

Ανάλυση και διαστασιολόγηση
κτιριακών κατασκευών
οπλισμένου σκυροδέματος
βάση ΕΑΚ & ΕΚΩΣ με διαφορετικούς
δείκτες συμπεριφοράς μ

Κονταξάκης Μιχαήλ Α.Μ : 31319

Παπαδάκης Κων/νος Α.Μ : 31317

Επιβλέπων Καθηγητής : Δρ Βασίλης Γ.Μώκος - επιστημ.συνεργάτης

ΕΥΧΑΡΙΣΤΕΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο τμήμα των Πολιτικών Δομικών Έργων της Τεχνολογικής σχολής του ΤΕΙ Πειραιά από τους φοιτητές Κονταξάκη Μιχαήλ και Παπαδάκη Κωνσταντίνου υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Μώκου Γ. Βασίλειου.

Ευχαριστούμε θερμά τον Καθηγητά μας Μώκο Γ. Βασίλειο για την επιστημονική καθοδήγηση και την πολύτιμη έμπρακτη βοήθεια του, καθώς και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής για το χρόνο που διέθεσαν για την ανάγνωση του κειμένου της πτυχιακής.

Τέλος, ευχαριστούμε θερμά τις οικογένειες μας και τους φίλους μας που μας βοήθησαν στην περάτωση της εργασίας αυτής αλλά και για την ψυχολογική υποστήριξη που μας παρείχαν.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Προκειμένου να επιτυγχάνεται η βελτιστοποίηση στο σχεδιασμό των κατασκευών, δηλαδή μέγιστη φέρουσα ικανότητα με ελάχιστο δυνατό κόστος κατασκευής υπό δεδομένη στάθμη επιθυμητής συμπεριφοράς, οι σύγχρονοι αντισεισμικοί κανονισμοί (ΕΑΚ, EC8) επιτρέπουν και επιδιώκουν οι κατασκευές να σχεδιάζονται να λειτουργούν στην ανελαστική περιοχή, δηλαδή υπό το σεισμό σχεδιασμού να υπόκεινται βλάβες οι οποίες θα είναι ελεγχόμενες (πλάστιμες και όχι ψαθυρές) και ιεραρχημένες (αστοχίες στις δοκούς και όχι στα υποστυλώματα). Η ανελαστική συμπεριφορά των κατασκευών λαμβάνεται έμμεσα υπόψη με τη βοήθεια ενός συντελεστή q , ο οποίος ονομάζεται δείκτης συμπεριφοράς και εκφράζει, γενικά, την ικανότητα ενός δομικού συστήματος να απορροφά ενέργεια με πλαστική συμπεριφορά χωρίς να μειώνεται δραστικά η αντοχή του. Η τιμή του q ορίζεται για ολόκληρη την κατασκευή και εξαρτάται από τον τύπο του φέροντα οργανισμού. Ο συντελεστής q υπεισέρχεται στην ανάλυση στο φάσμα σχεδιασμού, όπου το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού διαιρείται με τον συντελεστή q . Στην παρούσα εργασία με την βοήθεια κατάλληλου λογισμικού επιλύονται συνήθεις κτιριακές κατασκευές ωπλισμένου σκυροδέματος με διαφορετικούς δείκτες συμπεριφοράς και εξετάζεται η επιρροή της διακύμανσης του συντελεστή q στα αποτελέσματα ανάλυσης και διαστασιολόγησης της κατασκευής.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται αναφορά στη σεισμικότητα της Ελλάδας, στη θέση που καταλαμβάνει στην Ευρωπαϊκή και παγκόσμια κατάταξη καθώς και στην έννοια σεισμός και τα χαρακτηριστικά του.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ2000) και ειδικά στις σημαντικότερες διατάξεις του που αποτελούν τον σκελετό για την στατικότητα και αντισεισμικότητα των κατασκευών της χώρας.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το λογισμικό FESPA, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση και διαστασιολόγηση των κατασκευών μας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η κυρίως μελέτη της πτυχιακής εργασίας. Χρησιμοποιούνται διάφορα υφιστάμενα κτίρια για την ανάλυση και διαστασιολόγηση με διαφορετικούς συντελεστές σεισμικής συμπεριφοράς

σε όλες τις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας και γίνονται συγκρίσεις με βάση τους πίνακες οπλισμών που προκύπτουν.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τις προαναφερθείσες αναλύσεις και διαστασιολογήσεις με τους δυο δείκτες σεισμικής συμπεριφοράς $q=1,5$ και $q=3,5$ και στις τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας I, II, III.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

1	Εισαγωγή	7
1.1	Γενικά	7
1.2	Σεισμός	7
1.2.1	Τι είναι σεισμός	7
1.2.2	Είδη σεισμών	8
1.2.3	Γεωγραφική κατανομή	9
1.2.4	Σεισμικά κύματα	9
1.2.5	Εστία σεισμού	10
1.2.6	Χαρακτηριστικά σεισμού	10
1.2.7	Μεγάλοι σεισμοί	10
1.2.8	Κατηγορίες σεισμών	11
1.2.9	Προ-σεισμοί και μετά-σεισμοί	11
1.3	Σεισμός και Ελλάδα	12
1.3.1	Ορισμοί	12
1.3.2	Οι προ του 1984 κατασκευές	13
1.3.3	Οι μετά του 1984 κατασκευές	15
1.3.4	Συμπεράσματα	15

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2	Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός	17
2.1	Αντικείμενο και πεδίο εφαρμογής	17
2.2	Περιεχόμενο	17
2.3	Θεμελιώδεις απαιτήσεις σεισμικής συμπεριφοράς	17
2.4	Αποφυγή κατάρρευσης	18
2.4.1	Κριτήρια	18
2.5	Περιορισμός βλαβών	18
2.5.1	Φέρων οργανισμός	18
2.5.2	Σεισμική επιτάχυνση εδάφους	18
2.5.3	Συντελεστής σπουδαιότητας κτιρίων α	19
2.5.4	Κατάταξη εδαφών	19
2.5.5	Καταλληλότητα υπεδάφους θεμελίωσης	20

2.6	Καταλληλότητα υπεδάφους θεμελίωσης	20
2.6.1	Γενικές απαιτήσεις	20
2.7	Θεμελιώσεις	20
2.7.1	Κριτήρια και κανόνες εφαρμογής	20
2.7.2	Αντοχή του Εδάφους	21
2.7.3	Επιφανειακές θεμελιώσεις	21
2.7.4	Ελαχιστοποίηση αβεβαιοτήτων	21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3	Περιγραφή του προγράμματος Fespa	22
3.1	Γενικά	22
3.2	Εφαρμοζόμενοι κανονισμοί	22
3.3	Εφαρμοζόμενοι έλεγχοι	23
3.3.1	Ικανοτικός έλεγχος κόμβων	23
3.3.2	Ικανοτικός σχεδιασμός έναντι διατμήσεως	23
3.3.3	Ικανοτικός σχεδιασμός θεμελιώσεως	23
3.3.4	Κοντά υποστυλώματα	24
3.3.5	Περίσφιξη υποστυλωμάτων	24
3.3.6	Οριακή κατάσταση αστοχίας από παραμορφώσεις (λυγισμός)	24
3.3.7	Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας από ρηγμάτωση	24
3.3.8	Επιφανειακές θεμελιώσεις	25
3.4	Περιβάλλον του προγράμματος	25
3.5	Βήματα για τη χρήση του προγράμματος	27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4	Σύγκριση κατασκευών με διαφορετικό δείκτη συμπεριφοράς α	30
4.1	Γενικά	30
4.2	Επεξεργασία και επίλυση του κτιρίου	30
4.2.1	Με σταθερές διατομές σε όλες τις εξεταζόμενες κατηγορίες	30

4.2.2	Με μεταβαλλόμενες διατομές ανά εξεταζόμενη κατηγορία	41
--------------	---	-----------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

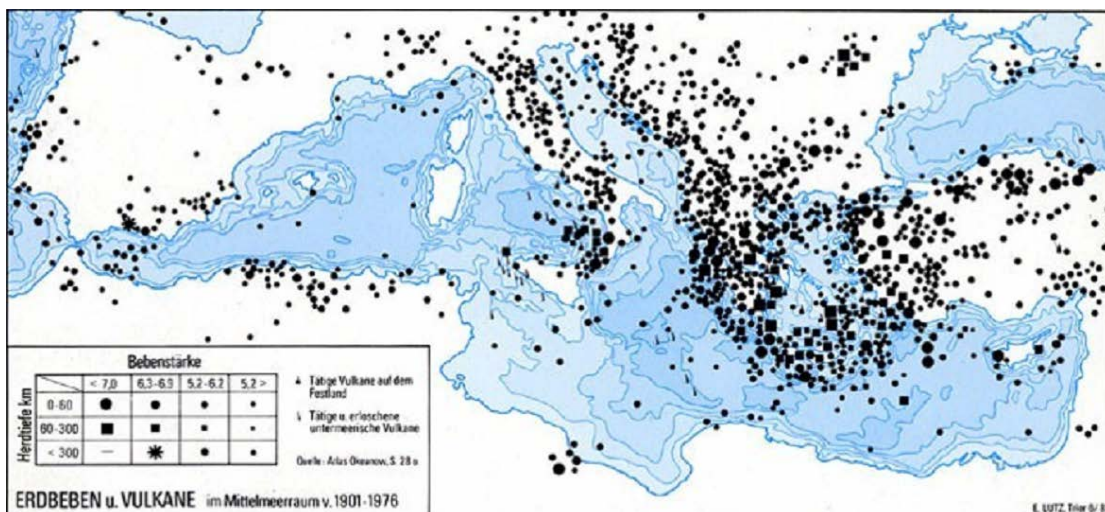
5	Συμπεράσματα	62
----------	---------------------	-----------

	Ένθετο	63
	Βιβλιογραφία	66

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Η χώρας μας καλύπτει μόλις το 0,02% του παγκόσμιου χάρτη, ωστόσο είναι στην δυσάρεστη θέση να απελευθερώνει το 2% της παγκόσμιας σεισμικής ενέργειας και το 50% της Ευρωπαϊκής. Η σεισμική αυτή ποσότητα την κατατάσσει στην 6η θέση παγκοσμίως πίσω από την Ιαπωνία, την Δημοκρατία Βανουάτου (Νέες Εβρίδες), το Περού, τα Νησιά του Σολομώντα και τη Χιλή, ενώ βρίσκεται στην πρώτη θέση ανάμεσα στις Ευρωπαϊκές χώρες. Η Ελλάδα έχει 157 ενεργά σεισμικά ρήγματα που έχουν δώσει 570 σεισμούς μεγαλύτερους των 6 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ, εκ των οποίων, οι 20 σημειώθηκαν στη Ζάκυνθο, οι 17 στην Κεφαλονιά και οι 16 στη Λευκάδα κατατάσσοντας το Ιόνιο ως την πιο σεισμογενή περιοχή της Ελλάδας. [2]



Εικόνα 1.1 Ενεργά σεισμικά ρήγματα στην Μεσόγειο

1.2 Σεισμός

1.2.1 Τι είναι σεισμός

Σεισμός είναι οι εδαφικές κινήσεις που παράγονται όταν διαταραχτεί η Μηχανική Ενέργεια των πετρωμάτων από εσωγήινα φυσικά αίτια οπότε η Δυναμική Ενέργεια τους μετατρέπεται σε Κινητική Ενέργεια. Πιο απλά, δυναμική ενέργεια είναι η ενέργεια που έχει ένα σώμα λόγω της κατάστασης στην οποία βρίσκεται ή λόγω της θέσης του.

1.2.2 Είδη σεισμών

Οι σεισμοί κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- τους κατακριμνησιγενείς,
- τους ηφαιστειογενείς και
- τους τεκτονικούς.

Κατακριμνησιγενείς Σεισμοί

Κατακριμνησιγενείς είναι οι σεισμοί που πραγματοποιούνται από την πτώση μεγάλων πετρωμάτων πάνω στη Γη λόγω βαρύτητας. Τα πετρώματα αυτά είναι συνήθως οροφές διαφόρων σπηλαίων που πέφτουν και τους προκαλούν. Οι σεισμοί αυτοί έχουν μικρό μέγεθος και διαρκούν τόσο χρονικό διάστημα όσο απαιτείται για την πτώση των πετρωμάτων. Επιπλέον είναι τοπικοί σεισμοί και καλύπτουν το 3% περίπου των σεισμών που πραγματοποιούνται πάνω στη Γη. [1]

Ηφαιστειογενείς Σεισμοί

Οι ηφαιστειογενείς σεισμοί προηγούνται των ηφαιστειακών εκρήξεων ή και τις συνοδεύουν. Η αιτία που τους προκαλεί πιστεύεται ότι είναι η απελευθέρωση των αερίων του μάγματος το οποίο τροφοδοτεί τα ηφαίστεια μέσα από τους πόρους ή τις ρωγμές που φτάνουν έως και την επιφάνεια της Γης. Οι ηφαιστειογενείς σεισμοί είναι και αυτοί κυρίως μικροί σεισμοί οι οποίοι έχουν την εστία τους σε μεγάλη απόσταση από το ηφαίστριο αλλά με την πάροδο του χρόνου πλησιάζει συνέχεια προς αυτό με όλο και μικρότερο βάθος, ενώ ταυτόχρονα γίνονται συχνότεροι. Το μέγεθός τους γενικά εξαρτάται από την αντίσταση που συναντάει το μάγμα κατά την ανύψωσή του προς την επιφάνεια της Γης. Οι ηφαιστειογενείς σεισμοί καλύπτουν το 7% περίπου του συνολικού αριθμού των σεισμών που πραγματοποιούνται στον πλανήτη μας. [1]

Τεκτονικοί σεισμοί

Τέλος έχουμε τους τεκτονικούς σεισμούς που είναι και η μεγαλύτερη κατηγορία των σεισμικών δονήσεων. Οι σεισμοί αυτοί έχουν συνήθως μεγάλο μέγεθος και η εστία τους μπορεί να βρίσκεται σε βάθος 700 χιλιομέτρων από την επιφάνεια της Γης. Είναι οι μεγάλοι σεισμοί που πραγματοποιούνται στον πλανήτη μας. Καλύπτουν περίπου το 90% των σεισμικών δονήσεων σε ολόκληρο τον κόσμο. [1]

Στην πατρίδα μας, η οποία έχει πολύ έντονο σεισμικό πρόβλημα, όλοι σχεδόν οι σεισμοί είναι τεκτονικοί εκτός από ελάχιστες εξαιρέσεις όπου οι σεισμοί είναι κατακριμνησιγενείς. Πάνω από την εστία του σεισμού η κίνηση είναι κατακόρυφη, ενώ καθώς απομακρυνόμαστε, η κατακόρυφη κίνηση μικραίνει και μεγαλώνει η οριζόντια. Έτσι εξηγείται ότι εκείνος ο οποίος βρίσκεται κοντά στην εστία του σεισμού θα παρατηρούσε μια κατακόρυφη κίνηση πάνω-κάτω ή αντίθετα, ενώ εκείνος ο οποίος θα βρισκόταν σε μεγάλη απόσταση από την εστία θα διαπίστωνε μια κίνηση πέρα-δώθε.

1.2.3 Γεωγραφική κατανομή

Η γεωγραφική κατανομή στις διάφορες περιοχές της Γης χωρίζεται κυρίως σε δυο παγκόσμια συστήματα ζωνών διαρρήξεως. Από αυτά τα δύο συστήματα, το ένα λέγεται ηπειρωτικό και το άλλο μεσοωκεανίων ράχων.

1.2.4 Σεισμικά κύματα

Τις σεισμικές δονήσεις συνοδεύουν δύο φαινόμενα. Τα ηχητικά και τα φωτεινά. Τα ηχητικά είναι το υπόκωφο βουητό, το οποίο γίνεται συνήθως αντιληπτό. Τα φωτεινά φαινόμενα πολύ δύσκολα μπορούν να εξηγηθούν και υπάρχουν πολλές εκδοχές γι' αυτά.

Κατά τη διάρκεια του σεισμού απελευθερώνεται ενέργεια η οποία διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις με τη μορφή κυμάτων. Αυτά τα σεισμικά κύματα ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς τους μέσα στη Γη τα χωρίζουμε σε τρεις μεγάλες κατηγορίες. Τα διαμήκη, τα εγκάρσια και τα επιφανειακά.

Τα διαμήκη κύματα τα οποία τα συμβολίζουμε P από τη λέξη primary είναι κάτι ανάλογο με τα ηχητικά κύματα. Στη δεύτερη κατηγορία κυμάτων έχουμε τα εγκάρσια κύματα ή κύματα S που προέρχονται από τη λέξη secondary. Η τρίτη κατηγορία σεισμικών κυμάτων, τα επιφανειακά κύματα περιορίζονται στην κίνησή τους μόνο στην επιφάνεια.

1.2.5 Εστία σεισμού

Εστία λέγεται ο χώρος που αρχίζει η ρήξη όταν οι τάσεις υπερβούν την αντοχή του πετρώματος σε ορισμένη θέση, οπότε το πέτρωμα σπάει και δημιουργείται ρήγμα.

Η εστία αυτή μπορεί να βρίσκεται πολύ κοντά στην επιφάνεια της Γης αλλά και σε πολύ μεγάλο βάθος που μπορεί να φτάσει τα 700 χιλιόμετρα όπου και βρίσκονται και οι βαθύτερες εστίες σεισμών. Το σημείο της επιφάνειας το οποίο βρίσκεται πάνω από την εστία ονομάζεται επίκεντρο του σεισμού, ενώ την απόσταση αυτού του σημείου από το σταθμό την ονομάζουμε επικεντρική απόσταση. Αυτή η απόσταση είναι δυνατό να βρεθεί από το σειсмоγράφημα ενός σταθμού. Αν στο σταθμό υπάρχουν κι άλλοι σειсмоγράφοι διαφορετικά προσανατολισμένοι που να μπορούν δηλαδή να καταγράφουν με μεγάλη ακρίβεια τους σεισμούς που προέρχονται από τη διεύθυνση Βορράς-Νότος ή Ανατολή-Δύση, μπορούμε να προσδιορίσουμε με απόλυτη ακρίβεια το επίκεντρο του σεισμού.

1.2.6 Χαρακτηριστικά σεισμού

Κάθε σεισμός έχει τα δικά του χαρακτηριστικά και τις δικές του ιδιαιτερότητες. Έτσι λοιπόν το μέγεθος, η ένταση, η ενέργεια και η επιτάχυνση είναι τέσσερις παράμετροι οι οποίοι χαρακτηρίζουν τους σεισμούς. Συνεπώς καθένα από αυτά είναι ανεξάρτητο του τύπου στον οποίο παίρνεται το σειсмоγράφημα. Σε κάθε σεισμό απελευθερώνεται ενέργεια στην εστία του, μέτρο της οποίας αποτελεί το μέγεθος του σεισμού όπως το όρισε ο Richter το 1935.

Το μέγεθος ενός σεισμού είναι ένας αντιπροσωπευτικός αριθμός ο οποίος μας δείχνει την ενέργεια η οποία εκλύεται κατά τη διάρκειά του. Ο υπολογισμός του μπορεί να πραγματοποιηθεί από οποιοδήποτε τύπο ανεξάρτητα από το πόσο μακριά ή κοντά βρίσκεται το σεισμολογικό κέντρο από το επίκεντρο του σεισμού. Η ανακάλυψη αυτού του στοιχείου για τους σεισμούς έφερε μια ολόκληρη επανάσταση στην επιστήμη της σεισμολογίας κι αυτό γιατί μέχρι το χρονικό διάστημα του 1935, οπότε και ανακάλυψε ο Richter το μέγεθος του σεισμού, οι επιστήμονες ανέφεραν κάθε σεισμό σαν μεγάλο ή όχι από τις υποκειμενικές τους εκτιμήσεις.

1.2.7 Μεγάλοι σεισμοί

Οι μεγαλύτεροι σεισμοί που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα στον κόσμο δεν ξεπερνούν το 8,9 της κλίμακας ρίχτερ και έχουν γίνει στην Κολομβία και την Ιαπωνία. Ένας σεισμός μεγέθους 5,5 της κλίμακας ρίχτερ ισοδυναμεί σε ενέργεια όσο 10 ατομικές βόμβες σαν αυτή που δοκιμάστηκε στο νησί Μπικίνι το 1946. Επίσης η ενέργεια η οποία

εκλύεται στον εστιακό χώρο από ένα σεισμό μεγέθους 7 ισοδυναμεί με την ενέργεια 25 ατομικών βομβών τύπου Χιροσίμα.

Οι βλάβες οι οποίες προκαλούνται σ' έναν τόπο από τις σεισμικές δονήσεις εξαρτώνται:

- από το μέγεθος του σεισμού,
- από το βάθος της εστίας του σεισμού,
- από το μηχανισμό γένεσης του σεισμού,
- από την εστιακή απόσταση,
- από το δρόμο που ακολουθούν τα σεισμικά κύματα,
- από την ποιότητα του εδάφους θεμελιώσεως,
- από το είδος της οικοδομής και τον τρόπο κατασκευής της κλπ.

1.2.8 Κατηγορίες σεισμών

Οι σεισμοί διακρίνονται σε δύο κατηγορίες σε σχέση με το βάθος στο οποίο εντοπίζεται η εστία τους. Αν η εστία τους βρίσκεται σε βάθος μικρότερο από 60 χιλιόμετρα, τότε οι σεισμοί ονομάζονται επιφανειακοί ή κανονικοί σεισμοί. Αν η εστία τους, όμως βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος από 60 χιλιόμετρα τότε οι σεισμοί αυτοί ονομάζονται πλουτώνιοι. Το μεγαλύτερο εστιακό βάθος που έχει υπολογιστεί μέχρι σήμερα είναι 720 χιλιόμετρα. Οι στατιστικές αναφέρουν ότι το 95% των σεισμών πραγματοποιούνται σε βάθη μικρότερα από 60 χιλιόμετρα ενώ το 5% έχουν τις εστίες τους πολύ βαθιά μέσα στη Γη. Από την εκλυόμενη μέση ετήσια σεισμική ενέργεια της Γης τα 80% οφείλονται στους επιφανειακούς σεισμούς, ενώ το 20% σε πλουτώνιους.

1.2.9 Προ-σεισμοί και μετά-σεισμοί

Μετά από κάθε σεισμό πραγματοποιούνται πλήθος από μετασεισμικές δονήσεις ενώ δεν είναι σπάνιο το φαινόμενο να προηγηθούν πριν τον κυρίως σεισμό κι άλλοι μικρότεροι σεισμοί.

Οι σεισμοί οι οποίοι προηγούνται του κυρίως σεισμού ονομάζονται προσεισμοί, ενώ οι σεισμοί οι οποίοι ακολουθούν τον κυρίως σεισμό λέγονται μετασεισμοί και το σύνολό τους μετασεισμική ακολουθία. Είναι δυνατό του κυρίως σεισμού να μην έχουν προηγηθεί σεισμικές δονήσεις, ενώ να παρατηρηθούν ένα πλήθος από μετασεισμικές δονήσεις.

1.3 Σεισμός και Ελλάδα

1.3.1 Ορισμοί

Σε μια ιδιαίτερα σεισμογενή περιοχή του κόσμου, όπως η Ελλάδα, κύριο μέλημα του μελετητή μηχανικού είναι η θωράκιση των κατασκευών έναντι των σεισμών και πιο συγκεκριμένα έναντι των οριζόντιων δράσεων. Οι σύγχρονοι αντισεισμικοί κανονισμοί έχουν φτάσει ένα πολύ καλό επίπεδο, με αποτέλεσμα τα νέα κτίρια, όπως έδειξαν οι πρόσφατοι σεισμοί, να έχουν ξεκάθαρα καλύτερη (και ασφαλέστερη) συμπεριφορά σε σχέση με τα παλαιότερα. Είναι αυτά όμως τα παλαιότερα κτίρια που αποτελούν την μεγάλη πλειοψηφία (της τάξης του 70%) του οικιστικού πλούτου της χώρας (στη συντριπτική τους πλειοψηφία κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος), και κατά συνέπεια και τη μεγαλύτερη πηγή κινδύνου από το σεισμό. Ακόμα πιο επιβαρυντικά στο ότι τα κτίρια αυτά είτε δεν έχουν σχεδιαστεί να παραλαμβάνουν σεισμικές δράσεις, είτε ότι έχουν σχεδιαστεί να παραλαμβάνουν πολύ μικρότερου μεγέθους δράσεις από αυτές που θα κληθούν να αναλάβουν, δρα το γεγονός ότι πολλές φορές το δομικό τους σύστημα είναι τέτοιο που καθιστά την σεισμική συμπεριφορά τους ακόμα πιο δυσμενή.

Ως αποτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς ορίζεται η ποσοτική εκτίμηση και ο έλεγχος της επάρκειας μιας συγκεκριμένης κατασκευής έναντι μιας συγκεκριμένης στάθμης σεισμικής δράσης. Το αποτέλεσμα της αποτίμησης δεν είναι απλώς ένα ναι ή όχι για την ανάγκη ενίσχυσης. Ακόμα και όταν η κατασκευή είναι προφανώς ανεπαρκής και χρειάζεται ενίσχυση, μία λεπτομερής αποτίμηση αποτελεί απαραίτητο πρώτο στάδιο ενός καλού ανασχεδιασμού (δηλ. μιας καλής μελέτης της ενίσχυσης), γιατί μέσω αυτής εντοπίζονται τα πλέον τρωτά σημεία και τμήματα της κατασκευής και καθοδηγείται ο μελετητής στην επιλογή του είδους και της έκτασης της ενίσχυσης.

Ενίσχυση είναι η αναβάθμιση της αντοχής της κατασκευής σε εξωτερικές δράσεις (στη συγκεκριμένη περίπτωση σεισμό), σε σύγκριση με το επίπεδο του αρχικού σχεδιασμού της. Υφιστάμενες κατασκευές που ενδεχόμενα θα εμφανίσουν σεισμικές βλάβες ή και φθορές από το χρόνο, είναι πολύ πιθανόν να είναι εντελώς ανεπαρκείς από απόψεως αντισεισμικού σχεδιασμού σύμφωνα με τις σημερινές αντιλήψεις, γνώσεις και απαιτήσεις ασφαλείας. Έτσι, κατά κανόνα η επισκευή συνοδεύεται και από σεισμική ενίσχυση.

Τέλος, μη-κανονικότητα σε κάτοψη είναι ένας γενικός όρος που περιγράφει καταστάσεις κατά τις οποίες η μόρφωση ενός στατικού φορέα εμπεριέχει διάφορες ανομοιομορφίες (που οι νέοι κανονισμοί αποθαρρύνουν ή βάζουν όρια στην έκτασή τους) οι οποίες γενικά επηρεάζουν δυσμενώς την συμπεριφορά του. Τέτοιες ανομοιομορφίες μπορεί να είναι η ανομοιόμορφη κατανομή της δυσκαμψίας ή / και της μάζας σε κάτοψη, μεγάλες μεταβολές στη δυσκαμψία ή / και τη μάζα καθ' ύψος, η μη-κανονική κάτοψη (κάτοψη σχήματος «Γ», «Π» κλπ. χωρίς αρμούς), η έλλειψη πλαισίων δυσκαμψίας κατά τη μια ή και τις δύο κύριες διευθύνσεις του κτιρίου, κοκ.

1.3.2 Οι προ του 1984 κατασκευές

Ο αντισεισμικός σχεδιασμός εισήχθη στην Ελλάδα για πρώτη φορά μαζί με τον πρώτο Αντισεισμικό Κανονισμό το 1959. Προ του 1959 είχε αναπτυχθεί σε ορισμένες πολύ σεισμικές περιοχές της χώρας, όπως τα Επτάνησα, κάποια εμπειρική παράδοση αντισεισμικής τεχνολογίας και ορισμένοι τουλάχιστον τύποι κατασκευών χαρακτηρίζονταν από κάποια στοιχεία αντισεισμικής προστασίας. Από την άλλη πλευρά, η θέσπιση αντισεισμικού κανονισμού το 1959 δεν σήμαινε ότι οι κατασκευές που σχεδιάσθηκαν μ' αυτόν, ιδίως οι πολυώροφες από οπλισμένο σκυρόδεμα, διέθεταν ικανοποιητική αντοχή σε σεισμό. Το βασικό νέο στοιχείο που εισήγαγε στο σχεδιασμό των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος ο αντισεισμικός κανονισμός του 1959 ήταν η απαίτηση υπολογισμού και διαστασιολόγησης για οριζόντιες δυνάμεις ανάλογες των μαζών της κατασκευής και ο καθορισμός του μεγέθους των δυνάμεων αυτών ανάλογα με τη θεωρούμενη σεισμικότητα της περιοχής και τον τύπο του εδάφους. Για τη διαστασιολόγηση του οπλισμένου σκυροδέματος παρέμεινε σε ισχύ ο κανονισμός του 1954, ο οποίος ήταν απλή μετάφραση του αντίστοιχου Γερμανικού του 1936 και δεν περιελάμβανε διατάξεις για κατασκευαστική διαμόρφωση και λεπτομέρειες όπλισης μελών με στόχο την τοπική πλαστιμότητα. Ο κανονισμός αυτός δηλαδή ήταν προσανατολισμένος αποκλειστικά σχεδόν σε κατασκευές που καλούνται να αναλάβουν μόνο κατακόρυφα φορτία.

Η ίδια αντίληψη, αυτή της ανάληψης μόνο των κατακόρυφων φορτίων, κυριαρχούσε και στη μόρφωση του δομικού συστήματος. Ως αποτέλεσμα τα κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος πολύ σπάνια διέθεταν ένα σαφώς ορισμένο δομικό σύστημα ανάληψης των οριζοντίων δυνάμεων και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις. Αντίθετα συχνά χαρακτηρίζονταν από όπλιση

των πλακών μόνο στη μία οριζόντια διεύθυνση και στήριξή τους σε δοκούς παράλληλες στην άλλη διεύθυνση, με αποτέλεσμα το κτίριο να διαθέτει σαφές πλαισιακό σύστημα μόνο στη μία διεύθυνση ενώ στην άλλη τα υποστυλώματά του να λειτουργούν ουσιαστικά σαν κατακόρυφοι πρόβολοι. Πολύ συχνά επίσης η θέση των δοκών και των υποστυλωμάτων καθοριζόταν απόλυτα από την αρχιτεκτονική διάταξη, με αποτέλεσμα το δομικό σύστημα να κυριαρχείται από έμμεσες στηρίξεις δοκών επί άλλων δοκών και να χαρακτηρίζεται από σχεδόν πλήρη απουσία πλήρων πλαισίων.

Δομικά συστήματα με τα παραπάνω χαρακτηριστικά μπορεί να είναι επαρκή για τη μεταφορά των κατακόρυφων φορτίων στο έδαφος, έχουν όμως προβληματική σεισμική συμπεριφορά και απαιτούν αρκετά προσεκτική και αξιόπιστη μαθηματική προσομοίωση και χρήση μεθόδων (κατά προτίμηση δυναμικής) ανάλυσης κατασκευών στο χώρο με Η/Υ. Ελλείψει όμως κατάλληλων υπολογιστικών μεθόδων και εργαλείων, είχε επικρατήσει τότε στην Ελληνική μελετητική πρακτική ένας προσεγγιστικός τρόπος υπολογισμού της σεισμικής έντασης στα μέλη του δομικού συστήματος (ανάλογα με τις ελαστικές δυσκαμψίες τους, θεωρώντας τα πακτωμένα στις στάθμες των ορόφων), ο οποίος οδηγούσε σε λανθασμένη εκτίμηση της κατανομής της σεισμικής τέμνουσας ορόφου στα μέλη, υποεκτιμώντας ή υπερεκτιμώντας την κατά περίπτωση.

Οι επιπτώσεις των αστοχιών του προσομοιώματος και του τρόπου ανάλυσης που χρησιμοποιούνταν για τον αντισεισμικό σχεδιασμό κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος μετά το 1959 θα μειωνόταν ουσιαστικά αν τα μέλη διέθεταν μεγάλη τοπική πλαστιμότητα, που θα επέτρεπε την ανακατανομή της σεισμικής έντασης από τα περισσότερο βεβαρημένα σημεία στα λιγότερο. Όμως τα κτίρια που σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν με τον Κανονισμό του 1959 εκτιμάται ότι διαθέτουν τοπική πλαστιμότητα που ισοδυναμεί περίπου με συντελεστή συμπεριφοράς μεταξύ 1.5 και 2.0. Το συμπέρασμα είναι ότι, εκτός αν διαθέτουν σημαντικές υπεραντοχές, π.χ. λόγω καλής ποιότητας τοιχοπληρώσεων με πυκνή και κανονική διάταξη σε κάτοψη και χωρίς πολλά και μεγάλα ανοίγματα, τα κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος που σχεδιάστηκαν με τον Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959 χαρακτηρίζονται από υψηλή σεισμική τρωτότητα. [3]

1.3.3 Οι μετά το 1984 κατασκευές

Η αναθεώρηση του αντισεισμικού κανονισμού με τις πρόσθετες διατάξεις του 1984 οδήγησε σε ουσιαστική αναβάθμιση της αντισεισμικής προστασίας. Οι πρόσθετες διατάξεις εισήγαγαν για πρώτη φορά όλα σχεδόν τα κύρια χαρακτηριστικά των σύγχρονων κανονισμών, όπως τον ικανοτικό σχεδιασμό υποστυλωμάτων σε κάμψη, την κατασκευαστική διαμόρφωση και τις λεπτομέρειες όπλισης μελών για λόγους τοπικής πλαστιμότητας, τον έλεγχο των βλαβών στον οργανισμό πλήρωσης και τον υπολογισμό των επιρροών 2^{ας} τάξεως, κλπ. Επιπλέον, σε συνδυασμό και με την είσοδο στην καθημερινή μελετητική πρακτική του Η/Υ και των προγραμμάτων (στατικής) ανάλυσης στο χώρο, έθεσαν τέρμα στο πρόβλημα της ανεπαρκούς προσομοίωσης και των προσεγγιστικών μεθόδων ανάλυσης πολυωρόφων κτιρίων για τη σεισμική δράση. Οι αλλαγές αυτές ήλθαν σε μία χρονική στιγμή που η κοινότητα των Πολιτικών Μηχανικών, αλλά και ο μέσος πολίτης στη χώρα, είχαν αναπτύξει αυξημένη συναίσθηση της σοβαρότητας του σεισμικού κινδύνου. Ως τελικό αποτέλεσμα, η σεισμική τρωτότητα των κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος που σχεδιάσθηκαν και κατασκευάσθηκαν μετά το 1984 είναι, κατά μέσο όρο, πολύ μικρότερη.

Το 1995, η ριζική αναθεώρηση του αντισεισμικού κανονισμού και του κανονισμού για τη μελέτη και κατασκευή έργων από σκυρόδεμα, επέφεραν μία εξαιρετική βελτίωση της αντισεισμικής προστασίας και ασφάλειας που προσφέρουν οι κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος. Παρά τις κάποιες ελλείψεις τους (που οδήγησαν στις αναθεωρήσεις του 1999-2000), οι κανονισμοί του 1995 ανταποκρίνονταν για πρώτη φορά πλήρως στα διεθνή πρότυπα και στο σύγχρονο επίπεδο της γνώσης. Βεβαίως η βελτίωση της ασφάλειας με τους κανονισμούς του 1995 συνοδεύεται από σημαντική αύξηση του κόστους του δομικού συστήματος. Όμως τόσο το αυξημένο κόστος, όσο και το αυξημένο επίπεδο ασφάλειας που παρέχεται στους χρήστες των έργων και στην περιουσία τους (ιδιωτική ή δημόσια), είναι πλέον συμβατά με το κατά κεφαλήν εισόδημα, το βιοτικό επίπεδο αλλά και τη (χρηματική) αξία της ανθρώπινης ζωής στη χώρα μας. [3]

1.3.4 Συμπεράσματα

Από την παραπάνω αναδρομή προκύπτει το συμπέρασμα πως δεδομένου ότι ένα πολύ μεγάλο ποσοστό του οικιστικού πλούτου της

χώρας έχει κτισθεί πριν το 1985, ο βασικός σεισμικός κίνδυνος για την ανθρώπινη ζωή και για τις περιουσίες στην Ελλάδα προέρχεται από τα κτίρια αυτά. Ο σεισμός του Αιγίου το 1995, που ήταν ο πρώτος ισχυρός σεισμός που έπληξε αστική περιοχή όπου συνυπήρχαν και οι τρεις γενιές κτιρίων, επιβεβαίωσε το γεγονός αυτό: οι μετά το 1984 κατασκευές, είχαν, παρά το μεγαλύτερο κατά μέσο όρο αριθμό ορόφων και τη συχνή διαμόρφωση του ισογείου σε πιλοτή, πολύ καλύτερη συμπεριφορά απ' αυτές του μεταξύ 1959 και 1984 διαστήματος, οι οποίες, με τη σειρά τους, συμπεριφέρθηκαν κάπως καλύτερα από τις προ του 1959. Όμως παρά το γεγονός ότι ο σεισμικός κίνδυνος προέρχεται από τις παλαιότερες κατασκευές, που έγιναν είτε χωρίς, είτε με στοιχειώδη αντισεισμικό σχεδιασμό, η έμφαση της αντισεισμικής τεχνολογίας στη χώρα μας εξακολουθεί να εστιάζεται στις σημερινές και τις μελλοντικές νέες κατασκευές.

Η κατάσταση, από απόψεως προέλευσης του σεισμικού κινδύνου, είναι παρόμοια παγκοσμίως: Μέχρι τη δεκαετία του '50 για την Αμερική ή του '60 για την Ευρώπη, δεν είχαν θεσμοθετηθεί διατάξεις αντισεισμικού σχεδιασμού στους κανονισμούς και οι κατασκευές όφειλαν την τυχόν αντοχή τους σε οριζόντιες δράσεις στον ενδεχόμενο σχεδιασμό τους έναντι ανέμου. Διατάξεις που ανταποκρίνονται στις σημερινές αντιλήψεις και απαιτήσεις για τον αντισεισμικό σχεδιασμό εμφανίσθηκαν ουσιαστικά για πρώτη φορά στα μέσα της δεκαετίας του '70 στις ΗΠΑ ή του '80 στην Ευρώπη. Έτσι λοιπόν παντού οι παλαιότερες κατασκευές, που κατασκευάσθηκαν χωρίς αντισεισμικό σχεδιασμό ή σύμφωνα με κανονισμούς εντελώς ανεπαρκείς για τα σημερινά δεδομένα, αποτελούν την κύρια πηγή του σεισμικού κινδύνου. [5]

2. ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ

2.1 Αντικείμενο και πεδίο εφαρμογής

Ο ΕΑΚ αφορά τον σχεδιασμό δομημάτων έναντι σεισμού συγκεκριμένων εντάσεων. Στην περίπτωση μας το δόμημα αυτό είναι κτίριο για χρήση κατοικίας.

Τα κριτήρια και οι κανόνες σχεδιασμού του κανονισμού έχουν γενικότερη εφαρμογή ενώ οι κανόνες εφαρμογής αναφέρονται κυρίως σε κτίρια.

Ο κανονισμός καλύπτει έργα “κανονικού κινδύνου”, δηλαδή έργα που σε περίπτωση βλάβης αυτή περιορίζεται στο ίδιο το έργο, στο περιεχόμενο του και στην άμεση γειτονία του, όπως δηλαδή στο κτίριο που εξετάζουμε. [4]

2.2 Περιεχόμενο

Οι διατάξεις του κανονισμού καθορίζουν:

- τις ελάχιστες σεισμικές δράσεις σχεδιασμού και τους αντίστοιχους συνδυασμούς δράσεων,
- τις απαιτήσεις συμπεριφοράς για τους παραπάνω συνδυασμούς δράσεων καθώς και τα κριτήρια ελέγχου της ασφάλειας,
- τις μεθόδους υπολογισμού της εντάσεως και των παραμορφώσεων των κατασκευών
- και τις ειδικότερες κατασκευαστικές διατάξεις των φορέων και των υλικών.

2.3 Θεμελιώδεις απαιτήσεις σεισμικής συμπεριφοράς

- Η απαίτηση αποφυγής καταρρεύσεως προϋποθέτει η πιθανότητα καταρρεύσεως να είναι μικρή και να συνδυάζεται με την διατήρηση ακεραιότητας της κατασκευής μετά από σεισμό
- Η απαίτηση περιορισμού βλαβών προϋποθέτει ότι οι βλάβες στον φέροντα οργανισμό υπό το σεισμό σχεδιασμού να είναι μικρές και επιδιορθώσιμες .

- Η απαίτηση ελάχιστης στάθμης λειτουργιών προϋποθέτει την εξασφάλιση λειτουργίας ενός δομήματος ανάλογα και με τη χρήση του μετά από σεισμό σχεδιασμού.

2.4 Αποφυγή κατάρρευσης

2.4.1 Κριτήρια

Κατά την απόκριση ενός δομήματος στον σεισμό σχεδιασμού είναι εν γένει αποδεκτός ο σχηματισμός ενός ελαστοπλαστικού μηχανισμού με αξιόπιστα ασφαλή μετελαστική συμπεριφορά. Μία τέτοια συμπεριφορά θεωρείται ότι εξασφαλίζεται με τα ακόλουθα κριτήρια:

- Εξασφάλισης μιας ελάχιστης στάθμης αντοχής σε όλα τα φέροντα στοιχεία (συμπεριλαμβανομένης και της θεμελίωσης).
- Εξασφάλισης συνολικής πλαστικότητας, δηλαδή επαρκούς ικανότητας για απελευθέρωση ενέργειας, με μετελαστική παραμόρφωση.
- Ελαχιστοποίηση των παραγόντων που προκαλούν αβεβαιότητες στην εκτίμηση της σεισμικής απόκρισης.

2.5 Περιορισμός βλαβών

2.5.1 Φέρων οργανισμός

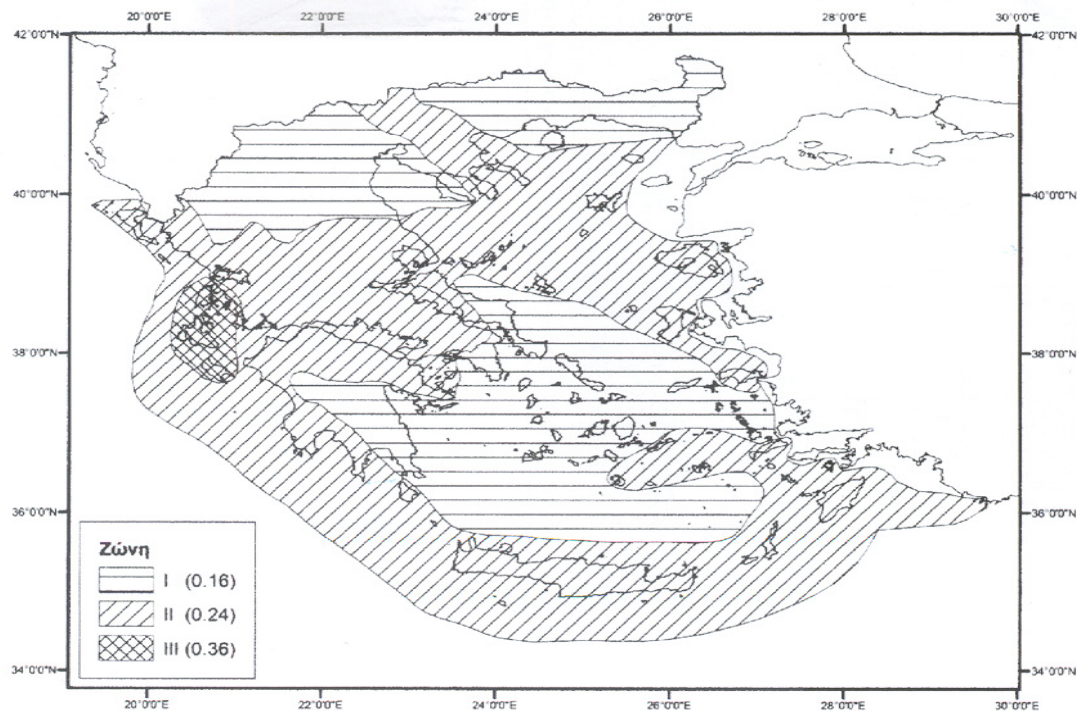
Οι τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς θεωρείται ότι εξασφαλίζουν περιορισμένες και επιδιορθώσιμες βλάβες στα στοιχεία του φέροντα οργανισμού υπό τον σεισμό σχεδιασμού, ενώ ελαχιστοποιούν τις βλάβες για σεισμούς μικρότερης έντασης και με μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης.

2.5.2 Σεισμική επιτάχυνση εδάφους

Για την εφαρμογή του παρόντος κανονισμού η χώρα υποδιαιρείται σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας I, II, III, τα όρια των οποίων καθορίζονται στο χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδος.

Σε κάθε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας αντιστοιχεί μια τιμή σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους A.

Οι τιμές των σεισμικών επιταχύνσεων εδάφους εκτιμούνται σύμφωνα με τα σεισμολογικά δεδομένα, σύμφωνα με τα σεισμολογικά δεδομένα, ότι έχουν πιθανότητα υπέρβασης 10% στα πενήντα χρόνια.



Σχήμα 2.1 Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας

2.5.3 Συντελεστής σπουδαιότητας κτιρίων

Τα κτίρια κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες σπουδαιότητας, ανάλογα με τον κίνδυνο που συνεπάγεται για τον άνθρωπο και τις κοινωνικοοικονομικές συνέπειες που μπορεί να έχει ενδεχόμενη καταστροφή τους ή διακοπή της λειτουργίας τους.

2.5.4 Συντελεστής συμπεριφοράς q

Ο συντελεστής αυτός εισάγει την μείωση των σεισμικών επιταχύνσεων της πραγματικής κατασκευής λόγω μετελαστικής συμπεριφοράς, σε σχέση με τις επιταχύνσεις που προκύπτουν υπολογιστικά σε απεριόριστα ελαστικό σύστημα.

Οι τιμές του q εξαρτώνται από το είδος του υλικού κατασκευής και τον τύπο του δομικού συστήματος. Οι τιμές αυτές ισχύουν υπό την βασική

προϋπόθεση ότι για τον σεισμό σχεδιασμού έχουμε έναρξη διαρροής του συστήματος (πρώτη πλαστική άρθρωση) και με την περαιτέρω αύξηση της φόρτισης είναι δυνατός ο σχηματισμός αξιόπιστου μηχανισμού διαρροής με την δημιουργία ικανού αριθμού πλαστικών αρθρώσεων (πλάστιμη συμπεριφορά).

Σε περίπτωση επιθυμητής ελαστικής συμπεριφοράς λαμβάνεται $q = 1$.

2.5.5 Κατάταξη εδαφών

Από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας τα εδάφη κατατάσσονται σε πέντε κατηγορίες Α,Β,Γ,Δ και Χ. Δόμηση μόνιμων έργων σε εδάφη κατηγορίας Χ μπορεί να γίνει μόνο ύστερα από λεπτομερείς έρευνες και μελέτες, εφόσον ληφθούν κατάλληλα μέτρα βελτίωσης των ιδιοτήτων του εδάφους, και αντιμετωπισθούν με ειδικό τρόπο τα συγκεκριμένα προβλήματα που υπάρχουν.

Σχηματισμός πάχους μικρότερου των 5 m μπορεί να θεωρείται ότι ανήκει στην αμέσως προηγούμενη κατηγορία εδάφους με εξαίρεση την κατηγορία Χ.

2.6 Καταλληλότητα υπεδάφους θεμελίωσης

2.6.1 Γενικές απαιτήσεις

Το υπέδαφος, η τοπογραφία και η γενικότερη γεωλογία της περιοχής ενός δομικού έργου πρέπει να εξασφαλίζουν με επαρκή πιθανότητα ότι δεν θα υπάρξει κίνδυνος εδαφικής διάρρηξης, αστάθειας πρανών, μεγάλων μόνιμων παραμορφώσεων ή εκτεταμένης ρευστοποίησης κατά την διάρκεια σεισμικού κραδασμού συμβιβαστού με την ένταση και τα φασματικά χαρακτηριστικά του σεισμού σχεδιασμού που προβλέπει ο κανονισμός.

2.7 Θεμελιώσεις

2.7.1 Κριτήρια και κανόνες εφαρμογής

Υπό τον σεισμό σχεδιασμού το σύστημα θεμελίωσης πρέπει να εξασφαλίζει με αξιοπιστία την μεταφορά στο έδαφος των δράσεων κάθε εδραζόμενου στοιχείου της ανωδομής, χωρίς να προκαλούνται μεγάλες παραμένουσες παραμορφώσεις.

Ο σχεδιασμός του συστήματος πρέπει να ελαχιστοποιεί τις αβεβαιότητες της σεισμικής απόκρισης. Για τον ίδιο λόγο, απελευθέρωση ενέργειας δεν πρέπει να προβλέπεται μέσω εντόνων πλαστικών παραμορφώσεων του εδάφους αλλά να περιορίζεται στην ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων σε επιλεγμένες θέσεις της ανωδομής.

2.7.2 Αντοχή του Εδάφους

Η σεισμική δράση σχεδιασμού πρέπει να μεταφερθεί στο έδαφος χωρίς υπέρβαση των οριακών καταστάσεων αστοχίας του συστήματος εδάφους - θεμελίου. Στις οριακές αυτές καταστάσεις περιλαμβάνονται και οι ακόλουθες:

- Γενική ευστάθεια του όλου έργου (του δομήματος και του επηρρεαζόμενου τμήματος του εδάφους). Αυτή πρέπει να διερευνάται σε περιπτώσεις θεμελίωσης σε εδάφη με έντονες κλίσεις ή κοντά σε πρηνή (φυσικά ή τεχνητά).
- Μεγάλες παραμένουσες παραμορφώσεις.

2.7.3 Επιφανειακές θεμελιώσεις

Απαιτείται ο έλεγχος έναντι των οριακών καταστάσεων αστοχίας οι οποίοι είναι:

- Αστοχία λόγω υπέρβασης της φέρουσας ικανότητας έδρασης (οριακού φορτίου).
- Αστοχία σε ολίσθηση.
- Αστοχία δομικών στοιχείων του θεμελίου.

2.7.4 Ελαχιστοποίηση αβεβαιοτήτων

Το σύστημα θεμελιώσεως πρέπει να είναι ομοιογενές και να εξασφαλίζει την κατά το δυνατό πιο ομοιόμορφη κατανομή των σεισμικών δράσεων στο έδαφος. Πρέπει να αποφεύγεται η διάταξη των επιφανειακών εδράσεων κατακόρυφων στοιχείων του ίδιου κτιρίου σε διαφορετικά οριζόντια επίπεδα με σημαντικές υψομετρικές διαφορές. Όταν αυτό δεν είναι δυνατό, πρέπει να λαμβάνονται κατασκευαστικά μέτρα που να εξασφαλίζουν κοινές οριζόντιες μετακινήσεις των ανισόσταθμων εδράσεων. Τέτοια μέτρα δεν είναι αναγκαία σε θεμελίωση επί υγιούς βραχώδους εδάφους.

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ FESPA

3.1 Γενικά

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την διαστασιολόγηση και την επίλυση της κατασκευής μας είναι το Fespa και πιο συγκεκριμένα η έκδοση 3.5. Το Fespa είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα λογισμικού, που χρησιμεύει στην ανάλυση, διαστασιολόγηση, απεικόνιση, έλεγχο και σχεδίαση δομημάτων τριών διαστάσεων. Βασίζεται στις αρχές του ελεύθερου σχεδιασμού, πλήρως εκμεταλλευόμενο τις δυνατότητες των Microsoft Windows, για τα οποία είναι γραμμένο. Μπορούμε να δημιουργήσουμε το προσομοίωμα της κατασκευής μας, να το ελέγξουμε γραφικά, να το αναλύσουμε, να το οπλίσουμε, να επιθεωρήσουμε τα αποτελέσματα, να δημιουργήσουμε τα τεύχη υπολογισμών και τα σχέδια μιας κατασκευής, και όλα αυτά μέσα στο ίδιο σύστημα και με όμοια λογική. Με ενεργή βάση δεδομένων στο κέντρο του, το Fespa ελέγχει και διαχειρίζεται όλες αυτές τις διαδικασίες. [7]

3.2 Εφαρμοζόμενοι κανονισμοί

Η έκδοση αυτή του προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση του θέματος βασίζεται στους παρακάτω κανονισμούς και διατάξεις:

- Ελληνικός Κανονισμός για τη Μελέτη και Κατασκευή Έργων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, ΦΕΚ 1329β - 6 Νοεμβρίου 2000.
- Η συμπλήρωση της απόφασης έγκρισης του Ελληνικού Κανονισμού Οπλισμένου Σκυροδέματος ΕΚΟΣ/2000, ΦΕΚ 447β, 5 Μαρτίου 2004.
- Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός-έκδοση ΕΑΚ/2000, ΦΕΚ 2184β – 20 Δεκεμβρίου 1999.
- Διόρθωση λαθών στον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ/2000), ΦΕΚ 423β - 12 Απριλίου 2001.
- Τροποποίηση και συμπλήρωση της απόφασης έγκρισης του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού, ΦΕΚ 781β - 18 Ιουνίου 2003.
- Τροποποίηση διατάξεων του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού ΕΑΚ/2000 λόγω αναθεώρησης του Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας, ΦΕΚ 1154β - 12 Αυγούστου 2003.

- Ελληνικός Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος 97, ΦΕΚ 315/Β/17-4-97.

3.3 Εφαρμοζόμενοι έλεγχοι

Η έκδοση αυτή του προγράμματος χρησιμοποιεί μια σειρά από ελέγχους για την ασφάλεια και την σωστή αντισεισμική λειτουργία της κατασκευής με βάση τους παραπάνω κανονισμούς. [7]

3.3.1 Ικανοτικός σχεδιασμός κόμβων

Στον σχεδιασμό αυτό υπολογίζονται τα κριτήρια για το υποχρεωτικό της εφαρμογής του ικανοτικού ελέγχου των κόμβων ([ΕΑΚ/2000] §4.1.4). Υπολογίζονται τα αθροίσματα των ροπών υπεραντοχής των δοκών και διανέμονται στα συντρέχοντα υποστυλώματα σύμφωνα με τον συντελεστή ικανοτικής μεγέθυνσης α_{cd} ([ΕΑΚ-2000] σχέσεις 4.5 & 4.6). Τέλος τα υποστυλώματα και τα ενδεχόμενα τοιχώματα σχεδιάζονται με την ως άνω προσαυξημένη ροπή. Τα αναφερόμενα πιο πάνω εφαρμόζονται για κάθε ενδεχόμενο τοίχωμα πάντα ανεξάρτητα της τιμής του η .

3.3.2 Ικανοτικός σχεδιασμός έναντι διατμήσεως

Ο έλεγχος σε διάτμηση των στοιχείων του δομήματος (υποστυλώματα, δοκοί, τοιχώματα, συνδετήριες δοκοί, πεδιλοδοκοί) γίνεται σε κάθε περίπτωση με τα ικανοτικά εντατικά μεγέθη που προκύπτουν από την εφαρμογή του Παραρτήματος Β του [ΕΑΚ/2000]. Στις δοκούς, όταν απαιτείται, τοποθετείται δισδιαγώνιος οπλισμός, ο οποίος εκτείνεται μέχρι την αναγκαία θέση όπως αναλυτικά υπολογίζεται και περιγράφεται στις αντίστοιχες θέσεις των υπολογισμών των δοκών. Ακολουθείται γενικά η μεθοδολογία της §11.2 του [ΕΚΟΣ/2000], ενώ για τον συνδυασμό δράσεων με σεισμό §11.2.3.2[β] η διάκριση των περιπτώσεων που προκύπτουν από τις σχέσεις 11.14 και 11.15 επισημαίνεται με χ ή $\chi\chi$.

3.3.3 Ικανοτικός σχεδιασμός θεμελιώσεως

Οι σεισμικές συνιστώσες των εντατικών μεγεθών και των τάσεων εδάφους στις θέσεις θεμελιώσεως των κατακόρυφων στοιχείων προσαυξάνονται σύμφωνα με το άρθρο 4.1.4.2.[2] [ΕΑΚ/2000] και οπλίζονται ανάλογα.

3.3.4 Κοντά υποστυλώματα

Φύσει κοντό υποστύλωμα είναι αυτό το οποίο λόγω της γεωμετρίας του, της θέσης του στο δομικό σύστημα και της εφαρμοζόμενης φόρτισης, παρουσιάζει μικρό λόγο διάτμησης.

Θέσει κοντό υποστύλωμα είναι αυτό που δημιουργείται από την παρεμβολή δύσκαμπτων πετασμάτων πλήρωσης (από σκυρόδεμα ή από τοιχοποιία) στα φατνώματα μεταξύ των δοκών, π.χ. όταν οι τοίχοι πληρώσεως ή τα τοιχώματα υπογείου που βρίσκονται σε επαφή με αυτό δε συνεχίζονται σε όλο το ύψος του ορόφου. +εν δημιουργούνται θέσει κοντά υποστυλώματα όταν λαμβάνονται ειδικά κατασκευαστικά μέτρα για τη διαμόρφωση αρμού μεταξύ τοίχων πλήρωσης και υποστυλωμάτων.

Κατά το σχεδιασμό ενός υποστυλώματος και την εξασφάλιση του από την αστοχία, διαμορφώνεται τέτοιος οπλισμός, ο οποίος το εξασφαλίζει από τη δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων. Αυτό είναι πιο επιτακτικό σε μέλος με ισχυρή τέμνουσα (μικρό λόγο διάτμησης). Έτσι, σε περίπτωση που πληρείται μία από τις δύο πιο κάτω συνθήκες, δεν απαιτούνται πρόσθετοι έλεγχοι.

3.3.5 Περίσφιξη υποστυλωμάτων

Στις κρίσιμες περιοχές των υποστυλωμάτων υπολογίζεται και τοποθετείται από το πρόγραμμα (όταν απαιτείται) ο αναγκαίος οπλισμός περίσφιξης σύμφωνα με την §18.4.4.2 [ΕΚΟΣ/2000].

3.3.6 Οριακή κατάσταση αστοχίας από παραμορφώσεις (λυγισμός)

Για κάθε ευλύγιστο με την έννοια της §14.4.6 του [ΕΚΟΣ/2000] (σχέση 14.13) γίνονται οι έλεγχοι που απαιτούνται με την §14.13 και συγκεκριμένα χρησιμοποιείται η ακριβής μέθοδος υπολογισμού της §14.4.7 τόσο όταν πρόκειται για μονοαξονικό όσο και για διαξονικό λυγισμό.

3.3.7 Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας από ρηγμάτωση

Ακολουθείται και ο απλοποιητικός έλεγχος, σύμφωνα με τη μεθοδολογία του ΕΚΟΣ/2000 §15.3.1, και ο πλήρης έλεγχος, κατά τον οποίο γίνεται αναλυτικός υπολογισμός ανοίγματος ρωγμών. Από τον τελευταίο έλεγχο προκύπτει και πρόσθετος οπλισμός δοκών αν το

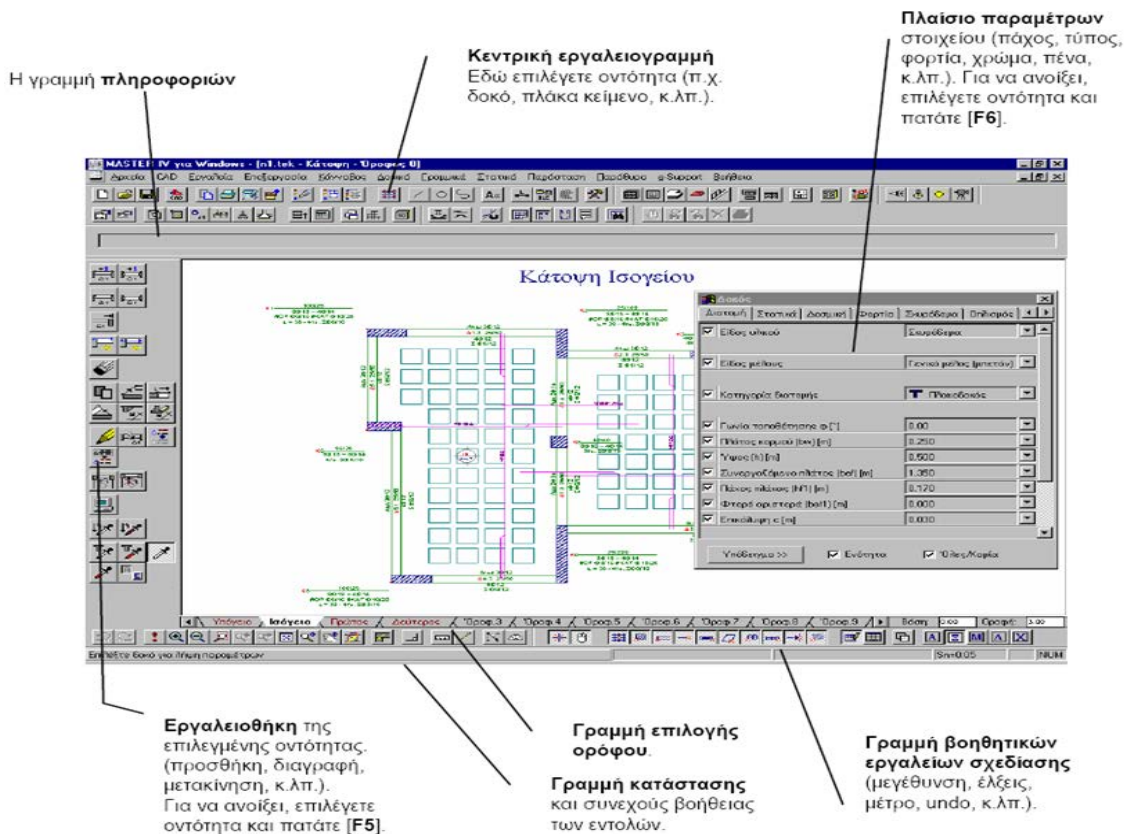
υπολογιζόμενο εύρος ρωγμής προκύψει μεγαλύτερο μιας ονομαστικής τιμής (0.3mm). Σε κάθε περίπτωση ελέγχεται και τοποθετείται ο ελάχιστος οπλισμός για τον έλεγχο ρηγματώσης (όπως προκύπτει από την §15.5).

3.3.8 Επιφανειακές θεμελιώσεις

Οι δράσεις σχεδιασμού των στοιχείων θεμελίωσης υπολογίζονται με βάση την υπεραντοχή του πλάστιμου στοιχείου της ανωδομής που εδράζεται στο στοιχείο θεμελίωσης (ΕΑΚ/2000 §5.5.2).

3.4 Περιβάλλον του προγράμματος

Το περιβάλλον του λογισμικού προγράμματος Fespa είναι απλό και εύχρηστο καθώς η εταιρία το έχει φτιάξει έτσι ώστε να απευθύνεται σε όλους τους Μηχανικούς ανεξαρτήτου εμπειρίας. Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να πάρουμε μια ιδέα για το περιβάλλον αυτό. [7]



Εικόνα 3.1 Η κεντρική οθόνη του προγράμματος, με ανοιχτά τα παράθυρα των εντολών και των παραμέτρων

Όπως είναι εμφανές, το περιβάλλον του Fespa αποτελείται από μια κεντρική εργαλειοθήκη που βρίσκεται στην πάνω πλευρά της οθόνης

στην οποία υπάρχουν όλες οι οντότητες του προγράμματος. Οι οντότητες αυτές είναι ταξινομημένες, ανάλογα με τις επιμέρους λειτουργίες τους, σε διάφορες ομάδες. Οι ομάδες αυτές είναι:

- **Το αρχείο**, το οποίο περιλαμβάνει την δημιουργία νέου φύλλου εργασίας, το άνοιγμα ήδη υπάρχοντος φύλλου εργασίας και την αποθήκευση.
- **Τα σχεδιαστικά**, τα οποία περιλαμβάνουν εργαλεία και άλλα βοηθήματα για την σχεδίαση όπως χάρακες, μοιρογνωμόνια, μέτρα κτλ.
- **Τα γραμμικά**, τα οποία περιλαμβάνουν την δημιουργία γραμμών, τόξων, καμπύλων, κύκλων.
- **Τα στατικά**, τα οποία περιλαμβάνουν τις πλάκες, τις δοκούς, τα υποστυλώματα, τα πέδιλα, τους κόμβους και τις στηρίξεις.
- **Τα δομικά**, τα οποία περιλαμβάνουν την τοιχοποιία, τα ανοίγματα, τις στέγες, τα κιγκλιδώματα, τις σκάλες και άλλα αντικείμενα.
- **Οι επιλύσεις**, οι οποίες περιλαμβάνουν τις επιλύσεις των πλακών, δοκών, στύλων, την επίλυση του χωρικού, της κατασκευής και τέλος τις σπλίσεις όλων των προαναφερομένων στοιχείων με βάση τις επιλύσεις που πραγματοποιήθηκαν.
- **Οι παραγωγές**, οι οποίες περιλαμβάνουν την παραγωγή ορόφων, την παραγωγή θεμελίωσης (είτε γενικής κοιτόστρωσης, είτε πεδילוδοκών, είτε πεδίλων) , την προσαρμογή δοκών, την προσαρμογή υποστυλωμάτων κτλ.
- **Οι οπλισμοί**, οι οποίοι μας δίνουν την δυνατότητα να επεμβούμε στο πρόγραμμα για να διορθώσουμε τυχών λάθη που έγιναν κατά την όπλιση της κατασκευής ή και να τοποθετήσουμε τον οπλισμό όπως εμείς επιθυμούμε.
- **Οι σκιάσεις**, που περιλαμβάνουν τον φωτισμό της κατασκευής, τον ηλιασμό, την τοποθέτηση του παρατηρητή, την τρισδιάστατη όψη της κατασκευής και την λήψη ενός βίντεο.


Επιλέγοντας κάποια από τις παραπάνω οντότητες που αναφέραμε, το πρόγραμμα μας εμφανίζει μια δευτερεύουσα εργαλειοθήκη στα αριστερά της επιφάνειας εργασίας η οποία μας παρέχει επιλογές ανάλογα με την οντότητα που έχουμε επιλέξει. Για παράδειγμα εάν έχουμε επιλέξει την οντότητα «δοκός», στα αριστερά θα μας εμφανίσει μια σειρά επιλογών που αφορούν την δοκό όπως δημιουργία, μεταφορά, διαγραφή, αλλαγή


ονομασίας κοκ. Αυτό θα συμβεί για οποιαδήποτε από της παραπάνω οντότητες επιλέξουμε.


Στο κάτω μέρος της επιφάνειας εργασίας υπάρχει μια βοηθητική εργαλειοθήκη η οποία μας παρέχει σχεδιαστικές επιλογές όπως την μεγέθυνση, τις έλξεις, το μέτρο, την αναίρεση και την κυριότερη επιλογή που είναι οι παράμετροι. Στις παραμέτρους όταν έχουμε επιλέξει μια οντότητα, μπορούμε να εισάγουμε τα δεδομένα που επιθυμούμε. Για παράδειγμα στην επιλεγμένη οντότητα «δοκός» με τις παραμέτρους θα μπορούμε να εισάγουμε τις διαστάσεις της δοκού, τα εφαρμοζόμενα σε αυτήν φορτία και άλλες τέτοιες επιλογές.


3.5 Βήματα για την χρήση του προγράμματος


Όπως αναφέραμε και προηγουμένως το πρόγραμμα Fespa είναι ένα αρκετά απλό και εύχρηστο λογισμικό για την στατική επίλυση οποιασδήποτε κατασκευής. Είναι βασισμένο στους τελευταίους ελληνικούς κανονισμούς και διαθέτει μια πληθώρα από ελέγχους για να μας εξασφαλίσει μια αξιόπιστη στατική επίλυση. Τα βήματα και η πορεία που ακολουθούμε για την δημιουργία της κατασκευής είναι απλά.


 Από την εντολή **κάνναβος** ξεκινάμε με την δημιουργία ενός πλέγματος γραμμών (περασιές) με διακριτά τα σημεία τομής τους, που καλούνται σημεία έλξης του. Αυτό διευκολύνει την ακριβή εισαγωγή δεδομένων, διότι οι κορυφές των πλακών, οι κορυφές των στύλων και οι λοιποί κόμβοι έλκονται, κατά την περιγραφή ή κίνησή τους, από τα σημεία έλξης.


 Στην συνέχεια από την εντολή **κτίριο** δίνουμε τα χαρακτηριστικά στοιχεία και τις ποιότητες των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή, τις παραμέτρους του φάσματος σχεδιασμού για την εφαρμογή του Αντισεισμικού Κανονισμού (ζώνη, σπουδαιότητα), καθώς και τα χαρακτηριστικά του εδάφους (επιτρεπόμενη τάση, κλπ).


 Κατόπιν με την εντολή **υποστύλωμα** προχωράμε στην δημιουργία των υποστυλωμάτων της κατασκευής με βάση τα σημεία έλξης που κάναμε προηγουμένως και αφού πρώτα ρυθμίσουμε από της παραμέτρους τον τύπο των υποστυλωμάτων, τις διαστάσεις τους κοκ.


 Μετά με την εντολή **δοκός** προχωράμε στην δημιουργία των δοκαριών της κατασκευής μας, από υποστύλωμα σε υποστύλωμα και αφού προηγουμένως έχουμε περάσει όλες τις παραμέτρους τους.

 Ύστερα προχωράμε στην κατασκευή των πλακών με την εντολή **πλάκα** ενώ παράλληλα ρυθμίσουμε από τη καρτέλα των παραμέτρων το πάχος της πλάκας καθώς και τα επιβαλλόμενα σε αυτήν φορτία.

 Αφού έχουμε ολοκληρώσει την κάτοψη της κατασκευής αποτελούμενη από τα βασικά της στοιχεία, πλάκες, δοκούς, υποστυλώματα, προχωράμε στην παραγωγή της ίδιας κάτοψης σε όσους ορόφους επιθυμούμε μέσω της εντολής **παραγωγή ορόφων**.

 Τέλος με την εντολή **προσαρμογή δοκών** πραγματοποιούμε την συνδεσμολογία των δοκών με τις πλάκες που σκοπό έχει να χρεώσει στην κάθε δοκό τις αντίστοιχες πλάκες, ενώ με την εντολή **προσαρμογή δοκών – υποστυλωμάτων** πραγματοποιούμε την σύνδεση των δοκών με τα υποστυλώματα καθώς το πρόγραμμα κάνει τις απαραίτητες ενώσεις.

 Ολοκληρώνοντας το κατασκευαστικό κομμάτι προχωράμε σε μια πρώτη επίλυση της κατασκευής μέσω της εντολής **επίλυση κτιρίου** ώστε να υπολογιστούν τα φορτία των υποστυλωμάτων και του χωρικού.

 Με την εντολή **πέδιλα** ξεκινάμε την παραγωγή πεδίων της κατασκευής και δίνουμε τις τυχόν εκκεντρότητες που υπάρχουν μέσω των παραμέτρων της βοηθητικής εργαλειοθήκης. Διαμορφώνουμε τις συνδετήριες δοκούς της θεμελίωσης από την εντολή **δοκός** και αφού έχουμε ελέγξει τις παραμέτρους πρώτα. Τέλος κάνουμε την διαστασιολόγηση των πεδίων η οποία γίνεται με βάση τα δεδομένα της επίλυσης που πραγματοποιήθηκε προηγουμένως. Το πρόγραμμα έχει (από την επίλυση) πλήρως καθορισμένα τα στοιχεία που χρειάζεται προκειμένου να διαστασιολογήσει τα πέδιλα, έτσι ώστε να μη δημιουργείται υπέρβαση της επιτρεπόμενης τάσης του εδάφους, αλλά και να προκαλούνται περίπου ίσες βυθίσεις σ' αυτά.



Έχοντας πραγματοποιήσει και την θεμελίωση, είμαστε έτοιμοι να ξεκινήσουμε την επίλυση και τον οπλισμό της κατασκευής η οποία γίνεται μέσω της εντολής **επίλυση και οπλισμός**.



Τελειώνοντας βλέπουμε τα αποτελέσματα της επίλυσης, απαιτούμενος οπλισμός, απαιτούμενος όγκος σκυροδέματος, λάθη κατά την επίλυση, τυχόν ειδοποιήσεις κτλ, υπό την μορφή πινάκων για να μπορέσουμε να κάνουμε τις απαραίτητες διορθώσεις.

4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΔΕΙΚΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ q

4.1 Γενικά

Όπως είπαμε και στην αρχή, η Ελλάδα είναι μια από τις έξι πιο σεισμογενείς χώρες στον κόσμο καθώς έχει 157 ενεργά σεισμικά ρήγματα τα οποία έχουν δώσει 570 σεισμούς μεγαλύτερους των 6 βαθμών της κλίμακας ρίχτερ.

Αυτό το γεγονός, έκανε επιτακτική την ανάγκη για δημιουργία ενός σοβαρού και αξιόπιστου Αντισεισμικού Κανονισμού που έχει ως στόχο να καταφέρει να αντιμετωπίσει το πρόβλημα κατάρρευσης της κατασκευής. Κάποια από τα αποτελέσματα του Κανονισμού αυτού, καθώς τα περισσότερα αναλύθηκαν στο 2^ο κεφάλαιο, είναι η δημιουργία ενός χάρτη ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας ανάλογα με τα σεισμικά ρήγματα που υπάρχουν και η δημιουργία κάποιων συντελεστών ασφαλείας όπως είναι ο δείκτης σεισμικής συμπεριφοράς q .

Για να μπορέσουμε να αντιληφθούμε την διαφορά των ζωνών επικινδυνότητας και του δείκτη συμπεριφοράς, πήραμε ένα υφιστάμενο κτίριο οπλισμένου σκυροδέματος και προσπαθήσαμε να το επιλύσουμε για τις ζώνες I, II, III και για δείκτη συμπεριφοράς $q=1,5$ και $q=3,5$.

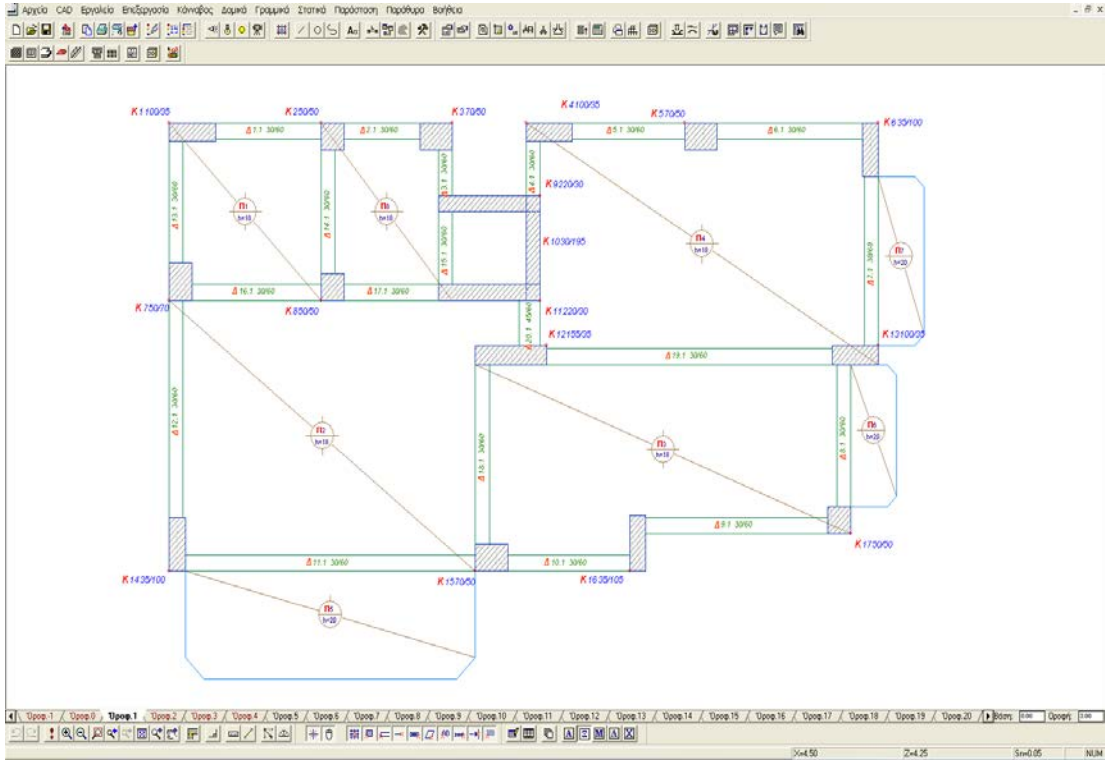
4.2 Επεξεργασία και επίλυση του κτιρίου

4.2.1 Με σταθερές διατομές σε όλες τις εξεταζόμενες κατηγορίες

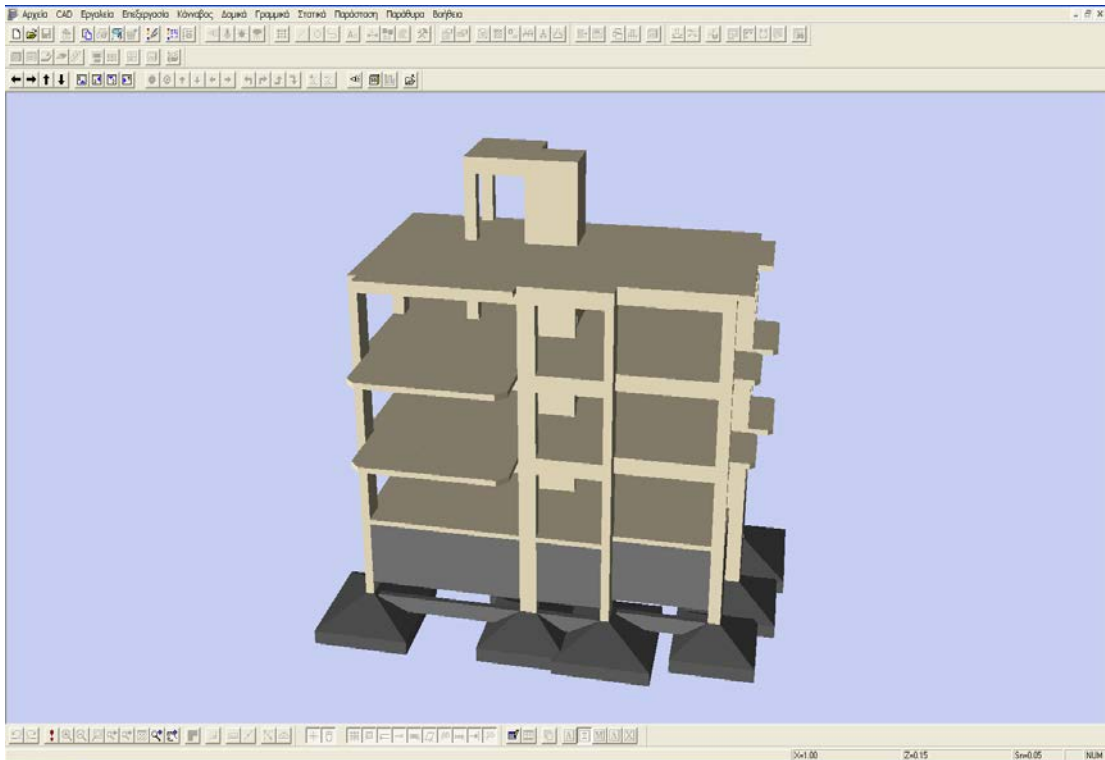
Αρχικά, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει να μελετήσουμε τις διαφορές που παρατηρούνται στον οπλισμό των κτιρίων που ανήκουν σε διαφορετικές ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας και έχουν διαφορετικούς δείκτες σεισμικής συμπεριφοράς, διατηρώντας όμως σταθερές τις διατομές των κατασκευών μας σε όλες τις περιπτώσεις. Συνεπώς, σκοπός μας είναι να μελετήσουμε τις μεταβολές που παρουσιάζονται στον οπλισμό της κατασκευής μεταβαίνοντας από την μια ζώνη στην άλλη και από τον ένα δείκτη συμπεριφοράς στον άλλο, διατηρώντας σταθερό τον όγκο του σκυροδέματος.

Για να μπορέσουμε να το πετύχουμε αυτό, θα πρέπει ουσιαστικά να αρχίσουμε να επεξεργαζόμαστε τις διατομές της κατασκευής μας για την πιο δυσμενή κατάσταση, δηλαδή για $\alpha=0,36$ και $q=1,5$ έτσι ώστε να αντέξει στις ευμενέστερες και να πετύχουμε την μη μεταβολή του όγκου.

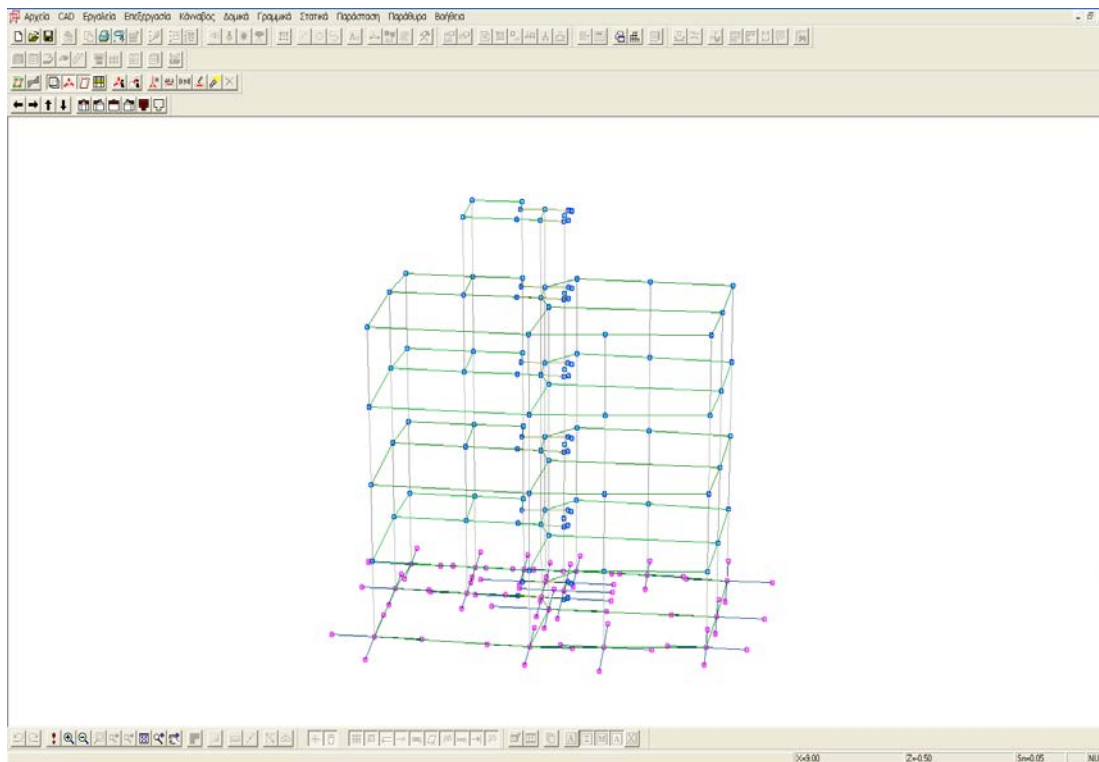
Η κατασκευή που πήραμε για μελέτη είναι ένα υφιστάμενο κτίριο στην περιοχή της Αμφιάλης. Είναι μια τριώροφη πολυκατοικία με οροφδιαμερίσματα και δώμα και έχει κατασκευαστεί σύμφωνα με το Νέο Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό. Για τις ανάγκες όμως του θέματος μας κάναμε ορισμένες τροποποιήσεις στην υπάρχουσα κατασκευή όπως περιγράψαμε προηγουμένως.



Εικόνα 4.1 Ευλότυπος ισογείου κτιρίου 1

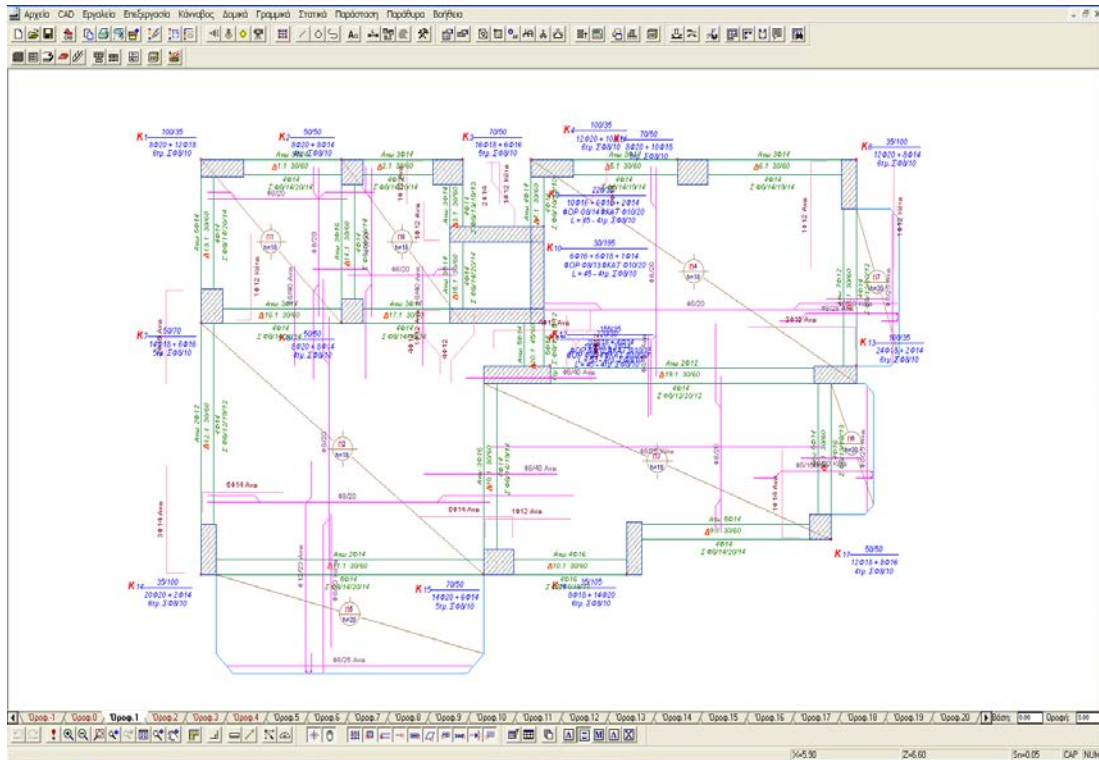


Εικόνα 4.2 Τρισδιάστατη αναπαράσταση κτιρίου 1



Εικόνα 4.3 Τρισδιάστατη απεικόνιση κόμβων κτιρίου 1

Μετά τις τροποποιήσεις της υπάρχουσας κατασκευής προχωρήσαμε στην διαδικασία της επίλυσης. Επιλύσαμε την κατασκευή αυτή για όλες τις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας και για συντελεστές σεισμικής συμπεριφοράς $q=1,5$ και $q=3,5$. Παρακάτω παραθέτουμε ορισμένες εικόνες από τις επιλύσεις που πραγματοποιήθηκαν καθώς και οι πίνακες με τους οπλισμούς όπως διαμορφώθηκαν από το πρόγραμμα.



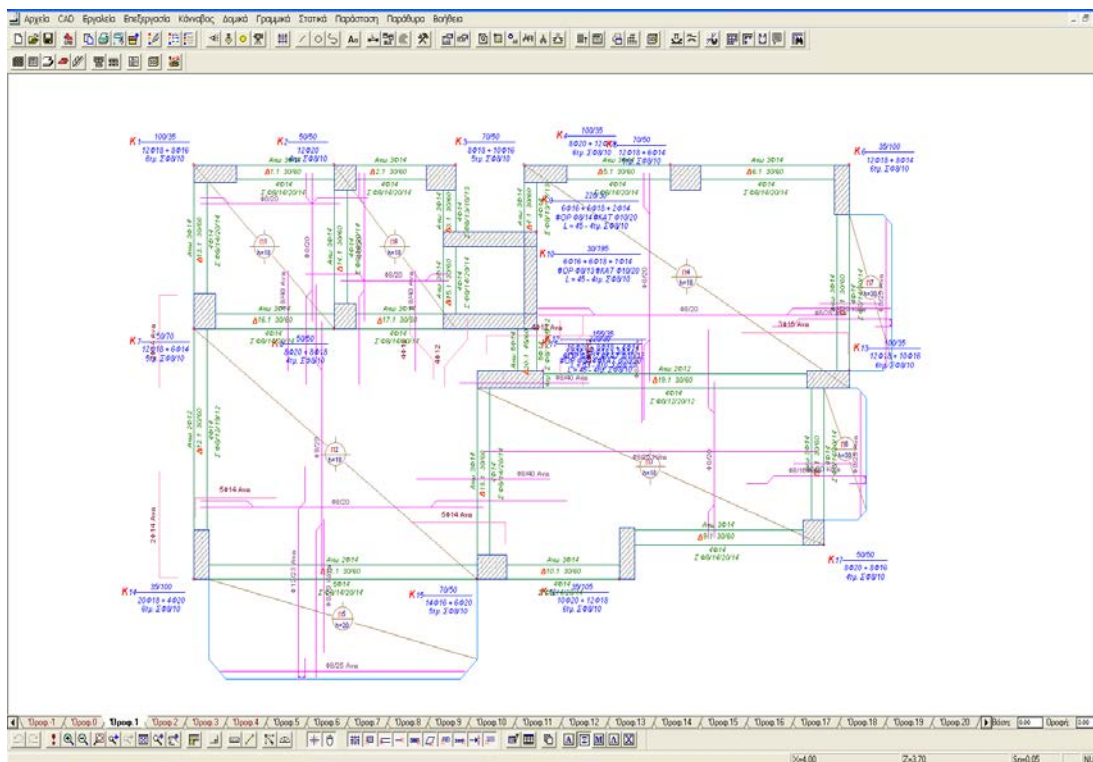
Εικόνα 4.4 Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,16$ και $q=1,5$ κτιρίου 1

Διαμ. [mm]	Μήκος [m]	Βάρος [Kgr]
Φ8	25437,25	10034,7
Φ10	2015,65	1242,95
Φ12	503,8	449,3
Φ14	3125,45	3770,85
Φ16	4389,4	6929,85
Φ18	2123,45	4241,75
Φ20	6803,15	16776,85

Πίνακας 4.1.1 Ποσότητες σιδηρού οπλισμού κτιρίου 1

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2060,3	Βάρος σιδ. οπλισμού [Kgr]	43446,3
Αφαιρούνται	[m ²]	51,5	Όγκος Σκυροδέματος [m ³]	483,7
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2008,8	Αναλογία Σιδ/Σκυροδ. [Kgr/m ³]	89,8

Πίνακας 4.1.2 Ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού κτιρίου 1



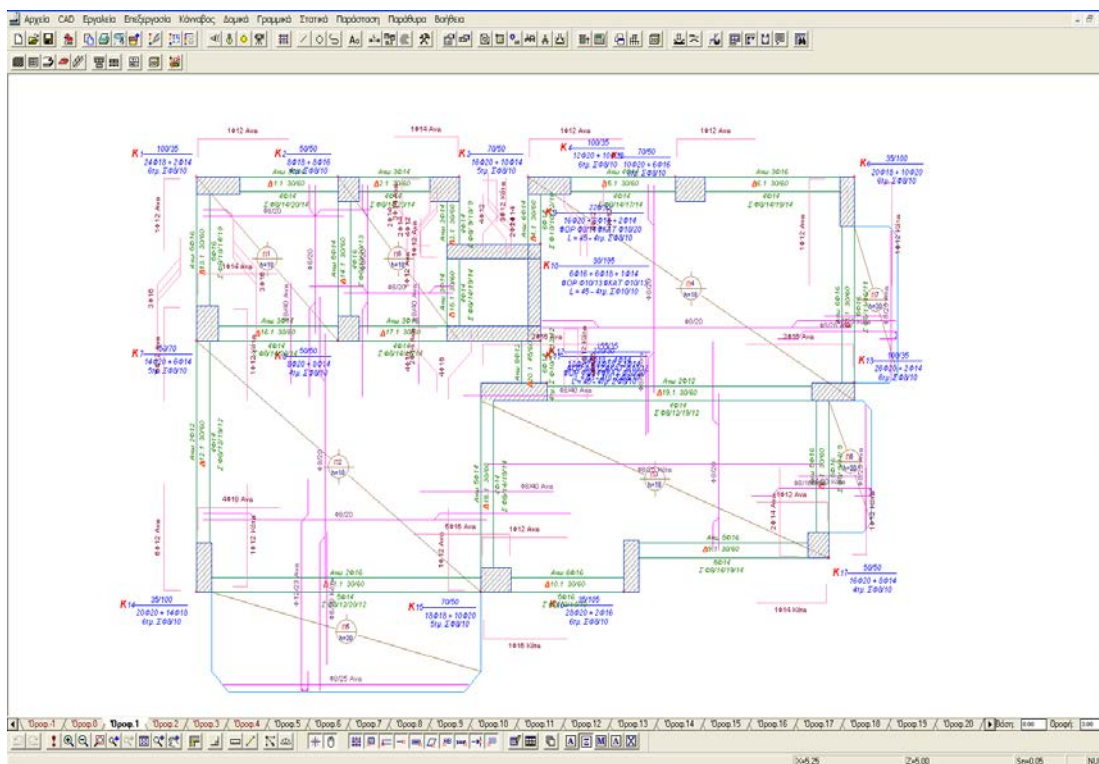
Εικόνα 4.5 Ευλότυπος ισογείου για $\alpha=0,16$ και $\eta=3,5$ κτιρίου 1

Διαμ. [mm]	Μήκος [m]	Βάρος [Kgr]
Φ8	25401,75	10020,2
Φ10	2007,15	1237,95
Φ12	433,3	385,3
Φ14	2819,1	3396,1
Φ16	4554,3	7188,45
Φ18	2056,55	4108,15
Φ20	6854,9	16904,4

Πίνακας 4.2.1 Ποσότητες σιδηρού οπλισμού κτιρίου 1

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2060,3	Βάρος σιδ. οπλισμού [Kgr]	43240,6
Αφαιρούνται	[m ²]	51,5	Όγκος Σκυροδέματος [m ³]	483,7
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2008,8	Αναλογία Σιδ/Σκυροδ. [Kgr/m ³]	89,4

Πίνακας 4.2.2 Ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού κτιρίου 1



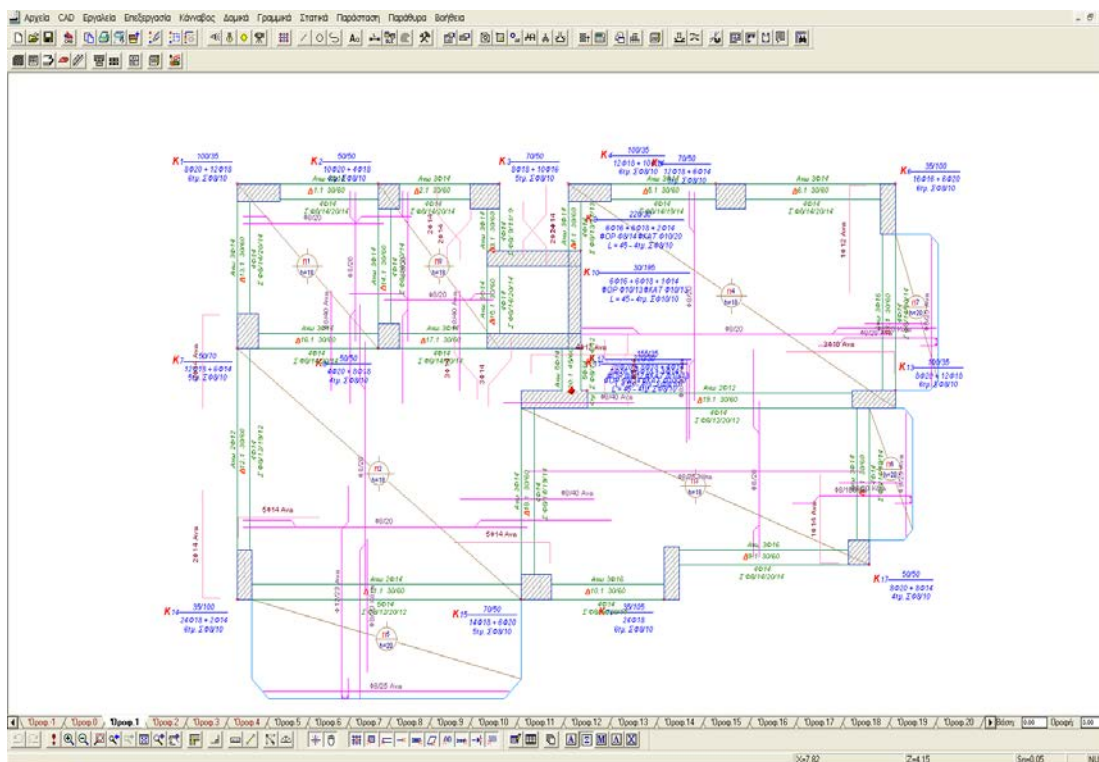
Εικόνα 4.6 Ευλότυπος ισογείου για $\alpha=0,24$ και $q=1,5$ κτιρίου 1

Διαμ. [mm]	Μήκος [m]	Βάρος [Kgr]
Φ8	24959	9845,9
Φ10	2665,35	1643,85
Φ12	811,8	719,8
Φ14	2591,3	3127,8
Φ16	4591,3	7247,2
Φ18	2267,15	4528,9
Φ20	7923,75	19540,4

Πίνακας 4.3.1 Ποσότητες σιδηρού οπλισμού κτιρίου 1

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2060,3	Βάρος σιδ. οπλισμού [Kgr]	46653,9
Αφαιρούνται	[m ²]	51,5	Όγκος Σκυροδέματος [m ³]	483,7
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2008,8	Αναλογία Σιδ/Σκυροδ. [Kgr/m ³]	96,45

Πίνακας 4.3.2 Ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού κτιρίου 1



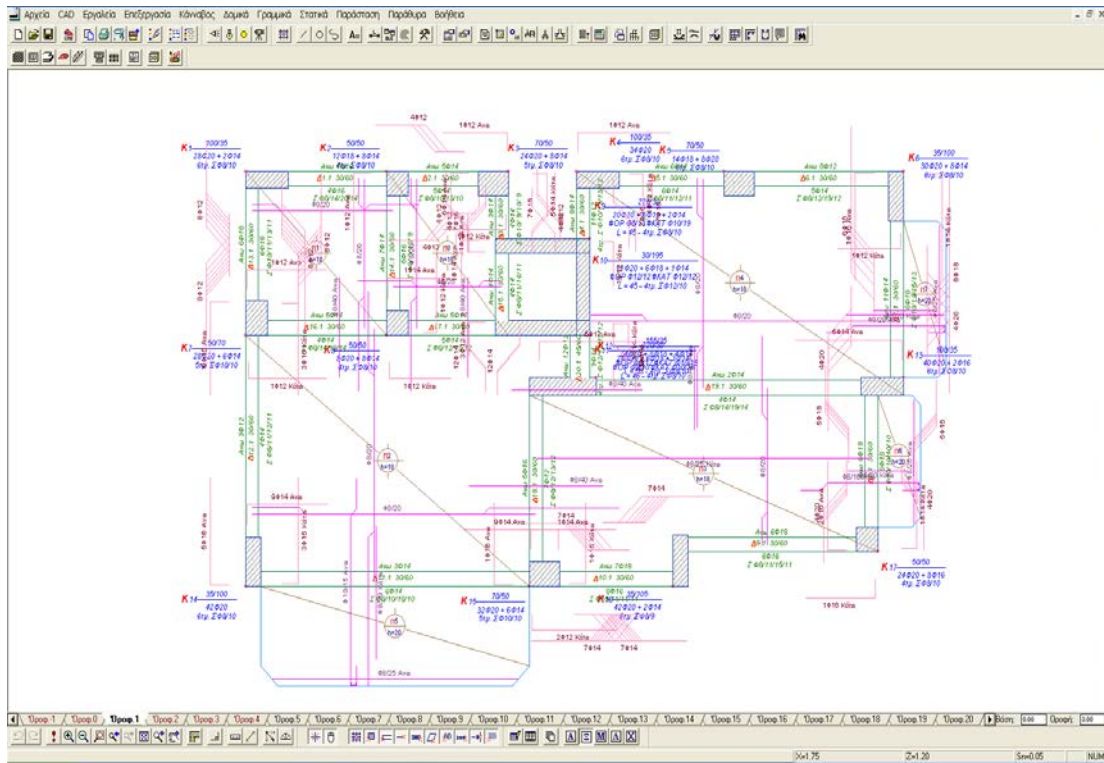
Εικόνα 4.7 Ευλότυπος ισογείου για $\alpha=0,24$ και $q=3,5$ κτιρίου 1

Διαμ. [mm]	Μήκος [m]	Βάρος [Kgr]
Φ8	24945,5	9840,9
Φ10	2563,35	1580,35
Φ12	415,8	369,8
Φ14	2856,15	3443,45
Φ16	4506,7	7112,9
Φ18	2583,25	5160,25
Φ20	6604,9	16287,9

Πίνακας 4.4.1 Ποσότητες σιδηρού οπλισμού κτιρίου 1

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2060, 3	Βάρος σιδ. οπλισμού	[Kgr]	43795, 6
Αφαιρούνται	[m ²]	51,5	Όγκος Σκυροδέματος	[m ³]	483,7
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2008, 8	Αναλογία Σιδ/Σκυροδ.	[Kgr/m ³]	90,55

Πίνακας 4.4.2 Ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού κτιρίου 1



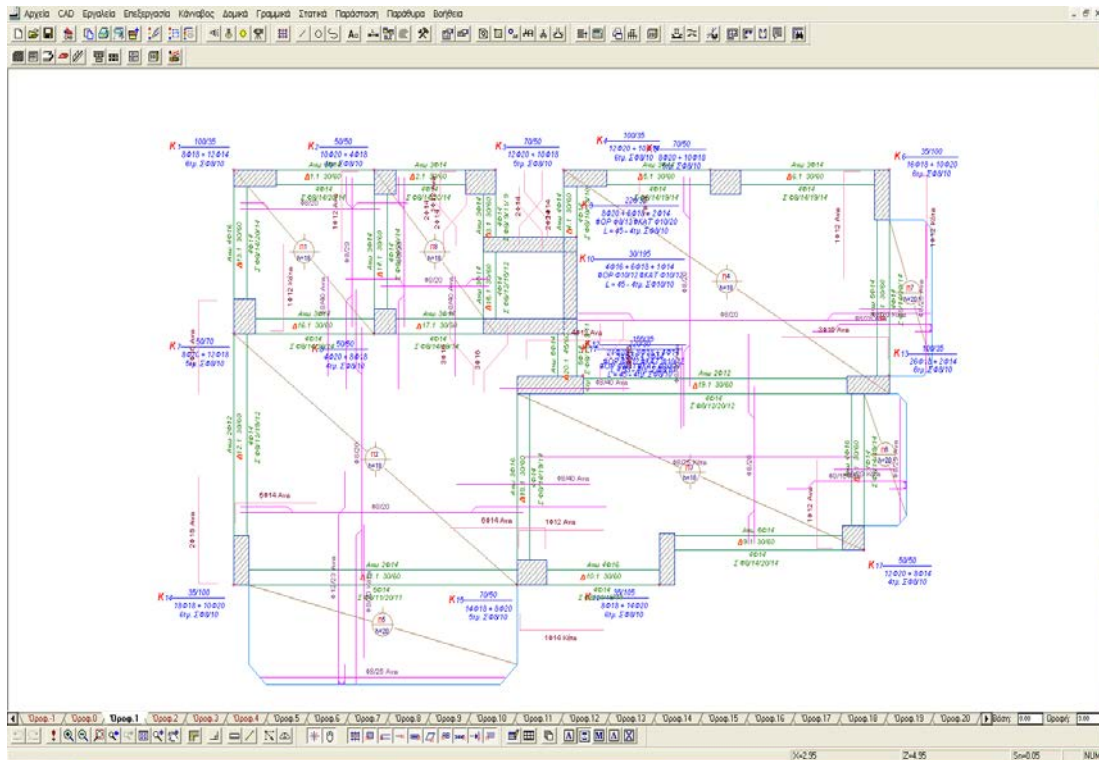
Εικόνα 4.8 Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,36$ και $q=1,5$ κτιρίου 1

Διαμ. [mm]	Μήκος [m]	Βάρος [Kgr]
Φ8	23255,45	9174
Φ10	4065,8	2506,85
Φ12	1990,3	1764,95
Φ14	3425,3	4138,95
Φ16	4522,5	7143,15
Φ18	1676,15	3346,15
Φ20	10934,45	26965

Πίνακας 4.5.1 Ποσότητες σιδηρού οπλισμού κτιρίου 1

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2060,3	Βάρος σιδ. οπλισμού [Kgr]	55039,1
Αφαιρούνται	[m ²]	51,5	Όγκος Σκυροδέματος [m ³]	483,7
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2008,8	Αναλογία Σιδ/Σκυροδ.]	113,8

Πίνακας 4.5.2 Ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού κτιρίου 1



Εικόνα 4.9 Ευλότυπος ισογείου για $\alpha=0,36$ και $q=3,5$ κτιρίου 1

Διαμ. [mm]	Μήκος [m]	Βάρος [Kgr]
Φ8	24734,4	9757,95
Φ10	2906	1791,75
Φ12	536,8	478,3
Φ14	2886,2	3481,2
Φ16	4034,6	6367,7
Φ18	2566,5	5126,85
Φ20	7544,5	18605,05

Πίνακας 4.6.1 Ποσότητες σιδηρού οπλισμού κτιρίου 1

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2060, 3	Βάρος σιδ. οπλισμού	[Kgr]	45608,8 5
Αφαιρούνται	[m ²]	51,5	Όγκος Σκυροδέματος	[m ³]	483,7
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2008, 8	Αναλογία Σιδ/Σκυροδ.	[Kgr/m ³]	94,3

Πίνακας 4.6.2 Ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού κτιρίου 1

Μελετώντας τους πίνακες των οπλισμών όπως εμφανίστηκαν μετά από τις πραγματοποιούμενες επιλύσεις, μπορούμε να κάνουμε μια σύγκριση για να διαπιστώσουμε τι συμβαίνει με την κατασκευή μας όταν την διαστασιολογούμε με διαφορετικούς δείκτες συμπεριφοράς και όταν μεταβαίνουμε από την μια ζώνη στην άλλη διατηρώντας σταθερές τις διατομές μας.

Ξεκινώντας από την ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας III και για συντελεστή σεισμικής συμπεριφοράς $q=3,5$, μπορούμε να δούμε ότι ο απαιτούμενος οπλισμός είναι 45608,85 Kgr χάλυβα B500C ενώ για συντελεστή $q=1,5$ ο οπλισμός εκτινάσσεται σε 55039,1 Kgr. Δηλαδή παρατηρούμε μια αύξηση οπλισμού της τάξεως του 20,7%. Για την ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II και για συντελεστή σεισμικής συμπεριφοράς $q=3,5$ ο απαιτούμενος οπλισμός είναι 43795,6 Kgr χάλυβα ενώ για $q=1,5$ ο οπλισμός ανέρχεται στα 46653,9 Kgr. Η αύξηση που παρατηρείται εδώ είναι της τάξεως του 6,5%. Τέλος, για την ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I και για συντελεστή σεισμικής συμπεριφοράς $q=3,5$, ο απαιτούμενος οπλισμός πέφτει στα 43240,6 Kgr χάλυβα ενώ για $q=1,5$ ο οπλισμός αυτός είναι 43446,3 Kgr. Η αύξηση που σημειώθηκε είναι μόλις 0,5%.

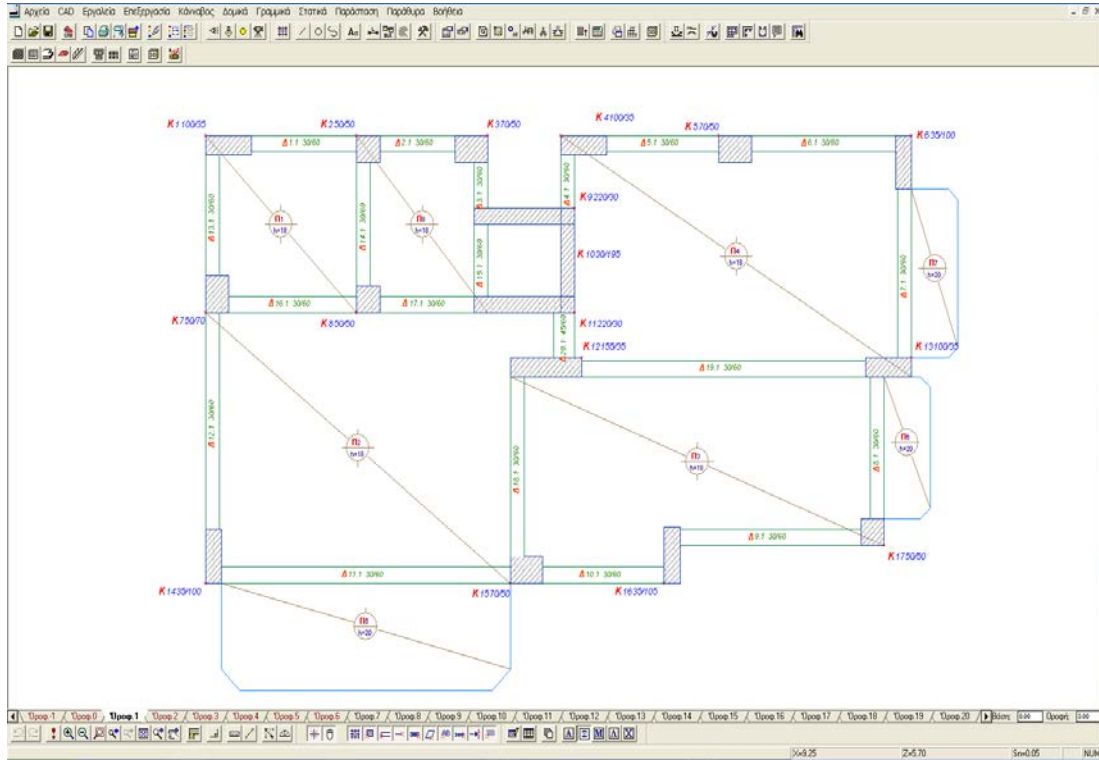
Τώρα εάν προσπαθήσουμε να ερμηνεύσουμε τα νούμερα αυτά θα πρέπει να επικεντρωθούμε σε δυο διαφορετικά σημεία. Το ένα είναι η μεγάλη μεταβολή που παρουσιάστηκε στην ζώνη III και το δεύτερο είναι οι δυο μικρές μεταβολές που παρουσιάστηκαν στις ζώνες I και II. Η ποσοστιαία αύξηση της τάξεως του 20,7% στην ζώνη III μπορεί να θεωρηθεί πραγματική και να ληφθεί υπ' όψιν καθώς η κατασκευή μας έχει τροποποιηθεί και διαστασιολογηθεί για να αντέχει στην ζώνη αυτή. Αντίθετα, στις άλλες δυο ζώνες τα αποτελέσματα δεν μας οδήγησαν σε κάποιο συμπέρασμα καθώς οι μικρές αυτές ποσοστιαίες αυξήσεις δικαιολογούνται με το γεγονός ότι η κατασκευή είχε τροποποιηθεί μόνο για την ζώνη III και συνεπώς στις άλλες δυο ζώνες η κατασκευή οδηγήθηκε σε υπερδιαστασιολόγηση.

Επιπλέον μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει να εξετάσουμε τι συμβαίνει μεταβαίνοντας από την μια ζώνη στην άλλη, δηλαδή για το τι μεταβολές παρουσιάζονται στον όγκο του σκυροδέματος, στον σιδηρό οπλισμό και κατ' επέκταση στο συνολικό κόστος της κατασκευής μας. Λόγο όμως ότι έχουμε οδηγηθεί σε υπερδιαστασιολόγηση στην ζώνη II και III σύμφωνα με τα προηγούμενα συμπεράσματα, θα πρέπει να κάνουμε ορισμένες τροποποιήσεις της κατασκευής στις δυο αυτές ζώνες για να πετύχουμε σωστές διαστασιολογήσεις όπου θα μας οδηγήσουν στα σωστά

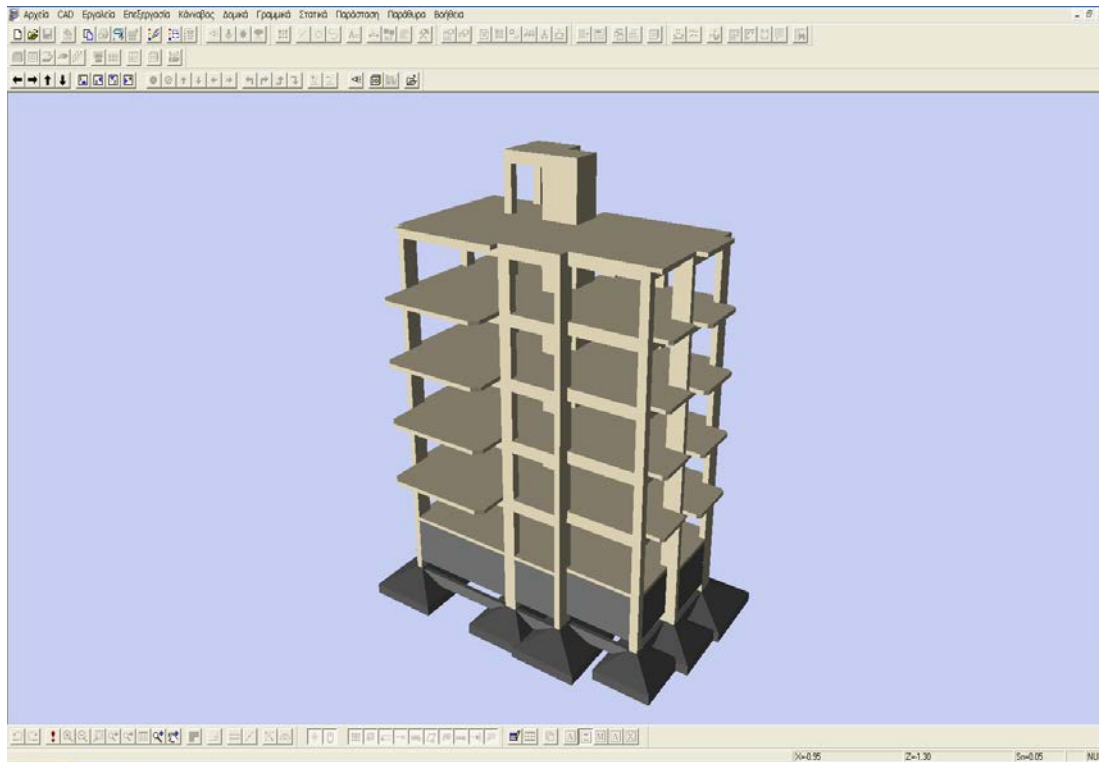
αποτελέσματα. Συνεπώς διαστασιολογώντας την κατασκευή μας με συντελεστή 0,24 αντί για 0,16 παρατηρούμε αρκετές αυξήσεις τόσο στον οπλισμό όσο και στον όγκο του σκυροδέματος και η μεταβολή του κόστους της κατασκευής αγγίζει το 30,8%. Ενώ όσον αφορά την διαστασιολόγηση με συντελεστή 0,36 αντί για 0,24 παρατηρούμε ότι οι αυξήσεις είναι επίσης αρκετές και στον χάλυβα και στο σκυρόδεμα και με την αύξηση του κόστους να φτάνει στο 35,2%.

4.2.2 Με μεταβαλλόμενες διατομές ανά εξεταζόμενη κατηγορία

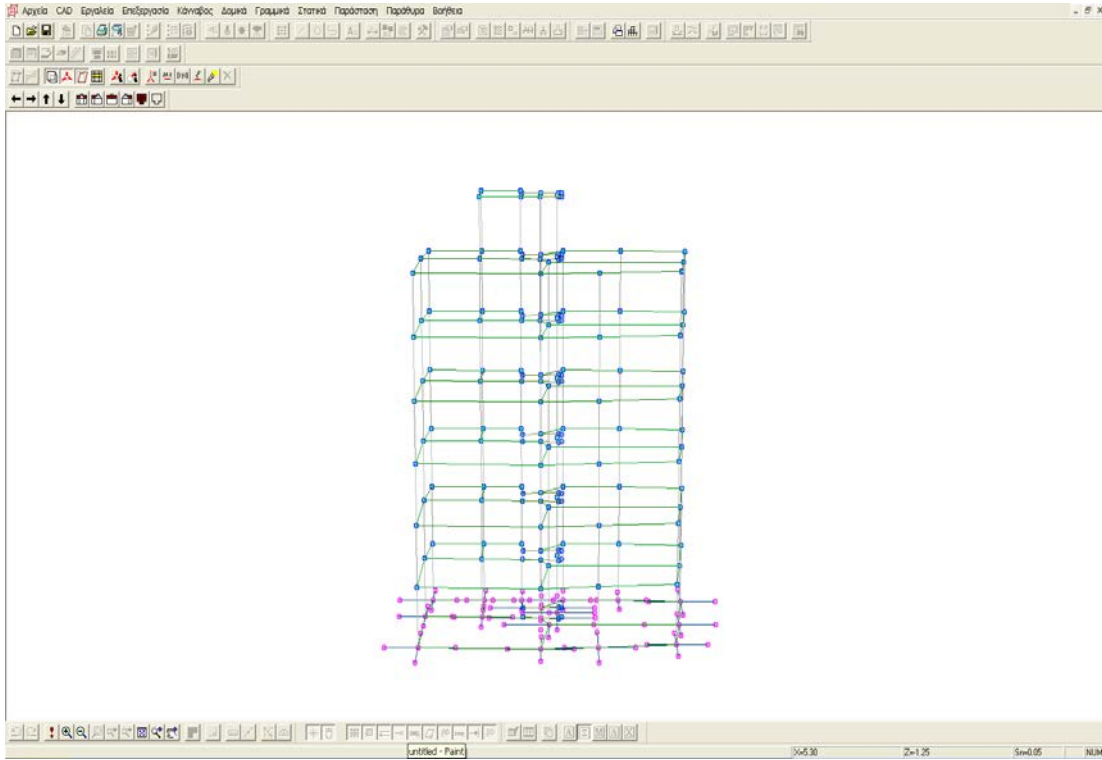
Εδώ, σε αντίθεση με την προηγούμενη παράγραφο θα προσπαθήσουμε να απομονώσουμε την κατασκευή μας στην κάθε ζώνη χωριστά και επεξεργάζοντας την κατάλληλα, να μπορέσουμε να δούμε πως πραγματικά μεταβάλλεται ο οπλισμός από συντελεστή συμπεριφοράς σε συντελεστή συμπεριφοράς. Συνεπώς, για να μην οδηγηθούμε στο φαινόμενο της υπερδιαστασιολόγησης όπως προηγουμένως, αποφασίσαμε να κρατήσουμε ακέραια την κατασκευή μας στην ζώνη III ενώ όσο πλησιάζουμε στην ζώνη I να προσθέτουμε κάθε φορά και έναν όροφο επιπλέον.



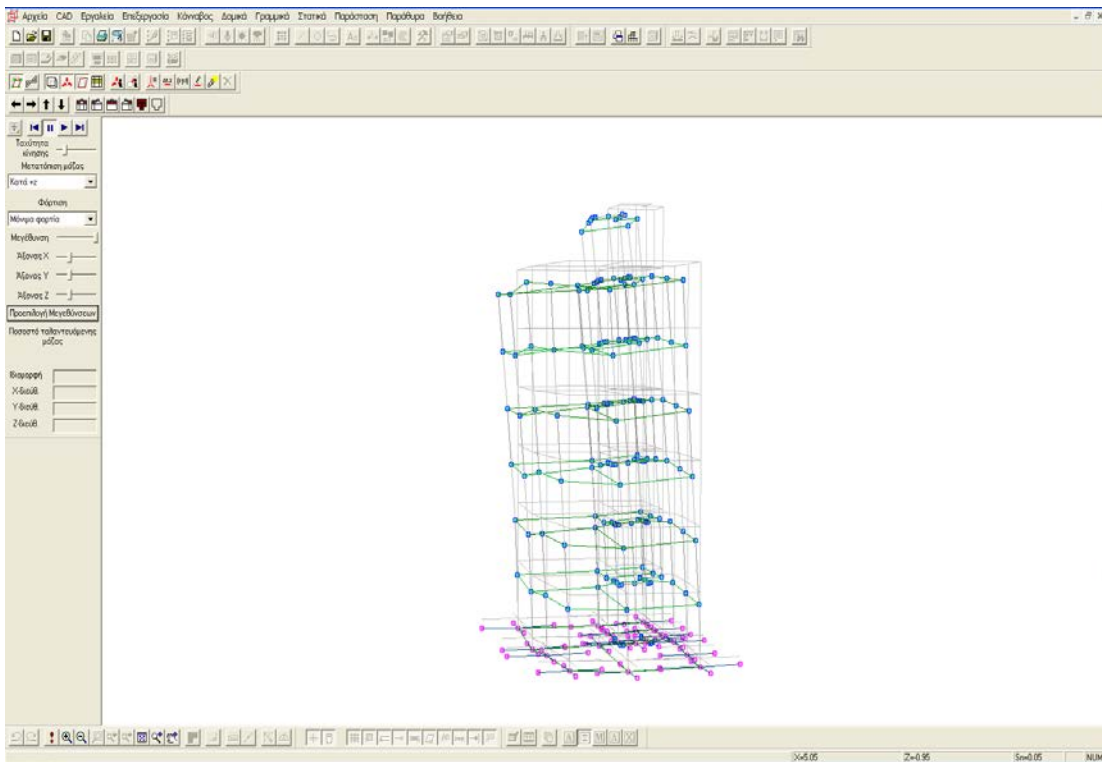
Εικόνα 4.10 Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,16$ κτιρίου 2



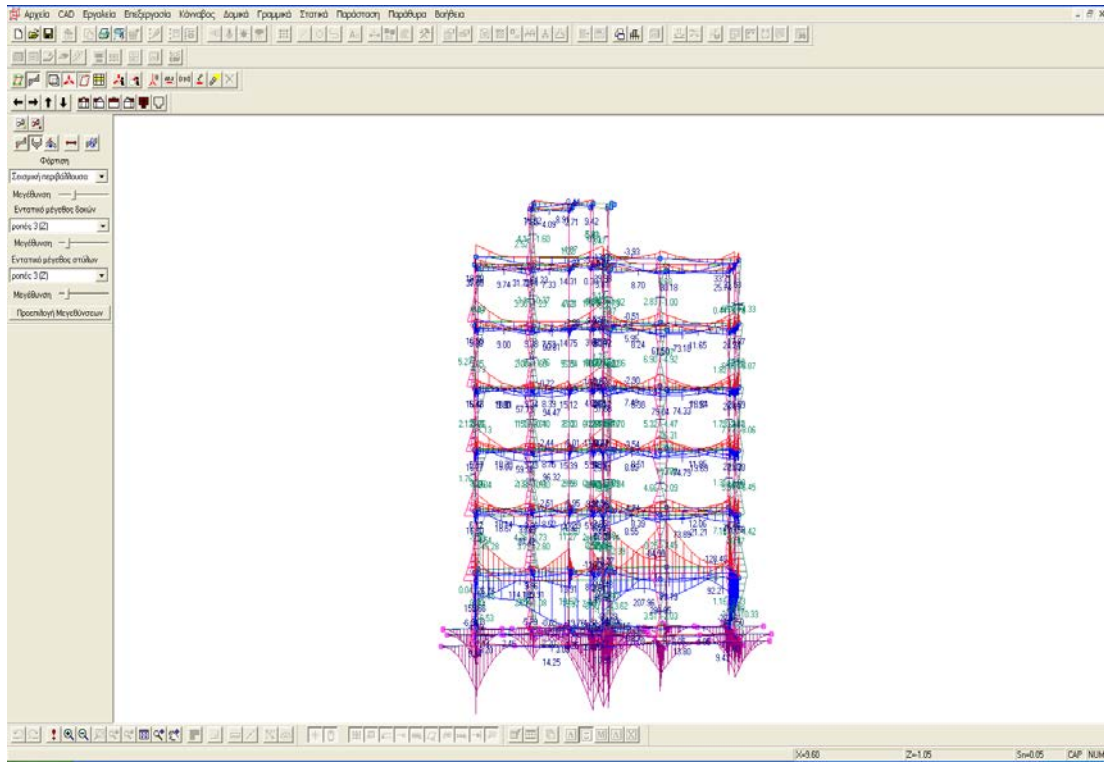
Εικόνα 4.11 Τρισδιάστατη αναπαράσταση κτιρίου 2



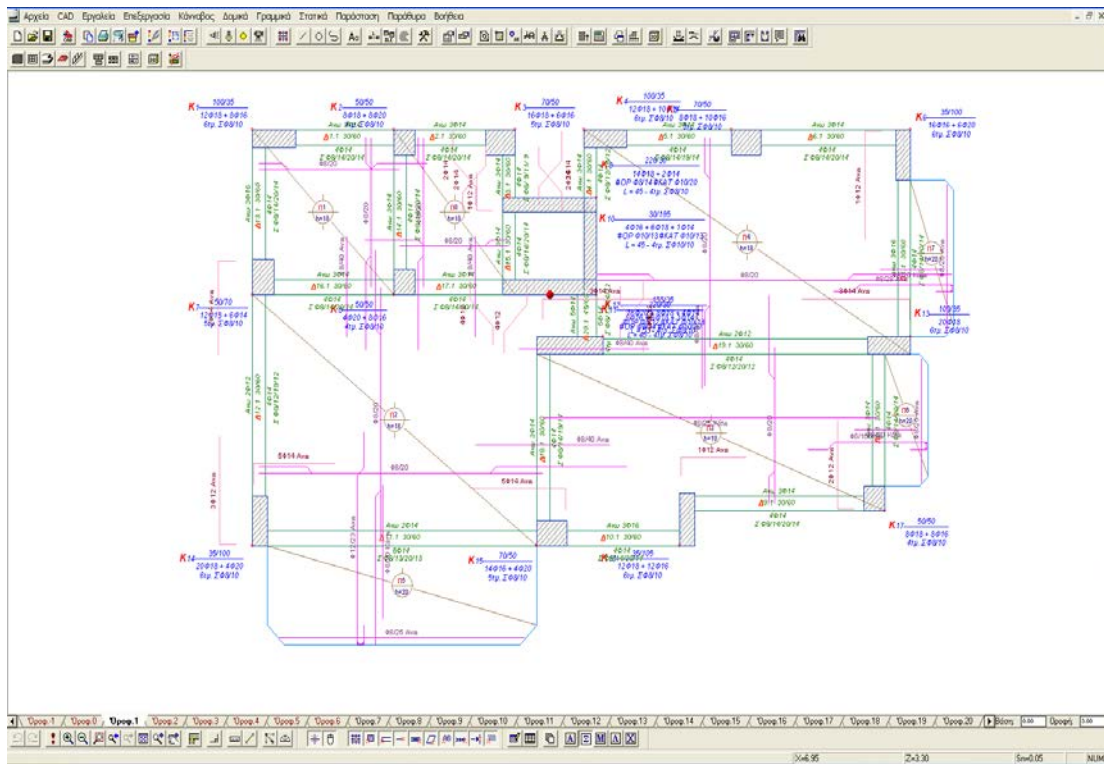
Εικόνα 4.12 Τρισδιάστατη απεικόνιση κόμβων κτιρίου 2



Εικόνα 4.13 Παραμορφωμένη κατάσταση κτιρίου 2 κατά τον σεισμό



Εικόνα 4.14 Διαγράμματα ροτών για $\alpha=0,16$ και $q=3,5$ κτιρίου 2



Εικόνα 4.15 Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,16$ και $q=3,5$ κτιρίου 2

Βάρος σιδηρού οπλισμού [Kgr]				
A/A	Πλάκα	Δοκός	Στύλος	Σύνολο
Όροφος -1	-	13408,55	-	13408,55
Όροφος 0	626,2	4567,05	3676,35	9369,55
Όροφος 1	883,7	1160,55	3696,15	6240,3
Όροφος 2	883,7	1173,05	3488,15	6044,8
Όροφος 3	883,7	1166,55	3576,8	6126,95
Όροφος 4	883,7	1152,05	4191,05	6726,7
Όροφος 5	763,8	1061,05	3902,35	6227,1
Όροφος 6	57,6	186,5	1375,05	1619,1
Σύνολο	4982,4	23877,35	23905,5	52765,25

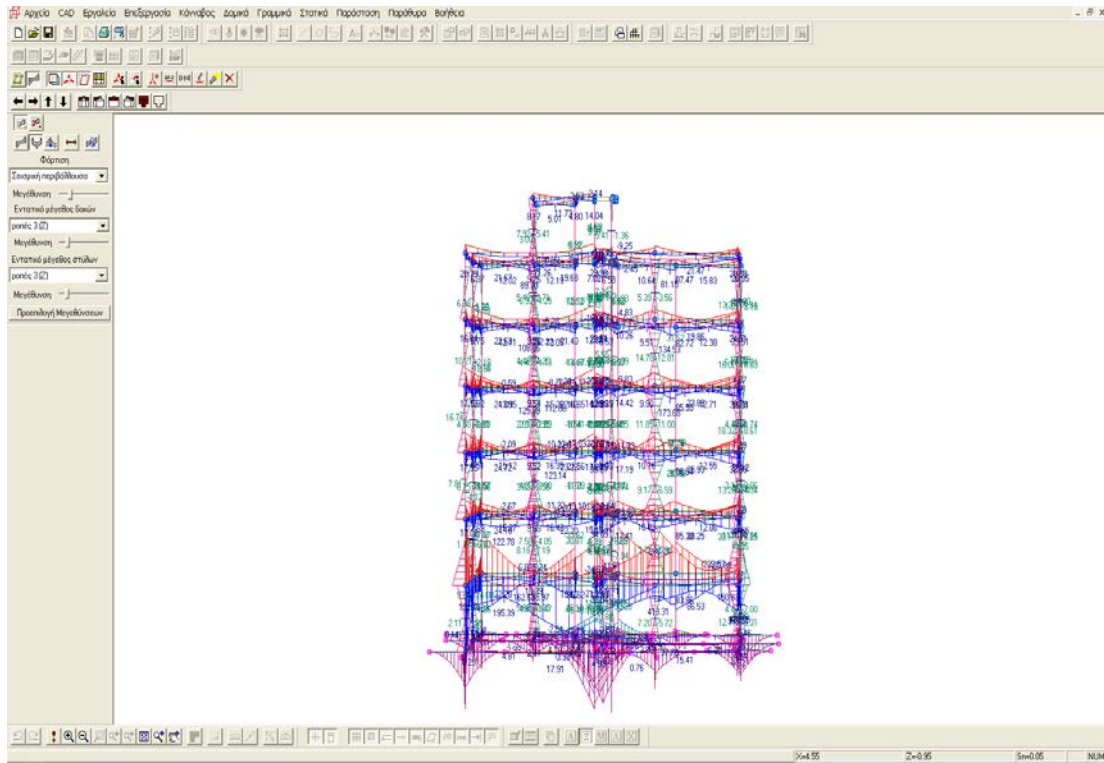
Πίνακας 4.7.1 Ποσότητες σιδηρού οπλισμού ανά όροφο κτιρίου 2

Διαμ. [mm]	Μήκος [m]	Βάρος [Kgr]
Φ8	37107,85	13639,45
Φ10	3418,4	2107,45
Φ12	895,15	795,6
Φ14	4196,15	5055,8
Φ16	5661,8	8435,7
Φ18	3327,3	6146,55
Φ20	7130,75	16584,65

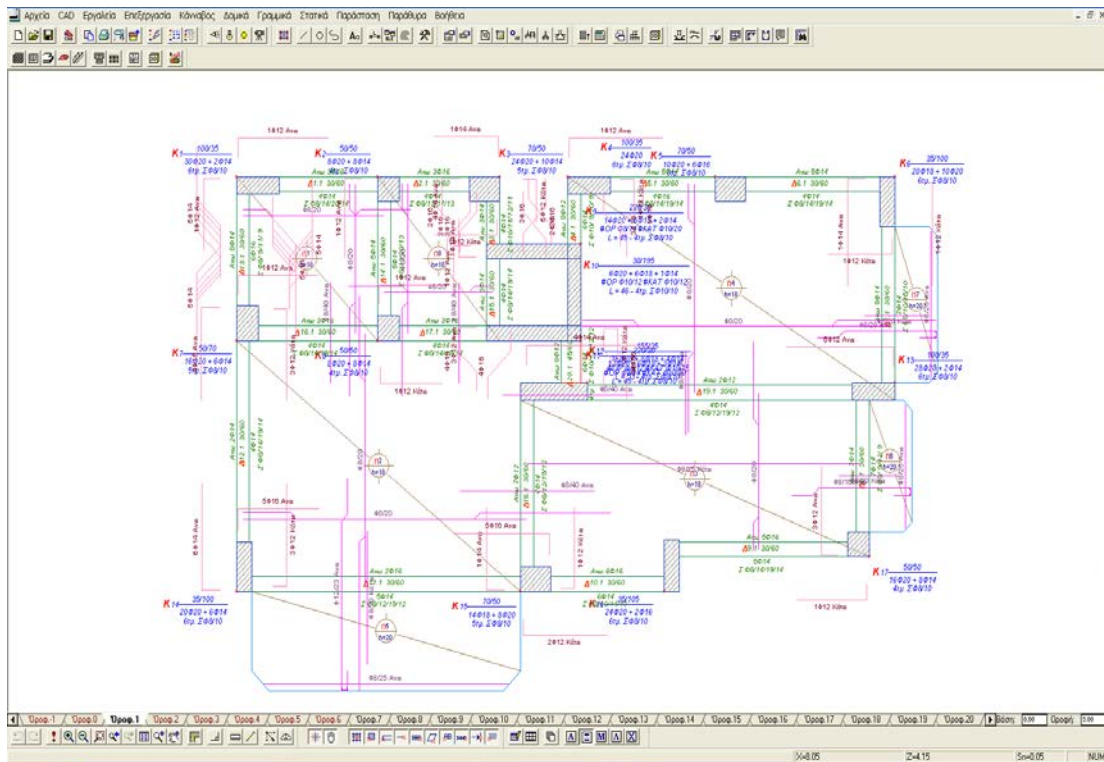
Πίνακας 4.7.2 Συνολικές ποσότητες σιδηρού οπλισμού κτιρίου 2

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2781, 5	Βάρος σιδ. οπλισμού [Kgr]	52765,2 5
Αφαιρούνται	[m ²]	65,9	Όγκος Σκυροδέματος [m ³]	596,55
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2715, 6	Αναλογία Σιδ/Σκυροδ. [Kgr/m ³]	93,5

Πίνακας 4.7.3 Συνολικές ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού κτιρίου 2



Εικόνα 4.16 Διαγράμματα ροπών για $\alpha=0,16$ και $q=1,5$ κτιρίου 2



Εικόνα 4.17 Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,16$ και $q=1,5$ κτιρίου 2

Βάρος σιδηρού οπλισμού [Kgr]				
A/A	Πλάκα	Δοκός	Στύλος	Σύνολο
Όροφος -1	-	13803,05	-	13803,05
Όροφος 0	626,2	4609,55	5345,9	10581,65
Όροφος 1	883,7	1696,05	5437,55	8017,2
Όροφος 2	883,7	1854,05	5271,65	7609,25
Όροφος 3	883,7	1680,05	4894,5	7258,15
Όροφος 4	883,7	1391,55	4597,1	6672,3
Όροφος 5	763,8	1113,05	4236,6	5913,35
Όροφος 6	57,6	186,5	1370,5	1614,6
Σύνολο	4982,4	26933,85	31153,8	63069,05

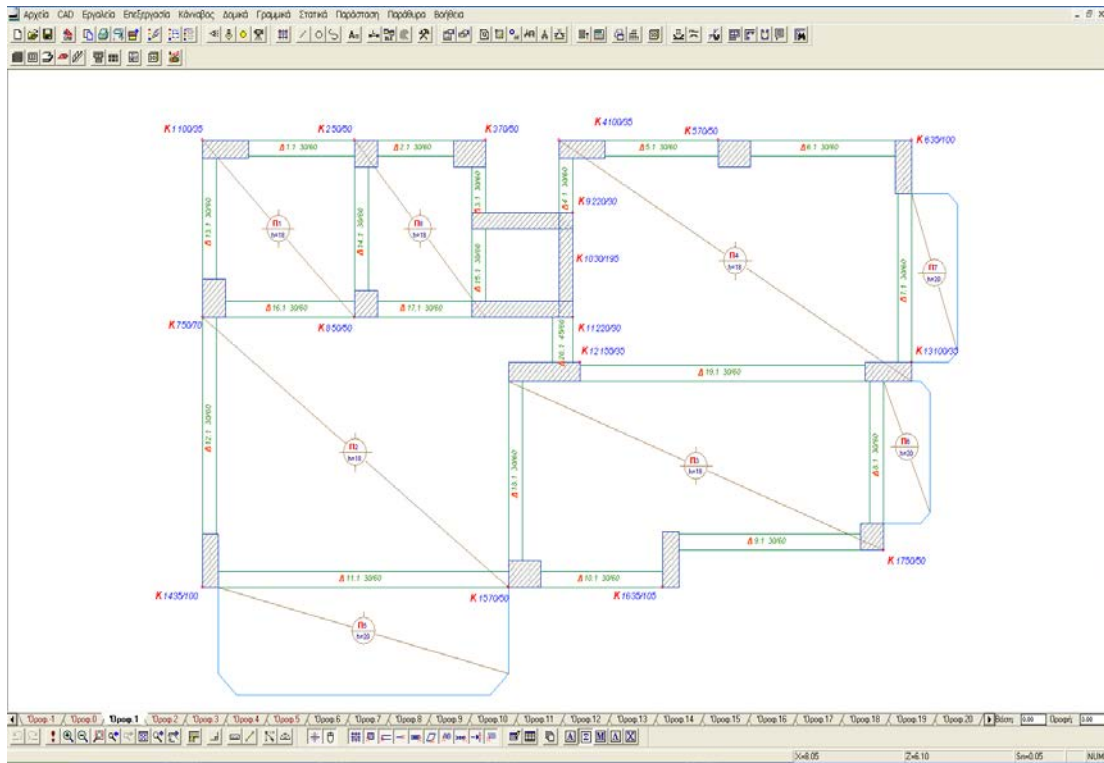
Πίνακας 4.8.1 Ποσότητες σιδηρού οπλισμού ανά όροφο κτιρίου 2

Διαμ. [mm]	Μήκος [m]	Βάρος [Kgr]
Φ8	37218,15	15185,35
Φ10	3593,85	2215,15
Φ12	1478,15	1309,6
Φ14	4413,15	5828,95
Φ16	5604,2	9347,75
Φ18	2682,6	5858,35
Φ20	9458,15	23324,35

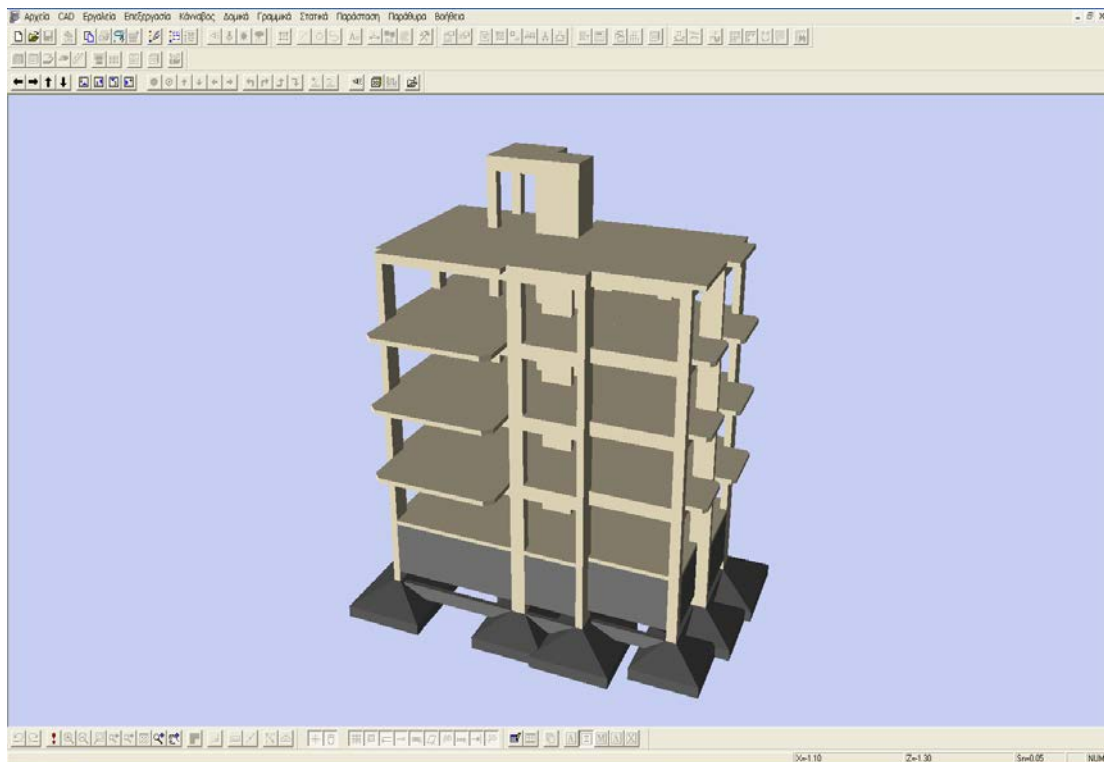
Πίνακας 4.8.2 Συνολικές ποσότητες σιδηρού οπλισμού κτιρίου 2

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2781, 5	Βάρος σιδ. οπλισμού [Kgr]	63069,0 5
Αφαιρούνται	[m ²]	65,9	Όγκος Σκυροδέματος [m ³]	596,55
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2715, 6	Αναλογία Σιδ/Σκυροδ. [Kgr/m ³]	102,35

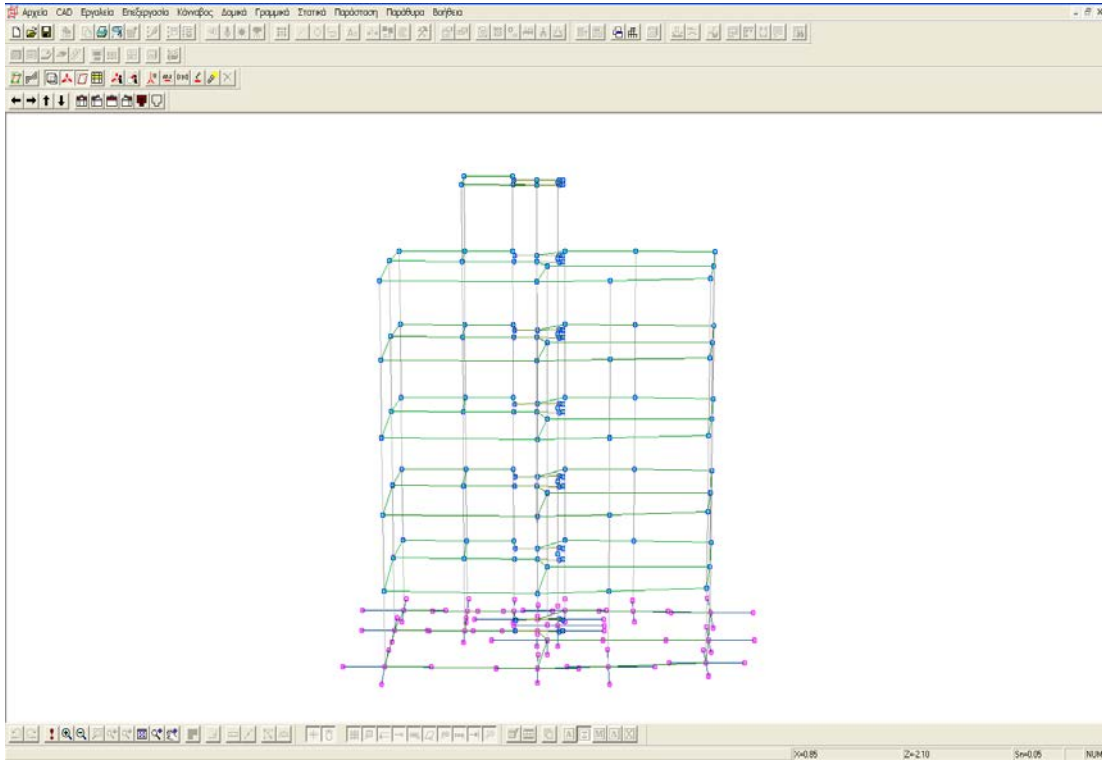
Πίνακας 4.8.3 Συνολικές ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού κτιρίου 2



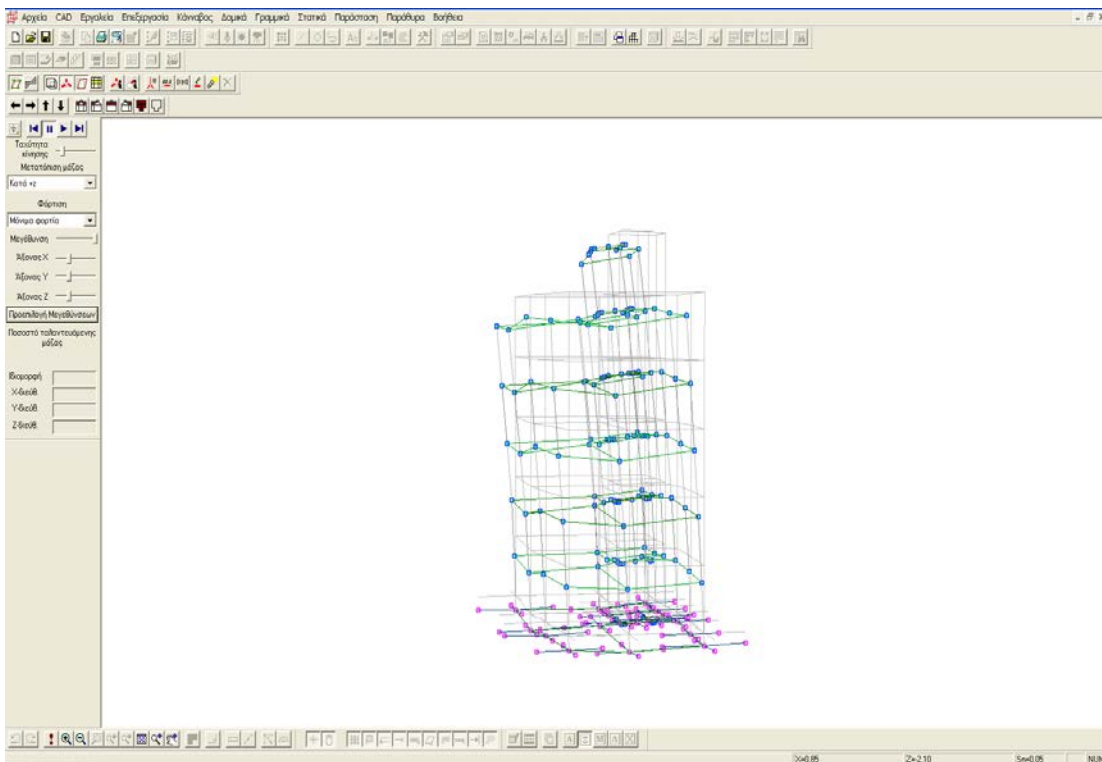
Εικόνα 4.18 Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,24$ κτιρίου 3



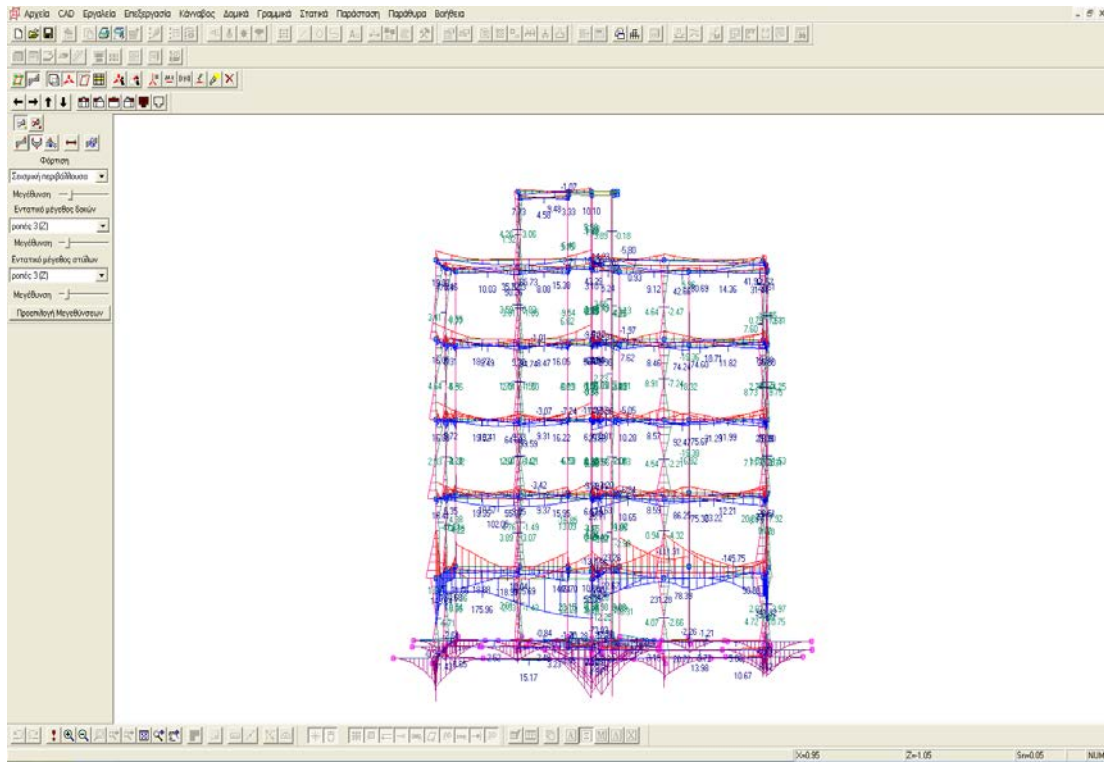
Εικόνα 4.19 Τρισδιάστατη αναπαράσταση κτιρίου 3



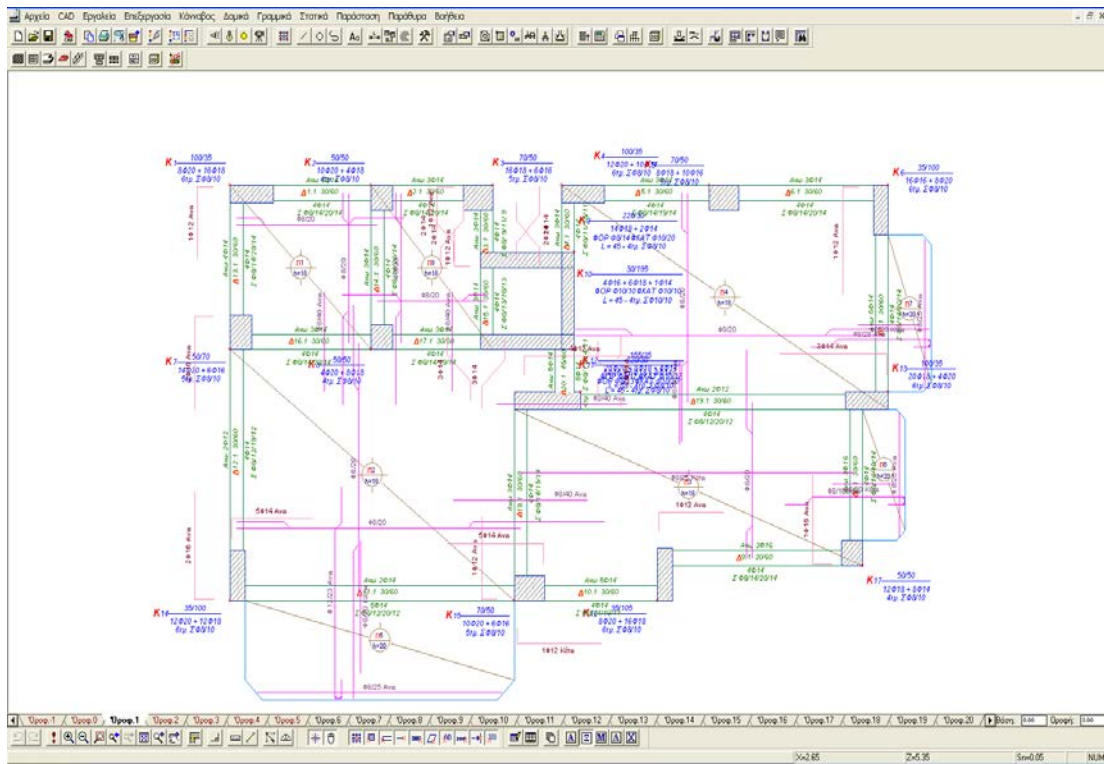
Εικόνα 4.20 Τρισδιάστατη απεικόνιση κόμβων κτιρίου 3



Εικόνα 4.21 Παραμορφωμένη κατάσταση κατά τον σεισμό κτιρίου 3



Εικόνα 4.22 Διαγράμματα ροτών για $\alpha=0,24$ και $q=3,5$ κτιρίου 3



Εικόνα 4.23 Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,24$ και $q=3,5$ κτιρίου 3

Βάρος σιδηρού οπλισμού [Kgr]				
A/A	Πλάκα	Δοκός	Στύλος	Σύνολο
Όροφος -1	-	13408,75	-	13408,55
Όροφος 0	626,2	4569,05	4394,3	9589,5
Όροφος 1	883,7	1197,15	4564,95	6645,6
Όροφος 2	883,7	1218,05	4371,65	6473,35
Όροφος 3	883,7	1185,05	4821,8	6890,5
Όροφος 4	763,8	1092,75	4481,05	6337,3
Όροφος 5	57,6	186,7	1375,05	1619,15
Σύνολο	4098,7	22856,78	24008,8	50263,95

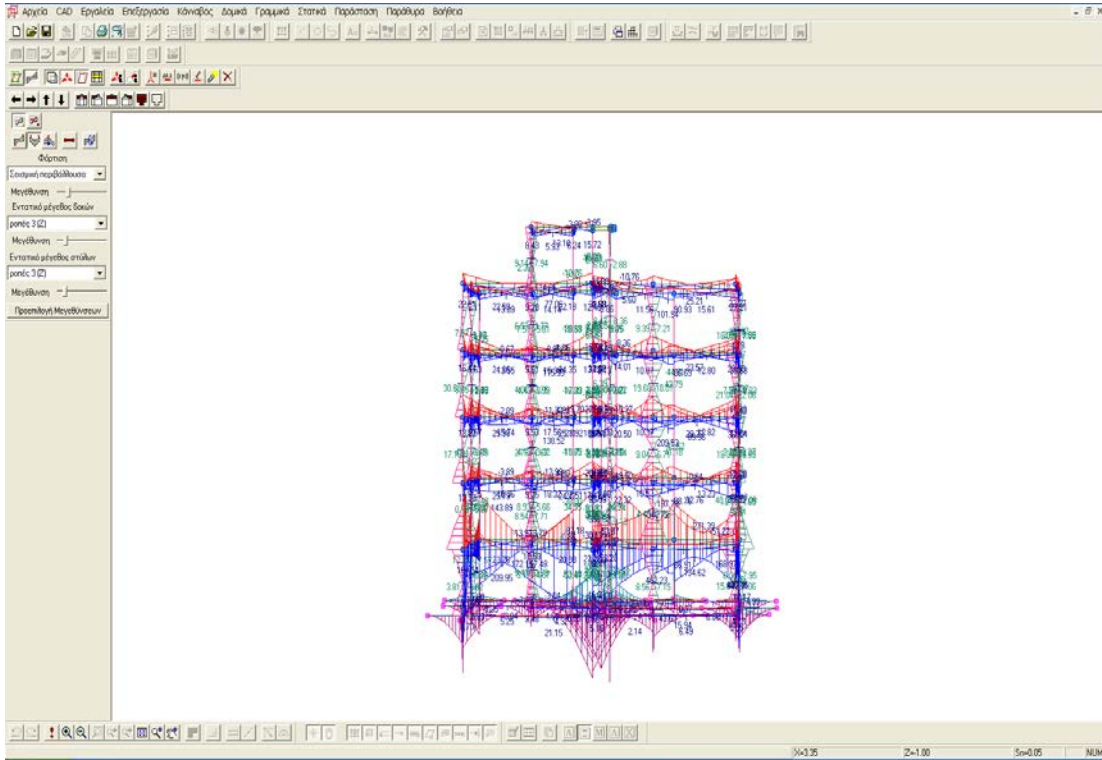
Πίνακας 4.9.1 Ποσότητες σιδηρού οπλισμού ανά όροφο κτιρίου 3

Διαμ. [mm]	Μήκος [m]	Βάρος [Kgr]
Φ8	30923,7	12000,1
Φ10	3211,4	1980
Φ12	628,5	558,2
Φ14	3700,7	4463,15
Φ16	4974,4	7351,4
Φ18	2666,85	5327,25
Φ20	7535,85	18583,8

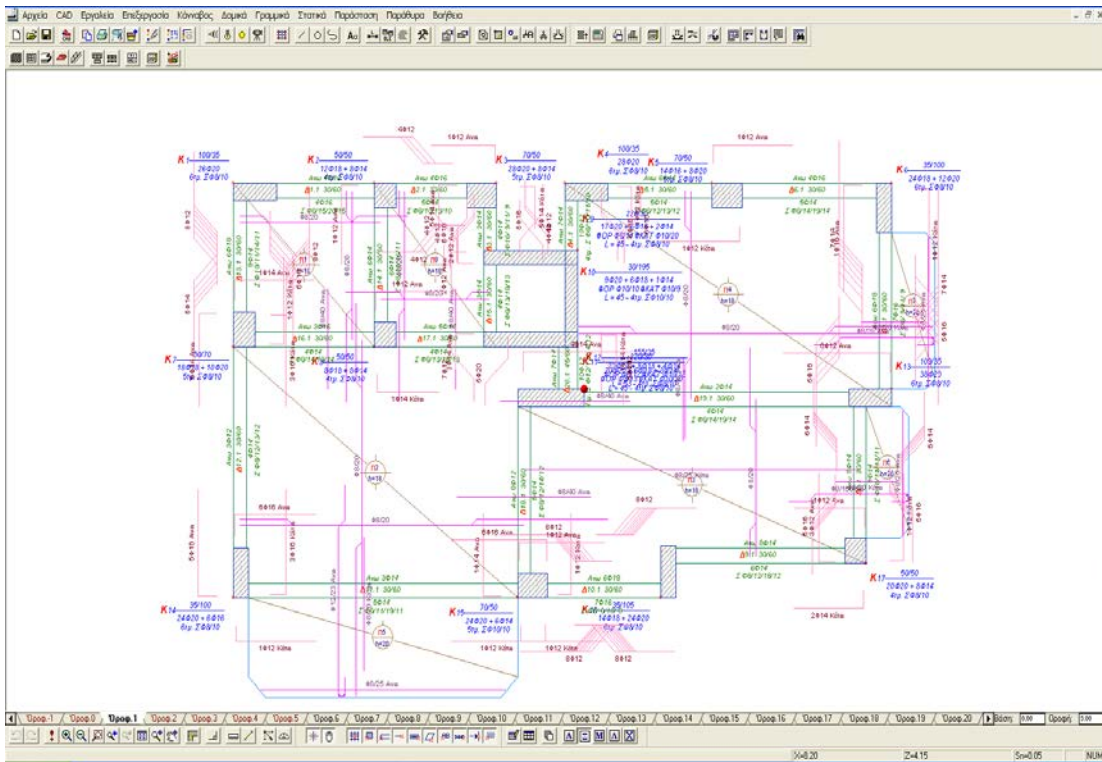
Πίνακας 4.9.2 Συνολικές ποσότητες σιδηρού οπλισμού κτιρίου 3

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2420, 9	Βάρος σιδ. οπλισμού [Kgr]	50263,9 5
Αφαιρούνται	[m ²]	58,7	Όγκος Σκυροδέματος [m ³]	540,15
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2362, 2	Αναλογία Σιδ/Σκυροδ. [Kgr/m ³]	94,35

Πίνακας 4.9.3 Συνολικές ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού κτιρίου 3



Εικόνα 4.24 Διαγράμματα ροτών για $\alpha=0,24$ και $q=1,5$ κτιρίου 3



Εικόνα 4.25 Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,24$ και $q=1,5$ κτιρίου 3

Βάρος σιδηρού οπλισμού [Kgr]				
A/A	Πλάκα	Δοκός	Στύλος	Σύνολο
Όροφος -1	-	13803,05	-	13803,05
Όροφος 0	626,2	4701,05	6883,75	11510,95
Όροφος 1	883,7	2258,55	6561,3	9403,45
Όροφος 2	883,7	2316,55	6178,05	8878,2
Όροφος 3	883,7	1798,05	6298,15	7980,15
Όροφος 4	763,8	1255,05	5511,3	6530,05
Όροφος 5	57,6	194,05	1409,35	1660,9
Σύνολο	4098,7	26225,3	30464,85	60766,85

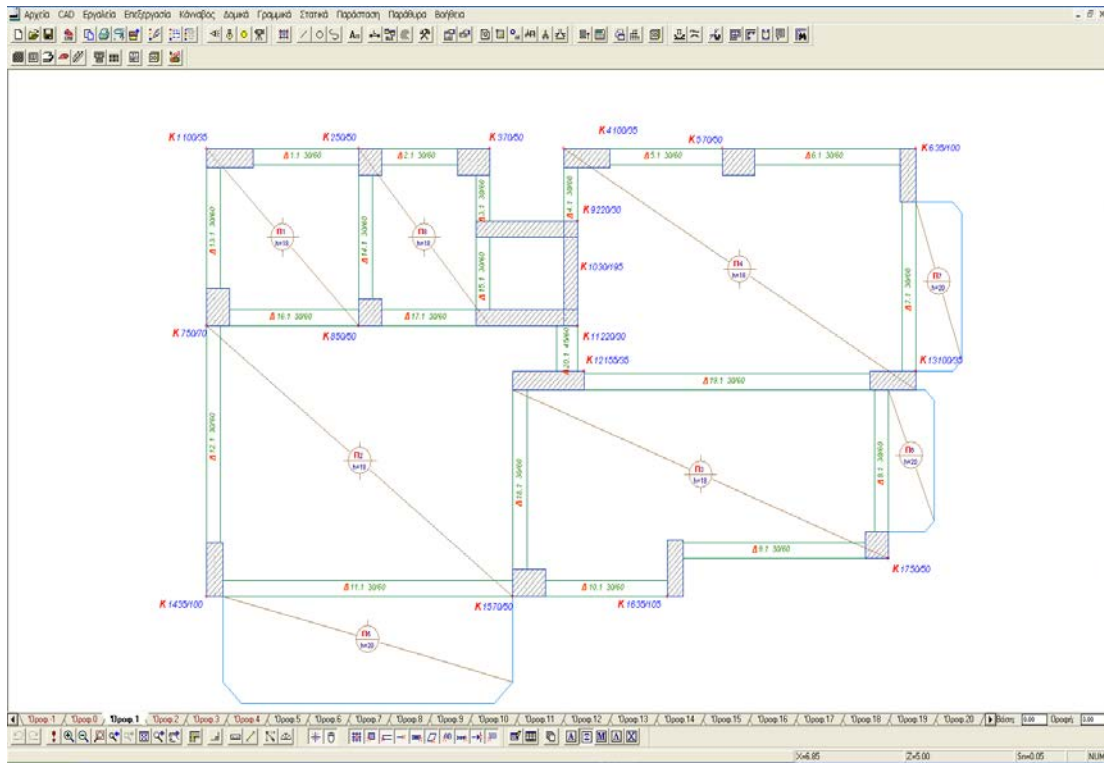
Πίνακας 4.10.1 Ποσότητες σιδηρού οπλισμού ανά όροφο κτιρίου 3

Διαμ. [mm]	Μήκος [m]	Βάρος [Kgr]
Φ8	30213,5	11921,7
Φ10	4185,8	2580,8
Φ12	1326	1175,7
Φ14	4159,3	5522,55
Φ16	5193,3	8601
Φ18	2630,35	5754,75
Φ20	10223,1	25210,3

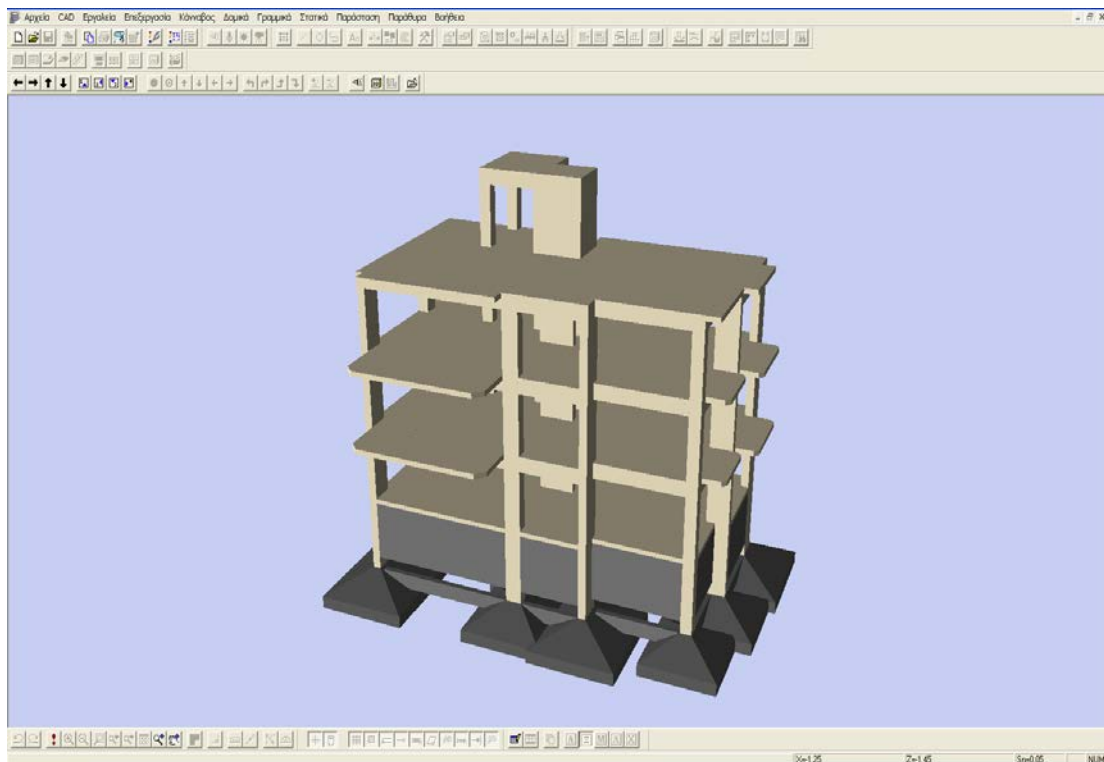
Πίνακας 4.10.2 Συνολικές ποσότητες σιδηρού οπλισμού κτιρίου 3

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2420,9	Βάρος σιδ. οπλισμού [Kgr]	60766,85
Αφαιρούνται	[m ²]	58,7	Όγκος Σκυροδέματος [m ³]	540,15
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2362,2	Αναλογία Σιδ/Σκυροδ.]	109,9

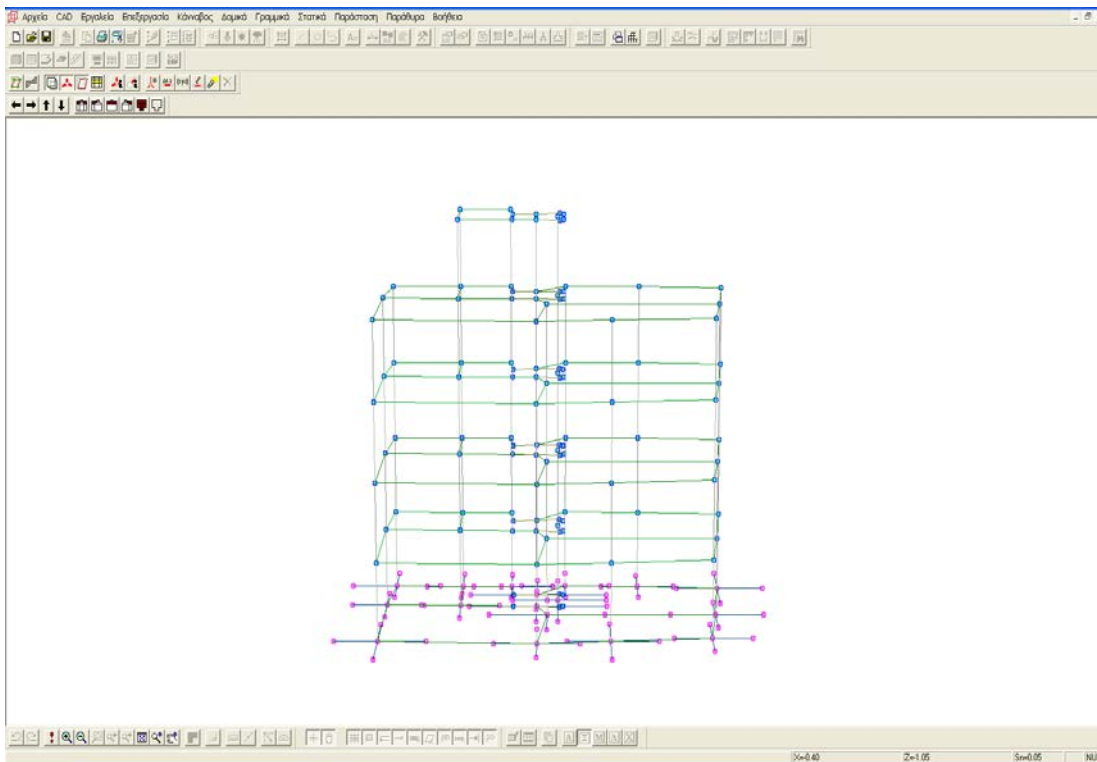
Πίνακας 4.10.3 Συνολικές ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού κτιρίου 3



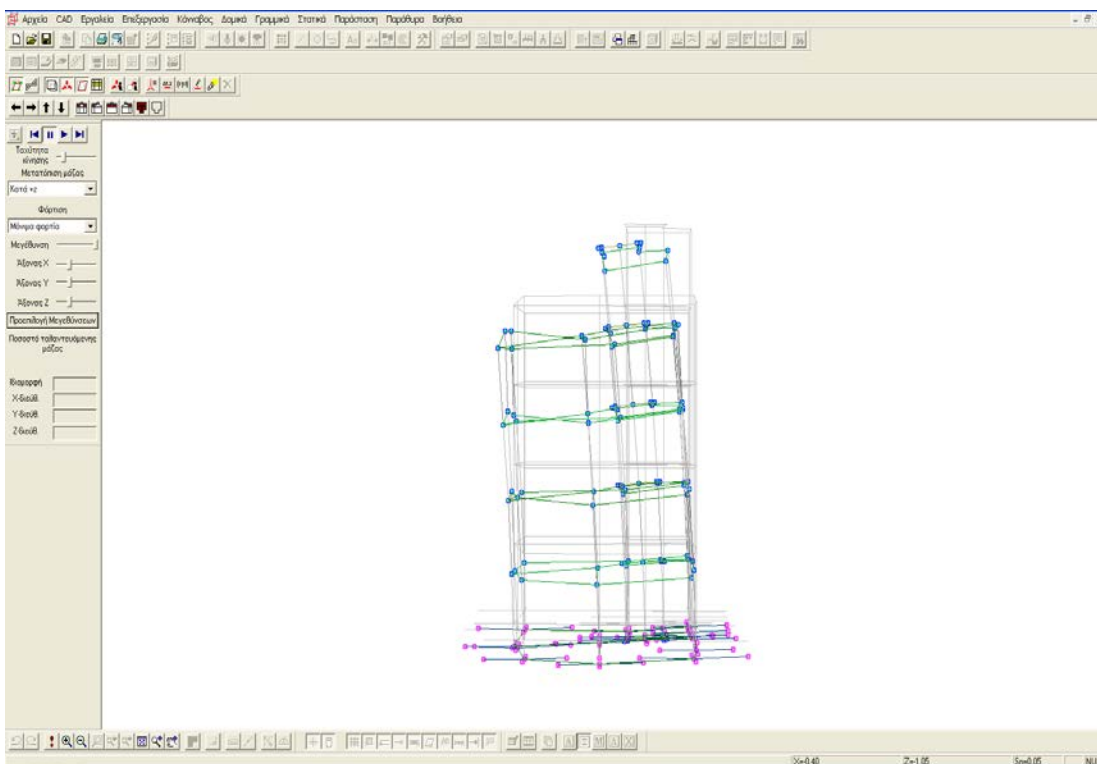
Εικόνα 4.26 Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,36$ κτιρίου 4



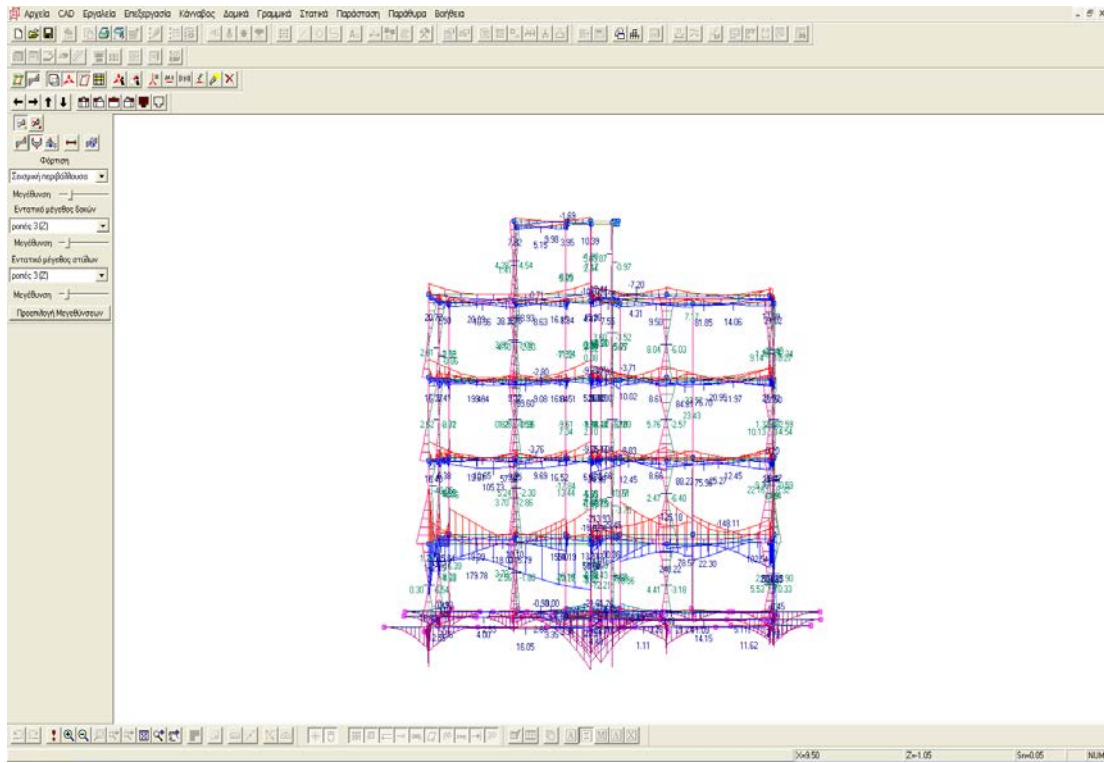
Εικόνα 4.27 Τρισδιάστατη αναπαράσταση κτιρίου 4



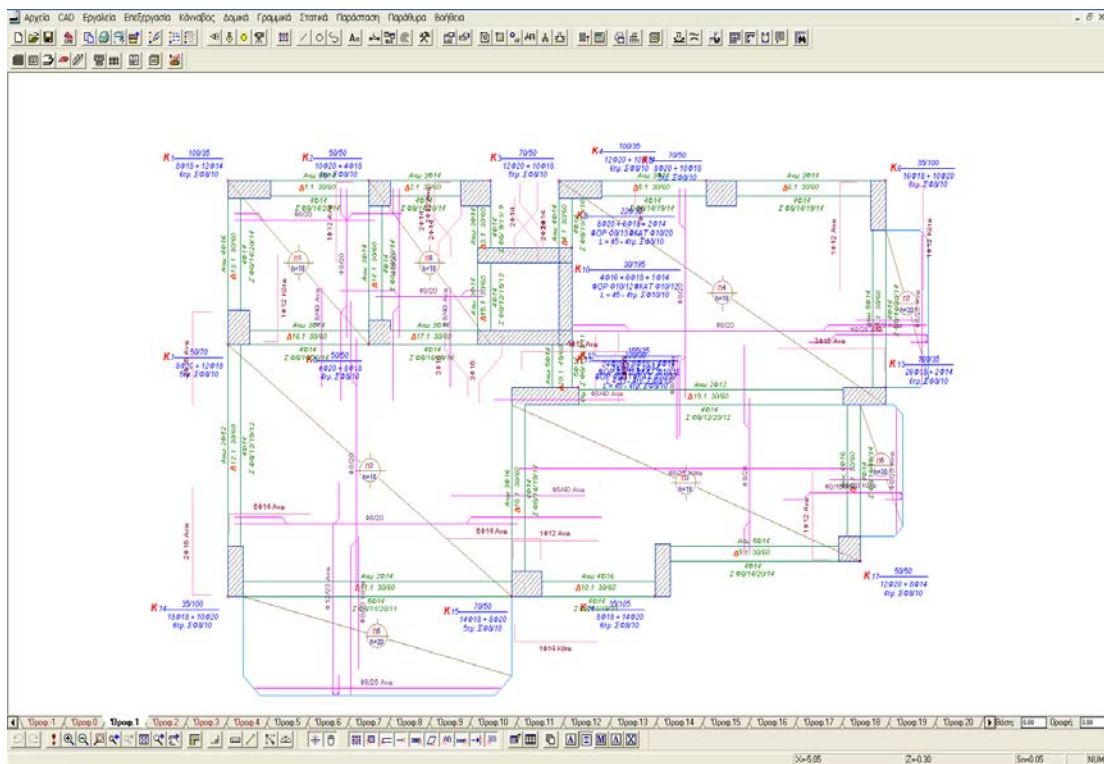
Εικόνα 4.28 Τρισδιάστατη απεικόνιση κόμβων κτιρίου 4



Εικόνα 4.29 Παραμορφωμένη κατάσταση κατά τον σεισμό κτιρίου 4



Εικόνα 4.30 Διαγράμματα ροτών για $\alpha=0,36$ και $q=3,5$ κτιρίου 4



Εικόνα 4.31 Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,36$ και $q=3,5$ κτιρίου 4

Βάρος σιδηρού οπλισμού [Kgr]				
A/A	Πλάκα	Δοκός	Στύλος	Σύνολο
Όροφος -1	-	13405,05	-	13405,05
Όροφος 0	626,2	4569,55	4721,55	9917,25
Όροφος 1	883,7	1253,05	4801	6937,7
Όροφος 2	883,7	1237,05	5066,5	7187,15
Όροφος 3	763,8	1122,55	4626,75	6513
Όροφος 4	57,6	186,5	1394,65	1638,7
Σύνολο	3215	21783,75	20610,45	45608,85

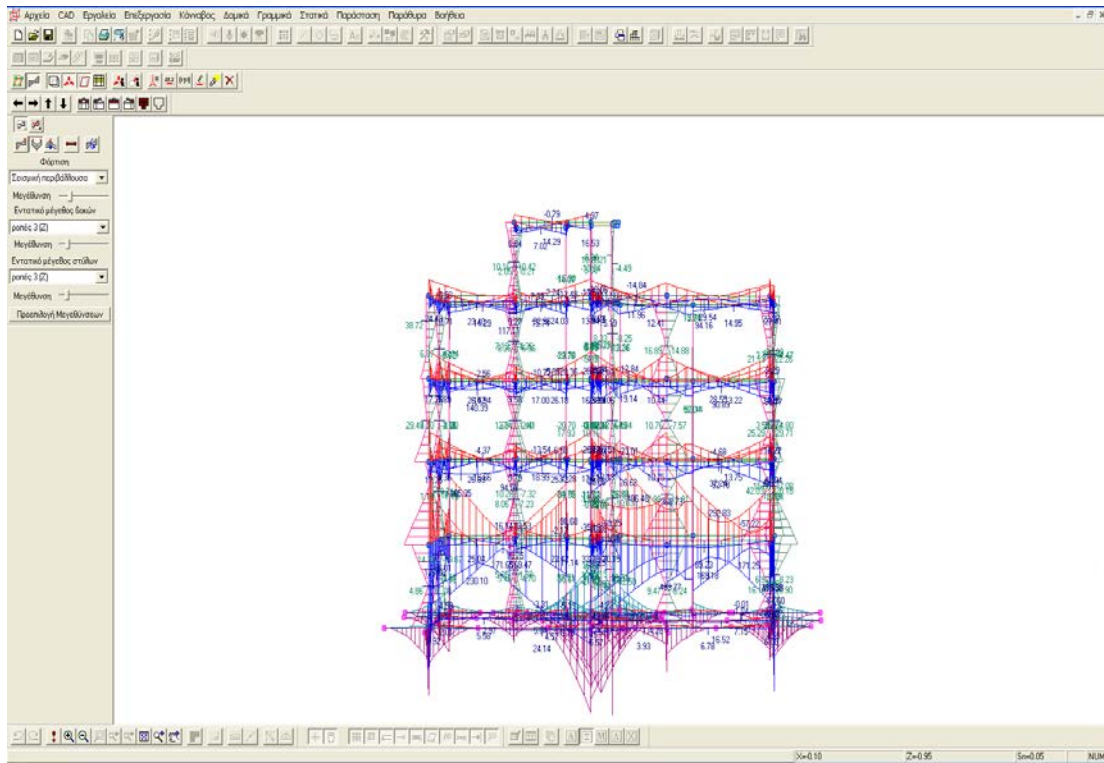
Πίνακας 4.11.1 Ποσότητες σιδηρού οπλισμού ανά όροφο κτιρίου 4

Διαμ. [mm]	Μήκος [m]	Βάρος [Kgr]
Φ8	24734,4	9757,95
Φ10	2906	1791,75
Φ12	536,8	478,3
Φ14	2886,2	3481,2
Φ16	4034,6	6367,7
Φ18	2566,5	5126,85
Φ20	7544,5	18605,05

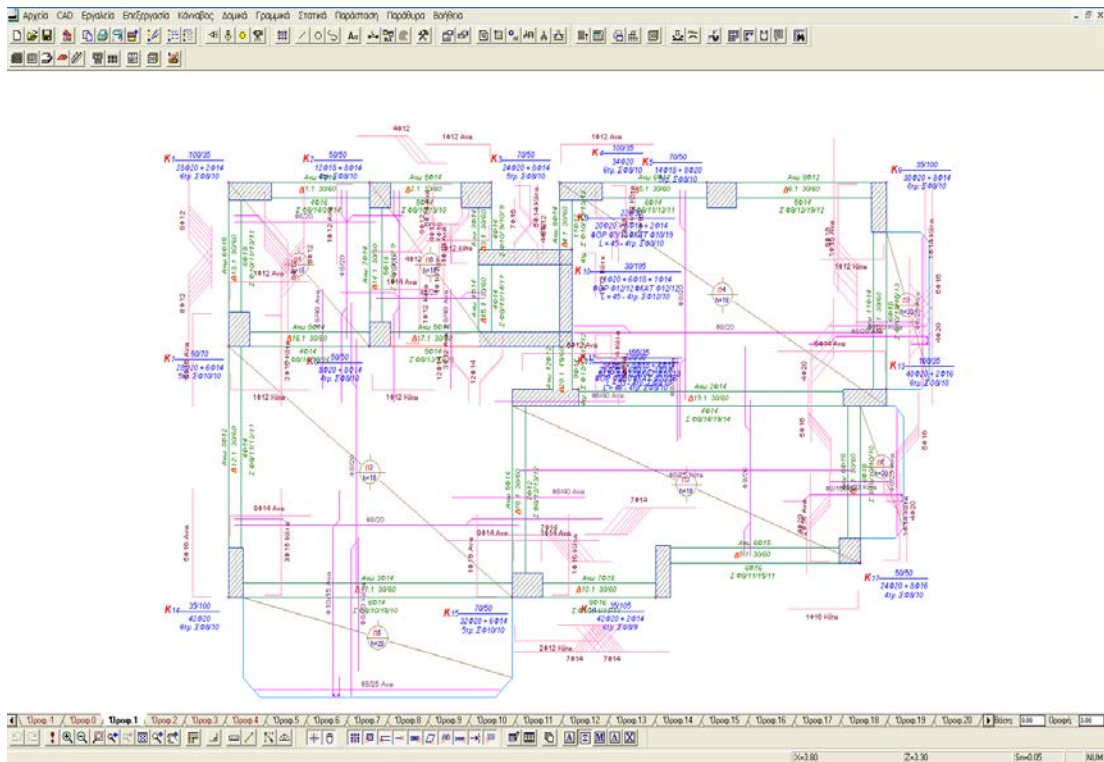
Πίνακας 4.11.2 Συνολικές ποσότητες σιδηρού οπλισμού κτιρίου 4

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2060, 3	Βάρος οπλισμού	σιδ. [Kgr]	45608,8 5
Αφαιρούνται	[m ²]	51,5	Όγκος Σκυροδέματος	[m ³]	483,7
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2008, 8	Αναλογία Σιδ/Σκυροδ.	[Kgr/m ³]	94,3

Πίνακας 4.11.3 Συνολικές ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού κτιρίου 4



Εικόνα 4.32 Διαγράμματα ροπών για $\alpha=0,36$ και $q=1,5$ κτιρίου 4



Εικόνα 4.33 Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,36$ και $q=1,5$ κτιρίου 4

Βάρος σιδηρού οπλισμού [Kgr]				
A/A	Πλάκα	Δοκός	Στύλος	Σύνολο
Όροφος -1	-	13805,55	-	13805,55
Όροφος 0	626,2	4794,05	7011,3	12431,5
Όροφος 1	887,45	2545,05	7184,15	10616,55
Όροφος 2	887,45	2430,55	6336,05	9654
Όροφος 3	763,8	1446,55	4998,1	7208,35
Όροφος 4	57,6	194,05	1471,6	1723,15
Σύνολο	3222,5	24815,8	27001,8	55039,1

Πίνακας 4.12.1 Ποσότητες σιδηρού οπλισμού ανά όροφο κτιρίου 4

Διαμ. [mm]	Μήκος [m]	Βάρος [Kgr]
Φ8	23255,45	9174
Φ10	4065,8	2506,85
Φ12	1990,3	1764,95
Φ14	3425,3	4138,95
Φ16	4522,5	7143,15
Φ18	1676,15	3346,15
Φ20	10934,45	26965

Πίνακας 4.12.2 Συνολικές ποσότητες σιδηρού οπλισμού κτιρίου 4

Επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2060,3	Βάρος σιδ. οπλισμού [Kgr]	55039,1
Αφαιρούνται	[m ²]	51,5	Όγκος Σκυροδέματος [m ³]	483,7
Ολική επιφάνεια ξυλοτύπου	[m ²]	2008,8	Αναλογία Σιδ/Σκυροδ. [Kgr/m ³]	113,8

Πίνακας 4.12.3 Συνολικές ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού κτιρίου 4

Με τις παραπάνω επιλύσεις μπορούμε τώρα να εμβαθύνουμε τις έρευνες μας για το τι συμβαίνει στην κατασκευή διαστασιολογώντας με διαφορετικούς δείκτες συμπεριφοράς κάθε φορά και στις τρεις ζώνες. Δηλαδή μπορούμε να διαπιστώσουμε τι μεταβολές έχουμε στον οπλισμό αλλά και πόσο μεταβάλλεται το κόστος εάν λάβουμε υπ' όψιν μας ότι οι τιμές στην αγορά για το μπετόν είναι 64 €/m³ για ποιότητα C20/25 και για τον χάλυβα 0,64 €/Kgr.

Ξεκινώντας από την ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I όπου πήραμε μια πενταώροφη κατασκευή για επίλυση, για δείκτη σεισμικής συμπεριφοράς $q=3,5$ ο απαιτούμενος οπλισμός είναι 52765,25 Kgr χάλυβα B500C ενώ για συντελεστή $q=1,5$ ο οπλισμός φτάνει τα 63069,05 Kgr. Η αύξηση του απαιτούμενου οπλισμού που σημειώθηκε εδώ είναι 19,5% και η αύξηση που θα σημειωθεί στην τιμή της κατασκευής θα είναι 9,2%. Για την ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II όπου πήραμε μια τετραώροφη κατασκευή για επίλυση, για δείκτη σεισμικής συμπεριφοράς $q=3,5$ ο απαιτούμενος οπλισμός είναι 50263,95 Kgr χάλυβα B500C ενώ για συντελεστή $q=1,5$ ο οπλισμός αυτός αγγίζει τα 60766,85 Kgr. Η αύξηση του απαιτούμενου οπλισμού που παρατηρείται εδώ είναι 20,9% και όσο για την αύξηση στο κόστος της κατασκευής αυτή θα είναι της τάξεως του 9,9%. Τέλος για την ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας III όπου πήραμε μια τριώροφη κατασκευή, έχουμε ότι για δείκτη σεισμικής συμπεριφοράς $q=3,5$ ο απαιτούμενος οπλισμός είναι 45608,85 Kgr χάλυβα B500C ενώ για συντελεστή $q=1,5$ ο οπλισμός αυτός ανέρχεται στα 55039,1 Kgr. Η αύξηση του απαιτούμενου οπλισμού που παρατηρήθηκε είναι της τάξεως του 20,7% ενώ η αύξηση στο κόστος της κατασκευής θα είναι 10% για διαστασιολόγηση με $q=1,5$ αντί για $q=3,5$.

Ένα άλλο χρήσιμο σημείο θα ήταν να διαπιστώναμε ποια σημεία της κατασκευής μας είναι αυτά που δέχονται την αύξηση αυτή του οπλισμού και σε ποιον βαθμό. Εάν ξεκινήσουμε από την ζώνη I, παρατηρώντας τα αποτελέσματα των οπλισμών ανά όροφο, μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι ο οπλισμός των πλακών δεν μεταβάλλεται καθόλου με την αλλαγή του δείκτη συμπεριφοράς από $q=3,5$ σε $q=1,5$. Αντίθετα μεγάλη αύξηση στον οπλισμό παρατηρείται στις στύλους όπου αγγίζει το 29% ενώ στις δοκούς η αύξηση αυτή είναι μόλις 14%. Στην ζώνη II ο οπλισμός των πλακών επίσης δεν παρουσιάζει κάποια μεταβολή από τον ένα δείκτη στον άλλον ενώ οι στύλοι παρουσιάζουν μια αύξηση της τάξεως του 26,7% και στις δοκούς η αύξηση αυτή είναι 14,9%. Τέλος, για την ζώνη III οι πλάκες εξακολουθούν να μην έχουν κάποια μεταβολή στον οπλισμό τους σε

αντίθεση με τις στύλους που παρουσιάζουν μια αύξηση 30% ενώ οι δοκοί 14,2%.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ολοκληρώνοντας τις διαδικασίες τις επιλύσεις των κατασκευών μας και φτάνοντας στο τέλος της πτυχιακής μας εργασίας, βγάλαμε διάφορα χρήσιμα συμπεράσματα για τη συμπεριφορά της κατασκευής σε κάθε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας (I,II,III) και για διάφορους συντελεστές σεισμικής συμπεριφοράς($q=1,5$ και $q=3,5$). Συγκεκριμένα για το πώς μεταβάλλεται ο σιδηρός οπλισμός και ο όγκος του σκυροδέματος, σε ποια δομικά στοιχεία της κατασκευής καθώς και πως μεταφράζονται αυτά σε κόστος.

- Για μια κατασκευή με σταθερές διατομές υπολογισμένες έτσι ώστε να αντέχουν στον δυσμενέστερο συνδυασμό ζώνης και q (ζώνη III & $q=1,5$), παρατηρήσαμε, δοκιμάζοντας κάθε δυνατό συνδυασμό, ότι όσο πλησιάζαμε την ζώνη I οι μεταβολές που παρουσιάζονταν στον οπλισμό για $q=1,5$ και $q=3,5$ ήταν όλο και μικρότερες. Βέβαια στις ζώνες I,II η κατασκευή μας είναι υπερδιαστασιολογημένη αφού χρησιμοποιείται παραπάνω σιδηρός οπλισμός απ' όσος θα απαιτούσε η εκάστοτε ζώνη υπό κανονική διαστασιολόγηση.
- Για την ίδια κατασκευή αλλά με διαφοροποιημένες διατομές ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε ζώνης, παρατηρήσαμε ότι και στις τρεις ζώνες ανάμεσα στους συντελεστές $q=1,5$ και $q=3,5$ παρουσιάστηκε μία αύξηση του σιδηρού οπλισμού της τάξης του 20% δηλαδή μία αύξηση του κόστους κατά 10% μόλις.
- Για την ίδια κατασκευή ξανά με διαφοροποιημένες διατομές ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε ζώνης, από την μια ζώνη στην άλλη, παρατηρήσαμε ότι και για τους δύο συντελεστές ($q=1,5$ και $q=3,5$) υπήρξε μια μεγάλη αύξηση τόσο του σιδηρού οπλισμού όσο και του όγκου σκυροδέματος με το συνολικό κόστος να αυξάνεται κατά 30% - 35%. Αυτό παρουσιάστηκε και κατά την μετάβαση από την ζώνη I στην ζώνη II αλλά και από την ζώνη II στην ζώνη III.
- Ένα άλλο χρήσιμο συμπέρασμα που βγάλαμε είναι ότι σε όλες τις περιπτώσεις που παρουσιάστηκαν μεταβολές στον οπλισμό, οι μεταβολές αυτές παρατηρήθηκαν κυρίως στα υποστυλώματα με

ποσοστό 26% – 29%, στις δοκούς με ποσοστό 14% – 16% ενώ οι πλάκες έμειναν ανέπαφες από τις μεταβολές σε όλες τις περιπτώσεις.

Σε μια ιδιαίτερα σεισμογενή χώρα όπως είναι η Ελλάδα το κύριο μέλημα του Μηχανικού είναι η αντισεισμική θωράκιση της κατασκευής και η εξασφάλιση της στατικότητας έναντι σεισμού σύμφωνα με τους ελληνικούς κανονισμούς και τις προδιαγραφές των υλικών που αυτοί υπαγορεύουν με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Παρ' όλα αυτά, κατά την δράση του σεισμού υπάρχει ανασφάλεια καθώς οι γνώσεις μας για τους σεισμούς ακόμα και σήμερα είναι ελλιπείς.

Εμείς σαν υποψήφιοι Μηχανικοί Τεχνολογικής Εκπαίδευσης, πραγματώνοντας την πτυχιακή μας εργασία και βγάζοντας τα παραπάνω συμπεράσματα φτάνουμε σε σημείο να αναρωτηθούμε εάν θα μπορούσαμε να πάρουμε κάποια επιπλέον μέτρα υπέρ της ασφάλειας της κατασκευής.

Το να διαστασιολογήσουμε την κατασκευή μας για μια ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας μεγαλύτερη απ' ότι στην πραγματικότητα αυτή βρίσκεται, θα μας εξασφάλιζε πολύ μεγαλύτερη αντοχή έναντι του σεισμού και ουσιαστικά θα ελαχιστοποιούσε την πιθανότητα κατάρρευσης. Αυτό όμως όπως επισημίναμε ανωτέρω θα μας επέφερε μια αύξηση στο κόστος της τάξης του 30% – 35% πράγμα που κάνει την εφαρμογή του πρακτικά δύσκολη έως ανέφικτη.

Αντίθετα όμως εάν διαστασιολογούσαμε την κατασκευή μας με συντελεστή σεισμικής συμπεριφοράς $q=1,5$ αντί για $q=3,5$ που είναι στην πραγματικότητα, θα μας εξασφάλιζε επιπλέον αντοχές στην κατασκευή μας ενώ παράλληλα το κόστος θα ήταν μόλις κατά 10% αυξημένο. Συνεπώς πράττουμε καλά που διαστασιολογούμε με $q=3,5$ η μήπως όχι? Το σίγουρο είναι πως αυτή η εναλλακτική είναι άξια συλλογισμού κατά τη μελέτη μιας κατασκευής αλλά και οικονομικά ανεκτή.

ΕΝΘΕΤΟ

1. Εικόνες

Εικόνα 1.1 - Ενεργά σεισμικά ρήγματα στην Μεσόγειο

Εικόνα 3.1 - Η κεντρική οθόνη του προγράμματος

Εικόνα 4.1 - Ξυλότυπος ισογείου κτιρίου 1

Εικόνα 4.2 - Τρισδιάστατη αναπαράσταση κτιρίου 1

Εικόνα 4.3 - Τρισδιάστατη απεικόνιση κόμβων κτιρίου 1

Εικόνα 4.4 - Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,16$ και $q=1,5$ κτιρίου 1

Εικόνα 4.5 - Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,16$ και $q=3,5$ κτιρίου 1

Εικόνα 4.6 - Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,24$ και $q=1,5$ κτιρίου 1

Εικόνα 4.7 - Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,24$ και $q=3,5$ κτιρίου 1

Εικόνα 4.8 - Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,36$ και $q=1,5$ κτιρίου 1

Εικόνα 4.9 - Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,36$ και $q=3,5$ κτιρίου 1

Εικόνα 4.10 - Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,16$ κτιρίου 2

Εικόνα 4.11 - Τρισδιάστατη αναπαράσταση για $\alpha=0,16$ κτιρίου 2

Εικόνα 4.12 - Τρισδιάστατη απεικόνιση κόμβων για $\alpha=0,16$ κτιρίου 2

Εικόνα 4.13 - Παραμορφωμένη κατάσταση κατά τον σεισμό για $\alpha=0,16$ κτιρίου 2

Εικόνα 4.14 - Διαγράμματα ροπών για $\alpha=0,16$ και $q=3,5$ κτιρίου 2

Εικόνα 4.15 - Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,16$ και $q=3,5$ κτιρίου 2

Εικόνα 4.16 - Διαγράμματα ροπών κτιρίου για $\alpha=0,16$ και $q=1,5$ κτιρίου 2

Εικόνα 4.17 - Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,16$ και $q=1,5$ κτιρίου 2

Εικόνα 4.18 - Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,24$ κτιρίου 3

Εικόνα 4.19 - Τρισδιάστατη αναπαράσταση για $\alpha=0,24$ κτιρίου 3

Εικόνα 4.20 - Τρισδιάστατη απεικόνιση κόμβων για $\alpha=0,24$ κτιρίου 3

Εικόνα 4.21 - Παραμορφωμένη κατάσταση κατά τον σεισμό για $\alpha=0,24$ κτιρίου 3

Εικόνα 4.22 - Διαγράμματα ροπών για $\alpha=0,24$ και $q=3,5$ κτιρίου 3

Εικόνα 4.23 - Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,24$ και $q=3,5$ κτιρίου 3

Εικόνα 4.24 - Διαγράμματα ροπών κτιρίου για $\alpha=0,24$ και $q=1,5$ κτιρίου 3

Εικόνα 4.25 - Ξυλότυπος ισογείου $\alpha=0,24$ και $q=1,5$ κτιρίου 3

Εικόνα 4.26 - Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,36$ κτιρίου 4

Εικόνα 4.27 - Τρισδιάστατη αναπαράσταση για $\alpha=0,36$ κτιρίου 4

Εικόνα 4.28 - Τρισδιάστατη απεικόνιση κόμβων για $\alpha=0,36$ κτιρίου 4

Εικόνα 4.29 - Παραμορφωμένη κατάσταση κατά τον σεισμό για $\alpha=0,36$ κτιρίου 4

Εικόνα 4.30 - Διαγράμματα ροπών για $\alpha=0,36$ και $q=3,5$ κτιρίου 4

Εικόνα 4.31 - Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,36$ και $q=3,5$ κτιρίου 4

Εικόνα 4.32 - Διαγράμματα ροπών κτιρίου για $\alpha=0,36$ και $q=1,5$ κτιρίου 4

Εικόνα 4.33 - Ξυλότυπος ισογείου για $\alpha=0,36$ και $q=1,5$ κτιρίου 4

2. Πίνακες

Πίνακας 4.1.1 - Ποσότητες σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,16$ και $q=1,5$ κτιρίου 1

Πίνακας 4.1.2 - Ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,16$ και $q=1,5$ κτιρίου 1

Πίνακας 4.2.1 - Ποσότητες σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,16$ και $q=3,5$ κτιρίου 1

Πίνακας 4.2.2 - Ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,16$ και $q=3,5$ κτιρίου 1

Πίνακας 4.3.1 - Ποσότητες σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,24$ και $q=1,5$ κτιρίου 2

Πίνακας 4.3.2 - Ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,24$ και $q=1,5$ κτιρίου 1

Πίνακας 4.4.1 - Ποσότητες σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,24$ και $q=3,5$ κτιρίου 1

Πίνακας 4.4.2 - Ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,24$ και $q=3,5$ κτιρίου 1

Πίνακας 4.5.1 - Ποσότητες σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,36$ και $q=1,5$ κτιρίου 1

Πίνακας 4.5.2 - Ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,36$ και $q=1,5$ κτιρίου 1

Πίνακας 4.6.1 - Ποσότητες σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,36$ και $q=3,5$ κτιρίου 1

Πίνακας 4.6.2 - Ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,36$ και $q=3,5$ κτιρίου 1

Πίνακας 4.7.1 - Ποσότητες σιδηρού οπλισμού ανά όροφο για $\alpha=0,16$ και $q=3,5$ κτιρίου 2

Πίνακας 4.7.2 - Συνολικές ποσότητες σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,16$ και $q=3,5$ κτιρίου 2

Πίνακας 4.7.3 - Συνολικές ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,16$ και $q=3,5$ κτιρίου 2

Πίνακας 4.8.1 - Ποσότητες σιδηρού οπλισμού ανά όροφο για $\alpha=0,16$ και $q=1,5$ κτιρίου 2

Πίνακας 4.8.2 - Συνολικές ποσότητες σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,16$ και $q=1,5$ κτιρίου 2

Πίνακας 4.8.3 - Συνολικές ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,16$ και $q=1,5$ κτιρίου 2

Πίνακας 4.9.1 - Ποσότητες σιδηρού οπλισμού ανά όροφο για $\alpha=0,24$ και $q=3,5$ κτιρίου 3

Πίνακας 4.9.2 - Συνολικές ποσότητες σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,24$ και $q=3,5$ κτιρίου 3

Πίνακας 4.9.3 - Συνολικές ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,24$ και $q=3,5$ κτιρίου 3

Πίνακας 4.10.1 - Ποσότητες σιδηρού οπλισμού ανά όροφο για $\alpha=0,24$ και $q=1,5$ κτιρίου 3

Πίνακας 4.10.2 - Συνολικές ποσότητες σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,24$ και $q=1,5$ κτιρίου 3

Πίνακας 4.10.3 - Συνολικές ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,24$ και $q=1,5$ κτιρίου 3

Πίνακας 4.11.1 - Ποσότητες σιδηρού οπλισμού ανά όροφο για $\alpha=0,36$ και $q=3,5$ κτιρίου 4

Πίνακας 4.11.2 - Συνολικές ποσότητες σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,36$ και $q=3,5$ κτιρίου 4

Πίνακας 4.11.3 - Συνολικές ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,36$ και $q=3,5$ κτιρίου 4

Πίνακας 4.12.1 - Ποσότητες σιδηρού οπλισμού ανά όροφο για $\alpha=0,36$ και $q=1,5$ κτιρίου 4

Πίνακας 4.12.2 - Συνολικές ποσότητες σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,36$ και $q=1,5$ κτιρίου 4

Πίνακας 4.12.3 - Συνολικές ποσότητες Σκυροδέματος – Σιδηρού οπλισμού για $\alpha=0,36$ και $q=1,5$ κτιρίου 4

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ηλεκτρονική εγκυκλοπαίδεια Live-Pedia [-]
2. Εφημερίδα Ελευθεροτυπία, έκδοση φύλλου 25/6/2010, Ελλάδα. [σελίδα 26]
3. Κοσμόπουλος Α. Ι., «Αποτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς και ενίσχυση μη-κανονικών σε κάτοψη κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος», Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2005, Ελλάδα. [σελίδα 15-19]
4. ΟΑΣΠ, «Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος και Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός ΕΚΟΣ-ΕΑΚ/2000», Αθήνα 2006, Ελλάδα. [σελίδα 23-30, 55-58 ΕΑΚ]
5. Συμπεράσματα 2ου Συνεδρίου Αντισεισμικής Μηχανικής και Σεισμικής Τεχνολογίας, Θεσσαλονίκη 2001, Ελλάδα. [σελίδα 393-402]
6. EC8 - ENV 1998 «Design provisions for earthquake resistance of structures». [σελίδα 35-41]
7. LH Λογισμική, «Fespa for windows, το επίσημο εγχειρίδιο αναφοράς» Αθήνα 2007, Ελλάδα. [σελίδα 3-5, 7-12, 19-21]
8. Διαδίκτυο [φωτογραφικό υλικό]