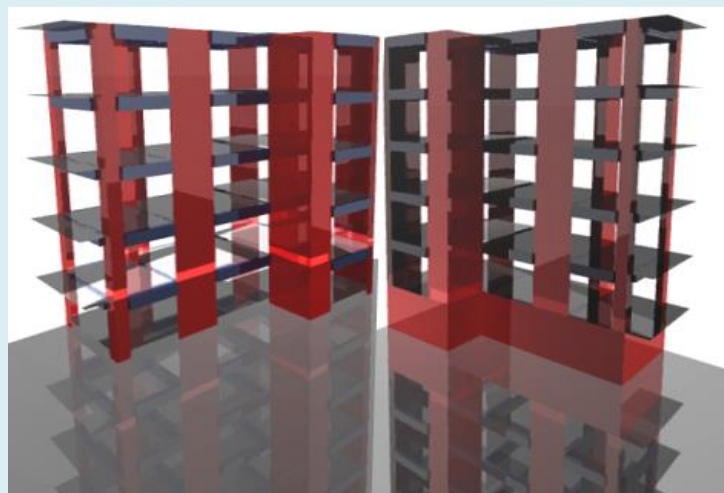




ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

*“Διερεύνηση δυναμικής απόκρισης πολυώροφων κτιρίων με
και χωρίς υπόγειο εδραζόμενα σε ρηχή θεμελίωση”*

Πτυχιακή Εργασία
Νικόλαος Κωνσταντίνου
Α.Μ: 41736



Επιβλέπων Καθηγητής
Τσιάτας Γεώργιος
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

Ιανουάριος 2016

***“Διερεύνηση δυναμικής απόκρισης πολυώροφων κτιρίων
με και χωρίς υπόγειο εδραζόμενα σε ρηχή θεμελίωση”***

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....
Κεφάλαιο 1^ο : Εισαγωγή.....1
Κεφάλαιο 2^ο : Δυναμική Ανάλυση Κατασκευών 4
2.1 Εισαγωγή	4
2.2 Δυναμικά φορτία.....	4
2.3 Βαθμός ελευθερίας κίνησης.....	5
2.4 Δυναμικό προσομοίωμα κατασκευής.....	5
2.5 Πολυβάθμια συστήματα.....	6
2.6 Πολυώροφο κτίριο.....	7
Κεφάλαιο 3^ο : Σχεδιασμός Φορέων από Σκυρόδεμα..... 8
3.1 Εισαγωγή.....	8
3.2 Υλικά	8
3.3 Ανθεκτικότητα σε διάρκεια και επικάλυψη οπλισμών.....	17
3.4 Οριακές καταστάσεις αστοχίας.....	20
3.5 Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας.....	30
3.6 Κατασκευαστική διαμόρφωση των οπλισμών.....	35
Κεφάλαιο 4^ο : Αντισεισμικός Σχεδιασμός 38
4.1 Εισαγωγή.....	38
4.2 Κατηγορίες εδαφών.....	38
4.3 Σεισμικές ζώνες – εδαφική επιτάχυνση	40
4.4 Ελαστικό φάσμα απόκρισης.....	41
4.5 Οριζόντια συνιστώσα σεισμικής φόρτισης.....	43
4.6 Κατακόρυφη συνιστώσα σεισμικής φόρτισης.....	44
4.7 Εδαφική μετακίνηση σχεδιασμού.....	44
4.8 Φάσμα σχεδιασμού για ανελαστική συμπεριφορά.....	45
4.9 Υπολογισμός μαζών και μετακινήσεων	45

4.10 Βασικές διατάξεις για κτίριο	46
4.11 Κατάταξη κτιρίων	50
4.12 Διαστασιολόγηση κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα	51

Κεφάλαιο 5° : Παρουσίαση Προσομοίωσης Κατασκευών 55

5.1 Γενικά	55
5.2 Δεδομένα-Παραδοχές υπολογισμού	55
5.3 Παρουσίαση προσομοιωμάτων	58
5.3.1 Πενταώροφο με υπόγειο	58
5.3.2 Πενταώροφο χωρίς υπόγειο	62
5.4 Σχεδιασμός προσομοιωμάτων	66
5.4.1 Εισαγωγή στο πρόγραμμα ETABS.....	66
5.4.2 Δημιουργία καναβου σχεδίασης.....	67
5.4.3 Επιφάνεια εργασίας προγράμματος ETABS.....	69
5.4.4 Υλικά.....	69
5.4.5 Δομικά στοιχεία.....	72
5.4.6 Ράβδοι οπλισμού.....	80
5.4.7 Έδαφος.....	81
5.4.8 Διαφραγματική λειτουργία.....	83
5.4.9 Σεισμός.....	84
5.4.10 Μάζα.....	86
5.4.11 Φορτία.....	87
5.4.12 Περιπτώσεις φορτίων.....	91
5.4.13 Συνδυασμοί φορτίων.....	93
5.4.14 Σχεδιασμός δομικών στοιχείων.....	95
5.4.15 Εκχώρηση ιδιοτήτων και φορτίων στα δομικά στοιχεία.....	103
5.4.16 Ανάλυση.....	119

Κεφάλαιο 6° : Παρουσίαση αποτελεσμάτων..... 128

6.1 Πενταώροφο με υπόγειο εδραζόμενο σε κοιτόστρωση.....	128
6.2 Πενταώροφο με υπόγειο εδραζόμενο σε στηρίξεις.....	133
6.3 Πενταώροφο χωρίς υπόγειο εδραζόμενο σε κοιτόστρωση.....	138
6.4 Πενταώροφο χωρίς υπόγειο εδραζόμενο σε στηρίξεις.....	143
6.5 Συγκριτικοί πίνακες.....	148

Κεφαλαίο 7^ο : Συμπεράσματα.....	151
Βιβλιογραφία.....	153

Πρόλογος

“Η παρούσα διπλωματική εργασία ξεκίνησε τον Μάιο του 2015 και ολοκληρώθηκε τον Ιανουάριο του 2016. Επιβλέπων καθηγητής της εργασίας ήταν ο καθηγητής κ. Γ.Χ Τσιάτας, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός του Τομέα Δομοστατικού Σχεδιασμού του τμήματος Πολίτικων Μηχανικών του Α.Ε.Ι Τ.Τ Πειραιά.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Γιώργο Τσιάτα, για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστώ μαζί του, και ο όποιος χάρη στην επιστημονική καθοδήγηση του με βοήθησε να εκπονήσω την παρούσα εργασία”.

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία διερευνάται η δυναμική απόκριση πολυώροφων κτιρίων (ιδιοδυναμικά χαρακτηριστικά, μέγιστες μετακινήσεις) τα όποια εδράζονται σε ρηχή θεμελίωση. Επιλύονται περιπτώσεις κτιρίων με και χωρίς υπόγειο και υπολογίζονται οι διαφορές στα αναπτυσσόμενα εντατικά μεγέθη.

Παρατίθενται 4 παραδείγματα: ένα πενταώροφο με υπόγειο εδραζόμενο σε ελαστική στήριξη, ένα πενταώροφο με υπόγειο εδραζόμενο σε ακλόνητη στήριξη (πακτώσεις), ένα πενταώροφο χωρίς υπόγειο εδραζόμενο σε ελαστική στήριξη και ένα πενταώροφο χωρίς υπόγειο εδραζόμενο σε ακλόνητη στήριξη (πακτώσεις). Σε όλα τα κτίρια η θεμελίωση πραγματοποιείται με γενική κοιτόστρωση.

Για τα παραπάνω παραδείγματα υπολογιστήκαν οι ιδιοπερίοδοι τους και οι μέγιστες μετακινήσεις τους. Επίσης, υπολογιστήκαν οι τάσεις των κοιτοστρώσεων στα αντίστοιχα κτίρια και παρατίθεται η ισοϋψής καμπύλη αυτών.

Εν' κατακλείδι, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που έχουν προκύψει από την ανάλυση των παραδειγμάτων.

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Εισαγωγή

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία διερευνάται η δυναμική απόκριση πολυώροφων κτιρίων (ιδιοδυναμικά χαρακτηριστικά, μέγιστες μετακινήσεις) τα όποια εδράζονται σε ρηχή θεμελίωση.

Η εργασία αποτελείται από τα έξης κεφάλαια:

Κεφάλαιο 1^ο : Εισαγωγή

Κεφάλαιο 2^ο : Δυναμική ανάλυση κατασκευών

Κεφάλαιο 3^ο : Σχεδιασμός φορέων από σκυρόδεμα

Κεφάλαιο 4^ο : Αντισεισμικός σχεδιασμός

Κεφάλαιο 5^ο : Παρουσίαση προσομοίωσης κατασκευών

Κεφάλαιο 6^ο : Αποτελέσματα

Κεφάλαιο 7^ο : Συμπεράσματα

1.2 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Η γνώση της δυναμικής των κατασκευών είναι ιδιαίτερος απαραίτητη για τους μηχανικούς, οι οποίοι πρέπει να μελετήσουν τις κατασκευές τους σε δυναμική καταπόνηση συνέπεια σεισμικής κίνησης του εδάφους. Οι κατασκευές έκτος από τα στατικά φορτία είναι δυνατόν να υποβάλλονται και σε δυναμικά φορτία, δηλαδή φορτία των όποιων το μέγεθος, η διεύθυνση και η θέση μεταβάλλονται συναρτήσει του χρόνου.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται γενικές έννοιες της δυναμικής των κατασκευών, όπως τα οριζόντια δυναμικά φορτία, οι βαθμοί ελευθερίας κίνησης κατασκευής, το δυναμικό προσομοίωμα κατασκευής καθώς επίσης.

1.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΟΡΕΩΝ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται γενικές γνώσεις αναφορικά με το σχεδιασμό φορέων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Τα στοιχεία του κεφαλαίου αυτού έχουν ληφθέν από τον Ευρωκώδικα 2 (EN 1992), ο οποίος ορίζει τις τεχνικές προδιαγραφές για το σχεδιασμό των κτιρίων και έργων του Πολιτικού Μηχανικού που κατασκευάζονται από άοπλο, οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα και είναι συμβατός με τις αρχές και τις απαιτήσεις ασφάλειας και λειτουργικότητας των κατασκευών.

Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται γενικές πληροφορίες σχετικά με τα δομικά υλικά (σκυρόδεμα και χάλυβας), την ανθεκτικότητα σε διάρκεια και την επικάλυψη των οπλισμών. Επιπροσθέτως, γίνεται αναφορά στις οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας και στην κατασκευαστική διαμόρφωση των οπλισμών.

1.4 ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Το κεφάλαιο είναι βασισμένο στον Ευρωκώδικα 8 (EN 1998), ο οποίος εφαρμόζεται στη μελέτη και κατασκευή κτιρίων και άλλων έργων Πολιτικού Μηχανικού σε περιοχές με σεισμικότητα. Στόχος, του Ευρωκώδικα είναι να διασφαλιστεί σε περίπτωση σεισμού ότι, θα παρέχεται προστασία της ανθρωπίνης ζωής, οι βλάβες στα υποστυλώματα θα πρέπει να είναι περιορισμένες στην περίπτωση του σεισμικού σχεδιασμού και τα έργα τα όποια κρίνονται ως σημαντικά για την αστική προστασία και την αντιμετώπιση των συνεπειών από αιφνίδια γεγονότα θα παραμείνουν σε λειτουργία και μετά την εμφάνιση του σεισμικού γεγονότος. Ο σχεδιασμός μιας κατασκευής γίνεται με βάση την απαίτηση η κατασκευή να αναλαμβάνει τη δράση σχεδιασμού χωρίς να υφίσταται μερική ή ολική κατάρρευση.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται γενικές πληροφορίες για τις κατηγορίες των εδαφών, τις σεισμικές ζώνες, το ελαστικό φάσμα απόκρισης, την οριζόντια και κατακόρυφη συνιστώσα σεισμικής φόρτισης. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στην εδαφική μετακίνηση σχεδιασμού, στο φάσμα σχεδιασμού για ανελαστική συμπεριφορά και στον υπολογισμό των μαζών και των μετακινήσεων. Τέλος, παρουσιάζονται πληροφορίες σχετικά με βασικές διατάξεις κτιρίων και την κατάταξη τους .

1.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό διερευνάται η δυναμική απόκριση πολυώροφων κτιρίων (ιδιοδυναμικά χαρακτηριστικά, μέγιστες μετακινήσεις) τα όποια εδράζονται σε ρηγή θεμελίωση. Η διερεύνηση της δυναμικής απόκρισης πραγματοποιείται με το πρόγραμμα δυναμικής ανάλυσης, ETABS.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο εκτίθεται ο τρόπος με τον οποίο εισάγουμε τα δεδομένα των κτιρίων στο πρόγραμμα ETABS ώστε στην συνέχεια να μας δώσει τα αποτελέσματα τα όποια είναι απαραίτητα για την δυναμική απόκριση των πολυώροφων κτιρίων.

1.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δυναμικής ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα, παρατίθενται οι ιδιοπερίοδοι, οι μέγιστες μετακινήσεις όλων των κτιρίων, η ισοϋψής καμπύλη κοιτόστρωσης των δυο κτιρίων, καθώς επίσης και οι τάσεις αυτών.

1.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που πρόεκυψαν από την δυναμική ανάλυση των κτιρίων.

2° ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Δυναμική Ανάλυση Κατασκευών

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι κατασκευές εκτός από τα στατικά φορτία είναι δυνατόν να υποβάλλονται και σε δυναμικά φορτία, δηλαδή φορτία των οποίων το μέγεθος, η διεύθυνση ή και η θέση μεταβάλλονται συναρτήσει του χρόνου. Ο προσδιορισμός της παραμορφώσεως και εντάσεως σε μια κατασκευή, όταν αυτή υποβάλλεται σε δυναμική φόρτιση, αποτελεί το αντικείμενο της Δυναμικής Ανάλυσης των Κατασκευών. Μεταξύ της στατικής και δυναμικής ανάλυσης των κατασκευών υπάρχουν δυο ουσιώδης διαφορές:

α) Στην στατική ανάλυση τα φορτία είναι σταθερά, η δε ένταση και παραμόρφωση που αναπτύσσονται είναι μοναδικές, τουλάχιστον στην γραμμική θεωρία, σε αντίθεση με την δυναμική ανάλυση στην οποία η ένταση και η παραμόρφωση είναι συναρτήσεις του χρόνου, δηλαδή σε κάθε χρονική στιγμή αναπτύσσονται διαφορετική παραμορφωσιακή και εντατική κατάσταση.

β) Στην δυναμική ανάλυση τα σημεία του φορέα αλλάζουν θέση συναρτήσει του χρόνου, δηλαδή κινούνται, συνεπώς έχουν ταχύτητα και επιτάχυνση. Επειδή ο φορέας έχει μάζα αναπτύσσονται αδρανειακές δυνάμεις συνέπεια των υλικών σημείων της κατασκευής. Οι αδρανειακές αυτές δυνάμεις αποτελούν πρόσθετη φόρτιση της κατασκευής η οποία δεν μπορεί να αμεληθεί.

2.2 ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

Όπως προαναφέραμε, δυναμικά φορτία είναι τα φορτία των οποίων η ένταση ή και θέση μεταβάλλονται συναρτήσει του χρόνου. Τέτοια είναι π.χ

τα φορτία που οφείλονται σε κίνηση μηχανών, σε έκρηξη, σε κίνηση οχημάτων, σε ανεμοπίεση κλπ. Κι όταν ακόμα δεν υπάρχουν εξωτερικές δυνάμεις, παράγει επίσης δυναμική καταπόνηση. Τέτοια είναι η περίπτωση της σεισμικής κινήσεως του εδάφους, η οποία μπορεί να αναχθεί σε ένα ισοδύναμο δυναμικό φορτίο.

Ο σεισμός αποτελεί ξεχωριστή φόρτιση, η οποία οφείλεται στην κίνηση του εδάφους στηρίξεως της κατασκευής και μπορεί να αναχθεί σε ένα ισοδύναμο δυναμικό φορτίο, όταν είναι γνωστό το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού.

2.3 ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ ΚΙΝΗΣΕΩΣ

Για την δυναμική ανάλυση των φορέων προσφέρεται κατ' εξοχήν η μέθοδος των μετακινήσεων, δηλαδή λαμβάνονται ως άγνωστοι οι μετακινήσεις διαφόρων σημείων της κατασκευής, οι οποίες, όταν προσδιοριστούν ως χρονικές συναρτήσεις, επιτρέπουν τον πλήρη καθορισμό της παραμορφώσεως και της εντάσεως του φορέα.

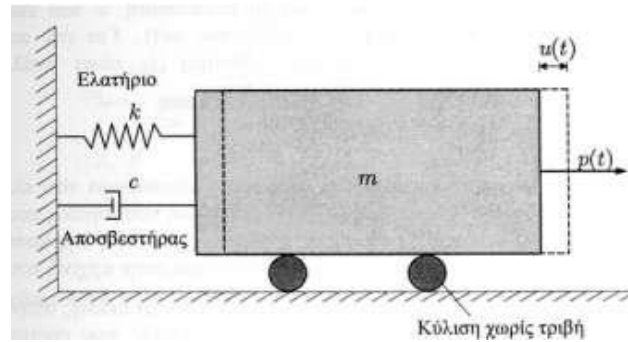
Ο βαθμός ελευθερίας κινήσεως ισούται επομένως με το πλήθος των ανεξάρτητων συνιστωσών μετακινήσεων που απαιτούνται για τον καθορισμό της γεωμετρίας του παραμορφωμένου φορέα σε κάθε χρονική στιγμή της κινήσεως.

Ο βαθμός ελευθερίας κινήσεως του φορέα δεν ταυτίζεται πάντοτε με τον βαθμό κινηματικής αοριστίας. Ο βαθμός κινηματικής αοριστίας ισούται με το πλήθος των δεσμεύσεων που πρέπει να επιβληθούν στο φορέα για να παγιωθεί κατά την έννοια της στατικής.

Τα συστήματα που έχουν ένα βαθμό, δυο βαθμούς, πολλούς βαθμούς ή άπειρους βαθμούς ελευθερίας κινήσεως ονομάζονται αντιστοίχως μονοβάθμια, διβάθμια, πολυβάθμια ή απειροβάθμια συστήματα.

2.4 ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

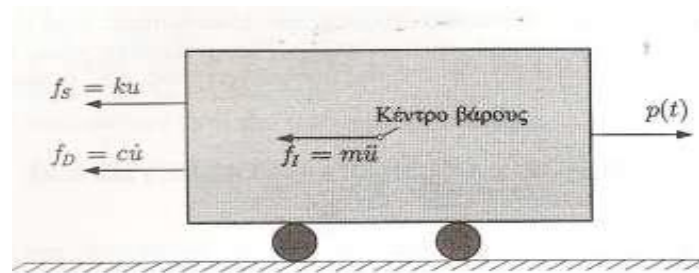
Για ένα βαθμό ελευθερίας κινήσεως (μονοβάθμιο σύστημα) το δυναμικό μοντέλο αποτελείται από μια μάζα, ένα ελατήριο και ένα αποσβεστήρα. Αυτά αντιπροσωπεύουν αντιστοίχως το υλικό σώμα, τις ελαστικές δυνάμεις και τις δυνάμεις τριβής (απώλειες ενέργειας) της κατασκευής (Σχήμα 2.4.1).



Σχήμα 2.4.1 Προσομοίωμα μονοβάθμιου συστήματος

Έστω ότι την χρονική στιγμή t το σώμα έχει μετατοπιστεί $u(t)$ από την θέση ισορροπίας, τότε κατά την θεωρούμενη χρονική στιγμή ασκούνται πάνω στο σώμα οι ακόλουθες δυνάμεις (Σχήμα 2.4.2)

- i. Η εξωτερική δύναμη $p(t)$
- ii. Η ελαστική δύναμη f_s
- iii. Η δύναμη αποσβέσεως f_D
- iv. Η αδρανειακή δύναμη f_I



Σχήμα 2.4.2 Ελεύθερο σώμα με τις εξωτερικές δυνάμεις

2.5 ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

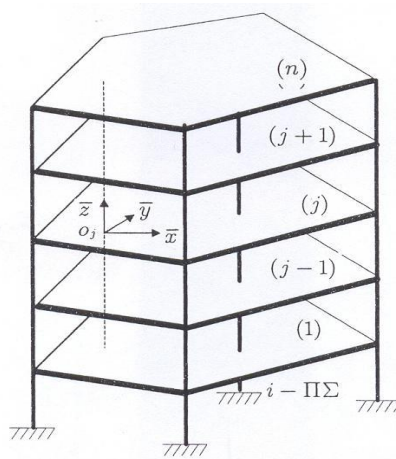
Η δυναμική συμπεριφορά των κατασκευών απαιτεί την εξέταση τους ως πολυβάθμια συστήματα, ιδίως στις περιπτώσεις που τα σχήμα παραμορφώσεως ποικίλουν. Στις κατασκευές του πολιτικού μηχανικού, η μάζα είναι κατανεμημένη σε όλα τα μελή τους και συχνά εμφανίζει συγκεντρώσεις σε ορισμένα σημεία ή περιοχές. Στα κτίρια, η μάζα συγκεντρώνεται στις στάθμες των ορόφων, ενώ σε ένα υδατόπυργο στην κεφαλή του στύλου που στηρίζει τη δεξαμενή.

Τα πολυβάθμια συστήματα μπορούμε να τα κατατάξουμε στις παρακάτω πέντε κατηγορίες:

- 1) Συστήματα με εντοπισμένη μάζα και εντοπισμένη ακαμψία.
- 2) Συστήματα με κατανεμημένη μάζα και εντοπισμένη ακαμψία.
- 3) Συστήματα με εντοπισμένη μάζα και κατανεμημένη ακαμψία.
- 4) Συστήματα με κατανεμημένη μάζα και κατανεμημένη ακαμψία.
- 5) Μεικτά Συστήματα

2.6 ΠΟΛΥΩΡΟΦΟ ΚΤΙΡΙΟ

Θεωρούμε το πολυώροφο κτίριο (Σχήμα 2.6.1), το οποίο αποτελείται από n οριζόντιες αλληπάλληλες πλάκες που συνδέονται μεταξύ τους με K κατακόρυφα ελαστικά στοιχεία. Οι πλάκες συμπεριφέρονται ως διαφράγματα. Τα κατακόρυφα στοιχεία συνέχονται πλήρως με τις πλάκες, ώστε να είναι δυνατή η μεταβίβαση δράσεων (δυνάμεων και ροπών) από τις πλάκες στα κατακόρυφα στοιχεία και αντιστρόφως.



Σχήμα 2.6.1 Πολυώροφο κτίριο

Τα κατακόρυφα στοιχεία, τα οποία στηρίζονται πάνω στο έδαφος είναι δυνατό να συνδέουν δυο ή περισσότερες, ή ακόμα και όλες τις πλάκες της κατασκευής. Οι στηρίξεις επί εδάφους μπορεί να είναι πακτώσεις, αρθρώσεις ή ελαστικές στηρίξεις. Τα στοιχεία αυτά θα ονομάζουμε *πολυώροφα στοιχεία* (ΠΣ). Τα πολυώροφα στοιχεία μπορεί να είναι μεμονωμένοι στύλοι, πλαίσια, τοιχώματα μεμονωμένα ή συνεζευγμένα με πλαίσια, κλειστές διατομές, κλίμακες κλπ. Οι διευθύνσεις των κύριων αξόνων του πολυώροφου στοιχείου συνήθως συμπίπτουν σ' όλο το ύψος του. Πλην όμως είναι δυνατό να μεταβάλλονται από όροφο σε όροφο.

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ **Σχεδιασμός** **Φορέων από** **Σκυρόδεμα (ΕC2 EN1992)**

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Ευρωκώδικας 2 (EN 1992) : *Σχεδιασμός φορέων από Σκυρόδεμα*, ορίζει τις τεχνικές προδιαγραφές για το σχεδιασμό των κτιρίων και των έργων Πολιτικού Μηχανικού που κατασκευάζονται από άοπλο, οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα. Είναι συμβατός με τις αρχές και τις απαιτήσεις ασφάλειας και λειτουργικότητας των κατασκευών, τις βάσεις του σχεδιασμού και έλεγχου τους, που περιλαμβάνονται στο πρότυπο EN1990: Βάσεις του σχεδιασμού των κατασκευών.

Ο Ευρωκώδικας 2 εφαρμόζεται σε συνδυασμό με τα πρότυπα:

- EN 1990: Βάσεις του σχεδιασμού των κατασκευών
- EN 1991: Δράσεις επί των κατασκευών
- EN 1997: Γεωτεχνικός σχεδιασμός
- EN1998: Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών, όταν οι κατασκευές βρίσκονται σε περιοχές με σεισμική επικινδυνότητα.

3.2 ΥΛΙΚΑ

- 1) Σκυρόδεμα
- 2) Χάλυβας
- 3) Χάλυβας Προέντασης

Σκυρόδεμα

Κατηγορίες Σκυροδέματος και Ιδιότητες														
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98
f_{ctm} (MPa)	1.6	1.9	2.2	2.6	2.9	3.2	3.5	3.8	4.1	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0
$f_{ctk,0.05}$ (MPa)	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	2.9	3.0	3.1	3.2	3.4	3.5
$f_{ctk,0.95}$ (MPa)	2.0	2.5	2.9	3.3	3.8	4.2	4.6	4.9	5.3	5.5	5.7	6.0	6.3	6.6
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44
$\epsilon_{c1}(\%)$	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.25	2.3	2.4	2.45	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8
$\epsilon_{cu1}(\%)$	3.5									3.2	3.0	2.8	2.8	2.8
$\epsilon_{c2}(\%)$	2.0									2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
$\epsilon_{cu2}(\%)$	3.5									3.1	2.9	2.7	2.6	2.6
n	2.0									1.75	1.6	1.45	1.4	1.4
$\epsilon_{c3}(\%)$	1.75									1.8	1.9	2.0	2.2	2.3
$\epsilon_{cu3}(\%)$	3.5									3.1	2.9	2.7	2.6	2.6

Πίνακας 3.1

Παρακάτω επεξηγούνται οι ιδιότητες του σκυροδέματος:

$$\bullet f_{cd} = f_{ck} + \delta \quad (3.2.1)$$

$$\bullet f_{ctm} = 0,30f_{ck}^{(2/3)} \leq C50/60 \quad (3.2.2)$$

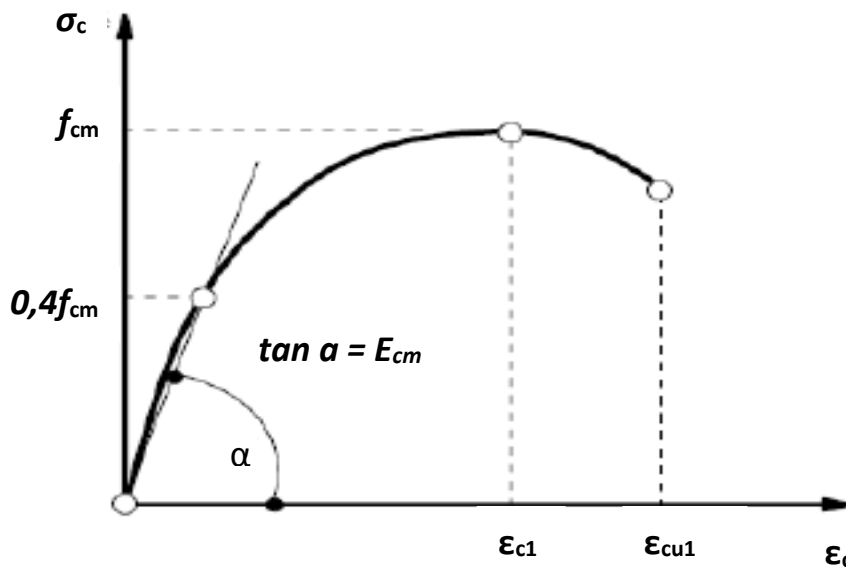
$$f_{ctm} = 2,12\ln(1+(f_{cm}/10)) > C50/60 \quad (3.2.3)$$

$$\bullet f_{ctk,0.05} = 0,7 f_{ctm} \text{ (5\% οριακό ποσοστό)} \quad (3.2.4)$$

$$\bullet f_{ctk,0.95} = 1,3 f_{ctm} \text{ (95\% οριακό ποσοστό)} \quad (3.2.5)$$

$$\bullet E_{cm} = 22[(f_{cm})/10]^{0,3} \text{ (} f_{cm} \text{ σε MPa)} \quad (3.2.6)$$

Διάγραμμα σ-ε σκυροδέματος για μη γραμμική ανάλυση



Σχήμα 3.2.1 Σχηματικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων

$$\text{Ισχύει ότι :} \quad \frac{\sigma_c}{f_{cm}} = \frac{kn - n^2}{1 + (k-2)n} \quad (3.2.7)$$

όπου

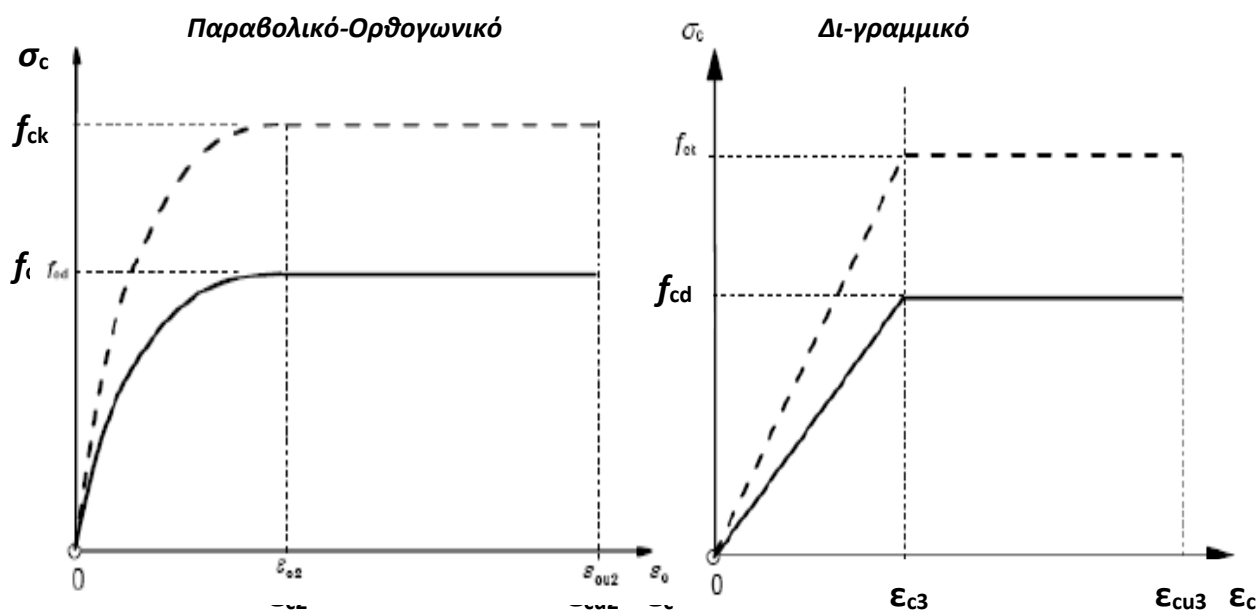
$$\bullet n = \epsilon_c / \epsilon_{c1} \quad (3.2.8)$$

$$\bullet k = 1,05 E_{cm} | \epsilon_{c1} | / f_{cm} \text{ (} f_{cm} \text{ βλέπε Πίνακα 3.1)} \quad (3.2.9)$$

- $\varepsilon_{c1}(\text{‰}) = 0,7 f_{cm}^{0,31}$ (3.2.10)

- $\varepsilon_{c1}(\text{‰}) = 2,8 + 27[(98 - f_{cm})/100]^4 / f_{cm} / 100]^4$ όταν $f_{ck} \geq 50\text{MPa}$
αλλιώς 3,5 (3.2.11)

Διάγραμματα σ-ε σκυροδέματος για σχεδιασμό διατομών



Σχήμα 3.2.2 Σχηματικά διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων

Ισχύει ότι :

$$\sigma_c = f_{cd} \left[1 - \left[1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right]^n \right] \quad \text{για } 0 \leq \varepsilon_c < \varepsilon_{cu2}$$

(3.2.12)

όπου

- $n = 1,4 + 23,4[90 - f_{ck}]/100]^4$ όταν $f_{ck} \geq 50\text{MPa}$ αλλιώς 2 (3.2.13)

- $\varepsilon_{c2}(\text{‰}) = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0,53}$ όταν $f_{ck} \geq 50\text{MPa}$ αλλιώς 2 (3.2.14)

- $\varepsilon_{cu2}(\text{‰}) = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$ όταν $f_{ck} \geq 50\text{MPa}$ αλλιώς 3 (3.2.15)

- $\varepsilon_{c3}(\text{‰}) = 1,75 + 0,55[(f_{ck} - 50)/40]$ όταν $f_{ck} \geq 50\text{MPa}$ αλλιώς **1,75**
(3.2.16)

- $\varepsilon_{cu2}(\text{‰}) = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$ όταν $f_{ck} \geq 50\text{MPa}$ αλλιώς **3,5**
(3.2.17)

- $f_{cd} = a_{cc} f_{ck} / \gamma_c$ (3.2.18)

όπου

$$\gamma_c = 1.5$$

a_{cc} : είναι ο συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τις μακροχρόνιες επιδράσεις του φορτιού στην θλιπτική αντοχή και τις δυσμενείς επιρροές που προκύπτουν από τον τρόπο επιβολής του φορτιού.

$$0.8 \leq a_{cc} \leq 1.0 \text{ συνιστώμενη τιμή είναι το } 1.0$$

Αντοχή σκυροδέματος σε ηλικία t

Για μέση θερμοκρασία 20°C : $f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm}$ (3.2.19)

και
$$\beta_{cc}(t) = \exp\left\{s \left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{1/2}\right]\right\}$$
 (3.2.20)

όπου: $f_{cm}(t)$: η μέση θλιπτική αντοχή σκυροδέματος σε ηλικία t ημερών

f_{cm} : η μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε ηλικία 28 ημερών

$\beta_{cc}(t)$: συντελεστής που εξαρτάται από την ηλικία t του σκυροδέματος

t : ηλικία σκυροδέματος σε ημέρες

s: συντελεστής ο οποίος εξαρτάται από τον τύπο του τσιμέντου

0,20 για τσιμέντο ταχείας πήξεως αντοχής (Κατηγορία R)

0,35 για τσιμέντο κανονικής πήξεως (Κατηγορία N)

0,38 για τσιμέντο βραδείας πήξεως (Κατηγορία S)

Συρρίκνωση σκυροδέματος

Η συνολική παραμόρφωση συρρίκνωσης ϵ_{cs} αποτελείται από δυο όρους:

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca} \quad (3.2.21)$$

όπου ϵ_{cs} : συνολική παραμόρφωση συρρίκνωσης

ϵ_{cd} : παραμόρφωση συστολής ξήρανσης

ϵ_{ca} : παραμόρφωση αυτογενούς συρρίκνωσης

Παρακάτω παρατίθενται οι σχέσεις για τους όρους ϵ_{cd} και ϵ_{ca} :

- $\epsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) k_h \epsilon_{cd,0}$ (3.2.22)

όπου

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 \sqrt{h_0^3}} \quad (3.2.23)$$

t : η ηλικία του σκυροδέματος (ήμερες) κατά την στιγμή της εξέτασης

t_s : η ηλικία του σκυροδέματος (ημέρες) κατά την έναρξη της ξήρανσης-συρρίκνωση

h_0 : το πλασματικό μέγεθος (mm) της διατομής και είναι $2A_c/u$

όπου A_c είναι το εμβαδόν διατομής σκυροδέματος

u : είναι η περίμετρος του εν λόγω τμήματος της εγκάρσιας διατομής η οποία είναι εκτεθειμένη σε ξήρανση

Οι τιμές $\epsilon_{cd,0}$ και k_h λαμβάνονται από τους πίνακες 3.2 και 3.3, οι οποίοι παρατίθενται παρακάτω:

h_0	k_h
100	1.0
200	0.85
300	0.75
≥ 500	0.70

Πίνακας 3.2 Τιμές k_h

$f_{ck}/f_{ck,cube}$ (MPa)	Σχετική Υγρασία (%)					
	20	40	60	80	90	100
20/25	0.64	0.60	0.50	0.31	0.17	0
40/50	0.51	0.48	0.40	0.25	0.14	0
60/75	0.41	0.38	0.32	0.20	0.11	0
80/95	0.33	0.31	0.26	0.16	0.09	0
90/105	0.30	0.28	0.23	0.15	0.05	0

Πίνακας 3.3 Τιμές $\varepsilon_{cd,0}$

$$\bullet \quad \varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t)\varepsilon_{ca}(\infty) \quad (3.2.24)$$

όπου

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5(f_{ck} - 10)10^{-6} \quad (3.2.25)$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0,2t^{0,5}) \quad t \text{ σε ημέρες} \quad (3.2.26)$$

Ερπυσμός σκυροδέματος

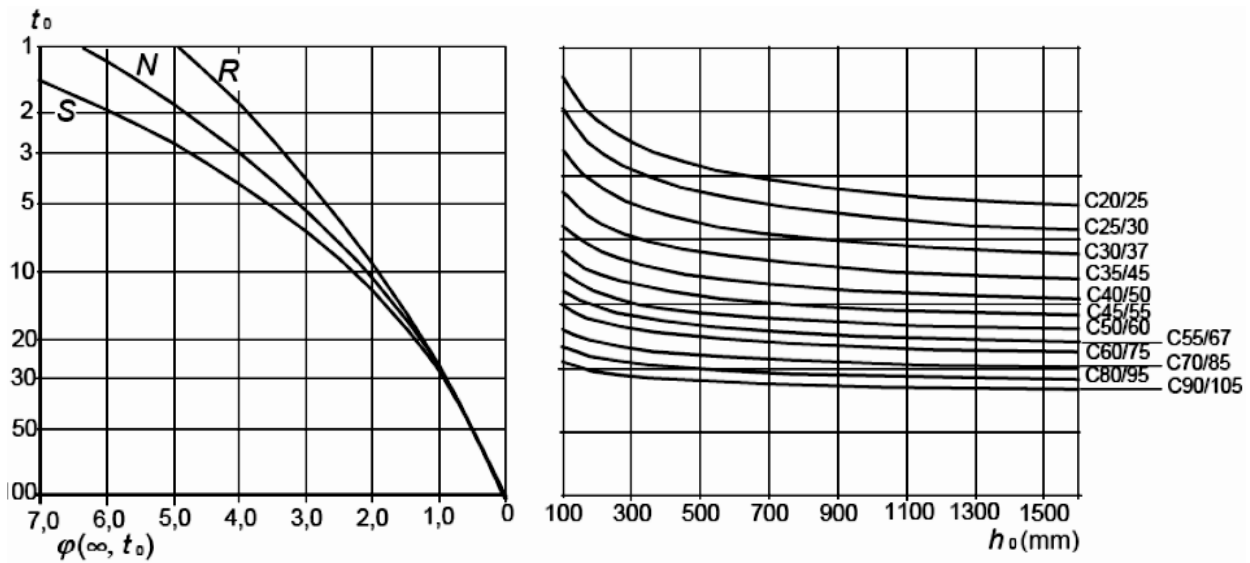
Η ερπυστική παραμόρφωση του σκυροδέματος $\varepsilon_{cc}(\infty, t_0)$ τη χρονική $t = \infty$ για σταθερή θλιπτική τάση σ_c εφαρμοζόμενη σε σκυρόδεμα ηλικίας t_0 δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\varepsilon_{cc}(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0) (\sigma_c / E_c) \quad (3.2.27)$$

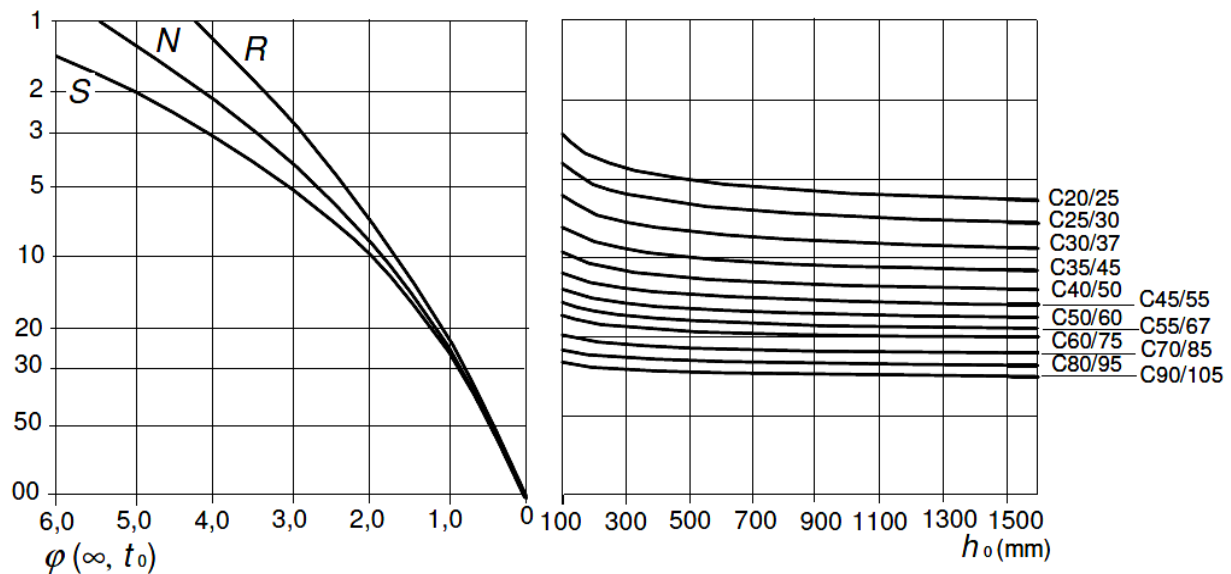
όπου

$$E_c = 1,05E_{cm} \quad (3.2.28)$$

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα (Πίνακας 3.4 και Πίνακας 3.5) από τα οποία μπορούμε να υπολογίσουμε το $\varphi(\infty, t_0)$ για σκυρόδεμα υπό κανονικές περιβαλλοντικές συνθήκες.



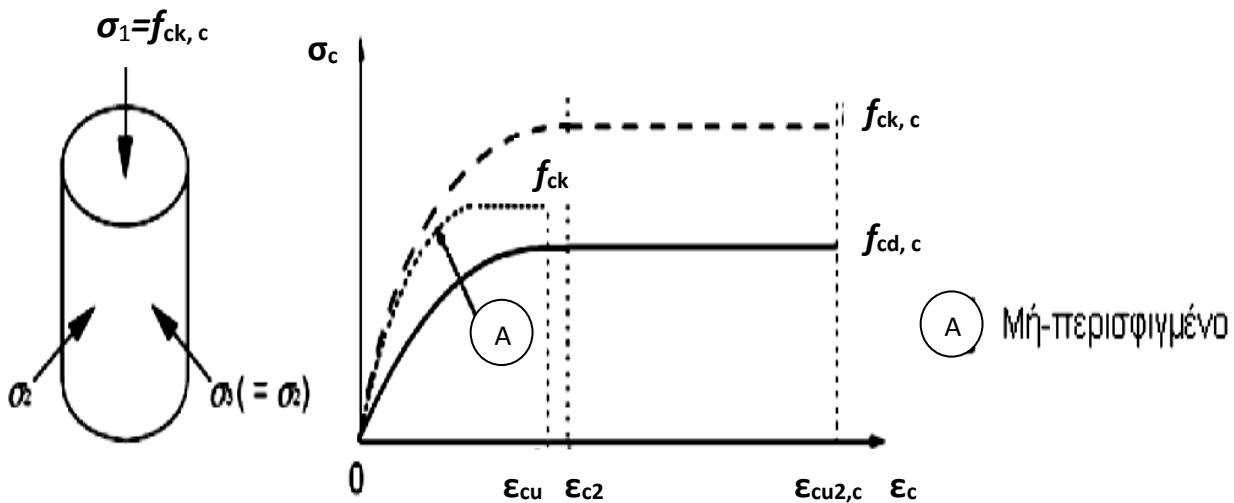
Σχήμα 3.2.3 Τιμές $\varphi(\infty, t_0)$ για εσωτερικές συνθήκες RH=50%



Σχήμα 3.2.4 Τιμές $\varphi(\infty, t_0)$ για εξωτερικές συνθήκες RH=80%

Περισφιγμένο σκυρόδεμα

Η περίσφιξη μπορεί να δημιουργηθεί με κλειστούς συνδετήρες ή εγκάρσιους συνδέσμους, οι οποίοι φτάνουν στην πλαστική περιοχή εξαιτίας της πλευρικής διόγκωσης του σκυροδέματος.



Σχήμα 3.2.5 Σχηματικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων

- $f_{ck,c} = f_{ck}(1,000 + 5,0\sigma_2 / f_{ck})$ για $\sigma_2 \leq 0,05f_{ck}$ (3.2.29)

- $f_{ck,c} = f_{ck}(1,125 + 2,5\sigma_2 / f_{ck})$ για $\sigma_2 > 0,05f_{ck}$ (3.2.30)

- $\epsilon_{c2,c} = \epsilon_{c2}(f_{ck,c} / f_{ck})^2$ (3.2.31)

- $\epsilon_{cu2,c} = \epsilon_{cu2} + 0,2 \sigma_2 / f_{ck}$ (3.2.32)

όπου $\sigma_2 (= \sigma_3)$ είναι η δρώσα ακτινική θλιπτική τάση στην οριακή κατάσταση αστοχίας εξαιτίας της περίσφιξης.

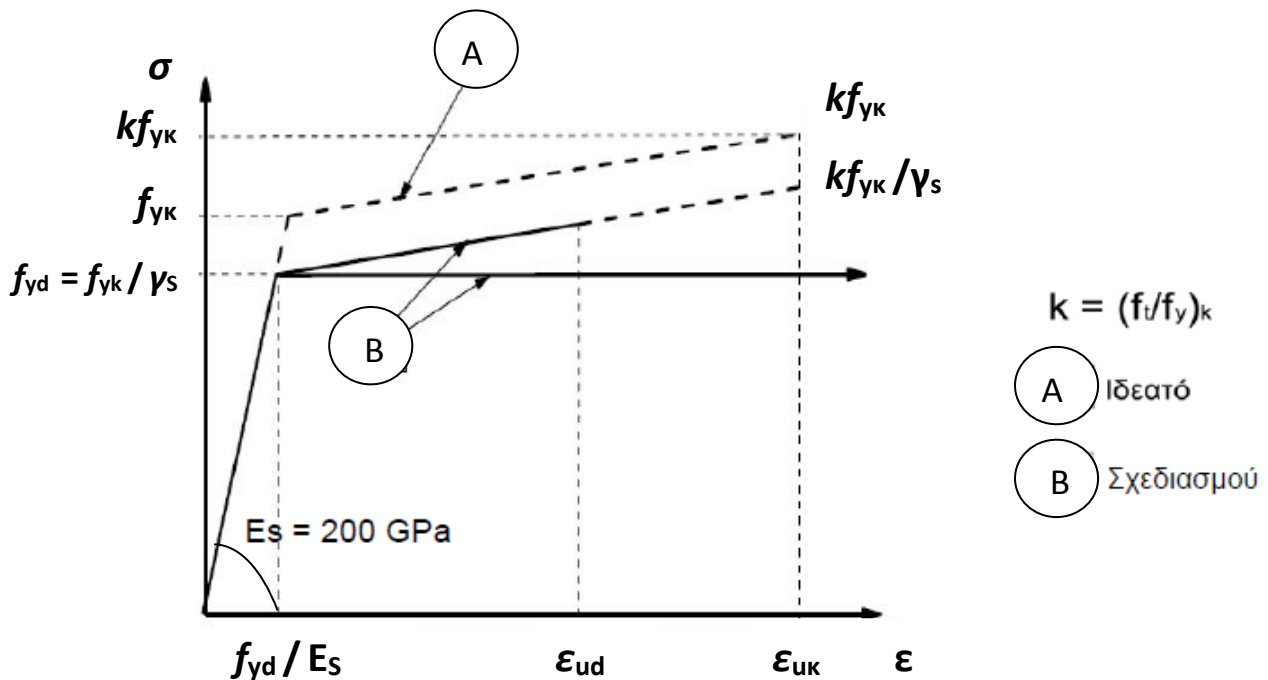
Οι ϵ_{c2} και ϵ_{cu2} λαμβάνονται από τον πίνακα 3.1

Χάλυβας

Μορφή χάλυβα	Ράβδοι και ρολοί ράβδων			Πλέγματα			Απαίτηση ή Πιθανότητα μη η συμμόρφωσης (%)
	A	B	C	A	B	C	
Κατηγορία							-
Χαρακτηριστική αντοχή διαρροής f_{ck} ή $f_{0,2k}$ (MPa)	400 - 600						5.0
Ελάχιστη τιμή του $k=(f_t/f_y)_k$	≥ 1.05	≥ 1.08	≥ 1.15 < 1.35	≥ 1.05	≥ 1.08	≥ 1.15 < 1.35	10.0
Χαρακτηριστική ανηγμένη παραμόρφωση στην μέγιστη δύναμη, ϵ_{uk} (%)	≥ 2.5	≥ 5.0	≥ 7.5	≥ 2.5	≥ 5.0	≥ 7.5	10.0

Πίνακας 3.4 Μηχανικές Ιδιότητες Χάλυβα

Διάγραμμα σ_s και ϵ_s ιδεατό και σχεδιασμού χάλυβα



Σχήμα 3.2.4 Σχηματικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων

3.3 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

Η κατασκευή θα πρέπει να είναι ανθεκτική, έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις λειτουργικότητας, αντοχής και ευσταθείας καθ' όλη την διάρκεια της ζωής της, χωρίς την σημαντική απώλεια χρηστικότητας και την ανάγκη υπερβολικής συντήρησης.

Οι κυριότερες κατηγορίες έκθεσης (κατά EN206-1) παρουσιάζονται παρακάτω:

- **XO** χωρίς κίνδυνο διάβρωσης ή προσβολής
- **XC** διάβρωση από ενανθράκωση (1/4)
- **XD** διάβρωση από χλωριούχα (1/3)
- **XS** διάβρωση από χλωριούχα θαλασσινού νερού (1/3)
- **XF** προσβολή ψύξης-απόψυξης (1/4)
- **XA** χημική προσβολή (1/3)

Παρακάτω παρατίθενται τρεις πίνακες από τους όποιους μπορούμε να βρούμε την ελάχιστη επικάλυψη οπλισμού.

Διάβρωση										
	Διάβρωση οφειλόμενη σε ενανθράκωση				Διάβρωση οφειλόμενη σε χλωρίδια			Διάβρωση οφειλόμενη σε χλωρίδια από θαλασσινό νερό		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
Ενδεικτική κατηγορία αντοχής	C20/25	C25/30	C30/37		C30/37		C35/45	C30/37	C35/45	
Βλάβες στο Σκυρόδεμα										
	Κανένας Κίνδυνος	Προσβολή από παγετό / επανυγροποίηση				Χημική προσβολή				
	X0	XF1	XF2	XF3		XA1	XA2	XA3		
Ενδεικτική κατηγορία αντοχής	C12/15	C30/37	C25/30	C30/37		C30/37		C35/45		

Πίνακας 3.5 Κατηγορίες συνθηκών περιβάλλοντος

Κριτήριο	Κατηγορία έκθεσης						
	X0	XC1	XC2/ XC3	XC4	XD1	XD2/ XS1	XD3/XS2 XS3
Χρόνος ζωής σχεδιασμού 100 χρόνια	Αύξηση κατηγ. κατά 2	Αύξηση κατηγ. κατά 2	Αύξηση κατηγ. κατά 2	Αύξηση κατηγ. κατά 2	Αύξηση κατηγ. κατά 2	Αύξηση κατηγ. κατά 2	Αύξηση κατηγ. κατά 2
Κατηγορία αντοχής	≥C30/37 μείωση κατηγ. κατά 1	≥C30/37 μείωση κατηγ. κατά 1	≥C35/45 μείωση κατηγ. κατά 1	≥C40/50 μείωση κατηγ. κατά 1	≥C40/50 μείωση κατηγ. κατά 1	≥C40/50 μείωση κατηγ. κατά 1	≥C45/55 μείωση κατηγ. κατά 1
Λομικό στοιχείο με γεωμετρία πλάκας (η θέση του οπλισμού δεν επηρεάζεται από την διαδικασία κατασκευής)	μείωση κατηγ. κατά 1	μείωση κατηγ. κατά 1	μείωση κατηγ. κατά 1	μείωση κατηγ. κατά 1	μείωση κατηγ. κατά 1	μείωση κατηγ. κατά 1	μείωση κατηγ. κατά 1
Διασφάλιση ειδικού έλεγχου ποιότητας παραγωγής σκυροδέματος	μείωση κατηγ. κατά 1	μείωση κατηγ. κατά 1	μείωση κατηγ. κατά 1	μείωση κατηγ. κατά 1	μείωση κατηγ. κατά 1	μείωση κατηγ. κατά 1	μείωση κατηγ. κατά 1

Πίνακας 3.6 Κατηγορίες κατασκευών

	Περιβαλλοντική απαίτηση για την $c_{min,dur}$ (mm)						
Κατηγορία Κατασκευής	Κατηγορία έκθεσης						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Πίνακας 3.7 Τιμές $c_{min,dur}$ Επικάλυψη οπλισμών

Ονομαστική επικάλυψη ορίζεται ως η ελάχιστη επικάλυψη c_{min} συν την σχεδιαστική ανοχή για την αντιμετώπιση αποκλίσεων Δc_{dev} .

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad (3.3.1)$$

όπου

$$c_{min} = \max\{ c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\text{mm} \} \quad (3.3.2)$$

$c_{min,b}$: ελάχιστη επικάλυψη λόγω απαιτήσεων συνάφειας

$c_{min,dur}$: ελάχιστη επικάλυψη λόγω συνθηκών περιβάλλοντος

Διάταξη ράβδων	Ελάχιστη επικάλυψη $c_{min,b}$ *
Μεμονωμένες	Διάμετρος ράβδου
Δεσμίδα	Ισοδύναμη διάμετρος (Φ_n)
*Εάν η μέγιστη ονομαστική διάσταση των αδρανών είναι μεγαλύτερη από 32mm τότε η $c_{min,b}$ πρέπει να προσαυξάνεται κατά 5mm.	

Πίνακας 3.8 Απαιτήσεις ελαχίστης επικάλυσης $c_{min,b}$ από άποψη συνάφειας

Η τιμή της Δc_{dev} παρατίθεται στο Εθνικό Προσαρτημα κάθε χώρας.
Η συνιστώμενη τιμή είναι 10mm.

- Εάν η κατασκευή υπόκειται σε σύστημα διασφάλισης ποιότητας, στο οποίο ο έλεγχος περιλαμβάνει μετρήσεις της επικάλυψης του σκυροδέματος τότε:

$$10mm \geq \Delta c_{dev} \geq 5mm$$

- Εάν μπορεί να διασφαλιστεί ότι χρησιμοποιείται ένα πολύ ακριβές όργανο μέτρησης και απορρίπτονται όσα στοιχεία δεν συμμορφώνονται (π.χ προκατασκευασμένα στοιχεία) τότε :

$$10mm \geq \Delta c_{dev} \geq 0mm$$

3.4 ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

1) Κάμψη με ή χωρίς αξονική δύναμη

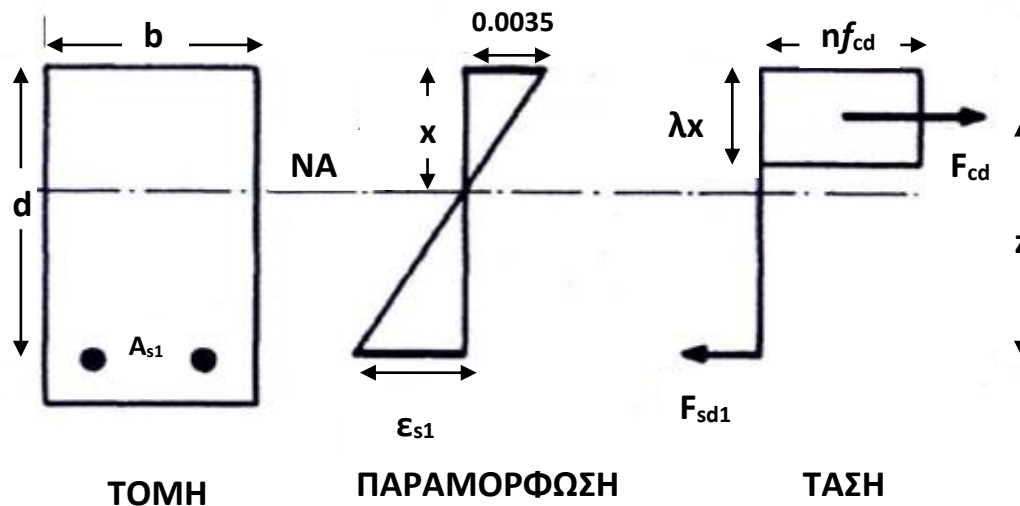
Βασικές παραδοχές

- Επίπεδες διατομές παραμένουν επίπεδες κατά την κάμψη (Bernoulli).
- Οι παραμορφώσεις του οπλισμού, όταν εφελκύεται ή θλίβεται, είναι ίδια με αυτές του γύρω $\epsilon_c = \epsilon_s$.
- Η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος αγνοείται $f_{ct}=0$.

Οριακές καταστάσεις αστοχίας

- Κάμψη με ή χωρίς αξονική δύναμη
- Διάτμηση
- Στρέψη
- Διάτρηση
- Σχεδιασμός βάσει μοντέλων θλιπτήρων – ελκυστήρων
- Αγκυρώσεις και ενώσεις οπλισμών
- Περιοχές που φορτίζονται μερικώς
- Κόπωση

Κάμψη με ή χωρίς αξονική δύναμη



Σχήμα 3.4.1 Ορθογωνική διατομή υπό κάμψη

- $f_{ck} \leq 50\text{MPa}$ τότε $\lambda=0,8$ και $n=1$.
- $50\text{MPa} < f_{ck} \leq 90\text{MPa}$ τότε $\lambda=0,8 - [(f_{ck}-50)/400]$ και $n=1,0 - [(f_{ck}-50)/200]$.

Η αξονική δύναμη N_d δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$N_d = -0,8bx f_{cd} + A_{s1}f_y \quad (3.4.1)$$

Η ροπή M_{sd} δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$M_{sd} = 0,8bx f_{cd} (d - 0,4x) \quad (3.4.2)$$

Το μηχανικό ποσοστό οπλισμού ω δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\omega_1 = (A_{s1}/bd)(f_{yd}/f_{cd}) \quad (3.4.3)$$

Η ανηγμένη ροπή σχεδιασμού μ_{sd} δίνεται από την παρακάτω σχέση:

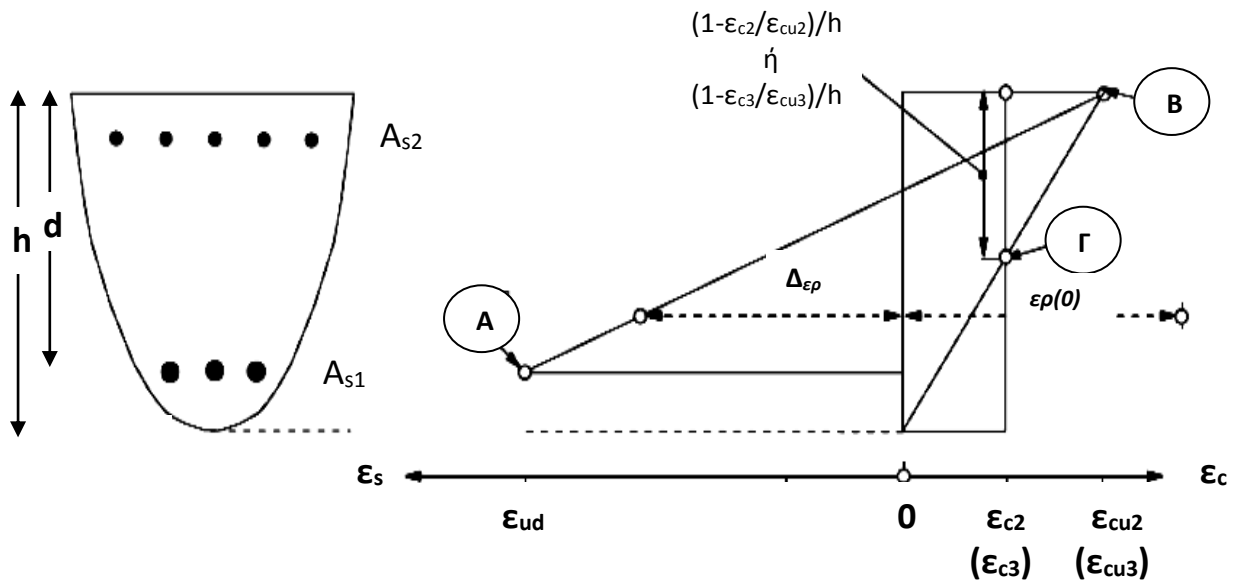
$$\mu_{sd} = M_{sd}/(bd^2 f_{cd}) \quad (3.4.4)$$

Η ανηγμένη αξονική δύναμη σχεδιασμού ν_{sd} δίνεται από την παρακάτω

σχέση:

$$\nu_d = N_d / (bdf_{cd}) \quad (3.4.5)$$

Παρακάτω παρατίθενται το γενικευμένο διάγραμμα παραμορφώσεων μιας διατομής οπλισμένου σκυροδέματος σε οριακή κατάσταση αστοχίας από ορθή καταπόνηση:



Σχήμα 3.4.2 Διατομή υπό κάμψη

- Ⓐ: όριο παραμορφωσης εφελκυόμενου χάλυβα
- Ⓑ: όριο παραμορφωσης θλιβόμενου σκυροδέματος
- Ⓒ: όριο παραμορφωσης σκυροδέματος υπό καθαρή κάμψη

2) Διάτμηση

Αρχές σχεδιασμού κατά EC2

α) $V_{ed} \leq V_{rd,c}$

Μέχρι μια συγκεκριμένη τέμνουσα δύναμη $V_{rd,c}$ δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης (μονό σε δοκούς απαιτείται ένας ελάχιστος οπλισμός διάτμησης).

α) $V_{ed} > V_{rd,c}$

Σ' αυτήν την περίπτωση απαιτείται οπλισμός διάτμησης για την ανάληψη

της πλήρους τέμνουσας δύναμης σχεδιασμού.

V_{ed} : δρώσα τέμνουσα σχεδιασμού

$V_{rd,c}$: τέμνουσα σχεδιασμού που μπορεί να αναληφθεί από στοιχείο χωρίς οπλισμό διάτμησης

Στοιχεία στα οποία δεν απαιτείται στο σχεδιασμό οπλισμός διάτμησης

Η τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε τέμνουσα $V_{rd,c}$ δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$V_{rd,c} = [C_{Rd,c}k(100\rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1\sigma_{cp}]b_wd \geq (v_{min} + k_1\sigma_{cp})b_wd \tag{3.4.6}$$

Όπου

k : $1 + (200/d)^{0.5} \leq 2.0$ με d σε mm

k_1 : 0.15 (σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα)

ρ_l : $A_{sl}/b_wd \leq 0.02$

$V_{rd,c}$ σε N

f_{ck} σε MPa

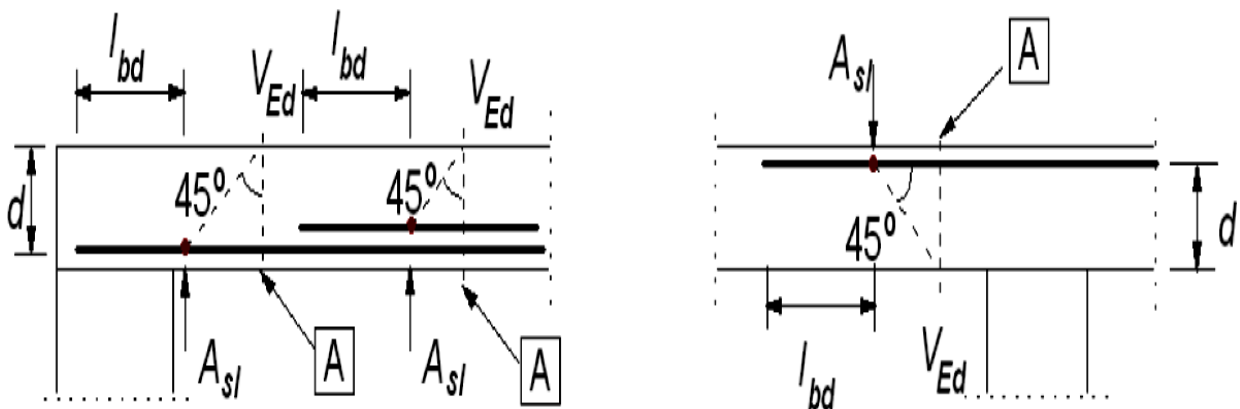
b_w : το ελάχιστο πλάτος της διατομής στην εφελκυόμενη ζώνη mm

σ_{cp} : $N_{Ed}/A_c < 0.2f_{cd}$ (MPa)

N_{Ed} : η αξονική δύναμη στη διατομή (σε N). Η επιρροή των επιβεβλημένων παραμορφώσεων στη N_{Ed} μπορεί να αγνοείται.

A_c : το εμβαδόν της διατομής του σκυροδέματος

A_{sl} : είναι το εμβαδόν του εφελκυόμενου οπλισμού που εκτείνεται σε απόσταση $\geq (l_{bd} + d)$ πέρα από τη θεωρούμενη διατομή.

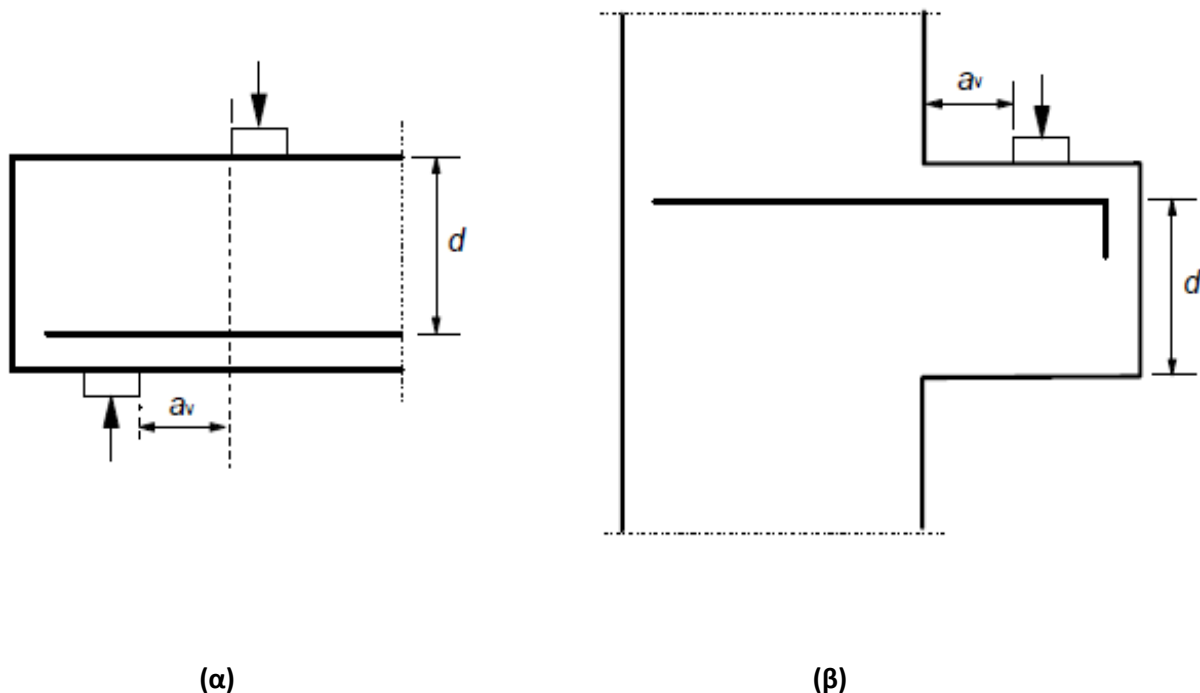


Σχήμα 3.4.2 Διατομή υπό διάτμηση

Η συνιστώμενη τιμή για το $C_{Rd,c}$ είναι $0,18/\gamma_c$ σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, ενώ για το v_{min} δίνεται από την σχέση :

$$v_{min} = 0,035k^{3/2}f_{ck}^{1/2} \quad (3.4.7)$$

Φορτία ασκούμενα σε απόσταση $0,5d \leq a_v \leq 2d$ από την παρειά της στήριξης συμβάλλουν στην μείωση τους στη V_{Ed} βάσει της σχέσης $\beta = a_v/2d$ ($a_v > 0,5d$) και ο διαμήκης οπλισμός πρέπει να αγκυρώνεται πλήρως στην στήριξη.



Σχήμα 3.4.3 Δοκός με άμεση στήριξη(α) και βραχύς πρόβολος(β)

Η τέμνουσα V_{Ed} υπολογιζόμενη χωρίς την μείωση κατά β , θα πρέπει να πληρεί την συνθήκη:

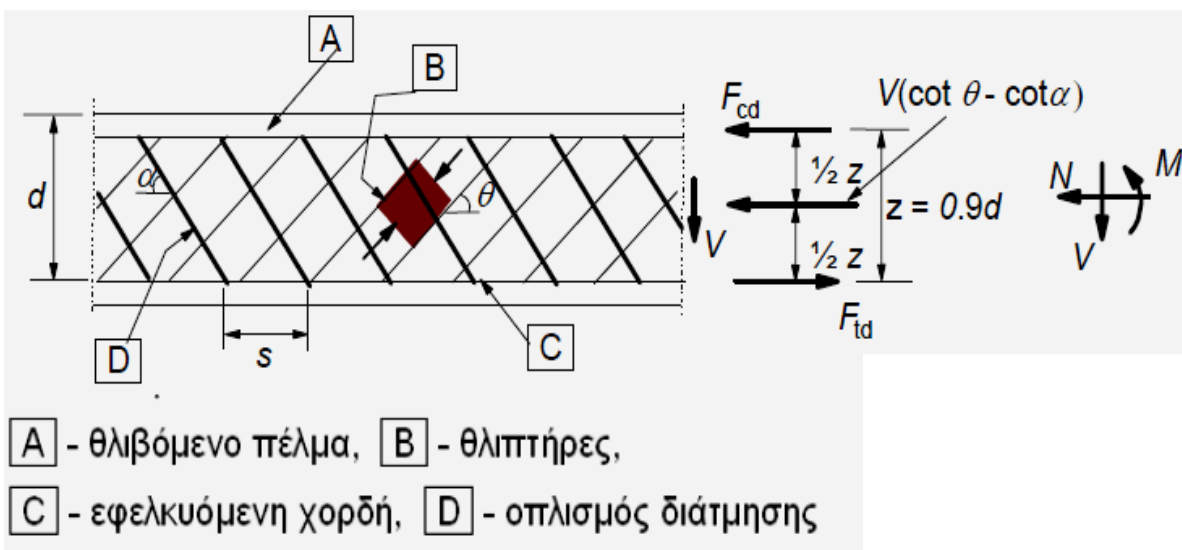
$$V_{Ed} \leq 0,5b_w d v f_{cd} \quad (3.4.8)$$

Όπου v είναι ο συντελεστής μείωσης της αντοχής του λόγω διάτμησης ρηγματωμένου και η τιμή του δίνεται από το αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Η συνιστώμενη τιμή του v δίνεται από την σχέση:

$$v = 0,6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] \quad (3.4.9)$$

Στοιχεία στα οποία απαιτείται στο σχεδιασμό οπλισμός διάτμησης

Εάν $V_{Ed} > V_{rd,c}$ τότε απαιτείται οπλισμός διάτμησης. Ο σχεδιασμός στοιχείων με οπλισμό διάτμησης βασίζεται σε ένα προσομοίωμα δικτύωματος (Σχήμα 3.4.4) με μεταβλητή γωνία των θλιβόμενων διαγωνίων. Τα όρια γωνιάς θλιπτήρων σκυροδέματος είναι: $1 \leq \cot\theta \leq 2,5$ και $45^\circ \geq \theta \geq 21,8^\circ$.



Σχήμα 3.4.4 Δικτύωμα με μεταβλητή γωνία θλιπτήρων

Η μέγιστη τέμνουσα που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο κατά την αστοχία των διαγωνίων θλιπτήρων σκυροδέματος με κατακόρυφο οπλισμό διάτμησης δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$V_{Rd, \max} = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta) = b_w 0,27 d [1 - (f_{ck}/250)] f_{cd} \sin 2\theta \quad (3.4.10)$$

Όπου:

α_{cw} : συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την εντατική κατάσταση στη θλιβόμενη διαγώνιο και είναι ίσος με 1.

b_w : πλάτος διατομής

z : μοχλοβραχίονας και είναι ίσος με $0,9d$

v_1 : δείκτης μείωσης της αντοχής για σκυρόδεμα πραγματωμένο λόγω διάτμησης και δίνεται από την σχέση: $0,6[1 - (f_{ck}/250)]$

Η μέγιστη τέμνουσα που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο κατά την αστοχία των διαγωνίων θλιπτήρων σκυροδέματος με κεκλιμένο οπλισμό διάτμησης δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$V_{Rd, \max} = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} / (\cot\theta + \cot\alpha) / (1 + \cot^2\theta) \quad (3.4.11)$$

Η τέμνουσα σχεδιασμού που μπορεί να αναληφθεί από τον κατακόρυφο οπλισμό διάτμησης τη στιγμή της διαρροής του δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot\theta \quad (3.4.12)$$

Όπου

A_{sw} : εμβαδόν της διατομής του οπλισμού διάτμησης

s : απόσταση συνδετήρων

f_{ywd} : τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του οπλισμού διάτμησης

z : μοχλοβραχίονας και είναι ίσος με $0,9d$

Η τέμνουσα σχεδιασμού που μπορεί να αναληφθεί από τον κεκλιμένο οπλισμό διάτμησης τη στιγμή της διαρροής του δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} (\cot\theta + \cot\alpha) \sin\alpha \quad (3.4.13)$$

3) Στρέψη

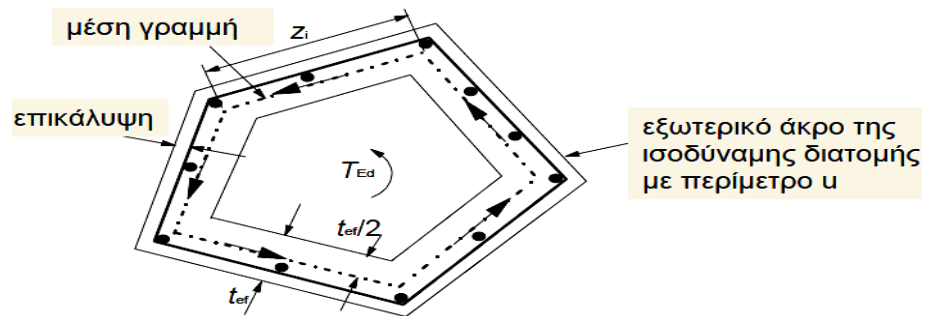
Αρχές σχεδιασμού κατά EC2

i) Ο έλεγχος τόσο σε οριακή κατάσταση αστοχίας όσο και οριακή κατάσταση απαιτείται στην περίπτωση “στρέψης ισορροπίας” και όχι συμβιβαστού των παραμορφώσεων.

ii) Ο υπολογισμός σε στρέψη πραγματοποιείται με βάση το μοντέλο της «λεπτότοιχης κλειστής διατομής», δηλαδή οι συμπαγείς διατομές μετατρέπονται σε ισοδύναμες λεπτότοιχες, ενώ οι σύνθετες διατομές διασπώνται σε επιμέρους προσομοιωμένες ως λεπτότοιχες ($T_{Rd} = \sum T_{Rdi}$). Στις μη συμπαγείς διατομές για το πάχος της λεπτότοιχης πρέπει να ισχύει: $t_{ef} \leq t_{πραγμ.}$

iii) Η κατανομή των ροπών στρέψεως T_E γίνεται βάσει αρηγμάτων δυστρεψιών.

Παρακάτω παρουσιάζεται η προσομοίωση διατομών με βάση το μοντέλο της ισοδύναμης λεπτότοιχης κλειστής διατομής:



Σχήμα 3.4.5 Ισοδύναμη λεπτότοιχη κλειστή διατομή

t_{ef} : πάχος της ισοδύναμης λεπτότοιχης κλειστής διατομής και είναι A/u
 A : συνολικό εμβαδόν της διατομής που περικλύεται από την εξωτερική περίμετρο, συμπεριλαμβανόμενων και των εσωτερικών κενών
 u : εξωτερική περίμετρος της διατομής

Η διατμητική τάση στο τοίχωμα μιας διατομής υπό ροπή στρέψης T_{Ed} δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\tau_{t,i} t_{ef,i} = \frac{T_{Ed}}{2A_k} \quad (3.4.14)$$

Η τέμνουσα $V_{Ed,i}$ λόγω στρέψης δίνεται από την σχέση:

$$V_{Ed,i} = \tau_{t,i} t_{ef,i} z_i \quad (3.4.15)$$

A_k : εμβαδόν που περικλείεται από την μέση γραμμή των επιμέρους τοιχωμάτων, συμπεριλαμβανόμενων και των εσωτερικών κενών
 $\tau_{t,i}$: διατμητική τάση λόγω στρέψης στο τοίχωμα i
 z_i : μήκος του επιμέρους τοιχώματος i οριζόμενο από την απόσταση των σημείων τομής του με τα γειτονικά τοιχώματα

Το πάχος $t_{ef,i}$ πρέπει να είναι μικρότερο από το διπλάσιο της απόστασης μεταξύ του άκρου της διατομής και του κέντρου του διαμήκους οπλισμού

(στις κοίλες διατομές $t_{ef} \leq t_{\text{πραγμ}}$).

Το απαιτούμενο εμβαδόν διαμήκους οπλισμού στρέψης για ανάληψη στρέψης δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\frac{\sum A_{si} f_{yd}}{u_k} = \frac{T_{Ed}}{2A_k} \cot\theta \quad (3.4.16)$$

θ : γωνία των λοξών θλιπτήρων

f_{yd} : τιμή σχεδιασμού τάσης διαρροής του διαμήκους οπλισμού A_{si}

u_k : περίμετρος της περιοχής με εμβαδόν A_k

Στοιχεία τα οποία υπόκεινται σε ταυτόχρονη στρέψη T_{Ed} και διάτμηση V_{Ed} ισχύει:

$$T_{Ed} / T_{Rd,max} + V_{Ed} / V_{Rd,max} \leq 1.0 \quad (3.4.17)$$

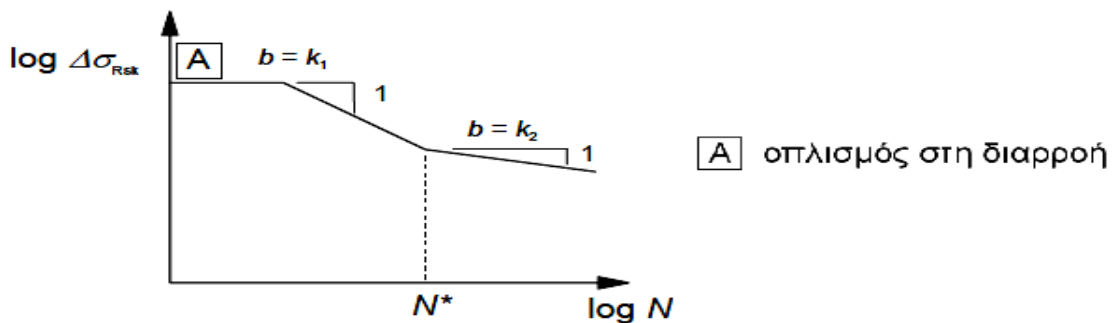
όπου
$$T_{Rd,max} = 2 \nu a_{cw} f_{cd} A_k t_{ef,i} \sin\theta \cos\theta \quad (3.4.18)$$

Για ορθογώνιες συμπαγείς διατομές ισχύει :
$$T_{Ed} / T_{Rd,c} + V_{Ed} / V_{Rd,c} \leq 1.0 \quad (3.4.19)$$

όπου
$$T_{Rd,c} = 2 f_{ctd} t_{ef,i} A_k \quad (3.4.20)$$

4) Κόπωση

Ο έλεγχος σε κόπωση γίνεται σε κατασκευές/δομικά στοιχεία που υπόκεινται τακτικά σε κύκλους φόρτισης, όπως π.χ γερανογέφυρες ή γέφυρες που υπόκεινται σε υψηλά φόρτια κυκλοφορίας.



Σχήμα 3.4.12 Χαρακτηριστική καμπύλη αντοχής σε κόπωση

Η προκύπτουσα αντίσταση σε N^* κύκλους εύρους $\Delta\sigma_{Rsk}$ πρέπει να διαιρείται με το συντελεστή ασφαλείας $\gamma_{s,fat}$.

Η αντοχή σε κόπωση χάλαιου οπλισμού, χάλυβα προέντασης και συνδέσεων δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\gamma_{F,fat} \Delta\sigma_{S,eq}(N^*) \leq \frac{\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)}{\gamma_{s,fat}} \quad (3.4.21)$$

$\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)$: εύρος διακύμανσης για N^* κύκλους, από καμπύλη S-N

$\Delta\sigma_{S,eq}(N^*)$: ισοδύναμο εύρος διακύμανσης τάσεων, για αριθμό κύκλων N^*

Η αντοχή σε κόπωση του σκυροδέματος υπό θλίψη δίνεται από την παρακάτω ανίσωση:

$$E_{cd,max,eq} + 0,43\sqrt{1 - R_{equ}} \leq 1 \quad (3.4.22)$$

Όπου

$$R_{equ} = \frac{E_{cd,min,eq}}{E_{cd,max,eq}}, \quad E_{cd,min,eq} = \frac{\sigma_{cd,min,eq}}{f_{cd,fat}}, \quad E_{cd,max,eq} = \frac{\sigma_{cd,max,eq}}{f_{cd,fat}}$$

(a)

(b)

(c)

(3.4.23 a, b, c)

E_{cd} : στάθμη θλιπτικής τάσης

σ_{cd} : τιμή της τάσης στο εύρος αστοχίας για $N=10^6$ κύκλους

$$f_{cd,fat} = k_1 \beta_{cc}(t_0) f_{cd} \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \quad (3.4.24)$$

$$\beta_{cc} = e^{\left\{s \left[1 - \sqrt{\frac{28}{t}}\right]\right\}} \quad (3.4.25)$$

Έλεγχος σε κόπωση του σκυροδέματος υπό θλίψη

$$\frac{\sigma_{c,max}}{f_{cd,fat}} \leq 0,5 + 0,45 \frac{\sigma_{c,min}}{f_{cd,fat}} \leq 0,9 \text{ για } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad (3.4.26)$$

$$\leq 0,8 \text{ για } f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

Αν η $\sigma_{c,min}$ είναι εφελκυστική, τότε λαμβάνεται $\sigma_{c,min} = 0$.

3.5 ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η διστασιολόγηση των στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα γίνεται με βάση την οριακή κατάσταση αστοχίας. Είναι όμως απαραίτητο να εξασφαλιστεί και η λειτουργικότητα των φορέων. Οι έλεγχοι των οριακών καταστάσεων λειτουργικότητας σχετίζεται με τις απαιτήσεις της κανονικής χρήσης του έργου, καθώς και με την ανθεκτικότητα του στον χρόνο. Ο Ευρωκώδικας 2 διακρίνει τις ακόλουθες οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας:

- α) Ρηγμάτωση
- β) Παραμόρφωση

Έλεγχος έναντι ρηγμάτωσης

Το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι το υλικό που λειτουργεί σε κατάσταση ρηγμάτωσης. Οι ρωγμές δεν μειώνουν τη λειτουργικότητα των κατασκευών όταν παραμένουν τριχοειδείς και δεν επιτρέπουν τη διάβρωση του οπλισμού. Οι μεγάλοι εύρους ρωγμές προκαλούν αύξηση της διαπερατότητας, αύξηση των παραμορφώσεων και διάβρωση των οπλισμών.

Για το εύρους των ρωγμών θα πρέπει:

- α) να τηρούνται οι κατασκευαστικοί κανόνες επιτρεπόμενων μέγιστων διαμέτρων ή αποστάσεων των ράβδων του οπλισμού
- β) να τοποθετείται ο ελάχιστος οπλισμός που προβλέπεται από τον κανονισμό

Η εμφάνιση ρωγμών είναι συνήθεις στις κατασκευές από σκυρόδεμα που υπόκεινται σε κάμψη, διάτμηση, στρέψη, ή εφελκυσμό που προέρχεται είτε από άμεση φόρτιση, είτε από παρεμπόδιση των επιβαλλόμενων παραμορφώσεων όπως συρρίκνωση ή θερμοκρασιακές μεταβολές. Επίσης, ρωγμές μπορούν να προκληθούν από πλαστική συστολή ξήρανσης, διάβρωση του οπλισμού και από χημικές αντιδράσεις εντός του σκληρυμένου σκυροδέματος που προκαλούν διόγκωση.

Πρέπει να καθοριστεί μια υπολογιστική τιμή του ανεκτού εύρους ρήγματος, w_{max} λαμβάνοντας υπόψη την προτεινόμενη λειτουργία και την φύση της κατασκευής, καθώς και το κόστος του περιορισμού της

ρηγμάτωσης. Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας με τις συνιστώμενες τιμές του w_{max} σε σχέση με την κατηγορία περιβαλλοντικών συνθηκών.

Κατηγορία Περιβαλλοντικών συνθηκών	Οπλισμένα και προεντεταμένα στοιχεία με τένοντες χωρίς συνάφεια	Προεντεταμένα στοιχεία με τένοντες με συνάφεια
Συνδυασμός δράσεων	<i>Οιονεί-μόνιμος</i>	<i>Συχνός</i>
X0, XC1	0,4	0,2
XC2, XC3, XC4		0,2
XD1, XD2, XS1 XS2, XS3	0,3	<i>Απόθλιψη</i>

Πίνακας 3.9 Συνιστώμενες τιμές του w_{max} (mm)

Για να περιοριστεί η ρηγμάτωση απαιτείται ένα ελάχιστο ποσοστό οπλισμού. Ο ελάχιστος οπλισμός έναντι ρηγμάτωσης δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$A_{s,min} \sigma_s = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} \quad (3.5.1)$$

Όπου

k_c : συντελεστής για να ληφθεί υπόψη η ανακατανομή των τάσεων εντός της διατομής αμέσως πριν την ρηγμάτωση και την αλλαγή του μοχλοβραχίονα (εφελκυσμό $k_c=1.0$ και για καθαρή θλίψη $k_c=0,4$).

k : συντελεστής για να ληφθεί υπόψη η επιρροή των ανομοιομορφων αυτοισορροπούμενων τάσεων που οδηγούν σε μείωση των δυνάμεων που προκύπτουν λόγω παρεμπόδισης της παραμόρφωσης.

$k = 1$ για κορμούς με $h \leq 300\text{mm}$ ή πέλματα με πλάτη $< 300\text{mm}$

$k = 0,65$ για κορμούς με $h \geq 800\text{mm}$ ή πέλματα με πλάτη $> 800\text{mm}$

$f_{ct,eff}$: μέση τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος που ισχύει τη στιγμή που τα ρήγματα αναμένεται να δημιουργηθούν για πρώτη φορά : $f_{ct,eff} = f_{ctm}$

A_{ct} : εμβαδόν του σκυροδέματος της εφελκυσόμενης ζώνης, η οποία είναι το τμήμα εκείνο της διατομής που υπολογίζεται ότι βρίσκεται υπό εφελκυσμό αμέσως πριν την εμφάνιση της ρηγμάτωσης.

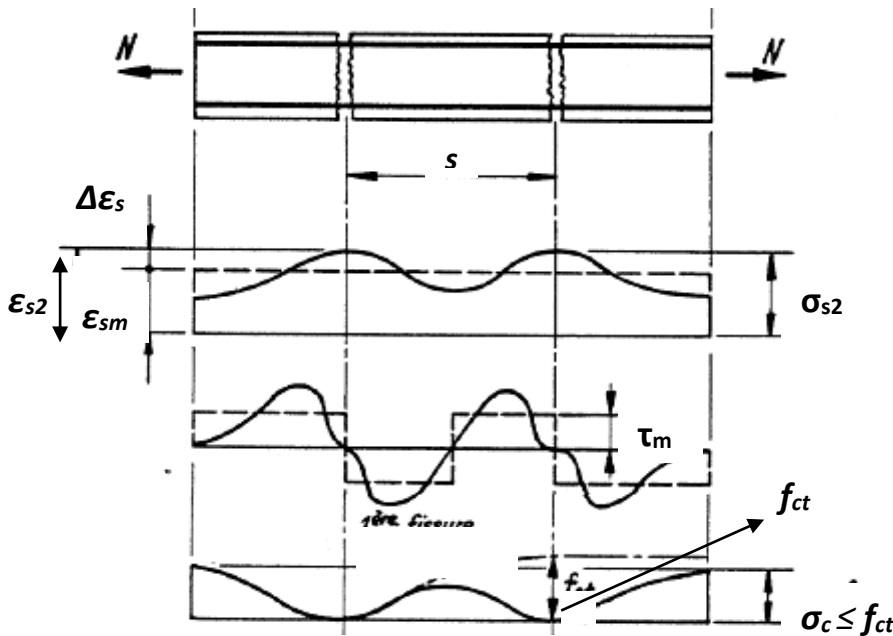
σ_s : απολυτή τιμή της μέγιστης επιτρεπομένης τάσης του οπλισμού αμέσως μετά την εμφάνιση της ρηγμάτωσης. Αυτή μπορεί να λαμβάνεται όση προς το όριο διαρροής του οπλισμού, f_{yk} . Ωστόσο, μπορεί να απαιτείται η χρήση χαμηλότερης τιμής για να ικανοποιούνται τα όρια του εύρους

ρωγμής συμφώνα με τους περιορισμούς στη διάμετρο ή την απόσταση των ράβδων.

Το εύρος ρωγμής δίνεται από την παρακάτω σχέση: $w_k = s_{r,max}(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ (3.5.2)

όπου $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + a_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$ (3.5.3)

$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$ (3.5.4)



Σχήμα 3.5.1 Τάσεις και παραμορφώσεις σε ρηγματωμένη δοκό

Τάση χάλυβα [MPa]	Μέγιστη διάμετρος ράβδων [mm]		
	$w_k = 0.4mm$	$w_k = 0.3mm$	$w_k = 0.2mm$
160	40	32	25
200	32	25	46
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

Πίνακας 3.10 Μέγιστες διαμέτρους ράβδων ϕ_s για περιορισμό ρηγμάτωσης*

Τάση χάλυβα [MPa]	Μέγιστη απόσταση ράβδων [mm]		
	$w_k = 0.4\text{mm}$	$w_k = 0.3\text{mm}$	$w_k = 0.2\text{mm}$
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

Πίνακας 3.11 Μέγιστη απόσταση ράβδων για περιορισμό ρηγμάτωσης*

*Σημείωση: $c=25\text{mm}$, $f_{ct,eff}=2.9\text{MPa}$, $h_{cr}=0.5$, $(h-d)=0.1h$, $k_1=0.8$, $k_2=0.5$,
 $k_c=0.4$, $k=1.0$, $k_t=0.4$, $k'=1.0$.

Έλεγχος έναντι παραμορφώσεων

Με τον ορό “παραμόρφωση” νοούνται μια σειρά από διαφορετικά μεγέθη. Η έμφαση του κανονισμού δίνεται στα βέλη κάμψης των πλακών και των δοκών. Οι κυριότεροι λόγοι που επιβάλλουν τον έλεγχο των παραμορφώσεων είναι:

- α) μείωση της λειτουργικότητας της κατασκευής λόγω υπερβολικών παραμορφώσεων
- β) βλάβες στα μη φέροντα στοιχεία, με συνηθέστερη τη λοξή ρηγμάτωση των τοιχοποιιών που στηρίζονται σε πλάκες ή δοκούς με έντονο βέλος κάμψης.

Τα όρια των βελών κάμψης σε δοκούς/πλάκες υπό τα οιονεί-μόνιμα φορτία πρέπει να πρέπει να υπακούν τις παρακάτω ανισώσεις:

- i) $\delta \leq l/250$ για να μην βλαφθεί η εμφάνιση και η εν γένει χρησιμότητα τους
- ii) $\delta \leq l/500$ για στοιχεία μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής για να μην βλαφθούν ευαίσθητα γειτονικά στοιχεία

Ο έλεγχος των παραμορφώσεων μπορεί να γίνεται είτε:

- α) απλοποιητικά μέσω περιορισμού του λόγου l/d
- β) ακριβέστερα μέσω υπολογισμού τους

Ο λόγος l/d μπορεί να υπολογίζεται από τις σχέσεις 3.5.5 και 3.5.6 ή από τον πίνακα 3.12 που παρατίθεται παρακάτω.

Εάν $\rho \leq \rho_o$ τότε:

$$\frac{l}{d} = K \left[11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_o}{\rho} + 3,2\sqrt{f_{ck}} \left(\frac{\rho_o}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right] \quad (3.5.5)$$

Εάν $\rho > \rho_o$ τότε:

$$\frac{l}{d} = K \left[11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_o}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_o}} \right] \quad (3.5.6)$$

Όπου

l/d : επιτρεπόμενος λόγος άνοιγμα/ύψος

K : συντελεστής που εξαρτάται από το δομικό σύστημα και συνιστώμενες τιμές του Πίνακα 3.12.

ρ_o : απαιτούμενο ποσοστό εφελκόμενου οπλισμού για την παραλαβή της ροπής λόγω φορτιών σχεδιασμού στο κέντρο του ανοίγματος(για προβόλους στη στήριξη)

ρ : απαιτούμενο ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού για την παραλαβή της ροπής λόγω φορτιών σχεδιασμού στο κέντρο του ανοίγματος (για προβόλους στη στήριξη)

f_{ck} : σε MPa

Οι σχέσεις 3.5.5. και 3.5.6 έχουν εξαχθεί με την παραδοχή ότι η τάση σε μια ρηγματωμένη διατομή στο κέντρο του ανοίγματος μιας δοκού, ή στη στήριξη ενός προβόλου, είναι 310 MPa ($\approx f_{yk} = 500\text{MPa}$). Όταν χρησιμοποιούνται άλλες στάθμες τάσεων, οι τιμές που προκύπτουν από τις σχέσεις 3.5.5. και 3.5.6 πρέπει να πολλαπλασιάζονται με $310/\sigma_s$. Επίσης, ισχύει :

$$310/\sigma_s = 500/(f_{yk}A_{s,req} / A_{s,prov}) \quad (3.5.7)$$

σ_s : εφελκυστική τάση του χάλυβα στο κέντρο του ανοίγματος(για προβόλους στη στήριξη) υπό τα φορτία σχεδιασμού για την ΟΚΛ

$A_{s,prov}$: εμβαδόν του οπλισμού που τοποθετείται στη ανωτέρω διατομή

$A_{s,req}$: εμβαδόν του οπλισμού που απαιτείται στη διατομή για την ΟΚΑ

Σε διατομές με πέλματα , όπου ο λόγος του πλάτους του πέλματος προς το πάχος του κορμού > 3 , τότε ο l/d πολλαπλασιάζεται με το **0.8**.

Σε δοκούς ή πλάκες, πλην των μυκητοειδών πλακών, με ανοίγματα πάνω από **7m** που φέρουν διαχωριστικά ευαίσθητα σε βλάβες από υπερβολική βύθιση , οι τιμές του l/d πολλαπλασιάζονται με το $7/l_{eff}$.

Παρακάτω παρατίθενται πίνακας με τις συνιστώμενες τιμές το Κ. Επίσης, δίνονται οι τιμές για τον λόγο l/d για συνήθεις περιπτώσεις (C30, $\sigma_s=310$ MPa).

Δομικό σύστημα	Κ	Σκυρόδεμα υπό υψηλή τάση $\rho_o = 1,5\%$	Σκυρόδεμα υπό υψηλή τάση $\rho_o = 0,5\%$
Αμφιέριστη δοκός ή πλάκα κατά μια ή δυο διευθύνσεις	1.0	14	20
Ακραίο άνοιγμα συνεχούς δοκού ή πλάκας κατά μια διεύθυνση, ή πλάκας κατά δυο διευθύνσεις συνεχούς κατά μήκος μιας επιμήκους πλευράς	1.3	18	26
Μεσαίο άνοιγμα δοκού ή πλάκας κατά μια ή δυο διευθύνσεις	1.5	20	30
Πλάκα επί υποστυλωμάτων χωρίς δοκούς (μυκητοειδής)(έλεγχος βάσει του μεγαλυτέρου ανοίγματος)	1.2	17	24
Πρόβολος	0.4	6	8

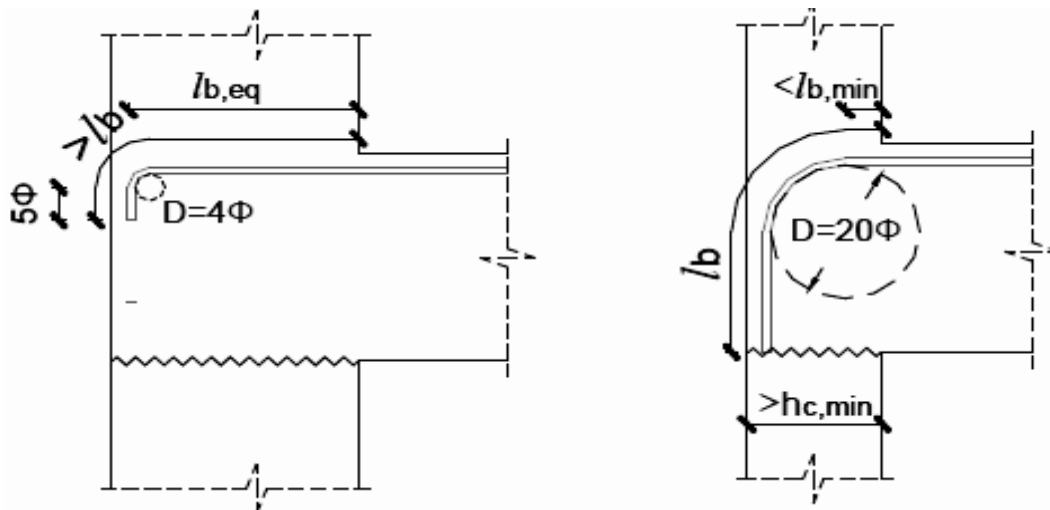
Πίνακας 3.12 Βασικοί λόγοι l/d για στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα χωρίς αξονική σύνθλιψη

3.6 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

Το μήκος αγκύρωσης δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$l_b = \frac{\Phi \sigma_{sd}}{4 f_{bd}} \quad (3.6.1)$$

Εάν $l_{b,eq} + 5\Phi > l_b$ τότε το τύμπανο αγκύρωσης είναι 4Φ ή 7Φ
 Εάν $l_{b,eq} + 5\Phi < l_b$ τότε το τύμπανο αγκύρωσης είναι $\approx 20\Phi$



Σχήμα 3.6.1 Μήκος αγκύρωσης

Η τάση συνάφειας f_{bd} δίνεται από την σχέση : $f_{bd} = 2,25\eta_1\eta_2f_{ctd}$ (3.6.2)
 όπου

η_1 : συντελεστής σχετικά με τις συνθήκες συνάφειας (για καλές συνθήκες είναι 1, ενώ για κακές συνθήκες είναι 0,7)

η_2 : συντελεστής σχετικά με την διάμετρο της ράβδου (εάν $\Phi \leq 32\text{mm}$ τότε $\eta_2=1$, ενώ εάν $\Phi > 32\text{mm}$ τότε $\eta_2=(132-\Phi)/100$)

Το μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού δίνεται από την σχέση:

$$l_{bd} = \alpha_1\alpha_2\alpha_3\alpha_4\alpha_5l_{b,rqd} \geq l_{b,min} \quad (3.6.3)$$

α_1 : μορφή διατομών

α) Για ευθύγραμμη αγκύρωση το $\alpha_1=1.0$.

β) Εάν η επικάλυψη $c_d > 3\Phi$ τότε $\alpha_1=0.7$, αλλιώς $\alpha_1=1.0$.

γ) Για ράβδους $> \Phi 8$ τότε $\alpha_1=1.0$.

δ) Για μη ευθύγραμμη αγκύρωση, εάν η απόσταση μεταξύ των ράβδων $s \geq 7\Phi$ τότε $\alpha_1=0.7$.

α_2 : επιρροή της ελαχίστης επικάλυψης σκυροδέματος

α) Για ευθύγραμμη αγκύρωση $\alpha_2 = 1 - 0,15(c_d - \Phi)/\Phi \geq 0.7 \leq 1.0$

β) Για $\Phi \leq 20$ τότε το $\alpha_2 < 1.0$.

α_3 : επιρροή της περίσφιξης μέσω εγκαρσίου οπλισμού

α) Για όλες τις διαμέτρους ράβδων $\alpha_3 = 1 - K\lambda \geq 0.7 \leq 1.0$

K : συντελεστής που εξαρτάται από την θέση του οπλισμού. Για γωνιακή ράβδο σε δοκάρι $K \leq 1.0$. Επίσης, οι τιμές του K δίνονται στον Πίνακα 3.6.2
 λ : ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού

α_4 : επίδραση μιας ή περισσοτέρων συγκολλημένων εγκάρσιων ράβδων
 Εάν ο συγκολλημένος εγκάρσιος οπλισμός πληρεί τις απαιτήσεις που δίνονται στον Πίνακα 3.6.3, τότε $\alpha_4 = 0.7$, αλλιώς $\alpha_4 = 1.0$.

α_5 : επιρροή της πίεσης

Για όλα τα είδη ράβδων ισχύει ότι $\alpha_5 = 1 - 0.04p \geq 0.7 \leq 1.0$, όπου p είναι η εγκάρσια πίεση(MPa), στην οριακή κατάσταση αστοχίας σε όλο το μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού, l_{bd} .

Το ελάχιστο μήκος αγκύρωσης $l_{b,min}$ δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$\max\{0.3/l_{b,rqd}, 10\Phi, 100mm\}$ για αγκύρωση εφελκυσμού

$\max\{0.6/l_{b,rqd}, 10\Phi, 100mm\}$ για αγκύρωση θλίψης

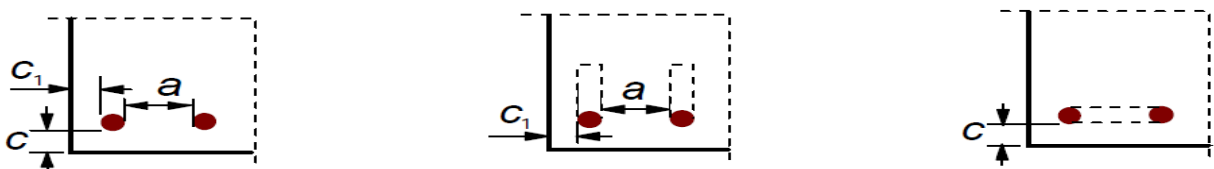
Το μήκος υπερκάλυψης δίνεται από την σχέση:

$$l_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,rqd} \geq l_{0,min} \quad (3.6.4)$$

όπου

$$l_{0,min} = \max\{0.3\alpha_6/l_{b,rqd}, 15\Phi, 200mm\}$$

α_6 : συντελεστής που βασίζεται στο ποσοστό γυρισμένων ράβδων και είναι ίσος με $(\rho_l/25)^{0.5} \geq 1.0 \leq 1.5$, όπου ρ_l είναι το ποσοστό του περιτυλιγμένου οπλισμού μέσα σε $0.65l_0$, από το κέντρο του μήκους του γύρου



a) Straight bars

$$c_d = \min(a/2, c_1, c)$$

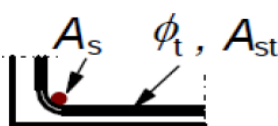
b) Bent or hooked bars

$$c_d = \min(a/2, c_1)$$

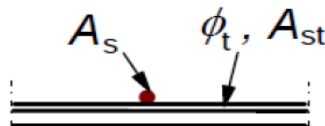
c) Looped bars

$$c_d = c$$

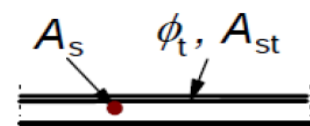
Σχήμα 3.6.2 Τιμές για c_d



$$K = 0,1$$



$$K = 0,05$$



$$K = 0$$

Σχήμα 3.6.3 Τιμές για K

4° ΚΕΦΑΛΑΙΟ **Αντισεισμικός** **Σχεδιασμός**

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Ευρωκώδικας 8 εφαρμόζεται στην μελέτη και κατασκευή κτιρίων και έργων πολιτικού μηχανικού σε σεισμικές περιοχές. Στόχος του είναι να διασφαλιστεί ότι σε περίπτωση σεισμού, πρώτον θα παρέχεται προστασία της ανθρωπίνης ζωής, δεύτερον οι βλάβες θα είναι περιορισμένες και τρίτον τα έργα που είναι σημαντικά για την αστική προστασία θα παραμείνουν σε λειτουργικά.

Περιέχει βασικές απαιτήσεις συμπεριφοράς και κριτήρια συμμόρφωσης που εφαρμόζονται σε κτίρια και έργα πολιτικού μηχανικού, καθώς επίσης και κανόνες για την προσομοίωση των σεισμικών δράσεων και για τον συνδυασμό τους με άλλες δράσεις.

Στα επόμενα υποκεφάλαια παρουσιάζονται γενικές γνώσεις από τον Ευρωκώδικα 8.

4.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΩΝ

Ο Ευρωκώδικας ορίζει συνολικά 7 κατηγορίες εδαφών, A, B, C, D, E, S₁ και S₂, έκτων όποιων μονό στις πέντε πρώτες επιτρέπεται ο σχεδιασμός και η κατασκευή δομικών έργων σύμφωνα με τις μεθόδους που θα αναλυθούν παρακάτω, ενώ για τις κατηγορίες S₁ και S₂ απαιτούνται ειδικές μελέτες. Συγκεκριμένα, για την S₁ πρέπει να ληφθεί υπόψη η πιθανότητα αστοχίας του εδάφους, ενώ για την S₂ πρέπει να καθοριστεί η τοπική μεγένθυση και η αλληλεπίδραση εδάφους- κατασκευής.

Η κατάταξη των εδαφών γίνεται με βάση την ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων $v_{s,30}$, εάν είναι εφικτή, διαφορετικά εφαρμόζεται η τιμή N_{SPT} (αριθμός κρούσεων για πρότυπη διείδυση 30cm). Η ταχύτητα $v_{s,30}$ αντιστοιχεί στην μέση ταχύτητα των διατμητικών κυμάτων στα ανώτε-

ρα 30m του εδάφους και υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$v_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}} \quad (4.2.1)$$

όπου

h_i : πάχος στρώματος

v_i : ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων στρώματος

N : πλήθος στρωμάτων στα ανώτερα 30 m εδάφους

Κατηγορία Εδάφους	Περιγραφή στρωματογραφίας	$v_{s,30}$	N_{SPT}	c_u (kPa)
A	Βράχος ή γεωλογικό στρώμα όμοιου βράχου που περιλαμβάνει το πολύ 5m ασθενέστερου επιφανειακού υλικού	>800	-	-
B	Πυκνή άμμος, πυκνοί χάλικες, ή πολύ στιφρή άργιλος, πάχους αρκετών δεκάδων μέτρων, που χαρακτηρίζονται από βαθμιαία αύξηση των μηχανικών χαρακτηριστικών τους με το βάθος τους	360-800	>50	>250
C	Βαθιές εναποθέσεις πυκνής άμμου ή άμμου μετρίου πυκνότητας ή στιφρής αργίλου με πάχος που εκτείνεται από μερικές δεκάδες έως πολλές εκατοντάδες μέτρα	180-360	15-50	70-250
D	Εναποθέσεις από χάλιλο έως μέτριο έδαφος χωρίς συνοχή (με ή χωρίς μαλακές στρώσεις συνεκτικών υλικών) ή έδαφος από μαλακό έως μετρίως σκληρό και συνεκτικό	<180	<15	<70
E	Εδαφική τομή που αποτελείται από ένα επιφανειακό στρώμα ιλύος με τιμές v_s C ή D και πάχος μεταξύ 5m και 20m με υπόστρωμα από πιο σκληρό υλικό με $v_s > 800$ m/s			

S₁	Αποθέσεις που αποτελούνται ή που περιέχουν ένα στρώμα πάχους τουλάχιστον 10m μαλακών ιλών/αργίλων με υψηλό δείκτη πλαστικότητας (PI >40) και υψηλή περιεκτικότητα σε νερό	<100	-	10-20
S₂	Στρωματά ρευστοποιήσιμων εδαφών, ευαίσθητων αργίλων, ή οποιαδήποτε άλλη εδαφική τομή που δεν περιλαμβάνεται στους τύπους A-E ή S ₁			

Πίνακας 4.1 Κατηγορίες εδαφών

4.3 ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ-ΕΔΑΦΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ

Η εδαφική επιτάχυνση α_{gR} αντιπροσωπεύει τη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση του εδάφους κατηγορίας A. Η τιμή της α_{gR} εξαρτάται από την σεισμικότητα της περιοχής. Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, για τις ζώνες Z1, Z2, Z3 υιοθετούνται οι ζώνες I, II και III του ΕΑΚ, όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Τιμές α_{gR}/g	
Ζώνη	α_{gR}/g
Z1	0.16
Z2	0.24
Z3	0.36

Πίνακας 4.2 Τιμές α_{gR}/g

Η τιμή αναφοράς α_{gR} της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης για έδαφος κατηγορίας A, αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς $T_{NCR}=475$ έτη, όπου T_{NCR} είναι η περίοδος επανάληψης της σεισμικής δράσης που ικανοποιεί το κριτήριο της μη κατάρρευσης. Για διαφορετικές περιόδους επαναλήψεις ορίζεται συντελεστής σπουδαιότητας γ_i και η επιτάχυνση σχεδιασμού για έδαφος A δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\alpha_g = \gamma_i \alpha_{gR} \quad (4.3.1)$$

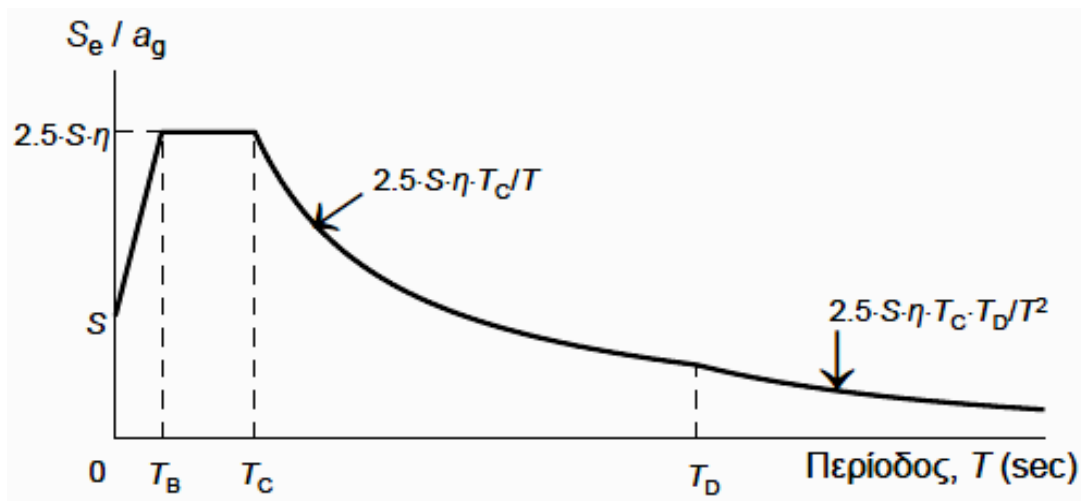
Για το συντελεστή σπουδαιότητας ορίζονται τέσσερις κατηγορίες: I, II, III, IV, με βάση τον κίνδυνο για ανθρώπινες ζωές και τις κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις που είναι δυνατόν να έχει ενδεχόμενη καταστροφή ή διακοπή της λειτουργιάς τους και ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του σεισμού και αμέσως μετά (ομοίως κατά ΕΑΚ). Για κάθε κατηγορία σπουδαιότητας χει υπολογιστεί και η αντίστοιχη τιμή του συντελεστή γ_I . Παρακάτω παρουσιάζονται οι τέσσερις κατηγορίες (**Πίνακας 4.3**) με την τιμή του συντελεστή γ_I σε κάθε κατηγορία.

Κατηγορία Σπουδαιότητας	γ_I	Περιγραφή
I	0.80	Κτίρια δευτερεύουσας σημασίας για τη δημόσια ασφάλεια π.χ γεωργικά κτίρια
II	1.00	Συνήθη κτίρια που δεν ανήκουν στις άλλες κατηγορίες
III	1.20	Κτίρια των όποιων η απόκριση έναντι σεισμικών δράσεων έχει σημασία από άποψη των συνεπειών της κατάρρευσης τους π.χ σχολεία, μουσεία κ.α
IV	1.40	Κτίρια των όποιων η ακεραιότητα κατά τη διάρκεια σεισμών είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία των πολιτών π.χ νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, σταθμοί παραγωγής ενέργειας

Πίνακας 4.3 Συντελεστής σπουδαιότητας γ_I

4.4 ΕΛΑΣΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

Οι σεισμικές δράσεις οι οποίες θεωρούνται στατιστικά αναμενόμενες κατά τη διάρκεια της ζωής του έργου και για τις οποίες απαιτείται να γίνεται ο σχεδιασμός, συνήθως αντιπροσωπεύονται από ένα ελαστικό φάσμα, το οποίο ονομάζεται *ελαστικό φάσμα απόκρισης*. Το ελαστικό φάσμα απόκρισης εφαρμόζεται για σχεδιασμό κατασκευών, οι οποίες θέλουμε να συμπεριφέρονται ελαστικά στο σεισμό σχεδιασμό. Η γενική μορφή του ελαστικού φάσματος επιταχύνσεων δίνεται στο **Σχήμα 4.4.1**.



Σχήμα 4.4.1 Γενική μορφή ελαστικού φάσματος σχεδιασμού

Διακρίνονται οι έξης περιοχές:

- α) Για $T_B \leq T \leq T_C$: Περιοχή σταθερής φασματικής επιτάχυνσης
- β) Για $T_C \leq T \leq T_D$: Περιοχή σταθερής φασματικής ταχύτητας
- γ) Για $T_D \leq T \leq 4.0s$: Περιοχή σταθερής φασματικής μετακίνησης

Για κατασκευές με συντελεστή σπουδαιότητας $\gamma_I > 1$ πρέπει να ληφθεί υπόψη η τοπική τοπογραφική ενίσχυση. Η τοπογραφική ενίσχυση μπορεί να λαμβάνεται υπόψη μέσω του συντελεστή μεγέθυνσης S_T , με τον όποιο πολλαπλασιάζονται οι φασματικές τιμές.

Περιγραφή	Μέση κλίση	S_T
Μεμονωμένοι λόφοι και πρηνή	$i < 15$	1.00
	$i > 15$	≥ 1.20
Κορυφογραμμές με πλάτος στρέψης σημαντικά μικρότερο από το πλάτος βάσης	$i < 15$	1.00
	$15 < i < 30$	≥ 1.20
	$i > 30$	≥ 1.40
Περίπτωση 1 και παρουσία χαλαρής επιφανειακής στρώσης	$i < 15$	1.00
	$i > 15$	≥ 1.44
Περίπτωση 2 και παρουσία χαλαρής επιφανειακής στρώσης	$i < 15$	1.00
	$15 < i < 30$	≥ 1.44
	$i > 30$	≥ 1.68

Σχήμα 4.4.2 Τιμή S_T για θέση σε άκρον πρηνούς

4.5 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Η ελαστική επιτάχυνση σχεδιασμού σε κάθε περιοχή δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$S_e(T) = \alpha_g S \left[1 + \frac{T}{T_B} (\eta 2.5 - 1) \right] \quad \text{για } 0 \leq T \leq T_B \quad (4.5.1)$$

$$S_e(T) = \alpha_g S \eta 2.5 \quad \text{για } T_B \leq T \leq T_C \quad (4.5.2)$$

$$S_e(T) = \alpha_g S \eta 2.5 \frac{T_C}{T} \quad \text{για } T_C \leq T \leq T_D \quad (4.5.3)$$

$$S_e(T) = \alpha_g S \eta 2.5 \frac{T_C T_D}{T^2} \quad \text{για } T_D \leq T \leq 4s \quad (4.5.4)$$

όπου

$$\alpha_g = \gamma_I \alpha_{gR}$$

S: συντελεστής εδάφους

η : συντελεστής απόσβεσης. Για $\xi=5\%$ τίθεται $\eta=1$, δηλαδή οι παραπάνω σχέσεις αντιστοιχούν σε απόσβεση 5%. Για διαφορετικές τιμές απόσβεσης, η τιμή του η υπολογίζεται από την σχέση:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \geq 0.55 \quad (4.5.5)$$

Κατηγορία Εδάφους	S	T _B (sec)	T _C (sec)	T _D (sec)
A	1.00	0.15	0.40	2.50
B	1.20	0.15	0.50	2.50
C	1.15	0.20	0.60	2.50
D	1.35	0.20	0.80	2.50
E	1.40	0.15	0.50	2.50

Πίνακας 4.4 Τιμές χαρακτηριστικών περιόδων και συντελεστή εδάφους

4.6 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Η ελαστική επιτάχυνση σχεδιασμού σε κάθε περιοχή δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$S_{ve}(T) = \alpha_{vg} \left[1 + \frac{T}{T_B} (\eta 3.0 - 1) \right] \quad \text{για } 0 \leq T \leq T_B \quad (4.6.1)$$

$$S_{ve}(T) = \alpha_{vg} \eta 3.0 \quad \text{για } T_B \leq T \leq T_C \quad (4.6.2)$$

$$S_{ve}(T) = \alpha_{vg} \eta 3.0 \frac{T_C}{T} \quad \text{για } T_C \leq T \leq T_D \quad (4.6.3)$$

$$S_{ve}(T) = \alpha_{vg} \eta 3.0 \frac{T_C T_D}{T^2} \quad \text{για } T_D \leq T \leq 4s \quad (4.6.4)$$

Παρακάτω παρατίθεται **Πίνακας 4.5** στον οποίο παρατίθενται η τιμή της κατακόρυφης επιτάχυνσης του εδάφους και οι τιμές των χαρακτηριστικών περιόδων σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα.

α_{vg}/α_g	$T_B(\text{sec})$	$T_C(\text{sec})$	$T_D(\text{sec})$
0.90	0.05	0.15	1.00

Πίνακας 4.5 Τιμές χαρακτηριστικών περιόδων και επιτάχυνσης εδάφους

4.7 ΕΔΑΦΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η εδαφική μετακίνηση σχεδιασμού d_g που αντιστοιχεί στην εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$d_g = 0.025 \alpha_g S T_C T_D \quad (4.7.1)$$

τα α_g, S, T_C και T_D έχουν οριστεί στην 4.5.

4.8 ΦΑΣΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

Εάν η κατασκευή σχεδιάζεται να συμπεριφέρεται ανελαστικά στο σεισμό σχεδιασμού, γίνεται πάλι ελαστική με μειωμένο φάσμα σχεδιασμού σε σχέση με το ελαστικό φάσμα. Η μείωση του ελαστικού φάσματος γίνεται μέσω του συντελεστή συμπεριφοράς q , ο οποίος εξαρτάται από το υλικό κατασκευής και τον τύπο στατικής διαμόρφωσης του κτιρίου.

Για την οριζόντια συνιστώσα της σεισμικής φόρτισης, οι σχέσεις που δίνουν την επιτάχυνση σχεδιασμού $S_d(T)$ σε κάθε περιοχή του φάσματος δίνονται παρακάτω:

$$S_d(T) = \alpha_g S \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad \text{για } 0 \leq T \leq T_B \quad (4.8.1)$$

$$S_d(T) = \alpha_g S \frac{2,5}{q} \quad \text{για } T_B \leq T \leq T_C \quad (4.8.2)$$

$$S_d(T) = \alpha_g S \frac{2,5 T_C}{q T} \geq \beta \alpha_g \quad \text{για } T_C \leq T \leq T_D \quad (4.8.3)$$

$$S_d(T) = \alpha_g S \frac{2,5 T_C T_D}{q T^2} \geq \beta \alpha_g \quad \text{για } T_D \leq T \leq 4s \quad (4.8.4)$$

(Συμφώνα με το Εθνικό Προσάρτημα το $\beta=0,2$.)

Για την κατακόρυφη διεύθυνση της σεισμικής διέγερσης ισχύουν οι σχέσεις (4.8.1), (4.8.2), (4.8.3), (4.8.4) με τις έξης τροποποιήσεις:

i) κατακόρυφη εδαφική επιτάχυνση $\alpha_{vg} = 0,90 \alpha_g$

ii) $S=1,0$

iii) $q \leq 1,5$ για όλα τα υλικά και στατικά συστήματα. Υπάρχει πιθανότητα να ληφθεί $q > 1,5$ μονό μετά από αιτιολόγηση με κατάλληλη ανάλυση.

4.9 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΑΖΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ

Για τα αδρανειακά φορτία λαμβάνονται υπόψη οι μάζες που συνδέονται με όλα τα φορτία βαρύτητας που περιλαμβάνονται στον ακόλουθο συνδυασμό δράσεων:

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{\varepsilon,i} Q_{k,i} \quad (4.8.1)$$

Όπου

$$\psi_{\varepsilon,i} = \varphi \psi_{2i}$$

φ : μειωτικός συντελεστής σύμφωνα με Πίνακα 4.6

ψ_{2i} : συντελεστής συνδυασμού για την μεταβλητή δράση i

Κατηγορία Κτιρίου	Όροφος	φ
A-C	Δώμα	1.0
	Όροφοι με συσχετισμένες χρήσεις	0.8
	Όροφοι με μη συσχετισμένες χρήσεις	0.5
D-F		1.0

Πίνακας 4.6 Τιμές του συντελεστή φ

Εάν ο αντισεισμικός σχεδιασμός πραγματοποιείται με βάση τα φορτία σχεδιασμού που αντιστοιχούν σε συντελεστή συμπεριφοράς $q > 1$, οι μετακινήσεις σχεδιασμού προκύπτουν από την εξίσωση:

$$\mathbf{d}_s = \mathbf{q}_d \mathbf{d}_e \quad (4.8.2)$$

\mathbf{q}_d : συντελεστής συμπεριφοράς μετακινήσεων (συνήθως $\mathbf{q}_d = \mathbf{q}$)

\mathbf{d}_e : ελαστική μετακίνηση από την ανάλυση για τα σεισμικά φορτία σχεδιασμού

4.10 ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΓΙΑ ΚΤΙΡΙΑ

Κανονικότητα σε κάτοψη

Για να χαρακτηριστεί ένα κτίριο ως κανονικό σε κάτοψη θα πρέπει να ισχύουν όλοι οι παρακάτω οροί.:

α) Το κτίριο θα πρέπει να είναι συμμετρικό σε κάτοψη, σε σχέση με δυο ορθογωνίους άξονες.

β) Η διαμόρφωση της πλάκας θα είναι συμπαγής, δηλαδή κάθε πλακά ορόφου θα οριοθετείται από κυρτή πολυγωνική γραμμή. Εάν υπάρχουν ανωμαλίες στην περίμετρο (εισέχουσες γωνίες ή εσοχές στην περίμετρο), η κανονικότητα σε κάτοψη μπορεί να θεωρηθεί ότι ικανοποιείται, υπό τον όρο ότι οι ανωμαλίες αυτές δεν έχουν επιπτώσεις στην δυσκαμψία της πλάκας στο επίπεδο της και ότι, σε κάθε ανωμαλία, η περιοχή μεταξύ του

περιγράμματος της πλάκας και της κυρτής πολυγωνικής γραμμής που περιβάλλει την πλακά δεν υπερβαίνει 5% της επιφάνειας του ορόφου.

γ) Η δυσκαμψία των πλακών των οροφών μέσα στο επίπεδο τους θα είναι αρκετά μεγάλη σε σύγκριση με την οριζόντια δυσκαμψία των κατακόρυφων φερόντων στοιχείων, έτσι ώστε η παραμόρφωση της πλάκας να έχει μικρή επίδραση στη κατανομή των δυνάμεων μεταξύ των κατακόρυφων φερόντων στοιχείων. Κατόψεις με μορφή L, Π, Η, Ι και Χ πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά, προκειμένου να ικανοποιηθεί η συνθήκη άκαμπτου διαφράγματος.

δ) Η λυγηρότητα του κτιρίου σε κάτοψη, $\lambda = L_{max}/L_{min}$, δεν θα είναι μεγαλύτερη του 4, όπου L_{max} και L_{min} είναι αντίστοιχα η μεγαλύτερη και η μικρότερη διάσταση του κτιρίου σε κάτοψη, μετρούμενη σε ορθογώνιες διευθύνσεις.

ε) Σε κάθε επίπεδο και για κάθε διεύθυνση της ανάλυσης x και y, η στατική εκκεντρότητα e_o και η ακτίνα δυστρεψίας r πρέπει να ικανοποιούν τις δυο παρακάτω συνθήκες (για διεύθυνση y):

i) $e_{ox} \leq 0.30 r_x$

ii) $r_x \geq l_s$

e_{ox} : απόσταση μεταξύ του κέντρου δυσκαμψίας και του κέντρου μάζας, που μετράται κατά την διεύθυνση x, κάθετη στη εξεταζόμενη διεύθυνση της ανάλυσης

r_x : τετραγωνική ρίζα του λόγου της δυστρεψίας προς την μεταφορική δυσκαμψία στην διεύθυνση y (“ακτίνα δυστρεψίας”)

l_s : ακτίνα αδρανείας της μάζας της πλάκας ορόφου σε κάτοψη (τετραγωνική ρίζα του λόγου της πολικής ροπής αδρανείας της μάζας της πλάκας του ορόφου σε κάτοψη, ως προς το κέντρο μάζας της πλάκας του ορόφου προς την μάζα της πλάκας του ορόφου)

ζ) Σε μονώροφα κτίρια το κέντρο δυσκαμψίας ορίζεται ως το κέντρο της μεταφορικής δυσκαμψίας όλων των βασικών μελών.

η) Σε πολώροφα κτίρια το κέντρο δυσκαμψίας και η ακτίνα δυστρεψίας ορίζονται κατά προσέγγιση, και πρέπει να ικανοποιούνται τα εξής

i) όλα τα συστήματα ανάληψης οριζοντίων φορτιών πρέπει να είναι συνεχή από τα θεμέλια έως την κορυφή του κτιρίου

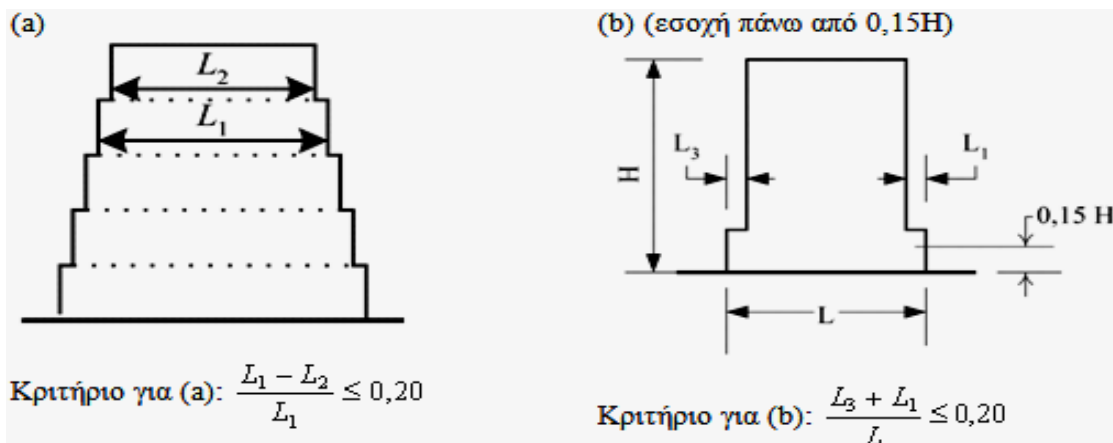
ii) οι μορφές παραμορφωσης των επιμέρους συστημάτων υπό οριζόντια φορτία δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές

θ) Σε πλαισιωτά συστήματα και συστήματα εύκαμπτων τοιχωμάτων το e_{ox} και r_x ορίζονται με βάση τις ροπές αδρανείας των κατακόρυφων στοιχείων.

Κανονικότητα σε όψη

Για να χαρακτηριστεί ένα κτίριο ως κανονικό σε όψη πρέπει να ικανοποιεί τους παρακάτω όρους:

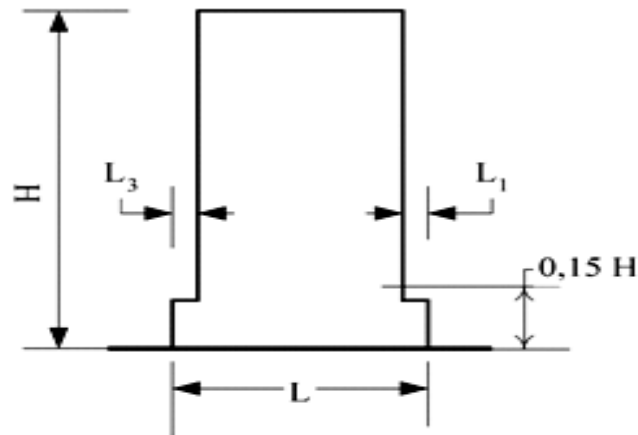
- α) Όλα τα συστήματα ανάληψης οριζοντίων φορτιών, όπως πυρήνες, φέροντα τοιχώματα ή πλαίσια, θα είναι συνεχή χωρίς διακοπή από τα θεμέλια έως την άνω επιφάνεια του κτιρίου, ή, εάν υπάρχουν ζώνες εσοχών με διαφορετικά ύψη, έως την άνω επιφάνεια της σχετικής ζώνης του κτιρίου
- β) Η μεταφορική δυσκαμψία και η μάζα των επιμέρους ορόφων θα παραμένουν σταθερές ή θα μειώνονται βαθμιαία, χωρίς απότομες αλλαγές, από την βάση προς την κορυφή ενός κτιρίου
- γ) Σε κτίρια με πλαισιωτό σύστημα ο λόγος της πραγματικής αντοχής ορόφων προς την αντοχή που απαιτείται από την ανάλυση δεν πρέπει να διαφέρει δυσανάλογα μεταξύ συνεχόμενων ορόφων
- δ) Όταν υπάρχουν εσοχές, ισχύουν οι παρακάτω συνθήκες:
 - i) για βαθμιδωτές εσοχές που διατηρούν την αξονική συμμετρία του φορέα, η εσοχή σε οποιοδήποτε όροφο δεν θα είναι μεγαλύτερη από 20% της προηγούμενης διάστασης σε κάτοψη στην διεύθυνση της εσοχής **Σχήμα 4.10.1(a),(b)**



Σχήμα 4.10.1(a),(b) Βαθμιδωτές εσοχές

- ii) για μια μικρότερη εσοχή μέσα σε ύψος μικρότερο από 15% του συνολικού ύψους του κυρίου στατικού συστήματος, η εσοχή δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 50% της προηγούμενης διάστασης σε κάτοψη **Σχήμα 4.10.1(c)**

(c) (εσοχή κάτω από 0,15H)

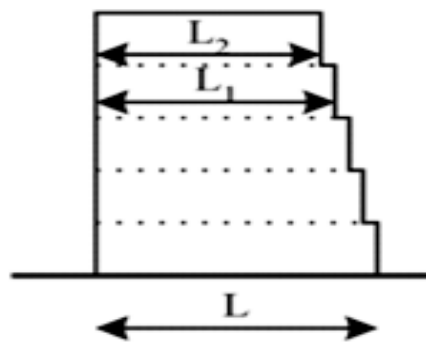


Κριτήριο για (c): $\frac{L_3 + L_1}{L} \leq 0,50$

Σχήμα 4.10.1(c) Μεμονωμένη εσοχή

iii) εάν οι εσοχές δεν διατηρούν τη συμμετρία του φορέα, το άθροισμα των εσοχών όλων των ορόφων σε κάθε όψη δεν θα είναι μεγαλύτερο από το 30% της διάστασης της κάτοψης στο ισόγειο επάνω από την θεμελίωση ή επάνω από την άνω επιφάνεια άκαμπτου υπογείου, και κάθε επιμέρους εσοχή δεν θα είναι μεγαλύτερη από το 10% της προηγούμενης διάστασης κάτοψης **Σχήμα 4.10.1(d)**

d)



Κριτήρια για (d): $\frac{L - L_2}{L} \leq 0,30$

$$\frac{L_1 - L_2}{L_1} \leq 0,10$$

Σχήμα 4.10.1(d) Εσοχή χωρίς διατήρηση της συμμετρίας του φορέα

4.11 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΤΙΡΙΩΝ

Τα κτήρια από οπλισμένο σκυρόδεμα κατατάσσονται στις έξι κατηγορίες:

Τοιχωματικό σύστημα	Στατικό σύστημα με συζευγμένα ή ασύζευκτα τοιχώματα, των οποίων η συνολική διατμητική αντοχή είναι $\geq 65\%$ της συνολικής διατμητικής αντοχής του κτιρίου στη βάση
Πλαισιωτό σύστημα	Στατικό σύστημα με χωρικά πλαίσια, των οποίων η συνολική διατμητική αντοχή στη βάση $\geq 65\%$ της συνολικής διατμητικής αντοχής του κτιρίου στη βάση
Διπλό σύστημα	Τα κατακόρυφα φορτία παραλαμβάνονται κυρίως από τα πλαίσια και τα οριζόντια εν μέρει από πλαίσια και από εν μέρει από τοιχώματα
Διπλό σύστημα που συμπεριφέρεται ως πλαισιωτό	Διπλό στατικό σύστημα, στο οποίο τα πλαίσια έχουν συνολική διατμητική αντοχή στη βάση $\geq 65\%$ της συνολικής διατμητικής αντοχής του κτιρίου στη βάση
Διπλό σύστημα που συμπεριφέρεται ως τοιχωματικό	Διπλό στατικό σύστημα, στο οποίο τα τοιχώματα έχουν συνολική διατμητική αντοχή στη βάση $\geq 65\%$ της συνολικής διατμητικής αντοχής του κτιρίου στη βάση
Σύστημα με μεγάλα ελαφρά οπλισμένα τοιχώματα	i) τουλάχιστον δυο μεγάλα ελαφρά οπλισμένα τοιχώματα στην υπόψη διεύθυνση, τα οποία παραλαμβάνουν τουλάχιστον το 20% των φορτιών βαρύτητας του σεισμικού συνδυασμού ii) θεμελιώδης ιδιοπερίοδος στην διεύθυνση $\leq 0.5s$
Στρεπτικά εύκαμπτο σύστημα	Διπλό ή τοιχωματικό σύστημα χωρίς την ελάχιστη στρεπτική δυσκαμψία
Σύστημα ανεστραμμένου εκκρεμούς	Σύστημα στο οποίο η μάζα μεγαλύτερη από 50% της συνολικής είναι συγκεντρωμένη στο ανώτερο 1/3 του ύψους. Δεν υπάγονται μονώροφα με $vd \leq 0.3$ σε όλα τα υποστυλώματα

Πίνακας 4.7 Κατηγορίες κτιρίων

4.12 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΠΟ Ω.Σ

Κατηγορίες πλαστικότητας

Τα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα κατατάσσονται σε δυο κατηγορίες πλαστικότητας:

α) ΚΠΜ (Κατηγορία Πλαστικότητας Μεσαία)

β) ΚΠΥ (Κατηγορία Πλαστικότητας Υψηλή)

ανάλογα με την ικανότητα απόδοσης ενέργειας μέσω υστερητικής συμπεριφοράς που διαθέτουν.

Λόγω της διαφορετικής ικανότητας πλάστιμης συμπεριφοράς των δυο κατηγοριών, χρησιμοποιούνται διαφορετικές τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς q για κάθε κατηγορία. Συστήματα με ελαφρά οπλισμένα τοιχώματα δεν επιτρέπεται να σχεδιάζονται για ΚΠΥ, αλλά μονό για ΚΠΜ.

Συντελεστής Συμπεριφοράς

Η ανώτατη τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς q , υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$q = q_o k_w \geq 1.5 \quad (4.12.1)$$

οπου

q_o : βασική τιμη του συντελεστή συμπεριφοράς, που εξαρτάται από τον τύπο του στατικού συστήματος και από την κανονικότητα του σε όψη. Για συστήματα μη κανονικά σε όψη, οι τιμές του q_o μειώνονται κατά 20%.

k_w : συντελεστής που εκφράζει την επικρατούσα μορφή αστοχίας σε στατικά συστήματα με τοιχώματα.

$$k_w = \begin{cases} 1 & \text{Για πλαισιωτά συστήματα ή διπλά συστήματα} \\ & \text{που συμπεριφέρονται ως πλαισιωτά} \\ 0.5 < \frac{1+\alpha_o}{3} \leq 1 & \text{Για τοιχωματικά συστήματα ή συστήματα που} \\ & \text{συμπεριφέρονται ως τοιχωματικά και για} \\ & \text{στρεπτικά εύκαμπτα συστήματα} \end{cases} \quad (4.12.2)$$

α_o : ο επικρατών λόγος διαστάσεων ύψους προς το μήκος διατομής, $\alpha_o = h_w/l_w$, στα τοιχώματα του συστήματος. Εάν ο λόγος δεν διαφέρει

σημαντικά μεταξύ των τοιχωμάτων του συστήματος, τότε ο λόγος α_0 υπολογίζεται από τα αντίστοιχα αθροίσματα για όλα τα τοιχώματα:

$$\alpha_0 = \frac{\sum_i h_{wi}}{\sum_i l_{wi}} \quad (4.12.3)$$

Για κτίρια κανονικά σε όψη, οι βασικές τιμές του q_0 για τους διάφορους τύπους στατικών συστημάτων δίνονται στον **Πίνακα 4.8**.

Τύπος στατικού συστήματος	ΚΠΜ	ΚΠΥ
Πλαισιωτό σύστημα, διπλό σύστημα Σύστημα συζευγμένων τοιχωμάτων	$3.0\alpha_u/\alpha_1$	$4.5\alpha_u/\alpha_1$
Σύστημα ασύζευκτων τοιχωμάτων	3.0	$4.0\alpha_u/\alpha_1$
Στρεπτικά εύκαμπτο σύστημα	2.0	3.0
Σύστημα ανεστραμμένου εκκρεμούς	1.5	2.0

Πίνακας 4.8 Τιμή συντελεστή συμπεριφοράς q_0

α_u : τιμή με την οποία πρέπει να πολλαπλασιαστεί η οριζόντια σεισμική δράση σχεδιασμού ώστε για πρώτη φορά η καμπτική εκπόνηση να γίνει ίση με την καμπτική αντοχή σε οποιοδήποτε στοιχείο στον φορέα, ενώ όλες οι άλλες δράσεις σχεδιασμού παραμένουν σταθερές

α_1 : 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

Όταν ο πολλαπλασιαστικός συντελεστής α_u/α_1 δεν έχει υπολογιστεί με ειδικό υπολογισμό, μπορούν να χρησιμοποιηθούν προσεγγιστικές τιμές α_u/α_1 για κτίρια κανονικά σε κάτοψη οι οποίες παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.9**.

Περιγραφή	Κτίρια κανονικά σε κάτοψη	Κτίρια μη κανονικά σε κάτοψη
Πλαισιωτά ή διπλά συστήματα που συμπεριφέρονται ως πλαισιωτά		
<i>Μονώροφα</i>	1.10	1.05
<i>Πολυώροφα πλαίσια με ένα άνοιγμα</i>	1.20	1.10
<i>Πολυώροφα πλαίσια με πολλά ανοίγματα ή διπλά συστήματα που συμπεριφέρονται ως πλαισιωτά</i>	1.30	1.15
Τοιχωματικά συστήματα ή διπλά συστήματα που συμπεριφέρονται ως τοιχωματικά		
<i>Τοιχωματικά συστήματα με μονό δυο ασύζευκτα τοιχώματα ανά κατεύθυνση</i>	1.00	1.00
<i>Λοιπά συστήματα με ασύζευκτα τοιχώματα</i>	1.10	1.05
<i>Διπλά συστήματα που συμπεριφέρονται ως τοιχωματικά ή συστήματα με συζευγμένα τοιχώματα</i>	1.20	1.10
<i>Για κτίρια μη κανονικά σε κάτοψη, ο λόγος α_w/a_1 προκύπτει ως μέσος όρος της τιμής 1.0 και της τιμής που αντιστοιχεί σε αντίστοιχα κτίρια κανονικά σε κάτοψη</i>		

Πίνακας 4.9 Τιμές λόγου α_w/a_1

Στρεπτικά εύκαμπτα συστήματα

Πλαισιωτά συστήματα, συστήματα τοιχωμάτων και διπλά συστήματα χαρακτηρίζονται ως στρεπτικά εύκαμπτα εάν δεν διαθέτουν την ελάχιστη στρεπτική δυσκαμψία. Επομένως, για να είναι ένα σύστημα στρεπτικά εύκαμπτο αρκεί να ικανοποιείται μια από τις παρακάτω ανισώσεις σε κάποιο όροφο:

$$r_x \leq l_s \quad \text{και} \quad r_y \leq l_s \quad (4.12.4)$$

r_x, r_y : ακτίνες δυστρεψίας του ορόφου στη x και y διεύθυνση αντίστοιχα

Οι ακτίνες δυστρεψιάς r_x και r_y δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$r_x = \sqrt{\frac{K_\theta}{K_y}} \quad \text{και} \quad r_y = \sqrt{\frac{K_\theta}{K_x}} \quad (4.12.5)$$

K_θ : στρεπτική δυσκαμψία ως προς το κέντρο δυσκαμψίας

K_x, K_y : μεταφορικές δυσκαμψίες στις διευθύνσεις x και y αντίστοιχα

Η ακτίνα αδράνειας I_s ορίζεται ως έξης: $I_s = \sqrt{\frac{I_{KM}}{m}}$ (4.12.6)

I_{KM} : πολική ροπή αδράνειας της μάζας του ορόφου ως προς το Κ.Μ

m : μάζα του ορόφου

5° ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Παρουσίαση Προσομοίωσης Κατασκευών

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η διερεύνηση της δυναμικής απόκρισης (ιδιοδυναμικά χαρακτηριστικά, μέγιστες μετακινήσεις) πολυώροφων κτιρίων με και χωρίς υπόγειο τα οποία εδράζονται σε ρηγή θεμελίωση πραγματοποιήθηκαν δυναμικές αναλύσεις και χρησιμοποιήθηκαν προσομοιώματα οπλισμένου σκυροδέματος. Συγκεκριμένα, μελετώνται ένα πεντάωροφο με υπόγειο εδραζόμενο σε ελαστική στήριξη, ένα πεντάωροφο με υπόγειο εδραζόμενο σε ακλόνητη στήριξη (πακτώσεις), ένα πεντάωροφο χωρίς υπόγειο εδραζόμενο σε ελαστική στήριξη και ένα πεντάωροφο χωρίς υπόγειο εδραζόμενο σε ακλόνητη στήριξη (πακτώσεις), στα οποία επιβλήθηκαν σεισμικές φορτίσεις και υπολογιστήκαν τα αναπτυσσόμενα εντατικά και παραμορφωσιακά μεγέθη. Όλα τα κτίρια έχουν συμμετρική κάτοψη. Παρακάτω παρουσιάζονται τα μοντέλα ,οι σεισμικές φορτίσεις, καθώς και τα βήματα των προσομοιώσεων στο υπολογιστικό πρόγραμμα ETABS.

5.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Υλικά

- Σκυρόδεμα C25/30
Μετρό ελαστικότητας σκυροδέματος: 30,5GPa
Λόγος Poisson: 0,2
- Χάλυβας B500C
Μετρό ελαστικότητας χάλυβα: 210GPa
Επικάλυψη 3cm

Μόνιμα φορτία

- Ειδικό βάρος οπλισμένου σκυροδέματος: 25kN/m^2
- Επικάλυψη πλακών: $1,50\text{kN/m}^2$
- Βάρος δρομικής οπτοπλινθοδομής: $1,80\text{kN/m}^2$
- Βάρος μπατικής οπτοπλινθοδομής: $3,60\text{kN/m}^2$

Κινητά φορτία

- Δάπεδα κατοικιών: $2,00\text{kN/m}^2$
- Δάπεδα εξωστών: $5,00\text{kN/m}^2$
- Δάπεδα κλιμακοστασίων: $3,50\text{kN/m}^2$

Συνδυασμός φορτίσεων

- Στατική ανάλυση $\rightarrow 1,35 \cdot \text{Μόνιμα} + 1,50 \cdot \text{Κινητά}$
- Δυναμική ανάλυση $\rightarrow \text{Μόνιμα} + 0,30 \cdot \text{Κινητά}$

Συντελεστές ασφαλείας φορτίων - υλικών

- Μόνιμα φορτία: $\gamma_g = 1.35$
- Ωφέλιμα φορτία: $\gamma_q = 1.50$
- Σκυροδέματος: $\gamma_c = 1.50$
- Χάλυβα: $\gamma_s = 1.15$

Στοιχειά αντισεισμικού υπολογισμού

- Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας: I
- Σεισμική επιτάχυνση εδάφους: $0.16g$
- Κατηγορία εδάφους B: $\theta=1.00$
- Συντελεστής σπουδαιότητας κτιρίου Σ2: $\gamma_i = 1.00$
- Συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής: $q = 3.50$
- Συντελεστής φασματικής μεγέθυνσης: $\beta_0 = 2.50$
- Διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης οπλισμένου σκυροδέματος: $\eta=1.00$

Μέθοδος υπολογισμού σεισμικών φορτίων

- Ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης κατά EC8.

Διαστάσεις υποστυλωμάτων

- Τα υποστυλώματα είναι ορθογωνικής διατομής διαστάσεων $30 \times 100 \text{cm}^2$ και διατομής γάμμα 70/70/25/30.

Διαστάσεις δοκών

- Οι δοκοί είναι ορθογωνικής διατομής:
 $\Delta 1 = 25 \times 60 \text{cm}$
 $\Delta 2 = 50 \times 18 \text{cm}$
 $\Delta 3 = 100 \times 35 \text{cm}$
 $\Delta 4 = 30 \times 60 \text{cm}$

Διαστάσεις τοιχείων

- Τα τοιχεία είναι: i) ορθογωνικής διατομής: $T1 = 25/200 \text{cm}$
ii) διατομής γάμμα: $T2 = 155/155/25/25 \text{cm}$
 $T3 = 270/150/25/25 \text{cm}$
 $T4 = 260/60/25/25 \text{cm}$

Διαστάσεις πλακών

- Το πάχος των εσωτερικών πλακών είναι 18cm.
- Το πάχος των πλακών των εξωστών είναι 23cm.
- Το πάχος της πλακάς της κοιτόστρωσης είναι 80cm.

Κοιτόστρωση

- Ο δείκτης εδάφους k_s (δείκτης Winkler) για χοντρά χαλίκια με άμμο λήφθηκε ίσος με 200MN/m^3 .
- Το έδαφος για να ζυγώσει πιο κοντά στην πραγματικότητα προσομοιώθηκε στο πρόγραμμα ETABS με τον παρακάτω τρόπο:
Η πλακά κοιτόστρωσης χωρίστηκε σε τετράγωνα διαστάσεων εύρους $1-0,95 \times 1-0,95 \text{m}$ (το εύρος οφείλεται στο ότι η πλακά δεν είναι ορθογωνική). Στις ακμές των τετραγώνων τοποθετήθηκαν στροφικά ελατήρια στα οποία έχει δευσμευθεί η μετακίνηση κατά τον x και y

άξονα και είναι ελεύθερη η μετακίνηση στον z άξονα και η στροφή στον x,y και z άξονα.

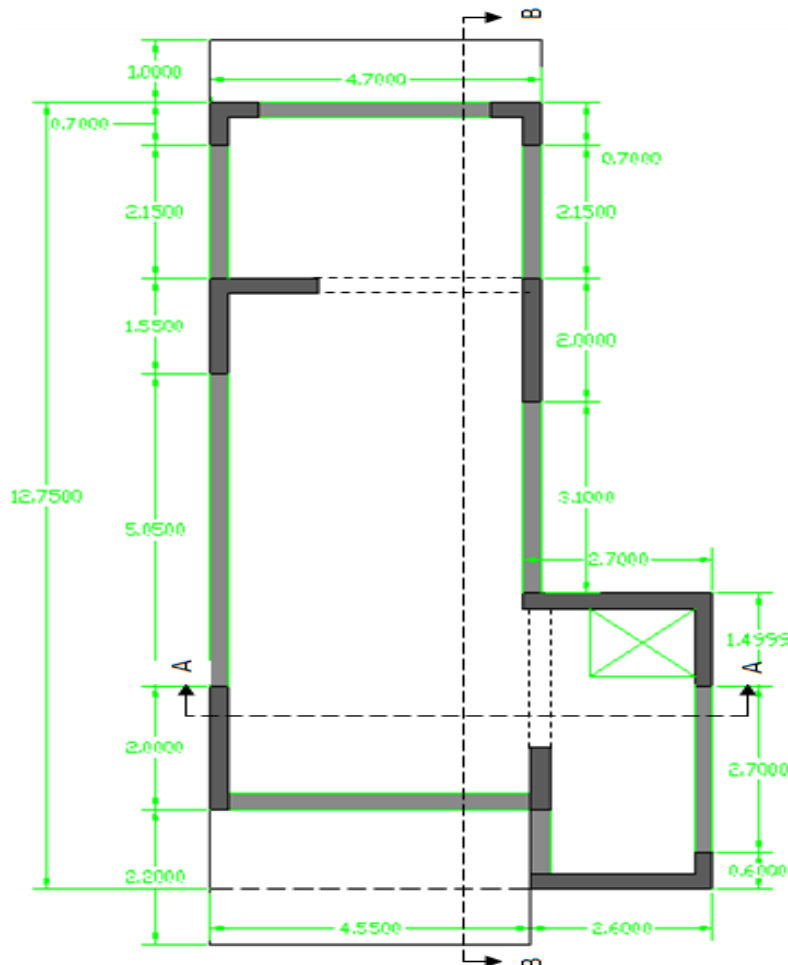
Μέθοδος ανάλυσης στο ETABS

- Στο πρόγραμμα ETABS γίνεται χρήση του ευρωκώδικα 2 και 8.

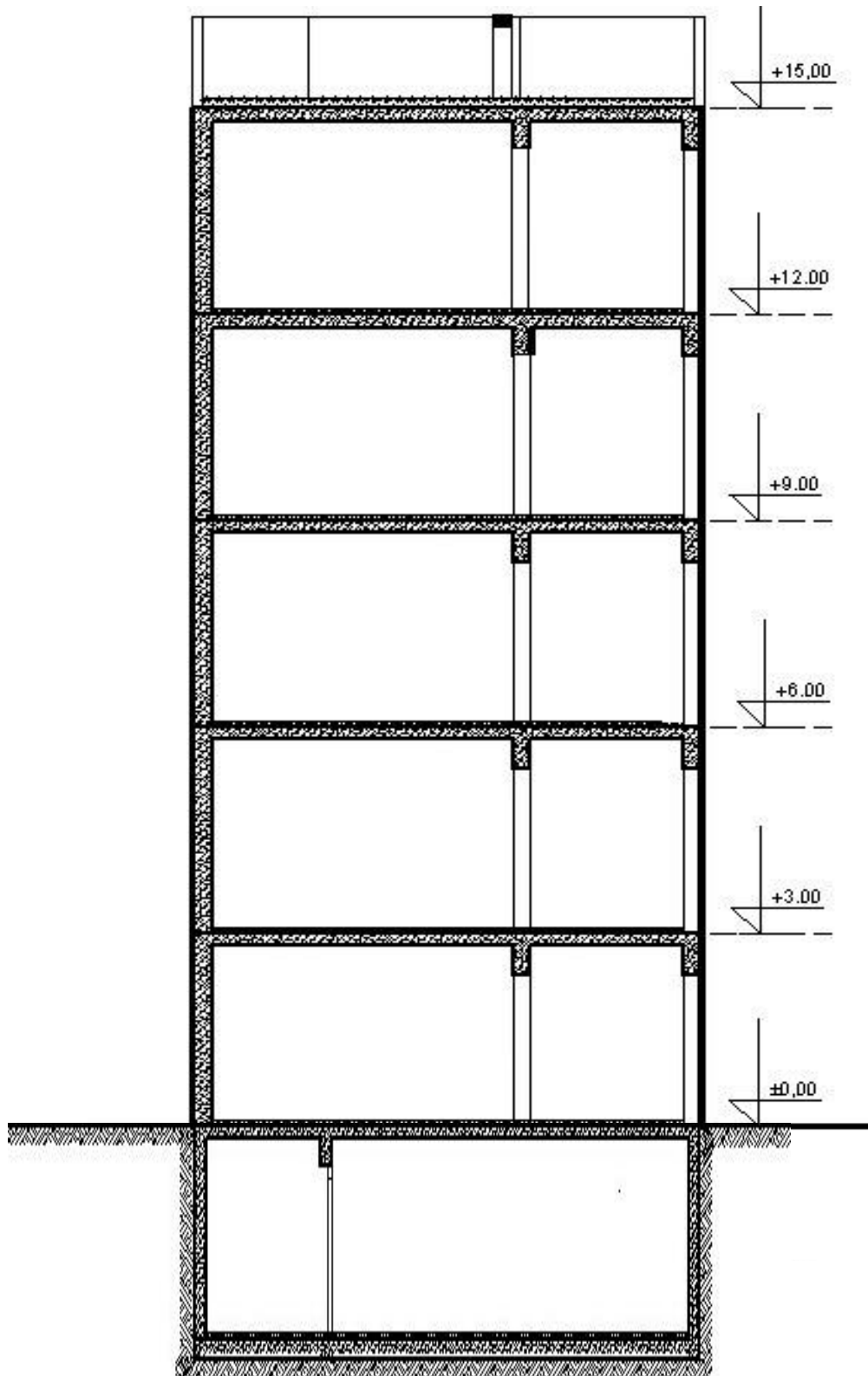
5.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ

Η επιφάνεια της κάτοψης του κτιρίου είναι $66,22\text{m}^2$ χωρίς τους προβόλους, ενώ μαζί με τους προβόλους είναι $80,93\text{m}^2$. Το ύψος των ορόφων (από δάπεδο σε δάπεδο) είναι 3μ. και το ύψος του υπογείου είναι 2,80μ..

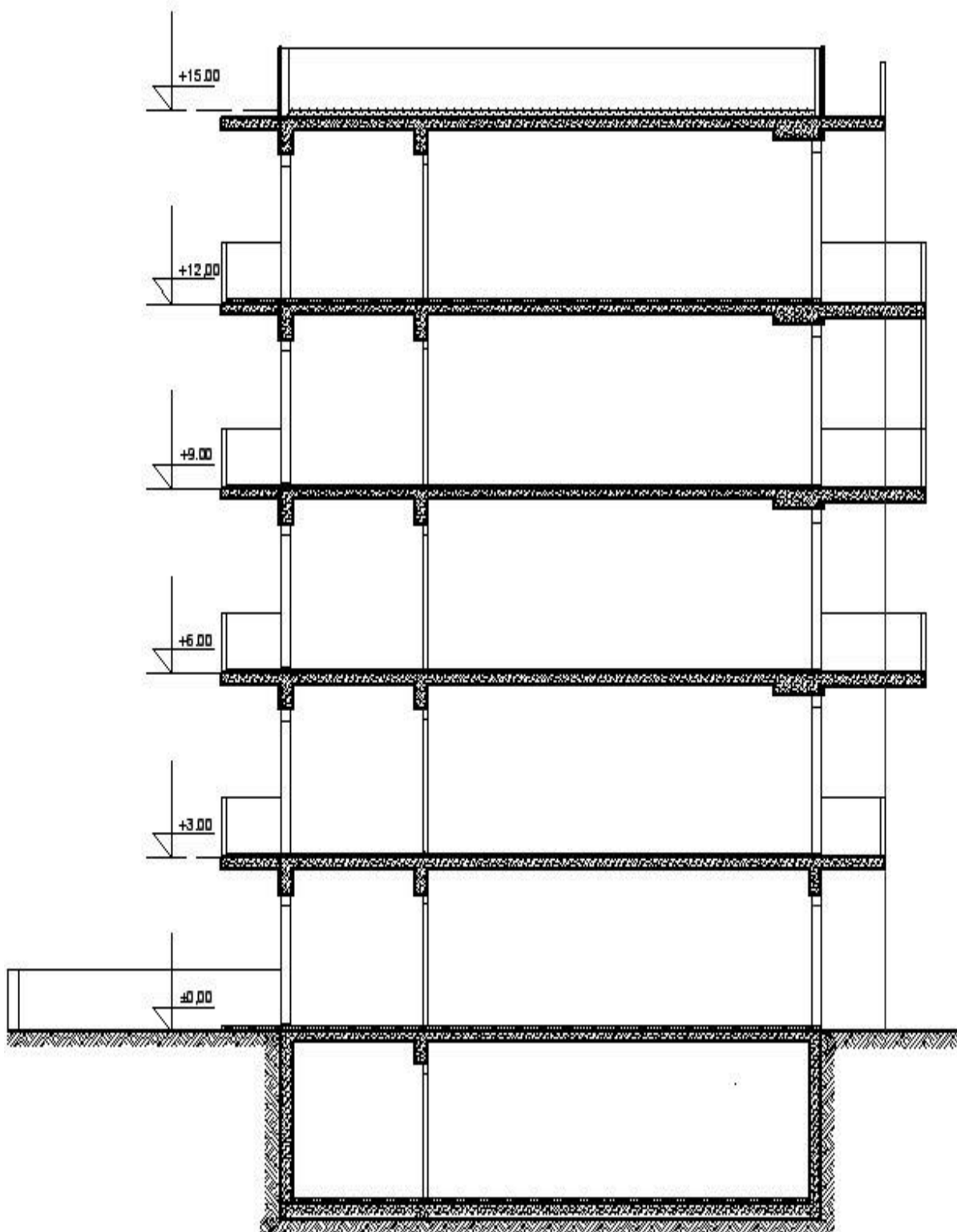
5.3.1 Πενταώροφο με υπόγειο



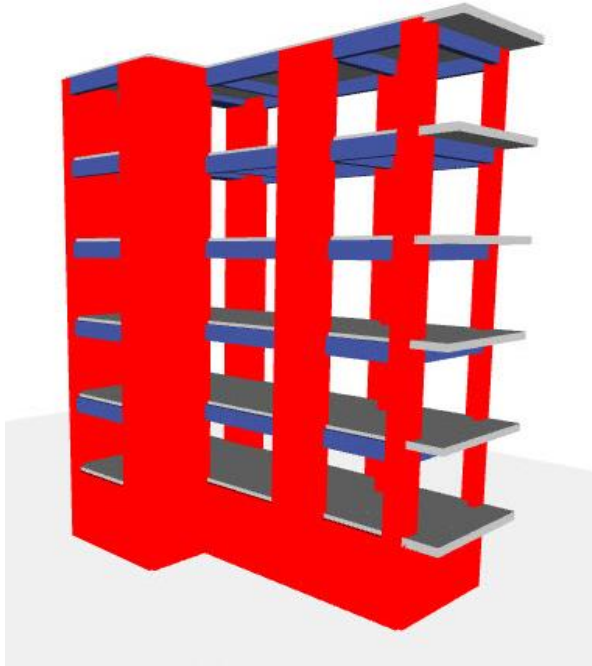
Σχήμα 5.3.1.1 Κάτοψη πενταώροφου με υπόγειο



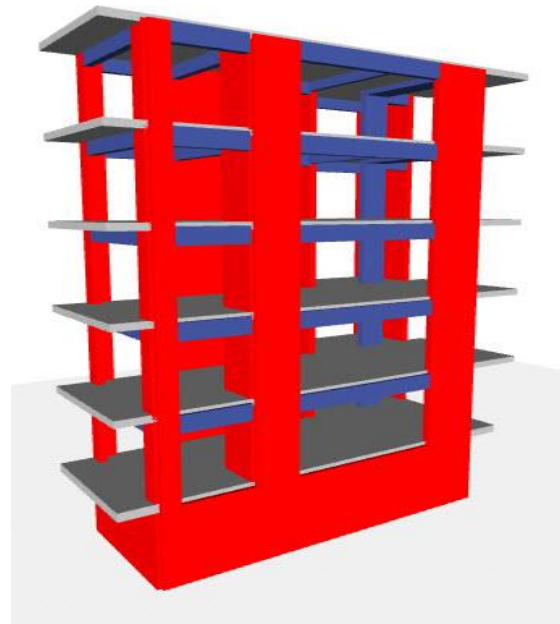
Σχήμα 5.3.1.2 Τομή Α-Α πενταώροφου με υπόγειο



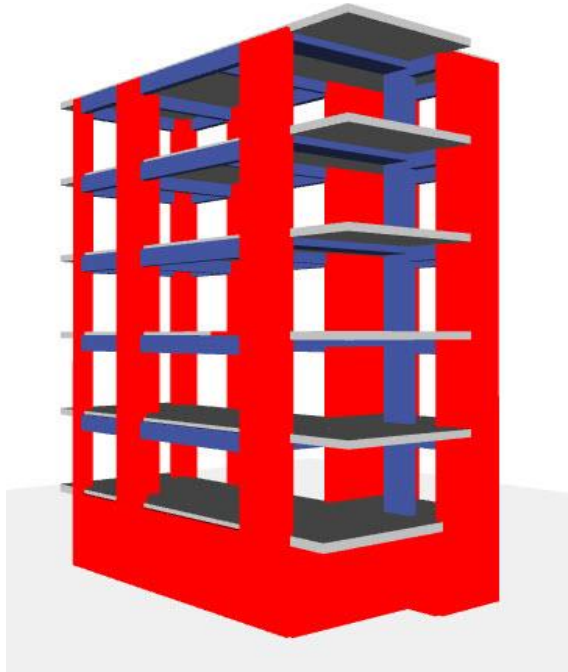
Σχήμα 5.3.1.3 Τομή Β-Β πενταώροφου με υπόγειο



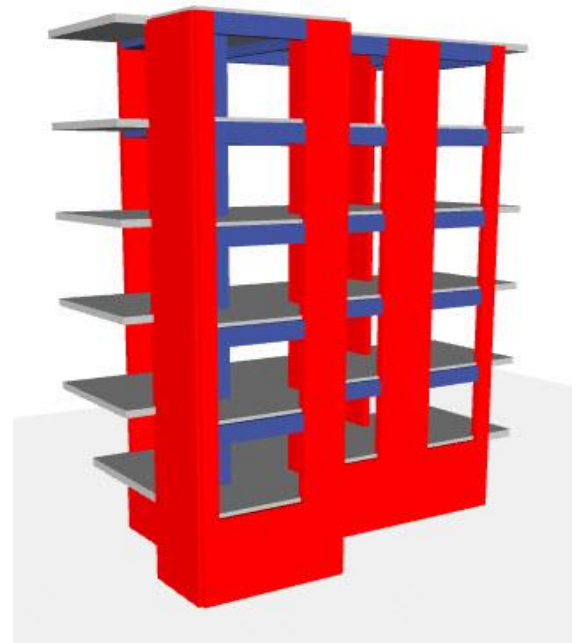
Σχήμα 5.3.1.4 Αξονομετρικό 1



Σχήμα 5.3.1.5 Αξονομετρικό 2

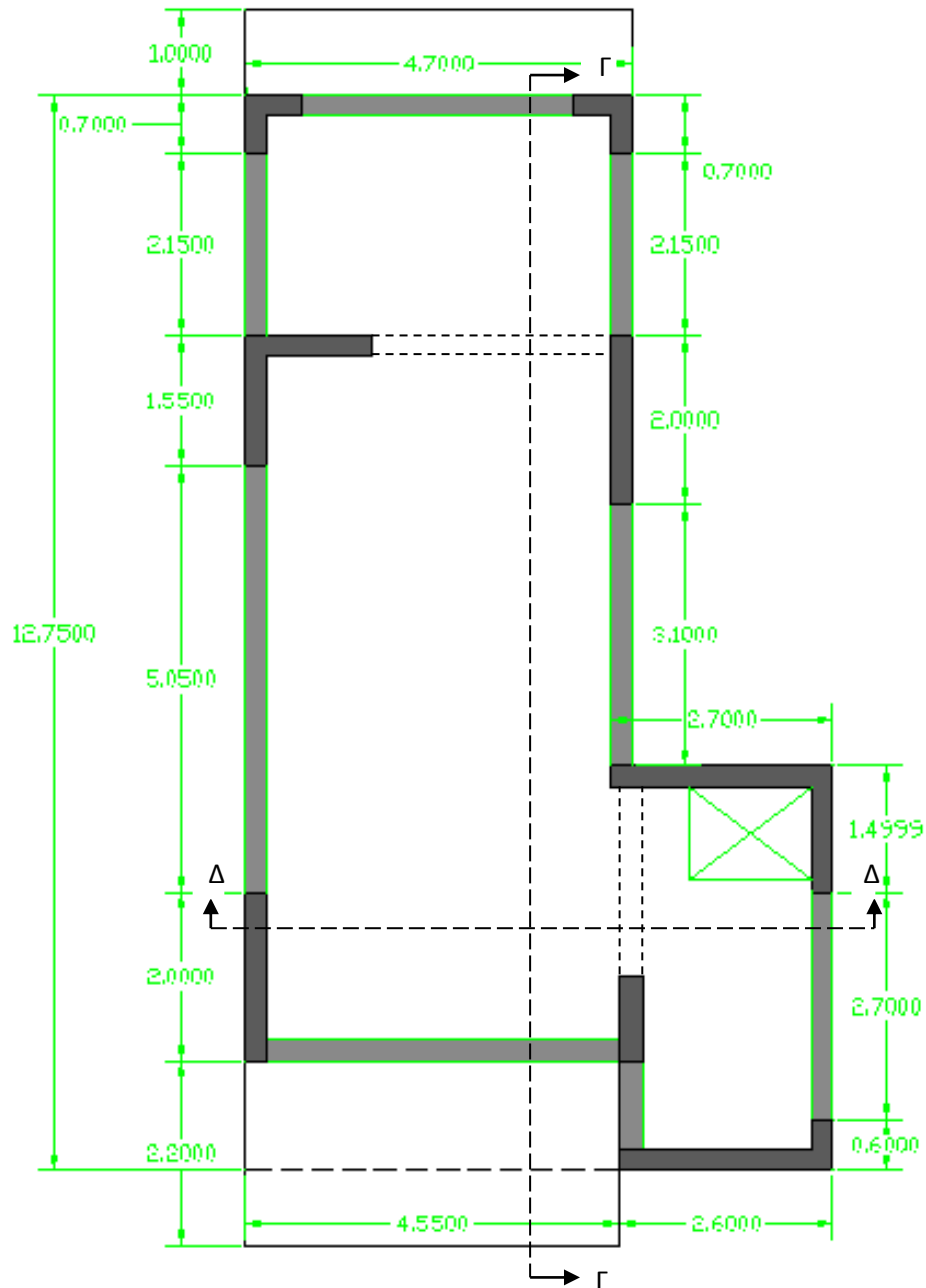


Σχήμα 5.3.1.6 Αξονομετρικό 3

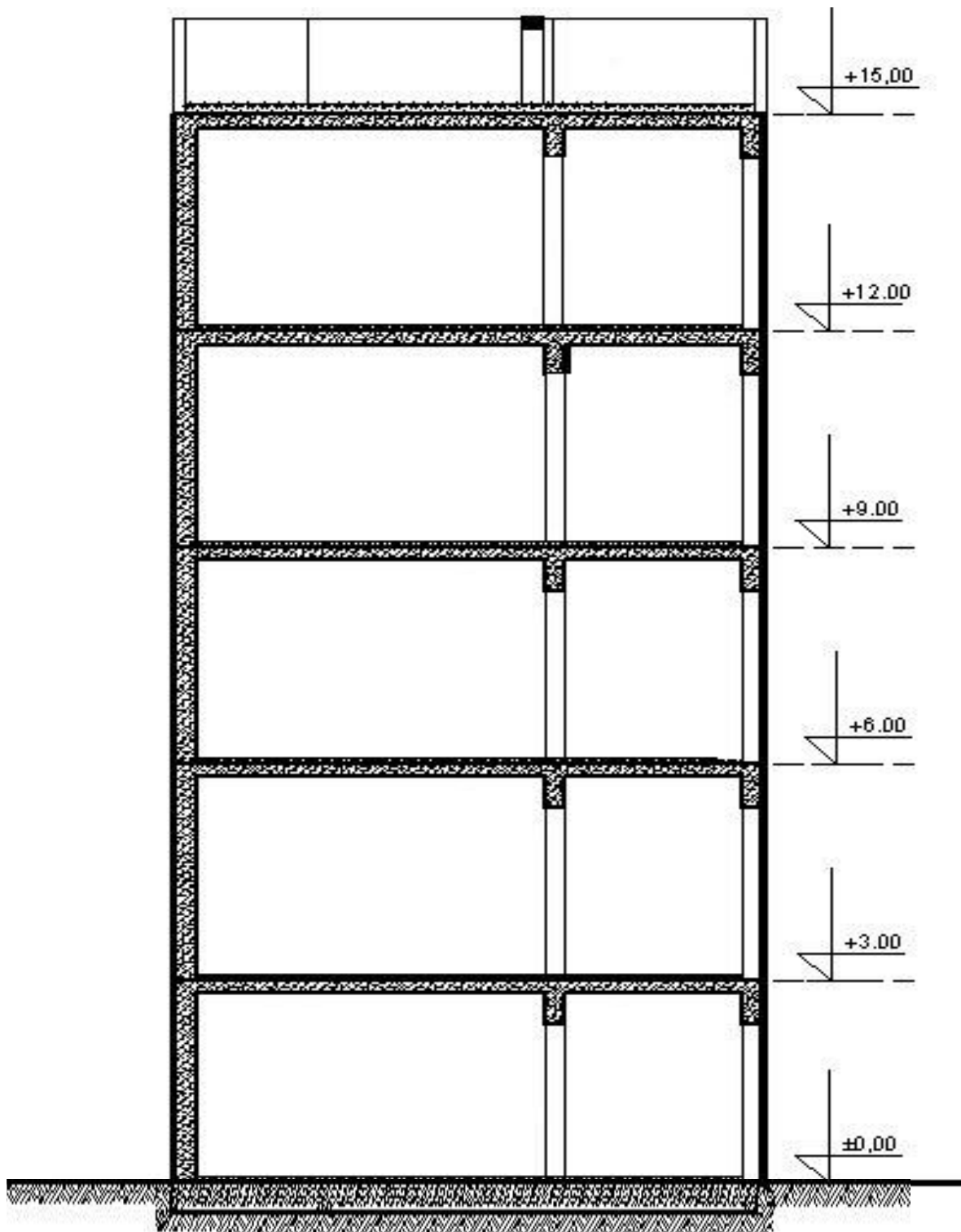


Σχήμα 5.3.1.7 Αξονομετρικό 4

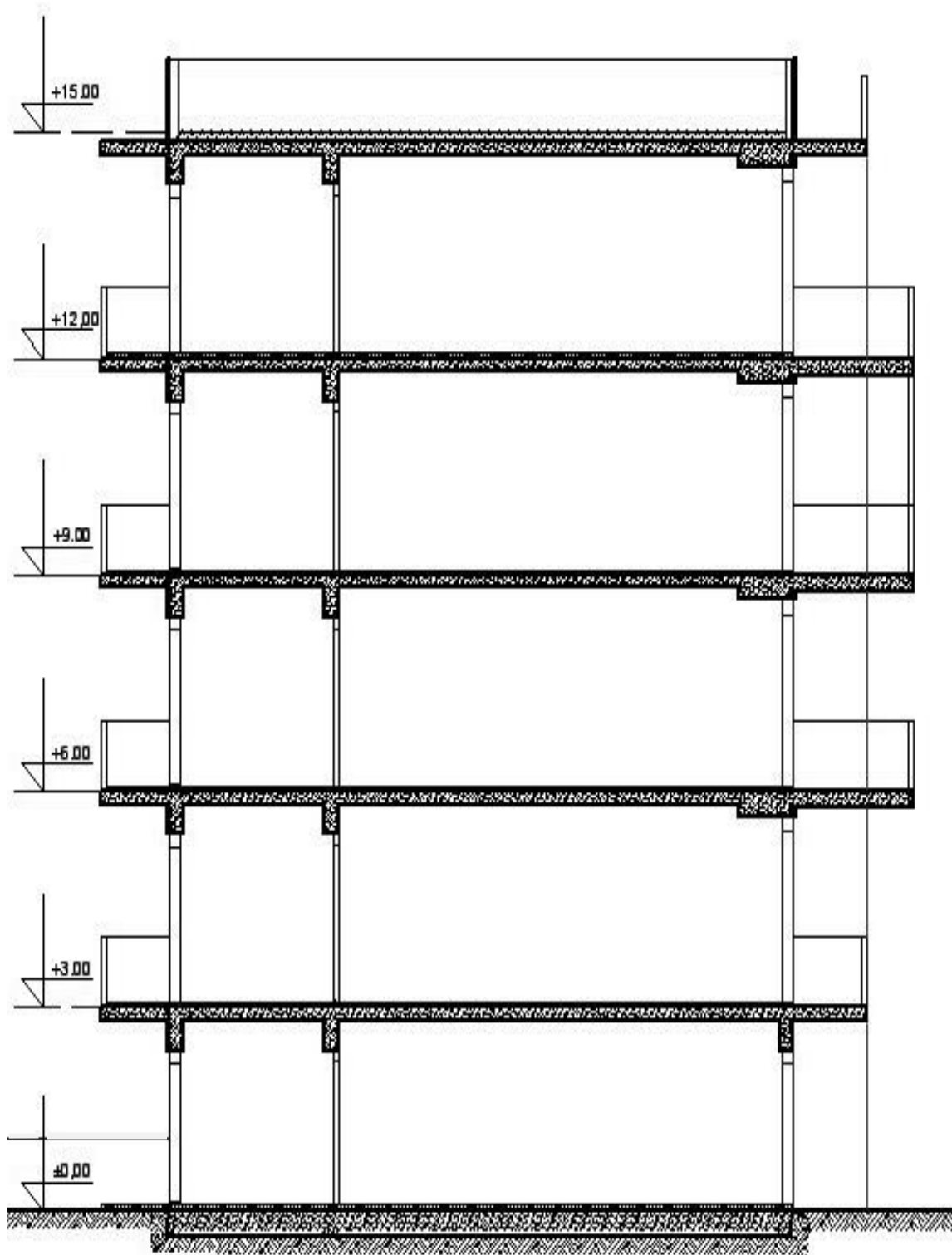
5.3.2 Πενταώροφο χωρίς υπόγειο



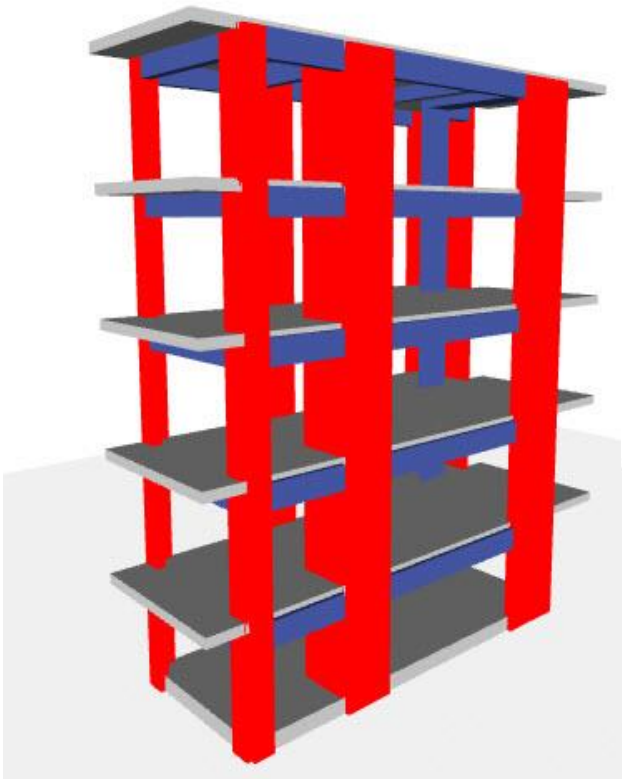
Σχήμα 5.3.2.1 Κάτοψη πενταώροφου χωρίς υπόγειο



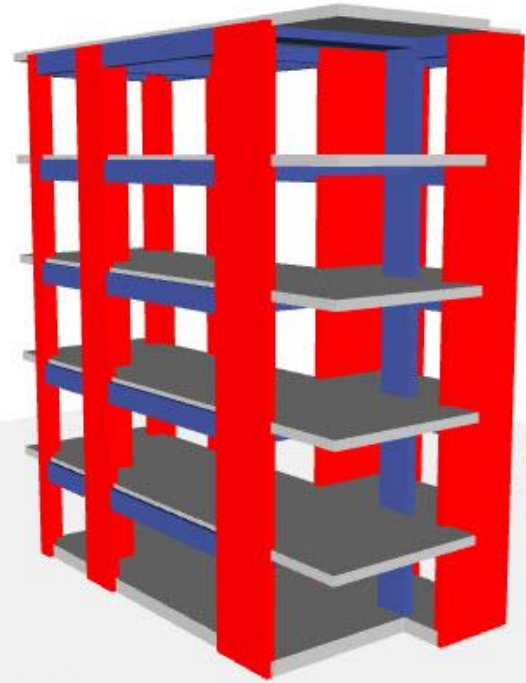
Σχήμα 5.3.2.2 Τομή Δ-Δ πενταώροφου χωρίς υπόγειο



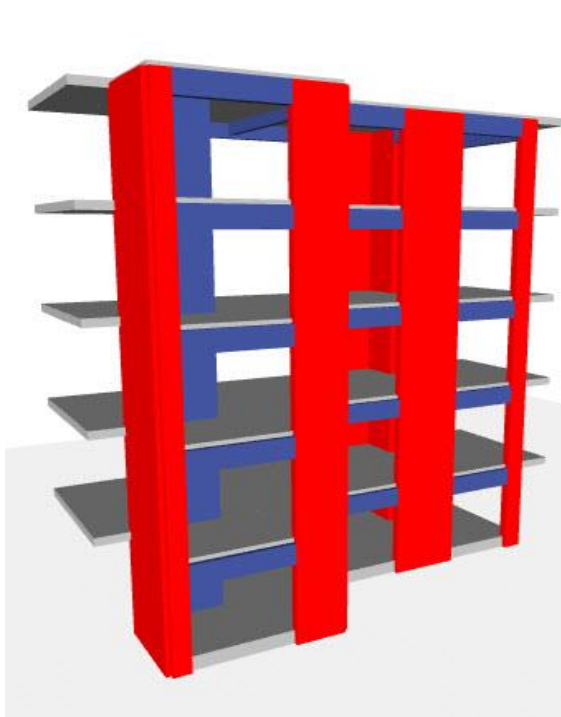
Σχήμα 5.3.2.3 Τομή Γ-Γ πενταώροφου χωρίς υπόγειο



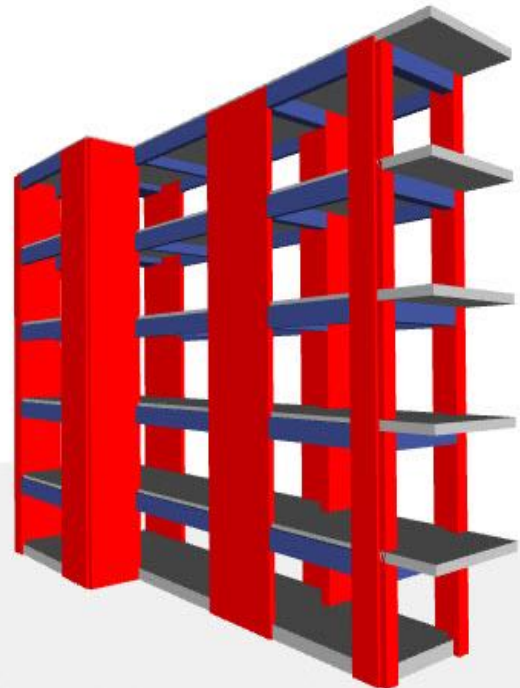
Σχήμα 5.3.2.4 Αξονομετρικό 1



Σχήμα 5.3.2.5 Αξονομετρικό 2



Σχήμα 5.3.2.6 Αξονομετρικό 3



Σχήμα 5.3.2.7 Αξονομετρικό 4

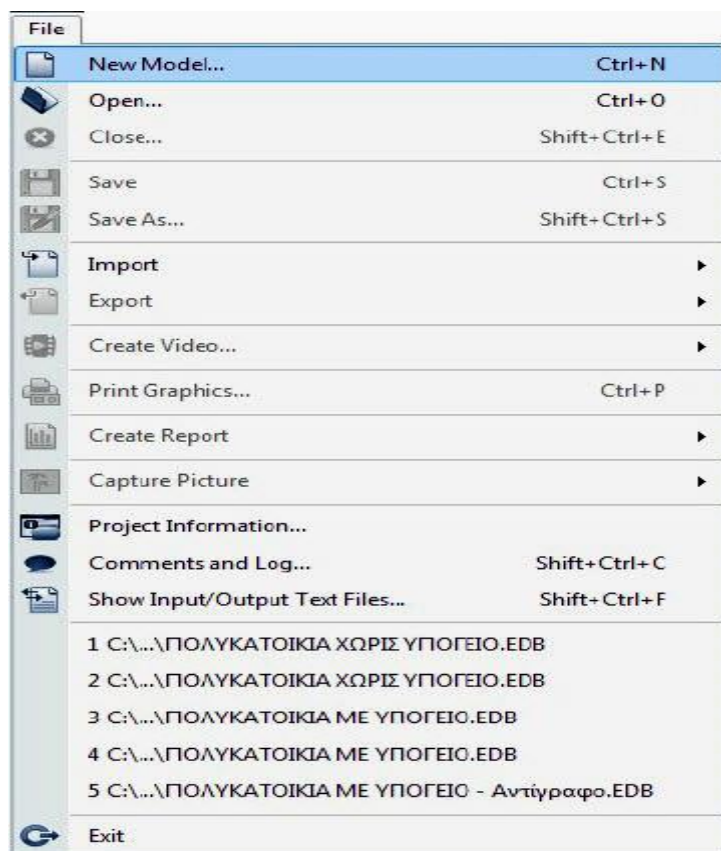
5.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ

Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο θα παρουσιαστούν βήμα προς βήμα τα στάδια σχεδιασμού των προσομοιωμάτων στο υπολογιστικό πρόγραμμα ETABS ώστε να λάβουμε τα αποτελέσματα που χρειαζόμαστε. Ο σχεδιασμός των μοντέλων έγινε σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2 (EC2) και τον Ευρωκώδικα 8 (EC8). Επίσης, όλες οι μονάδες είναι στο διεθνές σύστημα S.I.

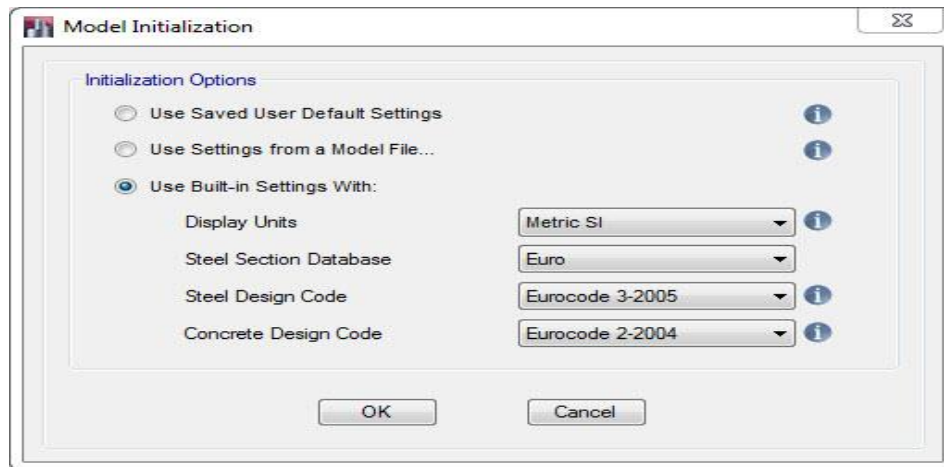
Για να παρουσιάσω το πρόγραμμα θα χρησιμοποιήσω το πεντάωροφο με υπόγειο. Ακριβώς τον ίδιο τρόπο χρησιμοποιούμε και για να σχεδιάσουμε το πεντάωροφο χωρίς το υπόγειο.

5.4.1 Εισαγωγή στο πρόγραμμα ETABS

Αρχικά από το μενού "File" επιλεγούμε "New Model" όπως φαίνεται στο σχήμα 5.4.1.1 και στο παράθυρο που εμφανίζεται συμπληρώνουμε τις παραμέτρους (σχήμα 5.4.1.2).



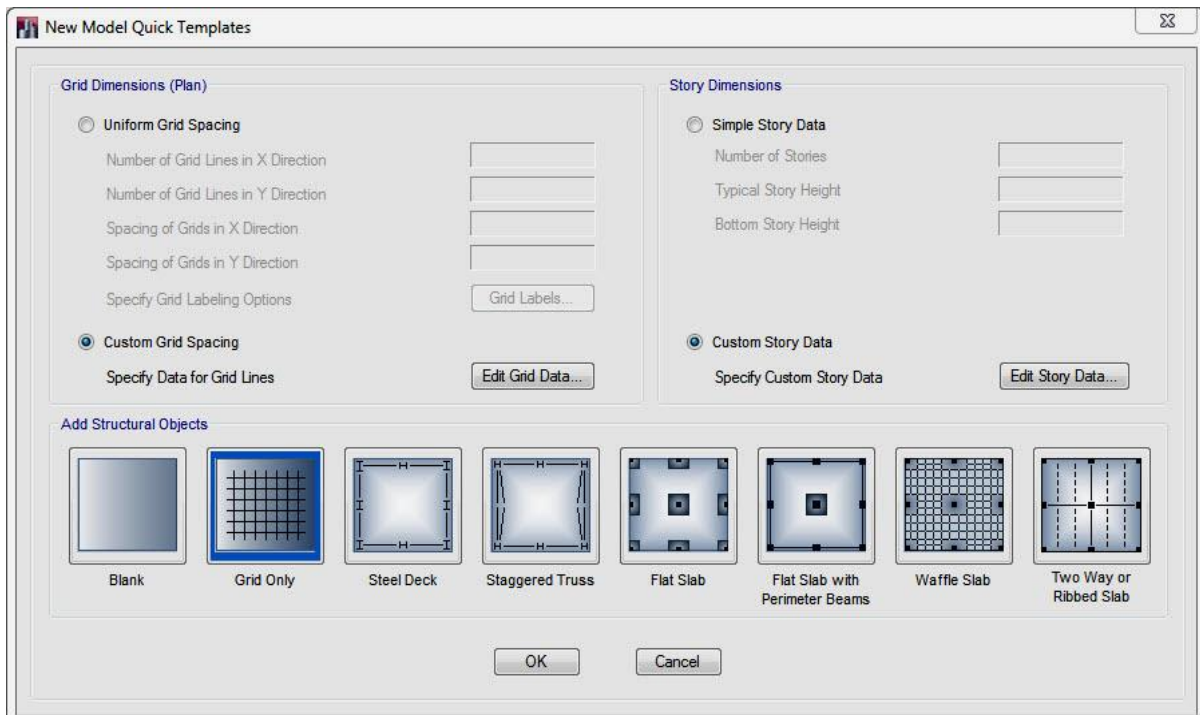
Σχήμα 5.4.1.1



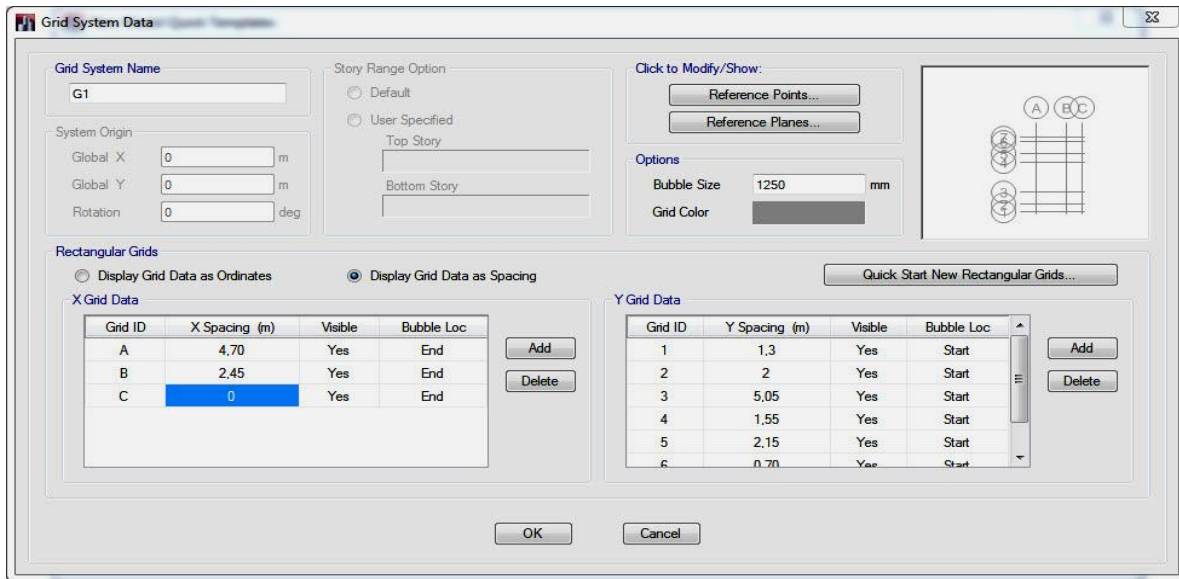
Σχήμα 5.4.1.2 Παράμετροι

5.4.2 Δημιουργία καννάβου σχεδίασης

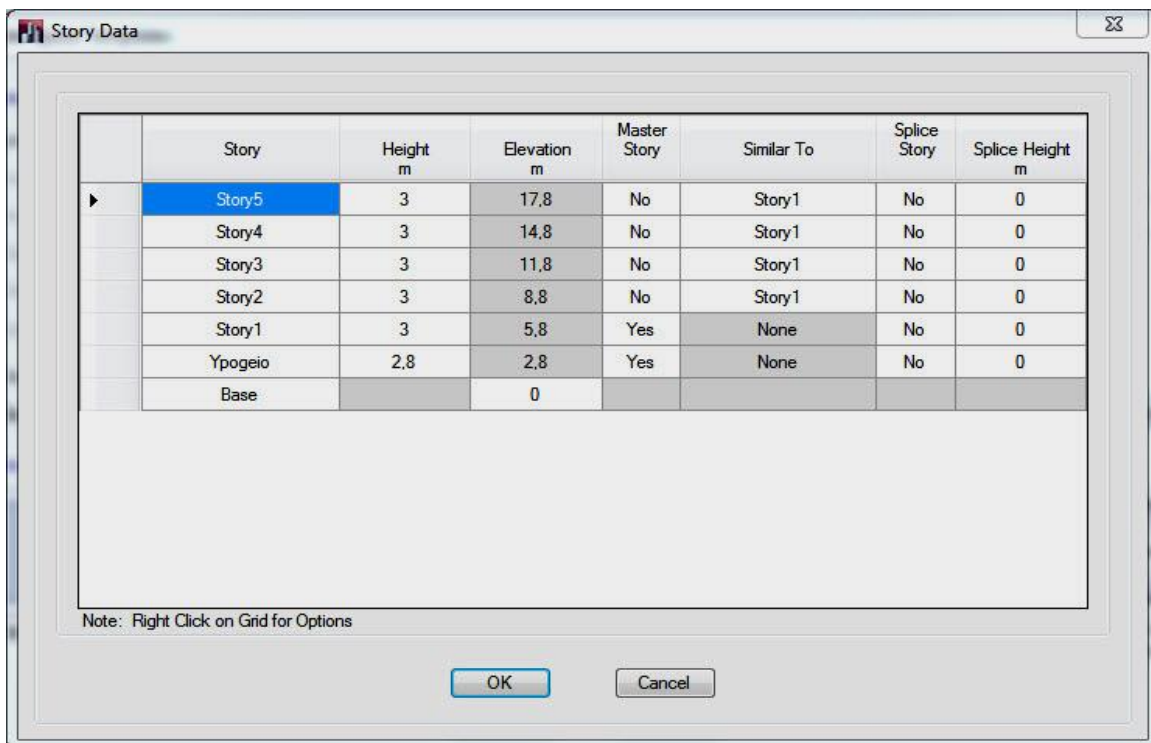
Επειδή η κάτοψη δεν είναι ορθογωνική και συμμετρική θα δημιουργήσουμε ένα καινούργιο κανάβο με τις αντίστοιχες διαστάσεις του αρχιτεκτονικού σχεδίου και δεν θα χρησιμοποιήσουμε την προεπιλογή του προγράμματος. Η διαδικασία φαίνεται στα σχήματα 5.4.2.1. , 5.4.2.2 και 5.4.2.3.



Σχήμα 5.4.2.1 Επιλογή κανάβου

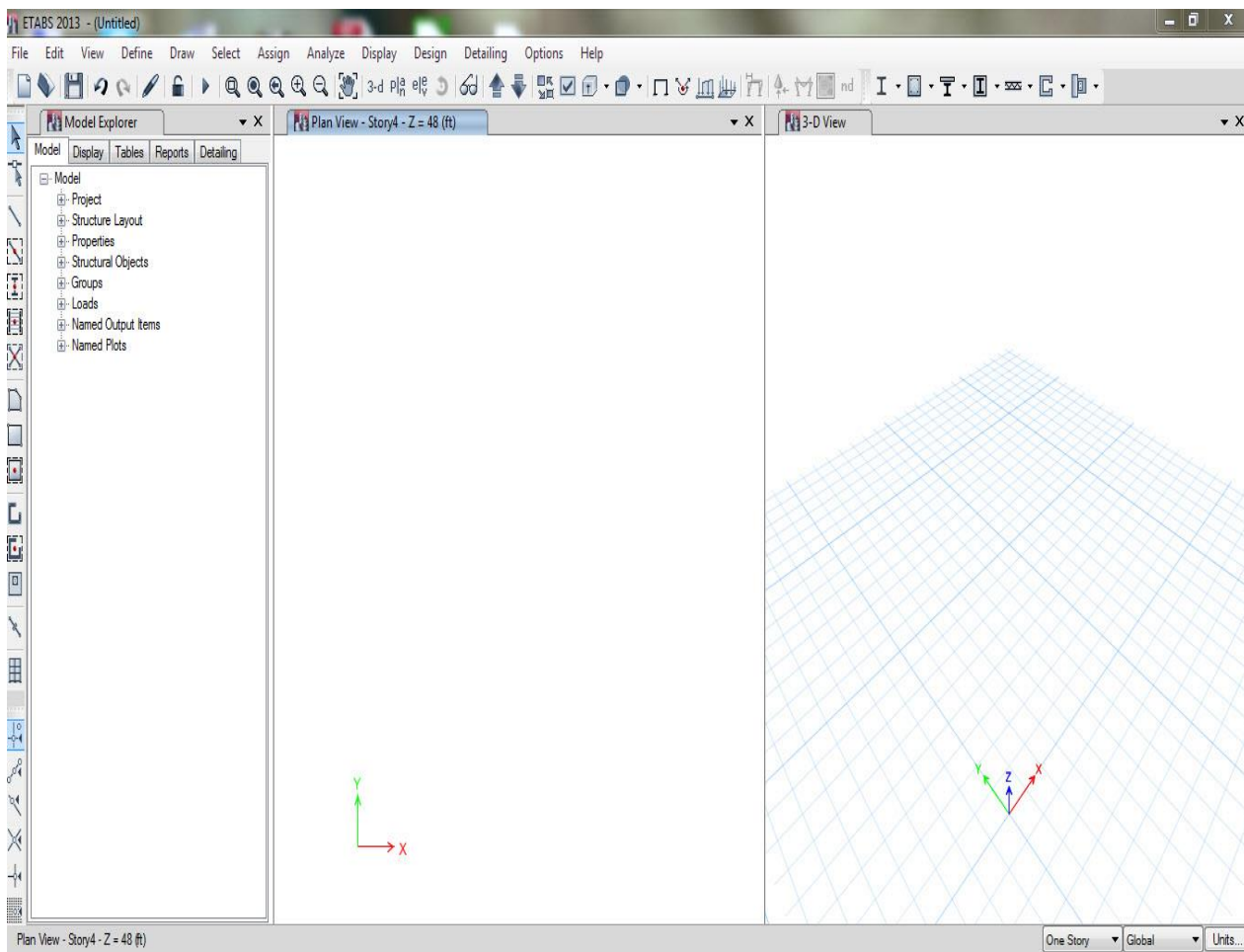


Σχήμα 5.4.2.2 Δημιουργία κανάβου



Σχήμα 5.4.2.3 Εισαγωγή ορόφων και υψών

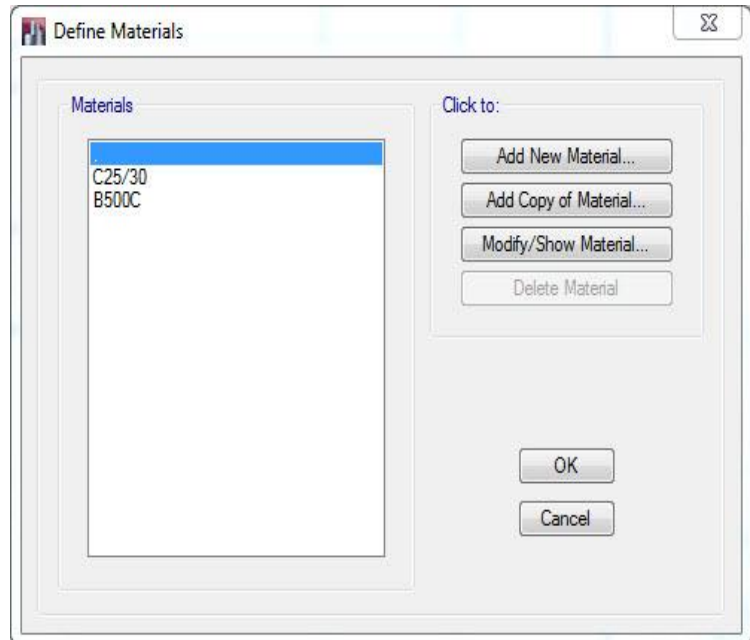
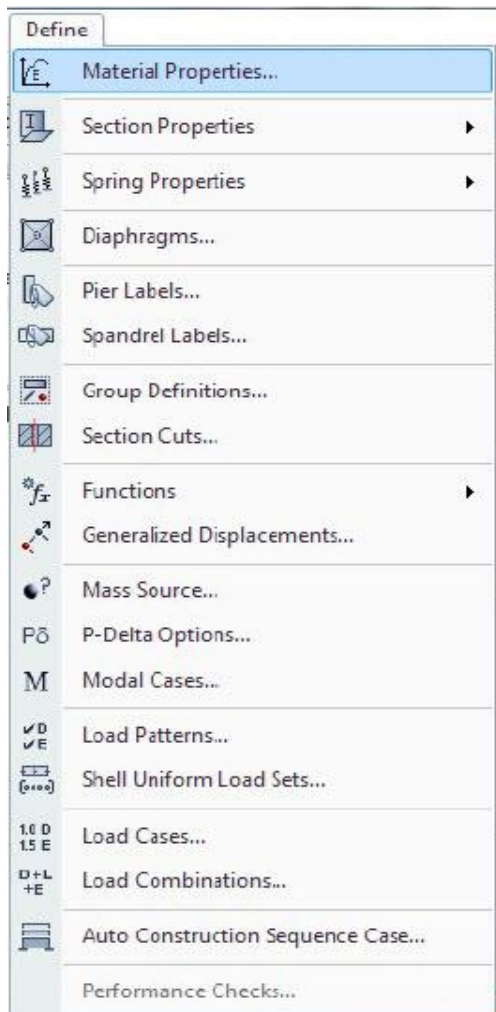
5.4.3 Επιφάνεια εργασίας προγράμματος ETABS



Σχήμα 5.4.3.1

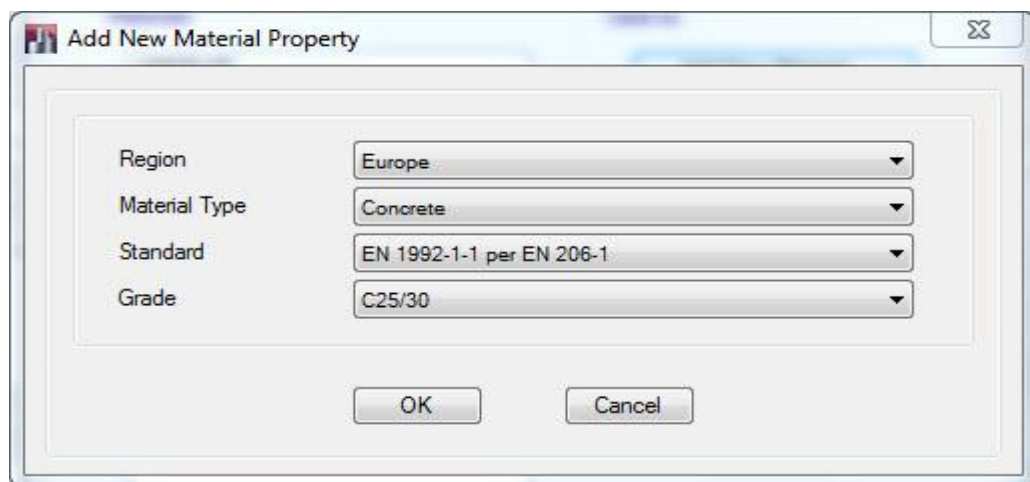
5.4.4 Υλικά

Όπως έχουμε προαναφέρει τα υλικά που χρησιμοποιούμε είναι σκυρόδεμα C25/30 και χάλυβας B500C. Στις επόμενες φωτογραφίες φαίνεται η εισαγωγή των υλικών και των παραμέτρων τους στο πρόγραμμα. Η εισαγωγή των υλικών γίνεται από το μενού “Define” πατώντας το εικονίδιο “Materials Properties” (Σχήμα 5.4.4.1).

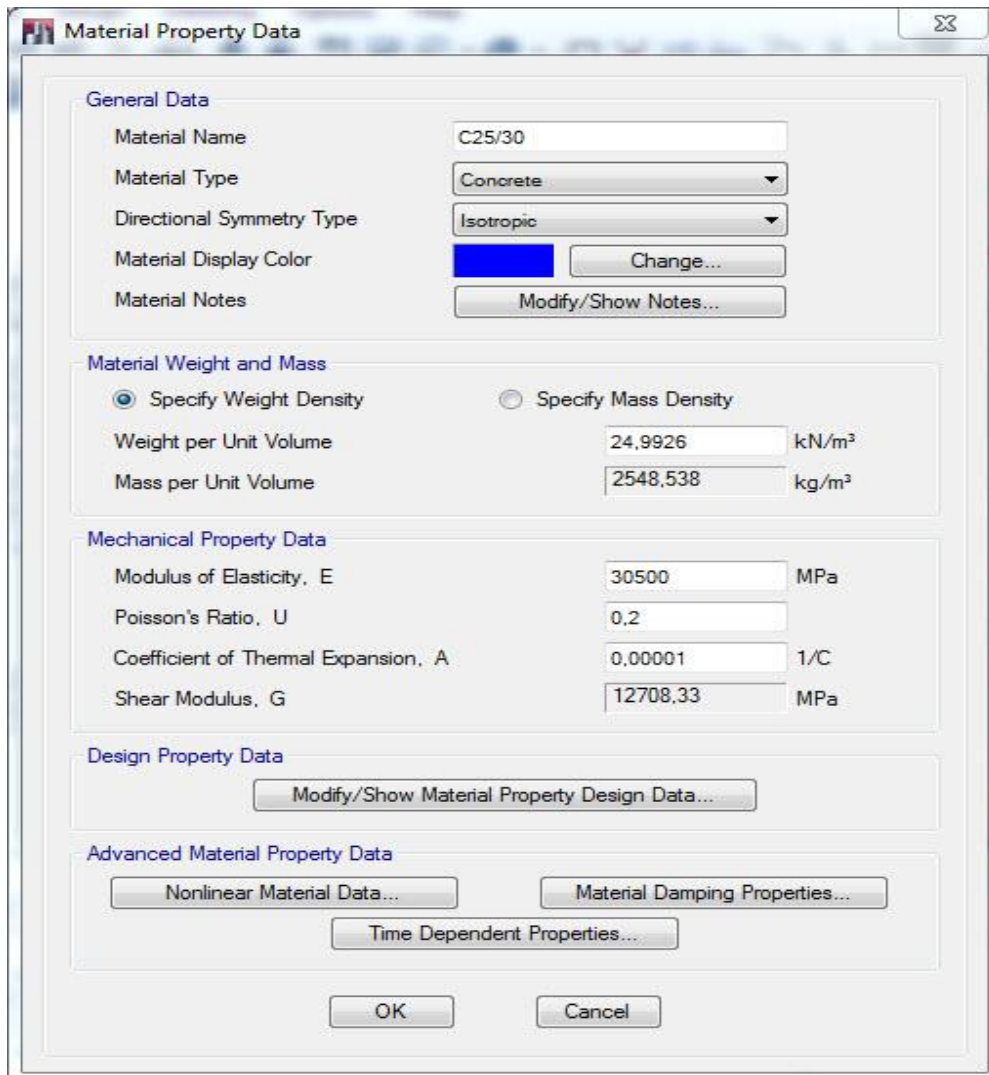


Σχήματα 5.4.4.1 και 5.4.4.2 Εισαγωγή υλικών*

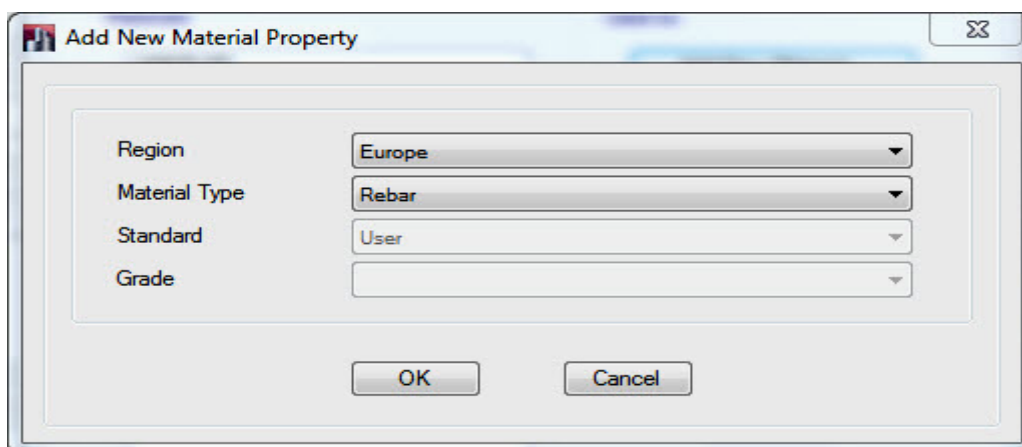
*ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Εισαγωγή υλικών γίνεται πατώντας το εικονίδιο “Add New Material”.



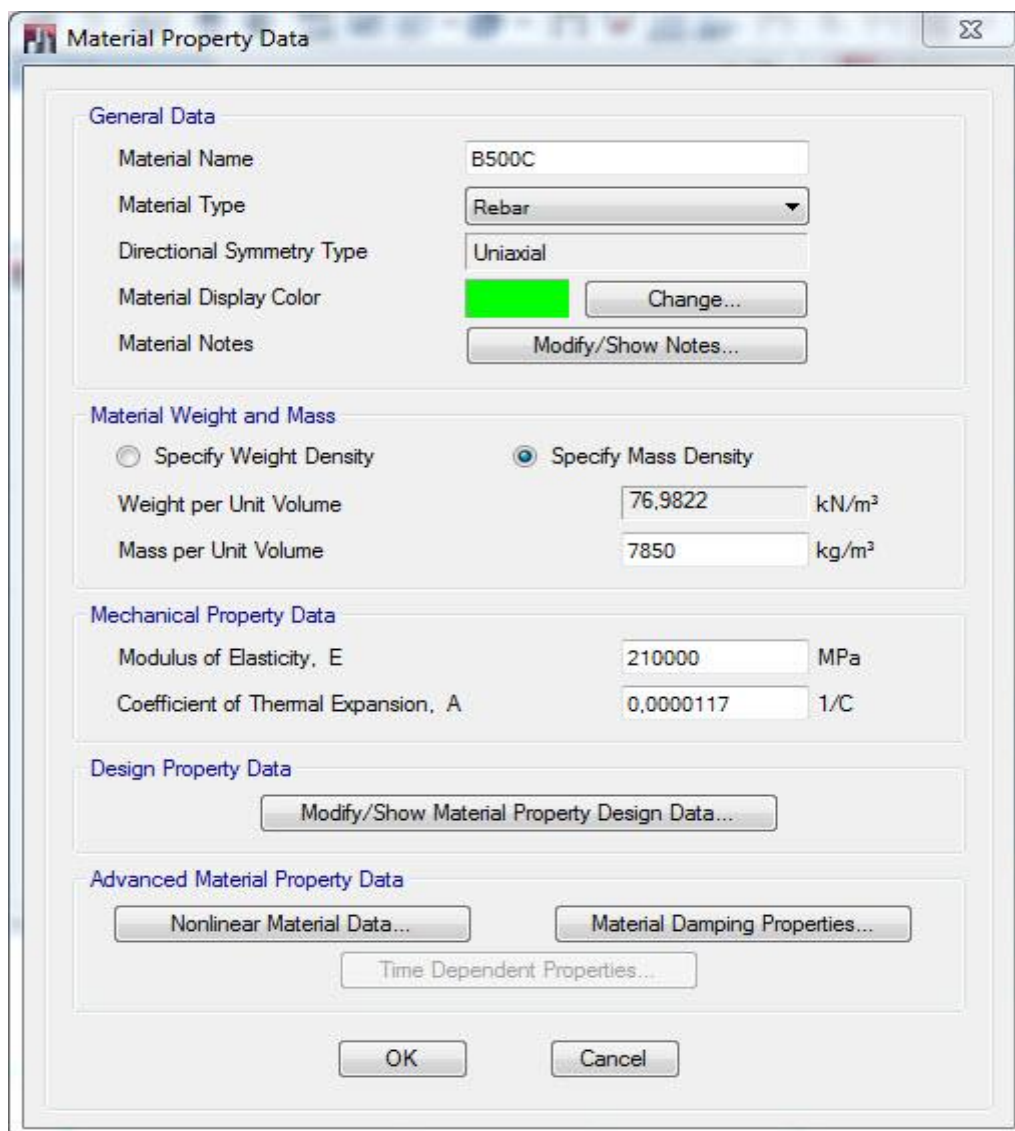
Σχήμα 5.4.4.3 Εισαγωγή σκυροδέματος



Σχήμα 5.4.4.4 Εισαγωγή παραμέτρων σκυροδέματος



Σχήμα 5.4.4.5 Εισαγωγή χάλυβα

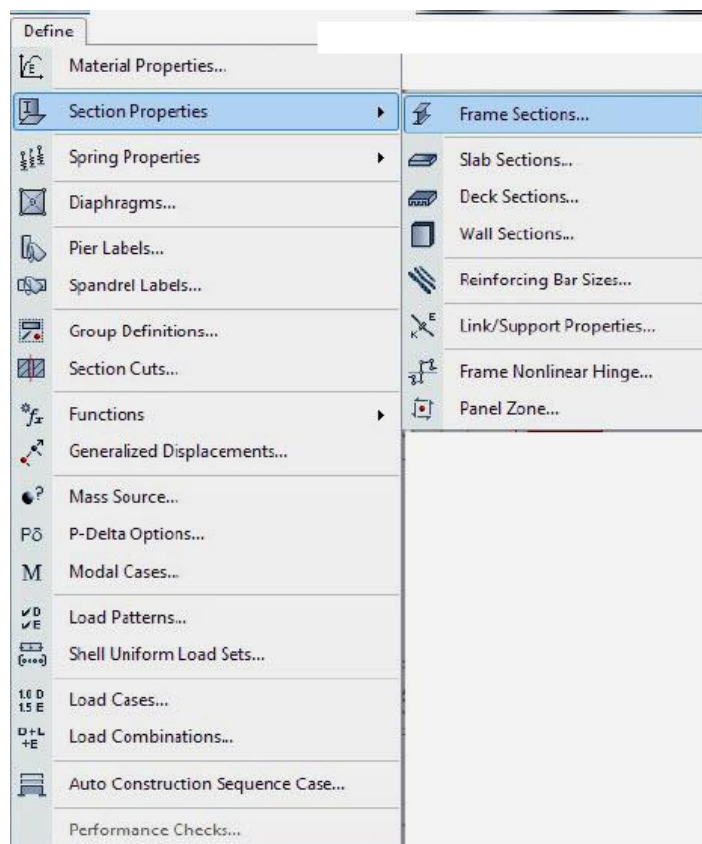


Σχήμα 5.4.4.6 Εισαγωγή παραμέτρων χάλυβα

5.4.5 Δομικά Στοιχεία

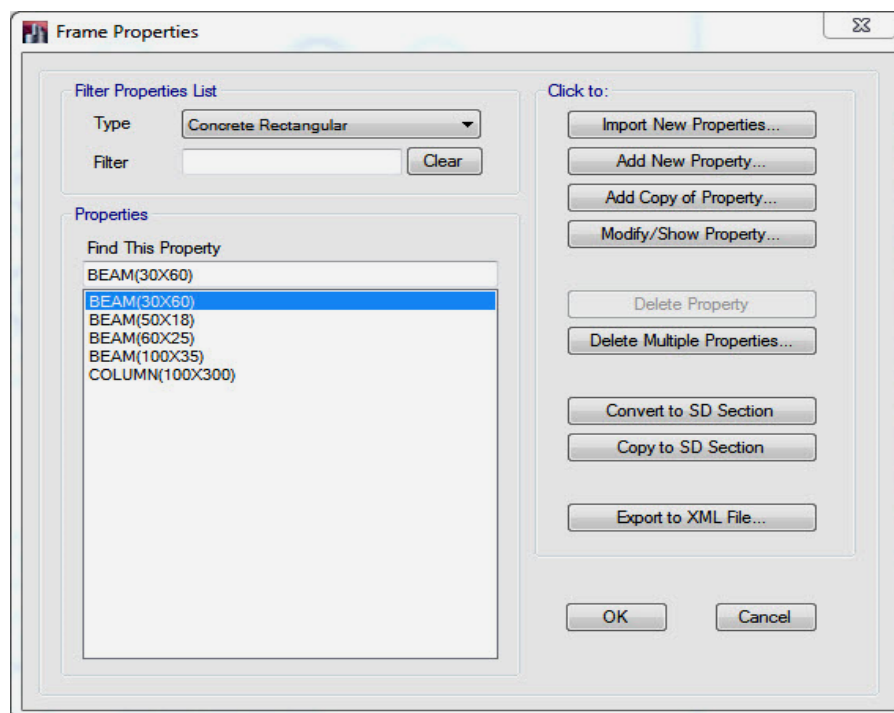
- **Δοκοί, Υποστυλώματα και Τοιχεία**

Οι δοκοί, τα υποστυλώματα και τα τοιχεία είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα και ο χάλυβας οπλισμού είναι B500C. Η επικάλυψη είναι $c = 3\text{cm}$. Παρακάτω, παρατίθενται φωτογραφίες εισαγωγής δεδομένων των δοκών, των υποστυλωμάτων και των τοιχείων για ένα από κάθε δομικό στοιχείο (ομοίως τα υπόλοιπα). Από το μενού “Define” πηγαίνουμε στο “Section Properties”.

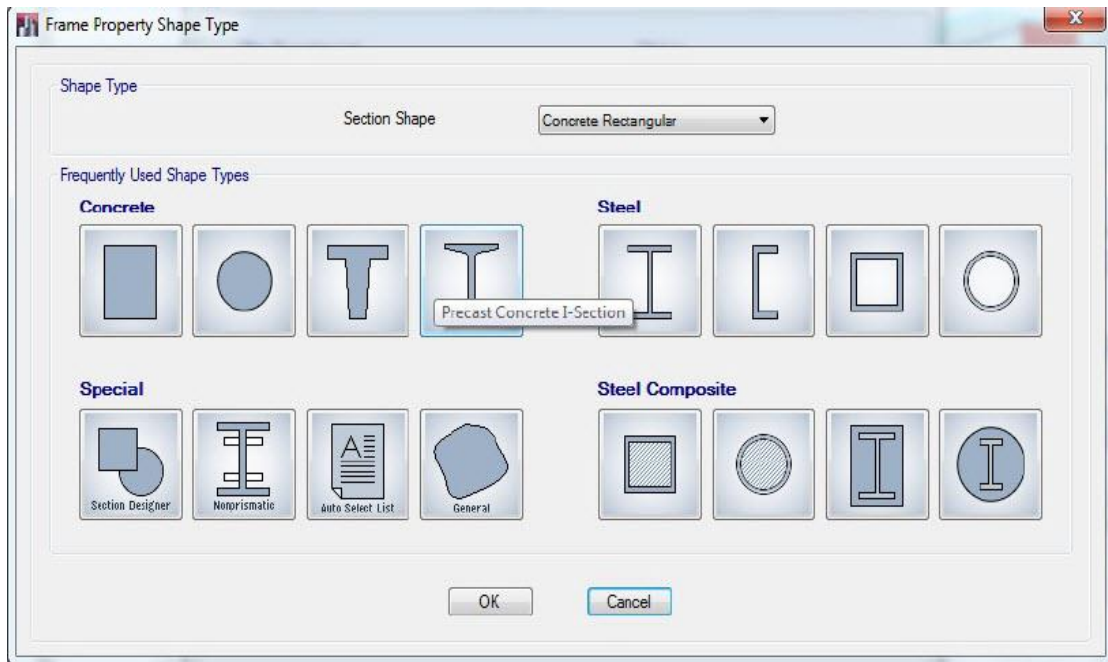


Σχήμα 5.4.5.1

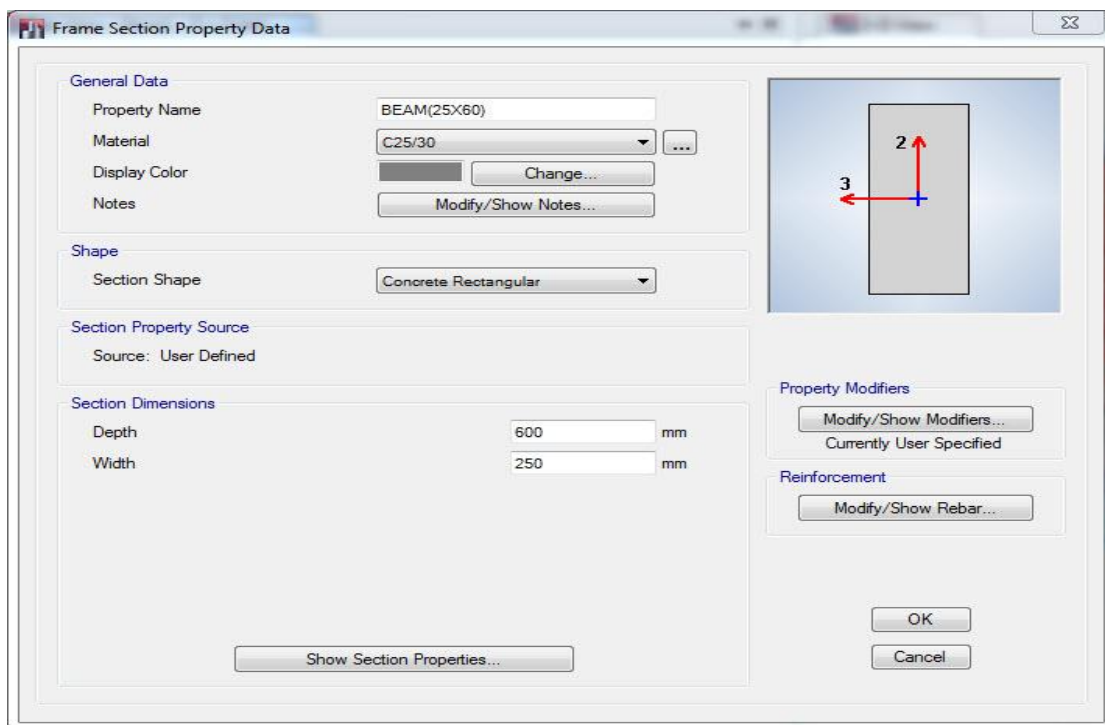
Για να εισάγουμε τις δοκούς και τα υποστυλώματα πατάμε το "Add New Property".



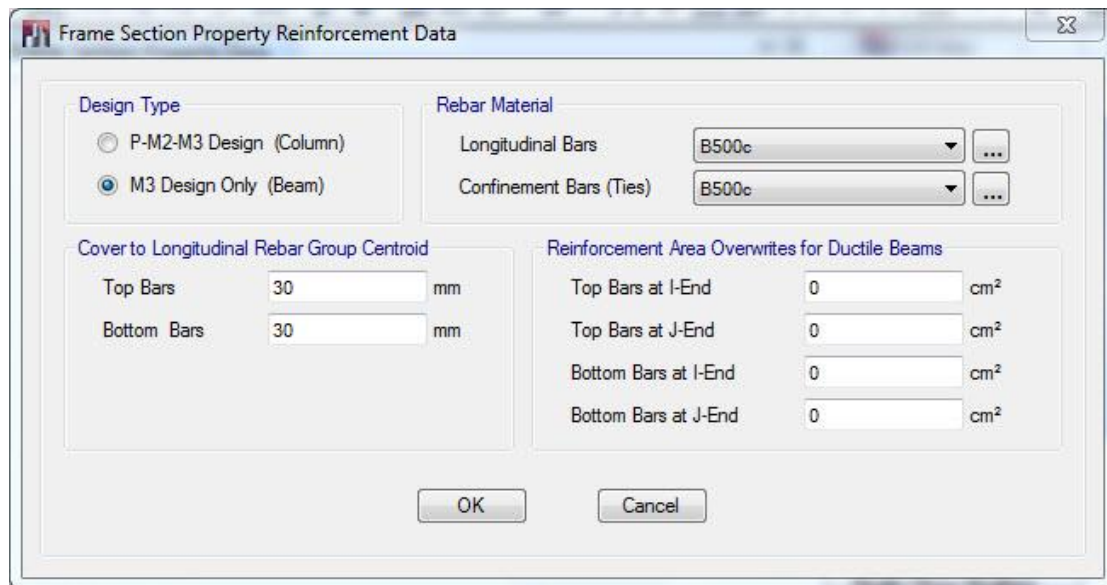
Σχήμα 5.4.5.2 Εισαγωγή δοκών και υποστυλωμάτων



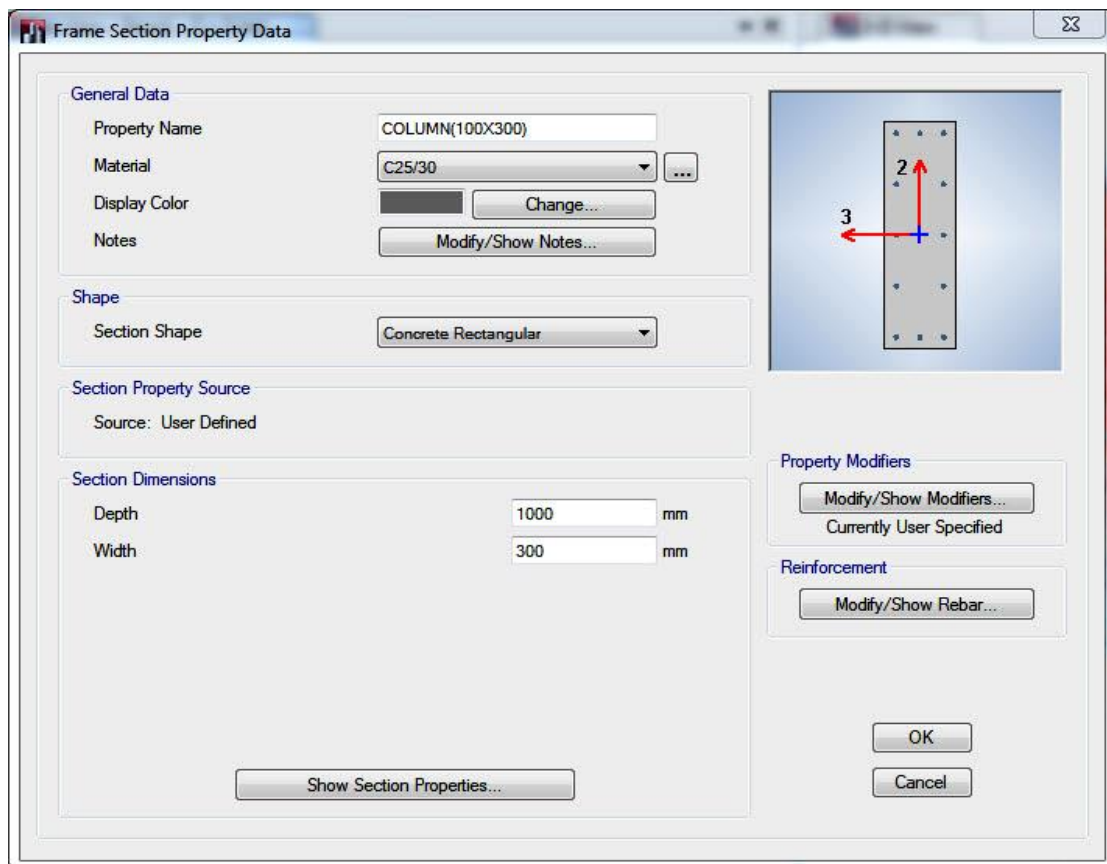
Σχήμα 5.4.5.3 Επιλογή σχήματος δοκών και υποστυλωμάτων (επιλεγούμε την ορθογωνική διατομή σκυροδέματος)



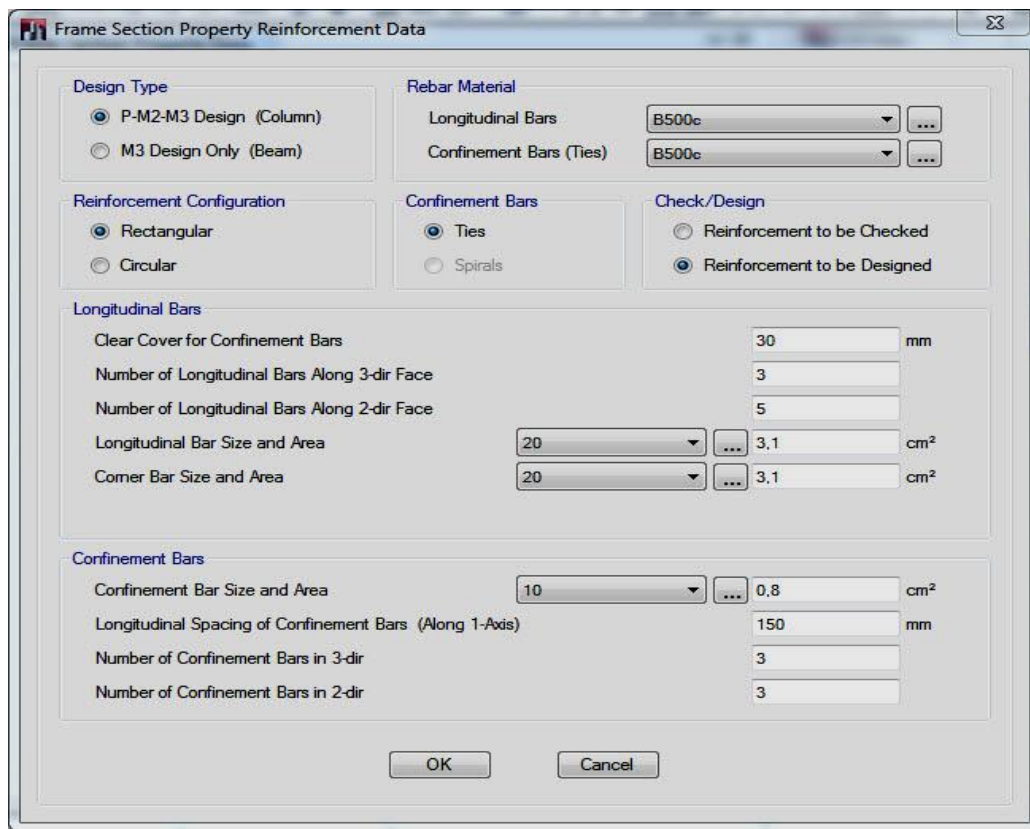
Σχήμα 5.4.5.4 Εισαγωγή δεδομένων δοκών



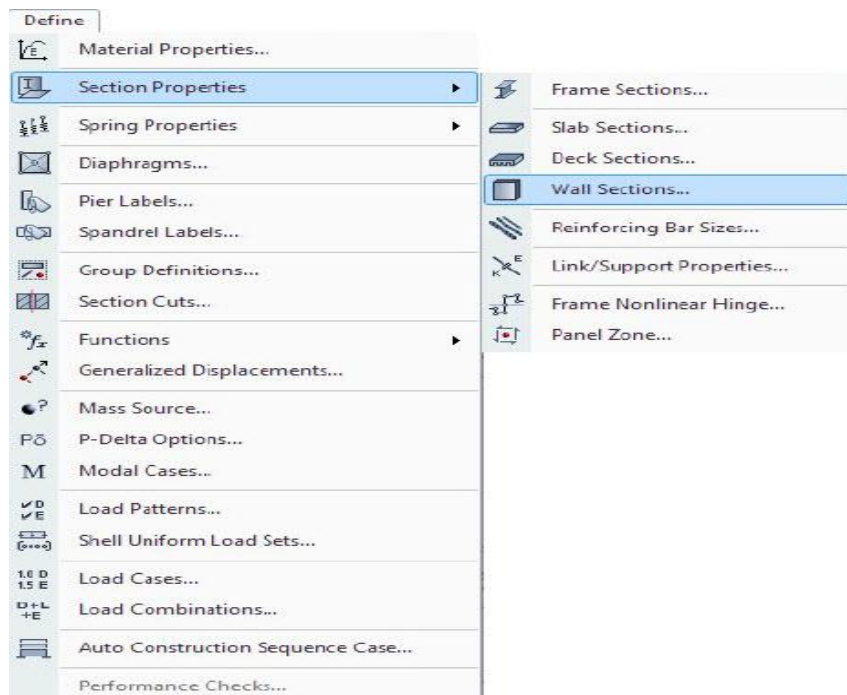
Σχήμα 5.4.5.5 Εισαγωγή οπλισμού και επικάλυψης δοκών



Σχήμα 5.4.5.6 Εισαγωγή δεδομένων υποστυλωμάτων

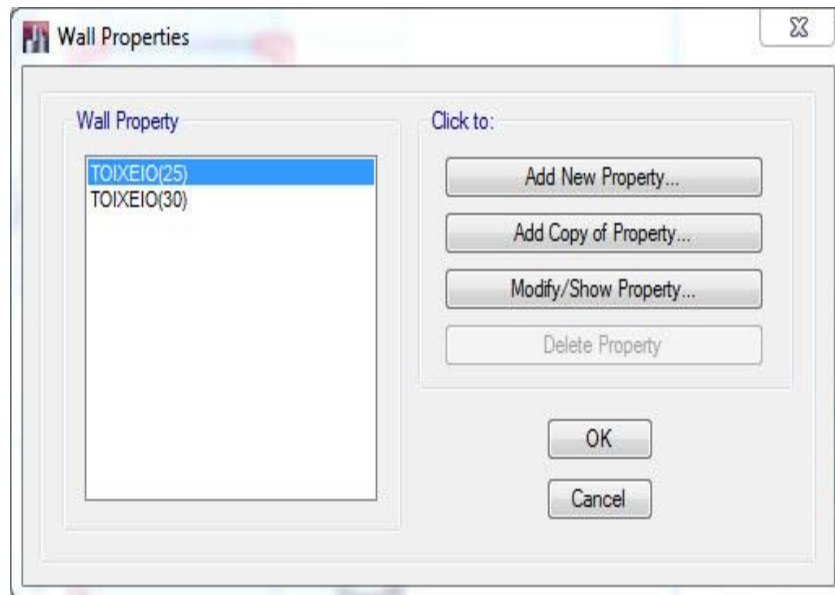


Σχήμα 5.4.5.7 Εισαγωγή οπλισμού και επικάλυψης υποστυλωμάτων

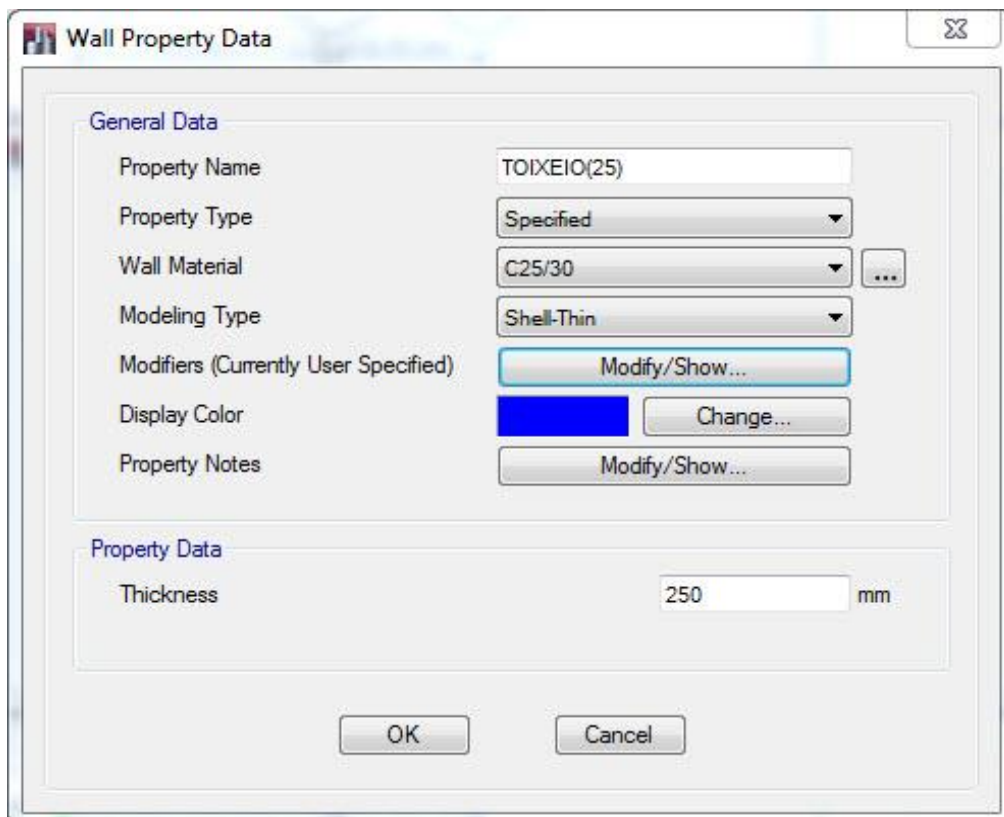


Σχήμα 5.4.5.8

Για να εισάγουμε τα τοιχεία πατάμε το "Add New Property".



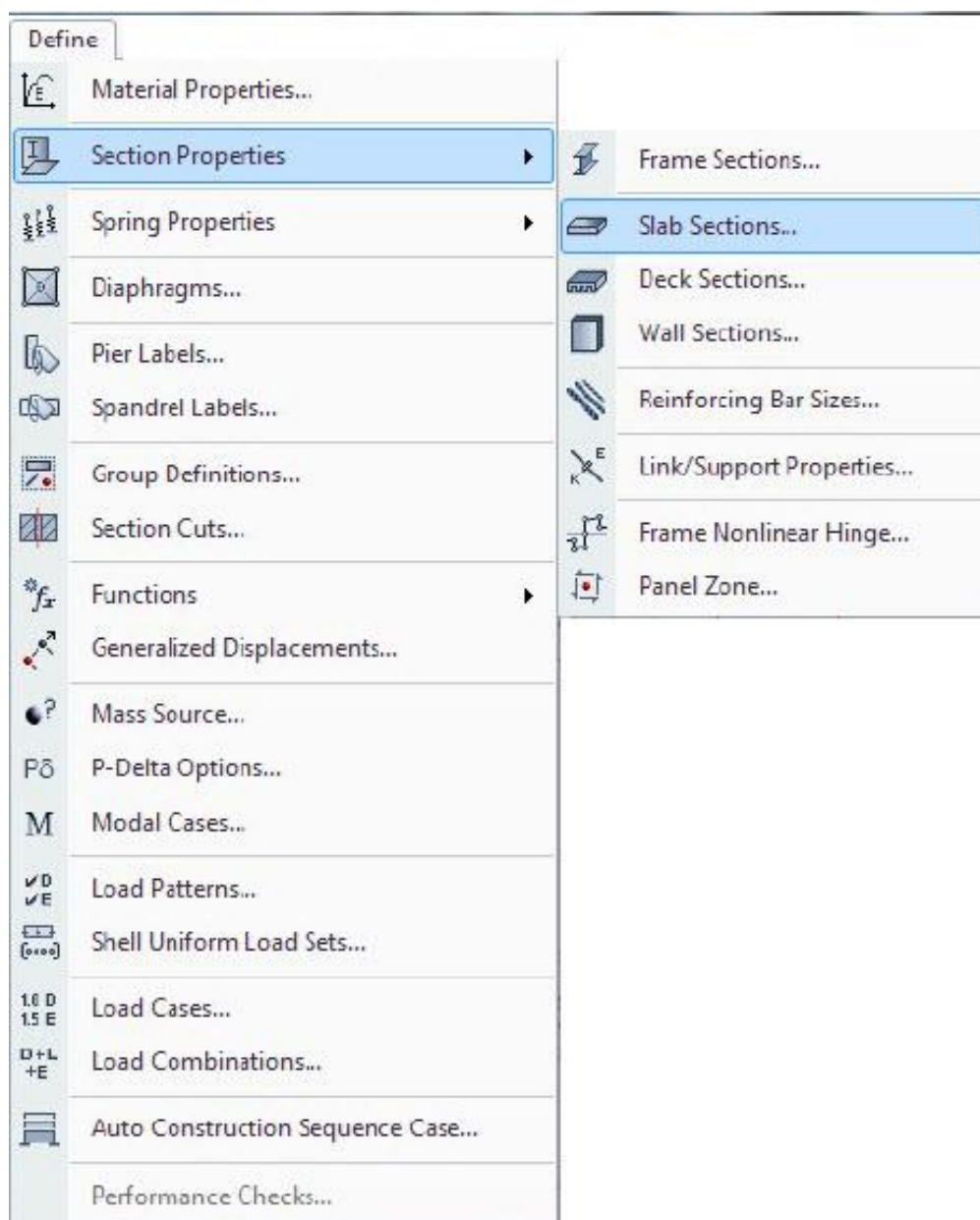
Σχήμα 5.4.5.9 Εισαγωγή τοιχείων



Σχήμα 5.4.5.10 Εισαγωγή παραμέτρων τοιχείων

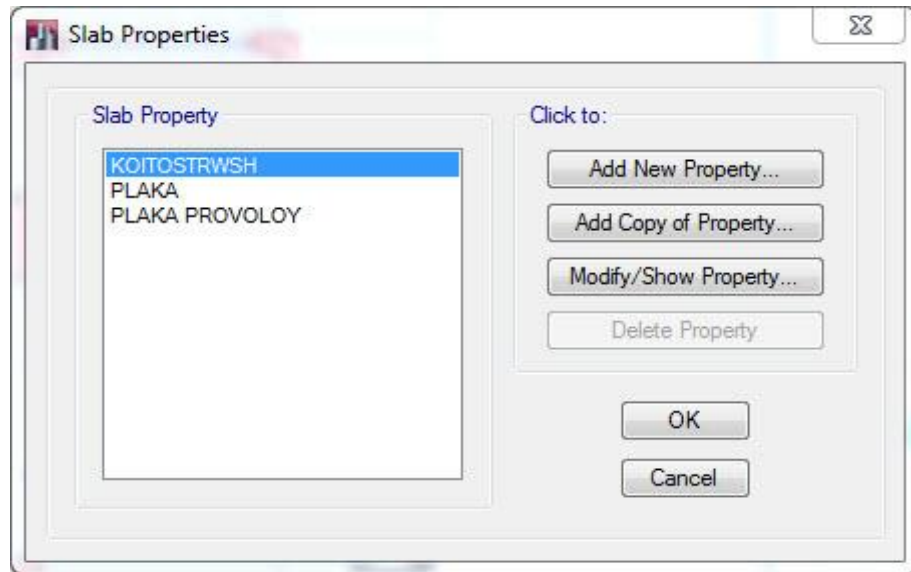
- **Πλάκες**

Οι πλάκες του κτιρίου είναι τριών ειδών . Η πλάκα των εσωτερικών δαπέδων η οποία έχει πάχος 18cm, η πλάκα των εξωστών με πάχος 23cm και η πλάκα της κοιτόστρωσης με πάχος 80cm. Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος εισαγωγής των πλακών και των χαρακτηριστικών τους. Από το μενού “Define” πηγαίνουμε στο “Section Properties” → “Slab Section”.(Σχήμα 5.4.5.11)



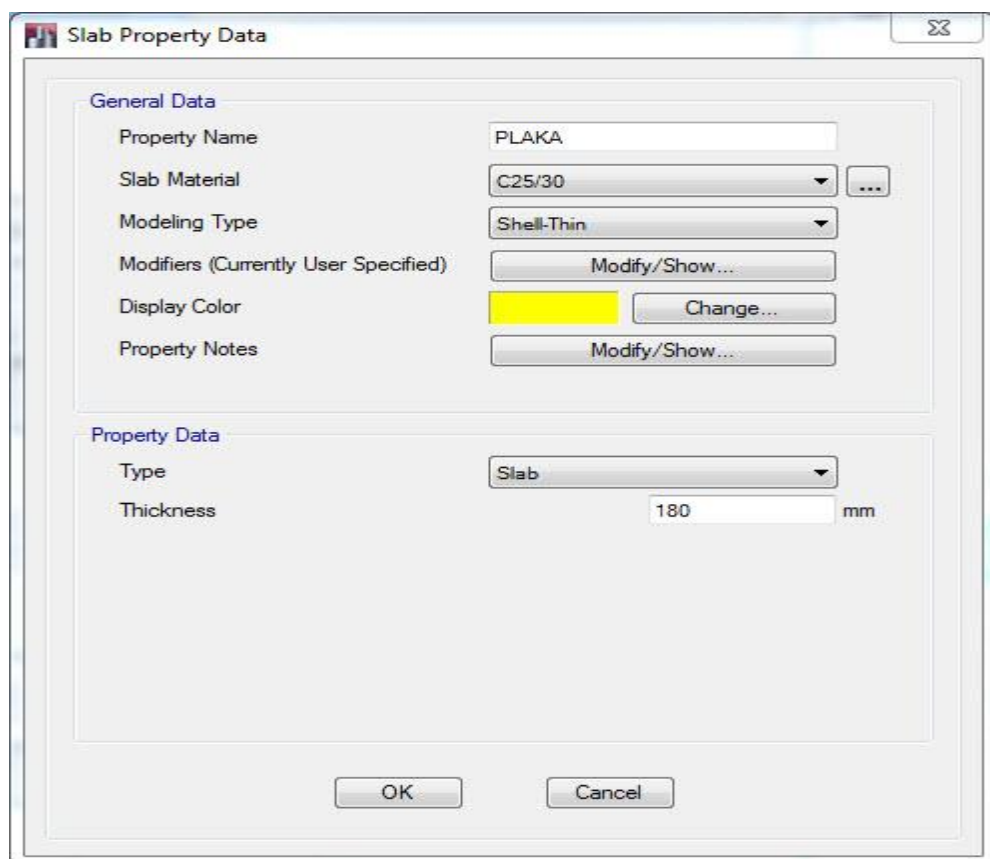
Σχήμα 5.4.5.11

Για να εισάγουμε τις πλάκες πατάμε το "Add New Property".



Σχήμα 5.4.5.12 Εισαγωγή πλακών

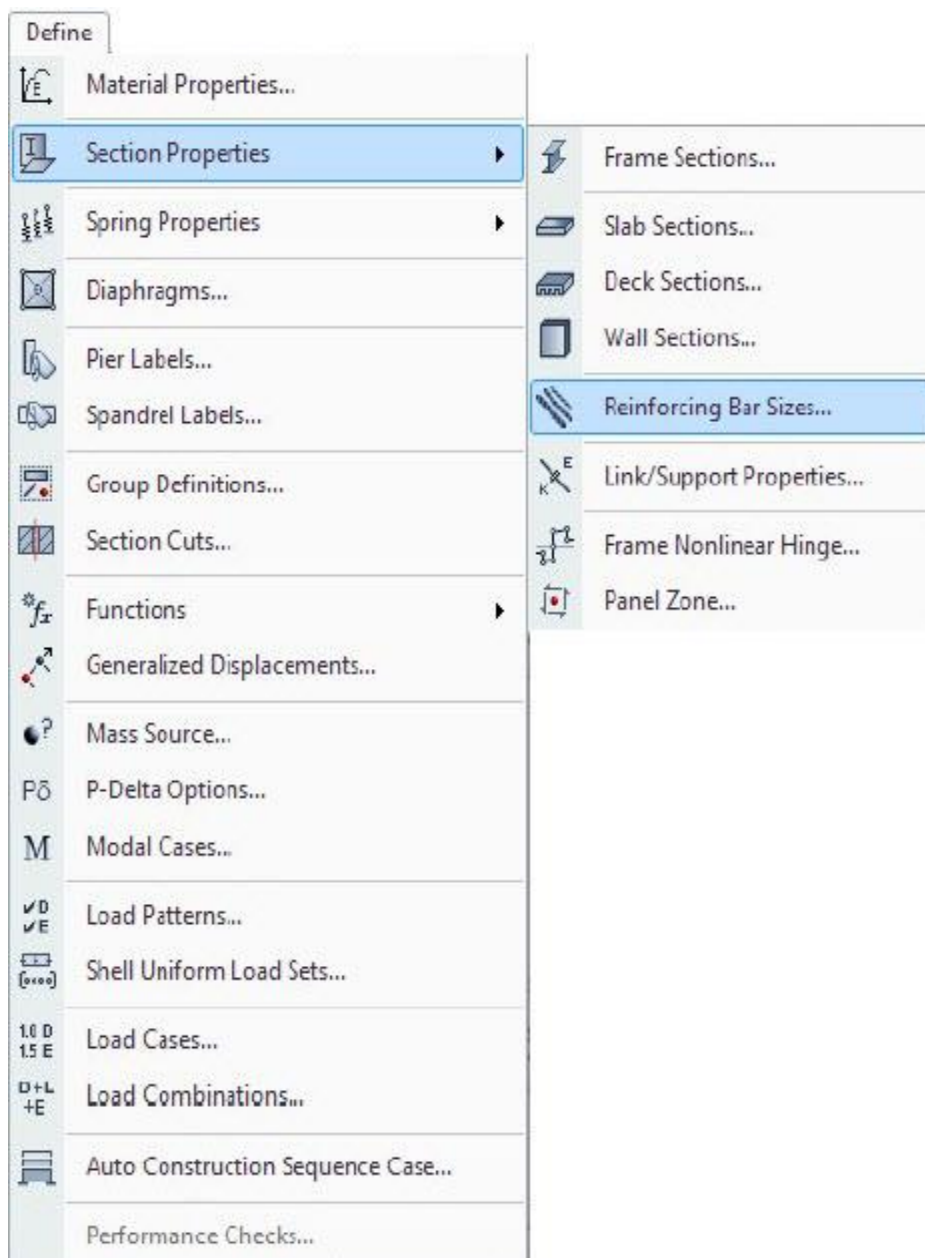
Ομοίως θα δημιουργηθούν και η πλάκα προβόλου και η πλάκα



Σχήμα 5.4.5.13 Εισαγωγή παραμέτρων πλακών

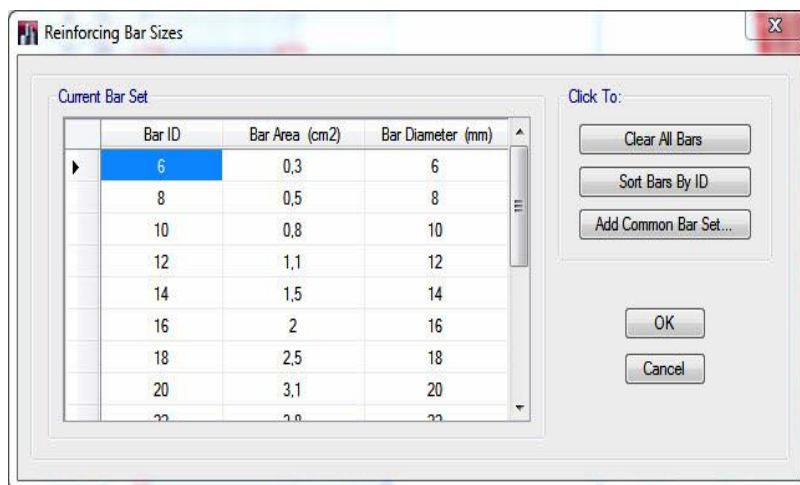
5.4.6 Ράβδοι Οπλισμού

Ο οπλισμός που χρησιμοποιήσαμε είναι B500C. Επίσης, οι μονάδες των ράβδων είναι στο σύστημα S.I, δηλαδή Φ6, Φ8 κ.ο.κ. Η διαμόρφωση του τύπου των ράβδων γίνεται ως εξής: “Define” → “Section Properties” → “Reinforcing Bar Sizes” (Σχήμα 5.4.6.1).



Σχήμα 5.4.6.1

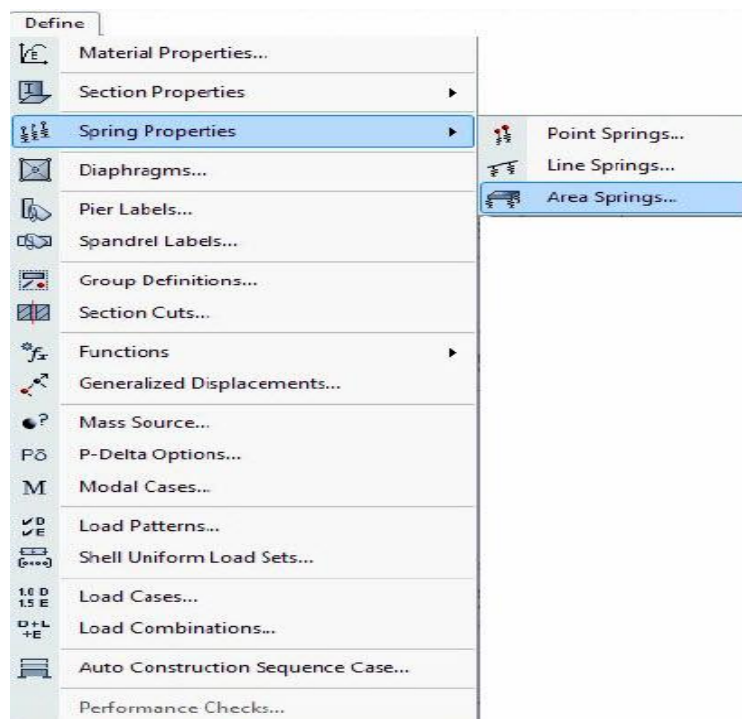
Για να εισάγουμε τον τύπο διαστάσεων των ράβδων, επιλεγούμε το "Add Common Bar Set" → "System S.P".



Σχήμα 5.4.6.2 Εισαγωγή τύπου ράβδων

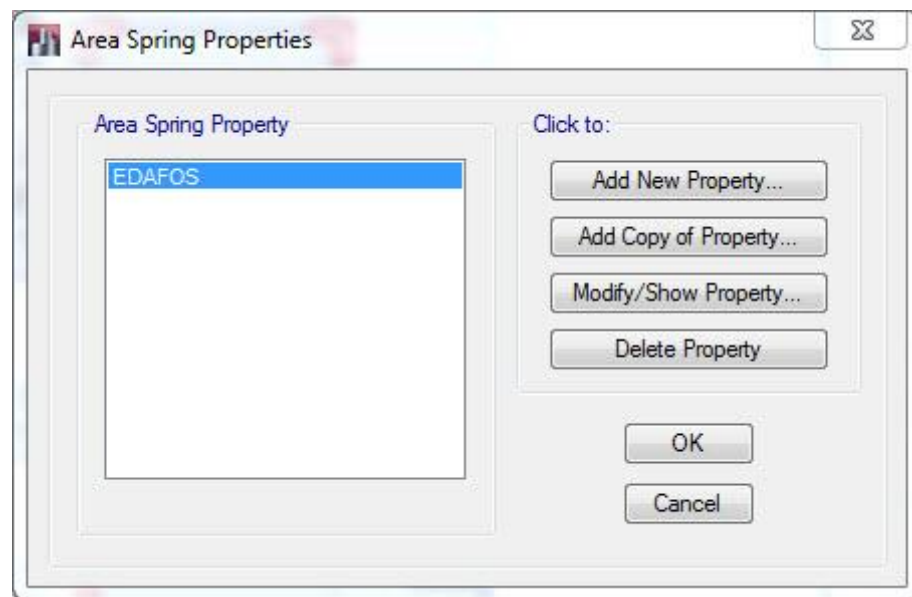
5.4.7 Έδαφος

Το κτήριο εδράζεται σε χοντρά χαλίκια με άμμο με δείκτη Winkler $k_s=200\text{MN/m}^3$. Το έδαφος προσομοιώνεται με ελατήρια στην πλάκα κοιτόστρωσης όπως αναφέραμε πιο πάνω. Από το μενού "Define" επιλεγούμε "Spring Properties" και στην συνέχεια "Area Springs". (Σχήμα 5.4.7.1)



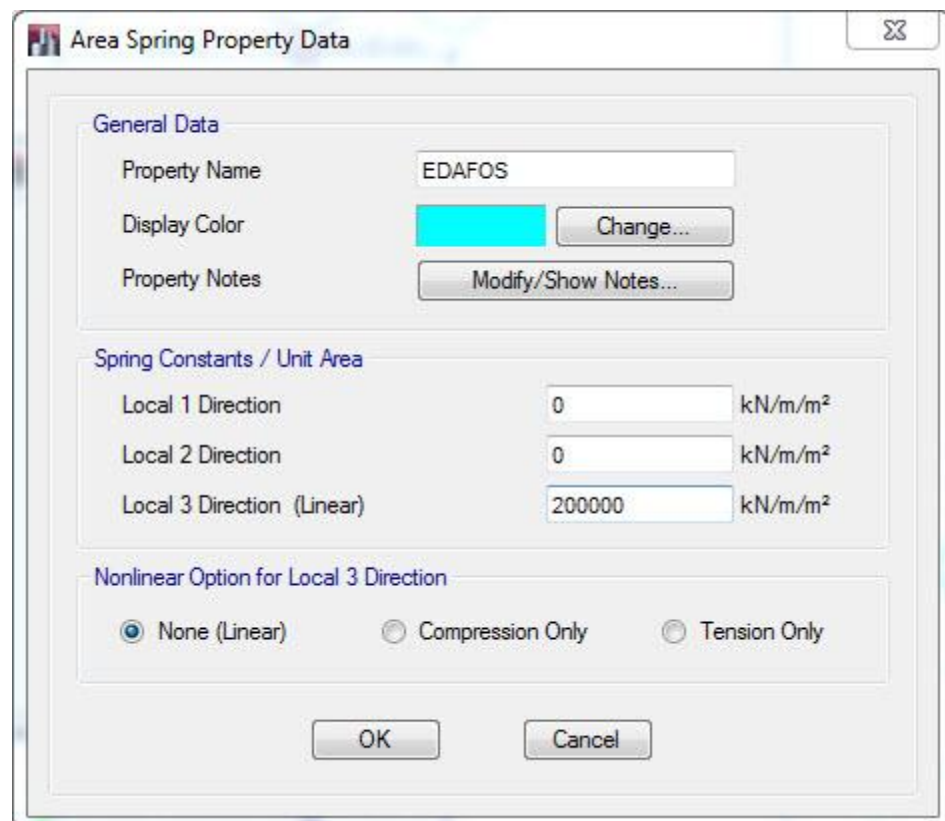
Σχήμα 5.4.7.1

Για να εισάγουμε το έδαφος πατάμε "Add New Property". (Σχήμα 5.4.7.1)



Σχήμα 5.4.7.1 Δημιουργία εδάφους

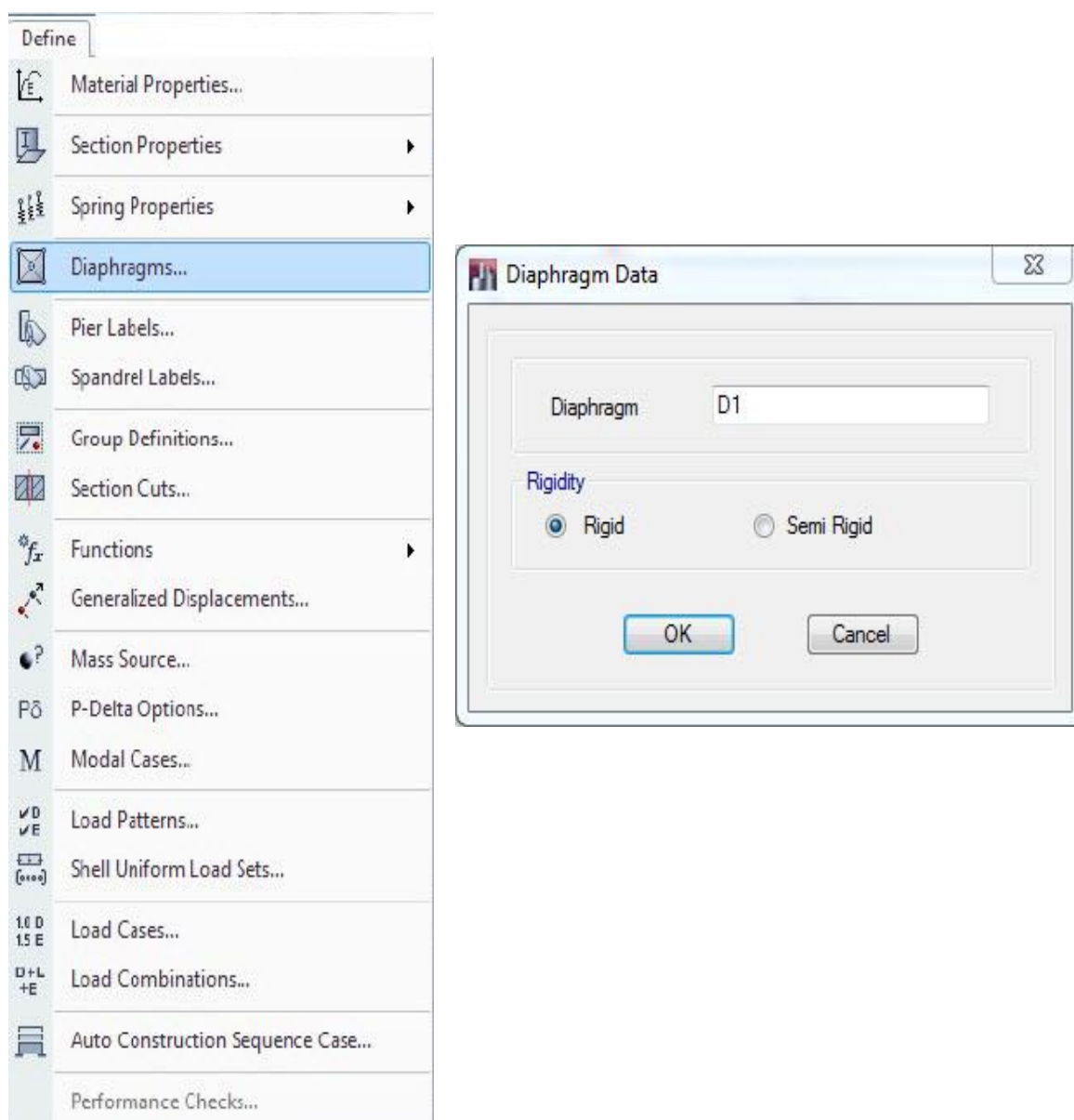
Το $k_s=200\text{MN/m}^3$ θα τοποθετηθεί στο "Local 3 Direction (Linear)", δηλαδή στον άξονα z.



Σχήμα 5.4.7.1 Εισαγωγή δεδομένων εδάφους

5.4.8 Διαφραγματική Λειτουργία

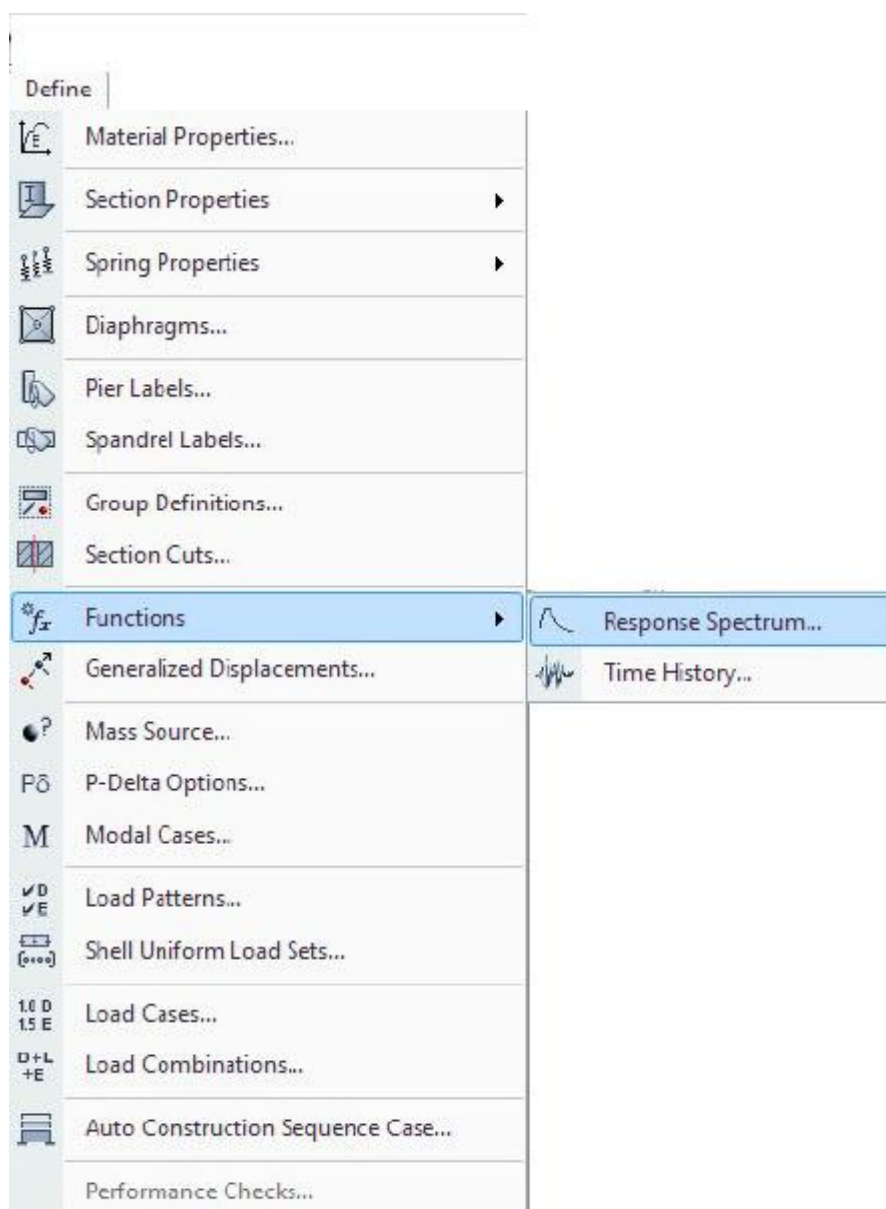
Οι πλάκες στο σκελετό ενός ορόφου δημιουργούν ένα ισχυρό οριζόντιο στοιχείο, το διάφραγμα. Αυτό είναι πρακτικά άκαμπτο και απαραμόρφωτο, οπότε υποχρεώνει τις δοκούς και τις κεφαλές των υποστυλωμάτων να κινηθούν με βάση αυτό τον κανόνα. Στο προσομοίωμα χρησιμοποιούμε άπειρη ακαμψία. Από το μενού "Define" επιλεγούμε "Diaphragms" και στην συνέχεια επιλεγούμε "rigid". (Σχήματα 5.4.7.1 και 5.4.7.2)



Σχήμα 5.4.8.1 και 5.4.8.2 Δημιουργία διαφραγματικής λειτουργίας

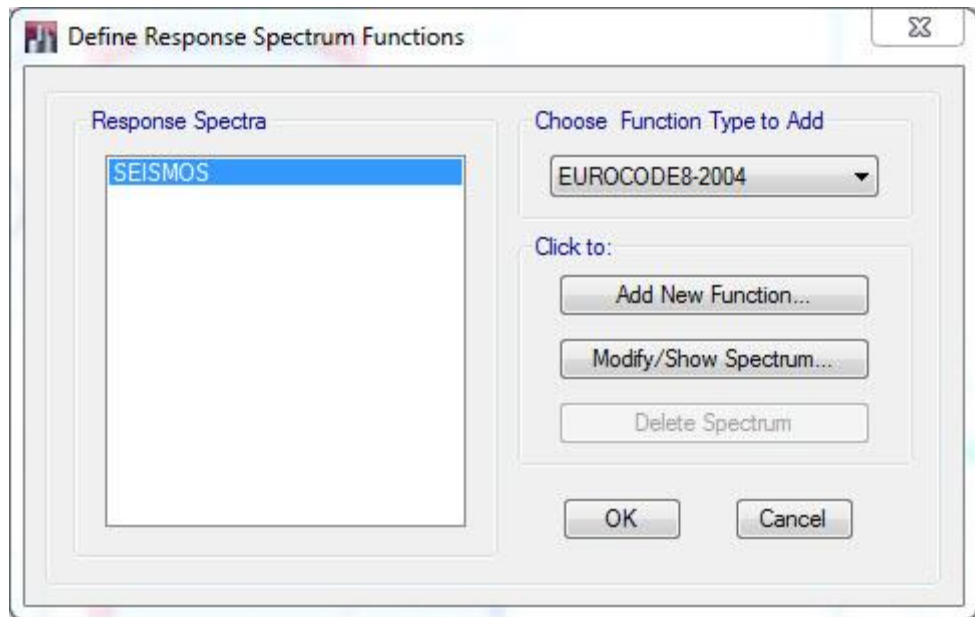
5.4.9 Σεισμός

Ο σχεδιασμός του κτηρίου έναντι του σεισμού έγινε σύμφωνα με τις διατάξεις του ευρωκώδικα 8(EC8). Τα δεδομένα για τον σχεδιασμό έναντι του σεισμού έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο 2.3. Από το μενού “Define” επιλέγουμε “Functions” και μετά “Response Spectrum”(Σχήμα 5.4.9.1) και η εισαγωγή των δεδομένων για τον σεισμό παρατίθενται στις παρακάτω φωτογραφίες (Σχήμα 5.4.9.2) και ”(Σχήμα 5.4.9.3).

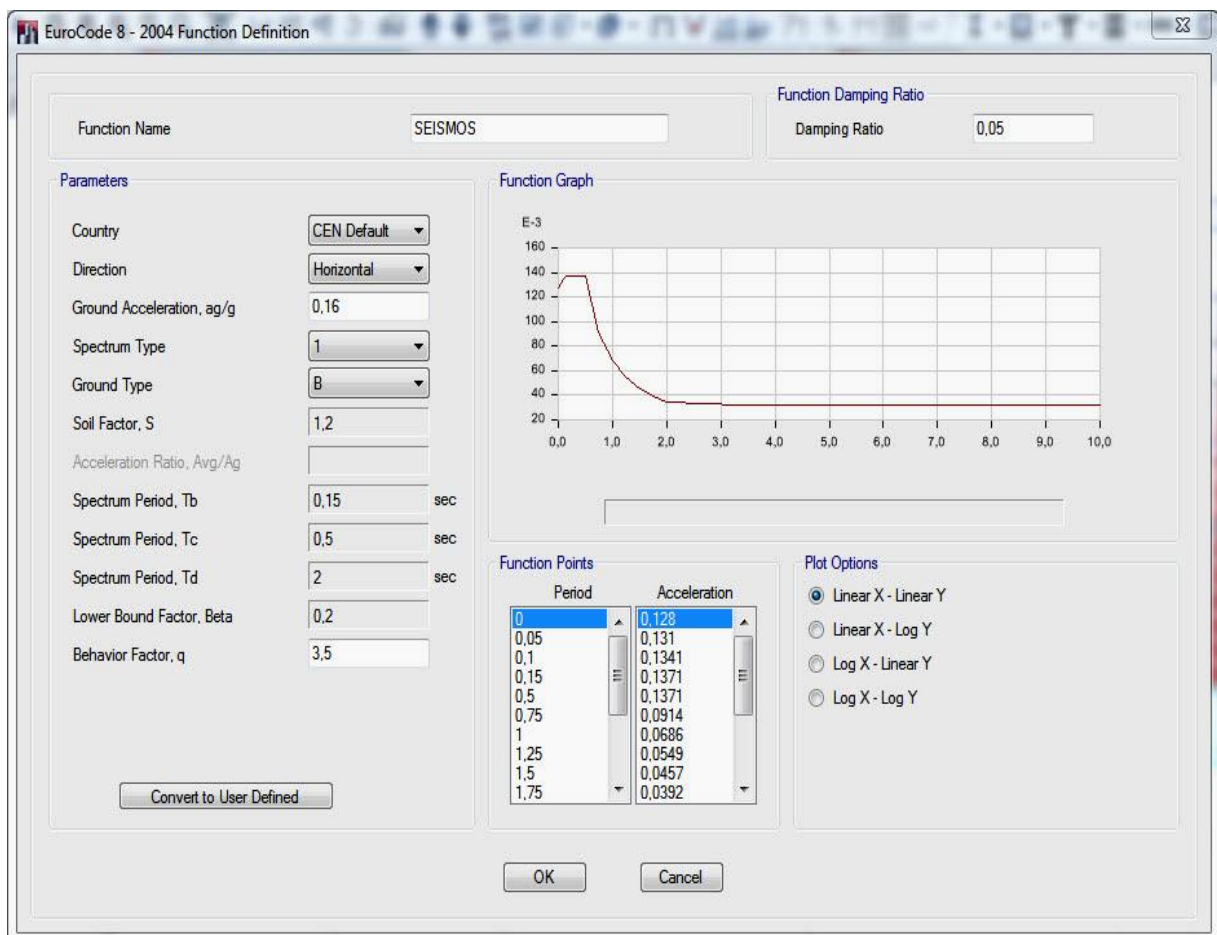


Σχήμα 5.4.9.1

Για να δημιουργήσουμε το σεισμό πατάμε στο “Add New Function” και επιλέγουμε από το “Function Type” το “Eurocode 8-2004”.



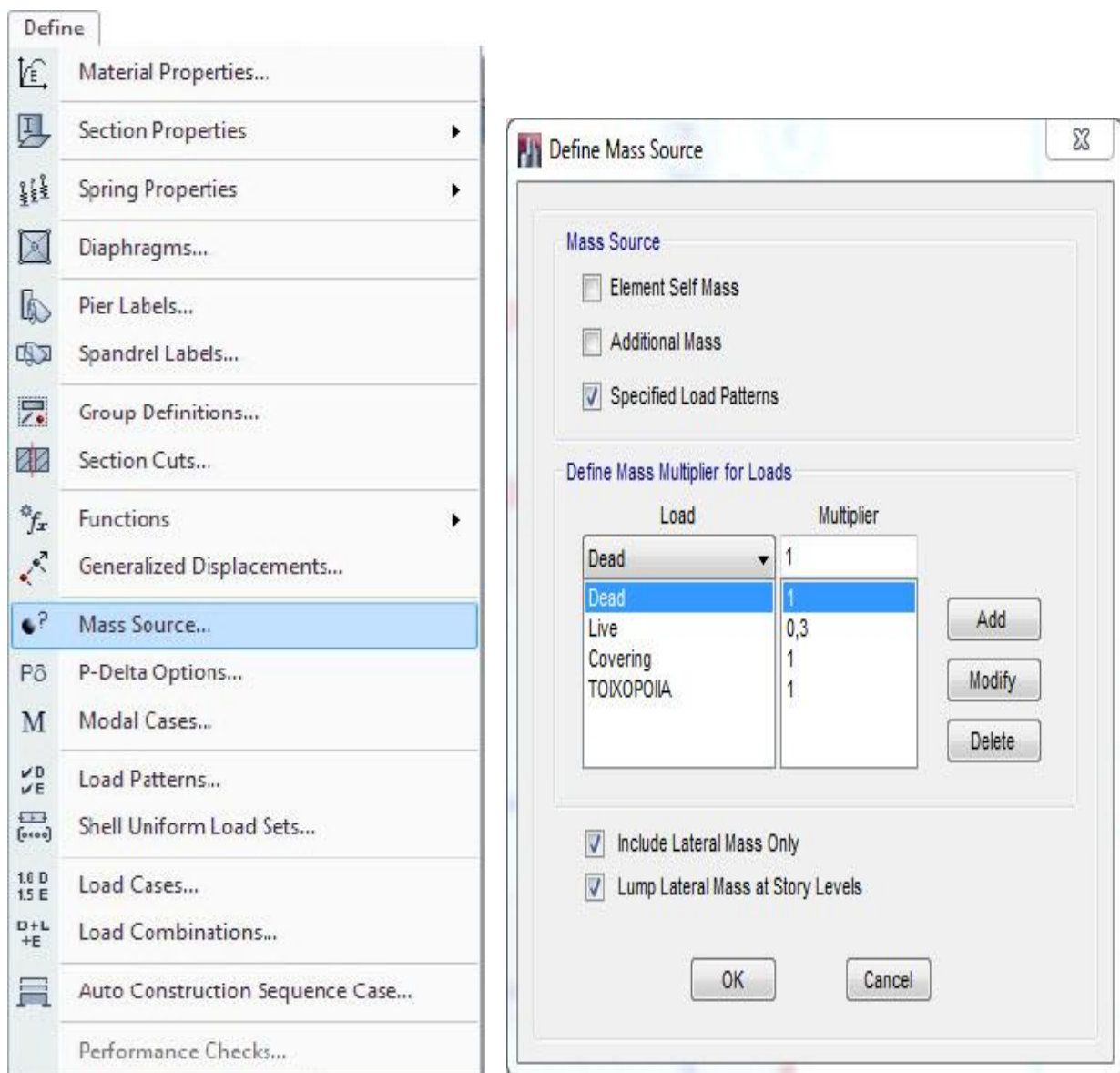
Σχήμα 5.4.9.2 Δημιουργία σεισμού



Σχήμα 5.4.9.3 Εισαγωγή παραμέτρων σεισμού

5.4.10 Μάζα

Στην ιδιομορφική ανάλυση η συνολική μάζα του κτιρίου προέκυψε από τα μόνιμα (ίδιο βάρος (dead) , επικάλυψη (Covering) και τοιχοποιία) φορτία χωρίς συντελεστή προσαύξησης και το 30% των κινητών φορτίων (live). Στα σχήματα 3.4.10.1 και 3.4.10.2 παρουσιάζεται ο τρόπος εισαγωγής της συνολικής μάζας. Από το μενού “Define” επιλέγουμε το “Mass Source”.

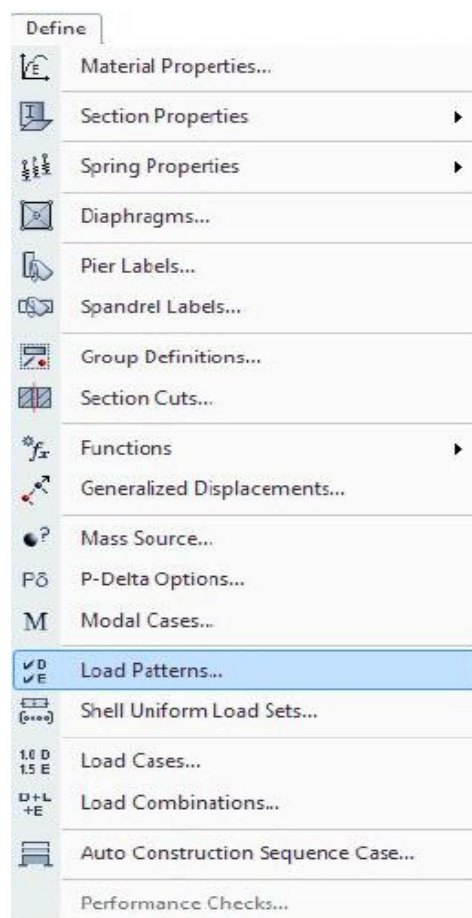


Σχήμα 5.4.10.1 και 5.4.10.2 Εισαγωγή μάζας

5.4.11 Φορτία

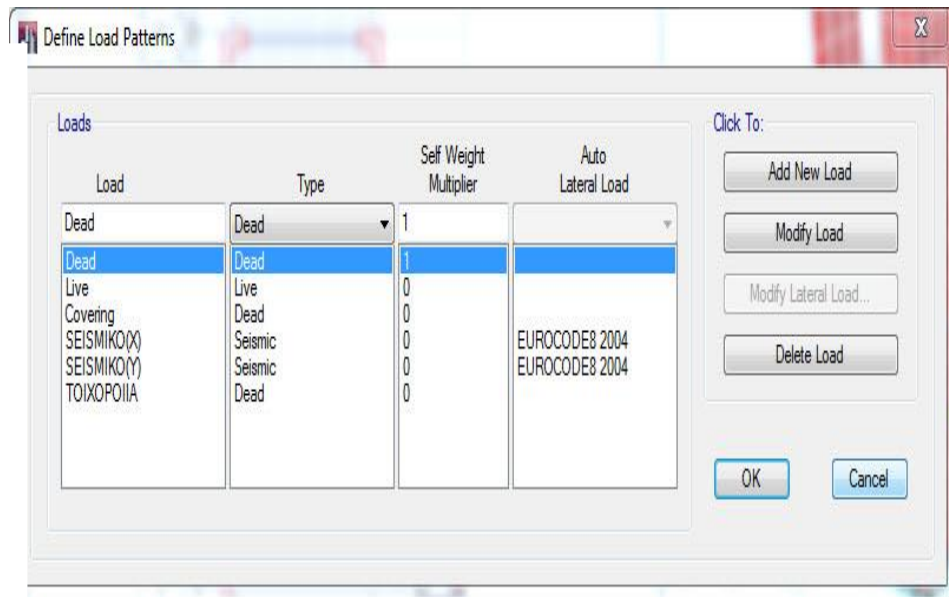
- Δημιουργία φορτίων

Τα φορτία τα οποία λαμβάνουν μέρος στην δυναμική ανάλυση είναι τα μόνιμα (dead), η επικάλυψη (covering), η τοιχοποιία, τα κινητά (live) και δυο σεισμικά φορτία, ένα προς την x διεύθυνση και ένα προς την y. Όπως θα παρατηρήσουμε στο σχήμα 5.4.11.1 στα μόνιμα φορτία (dead) έχει μονάδα στο “Self Weight Multiplier” αυτό συμβαίνει διότι σε κάθε δομικό στοιχείο το οποίο έχει dead φορτίο θα του υπολογίζει αυτόματα και το ίδιο βάρος του, σε αντίθεση με τα άλλα φορτία τα οποία έχουν 0, στα οποία δεν χρειαζόμαστε το ίδιο βάρος διότι βάζουμε εμείς το αντίστοιχο φορτίο. Παρακάτω παρουσιάζονται δυο φωτογραφίες Σχήμα 5.4.11.1 και 5.4.11.2 στην διαφαίνεται δημιουργία των φορτίων. Από το μενού “Define επιλέγουμε” “Load Patterns”.



Σχήμα 5.4.11.1

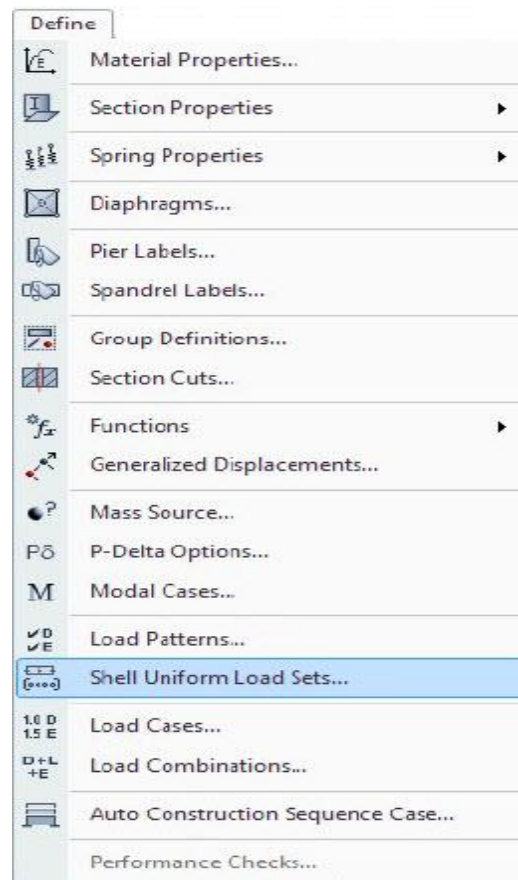
Για να εισάγουμε ένα φορτίο συμπληρώνουμε τα στοιχεία "Load, Type, Self Weight Multiplier και Auto Lateral Load" και πατάμε "Add New Load".



Σχήμα 5.4.11.2 Δημιουργία φορτίων

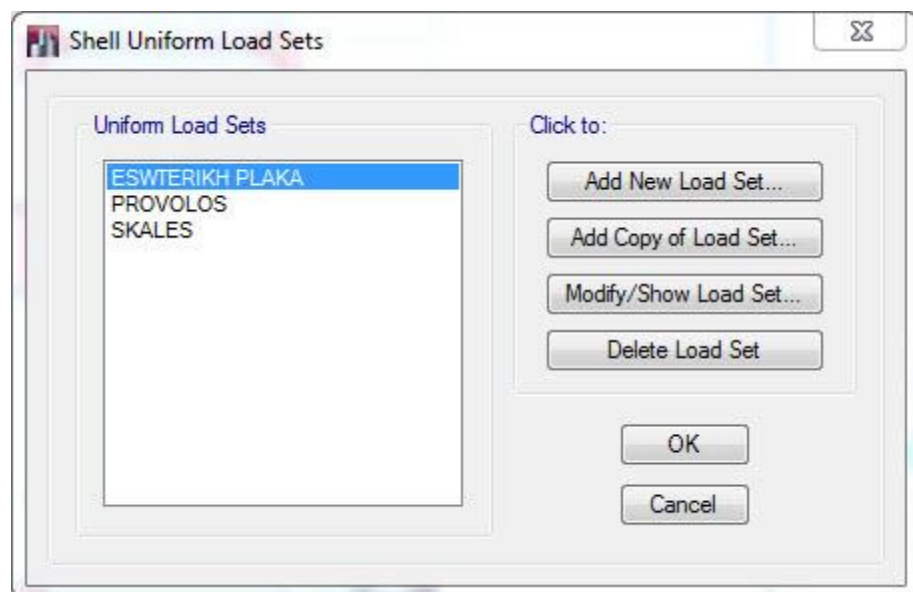
- **Δημιουργία συνδυασμού φορτίων**

Θα χρειαστεί να δημιουργήσουμε και συνδυασμό φορτίων και αυτό γίνεται διότι στις πλάκες λαμβάνουν μέρος και τα μόνιμα φορτία (ίδιο βάρος, επικάλυψη) και τα κινητά, συνεπώς θα πρέπει να υπάρχει ένας συνδυασμός που να τα εμπεριέχει όλα. Βέβαια, θα μπορούσαμε να τα περάσουμε και ξεχωριστά άλλα είναι πιο χρονοβόρο. Θα δημιουργήσουμε τρεις διαφορετικούς συνδυασμούς, διότι έχουμε τρία διαφορετικά κινητά φορτία, ένα κινητό φορτίο για την εσωτερική πλάκα, ένα για τους προβόλους και ένα για την κλίμακα. Οπότε η κάθε μια πλάκα θα έχει το ίδιο βάρος της (dead), το οποίο υπολογίζει μονό του το πρόγραμμα και δεν χρειάζεται να το εισάγουμε, το φορτίο της επικάλυψης (covering) και το δικό της κινητό φορτίο (live). Στην συνέχεια παρουσιάζονται η δημιουργία των τριών συνδυασμών φορτίων (Σχήμα 5.4.11.3 , 5.4.11.4 5.4.11.5 5.4.11.6 και 5.4.11.7). Για να εισάγουμε τους συνδυασμούς φορτίων θα εργαστούμε ως εξής: από το μενού "Define" θα επιλέξουμε το "Shell Uniform Loads Sets".

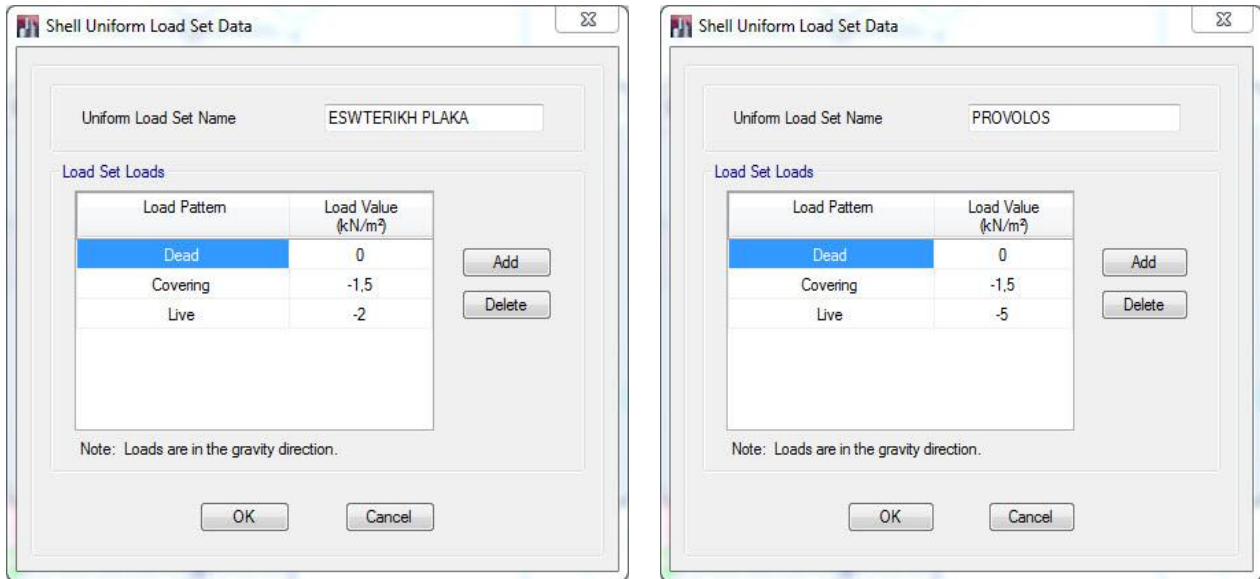


Σχήμα 5.4.11.3

Για να εισάγουμε συνδυασμό φορτίων πατάμε το “Add New Load Set”.



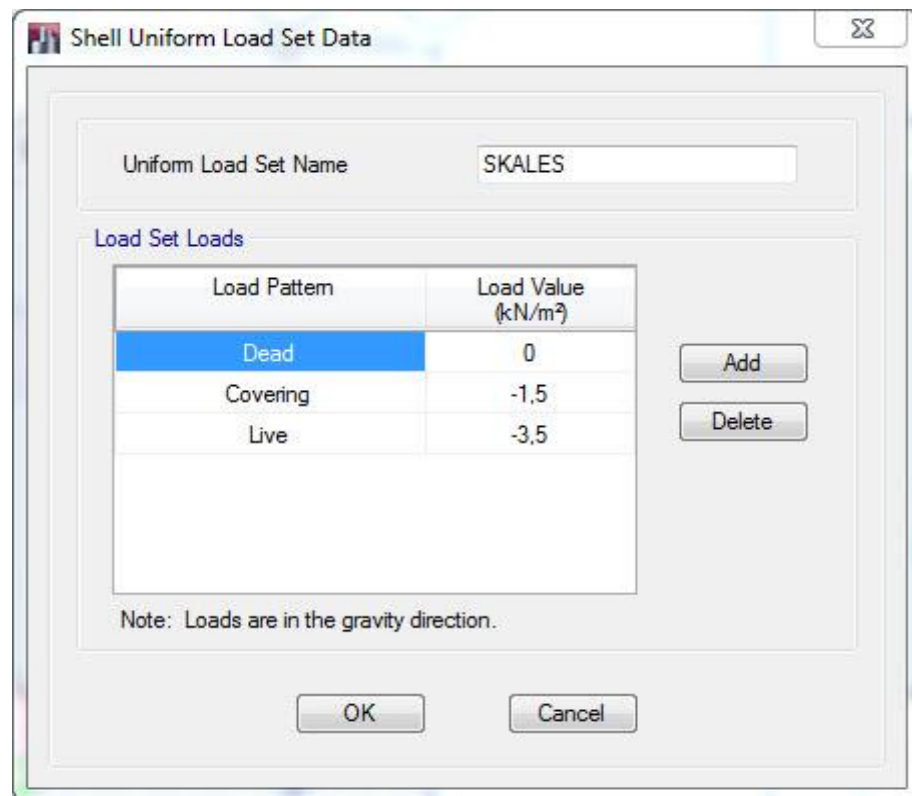
Σχήμα 5.4.11.4 Δημιουργία συνδυασμού φορτίων



Σχήμα 5.4.11.5 και 5.4.11.6 Δημιουργία συνδυασμού φορτίων για εσωτερική πλάκα και πρόβολο αντίστοιχα

1) Τα φορτία έχουν αρνητικό πρόσημο διότι έχουν την διεύθυνση της βαρύτητας.

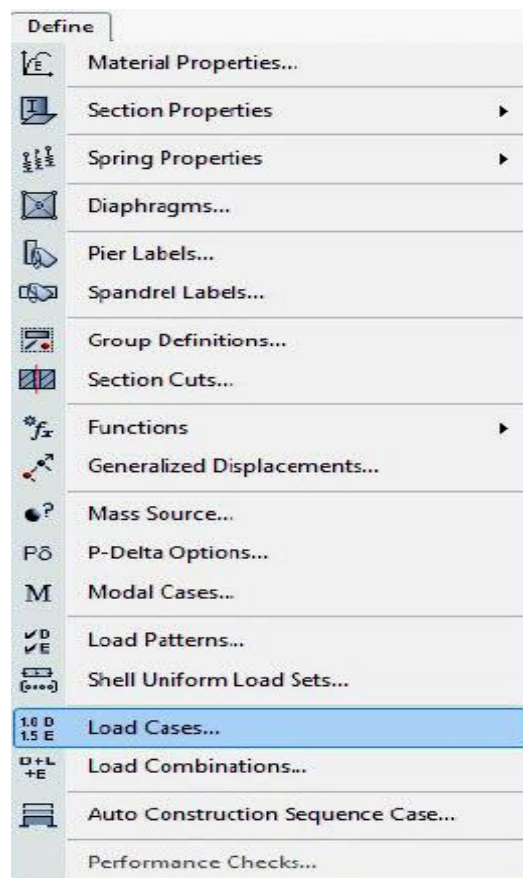
2) Το dead είναι 0 διότι το πρόγραμμα υπολογίζει μόνο του το ίδιο βάρος. (θα μπορούσε και να παραληφθεί).



Σχήμα 5.4.11.7 Δημιουργία συνδυασμού φορτίων για κλίμακα

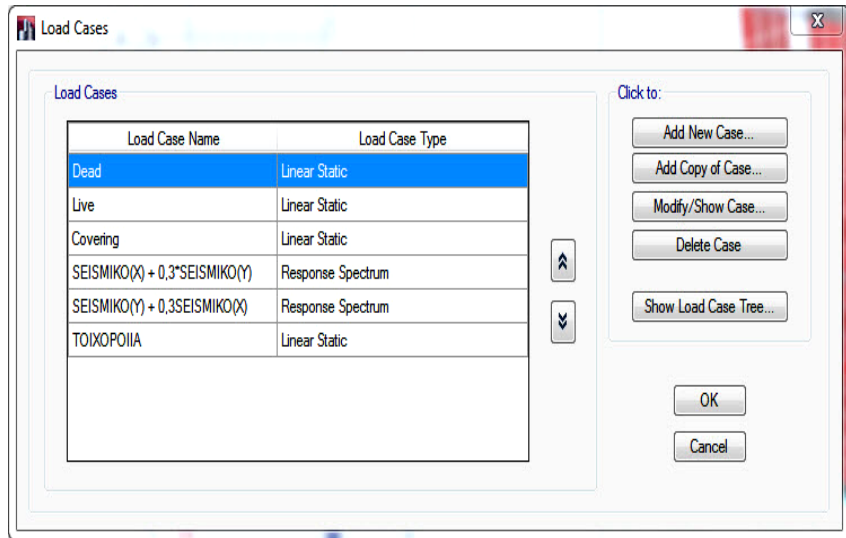
5.4.12 Περιπτώσεις Φορτίων

Στην παράγραφο (“Load Cases”→Περιπτώσεις φορτίων) θα ασχοληθούμε με κάποιες ιδιότητες των φορτίων (Load Patterns) όπως, πως εφαρμόζονται τα φορτία π.χ στατικά ή δυναμικά, πως ανταποκρίνεται το κτίριο γραμμικά ή μη γραμμικά και πως γίνεται η ανάλυση π.χ μέσω τυπικής ανάλυσης, μέσω άμεσης ολοκλήρωσης κ.τ.λ. Σε κάθε ανάλυση ορίζεται ένα “Load Case”. Κάθε “Load Case” μπορεί να απευθύνεται σε ένα πρότυπο φορτίο (load pattern) ή σε συνδυασμό πρότυπων φορτίων. Εάν ορίσουμε ένα απεριόριστο αριθμό “Load Case”, τότε μπορούμε να επιλέξουμε οποιαδήποτε περίπτωση φορτίων χρειαζόμαστε για την ανάλυση μας. Τα μόνιμα φορτία (dead, covering, τοιχορμία) και τα κινητά (live) εφαρμόζονται γραμμικά, ενώ τα σεισμικά φορτία (seismiko(x), seismiko(y)) εφαρμόζονται ανάλογα με το φάσμα απόκρισης(response spectrum)(Σχήμα 5.4.12.2). Από το μενού “Define” επιλεγούμε “Load Cases”.(Σχήμα 5.4.12.1)



Σχήμα 5.4.12.1

Τα εντατικά μεγέθη και οι μετακινήσεις λόγω του συνδυασμού των οριζόντιων συνιστωσών της σεισμικής δράσης μπορούν να υπολογιστούν από τους ακόλουθους συνδυασμούς:
 $RSX+0,3RSY$
 $0,3 RSX + RSY$
 όπως αναφέρει ο EC8.

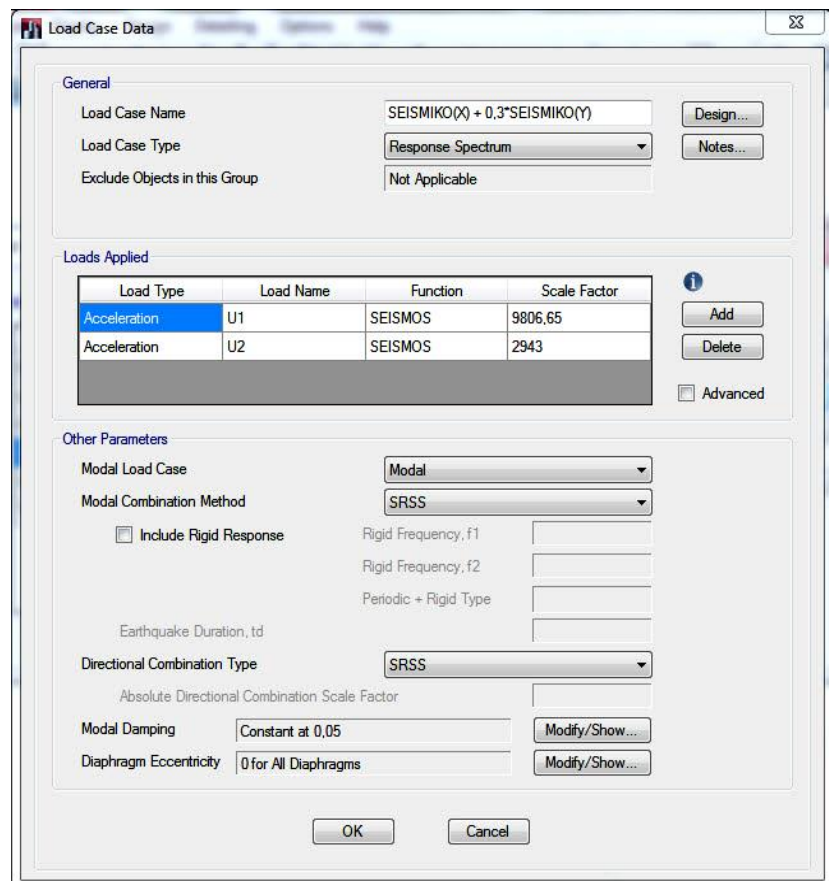


Σχήμα 5.4.12.2 Δημιουργία περιπτώσεων φορτίων

Η μέθοδος επαλληλίας των ιδιομορφών που χρησιμοποιούμε είναι η μέθοδος της τετραγωνικής ρίζας του αθροίσματος των τετραγώνων. (Square Root of Sum of Squares) → SRSS (Σχήμα 5.4.12.3)

Με τον ίδιο τρόπο θα δημιουργήσουμε και τον άλλο συνδυασμό, δηλαδή: $0,3seismiko(x)+seismiko(y)$ με την μόνη διαφορά ότι θα αντιστρέψουμε τα «Acceleration».

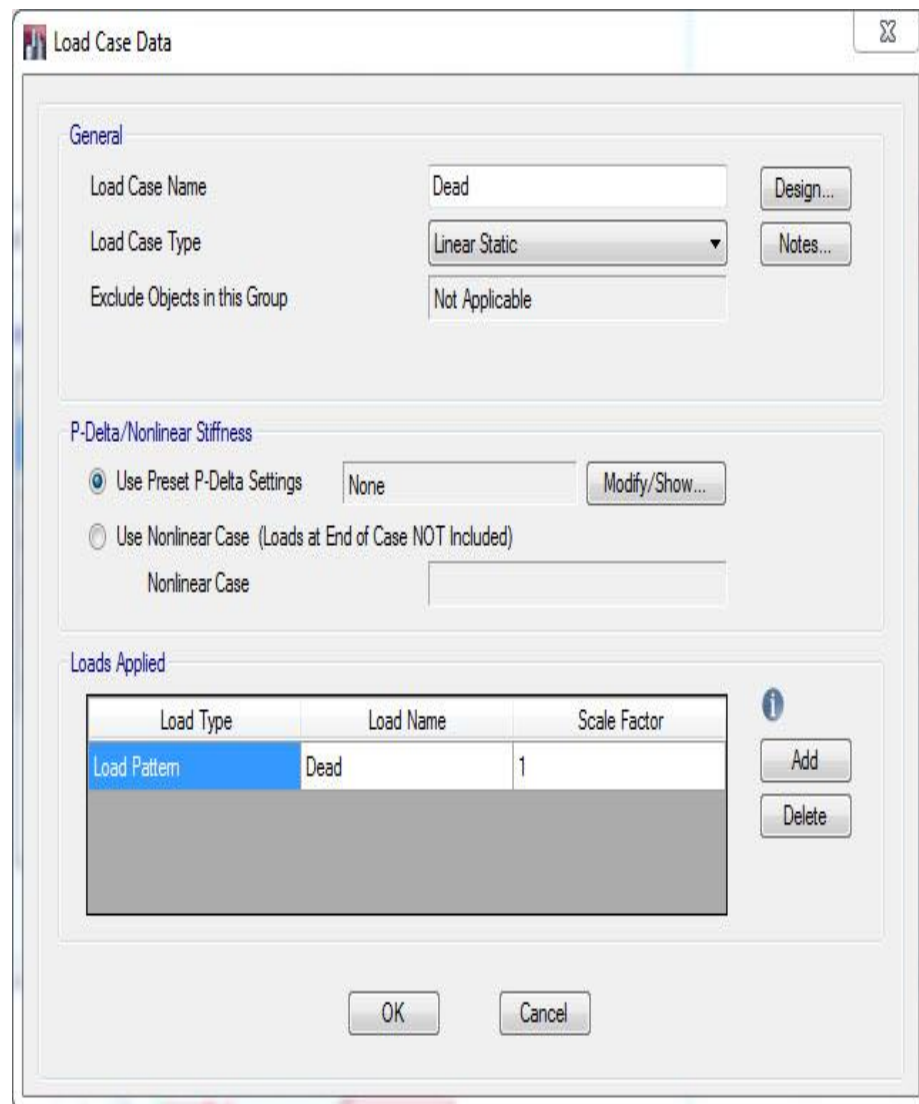
Στο Load Case Type επιλέγουμε το «Response Spectrum».



Σχήμα 5.4.12.3 Δημιουργία load case για «RSX+0,3RSY»

Με τον ίδιο τρόπο θα δημιουργήσουμε τα load cases και για τα υπόλοιπα γραμμικά φορτία.

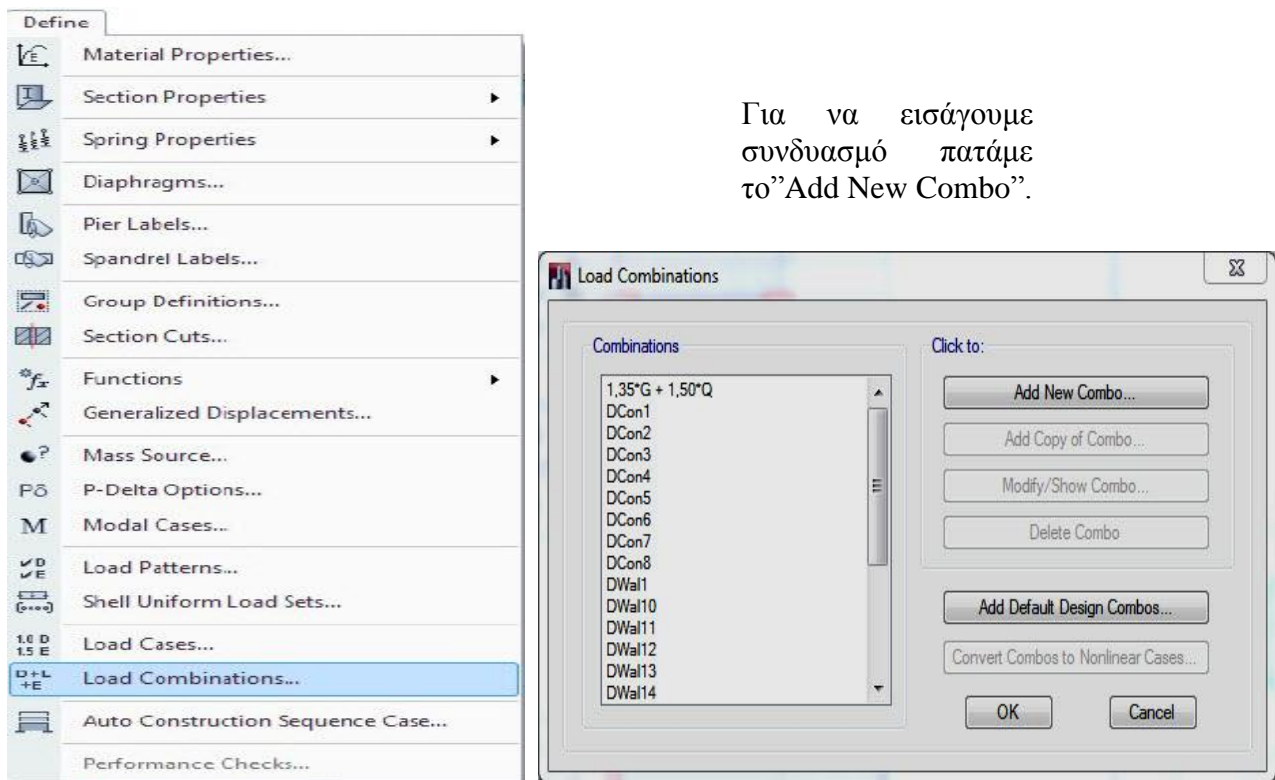
Στο Load Case Type επιλέγουμε το “Linear Static”.



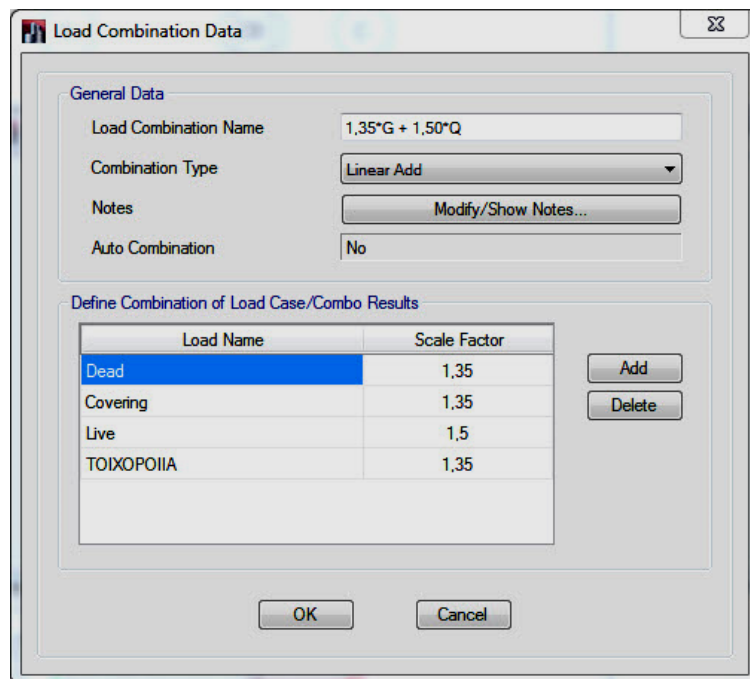
Σχήμα 5.4.12.4 Δημιουργία load case για το φορτίο dead

5.4.13 Συνδυασμοί φορτίων

Σε αυτό το βήμα δημιουργούμε τους συνδυασμούς φορτίων που χρειαζόμαστε για να μελετήσουμε το κτίριο. Ο συνδυασμός που θα μελετήσουμε είναι “ $1,35 \cdot \text{Μόνιμα} + 1,50 \cdot \text{Κινητά}$ ” στην οριακή κατάσταση αστοχίας. Το πρόγραμμα δημιουργεί αυτόματα όλους τους συνδυασμούς που δύναται να δημιουργηθούν αναφορικά με τα φορτία και τους συντελεστές που έχουμε εισάγει. Παρακάτω, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο δημιουργούμε τους συνδυασμούς (Σχήμα 5.4.13.1 , 5.4.13.2 , 5.4.13.3).



Σχήμα 5.4.13.1 και 5.4.13.2 Δημιουργία load combination



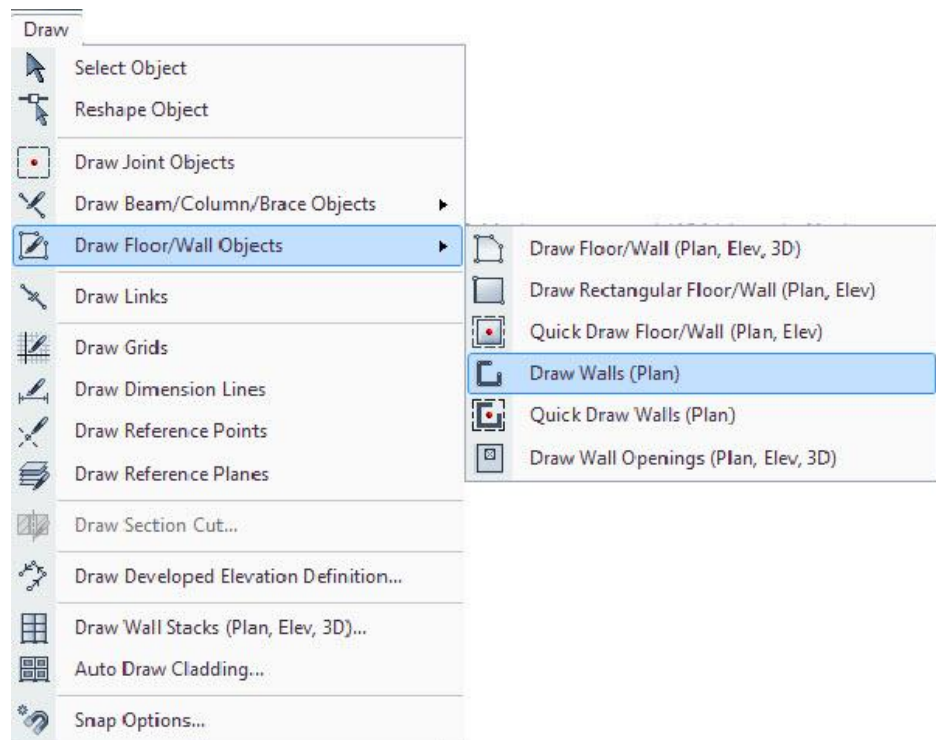
Σχήμα 5.4.13.3 Εισαγωγή συντελεστών $\gamma_g(1,35)$ και $\gamma_q(1,50)$

5.4.14 Σχεδιασμός δομικών στοιχείων

- Σχεδιασμός Τοιχείου

Παρακάτω παρατίθενται φωτογραφίες από τις οποίες μπορούμε να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο δημιουργούμε βήμα- βήμα τα τοιχεία στο πρόγραμμα ETABS. (Σχήματα 5.4.14.2 , 5.4.14.3 , 5.4.14.4 , 5.4.14.5)

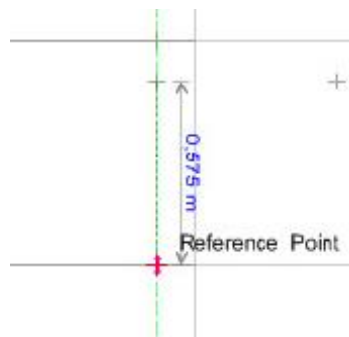
Από μενού “Draw” και πηγαίνοντας στο “Draw Floor/Wall Objects” επιλεγούμε “Draw Walls”.
(Σχήμα 5.4.14.1)



Σχήμα 5.4.14.1

Για να τοποθετήσουμε τα τοιχεία κλικάρουμε τα σημεία* που έχουμε δημιουργήσει στον κάναβο γι' αυτά. (Σχήμα 5.4.14.2 Και 5.4.14.3)

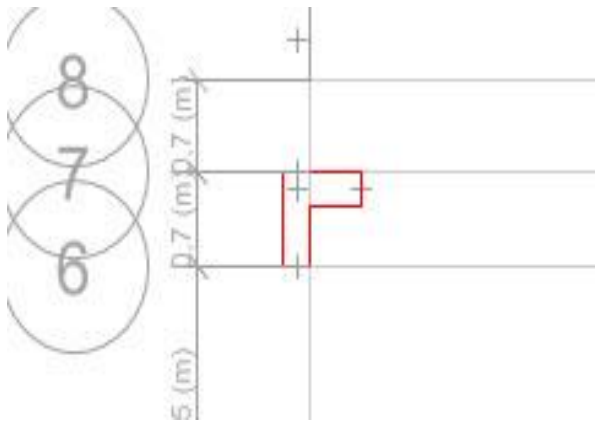
*Για δημιουργία σημείων: “Draw” επιλογή “Draw Reference Points”.



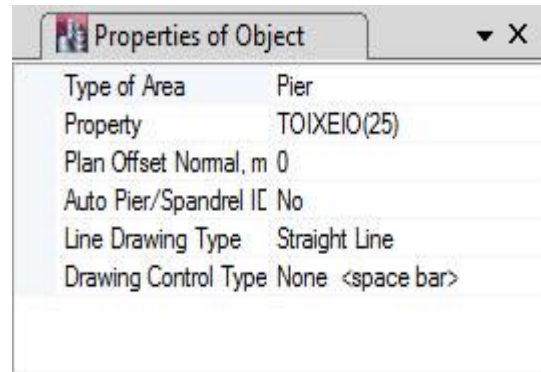
Σχήμα 5.4.14.2



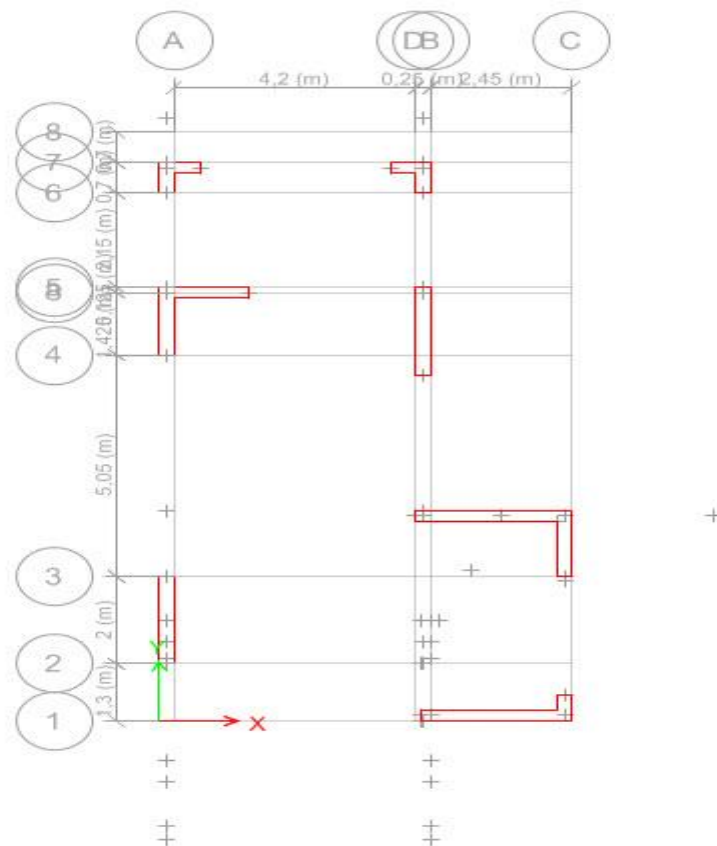
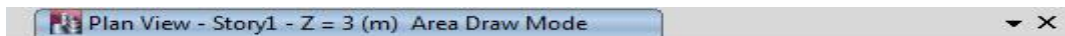
Σχήμα 5.4.14.3



Σχήμα 5.4.14.4



Σχήμα 5.4.14.5*



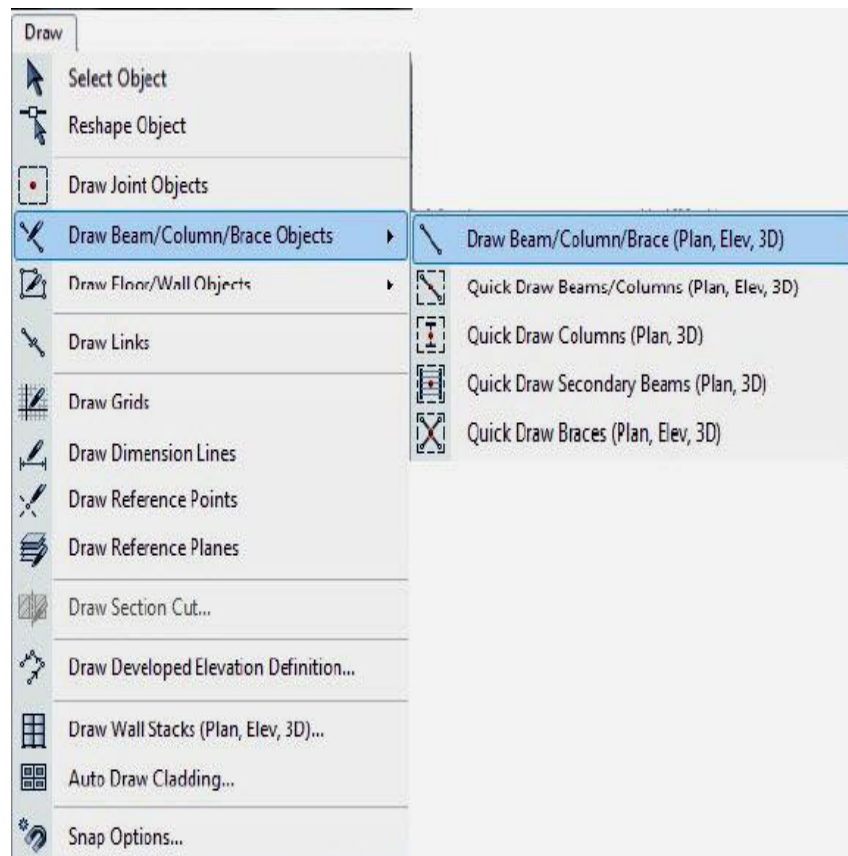
Σχήμα 5.4.14.6 Κάνναβος με τοιχεία

*Σημείωση: Σ' αυτόν τον πίνακα δίνονται ιδιότητες για τον τρόπο με τον οποίο θέλουμε να σχεδιάσουμε το τοιχείο.

- Σχεδιασμός Δοκού

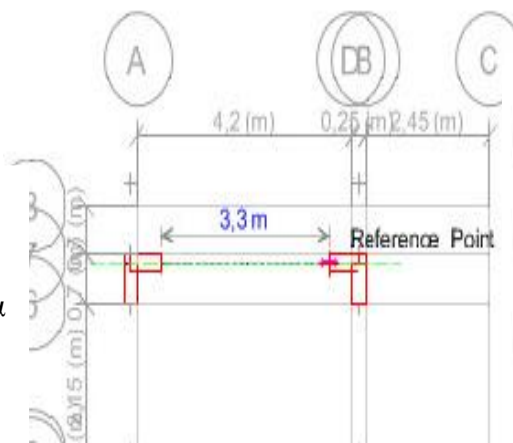
Παρακάτω παρατίθενται φωτογραφίες από τις οποίες μπορούμε να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο δημιουργούμε βήμα- βήμα τα δοκάρια στο πρόγραμμα ETABS. (Σχήματα 5.4.14.8 , 5.4.14.9 , 5.4.14.10)

Από μενού “Draw” και πηγαίνοντας στο “Draw Beam/Column/Brace Objects” επιλεγούμε “Draw Beam/Column/Brace” (Σχήμα 5.4.14.7)

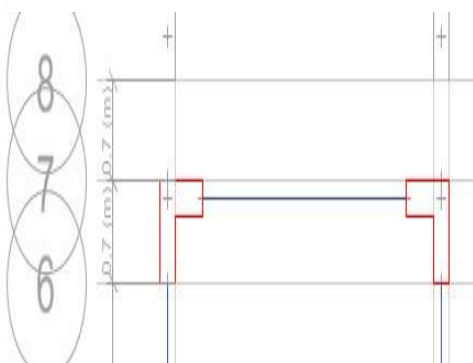


Σχήμα 5.4.14.7

Για να τοποθετήσουμε τη δοκό κλικάρουμε στα δυο μέσα των τοιχείων (Σχήμα 5.4.14.8)



Σχήμα 5.4.14.8

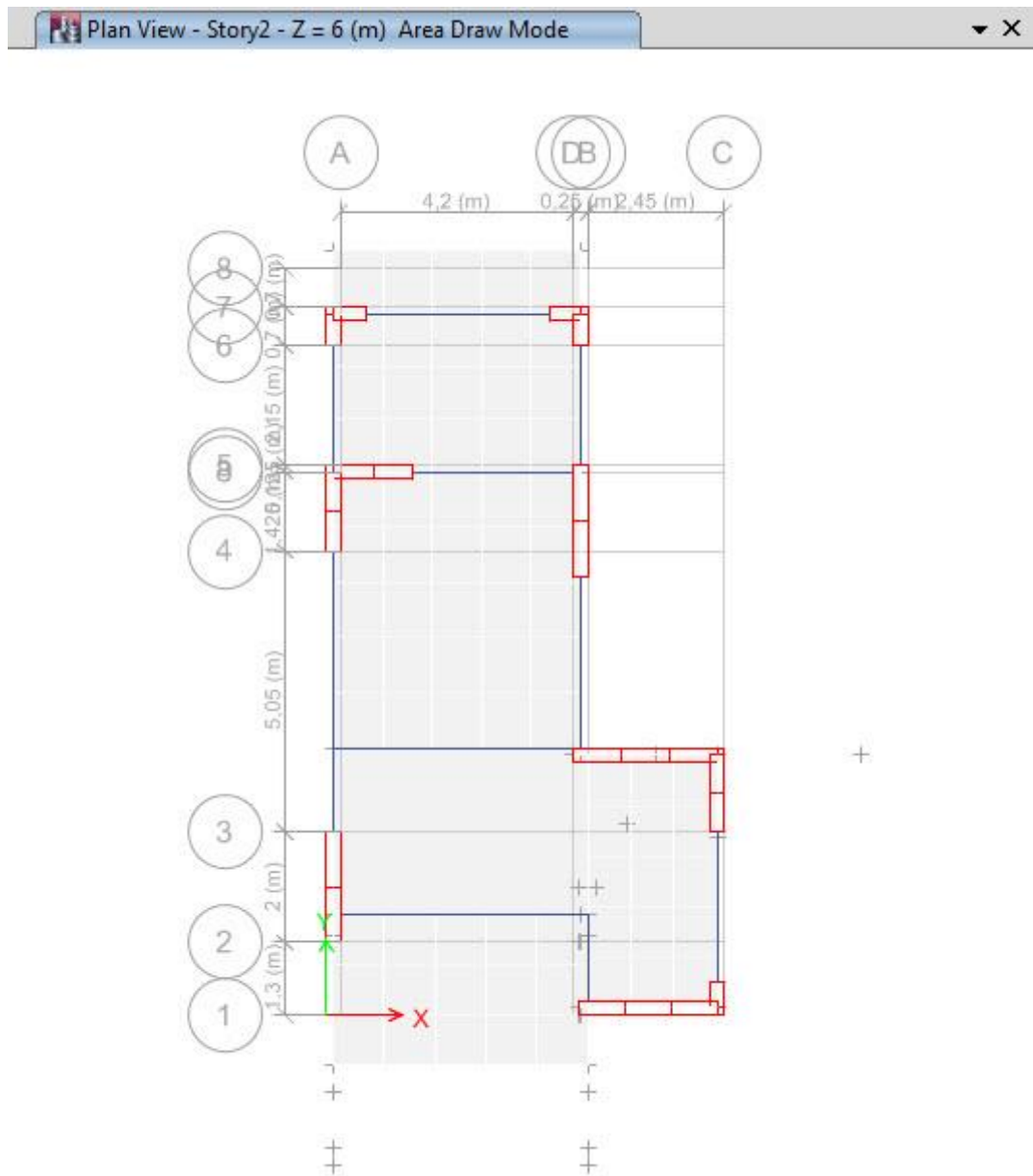


Σχήμα 5.4.14.9

Σ' αυτόν τον πίνακα δίνονται ιδιότητες για τον τρόπο με τον οποίο θέλουμε να σχεδιάσουμε το δοκάρι.

Properties of Object	
Type of Line	Frame
Property	BEAM(25X60)
Moment Releases	Continuous
Plan Offset Normal, m	0
Line Drawing Type	Straight Line
Drawing Control Type	None <space bar>

Σχήμα 5.4.14.10



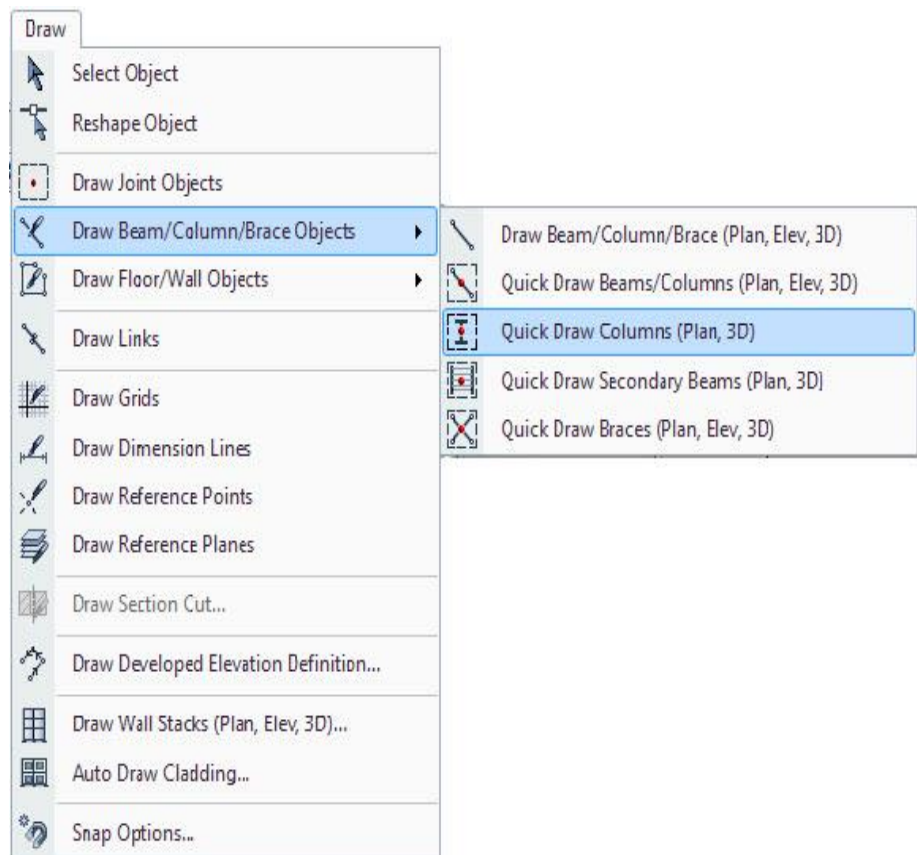
Σχήμα 5.4.14.11 Κάνναβος με δοκούς και τοιχεία

• Σχεδιασμός υποστυλώματος

Παρακάτω παρατίθενται φωτογραφίες από τις οποίες μπορούμε να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο δημιουργούμε βήμα-βήμα τα υποστυλώματα στο πρόγραμμα ETABS. (Σχήματα 5.4.14.12 , 5.4.14.13 , 5.4.14.14 , 5.4.14.15)

Από μενού “Draw” και πηγαίνοντας στο “Draw Beam/Column/Brace Objects” επιλεγούμε “Quick Draw Columns (Plan, 3D)”.

(Σχήμα 5.4.14.12)

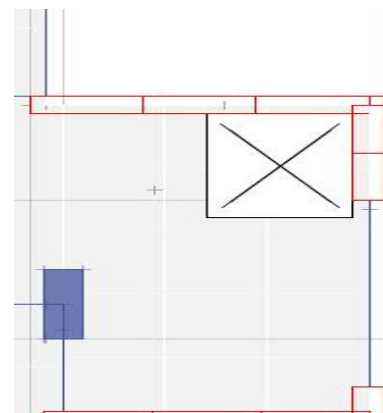


Σχήμα 5.4.14.12

Για να τοποθετήσουμε το υποστύλωμα κλικάρουμε το σημείο το οποίο θέλουμε να το τοποθετήσουμε (Σχήμα 5.4.14.13).



Σχήμα 5.4.14.13

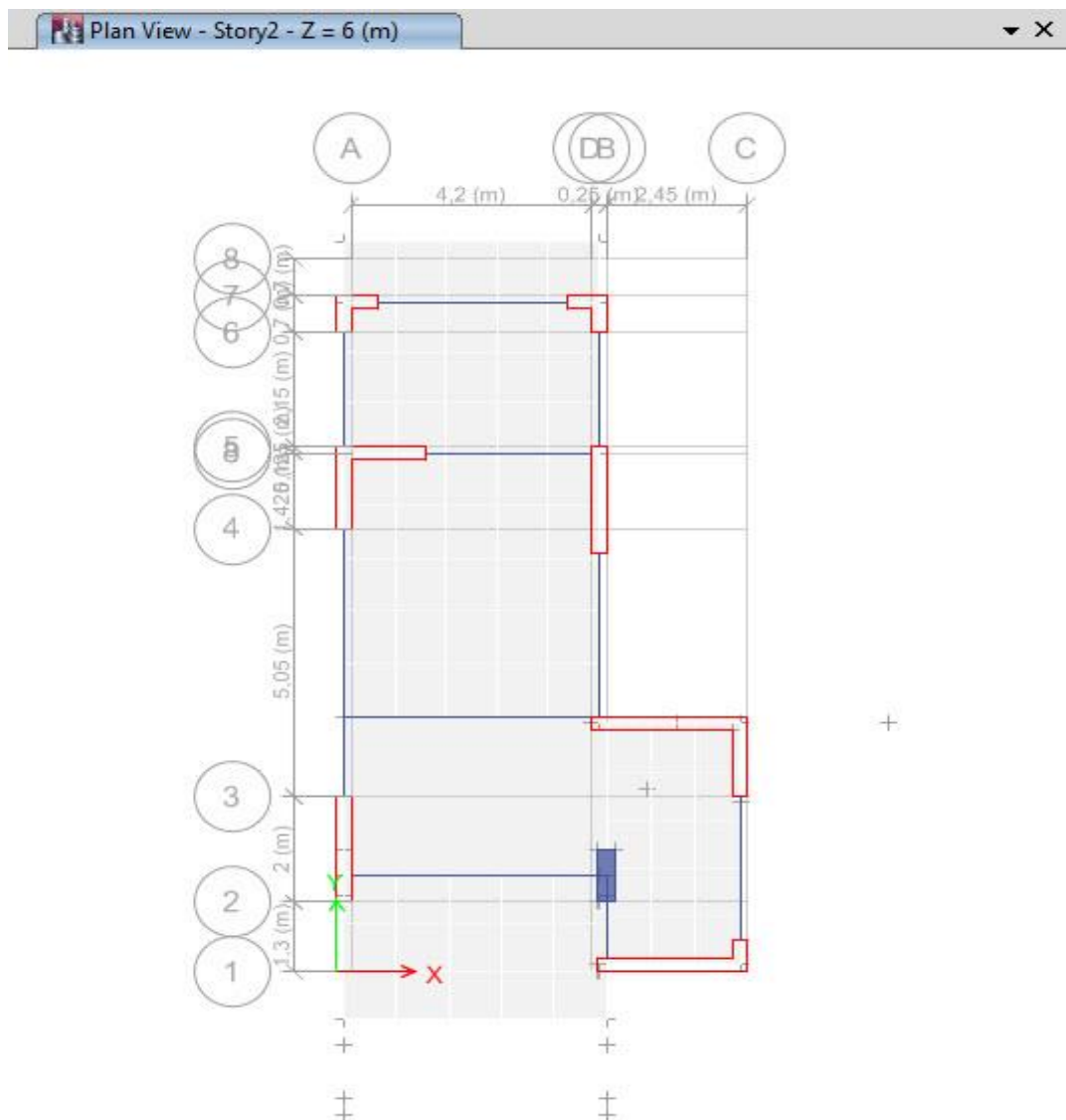


Σχήμα 5.4.14.14

Σ' αυτόν τον πίνακα δίνονται ιδιότητες για τον τρόπο με τον οποίο θέλουμε να σχεδιάσουμε το υποστύλωμα. (Σχήμα 5.4.14.15)

Properties of Object	
Property	COLUMN(30X100)
Moment Releases	Continuous
Angle, deg	90
Plan Offset X, mm	0
Plan Offset Y, mm	0
Cardinal Point	8 (Top Center)
Draw Object Using	Grids

Σχήμα 5.4.14.15



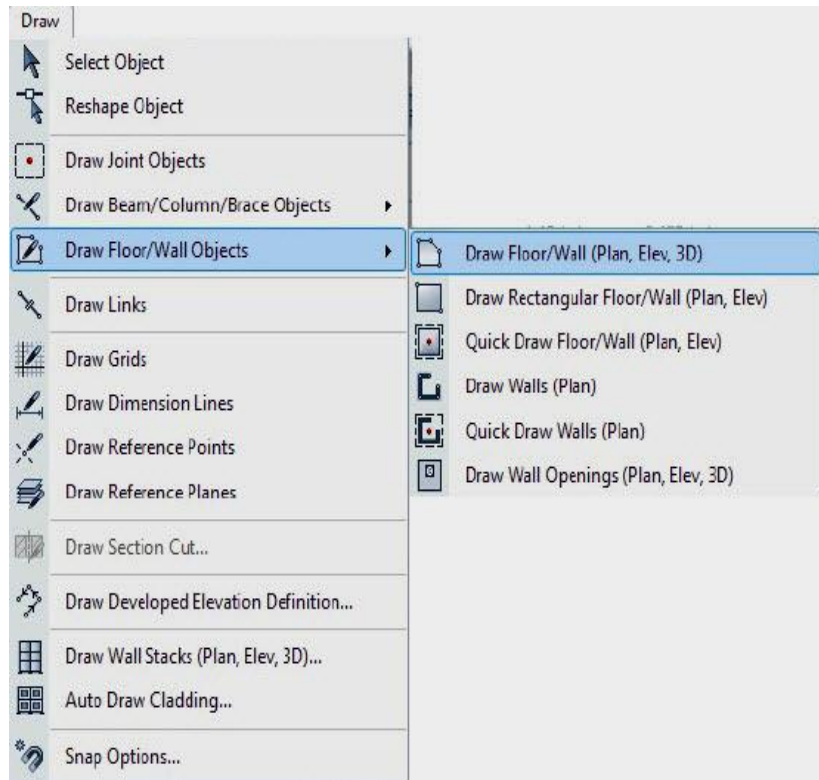
Σχήμα 5.4.14.16 Κάνναβος με δοκούς , τοιχεία και υποστύλωμα

- **Σχεδιασμός πλάκας και ανοίγματος ανελκυστήρα**

Παρακάτω παρατίθενται φωτογραφίες από τις οποίες μπορούμε να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο δημιουργούμε βήμα- βήμα τις πλάκες και το ανοιγμα του ανελκυστηρα στο πρόγραμμα ETABS. (Σχήματα 5.4.14.17 , 5.4.14.18 , 5.4.14.19 , 5.4.14.20, 5.4.14.21)

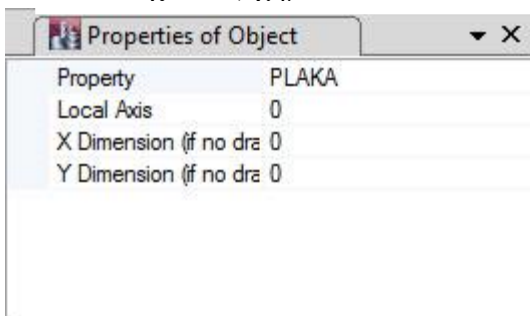
Από μενού “Draw” και πηγαίνοντας στο “Draw Floor/Wall Objects” επιλεγούμε “Draw Floor/Wall”.

(Σχήμα 5.4.14.17)

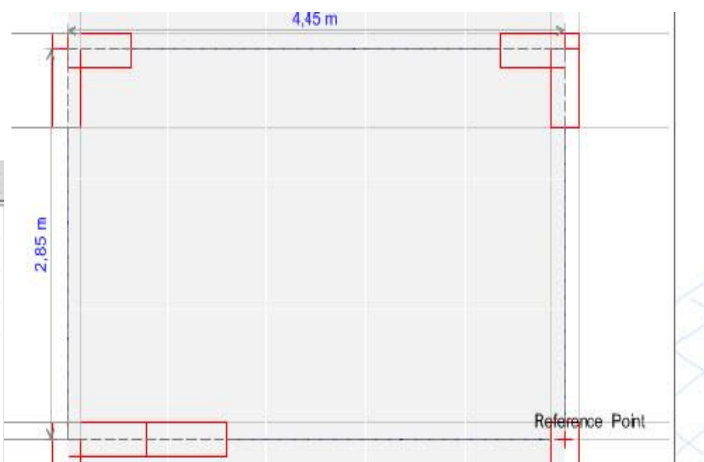


Σχήμα 5.4.14.17

Για να τοποθετήσουμε την πλάκα κλικάρουμε ένα προς ένα τα μέσα των τοιχείων.(Σχήμα 5.4.14.19)

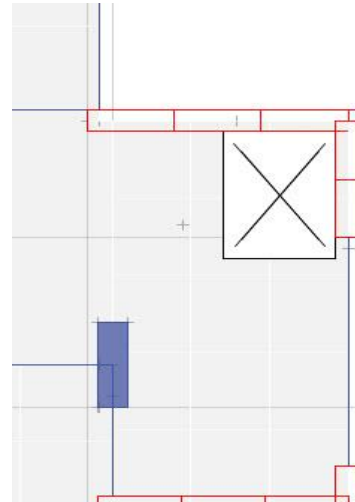
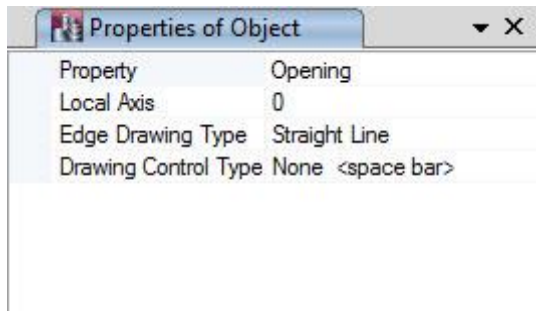


Σχήμα 5.4.14.18 Πίνακας δεδομένων πλάκας



Σχήμα 5.4.14.19

Για να τοποθετήσουμε το άνοιγμα του ανελκυστήρα κλικάρουμε την τομή των τοιχείων και με πατημένο το αριστερό κλικ ανοίγουμε μέχρι να βρούμε τις διαστάσεις που θέλουμε. (Σχήμα 5.4.14.21)



Σχήμα 5.4.14.20 Πίνακας Ιδιοτήτων ανοίγματος

Σχήμα 5.4.14.21



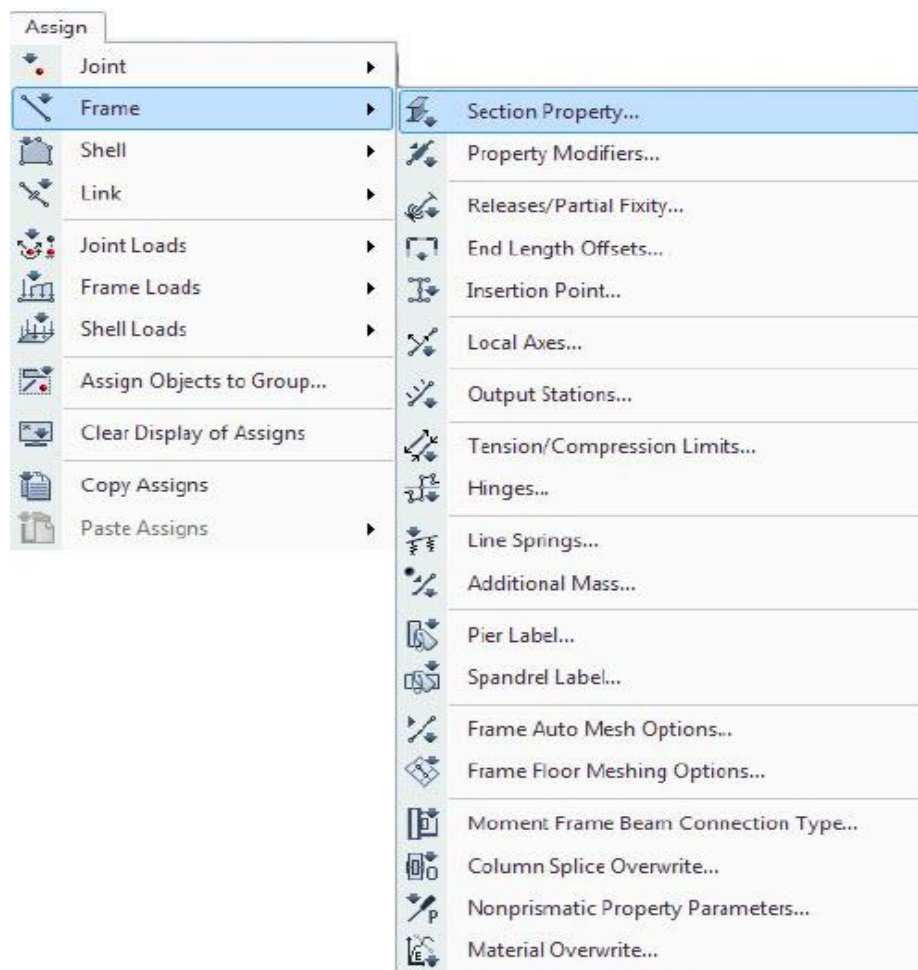
Σχήμα 5.4.14.22 Κάνναβος με τοιχεία, δοκούς, υποστύλωμα και πλάκες

5.4.15 Καθορισμός ιδιοτήτων και φορτιών στα δομικά στοιχεία

Σ' αυτό το υποκεφάλαιο θα ασχοληθούμε με την εισαγωγή των δεδομένων που δημιουργήσαμε όπως δείξαμε σε προηγούμενα υποκεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα θα καθορίσουμε στις δοκούς, στα τοιχεία, στο υποστύλωμα στις πλάκες, στην κοιτόστρωση και τις στηρίξεις τις ιδιότητες και τα φορτία που δημιουργήσαμε. Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικές φωτογραφίες αναφορικά με τον καθορισμό των δεδομένων. Όλες οι καθορισμοί θα γίνουν από το “Assign”.

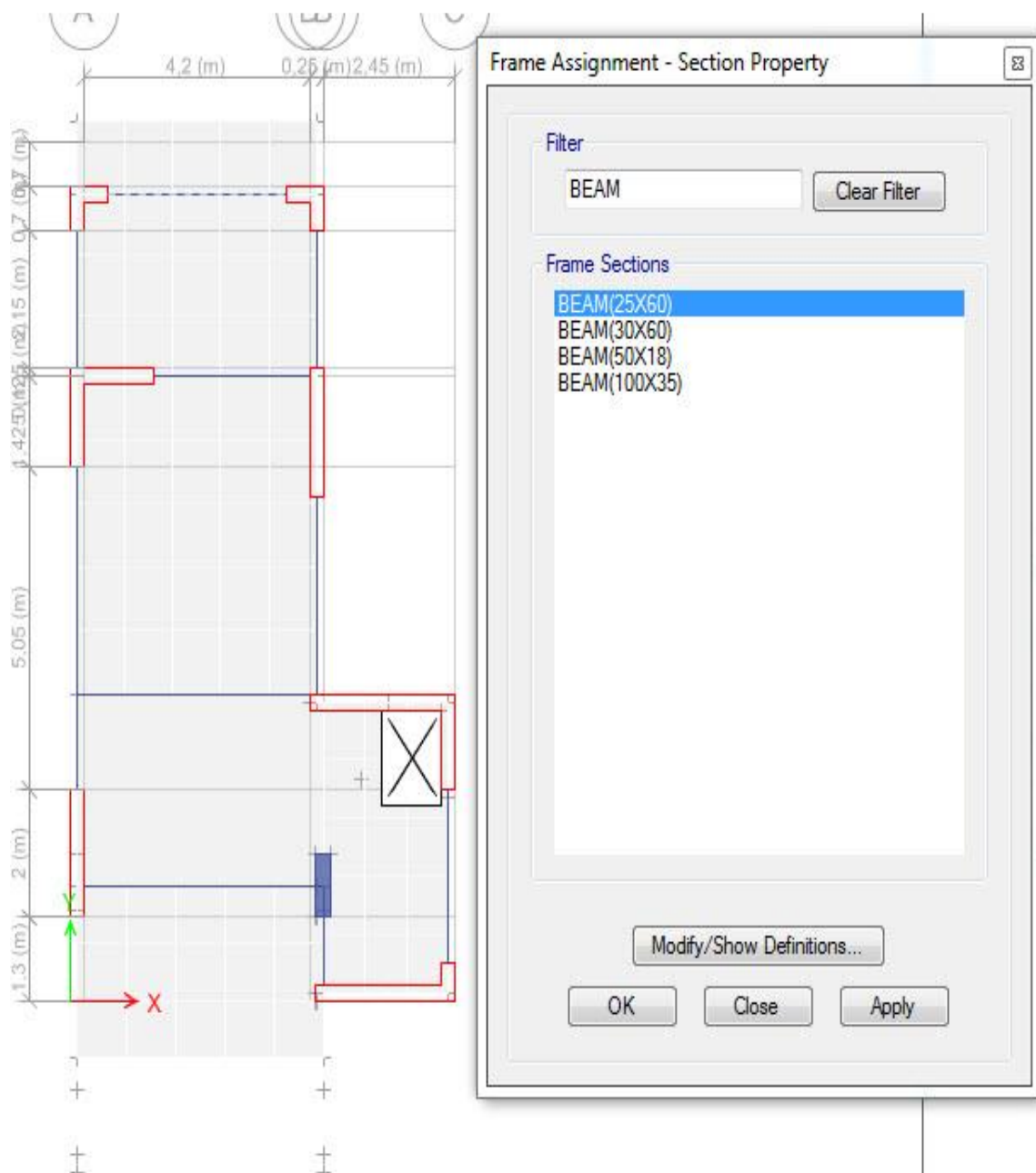
- **Καθορισμός δεδομένων σε δοκούς και υποστύλωμα**

Από το μενού “Assign” και πηγαίνοντας στο “Frame” επιλέγουμε “Section Property”.(Σχήμα 5.4.15.1)



Σχήμα 5.4.15.1

Για να καθορίσουμε την ιδιότητα στη δοκό, πρώτα την επιλέγουμε, στην συνέχεια επιλέγουμε την ιδιότητα όπως δείχνει (Σχήμα 5.4.15.2) και πατάμε “Apply”.

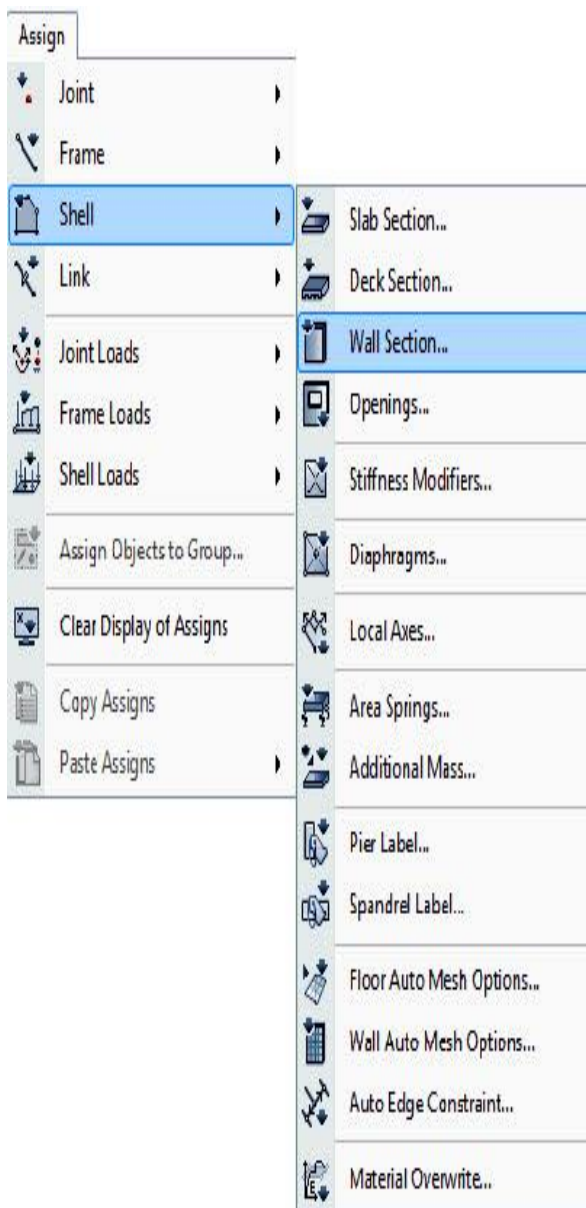


Σχήμα 5.4.15.2 Καθορισμός δεδομένων σε δοκό

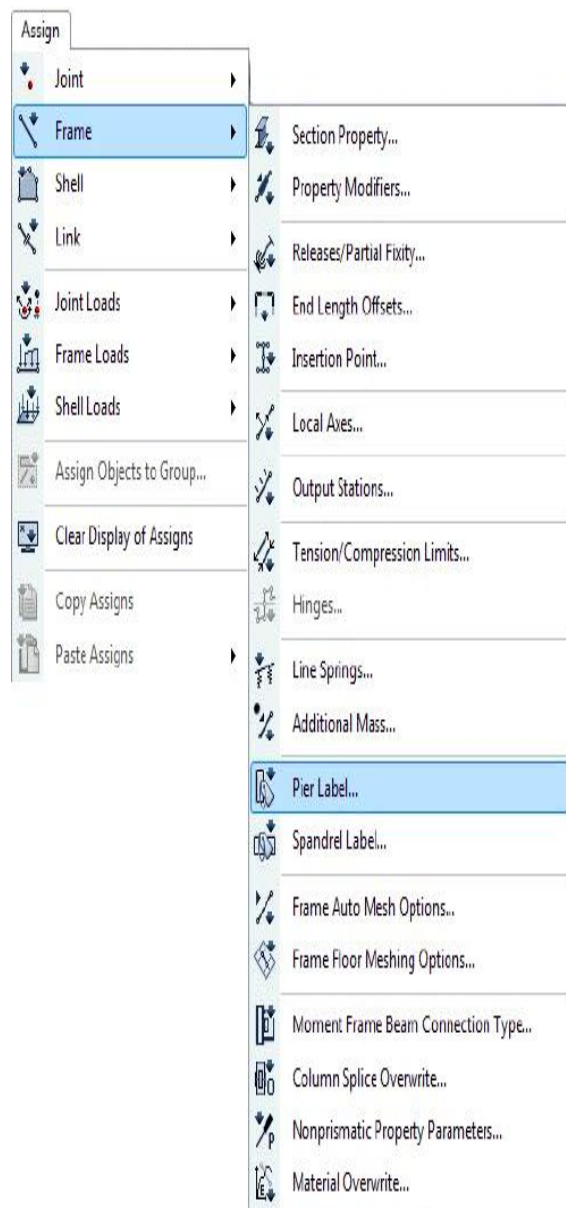
Σημείωση: Με τον ίδιο τρόπο θα καθορίσουμε τις ιδιότητες στις υπόλοιπες δοκούς στο υποσύστημα.

• **Καθορισμός δεδομένων σε τοιχεία**

Από το μενού “Assign” και πηγαίνοντας στο “Shell” επιλέγουμε “Wall Section”.(Σχήμα 5.4.15.3). Επίσης, στα τοιχεία θα πρέπει να τοποθετήσουμε και κάποια «ταμπελάκια» (pier labels), τα οποία αργότερα θα μας βοηθήσουν να τοποθετήσουμε τον οπλισμό τους. Κάθε τοιχείο έχει ένα ταμπελάκι το οποίο είναι ίδιο από τον 1^ο έως και τον 5^ο όροφο. Από το μενού “Assign” και πηγαίνοντας στο “Frame” επιλέγουμε “Pier Label”.(Σχήμα 5.4.15.4).

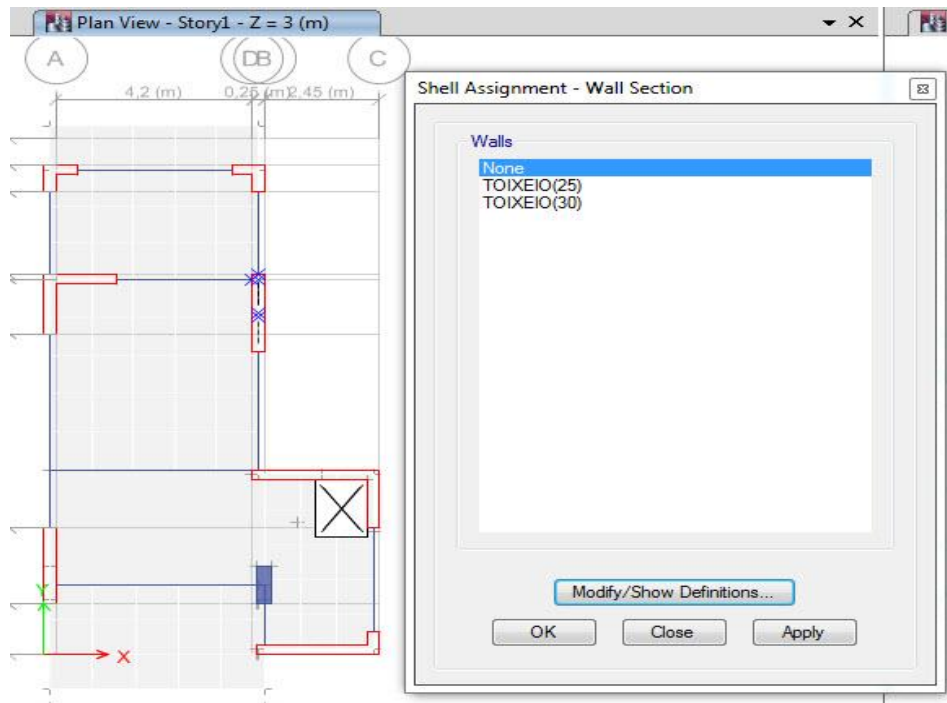


Σχήμα 5.4.15.3

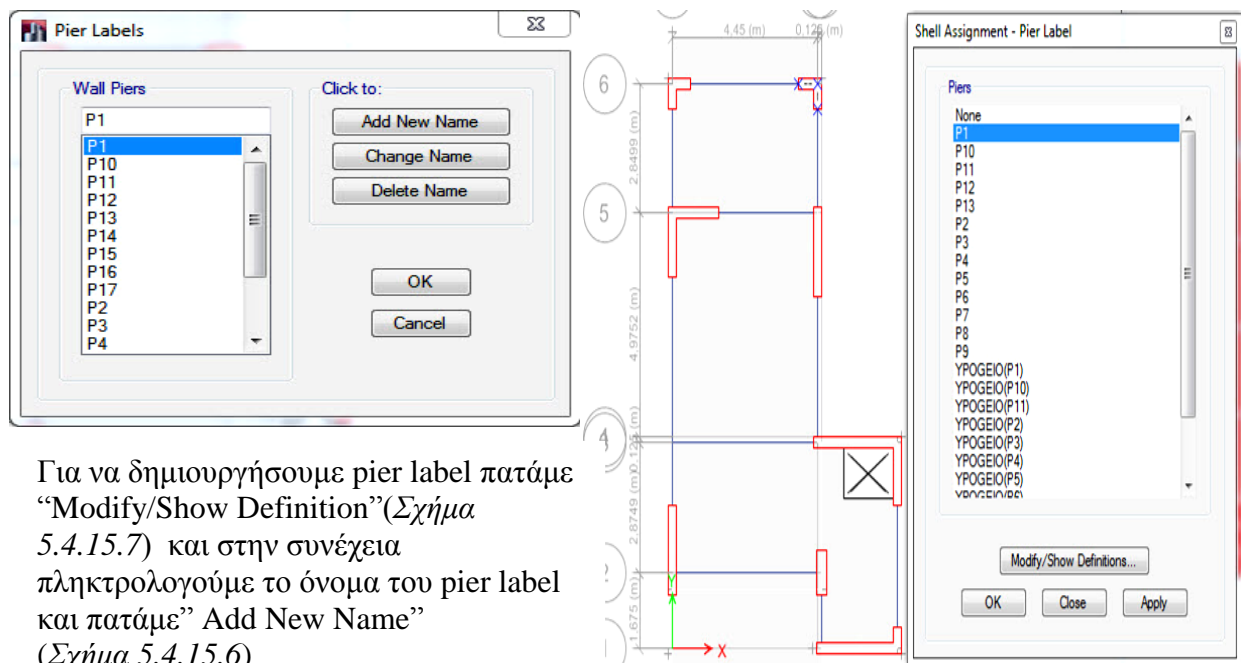


Σχήμα 5.4.15.4

Για να καθορίσουμε την ιδιότητα στο τοίχειο, πρώτα το επιλέγουμε, στην συνέχεια επιλέγουμε την ιδιότητα όπως δείχνει (Σχήμα 5.4.15.5) και πατάμε “Apply”.



Σχήμα 5.4.15.5 Καθορισμός δεδομένων σε τοίχειο



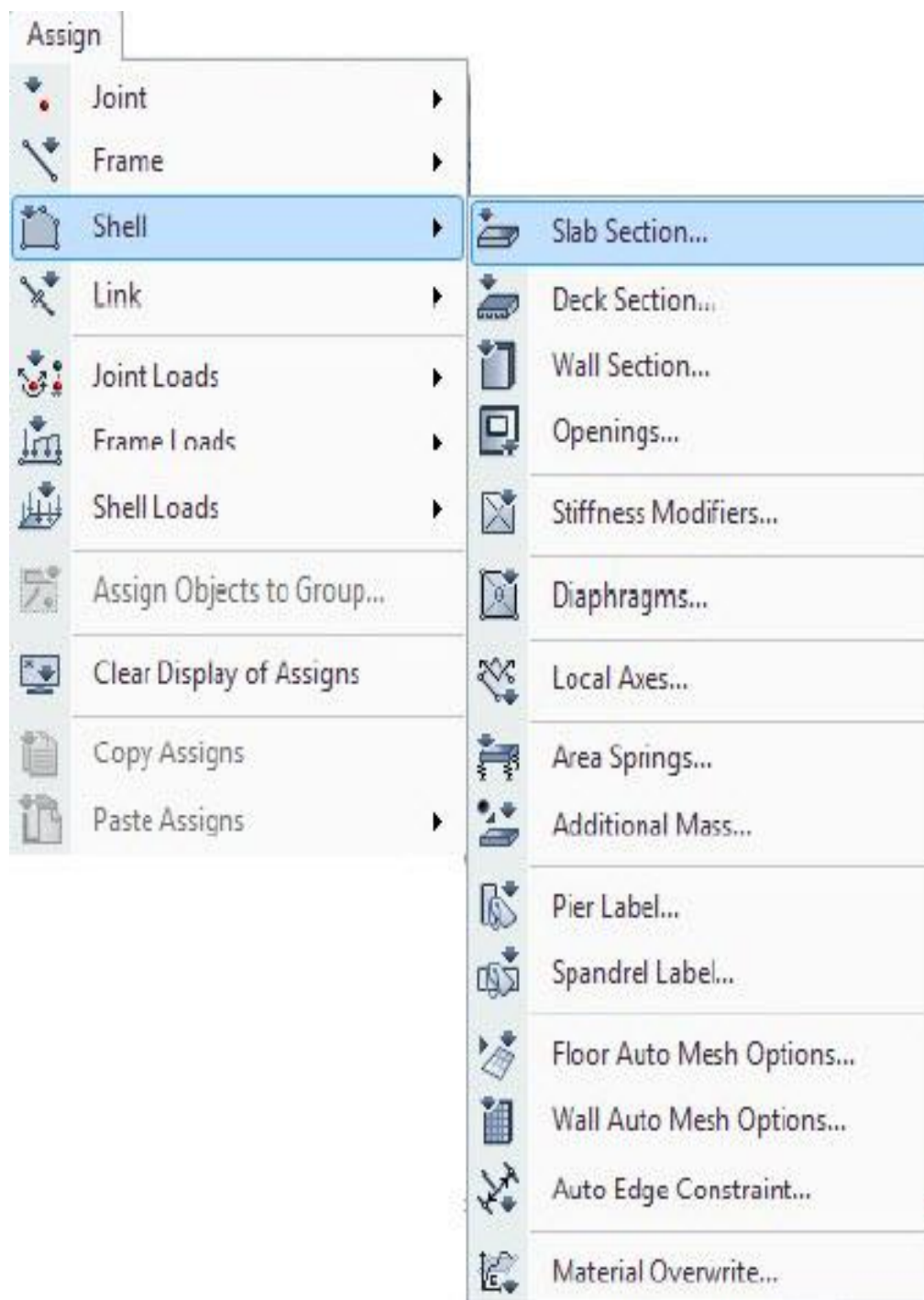
Για να δημιουργήσουμε pier label πατάμε “Modify/Show Definition”(Σχήμα 5.4.15.7) και στην συνέχεια πληκτρολογούμε το όνομα του pier label και πατάμε” Add New Name” (Σχήμα 5.4.15.6)

Σχήμα 5.4.15.6 και Σχήμα 5.4.15.7 Καθορισμός pier label σε τοίχειο

Σημείωση: Με τον ίδιο τρόπο θα καθορίσουμε τις ιδιότητες στα υπόλοιπα τοίχεια.

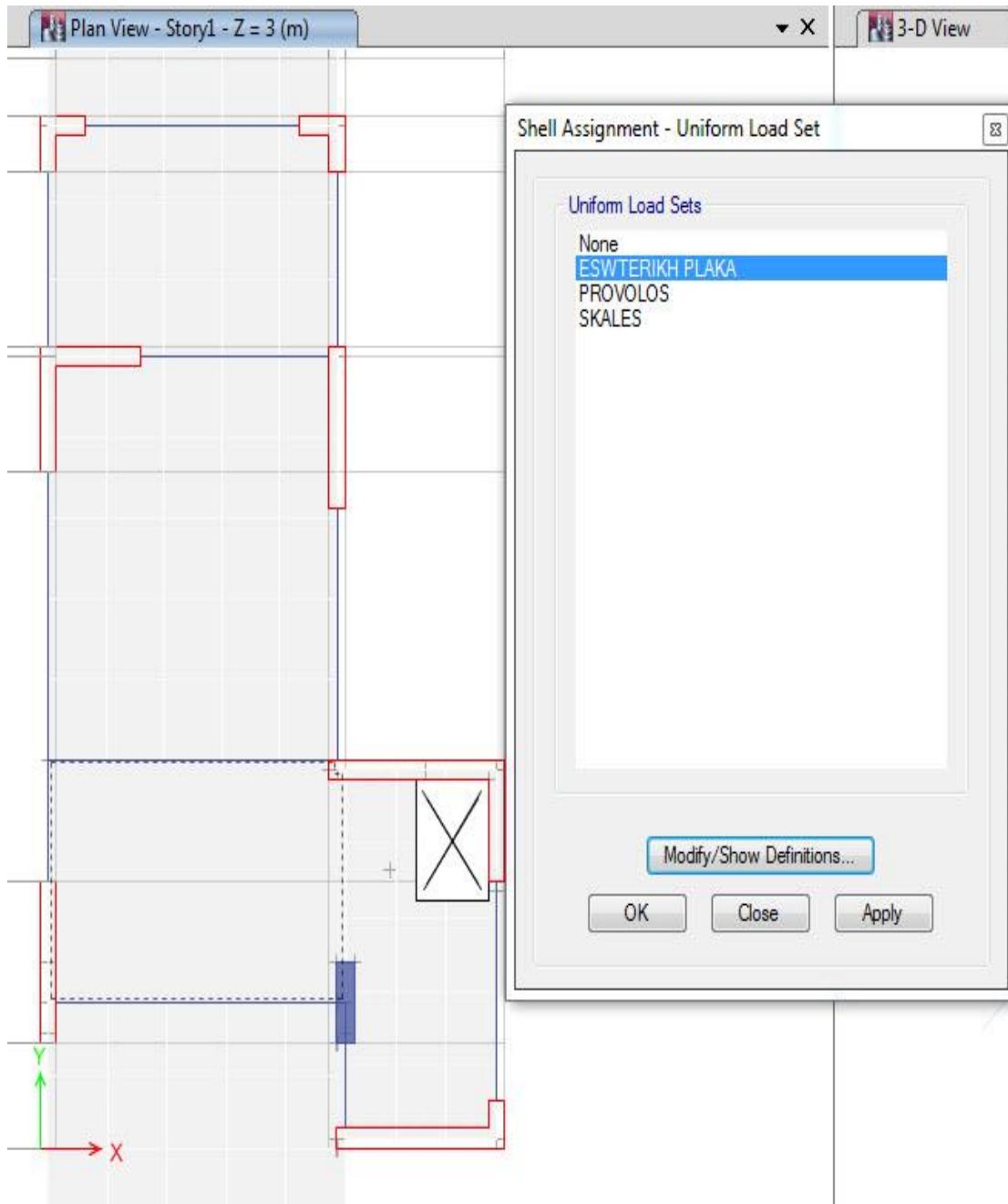
- **Καθορισμός δεδομένων σε πλάκες**

Από το μενού “Assign” και πηγαίνοντας στο “Shell” επιλέγουμε “Slab Section”.(Σχήμα 5.4.15.8)



Σχήμα 5.4.15.8

Για να καθορίσουμε την ιδιότητα στην πλάκα, πρώτα την επιλέγουμε, στην συνέχεια επιλέγουμε την ιδιότητα όπως δείχνει (Σχήμα 5.4.15.9) και πατάμε “Apply”.

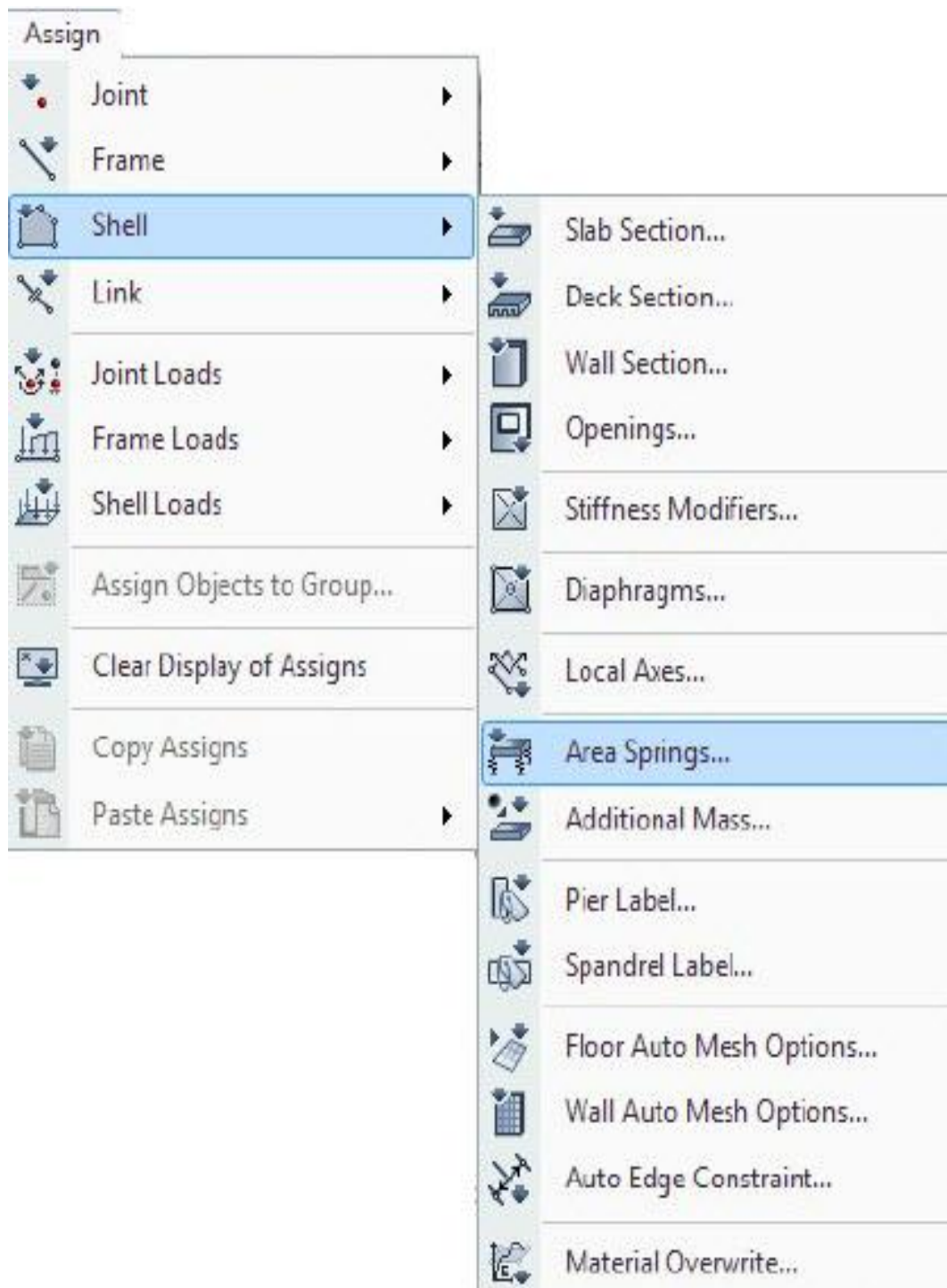


Σχήμα 5.4.15.9 Καθορισμός δεδομένων σε πλάκα

Σημείωση: Με τον ίδιο τρόπο θα καθορίσουμε τις ιδιότητες στις υπόλοιπες πλάκες.

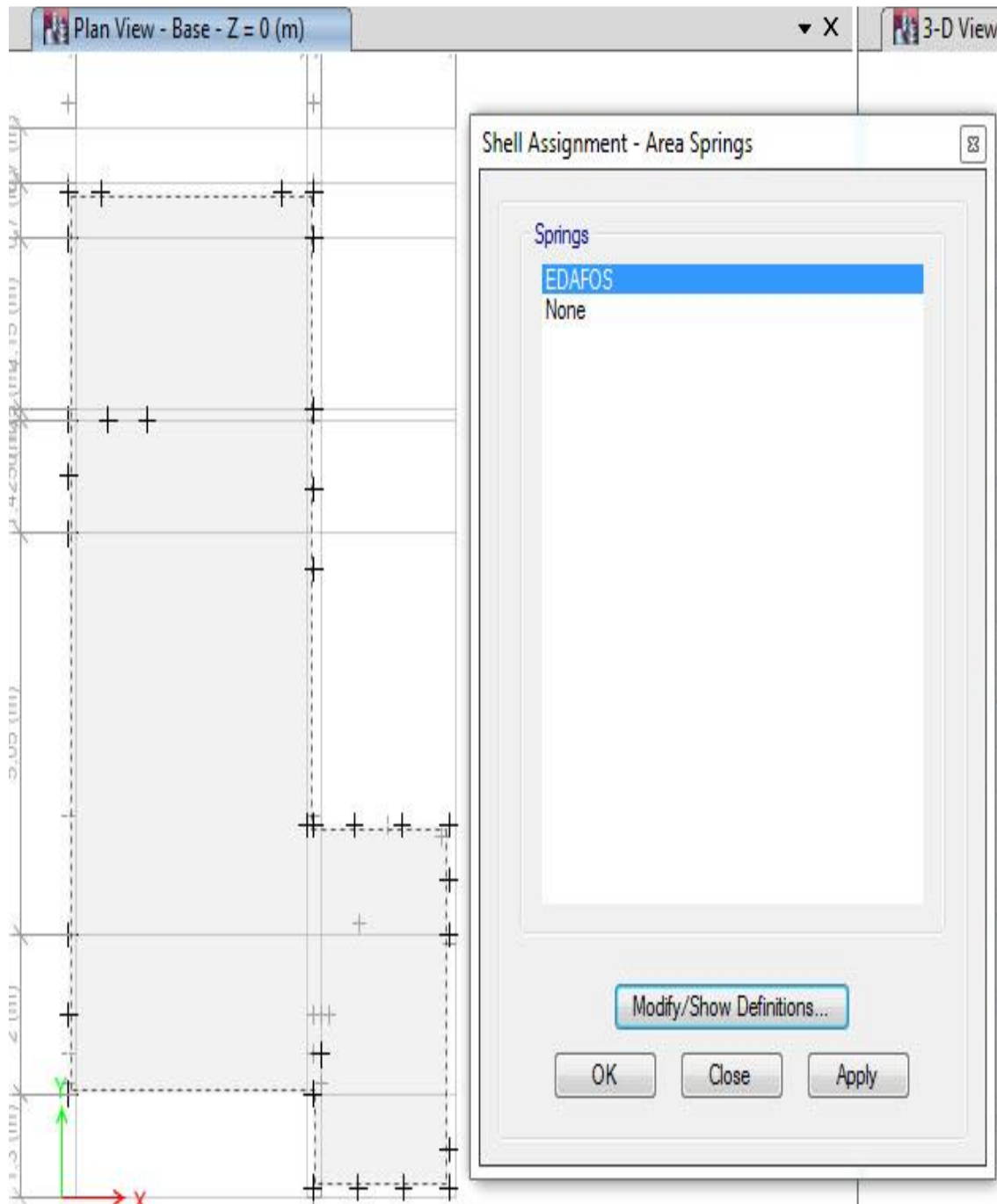
- **Καθορισμός δεδομένων σε κοιτόστρωση**

Από το μενού “Assign” και πηγαίνοντας στο “Shell” επιλέγουμε “Area Springs”.(Σχήμα 5.4.15.10)



Σχήμα 5.4.15.10

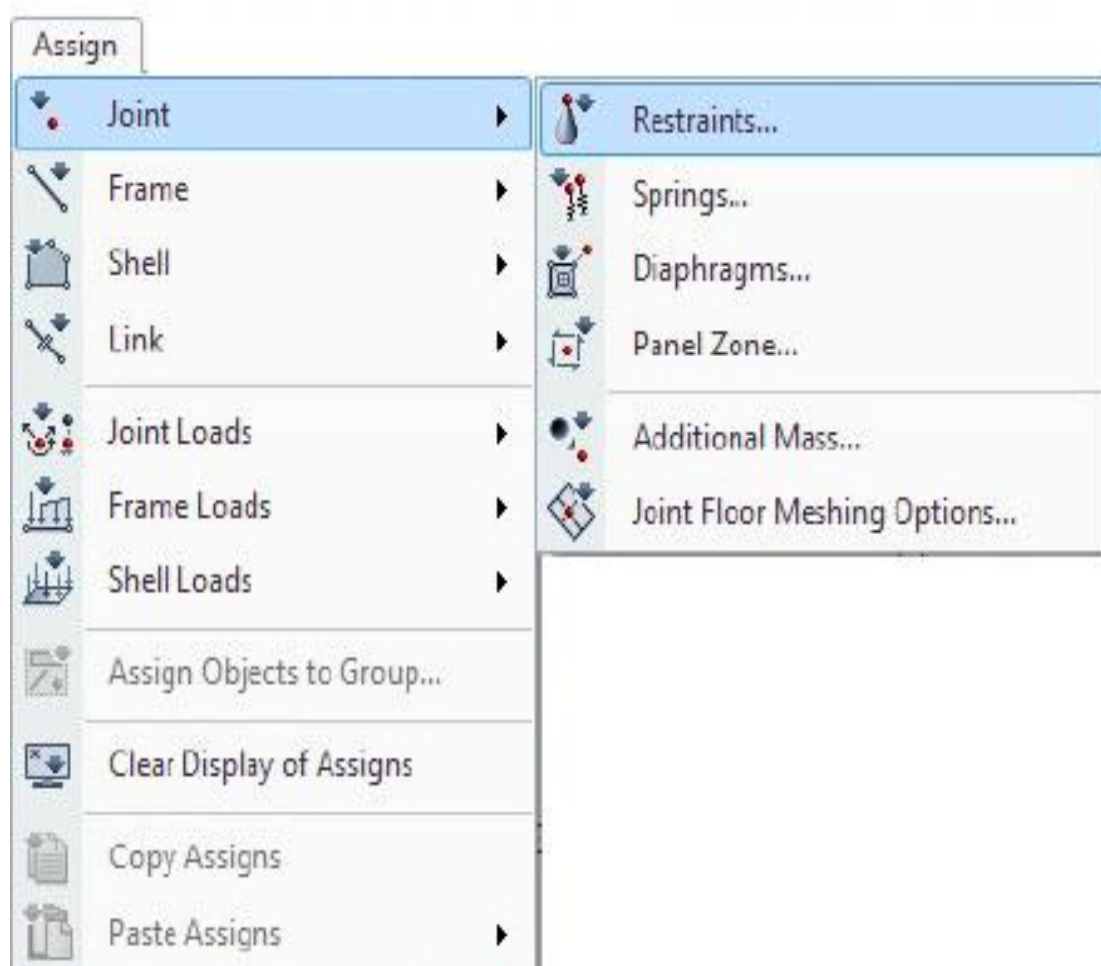
Για να καθορίσουμε την ιδιότητα στην κοιτόστρωση, πρώτα την επιλέγουμε, στην συνέχεια επιλέγουμε την ιδιότητα όπως δείχνει (Σχήμα 5.4.15.11) και πατάμε “Apply”.



Σχήμα 5.4.15.11 Καθορισμός δεδομένων σε κοιτόστρωση

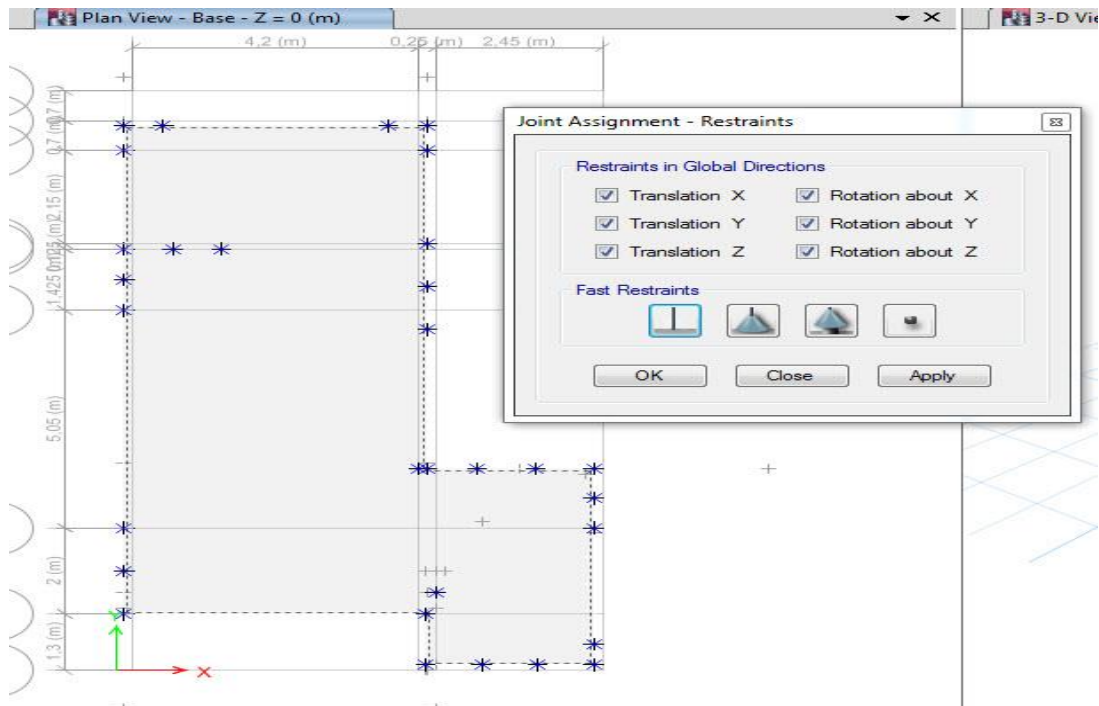
- **Καθορισμός δεδομένων σε στηρίξεις**

Σ αυτήν την παράγραφο θα ασχοληθούμε με την εισαγωγή και δέσμευση βαθμών ελευθερίας στις στηρίξεις. Συγκεκριμένα, όπως θα δούμε και στις παρακάτω φωτογραφίες (Σχήματα 5.4.5.13 και 5.4.5.14), στην κοιτόστρωση δεσμεύω την μετακίνηση στον x και y άξονα, ενώ όταν το κτίριο εδράζεται πάνω σε στηρίξεις και συγκεκριμένα σε πακτώσεις δευμεύονται όλοι οι βαθμοί ελευθερίας ,δηλαδή η μετακίνηση και η στροφή στους x,y,z άξονες. Από το μενού “Assign” και πηγαίνοντας στο “Joint” επιλέγουμε “Restrains”.(Σχήμα 5.4.15.12)

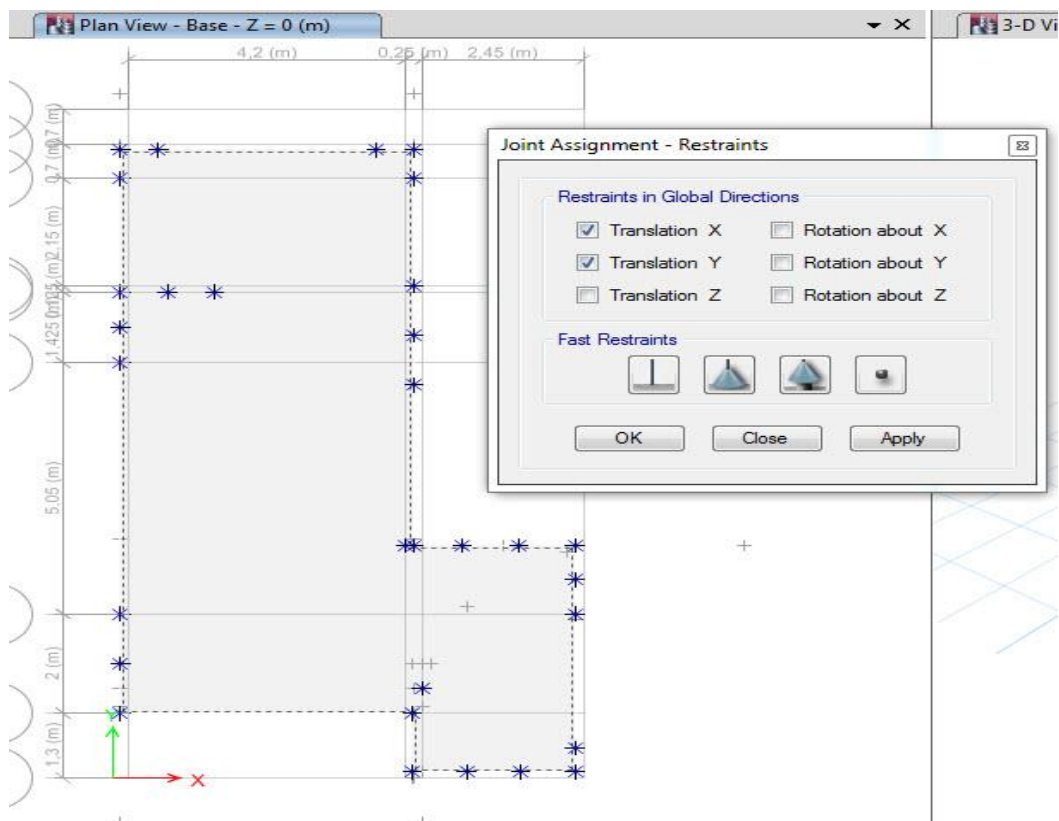


Σχήμα 5.4.15.12

Για να καθορίσουμε τους βαθμούς ελευθερίας στις στηρίξεις, πρώτα τις επιλέγουμε, στην συνέχεια επιλέγουμε τους βαθμούς ελευθερίας όπως δείχνει (Σχήμα 5.4.15.13 και 3.4.15.14) και πατάμε “Apply”.



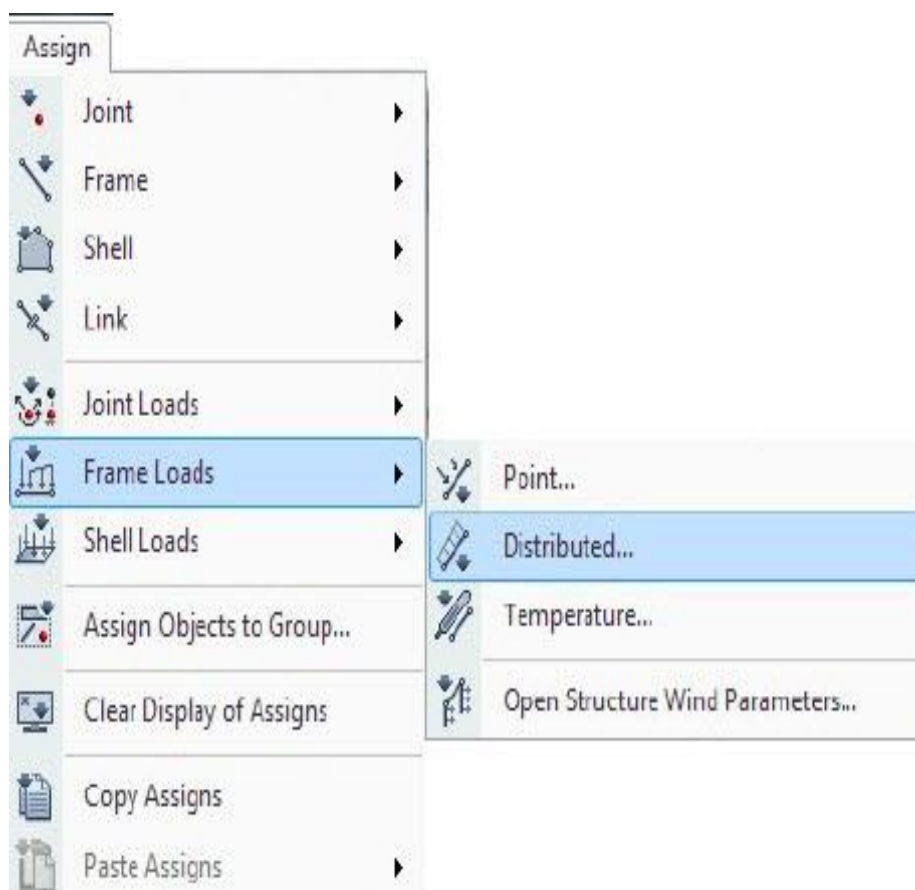
Σχήμα 5.4.15.13 Καθορισμός πάκτωσης



Σχήμα 5.4.15.14 Καθορισμός στηρίξεων στην κοιτόστρωση

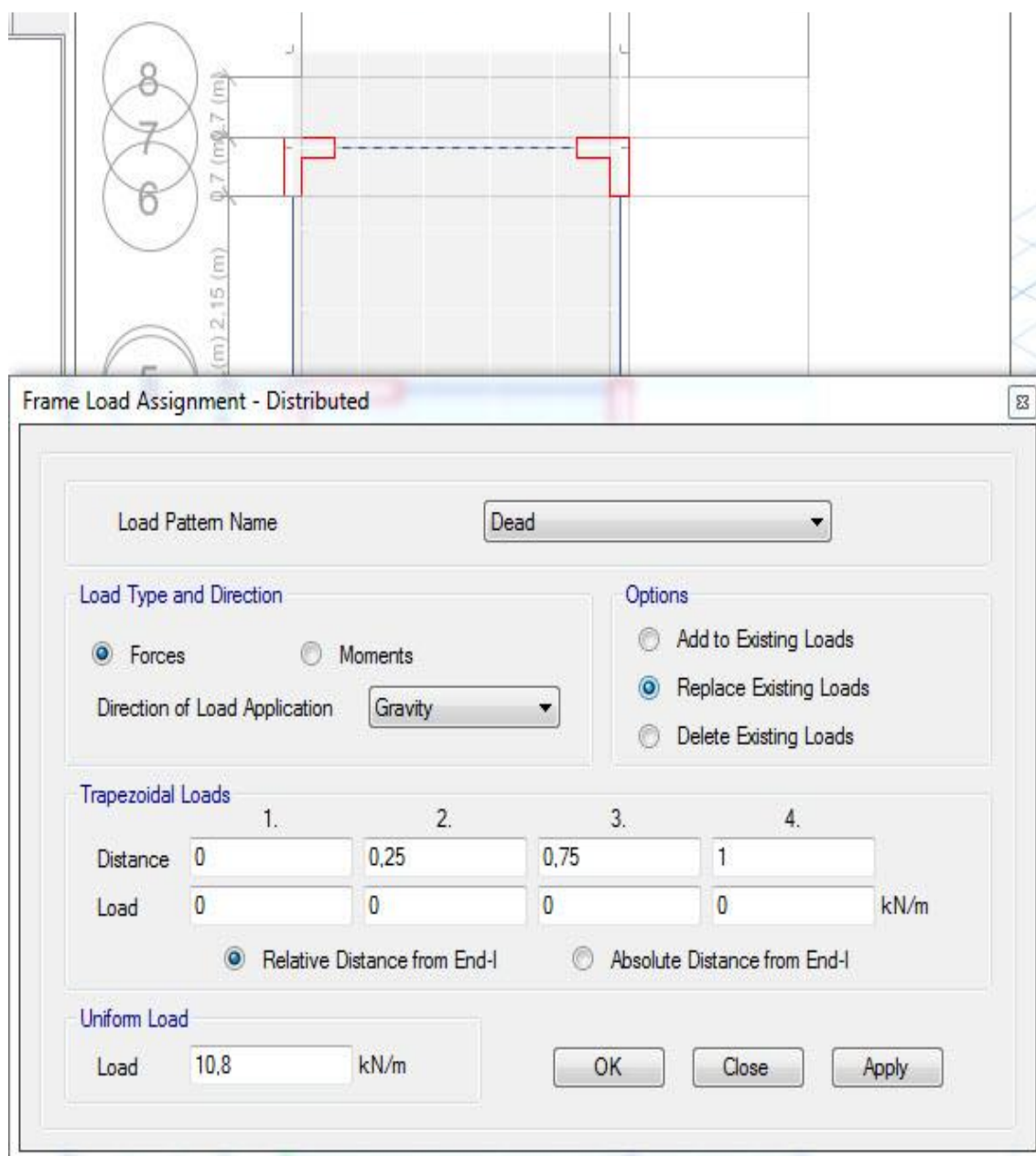
- **Καθορισμός φορτίων**

Σ' αυτήν την παράγραφο θα εισάγουμε τα φορτία στις πλάκες και τις δοκούς. Να διευκρινίσουμε ότι το ίδιο βάρος των δομικών στοιχείων το υπολογίζει αυτόματα το πρόγραμμα, συνεπώς μπορεί και να παραληφθεί κατά την εισαγωγή των φορτίων. Στις δοκούς θα εισάγουμε ομοιόμορφο καταναμημένο φορτίο το οποίο προέρχεται από την τοιχοποιία και στις πλάκες θα εισάγουμε το φορτίο της επικάλυψης και το κινητό φορτίο ,τα οποία όμως τα έχουμε δημιουργήσει ως συνδυασμό στην παράγραφο 5.4.11. Παρακάτω, παρουσιάζονται φωτογραφίες με τον τρόπο καθορισμού των φορτίων στις δοκούς και στις πλάκες. (Σχήμα 5.4.15.15 , 5.4.15.16 5.4.15.17 και 5.4.15.18). Από το μενού “Assign” και πηγαίνοντας στο “Frame Loads” επιλέγουμε “Distributed”(Σχήμα 3.4.15.15) και πηγαίνοντας στο “Shell Loads” επιλεγούμε “Uniform Loads Sets” (Σχήμα 5.4.15.17).

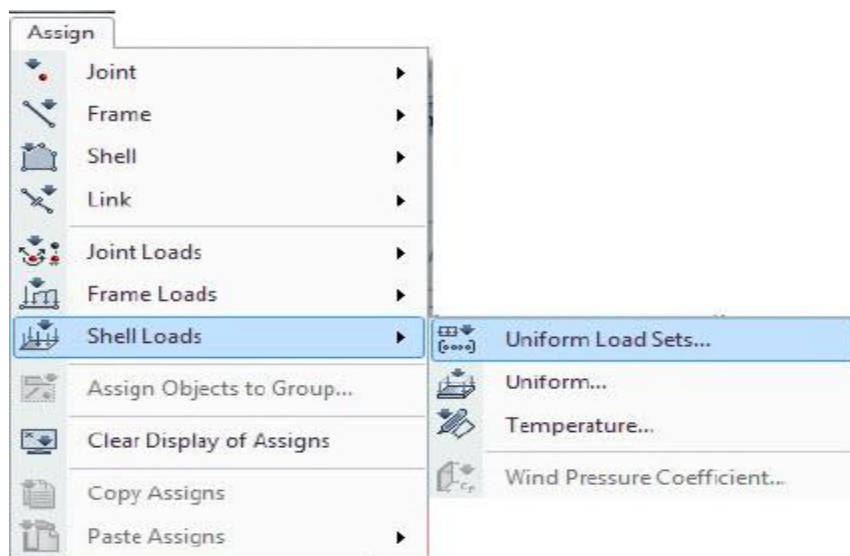


Σχήμα 5.4.15.15

Για να καθορίσουμε το φορτίο στην δοκό, πρώτα την επιλέγουμε, στην συνέχεια βάζουμε το φορτίο που έχουμε υπολογίσει για την τοιχοποιία στο “Uniform Load” και στο “Load Pattern Name” επιλεγούμε “Τοιχοποιία” (Σχήμα 5.4.15.16) και πατάμε “Apply”.

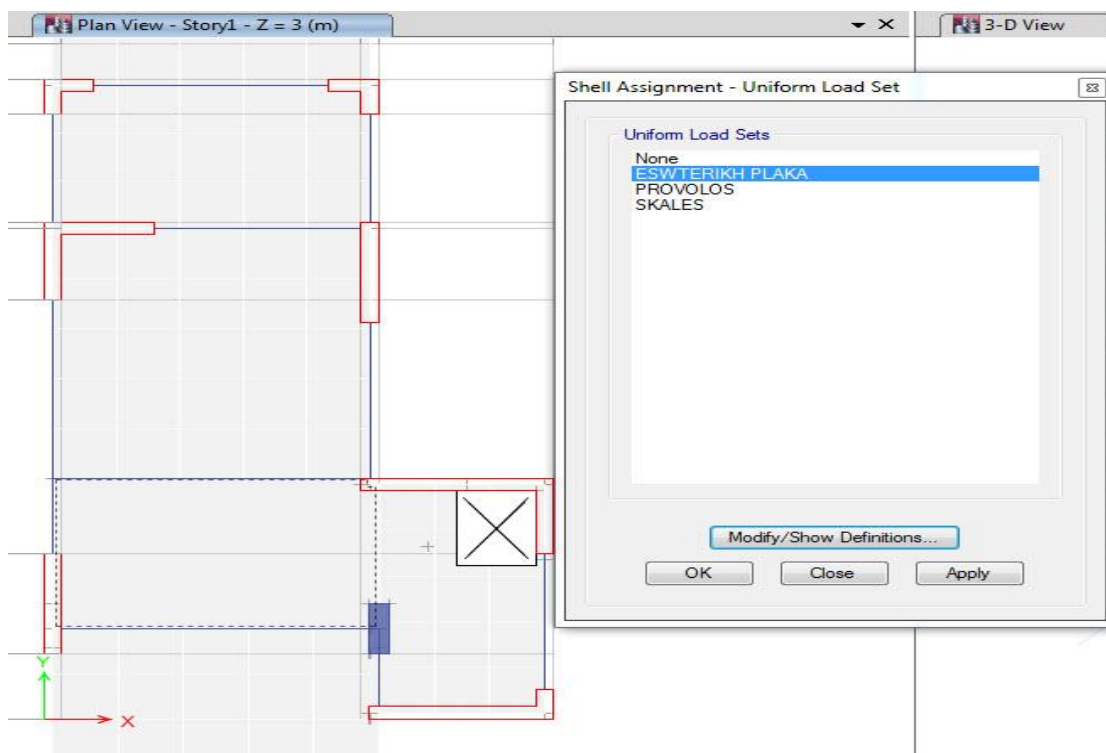


Σχήμα 5.4.15.16 Καθορισμός ομοιομόρφου κατανεμημένου φορτίου στην δοκό



Σχήμα 5.4.15.17

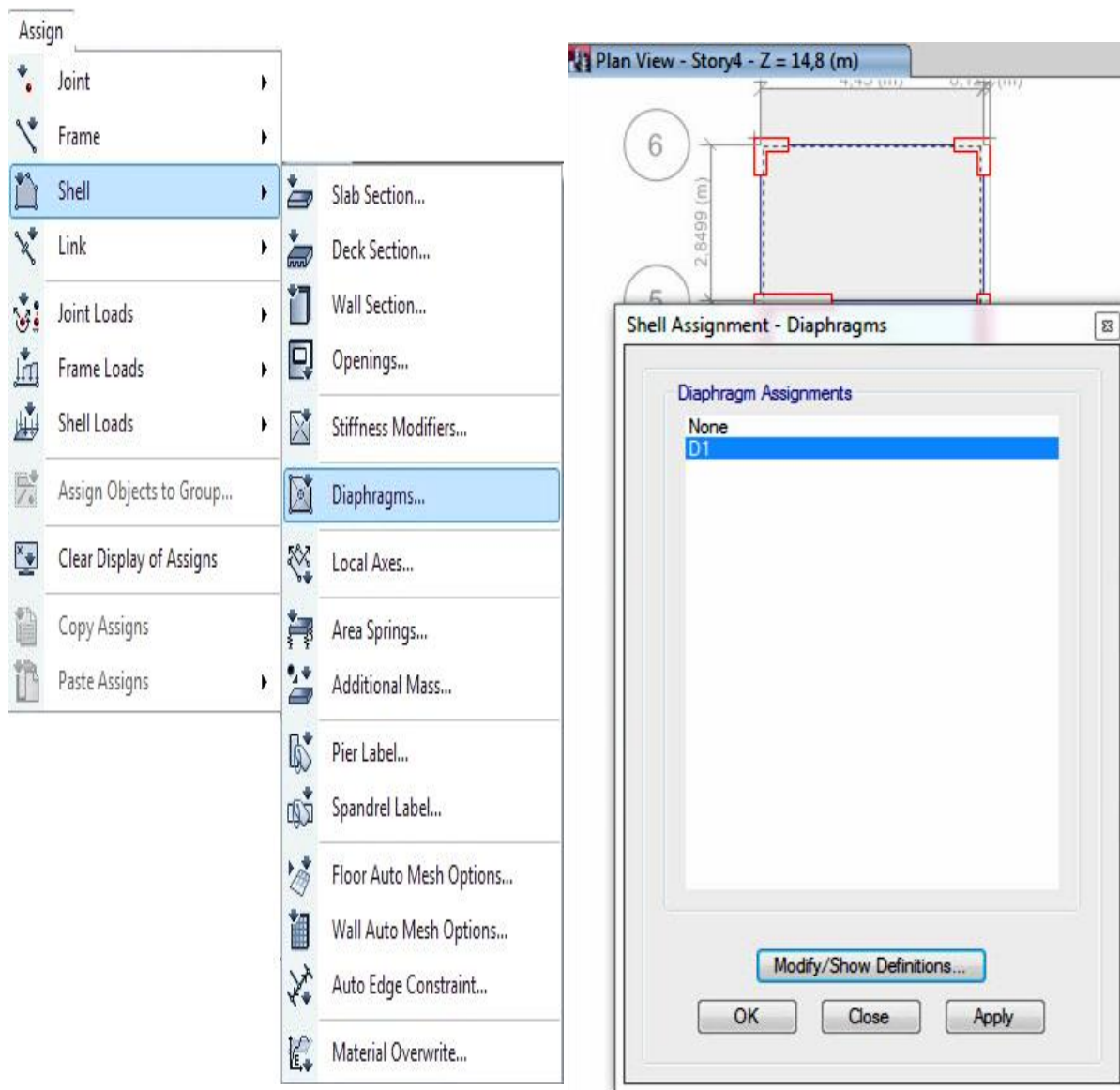
Για να εκχωρήσουμε το συνδυασμό φορτίων στην πλάκα, πρώτα την επιλέγουμε, στην καθορίσουμε συνέχεια επιλέγουμε το συνδυασμό φορτίων που έχουμε δημιουργήσει (Σχήμα 5.4.15.18) και πατάμε “Apply”.



Σχήμα 5.4.15.18 Καθορισμός συνδυασμού φορτίων στην πλάκα

- **Καθορισμός διαφραγματικής λειτουργίας**

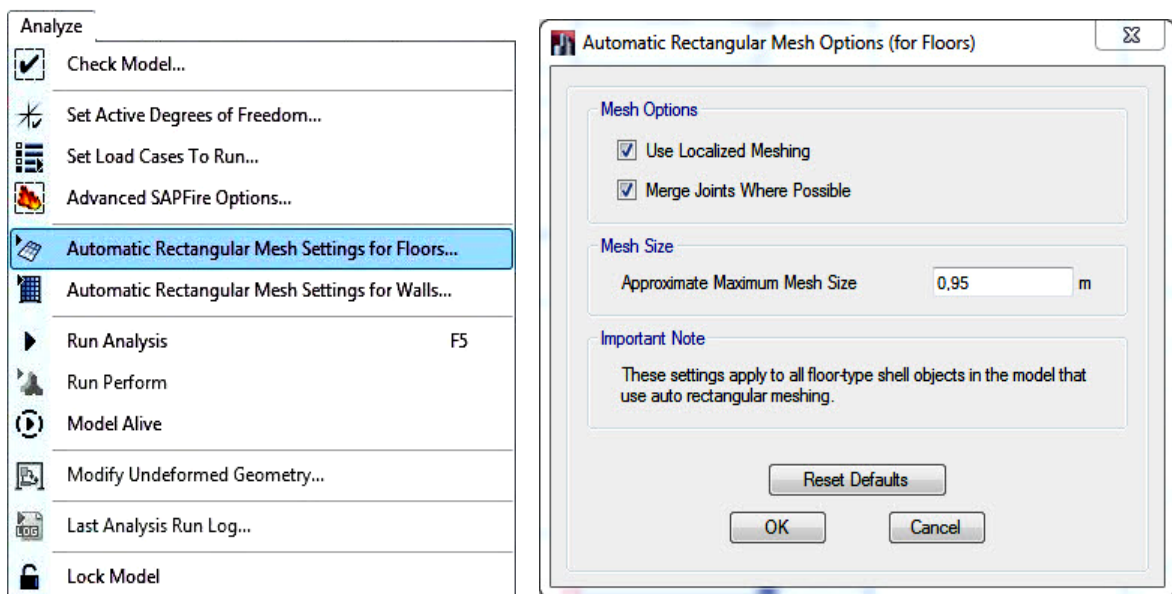
Από το μενού “Assign” και πηγαίνοντας στο “Shell” επιλέγουμε “Diaphragms”(Σχήμα 5.4.15.19). Κατόπιν, επιλέγοντας όλες τις πλάκες του κτιρίου, τσεκάρουμε το D1 και πατάμε “Apply””(Σχήμα 5.4.15.20).



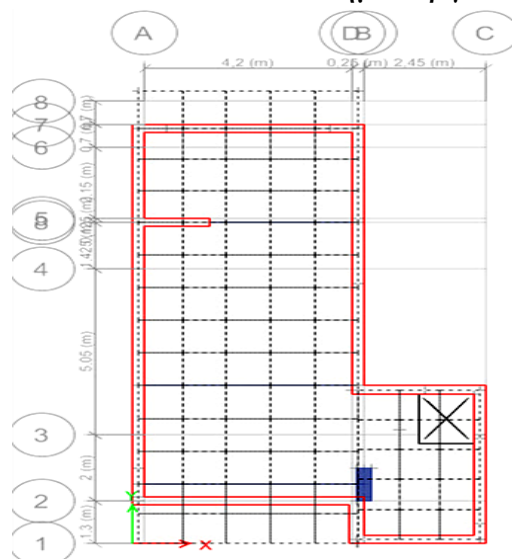
Σχήμα 5.4.15.19 και 5.4.15.20 Καθορισμός διαφραγματικής λειτουργίας

- Δημιουργία πλέγατος σε τοιχεία και πλάκες

Το πρόγραμμα ETABS μας δίνει την δυνατότητα να διαιρέσουμε την πλάκα και τα τοιχεία σε μικρότερα τμήματα ώστε να επιτευχθεί μια πιο ρεαλιστική ανάλυση. Πιο αναλυτικά, το πρόγραμμα χωρίζει αυτόματα τις πλάκες και τα τοιχεία σε ορθογώνια πλευρών το πολύ 0,95m όπως θα δούμε παρακάτω. Από το μενού “Analyze ” και επιλέγουμε “Automatic Rectangular Mesh Settings for Floors”(Σχήμα 5.4.15.21). Κατόπιν, επιλέγουμε την μέγιστη απόσταση που θέλουμε να η πλευρά του τετραγώνου (0,90-1,25)πατάμε “OK”(Σχήμα 5.4.15.22).

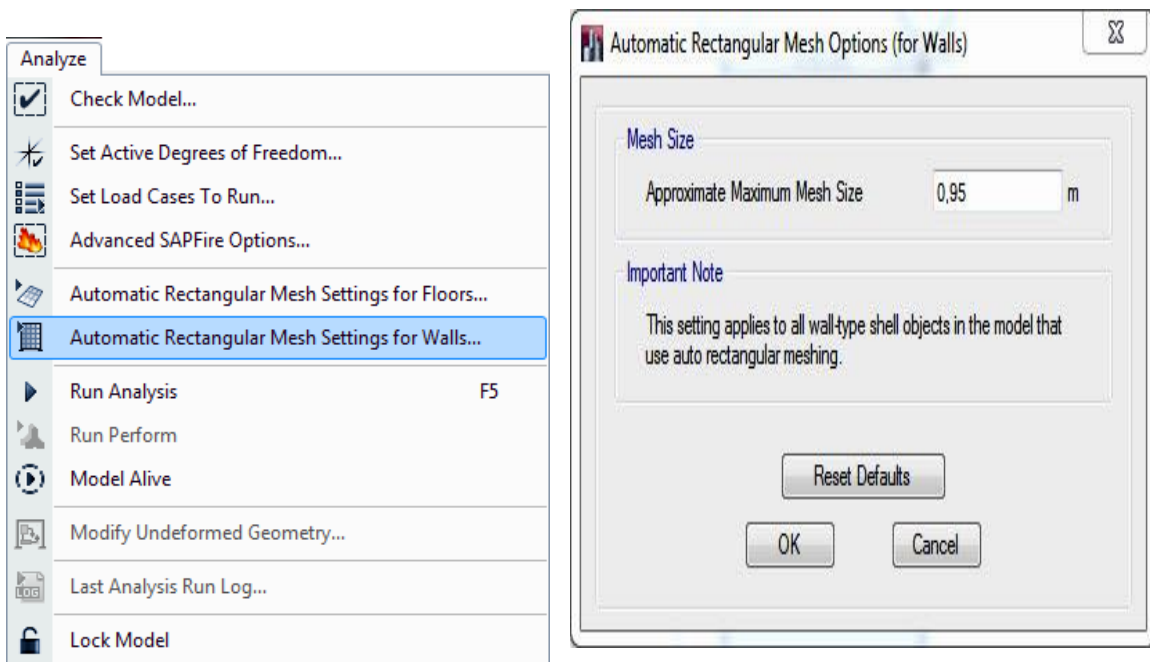


Σχήμα 5.4.15.21 και 5.4.15.22 Δημιουργία πλέγατος για πλάκα

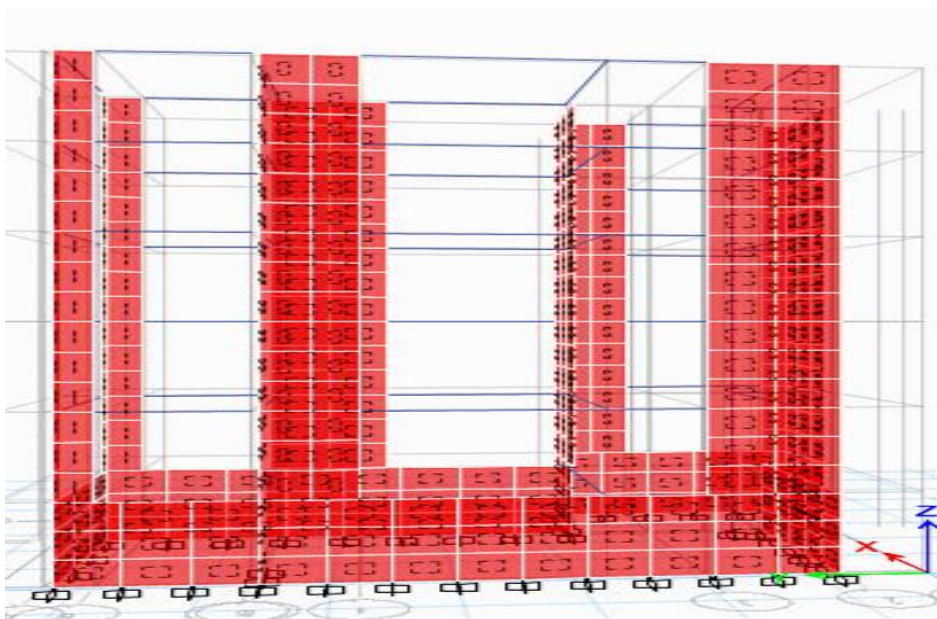


Σχήμα 5.4.15.23 Πλάκα διαιρεμένη σε ορθογώνια

Από το μενού “Analyze ” επιλέγουμε “Automatic Rectangular Mesh Settings for Walls”(Σχήμα 5.4.15.24). Κατόπιν, επιλέγουμε την μέγιστη απόσταση που θέλουμε να η πλευρά του τετραγώνου(0,90-1,25)πατάμε “OK””(Σχήμα 5.4.15.25).



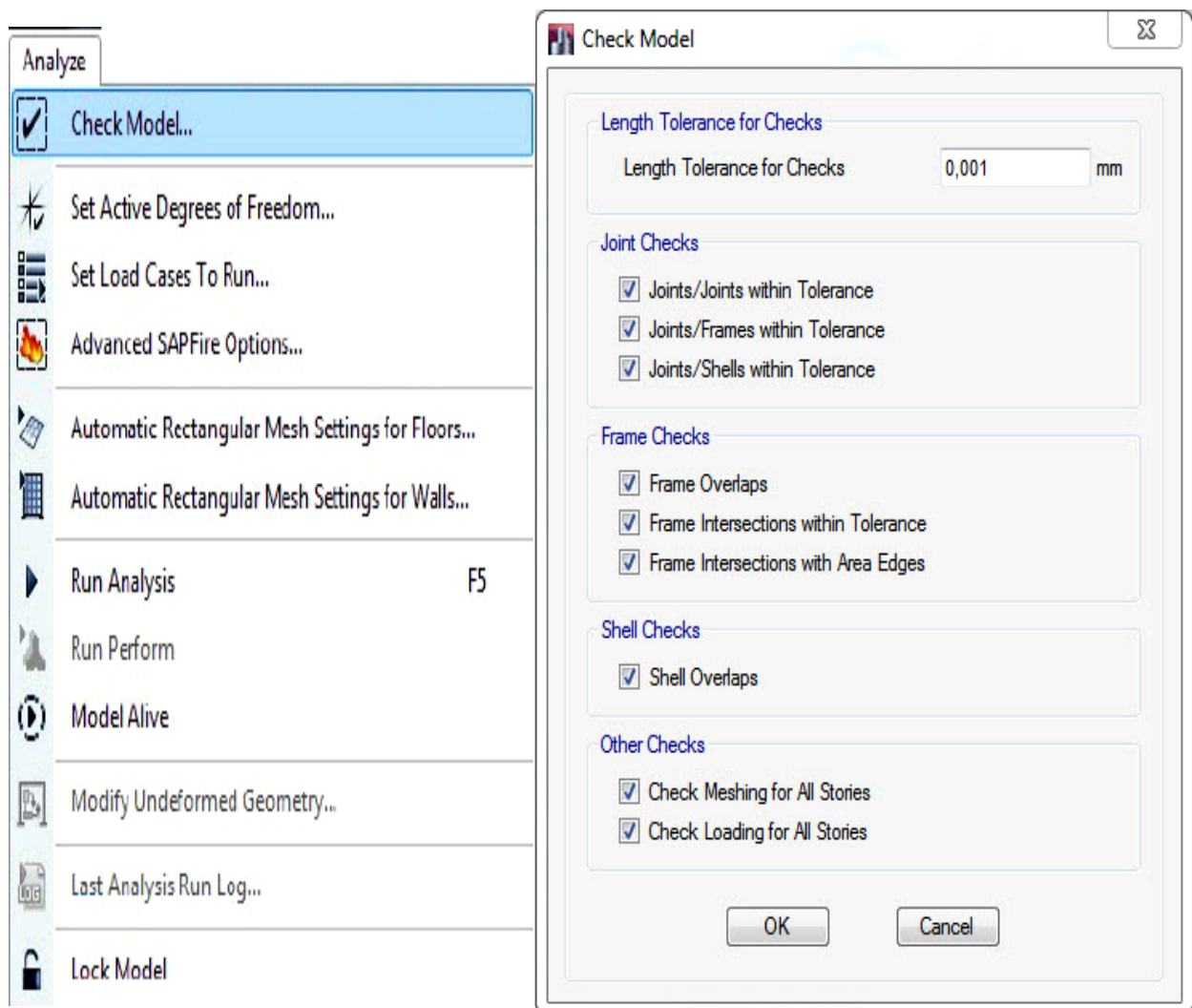
Σχήμα 5.4.15.24 και 5.4.15.25 Δημιουργία πλέγματος για τοιχεία



Σχήμα 5.4.15.26 Τοιχεία διαιρεμένα σε ορθογώνια

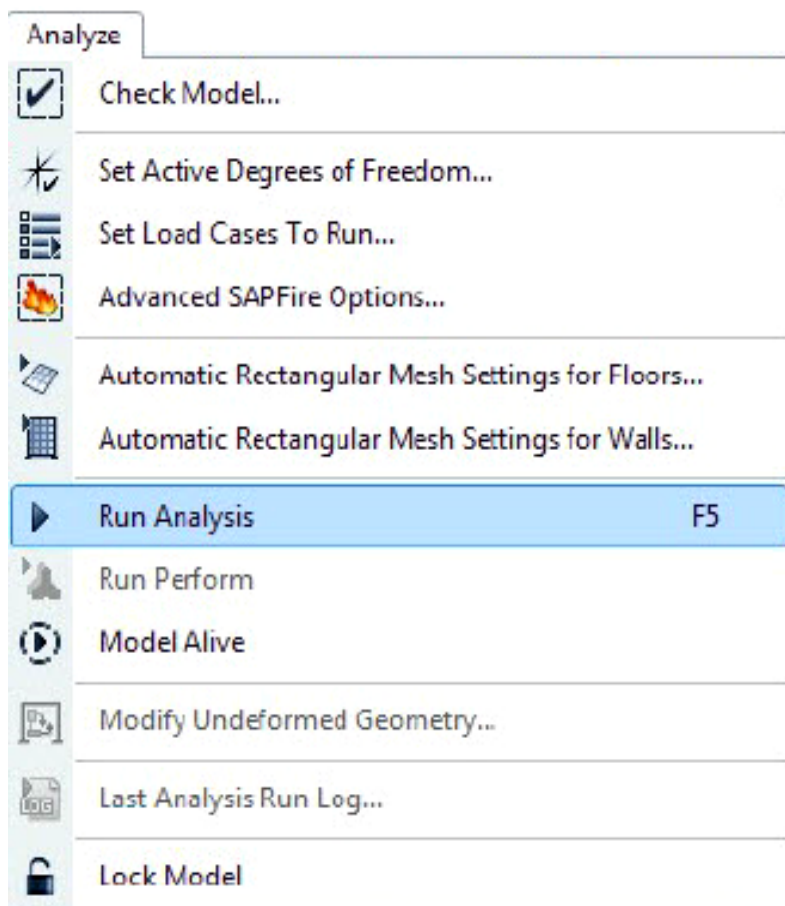
5.4.16 Ανάλυση

Αφού ολοκληρωθεί η κατασκευή του μοντέλου, ακολουθεί το τελευταίο στάδιο της προσομοίωσης το οποίο είναι η *ανάλυση*. Σ' αυτό το στάδιο αφού πρώτα τσεκάρουμε το μοντέλο από το μενού “Analyze” και επιλέγοντας “Check Model” (Σχήματα 5.4.16.1 και 5.4.16.2), στην συνέχεια επιλέγουμε από το ίδιο μενού “Run Analysis” (Σχήμα 5.4.16.3). Όταν τελειώσει η ανάλυση εκδίδονται όλα τα αποτελέσματα (ιδιομορφές, ιδιοπερίοδοι, εντατικά μεγέθη, μετακινήσεις), τα οποία είναι απαραίτητα για την δυναμική ανάλυση του κτιρίου.



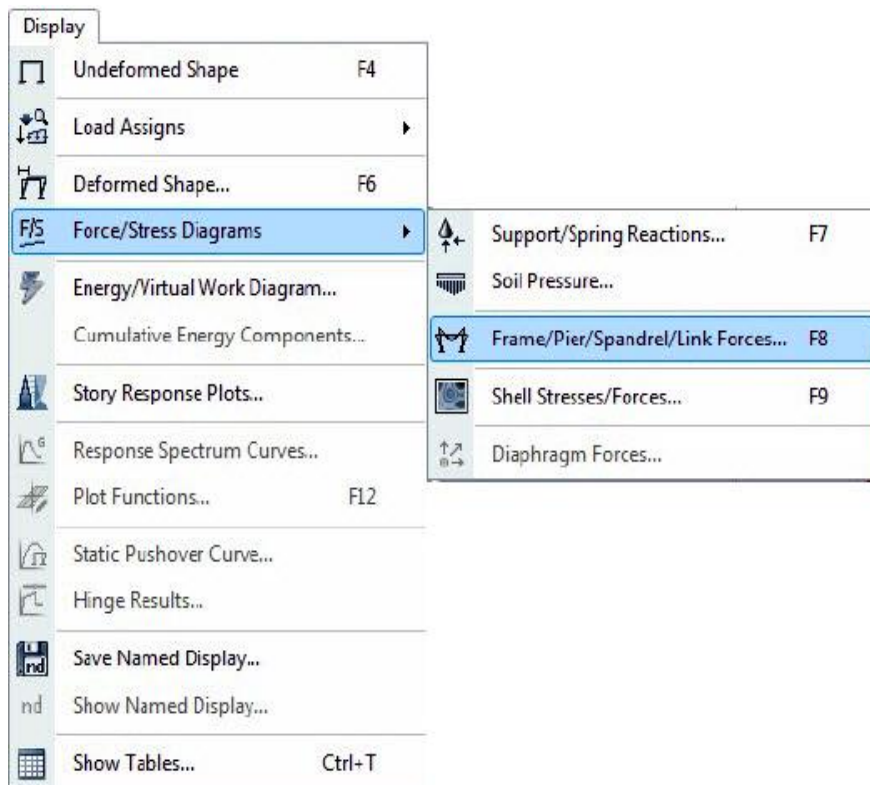
Σχήμα 5.4.16.1 και 5.4.16.2 Έλεγχος μοντέλου κτιρίου

ΣΗΜΕΙΩΣΗ : Μήκος απόστασης για έλεγχο επιλέγουμε το ελάχιστο που έχει.
0.001mm.

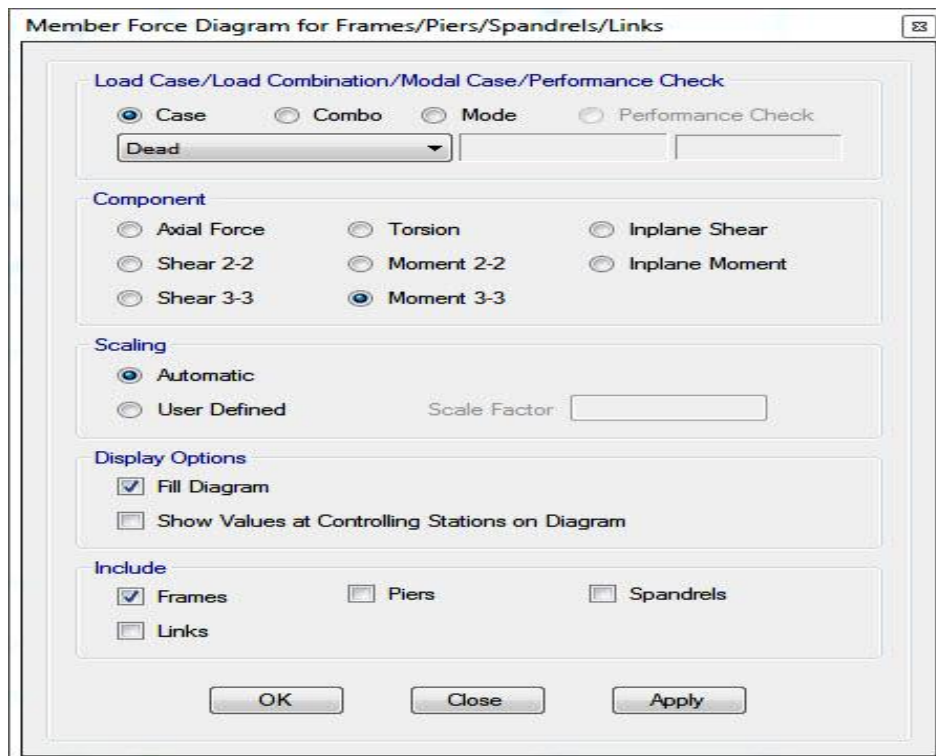


Σχήμα 5.4.16.3 Ανάλυση μοντέλου κτιρίου

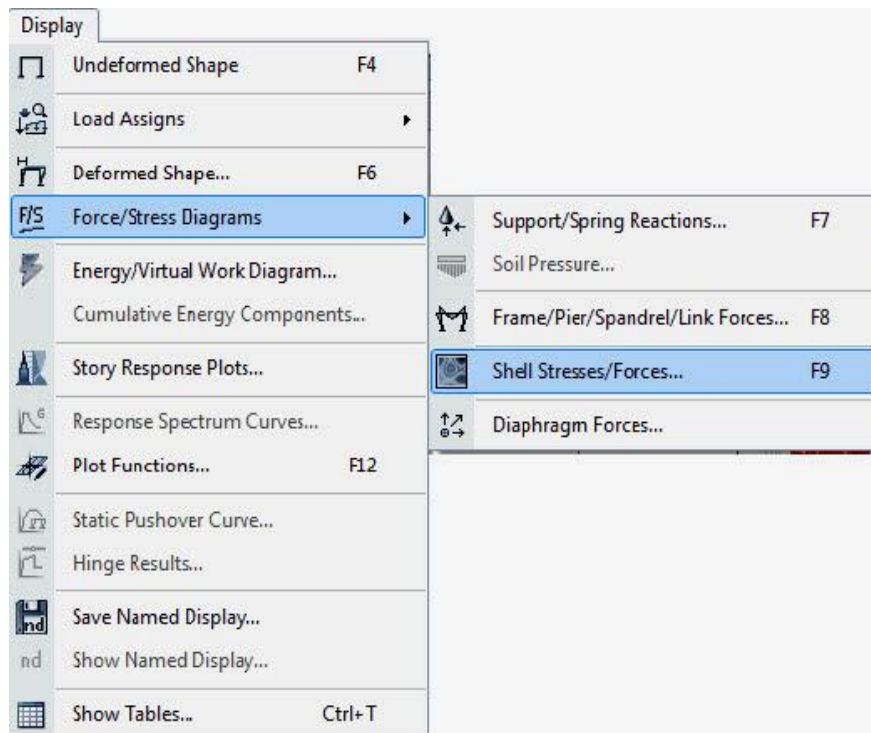
Από το μενού “Display ” πηγαίνοντας στο “Force/ Stress Diagrams” επιλέγουμε “Frame/Pier/Spandrel/Link Forces”(Σχήμα 5.4.16.4). Από το παράθυρο που εμφανίζεται (Σχήμα 5.4.16.5) μπορούμε να επιλέξουμε τα φορτία, ή συνδυασμό φορτίων και τις συνιστώσες τους τα οποία στην συνέχεια θα περαστούν στο προσομοίωμα και θα εμφανιστούν τα αντίστοιχα διαγράμματα. Επίσης, από το μενού “Display ” πηγαίνοντας στο “Force/ Stress Diagrams” και επιλέγοντας “Shell Stresses/Forces”(Σχήμα 5.4.16.6), από το παράθυρο που εμφανίζεται (Σχήμα 5.4.16.7) μπορούμε να επιλέξουμε φορτία, ή συνδυασμό φορτίων και τις συνιστώσες τους τα οποία στην συνέχεια θα περαστούν στο προσομοίωμα το οποίο θα παραμορφωθεί αναλόγως. Στο παραμορφωμένο μοντέλο σε οποίο σημείο τοποθετήσουμε το σταυρόνημα θα εμφανιστούν οι αντίστοιχες τάσεις και μετακινήσεις.



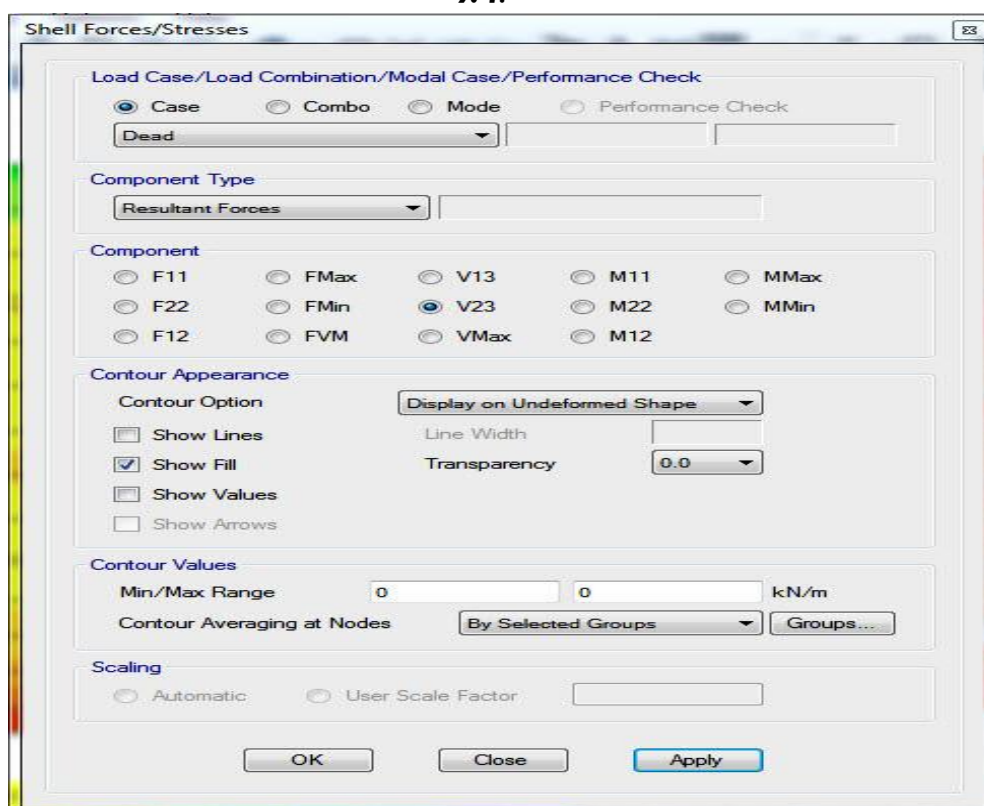
Σχήμα 5.4.16.4



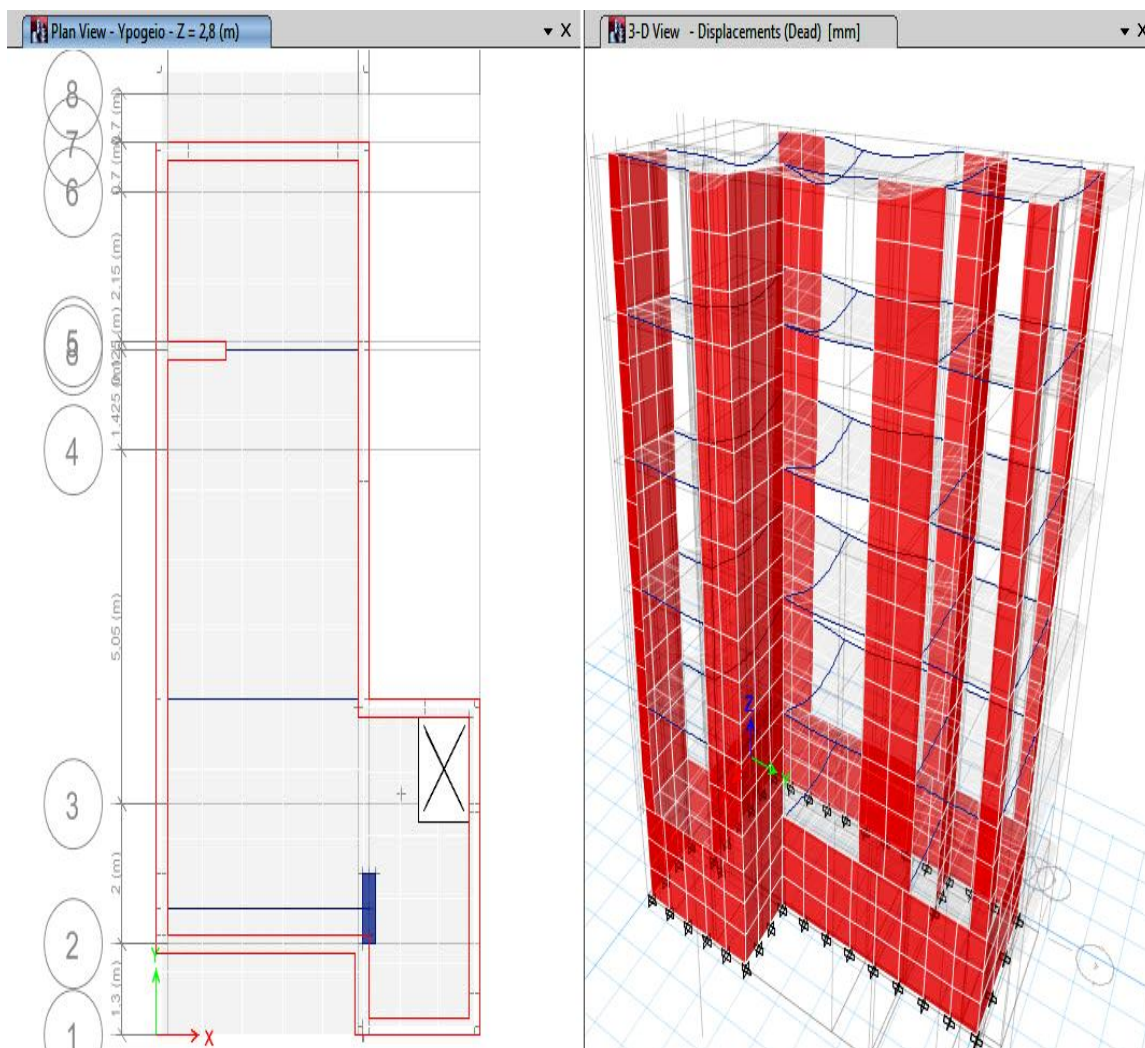
Σχήμα 5.4.16.5 Επιλογή διαγραμμάτων



Σχήμα 5.4.16.6

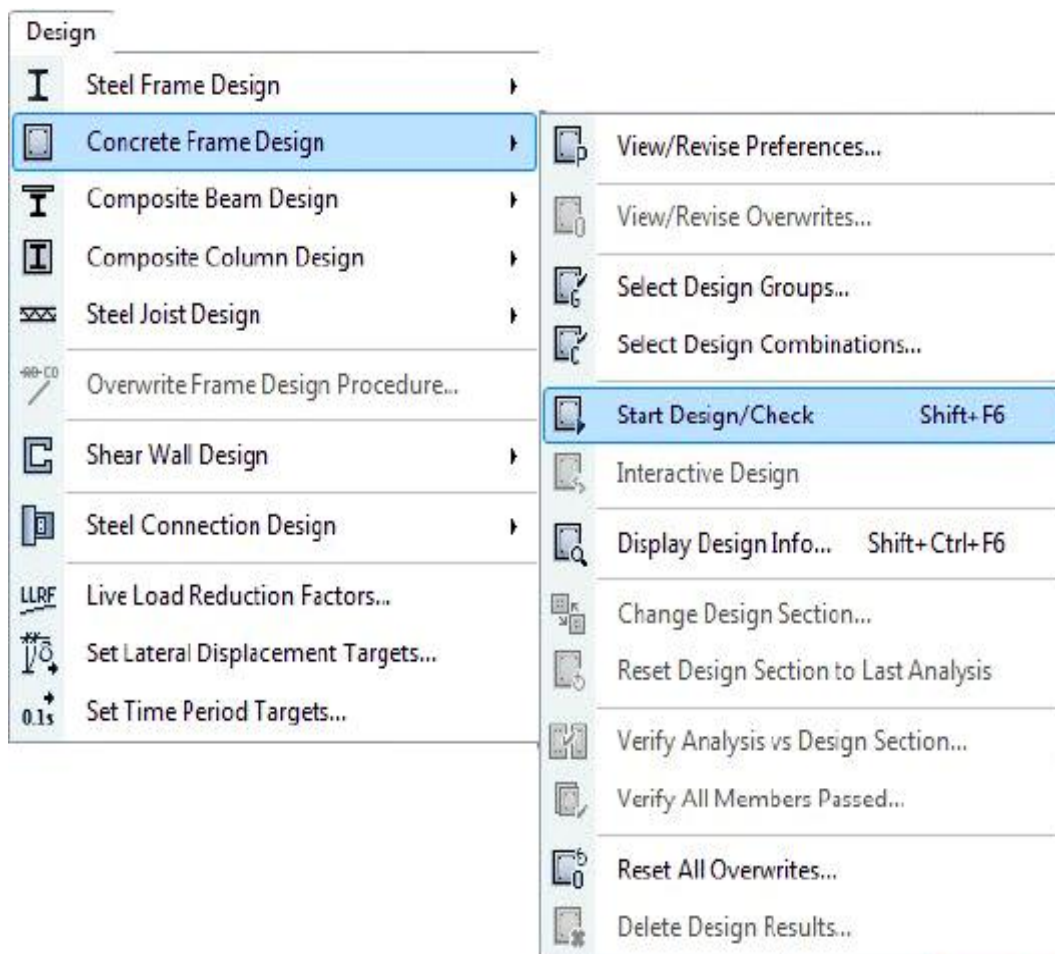


Σχήμα 5.4.16.7 Επιλογή τάσεων και δυνάμεων



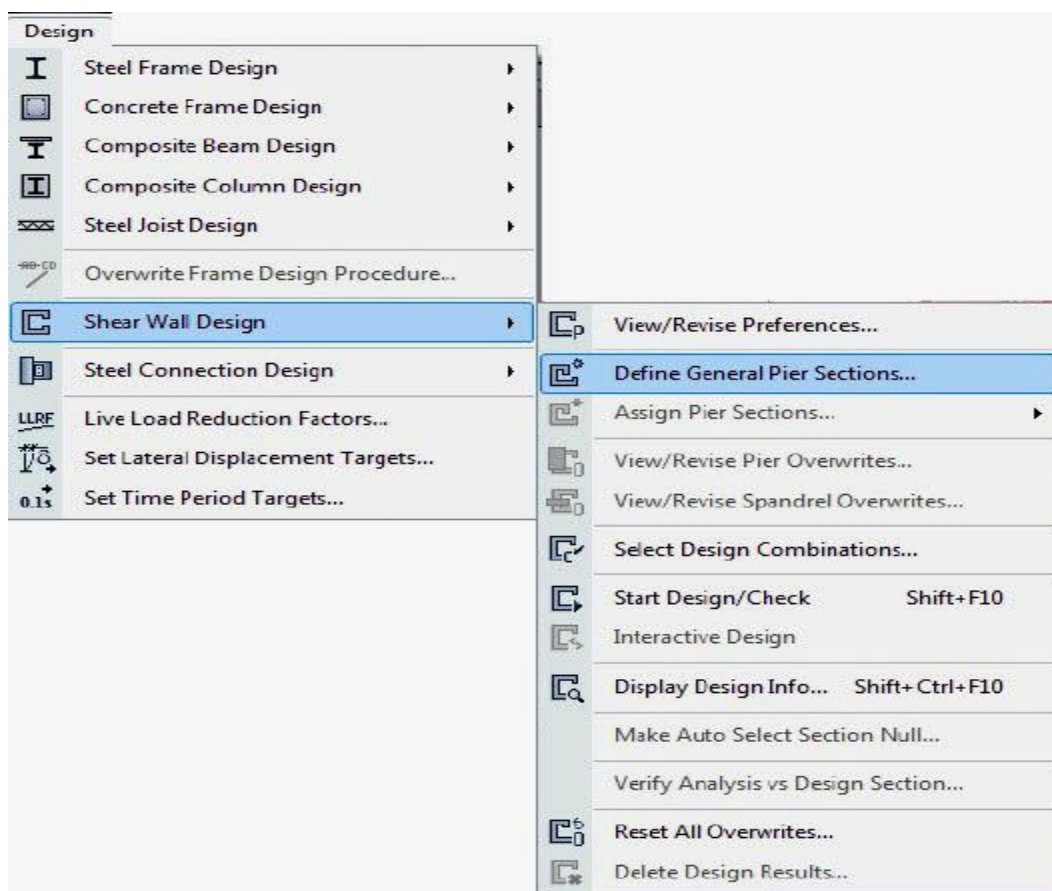
Σχήμα 5.4.16.8 Παράδειγμα παραμορφωσης κτιρίου υπό την επίδραση των μόνιμων φορτίων μετά την ανάλυση

Αφού ολοκληρωθεί η ανάλυση το πρόγραμμα μας δίνει την δυνατότητα για την εισαγωγή οπλισμού στα δομικά στοιχεία. Υπάρχουν δυο τρόποι για να εισάγουμε τον οπλισμό, πρώτον το πρόγραμμα μπορεί από μόνο του να τοποθετήσει τον οπλισμό αναλόγως με τα εντατικά μεγέθη και δεύτερον αφού μελετήσουμε εμείς τα εντατικά μεγέθη που θα βγάλει το πρόγραμμα στην συνέχεια δημιουργούμε τον αντίστοιχο οπλισμό. Από το μενού “Design” και πηγαίνοντας στο “Concrete Frame Design” επιλέγουμε “Start Design/Check”(Σχήμα 5.4.16.9), και τότε το πρόγραμμα αυτόματα τοποθετεί οπλισμό στις δοκούς και το υποστύλωμα.

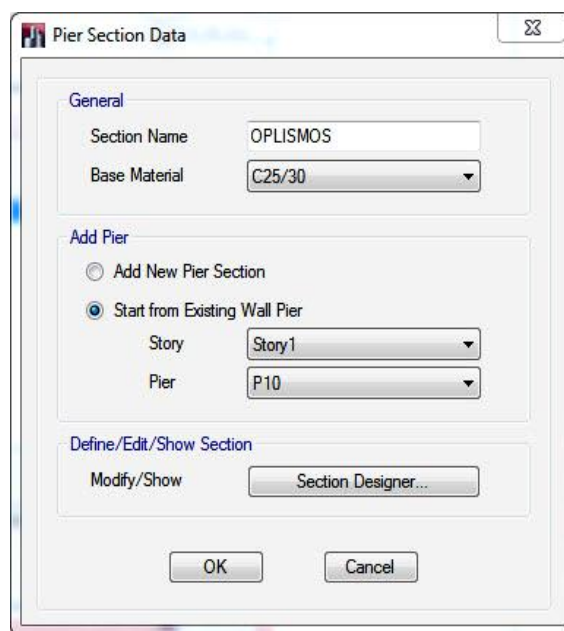
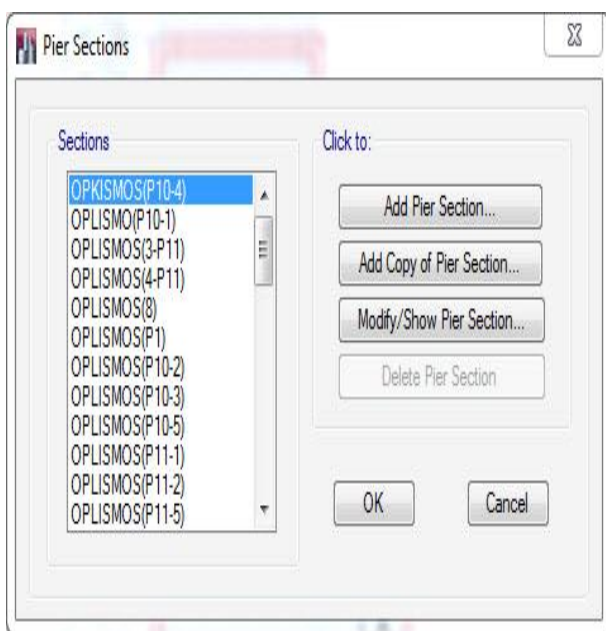


Σχήμα 5.4.16.9 Εισαγωγή οπλισμού δοκών και υποστυλώματος

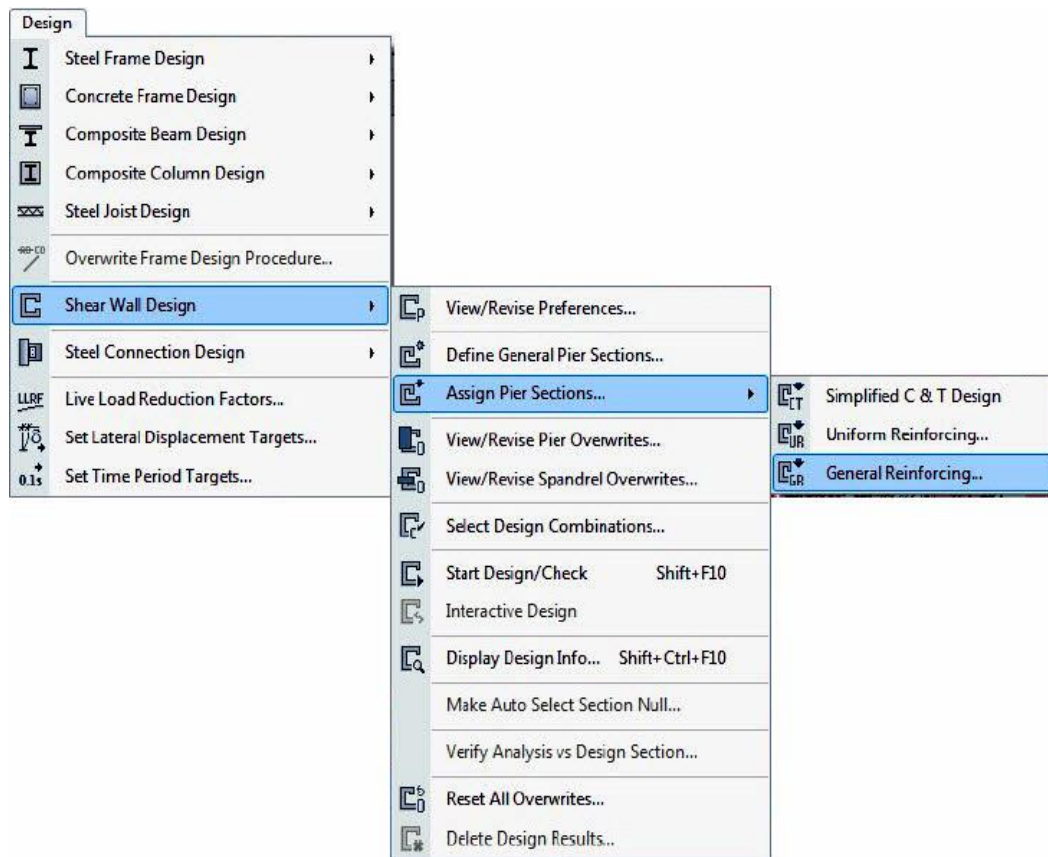
Για να τοποθετήσουμε τον οπλισμό στα τοιχεία από το μενού “Design” και πηγαίνοντας στο “Shear Wall Design” επιλέγουμε “Define General Pier Section”(Σχήμα 5.4.16.10). Κατόπιν, στο παράθυρο που ανοίγει πατάμε την επιλογή “Add Pier Section”(Σχήμα 5.4.16.11). Στην συνέχεια στο νέο παράθυρο που ανοίγει, δημιουργούμε τον οπλισμό του κάθε τοιχείου(Section Designer) ανάλογα και με τον όροφο και πατάμε “OK”. (Σχήμα 5.4.16.12). Από το μενού “Design” και πηγαίνοντας στο “Shear Wall Design” επιλέγουμε “Assign Pier Section” και “General Reinforcing”(Σχήμα 5.4.16.13). Από το παράθυρο που ανοίγει επιλέγουμε τον οπλισμό στην βάση και την κορυφή του τοιχείου που έχουμε δημιουργήσει προηγουμένως και τσεκάρουμε το “Reinforcement to be Design” και πατάμε “OK”.(Σχήμα 5.4.16.14). Τέλος, από το μενού “Design” και πηγαίνοντας στο “Shear Wall Design” επιλέγουμε “Start Design/Check ”(Σχήμα 5.4.16.15) για τοποθετηθεί ο οπλισμός.



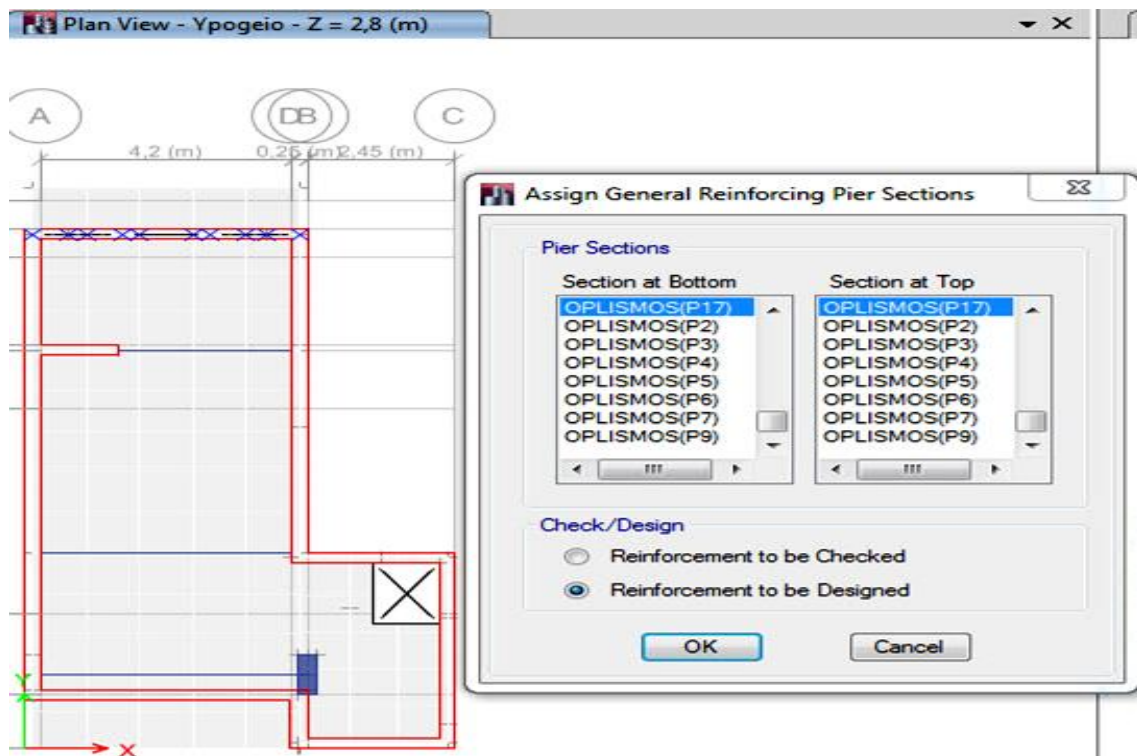
Σχήμα 5.4.16.10



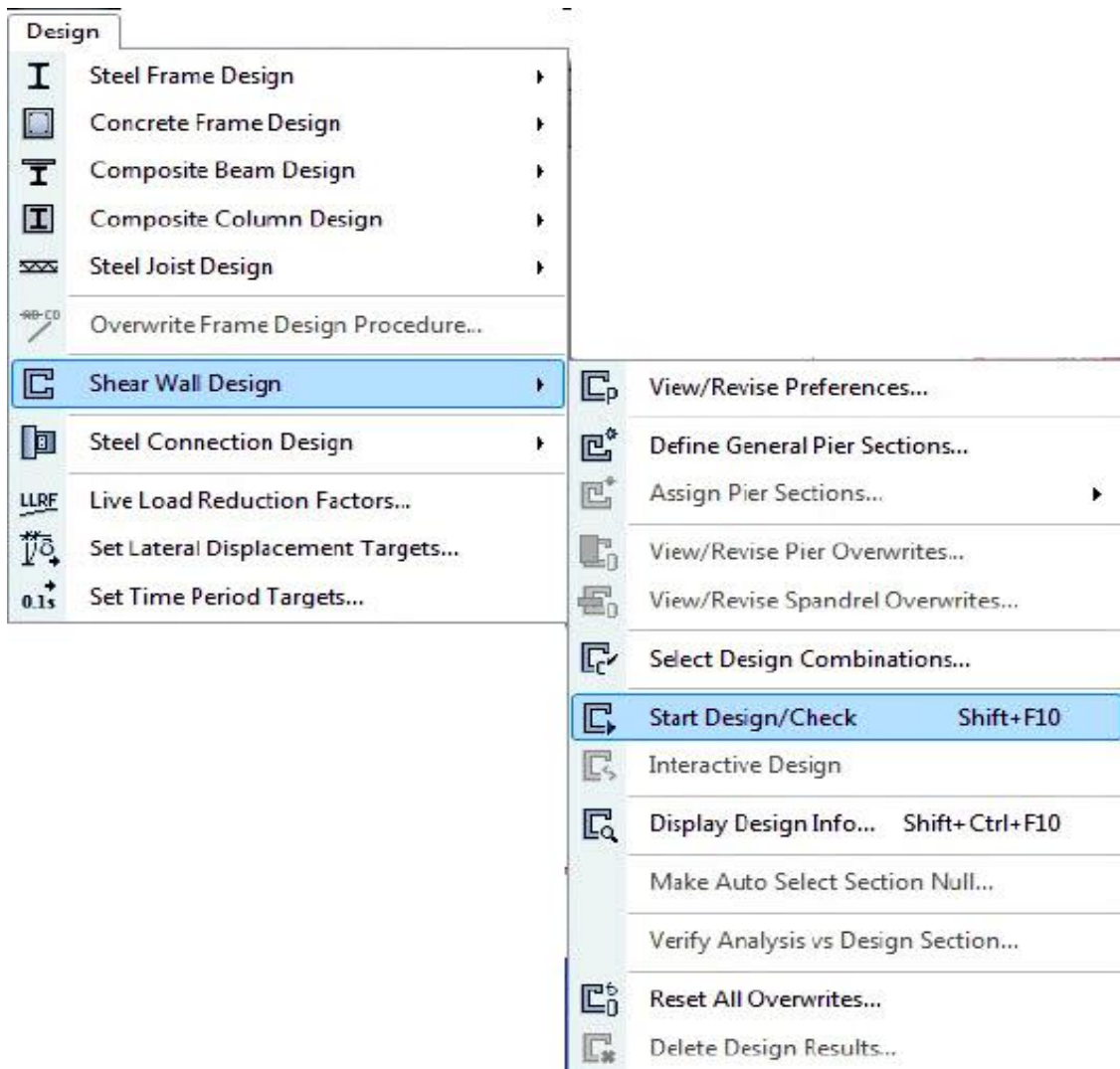
Σχήμα 5.4.16.11 και 5.4.16.12 Δημιουργία οπλισμού τοιχείων



Σχήμα 5.4.16.13



Σχήμα 5.4.16.14 Εισαγωγή οπλισμού τοιχείων



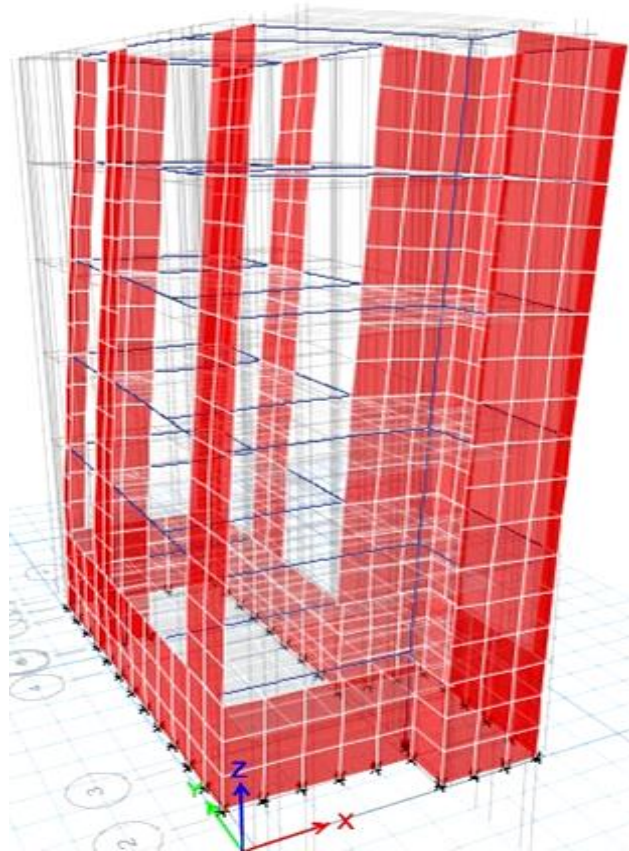
Σχήμα 5.4.16.15

6° ΚΕΦΑΛΑΙΟ **Αριθμητικά** **Αποτελέσματα**

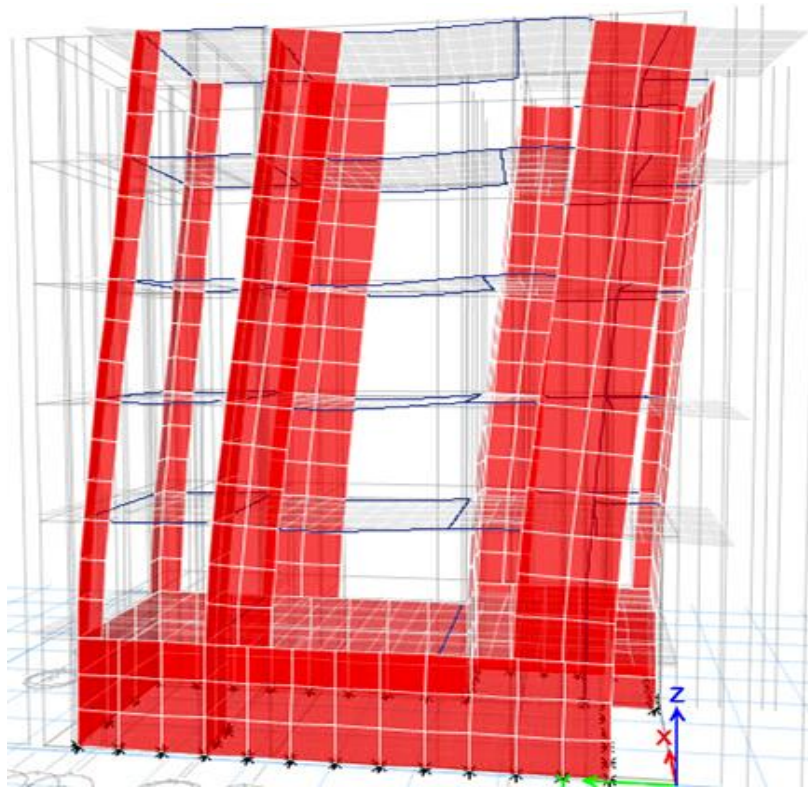
6.1 ΠΕΝΤΑΩΡΟΦΟ ΜΕ ΥΠΟΓΕΙΟ ΣΕ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΤΗΡΙΞΗ

Ιδιοπερίοδοι και ιδιοσυχνότητες

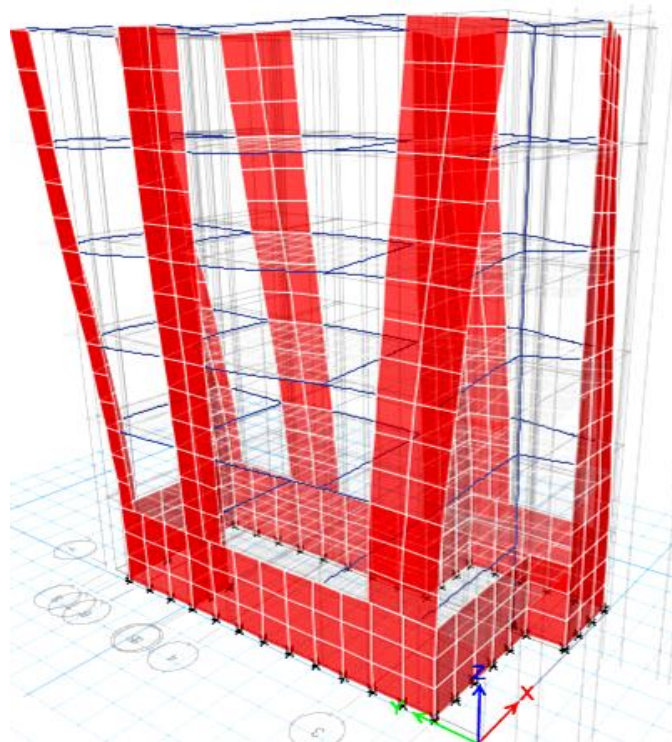
Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι ιδιοπερίοδοι και οι ιδιοσυχνότητες για τις τρεις πρώτες ιδιομορφές του πενταώροφου με υπόγειο εδραζόμενο σε ελαστική στήριξη. Επίσης, παρατίθενται φωτογραφίες με το παραμορφωμένο κτίριο στις αντίστοιχες ιδιομορφές.



Σχήμα 6.1.1 1^η Ιδιομορφή $T_1 = 0,494s$



Σχήμα 6.1.2 2^η Ιδιομορφή $T_2= 0,374s$



Σχήμα 6.1.3 3^η Ιδιομορφή $T_3= 0,310s$

Παρακάτω παρατίθεται συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 6.1) με τις ιδιοπερίοδοι και τις ιδιοσυχνότητες:

Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδοι (s)	Ιδιοσυχνότητες (rad/s)
1	0,494	12,717
2	0,374	16,789
3	0,310	20,238

Πίνακας 6.1 Ιδιοπερίοδοι και ιδιοσυχνότητες

Μέγιστες μετακινήσεις

Στον Πίνακα 6.2 και 6.3 παρουσιάζονται οι μέγιστες μετακινήσεις όλων των ορόφων του κτιρίου κατά την x και y διεύθυνση :

Όροφοι	RSX + 0,3RSY
	Μετακίνηση u (mm)
5 ^{ος} Όροφος	43,5
4 ^{ος} Όροφος	34,8
3 ^{ος} Όροφος	25,8
2 ^{ος} Όροφος	16,7
1 ^{ος} Όροφος	8,4
Υπόγειο	2,6
Βάση	0

Πίνακας 6.2 Μέγιστες μετακινήσεις ορόφων σύμφωνα με το συνδυασμό RSX + 0,3RSY

Όροφοι	0,3RSX + RSY
	Μετακίνηση u (mm)
5 ^{ος} Όροφος	31,5
4 ^{ος} Όροφος	24,7
3 ^{ος} Όροφος	17,6
2 ^{ος} Όροφος	10,8
1 ^{ος} Όροφος	4,9
Υπόγειο	1,3
Βάση	0

Πίνακας 6.3 Μέγιστες μετακινήσεις ορόφων σύμφωνα με το συνδυασμό 0,3RSX + RSY

Τέμνουσες και Ροπές

Όροφοι	RSX + 0,3RSY			
	VX (kN)	VY (kN)	MX (kN/m)	MY (kN/m)
5 ^{ος} Όροφος	145,47	82,79	0	0
4 ^{ος} Όροφος	274,51	147,41	248,38	436.41
3 ^{ος} Όροφος	368,21	193,40	684,35	1255.92
2 ^{ος} Όροφος	432,48	226,56	1247,70	2348.83
1 ^{ος} Όροφος	469,98	245,90	1898,77	3626.37
Υπόγειο	477,98	248,45	2606,39	5012.29

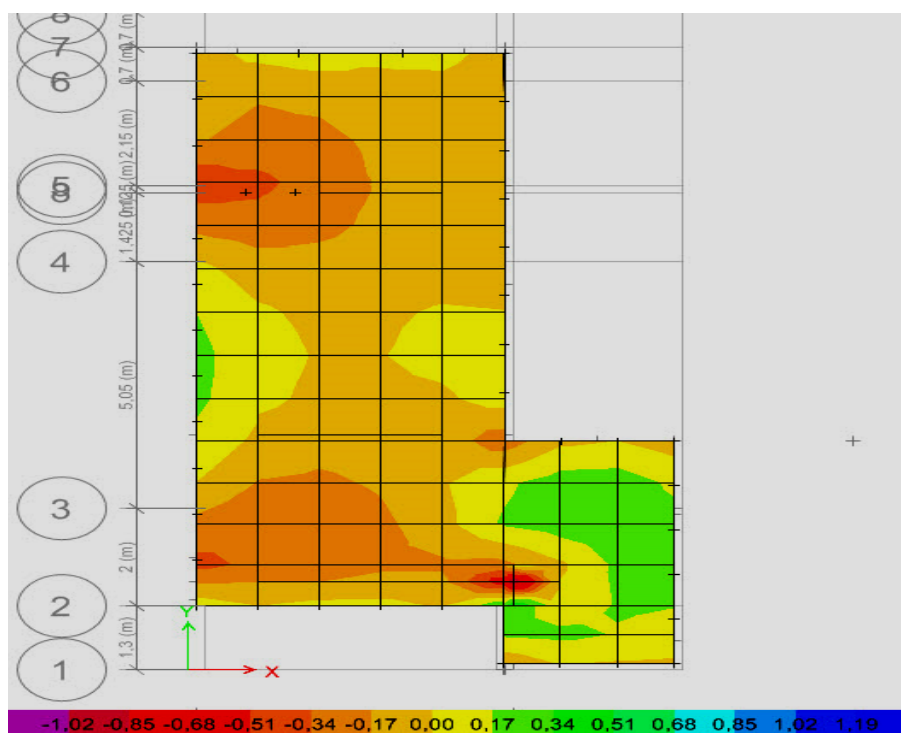
Πίνακας 6.4 Τέμνουσες και Ροπές σύμφωνα με το συνδυασμό RSX + 0,3RSY

Όροφοι	0,3RSX + RSY			
	VX (kN)	VY (kN)	MX (kN/m)	MY (kN/m)
5 ^{ος} Όροφος	82,60	140,60	0	0
4 ^{ος} Όροφος	147,80	260,88	421,79	248,05
3 ^{ος} Όροφος	194,77	346,90	1196,73	684,74
2 ^{ος} Όροφος	228,74	402,94	2221,08	1252,41
1 ^{ος} Όροφος	251,03	430,43	3405,16	1913,04
Υπόγειο	255,59	433,32	4669,80	2635,30

Πίνακας 6.5 Τέμνουσες και Ροπές σύμφωνα με το συνδυασμό 0,3RSX + RSY

Κοιτόστρωση

Στο Σχήμα 6.1.4 παρουσιάζονται οι τάσεις (MN) κοιτόστρωσης μέσω ισοϋψών.

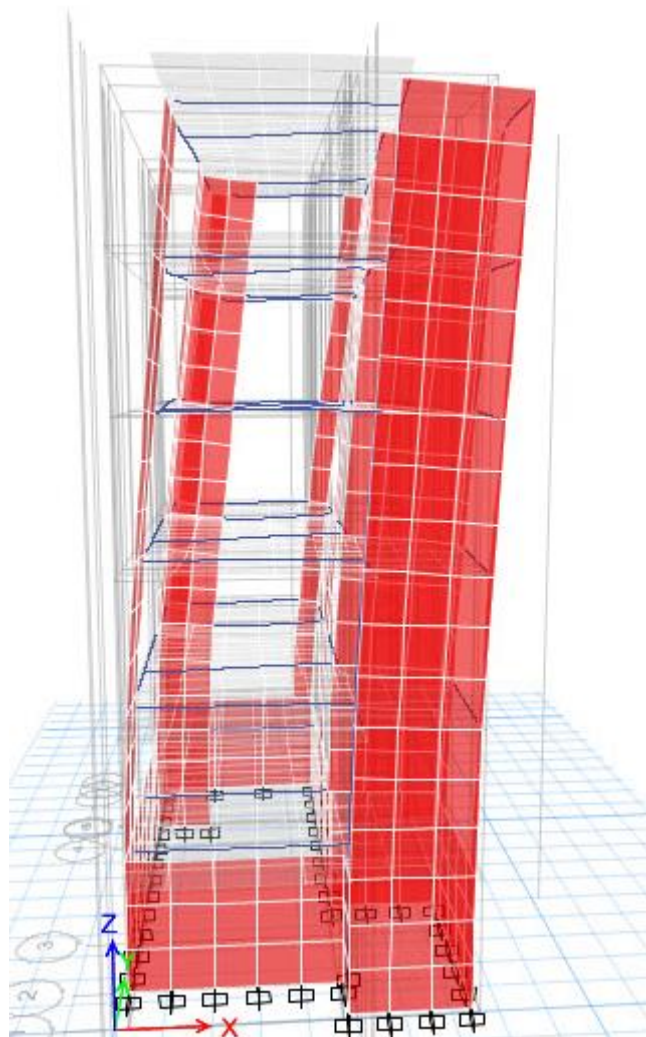


Σχήμα 6.1.4 Ισοϋψείς καμπύλες κοιτόστρωσης

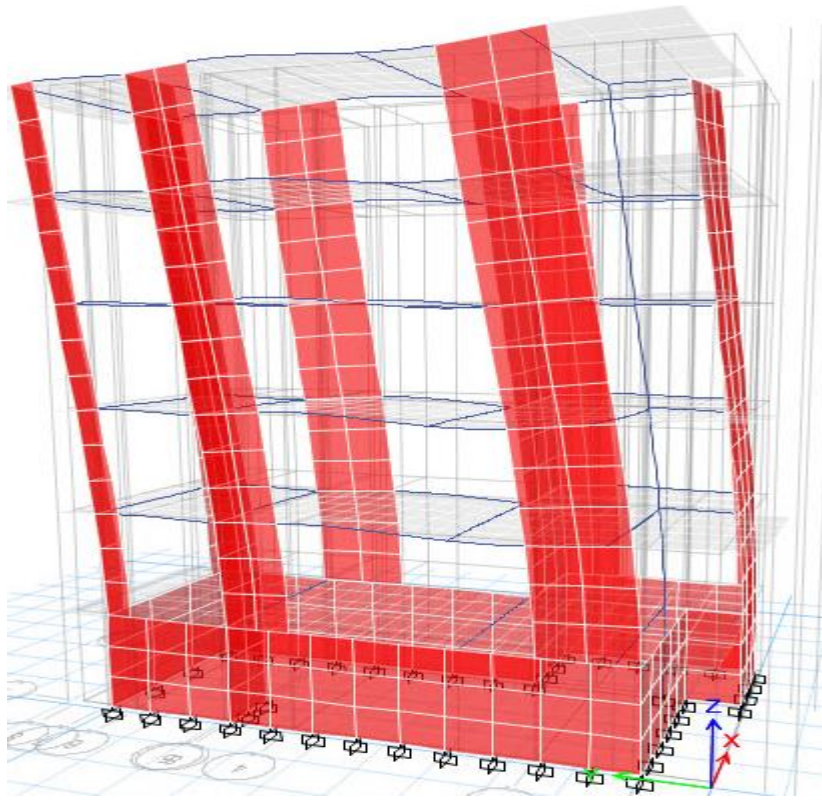
6.2 ΠΕΝΤΑΩΡΟΦΟ ΜΕ ΥΠΟΓΕΙΟ ΣΕ ΑΚΛΟΝΗΤΗ ΣΤΗΡΙΞΗ

Ιδιοπερίοδοι και ιδιοσυχνότητες

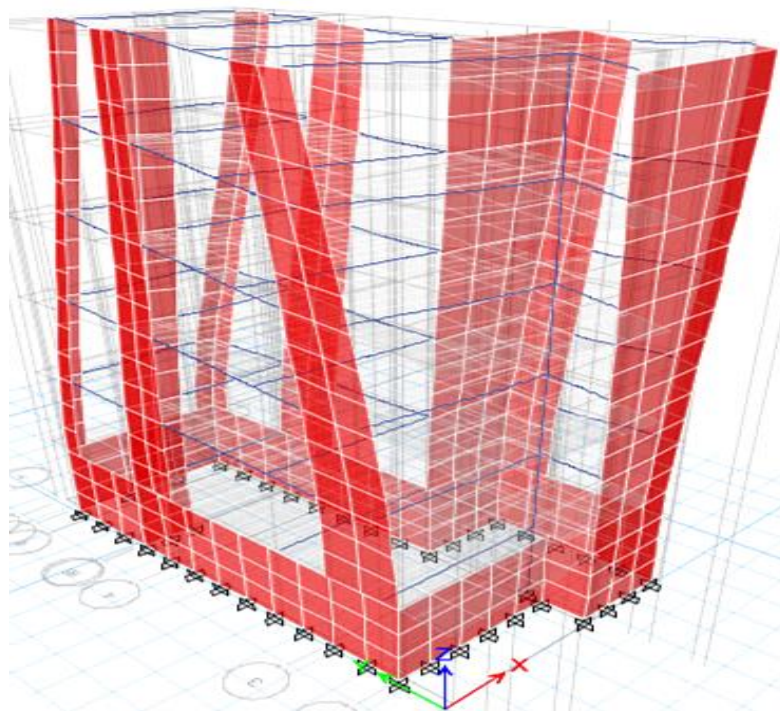
Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι ιδιοπερίοδοι και οι ιδιοσυχνότητες για τις τρεις πρώτες ιδιομορφές του πεντάωροφου με υπόγειο εδραζόμενο σε ελαστική στήριξη. Επίσης, παρατίθενται φωτογραφίες με το παραμορφωμένο κτίριο στις αντίστοιχες ιδιομορφές.



Σχήμα 6.2.1 1^η Ιδιομορφή $T_1 = 0,390s$



Σχήμα 6.2.2 2^η Ιδιομορφή $T_2= 0,342s$



Σχήμα 6.2.3 3^η Ιδιομορφή $T_3= 0,304s$

Παρακάτω παρατίθεται συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 6.6) με τις ιδιοπεριόδους και τις ιδιοσυχνότητες:

Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδοι (s)	Ιδιοσυχνότητες (rad/s)
1	0,390	16,097
2	0,342	18,353
3	0,304	20,678

Πίνακας 6.6 Ιδιοπερίοδοι και ιδιοσυχνότητες

Μέγιστες μετακινήσεις

Στον Πίνακα 6.7 και 6.8 παρουσιάζονται οι μέγιστες μετακινήσεις όλων των ορόφων του κτιρίου κατά την x και y διεύθυνση :

Όροφοι	RSX + 0,3RSY
	Μετακίνηση u (mm)
5 ^{ος} Όροφος	30,4
4 ^{ος} Όροφος	23,7
3 ^{ος} Όροφος	16,7
2 ^{ος} Όροφος	9,8
1 ^{ος} Όροφος	3,9
Υπόγειο	0,3
Βάση	0

Πίνακας 6.7 Μέγιστες μετακινήσεις ορόφων σύμφωνα με το συνδυασμό RSX + 0,3RSY

Όροφοι	0,3RSX + RSY
	Μετακίνηση u (mm)
5^{ος} Όροφος	25,6
4^{ος} Όροφος	19,6
3^{ος} Όροφος	13,7
2^{ος} Όροφος	7,9
1^{ος} Όροφος	3,1
Υπόγειο	0,2
Βάση	0

Πίνακας 6.8 Μέγιστες μετακινήσεις ορόφων σύμφωνα με το συνδυασμό $0,3RSX + RSY$

Τέμνουσες και Ροπές

Στον Πίνακα 6.9 και 6.10 παρουσιάζονται οι τέμνουσες και οι ροπές όλων των ορόφων του κτιρίου κατά την x και y διεύθυνση :

Όροφοι	RSX + 0,3RSY			
	VX (kN)	VY (kN)	MX (kN/m)	MY (kN/m)
5^{ος} Όροφος	127,03	101,56	0	0
4^{ος} Όροφος	234,84	185,13	304,67	381,09
3^{ος} Όροφος	310,26	243,22	854,99	1080,21
2^{ος} Όροφος	357,26	281,58	1569,89	1997,96
1^{ος} Όροφος	379,87	281,03	2390,31	3050,77
Υπόγειο	381,79	299,57	3263,43	4168,61

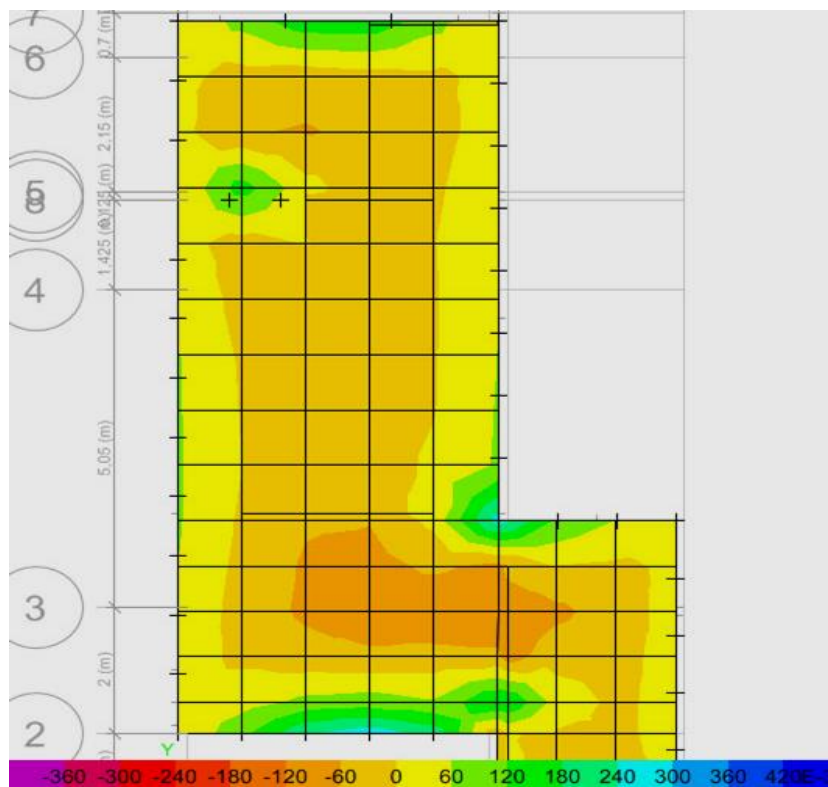
Πίνακας 6.9 Τέμνουσες και Ροπές σύμφωνα με το συνδυασμό $RSX + 0,3RSY$

Όροφοι	0,3RSX + RSY			
	VX (kN)	VY (kN)	MX (kN/m)	MY (kN/m)
5 ^{ος} Όροφος	101,59	120,73	0	0
4 ^{ος} Όροφος	186,48	218,69	362,19	304,76
3 ^{ος} Όροφος	244,53	289,23	1007,06	860,13
2 ^{ος} Όροφος	282,51	333,49	1854,86	1581,89
1 ^{ος} Όροφος	301,12	354,74	2829,66	2408,65
Υπόγειο	302,49	355,53	3864,73	3289,85

Πίνακας 6.10 Τέμνουσες και Ροπές σύμφωνα με το συνδυασμό
0,3RSX + RSY

Κοιτόστρωση

Στο Σχήμα 6.2.4 παρουσιάζονται οι τάσεις (MN) κοιτόστρωσης μέσω ισοϋψών.

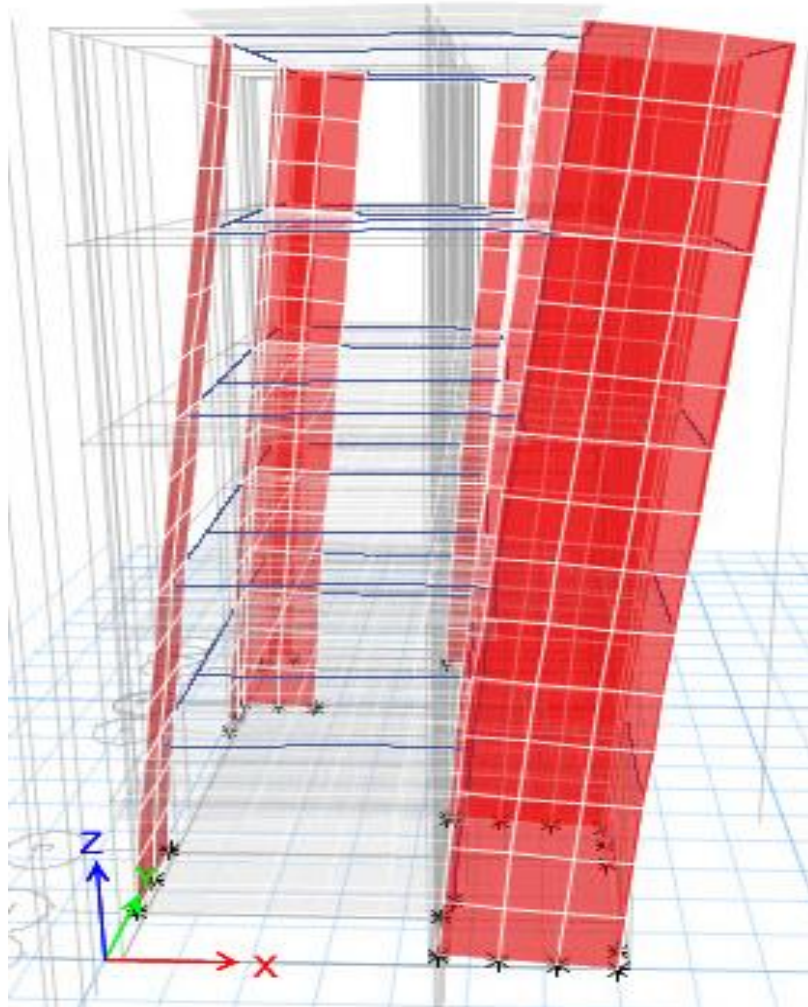


Σχήμα 6.2.4 Ισοϋψείς καμπύλες κοιτόστρωσης

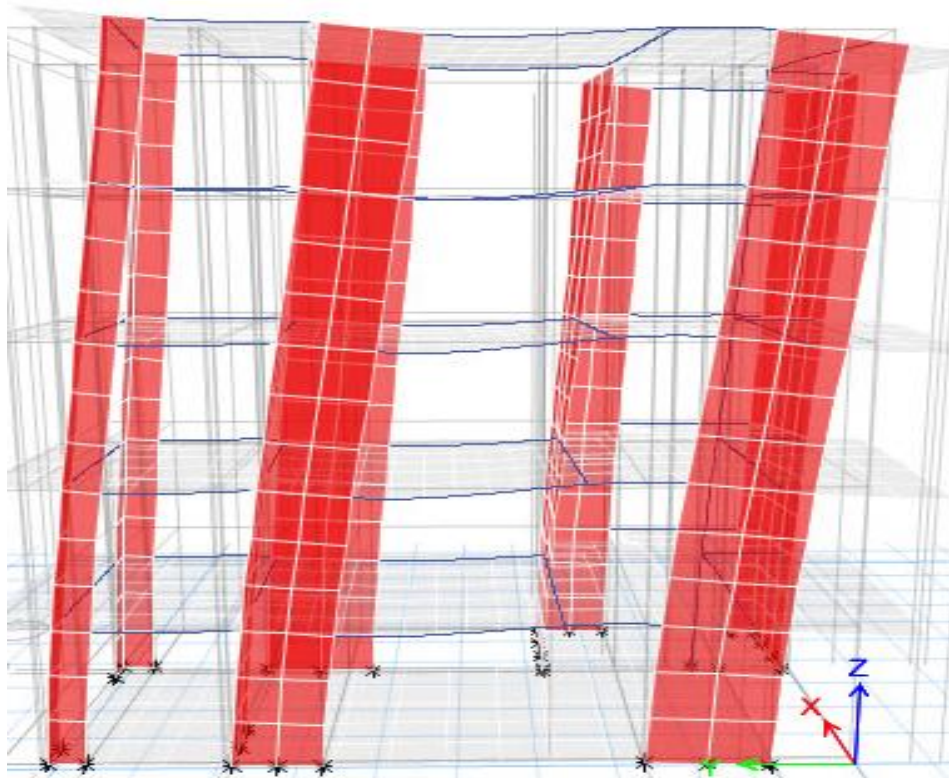
6.3 ΠΕΝΤΑΩΡΟΦΟ ΧΩΡΙΣ ΥΠΟΓΕΙΟ ΣΕ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΤΗΡΙΞΗ

Ιδιοπερίοδοι και ιδιοσυχνότητες

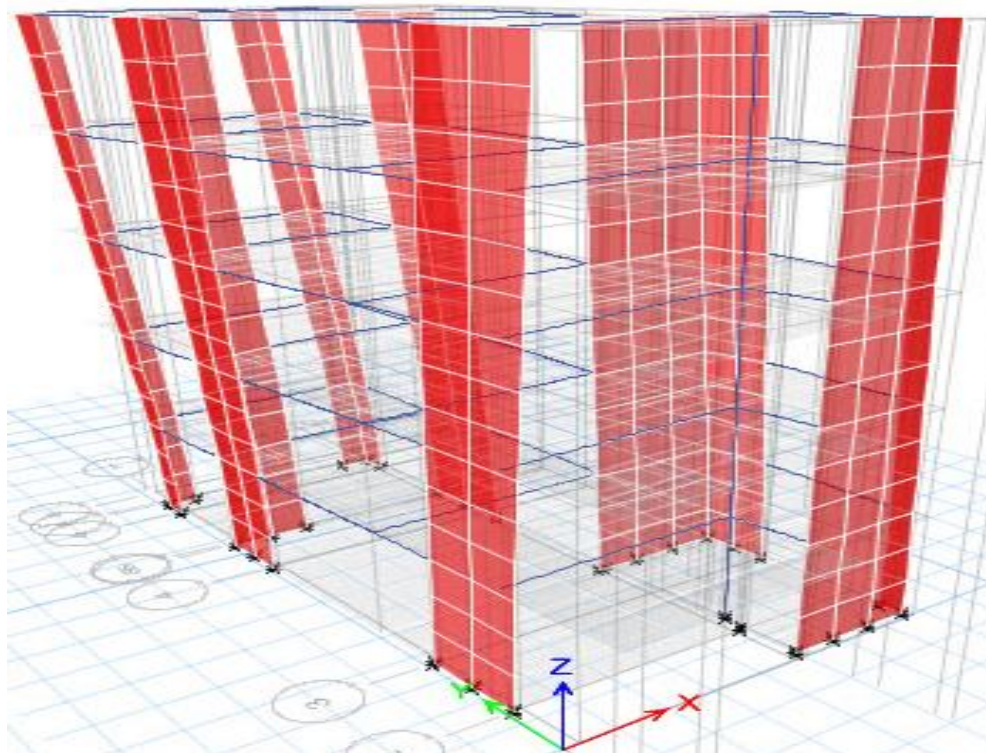
Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι ιδιοπερίοδοι και οι ιδιοσυχνότητες για τις τρεις πρώτες ιδιομορφές του πεντάωροφου με υπόγειο εδραζόμενο σε ελαστική στήριξη. Επίσης, παρατίθενται φωτογραφίες με το παραμορφωμένο κτίριο στις αντίστοιχες ιδιομορφές.



Σχήμα 6.3.1 1^η Ιδιομορφή $T_1 = 0,501s$



Σχήμα 6.3.2 2^η Ιδιομορφή $T_2= 0,398s$



Σχήμα 6.3.3 3^η Ιδιομορφή $T_3= 0,334s$

Παρακάτω παρατίθεται συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 6.11) με τις ιδιοπεριόδους και τις ιδιοσυχνότητες:

Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδοι (s)	Ιδιοσυχνότητες (rad/s)
1	0,501	12,535
2	0,398	15,802
3	0,331	18,812

Πίνακας 6.11 Ιδιοπερίοδοι και ιδιοσυχνότητες

Μέγιστες μετακινήσεις

Στον Πίνακα 6.12 και 6.13 παρουσιάζονται οι μέγιστες μετακινήσεις όλων των ορόφων του κτιρίου κατά την x και y διεύθυνση :

Όροφοι	RSX + 0,3RSY
	Μετακίνηση u (mm)
5 ^{ος} Όροφος	51,7
4 ^{ος} Όροφος	40,5
3 ^{ος} Όροφος	29,3
2 ^{ος} Όροφος	18,3
1 ^{ος} Όροφος	8,3
Βάση	0

Πίνακας 6.12 Μέγιστες μετακινήσεις ορόφων σύμφωνα με το συνδυασμό RSX + 0,3RSY

Όροφοι	0,3RSX + RSY
	Μετακίνηση u (mm)
5 ^{ος} Όροφος	37,5
4 ^{ος} Όροφος	29,4
3 ^{ος} Όροφος	21,0
2 ^{ος} Όροφος	12,7
1 ^{ος} Όροφος	5,3
Βάση	0

Πίνακας 6.13 Μέγιστες μετακινήσεις ορόφων σύμφωνα με το συνδυασμό 0,3RSX + RSY

Τέμνουσες και Ροπές

Στον Πίνακα 6.14 και 6.15 παρουσιάζονται οι τέμνουσες και οι ροπές όλων των ορόφων του κτιρίου κατά την x και y διεύθυνση :

Όροφοι	RSX + 0,3RSY			
	VX (kN)	VY (kN)	MX (kN/m)	MY (kN/m)
5 ^{ος} Όροφος	143,67	63,27	0	0
4 ^{ος} Όροφος	272,12	107,18	189,82	431,03
3 ^{ος} Όροφος	364,47	136,52	505,34	1243,44
2 ^{ος} Όροφος	423,70	161,91	893,97	2327,59
1 ^{ος} Όροφος	452,09	176,65	1342,29	3585,25

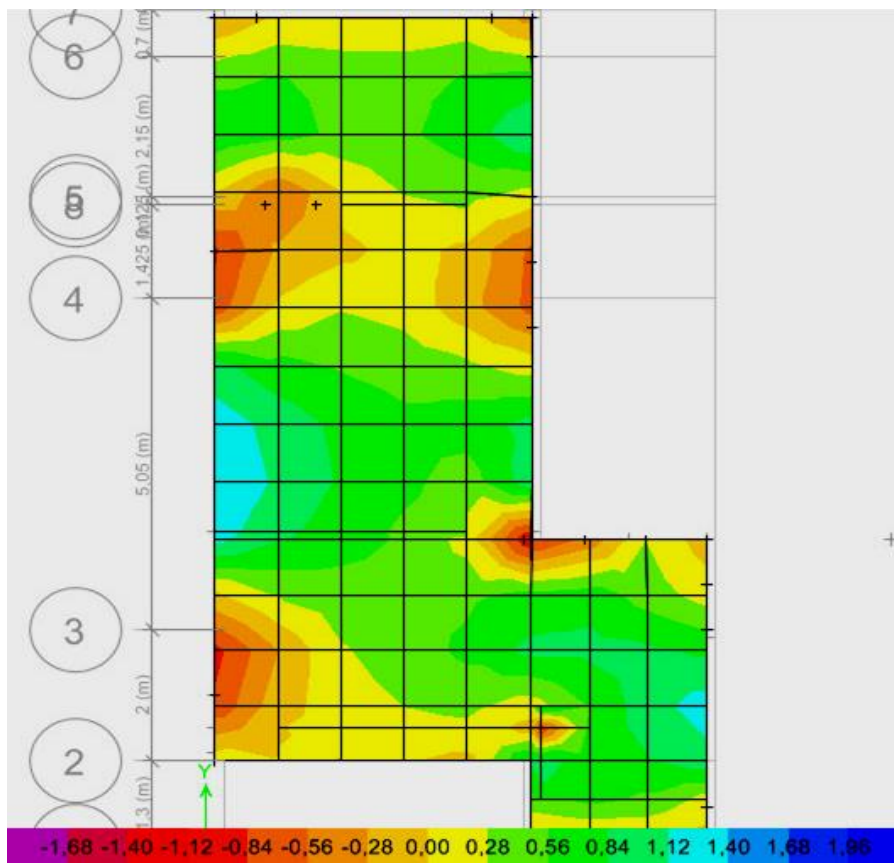
Πίνακας 6.14 Τέμνουσες και Ροπές σύμφωνα με το συνδυασμό RSX + 0,3RSY

Όροφοι	0,3RSX + RSY			
	VX (kN)	VY (kN)	MX (kN/m)	MY (kN/m)
5 ^{ος} Όροφος	64,98	133,17	0	0
4 ^{ος} Όροφος	112,35	244,78	399,51	194,94
3 ^{ος} Όροφος	144,42	325,25	1125,06	526,85
2 ^{ος} Όροφος	171,43	376,10	2083,70	942,43
1 ^{ος} Όροφος	187,60	400,10	3189,41	1423,87

Πίνακας 6.15 Τέμνουσες και Ροπές σύμφωνα με το συνδυασμό
0,3RSX + RSY

Κοιτόστρωση

Στο Σχήμα 6.3.4 παρουσιάζονται οι τάσεις (MN) κοιτόστρωσης μέσω ισοϋψών.

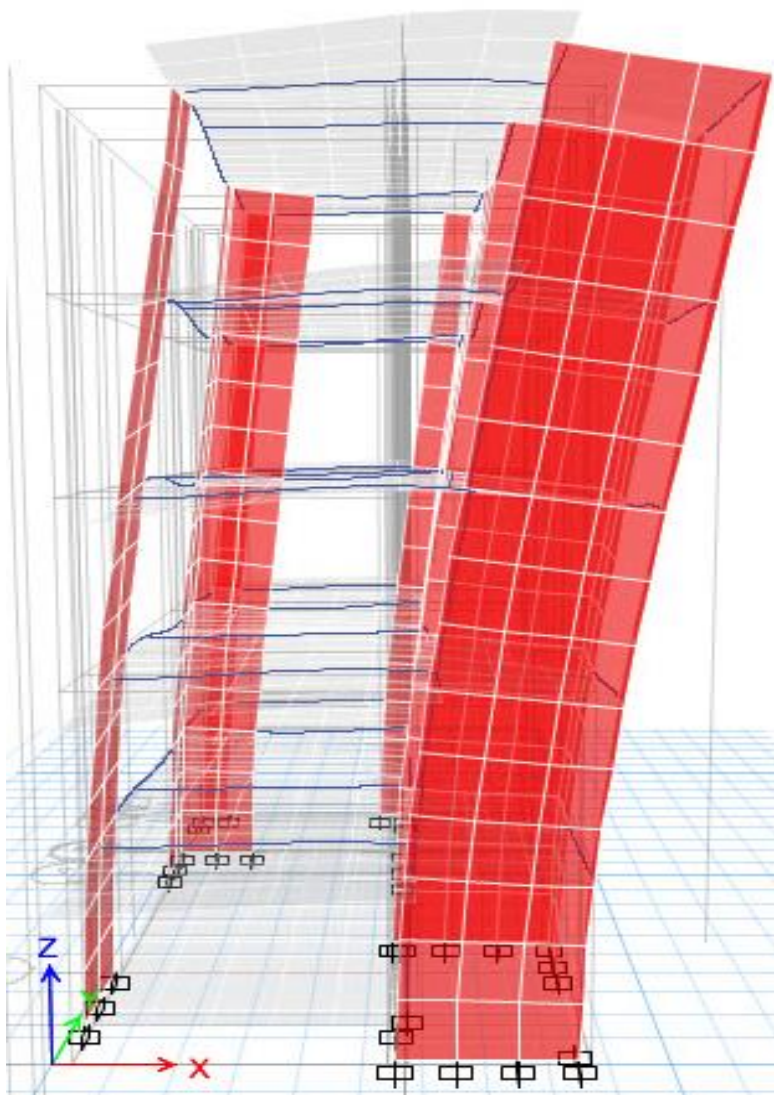


Σχήμα 6.3.4 Ισοϋψείς καμπύλες κοιτόστρωσης

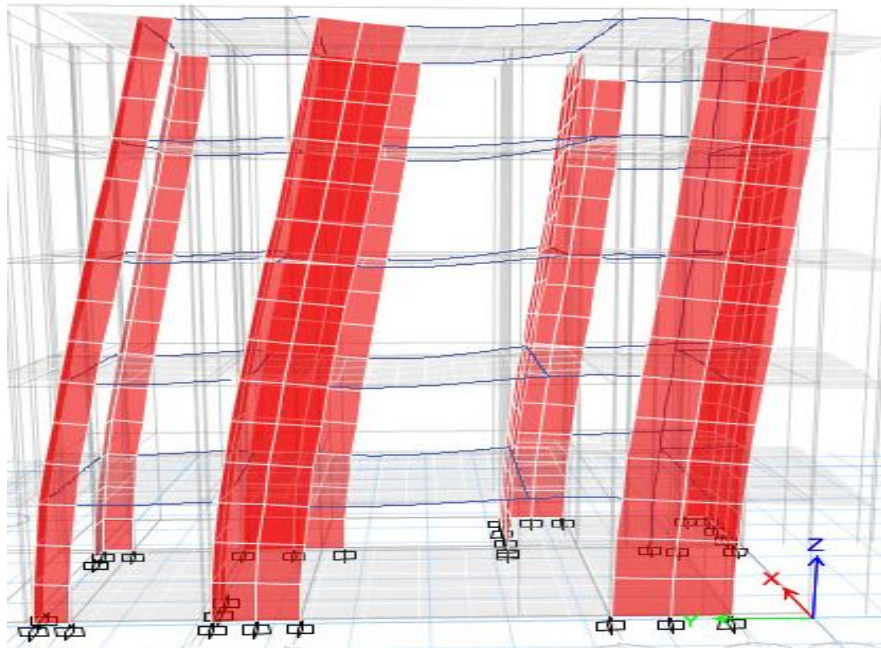
6.4 ΠΕΝΤΑΟΡΟΦΟ ΧΩΡΙΣ ΥΠΟΓΕΙΟ ΣΕ ΑΚΛΟΝΗΤΗ ΣΤΗΡΙΞΗ

Ιδιοπερίοδοι και ιδιοσυχνότητες

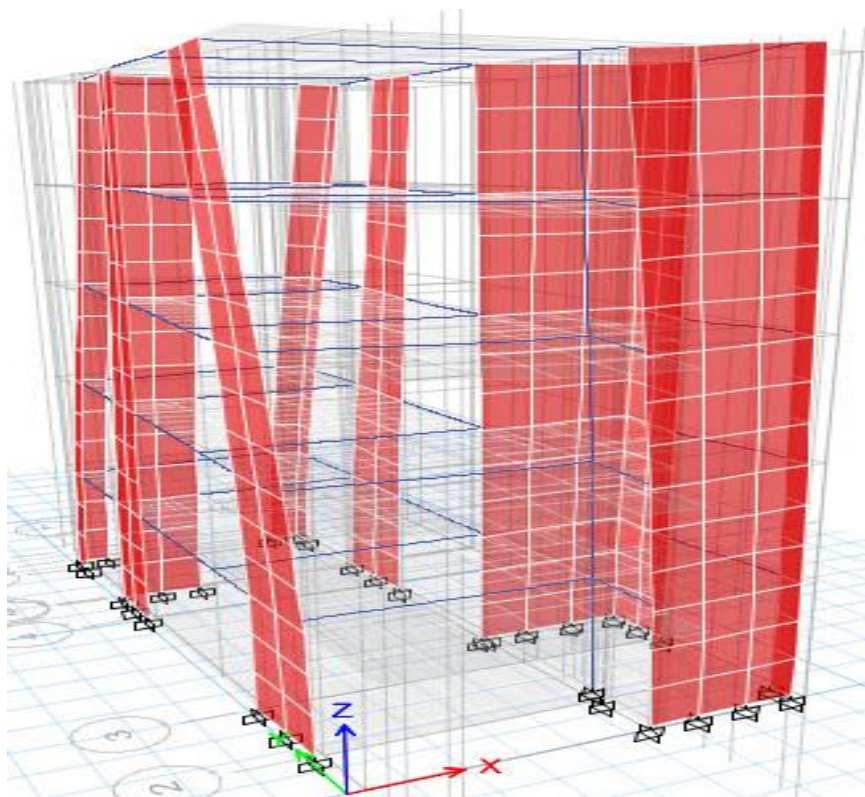
Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι ιδιοπερίοδοι και οι ιδιοσυχνότητες για τις τρεις πρώτες ιδιομορφές του πενταώροφου με υπόγειο εδραζόμενο σε ελαστική στήριξη. Επίσης, παρατίθενται φωτογραφίες με το παραμορφωμένο κτίριο στις αντίστοιχες ιδιομορφές.



Σχήμα 6.4.1 1^η Ιδιομορφή $T_1 = 0,353s$



Σχήμα 6.4.2 2^η Ιδιομορφή $T_2= 0,316s$



Σχήμα 6.4.3 3^η Ιδιομορφή $T_3= 0,283s$

Παρακάτω παρατίθεται συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 6.16) με τις ιδιοπεριόδους και τις ιδιοσυχνότητες:

Ιδιόμορφη	Ιδιοπερίοδοι (s)	Ιδιοσυχνότητες (rad/s)
1	0,353	17,775
2	0,316	19,880
3	0,283	22,048

Πίνακας 6.16 Ιδιοπερίοδοι και ιδιοσυχνότητες

Μέγιστες μετακινήσεις

Στον Πίνακα 6.17 και 6.18 παρουσιάζονται οι μέγιστες μετακινήσεις όλων των ορόφων του κτιρίου κατά την x και y διεύθυνση :

Όροφοι	RSX + 0,3RSY
	Μετακίνηση u (mm)
5 ^{ος} Όροφος	23,9
4 ^{ος} Όροφος	18,4
3 ^{ος} Όροφος	12,5
2 ^{ος} Όροφος	6,7
1 ^{ος} Όροφος	2,1
Βάση	0

Πίνακας 6.17 Μέγιστες μετακινήσεις ορόφων σύμφωνα με το συνδυασμό RSX + 0,3RSY

Όροφοι	0,3RSX + RSY
	Μετακίνηση u (mm)
5^{ος} Όροφος	23,5
4^{ος} Όροφος	18,1
3^{ος} Όροφος	12,3
2^{ος} Όροφος	6,7
1^{ος} Όροφος	2,1
Βάση	0

Πίνακας 6.18 Μέγιστες μετακινήσεις ορόφων σύμφωνα με το συνδυασμό $0,3RSX + RSY$

Τέμνουσες και Ροπές

Στον Πίνακα 6.19 και 6.20 παρουσιάζονται οι τέμνουσες και οι ροπές όλων των ορόφων του κτιρίου κατά την x και y διεύθυνση :

Όροφοι	RSX + 0,3RSY			
	VX (kN)	VY (kN)	MX (kN/m)	MY (kN/m)
5^{ος} Όροφος	116,18	109,12	0	0
4^{ος} Όροφος	209,24	203,26	327,37	348,53
3^{ος} Όροφος	272,13	268,30	932,48	969,28
2^{ος} Όροφος	310,31	306,41	1727,77	1768,77
1^{ος} Όροφος	326,30	320,63	2633,16	2674,97

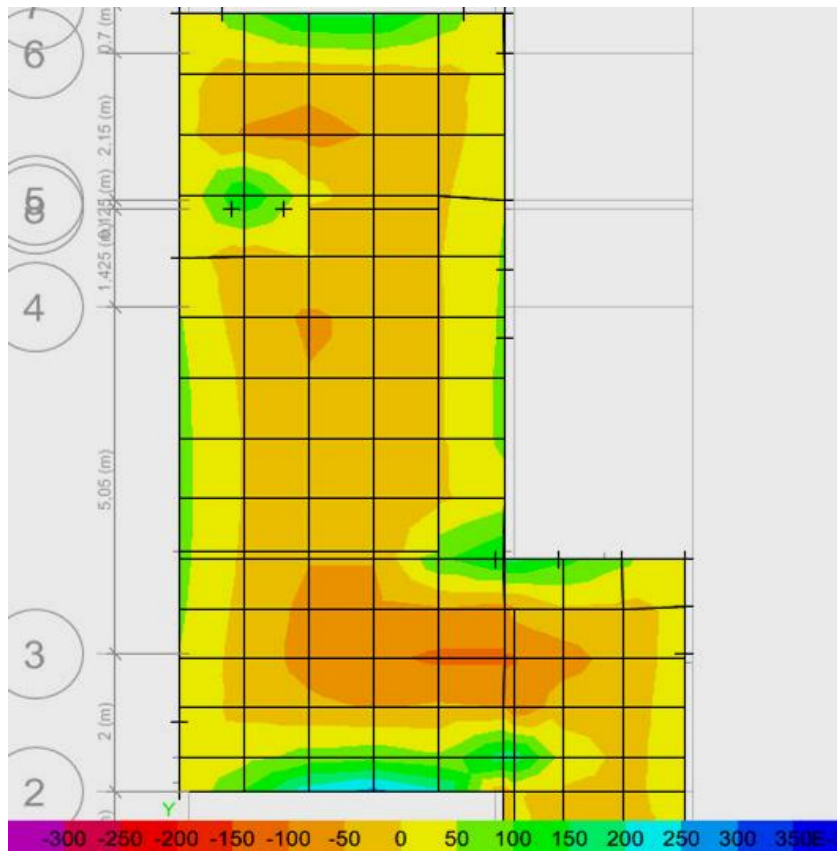
Πίνακας 6.19 Τέμνουσες και Ροπές σύμφωνα με το συνδυασμό $RSX + 0,3RSY$

Όροφοι	0,3RSX + RSY			
	VX (kN)	VY (kN)	MX (kN/m)	MY (kN/m)
5 ^{ος} Όροφος	112,0	117,99	0	0
4 ^{ος} Όροφος	207,72	207,94	353,96	356,0
3 ^{ος} Όροφος	271,34	270,82	966,11	954,21
2 ^{ος} Όροφος	307,10	313,04	1751,81	1760,30
1 ^{ος} Όροφος	320,10	332,0	2651,76	2670,81

Πίνακας 6.20 Τέμνουσες και Ροπές σύμφωνα με το συνδυασμό
0,3RSX + RSY

Κοιτόστρωση

Στο Σχήμα 6.3.4 παρουσιάζονται οι τάσεις (MN) κοιτόστρωσης μέσω ισοϋψών.



Σχήμα 6.4.4 Ισοϋψείς καμπύλες κοιτόστρωσης

Συγκριτικοί πίνακες**Κτίριο 1:** Πενταώροφο με υπόγειο εδραζόμενο σε ελαστική στήριξη**Κτίριο 2:** Πενταώροφο με υπόγειο εδραζόμενο σε ακλόνητη στήριξη**Κτίριο 3:** Πενταώροφο χωρίς υπόγειο εδραζόμενο σε ελαστική στήριξη**Κτίριο 4:** Πενταώροφο χωρίς υπόγειο εδραζόμενο σε ακλόνητη στήριξη

Όροφοι	RSX + 0,3RSY				
	Κτίριο 1	Κτίριο 2	Κτίριο 3	Κτίριο 4	
	Μετακίνηση u (mm)	Μετακίνηση u (mm)	Μετακίνηση u (mm)	Μετακίνηση u (mm)	
5^{ος} Όροφος	43,5	30,4	51,7	23,9	
4^{ος} Όροφος	34,8	23,7	40,5	18,4	
3^{ος} Όροφος	25,8	16,7	29,3	12,5	
2^{ος} Όροφος	16,7	9,8	18,3	6,7	
1^{ος} Όροφος	8,4	3,9	8,3	2,1	
Υπόγειο	0	0	-	-	
Βάση	0	0	0	0	
Σύγκριση (%)					
	1-2	3-4	1-3	4-1	4-2
5^{ος} Όροφος	30,11	53,77	15,86	45,06	21,38
4^{ος} Όροφος	31,89	54,57	14,07	47,13	22,36
3^{ος} Όροφος	35,27	57,34	11,95	51,55	25,14
2^{ος} Όροφος	41,32	63,39	8,74	59,88	31,63
1^{ος} Όροφος	53,57	74,70	1,19	75,00	46,15
Υπόγειο	0	-	-	-	-
Βάση	0	0	0	0	0

Πίνακας 6.21 Συγκριτικός πίνακας μετακινήσεων κτιρίων 1,2,3 σε σχέση με το κτίριο 4 για συνδυασμό RSX +0,3RSY

Όροφοι	0,3RSX + RSY				
	Κτίριο 1	Κτίριο 2	Κτίριο 3	Κτίριο 4	
	Μετακίνηση u (mm)	Μετακίνηση u (mm)	Μετακίνηση u (mm)	Μετακίνηση u (mm)	
5 ^{ος} Όροφος	31,5	25,6	37,5	23,5	
4 ^{ος} Όροφος	24,7	19,6	29,4	18,1	
3 ^{ος} Όροφος	17,6	13,7	21,0	12,3	
2 ^{ος} Όροφος	10,8	7,9	12,7	6,7	
1 ^{ος} Όροφος	4,9	3,1	5,3	2,1	
Υπόγειο	0	0	-	-	
Βάση	0	0	0	0	
Σύγκριση (%)					
	1-2	3-4	1-3	4-1	4-2
5 ^{ος} Όροφος	18,73	37,33	16,00	25,40	8,20
4 ^{ος} Όροφος	20,65	38,44	15,99	26,72	7,65
3 ^{ος} Όροφος	22,16	41,43	16,19	30,11	10,22
2 ^{ος} Όροφος	26,85	47,24	14,96	37,96	15,19
1 ^{ος} Όροφος	36,73	60,38	7,54	57,14	32,26
Υπόγειο	0	-	-	-	-
Βάση	0	0	0	0	0

Πίνακας 6.22 Συγκριτικός πίνακας μετακινήσεων κτιρίων 1,2,3 σε σχέση με το κτίριο 4 για συνδυασμό 0,3RSX + RSY

Ιδιομορφές	Κτίριο 1		Κτίριο 2		Κτίριο 3		Κτίριο 4	
	T₁ (s)	ω₁ (rad/s)	T₂ (s)	ω₂ (rad/s)	T₃ (s)	ω₃ (rad/s)	T₄ (s)	ω₄ (rad/s)
1	0,494	12,717	0,390	16,097	0,501	12,535	0,353	17,775
2	0,374	16,789	0,342	18,353	0,398	15,802	0,316	19,880
3	0,310	20,238	0,304	20,678	0,334	18,812	0,283	22,048
Σύγκριση (%)	Ιδιοπερίοδοι							
	1-2	3-4	1-3	4-1	4-2			
1	21,05	29,54	1,40	28,54	9,48			
2	8,56	20,60	6,03	15,51	7,60			
3	1,93	15,27	7,18	8,71	6,91			

Πίνακας 6.23 Συγκριτικός πίνακας ιδιοπεριόδων

7° ΚΕΦΑΛΑΙΟ Συμπεράσματα

Παρακάτω παρατίθενται συμπεράσματα τα οποία εξήχθησαν από την παραπάνω ανάλυση και είναι τα εξής:

- Από την σύγκριση που πραγματοποιήθηκε αναφορικά με τις μέγιστες μετακινήσεις των ορόφων όλων των κτιρίων που μελετήθηκαν διαπιστώθηκε απόκλιση. Ο 5^{ος} όροφος θα χρησιμοποιηθεί για *όροφος αναφοράς* για τις συγκρίσεις των μετακινήσεων. Συγκεκριμένα, έγιναν οι παρακάτω συγκρίσεις μετακινήσεων:
 - α) «Κτίριο 1 – Κτίριο 2» για να διαπιστωθεί ποιο κτίριο με υπόγειο εμφανίζει μεγαλύτερη μετακίνηση, αυτό που είναι εδραζόμενο σε ακλόνητη ή ελαστική στήριξη. Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι στον 5^ο όροφο του Κτιρίου 1 η μετακίνηση είναι 43,5mm εν αντιθέσι με την μετακίνηση του 5^{ου} ορόφου του Κτιρίου 2 η οποία είναι 31,5mm, συνεπώς παρουσιάζεται μια απόκλιση της τάξεως του 30,11%. Αυτό οφείλεται στο ότι στην ακλόνητη στήριξη δεσμεύονται οι τρεις βαθμοί ελευθερίας, σε αντίθεση με την ελαστική στήριξη στην οποία έχουν δεσμευτεί οι δυο (δχ και dy). Το ίδιο συμβαίνει στα Κτίρια 3 και 4 τα οποία δεν έχουν υπόγειο. Συγκεκριμένα, η μετακίνηση του 5^{ου} ορόφου του Κτιρίου 3 είναι 30,4 mm, εν αντιθέσι με την μετακίνηση του 5^{ου} ορόφου του Κτιρίου 4 που είναι 25,6mm, οπότε παρουσιάζεται μια απόκλιση της τάξεως του 53,77%.
 - β) «Κτίριο 1 – Κτίριο 3» για να διαπιστωθεί ποιο κτίριο παρουσιάζει μεγαλύτερη μετακίνηση σε ελαστική στήριξη, αυτό που έχει υπόγειο ή αυτό που δεν έχει. Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρούμε ότι η μετακίνηση του 5^{ου} ορόφου του Κτιρίου 1 είναι 43,5mm, σε αντιθέσι με την μετακίνηση του κτιρίου 3 η οποία είναι 51,7mm, συνεπώς παρουσιάζεται απόκλιση της τάξεως του 15,86%.
 - γ) «Κτίριο 2 – Κτίριο 4» για να διαπιστωθεί ποιο κτίριο παρουσιάζει μεγαλύτερη μετακίνηση σε ακλόνητη στήριξη, αυτό που έχει υπόγειο ή αυτό που δεν έχει. Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρούμε ότι η μετακίνηση του 5^{ου} ορόφου του Κτιρίου 2 είναι 30,4mm, σε αντιθέσι με

την μετακίνηση του κτιρίου 4 η οποία είναι 23,9mm, συνεπώς παρουσιάζεται απόκλιση της τάξεως του 21,38%.

- Από την σύγκριση που πραγματοποιήθηκε αναφορικά με τις ιδιοπεριόδους των ορόφων όλων των κτιρίων που μελετήθηκαν διαπιστώθηκε απόκλιση. Η 1^η ιδιομορφή θα χρησιμοποιηθεί για *ιδιομορφή αναφοράς* για τις συγκρίσεις των ιδιοπεριόδων. Συγκεκριμένα, έγιναν οι παρακάτω συγκρίσεις ιδιοπεριόδων:
 - α) «Κτίριο 1 – Κτίριο 2» για να διαπιστωθεί ποιο κτίριο με υπόγειο εμφανίζει μεγαλύτερη ιδιοπερίοδο, αυτό που είναι εδραζόμενο σε ακλόνητη ή ελαστική στήριξη. Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι η στην 1^η ιδιομορφή του Κτιρίου 1 η ιδιοπερίοδος είναι 0,494s εν αντιθέσι με την ιδιοπερίοδο του Κτιρίου 2 η οποία είναι 0,390s, συνεπώς παρουσιάζεται μια απόκλιση της τάξεως του 21,05%. Το ίδιο συμβαίνει στα Κτίρια 3 και 4 τα οποία δεν έχουν υπόγειο. Συγκεκριμένα, η ιδιοπερίοδος της 1^{ης} ιδιομορφής του Κτιρίου 3 είναι 0,501s, εν αντιθέσι με την μετακίνηση της 1^{ης} ιδιομορφής του Κτιρίου 4 που είναι 0,353s, οπότε παρουσιάζεται μια απόκλιση της τάξεως του 29,54%.
 - β) «Κτίριο 1 – Κτίριο 3» για να διαπιστωθεί ποιο κτίριο παρουσιάζει μεγαλύτερη ιδιοπερίοδο σε ελαστική στήριξη, αυτό που έχει υπόγειο ή αυτό που δεν έχει. Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρούμε ότι η ιδιοπερίοδος της 1^{ης} ιδιομορφής του Κτιρίου 1 είναι 0,494s, σε αντιθέσι με την ιδιοπερίοδο του Κτιρίου 3 η οποία είναι 0,501s, συνεπώς παρουσιάζεται απόκλιση της τάξεως του 1,40%.
 - γ) «Κτίριο 2 – Κτίριο 4» για να διαπιστωθεί ποιο κτίριο παρουσιάζει μεγαλύτερη ιδιοπερίοδο σε ακλόνητη στήριξη, αυτό που έχει υπόγειο ή αυτό που δεν έχει. Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρούμε ότι η ιδιοπερίοδος της 1^{ης} ιδιομορφής του 5^{ου} ορόφου του Κτιρίου 2 είναι 0,390s, σε αντιθέσι με την ιδιοπερίοδο του Κτιρίου 4 η οποία είναι 0,353s, συνεπώς παρουσιάζεται απόκλιση της τάξεως του 9,48%.
 - Τέλος, αναφορικά με την κοιτόστρωση παρατηρούμε ότι οι ισοϋψείς στο κτίριο με το υπόγειο είναι πιο ομαλές, δηλαδή οι τάσεις κατανέμονται ομοιόμορφα στην κοιτόστρωση, σε αντίθεση με τις ισοϋψείς στο κτίριο χωρίς υπόγειο οι οποίες δεν είναι τόσο ομαλές. Επίσης, στην κοιτόστρωση του κτιρίου χωρίς υπόγειο παρατηρούμε αυξημένες τάσεις στην θέση των τοιχίων και του υποστυλώματος, πράγμα το οποίο είναι λογικό διότι σε αυτά μεταφέρονται τα φόρτια από τις πλάκες τα οποία με την σειρά τους μεταφέρονται στην θεμελίωση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] **Ι.Θ ΚΑΤΣΙΚΑΔΕΛΗΣ** “Δυναμική των Κατασκευών” Τομ. Ι Αθήνα: Συμμετρία 2007
- [2] **Ι.Θ ΚΑΤΣΙΚΑΔΕΛΗΣ** “Δυναμική των Κατασκευών” Τομ. ΙΙ Αθήνα: Συμμετρία 2007
- [3] **Χ.Γ.ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗΣ** “Σχεδιασμός Συμπεριφορά Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα έναντι Σεισμού” Θεσσαλονίκη : σοφια
- [4] “Eurocode 8:” *Design of structures for earthquake resistance” English Version, CEN, EN 1998, December 2004*
- [5] “Eurocode 2:” *Design of concrete structures” English Version, CEN, EN 1992*
- [6] Προγραμμα ETABS:” <http://docs.csiamerica.com/manuals/etabs/User's Guide.pdf> “
- [7] Προγραμμα ETABS:”<http://extras.springer.com/2001/978-0-7923-7308-7/EtTutor.pdf> ”

