6.1.

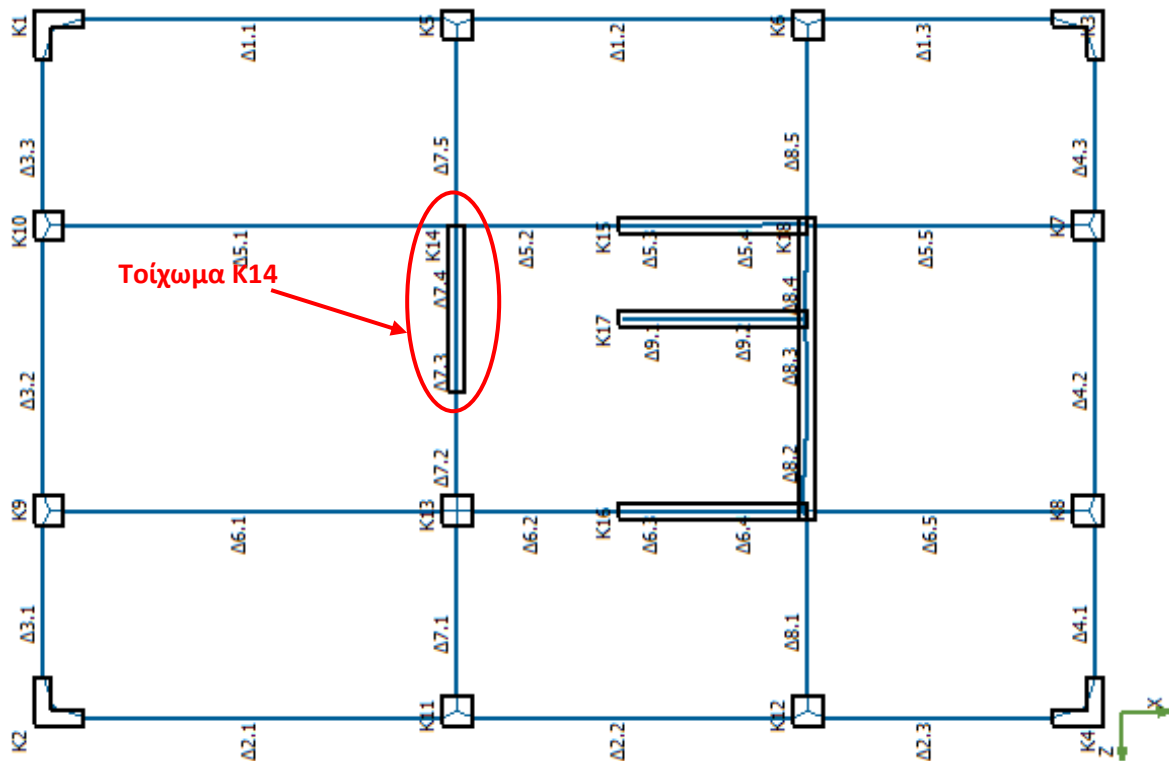


1. **Καραγιάννης Χρ. (2016).** Σχεδιασμός Συμπεριφορά Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα έναντι Σεισμού. Εκδόσεις "Σοφία". Θεσσαλονίκη (Ελλάδα), 2016, σελ.: 260-261, 284-285, 413-421.
2. **Παναγόπουλος Γ., Κίρτας Ε. (2005).** Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος Ι. Σημειώσεις μαθήματος «Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος Ι». Τ.Ε.Ι.Σερρών.
3. **Ευρωκώδικας 2-Ε.Σ.2 (EN 1992-1-1: 2004 GR).** Σχεδιασμός Φορέων από Σκυρόδεμα, Μέρος 1-1: Γενικοί Κανόνες και Κανόνες για Κτίρια. Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση (C.E.N.). Σελ.: 76, 113-114, 165-166, 195-196.
4. **ΔΙΠΑΔ/οικ/473/31-12-2008.** Προσωρινές Συστάσεις για το σχεδιασμό έργων γεφυροποιίας σε συνδυασμό με τους αντίστοιχους Ευρωκώδικες (ΠΡΟΣΥ). Εφημερίδα της Κυβέρνησης (ΦΕΚ 2692/Β/31-12-2008). Σελ.: 37-38.
5. **Τσώνος Αλ.-Δ. (2017).** Σχεδιασμός Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες (Τόμος Ι). Εκδόσεις "Σοφία". Θεσσαλονίκη (Ελλάδα), 2017. Σελ: 114, 403-415.

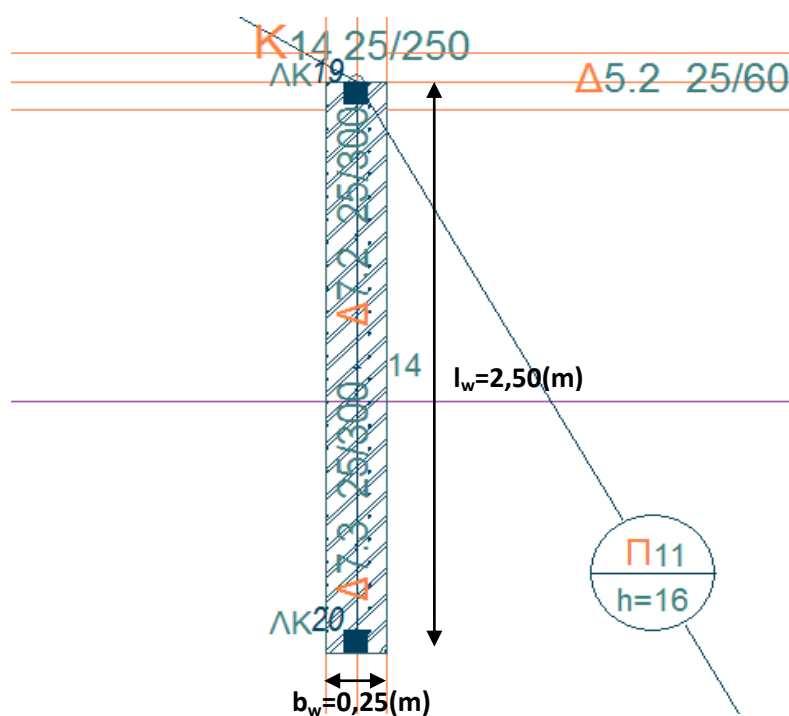
#### 4.4 Διαστασιολόγηση Τοιχώματος K14 (όροφος: 0, νο: 14)

##### 4.4.1 Διατομή Τοιχώματος K14 και βασικές παράμετροι διαστασιολόγησης

Το Τοίχωμα K14, είναι ένα εσωτερικό τοίχωμα, του οποίου η θέση φαίνεται ακριβώς στην κάτοψη του στατικού συστήματος του κτιρίου παρακάτω (**Εικόνα 4.15**), ενώ η διατομή του, παρουσιάζεται αναλυτικά στην **Εικόνα 4.16**.



**Εικόνα 4.15.** Η ακριβής θέση του εσωτερικού τοιχώματος που εξετάζεται (K14), στην κάτοψη του στατικού συστήματος του 1<sup>ου</sup> κτιρίου.



**Εικόνα 4.16.** Τοίχωμα K14, με διαστάσεις μήκος επί πλάτος:  $l_w \times b_w = 2,50 \times 0,25 (m^2)$ .

Το κτίριο με το Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο Προς Πλαισιακό, παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά, τα οποία καθορίζουν αρκετά μέρη της επίλυσης, με βάση τις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα:

- ☞ διαθέτει Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (D.C.M.),
- ☞ ανήκει σε περιοχή με ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I  $a_{gR}/g = 0,16$ ,
- ☞ κατηγορία εδάφους B,
- ☞ χρησιμοποιείται ποιότητα σκυροδέματος  $C_{20/25}$ ,
- ☞ ποιότητα χάλυβα ράβδων οπλισμού  $B_{500C}$ ,
- ☞ η ονομαστική επικάλυψη των ράβδων οπλισμού, ισούται με  $c_{nom} = 0,035(m)$ ,
- ☞ το καθαρό ύψος ορόφου ( $l_{cl}$ ), ισούται με τρία μέτρα, δηλαδή  $l_{clear} = 3,00(m)$ .

Τα βασικά χαρακτηριστικά του εσωτερικού Τοιχώματος K14, είναι τα παρακάτω:

- ☞ μήκος τοιχώματος  $l_w = 2,50 (m)$ ,
- ☞ πλάτος τοιχώματος  $b_w = 0,25 (m)$  και
- ☞ το συνολικό ύψος τοιχώματος, ισούται με το άθροισμα των υψών όλων των ορόφων στους οποίους συμμετέχει και εφόσον κάθε όροφος έχει ύψος  $3,00(m)$ , τότε το τοίχωμα, θα έχει συνολικό ύψος:  $h_w = 9,00 (m)$ .

#### 4.4.2 Αρχικοί έλεγχοι διαμόρφωσης της διατομής του τοιχώματος <sup>[1, 2]</sup>

1. Σύμφωνα με την παράγραφο §5.1.2(1) του Ε.Κ.8, **τοιχώμα**, χαρακτηρίζεται το δομικό εκείνο φέρον στοιχείο που φέρει άλλα στοιχεία και έχει επιμήκη διατομή, με λόγο μήκους προς πάχος μεγαλύτερο ή ίσο με τέσσερα (4), δηλαδή:

$$\frac{l_w}{b_w} \geq 4,00 \Rightarrow \frac{2,50}{0,25} \geq 4,00 \Rightarrow 10 \geq 4,00 \Rightarrow \text{☺}$$

2. Κατά την §5.4.1.2.3(1) του Ε.Κ.8, για πλάστιμα τοιχώματα, **ο κορμός απαιτείται να έχει ελάχιστο πάχος** που ικανοποιεί την παρακάτω σχέση:

$$b_{wo} \geq \max \left\{ h_s = \frac{0,15(m)}{20} = \frac{2,40}{20} = 0,12(m) \right\} \Rightarrow b_{wo} \geq 0,15(m)$$

- $h_s = l_{clear} - h_b = 3,00 - 0,60 = 2,40(m)$ : το καθαρό ύψος ορόφου σε μέτρα (προκύπτει αφαιρώντας το ύψος της κρέμασης δοκού:  $h_b$ ), όπου η βάση του ορίζεται ως η στάθμη της θεμελίωσης ή της οροφής υπόγειων ορόφων με άκαμπτα διαφράγματα και περιμετρικά τοιχώματα.
- στην προκειμένη περίπτωση, το πάχος  $b_w$ , είναι μεγαλύτερο από το ελάχιστο απαιτούμενο, συνεπώς υπάρχει επάρκεια:

$$b_w \geq b_{wo} \Rightarrow 0,25(m) \geq 0,15(m) \Rightarrow \text{☺}$$

3. Το κρίσιμο ύψος ( $h_{cr}$ ) πάνω από την βάση του τοιχώματος, βάσει της §5.4.3.4.2(1) του Ε.Κ.8, μπορεί να εκτιμηθεί από τις παρακάτω σχέσεις, επιλέγοντας την μικρότερη τιμή που προκύπτει από αυτές:

- $h_{cr} = \max \left\{ \frac{l_w = 2,50(m)}{6} = \frac{9,00}{6} = 1,50(m) \right\} \Rightarrow h_{cr} = 2,50(m)$

- $h_{cr} \leq \min \left\{ \frac{2 * l_w = 2 * 2,50 = 5,00(m)}{h_s = 2,40(m) \rightarrow [\text{για αριθμό ορόφων: } n \leq 6]} \right\} \Rightarrow h_{cr} \leq 2,40(m)$

- **!Σημειώνεται** ότι, όπως συνάγεται από τις παραπάνω ανισότητες, ο E.C.8 δεν διευκρινίζει εάν το κρίσιμο ύψος πρέπει να καλύπτει πλήρη όροφο (στην παρούσα περίπτωση ολόκληρο το ύψος του ισογείου) σε αντίθεση με την §18.5.2, του ΕΑΚ 2000.<sup>[2]</sup>

4. Το μήκος των περισφιγμένων άκρων ( $l_c$ ) (Εικόνα 4.17), στο κρίσιμο ύψος, αναλύεται στην §5.4.3.4.2(2, 3, 4, 5 & 6) του E.C.8. Προκειμένου λοιπόν να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη πλαστιμότητα καμπυλοτήτων  $\mu_\phi$  στο κρίσιμο ύψος ενός τοιχώματος, απαιτείται να γίνει κατάλληλη περίσφιξη των άκρων του, σε μήκος:  $l_c$ , όπου μετά την αποφλοίωση του θλιβόμενου άκρου, η βράχυνση του περισφιγμένου πυρήνα του σκυροδέματος, υπερβαίνει την τιμή  $\epsilon_{cu2} = 3,50\%$ . Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται από τον κανονισμό, το μήκος του περισφιγμένου στοιχείου άκρου, να μην λαμβάνεται μικρότερο από τις παρακάτω τιμές:

- $l_{c,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,15 * l_w = 0,15 * 2,50 = 0,375(m) \\ 1,5 * b_w = 1,50 * 0,25 = 0,375(m) \end{array} \right\} \Rightarrow l_{c,min} = \boxed{l_c = 0,375(m)}$

- **!Σημειώνεται** πως, ο ακριβής υπολογισμός του  $l_c$ , απαιτεί ειδικό λογισμικό που να είναι σε θέση να αποτιμά την συμβολή της διάταξης των συνδετήρων περίσφιξης στην αύξηση των μηχανικών χαρακτηριστικών του σκυροδέματος (§4.2.2.6.1(δ), E.C.8). Εκτιμάται ότι, λόγω της χαμηλής συνήθως τιμής του ανηγμένου αξονικού φορτίου ( $N_{Ed}$ ), το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος  $l_c = \max(0,15l_c \text{ ή } 1,50l_c)$  υπερκαλύπτει με άνεση την περιοχή του άκρου όπου ενδέχεται να εμφανισθεί  $\epsilon_c > \epsilon_{cu2} = 3,50\%$ .<sup>[2]</sup>

5. Με βάση την παράγραφο §5.4.3.4.2(10) του E.C.8, το πάχος του περισφιγμένου άκρου  $b_w$ , απαιτείται να είναι:

- $b_w \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,20(m) \\ \left\{ \begin{array}{l} \frac{h_s}{15} \rightarrow \text{εάν: } l_c \leq \max \left[ \begin{array}{l} 2 * b_w \\ 0,20 * l_w \end{array} \right] \\ \frac{h_s}{10} \rightarrow \text{εάν: } l_c > \max \left[ \begin{array}{l} 2 * b_w \\ 0,20 * l_w \end{array} \right] \end{array} \right\} \end{array} \right\}$

- Στην συγκεκριμένη περίπτωση του Τοιχώματος K14:

$$l_c = 0,375(m) \leq \max \left\{ \begin{array}{l} 2 * b_w = 2 * 0,25 = 0,50(m) \\ 0,20 * l_w = 0,20 * 2,50 = 0,50(m) \end{array} \right\}$$

- Επομένως, θα προκύψει:

$$b_w \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,20(m) \\ \left\{ \begin{array}{l} \frac{h_s}{15} = \frac{2,40}{15} = 0,16(m) \rightarrow [\text{για: } l_c \leq \max \left[ \begin{array}{l} 2 * b_w \\ 0,20 * l_w \end{array} \right] \end{array} \right\} \end{array} \right\} \Rightarrow b_w \geq 0,20(m)$$

- και τελικώς, θεωρείται πως, το πάχος κορμού  $\boxed{b_w = 0,25(m) \rightarrow \text{είναι επαρκές}}$ , εφόσον είναι και μεγαλύτερο από το απαιτούμενο 0,20(m) που προέκυψε παραπάνω.

6. Ο έλεγχος ανηγμένης αξονικής θλίψης, γίνεται, σύμφωνα με την §5.4.3.4.1(2) του E.C.8, όπου σε πλάστιμα τοιχώματα, Κατηγορίας Πλαστιμότητας Μέσης (D.C.M.), η ανηγμένη τιμή θλιπτικής καταπόνησης, υπό τον σεισμικό συνδυασμό, **ΔΕΝ πρέπει να υπερβαίνει την τιμή: 0,40**. Ο έλεγχος, πραγματοποιείται στον πόδα του ισογείου και λαμβάνεται για την επίλυση, το μέγιστο θλιπτικό αξονικό φορτίο  $N_{Ed} = -1099,18 \text{ (kN)}$ , από τα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν, για το Τοίχωμα K14, στο αναλυτικό τεύχος του στατικού προγράμματος Fespa. Επομένως, θα πρέπει να ικανοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$v_{Ed} < 0,40 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{|N_{Ed}|}{A_c * f_{cd}} < 0,40 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{|-1099,18|(kN)}{0,625(m^2) * \left(20 * \frac{10^3}{1,50}\right) \left(\frac{kN}{m^2}\right)} < 0,40 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{0,132 < 0,40 \Rightarrow \text{😊}}$$

- $A_c = l_w * b_w = 2,50 * 0,25 = 0,625(m^2)$ : το εμβαδόν της διατομής του Τοιχώματος K14
- $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,50} = 13,3333(MPa)$ : η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος ποιότητας: C<sub>20/25</sub>

#### 4.4.3 Διαστασιολόγηση Τοιχώματος K14 σε κάμψη<sup>[2, 3]</sup>

Στα τοιχώματα, η διαστασιολόγηση σε κάμψη, αφορά την εύρεση του απαιτούμενου καμπτικού οπλισμού στα ακραία τμήματα τους, τα οποία είναι γνωστά και ως «κρυφο-κολώνες», διότι αποτελούν σε κάθε τοίχωμα, δύο «κρυμμένα» υποστυλώματα και ως τέτοια διαστασιολογούνται (**Εικόνα 4.17**). Η πορεία, μέσα από τα διαδοχικά βήματα, περιγράφεται συνοπτικά ως εξής:

1. χάραξη της κανονιστικής περιβάλλουσας καμπτικής ροπής σχεδιασμού σε όλο το ύψος του τοιχώματος, με την λήψη των διαγραμμάτων των ροπών (διαγράμματα από το στατικό πρόγραμμα Fespa) από το ισόγειο έως και τον τελευταίο όροφο (εδώ ο τελευταίος, είναι ο 2<sup>ος</sup> όροφος),
2. εύρεση του κρίσιμου/δυσμενέστερου συνδυασμού, μεταξύ των ροπών των δύο διευθύνσεων και του αξονικού φορτίου ( $M_x$ ,  $M_y$  &  $N$ ), προκειμένου να διαπιστωθεί εάν επηρεάζει περισσότερο η μεγάλη ροπή ή το μεγάλο αξονικό φορτίο,
3. υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού  $A_{s,required}$ , με την συμμετοχή του μηχανικού ποσοστού οπλισμού  $\omega$ , που προκύπτει από τον δυσμενέστερο συνδυασμό μεταξύ  $M_x$ ,  $M_y$  &  $N$ ,
4. έλεγχος μέγιστου και ελάχιστου οπλισμού [με την εύρεση του μέγιστου ( $\rho_{max}$ ) και ελάχιστου ( $\rho_{min}$ ) ποσοστού οπλισμού], στα όρια των οποίων θα πρέπει να κυμαίνεται ο καμπτικός οπλισμός ( $A_{s,required}$ ) κάθε κρυφο-κολώνας,
5. στην περίπτωση που προκύψει μικρότερος απαιτούμενος οπλισμός από τον ελάχιστο ( $A_{s,required} < A_{s,min}$ ), τότε τοποθετείται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός εκ κανονισμού ( $A_{s,min}$ ),
6. στην περίπτωση που προκύψει μεγαλύτερος απαιτούμενος οπλισμός από τον μέγιστο ( $A_{s,required} > A_{s,max}$ ), τότε απαιτείται αλλαγή της διατομής και επανάληψη της διαδικασίας,
7. επιλογή ράβδων διαμήκους οπλισμού (οπλισμός κάμψης) και τελικός τοποθετούμενος οπλισμός στις κρυφο-κολώνες ( $A_{s,provided}$ ), αλλά και έλεγχος των αποστάσεων μεταξύ των ράβδων ( $b_i$ ), ώστε η μία να απέχει από την άλλη και στις δύο διευθύνσεις της διατομής ( $x$  &  $y$ ), απόσταση, σύμφωνη με την απαίτηση του κανονισμού, όπως συμβαίνει στα υποστυλώματα:

$$b_i \leq \min \left\{ \begin{array}{l} \text{πάχος κορμού } b_w \\ 200(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow b_i \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 250(mm) \\ 200(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{b_i \leq 200(mm)}$$

8. και τέλος, γίνεται η τοποθέτηση του οπλισμού στην διατομή και η σχεδίαση ενδεικτικών σκαριφημάτων με την ακριβή θέση του.

Παρακάτω, ακολουθεί η επίλυση, με βάση τα όσα αναφέρθηκαν:<sup>[1, 2, 3, 4]</sup>

1. Σύμφωνα με την §5.4.2.4(4 & 5) του Ε.Σ.8, σε λυγηρά τοιχώματα με λόγο:

$$\frac{h_w}{l_w} > 2,00 \Rightarrow \frac{9,00}{2,50} = 3,60 > 2,00 \Rightarrow \text{☺}$$

προκειμένου να υπάρχει κάλυψη των αβεβαιοτήτων ως προς την μορφή του διαγράμματος καμπτικής ροπής στο επίπεδο του τοιχώματος από την στατική ανάλυση  $[M'_{Ed}]$ , διαμορφώνεται μία διγραμμική κανονιστική περιβάλλουσα ροπών  $[M_{Ed}]$ , σύμφωνα με τα ακόλουθα βήματα (**Εικόνα 4.18**):

- αρχικά, λαμβάνεται το διάγραμμα ροπών  $[M'_{Ed}]$  του Τοιχώματος K14, από το στατικό πρόγραμμα Fespa,
- στην συνέχεια, χαράσσεται η γραμμική περιβάλλουσα σχεδιασμού (διακεκομμένη γραμμή), η οποία ενώνει τις ακραίες τιμές των ροπών σχεδιασμού της βάσης και της κορυφής του τοιχώματος  $|M_{bot}|$  και  $|M_{top}|$  αντίστοιχα:

$$M_{bot} = -915,80(kNm)$$

$$M_{top} = -237,90(kNm)$$

- γίνεται κατακόρυφη μετάθεση της ροπής σχεδιασμού της βάσης  $|M_{bot}|$ , σε ύψος  $\alpha_l$ , το οποίο προκύπτει με βάση την §9.2.1.3(2) του Ε.Σ.2, με θεώρηση λειτουργίας μοντέλου θλιπτήρων-ελκυστήρων, όπως παρακάτω:

$$\alpha_l = 0,50 * z * \cot \theta = 0,50 * 2,00 * 2,50 \Rightarrow \alpha_l = 2,50(m)$$

- $z = 0,80 * l_w = 0,80 * 2,50 = 2,00(m)$ : μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων τοιχώματος
- $\theta = 21,80^\circ \Rightarrow \cot \theta = \cot 21,80^\circ = 2,50$ : η γωνία κλίσης των καμπτο-διατμητικών ρηγματών ως προς την κατακόρυφο (διαμήκης άξονας τοιχώματος), η οποία με στόχο τη μέγιστη τιμή του  $\alpha_l$ , λαμβάνεται ως  $21,80^\circ$

ακόμη, εφόσον ισχύει πως το κρίσιμο ύψος  $h_{cr}$ , είναι μικρότερο ή ίσο από το  $\alpha_l$ , τότε η νέα ροπή στην βάση  $|M'_{bot}|$ , για την οποία θα γίνει η διαστασιολόγηση σε κάμψη, ισούται με την αρχική ροπή σχεδιασμού της βάσης  $|M_{bot}|$ :

$$h_{cr} \leq \alpha_l \Rightarrow 2,40(m) \leq 2,50(m) \Rightarrow \text{☺}$$

$$\text{επομένως, θα είναι: } |M_{bot}| = M'_{bot} = 915,80(kNm)$$

- τέλος, γίνεται χάραξη του κεκλιμένου τμήματος της κανονιστικής περιβάλλουσας, με παράλληλη μετάθεση της γραμμικής περιβάλλουσας σχεδιασμού, πάνω από την στάθμη του  $\alpha_l$ . το κεκλιμένο αυτό τμήμα, στο τέλος του, ενώνεται με την αρχική ροπή της κορυφής  $|M_{top}|$ . Έτσι προκύπτει η νέα ροπή σχεδιασμού της κορυφής  $|M'_{top}|$  και όλες οι νέες ροπές, με βάση τις οποίες γίνεται η διαστασιολόγηση σε κάμψη (ονομάζεται: “περιβάλλουσα των ροπών”, διότι περιβάλλονται σε αυτή όλες οι ροπές):

$$M'_{top} = |M_{top}| + x = 237,90 + 188,30 \Rightarrow M'_{top} = 426,20(kNm)$$

- $x = 188,30(kNm)$ : προκύπτει από το διάγραμμα για την κατασκευή της κανονιστικής περιβάλλουσας της **Εικόνας 4.18** και είναι το τελευταίο τμήμα της περιβάλλουσας, που ενώνει το τέλος του κεκλιμένου τμήματος με την αρχική ροπή της κορυφής  $|M_{top}|$ .

2. Για την εύρεση του κρίσιμου συνδυασμού, μεταξύ των ροπών των δύο διευθύνσεων και του αξονικού φορτίου ( $M_x$ ,  $M_y$  &  $N$ ), θα ήταν δυνατόν να ελεγχθεί ξεχωριστά, κάθε μία από τους προτεινόμενες

περιπτώσεις που προκύπτουν από την ανάλυση. Ωστόσο το στατικό πρόγραμμα Fespa, στο αναλυτικό τεύχος που συνοδεύει την επίλυση του Τοιχώματος K14, εντοπίζει και πάλι τον δυσμενέστερο συνδυασμό για την διαστασιολόγηση σε κάμψη στον **Πίνακα 4.8**, βάσει του οποίου παρατηρείται πως για μικρότερο αξονικό φορτίο και ροπή, προκύπτει το δυσμενέστερο αποτέλεσμα, δηλαδή το μεγαλύτερο ποσοστό μηχανικού σπλισμού  $\omega$ , το οποίο θα δώσει τελικώς και τον περισσότερο απαιτούμενο σπλισμό προς τοποθέτηση. Οι τιμές που θα χρησιμοποιηθούν για την εξασφάλιση του τοιχώματος έναντι κάμψης, είναι τρεις: το αξονικό φορτίο ( $N_{Ed}$ ), η ροπή κατά  $y$  ( $M_{Edy}$ ) και η ροπή κατά  $z$  ( $M_{Edz}$ ) (τιμές με κόκκινο, στον **Πίνακα 4.8** που ακολουθεί).

**Πίνακας 4.8.** Διαστασιολόγηση σε κάμψη για το Τοίχωμα K14.

Φορτία [/]	Κόμβος [/]	$v_d$ [/]	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Edy}$ [kNm]	$M_{Edz}$ [kNm]	$\lambda = E_d/R_d$ [/]
ΣΣ:-x	14(0) +	-0,062	-517,38	+878,15	-5,52	0,35

Υπολογισμός ανηγμένων τιμών σχεδιασμού ροπών και αξονικού φορτίου:

$$\mu_y = \frac{|M_{Edy}|}{b_w * l_w^2 * f_{cd}} = \frac{|+878,15|(kNm) * 1,50(m^2)}{0,25 * 2,50^2(m^3) * (20 * 10^3)(kN)} \Rightarrow \mu_y = 0,0422 \approx 0,045$$

$$\mu_z = \frac{|M_{Edz}|}{b_w^2 * l_w * f_{cd}} = \frac{|-5,52|(kNm) * 1,50(m^2)}{0,25^2 * 2,50(m^3) * (20 * 10^3)(kN)} \Rightarrow \mu_z = 0,0026 \approx 0,003$$

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{b_w * l_w * f_{cd}} = \frac{-517,38 (kN) * 1,50(m^2)}{0,25 * 2,50(m^2) * (20 * 10^3)(kN)} \Rightarrow v_d = -0,0621 \approx -0,10$$

Στην συνέχεια, γίνεται χρήση διαγράμματος αλληλεπίδρασης (Νομογράφημα), με διάταξη τεσσάρων ράβδων στις γωνίες της διατομής (**Εικόνα 4.19**) όπου οι δύο από τις ράβδους, αντιστοιχούν στον συνολικό διαμήκη σπλισμό ενός περισφιγμένου άκρου. Από το διάγραμμα αυτό, προσδιορίζεται το μηχανικό ποσοστό σπλισμού  $\omega$ , έπειτα από την εκλογή των:  $\mu_1$  και  $\mu_2$ , από τις τιμές:  $\mu_z$  και  $\mu_y$ , με τον τρόπο που προσδιορίζεται σε κάθε διάγραμμα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, επιλέγεται το κατάλληλο διάγραμμα αλληλεπίδρασης, που προκύπτει με τον υπολογισμό της απόστασης  $d_1$  και στην συνέχεια την εύρεση του λόγου  $d_1/h$ :

$$d_1 = \frac{l_c}{2} = \frac{0,375}{2} = 0,1875(m) \Rightarrow d_1 = 18,75(cm)$$

$$\frac{d_1}{h} = \frac{d_1}{l_w} = \frac{18,75}{250} = 0,075 \Rightarrow \frac{d_1}{h} \approx 0,10$$

Από το λόγο λοιπόν:  $d_1/h \approx 0,10$ , επιλέγεται το κατάλληλο διάγραμμα αλληλεπίδρασης ορθογωνικής διατομής σε διαξονική κάμψη, για σημειακή και όχι διανεμημένη κατανομή σπλισμού (**Εικόνα 4.19**). Σε αυτό, εισάγονται τα:  $v_d$ ,  $\mu_1$  και  $\mu_2$  και έτσι προσδιορίζεται το μηχανικό ποσοστό σπλισμού  $\omega$ , για τον υπολογισμό του συνολικού εμβαδού απαιτούμενου σπλισμού  $A_{s,req}$ . Η διαδικασία, περιγράφεται σχηματικά επάνω στην **Εικόνα 4.19** που ακολουθεί, με το  $\mu_1$  να τοποθετείται στον κατακόρυφο άξονα και το  $\mu_2$  στον οριζόντιο άξονα του διαγράμματος, ενώ το  $\omega$ , προκύπτει ίσο με **0,015**.

3. Ο απαιτούμενος οπλισμός ( $A_{s,req}$ ), δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$A_{s,req} = \omega * b_w * l_w * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,015 * 25 * 250 * \frac{20 * 1,15}{500 * 1,50} \Rightarrow A_{s,req} = 2,88(cm^2)$$

Ο  $A_{s,req}$ , όπως υπολογίστηκε, αποτελεί τον συνολικό απαιτούμενο οπλισμό και για τις δύο κρυφο-κολώνες, δηλαδή στην κάθε μία, απαιτείται:

$$\frac{A_{s,req}}{2} = \frac{2,88}{2} = 1,44(cm^2) \rightarrow \text{γιακάθε μία κρυφο - κολώνα}$$

4. Έλεγχοι μέγιστων και ελάχιστων οπλισμών, με βάση τον κανονισμό [§5.4.3.4.2(8 & 11), Ε.С.8], όπου θα πρέπει ο απαιτούμενος οπλισμός που προέκυψε παραπάνω ( $A_{s,req}$ ), να βρίσκεται εντός των παρακάτω ορίων:

$$A_{s,min} \leq A_{s,req} \leq A_{s,max} \Rightarrow$$

$$\rho_{min} * A_c \leq A_{s,req} \leq \rho_{max} * A_c \Rightarrow$$

$$\rho_{min} * b_w * l_c \leq A_{s,req} \leq \rho_{max} * b_w * l_c \Rightarrow$$

$$5\%_0 * 25 * 37,50 \leq 2,88 \leq 20\%_0 * 25 * 37,50 \Rightarrow$$

$$4,69(cm^2) \leq 2,88(cm^2) \leq 18,75(cm^2) \Rightarrow \times$$

Επομένως, για κάθε κρυφο-κολώνα, θα πρέπει να τηρούνται και πάλι τα επιθυμητά όρια:

$$\frac{A_{s,min}}{2} \leq \frac{A_{s,req}}{2} \leq \frac{A_{s,max}}{2} \Rightarrow$$

$$\frac{4,69}{2} \leq \frac{15,33}{2} \leq \frac{18,75}{2} \Rightarrow$$

$$2,35(cm^2) \leq 1,44(cm^2) \leq 9,38(cm^2) \Rightarrow \times$$

5. Εφόσον προέκυψε μικρότερος απαιτούμενος οπλισμός από τον ελάχιστο που ορίζει ο κανονισμός (Ε.С.), θα χρησιμοποιηθεί ο ελάχιστος εκ κανονισμού απαιτούμενος οπλισμός ( $A_{s,min}$ ), δηλαδή:

$$A_{s,min} = A_{s,req} = 4,69(cm^2)$$

6. Το βήμα αυτό, παραλείπεται, εφόσον ΔΕΝ προέκυψε μεγαλύτερος απαιτούμενος οπλισμός από τον μέγιστο που ορίζει ο κανονισμός (Ε.С.).
7. Επιλέγεται, ο τοποθετούμενος οπλισμός κάμψης ( $A_{s,prov}$ ), να είναι οκτώ (8) ράβδοι, διότι επιβάλλεται από τον κανονισμό, να υπάρχει τουλάχιστον μία ράβδος οπλισμού σε κάθε γωνία σύλου, διαμέτρου:  $\varnothing_{16}$  και  $\varnothing_{14}$ , τέσσερις (4) στην μία κρυφο-κολώνα ( $2\varnothing_{16}$  &  $2\varnothing_{14}$ ) και τέσσερις (4) στην άλλη ( $2\varnothing_{16}$  &  $2\varnothing_{14}$ ) (Εικόνα 4.17), δηλαδή:



$$A_{s,prov} = 4\emptyset_{16} + 4\emptyset_{14} = 8,04 + 6,16 \Rightarrow A_{s,prov} = 14,20(\text{cm}^2)$$

$$\frac{A_{s,prov}}{2} = 2\emptyset_{16} + 2\emptyset_{14} = 7,10(\text{cm}^2) \rightarrow \text{γιακάθε μία κρυφο - κολώνα}$$

Ωστόσο, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν και ορισμένοι έλεγχοι που ορίζονται από τον κανονισμό [§5.4.3.4.2(9), §5.4.3.2.2(9 & 11), Ε.С.8], ώστε οι αποστάσεις ( $b_i$ ) μεταξύ των ράβδων σπλισμού (από το κέντρο της μίας ράβδου έως το κέντρο της άλλης), τόσο κατά την διεύθυνση  $x$ , όσο και κατά την διεύθυνση  $y$  της διατομής, για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (D.C.M.), να μην απέχουν περισσότερο από 20(cm), όπως ακολουθεί:

► ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ Y:

- $b_w - (2 * c_{nom}) - (2 * \emptyset_8) - \left(\frac{2 * \emptyset_{16}}{2}\right) = 250 - (2 * 35) - (2 * 8) - \left(\frac{2 * 16}{2}\right) = 148(\text{mm}) \rightarrow$   
**απόσταση  $\alpha_1$  στην Εικόνα 4.20**
- $\alpha_1 = 148,00(\text{mm}) \leq b_i = 200,00(\text{mm}) \Rightarrow \text{😊}$
- επομένως, **δεν απαιτείται** να τοποθετηθούν επιπλέον ράβδοι διαμήκους σπλισμού κατά την διεύθυνση  $y$ , εφόσον μεταξύ των δύο (2) ράβδων, σε κάθε παρειά (δεξιά και αριστερά) της διατομής της κάθε κρυφο-κολώνας, δημιουργούνται αποστάσεις ( $\alpha_1$ ), μικρότερες των 20(cm) (Εικόνα 4.20).

► ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ X:

- $l_c - c_{nom} - (2 * \emptyset_8) - \emptyset_{16} - \emptyset_{14} = 375 - 35 - (2 * 8) - 16 - 14 = 294(\text{mm}) \rightarrow$   
**απόσταση  $\beta_1$  στην Εικόνα 4.20**
- $\beta_1 = 294,00(\text{mm}) \leq b_i = 200,00(\text{mm}) \Rightarrow \text{✗}$
- επομένως, **απαιτείται** να τοποθετηθεί μία (1) επιπλέον ράβδος διαμήκους σπλισμού διαμέτρου  $\emptyset_{14}$ , σε κάθε παρειά (συνολικά  $2\emptyset_{14}$ ), κατά την διεύθυνση  $x$ , εφόσον μεταξύ των δύο (2) υφιστάμενων ράβδων, σε κάθε παρειά (άνω και κάτω) της διατομής της κάθε κρυφο-κολώνας, δημιουργείται μία απόσταση ( $\beta_1$ ), μεγαλύτερη των 20(cm) (Εικόνα 4.20).
- $\frac{\beta_1}{2} = \frac{294}{2} = 147,00(\text{mm}) \leq b_i = 200,00(\text{mm}) \Rightarrow \text{😊} \rightarrow$  **απόσταση  $\beta_2$  στην Εικόνα 4.20**

- Με βάση λοιπόν τα παραπάνω, ο τελικός τοποθετούμενος σπλισμός κάμψης ( $A_{s,prov,ολικό}$ ), θα είναι δώδεκα (12) ράβδοι, διαμέτρου:  $\emptyset_{16}$  και  $\emptyset_{14}$ , έξι (6) στην μία ( $2\emptyset_{16}$  &  $4\emptyset_{14}$ ) και έξι (6) στην άλλη ( $2\emptyset_{16}$  &  $4\emptyset_{14}$ ) κρυφο-κολώνα του τοιχώματος (Εικόνα 4.17), δηλαδή:

$$A_{s,prov,ολικό} = 4\emptyset_{16} + 8\emptyset_{14} = 8,04 + 12,32 \Rightarrow A_{s,prov,ολικό} = 20,36(\text{cm}^2)$$

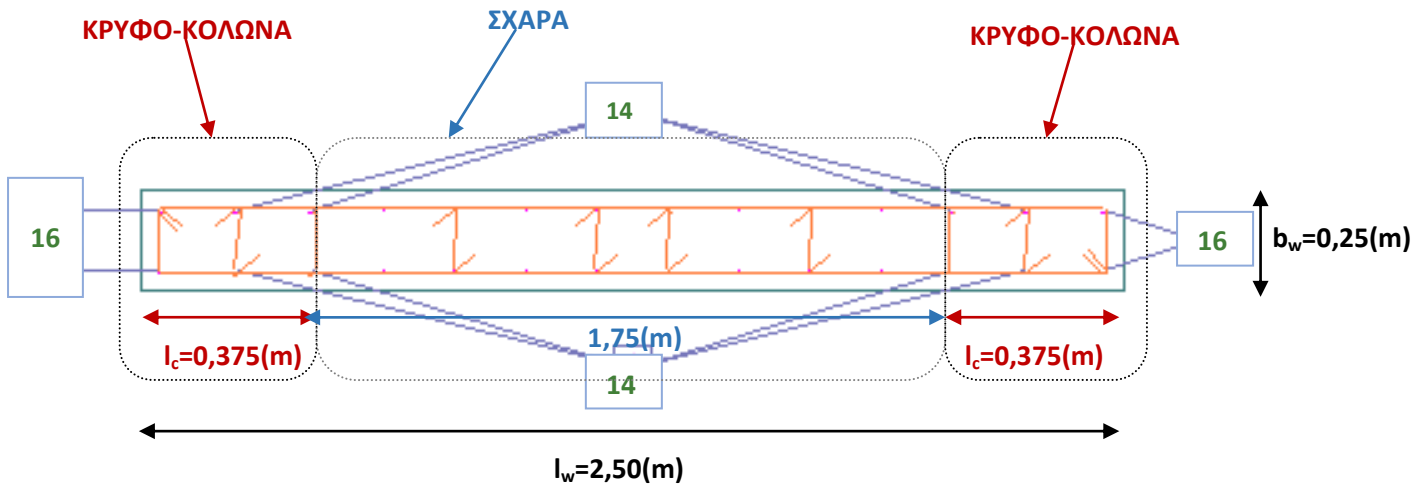
$$\frac{A_{s,prov,ολικό}}{2} = 2\emptyset_{16} + 4\emptyset_{14} = 10,18(\text{cm}^2) \rightarrow \text{γιακάθε μία κρυφο - κολώνα}$$

$$\text{και πάλι ισχύει: } \frac{A_{s,min}}{2} \leq \frac{A_{s,prov,ολικό}}{2} \leq \frac{A_{s,max}}{2} \Rightarrow \text{😊}$$

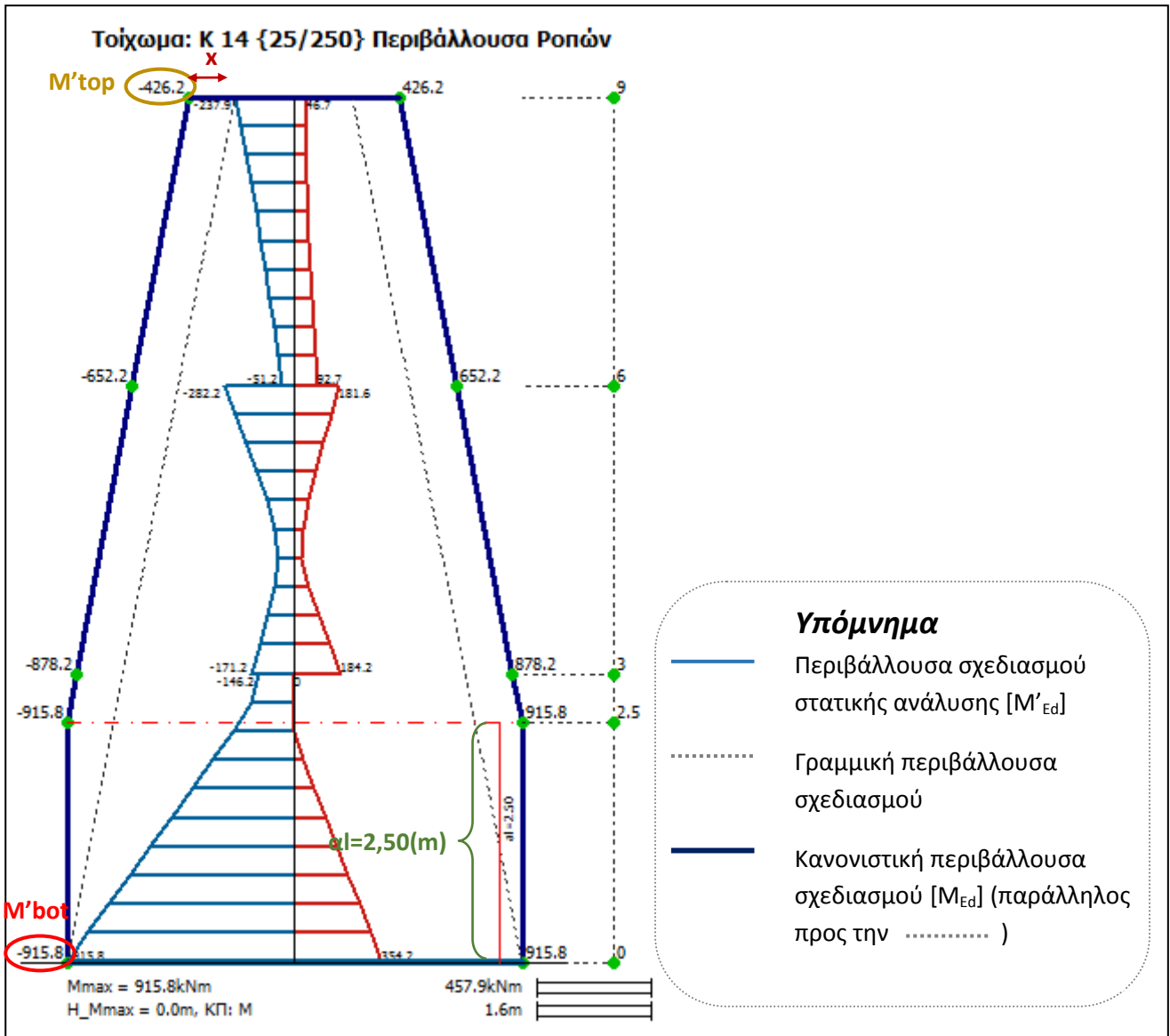
8. Στην Εικόνα 4.17 παρακάτω, φαίνεται η τελική επιλογή τοποθέτησης του σπλισμού κάμψης στην διατομή και η ακριβής θέση του.

## K14 25/250

$4\phi_{16} + 8\phi_{14}$   
Ορ.# $\phi_8/20$  (cm) – Κατ.#  $\phi_8/20$  (cm)  
 $l_c=37,50$ (cm) –  $\Sigma \phi_8/8,50$  (cm)

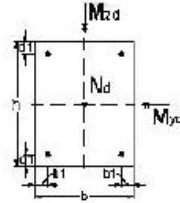


**Εικόνα 4.17.** Τμήματα στο Τοίχωμα K14 που διαστασιολογούνται για κάμψη (κρυφο-κολώνες, σε απόσταση  $l_c$ , από τα άκρα) και διάτμηση (σχάρα, στον πυρήνα της διατομής), καθώς και η τελική λύση όπλισης του τοιχώματος.

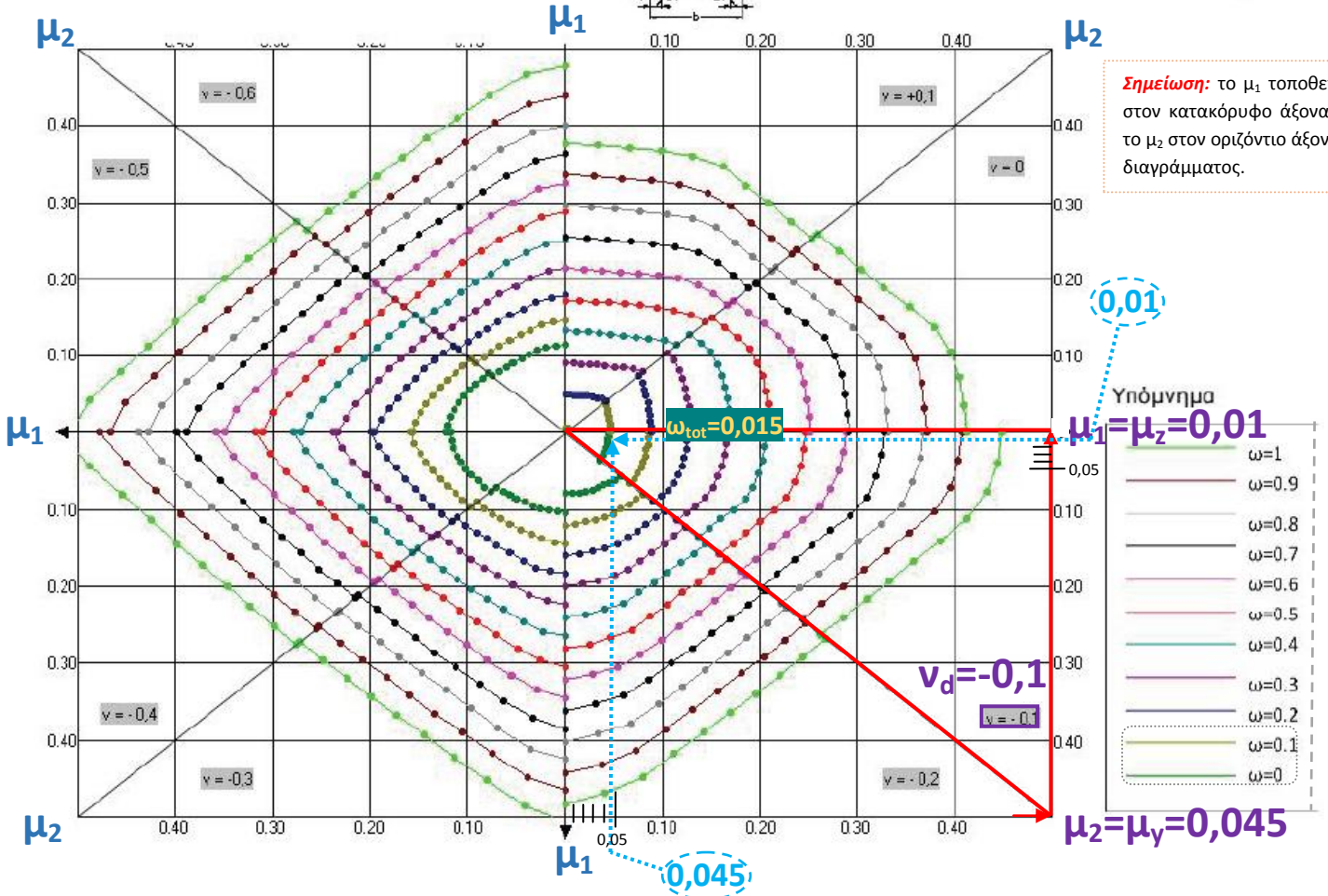
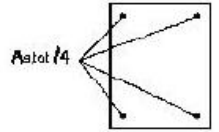


**Εικόνα 4.18.** Κανονιστική περιβάλλουσα καμπτικής ροπής σχεδιασμού [ $M_{Ed}$ ] σε όλο το ύψος του Τοιχώματος Κ14.

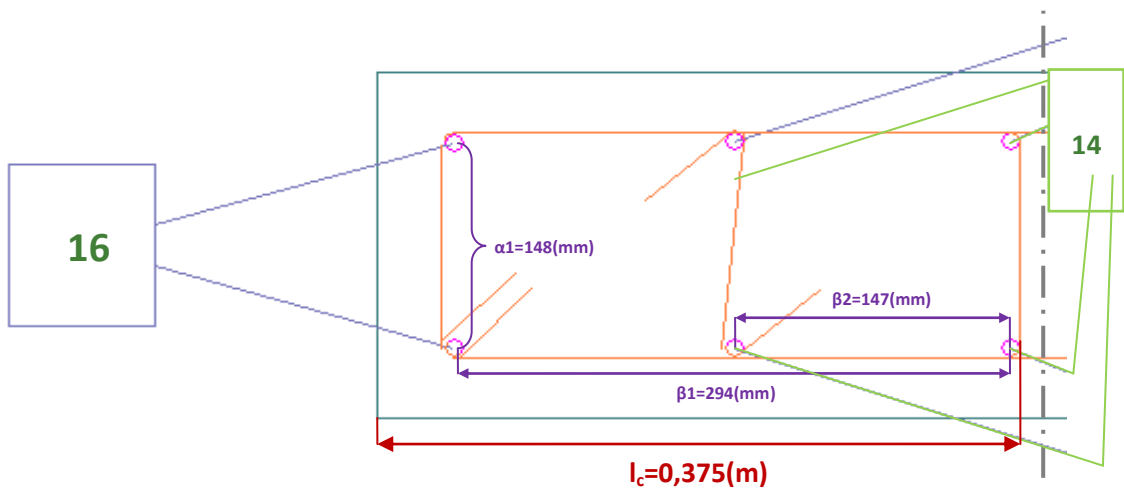
Διάγραμμα αλληλεπίδρασης για ορθογωνική διατομή σε διαξονική κάμψη σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2 (σημειακή κατανομή οπλισμού)



Όλες οι κατηγορίες σκυροδέματος Χάλυβας B500c  $d_1/h = b_1/b = 0.10$



Εικόνα 4.19. Διάγραμμα αλληλεπίδρασης για ορθογωνική διατομή σε διαξονική κάμψη (B500c, σημειακή κατανομή οπλισμού,  $d_1/h = b_1/b = 0,10$ ).<sup>[2]</sup>



Εικόνα 4.20. Τομή Τοιχώματος K14 σε απόσταση  $l_c$ , ώστε να φανεί η διατομή της κρυφο-κολώνας, αλλά και να πραγματοποιηθούν οι έλεγχοι των απαιτούμενων αποστάσεων ( $b_i$ ) μεταξύ των ράβδων οπλισμού (από το κέντρο της μίας ράβδου έως το κέντρο της άλλης), κατά τις δύο διευθύνσεις x και y του τοιχώματος.

#### 4.4.4 Διαστασιολόγηση Τοιχώματος K14 σε διάτμηση<sup>[2, 3]</sup>

Στα τοιχώματα, η διαστασιολόγηση σε διάτμηση, αφορά την εύρεση του απαιτούμενου διατμητικού οπλισμού στον πυρήνα τους, ο οποίος είναι γνωστός και ως «σχάρα», διότι αποτελείται από μία οριζόντια και μία κατακόρυφη τοποθέτηση οπλισμού, η οποία σχηματίζει ένα πλέγμα στο κέντρο κάθε τοιχώματος, δηλαδή στον κορμό του. Η κρίσιμη από τις δύο αυτές σχάρες, είναι η οριζόντια, σε σχέση με την κατακόρυφη, καθώς αυτή αναλαμβάνει την τέμνουσα δύναμη που αναπτύσσεται στην κατασκευή. Παρακάτω, περιγράφεται συνοπτικά η πορεία, μέσα από τα εξής διαδοχικά βήματα:

1. χάραξη της κανονιστικής περιβάλλουσας τεμνουσών δυνάμεων σχεδιασμού σε όλο το ύψος του τοιχώματος, με την λήψη των διαγραμμάτων των τεμνουσών (διαγράμματα από το στατικό πρόγραμμα Fespa) από το ισόγειο έως και τον τελευταίο όροφο (εδώ ο τελευταίος, είναι ο 2<sup>ος</sup> όροφος),
2. **έλεγχος επάρκειας θλιθόμενων διαγωνίων σκυροδέματος**, ο οποίος πραγματοποιείται με την μέγιστη τιμή της κανονιστικής τέμνουσας σχεδιασμού  $V_{Ed,max}$  και η οποία, απαιτείται να είναι **μικρότερη ή ίση** της Αντοχής Σχεδιασμού λοξού θλιπτήρα  $V_{Rd,max}$ , ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$V_{Ed,max} \leq V_{Rd,max}$$

3. υπολογισμός των απαιτούμενων οριζόντιων οπλισμών κορμού (οριζόντια σχάρα)  $A_{s,h}$  και επιλογή των ράβδων που θα τοποθετηθούν, όπου αρκεί η κανονιστική τέμνουσα σχεδιασμού  $V_{Ed,max}$  να είναι μικρότερη ή ίση με την αντοχή σε τέμνουσα που θα προσφέρει ο οριζόντιος τοποθετούμενος οπλισμός  $V_{Rd,s}$ , ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$V_{Ed,max} \leq V_{Rd,s}$$

4. υπολογισμός των απαιτούμενων κατακόρυφων οπλισμών κορμού (κατακόρυφη σχάρα)  $A_{s,v}$  και επιλογή των ράβδων που θα τοποθετηθούν, με βάση τον ελάχιστο απαιτούμενο διατμητικό οπλισμό τοιχώματος που προκύπτει, εφόσον η κατακόρυφη σχάρα, δεν είναι η κρίσιμη,
5. υπολογισμός των ελάχιστων συνδετήρων περίσφιξης των άκρων, δηλαδή εύρεση του οπλισμού διάτμησης των στύλων (κρυφο-κολώνες), στα άκρα του τοιχώματος  $A_{s,w,στύλων}$
6. και τέλος, γίνεται η τοποθέτηση του οπλισμού στην διατομή και η σχεδίαση ενδεικτικών σκαριφημάτων με την ακριβή θέση του.

Παρακάτω, ακολουθεί η επίλυση, με βάση τα όσα αναφέρθηκαν:<sup>[1, 2, 3, 4]</sup>

1. Σύμφωνα με την §5.4.2.4(6, 7 & 8) του Ε.Κ.8, σε λυγηρά τοιχώματα με λόγο:

$$\frac{h_w}{l_w} > 2,00 \Rightarrow \frac{9,00}{2,50} = 3,60 > 2,00 \Rightarrow \text{☺}$$

προκειμένου, να υπάρχει κάλυψη των αβεβαιοτήτων, λόγω ανώτερων ιδιομορφών, ως προς την μορφή του διαγράμματος των τεμνουσών δυνάμεων στο επίπεδο του τοιχώματος από την στατική ανάλυση [ $V'_{Ed}$ ], αλλά και την πιθανότητα αύξησής τους μετά την διαρροή της βάσης του τοιχώματος, διαμορφώνεται η κανονιστική περιβάλλουσα τεμνουσών δυνάμεων [ $V_{Ed}$ ], σύμφωνα με τα ακόλουθα βήματα (**Εικόνα 4.21**):

- αρχικά, λαμβάνεται το διάγραμμα των τεμνουσών δυνάμεων [ $V'_{Ed}$ ] του Τοιχώματος K14, από το στατικό πρόγραμμα Fespa,
- στην συνέχεια, η αρχική τέμνουσα σχεδιασμού της βάσης [ $V_{bot}$ ], αυξάνεται κατά 50%, οπότε προκύπτει η νέα τέμνουσα βάσης [ $V'_{bot}$ ], η οποία αποτελεί την κανονιστική τέμνουσα βάσης, με βάση την οποία, θα πραγματοποιηθεί η διαστασιολόγηση:

$$V'_{bot} = 1,50 * V_{bot} = 1,50 * 282,80 \Rightarrow V'_{bot} = 424,20(kN)$$

- ομοίως, κατά 50% αυξάνονται και όλες οι τέμνουσες μέχρι ύψος  $h_w/3$ , γίνεται δηλαδή κατακόρυφη μετάθεση της νέας τέμνουσας βάσης (κανονιστική τέμνουσα), σε ύψος  $h_w/3$ :

$$\frac{h_w}{3} = \frac{9}{3} \Rightarrow \frac{h_w}{3} = 3,00(m)$$

- υπολογίζεται η νέα τέμνουσα κορυφής  $|V'_{top}|$ , η οποία αποτελεί την κανονιστική τέμνουσα κορυφής και η οποία ισούται με το μισό της κανονιστικής τέμνουσας βάσης  $|V'_{bot}|$ :

$$V'_{top} = \frac{V'_{bot}}{2} = \frac{424,20}{2} \Rightarrow V'_{top} = 212,10(kN)$$

- και τέλος, ενώνεται το άκρο της κατακόρυφης μετάθεσης που έγινε πρωτύτερα, με την κανονιστική τέμνουσα κορυφής  $|V'_{top}|$ , ενώ η γραμμή, συνεχίζει έως την αρχική τιμή της τέμνουσας κορυφής  $|V_{top}|$  και έτσι προκύπτει η κανονιστική περιβάλλουσα των τεμνουσών, η οποία ονομάζεται έτσι, διότι περιβάλλονται σε αυτή όλες οι τέμνουσες).

2. **Ο έλεγχος επάρκειας θλιβόμενων διαγωνίων σκυροδέματος**, όπως αναφέρθηκε, πραγματοποιείται με την μέγιστη τιμή της κανονιστικής τέμνουσας σχεδιασμού  $V_{Ed,max}$ , η οποία ισούται με την κανονιστική τέμνουσα βάσης  $|V'_{bot}|$  που υπολογίστηκε παραπάνω, και προκειμένου να υπάρχει επάρκεια, θα πρέπει να ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$V_{Ed,max} \leq V_{Rd,max} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Ed,max} \leq \frac{\alpha_{cw} * b_w * z * v * f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 424,20 \leq \frac{1,00 * 0,25 * 2,00 * 0,552 * 20 * 10^3}{2,50 + 0,40} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 424,20(kN) \leq 1903,45(kN) \Rightarrow \text{😊}$$

- $\alpha_{cw} = 1,00$ : αυξητικός συντελεστής, ο οποίος λαμβάνεται ίσος με την μονάδα όταν υπάρχει θλιπτική αξονική δύναμη (όπως στην προκειμένη περίπτωση του Τοιχώματος K14, που εξετάζεται), καθώς οι αυξητικές τιμές επιτρέπονται από τον κανονισμό, μόνο σε περίπτωση προέντασης [§6.2.3(3), E.C.2]
- $b_w = 0,25(m)$ : το πλάτος της διατομής του τοιχώματος
- $z = 0,80 * l_w = 0,80 * 2,50 = 2,00(m)$ : μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων τοιχώματος
- $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,50} = 13,3333(MPa)$ : η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος ποιότητας: C<sub>20/25</sub>
- $\theta = 21,80^\circ \Rightarrow \cot \theta = \cot 21,80^\circ = 2,50$  και  $\tan \theta = \tan 21,80^\circ = 0,40$ : γωνία κλίσης των καμπτο-διατμητικών ρηγμάτων ως προς την κατακόρυφο (διαμήκης άξονας τοιχώματος), η οποία λαμβάνεται ως  $21,80^\circ$
- $v = 0,60 * \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,60 * \left[1 - \frac{20}{250}\right] = 0,552$ : συντελεστής μείωσης της αντοχής του λόγω διάτμησης ρηγματωμένου σκυροδέματος, με την τιμή του  $f_{ck}$ , να τοποθετείται στην σχέση MONO σε (MPa) [§6.2.2(6), E.C.2]

- $f_{ck} = 20(MPa)$ : η ελάχιστη χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου, σκυροδέματος ποιότητας: C<sub>20/25</sub>
- $V_{Ed,max} = 424,20(kN)$ : η κανονιστική τέμνουσα σχεδιασμού, η οποία προκύπτει από την κανονιστική περιβάλλουσα τεμνουσών δυνάμεων της **Εικόνας 4.21**, αλλά και από τον **Πίνακα 4.9** του αναλυτικού τεύχους της επίλυσης, για το Τοίχωμα K14

3. Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων οριζόντιων οπλισμών κορμού (οριζόντια σχάρα)  $A_{s,h}$ , αρκεί η κανονιστική τέμνουσα σχεδιασμού  $V_{Ed,max}$ , να είναι μικρότερη ή ίση με την αντοχή σε τέμνουσα που θα προσφέρει ο οριζόντιος τοποθετούμενος οπλισμός  $V_{Rd,s}$  [§6.2.1(1) και §6.2.3(3), E.C.2], ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$\begin{aligned}
 & \boxed{V_{Ed,max} \leq V_{Rd,c} \Rightarrow} \\
 & \Rightarrow V_{Ed,max} \leq \left(\frac{A_{s,h}}{s}\right) * z * f_{ywd} * \cot \theta \Rightarrow \\
 & \Rightarrow \left(\frac{A_{s,h}}{s}\right) \geq \frac{V_{Ed,max}}{z * f_{ywd} * \cot \theta} \Rightarrow \\
 & \Rightarrow \left(\frac{A_{s,h}}{s}\right) \geq \frac{424,20(kN) * 1,15}{2,00(m) * 500 * 10^3 \left(\frac{kN}{m^2}\right) * 2,50} \Rightarrow \\
 & \boxed{\Rightarrow \left(\frac{A_{s,h}}{s}\right) \geq 0,000195132(m) \approx 0,02(cm)}
 \end{aligned}$$

- $z = 0,80 * l_w = 0,80 * 2,50 = 2,00(m)$ : μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων τοιχώματος
- $f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_y} = \frac{500}{1,15} = 434,78(MPa)$ : η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του οπλισμού διάτμησης
- $\theta = 21,80^\circ \Rightarrow \cot \theta = \cot 21,80^\circ = 2,50$  και  $\tan \theta = \tan 21,80^\circ = 0,40$ : γωνία κλίσης των καμπτο-διατμητικών ρηγμάτων ως προς την κατακόρυφο (διαμήκης άξονας τοιχώματος), η οποία λαμβάνεται ως  $21,80^\circ$

Επιλέγεται λοιπόν για την οριζόντια σχάρα, να τοποθετηθούν ράβδοι διαμέτρου:  $\varnothing_8$  και σε απόσταση  $s$  μεταξύ τους, της οποίας η προτεινόμενη τιμή μπορεί να βρεθεί, επιλύοντας την ανίσωση που προέκυψε παραπάνω ως προς την ζητούμενη αυτή απόσταση  $s$ :

$$\begin{aligned}
 & \left(\frac{A_{s,h}}{s}\right) \geq 0,02 \Rightarrow \\
 & \Rightarrow s \leq \frac{A_{s,h}}{0,02} \Rightarrow \\
 & \Rightarrow s \leq \frac{1,01(cm^2)}{0,02(cm)} \Rightarrow \\
 & \Rightarrow s \leq 50,50(cm)
 \end{aligned}$$

- $A_{s,h} = 2\phi_8 = 2 * 0,503 \approx 1,01(cm^2)$ : εφόσον όπως αναφέρθηκε, θα τοποθετηθούν ράβδοι διαμέτρου:  $\phi_8$

Ωστόσο, σύμφωνα με την §9.6.3(1 & 2), του Ε.Σ.2, οι ελάχιστες απαιτήσεις για την επιλογή του οριζόντιου σπλισμού σχάρας, είναι οι παρακάτω και θα πρέπει να τηρούνται:

$$A_{s,h,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 25\% * A_{s,v} = 25\% * 1,01 = 0,25(cm^2) \\ 0,001 * A_c = 0,001 * 6250,00 = 6,25(cm^2) \end{array} \right\} \Rightarrow A_{s,h,min} = 6,25(cm^2)$$

$$\text{και: } s_{h,max} = 400(mm)$$

- $A_{s,v} = 2\phi_8 = 2 * 0,503 \approx 1,01(cm^2)$ : κατακόρυφος σπλισμός σχάρας, εφόσον θα τοποθετηθούν ράβδοι διαμέτρου:  $\phi_8$
- $A_c = l_w * b_w = 2,50 * 0,25 = 6250,00(cm^2)$ : το εμβαδόν της διατομής του Τοιχώματος Κ14

Επομένως, επιλέγεται να τοποθετηθεί οριζόντιος σπλισμός σχάρας  $A_{s,h}$ , που ικανοποιεί τις απαιτήσεις της §9.6.3(1 & 2), του Ε.Σ.2, με διάμετρο:  $\phi_8$  και ανά 20(cm) απόσταση s:

$$A_{s,h} = \phi_8/20(cm)$$

4. Ο κατακόρυφος σπλισμός σχάρας ( $A_{s,v}$ ), δεν αποτελεί την κρίσιμη σχάρα, εφόσον δεν παραλαμβάνει άμεσα την τέμνουσα, αλλά λειτουργεί περισσότερο υποστηρικτικά στην οριζόντια σχάρα, προκειμένου να μην λυγίσει και έτσι αναλαμβάνει έμμεσα τις διατμητικές αναπτυσσόμενες δυνάμεις. Για τον λόγο αυτό, ως κατακόρυφη σχάρα, τοποθετείται απευθείας, άνευ υπολογισμού ο ελάχιστος απαιτούμενος σπλισμός, με βάση την §9.6.2(1, 2 & 3), του Ε.Σ.2 και ο οποίος τοποθετείται σε όλο το ύψος του τοιχώματος, με βάση τα παρακάτω:

- $\frac{A_{s,v,min}}{s} = 0,002 * A_c = 0,002 * 2500,00 \Rightarrow \frac{A_{s,v,min}}{s} = 5,00(cm^2)$
- $A_{s,v,max} = 0,04 * A_c = 0,04 * 2500,00 \Rightarrow A_{s,v,max} = 100,00(cm^2)$
- $s_{v,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3 * b_{wo} = 3 * 250 = 750(mm) \\ 400(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow s_{v,max} = 400(mm)$

όπου:

- $A_c = b_w * 100 = 0,25 * 100 = 2500,00(cm^2)$ : το εμβαδόν της διατομής
- $b_{wo} = b_w = 0,25(m)$ : το πλάτος της διατομής του τοιχώματος.

Επιλέγεται λοιπόν για την κατακόρυφη σχάρα, να τοποθετηθούν ράβδοι διαμέτρου:  $\phi_8$  και σε απόσταση s μεταξύ τους, της οποίας η προτεινόμενη τιμή μπορεί να βρεθεί, επιλύοντας την ανίσωση που προέκυψε παραπάνω ως προς την ζητούμενη αυτή απόσταση s:

$$\left( \frac{A_{s,v,min}}{s \text{ (σε m)}} \right) \geq 5 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow s \leq \frac{A_{s,v,min}}{5} \Rightarrow$$



$$\Rightarrow s \leq \frac{1,01(\text{cm}^2)}{5(\text{cm}^2)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow s \leq 0,202(\text{m}) = 20,20(\text{cm})$$

- $A_{s,v,min} = 2\phi_8 = 2 * 0,503 \approx 1,01(\text{cm}^2)$ : εφόσον όπως αναφέρθηκε, θα τοποθετηθούν ράβδοι διαμέτρου:  $\phi_8$

Επομένως, επιλέγεται να τοποθετηθεί κατακόρυφος οπλισμός σχάρας  $A_{s,v}$ , που ικανοποιεί τις απαιτήσεις της §9.6.2(1, 2 & 3), του Ε.Κ.2, με διάμετρο:  $\phi_8$  και ανά **20(cm)** απόσταση  $s$ :

$$A_{s,v} = \phi_8/20(\text{cm})$$

5. Για τον υπολογισμό των ελάχιστων συνδετήρων περίσφιξης των άκρων, δηλαδή του οπλισμού διάτμησης των στύλων (κρυφο-κολώνες), στα άκρα του τοιχώματος ( $A_{s,w,στύλων}$ ), ισχύουν οι διατάξεις της §5.4.3.4.2(9), του Ε.Κ.8, η οποία παραπέμπει στην §5.4.3.2.2(9 & 11), του Ε.Κ.8 και επιβάλλει τα ισχύοντα για την περίσφιξη των υποστυλωμάτων ως εξής:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_o}{2} = \frac{172}{2} = 86(\text{mm}) \\ 8 * \phi_{l,min} = 8 * 14 = 112(\text{mm}) \\ 175(\text{mm}) \end{array} \right\} \Rightarrow s = 86(\text{mm}) \approx 8,50(\text{cm})$$

- $b_o = b_w - (2 * c_{nom}) - \phi_w = 250 - (2 * 35) - 8 = 172(\text{mm})$ : το πλάτος του περισφιγμένου πυρήνα (έως τον άξονα των συνδετήρων) (όπου  $\phi_w$ : η διάμετρος των ράβδων των συνδετήρων)
- $\phi_{l,min} = \phi_{12} = 14(\text{mm})$ : η μικρότερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων που συμμετέχει στην κάμψη

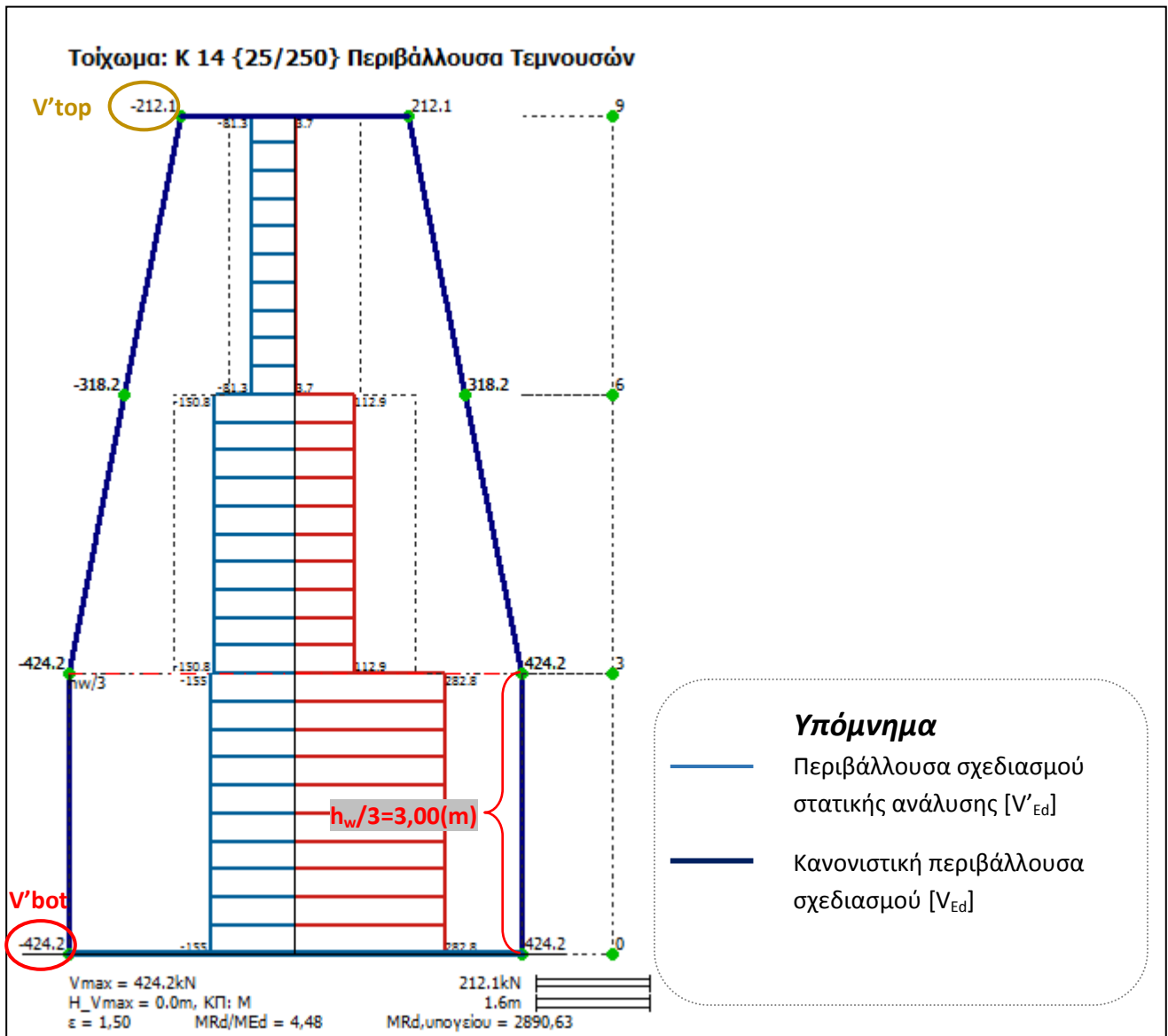
Επιλέγεται ως οπλισμός διάτμησης των στύλων (κρυφο-κολώνες), στα άκρα του τοιχώματος ( $A_{s,w,στύλων}$ ), να τοποθετηθούν ράβδοι διαμέτρου:  $\phi_8$  και ανά **8,50(cm)** απόσταση  $s$  και τέσσερις (4) ράβδοι, διαμέτρου:  $\phi_8$  ανά ένα (1) τετραγωνικό μέτρο ( $\text{m}^2$ ) και σε σχήμα “S”:

$$A_{s,w,στύλων} = \phi_8/8,50(\text{cm}) + 4\phi_8/(\text{m}^2)$$

6. Τέλος, στην **Εικόνα 4.17** παρακάτω, φαίνεται η τελική επιλογή τοποθέτησης του οπλισμού διάτμησης στην διατομή, σε κάτοψη.

Πίνακας 4.9. Μέγιστα εγκάρσιου οπλισμού για το Τοίχωμα Κ14.

Φορτία [/]	Διεύθυνση [/]	$v_d$ [/]	$V_{Ed}$ [kN]	$T_{Ed}$ [kNm]	$V'_{Rd,c}$ [kN]	$V_{Rd,c}$ [kN]	$V_{Rd,max}$ [kN]
ΣΣ:+x	Z	-0,095	+424,21	0,27	288,56	272,51	1840,00



Εικόνα 4.21. Κανονιστική περιβάλλουσα τεμνουσών δυνάμεων σχεδιασμού [ $V_{Ed}$ ] σε όλο το ύψος του Τοιχώματος Κ14.

1. **Ευρωκώδικας 8-E.C.8 (EN 1998-1: 2004 GR)**. Αντισεισμικός Σχεδιασμός, Μέρος 1: Γενικοί Κανόνες, Σεισμικές Δράσεις και Κανόνες για Κτίρια. Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση (C.E.N.). Σελ.: 86-88, 98, 101-104, 110-117.
2. **Ιγνατάκης Χρ., Σέξτος Α. (2015)**. Κτίρια από Οπλισμένο Σκυρόδεμα: Διαστασιολόγηση σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 2 και 8. Εκδόσεις "Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών". Αθήνα (Ελλάδα), 2015, σελ.: 173-190.
3. **Στεφανίδου Σ. (2018)**. Διάλεξη 6<sup>η</sup>. Σημειώσεις μαθήματος «Οπλισμένο Σκυρόδεμα III». Α.Τ.Ε.Ι.Θ. Σελ.: 6-7, 52-103.
4. **Ευρωκώδικας 2-E.C.2 (EN 1992-1-1: 2004 GR)**. Σχεδιασμός Φορέων από Σκυρόδεμα, Μέρος 1-1: Γενικοί Κανόνες και Κανόνες για Κτίρια. Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση (C.E.N.). Σελ.: 116-118, 197, 213-214.

## 4.5 Αποτελέσματα στατικού προγράμματος Fespa

Σε αυτή την παράγραφο, παρατίθενται τα αποτελέσματα από το αναλυτικό τεύχος της επίλυσης που συνοδεύει τον Φορέα Ι (Ι.Π.Π.), που πραγματοποιήθηκε με το στατικό πρόγραμμα Fespa (έκδοση: 7.6.0.4). Συγκεκριμένα, επισυνάπτονται όλα τα εντατικά μεγέθη, καθώς και όσα θεωρήθηκαν από το πρόγραμμα κρίσιμα (και με βάση τα οποία, έγινε και η παραπάνω διαστασιολόγηση, ακολουθώντας τις διατάξεις του κανονισμού), αλλά και η συνολική προμέτρηση του κτιρίου σε απαιτούμενο όγκο Σκυροδέματος και βάρους Σιδηρού Οπλισμού.

**!Σημειώνεται** ότι το Τοίχωμα K14, εμφανίζεται στο πρόγραμμα, με το όνομα: «Υποστύλωμα K14», καθώς ως τέτοιο προσομοιώνεται.

### 4.5.1 Διαστασιολόγηση Υποστυλώματος K13 (όροφος: 0, νο: 13)

#### K13, Όροφος 0

##### Γενικά δεδομένα

<b>Κόμβοι</b>	Αρχή: 13(-1)	Τέλος: 13(0)	Μέλος: 37
<b>Διατομή</b>	Ορθογωνική: 45/45 /d'=5,5		
<b>Υλικά</b>	Σκυρόδεμα C20/25	Χάλυβας: B500C	Υψος = 3,00 [m]
<b>Κοντό= Οχι</b>	Ητολ=0,00 - αs=3,40		
<b>Κανονισμός</b>	Πλαστικότητα : ΚΠΜ	Πλάστημα Τοίχωμα: Οχι	Κύριο Μέλος
<b>ΣΠΕΜ</b>	[X]= 1,00	[Z]= 1,00	

##### Εντατικά μεγέθη

A/A Φόρτ [/]	Αρχή My [kNm]	13(-1) Mz [kNm]	Vy [kN]	Vz [kN]	Τέλος My [kNm]	13(0) Mz [kNm]	Vy [kN]	Vz [kN]	Αξονική N [kN]	Στρέψη T [kNm]
G	15,05	11,10	-2,43	-8,81	-11,39	3,82	-2,43	-8,81	-576,31	0,01
Q	3,24	-0,80	1,50	-1,97	-2,66	3,69	1,50	-1,97	-104,98	0,00
QA	1,61	0,74	-0,57	-1,09	-1,67	-0,97	-0,57	-1,09	-44,13	0,00
QB	1,62	-1,54	2,07	-0,87	-0,99	4,66	2,07	-0,87	-60,85	0,00
QC	3,44	-0,27	1,16	-2,10	-2,86	3,20	1,16	-2,10	-102,88	0,00
QD	2,24	1,90	-1,18	-1,48	-2,20	-1,65	-1,18	-1,48	-37,85	0,00
QE	2,51	-1,65	2,04	-1,46	-1,88	4,46	2,04	-1,46	-75,25	0,00
[G+ψ2xQ]	16,02	10,86	-1,98	-9,40	-12,19	4,93	-1,98	-9,40	-607,81	0,01
1.35G+1.05Q	23,71	14,15	-1,70	-13,96	-18,17	9,03	-1,70	-13,96	-888,25	0,01
1.35G+1.05QA	22,01	15,76	-3,87	-13,04	-17,12	4,14	-3,87	-13,04	-824,35	0,01
1.35G+1.05QB	22,02	13,37	-1,11	-12,81	-16,42	10,05	-1,11	-12,81	-841,92	0,01
1.35G+1.05QC	23,93	14,71	-2,06	-14,10	-18,38	8,51	-2,06	-14,10	-886,04	0,01
1.35G+1.05QD	22,66	16,98	-4,52	-13,45	-17,68	3,42	-4,52	-13,45	-817,77	0,01
1.35G+1.05QE	22,95	13,25	-1,14	-13,43	-17,34	9,84	-1,14	-13,43	-857,03	0,01
1.15G+1.50Q	22,12	11,54	-0,54	-13,06	-17,06	9,92	-0,54	-13,06	-818,79	0,01
1.15G+1.50QA	19,69	13,85	-3,64	-11,75	-15,57	2,93	-3,64	-11,75	-727,51	0,01
1.15G+1.50QB	19,70	10,43	0,31	-11,42	-14,56	11,37	0,31	-11,42	-752,60	0,01
1.15G+1.50QC	22,43	12,34	-1,05	-13,26	-17,36	9,18	-1,05	-13,26	-815,63	0,01
1.15G+1.50QD	20,62	15,59	-4,56	-12,33	-16,37	1,90	-4,56	-12,33	-718,10	0,01
1.15G+1.50QE	21,03	10,26	0,27	-12,31	-15,88	11,08	0,27	-12,31	-774,19	0,00
ΣΣ: +x	68,50	73,44	36,84	24,33	36,53	58,80	36,84	24,33	-570,93	0,13
ΣΣ: +y	-36,46	-51,72	-40,80	-43,13	-60,90	-48,95	-40,80	-43,13	-644,69	0,13
ΣΣ: +z	74,16	76,93	39,03	27,95	41,72	61,90	39,03	27,95	-570,94	0,19
ΣΣ: -x	-42,13	-55,21	-42,99	-46,75	-66,09	-52,04	-42,99	-46,75	-644,68	0,19
ΣΣ: -y	73,20	74,05	37,24	27,32	40,79	59,40	37,24	27,32	-573,18	0,33
ΣΣ: -z	-41,16	-52,33	-41,20	-46,12	-65,16	-49,55	-41,20	-46,12	-642,43	0,33
ΣΣ: -z	74,50	66,66	32,62	28,16	42,03	52,93	32,62	28,16	-573,75	0,25
ΣΣ: -z	-42,46	-44,94	-36,58	-46,97	-66,40	-43,07	-36,58	-46,97	-641,86	0,25
1.00G+1.00Q	18,29	10,30	-0,93	-10,78	-14,05	7,51	-0,93	-10,78	-681,29	0,01
1.00[G+ψ2xQ]	16,02	10,86	-1,98	-9,40	-12,19	4,93	-1,98	-9,40	-607,81	0,01

##### Συντελεστές Ικανοτικού ελέγχου κόμβων

Κόμβος	Τοπ. Διευθ.	aCD_1	aCD_2
13(-1)	Y	1,00	1,00
13(-1)	Z	1,00	1,00
13(0)	Y	3,51	3,54
13(0)	Z	4,25	4,25

Fespa 17 7.6.0.4 - τεύχος.tfz - Σελίδα 598/1087

**Φορτίσεις - Επάρκεια διατομής σε κάμψη (με Έλεγχο Κόμβων)**

Φόρτ [/]	Κόμβος [/]	vd [/]	NEd [kN]	MEdy [kNm]	MEdz [kNm]	λ = Ed/Rd [/]
1.35G+1.05Q	13(-) +	-0,333	-898,50	23,71	14,15	0,31
1.35G+1.05QA	13(-) +	-0,309	-834,61	22,01	15,76	0,30
1.35G+1.05QB	13(-) +	-0,316	-852,17	22,02	13,37	0,30
1.35G+1.05QC	13(-) +	-0,332	-896,29	23,93	14,71	0,31
1.35G+1.05QD	13(-) +	-0,307	-828,02	22,66	16,98	0,30
1.35G+1.05QE	13(-) +	-0,321	-867,28	22,95	13,25	0,30
1.15G+1.50Q	13(-) +	-0,306	-827,50	22,12	11,54	0,29
1.15G+1.50QA	13(-) +	-0,273	-736,22	19,69	13,85	0,26
1.15G+1.50QB	13(-) +	-0,282	-761,31	19,70	10,43	0,26
1.15G+1.50QC	13(-) +	-0,305	-824,35	22,43	12,34	0,29
1.15G+1.50QD	13(-) +	-0,269	-726,81	20,62	15,59	0,26
1.15G+1.50QE	13(-) +	-0,290	-782,90	21,03	10,26	0,27
ΣΣ:+x	13(-) +	-0,214	-578,52	-18,45	-44,48	0,28
ΣΣ:+x	13(-) +	-0,242	-652,28	50,49	66,20	0,42
ΣΣ:+x	13(-) +	-0,237	-639,62	68,50	26,71	0,36
ΣΣ:+x	13(-) +	-0,219	-591,18	-36,46	-4,99	0,24
ΣΣ:+x	13(-) +	-0,240	-648,01	29,31	73,44	0,40
ΣΣ:+x	13(-) +	-0,216	-582,79	2,73	-51,72	0,29
ΣΣ:+z	13(-) +	-0,214	-578,53	-18,37	-44,43	0,28
ΣΣ:+z	13(-) +	-0,242	-652,27	50,41	66,16	0,42
ΣΣ:+z	13(-) +	-0,236	-637,21	74,16	15,93	0,36
ΣΣ:+z	13(-) +	-0,220	-593,59	-42,13	5,80	0,26
ΣΣ:+z	13(-) +	-0,239	-646,26	20,48	76,93	0,39
ΣΣ:+z	13(-) +	-0,216	-584,55	11,56	-55,21	0,30
ΣΣ:-x	13(-) +	-0,215	-580,78	-15,91	-40,36	0,27
ΣΣ:-x	13(-) +	-0,241	-650,03	47,94	62,08	0,40
ΣΣ:-x	13(-) +	-0,235	-634,73	73,20	10,12	0,34
ΣΣ:-x	13(-) +	-0,221	-596,07	-41,16	11,60	0,26
ΣΣ:-x	13(-) +	-0,238	-643,47	15,35	74,05	0,38
ΣΣ:-x	13(-) +	-0,218	-587,33	16,69	-52,33	0,30
ΣΣ:-z	13(-) +	-0,215	-581,35	-22,40	-34,10	0,26
ΣΣ:-z	13(-) +	-0,241	-649,46	54,43	55,82	0,40
ΣΣ:-z	13(-) +	-0,236	-637,77	74,50	16,58	0,36
ΣΣ:-z	13(-) +	-0,220	-593,03	-42,46	5,14	0,26
ΣΣ:-z	13(-) +	-0,238	-642,84	22,01	66,66	0,36
ΣΣ:-z	13(-) +	-0,218	-587,96	10,02	-44,94	0,27
1.35G+1.05Q	13(0) -	-0,325	-878,00	-18,17	9,03	0,30
1.35G+1.05QA	13(0) -	-0,302	-814,10	-17,12	4,14	0,27
1.35G+1.05QB	13(0) -	-0,308	-831,67	-16,42	10,05	0,28
1.35G+1.05QC	13(0) -	-0,324	-875,79	-18,38	8,51	0,29
1.35G+1.05QD	13(0) -	-0,299	-807,52	-17,68	3,42	0,27
1.35G+1.05QE	13(0) -	-0,314	-846,78	-17,34	9,84	0,29
1.15G+1.50Q	13(0) -	-0,300	-810,08	-17,06	9,92	0,27
1.15G+1.50QA	13(0) -	-0,266	-718,79	-15,57	2,93	0,24
1.15G+1.50QB	13(0) -	-0,276	-743,89	-14,56	11,37	0,25
1.15G+1.50QC	13(0) -	-0,299	-806,92	-17,36	9,18	0,27
1.15G+1.50QD	13(0) -	-0,263	-709,39	-16,37	1,90	0,24
1.15G+1.50QE	13(0) -	-0,284	-765,48	-15,88	11,08	0,26
ΣΣ:+x	13(0) -	-0,209	-563,33	19,94	52,50	0,30
ΣΣ:+x	13(0) -	-0,236	-637,10	-44,31	-42,65	0,34
ΣΣ:+x	13(0) -	-0,231	-624,54	-230,20	-8,80	0,83
ΣΣ:+x	13(0) -	-0,213	-575,89	230,20	18,65	0,85
ΣΣ:+x	13(0) -	-0,234	-632,78	-24,60	-201,60	0,86
ΣΣ:+x	13(0) -	-0,210	-567,65	0,23	200,11	0,83
ΣΣ:+z	13(0) -	-0,209	-563,35	19,87	52,46	0,30
ΣΣ:+z	13(0) -	-0,236	-637,08	-44,24	-42,61	0,34
ΣΣ:+z	13(0) -	-0,230	-622,14	-230,20	0,57	0,82
ΣΣ:+z	13(0) -	-0,214	-578,29	230,20	9,28	0,84
ΣΣ:+z	13(0) -	-0,234	-630,97	-16,30	-201,60	0,85
ΣΣ:+z	13(0) -	-0,211	-569,45	-8,07	200,11	0,84
ΣΣ:-x	13(0) -	-0,209	-565,59	17,55	48,88	0,29
ΣΣ:-x	13(0) -	-0,235	-634,84	-41,92	-39,03	0,32
ΣΣ:-x	13(0) -	-0,229	-619,65	-230,20	5,68	0,83
ΣΣ:-x	13(0) -	-0,215	-580,78	230,20	4,17	0,83
ΣΣ:-x	13(0) -	-0,233	-628,15	-11,45	-201,60	0,84
ΣΣ:-x	13(0) -	-0,212	-572,28	-12,92	200,11	0,84
ΣΣ:-z	13(0) -	-0,210	-566,16	23,54	43,44	0,28

**Φορτίσεις - Επάρκεια διατομής σε κάμψη (με Έλεγχο Κόμβων)**

Φόρτ [/]	Κόμβος [/]	vd [/]	NEd [kN]	MEdy [kNm]	MEdz [kNm]	λ = Ed/Rd [/]
ΣΣ:-z	13(0) -	-0,235	-634,27	-47,91	-33,59	0,32
ΣΣ:-z	13(0) -	-0,231	-622,65	-230,20	0,12	0,82
ΣΣ:-z	13(0) -	-0,214	-577,77	230,20	9,73	0,84
ΣΣ:-z	13(0) -	-0,232	-627,54	-17,61	-201,60	0,85
ΣΣ:-z	13(0) -	-0,212	-572,89	-6,76	200,11	0,84
1.35G+1.05Q	13(0) +	-0,220	-592,96	7,83	-34,64	0,25
1.35G+1.05QA	13(0) +	-0,207	-558,55	7,23	-29,35	0,23
1.35G+1.05QB	13(0) +	-0,206	-556,43	6,85	-32,69	0,23
1.35G+1.05QC	13(0) +	-0,219	-591,65	8,18	-34,09	0,25
1.35G+1.05QD	13(0) +	-0,203	-547,56	8,18	-26,13	0,22
1.35G+1.05QE	13(0) +	-0,212	-572,97	7,09	-35,25	0,24
1.15G+1.50Q	13(0) +	-0,202	-545,07	7,57	-33,63	0,23
1.15G+1.50QA	13(0) +	-0,184	-495,90	6,72	-26,08	0,20
1.15G+1.50QB	13(0) +	-0,183	-492,87	6,16	-30,84	0,21
1.15G+1.50QC	13(0) +	-0,201	-543,19	8,07	-32,84	0,23
1.15G+1.50QD	13(0) +	-0,178	-480,21	8,07	-21,48	0,19
1.15G+1.50QE	13(0) +	-0,191	-516,50	6,52	-34,50	0,23
ΣΣ:+x	13(0) +	-0,141	-381,34	-31,51	-65,14	0,34
ΣΣ:+x	13(0) +	-0,160	-432,56	41,67	20,41	0,24
ΣΣ:+x	13(0) +	-0,158	-425,57	230,20	-10,41	0,88
ΣΣ:+x	13(0) +	-0,144	-388,32	-230,20	-34,32	0,94 *
ΣΣ:+x	13(0) +	-0,159	-428,02	16,65	194,43	0,85
ΣΣ:+x	13(0) +	-0,143	-385,87	-6,49	-192,99	0,84
ΣΣ:+z	13(0) +	-0,141	-381,32	-32,51	-64,19	0,34
ΣΣ:+z	13(0) +	-0,160	-432,58	42,67	19,46	0,24
ΣΣ:+z	13(0) +	-0,157	-424,32	230,20	-19,11	0,90
ΣΣ:+z	13(0) +	-0,144	-389,57	-230,20	-25,63	0,92

ΣΣ:+z	13(0) +	-0,158	-426,46	8,37	194,43	0,84
ΣΣ:+z	13(0) +	-0,143	-387,44	1,79	-192,99	0,84
ΣΣ:-x	13(0) +	-0,142	-383,04	-30,23	-60,69	0,32
ΣΣ:-x	13(0) +	-0,160	-430,86	40,39	15,95	0,22
ΣΣ:-x	13(0) +	-0,156	-422,51	230,20	-23,89	0,91
ΣΣ:-x	13(0) +	-0,145	-391,39	-230,20	-20,84	0,91
ΣΣ:-x	13(0) +	-0,157	-424,34	3,51	194,43	0,83
ΣΣ:-x	13(0) +	-0,144	-389,56	6,65	-192,99	0,84
ΣΣ:-z	13(0) +	-0,142	-383,05	-35,95	-55,85	0,32
ΣΣ:-z	13(0) +	-0,160	-430,85	46,11	11,11	0,23
ΣΣ:-z	13(0) +	-0,157	-424,55	230,20	-18,78	0,90
ΣΣ:-z	13(0) +	-0,144	-389,35	-230,20	-25,96	0,92
ΣΣ:-z	13(0) +	-0,157	-424,14	9,38	194,43	0,84
ΣΣ:-z	13(0) +	-0,144	-389,75	0,78	-192,99	0,84

#### Διαστασιολόγηση σε κάμψη

Φόρτ [J]	Κόμβος [J]	vd [J]	NEd [kN]	MEdy [kNm]	MEdz [kNm]	λ = Ed/Rd [J]
ΣΣ:+x	13(0) +	-0,144	-388,32	-230,20	-34,32	0,94

#### Ράβδοι Διατομής

Ομάδα Οπλισμού	Αριθμός Ραβδών	Οπλισμός [mm²]	Ποσοστό οπλισμού [%]
1	4Φ18	1018	
2	2Φ16	402	
3	6Φ16	1206	
Σύνολα	12 Ράβδοι	2626	1,297%

#### Συντελεστής Ικανοτικού σχεδιασμού σε Τέμνουσα EC8-5.4.2.3(2)

Κόμβος	Τοπ.Διευθ.	(ΣMRb/ΣMRc)_1	(ΣMRb/ΣMRc)_2
13(0)	Y	0,65	0,65
13(0)	Z	0,64	0,65

#### Διάτρηση, στρέψη, περισφιγξη και διάτρηση κόμβου

Φορτ [J]	Διε [J]	vd [J]	VEd [kN]	TEd [kNm]	V'Rdc [kN]	VRdc [kN]	cotθ [J]	Συντελεστής λκρ=0,50 τυ.[mm/cm/cm]	ωwd [J]
1.35G+1.05Q	Y	-0,329	1,70	0,01	63,07	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.35G+1.05Q	Z	-0,329	13,96	0,01	63,07	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.35G+1.05QA	Y	-0,305	3,87	0,01	66,03	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.35G+1.05QA	Z	-0,305	13,04	0,01	66,03	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.35G+1.05QB	Y	-0,312	1,11	0,01	65,22	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.35G+1.05QB	Z	-0,312	12,81	0,01	65,22	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.35G+1.05QC	Y	-0,328	2,06	0,01	63,18	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.35G+1.05QC	Z	-0,328	14,10	0,01	63,18	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.35G+1.05QD	Y	-0,303	4,52	0,01	66,34	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.35G+1.05QD	Z	-0,303	13,45	0,01	66,34	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.35G+1.05QE	Y	-0,317	1,14	0,01	64,52	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.35G+1.05QE	Z	-0,317	13,43	0,01	64,52	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.15G+1.50Q	Y	-0,303	0,54	0,01	66,29	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.15G+1.50Q	Z	-0,303	13,06	0,01	66,29	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.15G+1.50QA	Y	-0,269	3,64	0,01	70,52	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.15G+1.50QA	Z	-0,269	11,75	0,01	70,52	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.15G+1.50QB	Y	-0,279	0,31	0,01	69,36	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.15G+1.50QB	Z	-0,279	11,42	0,01	69,36	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.15G+1.50QC	Y	-0,302	1,05	0,01	66,44	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.15G+1.50QC	Z	-0,302	13,26	0,01	66,44	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.15G+1.50QD	Y	-0,266	4,56	0,01	70,96	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.15G+1.50QD	Z	-0,266	12,33	0,01	70,96	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.15G+1.50QE	Y	-0,287	0,27	0,00	68,36	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
1.15G+1.50QE	Z	-0,287	12,31	0,00	68,36	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24
ΣΣ:+x	Y	-0,211	125,08	0,13	77,77	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24 n
ΣΣ:+x	Z	-0,211	145,57	0,13	77,77	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24 n
ΣΣ:+x	Y	-0,239	124,67	0,13	74,36	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24 n
ΣΣ:+x	Z	-0,239	145,57	0,13	74,36	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24 n
ΣΣ:+z	Y	-0,211	129,81	0,19	77,77	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24 n
ΣΣ:+z	Z	-0,211	152,93	0,19	77,77	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24 n
ΣΣ:+z	Y	-0,239	129,40	0,19	74,36	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24 n
ΣΣ:+z	Z	-0,239	152,93	0,19	74,36	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/17.5	0,24 n
ΣΣ:-x	Y	-0,212	130,75	0,33	77,67	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/18	0,24 n
ΣΣ:-x	Z	-0,212	154,01	0,33	77,67	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/18	0,24 n
ΣΣ:-x	Y	-0,238	130,33	0,33	74,46	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/18	0,24 n
ΣΣ:-x	Z	-0,238	154,01	0,33	74,46	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/18	0,24 n
ΣΣ:-z	Y	-0,213	125,25	0,25	77,64	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/18	0,24 n
ΣΣ:-z	Z	-0,213	152,87	0,25	77,64	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/18	0,24 n
ΣΣ:-z	Y	-0,238	124,83	0,25	74,49	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/18	0,24 n
ΣΣ:-z	Z	-0,238	152,87	0,25	74,49	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/18	0,24 n

\* ==> Αντίσταση σε τέμνουσα: Διε. Y: VRdmax = 588,71kN - Διε. Z: VRdmax = 588,71kN

#### Μέγιστα εγκάρσιου οπλισμού

Φορτ [J]	Διε [J]	vd [J]	VEd [kN]	TEd [kNm]	V'Rdc [kN]	VRdc [kN]	cotθ [J]	Συντελεστής λκρ=0,50 τυ.[mm/cm/cm]	ωwd [J]
ΣΣ:-x	Y	-0,212	130,75	0,33	77,67	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/18	0,24 n
ΣΣ:-x	Z	-0,212	154,01	0,33	77,67	156,88	1,20	3τυ.ΣΦ8/12.5/18	0,24 n

\* ==> Αντίσταση σε τέμνουσα: Διε. Y: VRdmax = 588,71kN - Διε. Z: VRdmax = 588,71kN

#### Ράβδοι οπλισμού υποστυλώματος: Κ 13(0)

Διαμήκης οπλισμός [J]	Συντελεστής Εσχάρης [J]	Σιγμοειδής Οπλισμός [J]	Ομοιομ. οπλισμού [J]	λ = Ed/Rd [J]	Ποσοστό οπλισμού [%]	Θέση Ελέγχου [-]
4Φ18 + 8Φ16	ΣΦ8/12.5		Ναι	0,94	1,297%	Βάση άνω ορόφου

#### Προμέτρηση υποστυλώματος Κ 13

##### Ποσότητες σιδηρού οπλισμού

Φ8	Φ16	Φ18	Μέτρα
62,41	32,97	17,05	
24,63	52,03	34,04	Kg B500C

##### Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού

Επιφάνεια Ξιλοτύπου Αφαιρούνται	[m²]	5,40	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	110,70
Ολική επιφάνεια Ξιλοτύπου <th>[m²]</th> <td>5,40 <td>Ογκος Σκυροδέματος <th>[m³]</th> <td>0,60</td> </td></td>	[m²]	5,40 <td>Ογκος Σκυροδέματος <th>[m³]</th> <td>0,60</td> </td>	Ογκος Σκυροδέματος <th>[m³]</th> <td>0,60</td>	[m³]	0,60
	[m²]	5,40 <td>Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ. <th>[Kg/m³]</th> <td>182,20</td> </td>	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ. <th>[Kg/m³]</th> <td>182,20</td>	[Kg/m³]	182,20

#### 4.5.2 Διαστασιολόγηση Δοκού Δ6.1 (όροφος: 0 ,νο: 6.1)

### Δοκός: Δ6.1, Όροφος 0

#### Γενικά δεδομένα δοκού

Κόμβοι	Αρχή: 9	Τέλος: 13	Μέλος: 106	ΣΠΕΜ = 1,00
Διατομή	Πλακοδόκος		Ανοδομή	Ακαμπτές απολήξεις
Διαστάσεις	25/60/191/16/5,2 [cm]		Μήκος l <sub>d</sub> =5,71m	Bl=0,23m   Br=0,22m
Υλικά	Σκυρόδεμα: C20/25	Χάλυβος: B500C	Συνδετήρες: B500C	
Κανονισμός	ΚΠΜ	Κύρια δοκός	Ανακατανομή ροπών=Ναι	

#### Ενταπτικά μεγέθη

Φόρτ [/]	w [kN/m]	Αρχή M [kNm]	[ 9 ] V [kN]	Τέλος M [kNm]	[ 13 ] V [kN]	Αξονική N [kN]	Στρέψη T [kNm]	maxM [kNm]
G	24,14	-31,36	62,07	-70,15	-75,67	32,78	-0,04	47,48
Q	5,95	-7,55	15,33	-16,90	-18,60	6,09	0,01	11,97
QA	0,00	-0,34	-0,15	-1,22	-0,15	4,35	0,03	-0,43
QB	5,95	-7,20	15,48	-15,68	-18,45	1,75	-0,01	12,75
QC	5,95	-8,74	15,74	-15,70	-18,18	5,56	0,00	11,97
QD	0,00	0,60	-0,34	-1,37	-0,34	1,31	0,03	0,40
QE	5,95	-7,74	15,46	-16,31	-18,47	5,28	-0,03	12,17
[G+ψ2XQ]	25,93	-33,62	66,67	-75,22	-81,25	34,61	-0,04	51,07
1.35G+1.05Q	38,84	-50,26	99,89	-112,44	-121,69	50,65	-0,05	76,67
1.35G+1.05QA	32,60	-42,69	83,64	-95,98	-102,32	48,81	-0,03	63,30
1.35G+1.05QB	38,84	-49,89	100,05	-111,16	-121,53	46,08	-0,07	77,49
1.35G+1.05QC	38,84	-51,51	100,33	-111,19	-121,25	50,09	-0,06	76,67
1.35G+1.05QD	32,60	-41,70	83,44	-96,14	-102,52	45,62	-0,02	63,83
1.35G+1.05QE	38,84	-50,45	100,03	-111,83	-121,55	49,79	-0,09	76,88
1.15G+1.50Q	36,63	-47,30	94,22	-105,84	-114,74	46,75	-0,03	72,44
1.15G+1.50QA	27,71	-36,50	71,00	-82,32	-87,06	44,13	-0,01	53,38
1.15G+1.50QB	36,63	-46,79	94,45	-104,01	-114,51	40,23	-0,07	73,61
1.15G+1.50QC	36,63	-49,09	94,84	-104,05	-114,11	45,96	-0,05	72,44
1.15G+1.50QD	27,71	-35,09	70,71	-82,55	-87,35	39,57	0,00	54,14
1.15G+1.50QE	36,63	-47,59	94,42	-104,96	-114,53	45,52	-0,09	72,74
ΣΣ:+x	25,93	18,01	82,53	-36,38	-65,40	43,11	-0,18	67,00
ΣΣ:+x	25,93	-85,25	50,82	-114,06	-97,11	26,10	-0,18	45,42
ΣΣ:+z	25,93	19,39	82,79	-36,23	-65,14	44,72	-0,19	67,97
ΣΣ:+z	25,93	-86,63	50,55	-114,21	-97,37	24,49	-0,19	45,40
ΣΣ:-x	25,93	17,92	82,44	-36,68	-65,48	46,45	-0,23	67,11
ΣΣ:-x	25,93	-85,16	50,90	-113,76	-97,02	22,76	-0,23	46,05
ΣΣ:-z	25,93	13,66	81,33	-38,80	-66,59	44,37	-0,23	64,91
ΣΣ:-z	25,93	-80,90	52,01	-111,63	-95,91	24,84	-0,23	46,04
1.00G+1.00Q	30,09	-38,90	77,40	-87,05	-94,28	38,87	-0,03	59,45
1.00[G+ψ2XQ]	25,93	-33,62	66,67	-75,22	-81,25	34,61	-0,04	51,07

#### Ανακατανομή ροπών

Φόρτ [/]	Κόμβ [/]	Θέση [m]	Μαρχικ. [kNm]	Μονακ. [kNm]	δ [/]	ξ (max) [/]	x (max) [m]
ΣΣ:+x	0	1,71	67,00	66,54			
ΣΣ:+x	13	0,00	-114,06	-115,62			
ΣΣ:+x	0	3,42	45,42	71,16			
ΣΣ:+x	9	0,00	-85,25	-75,92	0,89	0,36	0,20
ΣΣ:+z	0	1,71	67,97	67,54			
ΣΣ:+z	13	0,00	-114,21	-115,62			
ΣΣ:+z	0	3,42	45,40	75,92			
ΣΣ:+z	9	0,00	-86,63	-75,92	0,88	0,35	0,19
ΣΣ:-x	0	1,71	67,11	66,55			
ΣΣ:-x	13	0,00	-113,76	-115,62			
ΣΣ:-x	0	3,42	46,05	73,62			
ΣΣ:-x	9	0,00	-85,16	-75,92	0,89	0,36	0,20
ΣΣ:-z	0	1,71	64,91	63,54			
ΣΣ:-z	13	0,00	-111,63	-115,62			
ΣΣ:-z	0	3,42	46,04	71,32			
ΣΣ:-z	9	0,00	-80,90	-75,92	0,94	0,40	0,22

#### Οπλισμοί κάμψης

Φόρτ [/]	Κόμβ [/]	Θέση [m]	MEd [kNm]	NEd [kN]	As1_ca [cm <sup>2</sup> ]	As2_ca [cm <sup>2</sup> ]	As_sl [cm <sup>2</sup> ]	x [m]	As1_rq [cm <sup>2</sup> ]	As2_rq [cm <sup>2</sup> ]	ρ1_rq [o/oo]	E [/]
1.35G+1.05Q	0	2,85	76,67	50,65	3,88	0,00	0,00	0,02	3,88	2,26	2,832	2
1.35G+1.05Q	9	0,00	-50,26	50,65	2,79	0,00	0,81	0,04	2,26	2,26	1,650	2
1.35G+1.05Q	13	0,00	-112,44	50,65	5,64	0,00	2,78	0,09	4,23	3,50	3,088	2
1.35G+1.05QA	0	2,28	63,30	48,81	3,28	0,00	0,00	0,02	3,28	2,26	2,394	2
1.35G+1.05QA	9	0,00	-42,69	48,81	2,43	0,00	0,81	0,04	2,26	2,26	1,650	2
1.35G+1.05QA	13	0,00	-95,98	48,81	4,84	0,00	2,78	0,07	3,63	3,20	2,650	2
1.35G+1.05QB	0	2,85	77,49	46,08	3,85	0,00	0,00	0,02	3,85	2,26	2,810	2
1.35G+1.05QB	9	0,00	-49,89	46,08	2,72	0,00	0,81	0,04	2,26	2,26	1,650	2
1.35G+1.05QB	13	0,00	-111,16	46,08	5,53	0,00	2,78	0,09	4,15	3,46	3,029	2
1.35G+1.05QC	0	2,85	76,67	50,09	3,87	0,00	0,00	0,02	3,87	2,26	2,825	2
1.35G+1.05QC	9	0,00	-51,51	50,09	2,84	0,00	0,81	0,04	2,26	2,26	1,650	2
1.35G+1.05QC	13	0,00	-111,19	50,09	5,57	0,00	2,78	0,09	4,18	3,48	3,051	2
1.35G+1.05QD	0	2,28	63,83	45,62	3,27	0,00	0,00	0,02	3,27	2,26	2,387	2
1.35G+1.05QD	9	0,00	-41,70	45,62	2,35	0,00	0,81	0,04	2,26	2,26	1,650	2
1.35G+1.05QD	13	0,00	-96,14	45,62	4,81	0,00	2,78	0,07	3,61	3,19	2,635	2
1.35G+1.05QE	0	2,85	76,88	49,79	3,87	0,00	0,00	0,02	3,87	2,26	2,825	2
1.35G+1.05QE	9	0,00	-50,45	49,79	2,79	0,00	0,81	0,04	2,26	2,26	1,650	2

1.35G+1.05QE	13	0,00	-111,83	49,79	5,60	0,00	2,78	0,09	4,20	3,49	3,066	2	n
1.15G+1.50Q	0	2,85	72,44	46,75	3,65	0,00	0,00	0,02	3,65	2,26	2,664	2	
1.15G+1.50Q	9	0,00	-47,30	46,75	2,61	0,00	0,81	0,04	2,26	2,26	1,650	2	n
1.15G+1.50Q	13	0,00	-105,84	46,75	5,28	0,00	2,78	0,08	3,96	3,37	2,891	2	n
1.15G+1.50QA	0	2,28	53,38	44,13	2,80	0,00	0,00	0,01	2,80	2,26	2,044	2	
1.15G+1.50QA	9	0,00	-36,50	44,13	2,11	0,00	0,81	0,03	2,26	2,26	1,650	2	
1.15G+1.50QA	13	0,00	-82,32	44,13	4,15	0,00	2,78	0,06	3,11	2,94	2,270	2	n
1.15G+1.50QB	0	2,85	73,61	40,23	3,62	0,00	0,00	0,02	3,62	2,26	2,642	2	
1.15G+1.50QB	9	0,00	-46,79	40,23	2,51	0,00	0,81	0,04	2,26	2,26	1,650	2	n
1.15G+1.50QB	13	0,00	-104,01	40,23	5,12	0,00	2,78	0,08	3,84	3,31	2,803	2	n
1.15G+1.50QC	0	2,85	72,44	45,96	3,64	0,00	0,00	0,02	3,64	2,26	2,657	2	
1.15G+1.50QC	9	0,00	-49,09	45,96	2,68	0,00	0,81	0,04	2,26	2,26	1,650	2	n
1.15G+1.50QC	13	0,00	-104,05	45,96	5,19	0,00	2,78	0,08	3,89	3,33	2,839	2	n
1.15G+1.50QD	0	2,28	54,14	39,57	2,78	0,00	0,00	0,01	2,78	2,26	2,029	2	
1.15G+1.50QD	9	0,00	-35,09	39,57	1,99	0,00	0,81	0,03	2,26	2,26	1,650	2	
1.15G+1.50QD	13	0,00	-82,55	39,57	4,11	0,00	2,78	0,07	3,08	2,93	2,248	2	n
1.15G+1.50QE	0	2,85	72,74	45,52	3,64	0,00	0,00	0,02	3,64	2,26	2,657	2	
1.15G+1.50QE	9	0,00	-47,59	45,52	2,61	0,00	0,81	0,04	2,26	2,26	1,650	2	n
1.15G+1.50QE	13	0,00	-104,96	45,52	5,23	0,00	2,78	0,08	3,92	3,34	2,861	2	n
ΣΣ:+x	0	1,71	66,54	43,11	3,35	0,00	0,00	0,02	3,35	2,26	2,445	2	
ΣΣ:+x	0	1,71	66,54	26,10	3,14	0,00	0,00	0,02	3,14	2,26	2,292	2	
ΣΣ:+x	0	3,42	71,16	43,11	3,55	0,00	0,00	0,02	3,55	2,26	2,591	2	
ΣΣ:+x	0	3,42	71,16	26,10	3,34	0,00	0,00	0,02	3,34	2,26	2,438	2	
ΣΣ:+x	9	0,00	18,01	43,11	1,29	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	
ΣΣ:+x	9	0,00	18,01	26,10	1,08	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	
ΣΣ:+x	9	0,00	-75,92	43,11	3,85	0,00	0,81	0,06	3,04	2,26	2,219	2	n
ΣΣ:+x	9	0,00	-75,92	26,10	3,65	0,00	0,81	0,06	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:+x	13	0,00	-115,62	43,11	5,71	0,00	2,78	0,09	4,28	3,53	3,124	2	n
ΣΣ:+x	13	0,00	-115,62	26,10	5,53	0,00	2,78	0,09	4,14	3,46	3,022	2	n
ΣΣ:+x	13	0,00	0,31	43,11	0,50	0,48	0,00	0,00	3,02	2,26	2,204	5	
ΣΣ:+x	13	0,00	0,31	26,10	0,30	0,29	0,00	0,00	3,02	2,26	2,204	5	
ΣΣ:+z	0	1,71	67,54	44,72	3,41	0,00	0,00	0,02	3,41	2,26	2,489	2	
ΣΣ:+z	0	1,71	67,54	24,49	3,16	0,00	0,00	0,02	3,16	2,26	2,307	2	
ΣΣ:+z	0	3,42	75,92	44,72	3,77	0,00	0,00	0,02	3,77	2,26	2,752	2	
ΣΣ:+z	0	3,42	75,92	24,49	3,52	0,00	0,00	0,02	3,52	2,26	2,569	2	
ΣΣ:+z	9	0,00	19,39	44,72	1,37	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	
ΣΣ:+z	9	0,00	19,39	24,49	1,12	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	
ΣΣ:+z	9	0,00	-75,92	44,72	3,87	0,00	0,81	0,06	3,06	2,26	2,234	2	n
ΣΣ:+z	9	0,00	-75,92	24,49	3,63	0,00	0,81	0,06	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:+z	13	0,00	-115,62	44,72	5,73	0,00	2,78	0,09	4,30	3,53	3,139	2	n
ΣΣ:+z	13	0,00	-115,62	24,49	5,51	0,00	2,78	0,09	4,13	3,45	3,015	2	n
ΣΣ:+z	13	0,00	7,50	44,72	0,73	0,29	0,00	0,00	3,02	2,26	2,204	5	
ΣΣ:+z	13	0,00	7,50	24,49	0,50	0,05	0,00	0,00	3,02	2,26	2,204	5	
ΣΣ:-x	0	1,71	66,55	46,45	3,39	0,00	0,00	0,02	3,39	2,26	2,474	2	
ΣΣ:-x	0	1,71	66,55	22,76	3,10	0,00	0,00	0,02	3,10	2,26	2,263	2	
ΣΣ:-x	0	3,42	73,62	46,45	3,69	0,00	0,00	0,02	3,69	2,26	2,693	2	
ΣΣ:-x	0	3,42	73,62	22,76	3,40	0,00	0,00	0,02	3,40	2,26	2,482	2	
ΣΣ:-x	9	0,00	17,92	46,45	1,06	0,00	0,00	0,00	3,02	2,26	2,204	5	
ΣΣ:-x	9	0,00	17,92	22,76	1,03	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	
ΣΣ:-x	9	0,00	-75,92	46,45	3,89	0,00	0,81	0,06	3,08	2,26	2,248	2	n
ΣΣ:-x	9	0,00	-75,92	22,76	3,61	0,00	0,81	0,06	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:-x	13	0,00	-115,62	46,45	5,75	0,00	2,78	0,09	4,31	3,54	3,146	2	n
ΣΣ:-x	13	0,00	-115,62	22,76	5,49	0,00	2,78	0,09	4,12	3,44	3,007	2	n
ΣΣ:-x	13	0,00	3,12	46,45	0,62	0,44	0,00	0,00	3,02	2,26	2,204	5	
ΣΣ:-x	13	0,00	3,12	22,76	0,35	0,16	0,00	0,00	3,02	2,26	2,204	5	
ΣΣ:-z	0	1,71	63,54	44,37	3,24	0,00	0,00	0,02	3,24	2,26	2,365	2	
ΣΣ:-z	0	1,71	63,54	24,84	3,00	0,00	0,00	0,02	3,02	2,26	2,204	2	
ΣΣ:-z	0	3,42	71,32	44,37	3,57	0,00	0,00	0,02	3,57	2,26	2,606	2	
ΣΣ:-z	0	3,42	71,32	24,84	3,33	0,00	0,00	0,02	3,33	2,26	2,431	2	
ΣΣ:-z	9	0,00	13,66	44,37	0,91	0,10	0,00	0,00	3,02	2,26	2,204	5	
ΣΣ:-z	9	0,00	13,66	24,84	0,88	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	
ΣΣ:-z	9	0,00	-75,92	44,37	3,86	0,00	0,81	0,06	3,05	2,26	2,226	2	n
ΣΣ:-z	9	0,00	-75,92	24,84	3,63	0,00	0,81	0,06	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:-z	13	0,00	-115,62	44,37	5,73	0,00	2,78	0,09	4,29	3,53	3,131	2	n
ΣΣ:-z	13	0,00	-115,62	24,84	5,51	0,00	2,78	0,09	4,13	3,45	3,015	2	n
ΣΣ:-z	13	0,00	0,00	44,37	0,51	0,51	0,00	0,00	3,02	2,26	2,204	3	
ΣΣ:-z	13	0,00	0,00	24,84	0,28	0,28	0,00	0,00	3,02	2,26	2,204	3	

### Μέγιστα οπλισμών ροπών κάμψης

Φορτ [/]	Κόμβ [/]	Θέση [m]	MEd [kNm]	NEd [kN]	As1_ca [cm²]	As2_ca [cm²]	As_sl [cm²]	x [m]	As1_rq [cm²]	As2_rq [cm²]	ρ1_rq [o/oo]	E [/]	
ΣΣ:-x	9	0,00	-75,92	46,45	3,89	0,00	0,81	0,06	3,08	2,26	2,248	2	n
ΣΣ:+z	9	0,00	19,39	44,72	1,37	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	
1.15G+1.50QA	0	2,28	53,38	44,13	2,80	0,00	0,00	0,01	2,80	2,26	2,044	2	
1.35G+1.05Q	0	2,85	76,67	50,65	3,88	0,00	0,00	0,02	3,88	2,26	2,832	2	
ΣΣ:-x	13	0,00	-115,62	46,45	5,75	0,00	2,78	0,09	4,31	3,54	3,146	2	n

### Ο. Κ. Λειτουργικότητας: Περιορισμός Τάσεων [EC2-1-1 §7.2]

Φορτ [/]	Κόμβ [/]	MEd [kNm]	NEd [kN]	As1_pr [cm²]	As2_pr [cm²]	σc [MPa]	k1*fck [MPa]	σs [MPa]	k3*fyk [MPa]	Προσθ.1 [/]	Προσθ.2 [/]
1.00G+1.00Q	0	59,45	38,87	4,62	2,26	1,8	< 12,0	264,8	< 400,0		
1.00G+1.00Q	9	-38,90	38,87	3,39	3,08	4,4	< 12,0	243,8	< 400,0		
1.00G+1.00Q	13	-87,05	38,87	5,34	5,34	8,0	< 12,0	283,6	< 400,0		

### Ο. Κ. Λειτουργικότητας: Μέγιστα έλέγχου ρηγμάτωσης - wk < 0,30/0,30 [EC2-1-1 §7.3]

Φορτ [/]	Κόμβ [/]	MEd [kNm]	NEd [kN]	As1_pr [cm²]	As2_pr [cm²]	Φεσ [mm]	As1min [cm²]	sm [mm]	σs_max [MPa]	wk [mm]	Προσθ.1 [/]	Προσθ.2 [/]
1.00[G+ψ2XQ]	0	51,07	34,61	4,62	2,26	14,0	2,71	75	228,2	340,0	0,23	
1.00[G+ψ2XQ]	9	-33,62	34,61	3,39	3,08	12,0	1,09	76	212,2	339,2	0,20	
1.00[G+ψ2XQ]	13	-75,22	34,61	5,34	5,34	13,1	0,95	50	246,0	360,0	0,24	



**Ο. Κ. Λειτουργικότητας: Συνθήκη απαλλαγής αναλυτικού υπολογισμού βέλους [EC2-1-1 §7.4]**

l [m]	d [m]	K [']	Θέση [']	ρ0 [o/oo]	ρ1_ca [o/oo]	ρ2_ca [o/oo]	l/d [']	<	(l/d)lim [']
6,16	0,55	1,30	0	4,472	0,370	0,000	11,2	<	200,0

**Οπλισμοί διάτρησης και στρέψης**

Φορτ [']	Κόμβ [']	Θέση [m]	VEdmax [kN]	ζ [']	TEd [kNm]	Θέση [m]	VEd [kN]	V'Rdc [kN]	VRdc [kN]	cotθ [']	Συνδετήρες τμ.[mm/cm/cm]	As45 [cm²]	Asl [cm²]
1.35G+1.05Q	9	0,00	99,89	1,00	-0,05	0,55	78,61	81,20	42,45	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05Q	13	0,00	121,69	1,00	-0,05	0,55	100,41	81,20	49,79	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05QA	9	0,00	83,64	1,00	-0,03	0,55	65,78	81,17	42,54	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05QA	13	0,00	102,32	1,00	-0,03	0,55	84,46	81,17	49,88	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05QB	9	0,00	100,05	1,00	-0,07	0,55	78,77	81,13	42,68	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05QB	13	0,00	121,53	1,00	-0,07	0,55	100,25	81,13	50,02	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05QC	9	0,00	100,33	1,00	-0,06	0,55	79,04	81,20	42,48	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05QC	13	0,00	121,25	1,00	-0,06	0,55	99,97	81,20	49,82	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05QD	9	0,00	83,44	1,00	-0,02	0,55	65,57	81,12	42,70	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05QD	13	0,00	102,52	1,00	-0,02	0,55	84,66	81,12	50,04	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05QE	9	0,00	100,03	1,00	-0,09	0,55	78,75	81,19	42,50	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05QE	13	0,00	121,55	1,00	-0,09	0,55	100,26	81,19	49,83	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50Q	9	0,00	94,22	1,00	-0,03	0,55	74,15	81,14	42,65	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50Q	13	0,00	114,74	1,00	-0,03	0,55	94,67	81,14	49,98	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50QA	9	0,00	71,00	1,00	-0,01	0,55	55,82	81,09	42,77	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50QA	13	0,00	87,06	1,00	-0,01	0,55	71,88	81,09	50,11	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50QB	9	0,00	94,45	1,00	-0,07	0,55	74,38	81,02	42,97	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50QB	13	0,00	114,51	1,00	-0,07	0,55	94,44	81,02	50,31	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50QC	9	0,00	94,84	1,00	-0,05	0,55	74,77	81,12	42,68	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50QC	13	0,00	114,11	1,00	-0,05	0,55	94,04	81,12	50,02	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50QD	9	0,00	70,71	1,00	0,00	0,55	55,53	81,01	43,00	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50QD	13	0,00	87,35	1,00	0,00	0,55	72,17	81,01	50,34	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50QE	9	0,00	94,42	1,00	-0,09	0,55	74,35	81,12	42,71	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50QE	13	0,00	114,53	1,00	-0,09	0,55	94,46	81,12	50,04	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:+x	9	0,00	100,45	0,28	0,18	0,55	86,24	81,07	42,83	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:+x	13	0,00	119,94	0,40	0,18	0,55	105,73	81,07	50,16	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:+x	9	0,00	101,50	0,27	0,18	0,55	87,29	80,78	43,67	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:+x	13	0,00	120,93	0,38	0,18	0,55	106,72	80,78	51,00	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:+z	9	0,00	100,29	0,28	0,19	0,55	86,08	81,10	42,75	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:+z	13	0,00	119,83	0,40	0,19	0,55	105,62	81,10	50,08	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:+z	9	0,00	101,57	0,26	0,19	0,55	87,36	80,75	43,74	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:+z	13	0,00	121,07	0,38	0,19	0,55	106,86	80,75	51,08	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:-x	9	0,00	100,22	0,28	0,23	0,55	86,01	81,13	42,66	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:-x	13	0,00	119,74	0,40	0,23	0,55	105,53	81,13	50,00	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:-x	9	0,00	101,64	0,26	0,23	0,55	87,43	80,72	43,83	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:-x	13	0,00	121,14	0,38	0,23	0,55	106,93	80,72	51,17	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:-z	9	0,00	100,29	0,28	0,23	0,55	86,08	81,10	42,76	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:-z	13	0,00	119,83	0,40	0,23	0,55	105,62	81,10	50,10	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:-z	9	0,00	101,54	0,26	0,23	0,55	87,33	80,76	43,73	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:-z	13	0,00	121,07	0,38	0,23	0,55	106,86	80,76	51,07	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		

\* Αντίσταση σε ροπή στρέψης σχεδιασμού TRdmax = 55,43kNm - Ροπή στρέψης κατά την ρηγμάτωση TRdc = 15,53kNm - VRdmax = 453,74kN

**Μέγιστα οπλισμών διάτρησης και στρέψης**

Φορτ [']	Κόμβ [']	Θέση [m]	VEdmax [kN]	ζ [']	TEd [kNm]	Θέση [m]	VEd [kN]	V'Rdc [kN]	VRdc [kN]	cotθ [']	Συνδετήρες τμ.[mm/cm/cm]	As45 [cm²]	Asl [cm²]
ΣΣ:-x	9	0,00	101,64	0,26	0,23	0,55	87,43	80,72	43,83	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:-x	13	0,00	121,14	0,38	0,23	0,55	106,93	80,72	51,17	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		

\* Αντίσταση σε ροπή στρέψης σχεδιασμού TRdmax = 55,43kNm - Ροπή στρέψης κατά την ρηγμάτωση TRdc = 15,53kNm - VRdmax = 453,74kN

**Μέγιστα απαιτούμενου διαμήκη οπλισμού και συνδετήρων**

Θέση [']	Κόμβ [']	Κάτω [cm²]	Φορτ [']	Ανω [cm²]	Φορτ [']	Συνδετήρες [τμ Φ/s]	Φορτ [']	Διαγ. [cm²]	Φορτ [']	Διαγ. [cm²]	Φορτ [']	Κορμός [cm²]	Φορτ [']
Ανοίγμα		3,88	1.35G+1.05Q	2,26	1.15G+1.50QA	2τμ.ΣΦ8/20							
Κόμβος	9	3,02	ΣΣ:+z	3,08	ΣΣ:-x	2τμ.ΣΦ8/9,5							
Κόμβος	13	3,54	ΣΣ:-x	4,32	ΣΣ:-x	2τμ.ΣΦ8/9,5							

**4.5.3 Διαστασιολόγηση Τοιχώματος Κ14 (όροφος: 0, νο: 14)**

**Κ14, Όροφος 0**

**Γενικά δεδομένα**

<b>Κόμβοι</b>	Αρχή: 14(-1)	Τέλος: 14(0)	Μέλος: 40
<b>Διατομή</b>	Ορθογωνική: 25/250 /d'=5,5		
<b>Υλικά</b>	Σκυρόδεμα C20/25	Χάλυβας: B500C	Υψος = 3,00 [m]
<b>Κανονισμός</b>	Πλαστιμότητα :ΚΠΜ	Πλάστημα Τοίχωμα:Ναι	Συνδετήρες: B500C
<b>ΣΠΕΜ</b>	[X] = 1,00	[Z] = 1,00	ε = 1,50

**Ενταπτικά μεγέθη**

A/A Φορτ [']	Αρχή My [kNm]	14(-1) Mz [kNm]	Vy [kN]	Vz [kN]	Τέλος My [kNm]	14(0) Mz [kNm]	Vy [kN]	Vz [kN]	Αξονική N [kN]	Στρέψη T [kNm]
G	-265,58	12,33	-5,29	60,49	-84,11	-3,52	-5,29	60,49	-718,15	0,02
Q	-50,67	0,67	-0,25	11,37	-16,55	-0,08	-0,25	11,37	-123,51	0,00
QA	-20,23	0,29	-0,20	5,37	-4,12	-0,30	-0,20	5,37	-53,30	0,00
QB	-30,44	0,38	-0,05	6,00	-12,44	0,23	-0,05	6,00	-70,21	0,00
QC	-43,93	1,11	-0,44	10,72	-11,78	-0,22	-0,44	10,72	-108,08	0,00
QD	-28,23	1,23	-0,56	6,97	-7,33	-0,45	-0,56	6,97	-67,70	0,00
QE	-35,64	-0,22	0,16	6,92	-14,88	0,25	0,16	6,92	-96,19	-0,01
[G+ψ2κQ]	-280,78	12,54	-5,36	63,90	-89,08	-3,55	-5,36	63,90	-755,20	0,02
1.35G+1.05Q	-411,74	17,36	-7,40	93,60	-130,93	-4,84	-7,40	93,60	-1099,18	0,02
1.35G+1.05QA	-379,77	16,96	-7,34	87,30	-117,87	-5,07	-7,34	87,30	-1025,46	0,02
1.35G+1.05QB	-390,50	17,05	-7,19	87,96	-126,61	-4,52	-7,19	87,96	-1043,22	0,02
1.35G+1.05QC	-404,66	17,81	-7,60	92,91	-125,92	-4,99	-7,60	92,91	-1082,99	0,03
1.35G+1.05QD	-388,18	17,94	-7,72	88,98	-121,25	-5,22	-7,72	88,98	-1040,58	0,02
1.35G+1.05QE	-395,96	16,42	-6,97	88,93	-129,18	-4,50	-6,97	88,93	-1070,50	0,02
1.15G+1.50Q	-380,76	15,16	-6,44	86,47	-121,35	-4,16	-6,44	86,47	-1009,34	0,02
1.15G+1.50QA	-335,09	14,59	-6,36	77,47	-102,69	-4,50	-6,36	77,47	-904,02	0,02
1.15G+1.50QB	-350,42	14,72	-6,14	78,42	-115,17	-3,70	-6,14	78,42	-929,39	0,02
1.15G+1.50QC	-370,65	15,81	-6,73	85,49	-114,19	-4,38	-6,73	85,49	-986,20	0,03

1.15G+1.50QD	-347,11	16,00	-6,90	79,86	-107,52	-4,71	-6,90	79,86	-925,62	0,02
1.15G+1.50QE	-358,22	13,82	-5,83	79,79	-118,84	-3,67	-5,83	79,79	-968,35	0,01
ΣΣ:+x	273,53	50,09	10,77	424,21	-43,83	7,31	10,77	424,21	-717,86	0,27
ΣΣ:+x	-835,10	-25,02	-21,49	-424,21	-134,33	-14,40	-21,49	-424,21	-792,55	0,27
ΣΣ:+z	352,76	47,95	9,84	424,21	-37,27	6,65	9,84	424,21	-715,51	0,40
ΣΣ:+z	-914,32	-22,88	-20,56	-424,21	-140,89	-13,75	-20,56	-424,21	-794,90	0,40
ΣΣ:-x	351,92	50,06	10,76	424,21	-32,01	7,30	10,76	424,21	-715,65	0,70
ΣΣ:-x	-913,48	-24,99	-21,48	-424,21	-146,15	-14,39	-21,48	-424,21	-794,75	0,70
ΣΣ:-z	354,25	50,15	10,80	424,21	-38,52	7,35	10,80	424,21	-716,46	0,53
ΣΣ:-z	-915,81	-25,08	-21,53	-424,21	-139,63	-14,45	-21,53	-424,21	-793,94	0,53
1.00G+1.00Q	-316,25	13,01	-5,54	71,86	-100,67	-3,60	-5,54	71,86	-841,66	0,02
1.00[G+ψ2xQ]	-280,78	12,54	-5,36	63,90	-89,08	-3,55	-5,36	63,90	-755,20	0,02

#### Συντελεστές ελέγχου Ανακατανομής κόμβων

Κόμβος	Τοπ.Διευθ.	αANK_1	αANK_2
14(-1)	Y	1,00	1,00
14(-1)	Z	1,00	1,00
14(0)	Y	1,00	1,00
14(0)	Z	1,00	1,00

#### Φορτίσεις - Επάρκεια διατομής σε κάμψη (με Έλεγχο Κόμβων)

Φόρτ [J]	Κόμβος [J]	vd [J]	NEd [kN]	MEdy [kNm]	MEdz [kNm]	λ = Ed/Rd [J]
1.35G+1.05Q	14(-1) +	-0,136	-1130,83	-411,74	17,36	0,21
1.35G+1.05QA	14(-1) +	-0,127	-1057,11	-379,77	16,96	0,19
1.35G+1.05QB	14(-1) +	-0,129	-1074,86	-390,50	17,05	0,20
1.35G+1.05QC	14(-1) +	-0,134	-1114,63	-404,66	17,81	0,20
1.35G+1.05QD	14(-1) +	-0,129	-1072,22	-388,18	17,94	0,20
1.35G+1.05QE	14(-1) +	-0,132	-1102,14	-395,96	16,42	0,20
1.15G+1.50Q	14(-1) +	-0,124	-1036,23	-380,76	15,16	0,19
1.15G+1.50QA	14(-1) +	-0,112	-930,92	-335,09	14,59	0,17
1.15G+1.50QB	14(-1) +	-0,115	-956,29	-350,42	14,72	0,18
1.15G+1.50QC	14(-1) +	-0,122	-1013,09	-370,65	15,81	0,19
1.15G+1.50QD	14(-1) +	-0,114	-952,51	-347,11	16,00	0,18
1.15G+1.50QE	14(-1) +	-0,119	-995,25	-358,22	13,82	0,18
ΣΣ:+x	14(-1) +	-0,089	-741,30	95,46	-17,02	0,12
ΣΣ:+x	14(-1) +	-0,098	-815,98	-657,03	42,10	0,30
ΣΣ:+x	14(-1) +	-0,090	-753,29	915,81	9,17	0,32
ΣΣ:+x	14(-1) +	-0,096	-803,99	-915,81	15,90	0,32
ΣΣ:+x	14(-1) +	-0,097	-808,03	-330,51	50,09	0,24
ΣΣ:+x	14(-1) +	-0,090	-749,25	-231,06	-25,02	0,15
ΣΣ:+z	14(-1) +	-0,089	-738,95	190,23	-12,87	0,12
ΣΣ:+z	14(-1) +	-0,098	-818,33	-751,80	37,94	0,32
ΣΣ:+z	14(-1) +	-0,090	-749,13	915,81	9,90	0,32
ΣΣ:+z	14(-1) +	-0,097	-808,15	-915,81	15,17	0,32
ΣΣ:+z	14(-1) +	-0,097	-807,12	-327,85	47,95	0,23
ΣΣ:+z	14(-1) +	-0,090	-750,16	-233,71	-22,88	0,15
ΣΣ:-x	14(-1) +	-0,089	-739,09	175,53	-13,41	0,12
ΣΣ:-x	14(-1) +	-0,098	-818,19	-737,09	38,48	0,32
ΣΣ:-x	14(-1) +	-0,090	-750,12	915,81	12,30	0,32
ΣΣ:-x	14(-1) +	-0,097	-807,16	-915,81	12,77	0,32
ΣΣ:-x	14(-1) +	-0,097	-805,98	-284,70	50,06	0,23
ΣΣ:-x	14(-1) +	-0,090	-751,30	-276,87	-24,99	0,16
ΣΣ:-z	14(-1) +	-0,089	-739,90	176,96	-13,65	0,12
ΣΣ:-z	14(-1) +	-0,098	-817,38	-738,53	38,72	0,32
ΣΣ:-z	14(-1) +	-0,090	-750,72	915,81	12,06	0,32
ΣΣ:-z	14(-1) +	-0,097	-806,56	-915,81	13,01	0,32
ΣΣ:-z	14(-1) +	-0,097	-805,61	-288,83	50,15	0,23
ΣΣ:-z	14(-1) +	-0,090	-751,68	-272,74	-25,08	0,16
1.35G+1.05Q	14(0) -	-0,128	-1067,54	-130,93	-4,84	0,15
1.35G+1.05QA	14(0) -	-0,119	-993,82	-117,87	-5,07	0,14
1.35G+1.05QB	14(0) -	-0,121	-1011,58	-126,61	-4,52	0,14
1.35G+1.05QC	14(0) -	-0,126	-1051,35	-125,92	-4,99	0,14
1.35G+1.05QD	14(0) -	-0,121	-1008,94	-121,25	-5,22	0,14
1.35G+1.05QE	14(0) -	-0,125	-1038,86	-129,18	-4,50	0,14
1.15G+1.50Q	14(0) -	-0,118	-982,44	-121,35	-4,16	0,14
1.15G+1.50QA	14(0) -	-0,105	-877,13	-102,69	-4,50	0,12
1.15G+1.50QB	14(0) -	-0,108	-902,50	-115,17	-3,70	0,13
1.15G+1.50QC	14(0) -	-0,115	-959,30	-114,19	-4,38	0,13
1.15G+1.50QD	14(0) -	-0,108	-898,72	-107,52	-4,71	0,12
1.15G+1.50QE	14(0) -	-0,113	-941,46	-118,84	-3,67	0,13
ΣΣ:+x	14(0) -	-0,083	-694,42	-95,50	4,97	0,10
ΣΣ:+x	14(0) -	-0,092	-769,11	-82,65	-12,06	0,11
ΣΣ:+x	14(0) -	-0,087	-726,46	-878,15	-2,80	0,30
ΣΣ:+x	14(0) -	-0,088	-737,07	878,15	-4,30	0,30
ΣΣ:+x	14(0) -	-0,091	-761,07	-85,96	-14,40	0,12
ΣΣ:+x	14(0) -	-0,084	-702,46	-92,20	7,31	0,10
ΣΣ:+z	14(0) -	-0,083	-692,07	-103,94	3,72	0,10
ΣΣ:+z	14(0) -	-0,093	-771,46	-74,22	-10,82	0,11
ΣΣ:+z	14(0) -	-0,086	-720,38	-878,15	-2,42	0,30
ΣΣ:+z	14(0) -	-0,089	-743,15	878,15	-4,67	0,30
ΣΣ:+z	14(0) -	-0,091	-760,06	-83,35	-13,75	0,11
ΣΣ:+z	14(0) -	-0,084	-703,47	-94,81	6,65	0,10
ΣΣ:-x	14(0) -	-0,083	-692,22	-104,21	3,87	0,10
ΣΣ:-x	14(0) -	-0,093	-771,31	-73,95	-10,96	0,11
ΣΣ:-x	14(0) -	-0,087	-721,28	-878,15	-3,23	0,30
ΣΣ:-x	14(0) -	-0,089	-742,25	878,15	-3,86	0,30
ΣΣ:-x	14(0) -	-0,091	-758,79	-87,43	-14,39	0,12
ΣΣ:-x	14(0) -	-0,085	-704,74	-90,73	7,30	0,10
ΣΣ:-z	14(0) -	-0,083	-693,03	-98,68	3,99	0,10
ΣΣ:-z	14(0) -	-0,092	-770,50	-79,47	-11,08	0,11
ΣΣ:-z	14(0) -	-0,087	-724,41	-878,15	-3,60	0,30
ΣΣ:-z	14(0) -	-0,089	-739,13	878,15	-3,50	0,30
ΣΣ:-z	14(0) -	-0,091	-758,54	-89,31	-14,45	0,12
ΣΣ:-z	14(0) -	-0,085	-704,99	-88,84	7,35	0,10
1.35G+1.05Q	14(0) +	-0,093	-776,06	9,59	-8,30	0,11
1.35G+1.05QA	14(0) +	-0,088	-731,62	5,48	-7,68	0,10
1.35G+1.05QB	14(0) +	-0,088	-732,92	12,37	-8,02	0,10
1.35G+1.05QC	14(0) +	-0,092	-765,36	8,61	-8,28	0,10

1.35G+1.05QD	14(0) +	-0,088	-736,25	7,03	-7,75	0,10
1.35G+1.05QE	14(0) +	-0,091	-756,61	10,80	-8,12	0,10
1.15G+1.50Q	14(0) +	-0,085	-710,32	8,93	-7,58	0,10
1.15G+1.50QA	14(0) +	-0,078	-646,83	3,05	-6,70	0,09
1.15G+1.50QB	14(0) +	-0,078	-648,70	12,89	-7,17	0,09
1.15G+1.50QC	14(0) +	-0,083	-695,04	7,52	-7,55	0,09
1.15G+1.50QD	14(0) +	-0,078	-653,45	5,27	-6,80	0,09
1.15G+1.50QE	14(0) +	-0,082	-682,53	10,66	-7,32	0,09
ΣΣ:+x	14(0) +	-0,061	-508,58	105,09	-2,68	0,08
ΣΣ:+x	14(0) +	-0,067	-561,44	-92,10	-8,80	0,09
ΣΣ:+x	14(0) +	-0,062	-518,87	878,15	-5,17	0,34
ΣΣ:+x	14(0) +	-0,066	-551,15	-878,15	-6,30	0,34
ΣΣ:+x	14(0) +	-0,062	-513,44	30,82	-1,99	0,07
ΣΣ:+x	14(0) +	-0,067	-556,58	-17,83	-9,49	0,08
ΣΣ:+z	14(0) +	-0,061	-507,50	123,75	-3,08	0,08
ΣΣ:+z	14(0) +	-0,068	-562,53	-110,76	-8,39	0,09
ΣΣ:+z	14(0) +	-0,062	-516,85	878,15	-5,30	0,35
ΣΣ:+z	14(0) +	-0,066	-553,17	-878,15	-6,18	0,33
ΣΣ:+z	14(0) +	-0,062	-514,18	28,94	-2,23	0,07
ΣΣ:+z	14(0) +	-0,067	-555,84	-15,94	-9,24	0,08
ΣΣ:-x	14(0) +	-0,061	-507,53	118,25	-3,01	0,08
ΣΣ:-x	14(0) +	-0,067	-562,49	-105,25	-8,46	0,09
ΣΣ:-x	14(0) +	-0,062	-517,38	878,15	-5,52	0,35 *
ΣΣ:-x	14(0) +	-0,066	-552,64	-878,15	-5,96	0,33
ΣΣ:-x	14(0) +	-0,062	-514,95	16,66	-2,00	0,07
ΣΣ:-x	14(0) +	-0,067	-555,07	-3,67	-9,47	0,08
ΣΣ:-z	14(0) +	-0,061	-507,95	124,00	-2,93	0,08
ΣΣ:-z	14(0) +	-0,067	-562,07	-111,01	-8,54	0,09
ΣΣ:-z	14(0) +	-0,062	-517,12	878,15	-5,44	0,35
ΣΣ:-z	14(0) +	-0,066	-552,90	-878,15	-6,04	0,33
ΣΣ:-z	14(0) +	-0,062	-514,89	20,62	-1,97	0,07
ΣΣ:-z	14(0) +	-0,067	-555,13	-7,63	-9,51	0,08

#### Διαστασιολόγηση σε κάμψη

Φόρτ [l]	Κόμβος [l]	vd [l]	NEd [kN]	MEdy [kNm]	MEdz [kNm]	λ = Ed/Rd [l]
ΣΣ:-x	14(0) +	-0,062	-517,38	878,15	-5,52	0,35

#### Ράβδοι Διατομής

Ομάδα Οπλισμού	Αριθμός Ραβδών	Οπλισμός [mm <sup>2</sup> ]	Ποσοστό οπλισμού [%]
1	4Φ16	804	
2	8Φ14	1232	
4	16Φ8	804	
Σύνολα	28 Ράβδοι	2840	0,454%

#### Διάτμηση, στρέψη, περισφιγξη και διάτμηση κόμβου

Φορτ [l]	Διε [l]	vd [l]	VEd [kN]	TEd [kNm]	VRdc [kN]	VRdc [kN]	cotθ [l]	ρh [%]	Οριζ.εσχάρα mm/cm	ρν [%]	Κατακ.εσχάρα mm/cm	lc [m]	ωwd [l]
1.35G+1.05Q	Z	-0,132	93,60	0,02	274,17	317,49	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,42	0,36 n
1.35G+1.05QA	Z	-0,123	87,30	0,02	277,63	306,67	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,42	0,36 n
1.35G+1.05QB	Z	-0,125	87,96	0,02	276,80	309,28	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,42	0,36 n
1.35G+1.05QC	Z	-0,130	92,91	0,03	274,93	315,11	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,42	0,36 n
1.35G+1.05QD	Z	-0,125	88,98	0,02	276,92	308,89	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,42	0,36 n
1.35G+1.05QE	Z	-0,128	88,93	0,02	275,52	313,28	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,42	0,36 n
1.15G+1.50Q	Z	-0,121	86,47	0,02	278,39	304,31	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,42	0,36 n
1.15G+1.50QA	Z	-0,108	77,47	0,02	283,33	288,86	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,42	0,36 n
1.15G+1.50QB	Z	-0,112	78,42	0,02	282,14	292,58	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,42	0,36 n
1.15G+1.50QC	Z	-0,118	85,49	0,03	279,47	300,91	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,42	0,36 n
1.15G+1.50QD	Z	-0,111	79,86	0,02	282,31	292,03	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,42	0,36 n
1.15G+1.50QE	Z	-0,116	79,79	0,01	280,31	298,30	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,42	0,36 n
ΣΣ:+x	Z	-0,095	424,21	0,27	288,56	272,51	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,42	0,36 n
ΣΣ:+z	Z	-0,095	424,21	0,40	288,45	272,85	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,42	0,36 n
ΣΣ:-x	Z	-0,095	424,21	0,70	288,45	272,83	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,42	0,36 n
ΣΣ:-z	Z	-0,095	424,21	0,53	288,49	272,71	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,42	0,36 n

\* ==> Αντίσταση σε τέμνουσα: Διε. Z: VRdmax = 1840,00kN

#### Μέγιστα εγκάρσιου οπλισμού

Φορτ [l]	Διε [l]	vd [l]	VEd [kN]	TEd [kNm]	VRdc [kN]	VRdc [kN]	cotθ [l]	ρh [%]	Οριζ.εσχάρα mm/cm	ρν [%]	Κατακ.εσχάρα mm/cm	lc [m]	ωwd [l]
ΣΣ:+x	Z	-0,095	424,21	0,27	288,56	272,51	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,42	0,36 n

\* ==> Αντίσταση σε τέμνουσα: Διε. Z: VRdmax = 1840,00kN

#### Ράβδοι οπλισμού υποστυλώματος: K 14(0)

Διαμήκης οπλισμός [l]	Συνδετήρες Εσχάρας [l]	Συμμοειδής Οπλισμός [l]	Ομοιαιμ. οπλισμού [l]	λ = Ed/Rd [l]	Ποσοστό οπλισμού [%]	Θέση Ελέγχου [-]
4Φ16 + 8Φ14	Ορ. #Φ8/20 - Κατ. #Φ8/20 , lc= 42 - 3πμ.ΣΦ8/8,5	20Φ8		0,35	0,454%	Βάση άνω ορόφου

#### Προμέτρηση υποστυλώματος K 14

##### Ποσότητες σιδηρού οπλισμού

Φ8	Φ14	Φ16	Μέτρα Kg B500C
259,47	31,85	16,49	
102,38	38,48	26,02	

##### Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού

Επιφάνεια ξυλοτύπου Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	16,50	Βάρους σιδηρού οπλισμού	[Kg]	166,90
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου <th>[m<sup>2</sup>]</th> <td>0,00 <td>Όγκος Σκυροδέματος <th>[m<sup>3</sup>]</th> <td>1,90</td> </td></td>	[m <sup>2</sup> ]	0,00 <td>Όγκος Σκυροδέματος <th>[m<sup>3</sup>]</th> <td>1,90</td> </td>	Όγκος Σκυροδέματος <th>[m<sup>3</sup>]</th> <td>1,90</td>	[m <sup>3</sup> ]	1,90
	[m <sup>2</sup> ]	16,50 <td>Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.</td> <th>[Kg/m<sup>3</sup>]</th> <td>89,00</td>	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	89,00

#### 4.5.4 Συνολική Προμέτρηση Κτιρίου

### Συνολική προμέτρηση κτιρίου

#### Προμέτρηση ορόφου -1

Προμέτρηση δοκών ορόφου -1

##### Ποσότητες σιδηρού οπλισμού

Φ10	Φ12	Φ18	
960,51	2379,51	1089,51	Μέτρα
591,51	2113,51	2175,01	Kg B500C

##### Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	172,45	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	4880,05
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	11,25	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	62,80
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	161,20	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	77,70

Προμέτρηση: Σύνολο ορόφου :-1

##### Ποσότητες σιδηρού οπλισμού

Διάμετρος [mm]	Μήκος [m]	Kg B500C Βάρος [Kgr]	
Φ10	960,50	591,50	
Φ12	2379,50	2113,50	
Φ18	1089,50	2175,00	

##### Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	172,45	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	4880,00
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	11,25	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	62,80
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	161,20	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	77,70

#### Προμέτρηση ορόφου 0

Προμέτρηση πλακών ορόφου 0

##### Ποσότητες σιδηρού οπλισμού

Φ8	Φ12	Φ14	
2223,84	6,94	6,94	Μέτρα
877,50	6,16	8,38	Kg B500C

##### Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	183,35	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	892,05
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	0,00	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	29,35
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	183,35	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	30,40

Προμέτρηση δοκών ορόφου 0

##### Ποσότητες σιδηρού οπλισμού

Φ8	Φ12	Φ14	Φ16	
1091,51	461,51	305,01	19,01	Μέτρα
430,51	409,51	368,51	30,01	Kg B500C

##### Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	84,10	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	1238,55
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	7,45	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	10,45
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	76,65	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	118,50

Προμέτρηση στύλων ορόφου 0

##### Ποσότητες σιδηρού οπλισμού

Φ8	Φ14	Φ16	Φ18	Φ20	
2836,39	103,49	519,13	153,37	105,61	Μέτρα
1119,19	125,06	819,36	306,36	260,44	Kg B500C

##### Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	185,70	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	2630,40
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	0,00	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	20,90
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	185,70	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	125,75

Προμέτρηση: Σύνολο ορόφου :0

##### Ποσότητες σιδηρού οπλισμού

Διάμετρος [mm]	Μήκος [m]	Kg B500C Βάρος [Kgr]	
Φ8	6151,70	2427,20	
Φ12	468,45	415,65	
Φ14	415,40	501,90	

Φ16	538,10	849,35
Φ18	153,35	306,35
Φ20	105,60	260,45

#### Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού

Επιφάνεια Ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	453,15	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	4760,90
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	7,45	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	60,70
Ολική επιφάνεια Ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	445,70	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	78,45

### Προμέτρηση ορόφου 1

#### Προμέτρηση πλακών ορόφου 1

#### Ποσότητες σιδηρού οπλισμού

Φ8	Φ12	Φ14	
2223,84	6,94	6,94	Μέτρα
877,50	6,16	8,38	Kg B500C

#### Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού

Επιφάνεια Ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	183,35	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	892,05
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	0,00	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	29,35
Ολική επιφάνεια Ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	183,35	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	30,40

#### Προμέτρηση δοκών ορόφου 1

#### Ποσότητες σιδηρού οπλισμού

Φ8	Φ12	Φ14	Φ16	
1098,01	413,51	280,51	51,51	Μέτρα
433,51	367,51	341,01	81,01	Kg B500C

#### Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού

Επιφάνεια Ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	84,10	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	1223,05
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	7,45	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	10,45
Ολική επιφάνεια Ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	76,65	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	117,05

#### Προμέτρηση στύλων ορόφου 1

#### Ποσότητες σιδηρού οπλισμού

Φ8	Φ14	Φ16	Φ18	Φ20	
2524,38	95,53	510,89	170,41	105,61	Μέτρα
996,09	115,44	806,35	340,40	260,44	Kg B500C

#### Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού

Επιφάνεια Ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	185,70	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	2518,70
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	0,00	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	20,90
Ολική επιφάνεια Ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	185,70	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	120,40

#### Προμέτρηση: Σύνολο ορόφου :1

#### Ποσότητες σιδηρού οπλισμού

Διάμετρος [mm]	Μήκος [m]	Kg B500C Βάρος [Kg]
Φ8	5846,20	2307,05
Φ12	420,45	373,65
Φ14	382,95	464,80
Φ16	562,40	887,35
Φ18	170,40	340,40
Φ20	105,60	260,45

#### Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού

Επιφάνεια Ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	453,15	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	4633,70
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	7,45	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	60,70
Ολική επιφάνεια Ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	445,70	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	76,35

### Προμέτρηση ορόφου 2

#### Προμέτρηση πλακών ορόφου 2

#### Ποσότητες σιδηρού οπλισμού

Φ8	Φ12	Φ14	
2357,33	6,94	6,94	Μέτρα
930,17	6,16	8,38	Kg B500C

#### Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού

Επιφάνεια Ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	183,35	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	944,70
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	0,00	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	29,35
Ολική επιφάνεια Ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	183,35	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	32,20

#### Προμέτρηση δοκών ορόφου 2

#### Ποσότητες σιδηρού οπλισμού

Φ8	Φ12	Φ14	Φ16	
1109,01	657,01	156,01	9,51	Μέτρα
438,01	582,51	189,51	15,01	Kg B500C

**Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού**

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	84,10	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	1225,05
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	7,45	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	10,45
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	76,65	Αναλογία Σιδή/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	117,25

*Προμέτρηση στύλων ορόφου 2***Ποσότητες σιδηρού οπλισμού**

Φ8	Φ14	Φ16	Φ18	Φ20	
2534,79	103,49	519,13	204,49	52,81	Μέτρα
	125,06	819,36	408,48	130,22	Kg B500C

**Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού**

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	185,70	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	2483,30
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	0,00	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	20,90
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	185,70	Αναλογία Σιδή/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	118,70

*Προμέτρηση: Σύνολο ορόφου :2***Ποσότητες σιδηρού οπλισμού**

Διάμετρος [mm]	Μήκος [m]	Kg B500C Βάρος [Kgr]	
Φ8	6001,10	2368,35	
Φ12	663,95	588,65	
Φ14	266,40	322,90	
Φ16	528,60	834,35	
Φ18	204,50	408,45	
Φ20	52,80	130,20	

**Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού**

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	453,15	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	4652,90
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	7,45	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	60,70
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	445,70	Αναλογία Σιδή/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	76,65

**Προμέτρηση: Σύνολο κτιρίου****Ποσότητες σιδηρού οπλισμού**

Διάμετρος [mm]	Μήκος [m]	Kg B500C Βάρος [Kgr]	
Φ8	17999,00	7102,60	
Φ10	960,50	591,50	
Φ12	3932,30	3491,45	
Φ14	1064,75	1289,65	
Φ16	1629,10	2571,05	
Φ18	1617,75	3230,20	
Φ20	264,00	651,05	

**Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού**

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	1531,85	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	18927,50
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	33,60	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	244,90
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	1498,25	Αναλογία Σιδή/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	77,30

# Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

## Περίπτωση Β: Διπλό Στατικό Σύστημα- Ισοδύναμο προς Τοιχωματικό

### 5.1 Ανάλυση Δομήματος

#### 5.1.1 Κριτήρια για κανονικότητα σε κάτοψη<sup>[1]</sup>

Για τον Φορέα II (Ι.Π.Τ.), ισχύουν ακριβώς όσα αναφέρθηκαν στην §4.1.1 του παρόντος για τον Φορέα I (Ι.Π.Π.), με την διαφορά ότι εδώ αναλύεται ένα Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Τοιχωματικό. Ακόμη, διαφέρουν οι τιμές στον **Πίνακα 5.1**, που επισυνάπτεται παρακάτω, από την ανάλυση του στατικού προγράμματος Fespa, για τον Φορέα II (Ι.Π.Τ.).

**Πίνακας 5.1.** Δεδομένα ανάλυσης Φορέα II (Ι.Π.Τ.), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.

#### Κριτήρια κανονικότητας σε κάτοψη - EC8-1 §4.2.3.2

Ελεγχος στρεπτικής δυσκαμψίας ορόφων - EC8-1 §5.2.2.1(4)P { $r > I_s$ }

Επίπεδο [/]	Υψόμετρο οροφής [m]	rI [m]	>	I <sub>s</sub> [m]	rII [m]	>	I <sub>s</sub> [m]
3	9,00	8,92	>	6,34	7,54	>	6,34
2	6,00	8,94	>	6,40	7,54	>	6,40
1:nv	3,00	8,92	>	6,43	7,54	>	6,43

■ Το δόμημα είναι στρεπτικά δύσκαμπτο.

Ελεγχος περιορισμού στατικής εκκεντρότητας - EC8-1 §4.2.3.2(6) { $0.30*r > |eo|$ }

Επίπεδο [/]	Υψόμετρο οροφής [m]	0.30*rI [m]	>	eoI  [m]	0.30*rII [m]	>	eoII  [m]
3	9,00	2,68	>	0,65	2,26	>	0,18
2	6,00	2,68	>	0,83	2,26	>	0,36
1:nv	3,00	2,68	>	0,65	2,26	>	0,03

■ Το δόμημα ενδεχομένως είναι κανονικό σε κάτοψη\*\*.

\* ==> όπου: ? = μη πληρούμενο κριτήριο

\*\* ==> Απαιτείται επιπλέον έλεγχος των γεωμετρικών κριτηρίων των §4.2.3.2(2) - (5)

#### 5.1.2 Κριτήρια για κανονικότητα σε όψη<sup>[1]</sup>

Για τον Φορέα II (Ι.Π.Τ.), ισχύουν ακριβώς όσα περιγράφηκαν στην §4.1.2 του παρόντος για τον Φορέα I (Ι.Π.Π.), με την διαφορά ότι εδώ αναλύεται ένα Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Τοιχωματικό και επομένως, από τις πέντε παραγράφους της §4.2.3.3 του Ευρωκώδικα (E.C.8) που αναφέρθηκαν, εξαιρούνται οι:

- η 4<sup>η</sup> παράγραφος της §4.2.3.3, δεν χρειάζεται να εξεταστεί, διότι το κτίριο δεν διαθέτει πλαισιακό σύστημα και
- η 5<sup>η</sup> παράγραφος της §4.2.3.3, δεν χρειάζεται να εξεταστεί, διότι δεν υπάρχουν εσοχές στο κτίριο.

#### 5.1.3 Στρεπτική δυσκαμψία<sup>[1]</sup>

Σύμφωνα με την §5.2.2.1 του Ευρωκώδικα (E.C.8), τα κτίρια με διπλά συστήματα, όπως το συγκεκριμένο, θα έχουν μία ελάχιστη στρεπτική δυσκαμψία, η οποία θα ικανοποιεί την σχέση 4.1b και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις.

Βέβαια, με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε για την κανονικότητα σε κάτοψη, και σύμφωνα με τον κανονισμό (Ε.Σ.8), στα κτίρια με συστήματα τοιχωμάτων, τα οποία παρουσιάζουν καλή κατανομή σε κάτοψη, όπως το συγκεκριμένο, μπορεί να θεωρηθεί ότι η παραπάνω απαίτηση καλύπτεται, χωρίς να χρειάζεται εφαρμογή αναλυτικού ελέγχου.

Τέλος, το συγκεκριμένο κτίριο, με το Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Τοιχωματικό, είναι στρεπτικώς δύσκαμπτο, καθώς διαθέτει μία ελάχιστη στρεπτική δυσκαμψία.

#### 5.1.4 Υπολογισμός συντελεστή συμπεριφοράς $q$ <sup>[1]</sup>

Σύμφωνα με την §5.2.2.2 του Ευρωκώδικα (Ε.Σ.8), η ανώτατη τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ , που εκφράζει την ικανότητα απόδοσης ενέργειας, υπολογίζεται για κάθε διεύθυνση σχεδιασμού ( $x$  &  $z \rightarrow q_x$  &  $q_z$ ), από την παρακάτω σχέση:

$$q = q_o * k_w \geq 1,50$$

- ▶ Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (Κ.Π.Μ./D.C.M.),
- ▶  $k_w = \frac{1,00 + \alpha_o}{3,00} \leq 1,00$ , αλλά όχι μικρότερος από 0,5: είναι ο συντελεστής που εκφράζει την επικρατούσα μορφή αστοχίας σε στατικά συστήματα με τοιχώματα,

$\alpha_o$ : είναι κυριαρχούσα τιμή του λόγου όψεως των τοιχωμάτων του στατικού συστήματος και υπολογίζεται προσεγγιστικά από την παρακάτω σχέση, εφόσον οι λόγοι όψεως  $h_{wi} / l_{wi}$  όλων των τοιχωμάτων  $i$  του στατικού συστήματος, δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές.

**!Σημειώνεται** ότι οι τιμές των μηκών των τοιχωμάτων που υπάρχουν στον Φορέα II (Ι.Π.Τ.), είναι οι: 1,50 (m), 2,00 (m), 2,85 (m) και 4,55 (m) και γίνεται η θεώρηση ότι δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Ακόμη, πρέπει να αναφερθεί, ότι στον κανονισμό (Ε.Σ.8), δεν υπάρχει ενδεικτική διευκρίνιση για την σχετική διαφορά των εκάστοτε τιμών, ούτε κάποιο αναλυτικό/ποσοτικό παράδειγμα, επομένως, θεωρείται ότι κρίνει ο εκάστοτε μηχανικός.

$$\alpha_o = \frac{\sum h_{wi}}{\sum l_{wi}}$$

όπου:

- $h_{wi}$ : είναι το ύψος του τοιχώματος  $i$  και
- $l_{wi}$ : είναι το μήκος της διατομής του τοιχώματος  $i$ .
- ▶  $q_o = 3,00 * (\alpha_{u1} / \alpha_1)$ : είναι η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς, που εξαρτάται από τον τύπο του στατικού συστήματος και από την κανονικότητά του σε όψη (**Πίνακας 2.4**) και
- ▶  $\alpha_{u1} / \alpha_1 = 1,20$ : σύμφωνα με την §2.3.1 του παρόντος, λαμβάνεται η συγκεκριμένη τιμή, προσεγγιστικά, ως συνάρτηση του στατικού συστήματος και του αριθμού των ορόφων  $\rightarrow$  εδώ: ισοδύναμο προς τοιχώματα διπλά συστήματα ή συστήματα συζευγμένων τοιχωμάτων.

Επομένως, με βάση και την βοηθητική **Εικόνα 5.1** και δεδομένο ότι το συνολικό ύψος κάθε τοιχώματος είναι: 9,00 (m), καθώς το ύψος του κάθε ορόφου, ανέρχεται στα: 3,00 (m) και το κτίριο, διαθέτει τρεις συνολικά ορόφους, θα ισχύουν τα παρακάτω:

- ▶ Τοιχώματα με την μεγάλη τους διάσταση κατά την διεύθυνση  $x$  (για  $q_x$ ):



$$\alpha_{o(x)} = \frac{\sum h_{wi}}{\sum l_{wi}} = \frac{9 * 9 (m)}{(6 * 2 + 3 * 2,85)(m)} = \frac{81}{20,55} \Rightarrow \alpha_{o(x)} = \mathbf{3,9416}$$

- Τοιχώματα με την μεγάλη τους διάσταση κατά την διεύθυνση z (για  $\alpha_z$ ):

$$\alpha_{o(z)} = \frac{\sum h_{wi}}{\sum l_{wi}} = \frac{6 * 9 (m)}{(4 * 1,50 + 1 * 2 + 1 * 4,55)(m)} = \frac{54}{12,55} \Rightarrow \alpha_{o(z)} = \mathbf{4,3028}$$

- Εύρεση συντελεστή  $k_w$ , για την διεύθυνση x (για  $\alpha_x$ ):

$$k_{w(x)} = \frac{1,00 + \alpha_{o(x)}}{3,00} \leq 1,00, \text{ αλλά όχι μικρότερος από } 0,5 \Rightarrow$$

$$k_{w(x)} = \frac{1,00 + 3,9416}{3,00} \leq 1,00, \text{ αλλά όχι μικρότερος από } 0,5 \Rightarrow$$

$$k_{w(x)} = 1,65 \leq 1,00, \text{ αλλά όχι μικρότερος από } 0,5 \Rightarrow \mathbf{\times}$$

$$\mathbf{k_{w(x)} = 1,00}$$

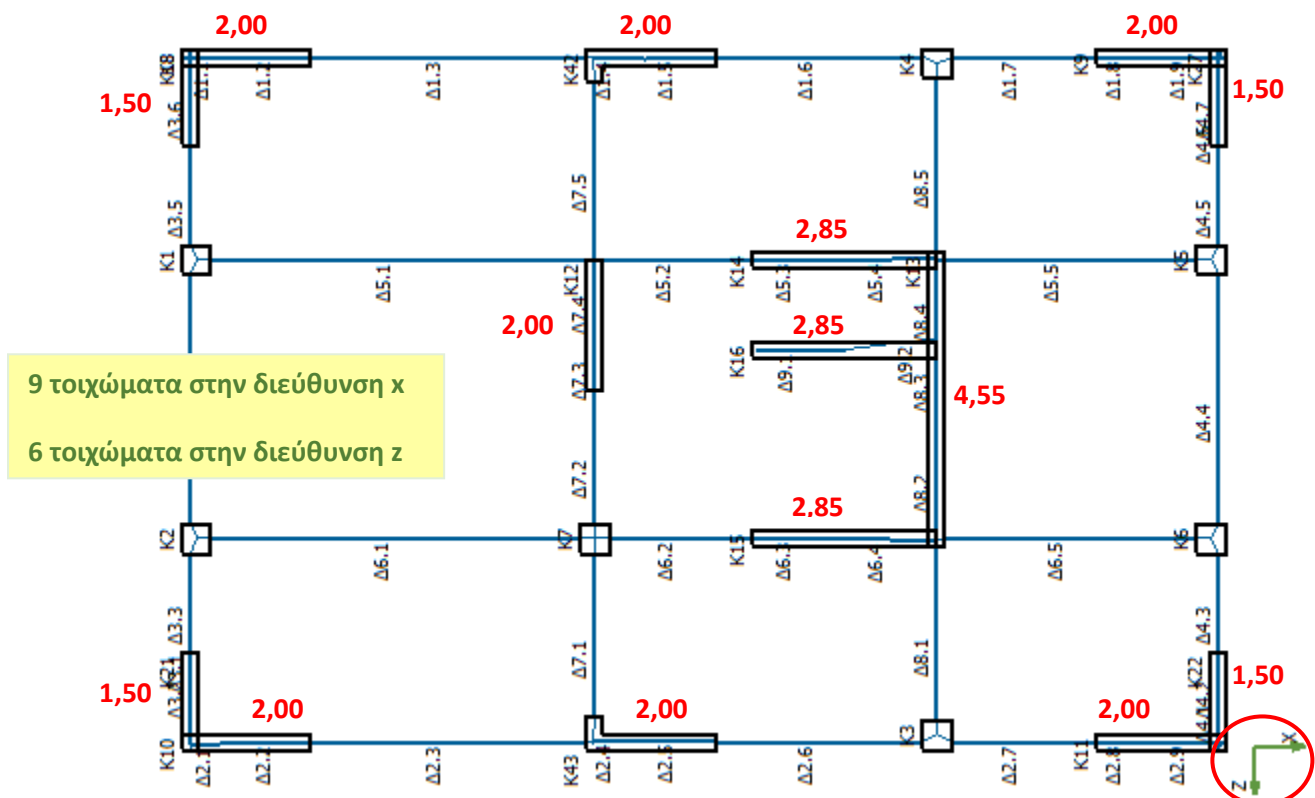
- Εύρεση συντελεστή  $k_w$ , για την διεύθυνση z (για  $\alpha_z$ ):

$$k_{w(z)} = \frac{1,00 + \alpha_{o(z)}}{3,00} \leq 1,00, \text{ αλλά όχι μικρότερος από } 0,5 \Rightarrow$$

$$k_{w(z)} = \frac{1,00 + 4,3028}{3,00} \leq 1,00, \text{ αλλά όχι μικρότερος από } 0,5 \Rightarrow$$

$$k_{w(z)} = 1,77 \leq 1,00, \text{ αλλά όχι μικρότερος από } 0,5 \Rightarrow \mathbf{\times}$$

$$\mathbf{k_{w(z)} = 1,00}$$



Εικόνα 5.1. Τα μήκη (σε μέτρα) των τοιχωμάτων και στις δύο διευθύνσεις (x & z), που υπάρχουν στον Φορέα II (Ι.Π.Τ.).

Επομένως, ο συντελεστής συμπεριφοράς  $q$ , υπολογίζεται όπως παρακάτω:

$$q = q_o * k_w \geq 1,50 \Rightarrow$$

$$q = [3,00 * (\alpha_u/\alpha_1)] * k_w \geq 1,50 \Rightarrow$$

$$q = 3,00 * 1,20 * 1,00 \geq 1,50 \Rightarrow$$

$$q = 3,60 \geq 1,50 \Rightarrow \text{😊}$$

**Ισημειώνεται** ότι ο συντελεστής συμπεριφοράς  $q$ , έχει την ίδια τιμή και στις δύο διευθύνσεις, καθώς τόσο κατά την διεύθυνση  $x$ , όσο και κατά την διεύθυνση  $z$ , το στατικό σύστημα λειτουργίας, δεν διαφέρει και είναι Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Τοιχωματικό. Δηλαδή, ο λόγος  $\alpha_u/\alpha_1$ , ισούται με 1,20 και στις δύο διευθύνσεις, άρα θα ισχύει η παρακάτω σχέση (εξάλλου, δεν υπάρχει κάποια διαφορά, καθώς η τιμή του συντελεστή  $k_w$ , προέκυψε ίση με την μονάδα και στις δύο διευθύνσεις, με βάση τα παραπάνω):

$$q = q_x = q_z = 3,60 \geq 1,50 \Rightarrow \text{😊}$$

Τέλος, στον **Πίνακα 5.2** που ακολουθεί, παρατίθενται και τα αποτελέσματα της ανάλυσης που πραγματοποίησε το στατικό πρόγραμμα Fespa, από τα οποία προκύπτει το συμπέρασμα ότι η παραπάνω διαδικασία είναι ορθή.

**Πίνακας 5.2.** Δεδομένα για τον συντελεστή συμπεριφοράς  $\alpha$ , στον Φορέα II (Ι.Π.Τ.), από το στατικό πρόγραμμα Fespa.

<b>[6.1] Συντελεστής συμπεριφοράς</b>		
Συντ. σεισμικής συμπεριφοράς οριζ.	$\alpha_{\chi}=3,60$	$\alpha_{\zeta}=3,60$
Συντ. σεισμικής συμπεριφοράς κατακόρυφα		$\alpha_{\nu}=1,50$
Στατικό σύστημα: (Διεύθυνση X) ΙΣΟΔΥΜΑΝΟ ΠΡΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΔΙΠΛΟ ΣΥΣΤΗΜΑ		
Στατικό σύστημα: (Διεύθυνση Z) ΙΣΟΔΥΜΑΝΟ ΠΡΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΔΙΠΛΟ ΣΥΣΤΗΜΑ		
Κανονικότητα σε κάτοψη		ΟΧΙ
Κανονικότητα καθ' ύψος	X: ΝΑΙ	Z: ΝΑΙ
Βασική τιμή συντ. συμπεριφοράς	$\alpha_{0\chi}=3,60$	$\alpha_{0\zeta}=3,60$
Λόγος υπεραντοχής	$\alpha_{\nu}/\alpha_{1\_x}=1,10$	$\alpha_{\nu}/\alpha_{1\_z}=1,10$
Συντελεστής τοιχωμάτων	$K_{w\_x}=1,00$	$K_{w\_z}=1,00$
Αντισεισμική Ανάλυση	Δυναμική με Μ.Μαζών	
Ανάλυση pushover		ΟΧΙ
Συντ. μείωσης μετακινήσεων Ο.Κ.Π.Β.		$\nu=0,50$
Ικανοτικός σχεδιασμός σε κάμψη	X: ΟΧΙ	Z: ΟΧΙ

## Βιβλιογραφία

---

1. **Ευρωκώδικας 8-Ε.Σ.8 (EN 1998-1: 2004 GR)**. Αντισεισμικός Σχεδιασμός, Μέρος 1: Γενικοί Κανόνες, Σεισμικές Δράσεις και Κανόνες για Κτίρια. Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση (C.E.N.). Σελ.: 55-58, 90-92.

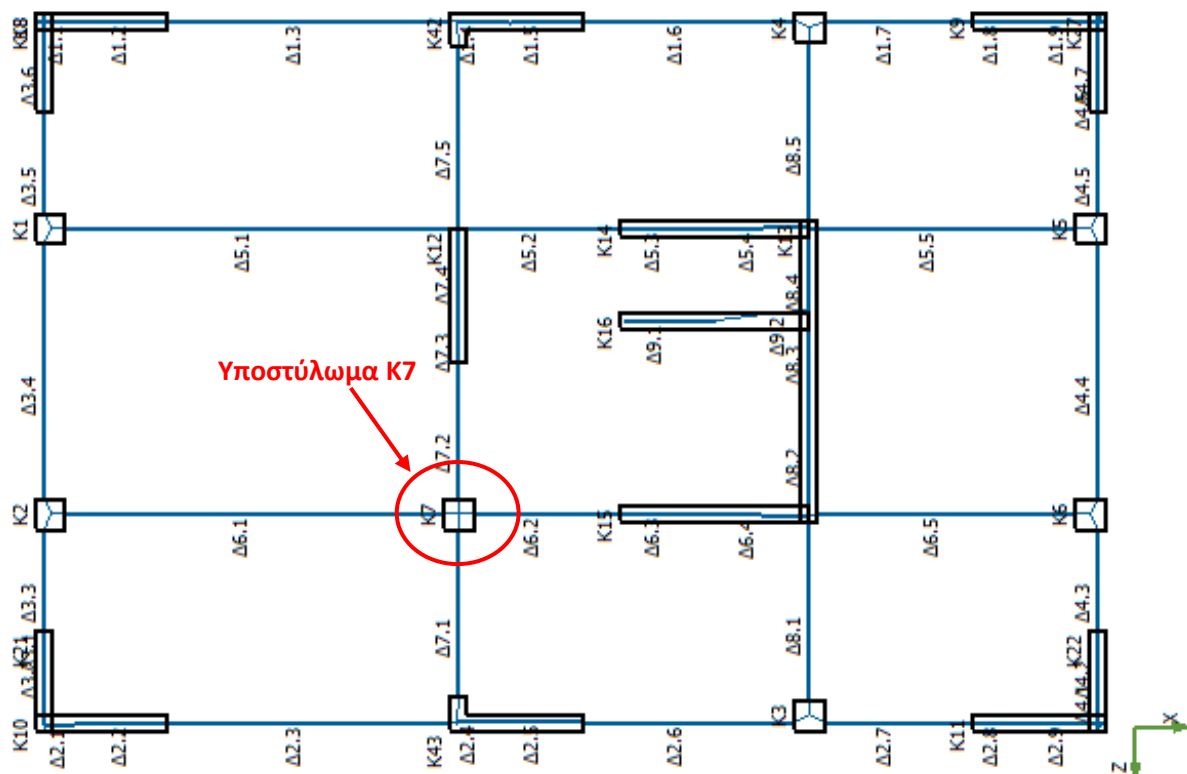
## 5.2 Διαστασιολόγηση Υποστυλώματος K7 (όροφος: 0, νο: 7)

### 5.2.1 Περιγραφή της καταπόνησης σε διαξονική κάμψη

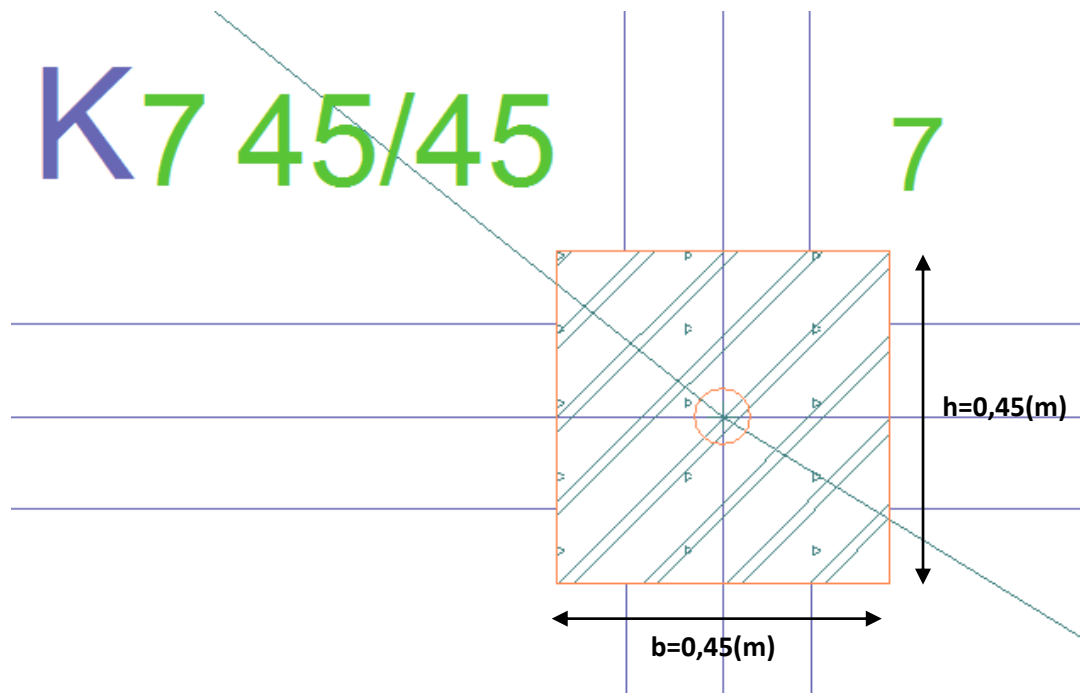
Το υποστυλωμα K7, καταπονείται σε διαξονική κάμψη, υπό αξονική φόρτιση. Στην περίπτωση αυτή, η διατομή του καταπονείται και κατά τις δύο διευθύνσεις, με καμπτικές ροπές  $M_y$  και  $M_z$ . Κατά την διαξονική κάμψη, η ουδέτερη γραμμή είναι κεκλιμένη ως προς τις διευθύνσεις των πλευρών της διατομής (**Εικόνα 4.1**) και για τον λόγο αυτόν, η συγκεκριμένη περίπτωση κάμψης, συχνά αναφέρεται και ως **λοξή κάμψη**. Τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του μηχανικού ποσοστού σπλισμού ( $\omega_{tot}$ ), αντιστοιχούν ουσιαστικά σε επιφάνειες αλληλεπίδρασης των δύο ροπών με την αξονική δύναμη, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 4.2**. Ωστόσο, οι παραδοχές για τον υπολογισμό του διαμήκους σπλισμού (σπλισμός κάμψης), είναι οι ίδιες με αυτές που ισχύουν και στην περίπτωση της μονοαξονικής κάμψης.<sup>[1]</sup>

### 5.2.2 Διατομή Υποστυλώματος K7 και βασικές παράμετροι διαστασιολόγησης

Το Υποστυλωμα K7, είναι ένα εσωτερικό υποστυλωμα, του οποίου η θέση φαίνεται ακριβώς στην κάτοψη του στατικού συστήματος του κτιρίου παρακάτω (**Εικόνα 5.2**), ενώ η διατομή του, παρουσιάζεται αναλυτικά στην **Εικόνα 5.3**.



**Εικόνα 5.2.** Η ακριβής θέση του εσωτερικού υποστυλώματος που εξετάζεται (K7), στην κάτοψη του στατικού συστήματος του 2<sup>ου</sup> κτιρίου.



Εικόνα 5.3. Υποστυλώμα K7, με διαστάσεις πλάτους επί ύψους:  $b \times h = 0,45 \times 0,45(m^2)$ .

Το κτίριο με το Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο Προς Τοιχωματικό, παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά, τα οποία καθορίζουν αρκετά μέρη της επίλυσης, με βάση τις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα:

- ☞ διαθέτει Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (D.C.M.),
- ☞ ανήκει σε περιοχή με ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I  $a_{gR}/g = 0,16$ ,
- ☞ κατηγορία εδάφους B,
- ☞ χρησιμοποιείται ποιότητα σκυροδέματος  $C_{20/25}$ ,
- ☞ ποιότητα χάλυβα ράβδων οπλισμού  $B_{500C}$ ,
- ☞ η ονομαστική επικάλυψη των ράβδων οπλισμού, ισούται με  $c_{nom} = 0,035(m)$ ,
- ☞ το καθαρό ύψος ορόφου ( $l_{cl}$ ), ισούται με το καθαρό μήκος/ύψος του υποστυλώματος ( $l_c$ ), δηλαδή  $l_{clear} = l_{column} = 3,00(m)$ .

### 5.2.3 Διαστασιολόγηση Υποστυλώματος K7 σε κάμψη<sup>[1]</sup>

Τα βήματα της μεθοδολογίας για την διαστασιολόγηση σε κάμψη, είναι τα παρακάτω:

1. αναγνώριση του στατικού συστήματος και επίλυσή του,
2. λήψη της απόφασης για το εάν ο πόδας και η κεφαλή του υποστυλώματος (οι θέσεις δηλαδή όπου οι ροπές παίρνουν τις μέγιστες τιμές τους), θα οπλιστούν με τον ίδιο τρόπο (σε συνήθη οικοδομικά έργα, τοποθετείται ο ίδιος οπλισμός, ενώ σε μεγαλύτερα έργα, είναι δυνατόν να διαφέρει),
3. υπολογισμός των ανηγμένων τιμών των ροπών σχεδιασμού ( $\mu_x$  &  $\mu_y$  και κατ' επέκταση  $\mu_1$  &  $\mu_2$ ) και του αξονικού φορτίου ( $v_d$ ),
4. ελέγχεται εάν η ανηγμένη τιμή του αξονικού φορτίου ( $v_d$ ), καλύπτει την απαίτηση:

$$v_d \leq 0,65 \rightarrow \text{για D.C.M.} \text{ και}$$

$$v_d \leq 0,55 \rightarrow \text{για D.C.H.}$$

και εάν όχι, ο κανονισμός (E.C.8), επιβάλλει αλλαγή των διαστάσεων της διατομής,

5. υπολογισμός του απαιτούμενου οπλισμού ( $A_{s,required}$ ), με βάση το κατάλληλο διάγραμμα αλληλεπίδρασης,

6. σύγκριση του απαιτούμενου οπλισμού ( $A_{s,required}$ ), με τον ελάχιστο ( $A_{s,min}$ ) και μέγιστο ( $A_{s,max}$ ) οπλισμό που ορίζει ο Ευρωκώδικας<sup>[3]</sup>,
7. στην περίπτωση που προκύψει μικρότερος απαιτούμενος οπλισμός από τον ελάχιστο ( $A_{s,required} < A_{s,min}$ ), τότε τοποθετείται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός εκ κανονισμού ( $A_{s,min}$ ),
8. στην περίπτωση που προκύψει μεγαλύτερος απαιτούμενος οπλισμός από τον μέγιστο ( $A_{s,required} > A_{s,max}$ ), τότε απαιτείται αλλαγή της διατομής και επανάληψη της διαδικασίας,
9. επιλογή ράβδων διαμήκους οπλισμού (οπλισμός κάμψης) και έλεγχος των μεταξύ τους αποστάσεων ( $b_i$ ), ώστε η μία ράβδος να απέχει από την άλλη και στις δύο διευθύνσεις της διατομής (x & y), απόσταση, σύμφωνη με την απαίτηση του κανονισμού:<sup>[3, 4]</sup>

$$b_i \leq \min \left\{ \begin{array}{l} \text{πάχος κορμού } b \\ 200(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow b_i \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 450(mm) \\ 200(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow b_i \leq 200(mm)$$

10. και τέλος, γίνεται η τοποθέτηση του οπλισμού στην διατομή και η σχεδίαση ενδεικτικών σκαριφημάτων με την ακριβή θέση του.

Παρακάτω, ακολουθεί η επίλυση, με βάση τα όσα αναφέρθηκαν:

1. Το στατικό σύστημα του κτιρίου, είναι Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Τοιχωματικό και έχει επιλυθεί με την βοήθεια του στατικού προγράμματος Fespa, από το οποίο προέκυψαν και τα εντατικά μεγέθη που θα χρησιμοποιηθούν στην διαστασιολόγηση. Συγκεκριμένα, στο αναλυτικό τεύχος που συνοδεύει την επίλυση, για το Υποσύλωμα Κ7, εντοπίζεται από το πρόγραμμα, ο δυσμενέστερος από όλους τους συνδυασμούς μεταξύ των ροπών των δύο διευθύνσεων και του αξονικού φορτίου. Από αυτόν τον συνδυασμό, τα ζητούμενα, είναι τρία: το αξονικό φορτίο ( $N_{Ed}$ ), η ροπή κατά y ( $M_{Edy}$ ) και η ροπή κατά z ( $M_{Edz}$ ) (τιμές με κόκκινο, στον **Πίνακα 5.3** που ακολουθεί).

**Πίνακας 5.3.** Διαστασιολόγηση σε κάμψη για το Υποσύλωμα Κ7.

Φορτία [/]	Κόμβος [/]	$v_d$ [/]	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Edy}$ [kNm]	$M_{Edz}$ [kNm]	$\lambda = E_d/R_d$ [/]
ΣΣ:+z	7(-1) +	-0,295	-795,94	+70,85	+ 42,83	0,48

2. Τόσο ο πόδας, όσο και η κεφαλή του υποστυλώματος, θα οπλιστούν με τον ίδιο τρόπο, καθώς το συγκεκριμένο τριώροφο κτίριο, χωρίς υπόγειο, αποτελεί ένα κοινό οικοδομικό έργο.
3. Υπολογισμός ανηγμένων τιμών σχεδιασμού ροπών και αξονικού φορτίου:

$$\mu_y = \frac{M_{Edy}}{b * h^2 * f_{cd}} = \frac{+70,85 (kNm) * 1,50(m^2)}{0,45^3(m^3) * (20 * 10^3)(kN)} \Rightarrow \mu_y = +0,0583 \approx +0,06$$

$$\mu_z = \frac{M_{Edz}}{b^2 * h * f_{cd}} = \frac{+ 42,83 (kNm) * 1,50(m^2)}{0,45^3(m^3) * (20 * 10^3)(kN)} \Rightarrow \mu_z = +0,0353 \approx +0,04$$

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{b * h * f_{cd}} = \frac{-795,94(kN) * 1,50(m^2)}{0,45^2(m^2) * (20 * 10^3)(kN)} \Rightarrow v_d = -0,2948 \approx -0,30$$

4. Η ανηγμένη τιμή του αξονικού φορτίου ( $v_d$ ), καλύπτει την απαίτηση του κανονισμού (E.C.8) για την περίπτωση την Κατηγορίας Πλαστιμότητας Μέσης (D.C.M.) και επομένως, δεν χρειάζεται να γίνει αλλαγή των διαστάσεων της διατομής:

$$v_d = -0,30 \leq 0,65 \Rightarrow \text{😊}$$

5. Στην συνέχεια, γίνεται η εκλογή των:  $\mu_1$  και  $\mu_2$ , από τις τιμές:  $\mu_z$  και  $\mu_y$ , με τον τρόπο που προσδιορίζεται σε κάθε διάγραμμα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, θα γίνει χρήση του διαγράμματος αλληλεπίδρασης που θα προκύψει με βάση τα ακόλουθα στοιχεία:

- ↪ έστω ότι θα γίνει χρήση ράβδων διαμέτρου:  $\varnothing_l=18(\text{mm})$  [ $\varnothing_{18}$ ], διαμήκους οπλισμού και διαμέτρου:  $\varnothing_w=8(\text{mm})$  [ $\varnothing_8$ ], εγκάρσιου οπλισμού,
- ↪ η ονομαστική επικάλυψη, ισούται με:  $c_{nom} = 0,035(\text{m})$ ,
- ↪ επομένως, προκύπτει πως το στατικό ύψος ( $d$ ), θα ισούται με  $0,398(\text{m})$  και η απόσταση  $d_1=0,052(\text{m})$ , όπως φαίνεται αναλυτικά στις πράξεις που ακολουθούν και στην **Εικόνα 5.3** παρακάτω:

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing_w + \frac{\varnothing_l}{2} = 35 + 8 + \frac{18}{2} = 52(\text{mm}) \Rightarrow d_1 = 0,052(\text{m})$$

$$d = h - d_1 = 450 - 52 = 398(\text{mm}) \Rightarrow d = 0,398(\text{m})$$

Από το λόγο λοιπόν:  $d_1/h \approx 0,10$ , επιλέγεται το κατάλληλο διάγραμμα αλληλεπίδρασης ορθογωνικής διατομής σε διαξονική κάμψη, για σημειακή και όχι διανεμημένη κατανομή οπλισμού (**Εικόνα 5.5**). Σε αυτό, εισάγονται τα:  $v_d$ ,  $\mu_1$  και  $\mu_2$  και έτσι προσδιορίζεται το μηχανικό ποσοστό οπλισμού  $\omega_{tot}$ , το οποίο θα χρειαστεί για τον υπολογισμό του συνολικού εμβαδού απαιτούμενου οπλισμού  $A_{s,req}$ . Η διαδικασία, περιγράφεται σχηματικά επάνω στην **Εικόνα 5.5** που ακολουθεί, με το  $\mu_1$  να τοποθετείται στον κατακόρυφο άξονα και το  $\mu_2$  στον οριζόντιο άξονα του διαγράμματος, ενώ το  $\omega_{tot}$ , προκύπτει περίπου ίσο με **0,10**.

Ο απαιτούμενος οπλισμός ( $A_{s,req}$ ), δίνεται από την σχέση:

$$A_{s,req} = \omega_{tot} * \frac{b * h * f_{cd}}{f_{yd}} = 0,10 * \frac{0,45^2 * 20 * 1,15}{500 * 1,50} \Rightarrow A_{s,req} = 6,21(\text{cm}^2)$$

6. Έλεγχος μέγιστων και ελάχιστων οπλισμών, με βάση τον κανονισμό [§5.4.3.2.2(1), E.C.8], όπου θα πρέπει ο απαιτούμενος οπλισμός που προέκυψε παραπάνω ( $A_{s,req}$ ), να βρίσκεται εντός των παρακάτω ορίων, **προκειμένου να επιτευχθεί τοπική πλαστιμότητα**:

$$A_{s,min} \leq A_{s,req} \leq A_{s,max} \Rightarrow$$

$$\rho_{min} * A_c \leq A_{s,req} \leq \rho_{max} * A_c \Rightarrow$$

$$\rho_{min} * b * h \leq A_{s,req} \leq \rho_{max} * b * h \Rightarrow$$

$$1\% * 45 * 45 \leq 6,21 \leq 4\% * 45 * 45 \Rightarrow$$

$$20,25(\text{cm}^2) \leq 6,21(\text{cm}^2) \leq 81,00(\text{cm}^2) \Rightarrow \text{✗}$$

7. Εφόσον προέκυψε μικρότερος απαιτούμενος οπλισμός από τον ελάχιστο που ορίζει ο κανονισμός (E.C.8), θα χρησιμοποιηθεί ο ελάχιστος εκ κανονισμού απαιτούμενος οπλισμός ( $A_{s,min}$ ), δηλαδή:



$$A_{s,min} = A_{s,req} = 20,25(cm^2)$$

8. Το βήμα αυτό, παραλείπεται, εφόσον ΔΕΝ προέκυψε μεγαλύτερος απαιτούμενος οπλισμός από τον μέγιστο που ορίζει ο κανονισμός (Ε.Σ.8).
9. Επιλέγεται, ο τοποθετούμενος οπλισμός κάμψης ( $A_{s,prov}$ ), να είναι οκτώ (8) ράβδοι, διαμέτρου:  $\varnothing_{18}$ , τρεις ( $3\varnothing_{18}$ ) στην άνω παρειά του υποστυλώματος, τρεις ( $3\varnothing_{18}$ ) στην κάτω και επιπλέον μία ράβδος ( $1\varnothing_{18}$ ) στο κέντρο αριστερά και μία ράβδος ( $1\varnothing_{18}$ ) στο κέντρο δεξιά στην διατομή, όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 5.3**, δηλαδή:

$$A_{s,prov} = 8\varnothing_{18} = 20,36(cm^2)$$

Ωστόσο, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν και ορισμένοι έλεγχοι που ορίζονται από τον Ευρωκώδικα, ώστε οι αποστάσεις ( $b_i$ ) μεταξύ των ράβδων οπλισμού (από το κέντρο της μίας ράβδου έως το κέντρο της άλλης), τόσο κατά την διεύθυνση  $x$ , όσο και κατά την διεύθυνση  $y$  της διατομής, για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (D.C.M.), να μην απέχουν περισσότερο από 20(cm), όπως ακολουθεί:

► ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ Y:

- $h - (2 * c_{nom}) - (2 * \varnothing_8) - \left(\frac{2 * \varnothing_{18}}{2}\right) = 450 - (2 * 35) - (2 * 8) - \left(\frac{2 * 18}{2}\right) = 346(mm) \rightarrow$   
**απόσταση  $\alpha_1$  στην Εικόνα 5.6**
- $\frac{\alpha_1}{2} = \frac{346}{2} = 173,00(mm) \leq b_i = 200,00(mm) \Rightarrow \text{😊} \rightarrow$  **απόσταση  $\alpha_2$  στην Εικόνα 5.6**
- επομένως, **δεν απαιτείται** να τοποθετηθούν επιπλέον ράβδοι διαμήκους οπλισμού κατά την διεύθυνση  $y$ , εφόσον μεταξύ των τριών (3) ράβδων, σε κάθε παρειά (δεξιά και αριστερά) της διατομής, δημιουργούνται δύο (2) αποστάσεις ( $\alpha_2$ ), μικρότερες των 20(cm) (**Εικόνα 5.6**).

► ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ X:

- $b - (2 * c_{nom}) - (2 * \varnothing_8) - \left(\frac{2 * \varnothing_{18}}{2}\right) = 450 - (2 * 35) - (2 * 8) - \left(\frac{2 * 18}{2}\right) = 346(mm) \rightarrow$   
**απόσταση  $\beta_1$  στην Εικόνα 5.6**
- $\frac{\beta_1}{2} = \frac{346}{2} = 173,00(mm) \leq b_i = 200,00(mm) \Rightarrow \text{😊} \rightarrow$  **απόσταση  $\beta_2$  στην Εικόνα 5.6**
- επομένως, **δεν απαιτείται** να τοποθετηθούν επιπλέον ράβδοι διαμήκους οπλισμού κατά την διεύθυνση  $x$ , εφόσον μεταξύ των τριών (3) ράβδων, σε κάθε παρειά (άνω και κάτω) στην διατομή, δημιουργούνται δύο (2) αποστάσεις ( $\beta_2$ ), μικρότερες των 20(cm) (**Εικόνα 5.6**).

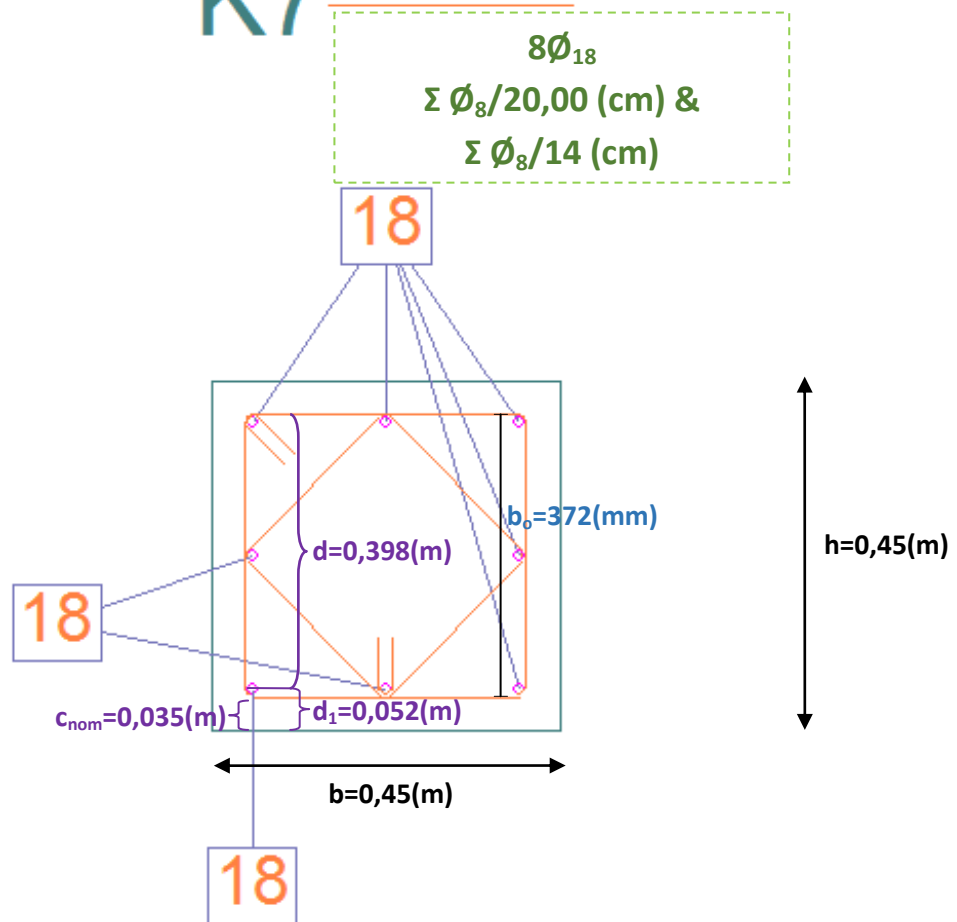
- Με βάση λοιπόν τα παραπάνω, ο τελικός τοποθετούμενος οπλισμός κάμψης ( $A_{s,prov,ολικό}$ ), ο οποίος κινείται εντός των απαιτούμενων ορίων του μέγιστου και ελάχιστου οπλισμού, παραμένει ίδιος με τον  $A_{s,prov}$ , που επιλέχθηκε παραπάνω (**Εικόνα 5.4**), δηλαδή:

$$A_{s,prov,ολικό} = A_{s,prov} = 8\varnothing_{18} = 20,36(cm^2) \Rightarrow A_{s,prov,ολικό} = 20,36(cm^2)$$

$$\text{και πάλι ισχύει: } A_{s,min} \leq A_{s,prov,ολικό} \leq A_{s,max} \Rightarrow \text{😊}$$

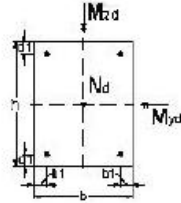
10. Στην **Εικόνα 5.4** παρακάτω, φαίνεται η τελική επιλογή τοποθέτησης του οπλισμού κάμψης στην διατομή και η ακριβής θέση του.

K7 45/45

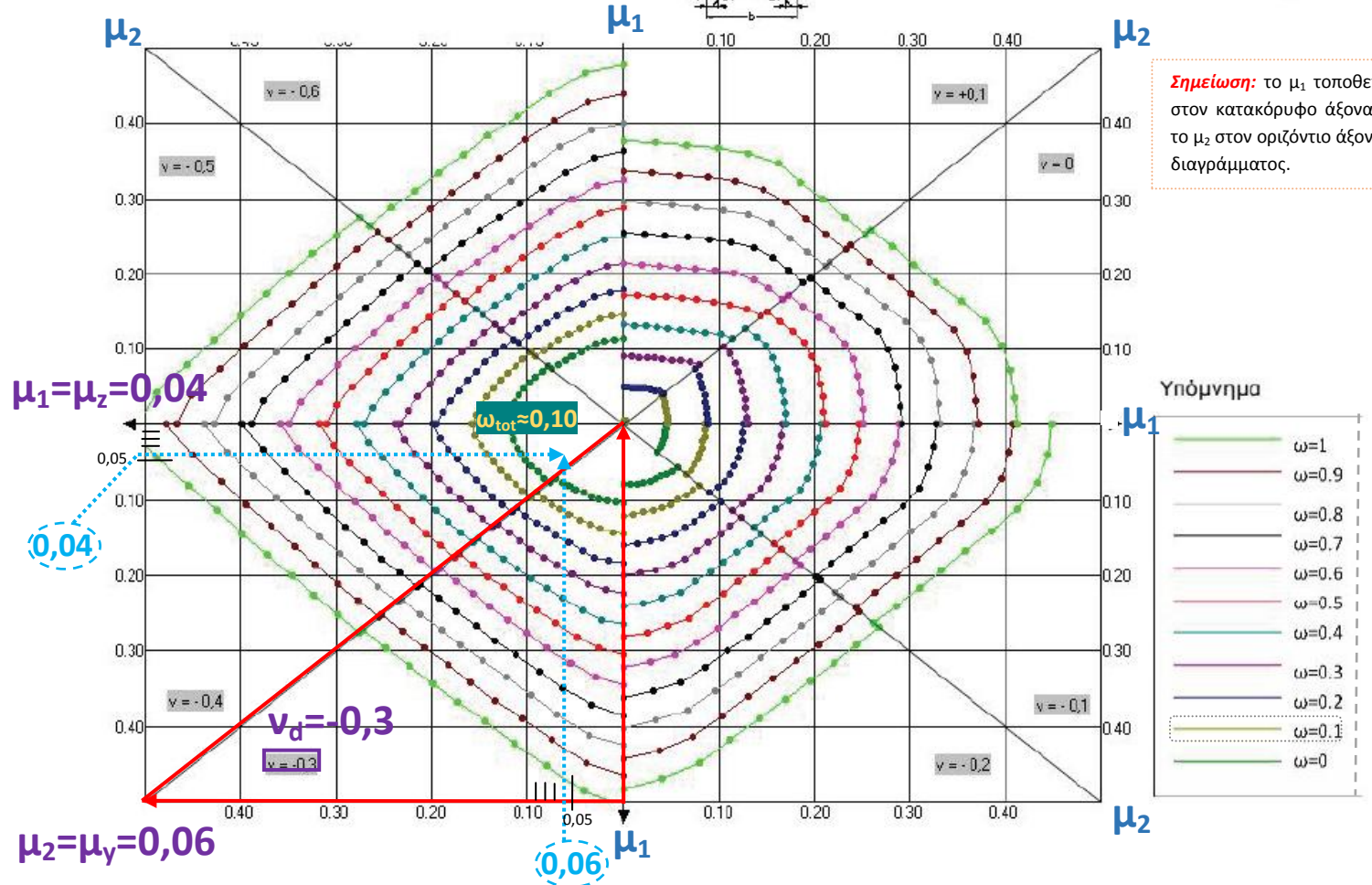
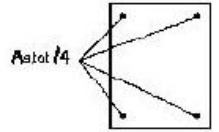


**Εικόνα 5.4.** Εύρεση του στατικού ύψους  $d$  και της απόστασης  $d_1$  και τελική λύση όπλισης στο Υποσύλωμα K7.

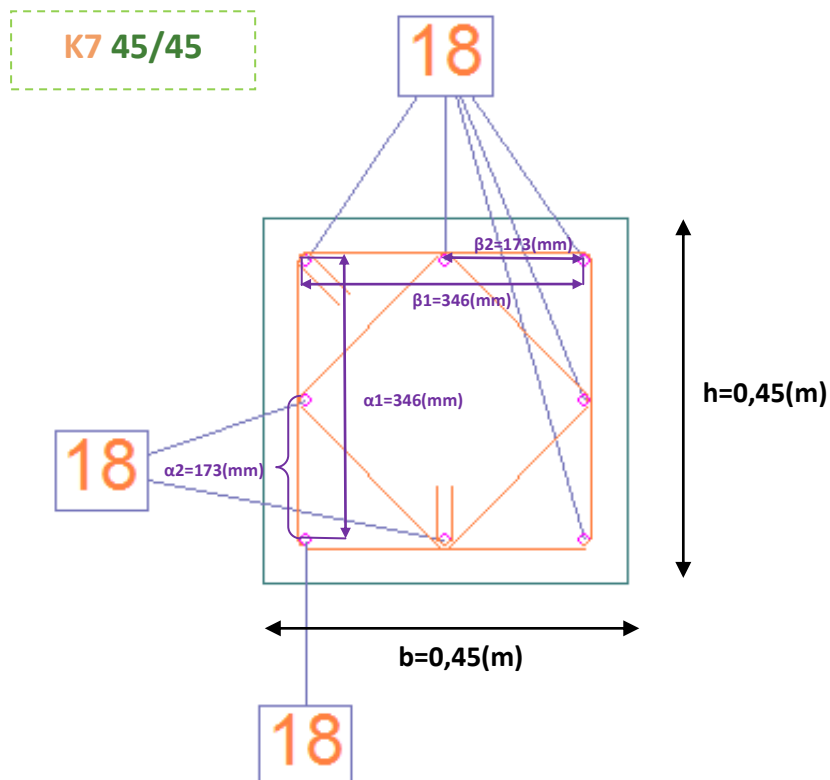
Διάγραμμα αλληλεπίδρασης για ορθογωνική διατομή σε διαξονική κάμψη σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2 (σημειακή κατανομή σπλισμού)



Όλες οι κατηγορίες σκυροδέματος  
Χάλυβας B500c  
 $d_1/h = b_1/b = 0.10$



Εικόνα 5.5. Διάγραμμα αλληλεπίδρασης για ορθογωνική διατομή σε διαξονική κάμψη ( $B_{500c}$ , σημειακή κατανομή σπλισμού,  $d_1/h = b_1/b = 0,10$ ).<sup>[1]</sup>



**Εικόνα 5.6.** Έλεγχοι απαιτούμενων αποστάσεων ( $b_i$ ) μεταξύ των ράβδων οπλισμού (από το κέντρο της μίας ράβδου έως το κέντρο της άλλης), κατά τις δύο διευθύνσεις  $x$  και  $y$  του Υποστυλώματος K7.

### 5.2.4 Διαστασιολόγηση Υποστυλώματος K7 σε διάτμηση (§6.2, E.C.2)

Για την παραλαβή των εφελκυστικών τάσεων που προκαλούνται από τις τέμνουσες δυνάμεις, απαιτείται τοποθέτηση οπλισμού, κάθετα προς την διεύθυνση των πιθανών ρηγμάτων που θα σχηματιστούν σε περίπτωση σεισμού (παράδειγμα τέτοιου είδους ρηγμάτων, φαίνεται στην **Εικόνα 4.13**, όμως όπως συμβαίνει στις δοκούς). Αυτός ο οπλισμός, είναι ο εγκάρσιος οπλισμός, ο οποίος εξασφαλίζει την διατομή του υποστυλώματος έναντι της διάτμησης και αποτελείται από τους λεγόμενους «συνδετήρες». Τα βήματα της μεθοδολογίας για την διαστασιολόγηση σε διάτμηση, είναι τα παρακάτω:<sup>[1]</sup>

1. λήψη εντατικών μεγεθών σχεδιασμού από την στατική επίλυση του συστήματος που έγινε με το πρόγραμμα Fespa,
2. **έλεγχος περιορισμού λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού (Τέμνουσα Αντοχής σχεδιασμού, λόγω θλίψης κορμού)**, δηλαδή ελέγχεται εάν απαιτείται αλλαγή της διατομής του Υποστυλώματος K7 και συγκεκριμένα, θα πρέπει οι διαστάσεις του κορμού, να είναι τέτοιες ώστε η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)  $V_{Ed}$ , να είναι **μικρότερη ή ίση** της Αντοχής Σχεδιασμού λοξού θλιπτήρα  $V_{Rd,max}$ , ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

3. **έλεγχος απαίτησης οπλισμού διάτμησης**, δηλαδή ελέγχεται εάν απαιτείται να τοποθετηθεί τελικά οπλισμός έναντι της αναπτυσσόμενης διάτμησης στο Υποστυλώμα K7, με βάση το ποσοστό εφελκόμενου χάλυβα  $\rho_l$ , το οποίο είναι ο λόγος του συνολικού τοποθετούμενου οπλισμού κάμψης [ $A_{s,prov,ολικό} = 20,36 \text{ (cm}^2\text{)}$ ], που υπολογίστηκε παραπάνω προς τις διαστάσεις της διατομής· συγκεκριμένα, θα πρέπει η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)  $V_{Ed}$ , να είναι **μικρότερη** της Αντοχής Σχεδιασμού σε Τέμνουσα  $V_{Rd,c}$  που αναπτύσσεται χάρη στον οπλισμό κάμψης, ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$V_{Ed} < V_{Rd,c}$$

4. υπολογισμός βάσει Κατηγορίας Πλαστιμότητας (εδώ: D.C.M.), των κρίσιμων περιοχών (περιοχές σχηματισμού επιθυμητών πλαστικών αρθρώσεων) στα άκρα του υποστυλώματος, όπου σε αυτές, η περίσφιξη με συνδετήρες, είναι περισσότερο πυκνή σε σχέση με τις μη κρίσιμες περιοχές του υποστυλώματος,
5. επιλογή οπλισμού διάτμησης, με υπολογισμό ελάχιστων συνδετήρων:
  - i. **EKTOΣ** κρίσιμων περιοχών και
  - ii. **ENTOS** κρίσιμων περιοχών
6. **έλεγχος, για το εάν η λύση που επιλέχθηκε**, δηλαδή ο τοποθετούμενος οπλισμός διάτμησης (ENTOS και EKTOΣ κρίσιμων περιοχών) **επαρκεί** και συγκεκριμένα, θα πρέπει η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)  $V_{Ed}$ , να είναι **μικρότερη ή ίση** της Τέμνουσας Συνδετήρων  $V_{Rd,s}$  που αναπτύσσεται χάρη στην επιλογή που έγινε για τον οπλισμό διάτμησης, ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:<sup>[2]</sup>

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$$

Παρακάτω, ακολουθεί η επίλυση, με βάση τα όσα αναφέρθηκαν:<sup>[2, 3, 4]</sup>

1. Το στατικό σύστημα του κτιρίου, είναι Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Τοιχωματικό και έχει επιλυθεί με την βοήθεια του στατικού προγράμματος Fespa, από το οποίο προέκυψαν και τα εντατικά μεγέθη που θα χρησιμοποιηθούν στην διαστασιολόγηση. Συγκεκριμένα, στο αναλυτικό τεύχος που συνοδεύει την επίλυση, για το Υποστύλωμα K7, εντοπίζεται από το πρόγραμμα και για τις δύο διευθύνσεις, ο δυσμενέστερος από όλους τους συνδυασμούς για την Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)  $V_{Ed}$ . Από τον **Πίνακα 5.4** του Fespa που ακολουθεί, λαμβάνεται η μεγαλύτερη-δυσμενέστερη δράση ( $V_{Ed}$ ), η οποία ανήκει στην διεύθυνση z (τιμή με κόκκινο, στον **Πίνακα 5.4**), ενώ συγκρατούνται και οι τιμές των:  $V'_{Rd,c}$ ,  $V_{Rd,c}$  και  $V_{Rd,max}$ , ώστε να ελέγχεται εάν τα αποτελέσματα του προγράμματος, συνάδουν με τα αποτελέσματα της επίλυσης που ακολουθεί.

**Πίνακας 5.4.** Μέγιστα εγκάρσιου οπλισμού για το Υποστύλωμα K7.

Φορτία [/]	Διεύθυνση [/]	$v_d$ [/]	$V_{Ed}$ [kN]	$T_{Ed}$ [kNm]	$V'_{Rd,c}$ [kN]	$V_{Rd,c}$ [kN]	$V_{Rd,max}$ [kN]
ΣΣ:-x	Z	-0,217	+ 134,41	0,20	77,10	149,89	588,71
ΣΣ:+z	Y	-0,216	+ 109,80	0,12	77,24	149,89	588,71

2. **Ο έλεγχος περιορισμού λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού (Τέμνουσα Αντοχής σχεδιασμού, λόγω θλίψης κορμού  $V_{Rd,max}$ )**, περιλαμβάνει τον υπολογισμό των παρακάτω παραμέτρων:

$$\blacktriangleright V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} * b_w * Z * v_1 * f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta} = \frac{1,00 * 0,45 * 0,3582 * 0,60 * \left(\frac{20}{1,50}\right)}{2,50 + 0,40} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Rd,max} = 0,44466(MN) = 444,66(kN)$$

- ▶  $\alpha_{cw} = 1,00$ : συντελεστής για να ληφθεί υπόψη η εντατική κατάσταση στο θλιβόμενο πέλμα και η συνιστώμενη τιμή του είναι ίση με την μονάδα, για μη προεντεταμένες κατασκευές
- ▶  $b_w = 0,45(m)$ : το μικρότερο πλάτος κορμού στην εφελκυσμένη περιοχή

- ▶  $z = 0,90 * d = 0,90 * 39,80 = 35,82(cm) = 0,3582(m)$ : ο μοχλοβραχίονας της διατομής σε ένα στοιχείο σταθερού ύψους, ο οποίος αντιστοιχεί στην καμπτική ροπή που δρα στο στοιχείο (στον σχεδιασμό έναντι διάτμησης στοιχείων σπλισμένου σκυροδέματος, χωρίς αξονικό φορτίο, μπορεί να ληφθεί για τον μοχλοβραχίονα η προσεγγιστική τιμή  $z = 0,9d$ )
- ▶  $v_1 = 0,60$ : ο δείκτης μείωσης της αντοχής για σκυρόδεμα ρηγματωμένο λόγω διάτμησης (τιμή για  $f_{ck} \leq 60$  MPa)
- ▶  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,50} = 13,3333(MPa)$ : η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος ποιότητας: C<sub>20/25</sub>
- ▶  $\theta = 21,80^\circ$ : η γωνία των καμπτο-διατμητικών ρηγμάτων ως προς την κατακόρυφο ( $\cot\theta=2,50$  και  $\tan\theta=0,40$ )
- ▶  $V_{Ed} = 134,41(kN)$ : η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)
- ▶ Επομένως, η απαίτηση του κανονισμού, **ικανοποιείται** και δεν απαιτείται να γίνει αλλαγή των διαστάσεων της διατομής, εφόσον ισχύει η σχέση:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} \Rightarrow 134,41(kN) \leq 444,66(kN) \Rightarrow \text{😊}$$

3. Για τον έλεγχο απαίτησης σπλισμού διάτμησης, αρκεί να γίνει ο υπολογισμός των παρακάτω παραμέτρων:

- ▶  $V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 * \sigma_{cp} \right] * b_w * d \Rightarrow$   
 $\Rightarrow V_{Rd,c} = \left[ 0,12 * 1,709 * (100 * 0,010 * 20)^{\frac{1}{3}} + 0,15 * 0 \right] * 0,45 * 0,398 \Rightarrow$   
 $\Rightarrow V_{Rd,c} = 0,09970(MN) = 99,70(kN)$
- ▶  $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,50} = 0,12$ : συντελεστής από δοκιμές, η τιμή του οποίου λαμβάνεται από το Εθνικό Προσάρτημα
- ▶  $k = 1,00 + \sqrt{\frac{200}{d(mm)}} \leq 2,00 \Rightarrow k = 1,00 + \sqrt{\frac{200}{398}} \Rightarrow k = 1,709 \leq 2,00 \Rightarrow \text{😊}$   
: συντελεστής, ο οποίος, θα πρέπει να έχει τιμή μικρότερη ή ίση με δύο και στην περίπτωση αυτή, η απαίτηση καλύπτεται
- ▶  $\rho_l = \frac{A_{s,prov,ολικό}}{b_w * d} \leq 0,02 \Rightarrow \rho_l = \frac{20,36}{45 * 45} \Rightarrow \rho_l = 0,010 \leq 0,02 \Rightarrow \text{😊}$   
: το ποσοστό εφελκόμενου χάλυβα
- ▶  $f_{ck} = 20(MPa)$ : η ελάχιστη χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου, σκυροδέματος ποιότητας: C<sub>20/25</sub>
- ▶  $k_1 = 0,15$ : συντελεστής, η τιμή του οποίου λαμβάνεται από το Εθνικό Προσάρτημα

- ▶  $\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = \frac{0}{b_w * d} = 0(MPa)$ : η θλιπτική τάση του σκυροδέματος στο κέντρο βάρους, λόγω αξονικού φορτίου ή και προέντασης
- ▶  $b_w = 0,45(m)$ : το μικρότερο πλάτος κορμού στην εφελκυσμένη περιοχή
- ▶  $d = 0,398(m)$ : το στατικό ύψος
- ▶ εισάγοντας την ελάχιστη τιμή  $v_{min}$ , η  $V_{Rd,c}$  θα ισούται με την  $V'_{Rd,c}$ :

$$\begin{aligned}
 V'_{Rd,c} &= (V_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d \Rightarrow \\
 \Rightarrow V'_{Rd,c} &= (0,350 + 0,15 * 0) * 0,45 * 0,398 \Rightarrow \\
 \Rightarrow V'_{Rd,c} &= 0,06269(MN) = 62,69(kN)
 \end{aligned}$$

- ▶  $v_{min} = 0,035 * K^3 * f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 * 1,709^{1,5} * 20^{0,5} = 0,350$ : τύπος από Εθνικό Προσάρτημα
- ▶  $V_{Ed} = 134,41(kN)$ : η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)
- ▶ Επομένως, η απαίτηση του κανονισμού, **ΔΕΝ ικανοποιείται**, και θα πρέπει να τοποθετηθεί οπλισμός διάτμησης, εφόσον δεν ισχύει η σχέση:

$$V_{Ed} < V_{Rd,c} \Rightarrow 134,41(kN) < 103,12(kN) \Rightarrow \times$$

4. Στα υποστυλώματα, όπως και στις δοκούς, τα ακραία σημεία, θεωρούνται κρίσιμα (πλαστικά σημεία: κρίσιμα σημεία, προκειμένου να σχηματισθούν σε αυτά οι επιθυμητές πλαστικές αρθρώσεις) και για τον λόγο αυτό, διαστασιολογούνται σε διάτμηση, με πιο πυκνούς συνδετήρες από ότι οι μη κρίσιμες περιοχές· έτσι λοιπόν, για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (D.C.M.), το κρίσιμο μήκος για υποστυλώμα  $l_{cr}$ , θα ισούται με:

$$l_{cr} = \max \left\{ \begin{array}{l} h = 0,45(m) \\ l_c/6 = 3/6 = 0,50(m) \\ 0,45(m) \end{array} \right\} \Rightarrow l_{cr} = 0,50(m)$$

5. Για την επιλογή του οπλισμού διάτμησης, πρόκειται να επιλυθούν δύο διαφορετικές περιπτώσεις διαστασιολόγησης σε διάτμηση (μία εκτός και μία εντός των κρίσιμων περιοχών):

- i. ελάχιστοι συνδετήρες **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών:

$$s_{max} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} b_{min} = 450(mm) \\ 20 * d_{bl,min} = 20 * 18 = 360(mm) \\ 400(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow s_{max} \leq 360(mm)$$

- όπου  $b_{min}$ : η μικρότερη πλευρά του υποστυλώματος
- όπου  $d_{bl,min}$ : η μικρότερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων που συμμετέχει στην κάμψη
- επιλέγεται η απόσταση τοποθέτησης συνδετήρων **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, να είναι:

$$s_{max} = s = 200(mm) = 20(cm)$$

- η μη κρίσιμη περιοχή του Υποστυλώματος Κ7, μπορεί να ευρεθεί εάν από το συνολικό μήκος του στύλου  $l_c$ , αφαιρεθούν τα δύο κρίσιμα άκρα  $l_{cr}$ :

$$l_{\text{μη κρίσιμο}} = l_c - 2 * l_{cr} = 3 - 2 * 0,50 \Rightarrow \boxed{l_{\text{μη κρίσιμο}} = 2,00(m)}$$

- επιλέγεται λοιπόν, **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, να τοποθετηθούν δέκα (10) 4-τμητοι συνδετήρες, διαμέτρου:  $\varnothing_8$  και σε απόσταση 20(cm) μεταξύ τους (αριθμός ράβδων εγκάρσιου οπλισμού μη κρίσιμων περιοχών:  $NA_{s,w,\text{μη κρίσιμο}}$ ):

$$NA_{s,w,\text{μη κρίσιμο}} = \frac{l_{\text{μη κρίσιμο}}}{s_{max}} = \frac{200}{20} \Rightarrow \boxed{NA_{s,w,\text{μη κρίσιμο}} = 10\varnothing_8/20(cm)}$$

- επομένως, ο τελικός οπλισμός διάτμησης **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών ( $A_{s,w,\text{μη κρίσιμο}}$ ), θα είναι (**Εικόνα 5.3**):

$$\boxed{A_{s,w,\text{μη κρίσιμο}} = 10\varnothing_8/20(cm) = 5,03(cm^2)}$$

ii. ελάχιστοι συνδετήρες **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών:

$$\bullet \quad s_{max} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} b_o/2 = 372/2 = 186(mm) \\ 8 * d_{bl,min} = 8 * 18 = 144(mm) \\ 175(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow s_{max} \leq 144(mm)$$

$$\bullet \quad b_o = b - 2 * c_{nom} - 2 * \frac{\varnothing_{\text{συνδετήρα}}}{2} = 450 - 2 * 35 - 8 = 372(mm)$$

: το πλάτος του περισφιγμένου πυρήνα, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 5.3** (έως τον άξονα των συνδετήρων)

- όπου  $d_{bl,min}$ : η μικρότερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων που συμμετέχει στην κάμψη
- επιλέγεται η απόσταση τοποθέτησης συνδετήρων **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, να είναι:

$$\boxed{s_{max} = s = 140(mm) = 14,00(cm)}$$

- οι κρίσιμες περιοχές  $l_{cr}$ , του Υποστυλώματος Κ7, είναι δύο, η μία βρίσκεται στην κεφαλή και η άλλη στον πόδα του στύλου:

$$\boxed{l_{cr} = 0,50(m) \quad \text{και} \quad l_{cr,\text{ολικό}} = 2 * l_{cr} = 2 * 0,50 = 1,00(m)}$$

- επιλέγεται λοιπόν, **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, να τοποθετηθούν οκτώ (8) 4-τμητοι συνδετήρες (4 στο άνω και 4 στο κάτω άκρο), διαμέτρου:  $\varnothing_8$  και σε απόσταση 14,00(cm) μεταξύ τους (αριθμός ράβδων εγκάρσιου οπλισμού κρίσιμων περιοχών:  $NA_{s,w,\text{κρίσιμο}}$ ):

$$NA_{s,w,\text{κρίσιμο}} = \frac{l_{cr,\text{ολικό}}}{s} = \frac{100}{14,00} \Rightarrow \boxed{NA_{s,w,\text{κρίσιμο}} \approx 8\varnothing_8/14,00(cm)}$$

- επομένως, ο τελικός οπλισμός διάτμησης **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών ( $A_{s,w,\text{κρίσιμο}}$ ), θα είναι (**Εικόνα 5.3**):

$$\boxed{A_{s,w,\text{κρίσιμο}} = 8\varnothing_8/14,00(cm) = 4,02(cm^2)}$$

6. Ελέγχεται για το εάν ο τοποθετούμενος οπλισμός διάτμησης (ΕΝΤΟΣ και ΕΚΤΟΣ κρίσιμων περιοχών) επαρκεί και συγκεκριμένα:



i. **EKTOS** κρίσιμων περιοχών:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{s,w}}{s} * z * f_{ywd} * cot\theta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Rd,s} = \frac{1,01}{20} * 35,82 * \frac{500}{1,15 * 10} * 2,50 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Rd,s} = 196,62(kN)$$

- $A_{s,w} = 2 * 1\varnothing_8 = 2 * 0,503 \approx 1,01(cm^2)$ : το εμβαδόν της διατομής του οπλισμού διάτμησης, επειδή οι συνδετήρες είναι 4-τμητοι
- $z = 0,90 * d = 0,90 * 39,80 = 35,82(cm)$ : ο μοχλοβραχίονας της διατομής σε ένα στοιχείο σταθερού ύψους, ο οποίος αντιστοιχεί στην καμπτική ροπή που δρα στο στοιχείο (στον σχεδιασμό έναντι διάτμησης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος, χωρίς αξονικό φορτίο, μπορεί να ληφθεί για τον μοχλοβραχίονα η προσεγγιστική τιμή  $z = 0,9d$ )
- $f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_y} = \frac{500}{1,15} = 434,78(MPa)$ : η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του οπλισμού διάτμησης
- $\theta = 21,80^\circ$ : η γωνία των καμπτο-διατμητικών ρηγμάτων ως προς την κατακόρυφο ( $cot\theta=2,50$  και  $\tan\theta=0,40$ )
- $V_{Ed} = 134,41(kN)$ : η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)
- Επομένως, ο οπλισμός διάτμησης που τοποθετήθηκε **EKTOS** κρίσιμων περιοχών, καλύπτει την απαίτηση του κανονισμού (E.C.), η οποία επιβάλλει τοποθέτηση ράβδων συνδετήρων, με διάμετρο μεγαλύτερη ή ίση με  $8(mm) \rightarrow (\varnothing_w \geq \varnothing_8)$  και τελικώς, επαρκεί εφόσον ισχύει η απαιτούμενη σχέση:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} \Rightarrow 134,41(kN) \leq 196,62(kN) \Rightarrow \text{😊}$$

ii. **ENTOS** κρίσιμων περιοχών:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{s,w}}{s} * z * f_{ywd} * cot\theta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Rd,s} = \frac{1,01}{14,00} * 35,82 * \frac{500}{1,15 * 10} * 2,50 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Rd,s} = 280,89(kN)$$

- $A_{s,w} = 2 * 1\varnothing_8 = 2 * 0,503 \approx 1,01(cm^2)$ : το εμβαδόν της διατομής του οπλισμού διάτμησης, επειδή οι συνδετήρες είναι 4-τμητοι
- $z = 0,90 * d = 0,90 * 39,890 = 35,82(cm)$ : ο μοχλοβραχίονας της διατομής σε ένα στοιχείο σταθερού ύψους, ο οποίος αντιστοιχεί στην καμπτική ροπή που δρα στο στοιχείο (στον σχεδιασμό έναντι διάτμησης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος, χωρίς αξονικό φορτίο, μπορεί να ληφθεί για τον μοχλοβραχίονα η προσεγγιστική τιμή  $z = 0,9d$ )

- $f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_y} = \frac{500}{1,15} = 434,78(MPa)$ : η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του οπλισμού διάτμησης
- $\theta = 21,80^\circ$ : η γωνία των καμπτο-διατμητικών ρηγμάτων ως προς την κατακόρυφο ( $\cot\theta=2,50$  και  $\tan\theta=0,40$ )
- $V_{Ed} = 134,41(kN)$ : η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)
- Επομένως, ο οπλισμός διάτμησης που τοποθετήθηκε **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, καλύπτει την απαίτηση του κανονισμού (E.C.), η οποία επιβάλλει τοποθέτηση ράβδων συνδετήρων, με διάμετρο μεγαλύτερη ή ίση με 8(mm)  $\rightarrow (\varnothing_w \geq \varnothing_8)$  και τελικώς, επαρκεί εφόσον ισχύει η απαιτούμενη σχέση:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} \Rightarrow 134,41(kN) \leq 280,89(kN) \Rightarrow \text{😊}$$

## Βιβλιογραφία

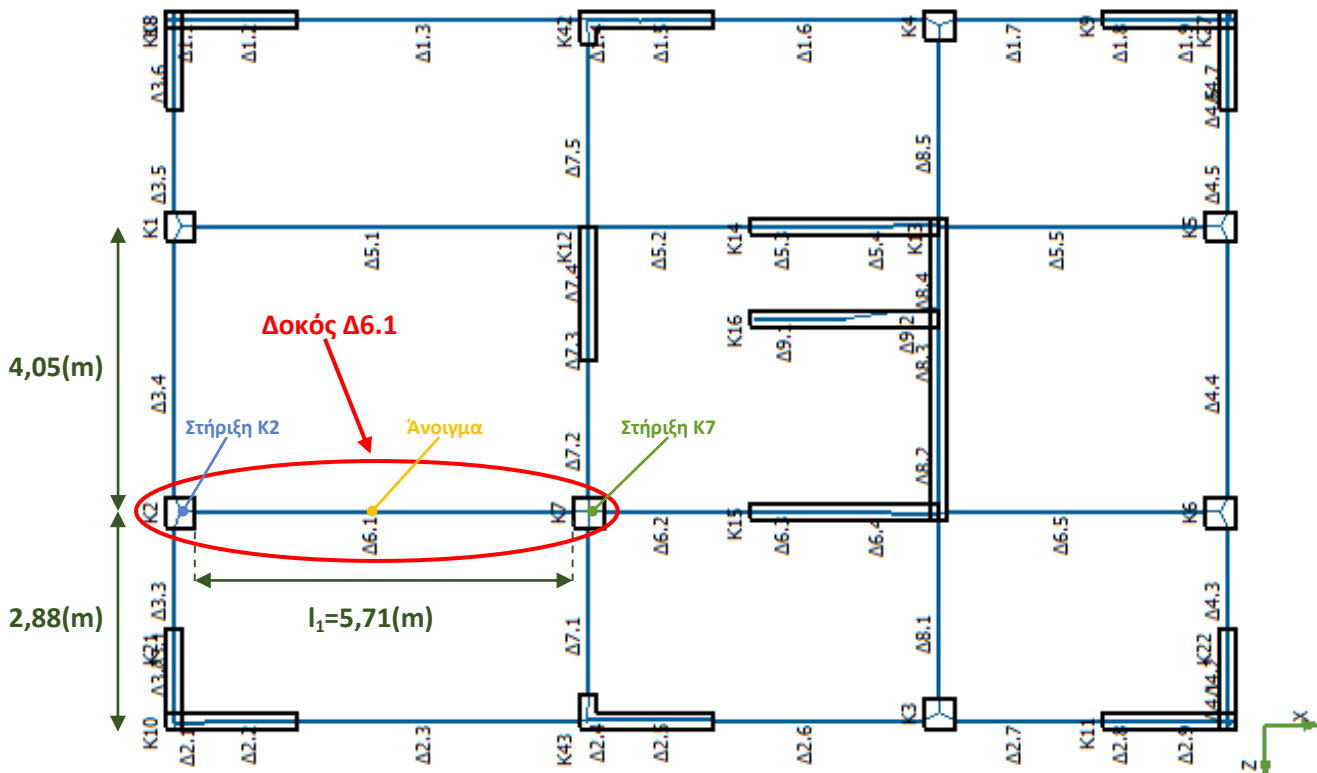
---

1. **Παναγόπουλος Γ., Κίρτας Ε. (2005).** Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος Ι. Σημειώσεις μαθήματος «Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος Ι». Τ.Ε.Ι.Σερρών.
2. **Καραγιάννης Χρ. (2016).** Σχεδιασμός Συμπεριφορά Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα έναντι Σεισμού. Εκδόσεις "Σοφία". Θεσσαλονίκη (Ελλάδα), 2016, Σελ.: 413-421.
3. **Ευρωκώδικας 2-Ε.Σ.2 (EN 1992-1-1: 2004 GR).** Σχεδιασμός Φορέων από Σκυρόδεμα, Μέρος 1-1: Γενικοί Κανόνες και Κανόνες για Κτίρια. Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση (C.E.N.). Σελ.: 113-124, 165-166, 211.
4. **ΔΙΠΑΔ/οικ/473/31-12-2008.** Προσωρινές Συστάσεις για το σχεδιασμό έργων γεφυροποιίας σε συνδυασμό με τους αντίστοιχους Ευρωκώδικες (ΠΡΟΣΥ). Εφημερίδα της Κυβέρνησης (ΦΕΚ 2692/Β/31-12-2008). Σελ.: 37-38.

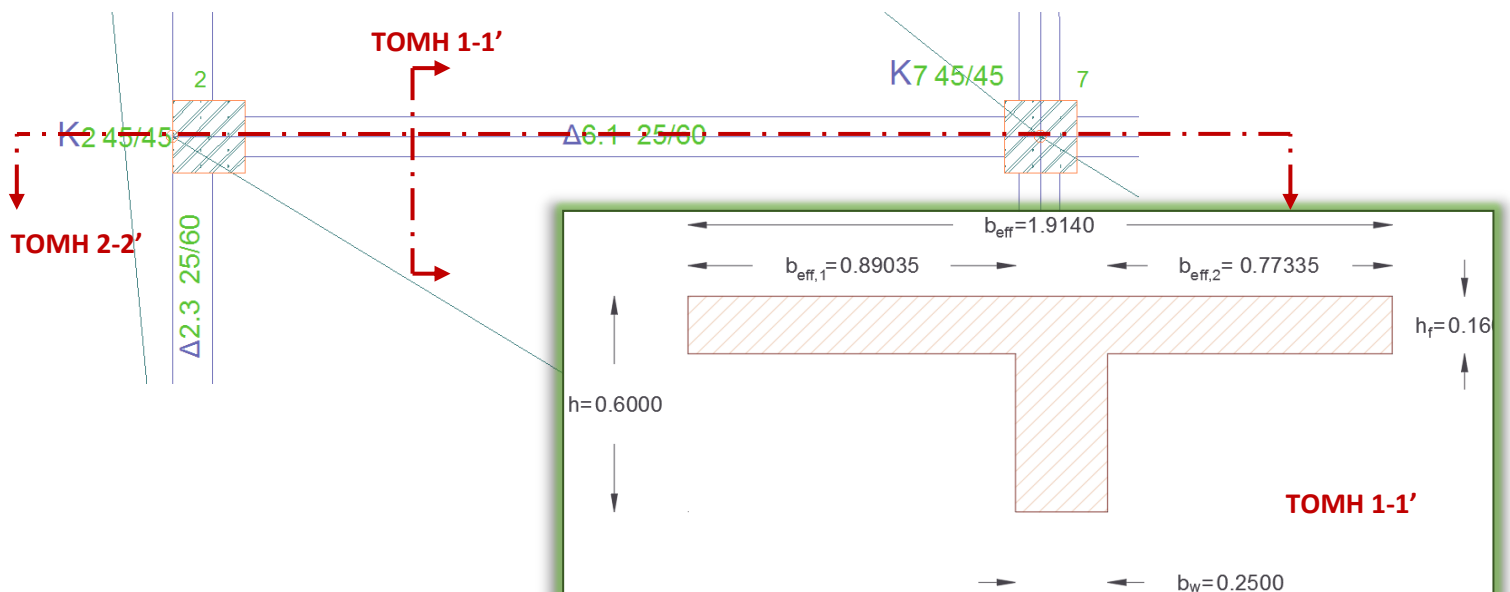
### 5.3 Διαστασιολόγηση Δοκού Δ6.1 (όροφος: 0, νο: 6.1)

#### 5.3.1 Διατομή Δοκού Δ6.1 και βασικές παράμετροι διαστασιολόγησης

Η Δοκός Δ6.1, είναι μία εσωτερική πλακοδοκός, της οποίας η θέση φαίνεται ακριβώς στην κάτοψη του στατικού συστήματος του κτιρίου παρακάτω (**Εικόνα 5.7**), ενώ η διατομή της, παρουσιάζεται αναλυτικά στην **Εικόνα 5.8** και το συνεργαζόμενο πλάτος που φαίνεται στην εικόνα, είναι αποτέλεσμα της επίλυσης που ακολουθεί στην §5.2.2 του παρόντος.

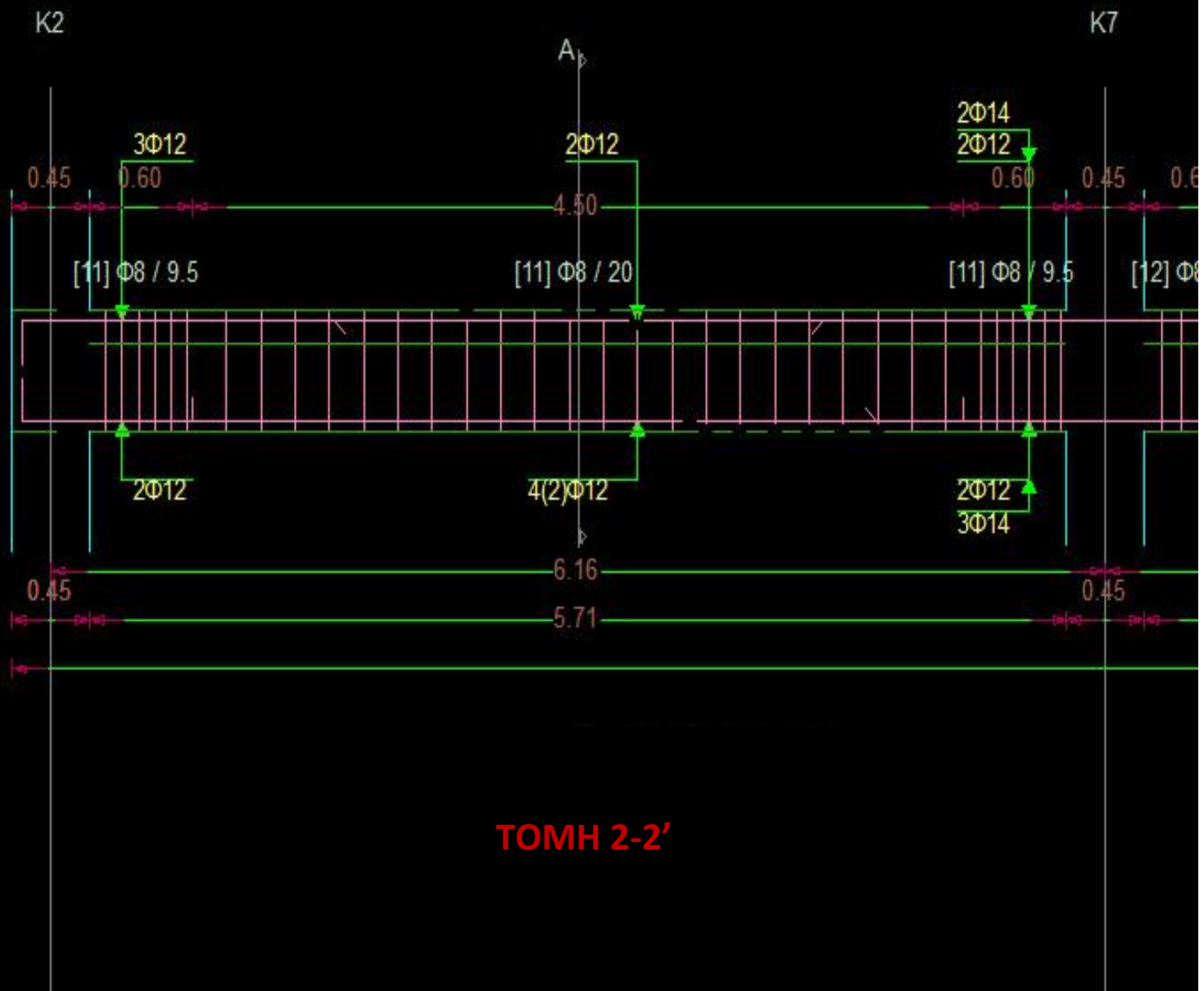


**Εικόνα 5.7.** Η ακριβής θέση της εσωτερικής δοκού που εξετάζεται (Δ6.1), στην κάτοψη του στατικού συστήματος του 2<sup>ου</sup> κτιρίου.



**Εικόνα 5.8.** Διατομή πλακοδοκού Δ6.1, με διαστάσεις:  $b_w/h/b_{eff}/h_f = 0,25/0,60/1,914/0,16$  (m).

# Οροφος:0 Δοκός:6



Εικόνα 5.9. Τομή 2-2' πλακοδοκού Δ6.1, με βάση την Εικόνα 5.8 και αναπτύγματα οπλισμών διάτμησης και κάμψης.

Το κτίριο με το Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο Προς Τοιχωματικό, παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά, τα οποία καθορίζουν αρκετά μέρη της επίλυσης, με βάση τις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα:

- ↻ διαθέτει Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (D.C.M.),
- ↻ ανήκει σε περιοχή με ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας  $I_{aR}/g = 0,16$ ,
- ↻ κατηγορία εδάφους Β,
- ↻ χρησιμοποιείται ποιότητα σκυροδέματος  $C_{20/25}$ ,
- ↻ ποιότητα χάλυβα ράβδων οπλισμού  $B_{500C}$ ,
- ↻ η ονομαστική επικάλυψη των ράβδων οπλισμού, ισούται με  $c_{nom} = 0,035(m)$ ,
- ↻ το καθαρό ύψος ορόφου ( $l_{ci}$ ), ισούται με τρία μέτρα, δηλαδή  $l_{clear} = 3,00(m)$ .

Τα βασικά χαρακτηριστικά της εσωτερικής Δοκού Δ6.1, είναι τα παρακάτω:

- ↻ ύψος πλακοδοκού  $h = 0,60 (m)$ ,
- ↻ πλάτος νευρώνα πλακοδοκού  $b_w = 0,25 (m)$  και
- ↻ πάχος πλάκας πλακοδοκού (πέλημα)  $h_f = 0,16 (m)$ .

### 5.3.2 Υπολογισμός συνεργαζόμενου πλάτους $b_{eff}^{[1,3]}$

Το συνεργαζόμενο πλάτος πλακοδοκού  $b_{eff}$ , για όλες τις οριακές καταστάσεις, υπολογίζεται από την παράγραφο §5.3.2.1 του Ε.Σ.2, με βάση την απόσταση μεταξύ των σημείων μηδενισμού των ροπών  $l_o$ . Ο Ε.Σ.2, για συνήθεις δράσεις δέχεται ότι το  $l_o$  σε συνεχείς δοκούς οικοδομικών έργων, μπορεί να λαμβάνεται σταθερό:

1. σε κάθε μεσαίο άνοιγμα ίσο με:  $l_o = 0,70 * l$  και
2. σε κάθε ακραίο άνοιγμα ίσο με:  $l_o = 0,85 * l$

και επομένως, για το ακραίο άνοιγμα της δοκού που εξετάζεται (**Εικόνα 5.7**), λαμβάνεται:

$$l_o = 0,85 * l_1 = 0,85 * 5,71 \Rightarrow l_o = 4,8535(m)$$

Το συνεργαζόμενο πλάτος, δίνεται από την σχέση:

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \quad \text{και θα πρέπει να ισχύει πως: } b_{eff} \leq b$$

$$b_{eff} = (b_{eff,1} + b_{eff,1}) + b_w = 0,89035 + 0,77335 + 0,25 \Rightarrow b_{eff} = 1,9137(m) \approx 1,914(m)$$

$$\text{και ισχύει πως: } b_{eff} \leq b \Rightarrow 1,9137(m) \leq 3,715(m) \Rightarrow \text{😊}$$

όπου:

- ▶  $b = b_1 + b_2 + b_w = \frac{4,05}{2} + \frac{2,88}{2} + 0,25 = 2,025 + 1,44 + 0,25 = 3,715(m)$ : η απόσταση μεταξύ των μέσων των πραγματικών ανοιγμάτων εκατέρωθεν της δοκού και δεδομένου ότι η δοκός είναι μεσαία δοκός και απέχει από την επόμενη δοκό (Δ5.1) και την προηγούμενη δοκό (Δ1.3) αποστάσεις: 4,05(m) και 2,88(m) αντίστοιχα και το πλάτος νευρώνα πλακοδοκού ισούται με:  $b_w = 0,25 (m)$ ,

- ▶  $b_{eff,i} = 0,20 * b_i + 0,10 * l_o$  και  $b_{eff,i} \leq 0,20 * l_o$

$$\text{και } b_{eff,i} \leq b_i$$

επομένως:

$$b_{eff,1} = 0,20 * b_1 + 0,10 * l_o = 0,20 * 2,025 + 0,10 * 4,8535 \Rightarrow b_{eff,1} = 0,89035(m)$$

$$b_{eff,2} = 0,20 * b_2 + 0,10 * l_o = 0,20 * 1,44 + 0,10 * 4,8535 \Rightarrow b_{eff,2} = 0,77335(m)$$

και ισχύουν και τα απαιτούμενα:

$$b_{eff,1} \leq 0,20 * l_o \Rightarrow 0,89035 \leq 0,20 * 4,8535 \Rightarrow 0,8895(m) \leq 0,9707(m) \Rightarrow \text{😊}$$

$$b_{eff,1} \leq b_i \Rightarrow 0,89035 \leq b_1 \Rightarrow 0,8895(m) \leq 2,025(m) \Rightarrow \text{😊}$$

$$b_{eff,2} \leq 0,20 * l_o \Rightarrow 0,77335 \leq 0,20 * 4,8535 \Rightarrow 0,7725(m) \leq 0,9707(m) \Rightarrow \text{😊}$$

$$b_{eff,2} \leq b_i \Rightarrow 0,77335 \leq b_2 \Rightarrow 0,77335(m) \leq 1,44(m) \Rightarrow \text{😊}$$

- $b_i$ : το ήμισυ του πραγματικού ανοίγματος μεταξύ της δοκού που εξετάζεται και της επόμενης ή της προηγούμενης δοκού, για:  $i = 1$  ή  $2$  αντιστοίχως και δεδομένου ότι η δοκός είναι μεσαία δοκός και απέχει από την επόμενη δοκό ( $\Delta 5.1$ ) και την προηγούμενη δοκό ( $\Delta 1.3$ ) αποστάσεις:  $4,05(m)$  και  $2,88(m)$  αντίστοιχα:

$$b_1 = \frac{4,05}{2} \Rightarrow b_1 = 2,025(m)$$

$$b_2 = \frac{2,88}{2} \Rightarrow b_2 = 1,44(m)$$

### 5.3.3 Διαστασιολόγηση Δοκού Δ6.1 σε κάμψη<sup>[2,5]</sup>

Τα βήματα της μεθοδολογίας για την διαστασιολόγηση σε κάμψη, είναι τα παρακάτω:

1. αναγνώριση του στατικού συστήματος και επίλυσή του,
2. με βάση το διάγραμμα των ροπών που προκύπτει, γίνεται επιλογή των κρίσιμων θέσεων για τον υπολογισμό και την τοποθέτηση του διαμήκους οπλισμού· αυτές οι θέσεις, είναι τα σημεία μηδενισμού των τεμνουσών δυνάμεων της δοκού, όπου εμφανίζονται οι μέγιστες ροπές (στηρίξεις και ανοίγματα) και ελέγχεται σε ποια από αυτές τις θέσεις, υπάρχει λειτουργία πλακοδοκού και σε ποια ορθογωνικής διατομής,
3. εάν υπάρχει λειτουργία πλακοδοκού, χρησιμοποιείται το συνεργαζόμενο πλάτος  $b_{eff}$ , το οποίο υπολογίστηκε στην παράγραφο §5.2.2 του παρόντος, σύμφωνα με την §5.3.2.1 του E.C.2<sup>[3]</sup>,
4. στην περίπτωση που δεν δίνεται το ύψος της δοκού, υπολογίζεται βάσει των παρακάτω:

- υπολογίζεται το στατικό ύψος  $d$ , θέτοντας όπου  $\mu_{sd}$ , το  $\mu_{lim}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b_w * d^2 * f_{cd}} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{M_{sd}}{\mu_{lim} * b * f_{cd}}}$$

- και στην συνέχεια, το ύψος της διατομής, προκύπτει από το άθροισμα του στατικού ύψους  $d$  και της απόστασης  $d_1$  (**Εικόνα 5.10**):

$$h = d + d_1$$

- εάν σχεδιάζεται δοκός **χωρίς απαίτηση θλιβόμενου οπλισμού** και είναι πάλι ζητούμενο το ύψος της διατομής, τότε επιλύεται η παρακάτω σχέση ως εξής:

$$\mu_{sd} \leq \mu_{lim} \Rightarrow \frac{M_{sd}}{b_w * d^2 * f_{cd}} \leq \mu_{lim} \Rightarrow d \geq \sqrt{\frac{M_{sd}}{b_w * \mu_{lim} * f_{cd}}}$$

- εάν σχεδιάζεται δοκός **με απαίτηση θλιβόμενου οπλισμού** και είναι πάλι ζητούμενο το ύψος της διατομής, τότε επιλύεται η παρακάτω σχέση ως εξής:

$$\mu_{sd} > \mu_{lim} \Rightarrow \frac{M_{sd}}{b_w * d^2 * f_{cd}} > \mu_{lim} \Rightarrow d < \sqrt{\frac{M_{sd}}{b_w * \mu_{lim} * f_{cd}}}$$

5. υπολογισμός της ανηγμένης ροπής σχεδιασμού  $\mu_{sd}$  και σύγκρισή της με την οριακή τιμή  $\mu_{lim}$ , ώστε να εξακριβωθεί εάν απαιτείται και θλιβόμενος οπλισμός ή όχι, όταν δηλαδή:

- ισχύει η σχέση:  $\mu_{sd} \leq \mu_{lim} \Rightarrow$  τότε **ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ** θλιβόμενος οπλισμός
- ισχύει η σχέση:  $\mu_{sd} > \mu_{lim} \Rightarrow$  τότε **ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ** θλιβόμενος οπλισμός

6. υπολογισμός του απαιτούμενου εφελκυσμένου οπλισμού  $A_{s,required}$  (και εάν απαιτείται υπολογισμός και του θλιβόμενου οπλισμού),
7. σύγκριση του απαιτούμενου οπλισμού ( $A_{s,required}$ ), με τον ελάχιστο ( $A_{s,min}$ ) και μέγιστο ( $A_{s,max}$ ) οπλισμό που ορίζει ο Ευρωκώδικας<sup>[3]</sup>,
8. στην περίπτωση που προκύψει μικρότερος απαιτούμενος οπλισμός από τον ελάχιστο ( $A_{s,required} < A_{s,min}$ ), τότε τοποθετείται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός εκ κανονισμού ( $A_{s,min}$ ),
9. στην περίπτωση που προκύψει μεγαλύτερος απαιτούμενος οπλισμός από τον μέγιστο ( $A_{s,required} > A_{s,max}$ ), τότε απαιτείται αλλαγή της διατομής και επανάληψη της διαδικασίας,
10. επιλογή ράβδων διαμήκους οπλισμού (οπλισμός κάμψης) και έλεγχος των μεταξύ τους αποστάσεων ( $b_i$ ), ώστε η μία ράβδος να απέχει από την άλλη και στις δύο διευθύνσεις της διατομής ( $x$  &  $y$ ), απόσταση, σύμφωνη με την απαίτηση του κανονισμού:<sup>[3, 4]</sup>

$$b_i \leq \min \left\{ \begin{array}{l} \text{πάρχος κορμού } b_w \\ 200(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow b_i \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 250(mm) \\ 200(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow b_i \leq 200(mm)$$

11. και τέλος, γίνεται η τοποθέτηση του οπλισμού στην διατομή και η σχεδίαση ενδεικτικών σκαριφημάτων με την ακριβή θέση του.

Παρακάτω, ακολουθεί η επίλυση, με βάση τα όσα αναφέρθηκαν:

1. Το στατικό σύστημα του κτιρίου, είναι Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Τοιχωματικό και έχει επιλυθεί με την βοήθεια του στατικού προγράμματος Fespa, από το οποίο προέκυψαν και τα εντατικά μεγέθη που θα χρησιμοποιηθούν στην διαστασιολόγηση. Συγκεκριμένα, στο αναλυτικό τεύχος που συνοδεύει την επίλυση, για την Δοκό Δ6.1, εντοπίζονται από το πρόγραμμα, οι δυσμενέστεροι από όλους τους συνδυασμούς μεταξύ των ροπών και του αξονικού φορτίου για τις τρεις κρίσιμες θέσεις (**Εικόνα 5.7**: Στήριξη K2, Άνοιγμα και Στήριξη K7). Από αυτούς τους συνδυασμούς, ζητούμενη, είναι η ροπή ( $M_{Ed}$ ), με την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή της στις τρεις αυτές θέσεις (τιμές με κόκκινο, στον **Πίνακα 5.5** που ακολουθεί, όπου παρατηρείται πως για την Στήριξη K7, υπάρχει μόνο μία τιμή ροπής).

**Πίνακας 5.5.** Μέγιστα οπλισμών ροπών κάμψης για την Δοκό Δ6.1.

Φορτία [/]	Κόμβος [/]	Θέση [m]	$M_{Ed}$ [kNm]	$N_{Ed}$ [kN]
ΣΣ:+z	2	0,00	-77,90 (max)	46,62
ΣΣ:+z	2	0,00	+37,90 (min)	46,62
ΣΣ:+x	0	2,85	+44,98 (min)	44,64
1,35G + 1,05QE	0	2,28	+76,40 (max)	53,76
1,35G + 1,05Q	7	0,00	-114,11	54,28



2. Οι κρίσιμες θέσεις που προκύπτουν από την ανάλυση του στατικού προγράμματος Fespa, είναι η Στήριξη K2, το Άνοιγμα και η Στήριξη K7. Ωστόσο, στις τρεις αυτές περιπτώσεις των κρίσιμων θέσεων, για τις οποίες θα γίνει διαστασιολόγηση σε κάμψη, η πλακοδοκός Δ6.1, έχει διαφορετική λειτουργία και συγκεκριμένα:
- στην **Στήριξη K2**, λειτουργεί ως **ορθογωνική διατομή**,
  - στο **Άνοιγμα**, λειτουργεί ως **πλακοδοκός** και
  - στην **Στήριξη K7**, λειτουργεί ως **ορθογωνική διατομή**.
3. Εφόσον υπάρχει λειτουργία πλακοδοκού, θα γίνει χρήση του  $b_{eff}$ , όπως υπολογίστηκε στην παράγραφο §5.3.2 του παρόντος.
4. Το βήμα αυτό παραλείπεται εφόσον το ύψος της Δοκού Δ6.1 είναι γνωστό:  $h = 0,60(m)$ .
5. Για τον υπολογισμό των ανηγμένων τιμών σχεδιασμού ροπών ( $\mu_{sd}$ ), για τις τρεις κρίσιμες θέσεις ξεχωριστά (Στήριξη K2, Άνοιγμα και Στήριξη K7), χρησιμοποιείται η  $M_{Ed,max}$  της κάθε περίπτωσης (**Πίνακας 5.5**) και στην συνέχεια συγκρίνονται με την οριακή τιμή  $\mu_{lim}$ , ώστε να εξακριβωθεί εάν απαιτείται και θλιβόμενος οπλισμός ή όχι, ενώ χρειάζεται να υπολογιστεί και το στατικό ύψος  $d$  (αναλυτικά στις πράξεις που ακολουθούν και στην **Εικόνα 5.10** παρακάτω):

- υπολογισμός στατικού ύψους  $d$ , με βάση τα ακόλουθα:

- έστω ότι θα γίνει χρήση ράβδων διαμέτρου:  $\varnothing_l=14(mm)$  [ $\varnothing_{14}$ ], κάτω διαμήκους οπλισμού και διαμέτρου:  $\varnothing_w=8(mm)$  [ $\varnothing_8$ ], εγκάρσιου οπλισμού,
- η ονομαστική επικάλυψη, ισούται με:  $c_{nom} = 0,035(m)$ ,
- επομένως, προκύπτει πως το στατικό ύψος ( $d$ ), θα ισούται με  $0,55(m)$  και η απόσταση  $d_1=0,05(m)$ , όπως φαίνεται αναλυτικά στις πράξεις που ακολουθούν:

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing_w + \frac{\varnothing_l}{2} = 35 + 8 + \frac{14}{2} = 50(mm) \Rightarrow d_1 = 0,05(m)$$

$$d = h - d_1 = 600 - 50 = 550(mm) \Rightarrow d = 0,55(m)$$

- υπολογισμός ανηγμένης ροπής σχεδιασμού  $\mu_{sd}$  στην **Στήριξη K2**:

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed,max}}{b_w * d^2 * f_{cd}} = \frac{-77,90(kNm) * 1,50(m^2)}{0,25(m) * 0,55^2(m^2) * (20 * 10^3)(kN)} \Rightarrow \mu_{sd} = -0,0773$$

εφόσον:  $\mu_{sd} \leq \mu_{lim} \Rightarrow -0,0773 \leq 0,316 \Rightarrow$  **ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ** θλιβόμενος οπλισμός

- υπολογισμός ανηγμένης ροπής σχεδιασμού  $\mu_{sd}$  στο **Άνοιγμα**:

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed,max}}{b_{eff} * d^2 * f_{cd}} = \frac{+76,40 (kNm) * 1,50(m^2)}{1,914(m) * 0,55^2(m^2) * (20 * 10^3)(kN)} \Rightarrow \mu_{sd} = +0,0099$$

εφόσον:  $\mu_{sd} \leq \mu_{lim} \Rightarrow 0,0099 \leq 0,316 \Rightarrow$  **ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ** θλιβόμενος οπλισμός

- υπολογισμός ανηγμένης ροπής σχεδιασμού  $\mu_{sd}$  στην **Στήριξη K7**:

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed,max}}{b_w * d^2 * f_{cd}} = \frac{-114,11(kNm) * 1,50(m^2)}{0,25(m) * 0,55^2(m^2) * (20 * 10^3)(kN)} \Rightarrow \mu_{sd} = -0,1132$$

εφόσον:  $\mu_{sd} \leq \mu_{lim} \Rightarrow -0,1132 \leq 0,316 \Rightarrow$  **ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ** θλιβόμενος οπλισμός

- επομένως, τόσο στην Στήριξη K2, όσο και στο Άνοιγμα και την Στήριξη K7, ως θλιβόμενος οπλισμός, θα τοποθετηθεί ο ελάχιστος απαιτούμενος εκ κανονισμού  $A_{s,min}$ , που υπολογίζεται στην συνέχεια.

6. Υπολογισμός του απαιτούμενου εφελκόμενου οπλισμού ( $A_{s,required}$ ), στις τρεις κρίσιμες θέσεις της διατομής της Δοκού Δ6.1. Συγκεκριμένα, στις Στήριξεις K2 & K7, γίνεται διαστασιολόγηση για ορθογωνική διατομή, ενώ στο Άνοιγμα, για πλακοδοκό:

- **Στήριξη K2:**

✎ υπολογισμός  $\mu_{lim}$ :

$$\xi_{lim} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{1 + (f_{yk}/805)} = \frac{1}{1 + (500/805)} = 0,617 \\ 0,601 * \left(\frac{h}{d}\right) = 0,601 * \left(\frac{60}{55}\right) = 0,656 \end{array} \right\} \Rightarrow \xi_{lim} = 0,617$$

$$\mu_{lim} = (0,688 - 0,286 * \xi_{lim}) * \xi_{lim} = (0,688 - 0,286 * 0,617) * 0,617 \Rightarrow \mu_{lim} = 0,316$$

✎ με χρήση των κατάλληλων πινάκων CEB (**Πίνακας 4.6**), για τον σχεδιασμό ορθογωνικών διατομών, υλικά: σκυρόδεμα κατηγορίας C<sub>20/25</sub> και χάλυβας B<sub>500C</sub>, και  $\mu_{sd} = -0,0773$ , προκύπτει με **γραμμική παρεμβολή** το μηχανικό ποσοστό οπλισμού  $\omega$ , το οποίο θα χρειαστεί για τον υπολογισμό του συνολικού εμβαδού απαιτούμενου οπλισμού  $A_{s,req}$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_{sd} = 0,07 \rightarrow \omega = 0,0728 \\ \mu_{sd} = 0,0773 \rightarrow \omega = ? \\ \mu_{sd} = 0,08 \rightarrow \omega = 0,0836 \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \alpha = 0,07 \rightarrow \beta = 0,0728 \\ x = 0,0773 \rightarrow y = ? \\ \gamma = 0,08 \rightarrow \delta = 0,0836 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y = \beta + (\delta - \beta) * \frac{(x - \alpha)}{(\gamma - \alpha)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y = 0,0728 + (0,0836 - 0,0728) * \frac{(0,0773 - 0,07)}{(0,08 - 0,07)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y = \omega = 0,0807$$

✎ επομένως, στην περίπτωση διαστασιολόγησης δοκού, η οποία λειτουργεί ως ορθογωνική διατομή, ο απαιτούμενος εφελκόμενος οπλισμός  $A_{s,req}$ , δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$A_{s,req}^{\Sigmaτηρ. K2} = \omega * b_w * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0807 * 0,25 * 0,55 * \frac{20 * 1,15}{500 * 1,50} * 10^4 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_{s,req}^{\Sigmaτηρ. K2} = 3,40(cm^2)$$

■ **Άνοιγμα:**

η διατομή της Δοκού Δ6.1, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στο Άνοιγμα, διαστασιολογείται ως πλακοδοκός, εφόσον αυτής την λειτουργία έχει από το διάγραμμα της **Εικόνας 5.11**, προκύπτει το μηχανικό ποσοστό οπλισμού  $\omega$ , το οποίο θα χρειαστεί για τον υπολογισμό του συνολικού εμβαδού απαιτούμενου οπλισμού  $A_{s,req}$ , ως εξής:

- i. αρχικά τοποθετείται η ανηγμένη τιμή ροπής  $\mu_{sd} = 0,0099$  στον κατακόρυφο άξονα του διαγράμματος,
- ii. από το σημείο που συναντά την διαγώνιο γραμμή, με κατακόρυφη προβολή στον άνω οριζόντιο άξονα του διαγράμματος, προκύπτει η τιμή του λόγου του ύψους του Ουδέτερου Άξονα από την άνω παρειά της δοκού (εντός πέλματος) προς το στατικό ύψος  $d$  ( $x/d$ ). ο λόγος αυτός, επιλύεται ως προς το ύψος του Ουδέτερου Άξονα ( $x$ ) και διαπιστώνεται εάν όντως ο Ουδέτερος Άξονας, βρίσκεται εντός του πάχους της πλάκας (πέλμα) και εφόσον η θλιβόμενη ζώνη βρίσκεται εντός της πλάκας, στο Άνοιγμα της Δοκού Δ6.1, θα υπάρχει λειτουργία πλακοδοκού, η οποία επιλύεται στην πράξη ως μία ορθογωνική διατομή με διαστάσεις  $b_{eff} \times h$ , δείχνοντας έτσι πως συμμετέχει και το συνεργαζόμενο πλάτος (για να ισχύει αυτό, θα πρέπει να ικανοποιείται η σχέση:  $x < h_f$ ):<sup>[6]</sup>

$$\frac{x}{d} = 0,0125 \Rightarrow x = 0,0125 * d = 0,0125 * 0,55 \Rightarrow x = 0,006875(m)$$

$$x < h_f \Rightarrow 0,006875(m) < 0,16(m) \Rightarrow \text{😊}$$

- iii. από το ίδιο σημείο που συνάντησε την διαγώνιο γραμμή στο αμέσως προηγούμενο βήμα, με κατακόρυφη προβολή στον κάτω οριζόντιο άξονα του διαγράμματος, προκύπτει η τιμή του μηχανικού ποσοστού οπλισμού  $\omega$ :

$$\omega = 0,0099$$

επομένως, στην περίπτωση αυτή, ο απαιτούμενος εφελκυσμένος οπλισμός  $A_{s,req}$ , δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$A_{s,req}^{\text{Άνοιγμα}} = \omega * b_{eff} * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0099 * 1,914 * 0,55 * \frac{20 * 1,15}{500 * 1,50} * 10^4 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_{s,req}^{\text{Άνοιγμα}} = 3,20(cm^2)$$

■ **Στήριξη K7:**

υπολογισμός  $\mu_{lim}$ :

$$\xi_{lim} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{1 + (f_{yk}/805)} = \frac{1}{1 + (500/805)} = 0,617 \\ 0,601 * \left(\frac{h}{d}\right) = 0,601 * \left(\frac{60}{55}\right) = 0,656 \end{array} \right\} \Rightarrow \xi_{lim} = 0,617$$

$$\mu_{lim} = (0,688 - 0,286 * \xi_{lim}) * \xi_{lim} = (0,688 - 0,286 * 0,617) * 0,617 \Rightarrow \mu_{lim} = 0,316$$

με χρήση των κατάλληλων πινάκων CEB (**Πίνακας 4.6**), για τον σχεδιασμό ορθογωνικών διατομών, υλικά: σκυρόδεμα κατηγορίας  $C_{20/25}$  και χάλυβας  $B_{500C}$ , και  $\mu_{sd} = -0,1132$ , προκύπτει με

**γραμμική παρεμβολή** το μηχανικό ποσοστό οπλισμού  $\omega$ , το οποίο θα χρειαστεί για τον υπολογισμό του συνολικού εμβαδού απαιτούμενου οπλισμού  $A_{s,req}$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_{sd} = 0,11 \rightarrow \omega = 0,1170 \\ \mu_{sd} = \mathbf{0,1132} \rightarrow \omega = ? \\ \mu_{sd} = 0,12 \rightarrow \omega = 0,1285 \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \alpha = 0,11 \rightarrow \beta = 0,1170 \\ \mathbf{x = 0,1132} \rightarrow \mathbf{y = ?} \\ \gamma = 0,12 \rightarrow \delta = 0,1285 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y = \beta + (\delta - \beta) * \frac{(x - \alpha)}{(\gamma - \alpha)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y = 0,1170 + (0,1285 - 0,1170) * \frac{(0,1132 - 0,11)}{(0,12 - 0,11)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y = \mathbf{\omega = 0,1207}$$

επομένως, στην περίπτωση διαστασιολόγησης δοκού, η οποία λειτουργεί ως ορθογωνική διατομή, **ο απαιτούμενος εφελκόμενος οπλισμός  $A_{s,req}$** , δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$A_{s,req}^{Στηρ. K7} = \omega * b_w * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,1207 * 0,25 * 0,55 * \frac{20 * 1,15}{500 * 1,50} * 10^4 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbf{A_{s,req}^{Στηρ. K7} = 5,09(cm^2)}$$

7. Έλεγχοι μέγιστων και ελάχιστων οπλισμών, με βάση τον κανονισμό (§9.2.1.1, Ε.Σ.2), όπου θα πρέπει ο απαιτούμενος οπλισμός που προέκυψε σε κάθε περίπτωση ( $A_{s,req}$ ), να βρίσκεται εντός των επιτρεπτών ορίων.<sup>[5]</sup>

αρχικά, υπολογίζεται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός  $A_{s,min}$ :

$$A_{s,min} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b_t * d = 0,26 * \frac{[0,30 * f_{ck}^{(2/3)}]}{f_{yk}} * b_t * d = 0,26 * \frac{[0,30 * 20^{(2/3)}]}{500} * 25 * 55 \Rightarrow$$

$$\mathbf{A_{s,min} = 1,58(cm^2)}$$

και θα πρέπει ακόμη να ισχύει πως:

$$A_{s,min} > 0,0013 * b_t * d \Rightarrow$$

$$1,58(cm^2) > 0,0013 * 25 * 55(cm^2) \Rightarrow$$

$$\mathbf{1,58(cm^2) > 1,7875(cm^2) \Rightarrow \times}$$

**ΕΠΟΜΕΝΩΣ ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ:**

$$\mathbf{A_{s,min} = 1,80(cm^2)}$$

- $b_t = b_w = 55(cm)$ : δηλώνει το μέσο πλάτος της εφελκόμενης ζώνης (για πλακοδοκό με θλιβόμενο το πέλμα της πλάκας, μόνο το πλάτος του κορμού θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της τιμής του  $b_t$ )

στην συνέχεια, υπολογίζεται ο μέγιστος επιτρεπόμενος οπλισμός  $A_{s,max}$ :

$$A_{s,max} = 0,04 * A_c = 0,04 * b_w * h = 0,04 * 25 * 60 \Rightarrow \mathbf{A_{s,max} = 60,00(cm^2)}$$

τέλος, ελέγχεται εάν σε κάθε κρίσιμη θέση ξεχωριστά (Στήριξη K2, Άνοιγμα και Στήριξη K7), προέκυψε κατάλληλος οπλισμός, δηλαδή εντός των επιτρεπτών ορίων:

■ Στήριξη K2:

$$A_{s,min} \leq A_{s,req}^{Στηρ. K2} \leq A_{s,max} \Rightarrow$$

$$1,80(cm^2) \leq 3,40(cm^2) \leq 60,00(cm^2) \Rightarrow \text{😊}$$

■ Άνοιγμα:

$$A_{s,min} \leq A_{s,req}^{\text{Άνοιγμα}} \leq A_{s,max} \Rightarrow$$

$$1,80(cm^2) \leq 3,20(cm^2) \leq 60,00(cm^2) \Rightarrow \text{😊}$$

■ Στήριξη K7:

$$A_{s,min} \leq A_{s,req}^{Στηρ. K7} \leq A_{s,max} \Rightarrow$$

$$1,80(cm^2) \leq 5,09(cm^2) \leq 60,00(cm^2) \Rightarrow \text{😊}$$

8. Από το βήμα 7, ΔΕΝ προέκυψε μικρότερος απαιτούμενος οπλισμός ( $A_{s,req}$ ), από τον ελάχιστο ( $A_{s,min}$ ), που ορίζει ο κανονισμός (Ε.Σ.2) σε καμία από τις τρεις θέσεις που εξετάστηκαν (Στηρίξεις K2 & K7 και Άνοιγμα).
9. Το βήμα αυτό, παραλείπεται, εφόσον ΔΕΝ προέκυψε μεγαλύτερος απαιτούμενος οπλισμός από τον μέγιστο που ορίζει ο κανονισμός (Ε.Σ.).
10. Επιλέγεται, ο τοποθετούμενος οπλισμός κάμψης ( $A_{s,prov}$ ), σε όλες τις κρίσιμες θέσεις, να είναι ίδιος και αυτός είναι: τέσσερις (4) ράβδοι, διαμέτρου:  $\varnothing_{14}$  και  $\varnothing_{12}$ ,  $2\varnothing_{14}$  στην κάτω παρειά και  $2\varnothing_{12}$  στην άνω παρειά της δοκού (**Εικόνα 5.10**), δηλαδή:

$$A_{s,prov} = 2\varnothing_{14} + 2\varnothing_{12} = 3,08 + 2,26 = 5,34(cm^2)$$

Ωστόσο, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν και ορισμένοι έλεγχοι που ορίζονται από τον Ευρωκώδικα, ώστε οι αποστάσεις ( $b_i$ ) μεταξύ των ράβδων οπλισμού (από το κέντρο της μίας ράβδου έως το κέντρο της άλλης), τόσο κατά την διεύθυνση  $x$ , όσο και κατά την διεύθυνση  $y$  της διατομής, για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (D.C.M.), να μην απέχουν περισσότερο από 20(cm), όπως ακολουθεί:

▶ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ Υ:

- $h - (2 * c_{nom}) - (2 * \varnothing_8) - \left(\frac{\varnothing_{14}}{2}\right) - \left(\frac{\varnothing_{12}}{2}\right) = 600 - (2 * 35) - (2 * 8) - \left(\frac{14}{2}\right) - \left(\frac{12}{2}\right) = 501(mm) \rightarrow$  απόσταση  $\alpha_1$  στην **Εικόνα 5.11**

- $\alpha_1 = 501,00(mm) \leq b_i = 200,00(mm) \Rightarrow \text{✗}$

- επομένως, **απαιτείται** να τοποθετηθούν  $2\varnothing_{12}$  επιπλέον ράβδοι διαμήκους οπλισμού σε κάθε παρειά (συνολικά  $4\varnothing_{12}$ ), κατά την διεύθυνση  $y$ , εφόσον οι δύο (2) υπάρχουσες ράβδοι (δεξιά και αριστερά) της διατομής, δημιουργούν μία (1) απόσταση ( $\alpha_1$ ), μεγαλύτερη των 20(cm) (**Εικόνα 5.12**).

- $\frac{\alpha_1}{3} = \frac{501}{3} = 167,00(mm) \leq b_i = 200,00(mm) \Rightarrow \text{😊} \rightarrow$   
απόσταση  $\alpha_2$  στην **Εικόνα 5.11**

► ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ Χ:

- $b_w - (2 * c_{nom}) - (2 * \varnothing_8) - \left(\frac{2 * \varnothing_{14}}{2}\right) = 250 - (2 * 35) - (2 * 8) - \left(\frac{2 * 14}{2}\right) = 150(mm) \rightarrow$   
**ΚΑΤΩ απόσταση  $\beta_1$  στην Εικόνα 5.11**

- $b_w - (2 * c_{nom}) - (2 * \varnothing_8) - \left(\frac{2 * \varnothing_{12}}{2}\right) = 250 - (2 * 35) - (2 * 8) - \left(\frac{2 * 12}{2}\right) = 152(mm) \rightarrow$   
**ΑΝΩ απόσταση  $\beta_2$  στην Εικόνα 5.11**

- $\beta_1 = 150,00(mm) \leq b_i = 200,00(mm) \Rightarrow \text{😊}$

- $\beta_2 = 152,00(mm) \leq b_i = 200,00(mm) \Rightarrow \text{😊}$

- επομένως, **δεν απαιτείται** να τοποθετηθούν επιπλέον ράβδοι διαμήκους οπλισμού κατά την διεύθυνση χ, εφόσον οι δύο (2) ράβδοι σε κάθε παρειά (άνω και κάτω) της διατομής, δημιουργούν μία (1) απόσταση ( $\beta_1$  ή  $\beta_2$ ), μικρότερη των 20(cm) (**Εικόνα 5.12**).

► Με βάση λοιπόν τα παραπάνω, ο τελικός τοποθετούμενος οπλισμός κάμψης ( $A_{s,prov,ολικό}$ ) και για τις τρεις κρίσιμες θέσεις (Στήριξη Κ9, Άνοιγμα και Στήριξη Κ13), ο οποίος και πάλι κινείται εντός των απαιτούμενων ορίων του μέγιστου και ελάχιστου οπλισμού, είναι: **τέσσερις (4) ράβδοι, διαμέτρων:  $\varnothing_{14}$  και  $\varnothing_{12}$** , δύο ( $2\varnothing_{14}$ ) στην κάτω και δύο ( $2\varnothing_{12}$ ) στην άνω παρειά **ΚΑΙ τέσσερις (4) ράβδοι, διαμέτρου:  $\varnothing_{12}$** , δύο ( $2\varnothing_{12}$ ) αριστερά και δύο ( $2\varnothing_{12}$ ) δεξιά στην διατομή της δοκού, ώστε να καλύπτουν τις απαιτούμενες αποστάσεις εκ κανονισμού (**Εικόνα 5.10**), δηλαδή:

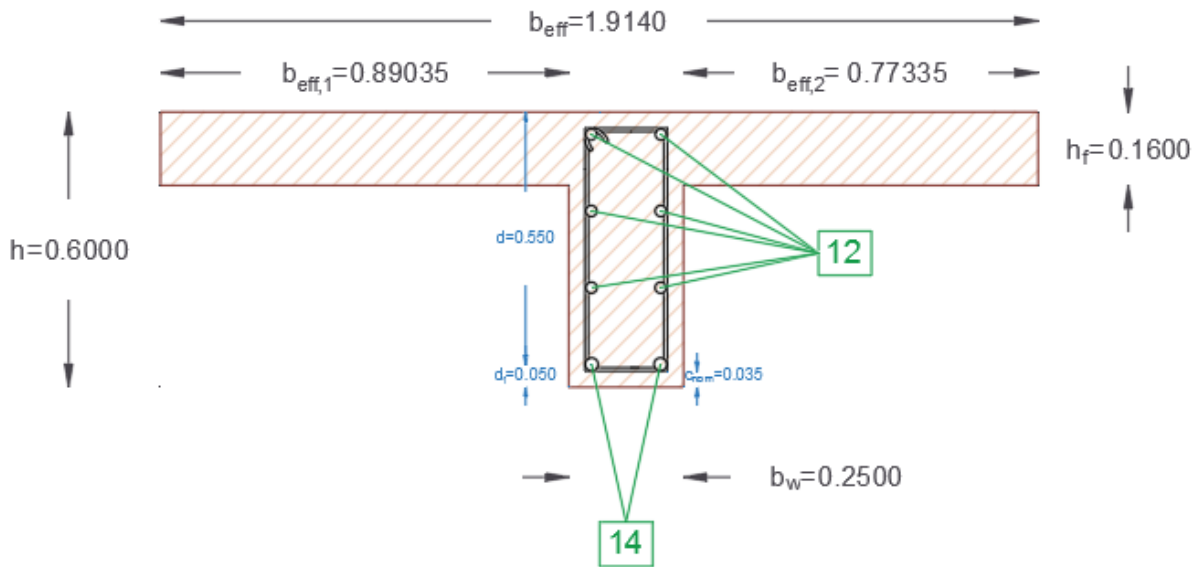
$$A_{s,prov,ολικό} = 2\varnothing_{14} + 6\varnothing_{12} = 3,08 + 6,79 \Rightarrow A_{s,prov,ολικό} = 9,87(cm^2)$$

$$\text{και πάλι ισχύει: } A_{s,min} \leq A_{s,prov,ολικό} \leq A_{s,max} \Rightarrow \text{😊}$$

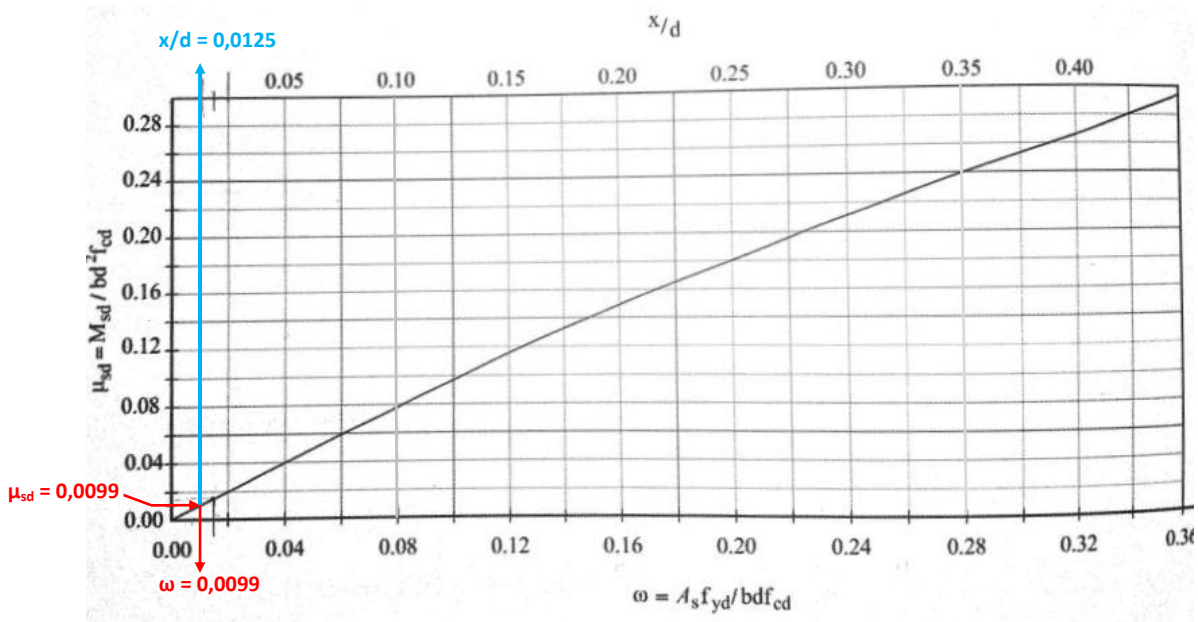
11. Στην **Εικόνα 5.10** παρακάτω, φαίνεται η τελική επιλογή τοποθέτησης του οπλισμού κάμψης στην διατομή και η ακριβής θέση του.

## Δ6.1 25/60

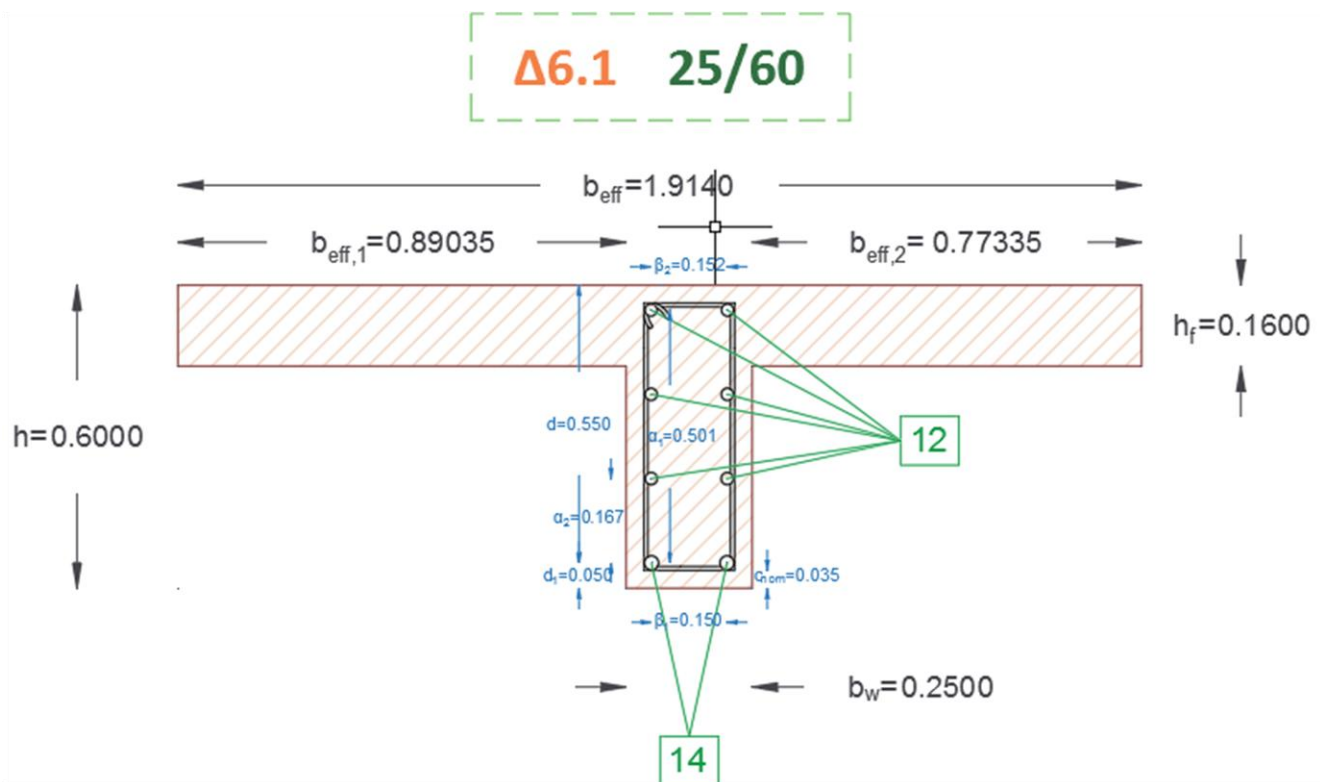
2 $\phi$ 14 + 6 $\phi$ 12  
 $\Sigma \phi$ 8/20,00 (cm) &  
 $\Sigma \phi$ 8/9,50 (cm)



**Εικόνα 5.10.** Εύρεση του στατικού ύψους  $d$  και της απόστασης  $d_1$  και τελική λύση όπλισης στην Δοκό Δ6.1.



**Εικόνα 5.11.** Διάγραμμα υπολογισμού οπλισμού απλά οπλισμένης ορθογωνικής διατομής και του ύψους της θλιβόμενης ζώνης.<sup>[5]</sup>



**Εικόνα 5.12.** Έλεγχοι απαιτούμενων αποστάσεων ( $b_i$ ) μεταξύ των ράβδων οπλισμού (από το κέντρο της μίας ράβδου έως το κέντρο της άλλης), κατά τις δύο διευθύνσεις  $x$  και  $y$  της Δοκού Δ6.1.

### 5.3.4 Διαστασιολόγηση Δοκού Δ6.1 σε διάτμηση (§6.2, E.C.2)

Για την παραλαβή των εφελκυστικών τάσεων που προκαλούνται από τις τέμνουσες δυνάμεις, απαιτείται τοποθέτηση οπλισμού, κάθετα προς την διεύθυνση των πιθανών ρηγματών που θα σχηματιστούν σε περίπτωση σεισμού. Παράδειγμα τέτοιου είδους ρηγματών, φαίνεται στην **Εικόνα 4.13**. Αυτός ο οπλισμός, είναι ο εγκάρσιος οπλισμός, ο οποίος εξασφαλίζει την διατομή της δοκού έναντι της διάτμησης και αποτελείται από τους λεγόμενους «συνδετήρες». Τα βήματα της μεθοδολογίας για την διαστασιολόγηση σε διάτμηση, είναι τα παρακάτω:<sup>[2]</sup>

1. λήψη εντατικών μεγεθών σχεδιασμού από την στατική επίλυση του συστήματος που έγινε με το πρόγραμμα Fespa,
2. **έλεγχος περιορισμού λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού (Τέμνουσα Αντοχής σχεδιασμού, λόγω θλίψης κορμού)**, δηλαδή ελέγχεται εάν απαιτείται αλλαγή της διατομής της Δοκού Δ6.1 και συγκεκριμένα, θα πρέπει οι διαστάσεις της, να είναι τέτοιες ώστε η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)  $V_{Ed}$ , να είναι **μικρότερη ή ίση** της Αντοχής Σχεδιασμού λοξού θλιπτήρα  $V_{Rd,max}$ , ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

3. **έλεγχος απαίτησης οπλισμού διάτμησης**, δηλαδή ελέγχεται εάν απαιτείται να τοποθετηθεί τελικά οπλισμός έναντι της αναπτυσσόμενης διάτμησης στην Δοκού Δ6.1, με βάση το ποσοστό εφελκόμενου χάλυβα  $\rho_l$ , το οποίο είναι ο λόγος του συνολικού τοποθετούμενου οπλισμού κάμψης [ $A_{s,prov,ολικό} = 9,87(\text{cm}^2)$ ], που υπολογίστηκε παραπάνω προς τις διαστάσεις της διατομής· συγκεκριμένα, θα πρέπει η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)  $V_{Ed}$ , να είναι **μικρότερη** της Αντοχής Σχεδιασμού σε Τέμνουσα  $V_{Rd,c}$  που αναπτύσσεται χάρη στον οπλισμό κάμψης, ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$V_{Ed} < V_{Rd,c}$$



4. υπολογισμός βάσει Κατηγορίας Πλαστιμότητας (εδώ: D.C.M.), των κρίσιμων περιοχών (περιοχές σχηματισμού επιθυμητών πλαστικών αρθρώσεων) στα άκρα της δοκού, όπου σε αυτά, η περίσφιξη με συνδετήρες, είναι περισσότερο πυκνή σε σχέση με τις μη κρίσιμες περιοχές (άνοιγμα) της δοκού,
5. επιλογή οπλισμού διάτμησης, με υπολογισμό ελάχιστων συνδετήρων:
  - i. **EΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών και
  - ii. **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών
6. **έλεγχος, για το εάν η λύση που επιλέχθηκε**, δηλαδή ο τοποθετούμενος οπλισμός διάτμησης (ΕΝΤΟΣ και ΕΚΤΟΣ κρίσιμων περιοχών) **επαρκεί** και συγκεκριμένα, θα πρέπει η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)  $V_{Ed}$ , να είναι **μικρότερη ή ίση** της Τέμνουσας Συνδετήρων  $V_{Rd,s}$  που αναπτύσσεται χάρη στην επιλογή που έγινε για τον οπλισμό διάτμησης, ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:<sup>[1]</sup>

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$$

Παρακάτω, ακολουθεί η επίλυση, με βάση τα όσα αναφέρθηκαν:<sup>[1, 3, 4, 5]</sup>

1. Το στατικό σύστημα του κτιρίου, είναι Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο προς Τοιχωματικό και έχει επιλυθεί με την βοήθεια του στατικού προγράμματος Fespa, από το οποίο προέκυψαν και τα εντατικά μεγέθη που θα χρησιμοποιηθούν στην διαστασιολόγηση. Συγκεκριμένα, στο αναλυτικό τεύχος που συνοδεύει την επίλυση, για την Δοκό Δ6.1, παρατηρείται πως παρουσιάζονται οι τιμές για τις Τέμνουσες Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)  $V_{Ed}$ , **ΜΟΝΟ** για τις δύο Στήριξεις (K2 & K7) και όχι για το Άνοιγμα, ενώ εντοπίζεται από το πρόγραμμα, ο δυσμενέστερος από όλους τους συνδυασμούς για την κάθε περίπτωση. Από τον **Πίνακα 5.6** του Fespa που ακολουθεί, λαμβάνεται η μεγαλύτερη-δυσμενέστερη δράση  $V_{Ed}$  (τιμή με κόκκινο, στον **Πίνακα 5.6**), δηλαδή, γίνεται διαστασιολόγηση σε διάτμηση, με βάση την μεγαλύτερη αναπτυσσόμενη δράση ( $V_{Ed}$ ), η οποία εντοπίζεται στην στήριξη K7, ενώ συγκρατούνται και οι τιμές των:  $V'_{Rd,c}$ ,  $V_{Rd,c}$  και  $V_{Rd,max}$ , ώστε να ελέγχεται εάν τα αποτελέσματα του προγράμματος, συνάδουν με τα αποτελέσματα της επίλυσης που ακολουθεί.

**Πίνακας 5.6.** Μέγιστα οπλισμών διάτμησης και στρέψης για την Δοκό Δ6.1.

Φορτία [/]	Κόμβος [/]	Θέση [m]	$V_{Ed,max}$ [kN]	$\zeta$ [/]	$T_{Ed}$ [kNm]	Θέση [m]	$V_{Ed}$ [kN]	$V'_{Rdc}$ [kN]	$V_{Rdc}$ [kN]	$V_{Rd,max}$ [kN]
ΣΣ:-x	2	0,00	101,16	0,29	0,10	0,55	86,95	80,74	43,78	453,74
ΣΣ:-x	7	0,00	118,71	0,39	0,10	0,55	104,50	80,74	48,31	453,74

2. **Ο έλεγχος περιορισμού λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού (Τέμνουσα Αντοχής σχεδιασμού, λόγω θλίψης κορμού  $V_{Rd,max}$ )**, περιλαμβάνει τον υπολογισμό των παρακάτω παραμέτρων:

$$\blacktriangleright V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} * b_w * Z * v_1 * f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta} = \frac{1,00 * 0,25 * 0,495 * 0,60 * \left(\frac{20}{1,50}\right)}{2,50 + 0,40} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Rd,max} = 0,34138(MN) = 341,38(kN)$$

- $\blacktriangleright \alpha_{cw} = 1,00$ : συντελεστής για να ληφθεί υπόψη η εντατική κατάσταση στο θλιβόμενο πέλμα και η συνιστώμενη τιμή του είναι ίση με την μονάδα, για μη προεντεταμένες κατασκευές

- ▶  $b_w = 0,25(m)$ : το μικρότερο πλάτος κορμού στην εφελκούμενη περιοχή
- ▶  $z = 0,90 * d = 0,90 * 55 = 49,50(cm) = 0,495(m)$ : ο μοχλοβραχίονας της διατομής σε ένα στοιχείο σταθερού ύψους, ο οποίος αντιστοιχεί στην καμπτική ροπή που δρα στο στοιχείο (στον σχεδιασμό έναντι διάτμησης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος, χωρίς αξονικό φορτίο, μπορεί να ληφθεί για τον μοχλοβραχίονα η προσεγγιστική τιμή  $z = 0,9d$ )
- ▶  $v_1 = 0,60$ : ο δείκτης μείωσης της αντοχής για σκυρόδεμα ρηγματωμένο λόγω διάτμησης (τιμή για  $f_{ck} \leq 60 \text{ MPa}$ )
- ▶  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,50} = 13,3333(MPa)$ : η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος ποιότητας: C<sub>20/25</sub>
- ▶  $\theta = 21,80^\circ$ : η γωνία των καμπτο-διατμητικών ρηγμάτων ως προς την κατακόρυφο ( $\cot\theta=2,50$  και  $\tan\theta=0,40$ )
- ▶  $V_{Ed} = 104,50(kN)$ : η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)
- ▶ Επομένως, η απαίτηση του κανονισμού, **ικανοποιείται** και δεν απαιτείται να γίνει αλλαγή των διαστάσεων της διατομής, εφόσον ισχύει η σχέση:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} \Rightarrow 104,50(kN) \leq 341,38(kN) \Rightarrow \text{😊}$$

3. Για τον έλεγχο απαίτησης οπλισμού διάτμησης, αρκεί να γίνει ο υπολογισμός των παρακάτω παραμέτρων:

- ▶  $V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 * \sigma_{cp} \right] * b_w * d \Rightarrow$   
 $\Rightarrow V_{Rd,c} = \left[ 0,12 * 1,632 * (100 * 0,007 * 20)^{\frac{1}{3}} + 0,15 * 0 \right] * 0,25 * 0,55 \Rightarrow$   
 $\Rightarrow V_{Rd,c} = 0,06490(MN) = 64,90(kN)$
- ▶  $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,50} = 0,12$ : συντελεστής από δοκιμές, η τιμή του οποίου λαμβάνεται από το Εθνικό Προσάρτημα
- ▶  $k = 1,00 + \sqrt{\frac{200}{d(mm)}} \leq 2,00 \Rightarrow k = 1,00 + \sqrt{\frac{200}{550}} \Rightarrow k = 1,632 \leq 2,00 \Rightarrow \text{😊}$   
: συντελεστής, ο οποίος, θα πρέπει να έχει τιμή μικρότερη ή ίση με δύο και στην περίπτωση αυτή, η απαίτηση καλύπτεται
- ▶  $\rho_l = \frac{A_{s,prov,ολικό}}{b_w * d} \leq 0,02 \Rightarrow \rho_l = \frac{9,87}{25 * 55} \Rightarrow \rho_l = 0,007 \leq 0,02 \Rightarrow \text{😊}$   
: το ποσοστό εφελκούμενου χάλυβα
- ▶  $f_{ck} = 20(MPa)$ : η ελάχιστη χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου, σκυροδέματος ποιότητας: C<sub>20/25</sub>
- ▶  $k_1 = 0,15$ : συντελεστής, η τιμή του οποίου λαμβάνεται από το Εθνικό Προσάρτημα

- ▶  $\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = \frac{0}{b_w * d} = 0(MPa)$ : η θλιπτική τάση του σκυροδέματος στο κέντρο βάρους, λόγω αξονικού φορτίου ή και προέντασης
- ▶  $b_w = 0,25(m)$ : το μικρότερο πλάτος κορμού στην εφελκυσμένη περιοχή
- ▶  $d = 0,55(m)$ : το στατικό ύψος
- ▶ εισάγοντας την ελάχιστη τιμή  $v_{min}$ , η  $V_{Rd,c}$  θα ισούται με την  $V'_{Rd,c}$ :

$$\begin{aligned} V'_{Rd,c} &= (V_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d \Rightarrow \\ \Rightarrow V'_{Rd,c} &= (0,3263 + 0,15 * 0) * 0,25 * 0,55 \Rightarrow \\ \Rightarrow V'_{Rd,c} &= 0,04487(MN) = 44,87(kN) \end{aligned}$$

- ▶  $v_{min} = 0,035 * K^3 * f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 * 1,632^{1,5} * 20^{0,5} = 0,3263$ : τύπος από Εθνικό Προσάρτημα
- ▶  $V_{Ed} = 104,50(kN)$ : η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)
- ▶ Επομένως, η απαίτηση του κανονισμού, **ΔΕΝ ικανοποιείται**, και θα πρέπει να τοποθετηθεί οπλισμός διάτμησης, εφόσον δεν ισχύει η σχέση:

$$V_{Ed} < V_{Rd,c} \Rightarrow 104,50(kN) < 64,90(kN) \Rightarrow \times$$

4. Στις δοκούς, όπως και στα υποστυλώματα, τα ακραία σημεία, θεωρούνται κρίσιμα (πλαστικά σημεία: κρίσιμα σημεία, προκειμένου να σχηματισθούν σε αυτά οι επιθυμητές πλαστικές αρθρώσεις) και για τον λόγο αυτό, διαστασιολογούνται σε διάτμηση, με πιο πυκνούς συνδετήρες από ότι οι μη κρίσιμες περιοχές· έτσι λοιπόν, για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (D.C.M.), το κρίσιμο μήκος για δοκό  $l_{cr}$ , θα ισούται με το ύψος της δοκού ( $h_w$ ):

$$l_{cr} = h_w = 0,60(m) \Rightarrow l_{cr} = 0,60(m)$$

5. Για την επιλογή του οπλισμού διάτμησης, πρόκειται να επιλυθούν δύο διαφορετικές περιπτώσεις διαστασιολόγησης σε διάτμηση (μία εκτός και μία εντός των κρίσιμων περιοχών):<sup>[1]</sup>

- i. ελάχιστοι συνδετήρες **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών:

- $\rho_w = \frac{A_{s,w}}{s * b_w} \leq \rho_{w,min} \Rightarrow s \leq \frac{A_{s,w}}{\rho_{w,min} * b_w} = \frac{1,01(cm^2)}{0,0007(cm) * 25} \Rightarrow s \leq 57,71(cm)$
- $A_{s,w} = 2 * 1\emptyset_8 = 2 * 0,503 \approx 1,01(cm^2)$ : το εμβαδόν της διατομής του οπλισμού διάτμησης, έστω ότι θα τοποθετηθούν ράβδοι διαμέτρου:  $\emptyset_8$
- $b_w = 0,25(m)$ : το μικρότερο πλάτος κορμού στην εφελκυσμένη περιοχή
- $\rho_{w,min} = 0,08 * \left(\frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}\right) = 0,08 * \left(\frac{\sqrt{20}}{500}\right) \Rightarrow \rho_{w,min} = 0,0007$ : ελάχιστο ποσοστό συνδετήρων
- $f_{ck} = 20(MPa)$ : η ελάχιστη χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου, σκυροδέματος ποιότητας: C<sub>20/25</sub>
- $f_{yk} = 500(MPa)$ : η χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής του οπλισμού διάτμησης

- $s_{l,max} = 0,75 * d = 0,75 * 0,55 \Rightarrow s_{l,max} = 0,4125(m)$ : μέγιστη από-σταση μεταξύ συνδετήρων
- $d = 0,55(m)$ : το στατικό ύψος
- επιλέγεται η απόσταση τοποθέτησης συνδετήρων **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, να είναι τελικά:

$$s < s_{l,max} \Rightarrow 200(mm) < 412,5(mm) \rightarrow \text{δηλαδή: } s = 20(cm)$$

- η μη κρίσιμη περιοχή της Δοκού Δ6.1, μπορεί να ευρεθεί εάν από το συνολικό μήκος της  $l_b$  το οποίο ισούται με το μήκος  $l_1$  (**Εικόνα 5.7**), αφαιρεθούν τα δύο κρίσιμα άκρα  $l_{cr}$ :

$$l_{μη\ κρίσιμο} = l_1 - 2 * l_{cr} = 5,70 - 2 * 0,60 \Rightarrow l_{μη\ κρίσιμο} = 4,50(m)$$

- επιλέγεται λοιπόν, **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, να τοποθετηθούν είκοσι-τρεις (23) 2-τμητοι συνδετήρες, διαμέτρου:  $\emptyset_8$  και σε απόσταση 20(cm) μεταξύ τους (αριθμός ράβδων εγκάρσιου σπλισμού μη κρίσιμων περιοχών:  $NA_{s,w,μη\ κρίσιμο}$ ):

$$NA_{s,w,μη\ κρίσιμο} = \frac{l_{μη\ κρίσιμο}}{s} = \frac{450}{20} \Rightarrow NA_{s,w,μη\ κρίσιμο} \approx 23\emptyset_8/20(cm)$$

- επομένως, ο τελικός σπλισμός διάτμησης **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών ( $A_{s,w,μη\ κρίσιμο}$ ), θα είναι:

$$A_{s,w,μη\ κρίσιμο} = 23\emptyset_8/20(cm) = 11,57(cm^2)$$

- ii. ελάχιστοι συνδετήρες **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών:

$$s_{max} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} h_w/4 = 600/4 = 150(mm) \\ 24 * d_{bw} = 24 * \emptyset_8 = 24 * 8 = 192(mm) \\ 8 * d_{bl,min} = 8 * \emptyset_{12} = 8 * 12 = 96(mm) \\ 225(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow s_{max} \leq 96(mm)$$

- $h_w = 0,60(m)$ : το ύψος της δοκού
- $d_{b,w} = \emptyset_8 = 8(mm)$ : η διάμετρος των συνδετήρων, έστω ότι θα τοποθετηθούν ράβδοι διαμέτρου:  $\emptyset_8$
- $d_{bl,min} = \emptyset_{12} = 12(mm)$ : η μικρότερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων που συμμετέχει στην κάμψη
- επιλέγεται η απόσταση τοποθέτησης συνδετήρων **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, να είναι:

$$s_{max} = s = 95(mm) = 9,50(cm)$$

- οι κρίσιμες περιοχές  $l_{cr}$ , της Δοκού Δ6.1, είναι δύο, η μία βρίσκεται στο αριστερό και η άλλη στο δεξί άκρο της δοκού:

$$l_{cr} = 0,60(m) \quad \text{και} \quad l_{cr,ολικό} = 2 * l_{cr} = 2 * 0,60 = 1,20(m)$$

- επιλέγεται λοιπόν, **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, να τοποθετηθούν δεκατέσσερις (14) 2-τμητοι συνδετήρες (7 στο αριστερό άκρο και 7 στο δεξί άκρο), διαμέτρου:  $\emptyset_8$  και σε απόσταση 9,50(cm) μεταξύ τους (αριθμός ράβδων εγκάρσιου σπλισμού κρίσιμων περιοχών:  $NA_{s,w,κρίσιμο}$ ):

$$NA_{s,w,κρίσιμο} = \frac{l_{cr,ολικό}}{s} = \frac{120}{9,50} \Rightarrow NA_{s,w,κρίσιμο} \approx 14\emptyset_8/9,50(cm)$$

- επομένως, ο τελικός οπλισμός διάτμησης **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών ( $A_{s,w,κρίσιμο}$ ), θα είναι:

$$A_{s,w,κρίσιμο} = 14\emptyset_8/9,50(cm) = 7,04(cm^2)$$

6. Ελέγχεται για το εάν ο τοποθετούμενος οπλισμός διάτμησης (ΕΝΤΟΣ και ΕΚΤΟΣ κρίσιμων περιοχών) επαρκεί και συγκεκριμένα:

i. **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{s,w}}{s} * z * f_{ywd} * cot\theta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Rd,s} = \frac{1,01}{20} * 49,50 * \frac{500}{1,15 * 10} * 2,50 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Rd,s} = 271,71(kN)$$

- $A_{s,w} = 2 * 1\emptyset_8 = 2 * 0,503 \approx 1,01(cm^2)$ : το εμβαδόν της διατομής του οπλισμού διάτμησης
- $z = 0,90 * d = 0,90 * 55 = 49,50(cm)$ : ο μοχλοβραχίονας της διατομής σε ένα στοιχείο σταθερού ύψους, ο οποίος αντιστοιχεί στην καμπτική ροπή που δρα στο στοιχείο (στον σχεδιασμό έναντι διάτμησης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος, χωρίς αξονικό φορτίο, μπορεί να ληφθεί για τον μοχλοβραχίονα η προσεγγιστική τιμή  $z = 0,9d$ )
- $f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_y} = \frac{500}{1,15} = 434,78(MPa)$ : η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του οπλισμού διάτμησης
- $\theta = 21,80^\circ$ : η γωνία των καμπτο-διατμητικών ρηγμάτων ως προς την κατακόρυφο ( $cot\theta=2,50$  και  $\tan\theta=0,40$ )
- $V_{Ed} = 104,50(kN)$ : η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)
- Επομένως, ο οπλισμός διάτμησης που τοποθετήθηκε **ΕΚΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, καλύπτει την απαίτηση του κανονισμού (Ε.Σ.), η οποία επιβάλλει τοποθέτηση ράβδων συνδετήρων, με διάμετρο μεγαλύτερη ή ίση με  $8(mm) \rightarrow (\emptyset_w \geq \emptyset_8)$  και τελικώς, επαρκεί εφόσον ισχύει η απαιτούμενη σχέση:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} \Rightarrow 104,50(kN) \leq 271,71(kN) \Rightarrow \text{😊}$$

ii. **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} * z * f_{ywd} * cot\theta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Rd,s} = \frac{1,01}{9,50} * 49,50 * \frac{500}{1,15 * 10} * 2,50 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Rd,s} = 572,03(kN)$$

- $A_{s,w} = 2 * 1\varnothing_8 = 2 * 0,503 \approx 1,01(\text{cm}^2)$ : το εμβαδόν της διατομής του οπλισμού διάτμησης
- $z = 0,90 * d = 0,90 * 55 = 49,50(\text{cm})$ : ο μοχλοβραχίονας της διατομής σε ένα στοιχείο σταθερού ύψους, ο οποίος αντιστοιχεί στην καμπτική ροπή που δρα στο στοιχείο (στον σχεδιασμό έναντι διάτμησης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος, χωρίς αξονικό φορτίο, μπορεί να ληφθεί για τον μοχλοβραχίονα η προσεγγιστική τιμή  $z = 0,9d$ )
- $f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_y} = \frac{500}{1,15} = 434,78(\text{MPa})$ : η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του οπλισμού διάτμησης
- $\theta = 21,80^\circ$ : η γωνία των καμπτο-διατμητικών ρηγμάτων ως προς την κατακόρυφο ( $\cot\theta=2,50$  και  $\tan\theta=0,40$ )
- $V_{Ed} = 104,50(\text{kN})$ : η Τέμνουσα Σχεδιασμού στην διατομή (δράση)
- Επομένως, ο οπλισμός διάτμησης που τοποθετήθηκε **ΕΝΤΟΣ** κρίσιμων περιοχών, καλύπτει την απαίτηση του κανονισμού (Ε.Σ.), η οποία επιβάλλει τοποθέτηση ράβδων συνδετήρων, με διάμετρο μεγαλύτερη ή ίση με 8(mm)  $\rightarrow (\varnothing_w \geq \varnothing_8)$  και τελικώς, επαρκεί εφόσον ισχύει η απαιτούμενη σχέση:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} \Rightarrow 104,50(\text{kN}) \leq 572,03(\text{kN}) \Rightarrow \text{😊}$$

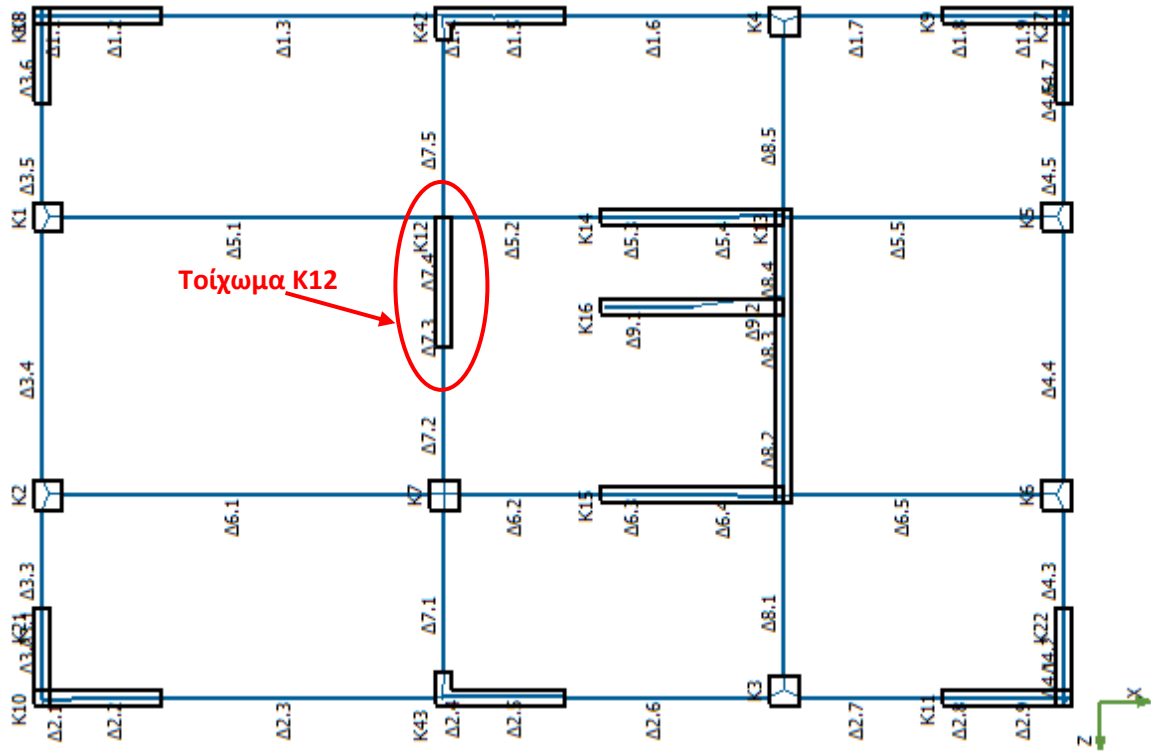
Στην **Εικόνα 5.9**, φαίνονται τα αναπτύγματα των οπλισμών κάμψης και οι συνδετήρες διάτμησης, σε τομή της Δοκού Δ6.1.

1. **Καραγιάννης Χρ. (2016)**. Σχεδιασμός Συμπεριφορά Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα έναντι Σεισμού. Εκδόσεις "Σοφία". Θεσσαλονίκη (Ελλάδα), 2016, σελ.: 260-261, 284-285, 413-421.
2. **Παναγόπουλος Γ., Κίρτας Ε. (2005)**. Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος Ι. Σημειώσεις μαθήματος «Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος Ι». Τ.Ε.Ι.Σερρών.
3. **Ευρωκώδικας 2-Ε.Σ.2 (EN 1992-1-1: 2004 GR)**. Σχεδιασμός Φορέων από Σκυρόδεμα, Μέρος 1-1: Γενικοί Κανόνες και Κανόνες για Κτίρια. Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση (C.E.N.). Σελ.: 76, 113-114, 165-166, 195-196.
4. **ΔΙΠΑΔ/οικ/473/31-12-2008**. Προσωρινές Συστάσεις για το σχεδιασμό έργων γεφυροποιίας σε συνδυασμό με τους αντίστοιχους Ευρωκώδικες (ΠΡΟΣΥ). Εφημερίδα της Κυβέρνησης (ΦΕΚ 2692/Β/31-12-2008). Σελ.: 37-38.
5. **Τσώνος Αλ.-Δ. (2017)**. Σχεδιασμός Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες (Τόμος Ι). Εκδόσεις "Σοφία". Θεσσαλονίκη (Ελλάδα), 2017. Σελ: 114, 403-415.

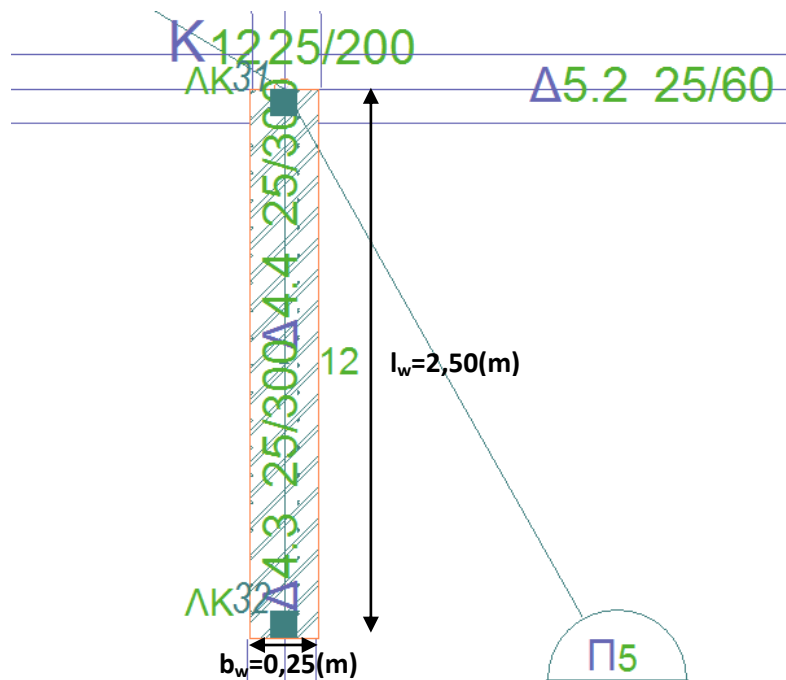
## 5.4 Διαστασιολόγηση Τοιχώματος K12 (όροφος: 0, νο: 12)

### 5.4.1 Διατομή Τοιχώματος K12 και βασικές παράμετροι διαστασιολόγησης

Το Τοίχωμα K12, είναι ένα εσωτερικό τοίχωμα, του οποίου η θέση φαίνεται ακριβώς στην κάτοψη του στατικού συστήματος του κτιρίου παρακάτω (**Εικόνα 5.13**), ενώ η διατομή του, παρουσιάζεται αναλυτικά στην **Εικόνα 5.14**.



**Εικόνα 5.13.** Η ακριβής θέση του εσωτερικού τοιχώματος που εξετάζεται (K12), στην κάτοψη του στατικού συστήματος του 2<sup>ου</sup> κτιρίου.



**Εικόνα 5.14.** Τοίχωμα K12, με διαστάσεις μήκος επί πλάτους:  $l_w \times b_w = 2,50 \times 0,25(m^2)$ .



Το κτίριο με το Διπλό Στατικό Σύστημα-Ισοδύναμο Προς Τοιχωματικό, παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά, τα οποία καθορίζουν αρκετά μέρη της επίλυσης, με βάση τις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα:

- ↻ διαθέτει Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (D.C.M.),
- ↻ ανήκει σε περιοχή με ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I  $a_{gR}/g = 0,16$ ,
- ↻ κατηγορία εδάφους B,
- ↻ χρησιμοποιείται ποιότητα σκυροδέματος  $C_{20/25}$ ,
- ↻ ποιότητα χάλυβα ράβδων οπλισμού  $B_{500C}$ ,
- ↻ η ονομαστική επικάλυψη των ράβδων οπλισμού, ισούται με  $c_{nom} = 0,035(m)$ ,
- ↻ το καθαρό ύψος ορόφου ( $l_{cl}$ ), ισούται με τρία μέτρα, δηλαδή  $l_{clear} = 3,00(m)$ .

Τα βασικά χαρακτηριστικά του εσωτερικού Τοιχώματος K12, είναι τα παρακάτω:

- ↻ μήκος τοιχώματος  $l_w = 2,50 (m)$ ,
- ↻ πλάτος τοιχώματος  $b_w = 0,25 (m)$  και
- ↻ το συνολικό ύψος τοιχώματος, ισούται με το άθροισμα των υψών όλων των ορόφων στους οποίους συμμετέχει και εφόσον κάθε όροφος έχει ύψος  $3,00(m)$ , τότε το τοίχωμα, θα έχει συνολικό ύψος:  $h_w = 9,00 (m)$ .

#### 5.4.2 Αρχικοί έλεγχοι διαμόρφωσης της διατομής του τοιχώματος <sup>[1, 2]</sup>

1. Σύμφωνα με την παράγραφο §5.1.2(1) του Ε.Κ.8, **τοιχώμα**, χαρακτηρίζεται το δομικό εκείνο φέρον στοιχείο που φέρει άλλα στοιχεία και έχει επιμήκη διατομή, με λόγο μήκους προς πάχος μεγαλύτερο ή ίσο με τέσσερα (4), δηλαδή:

$$\frac{l_w}{b_w} \geq 4,00 \Rightarrow \frac{2,50}{0,25} \geq 4,00 \Rightarrow 10 \geq 4,00 \Rightarrow \text{😊}$$

2. Κατά την §5.4.1.2.3(1) του Ε.Κ.8, για πλάσιμα τοιχώματα, **ο κορμός απαιτείται να έχει ελάχιστο πάχος** που ικανοποιεί την παρακάτω σχέση:

$$b_{wo} \geq \max \left\{ h_s = \frac{0,15(m)}{20} = \frac{2,40}{20} = 0,12(m) \right\} \Rightarrow b_{wo} \geq 0,15(m)$$

- $h_s = l_{clear} - h_b = 3,00 - 0,60 = 2,40(m)$ : το καθαρό ύψος ορόφου σε μέτρα (προκύπτει αφαιρώντας το ύψος της κρέμασης δοκού:  $h_b$ ), όπου η βάση του ορίζεται ως η στάθμη της θεμελίωσης ή της οροφής υπόγειων ορόφων με άκαμπτα διαφράγματα και περιμετρικά τοιχώματα.
- στην προκειμένη περίπτωση, το πάχος  $b_w$ , είναι μεγαλύτερο από το ελάχιστο απαιτούμενο, συνεπώς υπάρχει επάρκεια:

$$b_w \geq b_{wo} \Rightarrow 0,25(m) \geq 0,15(m) \Rightarrow \text{😊}$$

3. Το κρίσιμο ύψος ( $h_{cr}$ ) πάνω από την βάση του τοιχώματος, βάσει της §5.4.3.4.2(1) του Ε.Κ.8, μπορεί να εκτιμηθεί από τις παρακάτω σχέσεις, επιλέγοντας την μικρότερη τιμή που προκύπτει από αυτές:

- $h_{cr} = \max \left\{ \frac{l_w = 2,50(m)}{6} = \frac{9,00}{6} = 1,50(m) \right\} \Rightarrow h_{cr} = 2,50(m)$

- $h_{cr} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 2 * l_w = 2 * 2,50 = 5,00(m) \\ h_s = 2,40(m) \rightarrow [\text{για αριθμό ορόφων: } n \leq 6] \end{array} \right\} \Rightarrow h_{cr} \leq 2,40(m)$

- **!Σημειώνεται** ότι, όπως συνάγεται από τις παραπάνω ανισότητες, ο E.C.8 δεν διευκρινίζει εάν το κρίσιμο ύψος πρέπει να καλύπτει πλήρη όροφο (στην παρούσα περίπτωση ολόκληρο το ύψος του ισογείου) σε αντίθεση με την §18.5.2, του ΕΑΚ 2000.<sup>[2]</sup>

4. Το μήκος των περισφιγμένων άκρων ( $l_c$ ) (Εικόνα 5.15), στο κρίσιμο ύψος, αναλύεται στην §5.4.3.4.2(2, 3, 4, 5 & 6) του E.C.8. Προκειμένου λοιπόν να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη πλαστιμότητα καμπυλοτήτων  $\mu_\phi$  στο κρίσιμο ύψος ενός τοιχώματος, απαιτείται να γίνει κατάλληλη περίσφιξη των άκρων του, σε μήκος:  $l_c$ , όπου μετά την αποφλοίωση του θλιβόμενου άκρου, η βράχυνση του περισφιγμένου πυρήνα του σκυροδέματος, υπερβαίνει την τιμή  $\epsilon_{cu2} = 3,50\%$ . Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται από τον κανονισμό, το μήκος του περισφιγμένου στοιχείου άκρου, να μην λαμβάνεται μικρότερο από τις παρακάτω τιμές:

- $l_{c,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,15 * l_w = 0,15 * 2,50 = 0,375(m) \\ 1,5 * b_w = 1,50 * 0,25 = 0,375(m) \end{array} \right\} \Rightarrow l_{c,min} = \boxed{l_c = 0,375(m)}$

- **!Σημειώνεται** πως, ο ακριβής υπολογισμός του  $l_c$ , απαιτεί ειδικό λογισμικό που να είναι σε θέση να αποτιμά την συμβολή της διάταξης των συνδετήρων περίσφιξης στην αύξηση των μηχανικών χαρακτηριστικών του σκυροδέματος (§4.2.2.6.1(δ), E.C.8). Εκτιμάται ότι, λόγω της χαμηλής συνήθως τιμής του ανηγμένου αξονικού φορτίου ( $N_{Ed}$ ), το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος  $l_c = \max(0,15l_c \text{ ή } 1,50l_c)$  υπερκαλύπτει με άνεση την περιοχή του άκρου όπου ενδέχεται να εμφανισθεί  $\epsilon_c > \epsilon_{cu2} = 3,50\%$ .<sup>[2]</sup>

5. Με βάση την παράγραφο §5.4.3.4.2(10) του E.C.8, το πάχος του περισφιγμένου άκρου  $b_w$ , απαιτείται να είναι:

- $b_w \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,20(m) \\ \left\{ \begin{array}{l} \frac{h_s}{15} \rightarrow \text{εάν: } l_c \leq \max \left[ \begin{array}{l} 2 * b_w \\ 0,20 * l_w \end{array} \right] \\ \frac{h_s}{10} \rightarrow \text{εάν: } l_c > \max \left[ \begin{array}{l} 2 * b_w \\ 0,20 * l_w \end{array} \right] \end{array} \right\} \end{array} \right\}$

- Στην συγκεκριμένη περίπτωση του Τοιχώματος K12:

$$l_c = 0,375(m) \leq \max \left\{ \begin{array}{l} 2 * b_w = 2 * 0,25 = 0,50(m) \\ 0,20 * l_w = 0,20 * 2,50 = 0,50(m) \end{array} \right\}$$

- Επομένως, θα προκύψει:

$$b_w \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,20(m) \\ \frac{h_s}{15} = \frac{2,40}{15} = 0,16(m) \rightarrow [\text{για: } l_c \leq \max \left[ \begin{array}{l} 2 * b_w \\ 0,20 * l_w \end{array} \right]] \end{array} \right\} \Rightarrow b_w \geq 0,20(m)$$

- και τελικώς, θεωρείται πως, το πάχος κορμού  $\boxed{b_w = 0,25(m) \rightarrow \text{είναι επαρκές}}$ , εφόσον είναι και μεγαλύτερο από το απαιτούμενο 0,20(m) που προέκυψε παραπάνω.

6. Ο έλεγχος ανηγμένης αξονικής θλίψης, γίνεται, σύμφωνα με την §5.4.3.4.1(2) του E.C.8, όπου σε πλάσιμα τοιχώματα, Κατηγορίας Πλαστιμότητας Μέσης (D.C.M.), η ανηγμένη τιμή θλιπτικής καταπόνησης, υπό τον σεισμικό συνδυασμό, **ΔΕΝ πρέπει να υπερβαίνει την τιμή: 0,40**. Ο έλεγχος, πραγματοποιείται στον πόδα του ισογείου και λαμβάνεται για την επίλυση, το μέγιστο θλιπτικό αξονικό φορτίο  $N_{Ed} = -1136,97 \text{ (kN)}$ , από τα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν, για το Τοίχωμα K12, στο αναλυτικό τεύχος του στατικού προγράμματος Fespa. Επομένως, θα πρέπει να ικανοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$v_{Ed} < 0,40 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{|N_{Ed}|}{A_c * f_{cd}} < 0,40 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{|-1136,97|(kN)}{0,625(m^2) * \left(20 * \frac{10^3}{1,50}\right) \left(\frac{kN}{m^2}\right)} < 0,40 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{0,136 < 0,40 \Rightarrow \text{😊}}$$

- $A_c = l_w * b_w = 2,50 * 0,25 = 0,625(m^2)$ : το εμβαδόν της διατομής του Τοιχώματος K12
- $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,50} = 13,3333(MPa)$ : η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος ποιότητας: C<sub>20/25</sub>

#### 5.4.3 Διαστασιολόγηση Τοιχώματος K12 σε κάμψη<sup>[2, 3]</sup>

Στα τοιχώματα, η διαστασιολόγηση σε κάμψη, αφορά την εύρεση του απαιτούμενου καμπτικού οπλισμού στα ακραία τμήματα τους, τα οποία είναι γνωστά και ως «κρυφο-κολώνες», διότι αποτελούν σε κάθε τοίχωμα, δύο «κρυμμένα» υποστυλώματα και ως τέτοια διαστασιολογούνται (**Εικόνα 5.15**). Η πορεία, μέσα από τα διαδοχικά βήματα, περιγράφεται συνοπτικά ως εξής:

1. χάραξη της κανονιστικής περιβάλλουσας καμπτικής ροπής σχεδιασμού σε όλο το ύψος του τοιχώματος, με την λήψη των διαγραμμάτων των ροπών (διαγράμματα από το στατικό πρόγραμμα Fespa) από το ισόγειο έως και τον τελευταίο όροφο (εδώ ο τελευταίος, είναι ο 2<sup>ος</sup> όροφος),
2. εύρεση του κρίσιμου/δυσμενέστερου συνδυασμού, μεταξύ των ροπών των δύο διευθύνσεων και του αξονικού φορτίου ( $M_x$ ,  $M_y$  &  $N$ ), προκειμένου να διαπιστωθεί εάν επηρεάζει περισσότερο η μεγάλη ροπή ή το μεγάλο αξονικό φορτίο,
3. υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού  $A_{s,required}$ , με την συμμετοχή του μηχανικού ποσοστού οπλισμού  $\omega$ , που προκύπτει από τον δυσμενέστερο συνδυασμό μεταξύ  $M_x$ ,  $M_y$  &  $N$ ,
4. έλεγχος μέγιστου και ελάχιστου οπλισμού [με την εύρεση του μέγιστου ( $\rho_{max}$ ) και ελάχιστου ( $\rho_{min}$ ) ποσοστού οπλισμού], στα όρια των οποίων θα πρέπει να κυμαίνεται ο καμπτικός οπλισμός ( $A_{s,required}$ ) κάθε κρυφο-κολώνας,
5. στην περίπτωση που προκύψει μικρότερος απαιτούμενος οπλισμός από τον ελάχιστο ( $A_{s,required} < A_{s,min}$ ), τότε τοποθετείται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός εκ κανονισμού ( $A_{s,min}$ ),
6. στην περίπτωση που προκύψει μεγαλύτερος απαιτούμενος οπλισμός από τον μέγιστο ( $A_{s,required} > A_{s,max}$ ), τότε απαιτείται αλλαγή της διατομής και επανάληψη της διαδικασίας,
7. επιλογή ράβδων διαμήκους οπλισμού (οπλισμός κάμψης) και τελικός τοποθετούμενος οπλισμός στις κρυφο-κολώνες ( $A_{s,provided}$ ), αλλά και έλεγχος των αποστάσεων μεταξύ των ράβδων ( $b_i$ ), ώστε η μία να απέχει από την άλλη και στις δύο διευθύνσεις της διατομής ( $x$  &  $y$ ), απόσταση, σύμφωνη με την απαίτηση του κανονισμού, όπως συμβαίνει στα υποστυλώματα:

$$b_i \leq \min \left\{ \begin{array}{l} \text{πάχος κορμού } b_w \\ 200(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow b_i \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 250(mm) \\ 200(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{b_i \leq 200(mm)}$$

8. και τέλος, γίνεται η τοποθέτηση του οπλισμού στην διατομή και η σχεδίαση ενδεικτικών σκαριφημάτων με την ακριβή θέση του.

Παρακάτω, ακολουθεί η επίλυση, με βάση τα όσα αναφέρθηκαν:<sup>[1, 2, 3, 4]</sup>

1. Σύμφωνα με την §5.4.2.4 (4 & 5) του Ε.Σ.8, σε λυγηρά τοιχώματα με λόγο:

$$\frac{h_w}{l_w} > 2,00 \Rightarrow \frac{9,00}{2,50} = 3,60 > 2,00 \Rightarrow \text{😊}$$

προκειμένου να υπάρχει κάλυψη των αβεβαιοτήτων ως προς την μορφή του διαγράμματος καμπτικής ροπής στο επίπεδο του τοιχώματος από την στατική ανάλυση  $[M'_{Ed}]$ , διαμορφώνεται μία διγραμμική κανονιστική περιβάλλουσα ροπών  $[M_{Ed}]$ , σύμφωνα με τα ακόλουθα βήματα (**Εικόνα 5.16**):

- αρχικά, λαμβάνεται το διάγραμμα ροπών  $[M'_{Ed}]$  του Τοιχώματος K12, από το στατικό πρόγραμμα Fespa,
- στην συνέχεια, χαράσσεται η γραμμική περιβάλλουσα σχεδιασμού (διακεκομμένη γραμμή), η οποία ενώνει τις ακραίες τιμές των ροπών σχεδιασμού της βάσης και της κορυφής του τοιχώματος  $|M_{bot}|$  και  $|M_{top}|$  αντίστοιχα:

$$M_{bot} = -750,50(kNm)$$

$$M_{top} = -253,10(kNm)$$

- γίνεται κατακόρυφη μετάθεση της ροπής σχεδιασμού της βάσης  $|M_{bot}|$ , σε ύψος  $a_l$ , το οποίο προκύπτει με βάση την §9.2.1.3(2) του Ε.Σ.2, με θεώρηση λειτουργίας μοντέλου θλιπτήρων-ελκυστήρων, όπως παρακάτω:

$$\alpha_l = 0,50 * z * \cot \theta = 0,50 * 2,00 * 2,50 \Rightarrow \alpha_l = 2,50(m)$$

- $z = 0,80 * l_w = 0,80 * 2,50 = 2,00(m)$ : μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων τοιχώματος
- $\theta = 21,80^\circ \Rightarrow \cot \theta = \cot 21,80^\circ = 2,50$ : η γωνία κλίσης των καμπτο-διατμητικών ρηγμάτων ως προς την κατακόρυφο (διαμήκης άξονας τοιχώματος), η οποία με στόχο τη μέγιστη τιμή του  $a_l$ , λαμβάνεται ως  $21,80^\circ$

ακόμη, εφόσον ισχύει πως το κρίσιμο ύψος  $h_{cr}$ , είναι μικρότερο ή ίσο από το  $a_l$ , τότε η νέα ροπή στην βάση  $|M'_{bot}|$ , για την οποία θα γίνει η διαστασιολόγηση σε κάμψη, ισούται με την αρχική ροπή σχεδιασμού της βάσης  $|M_{bot}|$ :

$$h_{cr} \leq a_l \Rightarrow 2,40(m) \leq 2,50(m) \Rightarrow \text{😊}$$

$$\text{επομένως, θα είναι: } |M_{bot}| = M'_{bot} = 750,50(kNm)$$

- τέλος, γίνεται χάραξη του κεκλιμένου τμήματος της κανονιστικής περιβάλλουσας, με παράλληλη μετάθεση της γραμμικής περιβάλλουσας σχεδιασμού, πάνω από την στάθμη του  $a_l$ : το κεκλιμένο αυτό τμήμα, στο τέλος του, ενώνεται με την αρχική ροπή της κορυφής  $|M_{top}|$ . Έτσι προκύπτει η νέα ροπή σχεδιασμού της κορυφής  $|M'_{top}|$  και όλες οι νέες ροπές, με βάση τις οποίες γίνεται η διαστασιολόγηση σε κάμψη (ονομάζεται: “περιβάλλουσα των ροπών”, διότι περιβάλλονται σε αυτή όλες οι ροπές):

$$M'_{top} = |M_{top}| + x = 253,10 + 110,60 \Rightarrow M'_{top} = 363,70(kNm)$$

- $x = 110,60(kNm)$ : προκύπτει από το διάγραμμα για την κατασκευή της κανονιστικής περιβάλλουσας της **Εικόνας 5.15** και είναι το τελευταίο τμήμα της περιβάλλουσας, που ενώνει το τέλος του κεκλιμένου τμήματος με την αρχική ροπή της κορυφής  $|M_{top}|$ .

2. Για την εύρεση του κρίσιμου συνδυασμού, μεταξύ των ροπών των δύο διευθύνσεων και του αξονικού φορτίου ( $M_x$ ,  $M_y$  &  $N$ ), θα ήταν δυνατόν να ελεγχθεί ξεχωριστά, κάθε μία από τους προτεινόμενες περιπτώσεις που προκύπτουν από την ανάλυση. Ωστόσο το στατικό πρόγραμμα Fespa, στο αναλυτικό τεύχος που συνοδεύει την επίλυση του Τοιχώματος K12, εντοπίζει και πάλι τον δυσμενέστερο συνδυασμό για την διαστασιολόγηση σε κάμψη στον **Πίνακα 5.7**, βάσει του οποίου παρατηρείται πως για μικρότερο αξονικό φορτίο και ροπή, προκύπτει το δυσμενέστερο αποτέλεσμα, δηλαδή το μεγαλύτερο ποσοστό μηχανικού σπλισμού  $\omega$ , το οποίο θα δώσει τελικώς και τον περισσότερο απαιτούμενο σπλισμό προς τοποθέτηση. Οι τιμές που θα χρησιμοποιηθούν για την εξασφάλιση του τοιχώματος έναντι κάμψης, είναι τρεις: το αξονικό φορτίο ( $N_{Ed}$ ), η ροπή κατά  $y$  ( $M_{Edy}$ ) και η ροπή κατά  $z$  ( $M_{Edz}$ ) (τιμές με κόκκινο, στον **Πίνακα 5.7** που ακολουθεί).

**Πίνακας 5.7.** Διαστασιολόγηση σε κάμψη για το Τοίχωμα K14.

Φορτία [/]	Κόμβος [/]	$v_d$ [/]	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Edy}$ [kNm]	$M_{Edz}$ [kNm]	$\lambda = E_d/R_d$ [/]
ΣΣ:+z	12(0) +	-0,076	-509,25	+695,27	-3,45	0,40

Υπολογισμός ανηγμένων τιμών σχεδιασμού ροπών και αξονικού φορτίου:

$$\mu_y = \frac{|M_{Edy}|}{b_w * l_w^2 * f_{cd}} = \frac{|+695,27|(kNm) * 1,50(m^2)}{0,25 * 2,50^2(m^3) * (20 * 10^3)(kN)} \Rightarrow \mu_y = 0,0334 \approx 0,035$$

$$\mu_z = \frac{|M_{Edz}|}{b_w^2 * l_w * f_{cd}} = \frac{|-3,45|(kNm) * 1,50(m^2)}{0,25^2 * 2,50(m^3) * (20 * 10^3)(kN)} \Rightarrow \mu_z = 0,0017 \approx 0,002$$

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{b_w * l_w * f_{cd}} = \frac{-509,25 (kN) * 1,50(m^2)}{0,25 * 2,50(m^2) * (20 * 10^3)(kN)} \Rightarrow v_d = -0,0611 \approx -0,10$$

Στην συνέχεια, γίνεται χρήση διαγράμματος αλληλεπίδρασης (Νομογράφημα), με διάταξη τεσσάρων ράβδων στις γωνίες της διατομής (**Εικόνα 5.17**) όπου οι δύο από τις ράβδους, αντιστοιχούν στον συνολικό διαμήκη σπλισμό ενός περισφιγμένου άκρου. Από το διάγραμμα αυτό, προσδιορίζεται το μηχανικό ποσοστό σπλισμού  $\omega$ , έπειτα από την εκλογή των:  $\mu_1$  και  $\mu_2$ , από τις τιμές:  $\mu_z$  και  $\mu_y$ , με τον τρόπο που προσδιορίζεται σε κάθε διάγραμμα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, επιλέγεται το κατάλληλο διάγραμμα αλληλεπίδρασης, που προκύπτει με τον υπολογισμό της απόστασης  $d_1$  και στην συνέχεια την εύρεση του λόγου  $d_1/h$ :

$$d_1 = \frac{l_c}{2} = \frac{0,375}{2} = 0,1875(m) \Rightarrow d_1 = 18,75(cm)$$

$$\frac{d_1}{h} = \frac{d_1}{l_w} = \frac{18,75}{250} = 0,075 \Rightarrow \frac{d_1}{h} \approx 0,10$$

Από το λόγο λοιπόν:  $d_1/h \approx 0,10$ , επιλέγεται το κατάλληλο διάγραμμα αλληλεπίδρασης ορθογωνικής διατομής σε διαξονική κάμψη, για σημειακή και όχι διανεμημένη κατανομή σπλισμού (**Εικόνα 5.17**). Σε αυτό, εισάγονται τα:  $v_d$ ,  $\mu_1$  και  $\mu_2$  και έτσι προσδιορίζεται το μηχανικό ποσοστό σπλισμού  $\omega$ , για τον υπολογισμό του συνολικού εμβαδού απαιτούμενου σπλισμού  $A_{s,req}$ . Η διαδικασία, περιγράφεται σχηματικά επάνω στην **Εικόνα 5.17** που ακολουθεί, με το  $\mu_1$  να τοποθετείται στον κατακόρυφο άξονα και το  $\mu_2$  στον οριζόντιο άξονα του διαγράμματος, ενώ το  $\omega$ , προκύπτει ίσο με **0,007**.

3. Ο απαιτούμενος οπλισμός ( $A_{s,req}$ ), δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$A_{s,req} = \omega * b_w * l_w * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,007 * 25 * 250 * \frac{20 * 1,15}{500 * 1,50} \Rightarrow A_{s,req} = 1,34(cm^2)$$

Ο  $A_{s,req}$ , όπως υπολογίστηκε, αποτελεί τον συνολικό απαιτούμενο οπλισμό και για τις δύο κρυφο-κολώνες, δηλαδή στην κάθε μία, απαιτείται:

$$\frac{A_{s,req}}{2} = \frac{1,34}{2} = 0,67(cm^2) \rightarrow \text{γιακάθε μία κρυφο - κολώνα}$$

4. Έλεγχοι μέγιστων και ελάχιστων οπλισμών, με βάση τον κανονισμό [§5.4.3.4.2(8 & 11), Ε.С.8], όπου θα πρέπει ο απαιτούμενος οπλισμός που προέκυψε παραπάνω ( $A_{s,req}$ ), να βρίσκεται εντός των παρακάτω ορίων:

$$A_{s,min} \leq A_{s,req} \leq A_{s,max} \Rightarrow$$

$$\rho_{min} * A_c \leq A_{s,req} \leq \rho_{max} * A_c \Rightarrow$$

$$\rho_{min} * b_w * l_c \leq A_{s,req} \leq \rho_{max} * b_w * l_c \Rightarrow$$

$$5\%_0 * 25 * 37,50 \leq 1,34 \leq 20\%_0 * 25 * 37,50 \Rightarrow$$

$$4,69(cm^2) \leq 1,34(cm^2) \leq 18,75(cm^2) \Rightarrow \times$$

Επομένως, για κάθε κρυφο-κολώνα, θα πρέπει να τηρούνται και πάλι τα επιθυμητά όρια:

$$\frac{A_{s,min}}{2} \leq \frac{A_{s,req}}{2} \leq \frac{A_{s,max}}{2} \Rightarrow$$

$$\frac{4,69}{2} \leq \frac{1,34}{2} \leq \frac{18,75}{2} \Rightarrow$$

$$2,35(cm^2) \leq 0,67(cm^2) \leq 9,38(cm^2) \Rightarrow \times$$

5. Εφόσον προέκυψε μικρότερος απαιτούμενος οπλισμός από τον ελάχιστο που ορίζει ο κανονισμός (Ε.С.), θα χρησιμοποιηθεί ο ελάχιστος εκ κανονισμού απαιτούμενος οπλισμός ( $A_{s,min}$ ), δηλαδή:

$$A_{s,min} = A_{s,req} = 4,69(cm^2)$$

6. Το βήμα αυτό, παραλείπεται, εφόσον ΔΕΝ προέκυψε μεγαλύτερος απαιτούμενος οπλισμός από τον μέγιστο που ορίζει ο κανονισμός (Ε.С.).
7. Επιλέγεται, ο τοποθετούμενος οπλισμός κάμψης ( $A_{s,prov}$ ), να είναι οκτώ (8) ράβδοι, διότι επιβάλλεται από τον κανονισμό, να υπάρχει τουλάχιστον μία ράβδος οπλισμού σε κάθε γωνία σύλου, διαμέτρου:  $\varnothing_{16}$  και  $\varnothing_{14}$ , τέσσερις (4) στην μία κρυφο-κολώνα ( $2\varnothing_{16}$  &  $2\varnothing_{14}$ ) και τέσσερις (4) στην άλλη ( $2\varnothing_{16}$  &  $2\varnothing_{14}$ ) (**Εικόνα 5.15**), δηλαδή:

$$A_{s,prov} = 4\varnothing_{16} + 4\varnothing_{14} = 8,04 + 6,16 \Rightarrow A_{s,prov} = 14,20(\text{cm}^2)$$

$$\frac{A_{s,prov}}{2} = 2\varnothing_{16} + 2\varnothing_{14} = 7,10(\text{cm}^2) \rightarrow \text{γιακάθε μία κρυφο - κολώνα}$$

Ωστόσο, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν και ορισμένοι έλεγχοι που ορίζονται από τον κανονισμό [§5.4.3.4.2(9), §5.4.3.2.2(9 & 11), E.C.8], ώστε οι αποστάσεις ( $b_i$ ) μεταξύ των ράβδων οπλισμού (από το κέντρο της μίας ράβδου έως το κέντρο της άλλης), τόσο κατά την διεύθυνση  $x$ , όσο και κατά την διεύθυνση  $y$  της διατομής, για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (D.C.M.), να μην απέχουν περισσότερο από 20(cm), όπως ακολουθεί:

► ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ Υ:

- $b_w - (2 * c_{nom}) - (2 * \varnothing_8) - \left(\frac{2 * \varnothing_{16}}{2}\right) = 250 - (2 * 35) - (2 * 8) - \left(\frac{2 * 16}{2}\right) = 148(\text{mm}) \rightarrow$   
**απόσταση  $\alpha_1$  στην Εικόνα 5.17**
- $\alpha_1 = 148,00(\text{mm}) \leq b_i = 200,00(\text{mm}) \Rightarrow \text{😊}$
- επομένως, **δεν απαιτείται** να τοποθετηθούν επιπλέον ράβδοι διαμήκους οπλισμού κατά την διεύθυνση  $y$ , εφόσον μεταξύ των δύο (2) ράβδων, σε κάθε παρειά (δεξιά και αριστερά) της διατομής της κάθε κρυφο-κολώνας, δημιουργούνται αποστάσεις ( $\alpha_1$ ), μικρότερες των 20(cm) (**Εικόνα 5.18**).

► ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ Χ:

- $l_c - c_{nom} - (2 * \varnothing_8) - \varnothing_{16} - \varnothing_{14} = 375 - 35 - (2 * 8) - 16 - 14 = 294(\text{mm}) \rightarrow$   
**απόσταση  $\beta_1$  στην Εικόνα 5.17**
- $\beta_1 = 294,00(\text{mm}) \leq b_i = 200,00(\text{mm}) \Rightarrow \text{✗}$
- επομένως, **απαιτείται** να τοποθετηθεί μία (1) επιπλέον ράβδος διαμήκους οπλισμού διαμέτρου  $\varnothing_{14}$ , σε κάθε παρειά (συνολικά  $2\varnothing_{14}$ ), κατά την διεύθυνση  $x$ , εφόσον μεταξύ των δύο (2) υφιστάμενων ράβδων, σε κάθε παρειά (άνω και κάτω) της διατομής της κάθε κρυφο-κολώνας, δημιουργείται μία απόσταση ( $\beta_1$ ), μεγαλύτερη των 20(cm) (**Εικόνα 5.18**).
- $\frac{\beta_1}{2} = \frac{294}{2} = 147,00(\text{mm}) \leq b_i = 200,00(\text{mm}) \Rightarrow \text{😊} \rightarrow$  **απόσταση  $\beta_2$  στην Εικόνα 5.17**

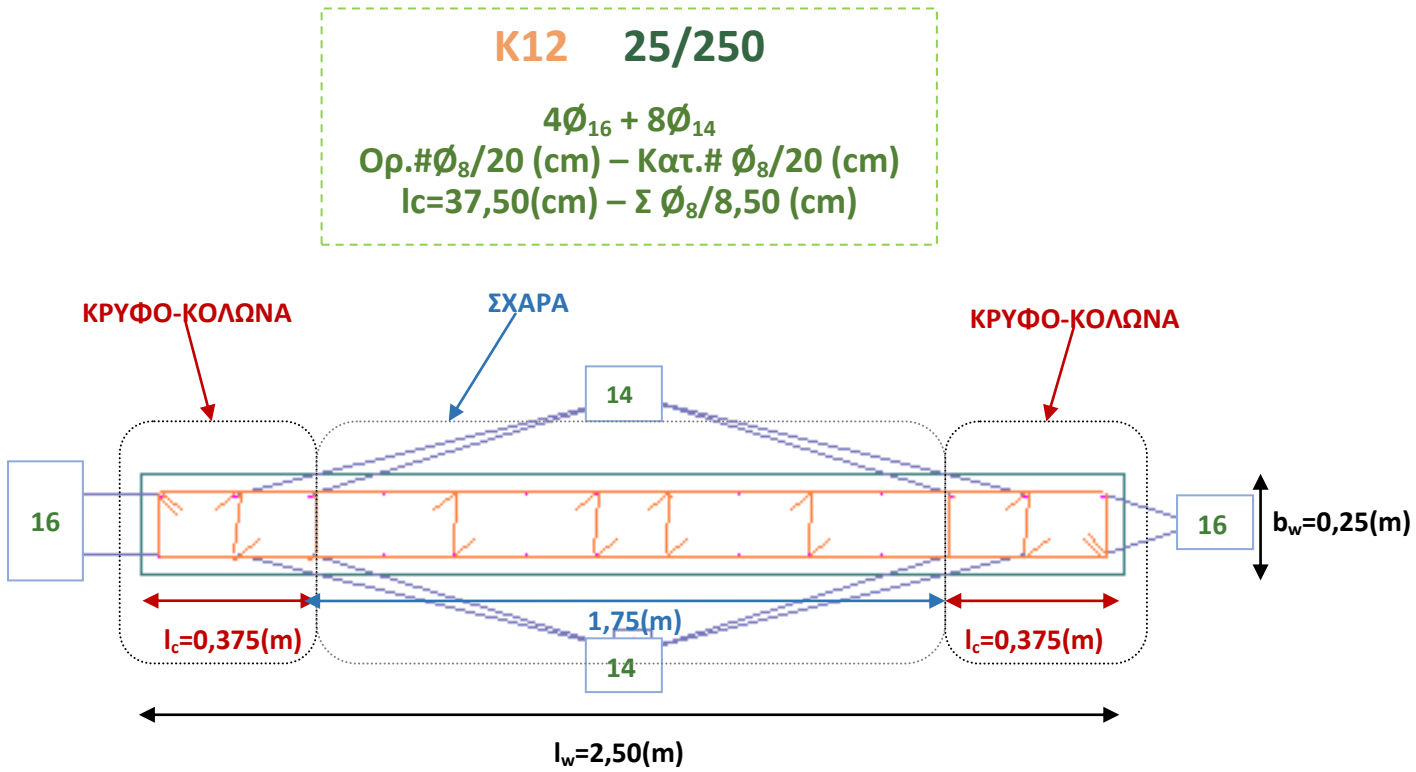
- Με βάση λοιπόν τα παραπάνω, ο τελικός τοποθετούμενος οπλισμός κάμψης ( $A_{s,prov,ολικό}$ ), θα είναι δώδεκα (12) ράβδοι, διαμέτρου:  $\varnothing_{16}$  και  $\varnothing_{14}$ , έξι (6) στην μία ( $2\varnothing_{16}$  &  $4\varnothing_{14}$ ) και έξι (6) στην άλλη ( $2\varnothing_{16}$  &  $4\varnothing_{14}$ ) κρυφο-κολώνα του τοιχώματος (**Εικόνα 5.15**), δηλαδή:

$$A_{s,prov,ολικό} = 4\varnothing_{16} + 8\varnothing_{14} = 8,04 + 12,32 \Rightarrow A_{s,prov,ολικό} = 20,36(\text{cm}^2)$$

$$\frac{A_{s,prov,ολικό}}{2} = 2\varnothing_{16} + 4\varnothing_{14} = 10,18(\text{cm}^2) \rightarrow \text{γιακάθε μία κρυφο - κολώνα}$$

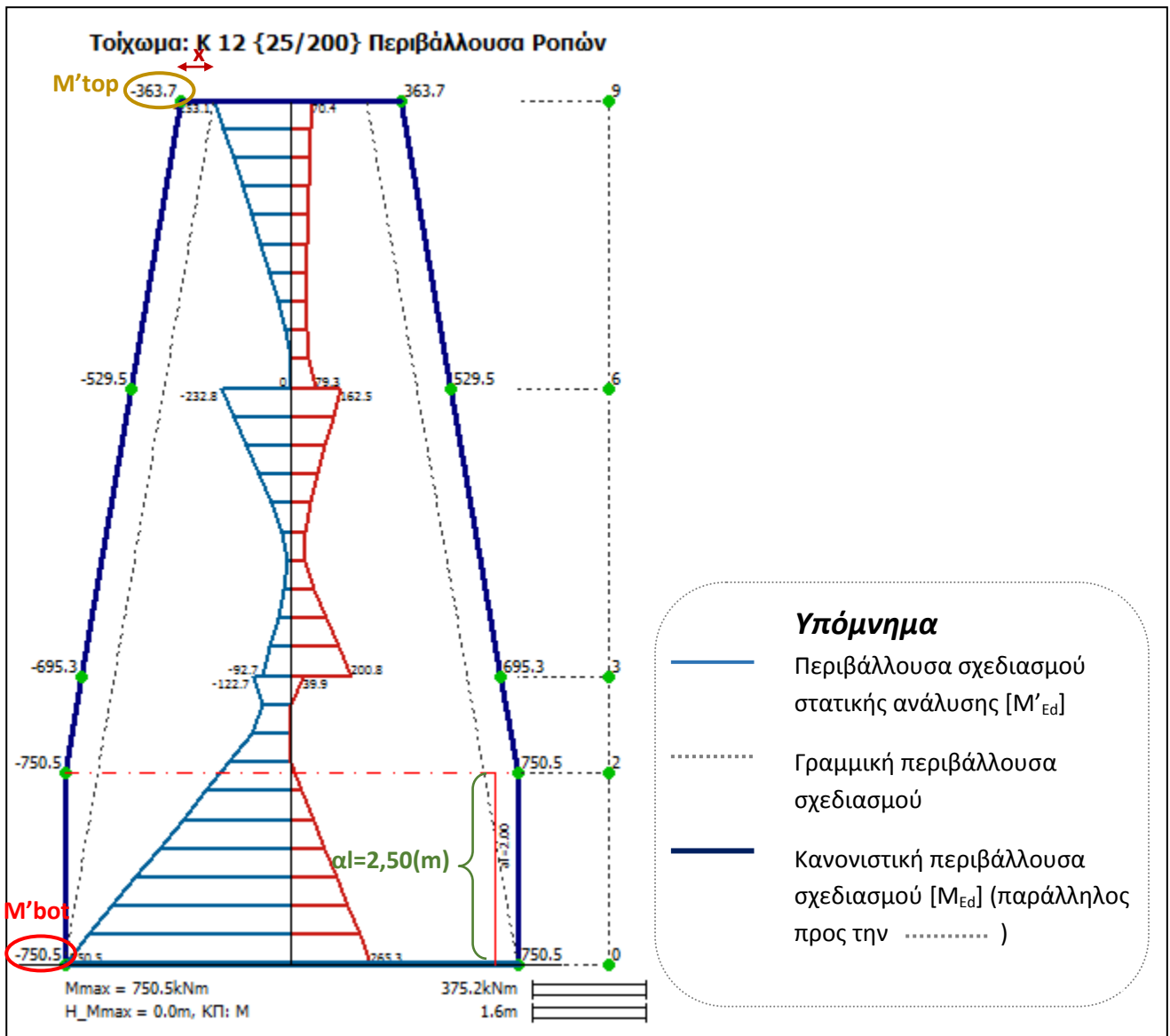
$$\text{και πάλι ισχύει: } \frac{A_{s,min}}{2} \leq \frac{A_{s,prov,ολικό}}{2} \leq \frac{A_{s,max}}{2} \Rightarrow \text{😊}$$

8. Στην **Εικόνα 5.15** παρακάτω, φαίνεται η τελική επιλογή τοποθέτησης του οπλισμού κάμψης στην διατομή και η ακριβής θέση του.



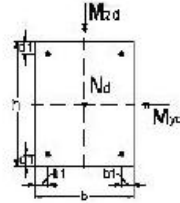
**Εικόνα 5.15.** Τμήματα στο Τοίχωμα K12 που διαστασιολογούνται για κάμψη (κρυφο-κολώνες, σε απόσταση  $l_c$ , από τα άκρα) και διάτμηση (σχάρα, στον πυρήνα της διατομής), καθώς και η τελική λύση όπλισης του τοιχώματος.



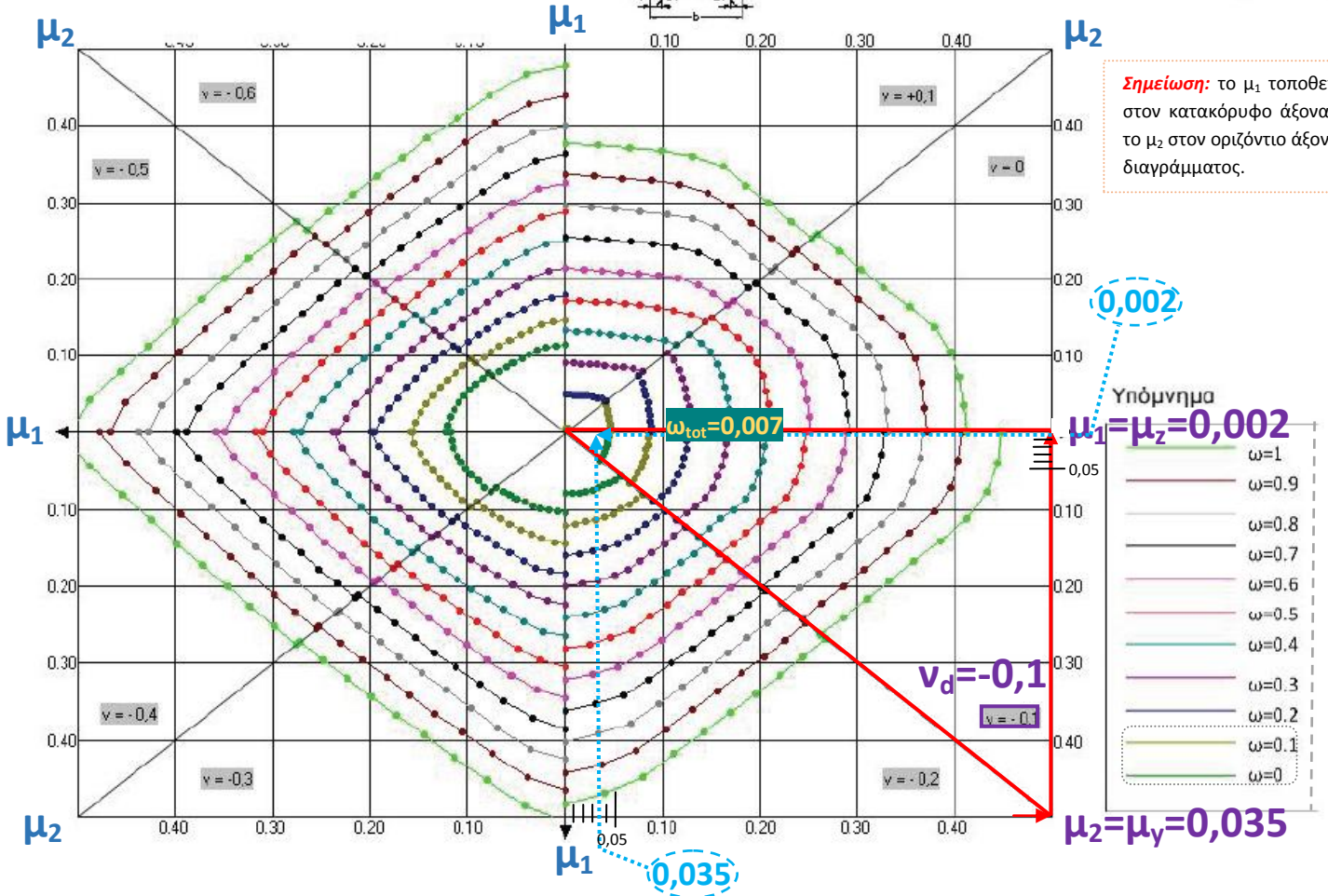
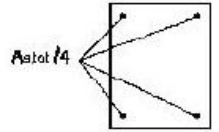


**Εικόνα 5.16.** Κανονιστική περιβάλλουσα καμπτικής ροπής σχεδιασμού [ $M_{Ed}$ ] σε όλο το ύψος του Τοιχώματος Κ12.

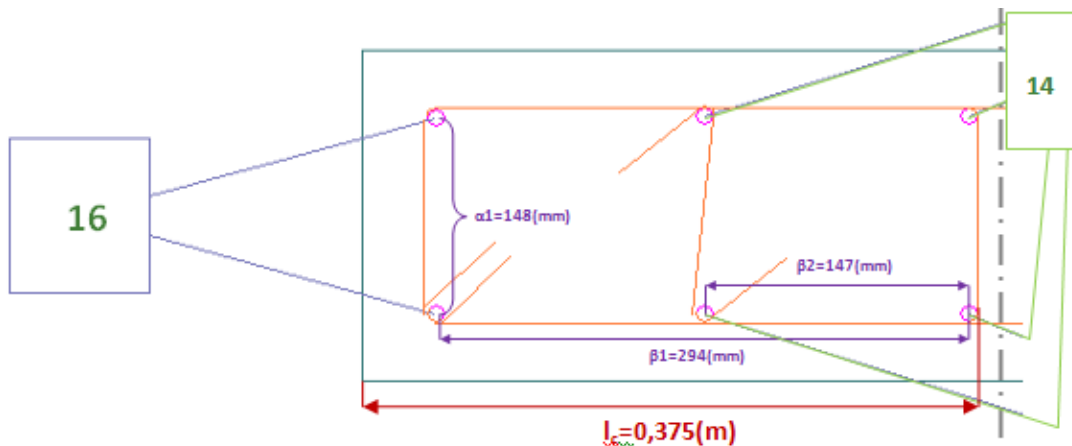
Διάγραμμα αλληλεπίδρασης για ορθογωνική διατομή σε διαξονική κάμψη σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2 (σημειακή κατανομή σπλισμού)



Όλες οι κατηγορίες σκυροδέματος Χάλυβας B500c  $d_1/h = b_1/b = 0.10$



Εικόνα 5.17. Διάγραμμα αλληλεπίδρασης για ορθογωνική διατομή σε διαξονική κάμψη (B500c, σημειακή κατανομή σπλισμού,  $d_1/h = b_1/b = 0,10$ ).<sup>[2]</sup>



Εικόνα 5.18. Τομή Τοιχώματος K12 σε απόσταση  $l_w$ , ώστε να φανεί η διατομή της κρυφο-κολώνας, αλλά και να πραγματοποιηθούν οι έλεγχοι απαιτούμενων αποστάσεων ( $b_i$ ) μεταξύ των ράβδων σπλισμού (από το κέντρο της μίας ράβδου έως το κέντρο της άλλης), κατά τις δύο διευθύνσεις x και y του τοιχώματος.

#### 5.4.4 Διαστασιολόγηση Τοιχώματος K12 σε διάτμηση<sup>[2, 3]</sup>

Στα τοιχώματα, η διαστασιολόγηση σε διάτμηση, αφορά την εύρεση του απαιτούμενου διατμητικού οπλισμού στον πυρήνα τους, ο οποίος είναι γνωστός και ως «σχάρα», διότι αποτελείται από μία οριζόντια και μία κατακόρυφη τοποθέτηση οπλισμού, η οποία σχηματίζει ένα πλέγμα στο κέντρο κάθε τοιχώματος, δηλαδή στον κορμό του. Η κρίσιμη από τις δύο αυτές σχάρες, είναι η οριζόντια, σε σχέση με την κατακόρυφη, καθώς αυτή αναλαμβάνει την τέμνουσα δύναμη που αναπτύσσεται στην κατασκευή. Παρακάτω, περιγράφεται συνοπτικά η πορεία, μέσα από τα εξής διαδοχικά βήματα:

1. χάραξη της κανονιστικής περιβάλλουσας τεμνουσών δυνάμεων σχεδιασμού σε όλο το ύψος του τοιχώματος, με την λήψη των διαγραμμάτων των τεμνουσών (διαγράμματα από το στατικό πρόγραμμα Fespa) από το ισόγειο έως και τον τελευταίο όροφο (εδώ ο τελευταίος, είναι ο 2<sup>ος</sup> όροφος),
2. **έλεγχος επάρκειας θλιθόμενων διαγωνίων σκυροδέματος**, ο οποίος πραγματοποιείται με την μέγιστη τιμή της κανονιστικής τέμνουσας σχεδιασμού  $V_{Ed,max}$  και η οποία, απαιτείται να είναι **μικρότερη ή ίση** της Αντοχής Σχεδιασμού λοξού θλιπτήρα  $V_{Rd,max}$ , ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$V_{Ed,max} \leq V_{Rd,max}$$

3. υπολογισμός των απαιτούμενων οριζόντιων οπλισμών κορμού (οριζόντια σχάρα)  $A_{s,h}$  και επιλογή των ράβδων που θα τοποθετηθούν, όπου αρκεί η κανονιστική τέμνουσα σχεδιασμού  $V_{Ed,max}$  να είναι μικρότερη ή ίση με την αντοχή σε τέμνουσα που θα προσφέρει ο οριζόντιος τοποθετούμενος οπλισμός  $V_{Rd,s}$ , ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$V_{Ed,max} \leq V_{Rd,s}$$

4. υπολογισμός των απαιτούμενων κατακόρυφων οπλισμών κορμού (κατακόρυφη σχάρα)  $A_{s,v}$  και επιλογή των ράβδων που θα τοποθετηθούν, με βάση τον ελάχιστο απαιτούμενο διατμητικό οπλισμό τοιχώματος που προκύπτει, εφόσον η κατακόρυφη σχάρα, δεν είναι η κρίσιμη,
5. υπολογισμός των ελάχιστων συνδετήρων περίσφιξης των άκρων, δηλαδή εύρεση του οπλισμού διάτμησης των στύλων (κρυφο-κολώνες), στα άκρα του τοιχώματος  $A_{s,w,στύλων}$
6. και τέλος, γίνεται η τοποθέτηση του οπλισμού στην διατομή και η σχεδίαση ενδεικτικών σκαριφημάτων με την ακριβή θέση του.

Παρακάτω, ακολουθεί η επίλυση, με βάση τα όσα αναφέρθηκαν.<sup>[1, 2, 3, 4]</sup>

1. Σύμφωνα με την §5.4.2.4(6, 7 & 8) του Ε.Σ.Ε., σε λυγηρά τοιχώματα με λόγο:

$$\frac{h_w}{l_w} > 2,00 \Rightarrow \frac{9,00}{2,50} = 3,60 > 2,00 \Rightarrow \text{☺}$$

προκειμένου να υπάρχει κάλυψη των αβεβαιοτήτων, λόγω ανώτερων ιδιομορφών, ως προς την μορφή του διαγράμματος των τεμνουσών δυνάμεων στο επίπεδο του τοιχώματος από την στατική ανάλυση [ $V'_{Ed}$ ], αλλά και την πιθανότητα αύξησής τους μετά την διαρροή της βάσης του τοιχώματος, διαμορφώνεται η κανονιστική περιβάλλουσα τεμνουσών δυνάμεων [ $V_{Ed}$ ], σύμφωνα με τα ακόλουθα βήματα (**Εικόνα 5.19**):

- αρχικά, λαμβάνεται το διάγραμμα των τεμνουσών δυνάμεων [ $V'_{Ed}$ ] του Τοιχώματος K12, από το στατικό πρόγραμμα Fespa,
- στην συνέχεια, η αρχική τέμνουσα σχεδιασμού της βάσης [ $V_{bot}$ ], αυξάνεται κατά 50%, οπότε προκύπτει η νέα τέμνουσα βάσης [ $V'_{bot}$ ], η οποία αποτελεί την κανονιστική τέμνουσα βάσης, με βάση την οποία, θα πραγματοποιηθεί η διαστασιολόγηση:

$$V'_{bot} = 1,50 * V_{bot} = 1,50 * 261,70 \Rightarrow V'_{bot} = 392,55(kN)$$

- ομοίως, κατά 50% αυξάνονται και όλες οι τέμνουσες μέχρι ύψος  $h_w/3$ , γίνεται δηλαδή κατακόρυφη μετάθεση της νέας τέμνουσας βάσης (κανονιστική τέμνουσα), σε ύψος  $h_w/3$ :

$$\frac{h_w}{3} = \frac{9}{3} \Rightarrow \frac{h_w}{3} = 3,00(m)$$

- υπολογίζεται η νέα τέμνουσα κορυφής  $|V'_{top}|$ , η οποία αποτελεί την κανονιστική τέμνουσα κορυφής και η οποία ισούται με το μισό της κανονιστικής τέμνουσας βάσης  $|V'_{bot}|$ :

$$V'_{top} = \frac{V'_{bot}}{2} = \frac{392,55}{2} \Rightarrow V'_{top} = 196,28(kN)$$

- και τέλος, ενώνεται το άκρο της κατακόρυφης μετάθεσης που έγινε πρωτύτερα, με την κανονιστική τέμνουσα κορυφής  $|V'_{top}|$ , ενώ η γραμμή, συνεχίζει έως την αρχική τιμή της τέμνουσας κορυφής  $|V_{top}|$  και έτσι προκύπτει η κανονιστική περιβάλλουσα των τεμνουσών, η οποία ονομάζεται έτσι, διότι περιβάλλονται σε αυτή όλες οι τέμνουσες).

2. **Ο έλεγχος επάρκειας θλιβόμενων διαγωνίων σκυροδέματος**, όπως αναφέρθηκε, πραγματοποιείται με την μέγιστη τιμή της κανονιστικής τέμνουσας σχεδιασμού  $V_{Ed,max}$ , η οποία ισούται με την κανονιστική τέμνουσα βάσης  $|V'_{bot}|$  που υπολογίστηκε παραπάνω, και προκειμένου να υπάρχει επάρκεια, θα πρέπει να ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$V_{Ed,max} \leq V_{Rd,max} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Ed,max} \leq \frac{\alpha_{cw} * b_w * z * v * f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 392,49 \leq \frac{1,00 * 0,25 * 2,00 * 0,552 * 20 * 10^3}{2,50 + 0,40} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 392,49(kN) \leq 1903,45(kN) \Rightarrow \text{😊}$$

- $\alpha_{cw} = 1,00$ : αυξητικός συντελεστής, ο οποίος λαμβάνεται ίσος με την μονάδα όταν υπάρχει θλιπτική αξονική δύναμη (όπως στην προκειμένη περίπτωση του Τοιχώματος K12, που εξετάζεται), καθώς οι αυξητικές τιμές επιτρέπονται από τον κανονισμό, μόνο σε περίπτωση προέντασης [§6.2.3(3), E.C.2]
- $b_w = 0,25(m)$ : το πλάτος της διατομής του τοιχώματος
- $z = 0,80 * l_w = 0,80 * 2,50 = 2,00(m)$ : μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων τοιχώματος
- $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,50} = 13,3333(MPa)$ : η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος ποιότητας: C<sub>20/25</sub>
- $\theta = 21,80^\circ \Rightarrow \cot \theta = \cot 21,80^\circ = 2,50$  και  $\tan \theta = \tan 21,80^\circ = 0,40$ : γωνία κλίσης των καμπτο-διατμητικών ρηγμάτων ως προς την κατακόρυφο (διαμήκης άξονας τοιχώματος), η οποία λαμβάνεται ως  $21,80^\circ$
- $v = 0,60 * \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,60 * \left[1 - \frac{20}{250}\right] = 0,552$ : συντελεστής μείωσης της αντοχής του λόγω διάτμησης ρηγματωμένου σκυροδέματος, με την τιμή του  $f_{ck}$ , να τοποθετείται στην σχέση ΜΟΝΟ σε (MPa) [§6.2.2(6), E.C.2]

- $f_{ck} = 20(MPa)$ : η ελάχιστη χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου, σκυροδέματος ποιότητας: C<sub>20/25</sub>
- $V_{Ed,max} = 392,49(kN)$ : η κανονιστική τέμνουσα σχεδιασμού, η οποία προκύπτει από την κανονιστική περιβάλλουσα τεμνουσών δυνάμεων της **Εικόνας 5.18**, αλλά και από τον **Πίνακα 5.7** του αναλυτικού τεύχους της επίλυσης, για το Τοίχωμα K12

3. Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων οριζόντιων οπλισμών κορμού (οριζόντια σχάρα)  $A_{s,h}$ , αρκεί η κανονιστική τέμνουσα σχεδιασμού  $V_{Ed,max}$ , να είναι μικρότερη ή ίση με την αντοχή σε τέμνουσα που θα προσφέρει ο οριζόντιος τοποθετούμενος οπλισμός  $V_{Rd,s}$  [§6.2.1(1) και §6.2.3(3), E.C.2], ικανοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$\begin{aligned}
 & \boxed{V_{Ed,max} \leq V_{Rd,c} \Rightarrow} \\
 & \Rightarrow V_{Ed,max} \leq \left(\frac{A_{s,h}}{s}\right) * z * f_{ywd} * \cot \theta \Rightarrow \\
 & \Rightarrow \left(\frac{A_{s,h}}{s}\right) \geq \frac{V_{Ed,max}}{z * f_{ywd} * \cot \theta} \Rightarrow \\
 & \Rightarrow \left(\frac{A_{s,h}}{s}\right) \geq \frac{392,49(kN) * 1,15}{2,00(m) * 500 * 10^3 \left(\frac{kN}{m^2}\right) * 2,50} \Rightarrow \\
 & \boxed{\Rightarrow \left(\frac{A_{s,h}}{s}\right) \geq 0,0001805454(m) \approx 0,02(cm)}
 \end{aligned}$$

- $z = 0,80 * l_w = 0,80 * 2,50 = 2,00(m)$ : μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων τοιχώματος
- $f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_y} = \frac{500}{1,15} = 434,78(MPa)$ : η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του οπλισμού διάτμησης
- $\theta = 21,80^\circ \Rightarrow \cot \theta = \cot 21,80^\circ = 2,50$  και  $\tan \theta = \tan 21,80^\circ = 0,40$ : γωνία κλίσης των καμπτο-διατμητικών ρηγμάτων ως προς την κατακόρυφο (διαμήκης άξονας τοιχώματος), η οποία λαμβάνεται ως  $21,80^\circ$

Επιλέγεται λοιπόν για την οριζόντια σχάρα, να τοποθετηθούν ράβδοι διαμέτρου:  $\varnothing_8$  και σε απόσταση  $s$  μεταξύ τους, της οποίας η προτεινόμενη τιμή μπορεί να βρεθεί, επιλύοντας την ανίσωση που προέκυψε παραπάνω ως προς την ζητούμενη αυτή απόσταση  $s$ :

$$\begin{aligned}
 & \left(\frac{A_{s,h}}{s}\right) \geq 0,02 \Rightarrow \\
 & \Rightarrow s \leq \frac{A_{s,h}}{0,02} \Rightarrow \\
 & \Rightarrow s \leq \frac{1,01(cm^2)}{0,02(cm)} \Rightarrow \\
 & \Rightarrow s \leq 50,50(cm)
 \end{aligned}$$

- $A_{s,h} = 2\phi_8 = 2 * 0,503 \approx 1,01(cm^2)$ : εφόσον όπως αναφέρθηκε, θα τοποθετηθούν ράβδοι διαμέτρου:  $\phi_8$

Ωστόσο, σύμφωνα με την §9.6.3(1 & 2), του Ε.Σ.2, οι ελάχιστες απαιτήσεις για την επιλογή του οριζόντιου σπλισμού σχάρας, είναι οι παρακάτω και θα πρέπει να τηρούνται:

$$A_{s,h,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 25\% * A_{s,v} = 25\% * 1,01 = 0,25(cm^2) \\ 0,001 * A_c = 0,001 * 6250,00 = 6,25(cm^2) \end{array} \right\} \Rightarrow A_{s,h,min} = 6,25(cm^2)$$

$$\text{και: } s_{h,max} = 400(mm)$$

- $A_{s,v} = 2\phi_8 = 2 * 0,503 \approx 1,01(cm^2)$ : κατακόρυφος σπλισμός σχάρας, εφόσον θα τοποθετηθούν ράβδοι διαμέτρου:  $\phi_8$
- $A_c = l_w * b_w = 2,50 * 0,25 = 6250,00(cm^2)$ : το εμβαδόν της διατομής του Τοιχώματος Κ12

Επομένως, επιλέγεται να τοποθετηθεί οριζόντιος σπλισμός σχάρας  $A_{s,h}$ , που ικανοποιεί τις απαιτήσεις της §9.6.3(1 & 2), του Ε.Σ.2, με διάμετρο:  $\phi_8$  και ανά 20(cm) απόσταση  $s$ :

$$A_{s,h} = \phi_8/20(cm)$$

4. Ο κατακόρυφος σπλισμός σχάρας ( $A_{s,v}$ ), δεν αποτελεί την κρίσιμη σχάρα, εφόσον δεν παραλαμβάνει άμεσα την τέμνουσα, αλλά λειτουργεί περισσότερο υποστηρικτικά στην οριζόντια σχάρα, προκειμένου να μην λυγίσει και έτσι αναλαμβάνει έμμεσα τις διατμητικές αναπτυσσόμενες δυνάμεις. Για τον λόγο αυτό, ως κατακόρυφη σχάρα, τοποθετείται απευθείας, άνευ υπολογισμού ο ελάχιστος απαιτούμενος σπλισμός, με βάση την §9.6.2(1, 2 & 3), του Ε.Σ.2 και ο οποίος τοποθετείται σε όλο το ύψος του τοιχώματος, με βάση τα παρακάτω:

- $\frac{A_{s,v,min}}{s} = 0,002 * A_c = 0,002 * 2500,00 \Rightarrow \frac{A_{s,v,min}}{s} = 5,00(cm^2)$
- $A_{s,v,max} = 0,04 * A_c = 0,04 * 2500,00 \Rightarrow A_{s,v,max} = 100,00(cm^2)$
- $s_{v,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3 * b_{wo} = 3 * 250 = 750(mm) \\ 400(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow s_{v,max} = 400(mm)$

όπου:

- $A_c = b_w * 100 = 0,25 * 100 = 2500,00(cm^2)$ : το εμβαδόν της διατομής
- $b_{wo} = b_w = 0,25(m)$ : το πλάτος της διατομής του τοιχώματος.

Επιλέγεται λοιπόν για την κατακόρυφη σχάρα, να τοποθετηθούν ράβδοι διαμέτρου:  $\phi_8$  και σε απόσταση  $s$  μεταξύ τους, της οποίας η προτεινόμενη τιμή μπορεί να βρεθεί, επιλύοντας την ανίσωση που προέκυψε παραπάνω ως προς την ζητούμενη αυτή απόσταση  $s$ :

$$\left( \frac{A_{s,v,min}}{s (\sigma \epsilon m)} \right) \geq 5 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow s \leq \frac{A_{s,v,min}}{5} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow s \leq \frac{1,01(cm^2)}{5(cm^2)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow s \leq 0,202(m) = 20,20(cm)$$

- $A_{s,v,min} = 2\phi_8 = 2 * 0,503 \approx 1,01(cm^2)$ : εφόσον όπως αναφέρθηκε, θα τοποθετηθούν ράβδοι διαμέτρου:  $\phi_8$

Επομένως, επιλέγεται να τοποθετηθεί κατακόρυφος οπλισμός σχάρας  $A_{s,v}$ , που ικανοποιεί τις απαιτήσεις της §9.6.2(1, 2 & 3), του Ε.Σ.2, με διάμετρο:  $\phi_8$  και ανά 20(cm) απόσταση  $s$ :

$$A_{s,v} = \phi_8/20(cm)$$

5. Για τον υπολογισμό των ελάχιστων συνδετήρων περίσφιξης των άκρων, δηλαδή του οπλισμού διάτμησης των στύλων (κρυφο-κολώνες), στα άκρα του τοιχώματος ( $A_{s,w,στύλων}$ ), ισχύουν οι διατάξεις της §5.4.3.4.2(9), του Ε.Σ.8, η οποία παραπέμπει στην §5.4.3.2.2(9 & 11), του Ε.Σ.8 και επιβάλλει τα ισχύοντα για την περίσφιξη των υποστυλωμάτων ως εξής:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_o}{2} = \frac{172}{2} = 86(mm) \\ 8 * \phi_{l,min} = 8 * 14 = 112(mm) \\ 175(mm) \end{array} \right\} \Rightarrow s = 86(mm) \approx 8,50(cm)$$

- $b_o = b_w - (2 * c_{nom}) - \phi_w = 250 - (2 * 35) - 8 = 172(mm)$ : το πλάτος του περισφιγμένου πυρήνα (έως τον άξονα των συνδετήρων) (όπου  $\phi_w$ : η διάμετρος των ράβδων των συνδετήρων)
- $\phi_{l,min} = \phi_{14} = 14(mm)$ : η μικρότερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων που συμμετέχει στην κάμψη

Επιλέγεται ως οπλισμός διάτμησης των στύλων (κρυφο-κολώνες), στα άκρα του τοιχώματος ( $A_{s,w,στύλων}$ ), να τοποθετηθούν ράβδοι διαμέτρου:  $\phi_8$  και ανά 8,50(cm) απόσταση  $s$  και τέσσερις (4) ράβδοι, διαμέτρου:  $\phi_8$  ανά ένα (1) τετραγωνικό μέτρο ( $m^2$ ) και σε σχήμα "S,,":

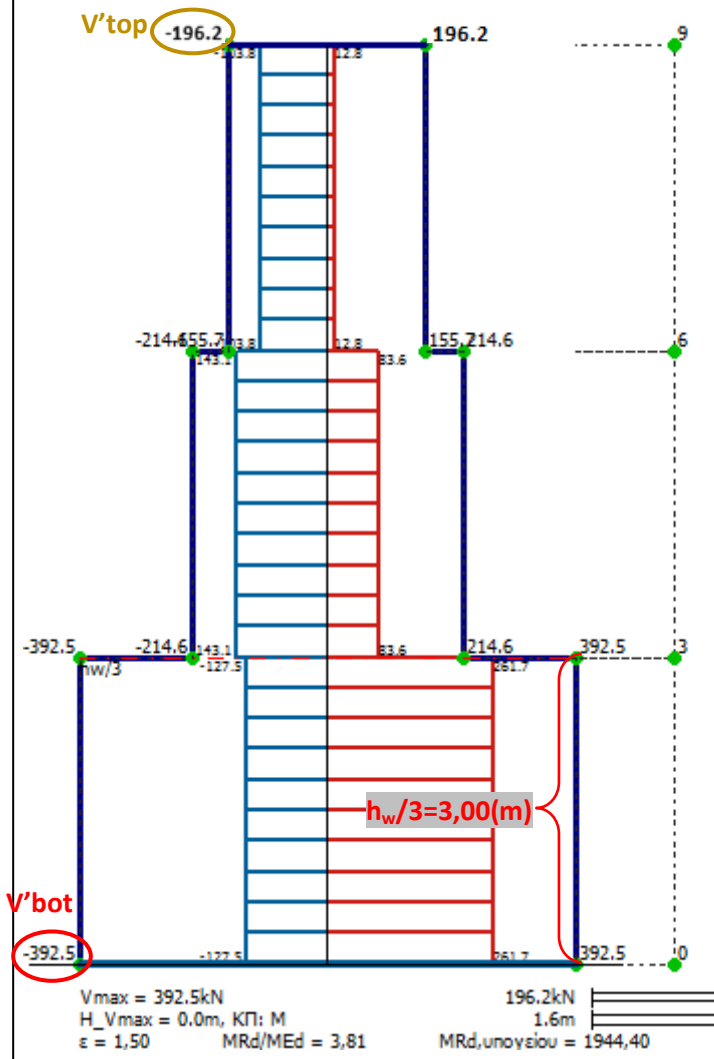
$$A_{s,w,στύλων} = \phi_8/8,50(cm) + 4\phi_8/(cm^2)$$

6. Τέλος, στην **Εικόνα 4.17**, φαίνεται η τελική επιλογή τοποθέτησης του οπλισμού διάτμησης στην διατομή, σε κάτοψη.

**Πίνακας 5.8.** Μέγιστα εγκάρσιου οπλισμού για το Τοίχωμα K12.

Φορτία [/]	Διεύθυνση [/]	$v_d$ [/]	$V_{Ed}$ [kN]	$T_{Ed}$ [kNm]	$V'_{Rd,c}$ [kN]	$V_{Rd,c}$ [kN]	$V_{Rd,max}$ [kN]
ΣΣ:+x	Z	-0,129	+392,49	0,11	220,40	257,42	1472,00

Τοίχωμα: Κ 12 {25/200} Περιβάλλουσα Τεμνουσών



Εικόνα 5.19. Κανονιστική περιβάλλουσα τεμνουσών δυνάμεων σχεδιασμού [ $V_{Ed}$ ] σε όλο το ύψος του Τοιχώματος Κ12.



1. **Ευρωκώδικας 8-E.C.8 (EN 1998-1: 2004 GR)**. Αντισεισμικός Σχεδιασμός, Μέρος 1: Γενικοί Κανόνες, Σεισμικές Δράσεις και Κανόνες για Κτίρια. Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση (C.E.N.). Σελ.: 86-88, 98, 101-104, 110-117.
2. **Ιγνατάκης Χρ., Σέξτος Α. (2015)**. Κτίρια από Οπλισμένο Σκυρόδεμα: Διαστασιολόγηση σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 2 και 8. Εκδόσεις "Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών". Αθήνα (Ελλάδα), 2015, σελ.: 173-190.
3. **Στεφανίδου Σ. (2018)**. Διάλεξη 6<sup>η</sup>. Σημειώσεις μαθήματος «Οπλισμένο Σκυρόδεμα III». Α.Τ.Ε.Ι.Θ. Σελ.: 6-7, 52-103.
4. **Ευρωκώδικας 2-E.C.2 (EN 1992-1-1: 2004 GR)**. Σχεδιασμός Φορέων από Σκυρόδεμα, Μέρος 1-1: Γενικοί Κανόνες και Κανόνες για Κτίρια. Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση (C.E.N.). Σελ.: 116-118, 197, 213-214.

## 5.5 Αποτελέσματα στατικού προγράμματος Fespa

Σε αυτή την παράγραφο, παρατίθενται τα αποτελέσματα από το αναλυτικό τεύχος της επίλυσης που συνοδεύει τον Φορέα Ι (Ι.Π.Τ.), που πραγματοποιήθηκε με το στατικό πρόγραμμα Fespa (έκδοση: 7.6.0.4). Συγκεκριμένα, επισυνάπτονται όλα τα εντατικά μεγέθη, καθώς και όσα θεωρήθηκαν από το πρόγραμμα κρίσιμα (και με βάση τα οποία, έγινε και η παραπάνω διαστασιολόγηση, ακολουθώντας τις διατάξεις του κανονισμού), αλλά και η συνολική προμέτρηση του κτιρίου σε απαιτούμενο όγκο Σκυροδέματος και βάρους Σιδηρού Οπλισμού.

**!Σημειώνεται** ότι το Τοίχωμα K12, εμφανίζεται στο πρόγραμμα, με το όνομα: «Υποστύλωμα K12», καθώς ως τέτοιο προσομοιώνεται.

### 5.5.1 Διαστασιολόγηση Υποστύλωματος K7 (όροφος: 0, νο: 7)

#### K7, Όροφος 0

##### Γενικά δεδομένα

<b>Κόμβοι</b>	Αρχή: 7(-1)	Τέλος: 7(0)	Μέλος: 19
<b>Διατομή</b>	Ορθογωνική: 45/45 /d'=5,5		
<b>Υλικά</b>	Σκυρόδεμα C20/25	Χάλυβας: B500C	Ύψος = 3,00 [m]
<b>Κοντό= Οχι</b>	Hτολ=0,00 - as=3,51		Συνδετήρες: B500C
<b>Κανονισμός</b>	Πλαστικότητα :ΚΠΜ		Κύριο Μέλος
<b>ΣΠΕΜ</b>	[X]= 1,00	[Z]= 1,00	

##### Εντατικά μεγέθη

A/A Φόρτ [/]	Αρχή My [kNm]	7(-1) Mz [kNm]	Vy [kN]	Vz [kN]	Τέλος My [kNm]	7(0) Mz [kNm]	Vy [kN]	Vz [kN]	Αξονική N [kN]	Στρέψη T [kNm]
G	10,11	11,91	-2,85	-5,44	-6,22	3,37	-2,85	-5,44	-650,04	0,00
Q	2,93	-0,56	1,39	-1,71	-2,20	3,62	1,39	-1,71	-117,90	0,00
QA	1,48	1,01	-0,74	-1,04	-1,64	-1,20	-0,74	-1,04	-50,57	0,00
QB	1,45	-1,58	2,13	-0,67	-0,57	4,82	2,13	-0,67	-67,33	0,00
QC	2,75	-0,57	1,38	-1,60	-2,03	3,58	1,38	-1,60	-114,16	0,00
QD	2,00	1,66	-0,97	-1,33	-1,99	-1,25	-0,97	-1,33	-46,59	0,00
QE	1,61	-1,22	1,81	-0,81	-0,83	4,22	1,81	-0,81	-85,24	0,00
[G+ψ2Q]	10,99	11,74	-2,43	-5,96	-6,88	4,46	-2,43	-5,96	-685,41	0,00
1.35G+1.05Q	16,72	15,49	-2,38	-9,14	-10,71	8,35	-2,38	-9,14	-1001,36	-0,01
1.35G+1.05QA	15,20	17,14	-4,62	-8,44	-10,12	3,29	-4,62	-8,44	-930,66	0,00
1.35G+1.05QB	15,16	14,42	-1,60	-8,05	-9,00	9,61	-1,60	-8,05	-948,25	-0,01
1.35G+1.05QC	16,53	15,48	-2,39	-9,02	-10,54	8,31	-2,39	-9,02	-997,43	-0,01
1.35G+1.05QD	15,74	17,82	-4,86	-8,74	-10,49	3,24	-4,86	-8,74	-926,48	0,00
1.35G+1.05QE	15,33	14,79	-1,94	-8,20	-9,27	8,98	-1,94	-8,20	-967,06	-0,01
1.15G+1.50Q	15,99	12,82	-1,18	-8,81	-10,45	9,29	-1,18	-8,81	-922,78	-0,01
1.15G+1.50QA	13,82	15,19	-4,37	-7,81	-9,60	2,06	-4,37	-7,81	-821,79	0,00
1.15G+1.50QB	13,77	11,30	-0,07	-7,25	-7,99	11,10	-0,07	-7,25	-846,92	-0,01
1.15G+1.50QC	15,73	12,81	-1,19	-8,64	-10,19	9,24	-1,19	-8,64	-917,17	-0,01
1.15G+1.50QD	14,60	16,16	-4,72	-8,24	-10,12	2,00	-4,72	-8,24	-815,81	0,00
1.15G+1.50QE	14,01	11,83	-0,55	-7,47	-8,39	10,19	-0,55	-7,47	-873,78	-0,01
ΣΣ: x	78,05	64,29	30,42	36,48	53,34	50,46	30,42	36,48	-582,22	-0,06
ΣΣ: +x	-56,08	-40,81	-35,28	-48,39	-67,11	-41,55	-35,28	-48,39	-788,61	-0,06
ΣΣ: +z	81,62	66,92	32,07	38,77	56,65	52,78	32,07	38,77	-582,48	-0,12
ΣΣ: +z	-59,65	-43,44	-36,93	-50,68	-70,42	-43,86	-36,93	-50,68	-788,34	-0,12
ΣΣ: -x	83,18	64,09	30,31	39,77	58,10	50,31	30,31	39,77	-585,39	-0,20
ΣΣ: -x	-61,21	-40,61	-35,16	-51,69	-71,87	-41,39	-35,16	-51,69	-785,44	-0,20
ΣΣ: -z	81,78	59,00	27,12	38,86	56,77	45,84	27,12	38,86	-584,50	-0,18
ΣΣ: -z	-59,81	-35,52	-31,97	-50,77	-70,53	-36,92	-31,97	-50,77	-786,33	-0,18
1.00G+1.00Q	13,04	11,35	-1,45	-7,15	-8,43	6,99	-1,45	-7,15	-767,94	-0,01
1.00[G+ψ2Q]	10,99	11,74	-2,43	-5,96	-6,88	4,46	-2,43	-5,96	-685,41	0,00

##### Συντελεστές ελέγχου Ανακατανομής κόμβων

Κόμβος	Τοπ. Διευθ.	σΑΝΚ_1	σΑΝΚ_2
7(-1)	Y	1,00	1,00
7(-1)	Z	1,00	1,00
7(0)	Y	1,00	1,00
7(0)	Z	1,01	1,32

##### Φορτίσεις - Επάρκεια διατομής σε κάμψη (με Έλεγχο Κόμβων)

Φόρτ [/]	Κόμβος [/]	vd [/]	NEd [kN]	MEdy [kNm]	MEdz [kNm]	λ = Ed/Rd [/]
1.35G+1.05Q	7(-1) +	-0,375	-1011,61	16,72	15,49	0,37
1.35G+1.05QA	7(-1) +	-0,348	-940,91	15,20	17,14	0,34

1.35G+1.05QB	7(-1) +	-0,355	-958,50	15,16	14,42	0,35
1.35G+1.05QC	7(-1) +	-0,373	-1007,68	16,53	15,48	0,37
1.35G+1.05QD	7(-1) +	-0,347	-936,73	15,74	17,82	0,34
1.35G+1.05QE	7(-1) +	-0,362	-977,31	15,33	14,79	0,35
1.15G+1.50Q	7(-1) +	-0,345	-931,49	15,99	12,82	0,34
1.15G+1.50QA	7(-1) +	-0,308	-830,50	13,82	15,19	0,30
1.15G+1.50QB	7(-1) +	-0,317	-855,63	13,77	11,30	0,31
1.15G+1.50QC	7(-1) +	-0,343	-925,88	15,73	12,81	0,33
1.15G+1.50QD	7(-1) +	-0,305	-824,53	14,60	16,16	0,30
1.15G+1.50QE	7(-1) +	-0,327	-882,50	14,01	11,83	0,32
ΣΣ:+x	7(-1) +	-0,218	-589,82	-47,56	-20,74	0,31
ΣΣ:+x	7(-1) +	-0,295	-796,20	69,53	44,22	0,48
ΣΣ:+x	7(-1) +	-0,290	-783,08	78,05	20,20	0,45
ΣΣ:+x	7(-1) +	-0,223	-602,93	-56,08	3,28	0,32
ΣΣ:+x	7(-1) +	-0,280	-756,79	21,78	64,29	0,40
ΣΣ:+x	7(-1) +	-0,233	-629,23	0,19	-40,81	0,29
ΣΣ:+z	7(-1) +	-0,219	-590,08	-48,88	-19,35	0,32
ΣΣ:+z	7(-1) +	-0,295	-795,94	70,85	42,83	0,48 *
ΣΣ:+z	7(-1) +	-0,289	-780,24	81,62	14,14	0,45
ΣΣ:+z	7(-1) +	-0,224	-605,78	-59,65	9,34	0,34
ΣΣ:+z	7(-1) +	-0,278	-751,00	14,05	66,92	0,40
ΣΣ:+z	7(-1) +	-0,235	-635,01	7,92	-43,44	0,30
ΣΣ:-x	7(-1) +	-0,220	-592,99	-51,17	-15,11	0,32
ΣΣ:-x	7(-1) +	-0,294	-793,03	73,14	38,59	0,47
ΣΣ:-x	7(-1) +	-0,289	-779,12	83,18	12,25	0,45
ΣΣ:-x	7(-1) +	-0,225	-606,89	-61,21	11,23	0,34
ΣΣ:-x	7(-1) +	-0,276	-744,31	11,69	64,09	0,39
ΣΣ:-x	7(-1) +	-0,238	-641,70	10,28	-40,61	0,30
ΣΣ:-z	7(-1) +	-0,219	-592,09	-52,49	-13,88	0,32
ΣΣ:-z	7(-1) +	-0,294	-793,92	74,46	37,36	0,47
ΣΣ:-z	7(-1) +	-0,290	-783,48	81,78	17,37	0,46
ΣΣ:-z	7(-1) +	-0,223	-602,53	-59,81	6,11	0,33
ΣΣ:-z	7(-1) +	-0,277	-747,72	19,41	59,00	0,38
ΣΣ:-z	7(-1) +	-0,236	-638,29	2,56	-35,52	0,28
1.35G+1.05Q	7(0) -	-0,367	-991,10	-10,71	8,35	0,34
1.35G+1.05QA	7(0) -	-0,341	-920,41	-10,12	3,29	0,31
1.35G+1.05QB	7(0) -	-0,347	-938,00	-9,00	9,61	0,32
1.35G+1.05QC	7(0) -	-0,366	-987,18	-10,54	8,31	0,34
1.35G+1.05QD	7(0) -	-0,339	-916,23	-10,49	3,24	0,31
1.35G+1.05QE	7(0) -	-0,354	-956,81	-9,27	8,98	0,33
1.15G+1.50Q	7(0) -	-0,339	-914,06	-10,45	9,29	0,32
1.15G+1.50QA	7(0) -	-0,301	-813,07	-9,60	2,06	0,28
1.15G+1.50QB	7(0) -	-0,310	-838,20	-7,99	11,10	0,29
1.15G+1.50QC	7(0) -	-0,336	-908,45	-10,19	9,24	0,32
1.15G+1.50QD	7(0) -	-0,299	-807,10	-10,12	2,00	0,28
1.15G+1.50QE	7(0) -	-0,320	-865,07	-8,39	10,19	0,30
ΣΣ:+x	7(0) -	-0,213	-574,63	45,48	32,80	0,33
ΣΣ:+x	7(0) -	-0,289	-781,01	-59,25	-23,89	0,40
ΣΣ:+x	7(0) -	-0,284	-767,54	-67,47	-2,54	0,40
ΣΣ:+x	7(0) -	-0,218	-588,10	71,71	11,45	0,37
ΣΣ:+x	7(0) -	-0,275	-741,41	-16,04	-41,59	0,33
ΣΣ:+x	7(0) -	-0,227	-614,23	2,27	50,46	0,31
ΣΣ:+z	7(0) -	-0,213	-574,89	46,70	31,59	0,33
ΣΣ:+z	7(0) -	-0,289	-780,75	-60,47	-22,68	0,40
ΣΣ:+z	7(0) -	-0,283	-764,63	-70,78	2,83	0,41
ΣΣ:+z	7(0) -	-0,219	-591,01	75,01	6,09	0,38
ΣΣ:+z	7(0) -	-0,272	-735,62	-9,03	-43,91	0,33
ΣΣ:+z	7(0) -	-0,230	-620,02	-4,74	52,78	0,32
ΣΣ:-x	7(0) -	-0,214	-577,80	48,85	27,88	0,33
ΣΣ:-x	7(0) -	-0,288	-777,84	-62,62	-18,97	0,40
ΣΣ:-x	7(0) -	-0,283	-763,60	-72,23	4,41	0,41
ΣΣ:-x	7(0) -	-0,219	-592,04	76,47	4,50	0,38
ΣΣ:-x	7(0) -	-0,270	-728,92	-6,95	-41,44	0,32
ΣΣ:-x	7(0) -	-0,232	-626,73	-6,82	50,31	0,31
ΣΣ:-z	7(0) -	-0,214	-576,91	50,03	26,80	0,33
ΣΣ:-z	7(0) -	-0,288	-778,74	-63,79	-17,89	0,40
ΣΣ:-z	7(0) -	-0,284	-768,05	-70,90	-0,14	0,40
ΣΣ:-z	7(0) -	-0,218	-587,59	75,13	9,06	0,38
ΣΣ:-z	7(0) -	-0,271	-732,31	-13,96	-36,97	0,32
ΣΣ:-z	7(0) -	-0,231	-623,33	0,19	45,84	0,30
1.35G+1.05Q	7(0) +	-0,247	-667,88	1,77	-31,82	0,28
1.35G+1.05QA	7(0) +	-0,233	-628,85	1,54	-26,43	0,25
1.35G+1.05QB	7(0) +	-0,232	-627,00	0,84	-30,23	0,26
1.35G+1.05QC	7(0) +	-0,246	-665,41	1,67	-31,68	0,28
1.35G+1.05QD	7(0) +	-0,229	-619,53	2,53	-24,17	0,25
1.35G+1.05QE	7(0) +	-0,239	-645,76	0,42	-32,31	0,27
1.15G+1.50Q	7(0) +	-0,227	-613,93	2,18	-31,09	0,26
1.15G+1.50QA	7(0) +	-0,207	-558,17	1,85	-23,38	0,22
1.15G+1.50QB	7(0) +	-0,206	-555,53	0,85	-28,82	0,24
1.15G+1.50QC	7(0) +	-0,226	-610,39	2,03	-30,89	0,26
1.15G+1.50QD	7(0) +	-0,202	-544,86	3,26	-20,16	0,21
1.15G+1.50QE	7(0) +	-0,216	-582,33	0,25	-31,79	0,25
ΣΣ:+x	7(0) +	-0,147	-397,27	-50,18	-48,35	0,36
ΣΣ:+x	7(0) +	-0,192	-519,46	51,75	7,57	0,29
ΣΣ:+x	7(0) +	-0,189	-510,38	61,01	-14,47	0,33
ΣΣ:+x	7(0) +	-0,151	-406,36	-77,47	-26,32	0,39
ΣΣ:+x	7(0) +	-0,184	-496,87	8,78	24,01	0,21
ΣΣ:+x	7(0) +	-0,156	-419,87	-7,21	-64,76	0,31
ΣΣ:+z	7(0) +	-0,147	-397,52	-51,13	-47,50	0,36
ΣΣ:+z	7(0) +	-0,192	-519,22	52,69	6,72	0,29
ΣΣ:+z	7(0) +	-0,188	-508,18	64,55	-19,81	0,35
ΣΣ:+z	7(0) +	-0,151	-408,55	-81,01	-20,97	0,39
ΣΣ:+z	7(0) +	-0,183	-493,74	1,57	26,28	0,21
ΣΣ:+z	7(0) +	-0,157	-423,00	-0,01	-67,03	0,31
ΣΣ:-x	7(0) +	-0,148	-399,49	-53,56	-43,96	0,36

ΣΣ:-x	7(0) +	-0,192	-517,25	55,13	3,17	0,30
ΣΣ:-x	7(0) +	-0,188	-507,55	66,20	-21,15	0,36
ΣΣ:-x	7(0) +	-0,152	-409,19	-82,66	-19,63	0,39
ΣΣ:-x	7(0) +	-0,181	-489,68	-0,33	23,96	0,20
ΣΣ:-x	7(0) +	-0,158	-427,06	1,90	-64,71	0,30
ΣΣ:-z	7(0) +	-0,148	-399,03	-55,06	-42,50	0,36
ΣΣ:-z	7(0) +	-0,192	-517,71	56,62	1,72	0,30
ΣΣ:-z	7(0) +	-0,189	-510,53	64,67	-16,64	0,34
ΣΣ:-z	7(0) +	-0,150	-406,21	-81,13	-24,14	0,40
ΣΣ:-z	7(0) +	-0,182	-491,20	6,75	19,61	0,20
ΣΣ:-z	7(0) +	-0,158	-425,54	-5,18	-60,35	0,29

#### Διαστασιολόγηση σε κάμψη

Φόρτ [N]	Κόμβος [N]	vd [N]	NEd [kN]	MEdy [kNm]	MEdz [kNm]	λ = Ed/Rd
ΣΣ:-z	7(-1) +	-0,295	-795,94	70,85	42,83	0,48

#### Ράβδοι Διατομής

Ομάδα Οπλισμού	Αριθμός Ράβδων	Οπλισμός [mm <sup>2</sup> ]	Ποσοστό οπλισμού [%]
1	4Φ18	1018	
2	2Φ18	509	
3	2Φ18	509	
Σύνολα	8 Ράβδοι	2036	1,005%

#### Συντελεστές Ικανοτικού σχεδιασμού σε Τέμνουσα EC8-5.4.2.3(2)

Κόμβος	Τοπ.Διευθ.	(ΣΜRb/ΣΜRc)_1	(ΣΜRb/ΣΜRc)_2
7(0)	Y	0,83	0,83
7(0)	Z	0,74	0,75

#### Διάτρηξη, στρέψη, περισφιγξη και διάτρηξη κόμβου

Φορτ [N]	Διε [N]	vd [N]	TEd [kNm]	VRdc [kN]	VRdc [kN]	cotθ [N]	Συνδετήρες Lkr=0,50 τμ.[mm/cm/cm]	ωwd [N]		
1.35G+1.05Q	Y	-0,371	2,38	0,01	57,84	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.35G+1.05Q	Z	-0,371	9,14	0,01	57,84	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.35G+1.05QA	Y	-0,345	4,62	0,00	61,11	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.35G+1.05QA	Z	-0,345	8,44	0,00	61,11	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.35G+1.05QB	Y	-0,351	1,60	0,01	60,30	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.35G+1.05QB	Z	-0,351	8,05	0,01	60,30	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.35G+1.05QC	Y	-0,369	2,39	0,01	58,02	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.35G+1.05QC	Z	-0,369	9,02	0,01	58,02	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.35G+1.05QD	Y	-0,343	4,86	0,00	61,30	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.35G+1.05QD	Z	-0,343	8,74	0,00	61,30	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.35G+1.05QE	Y	-0,358	1,94	0,01	59,42	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.35G+1.05QE	Z	-0,358	8,20	0,01	59,42	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.15G+1.50Q	Y	-0,342	1,18	0,01	61,48	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.15G+1.50Q	Z	-0,342	8,81	0,01	61,48	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.15G+1.50QA	Y	-0,304	4,37	0,00	66,15	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.15G+1.50QA	Z	-0,304	7,81	0,00	66,15	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.15G+1.50QB	Y	-0,314	0,07	0,01	64,99	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.15G+1.50QB	Z	-0,314	7,25	0,01	64,99	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.15G+1.50QC	Y	-0,340	1,19	0,01	61,74	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.15G+1.50QC	Z	-0,340	8,64	0,01	61,74	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.15G+1.50QD	Y	-0,302	4,72	0,00	66,43	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.15G+1.50QD	Z	-0,302	8,24	0,00	66,43	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.15G+1.50QE	Y	-0,324	0,55	0,01	63,74	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
1.15G+1.50QE	Z	-0,324	7,47	0,01	63,74	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	
ΣΣ:+x	Y	-0,216	105,87	0,06	77,25	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	n
ΣΣ:+x	Z	-0,216	128,46	0,06	77,25	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	n
ΣΣ:+x	Y	-0,292	105,49	0,06	67,69	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	n
ΣΣ:+x	Z	-0,292	128,46	0,06	67,69	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	n
ΣΣ:+z	Y	-0,216	109,80	0,12	77,24	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	n
ΣΣ:+z	Z	-0,216	132,94	0,12	77,24	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	n
ΣΣ:+z	Y	-0,292	109,41	0,12	67,70	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	n
ΣΣ:+z	Z	-0,292	132,94	0,12	67,70	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	n
ΣΣ:-x	Y	-0,217	107,38	0,20	77,10	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	n
ΣΣ:-x	Z	-0,217	134,41	0,20	77,10	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	n
ΣΣ:-x	Y	-0,291	107,00	0,20	67,84	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	n
ΣΣ:-x	Z	-0,291	134,41	0,20	67,84	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	n
ΣΣ:-z	Y	-0,216	101,35	0,18	77,14	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	n
ΣΣ:-z	Z	-0,216	131,95	0,18	77,14	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	n
ΣΣ:-z	Y	-0,291	100,99	0,18	67,80	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	n
ΣΣ:-z	Z	-0,291	131,95	0,18	67,80	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	n

\* ==> Αντίσταση σε τέμνουσα: Διε. Y: VRdmax = 588,71kN - Διε. Z: VRdmax = 588,71kN

#### Μέγιστα εγκάρσιου οπλισμού

Φορτ [N]	Διε [N]	vd [N]	VEd [kN]	TEd [kNm]	VRdc [kN]	VRdc [kN]	cotθ [N]	Συνδετήρες Lkr=0,50 τμ.[mm/cm/cm]	ωwd [N]	n
ΣΣ:+z	Y	-0,216	109,80	0,12	77,24	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	n
ΣΣ:-x	Z	-0,217	134,41	0,20	77,10	149,89	1,20	3τμ.ΣΦ8/14/18.5	0,21	n

\* ==> Αντίσταση σε τέμνουσα: Διε. Y: VRdmax = 588,71kN - Διε. Z: VRdmax = 588,71kN

#### Ράβδοι οπλισμού υποστυλώματος: K 7(0)

Διαμήκης οπλισμός [N]	Συνδετήρες Εσχάρες [N]	Σιγμοειδής Οπλισμός [N]	Ομοιομ. οπλισμού [N]	λ = Ed/Rd [N]	Ποσοστό οπλισμού [%]	Θέση Ελέγχου [-]
8Φ18	ΣΦ8/14			0,48	1,005%	Βάση στύλου

#### Προμέτρηση υποστυλώματος K 7

##### Ποσότητες σιδηρού οπλισμού

Φ8	Φ18	Μέτρα
57,21	34,09	
22,58	68,08	Kg B500C

##### Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	5,40	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	90,65
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	0,00	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	0,60
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	5,40	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	149,25

### 5.5.2 Διαστασιολόγηση Δοκού Δ6.1 (όροφος: 0, νο: 6.1)

#### Δοκός: Δ6.1, Όροφος 0

##### Γενικά δεδομένα δοκού

Κόμβοι	Αρχή: 2	Τέλος: 7	Μέλος: 157	ΣΠΕΜ = 1,00	
Διατομή	Πλακοδόκος		Ανωδομή	Ακαμπτές απολήξεις	
Διαστάσεις	25/60/191/16/5,2 [cm]		Μήκος  cl =5,71m	Bl=0,23m	Br=0,22m
Υλικό	Σκυρόδεμα: C20/25		Χάλυβας: B500C	Συνδετήρες: B500C	
Κανονισμός	ΚΠΜ		Κύρια δοκός	Ανακατανομή ροπών=Ναι	

##### Εντατικά μεγέθη

Φόρτ [/]	w [kN/m]	Αρχή M [kNm]	[ 2 ] V [kN]	Τέλος M [kNm]	[ 7 ] V [kN]	Αξονική N [kN]	Στρέψη T [kNm]	maxM [kNm]
G	24,14	-30,44	61,60	-71,92	-76,14	34,98	-0,03	47,27
Q	5,95	-8,16	15,55	-16,21	-18,38	6,73	0,01	12,01
QA	0,00	-1,12	0,11	-0,47	0,11	4,71	0,02	-0,54
QB	5,95	-7,04	15,44	-15,74	-18,49	2,02	-0,02	12,81
QC	5,95	-8,96	15,85	-15,32	-18,08	6,45	0,01	12,05
QD	0,00	1,88	-0,81	-2,73	-0,81	2,65	-0,01	1,42
QE	5,95	-8,15	15,61	-15,87	-18,32	6,23	-0,02	12,19
[G+ψ2Q]	25,93	-32,89	66,27	-76,78	-81,66	36,99	-0,03	50,82
1.35G+1.05Q	38,84	-49,66	99,49	-114,11	-122,09	54,28	-0,03	76,25
1.35G+1.05QA	32,60	-42,27	83,28	-97,58	-102,67	52,16	-0,01	62,91
1.35G+1.05QB	38,84	-48,49	99,38	-113,61	-122,21	49,33	-0,06	77,16
1.35G+1.05QC	38,84	-50,51	99,81	-113,18	-121,78	53,99	-0,03	76,17
1.35G+1.05QD	32,60	-39,12	82,31	-99,96	-103,64	50,00	-0,05	63,85
1.35G+1.05QE	38,84	-49,65	99,56	-113,75	-122,03	53,76	-0,06	76,40
1.15G+1.50Q	36,63	-47,17	94,02	-106,84	-114,94	50,22	-0,02	72,02
1.15G+1.50QA	27,71	-36,61	70,86	-83,23	-87,20	47,20	0,00	52,95
1.15G+1.50QB	36,63	-45,49	93,85	-106,13	-115,11	43,16	-0,06	73,31
1.15G+1.50QC	36,63	-48,37	94,46	-105,51	-114,49	49,80	-0,02	72,07
1.15G+1.50QD	27,71	-32,11	69,48	-86,63	-88,59	44,11	-0,05	54,29
1.15G+1.50QE	36,63	-47,16	94,11	-106,33	-114,85	49,48	-0,06	72,27
ΣΣ:+x	25,93	11,58	79,94	-43,20	-67,99	44,64	-0,10	64,16
ΣΣ:-x	25,93	-77,36	52,60	-110,37	-95,33	29,35	-0,10	44,98
ΣΣ:+z	25,93	12,12	79,97	-43,48	-67,95	46,62	-0,08	64,69
ΣΣ:-z	25,93	-77,90	52,56	-110,09	-95,36	27,37	-0,08	45,04
ΣΣ:x	25,93	11,16	79,83	-43,28	-68,10	50,27	-0,10	64,11
ΣΣ:-x	25,93	-76,94	52,71	-110,28	-95,22	23,72	-0,10	45,64
ΣΣ:+z	25,93	8,59	79,19	-44,45	-68,74	46,53	-0,11	62,96
ΣΣ:-z	25,93	-74,37	53,35	-109,12	-94,57	27,46	-0,11	45,61
1.00G+1.00Q	30,09	-38,60	77,16	-88,12	-94,52	41,70	-0,02	59,12
1.00[G+ψ2Q]	25,93	-32,89	66,27	-76,78	-81,66	36,99	-0,03	50,82

##### Οπλισμοί κάμψης

Φόρτ [/]	Κόμβ [/]	Θέση [m]	MEd [kNm]	NEd [kN]	As1_ca [cm²]	As2_ca [cm²]	As_sl [cm²]	x [m]	As1_rq [cm²]	As2_rq [cm²]	ρ1_rq [o/oo]	E [/]
1.35G+1.05Q	0	2,28	76,25	54,28	3,90	0,00	0,00	0,02	3,90	2,26	2,847	2
1.35G+1.05Q	2	0,00	-49,66	54,28	2,81	0,00	0,81	0,04	2,26	2,26	1,650	2
1.35G+1.05Q	7	0,00	-114,11	54,28	5,76	0,00	2,78	0,09	4,32	3,55	3,153	2
1.35G+1.05QA	0	2,28	62,91	52,16	3,31	0,00	0,00	0,02	3,31	2,26	2,416	2
1.35G+1.05QA	2	0,00	-42,27	52,16	2,46	0,00	0,81	0,04	2,26	2,26	1,650	2
1.35G+1.05QA	7	0,00	-97,58	52,16	4,95	0,00	2,78	0,07	3,71	3,24	2,708	2
1.35G+1.05QB	0	2,28	77,16	49,33	3,88	0,00	0,00	0,02	3,88	2,26	2,832	2
1.35G+1.05QB	2	0,00	-48,49	49,33	2,69	0,00	0,81	0,04	2,26	2,26	1,650	2
1.35G+1.05QB	7	0,00	-113,61	49,33	5,68	0,00	2,78	0,09	4,26	3,52	3,109	2
1.35G+1.05QC	0	2,85	76,17	53,99	3,90	0,00	0,00	0,02	3,90	2,26	2,847	2
1.35G+1.05QC	2	0,00	-50,51	53,99	2,84	0,00	0,81	0,04	2,26	2,26	1,650	2
1.35G+1.05QC	7	0,00	-113,18	53,99	5,71	0,00	2,78	0,09	4,28	3,53	3,124	2
1.35G+1.05QD	0	2,28	63,85	50,00	3,32	0,00	0,00	0,02	3,32	2,26	2,423	2
1.35G+1.05QD	2	0,00	-39,12	50,00	2,29	0,00	0,81	0,03	2,26	2,26	1,650	2
1.35G+1.05QD	7	0,00	-99,96	50,00	5,04	0,00	2,78	0,08	3,78	3,27	2,759	2
1.35G+1.05QE	0	2,28	76,40	53,76	3,90	0,00	0,00	0,02	3,90	2,26	2,847	2
1.35G+1.05QE	2	0,00	-49,65	53,76	2,80	0,00	0,81	0,04	2,26	2,26	1,650	2
1.35G+1.05QE	7	0,00	-113,75	53,76	5,74	0,00	2,78	0,09	4,30	3,54	3,139	2
1.15G+1.50Q	0	2,28	72,02	50,22	3,67	0,00	0,00	0,02	3,67	2,26	2,679	2
1.15G+1.50Q	2	0,00	-47,17	50,22	2,65	0,00	0,81	0,04	2,26	2,26	1,650	2
1.15G+1.50Q	7	0,00	-106,84	50,22	5,37	0,00	2,78	0,08	4,02	3,40	2,934	2
1.15G+1.50QA	0	2,28	52,95	47,20	2,82	0,00	0,00	0,01	2,82	2,26	2,058	2
1.15G+1.50QA	2	0,00	-36,61	47,20	2,15	0,00	0,81	0,03	2,26	2,26	1,650	2
1.15G+1.50QA	7	0,00	-83,23	47,20	4,23	0,00	2,78	0,06	3,17	2,97	2,314	2
1.15G+1.50QB	0	2,28	73,31	43,16	3,64	0,00	0,00	0,02	3,64	2,26	2,657	2
1.15G+1.50QB	2	0,00	-45,49	43,16	2,49	0,00	0,81	0,04	2,26	2,26	1,650	2
1.15G+1.50QB	7	0,00	-106,13	43,16	5,25	0,00	2,78	0,08	3,94	3,36	2,876	2
1.15G+1.50QC	0	2,85	72,07	49,80	3,67	0,00	0,00	0,02	3,67	2,26	2,679	2
1.15G+1.50QC	2	0,00	-48,37	49,80	2,70	0,00	0,81	0,04	2,26	2,26	1,650	2
1.15G+1.50QC	7	0,00	-105,51	49,80	5,30	0,00	2,78	0,08	3,97	3,37	2,898	2
1.15G+1.50QD	0	2,28	54,29	44,11	2,84	0,00	0,00	0,01	2,84	2,26	2,073	2
1.15G+1.50QD	2	0,00	-32,11	44,11	1,92	0,00	0,81	0,03	2,26	2,26	1,650	2
1.15G+1.50QD	7	0,00	-86,63	44,11	4,35	0,00	2,78	0,07	3,26	3,02	2,380	2
1.15G+1.50QE	0	2,85	72,27	49,48	3,67	0,00	0,00	0,02	3,67	2,26	2,679	2

1.15G+1.50QE	2	0,00	-47,16	49,48	2,64	0,00	0,81	0,04	2,26	2,26	1,650	2	n
1.15G+1.50QE	7	0,00	-106,33	49,48	5,33	0,00	2,78	0,08	4,00	3,39	2,920	2	n
ΣΣ:+x	0	2,28	64,16	44,64	3,27	0,00	0,00	0,02	3,27	2,26	2,387	2	n
ΣΣ:+x	0	2,28	64,16	29,35	3,08	0,00	0,00	0,02	3,08	2,26	2,248	2	n
ΣΣ:+x	0	2,85	44,98	44,64	2,45	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:+x	0	2,85	44,98	29,35	2,26	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:+x	2	0,00	37,37	44,64	2,13	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:+x	2	0,00	37,37	29,35	1,94	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:+x	2	0,00	-77,36	44,64	3,93	0,00	0,81	0,06	3,12	2,26	2,277	2	n
ΣΣ:+x	2	0,00	-77,36	29,35	3,75	0,00	0,81	0,06	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:+x	7	0,00	-110,37	44,64	5,47	0,00	2,78	0,09	4,10	3,44	2,993	2	n
ΣΣ:+x	7	0,00	-110,37	29,35	5,31	0,00	2,78	0,09	3,98	3,37	2,905	2	n
ΣΣ:+x	7	0,00	-43,20	44,64	2,41	0,00	2,78	0,04	3,02	2,90	2,204	2	n
ΣΣ:+x	7	0,00	-43,20	29,35	2,22	0,00	2,78	0,04	3,02	2,90	2,204	2	n
ΣΣ:+z	0	2,28	64,69	46,62	3,32	0,00	0,00	0,02	3,32	2,26	2,423	2	n
ΣΣ:+z	0	2,28	64,69	27,37	3,08	0,00	0,00	0,02	3,08	2,26	2,248	2	n
ΣΣ:+z	0	3,42	45,04	46,62	2,48	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:+z	0	3,42	45,04	27,37	2,24	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:+z	2	0,00	37,90	46,62	2,18	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:+z	2	0,00	37,90	27,37	1,94	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:+z	2	0,00	-77,90	46,62	3,98	0,00	0,81	0,06	3,17	2,26	2,314	2	n
ΣΣ:+z	2	0,00	-77,90	27,37	3,75	0,00	0,81	0,06	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:+z	7	0,00	-110,09	46,62	5,48	0,00	2,78	0,08	4,11	3,44	3,000	2	n
ΣΣ:+z	7	0,00	-110,09	27,37	5,27	0,00	2,78	0,09	3,95	3,36	2,883	2	n
ΣΣ:+z	7	0,00	-43,48	46,62	2,44	0,00	2,78	0,04	3,02	2,90	2,204	2	n
ΣΣ:+z	7	0,00	-43,48	27,37	2,21	0,00	2,78	0,04	3,02	2,90	2,204	2	n
ΣΣ:-x	0	2,28	64,11	50,27	3,34	0,00	0,00	0,02	3,34	2,26	2,438	2	n
ΣΣ:-x	0	2,28	64,11	23,72	3,01	0,00	0,00	0,02	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:-x	0	3,42	45,64	50,27	2,55	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:-x	0	3,42	45,64	23,72	2,22	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:-x	2	0,00	37,02	50,27	2,19	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:-x	2	0,00	37,02	23,72	1,85	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:-x	2	0,00	-76,94	50,27	3,98	0,00	0,81	0,06	3,17	2,26	2,314	2	n
ΣΣ:-x	2	0,00	-76,94	23,72	3,67	0,00	0,81	0,06	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:-x	7	0,00	-110,28	50,27	5,53	0,00	2,78	0,08	4,15	3,46	3,029	2	n
ΣΣ:-x	7	0,00	-110,28	23,72	5,24	0,00	2,78	0,09	3,93	3,35	2,869	2	n
ΣΣ:-x	7	0,00	-43,28	50,27	2,48	0,00	2,78	0,04	3,02	2,90	2,204	2	n
ΣΣ:-x	7	0,00	-43,28	23,72	2,16	0,00	2,78	0,04	3,02	2,90	2,204	2	n
ΣΣ:-z	0	2,28	62,96	46,53	3,24	0,00	0,00	0,02	3,24	2,26	2,365	2	n
ΣΣ:-z	0	2,28	62,96	27,46	3,00	0,00	0,00	0,02	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:-z	0	2,85	45,61	46,53	2,50	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:-z	0	2,85	45,61	27,46	2,27	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:-z	2	0,00	34,82	46,53	2,05	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:-z	2	0,00	34,82	27,46	1,81	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:-z	2	0,00	-74,37	46,53	3,82	0,00	0,81	0,06	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:-z	2	0,00	-74,37	27,46	3,59	0,00	0,81	0,06	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:-z	7	0,00	-109,12	46,53	5,44	0,00	2,78	0,08	4,08	3,42	2,978	2	n
ΣΣ:-z	7	0,00	-109,12	27,46	5,22	0,00	2,78	0,09	3,92	3,34	2,861	2	n
ΣΣ:-z	7	0,00	-44,45	46,53	2,48	0,00	2,78	0,04	3,02	2,90	2,204	2	n
ΣΣ:-z	7	0,00	-44,45	27,46	2,25	0,00	2,78	0,04	3,02	2,90	2,204	2	n

#### Μέγιστα οπλισμών ροπών κάμψης

Φορτ [kN]	Κόμβ [kN]	Θέση [m]	MEd [kNm]	NEd [kN]	As1_ca [cm <sup>2</sup> ]	As2_ca [cm <sup>2</sup> ]	As_sl [cm <sup>2</sup> ]	x [m]	As1_rq [cm <sup>2</sup> ]	As2_rq [cm <sup>2</sup> ]	ρ1_rq [o/oo]	E [kN/cm <sup>2</sup> ]	
ΣΣ:+z	2	0,00	-77,90	46,62	3,98	0,00	0,81	0,06	3,17	2,26	2,314	2	n
ΣΣ:+z	2	0,00	37,90	46,62	2,18	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	n
ΣΣ:+x	0	2,85	44,98	44,64	2,45	0,00	0,00	0,01	3,02	2,26	2,204	2	n
1.35G+1.05QE	0	2,28	76,40	53,76	3,90	0,00	0,00	0,02	3,90	2,26	2,847	2	n
1.35G+1.05Q	7	0,00	-114,11	54,28	5,76	0,00	2,78	0,09	4,32	3,55	3,153	2	n

#### Ο. Κ. Λειτουργικότητας: Περιορισμός Τάσεων [EC2-1-1 §7.2]

Φορτ [kN]	Κόμβ [kN]	MEd [kNm]	NEd [kN]	As1_pr [cm <sup>2</sup> ]	As2_pr [cm <sup>2</sup> ]	σc [MPa]	<	k1*fck [MPa]	σs [MPa]	<	k3*fyk [MPa]	Προσθ.1 [kN]	Προσθ.2 [kN]
1.00G+1.00Q	0	59,12	41,70	4,62	2,26	1,7	<	12,0	265,0	<	400,0		
1.00G+1.00Q	2	-38,60	41,70	3,39	3,08	4,3	<	12,0	246,7	<	400,0		
1.00G+1.00Q	7	-88,12	41,70	4,52	5,34	8,6	<	12,0	339,4	<	400,0		

#### Ο. Κ. Λειτουργικότητας: Μέγιστα ελέγχου ρηγμάτωσης - wk < 0,30/0,30 [EC2-1-1 §7.3]

Φορτ [kN]	Κόμβ [kN]	MEd [kNm]	NEd [kN]	As1_pr [cm <sup>2</sup> ]	As2_pr [cm <sup>2</sup> ]	Φεα [mm]	As1min [cm <sup>2</sup> ]	sm [mm]	σs [MPa]	σs_max [MPa]	wk [mm]	Προσθ.1 [kN]	Προσθ.2 [kN]
1.00[G+ψ2xQ]	0	50,82	36,99	4,62	2,26	14,0	2,74	75	228,5	340,0	0,23		
1.00[G+ψ2xQ]	2	-32,89	36,99	3,39	3,08	12,0	1,11	76	212,5	339,2	0,20		
1.00[G+ψ2xQ]	7	-76,78	36,99	4,52	5,34	12,0	0,97	51	296,4	359,5			

#### Ο. Κ. Λειτουργικότητας: Συνθήκη απαλλαγής αναλυτικού υπολογισμού βέλους [EC2-1-1 §7.4]

l [m]	d [m]	K [kN]	Θέση [kN]	ρ0 [o/oo]	ρ1_ca [o/oo]	ρ2_ca [o/oo]	l/d	<	(l/d)lim [kN]
6,16	0,55	1,30	0	4,472	0,372	0,000	11,2	<	200,0

#### Οπλισμοί διάτρησης και στρέψης

Φορτ [kN]	Κόμβ [kN]	Θέση [m]	VEdmax [kN]	ζ [kN]	TEd [kNm]	Θέση [kN]	VEd [kN]	V'Rdc [kN]	VRdc [kN]	cotθ [kN]	Συνδετήρες τμ.[mm/cm/cm]	As45 [cm <sup>2</sup> ]	Asl [cm <sup>2</sup> ]
1.35G+1.05Q	2	0,00	99,49	1,00	-0,03	0,55	78,21	81,27	42,27	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05Q	7	0,00	122,09	1,00	-0,03	0,55	100,80	81,27	46,80	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05QA	2	0,00	83,28	1,00	-0,01	0,55	65,42	81,23	42,38	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05QA	7	0,00	102,67	1,00	-0,01	0,55	84,81	81,23	46,90	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05QB	2	0,00	99,38	1,00	-0,06	0,55	78,09	81,18	42,52	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05QB	7	0,00	122,21	1,00	-0,06	0,55	100,92	81,18	47,04	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05QC	2	0,00	99,81	1,00	-0,03	0,55	78,52	81,26	42,29	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05QC	7	0,00	121,78	1,00	-0,03	0,55	100,49	81,26	46,81	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05QD	2	0,00	82,31	1,00	-0,05	0,55	64,45	81,19	42,49	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05QD	7	0,00	103,64	1,00	-0,05	0,55	85,78	81,19	47,01	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05QE	2	0,00	99,56	1,00	-0,06	0,55	78,27	81,26	42,30	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.35G+1.05QE	7	0,00	122,03	1,00	-0,06	0,55	100,74	81,26	46,82	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		

1.15G+1.50Q	2	0,00	94,02	1,00	-0,02	0,55	73,95	81,20	42,47	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50Q	7	0,00	114,94	1,00	-0,02	0,55	94,87	81,20	47,00	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50QA	2	0,00	70,86	1,00	0,00	0,55	55,68	81,14	42,62	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50QA	7	0,00	87,20	1,00	0,00	0,55	72,02	81,14	47,15	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50QB	2	0,00	93,85	1,00	-0,06	0,55	73,78	81,07	42,82	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50QB	7	0,00	115,11	1,00	-0,06	0,55	95,04	81,07	47,35	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50QC	2	0,00	94,46	1,00	-0,02	0,55	74,39	81,19	42,49	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50QC	7	0,00	114,49	1,00	-0,02	0,55	94,42	81,19	47,02	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50QD	2	0,00	69,48	1,00	-0,05	0,55	54,29	81,09	42,78	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50QD	7	0,00	88,59	1,00	-0,05	0,55	73,40	81,09	47,30	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50QE	2	0,00	94,11	1,00	-0,06	0,55	74,03	81,18	42,51	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
1.15G+1.50QE	7	0,00	114,85	1,00	-0,06	0,55	94,78	81,18	47,03	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:+x	2	0,00	99,86	0,31	0,10	0,55	85,65	81,10	42,75	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:+x	7	0,00	117,36	0,41	0,10	0,55	103,15	81,10	47,27	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:+x	2	0,00	100,84	0,29	0,10	0,55	86,63	80,83	43,50	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:+x	7	0,00	118,35	0,40	0,10	0,55	104,15	80,83	48,03	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:+z	2	0,00	99,67	0,31	0,08	0,55	85,46	81,13	42,65	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:+z	7	0,00	117,32	0,41	0,08	0,55	103,11	81,13	47,18	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:+z	2	0,00	100,91	0,29	0,08	0,55	86,70	80,80	43,60	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:+z	7	0,00	118,51	0,40	0,08	0,55	104,30	80,80	48,13	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:-x	2	0,00	99,45	0,31	0,10	0,55	85,24	81,20	42,47	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:-x	7	0,00	117,01	0,41	0,10	0,55	102,80	81,20	47,00	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:-x	2	0,00	101,16	0,29	0,10	0,55	86,95	80,74	43,78	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:-x	7	0,00	118,71	0,39	0,10	0,55	104,50	80,74	48,31	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:-z	2	0,00	99,70	0,31	0,11	0,55	85,49	81,13	42,66	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:-z	7	0,00	117,32	0,41	0,11	0,55	103,11	81,13	47,18	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:-z	2	0,00	100,91	0,29	0,11	0,55	86,70	80,80	43,60	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:-z	7	0,00	118,51	0,40	0,11	0,55	104,30	80,80	48,12	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		

\* Αντίσταση σε ροπή στρέψης σχεδιασμού  $T_{Rdmax} = 55,43kNm$  - Ροπή στρέψης κατά την ρηγμάτωση  $T_{Rdc} = 15,53kNm$  -  $V_{Rdmax} = 453,74kN$

#### Μέγιστα οπλισμών διάτμησης και στρέψης

Φορτ [kN]	Κόμβ [kN]	Θέση [m]	$V_{Edmax}$ [kN]	$\zeta$ [kNm]	$T_{Ed}$ [kNm]	Θέση [m]	$V_{Ed}$ [kN]	$V_{Rdc}$ [kN]	$V_{Rdc}$ [kN]	cotθ [kN]	Συνδετήρες τμ. [mm/cm/cm]	As45 [cm²]	Asl [cm²]
ΣΣ:-x	2	0,00	101,16	0,29	0,10	0,55	86,95	80,74	43,78	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		
ΣΣ:-x	7	0,00	118,71	0,39	0,10	0,55	104,50	80,74	48,31	1,20	2τμ.ΣΦ8/9,5/20		

\* Αντίσταση σε ροπή στρέψης σχεδιασμού  $T_{Rdmax} = 55,43kNm$  - Ροπή στρέψης κατά την ρηγμάτωση  $T_{Rdc} = 15,53kNm$  -  $V_{Rdmax} = 453,74kN$

#### Μέγιστα απαιτούμενου διαμήκη οπλισμού και συνδετήρων

Θέση [kN]	Κόμβ [kN]	Κάτω [cm²]	Φορτ [kN]	Ανω [cm²]	Φορτ [kN]	Συνδετήρες [τμ Φ/s]	Φορτ [kN]	Διαγ. [cm²]	Φορτ [kN]	Διαγ. [cm²]	Φορτ [kN]	Κορμός [cm²]	Φορτ [kN]
Ανογμα		3,90	1.35G+1.05QE	2,26	ΣΣ:+x	2τμ.ΣΦ8/20	ΣΣ:-x						
Κόμβος	2	3,02	ΣΣ:+z	3,17	ΣΣ:+z	2τμ.ΣΦ8/9,5	ΣΣ:-x						
Κόμβος	7	3,55	1.35G+1.05Q	4,32	1.35G+1.05Q	2τμ.ΣΦ8/9,5	ΣΣ:-x						

### 5.5.3 Διαστασιολόγηση Τοιχώματος K12 (όροφος: 0, νο: 12)

#### K12, Όροφος 0

##### Γενικά δεδομένα

Κόμβοι	Αρχή: 12(-1)	Τέλος: 12(0)	Μέλος: 34
Διορθωτική	Ορθογωνική: 25/200 /d'=5,5		Υψος = 3,00 [m]
Υλικά	Σκυρόδεμα C20/25	Χάλυβας: B500C	Συνδετήρες: B500C
Κανονισμός	Πλαστιμότητα : κΠΜ	Πλάστιμο Τοίχωμα: Ναι	Κύριο Μέλος
ΣΠΕΜ	[X] = 1,00	[Z] = 1,00	ε = 1,50

##### Ενταπικά μεγέθη

A/A Φορτ [kN]	Αρχή My [kNm]	12(-1) Mz [kNm]	Vy [kN]	Vz [kN]	Τέλος My [kNm]	12(0) Mz [kNm]	Vy [kN]	Vz [kN]	Αξονική N [kN]	Στρέψη T [kNm]
G	-228,41	6,07	-2,39	63,02	-39,36	-1,09	-2,39	63,02	-740,64	-0,01
Q	-47,32	0,38	-0,07	13,48	-6,87	0,16	-0,07	13,48	-130,58	0,00
QA	-19,02	0,28	-0,18	6,86	1,57	-0,25	-0,18	6,86	-57,70	0,00
QB	-28,30	0,11	0,10	6,62	-8,44	0,41	0,10	6,62	-72,88	-0,01
QC	-44,97	0,42	-0,09	14,01	-2,94	0,13	-0,09	14,01	-113,80	0,00
QD	-25,33	0,52	-0,24	7,70	-2,24	-0,20	-0,24	7,70	-73,62	0,00
QE	-30,59	0,12	0,06	7,52	-8,03	0,29	0,06	7,52	-99,18	-0,01
[G+ψ2xQ]	-242,61	6,19	-2,41	67,06	-41,42	-1,04	-2,41	67,06	-779,82	-0,01
1.35G+1.05Q	-358,04	8,60	-3,30	99,23	-60,35	-1,30	-3,30	99,23	-1136,97	-0,01
1.35G+1.05QA	-328,33	8,49	-3,41	92,28	-51,50	-1,73	-3,41	92,28	-1060,45	-0,01
1.35G+1.05QB	-338,06	8,31	-3,12	92,02	-62,00	-1,04	-3,12	92,02	-1076,39	-0,01
1.35G+1.05QC	-355,58	8,63	-3,32	99,78	-56,23	-1,33	-3,32	99,78	-1119,36	-0,01
1.35G+1.05QD	-334,95	8,74	-3,48	93,15	-55,49	-1,69	-3,48	93,15	-1077,17	-0,01
1.35G+1.05QE	-340,48	8,33	-3,16	92,97	-61,57	-1,17	-3,16	92,97	-1104,01	-0,01
1.15G+1.50Q	-333,08	7,54	-2,85	92,54	-55,47	-1,01	-2,85	92,54	-1045,75	-0,01
1.15G+1.50QA	-290,63	7,39	-3,00	82,61	-42,82	-1,63	-3,00	82,61	-936,43	0,00
1.15G+1.50QB	-304,54	7,13	-2,59	82,24	-57,82	-0,63	-2,59	82,24	-959,21	-0,01
1.15G+1.50QC	-329,56	7,59	-2,88	93,33	-49,58	-1,05	-2,88	93,33	-1020,59	-0,01
1.15G+1.50QD	-300,10	7,75	-3,10	83,86	-48,53	-1,56	-3,10	83,86	-960,32	-0,01
1.15G+1.50QE	-307,99	7,15	-2,66	83,59	-57,21	-0,82	-2,66	83,59	-998,66	-0,01
ΣΣ:+x	226,28	21,42	4,49	392,49	35,78	4,43	4,49	392,49	-702,87	-0,11
ΣΣ:+x	-711,49	-9,05	-9,31	-392,49	-118,62	-6,51	-9,31	-392,49	-856,76	-0,11
ΣΣ:+z	253,54	20,63	4,13	392,49	38,32	4,13	4,13	392,49	-702,16	-0,20
ΣΣ:+z	-738,76	-8,26	-8,94	-392,49	-121,17	-6,21	-8,94	-392,49	-857,47	-0,20
ΣΣ:-x	265,32	21,41	4,48	392,49	39,88	4,42	4,48	392,49	-702,71	-0,33
ΣΣ:-x	-750,53	-9,04	-9,30	-392,49	-122,72	-6,51	-9,30	-392,49	-856,92	-0,33
ΣΣ:-z	253,63	21,38	4,47	392,49	38,73	4,42	4,47	392,49	-702,67	-0,30
ΣΣ:-z	-738,84	-9,01	-9,29	-392,49	-121,58	-6,51	-9,29	-392,49	-856,96	-0,30
1.00G+1.00Q	-275,73	6,46	-2,46	76,50	-46,23	-0,93	-2,46	76,50	-871,22	-0,01
1.00[G+ψ2xQ]	-242,61	6,19	-2,41	67,06	-41,42	-1,04	-2,41	67,06	-779,82	-0,01

##### Συντελεστές ελέγχου Ανακατανομής κόμβων

Κόμβος	Τοπ. Διευθ.	αANK_1	αANK_2
12(-1)	Y	1,00	1,00
12(-1)	Z	1,00	1,00
12(0)	Y	1,00	1,00
12(0)	Z	1,00	1,00

**Φορτίσεις - Επάρκεια διατομής σε κάμψη (με Έλεγχο Κόμβων)**

Φόρτ [/]	Κόμβος [/]	vd [/]	NEd [kN]	MEdy [kNm]	MEdz [kNm]	$\lambda = Ed/Rd$ [/]
1.35G+1.05Q	12(-) +	-0,174	-1162,29	-358,04	8,60	0,26
1.35G+1.05QA	12(-) +	-0,163	-1085,76	-328,33	8,49	0,24
1.35G+1.05QB	12(-) +	-0,165	-1101,70	-338,06	8,31	0,24
1.35G+1.05QC	12(-) +	-0,172	-1144,67	-355,58	8,63	0,25
1.35G+1.05QD	12(-) +	-0,165	-1102,48	-334,95	8,74	0,24
1.35G+1.05QE	12(-) +	-0,169	-1129,32	-340,48	8,33	0,25
1.15G+1.50Q	12(-) +	-0,160	-1067,27	-333,08	7,54	0,24
1.15G+1.50QA	12(-) +	-0,144	-957,95	-290,63	7,39	0,21
1.15G+1.50QB	12(-) +	-0,147	-980,72	-304,54	7,13	0,22
1.15G+1.50QC	12(-) +	-0,156	-1042,10	-329,56	7,59	0,23
1.15G+1.50QD	12(-) +	-0,147	-981,83	-300,10	7,75	0,22
1.15G+1.50QE	12(-) +	-0,153	-1020,17	-307,99	7,15	0,22
ΣΣ:+x	12(-) +	-0,108	-721,62	173,20	-1,79	0,14
ΣΣ:+x	12(-) +	-0,131	-875,51	-658,41	14,16	0,35
ΣΣ:+x	12(-) +	-0,110	-730,34	750,53	5,07	0,39
ΣΣ:+x	12(-) +	-0,130	-866,80	-750,53	7,31	0,38
ΣΣ:+x	12(-) +	-0,126	-838,83	-277,10	21,42	0,21
ΣΣ:+x	12(-) +	-0,114	-758,30	-208,12	-9,05	0,16
ΣΣ:+z	12(-) +	-0,108	-720,91	208,20	-0,81	0,15
ΣΣ:+z	12(-) +	-0,131	-876,22	-693,41	13,18	0,36
ΣΣ:+z	12(-) +	-0,109	-728,01	750,53	5,06	0,39
ΣΣ:+z	12(-) +	-0,130	-869,12	-750,53	7,31	0,38
ΣΣ:+z	12(-) +	-0,125	-836,18	-281,26	20,63	0,21
ΣΣ:+z	12(-) +	-0,114	-760,95	-203,95	-8,26	0,16
ΣΣ:-x	12(-) +	-0,108	-721,46	208,02	-0,84	0,15
ΣΣ:-x	12(-) +	-0,131	-875,67	-693,23	13,21	0,36
ΣΣ:-x	12(-) +	-0,110	-730,16	750,53	6,14	0,39
ΣΣ:-x	12(-) +	-0,130	-866,97	-750,53	6,24	0,38
ΣΣ:-x	12(-) +	-0,125	-834,15	-244,30	21,41	0,20
ΣΣ:-x	12(-) +	-0,114	-762,98	-240,91	-9,04	0,17
ΣΣ:-z	12(-) +	-0,108	-721,42	193,79	-0,99	0,15
ΣΣ:-z	12(-) +	-0,131	-875,71	-679,01	13,36	0,35
ΣΣ:-z	12(-) +	-0,110	-730,72	750,53	6,20	0,39
ΣΣ:-z	12(-) +	-0,130	-866,41	-750,53	6,17	0,38
ΣΣ:-z	12(-) +	-0,125	-834,99	-242,11	21,38	0,20
ΣΣ:-z	12(-) +	-0,114	-762,14	-243,10	-9,01	0,17
1.35G+1.05Q	12(0) -	-0,167	-1111,66	-60,35	-1,30	0,18
1.35G+1.05QA	12(0) -	-0,155	-1035,14	-51,50	-1,73	0,16
1.35G+1.05QB	12(0) -	-0,158	-1051,08	-62,00	-1,04	0,17
1.35G+1.05QC	12(0) -	-0,164	-1094,05	-56,23	-1,33	0,17
1.35G+1.05QD	12(0) -	-0,158	-1051,86	-55,49	-1,69	0,17
1.35G+1.05QE	12(0) -	-0,162	-1078,69	-61,57	-1,17	0,17
1.15G+1.50Q	12(0) -	-0,154	-1024,24	-55,47	-1,01	0,16
1.15G+1.50QA	12(0) -	-0,137	-914,92	-42,82	-1,63	0,15
1.15G+1.50QB	12(0) -	-0,141	-937,69	-57,82	-0,63	0,15
1.15G+1.50QC	12(0) -	-0,150	-999,07	-49,58	-1,05	0,16
1.15G+1.50QD	12(0) -	-0,141	-938,80	-48,53	-1,56	0,15
1.15G+1.50QE	12(0) -	-0,147	-977,14	-57,21	-0,82	0,16
ΣΣ:+x	12(0) -	-0,103	-684,12	-103,49	1,85	0,12
ΣΣ:+x	12(0) -	-0,126	-838,01	20,64	-3,93	0,13
ΣΣ:+x	12(0) -	-0,105	-699,21	-695,27	-0,60	0,35
ΣΣ:+x	12(0) -	-0,123	-822,93	695,27	-1,49	0,34
ΣΣ:+x	12(0) -	-0,120	-801,77	-35,12	-6,51	0,13
ΣΣ:+x	12(0) -	-0,108	-720,36	-47,73	4,43	0,12
ΣΣ:+z	12(0) -	-0,103	-683,41	-107,35	1,48	0,12
ΣΣ:+z	12(0) -	-0,126	-838,72	24,50	-3,57	0,13
ΣΣ:+z	12(0) -	-0,105	-696,87	-695,27	-0,67	0,35
ΣΣ:+z	12(0) -	-0,124	-825,27	695,27	-1,41	0,34
ΣΣ:+z	12(0) -	-0,120	-799,01	-35,76	-6,21	0,13
ΣΣ:+z	12(0) -	-0,108	-723,12	-47,09	4,13	0,12
ΣΣ:-x	12(0) -	-0,103	-683,96	-107,03	1,49	0,12
ΣΣ:-x	12(0) -	-0,126	-838,17	24,18	-3,57	0,13
ΣΣ:-x	12(0) -	-0,105	-698,84	-695,27	-0,98	0,35
ΣΣ:-x	12(0) -	-0,123	-823,29	695,27	-1,10	0,34
ΣΣ:-x	12(0) -	-0,120	-796,72	-40,48	-6,51	0,13
ΣΣ:-x	12(0) -	-0,109	-725,41	-42,36	4,42	0,12
ΣΣ:-z	12(0) -	-0,103	-683,92	-106,09	1,56	0,12
ΣΣ:-z	12(0) -	-0,126	-838,21	23,24	-3,64	0,13
ΣΣ:-z	12(0) -	-0,105	-698,83	-695,27	-0,92	0,35
ΣΣ:-z	12(0) -	-0,123	-823,30	695,27	-1,16	0,34
ΣΣ:-z	12(0) -	-0,120	-797,75	-39,66	-6,51	0,13
ΣΣ:-z	12(0) -	-0,109	-724,38	-43,18	4,42	0,12
1.35G+1.05Q	12(0) +	-0,119	-795,80	78,76	-5,34	0,14
1.35G+1.05QA	12(0) +	-0,113	-750,15	70,71	-4,80	0,13
1.35G+1.05QB	12(0) +	-0,112	-749,24	77,41	-5,10	0,13
1.35G+1.05QC	12(0) +	-0,118	-784,14	74,84	-5,27	0,13
1.35G+1.05QD	12(0) +	-0,113	-755,18	74,73	-4,72	0,13



1.35G+1.05QE	12(0) +	-0,116	-773,52	79,56	-5,33	0,13
1.15G+1.50Q	12(0) +	-0,109	-729,77	72,38	-4,99	0,13
1.15G+1.50QA	12(0) +	-0,100	-664,57	60,88	-4,22	0,11
1.15G+1.50QB	12(0) +	-0,099	-663,27	70,46	-4,65	0,11
1.15G+1.50QC	12(0) +	-0,107	-713,11	66,78	-4,89	0,12
1.15G+1.50QD	12(0) +	-0,101	-671,75	66,63	-4,11	0,11
1.15G+1.50QE	12(0) +	-0,105	-697,95	73,53	-4,98	0,12
ΣΣ:+x	12(0) +	-0,075	-501,00	155,38	-4,18	0,11
ΣΣ:+x	12(0) +	-0,089	-594,05	-47,25	-3,02	0,10
ΣΣ:+x	12(0) +	-0,077	-511,43	695,27	-3,47	0,40
ΣΣ:+x	12(0) +	-0,088	-583,62	-695,27	-3,73	0,38
ΣΣ:+x	12(0) +	-0,086	-570,13	68,73	-2,40	0,10
ΣΣ:+x	12(0) +	-0,079	-524,92	39,40	-4,80	0,09
ΣΣ:+z	12(0) +	-0,075	-501,00	169,49	-4,04	0,11
ΣΣ:+z	12(0) +	-0,089	-594,06	-61,36	-3,16	0,10
ΣΣ:+z	12(0) +	-0,076	-509,25	695,27	-3,45	0,40 *
ΣΣ:+z	12(0) +	-0,088	-585,81	-695,27	-3,75	0,38
ΣΣ:+z	12(0) +	-0,085	-566,18	73,26	-2,50	0,10
ΣΣ:+z	12(0) +	-0,079	-528,88	34,87	-4,70	0,09
ΣΣ:-x	12(0) +	-0,075	-501,27	168,56	-4,05	0,11
ΣΣ:-x	12(0) +	-0,089	-593,79	-60,43	-3,15	0,10
ΣΣ:-x	12(0) +	-0,077	-511,43	695,27	-3,31	0,40
ΣΣ:-x	12(0) +	-0,088	-583,63	-695,27	-3,89	0,38
ΣΣ:-x	12(0) +	-0,085	-564,50	88,01	-2,37	0,10
ΣΣ:-x	12(0) +	-0,080	-530,55	20,12	-4,83	0,09
ΣΣ:-z	12(0) +	-0,075	-501,17	161,51	-4,11	0,11
ΣΣ:-z	12(0) +	-0,089	-593,88	-53,37	-3,09	0,10
ΣΣ:-z	12(0) +	-0,077	-512,32	695,27	-3,33	0,40
ΣΣ:-z	12(0) +	-0,087	-582,74	-695,27	-3,87	0,38
ΣΣ:-z	12(0) +	-0,085	-566,62	85,09	-2,36	0,10
ΣΣ:-z	12(0) +	-0,079	-528,44	23,04	-4,85	0,09

#### Διαστασιολόγηση σε κάμψη

Φόρτ [J]	Κόμβος [J]	vd	NEd [kN]	MEdy [kNm]	MEdz [kNm]	λ = Ed/Rd
ΣΣ:+z	12(0) +	-0,076	-509,25	695,27	-3,45	0,40

#### Ράβδοι Διατομής

Ομάδα Οπλισμού	Αριθμός Ράβδων	Οπλισμός [mm <sup>2</sup> ]	Ποσοστό οπλισμού [%]
1	4Φ16	804	
2	8Φ14	1232	
4	10Φ8	503	
Σύνολα	22 Ράβδοι	2538	0,508%

#### Διάτμηση, στρέψη, περισφιγξη και διάτμηση κόμβου

Φορτ [J]	Διε [J]	vd [J]	VEd [kN]	TEd [kNm]	V'Rdc [kN]	VRdc [kN]	cotθ	ρh [%]	Οριζ.εσχάρα mm/cm	ρν [%]	Κατακ.εσχάρα mm/cm	lc [m]	ωwd [J]	n
1.35G+1.05Q	Z	-0,171	99,23	0,01	207,25	298,30	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,41	0,36	n
1.35G+1.05QA	Z	-0,159	92,28	0,01	210,84	287,14	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,41	0,36	n
1.35G+1.05QB	Z	-0,161	92,02	0,01	210,10	289,46	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,41	0,36	n
1.35G+1.05QC	Z	-0,168	99,78	0,01	208,08	295,73	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,41	0,36	n
1.35G+1.05QD	Z	-0,162	93,15	0,01	210,06	289,58	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,41	0,36	n
1.35G+1.05QE	Z	-0,166	92,97	0,01	208,80	293,49	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,41	0,36	n
1.15G+1.50Q	Z	-0,157	92,54	0,01	211,53	284,99	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,41	0,36	n
1.15G+1.50QA	Z	-0,140	82,61	0,00	216,66	269,05	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,41	0,36	n
1.15G+1.50QB	Z	-0,144	82,24	0,01	215,59	272,37	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,41	0,36	n
1.15G+1.50QC	Z	-0,153	93,33	0,01	212,71	281,32	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,41	0,36	n
1.15G+1.50QD	Z	-0,144	83,86	0,01	215,54	272,53	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,41	0,36	n
1.15G+1.50QE	Z	-0,150	83,59	0,01	213,74	278,12	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,41	0,36	n
ΣΣ:+x	Z	-0,129	392,49	0,11	220,40	257,42	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,41	0,36	n
ΣΣ:+z	Z	-0,129	392,49	0,20	220,36	257,53	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,41	0,36	n
ΣΣ:-x	Z	-0,129	392,49	0,33	220,39	257,45	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,41	0,36	n
ΣΣ:-z	Z	-0,129	392,49	0,30	220,39	257,45	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,41	0,36	n

\* ==> Αντίσταση σε τέμνουσα: Διε. Z: VRdmax = 1472,00kN

#### Μέγιστα εγκάρσιου οπλισμού

Φορτ [J]	Διε [J]	vd [J]	VEd [kN]	TEd [kNm]	V'Rdc [kN]	VRdc [kN]	cotθ	ρh [%]	Οριζ.εσχάρα mm/cm	ρν [%]	Κατακ.εσχάρα mm/cm	lc [m]	ωwd [J]	n
ΣΣ:+x	Z	-0,129	392,49	0,11	220,40	257,42	1,20	0,20	Φ8 / 20	0,20	Φ8 / 20	0,41	0,36	n

\* ==> Αντίσταση σε τέμνουσα: Διε. Z: VRdmax = 1472,00kN

#### Ράβδοι οπλισμού υποστυλώματος: Κ 12(0)

Διαμήκης οπλισμός [J]	Συνδετήρες Εσχάρες [J]	Σιμοειδής Οπλισμός [J]	Ομοιασ. οπλισμού [J]	λ = Ed/Rd	Ποσοστό οπλισμού [%]	Θέση Ελέγχου [-]
4Φ16 + 8Φ14	Ορ. #Φ8/20 - Κατ. #Φ8/20 - lc= 41 - 3τμ.ΣΦ8/8,5	15Φ8		0,40	0,508%	Βάση άνω ορόφου

#### Προμέτρηση υποστυλώματος Κ 12

##### Ποσότητες σιδηρού οπλισμού

Φ8	Φ14	Φ16	Μέτρα
226,86	31,85	16,49	
89,52	38,48	26,02	Kg B500C

##### Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού

Επιφάνεια ξυλοτύπου Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	13,50	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	154,00
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	0,00	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	1,50
		13,50	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	102,70

## 5.5.4 Συνολική Προμέτρηση Κτιρίου

### Συνολική προμέτρηση κτιρίου

#### Προμέτρηση ορόφου -1

##### Προμέτρηση δοκών ορόφου -1

##### Ποσότητες σιδηρού οπλισμού

Φ8	Φ10	Φ12	Φ14	Φ16	Φ18	
188,01	877,51	3200,01	200,01	81,01	1245,01	Μέτρα
74,01	541,51	2841,01	241,51	127,51	2485,01	Kg B500C

##### Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	136,85	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	6310,55
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	17,75	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	49,75
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	119,10	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	126,85

##### Προμέτρηση: Σύνολο ορόφου :-1

##### Ποσότητες σιδηρού οπλισμού

Διάμετρος [mm]	Μήκος [m]	Kg B500C Βάρος [Kgr]	
Φ8	188,00	74,00	
Φ10	877,50	541,50	
Φ12	3200,00	2841,00	
Φ14	200,00	241,50	
Φ16	81,00	127,50	
Φ18	1245,00	2485,00	

##### Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	136,85	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	6310,50
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	17,75	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	49,75
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	119,10	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	126,85

#### Προμέτρηση ορόφου 0

##### Προμέτρηση πλακών ορόφου 0

##### Ποσότητες σιδηρού οπλισμού

Φ8	Φ12	Φ14	
2155,77	6,94	6,94	Μέτρα
850,64	6,16	8,38	Kg B500C

##### Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	183,35	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	865,20
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	0,00	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	29,35
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	183,35	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	29,50

##### Προμέτρηση δοκών ορόφου 0

##### Ποσότητες σιδηρού οπλισμού

Φ8	Φ10	Φ12	Φ14	Φ16	Φ18	
1123,01	13,01	570,51	440,01	70,51	9,51	Μέτρα
443,01	8,01	506,51	532,51	111,01	19,01	Kg B500C

##### Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	87,95	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	1620,05
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	11,70	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	11,00
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	76,25	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	147,30

##### Προμέτρηση στύλων ορόφου 0

##### Ποσότητες σιδηρού οπλισμού

Φ8	Φ14	Φ16	Φ18	
4329,11	549,25	255,45	238,57	Μέτρα
1708,20	663,72	403,18	476,55	Kg B500C

##### Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	261,90	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	3251,65
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	0,00	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	29,45
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	261,90	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	110,40

Προμέτρηση: Σύνολο ορόφου :0

**Ποσότητες σιδηρού οπλισμού**

Διάμετρος [mm]	Μήκος [m]	Kg B500C Βάρος [Kgr]
Φ8	7607,85	3001,80
Φ10	13,00	8,00
Φ12	577,45	512,65
Φ14	996,15	1204,60
Φ16	325,95	514,15
Φ18	248,05	495,55

**Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού**

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	533,20	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	5736,75
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	11,70	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	69,80
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	521,50	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	82,20

**Προμέτρηση ορόφου 1**

Προμέτρηση πλακών ορόφου 1

**Ποσότητες σιδηρού οπλισμού**

Φ8	Φ12	Φ14	Μέτρα Kg B500C
2155,77	6,94	6,94	
850,64	6,16	8,38	

**Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού**

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	183,35	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	865,20
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	0,00	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	29,35
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	183,35	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	29,50

Προμέτρηση δοκών ορόφου 1

**Ποσότητες σιδηρού οπλισμού**

Φ8	Φ10	Φ12	Φ14	Φ16	Μέτρα Kg B500C
1127,51	52,01	736,51	213,51	56,01	
445,51	32,01	653,51	258,01	88,01	

**Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού**

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	88,50	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	1477,05
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	11,95	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	11,05
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	76,55	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	133,65

Προμέτρηση στύλων ορόφου 1

**Ποσότητες σιδηρού οπλισμού**

Φ8	Φ14	Φ16	Φ18	Μέτρα Kg B500C
3397,03	549,25	255,45	238,57	
1340,42	663,72	403,18	476,55	

**Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού**

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	261,90	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	2883,85
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	0,00	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	29,45
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	261,90	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	97,90

Προμέτρηση: Σύνολο ορόφου :1

**Ποσότητες σιδηρού οπλισμού**

Διάμετρος [mm]	Μήκος [m]	Kg B500C Βάρος [Kgr]
Φ8	6680,30	2636,55
Φ10	52,00	32,00
Φ12	743,45	659,65
Φ14	769,65	930,10
Φ16	311,45	491,15
Φ18	238,55	476,55

**Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού**

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	533,75	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	5226,00
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	11,95	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	69,85
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	521,80	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	74,85

**Προμέτρηση ορόφου 2**

Προμέτρηση πλακών ορόφου 2

**Ποσότητες σιδηρού οπλισμού**

Φ8	Φ12	Φ14	Μέτρα Kg B500C
2289,25	6,94	6,94	
903,31	6,16	8,38	

**Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού**

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	183,35	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	917,85
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	0,00	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	29,35
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	183,35	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	31,30

**Προμέτρηση δοκών ορόφου 2****Ποσότητες σιδηρού οπλισμού**

Φ8	Φ10	Φ12	Φ14	Φ16	Μέτρα
1102,51	68,01	643,51	179,01	33,01	
435,01	42,01	572,01	216,51	51,51	Kg B500C

**Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού**

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	88,50	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	1317,05
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	11,95	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	11,05
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	76,55	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	119,20

**Προμέτρηση στύλων ορόφου 2****Ποσότητες σιδηρού οπλισμού**

Φ8	Φ14	Φ16	Φ18	Μέτρα
3397,03	549,25	255,45	238,57	
1340,42	663,72	403,18	476,55	Kg B500C

**Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού**

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	261,90	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	2883,85
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	0,00	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	29,45
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	261,90	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	97,90

**Προμέτρηση: Σύνολο ορόφου :2****Ποσότητες σιδηρού οπλισμού**

Διάμετρος [mm]	Μήκος [m]	Kg B500C Βάρος [Kgr]
Φ8	6788,75	2678,70
Φ10	68,00	42,00
Φ12	650,45	578,15
Φ14	735,15	888,60
Φ16	288,45	454,65
Φ18	238,55	476,55

**Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού**

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	533,75	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	5118,65
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	11,95	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	69,85
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	521,80	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	73,30

**Προμέτρηση: Σύνολο κτιρίου****Ποσότητες σιδηρού οπλισμού**

Διάμετρος [mm]	Μήκος [m]	Kg B500C Βάρος [Kgr]
Φ8	21264,90	8391,05
Φ10	1010,50	623,50
Φ12	5171,30	4591,45
Φ14	2701,00	3264,75
Φ16	1006,80	1587,50
Φ18	1970,20	3933,60

**Ποσότητες Σκυροδέματος - Σιδηρού οπλισμού**

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	1737,50	Βάρος σιδηρού οπλισμού	[Kg]	22391,85
Αφαιρούνται	[m <sup>2</sup> ]	53,35	Όγκος Σκυροδέματος	[m <sup>3</sup> ]	259,20
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m <sup>2</sup> ]	1684,15	Αναλογία Σιδ/Σκυροδέμ.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	86,40

## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>

### 6.1 Συγκριτική Αποτίμηση επιλογής Στατικού Συστήματος στον Προϋπολογισμό

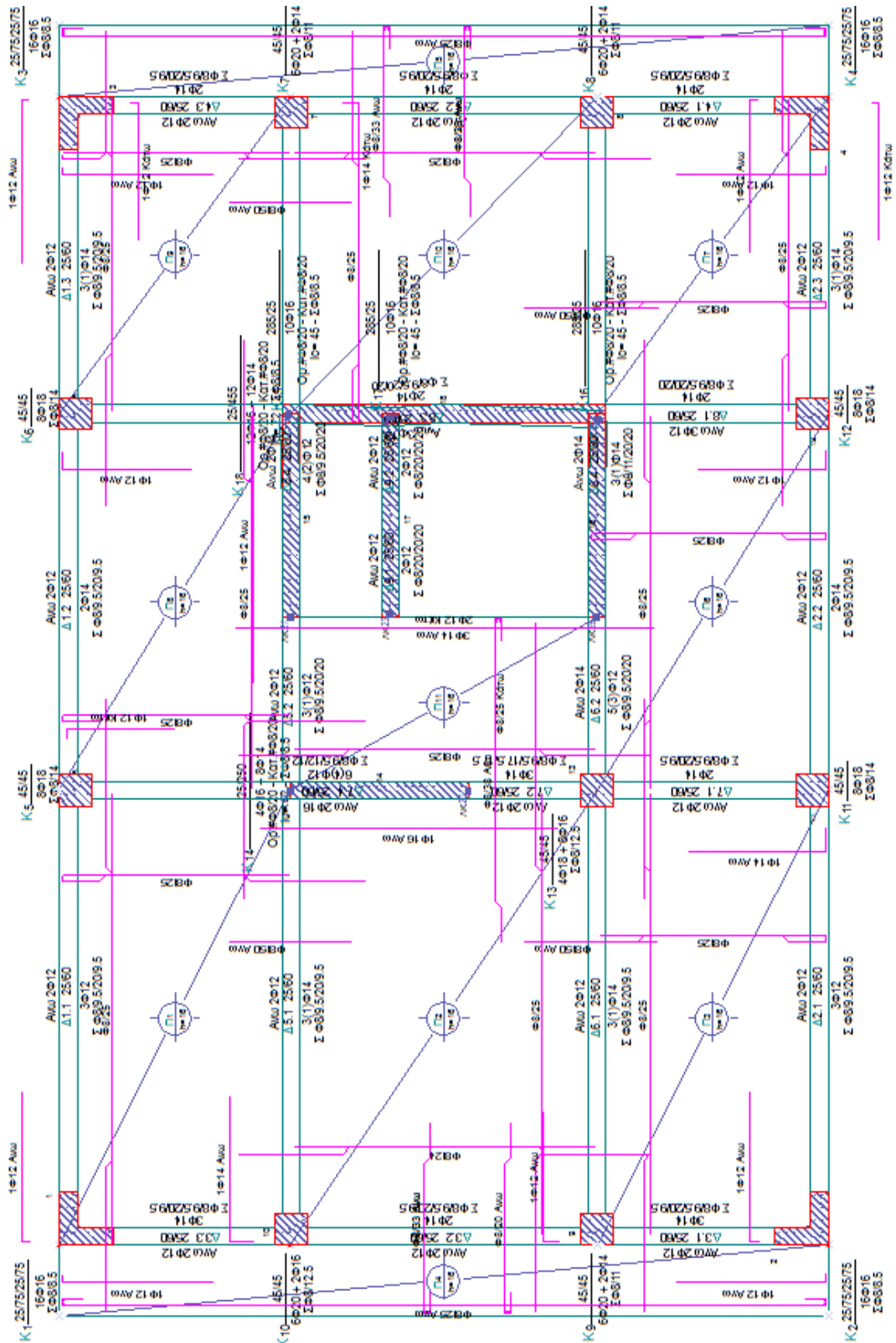
#### 6.1.1 Ανάλυση πριν τα αποτελέσματα

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, όπως έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα κεφάλαια, μελετήθηκαν δύο πανομοιότυποι φορείς, οπλισμένου σκυροδέματος, με διαφορετικό όμως στατικό σύστημα. Αφού έγινε η προσομοίωση στο στατικό πρόγραμμα Fespa και προέκυψαν τα εντατικά μεγέθη, το δείγμα που εξετάστηκε, είναι ένα κοινό γραμμικό δομικό στοιχείο κάθε κατηγορίας, στην ίδια στάθμη (ισόγειο/όροφος 0), σε κάθε έναν από αυτούς τους φορείς, δηλαδή ένα υποστύλωμα, μία δοκός και ένα τοίχωμα· οι διαστάσεις και θέσεις των δομικών αυτών στοιχείων, σε κάθε φορέα, είναι ακριβώς οι ίδιες. Συγκεκριμένα, το Υποστύλωμα K13 (Ι.Π.Π.) και το Υποστύλωμα K7 (Ι.Π.Τ.), η Δοκός Δ6.1 (Ι.Π.Π.) και η Δοκός Δ6.1 (Ι.Π.Τ.), το Τοίχωμα K14 (Ι.Π.Π.) και το Τοίχωμα K12 (Ι.Π.Τ.), διαστασιολογήθηκαν τόσο με χρήση των διατάξεων του κανονισμού (Ε.Σ.), όσο και με την βοήθεια του στατικού προγράμματος Fespa, ενώ τα αποτελέσματα του κάθε τρόπου και για το κάθε στοιχείο ξεχωριστά, συγκρίθηκαν μεταξύ τους (παραπάνω **Κεφάλαια 4<sup>ο</sup> & 5<sup>ο</sup>**).

Ως επακόλουθο της παραπάνω ενέργειας, προέκυψε η επιτυχία της απόλυτης ταύτισης των αποτελεσμάτων μεταξύ των δύο τρόπων, όσον αφορά τουλάχιστον την εξασφάλιση των δομικών στοιχείων έναντι κάμψης και διάτμησης. Πιο αναλυτικά, το στατικό πρόγραμμα Fespa, συμφωνεί με τις ποσότητες και την διάταξη του Σιδηρού Οπλισμού, σε όλα τα δομικά στοιχεία που διαστασιολογήθηκαν ξεχωριστά, βάσει και των διατάξεων του κανονισμού (Ε.Σ.).

Παρατηρείται όμως, πως για τα ίδιας θέσης και διαστάσεων δομικά στοιχεία που μελετήθηκαν, απαιτείται ελαφρώς περισσότερος οπλισμός για τον Φορέα Ι (Ι.Π.Π.), και συγκεκριμένα, ενώ οι δοκοί και τα τοιχώματα, απαιτούν τυχαία βέβαια, ακριβώς τις ίδιες ράβδους οπλισμού, τόσο για την διασφάλιση έναντι κάμψης, όσο και διάτμησης, εντοπίζεται διαφορά στην απαίτηση οπλισμού του Υποστυλώματος K13 (Ι.Π.Π.), σε σχέση με το Υποστύλωμα K7 (Ι.Π.Τ.) και συγκεκριμένα, προκύπτει ανάγκη για περισσότερες ράβδους οπλισμού (**Εικόνες 4.5 & 5.5**).

Διαπιστώνεται ακόμη, όπως φαίνεται και στις **Εικόνες 6.1 & 6.2**, από τις επιλύσεις των δύο φορέων με το στατικό πρόγραμμα Fespa, πως και σε όλα τα υπόλοιπα κοινής θέσης και διαστάσεων δομικά στοιχεία, υπάρχει στην πλειονότητα, απαίτηση για περισσότερο οπλισμό στο κτίριο με το Ι.Π.Π. Στατικό Σύστημα, σε σχέση με το Ι.Π.Τ. Στατικό Σύστημα. Ενδεικτικά, στον **Πίνακα 6.1**, παρουσιάζονται και μερικά από τα κοινά μεταξύ των δύο κτιρίων δομικά στοιχεία, τα οποία όμως απαιτούν περισσότερο οπλισμό στο Ι.Π.Π. Στατικό Σύστημα, σε σχέση με το Ι.Π.Τ. Αυτό το γεγονός, προφανώς οφείλεται στην ανάγκη του Φορέα Ι (Ι.Π.Π.), για επίλυση και όπλιση των δομικών στοιχείων, **ΜΕ Ικανοτικό Έλεγχο Κόμβων**, σε αντίθεση με τον Φορέα ΙΙ (Ι.Π.Τ.), στον οποίο η επίλυση και όπλιση του κτιρίου, έγινε **ΧΩΡΙΣ Ικανοτικό Έλεγχο Κόμβων**, καθώς δεν προέκυψε αυτή η απαίτηση. Με άλλα λόγια, επειδή στο Ι.Π.Π. Στατικό Σύστημα, υπάρχει απαίτηση για Ικανοτικό Σχεδιασμό, ο οποίος συνήθως αυξάνει την απαίτηση οπλισμού στα εκάστοτε δομικά στοιχεία, ενώ στο Ι.Π.Τ. όχι, αναμένεται εν γένει, να προκύψουν περισσότερα κιλά (kg) χάλυβα στο Ι.Π.Π. Ωστόσο, αυτή η παρατήρηση, είναι μεμονωμένη και δεν προδιαγράφει τα τελικά αποτελέσματα, καθώς στο Ι.Π.Τ. Στατικό Σύστημα, υπάρχουν αρκετά τοιχώματα, τα οποία θα διασφαλιστούν έναντι κάμψης και διάτμησης καταλλήλως και ενδέχεται να προκύψει μεγαλύτερη συνολική απαίτηση οπλισμού, δηλαδή περισσότερα κιλά (kg) χάλυβα για τον Φορέα ΙΙ (Ι.Π.Τ.). Επομένως, οι υποθέσεις για τα αναμενόμενα αποτελέσματα, μπορούν να λάβουν τέλος, μέσω της παράθεσης των αποτελεσμάτων που ακολουθεί στην συνέχεια.



**Εικόνα 6.1.** Φορέας Ι (Ι.Π.Π.), διαστασιολόγηση όλων των δομικών στοιχείων στην στάθμη του ορόφου 0.



**Πίνακας 6.1.** Ενδεικτικές διαφορές, σε ορισμένα από τα κοινά μεταξύ των δύο κτιρίων δομικά στοιχεία, με απαίτηση περισσότερου οπλισμού στο Ι.Π.Π. Στατικό Σύστημα, σε σχέση με το Ι.Π.Τ.

	Συνολικός Οπλισμός	
	Ι.Π.Π.	Ι.Π.Τ.
Υποστύλωμα Κ7/Κ5	6 $\varnothing$ 20 + 2 $\varnothing$ 14 Σ $\varnothing$ 8/11	8 $\varnothing$ 18 Σ $\varnothing$ 8/14
Δοκός Δ6.2/Δ6.2	2 $\varnothing$ 14 + 5 $\varnothing$ 12 Σ $\varnothing$ 8/9,5/20/20	2 $\varnothing$ 12 + 4 $\varnothing$ 12 Σ $\varnothing$ 8/9,5/20/20
Τοίχωμα Κ18/Κ13	12 $\varnothing$ 16 + 12 $\varnothing$ 14 Ορ.# $\varnothing$ 8/20-Κατ.# $\varnothing$ 8/20 Σ $\varnothing$ 8/8,5	4 $\varnothing$ 16 + 16 $\varnothing$ 14 Ορ.# $\varnothing$ 8/20-Κατ.# $\varnothing$ 8/20 Σ $\varnothing$ 8/8,5

Τέλος, καθώς η διαφορά των δύο στατικών συστημάτων, εντοπίζεται στο γεγονός ότι στην θέση των υποστυλωμάτων του 1<sup>ου</sup> κτιρίου (Ι.Π.Π.), υπάρχουν τοιχώματα στο 2<sup>ο</sup> κτίριο (Ι.Π.Τ.), εύλογα αναμένεται, στο κτίριο με το Ι.Π.Τ. Στατικό Σύστημα, δηλαδή εκείνο με τα περισσότερα τοιχώματα, να προκύψει απαίτηση για περισσότερο όγκο σε κυβικά (m<sup>3</sup>) σκυροδέματος, αναλογικά με εκείνο που έχει Ι.Π.Π. Στατικό Σύστημα, καθώς τα τοιχώματα χρειάζονται περισσότερο σκυρόδεμα για την κατασκευή τους από ότι τα υποστυλώματα, ενώ παράλληλα όλα τα υπόλοιπα κοινά σε θέση και τύπο δομικά τους στοιχεία, έχουν πανομοιότυπες διαστάσεις και επομένως θα απαιτήσουν περίπου τον ίδιο όγκο σκυροδέματος προς την κατασκευή τους. Εξαίρεση από τα κοινής θέσης και τύπου δομικά στοιχεία, αποτελεί το Τοίχωμα Κ14 (Ι.Π.Π.), το οποίο είναι κατά 0,50(m) μεγαλύτερο σε μήκος από το αντίστοιχο Κ12 (Ι.Π.Τ.) (**Εικόνες 3.2 & 3.7**), διαφορά που θεωρείται αμυδρή.

### 6.1.2 Προϋπολογισμός

Αρχικά αναφέρεται, ότι στον προϋπολογισμό δεν περιλαμβάνονται στοιχεία πλήρωσης, κουφώματα, ασανσέρ, οπλισμένο σκυρόδεμα κλιμάκων κ.τ.λ., διότι θεωρούνται κοινά και για τα δύο κτίρια, ενώ το μόνο που διαφέρει είναι το στατικό σύστημα. Όσον αφορά τον προϋπολογισμό, από τον οποίο θα προκύψει η τιμή κατασκευής του κάθε φορέα, λαμβάνονται ενδεικτικές τιμές μονάδας, για τον χάλυβα (B<sub>500C</sub>) και το σκυρόδεμα (C<sub>20/25</sub>) που έχουν οριστεί στα Περιγραφικά Τιμολόγια Εργασιών του 2017, για την κατηγορία των Οικοδομικών Έργων.<sup>[1]</sup> Οι τιμές αυτές, θα περιλαμβάνουν και το κόστος των εργατικών εξόδων ανά την περίπτωση, ενώ είναι ενδεικτικές και δεν έχει κάποια σημασία αν μεταβάλλονται, καθώς η σύγκριση, παραμένει πάντα η ίδια. Στον **Πίνακα 6.2** που ακολουθεί, φαίνονται αναλυτικά οι τιμές, καθώς και το τελικό κόστος του όγκου Σκυροδέματος σε κυβικά μέτρα (m<sup>3</sup>), αλλά και του βάρους Σιδηρού Οπλισμού σε κιλά (kg), έπειτα από τον πολλαπλασιασμό της εκάστοτε τιμής με το κόστος των εργατικών εξόδων.

**Πίνακας 6.2.** Τιμές κόστους Σκυροδέματος, Σιδηρού Οπλισμού και εργατικών εξόδων.<sup>[1]</sup>

Κόστος Σκυροδέματος (€/m <sup>3</sup> )	Κόστος Εργατικών εξόδων και ξυλοτύπων Σκυροδέματος (€/m <sup>3</sup> )	Κόστος Σιδηρού Οπλισμού (€/kg)	Κόστος Εργατικών εξόδων Σιδηρού Οπλισμού (€/kg)
95,00	1,05	1,07	1,25

**ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ**  
**≈100,00 (€/m<sup>3</sup>)**

**ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ**  
**≈1,34 (€/kg)**



Ανατρέχοντας στο αναλυτικό τεύχος του προγράμματος Fespa, που συνοδεύει την επίλυση του κάθε φορέα (§4.5.4 & §5.5.4, του παρόντος), στην συνολική προμέτρηση του εκάστοτε κτιρίου, προκύπτουν οι συνολικές ποσότητες Σκυροδέματος και Σιδηρού Οπλισμού που απαιτούνται, όπως φαίνεται στον **Πίνακα 6.3**, που ακολουθεί. Με μία αρχική παρατήρηση, ο Φορέας II (Ι.Π.Τ.), έχει μεγαλύτερη απαίτηση, τόσο σε κυβικά Σκυροδέματος (m<sup>3</sup>), όσο και σε κιλά Σιδηρού Οπλισμού (kg).

Με βάση λοιπόν τις συνολικές ποσότητες που προέκυψαν για την κατασκευή του κάθε φορέα, κατασκευάστηκαν δύο ξεχωριστά ιστογράμματα (**Εικόνα 6.3**), ένα για τον όγκο Σκυροδέματος σε κυβικά μέτρα (m<sup>3</sup>) και ένα για το βάρος του Σιδηρού Οπλισμού σε κιλά (kg), προκειμένου να φανούν ευκρινέστερα οι διαφορές στην απαίτηση του κάθε υλικού κατασκευής (συμπεριλαμβανομένων των εργατικών), αλλά και να είναι ευκολότερη η σύγκριση.

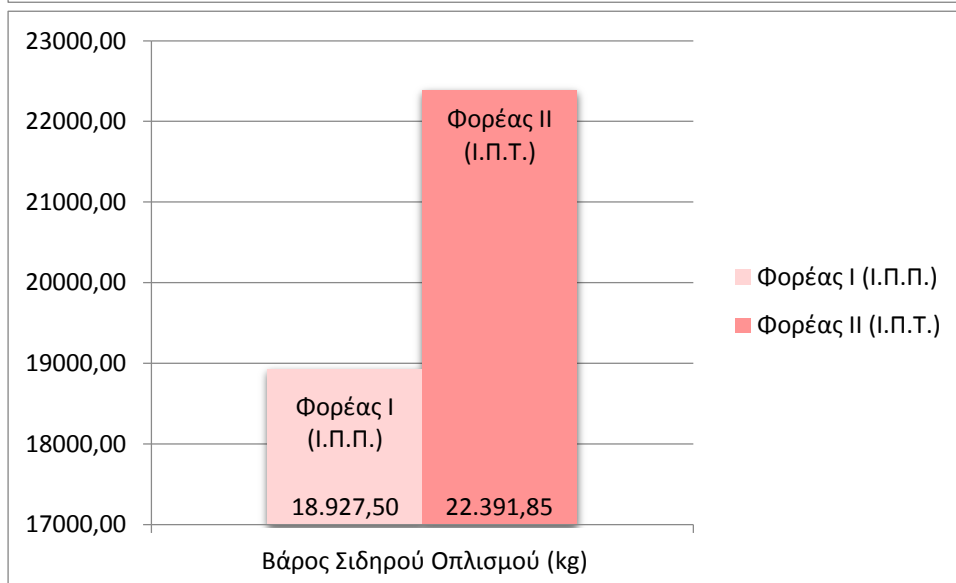
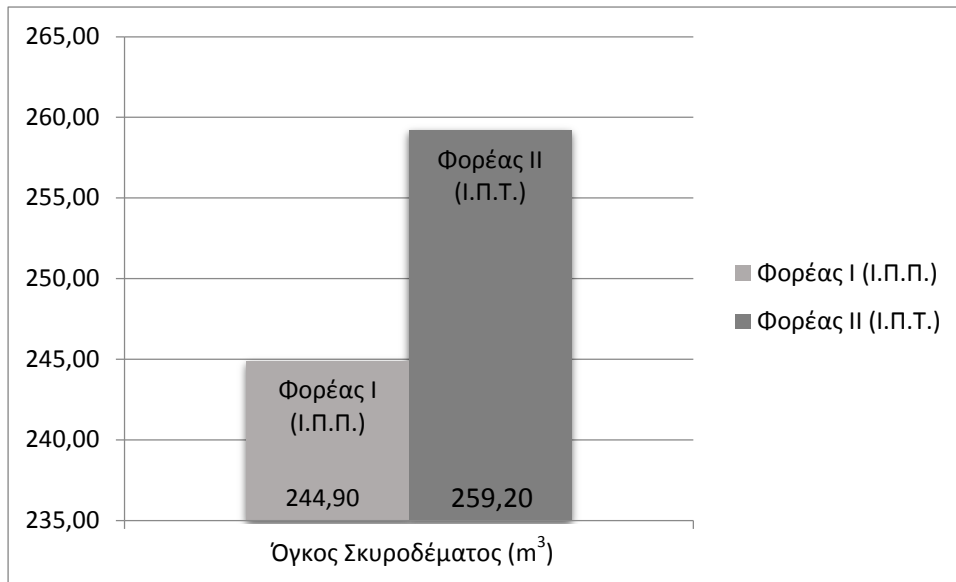
Από τα διαγράμματα αυτά, διακρίνεται πως για το Ι.Π.Π. Στατικό Σύστημα, απαιτείται μικρότερος όγκος σκυροδέματος (m<sup>3</sup>) και λιγότερο βάρος Σιδηρού Οπλισμού (kg), από ότι στο Ι.Π.Τ. Στατικό Σύστημα. Το γεγονός αυτό, αυτομάτως οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο Φορέας Ι (Ι.Π.Π.), θα είναι οικονομικότερος συγκριτικά με τον Φορέα II (Ι.Π.Τ.), όπως φαίνεται στον **Πίνακα 6.4**, αλλά και στο τρίτο και τελευταίο ιστόγραμμα που κατασκευάστηκε (**Εικόνα 6.4**), στο οποίο απεικονίζεται το συνολικό κόστος της κάθε κατασκευής σε ευρώ (€), με την οικονομική διαφορά μεταξύ των δύο τιμών, να ανέρχεται περίπου στο 12%.

**Πίνακας 6.3.** Συνολικές ποσότητες Σκυροδέματος και Σιδηρού Οπλισμού, από τον αναλυτικό προϋπολογισμό του στατικού προγράμματος Fespa, για τον προϋπολογισμό των δύο κτιρίων.

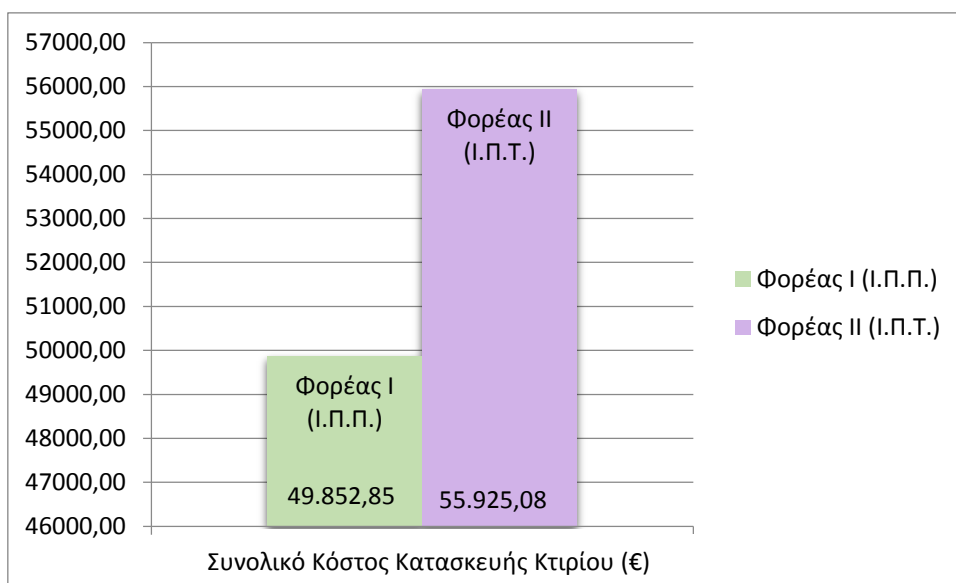
	<b>Όγκος Σκυροδέματος (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Βάρος Σιδηρού Οπλισμού (kg)</b>
Φορέας Ι (Ι.Π.Π.)	244,90	18.927,50
Φορέας II (Ι.Π.Τ.)	259,20	22.391,85

**Πίνακας 6.4.** Συνολικό κόστος κατασκευής των υπό μελέτη φορέων.

	<b>Συνολικό Κόστος Κατασκευής Κτιρίου (€)</b>
Φορέας Ι (Ι.Π.Π.)	$(244,90 * 100) + (18.927,50 * 1,34) = 49.852,85$
Φορέας II (Ι.Π.Τ.)	$(259,20 * 100) + (22.391,85 * 1,34) = 55.925,08$



**Εικόνα 6.3.** Ιστογράμματα για την σύγκριση των ποσοτήτων υλικών κατασκευής, που απαιτούνται στους δύο φορείς.



**Εικόνα 6.4.** Ιστόγραμμα για την οικονομική σύγκριση του κόστους κατασκευής των δύο φορέων.

## 6.2 Συμπεράσματα

Με βάση λοιπόν τα αποτελέσματα που παρατέθηκαν παραπάνω, προέκυψε πως ο Φορέας II (Ι.Π.Τ.), απαιτεί μεγαλύτερο όγκο Σκυροδέματος και περισσότερο βάρος Σιδηρού Οπλισμού για την κατασκευή του, απ' ό,τι ο Φορέας I (Ι.Π.Π.). Όσον αφορά την ποσότητα Σκυροδέματος, ήταν αναμενόμενο από την ανάλυση που προηγήθηκε, πως ο Φορέας II (Ι.Π.Τ.), θα χρειαστεί πιο πολύ Σκυρόδεμα, καθώς πλαισιώνεται από ένα στατικό σύστημα με τοιχώματα στις θέσεις που ο Φορέας I (Ι.Π.Π.), διαθέτει υποστυλώματα. Ενδιαφέρον όμως παρουσιάζει το αποτέλεσμα σχετικά με την ποσότητα του Σιδηρού Οπλισμού, όπου όπως διαπιστώνεται και στην **Εικόνα 6.3**, τελικώς ο Φορέας II (Ι.Π.Τ.), απαιτεί επιπλέον βάρος σε κιλά (kg), για την αποπεράτωση του. Ο παράγοντας αυτός, παρόλο που βρίσκεται σε αντίθεση με την λογική του κανονισμού, όπου όταν υπάρχει απαίτηση για Ικανοτικό Σχεδιασμό, προκύπτει περισσότερος Σιδηρός Οπλισμός, προφανώς οφείλεται και πάλι στο γεγονός ότι υπάρχουν τοιχώματα στις θέσεις που στον Φορέα I (Ι.Π.Π.), βρίσκονται υποστυλώματα και παρόλο που σε ορισμένα κοινά, μεταξύ των δύο φορέων, δομικά στοιχεία, προκύπτει επιπλέον οπλισμός για την διασφάλιση του Φορέα I (Ι.Π.Π.), έναντι του Φορέα II (Ι.Π.Τ.) (**Πίνακας 6.1**), όπως αναφέρθηκε, δεν ήταν δυνατό κάτι τέτοιο να προκαθορίσει το αποτέλεσμα.

Στον **Πίνακα 6.5**, παρουσιάζονται οι διαφορές με ποσοστά επί τοις εκατό (%), μεταξύ των δύο κτιρίων, αναφορικά με τις ποσότητες των υλικών κατασκευής (συμπεριλαμβανομένων των εργατικών εξόδων) και τελικά με το συνολικό κόστος ανέγερσης του κάθε φορέα. Συγκεκριμένα, ο Φορέας II (Ι.Π.Τ.), παρουσιάζει πλεόνασμα σε όγκο Σκυροδέματος **6%**, σε βάρος Σιδηρού Οπλισμού **18%** και τελικά σε κόστος **12%**. Η καθαρή διαφορά στην τιμή ανέγερσής των δύο κτιρίων, είναι **6.072,23€** επιπλέον για τον Φορέα II (Ι.Π.Τ.), πράγμα που σημαίνει ότι, όσο μικρού σχετικά μεγέθους και αν είναι το ποσό, αναφερόμενοι πάντοτε στα ποσά που απαιτούνται για συνήθη οικοδομικά έργα, δεν παύει να καθιστά οικονομικότερο τον Φορέα I (Ι.Π.Π.).

Επομένως, από την παρούσα μελέτη, συμπεραίνεται, πως στα συνήθη οικοδομικά έργα, η πιο οικονομική κατασκευή, είναι εκείνη, στην οποία ο Δομοστατικός Πολιτικός Μηχανικός, θα επιλέξει να εγκαταστήσει, ένα Διπλό Στατικό Σύστημα λειτουργίας-Ισοδύναμο προς Πλαισιακό, έναντι σε ένα Διπλό Στατικό Σύστημα λειτουργίας-Ισοδύναμο προς Τοιχωματικό. Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση, η επιλογή γίνεται με βάση την κρίση του αρμόδιου μηχανικού, λαμβάνοντας υπόψη μία πληθώρα παραγόντων και ακολουθώντας τις διατάξεις του ισχύοντα κανονισμού.

**Πίνακας 6.5.** Διαφορές με ποσοστά επί τοις εκατό, μεταξύ των δύο κτιρίων (στρογγυλοποιημένες τιμές).

	Διαφορές επί τοις εκατό (%)
Όγκος Σκυροδέματος (m <sup>3</sup> )	6%
Βάρος Σιδηρού Οπλισμού (kg)	18%
Συνολικό Κόστος Κατασκευής Κτιρίου (€)	12%

1. **ΔΝΣγ/οικ.35577/ΦΝ 466/19-05-2017.** Κανονισμός Περιγραφικών Τιμολογίων Εργασιών για Δημόσιες Συμβάσεις Έργων. Εφημερίδα της Κυβέρνησης (ΦΕΚ 1746/Β/19-05-2017). Σελ.: 952-953/1192.