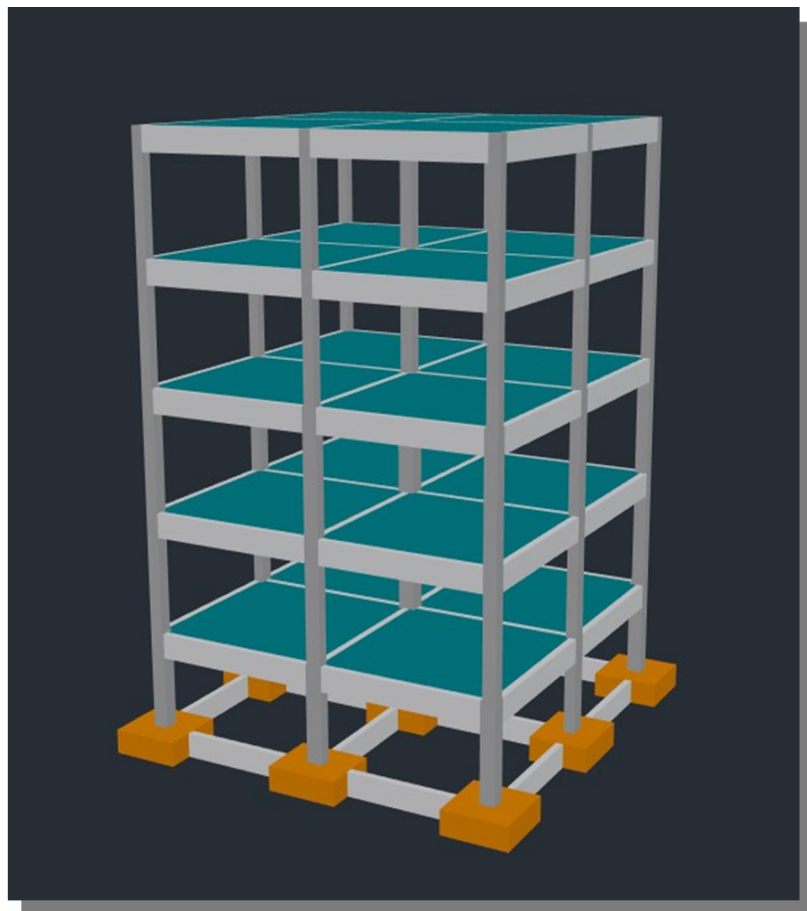




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ  
ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ  
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΤΑΤΣΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: Δ.ΔΡΙΒΑΣ, Κ.ΡΕΠΑΠΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2018

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ.Ρεπαπή για την παρότρυνση και υποστήριξή του στην ολοκλήρωση του θεωρητικού μέρους της παρούσας πτυχιακής εργασίας και τον καθηγητή μου κ.Δρίβα για την διάθεση του χρόνου του και την καθοδήγησή του στην εκμάθηση του τρόπου λειτουργίας του προγράμματος Scada Pro.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συμφοιτητή και φίλο Ανδρέα Παντελάτο, για την πολύτιμη συνεισφορά του στην επίλυση διάφορων τεχνικών ζητημάτων, όταν και όπου αυτά ανέκυπταν καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας.

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	3
ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΚΑΝ.ΕΠΕ.....	5
1.1 Αντισεισμικοί κανονισμοί.....	5
1.2 Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.).....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	10
3.1 Ελαστικές μέθοδοι ανάλυσης.....	10
3.2 Ανελαστικές μέθοδοι ανάλυσης.....	11
3.2.1 Ανελαστική στατική ανάλυση.....	11
3.2.2 Ανελαστική δυναμική ανάλυση.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	16
4.1 Στάθμες αξιοπιστίας δεδομένων.....	16
4.2 Στοχευόμενη συμπεριφορά.....	17
4.2.1 Στάθμες επιτελεστικότητας.....	19
4.2.2 Φάσμα σεισμού 10% και 50%.....	19
4.3 Κατανομή σεισμικών φορτίων.....	21
4.4 Η έννοια της πλαστιμότητας.....	22
4.5 Πλαστικές αρθρώσεις.....	22
4.6 Κόμβος ελέγχου.....	23
4.7 Κύρια και δευτερεύοντα στοιχεία.....	23
4.8 Εξιδανικευμένη καμπύλη δύναμης-μετακίνησης.....	24
4.9 Προσδιορισμός ιδιοπεριόδου.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	26
5.1 Πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος.....	29
5.2 Χαλύβδινα Ελάσματα.....	30
5.3 Ινοπλισμένα Πολυμερή.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	33
6.1 Μορφολογία και υλικά.....	33
6.2 Ευλότυποι ορόφων.....	34
6.3 Φορτία.....	39
6.4 Περιγραφή διατομών.....	40
6.5 Προσομοίωση.....	45

6.6 Ενισχύσεις.....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	59
7.1 Χωρίς ενίσχυση.....	60
7.2 Ενίσχυση όλων των υποστυλωμάτων.....	68
7.3 Ενίσχυση υποστυλωμάτων και δοκών.....	71
7.4 Ενίσχυση ενδιάμεσων υποστυλωμάτων με τοιχία.....	76
7.5 Περίσφιξη με ΙΟΠ.....	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	86
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	88



## ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

### **ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Σκοπός της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας είναι η αποτίμηση της ικανότητας υφιστάμενης κατασκευής να φέρει κατακόρυφα και σεισμικά φορτία και εν συνεχεία η διερεύνηση διαφόρων μεθόδων ενίσχυσης για τη βελτίωση τη συμπεριφοράς και της σεισμικής της απόκρισης. Η κατασκευή αφού προσομοιωθεί κατάλληλα με τη χρήση του προγράμματος Scada Pro, θα διαστασιολογηθεί και θα υποβληθεί σε ανελαστική στατική ανάλυση. Μετά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, θα πραγματοποιηθεί η ενίσχυσή της σύμφωνα με τις διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και μέσα από μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία ενισχύσεων και αναλύσεων θα επιδιωχθεί η συνολική αύξηση των αντοχών και της πλαστιμότητάς της έναντι σεισμικών φορτίων.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΚΑΝ.ΕΠΕ.**

Παρόλο που οι αντισεισμικοί κανονισμοί αναφέρονται στο σχεδιασμό των νέων κατασκευών, σε αντίθεση με τις υφιστάμενες κατασκευές και την διερεύνησή τους η οποία περιλαμβάνεται στον Κανονισμό Επεμβάσεων, μια αναδρομή στην ιστορία δημιουργίας και εξέλιξής τους παρέχει ένα πλαίσιο για την καλύτερη κατανόηση της αναγκαιότητας ύπαρξης ενός συμπληρωματικού κανονισμού ανασχεδιασμού και επεμβάσεων.

### **1.1 Αντισεισμικοί κανονισμοί**

Δεδομένου ότι οι σεισμοί είναι ένα φυσικό φαινόμενο που επιφυλάσσει κινδύνους για την κατασκευή και για το κοινωνικό σύνολο εν γένει η κατασκευή αντισεισμικών κτιρίων κρίνεται όχι μόνο απαραίτητη αλλά και επιτακτική. Για τον σωστό σχεδιασμό δομημάτων ικανών να υπομείνουν τις εντάσεις που επιφέρουν οι σεισμικές δονήσεις είναι αναγκαία η ύπαρξη και η εφαρμογή των κατάλληλων Αντισεισμικών Κανονισμών.

Ο Αντισεισμικός Κανονισμός κάθε χώρας είναι το νομικό κείμενο που περιέχει το σύνολο των κανόνων που καθορίζουν τις ελάχιστες απαιτήσεις για το σχεδιασμό κατασκευών ικανών να αντιστέκονται στις σεισμικές δυνάμεις. Οι αντισεισμικοί κανονισμοί αναθεωρούνται και επικαιροποιούνται με την πάροδο του χρόνου καθώς και όποτε κριθεί αναγκαίο. Για θέματα που αφορούν στον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό αρμόδια είναι η Μόνιμη Επιστημονική Επιτροπή Υποστήριξης Αντισεισμικού Κανονισμού του Ο.Α.Σ.Π.

Ο πρώτος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός στην Ελλάδα συντάχθηκε και άρχισε να ισχύει το 1959. Το βασικό νέο στοιχείο που εισήγαγε 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.

Το 1984 συμπληρώθηκε με πρόσθετα άρθρα, η αποκλειστική εφαρμογή των οποίων άρχισε το 1985 και οδήγησε σε ουσιαστική αναβάθμιση της αντισεισμικής προστασίας. Οι Πρόσθετες Διατάξεις εισήγαγαν για πρώτη φορά όλα σχεδόν τα κύρια χαρακτηριστικά των σύγχρονων Κανονισμών. (Γαβριλάκη, 2013)

Το 1995 τέθηκε σε αποκλειστική εφαρμογή ο Ν.Ε.Α.Κ. (Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός) και έτσι αρχίζουν οι κανονισμοί να ανταποκρίνονται για πρώτη φορά πλήρως στα διεθνή πρότυπα και στο σύγχρονο επίπεδο της γνώσης ενώ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΚΑΝ.ΕΠΕ.

από το 2001 ισχύει ο Ε.Α.Κ. – 2000 (Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός - 2000). Από τότε μέχρι σήμερα, στο αρχικό κείμενο του Ε.Α.Κ. - 2000 έχουν γίνει τροποποιήσεις, συμπληρώσεις και διευκρινήσεις που κρίθηκαν αναγκαίες. Το 2003 συμπεριλήφθηκε στον Κανονισμό ο Νέος Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας. Στο Χάρτη αυτό οι Ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας μειώνονται σε 3 σε αντίθεση με τον προηγούμενό του που υπήρχαν 4.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η αυστηροποίηση των αντισεισμικών κανονισμών στην Ελλάδα πραγματοποιήθηκε ουσιαστικά σε δύο μεγάλα κύματα εκ των οποίων το πρώτο υλοποιήθηκε στα κτίρια που ανεγέρθηκαν μετά το 1985, με την αντικατάσταση του πρώιμου κανονισμού το 1959 ενώ το δεύτερο εφαρμόστηκε μετά το 2000 με την περαιτέρω ενίσχυση των αντισεισμικών κανονισμών.

Από την πορεία εξέλιξης των αντισεισμικών κανονισμών μέσα στο χρόνο προκύπτει ότι πολλά κτίρια με ηλικία μεγαλύτερη των τριών δεκαετιών δεν χτίστηκαν με βάση τους σύγχρονους κανονισμούς με αποτέλεσμα ο βασικός σεισμικός κίνδυνος για την ανθρώπινη ζωή και για τις περιουσίες στην Ελλάδα προέρχεται από τα κτίρια αυτά. Ο αριθμός αυτών κτιρίων αντιστοιχεί σε ένα πολύ μεγάλο ποσοστό του οικιστικού πλούτου της χώρας μας που έχουν κτισθεί πριν το 1985. Μόνο ορισμένοι τύποι κατασκευών αυτής της κατηγορίας χαρακτηρίζονταν από κάποια στοιχεία αντισεισμικής προστασίας ενώ για τα περισσότερα ο αντισεισμικός σχεδιασμός προκύπτει στα πλαίσια κάποιας εμπειρικής παράδοσης. (Γαβριλάκη, 2013)

Η επικινδυνότητα που συνεπάγεται η κατάσταση αυτών των κατασκευών για το κοινωνικό σύνολο διορθώνεται με ένα σύνολο επεμβάσεων και ανασχεδιασμό.

### **1.2 Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)**

Ενώ οι αντισεισμικοί σχεδιασμοί περιλαμβάνουν το νομοθετικό και τεχνικό πλαίσιο για το σχεδιασμό νέων κτιρίων, μέχρι σχετικά πρόσφατα έλειπε ένα ολοκληρωμένο κανονιστικό πλαίσιο για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό υφιστάμενων κατασκευών. Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. (Κανονισμός Επεμβάσεων) έρχεται να συμπληρώσει τον αντισεισμικό κανονισμό και ορίζει το πλαίσιο για αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας υφιστάμενων δομημάτων με τη θεσμοθέτηση κριτηρίων και κανόνων εφαρμογής για τον αντισεισμικό ανασχεδιασμό τους, καθώς και για τις ενδεχόμενες επεμβάσεις, επισκευές ή ενισχύσεις.

Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. αποτελεί ένα σχετικά σύγχρονο κανονισμό που έχει προκύψει από την ανάγκη να καλύψει ένα κενό στον ανασχεδιασμό και την ενίσχυση υφιστάμενων κατασκευών, που πήρε την τελική του μορφή το 2010. Μέχρι και την σύνταξή του το

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΚΑΝ.ΕΠΕ.

2010 το κενό αυτό κάλυπτε οι διατάξεις του ΕΚ8 με πρώτη έκδοση το 1994 και προώθηση του τελικού κειμένου το 2004 και το 2005 και οι αντίστοιχες διατάξεις της FEMA στις ΗΠΑ. Αλλά ακόμα και το αρμόδιο κεφάλαιο του ΕΚ8 δεν διαθέτει την πληρότητα την οποία απαιτούν οι καθημερινές πρακτικές εφαρμογές ενώ τα ακόμα πιο επεξεργασμένα κανονιστικά κείμενα της FEMA καλύπτουν κυρίως τις γενικές αρχές και την ανάλυση μόνον. (Γαβριλάκη, 2013)

Μέσα στο πλαίσιο αυτών των δεδομένων τοποθετείται το παρόν Κείμενο Ελληνικού Κανονισμού Επεμβάσεων, το οποίο αποπειράται να καλύψει ακόμα ευρύτερες ανάγκες της πράξης.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**

Η μελέτη αποτίμησης και ανασχεδιασμού μιας υφιστάμενης κατασκευής δεν είναι μια απλή διαδικασία αλλά αντίθετα αποτελείται από ένα σύνολο διεργασιών και διαδοχικών σταδίων που θα διασφαλίσουν την αξιοπιστία των τελικών αποτελεσμάτων. Η εφαρμογή οποιασδήποτε μεθόδου επέμβασης είναι το καταληκτικό στάδιο αυτής της σειράς διεργασιών που πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο παραγόντων από τον μελετητή μηχανικό.

Ο μελετητής μηχανικός έχοντας ως δεδομένο την κατασκευή προς μελέτη καλείται αρχικά να την επιθεωρήσει και να συλλέξει έναν ικανοποιητικό αριθμό πληροφοριών που αφορούν τη μορφολογία, τα χαρακτηριστικά των υλικών και την παρούσα κατάστασή της. Στη συνέχεια αξιολογεί τις πληροφορίες αυτές και τους αποδίδει ένα συντελεστή (συντελεστής αξιοπιστίας δεδομένων), χαρακτηριστικό της πληρότητας και της επάρκειας τους σύμφωνα με τα κριτήρια που θέτει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ.

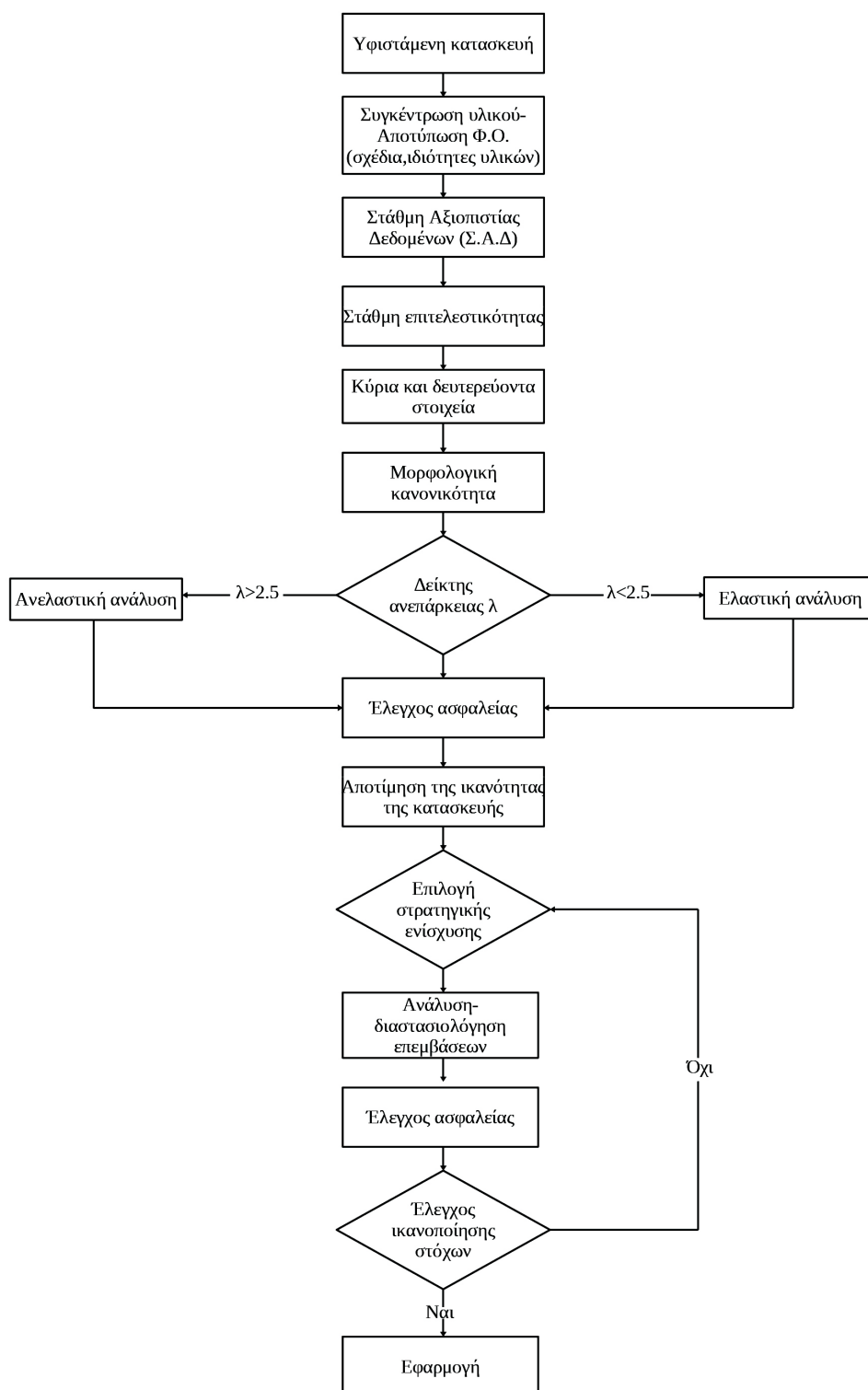
Ακολουθεί μια διάκριση του φέροντος οργανισμού σε κύρια και δευτερεύοντα στοιχεία αφού πρώτα έχει προσδιοριστεί μια στοχευόμενη συμπεριφορά, η επιλογή δηλαδή για δεδομένη σεισμική φόρτιση μιας στάθμης επιτελεστικότητας που περιγράφει το ποσό των αναμενόμενων βλαβών.

Στο επόμενο στάδιο και σύμφωνα πάντα με τις προϋποθέσεις που θέτει ο Κανονισμός Επεμβάσεων εφαρμόζεται η κατάλληλη μέθοδος ανάλυσης, επιλέγοντας από τις υποδιαιρέσεις της ελαστικής ή ανελαστικής, και γίνεται η αποτίμηση της ικανότητας της κατασκευής η οποία θα δώσει μια συνολική Σχήμα των ευπαθών της σημείων.

Έτσι με την επιλογή της κατάλληλης στρατηγικής και υλικών ενίσχυσης και μέσα από μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία αναλύσεων και δοκιμών ο μελετητής μηχανικός καταλήγει στη βέλτιστη επιλογή συνυπολογίζοντας κοινωνικοοικονομικούς, πολιτισμικούς, τεχνικούς και άλλους περιορισμούς.

Η διαδικασία ροής μελέτης υφιστάμενης κατασκευής παρουσιάζεται παρακάτω με τη μορφή γραφήματος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ



**Διάγραμμα ροής μελέτης υφιστάμενης κατασκευής (Γαβριλάκη, 2013)**

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

Σκοπός της αποτίμησης υφισταμένου δομήματος είναι η εκτίμηση της διαθέσιμης φέρουσας ικανότητάς του και ο έλεγχος ικανοποίησης των ελαχίστων υποχρεωτικών απαιτήσεων που επιβάλλονται από τους ισχύοντες Κανονισμούς. Οι διάφορες μέθοδοι αναλύσεων, ελαστικών και ανελαστικών, αποτελούν το είδος των εργαλείων για την πραγματοποίηση αυτού του σκοπού και η επιλογή της κατάλληλης είναι συνάρτηση των βασικών παραδοχών πάνω στις οποίες στηρίζεται, των προϋποθέσεων που θέτει για την χρήση της και την ακρίβεια των δεδομένων που είναι διαθέσιμα για το υφιστάμενο δόμημα. Κατά τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην βελτίωση των μεθόδων αυτών μέσω των οποίων μπορεί να προβλεφθεί η σεισμική συμπεριφορά ενός δομήματος στη μετελαστική περιοχή και να γίνει ο εντοπισμός των αδυναμιών του σημείων.

### **3.1 Ελαστικές μέθοδοι ανάλυσης**

Οι ελαστικές μέθοδοι ανάλυσης αναφέρονται στην περιοχή ελαστικής απόκρισης της κατασκευής και κάνουν χρήση της γραμμικής σχέσης έντασης-παραμόρφωσης. Αν και είναι απλούστερες στην εφαρμογή, προσεγγίζουν την ανελαστική συμπεριφορά του φορέα έμμεσα και με προσεγγιστικούς τρόπους κάνοντας χρήση δεικτών συμπεριφοράς  $q$  και  $m$ .

Ο δείκτης συμπεριφοράς  $q$  εκφράζει την ικανότητα της κατασκευής να καταναλώνει ενέργεια μέσω της ανελαστικής παραμόρφωσης των μελών της και ενώ στις νέες κατασκευές προκύπτει από υπολογιστικές διατάξεις στις υφιστάμενες κατασκευές η τιμή του είναι άγνωστη και η εκτίμηση της γίνεται με εμπειρικές τιμές που προτείνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. μέσω αντίστοιχων πινάκων, γεγονός που επηρεάζει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Ο δείκτης συμπεριφοράς  $m$  ο οποίος ορίζεται βάσει της ικανότητας παραμόρφωσης των δομικών μελών επιδιώκει να διορθώσει τις αδυναμίες που προκύπτουν από τη χρήση του δείκτη συμπεριφοράς  $q$  αλλά ούτε αυτή η προσέγγιση αποδεικνύεται απόλυτα ακριβής.

Προκύπτει συνεπώς ότι η χρήση ελαστικών αναλύσεων για την περιγραφή της ανελαστικής συμπεριφοράς της κατασκευής χαρακτηρίζεται από αβεβαιότητες και για το λόγο αυτό προτιμούνται οι ανελαστικές μέθοδοι αναλύσεις. (Καματερή, 2012)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Για την εφαρμογή ελαστικών αναλύσεων ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. θέτει προϋποθέσεις που σχετίζονται με τον δείκτη ανεπάρκειας  $\lambda$ , την θεμελιώδη υποπερίοδο του κτιρίου, την κατανομή της μάζας και της δυσκαμψίας σε κάτοψη και καθ' ύψος, κ.α. (§5.5.2)

### **3.2 Ανελαστικές μέθοδοι ανάλυσης**

Οι ανελαστικές μέθοδοι ανάλυσης ανταποκρίνονται περισσότερο στο σύγχρονο τρόπο προσέγγισης του προβλήματος της αποτίμησης και του σχεδιασμού των κατασκευών έναντι οριζοντίων δυνάμεων, καθώς κάνουν χρήση των ανελαστικών παραμορφώσεων που εμφανίζονται στα στοιχεία της κατασκευής και που αποτελούν μια περισσότερο αντιπροσωπευτική παράμετρο σε σύγκριση με την παραδοσιακή χρήση της μεθόδου των δυνάμεων. (Ρεπαπής, 2007)

Οι ανελαστικές μέθοδοι ανάλυσης δίνουν γενικότερα καλύτερη εποπτεία και κατανόηση της πραγματικής απόκρισης της κατασκευής καταδεικνύοντας τους μηχανισμούς αστοχίας και παρέχοντας τη δυνατότητα ελέγχου των παραμορφώσεων στα άκρα των μελών. Συνεισφέρουν με αυτόν τον τρόπο σε έναν πιο ορθολογικό και ασφαλή σχεδιασμό.

#### **3.2.1 Ανελαστική στατική ανάλυση**

Η ανελαστική στατική ανάλυση ή αλλιώς Pushover, είναι μια μέθοδος ανάλυσης που εξυπηρετεί την ικανοποιητική παρακολούθηση της ανελαστικής συμπεριφοράς της κατασκευής έχοντας ως κύριο στόχο την εκτίμηση του μεγέθους των ανελαστικών παραμορφώσεων που θα αναπτυχθούν στα δομικά στοιχεία της κατασκευής όταν αυτή υπόκειται στη σεισμική δράση. «Λαμβάνοντας υπόψη την σπουδαιότητα της σεισμικής αποτίμησης των υφισταμένων κατασκευών, σε συνδυασμό με την πολυπλοκότητα της χρήσης μη γραμμικών δυναμικών αναλύσεων στην καθημερινή πρακτική, η μη γραμμική στατική ανάλυση φαίνεται να αποτελεί ένα ελκυστικό εναλλακτικό εργαλείο.» (Ρεπαπής, 2007)

Έχει υιοθετηθεί από πολλούς σύγχρονους κανονισμούς εξαιτίας των αξιόπιστων αποτελεσμάτων που δίνει χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις ως προς τις προϋποθέσεις εφαρμογής και αναφέρεται στην μετελαστική απόκριση της κατασκευής και στην πρόβλεψη των αδύναμων περιοχών της με τον εντοπισμό της ακολουθίας των ζημιών κάθε μέλους της κατασκευής. Σε σύγκριση με την ανελαστική δυναμική τα αποτελέσματα που δίνει είναι λιγότερο ακριβή, δεδομένου ότι τα σεισμικά φορτία



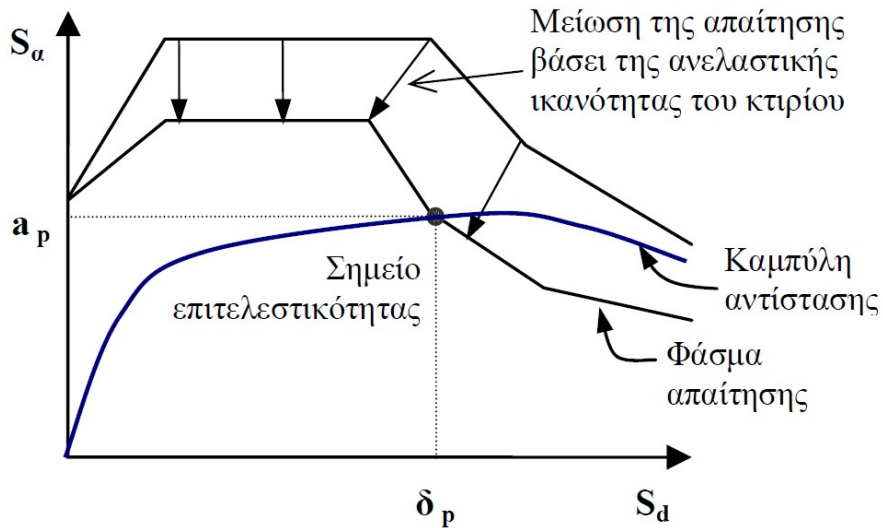
### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

(που είναι δυναμικά) τα λαμβάνει υπόψη προσεγγιστικά ως στατικά καθώς υποβάλλεται σε οριζόντια πλευρική ώθηση κατά τρόπο ανάλογο προς τις αδρανειακές δυνάμεις του σεισμού.

Η βασική ιδέα όλων των μεθόδων σχεδιασμού και αποτίμησης είναι η σύγκριση μεταξύ κάποιου μεγέθους «απαίτησης» το οποίο επιβάλλεται από τον σεισμό στην κατασκευή και του αντίστοιχου μεγέθους «ικανότητας» της κατασκευής να αντισταθεί. (Ρεπαπής, 2007)

Από την ανελαστική στατική ανάλυση προκύπτει η καμπύλη αντίστασης του κτιρίου η οποία χαράσσεται εν γένει σε όρους τέμνουσας βάσης-μετακίνησης χαρακτηριστικού σημείου του κτιρίου (κόμβος ελέγχου). (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.7.1.2) Η καμπύλη αντίστασης αποτελεί τη βάση για την εκτίμηση της διατιθέμενης ικανότητας η οποία εξαρτάται από τη φέρουσα ικανότητα και την μέγιστη ικανότητα παραμόρφωσης των επιμέρους μελών της και είναι ανεξάρτητη από την σεισμική απαίτηση. Η σεισμική απαίτηση καθορίζεται με τη μορφή ελαστικού φάσματος απόκρισης το οποίο μειώνεται για να τμήσει την καμπύλη αντίστασης και να καθορισθεί το σημείο επιτελεστικότητας. (Σχήμα 3.0 )

Από τον συνδυασμό της διατιθέμενης ικανότητας και της σεισμικής απαίτησης πραγματοποιείται στη συνέχεια ο έλεγχος ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεστικότητας.



**Σχήμα 3.0: Το σημείο επιτελεστικότητας όπως προκύπτει από την τομή της καμπύλης αντίστασης και του φάσματος απαίτησης. (Ρεπαπής, 2007)**

Χρησιμοποιώντας την στοχευόμενη μετακίνηση που προκύπτει από το σημείο επιτελεστικότητας πραγματοποιούνται οι έλεγχοι επιτελεστικότητας. Συγκρίνονται η ολική απόκριση της κατασκευής και οι παραμορφώσεις των μεμονωμένων μελών και ελέγχεται εάν τα φέροντα και τα μη φέροντα στοιχεία της κατασκευής έχουν υποστεί βλάβες πέρα των αποδεκτών ορίων, ανάλογα με τις απαιτήσεις σχεδιασμού. (Ρεπαπής, 2007)

Στην παράγραφο 5.7.1.2 ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. ορίζει τις βασικές παραδοχές της μεθόδου:

- i. Στη στατική ανελαστική ανάλυση το προσομοίωμα του κτιρίου θα συνεκτιμά με άμεσο τρόπο τα μη-γραμμικά χαρακτηριστικά του νόμου δύναμης-παραμόρφωσης των δομικών στοιχείων.
- ii. Το προσομοίωμα αυτό θα υποβάλλεται σε οριζόντια φορτία κατανεμημένα κατά τρόπο ανάλογο προς τις αδρανειακές δυνάμεις του σεισμού, τα οποία θα αυξάνονται μονότονα, εν γένει μέχρις ότου κάποιο δομικό στοιχείο δεν είναι πλέον σε θέση να φέρει τα κατακόρυφα φορτία του. Από την ανάλυση αυτή προκύπτει η καμπύλη αντίστασης του κτιρίου, η οποία εν γένει χαράσσεται σε όρους τέμνουσας βάσης - μετακίνησης χαρακτηριστικού σημείου του κτιρίου (κόμβος ελέγχου), το οποίο εν γένει λαμβάνεται στην κορυφή του. Η καμπύλη αυτή αποτελεί τη βάση για όλους τους απαιτούμενους ελέγχους ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεστικότητας.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

- iii. Αφού επιλεγεί η σεισμική δράση (αποτίμησης ή ανασχεδιασμού), ο έλεγχος ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεστικότητας γίνεται για τη μετακίνηση του κόμβου ελέγχου που αντιστοιχεί στη σεισμική αυτή δράση. Ελέγχεται ότι για τη μετακίνηση αυτή η παραμόρφωση (γωνία στροφής κατά ή μετά τη διαρροή) των πλάστιμων δομικών στοιχείων δεν συνεπάγεται βαθμό βλάβης μεγαλύτερος από εκείνον που γίνεται ανεκτός για τη σκοπούμενη στάθμη επιτελεστικότητας του κτιρίου.
- iv. Όταν δεν γίνεται ακριβέστερος υπολογισμός, η μετακίνηση του κόμβου ελέγχου (στοχευόμενη μετακίνηση  $\delta_i$ ) που προκαλείται από τη σεισμική δράση (αποτίμησης ή ανασχεδιασμού) μπορεί να εκτιμηθεί με βάση το φάσμα μετακινήσεων που αντιστοιχεί σε πλαστιμότητα συμβατή με τη μετακίνηση του κτιρίου.
- v. Για τον προσδιορισμό της στοχευόμενης μετακίνησης επιτρέπεται η χρήση ευρέως αποδεκτών απλοποιητικών μεθόδων.

Στην παράγραφο 5.7.3.1 περιγράφει γενικά τις συνθήκες τις προσομοίωσης, βασικές έννοιες των οποίων, μαζί με άλλες της ανελαστικής ανάλυσης περιγράφονται στο επόμενο κεφάλαιο. Για την προσομοίωση ορίζει:

- i. Η καμπύλης αντίστασης, δηλαδή η σχέση ανάμεσα στην τέμνουσα βάσεων και την οριζόντια μετακίνηση του κόμβου ελέγχου θα υπολογίζεται για μετακινήσεις του κόμβου ελέγχου οι οποίες θα κυμαίνονται από μηδέν μέχρι και πέρα από την μετακίνηση για την οποία θα γίνει ο έλεγχος.
- ii. Τα κατακόρυφα φορτία των στοιχείων θα συμπεριλαμβάνονται στο προσομοίωμα, ώστε να συνδυάζονται με τα οριζόντια φορτία σύμφωνα με τον σεισμικό συνδυασμό του ΕΚ 8-1. Τα οριζόντια φορτία θα εφαρμόζονται εν γένει σε δυο αντίθετες διευθύνσεις (θετικής - αρνητική) και ο έλεγχος θα γίνεται για τα δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν σε κάθε στοιχείο.
- iii. Το αναλυτικό προσομοίωμα θα υιοθετεί τέτοιο βαθμό διακριτοποίησης ώστε να λαμβάνεται υπόψη η σχέση έντασης-παραμόρφωσης κάθε περιοχής στην οποία μπορεί να εμφανιστεί ανελαστική συμπεριφορά.
- iv. Στο προσομοίωμα θα συμπεριλαμβάνονται εν γένει τόσο τα πρωτεύοντα όσο και τα δευτερεύοντα στοιχεία, αλλά και οι τοιχοπληρώσεις σύμφωνα με τις §5.4.3 και §5.4.4.

- v. Η σχέση έντασης-παραμόρφωσης κάθε στοιχείου θα συμπεριλαμβάνεται στο προσομοίωμα, μέσω πλήρων καμπυλών μονότονης φόρτισης μέχρις αστοχίας, οι οποίες θα περιλαμβάνουν τη φάση εξασθένησης της αντίστασης του πλάστιμου στοιχείου, καθώς και την παραμένουσα αντίστασή του, σύμφωνα με την §7.1.

### **3.2.2 Ανελαστική δυναμική ανάλυση**

Η ανελαστική δυναμική ανάλυση θεωρείται η ακριβέστερη διαθέσιμη μέθοδος ανάλυσης. Στην ανελαστική δυναμική ανάλυση η σεισμική φόρτιση εκφράζεται με τη μορφή πραγματικού ή τεχνητού επιταχυνσιογραφήματος σεισμικής διέγερσης με αποτέλεσμα τα υπολογιζόμενα εντατικά μεγέθη να προσεγγίζουν με ορθολογικό τρόπο τα αναμενόμενα πραγματικά και επομένως χαρακτηρίζονται από μεγάλο βαθμό αξιοπιστίας. Η πολυπλοκότητα της μεθόδου, η αυξημένη υπολογιστική ισχύς που απαιτείται, οι δυσχέρειες κατά την ρεαλιστική προσομοίωση της συμπεριφοράς κρίσιμων περιοχών υπό ανακυκλιζόμενες δράσεις, καθώς και η επιλογή των εδαφικών διεγέρσεων, δημιουργούν αμφιβολίες για την καταλληλότητα της μεθόδου σε συνήθεις εφαρμογές.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

### **4.1 Στάθμες αξιοπιστίας δεδομένων**

Τα δεδομένα στα οποία θα στηριχθεί η αποτίμηση ή ο ανασχεδιασμός προκύπτουν από τη διερεύνηση και τεκμηρίωση του υφιστάμενου δομήματος σε επαρκή έκταση και βάθος. Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. αφιερώνει ένα ολόκληρο κεφάλαιο στο οποίο περιγράφει και αναλύει τις λεπτομέρειες για τη συλλογή πληροφοριών και τη συνεπαγόμενη αξιολόγησή τους για να εξακριβωθεί η επάρκειά τους.

Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω, ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. ( §3.1-§3.5 ) προβλέπει:

- Την αποτύπωση του φέροντος οργανισμού παράλληλα με την αρχιτεκτονική αποτύπωση. Η συλλογή πληροφοριών από τα υπάρχοντα σχέδια (ξυλότυποι) και τον φάκελο μελέτης προβλέπεται με την προϋπόθεση ότι αυτή έχει επακριβώς εφαρμοστεί.
- Συγκέντρωση πληροφοριών σχετικά με το ιστορικό του δομήματος. Σ' αυτό περιλαμβάνονται οι φάσεις κατασκευής, μεταγενέστερες επεμβάσεις και αλλαγές χρήσης, εμφάνιση βλαβών κατά το παρελθόν, η συμπεριφορά κατά τους προηγούμενους σεισμούς ή παρουσία άλλων έκτακτων δράσεων. Η έκταση του ιστορικού είναι ανάλογη της σπουδαιότητας του δομήματος.
- Καταγραφή βλαβών που συμπληρώνει την αποτύπωση του φορέα.
- Πραγματοποίηση διερευνητικών εργασιών που αφορούν την αποτύπωση αφανών στοιχείων, χαρακτηριστικά των υλικών και του τρόπου δόμησης, το έδαφος θεμελίωσης και άλλους παράγοντες. Οι εργασίες πραγματοποιούνται επιτόπια ή με δειγματοληψία σε εξειδικευμένα εργαστήρια ενώ για τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών ζητούμενα είναι κυρίως η θλιπτική αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας για το σκυρόδεμα και το όριο διαρροής, η εφελκυστική αντοχή και η παραμόρφωση στο μέγιστο φορτίο για τον χάλυβα.

Η συγκέντρωση ωστόσο λεπτομερών πληροφοριών δεν είναι πάντοτε εφικτή και οι αβεβαιότητες που προκύπτουν ως προς την επάρκεια και αξιοπιστία των δεδομένων καλύπτονται με την εισαγωγή την έννοιας της «στάθμης αξιοπιστίας δεδομένων». Η τρεις στάθμες αξιοπιστίας δεδομένων εξυπηρετούν τον χαρακτηρισμό των δεδομένων και αντιστοιχούν σε συντελεστές ασφαλείας οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη κατά την

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό της κατασκευής και επηρεάζει του υπολογισμούς των δράσεων και των αντιστάσεων.

Στάθμες αξιοπιστίας	$\gamma_{cu}$	$\gamma_{su}$
Υψηλή	1.00	1.00
Ικανοποιητική	1.10	1.10
Ανεκτή	1.20	1.20

**Πίνακας 4.0: Συντελεστές ασφαλείας για κάθε στάθμης αξιοπιστίας (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2017)**

Οι στάθμες αξιοπιστίας δεδομένων δεν είναι αναγκαστικώς ενιαία για ολόκληρο το κτίριο (§3.6.1) ενώ τα δευτερεύοντα φέροντα στοιχεία μπορούν να λαμβάνονται υπόψη έστω και με ανεπαρκέστερα δεδομένα.

### **4.2 Στοχευόμενη συμπεριφορά**

Η στοχευόμενη συμπεριφορά αναφέρεται στην κατάσταση στην οποία επιδιώκουμε να βρεθεί η κατασκευή μετά την εκδήλωση δεδομένης σεισμικής δράσης. Η κατάσταση αυτή μπορεί να χαρακτηρίζεται από απουσία βλαβών, από επισκευάσιμες βλάβες που δεν θεωρούνται επικίνδυνες ή από πολύ σοβαρές, μη-επισκευάσιμες βλάβες που δεν ικανοποιούν κριτήρια ασφάλειας . Η στοχευόμενη συμπεριφορά προκύπτει από το συνδυασμό μιας στάθμης επιτελεστικότητας, που ορίζεται ως το ποσό των αναμενόμενων βλαβών της κατασκευής που θα προκύψουν υπό την επίδραση μιας συγκεκριμένης σεισμικής φόρτισης και της σεισμικής φόρτισης που περιγράφεται ως φάσμα σεισμού.

Οι παραδοχές που κάνουμε τόσο ως προς το φάσμα σεισμού όσο και ως προς τις στάθμες επιτελεστικότητας αυξάνουν ή μειώνουν τις απαιτήσεις σχεδιασμού επηρεάζοντας την οικονομικότητα και την ασφάλεια της κατασκευής γι' αυτό και ο ΚΑΝ.ΕΠΕ.( §2.2.1) κατά τον ορισμό των στόχων θεωρεί ότι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα κριτήρια:

- i. Κοινωνική σπουδαιότητα του κτιρίου (π.χ. προσωρινή κατασκευή, συνήθης κατοικίες, χώροι συγκέντρωσης κοινού, χώροι διαχωρισμού έκτακτων αναγκών, εγκαταστάσεις υψηλού κινδύνου)

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

- ii. Διαθέσιμα οικονομικά μέσα του υπόψη κοινωνικού συνόλου κατά τη δεδομένη περίοδο.

Η δημιουργία συνεπώς ασφαλών αλλά ταυτόχρονα όσο το δυνατόν οικονομικότερων κατασκευών συνδέεται με τον σωστό συνδυασμό ενός φάσματος σεισμού και μιας στάθμης επιτελεστικότητας. Ο βασικός σχεδιασμός για συνήθη κτίρια (κατηγορία σπουδαιότητας II) προβλέπει στόχο B1 για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια (με ελάχιστο ανεκτό Γ1 ο οποίος όμως δεν ενδείκνυται) και A2 για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 50%.

Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών	Στάθμη επιτελεστικότητας φέροντος οργανισμού		
	«Περιορισμένες βλάβες»	«Σημαντικές βλάβες»	«Οιονεί κατάρρευση»
10%	A1	B1	Γ1
50%	A2	B2	Γ2

**Πίνακας 4.1: Στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2017)**

Κατηγορία σπουδαιότητας	Στόχοι αποτίμησης
I	Γ2
II	Γ1
III	B1
IV	B1 και A2

**Πίνακας 4.2: Ελάχιστοι ανεκτοί στόχοι αποτίμησης (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2017)**

Τα είδη των κτιρίων στα οποία αναφέρεται η κάθε κατηγορία σπουδαιότητας προσδιορίζονται επακριβώς από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. στο παράρτημα 2.1 της ίδιας παραγράφου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

### **4.2.1 Στάθμες επιτελεστικότητας**

Σύμφωνα με την παράγραφο §2.2.2 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. οι στάθμες επιτελεστικότητας του φέροντος οργανισμού ορίζονται ως εξής:

- α. «Άμεση χρήση μετά τον σεισμό» (Α) είναι μια κατάσταση κατά την οποία αναμένεται ότι καμία λειτουργία του κτιρίου δεν διακόπτεται κατά τη διάρκεια και μετά τον σεισμό σχεδιασμού, εκτός ενδεχομένως από δευτερεύουσας σημασίας λειτουργίες. Είναι ενδεχόμενο να παρουσιασθούν μερικές τριχοειδείς ρωγμές στον φέροντα οργανισμό.
- β. «Προστασία ζωής» (Β) είναι μια κατάσταση κατά την οποία κατά τον σεισμό σχεδιασμού αναμένεται να παρουσιασθούν επισκευάσιμες βλάβες στον φέροντα οργανισμό του κτιρίου, χωρίς όμως να συμβεί θάνατος ή σοβαρός τραυματισμός ατόμων εξαιτίας των βλαβών αυτών, και χωρίς να συμβούν ουσιώδεις βλάβες στην οικοσκευή ή τα αποθηκευόμενα στο κτίριο υλικά.
- γ. «Οιονεί κατάρρευση» (Γ) είναι μια κατάσταση κατά την οποία κατά τον σεισμό σχεδιασμού αναμένεται να παρουσιασθούν εκτεταμένες και σοβαρές ή βαριές (μη-επισκευάσιμες κατά πλειονότητα) βλάβες στον φέροντα οργανισμό, ο οποίος όμως έχει ακόμη την ικανότητα να φέρει τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία (κατά, και για ένα διάστημα μετά, τον σεισμό), χωρίς πάντως να διαθέτει άλλο ουσιαστικό περιθώριο ασφαλείας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης.

### **4.2.2 Φάσμα σεισμού 10% και 50%**

Το φάσμα σεισμού 10% αναφέρεται σε σεισμό με πιθανότητα 10 τις εκατό να συμβεί μέσα στα επόμενα 50 χρόνια και περίοδο επανάληψης τα 475 χρόνια. Από την περίοδο επανάληψης προκύπτει ότι πρόκειται για σπάνιους αλλά ισχυρούς σεισμούς.

Το φάσμα σεισμού 50% αναφέρεται σε σεισμό με πιθανότητα 50 τις εκατό να συμβεί μέσα στα επόμενα 50 χρόνια και περίοδο επανάληψης τα 72 χρόνια. Πρόκειται για συχνότερους και λιγότερο ισχυρούς σεισμούς σε σύγκριση με εκείνους τους φάσματος 10%.

Κατ' επέκταση, για ένα φάσμα σεισμού 10% για την ίδια στάθμη επιτελεστικότητας αυξάνονται οι απαιτήσεις σχεδιασμού έναντι σεισμού. Ένας σεισμός σχεδιασμού φάσματος 10% είναι πολύ πιθανό να μη συμβεί στις διάρκεια ζωής του έργου. Για λόγους όμως ασφαλείας δεν μπορούμε να αποκλείσουμε το ενδεχόμενο όντως να συμβεί.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Έτσι, για να ισχυρό αλλά εξαιρετικά σπάνιο σεισμό (10%) η συνήθης στοχευόμενη συμπεριφορά της κατασκευής είναι να παρουσιαστούν επισκευάσιμες βλάβες (B1) χωρίς να τεθούν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές και την ίδια στιγμή για έναν συχνότερο (50%) η κατασκευή να μπορεί είναι έτοιμη για χρήση μετά το σεισμό (A2).

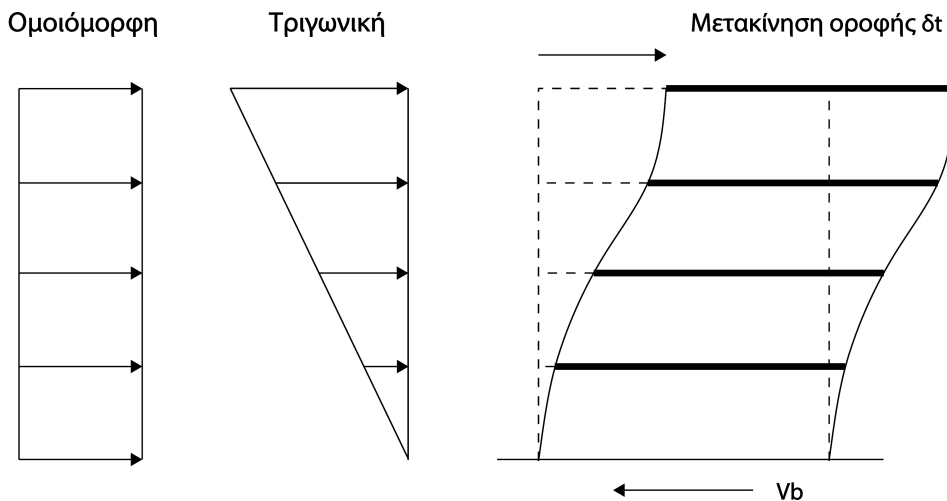
The image displays two screenshots of the Scada Pro software interface, showing the configuration of seismic damage parameters for different damage states (A-DL, B-SD, and Gamma-NC). The left window shows parameters for a 10% KANEPRE scenario, while the right window shows parameters for a 50% KANEPRE scenario. Both windows include fields for design life, k factor, and various damage state parameters like soil amplification, TR, and PLR.

Παράμετρος	10% KANEPRE	50% KANEPRE
Ζωή σχεδιασμού (έτη)	50	50
Εκθέτης k (3.0)	3	3
Περιορισμένες βλάβες (A - DL) - Εδαφική επιτάχυνση	0.16	0.0853
Περίοδος επαναφοράς TR (έτη)	475	72
Πιθανότητα υπέρβασης PLR%	10	10
Πιθανότητα υπέρβασης PR%	10	50
Περίοδος επαναφοράς TLR	475	475
Σημαντικές βλάβες (B - SD) - Εδαφική επιτάχυνση	0.16	0.0853
Περίοδος επαναφοράς TR (έτη)	475	72
Πιθανότητα υπέρβασης PLR%	10	10
Πιθανότητα υπέρβασης PR%	10	50
Περίοδος επαναφοράς TLR	475	475
Οιονεί Κατάρρευση (Gamma - NC) - Εδαφική επιτάχυνση	0.16	0.0853
Περίοδος επαναφοράς TR (έτη)	475	72
Πιθανότητα υπέρβασης PLR%	10	10
Πιθανότητα υπέρβασης PR%	10	50
Περίοδος επαναφοράς TLR	475	475
Προεπιλογή	KANEPRE 10%	KANEPRE 50%

**Σχήμα 4.0: Παράμετροι φασμάτων εντός του γραφικού περιβάλλοντος του Scada Pro**

### 4.3 Κατανομή σεισμικών φορτίων

Ο Κανονισμός Επεμβάσεων (§ 5.7.3.3) ορίζει ότι η σεισμική φόρτιση θα προσομοιώνεται ως οριζόντια στατικά φορτία τα οποία θα εφαρμόζονται στο επίπεδο της στάθμης κάθε διαφράγματος (πλάκα ορόφου), σύμφωνα με την κατανομή των αδρανειακών φορτίων του σεισμού. Για όλες τις αναλύσεις απαιτείται η εφαρμογή δύο τουλάχιστον διαφορετικών καθ' ύψος κατανομών φορτίων, μιας Τριγωνικής και μιας Ορθογωνικής ώστε να λαμβάνεται (κατά το δυνατό) υπόψη η μεταβολή του τρόπου κατανομής των φορτίων λόγω μετελαστικής συμπεριφοράς ορισμένων περιοχών του φορέα, αλλά και λόγω της επιρροής των ανώτερων ιδιομορφών.



**Σχήμα 4.1: Κατανομές σεισμικών φορτίων (Ρεπαπής, 2007)**

Οι κατανομές των σεισμικών φορτίων πολλαπλασιασμένες με έναν συντελεστή, διαφορετικό για κάθε διεύθυνση, δίνει τους συνδυασμούς για τους οποίους θα εφαρμοστεί η ανελαστική ανάλυση. Κάθε συνδυασμός σημαίνει ότι θα εφαρμοστεί ένα ποσοστό της τέμνουσας βάσης στη μια διεύθυνση και το 1/3 αυτού του ποσοστού της αντίστοιχης τέμνουσας βάσης στην άλλη διεύθυνση.

#### 4.4 Η έννοια της πλαστιμότητας

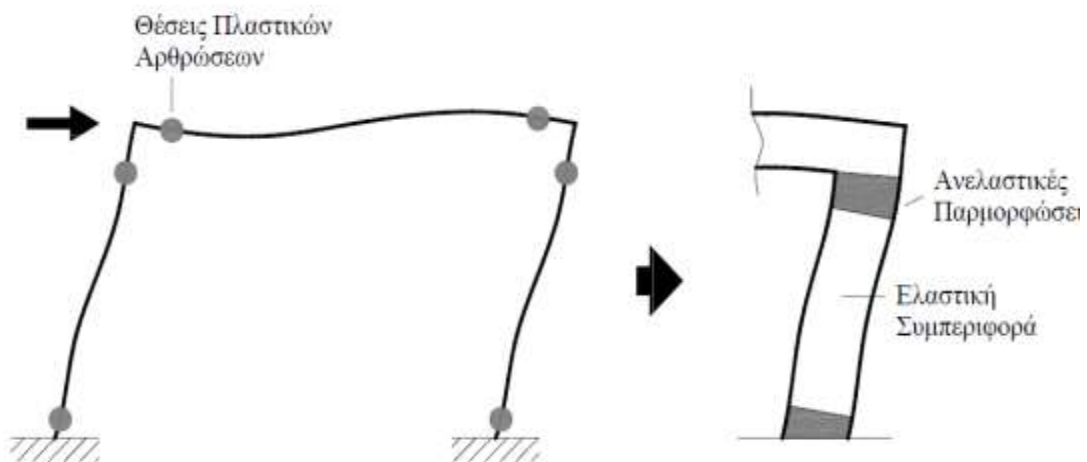
Σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000 (§4.1.4), «για να εξασφαλιστεί η δυνατότητα απελευθέρωσης ενέργειας από το δόμημα κατά την απόκριση στην σεισμική δράση σχεδιασμού, χωρίς ολική ή μερική κατάρρευση, πρέπει η μετελαστική απόκριση να έχει πλάστιμη μορφή.» Με άλλα λόγια, ένας πλάστιμος φορέας επιτρέπεται να έχει μειωμένη αντοχή η οποία όμως αντισταθμίζεται και συμπληρώνεται από μια ικανότητα απορρόφησης σεισμικής ενέργειας μέσω μετελαστικών παραμορφώσεων σε ελεγχόμενα σημεία – κρίσιμες περιοχές.

Ο όρος πλαστιμότητα αναφέρεται στην ικανότητα αυτή μιας κατασκευής, μέλους ή υλικού να υποστεί πλαστικές παραμορφώσεις σε μικρό ή μεγάλο βαθμό, χωρίς απώλεια ή μείωση της φέρουσας ικανότητας.

#### 4.5 Πλαστικές αρθρώσεις

Υποδεικνύουν τις θέσεις στον φορέα στις οποίες αναμένεται να εκδηλωθεί ανελαστική συμπεριφορά και αποτελούν περιοχές όπου πραγματοποιείται απορρόφηση ενέργειας (εξαιτίας σεισμικής δράσης) και εντοπίζονται συνήθως στα άκρα των δοκών και στην κορυφή και βάση των υποστυλωμάτων.

Με την έννοια των πλαστικών αρθρώσεων επανέρχεται η έννοια των κρίσιμων περιοχών όπως περιγράφεται στους σύγχρονους και ενημερωμένους κανονισμούς για τον σχεδιασμό νέων κατασκευών.



Σχήμα 4.2: Πιθανές θέσεις εμφάνισης πλαστικών αρθρώσεων (Μπάρος, 2006)

#### **4.6 Κόμβος ελέγχου**

Ο κόμβος ελέγχου της στοχευόμενης μετακίνησης θα λαμβάνεται εν γένει στο κέντρο μάζας της οροφής του κτιρίου. Για κτίρια με σοφίτες ή μικρούς οικίσκους στο δώμα, ο κόμβος ελέγχου θα λαμβάνεται στην οροφή του πλήρους υποκείμενου ορόφου. Η μετακίνηση του κόμβου ελέγχου θα υπολογίζεται από την ανάλυση του προσομοιώματος για τα οριζόντια στατικά φορτία. (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.7.3.2)

#### **4.7 Κύρια και δευτερεύοντα στοιχεία**

Η διάκριση των στοιχείων σε κύρια και δευτερεύοντα βασίζεται στο κατά πόσο σημαντική είναι η συνεισφορά τους στην παραλαβή των σεισμικών φορτίων. Τα κύρια στοιχεία είναι αυτά που συμμετέχουν στην ανάληψη φορτίων εξαιτίας σεισμικής δράσης και συμβάλουν στην αντοχή και ευστάθειά της κατασκευής σε αντίθεση με τα δευτερεύοντα που συμμετέχουν κυρίως στην ανάληψη των κατακόρυφων φορτίων βαρύτητας και για τα οποία αγνοείται η αντοχή και η δυσκαμψία τους στις σεισμικές δράσεις.

Η διάκριση γίνεται για να διαφοροποιηθούν οι έλεγχοι για την κάθε κατηγορία στοιχείου, έτσι ώστε να μην καταλήξει ο μελετητής στο συμπέρασμα ότι ένα κτίριο δεν είναι επαρκές λόγω της αστοχίας κάποιων μεμονωμένων στοιχείων τα οποία δεν είναι καθοριστικά για την ευστάθεια του και για μην γίνει σύγχυση στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

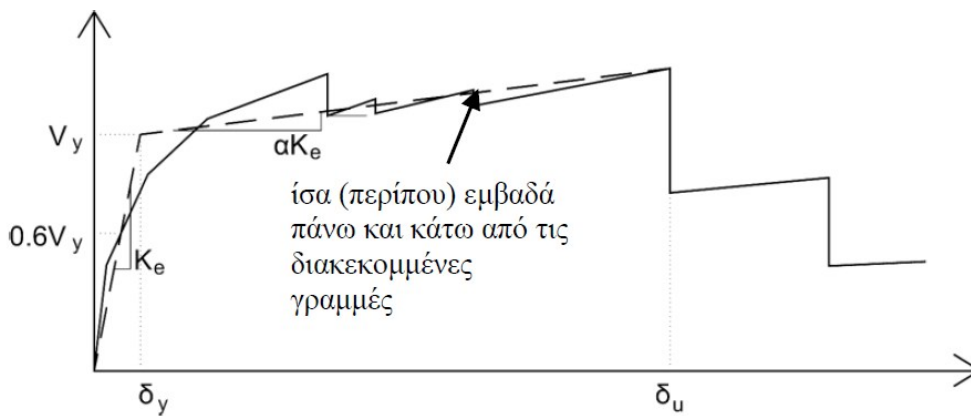
Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. διευκρινίζει στις αντίστοιχες παραγράφους (§2.4.3.4-§5.1.2-§5.4.3) τι μπορεί να εκληφθεί ως δευτερεύον στοιχείο.

Η βασική συνέπεια του χαρακτηρισμού ενός φέροντος στοιχείου (ή επιμέρους φορέα) ως δευτερεύοντος είναι ότι για τα στοιχεία αυτά ισχύουν διαφορετικά κριτήρια επιτελεσματικότητας, επιτρέπεται δηλαδή να υποστούν μεγαλύτερες μετακινήσεις και βλάβες απ' ό,τι τα πρωτεύοντα στοιχεία.

Η παραπάνω διάκριση σε κύρια και δευτερεύοντα στοιχεία δεν επιτρέπεται όταν ως στόχος αποτίμησης ή ανασχεδιασμού έχουν επιλεγεί οι «Περιορισμένες βλάβες».

#### 4.8 Εξιδανικευμένη καμπύλη δύναμης-μετακίνησης

Η διατιθέμενη ικανότητα της κατασκευής, όπως έχει ήδη αναφερθεί, αποτυπώνεται με την καμπύλη αντίστασης σε όρους τέμνουσα βάσης-μετακίνησης κόμβου. Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. (§5.7.3.4) ορίζει ότι για τον υπολογισμό της ισοδύναμης πλευρικής δυσκαμψίας  $K_e$  και της αντίστοιχης δύναμης διαρροής  $V_y$  του κτιρίου η μη-γραμμική σχέση δύναμης-μετακίνησης που συνδέει την τέμνουσα βάσης και τη μετακίνηση του κόμβου θα ελέγχου, θα αντικαθίσταται από μια εξιδανικευμένη καμπύλη. Η μορφή της καμπύλης είναι διγραμμική με κλίση του πρώτου κλάδου ίση με  $K_e$  και κλίση του δεύτερου κλάδου ίση με  $\alpha K_e$ . Οι δύο ευθείες που συνθέτουν τη διγραμμική καμπύλη μπορεί να προσδιορίζονται γραφικά, με κριτήριο την κατά προσέγγιση ισότητα των εμβαδών των χωρίων που προκύπτουν πάνω και κάτω από τις τομές της πραγματικής και της εξιδανικευμένης καμπύλης.



**Σχήμα 4.3: Υπολογισμός εξιδανικευμένης καμπύλης δύναμης-μετακίνησης (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2017)**

Η ισοδύναμη πλευρική δυσκαμψία  $K_e$  προκύπτει ως η επιβατική δυσκαμψία που αντιστοιχεί σε δύναμη ίση προς το 60% της δύναμης διαρροής  $V_y$  η οποία ορίζεται από την τομή των ευθειών που προαναφέρθηκαν. Η ανηγμένη κλίση ( $\alpha$ ) του δεύτερου κλάδου προσδιορίζεται από μια ευθεία που διέρχεται από το σημείο της (πραγματικής) μη-γραμμικής καμπύλης αντίστασης που αντιστοιχεί στη μετακίνηση αστοχίας ( $\delta_u$ ), πέραν της οποίας παρατηρείται σημαντική μείωση της αντοχής του φορέα.

#### **4.9 Προσδιορισμός ιδιοπεριόδου**

Η ισοδύναμη κυριαρχούσα ιδιοπερίοδος (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.7.3.5) στη θεωρούμενη διεύθυνση θα εκτιμάται με βάση την εξιδανικευμένη καμπύλη αντίστασης. Η τιμή της  $T_e$  της ισοδύναμης κυριαρχούσας ιδιοπεριόδου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$T_e = T \sqrt{\frac{K_0}{K_e}}$$

Όπου  $T$  η ελαστική κυριαρχούσα ιδιοπερίοδος στη θεωρούμενη διεύθυνση που υπολογίζεται με βάση μια ελαστική δυναμική ανάλυση,  $K_0$  η αντίστοιχη ελαστική πλευρική δυσκαμψία, ενώ η ισοδύναμη πλευρική δυσκαμψία  $K_e$  υπολογίζεται σύμφωνα με την §5.7.3.4.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**

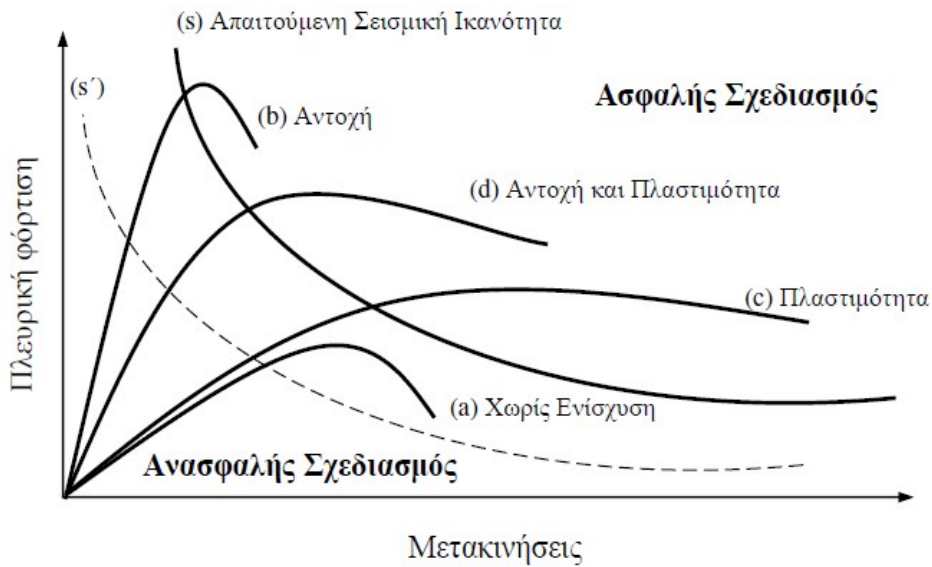
Για την ενίσχυση των κατασκευών κάνουμε χρήση διάφορων προσεγγίσεων οι οποίες χαρακτηρίζονται ως στρατηγικές επεμβάσεων και πραγματοποιούνται σε μεμονωμένα στοιχεία ή στην κατασκευή σαν σύνολο. Όταν υπάρχει ένας εκτεταμένος αριθμός από αδύναμα στοιχεία απαιτείται μια συνολική αντιμετώπιση του προβλήματος οπότε επιλέγεται η δεύτερη προσέγγιση. Οι στρατηγικές αυτές στοχεύουν στο να περιορίσουν τις ευπάθειες που χαρακτηρίζουν μια κατασκευή ενισχύοντας τα αδύναμα σημεία και περιλαμβάνουν επεμβάσεις στο φέροντα οργανισμό επιδιώκοντας:

- την αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας της κατασκευής
- την αύξηση της πλαστιμότητας και της ικανότητας ανάληψης παραμορφώσεων
- την αύξηση δυσκαμψίας, αντοχής και πλαστιμότητας συνδυαστικά
- τη μείωση της σεισμικής απαίτησης

Η αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας σχετίζονται άμεσα μεταξύ τους. Η κύρια διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι μέσω της αύξησης της δυσκαμψίας επιτυγχάνεται μείωση της απαίτησης σε μετακίνηση, ενώ με την αύξηση της αντοχής επιτυγχάνεται επιπλέον αύξηση της σεισμικής δράσης που απαιτείται ώστε να προκληθούν βλάβες στην κατασκευή. (Σπυράκος, 2004)

Με την αύξηση της πλαστιμότητας, η μειωμένη δυσκαμψία και αντοχή αντισταθμίζεται από αυξημένη ικανότητα για μεγαλύτερες μετακινήσεις και ανελαστικές παραμορφώσεις. Στο διάγραμμα που ακολουθεί διακρίνονται τα διαγράμματα σε όρους πλευρικής φόρτισης-μετακινήσεων για τις διάφορες περιπτώσεις που περιγράφηκαν παραπάνω. Συμπεραίνουμε ότι για μια ανθεκτική κατασκευή οι πλευρικές δυνάμεις που αυτή είναι ικανή να δεχθεί είναι μεγαλύτερες, μειονεκτώντας όμως ως προς την ικανότητά της να υποστεί μεγάλες μετακινήσεις. Αντίθετα, μια κατασκευή που συμπεριφέρεται με ένα πλαστικό τρόπο υστερεί έναντι πλευρικών φορτίσεων αλλά είναι περισσότερο δεκτική σε αυξημένες μετακινήσεις.

Η αρχική μη-ενισχυμένη κατασκευή στερείται και αντοχής και σταθερότητας ενώ μια ενδιάμεση κατάσταση που χαρακτηρίζεται από ένα αποτελεσματικό συνδυασμό αντοχής και πλαστιμότητας είναι η επιδιωκόμενη συμπεριφορά.



**Σχήμα 5.0: Διαγράμματα πλευρικής φόρτισης-μετακινήσεων (Σπυράκος, 2004)**

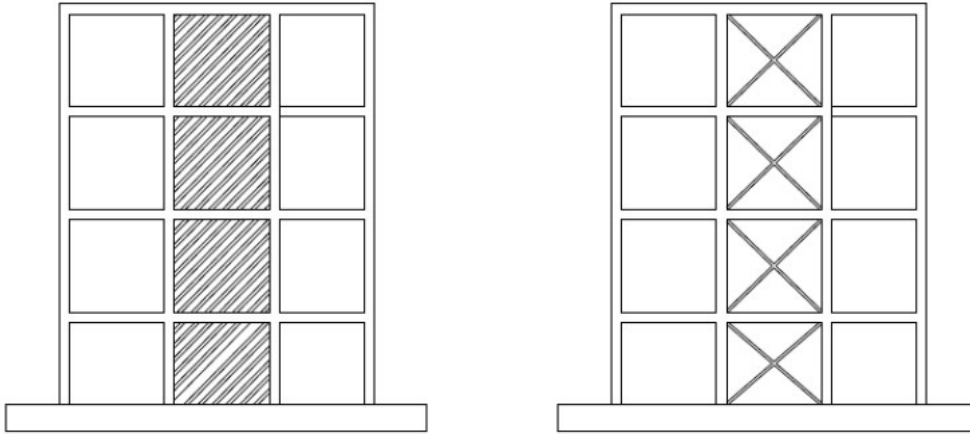
Η ενίσχυση μια κατασκευής επιτυγχάνεται με διάφορες μεθόδους και υλικά. Όσο αφορά τις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα οι κύριες μέθοδοι είναι: (Δρίτσος,2005)

- Κατασκευή τοιχωμάτων εντός των πλαισίων του φέροντα οργανισμού της κατασκευής. Στοχεύει σε μεγάλη αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής της κατασκευής.
- Κατασκευή δικτυωτών συστημάτων εντός των πλαισίων του φέροντα οργανισμού της κατασκευής. Στοχεύει σε μέτρια αύξηση της και κυρίως σε αύξηση της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητας.
- Κατασκευή πλευρικών τοιχωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα σε συνέχεια και σύνδεση με υπάρχοντα υποστυλώματα. Στοχεύει στη βελτίωση της πλαστιμότητας και σε μερική αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας.
- Κατασκευή μανδρών σε κατακόρυφα στοιχεία της κατασκευής. Στοχεύει στην αύξηση της πλαστιμότητας.
- Προσθήκη νέων κατακόρυφων στοιχείων στην κατασκευή. Στοχεύει στην αύξηση της δυσκαμψίας, της αντοχής και της πλαστιμότητας.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

- Ενσωμάτωση στην κατασκευή συστημάτων απορρόφησης ενέργειας ιξώδους ή υστερητικής συμπεριφοράς. Στοχεύει στην μείωση της εισαγόμενης σεισμικής έντασης στην κατασκευή.



**Σχήμα 5.1: Ενίσχυση με τοιχία εντός πλαισίων (αριστερά) και δικτυωτών συστημάτων (δεξιά) (Σπυράκος, 2004)**

Συνήθης μέθοδοι περιλαμβάνουν την προσθήκη μανδυνών και μεταλλικών ελασμάτων ενώ άλλες εκμεταλλεύονται την περίσφιξη με σύγχρονα σύνθετα υλικά όπως τα ινοπλισμένα πολυμερή. Κάθε μέθοδος χαρακτηρίζεται από ένα άθροισμα πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων που σχετίζεται με την εμπειρία γύρω από τα υλικά, την ευκολία εφαρμογής, το κόστος, κ.α. Η επιλογή κατάλληλης στρατηγικής προϋποθέτει σε σημαντικό βαθμό την εμπειρία του μηχανικού ενώ προσοχή πρέπει να αποδίδεται και στην αλληλεπίδραση παλαιών και νέων στοιχείων η οποία θα καθορίσει και την αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης.

### **5.1 Πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος**

Η ενίσχυση με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος κάνει χρήση παραδοσιακών και συμβατικών υλικών όπως το σκυρόδεμα και ο χάλυβας. Κυριότερο πλεονέκτημα υλικών που χαρακτηρίζονται ως συμβατικά είναι «η καλή γνώση των ιδιοτήτων τους και η μακροχρόνια εφαρμογή τους στην πράξη σε αντίθεση με νέα υλικά όπως τα ινοπλισμένα πολυμερή, με αποτέλεσμα να θεωρούνται εξαιρετικά αξιόπιστα και να αποτελούν συνήθη πρακτική επέμβασης.» (Σπυράκος, 2004)



**Σχήμα 5.2: Τοποθέτηση οπλισμού μανδύα περιμετρικά υποστυλώματος και δοκών**

Η τεχνική αυτή περιλαμβάνει την ενίσχυση του μέλους με την προσθήκη νέων στρώσεων σκυροδέματος και νέων διαμηκών και εγκάρσιων οπλισμών περιμετρικά αυτού (Σχήμα), είτε σε όλο το μήκος (ολικός μανδύας) είτε σε τμήματα του (τοπικός μανδύας). Όταν ο μανδύας δεν περιβάλλει τη διατομή του μέλους αλλά μόνο κάποιες από τις πλευρές του, χαρακτηρίζεται ως «ανοικτός» μανδύας.

Θεωρείται μια αποτελεσματική τεχνική ενίσχυσης που αυξάνει την πλαστιμότητα του υποστυλώματος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Το είδος του σκυροδέματος που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του μανδύα μπορεί να διαφέρει και η επιλογή του είναι αποτέλεσμα παραγόντων όπως το πάχος του μανδύα, η εύκολη σκυροδέτηση, το κόστος, κ.α. Τα συνηθέστερα είδη μανδύων που κατασκευάζονται στην πράξη είναι:

- Από έγχυτο σκυρόδεμα
- Από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
- Από σκυροτσιμεντόπηγμα
- Από ειδικά σκυροδέματα ή τσιμεντοκονιάματα

### **5.2 Χαλύβδινα Ελάσματα**

Τα χαλύβδινα ελάσματα είναι φύλλα χάλυβα που τοποθετούνται στην εξωτερική επιφάνεια των δομικών στοιχείων και είναι δημοφιλή(μαζί με τα ινοπλισμένα πολυμερή που περιγράφονται στη συνέχεια) εξαιτίας της ευκολίας εφαρμογής. Η χρήση χαλύβδινων ελασμάτων ενδείκνυται για φέροντα δομικά στοιχεία που καταπονούνται κυρίως από εφελκυστικές τάσεις καθώς εκμεταλλεύονται τις ιδιότητες του χάλυβα και λειτουργούν συμπληρωματικά στον προϋπάρχοντα οπλισμών. Η τοποθέτησή τους συνηθίζεται στο κάτω πέλμα των δοκών για ενίσχυση σε κάμψη και στις παρειές των δοκών για την αύξηση της διατμητικής αντοχής.

Στην περίπτωση χρήσης χαλύβδινων ελασμάτων η αύξηση της διατομής είναι μικρή με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται σημαντικά η αισθητική της κατασκευής. Το πάχος των ελασμάτων πρέπει να είναι μικρό καθώς επιτρέπει καλύτερη σύνδεση με το στοιχείο ακολουθώντας κάθε αλλαγή επιπεδότητας του πέλματος και αποφεύγεται η πρόωρη αστοχία στην διεπιφάνεια επικόλλησης. Όταν αυτό δεν είναι εφικτό, εξαιτίας αυξημένων απαιτήσεων ενίσχυσης, αποφεύγεται η αύξηση του πάχους του ελάσματος και επιλέγεται ένα μικρότερο με τοποθέτησή σου σε περισσότερες στρώσεις.

Τα μειονεκτήματα της χρήσης χαλύβδινων ελασμάτων εντοπίζονται κυρίως στη ευκολία διάβρωσης του χάλυβα η οποία είναι εντονότερη στην εσωτερική επιφάνεια, γεγονός που αυξάνει τον κίνδυνο για απροειδοποίητη αστοχία στην διεπιφάνεια των δύο υλικών. Η συνεχής συντήρηση λειτουργεί αποτρεπτικά σε μια τέτοια συμπεριφορά αλλά αυξάνει το κατά τ' άλλα χαμηλό κόστος. Το μεγάλο βάρος του χάλυβα είναι άλλο ένα μειονέκτημα, που σχετίζεται περισσότερο με τις εργασίες εφαρμογής και λιγότερο με αυτή καθ' εαυτή τη μέθοδο.

### 5.3 Ινοπλισμένα Πολυμερή

Τα φύλλα από ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ) ή αλλιώς FRP's (fiber reinforced polymer), είναι 'υφάσματα' από ίνες υψηλής εφελκυστικής αντοχής εμποτισμένα με ειδικές θερμοσκληρυνόμενες εποξικές ρητίνες. Αποτελεί μια σύγχρονη τεχνική στον τομέα της ενίσχυσης που παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα.



**Σχήμα 5.3: Περίσφιξη υποστυλωμάτων με FRPs.**

Όπως και τα χαλύβδινα ελάσματα, τα ΙΟΠ τοποθετούνται στην εξωτερική επιφάνεια των δομικών στοιχείων και δεν αυξάνουν σημαντικά τη διατομή του στοιχείου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην αλλοιώνουν την αρχιτεκτονική αισθητική της κατασκευής με το πρόσθετο πλεονέκτημα της εξαιρετικά υψηλής εφελκυστικής αντοχής που τα χαρακτηρίζει. Έχουν πάρα πολύ μικρό βάρος καθιστώντας τα ευκολομεταχειρίσιστα στην εφαρμογή τους, διατίθενται σε μεγάλα μήκη και η εγκατάστασή τους είναι εύκολη και γρήγορη σε πάσης φύσεως διατομές.

Όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί μια νέα μέθοδο ενίσχυσης και υπάρχει μικρή εμπειρία σε σχέση με τον χάλυβα ενώ δεν αυξάνει την δυσκαμψία της κατασκευής. Το κόστος του υλικού, επίσης, είναι αρκετά υψηλό το οποίο όμως μειώνεται όσο αυξάνεται η ζήτηση. Παρουσιάζει χαμηλή αντίσταση σε υψηλές θερμοκρασίες ενώ η ανθεκτικότητά του σε διάρκεια είναι αμφισβητούμενη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Τέλος, είναι ένα σύνθετο υλικό που συμπεριφέρεται πλήρως ελαστικά μέχρι την αστοχία του, καθιστώντας το επισφαλές αν και στην πράξη το φαινόμενο είναι λιγότερο έντονο καθώς το ενισχυμένο στοιχείο διατηρεί ένα βαθμό πλαστιμότητας.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**

### **6.1 Μορφολογία και υλικά**

Η κατασκευή υπό μελέτη αποτελείται από τρεις τυπικούς ορόφους, πέντε στο σύνολό τους, που παρουσιάζουν συμμετρία ως προς την κάτοψη και στις δύο διευθύνσεις. Το ύψος κάθε ορόφου είναι 3,00m και το συνολικό ύψος της κατασκευής ισοδυναμεί με το άθροισμά τους (15,00m) ενώ οι διαστάσεις σε κάτοψη είναι 10m\*10m, με δυο φατνώματα σε κάθε πλευρά. Καθ' ύψος οι διαστάσεις των υποστυλωμάτων μεταβάλλονται, με σταδιακή μείωση των διατομών τόσο των περιμετρικών όσο και του κεντρικού στοιχείου. Ως προς την δυσκαμψία το κτίριο παρουσιάζει κανονικότητα, η οποία μεταβάλλεται μόνο καθ' ύψος με τη σταδιακή ελάττωση των διαστάσεων των υποστυλωμάτων. Οι διαστάσεις των δοκών, ορθογωνικής διατομής, παραμένουν σταθερές (20/60) για όλη την κατασκευή. Τα γεωμετρικά στοιχεία όλης της κατασκευής παρουσιάζονται παρακάτω με τη μορφή πινάκων (Κεφάλαιο 6.4 Περιγραφή διατομών).

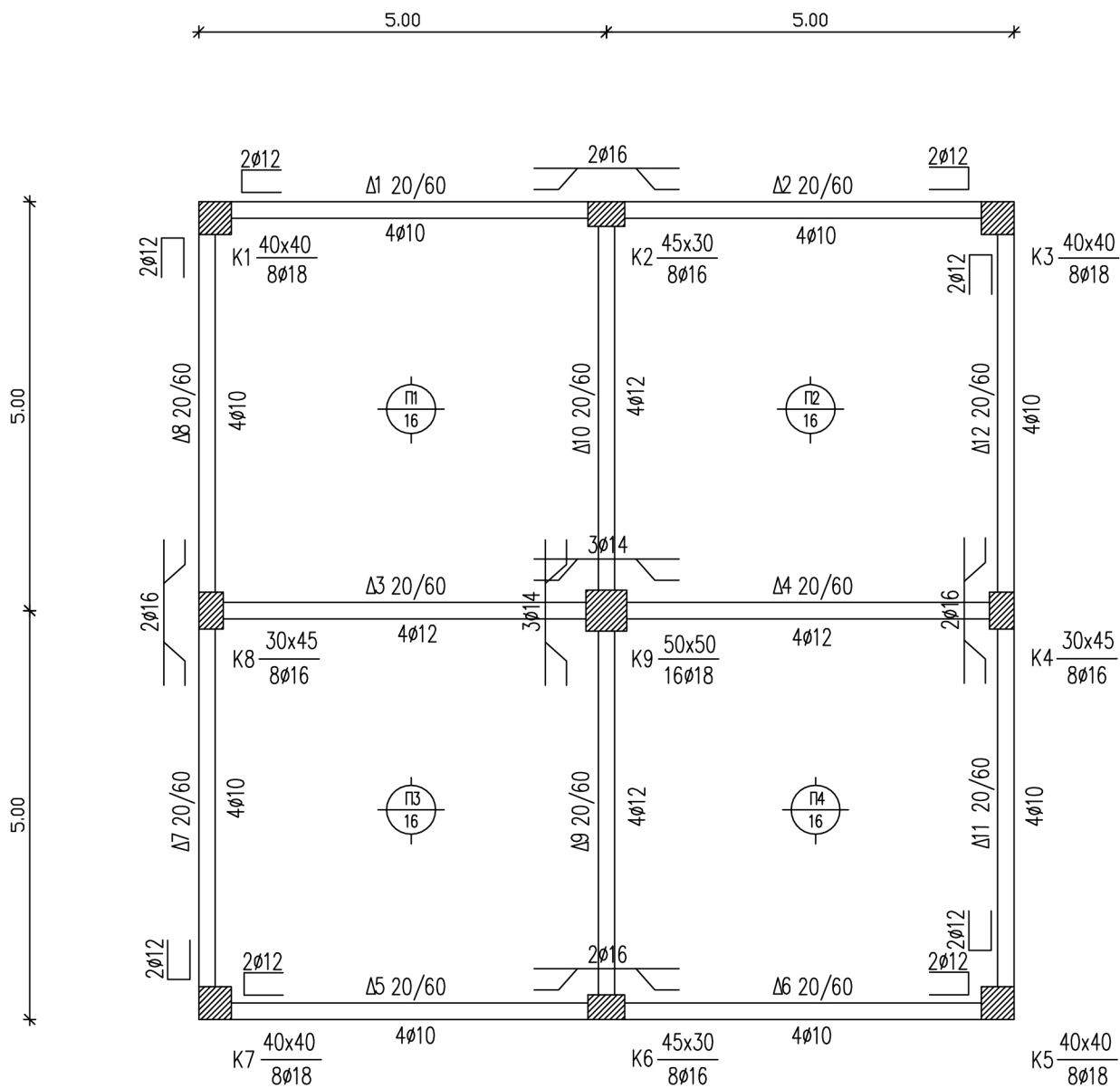
Τα υλικά σύμφωνα με τα οποία έχει σχεδιαστεί η κατασκευή ανήκουν σε παλαιότερες ποιότητες σκυροδέματος και χάλυβας ενώ για τις χαρακτηριστικές αντοχές τους θα ληφθούν οι μέσες τιμές. Τα υλικά των ενισχύσεων περιγράφονται στην αντίστοιχη ενότητα παρακάτω.

ΥΛΙΚΟ	ΠΟΙΟΤΗΤΑ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
Σκυρόδεμα	B160	$f_{cm}=16\text{Mpa}$
Χάλυβας	ST1	$f_{ym}=310\text{Mpa}$

**Πίνακας 6.0: Ποιότητες και μέσες χαρακτηριστικές τιμές σκυροδέματος και χάλυβα που χρησιμοποιήθηκαν**

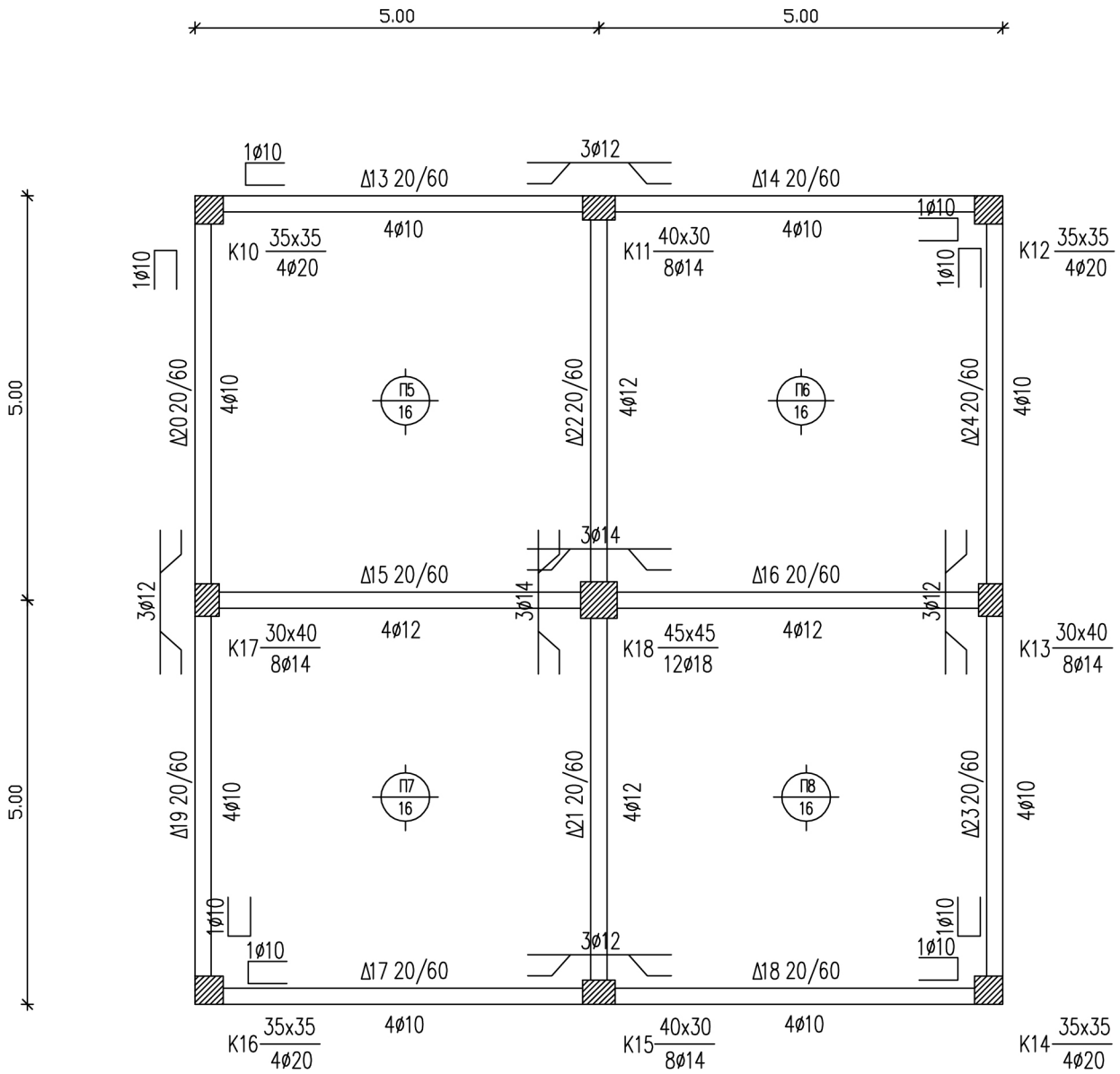
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

### 6.2 Ευλότυποι ορόφων



Ισόγειο

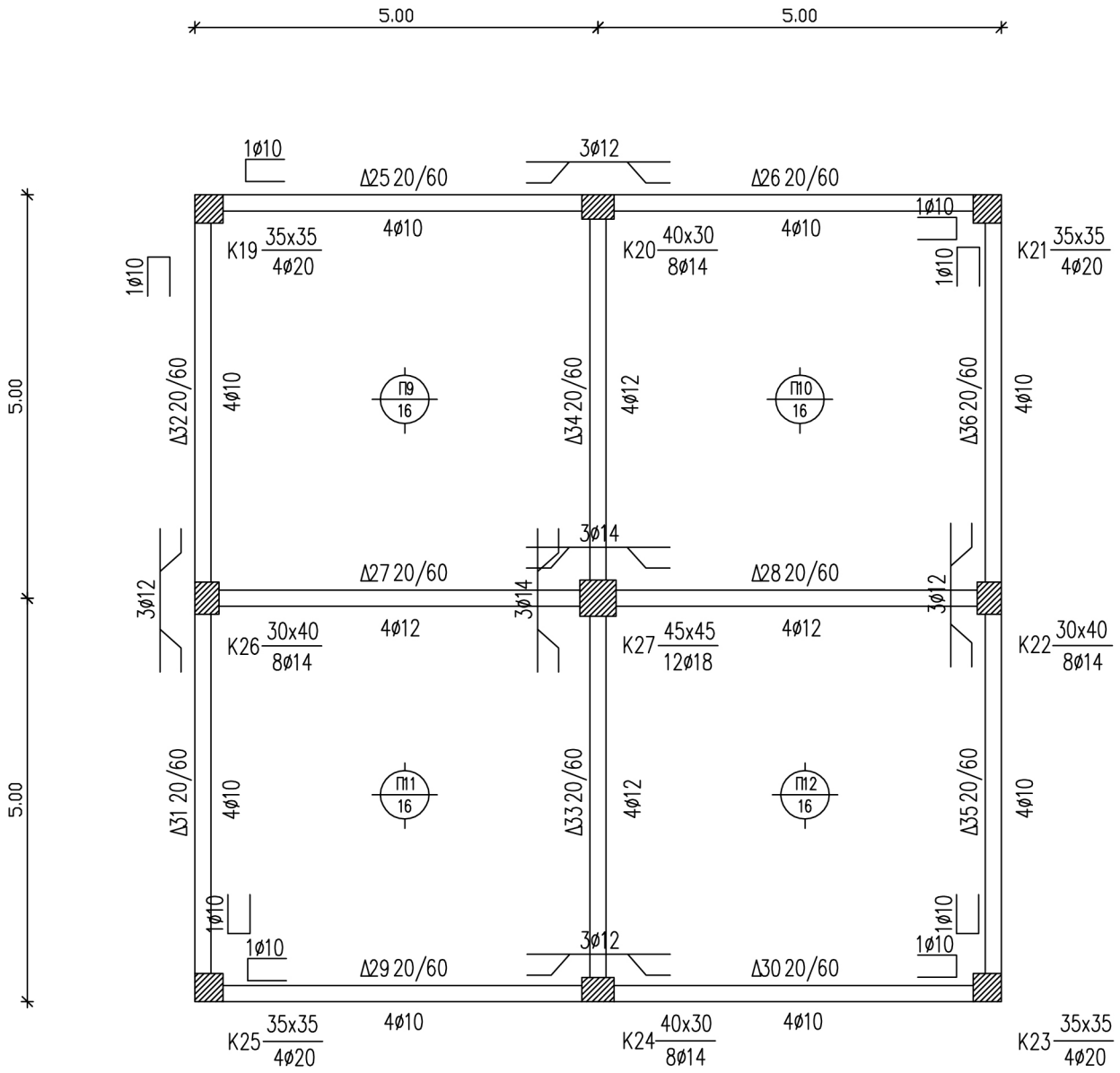
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ



### 1ος Όροφος

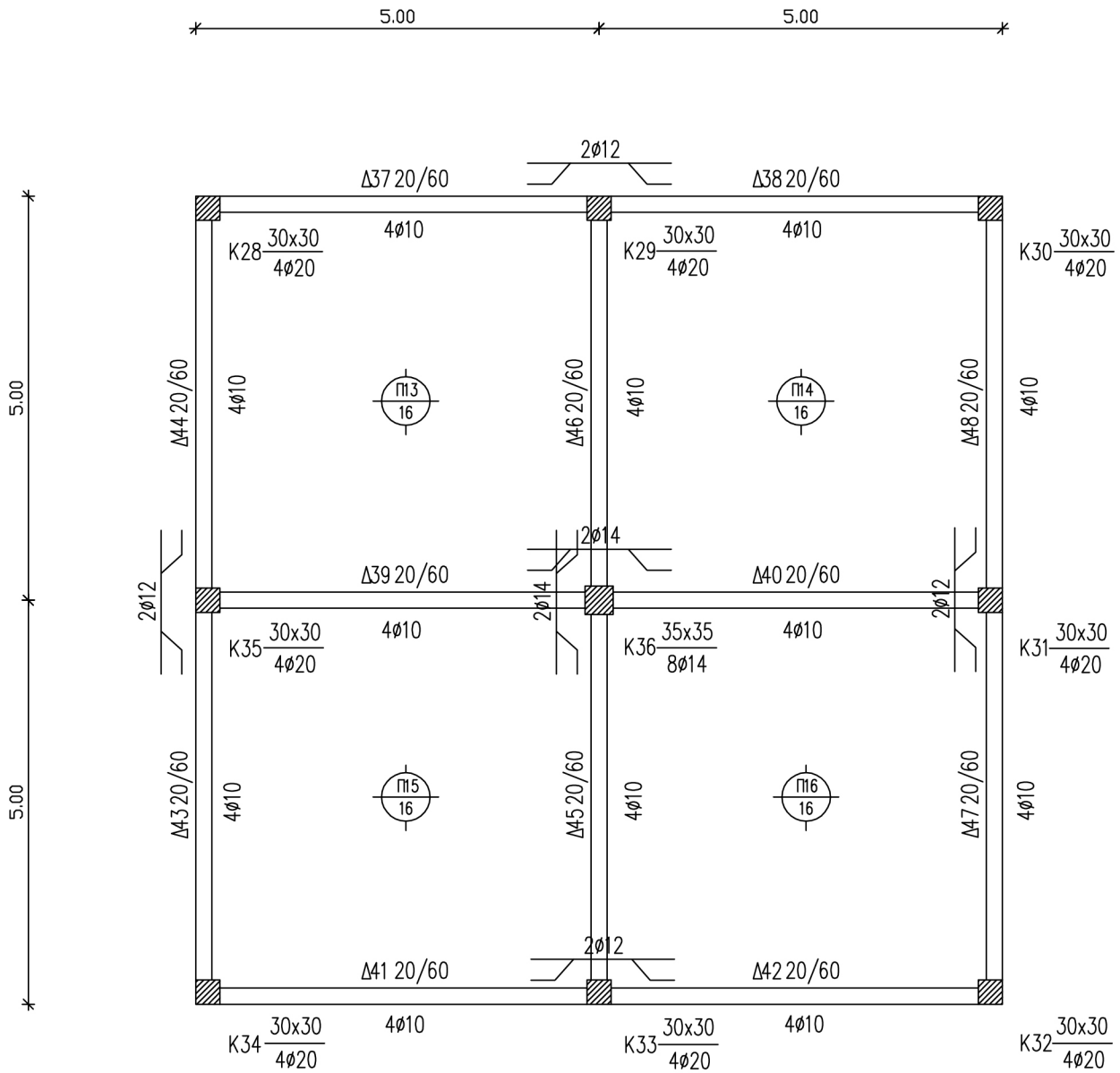


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ



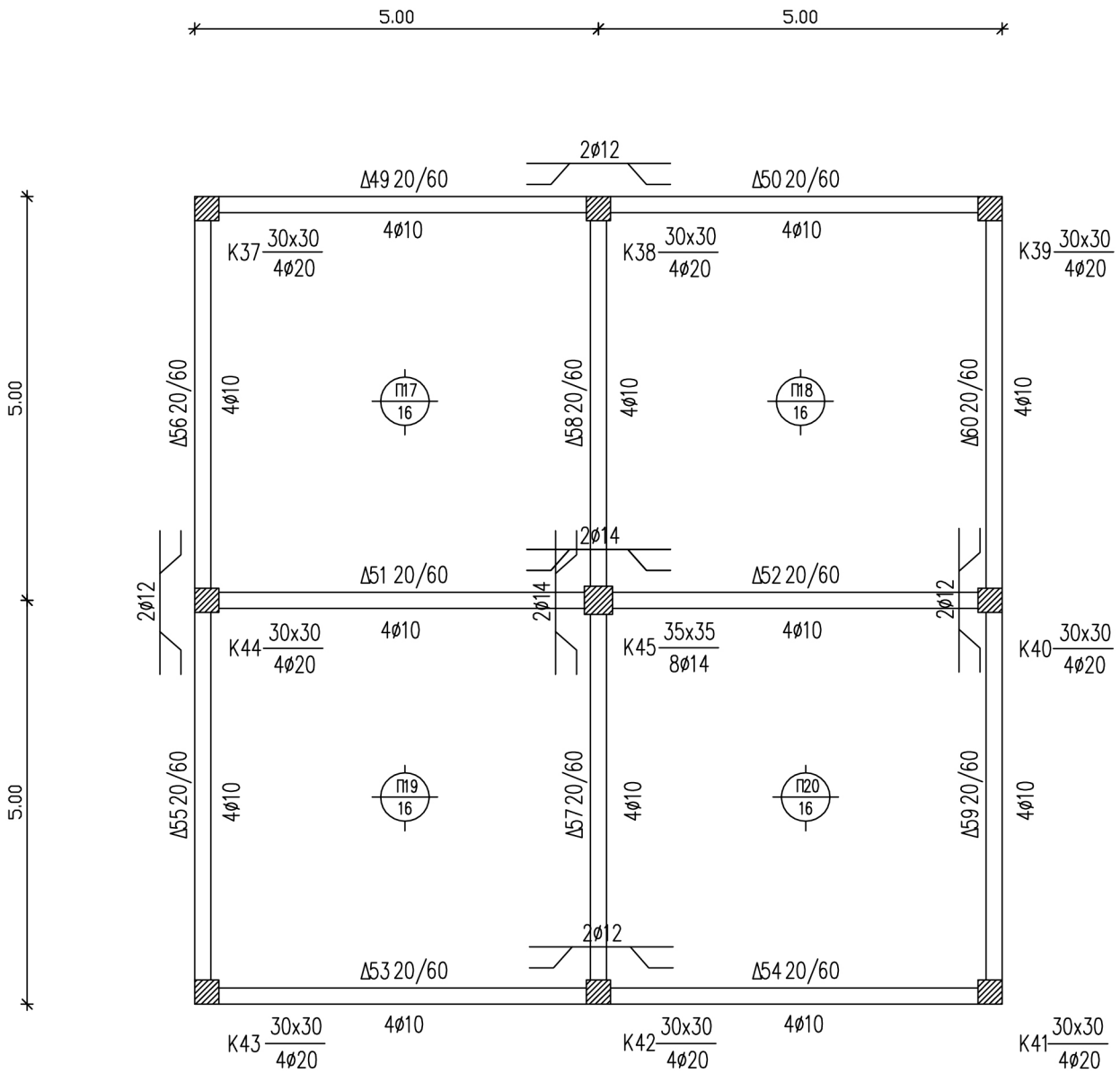
**2ος Όροφος**

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**



**3ος Όροφος**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ



**4ος Όροφος**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

### **6.3 Φορτία**

#### Κατακόρυφα φορτία

##### Μόνιμα:

- Επικάλυψη ορόφων 2 KN/m<sup>2</sup>
- Επικάλυψη δώματος 2 KN/m<sup>2</sup>
- Μπατική τοιχοποιία (6 οπές) 8,64 KN/m

##### Κινητά:

- Όροφοι 2 KN/m<sup>2</sup>
- Δώμα 1 KN/m<sup>2</sup>

#### Φορτία σεισμού (Παράμετροι)

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας:	I
Επιτάχυνση βαρύτητας g (m/sec <sup>2</sup> ):	9.810
Σεισμική επιτάχυνση εδάφους agR:	0.16*9.810=1.5696
Σύστημα κτιρίου κατά X:	Σύστημα πλαισίων
Σύστημα κτιρίου κατά Z:	Σύστημα πλαισίων
Συντελεστής εδαφικής επιτάχυνσης:	α=0.16
Κατηγορία εδάφους:	B
Σπουδαιότητα κτιρίου:	Σ2
Συντελεστής σπουδαιότητας:	γ=1.00

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

### 6.4 Περιγραφή διατομών

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά με τη μορφή πινάκων τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και η όπλιση των υποστυλωμάτων και των δοκών της κατασκευής:

	A/A	b(m)	h(m)	Διαμήκης Όπλισμός	Συνδετήρες
ΙΣΟΓΕΙΟ	K1	0,40	0,40	8Ø18	Ø8/30
	K2	0,45	0,30	8Ø16	Ø8/30
	K3	0,40	0,40	8Ø18	Ø8/30
	K4	0,30	0,45	8Ø16	Ø8/30
	K5	0,40	0,40	8Ø18	Ø8/30
	K6	0,45	0,30	8Ø16	Ø8/30
	K7	0,40	0,40	8Ø18	Ø8/30
	K8	0,30	0,45	8Ø16	Ø8/30
	K9	0,50	0,50	16Ø18	Ø8/30

**Πίνακας 6.1: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και όπλιση υποστυλωμάτων ισογείου.**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

	A/A	b(m)	h(m)	Διαμήκης Οπλισμός	Συνδετήρες
1ος ΟΡΟΦΟΣ	K10/K19	0,35	0,35	4Ø20	Ø8/30
&	K11/K20	0,40	0,30	8Ø14	Ø8/30
2ος ΟΡΟΦΟΣ	K12/K21	0,35	0,35	4Ø20	Ø8/30
	K13/K22	0,30	0,40	8Ø14	Ø8/30
	K14/K23	0,35	0,35	4Ø20	Ø8/30
	K15/K24	0,40	0,30	8Ø14	Ø8/30
	K16/K25	0,35	0,35	4Ø20	Ø8/30
	K17/K26	0,30	0,40	8Ø14	Ø8/30
	K18/K27	0,45	0,45	12Ø18	Ø8/30

**Πίνακας 6.2: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και όπλιση υποστυλωμάτων 1<sup>ος</sup> και 2<sup>ου</sup> ορόφου.**

	A/A	b(m)	h(m)	Διαμήκης Οπλισμός	Συνδετήρες
3ος ΟΡΟΦΟΣ	K28/K37	0,30	0,30	4Ø20	Ø8/30
&	K29/K38	0,30	0,30	4Ø20	Ø8/30
4ος ΟΡΟΦΟΣ	K30/K39	0,30	0,30	4Ø20	Ø8/30
	K31/K40	0,30	0,30	4Ø20	Ø8/30
	K32/K41	0,30	0,30	4Ø20	Ø8/30
	K33/K42	0,30	0,30	4Ø20	Ø8/30
	K34/K43	0,30	0,30	4Ø20	Ø8/30
	K35/K44	0,30	0,30	4Ø20	Ø8/30
	K36/K45	0,35	0,35	8Ø14	Ø8/30

**Πίνακας 6.2: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και όπλιση υποστυλωμάτων 3<sup>ου</sup> και 4<sup>ου</sup> ορόφου.**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

<b>ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΙΣΟΓΕΙΟΥ</b>			
	ΑΡΙΣΤΕΡΑ	ΜΕΣΗ	ΔΕΞΙΑ
<b>Δ1</b>			
Άνω	2 Ø 10 + 2 Ø 12	0 Ø 0	2 Ø 10 + 2 Ø 10 + 2 Ø 16
Κάτω	2 Ø 10 + 2 Ø 12	4 Ø 10	2 Ø 10
Σπαστά	2 Ø 10	2 Ø 10	2 Ø 10
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ2</b>			
Άνω	2 Ø 10 + 2 Ø 10 + 2 Ø 16	0 Ø 0	2 Ø 10 + 2 Ø 12
Κάτω	2 Ø 10	4 Ø 10	2 Ø 10 + 2 Ø 12
Σπαστά	2 Ø 10	2 Ø 10	2 Ø 10
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ3</b>			
Άνω	2 Ø 12	0 Ø 0	2 Ø 12 + 2 Ø 12 + 3 Ø 14
Κάτω	2 Ø 12	4 Ø 12	2 Ø 12
Σπαστά	2 Ø 12	2 Ø 12	2 Ø 12
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ4</b>			
Άνω	2 Ø 12 + 2 Ø 12 + 3 Ø 14	0 Ø 0	2 Ø 12
Κάτω	2 Ø 12	4 Ø 12	2 Ø 12
Σπαστά	2 Ø 12	2 Ø 12	2 Ø 12
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ5</b>			
Άνω	2 Ø 10 + 2 Ø 12	0 Ø 0	2 Ø 10 + 2 Ø 10 + 2 Ø 16
Κάτω	2 Ø 10 + 2 Ø 12	4 Ø 10	2 Ø 10
Σπαστά	2 Ø 10	2 Ø 10	2 Ø 10
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ6</b>			
Άνω	2 Ø 10 + 2 Ø 10 + 2 Ø 16	0 Ø 0	2 Ø 10 + 2 Ø 12
Κάτω	2 Ø 10	4 Ø 10	2 Ø 10 + 2 Ø 12
Σπαστά	2 Ø 10	2 Ø 10	2 Ø 10
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ7</b>			
Άνω	2 Ø 10 + 2 Ø 12	0 Ø 0	2 Ø 10 + 2 Ø 10 + 2 Ø 16
Κάτω	2 Ø 10 + 2 Ø 12	4 Ø 10	2 Ø 10
Σπαστά	2 Ø 10	2 Ø 10	2 Ø 10
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ8</b>			
Άνω	2 Ø 10 + 2 Ø 10 + 2 Ø 16	0 Ø 0	2 Ø 10 + 2 Ø 12
Κάτω	2 Ø 10	4 Ø 10	2 Ø 10 + 2 Ø 12
Σπαστά	2 Ø 10	2 Ø 10	2 Ø 10
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ9</b>			
Άνω	2 Ø 12	0 Ø 0	2 Ø 12 + 2 Ø 12 + 3 Ø 14
Κάτω	2 Ø 12	4 Ø 12	2 Ø 12
Σπαστά	2 Ø 12	2 Ø 12	2 Ø 12
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ10</b>			
Άνω	2 Ø 12 + 2 Ø 12 + 3 Ø 14	0 Ø 0	2 Ø 12
Κάτω	2 Ø 12	4 Ø 12	2 Ø 12
Σπαστά	2 Ø 12	2 Ø 12	2 Ø 12
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ11</b>			
Άνω	2 Ø 10 + 2 Ø 12	0 Ø 0	2 Ø 10 + 2 Ø 10 + 2 Ø 16
Κάτω	2 Ø 10 + 2 Ø 12	4 Ø 10	2 Ø 10
Σπαστά	2 Ø 10	2 Ø 10	2 Ø 10
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ12</b>			
Άνω	2 Ø 10 + 2 Ø 10 + 2 Ø 16	0 Ø 0	2 Ø 10 + 2 Ø 12
Κάτω	2 Ø 10	4 Ø 10	2 Ø 10 + 2 Ø 12
Σπαστά	2 Ø 10	2 Ø 10	2 Ø 10
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

<b>ΟΠΛΙΣΜΟΣ 1ος-2ος ΟΡΟΦΟΣ</b>			
	ΑΡΙΣΤΕΡΑ	ΜΕΣΗ	ΔΕΞΙΑ
<b>Δ13-Δ25</b>			
Άνω	2 ∅ 10 + 1 ∅ 10	0 ∅ 0	2 ∅ 10 + 2 ∅ 10 + 3 ∅ 12
Κάτω	2 ∅ 10 + 1 ∅ 10	4 ∅ 10	2 ∅ 10
Σπαστά	2 ∅ 10	2 ∅ 10	2 ∅ 10
Συνδετήρες	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30
<b>Δ14-Δ26</b>			
Άνω	2 ∅ 10 + 2 ∅ 10 + 3 ∅ 12	0 ∅ 0	2 ∅ 10 + 1 ∅ 10
Κάτω	2 ∅ 10	4 ∅ 10	2 ∅ 10 + 1 ∅ 10
Σπαστά	2 ∅ 10	2 ∅ 10	2 ∅ 10
Συνδετήρες	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30
<b>Δ15-Δ27</b>			
Άνω	2 ∅ 12	0 ∅ 0	2 ∅ 12 + 2 ∅ 12 + 3 ∅ 14
Κάτω	2 ∅ 12	4 ∅ 12	2 ∅ 12
Σπαστά	2 ∅ 12	2 ∅ 12	2 ∅ 12
Συνδετήρες	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30
<b>Δ16-Δ28</b>			
Άνω	2 ∅ 12 + 2 ∅ 12 + 3 ∅ 14	0 ∅ 0	2 ∅ 12
Κάτω	2 ∅ 12	4 ∅ 12	2 ∅ 12
Σπαστά	2 ∅ 12	2 ∅ 12	2 ∅ 12
Συνδετήρες	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30
<b>Δ17-Δ29</b>			
Άνω	2 ∅ 10 + 1 ∅ 10	0 ∅ 0	2 ∅ 10 + 2 ∅ 10 + 3 ∅ 12
Κάτω	2 ∅ 10 + 1 ∅ 10	4 ∅ 10	2 ∅ 10
Σπαστά	2 ∅ 10	2 ∅ 10	2 ∅ 10
Συνδετήρες	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30
<b>Δ18-Δ30</b>			
Άνω	2 ∅ 10 + 2 ∅ 10 + 3 ∅ 12	0 ∅ 0	2 ∅ 10 + 1 ∅ 10
Κάτω	2 ∅ 10	4 ∅ 10	2 ∅ 10 + 1 ∅ 10
Σπαστά	2 ∅ 10	2 ∅ 10	2 ∅ 10
Συνδετήρες	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30
<b>Δ19-Δ31</b>			
Άνω	2 ∅ 10 + 1 ∅ 10	0 ∅ 0	2 ∅ 10 + 2 ∅ 10 + 3 ∅ 12
Κάτω	2 ∅ 10 + 1 ∅ 10	4 ∅ 10	2 ∅ 10
Σπαστά	2 ∅ 10	2 ∅ 10	2 ∅ 10
Συνδετήρες	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30
<b>Δ20-Δ32</b>			
Άνω	2 ∅ 10 + 2 ∅ 10 + 3 ∅ 12	0 ∅ 0	2 ∅ 10 + 1 ∅ 10
Κάτω	2 ∅ 10	4 ∅ 10	2 ∅ 10 + 1 ∅ 10
Σπαστά	2 ∅ 10	2 ∅ 10	2 ∅ 10
Συνδετήρες	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30
<b>Δ21-Δ33</b>			
Άνω	2 ∅ 12	0 ∅ 0	2 ∅ 12 + 2 ∅ 12 + 3 ∅ 14
Κάτω	2 ∅ 12	4 ∅ 12	2 ∅ 12
Σπαστά	2 ∅ 12	2 ∅ 12	2 ∅ 12
Συνδετήρες	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30
<b>Δ22-Δ34</b>			
Άνω	2 ∅ 12 + 2 ∅ 12 + 3 ∅ 14	0 ∅ 0	2 ∅ 12
Κάτω	2 ∅ 12	4 ∅ 12	2 ∅ 12
Σπαστά	2 ∅ 12	2 ∅ 12	2 ∅ 12
Συνδετήρες	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30
<b>Δ23-Δ35</b>			
Άνω	2 ∅ 10 + 1 ∅ 10	0 ∅ 0	2 ∅ 10 + 2 ∅ 10 + 3 ∅ 12
Κάτω	2 ∅ 10 + 1 ∅ 10	4 ∅ 10	2 ∅ 10
Σπαστά	2 ∅ 10	2 ∅ 10	2 ∅ 10
Συνδετήρες	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30
<b>Δ24-Δ36</b>			
Άνω	2 ∅ 10 + 2 ∅ 10 + 3 ∅ 12	0 ∅ 0	2 ∅ 10 + 1 ∅ 10
Κάτω	2 ∅ 10	4 ∅ 10	2 ∅ 10 + 1 ∅ 10
Σπαστά	2 ∅ 10	2 ∅ 10	2 ∅ 10
Συνδετήρες	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30	∅ 8 / 30



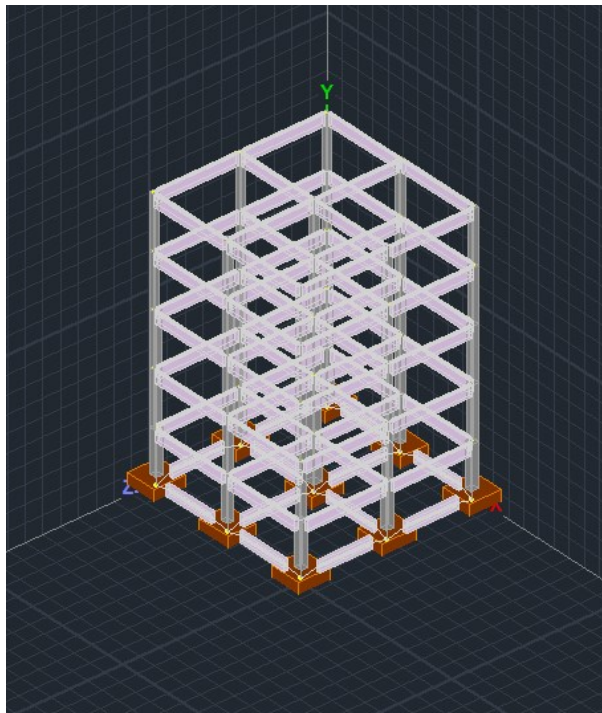
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

<b>ΟΠΛΙΣΜΟΣ 3ος-4ος ΟΡΟΦΟΣ</b>			
	ΑΡΙΣΤΕΡΑ	ΜΕΣΗ	ΔΕΞΙΑ
<b>Δ37-Δ49</b>			
Άνω	2 Ø 10	0 Ø 0	2 Ø 10 + 2 Ø 10 + 2 Ø 12
Κάτω	2 Ø 10	4 Ø 10	2 Ø 10
Σπαστά	2 Ø 10	2 Ø 10	2 Ø 10
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ38-Δ50</b>			
Άνω	2 Ø 10 + 2 Ø 10 + 2 Ø 12	0 Ø 0	2 Ø 10
Κάτω	2 Ø 10	4 Ø 10	2 Ø 10
Σπαστά	2 Ø 10	2 Ø 10	2 Ø 10
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ39-Δ51</b>			
Άνω	2 Ø 10	0 Ø 0	2 Ø 10 + 2 Ø 10 + 2 Ø 14
Κάτω	2 Ø 10	4 Ø 10	2 Ø 10
Σπαστά	2 Ø 10	2 Ø 10	2 Ø 10
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ40-Δ52</b>			
Άνω	2 Ø 10 + 2 Ø 10 + 2 Ø 14	0 Ø 0	2 Ø 10
Κάτω	2 Ø 10	4 Ø 10	2 Ø 10
Σπαστά	2 Ø 10	2 Ø 10	2 Ø 10
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ41-Δ53</b>			
Άνω	2 Ø 10	0 Ø 0	2 Ø 10 + 2 Ø 10 + 2 Ø 12
Κάτω	2 Ø 10	4 Ø 10	2 Ø 10
Σπαστά	2 Ø 10	2 Ø 10	2 Ø 10
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ42-Δ54</b>			
Άνω	2 Ø 10 + 2 Ø 10 + 2 Ø 12	0 Ø 0	2 Ø 10
Κάτω	2 Ø 10	4 Ø 10	2 Ø 10
Σπαστά	2 Ø 10	2 Ø 10	2 Ø 10
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ43-Δ55</b>			
Άνω	2 Ø 10	0 Ø 0	2 Ø 10 + 2 Ø 10 + 2 Ø 12
Κάτω	2 Ø 10	4 Ø 10	2 Ø 10
Σπαστά	2 Ø 10	2 Ø 10	2 Ø 10
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ44-Δ56</b>			
Άνω	2 Ø 10 + 2 Ø 10 + 2 Ø 12	0 Ø 0	2 Ø 10
Κάτω	2 Ø 10	4 Ø 10	2 Ø 10
Σπαστά	2 Ø 10	2 Ø 10	2 Ø 10
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ45-Δ57</b>			
Άνω	2 Ø 10	0 Ø 0	2 Ø 10 + 2 Ø 10 + 2 Ø 14
Κάτω	2 Ø 10	4 Ø 10	2 Ø 10
Σπαστά	2 Ø 10	2 Ø 10	2 Ø 10
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ46-Δ58</b>			
Άνω	2 Ø 10 + 2 Ø 10 + 2 Ø 14	0 Ø 0	2 Ø 10
Κάτω	2 Ø 10	4 Ø 10	2 Ø 10
Σπαστά	2 Ø 10	2 Ø 10	2 Ø 10
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ47-Δ59</b>			
Άνω	2 Ø 10	0 Ø 0	2 Ø 10 + 2 Ø 10 + 2 Ø 12
Κάτω	2 Ø 10	4 Ø 10	2 Ø 10
Σπαστά	2 Ø 10	2 Ø 10	2 Ø 10
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30
<b>Δ48-Δ60</b>			
Άνω	2 Ø 10 + 2 Ø 10 + 2 Ø 12	0 Ø 0	2 Ø 10
Κάτω	2 Ø 10	4 Ø 10	2 Ø 10
Σπαστά	2 Ø 10	2 Ø 10	2 Ø 10
Συνδετήρες	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30

### **6.5 Προσομοίωση**

Για την προσομοίωση της κατασκευής χρησιμοποιήθηκαν ένα σύνολο εργαλείων και αυτοματισμών που διαθέτει το πρόγραμμα Scada Pro, διευκολύνοντας το έργο του μελετητή μηχανικού και επιταχύνοντας την διαδικασία της μελέτης. Όλες οι εντολές και οι δυνατότητες του προγράμματος περιγράφονται αναλυτικά στο εγχειρίδιο χρήσης ενώ εδώ επιδιώκεται μια γενική, συνοπτική περιγραφή της διαδικασίας προσομοίωσης.

Αρχικά, είναι απαραίτητο να γίνει η αναπαραγωγή και η αναπαράσταση του φορέα εντός του γραφικού περιβάλλοντος του προγράμματος σύμφωνα με τη μορφολογία και τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά. Το προϊόν αυτής της διαδικασίας χαρακτηρίζεται ως φυσικό μοντέλο (Σχήμα 6.0) από το οποίο γίνεται στη συνέχεια ο υπολογισμός του μαθηματικού μοντέλου (Σχήμα 6.2) που θα χρησιμοποιηθεί στην διενέργεια των αναλύσεων.



**Σχήμα 6.0: Φυσικό μοντέλο**

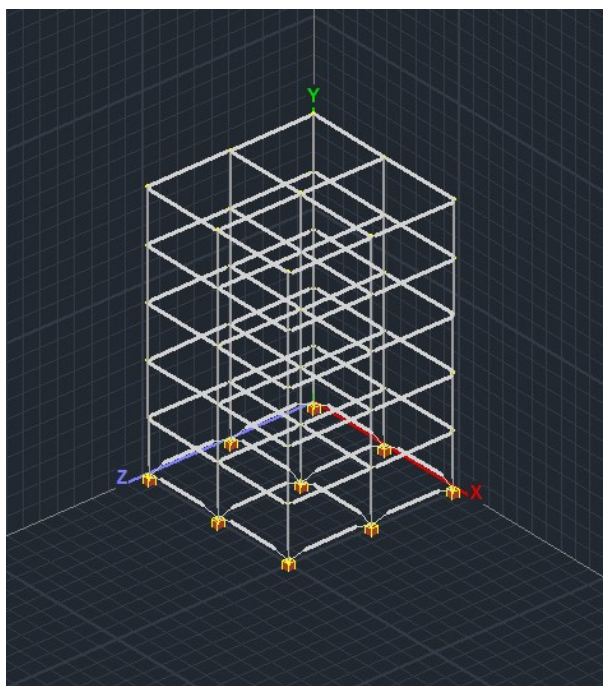
Στη συγκεκριμένη εργασία, ο τρόπος που επιλέχθηκε για τη δημιουργία του φυσικού μοντέλου περιλαμβάνει την εισαγωγή αρχείου μορφής DWG όπου απεικονίζεται η κάτοψη της στάθμης, για την οποία έγινε αυτόματη αναγνώριση διατομών ( σύμφωνα με τις δυνατότητες του προγράμματος ) για τη στάθμη ισογείου και στην συνέχεια μέσω των εντολών της αντιγραφής και της επικόλλησης επιπέδου (Σχήμα 6.1)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

αντιγράφηκε στις υπόλοιπες στάθμες. Οι εντολές της αντιγραφής και της επικόλλησης αντιγράφουν αυτούσια την εκάστοτε στάθμη οπότε και χρειάστηκε να διορθωθούν στη συνέχεια οι διατομές των υποστυλωμάτων οι διαστάσεις των οποίων παρουσιάζουν μεταβολή καθ' ύψος, όπως έχει περιγραφεί παραπάνω.



**Σχήμα 6.1: Εντολές αντιγραφής και επικόλλησης επιπέδου**



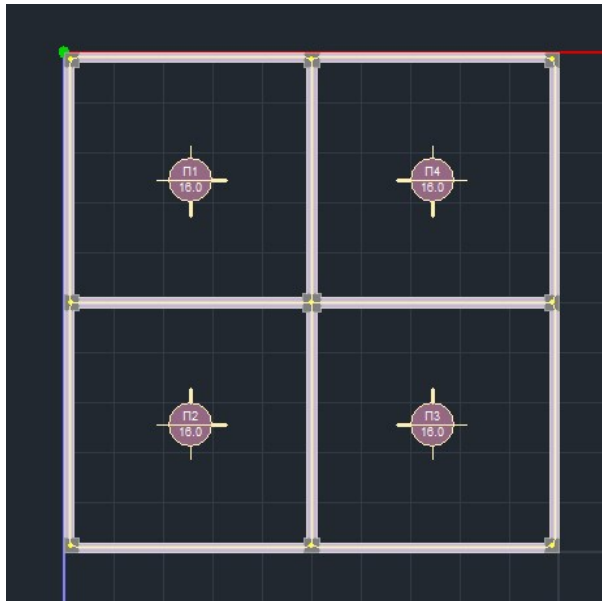
**Σχήμα 6.2: Μαθηματικό μοντέλο**

Το μαθηματικό μοντέλο προκύπτει αυτόματα από το φυσικό μοντέλο με χρήση της εντολής «υπολογισμός» και αποτελείται από γραμμικά μέλη και κόμβους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Μετά την μοντελοποίηση της κατασκευής ακολουθεί ο προσδιορισμός των πλακών και η απόδοση των κατακόρυφων φορτίων.

Στην καρτέλα «Πλάκες» περιλαμβάνεται ένα σύνολο εντολών που προορίζεται εξ' ολοκλήρου για την εισαγωγή και επεξεργασία των πλακών. Για την εισαγωγή των πλακών αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση η ύπαρξη μαθηματικού μοντέλου. Στην εντολή των παραμέτρων της πλάκας ορίστηκε ένα ελάχιστο πάχος 16cm και η επικάλυψη της σε 20mm. Για την εισαγωγή, η εντολή «εύρεση» εντόπισε συνολικά για κάθε στάθμη τις συμπαγείς πλάκες σε όλα τα κλειστά περιγράμματα του ενεργού ορόφου και η εμφάνιση του συμβόλου της πλάκας με την αρίθμηση και το πάχος μας πληροφορεί για την επιτυχή απόδοσή της (Σχήμα 6.3). Επίσης, οι γραμμές πάνω στο σύμβολο αντιπροσωπεύουν τις συνθήκες στήριξης, με την χοντρή γραμμή να αναφέρεται σε πάκτωση και να εμφανίζεται όταν υπάρχει συνέχεια πλακών ενώ η λεπτή αναφέρεται σε ασυνέχεια δοκών και άρα άρθρωση.



**Σχήμα 6.3: Επιτυχημένη απόδοση πλακών**

Ο προσδιορισμός των πλακών είναι απαραίτητος για να μπορέσουν γίνει ο καταμερισμός των φορτίων στον φέροντα οργανισμό ώστε να ληφθούν υπόψη στους υπολογισμούς κατά το στάδιο της ανάλυσης.

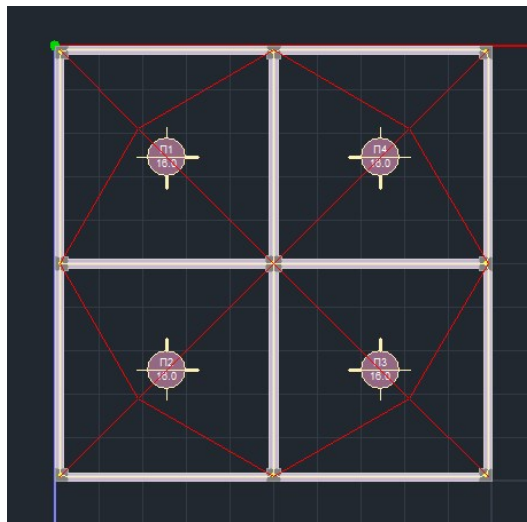
Η απόδοση και η επεξεργασία των φορτίσεων ακολουθεί την εισαγωγή των πλακών και πραγματοποιήθηκε μέσω της καρτέλας «φορτία». Αρχικά ορίστηκε το είδος των φορτίσεων που αποτελούνται από τα κινητά και τα μόνιμα φορτία ενώ στα μόνιμα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

συμπεριλήφθηκε και το ίδιο βάρος της κατασκευής, ο υπολογισμός του οποίου πραγματοποιήθηκε αυτόματα. Επιπλέον φορτίσεις (π.χ. χιόνι, έκρηξη, πυρκαγιά, κ.ά.) διατίθενται από τις δυνατότητες του προγράμματος ενώ η συγκεκριμένη εργασία περιορίστηκε στα κατακόρυφα φορτία που προαναφέρθηκαν.

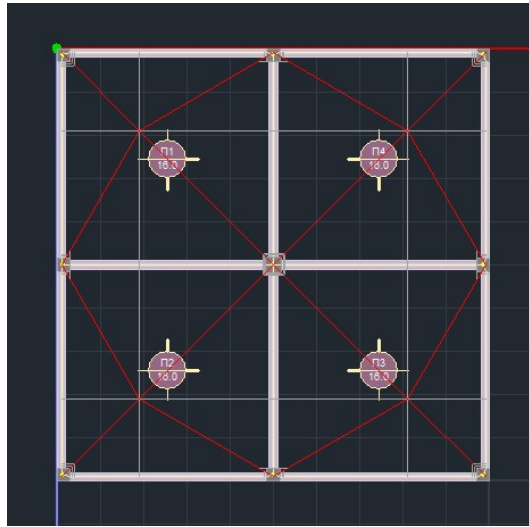
Τον προσδιορισμό του είδους των φορτίσεων ακολουθεί η εισαγωγή και η απόδοσή τους στις πλάκες με τις αριθμητικές τους τιμές όπως αυτές δόθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου. Η επιλογή για την εισαγωγή έγινε όχι μεμονωμένα για κάθε πλάκα αλλά συνολικά για κάθε στάθμη. Με την εντολή «Εισαγωγή > Συνολικά» αποδόθηκε μια κοινή τιμή  $2\text{KN/m}^2$  για τα μόνιμα και μια άλλη  $2\text{KN/m}^2$  για τα κινητά και στις τέσσερις πλάκες της πρώτης στάθμης και η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε και για τις υπόλοιπες στάθμες διαφοροποιώντας την τιμή των κινητών φορτίων μόνο στην τελευταία η οποία αναφέρεται στο δώμα ( $1\text{KN/m}^2$ ). Η εντολή επεξεργασία, που χρησιμοποιείται για την τροποποίηση των φορτίσεων, χρησιμοποιήθηκε για την επιβεβαίωση της αποτελεσματικής και ακριβής εισαγωγής των φορτίσεων.

Μετά την ολοκλήρωση του προσδιορισμού του είδους των φορτίσεων και της ποσοτικής απόδοσής τους, ακολουθεί ο υπολογισμός των επιφανειών φόρτισης και στη συνέχεια η απόδοση των αντιδράσεων στις δοκούς και τους κόμβους. Οι επιφάνειες φόρτισης είναι τμήματα της επιφάνειας των πλακών τα φορτία των οποίων θα επιβληθούν στις δοκούς. Ο υπολογισμός των επιφανειών φόρτισης γίνεται αυτόματα μέσω της εντολής «Γραμμές διαρροής» και προκύπτουν από γεωμετρικό μερισμό της επιφάνειας της κάτοψης, κάνοντας χρήση του κανόνα 45/60 (Σχήμα 6.4). Με την εντολή «Απόδοση Αντιδράσεων» τα φορτία που προέκυψαν από τον μερισμό αποδίδονται στα μέλη που ορίζουν τις πλάκες (Σχήμα 6.5)



**Σχήμα 6.4: Γραμμές διαρροής και γεωμετρικός μερισμός**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ



**Σχήμα 6.5: Απόδοση αντιδράσεων**

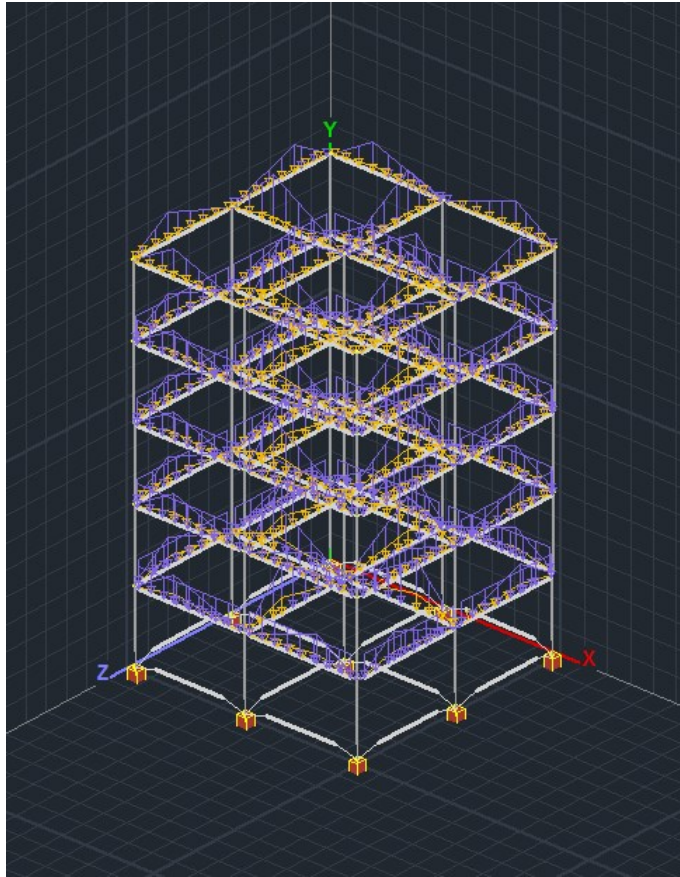
Ακόμα, επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί μια επιπλέον φόρτιση στις περιμετρικές δοκούς κάθε στάθμης ( πλην της τελικής ) ώστε να αποδοθούν τα κατακόρυφα φορτία που απορρέουν από την ύπαρξη τοιχοποιίας. Η εντολή «Εισαγωγή» από την ομάδα εντολών «Φορτία Μελών» παρέχει αυτή τη δυνατότητα και περιλαμβάνει μια βιβλιοθήκη προκαθορισμένων φορτίων από την οποία έγινε η επιλογή μιας μπατικής τοιχοποιίας 6-οπων με φορτίο  $3,6\text{KN/m}^2$  και ύψος  $2,4\text{m}$ , όση είναι και η απόσταση από το πάνω μέρος της πλάκας μέχρι το κάτω μέρος της δοκού (Σχήμα 6.6).

Προκαθορισμένα Φορτία ×

Από Βιβλιοθήκη	ΜΠΑΤΙΚΗ 6-ΟΠΕΣ	▼
Περιγραφή	ΜΠΑΤΙΚΗ 6-ΟΠΕΣ	
Φορτίο (kN/m <sup>2</sup> )	3.6	Ενημ.Βιβλιοθήκης
Υψος (m)	2.4	OK
Φορτίο (kN/m)	8.64	Cancel

**Σχήμα 6.6: Ορισμός παραμέτρων φόρτισης από ύπαρξη τοιχοποιίας**

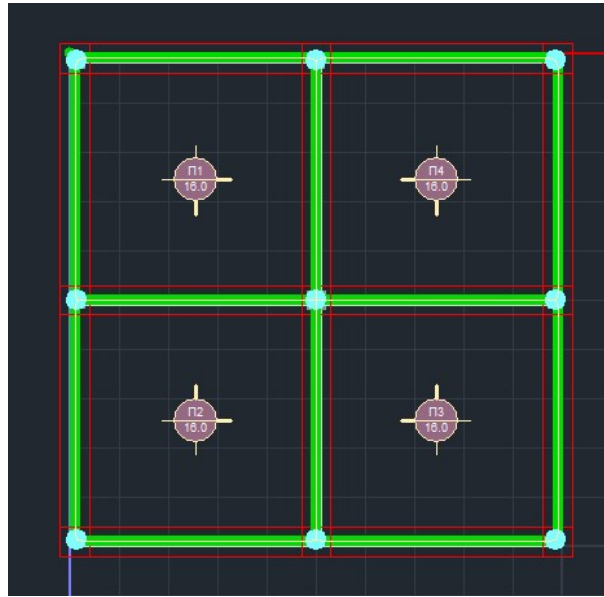




**Σχήμα 6.7: Απόδοση φορτίσεων στα γραμμικά μέλη του προσομοιωμένου φορέα**

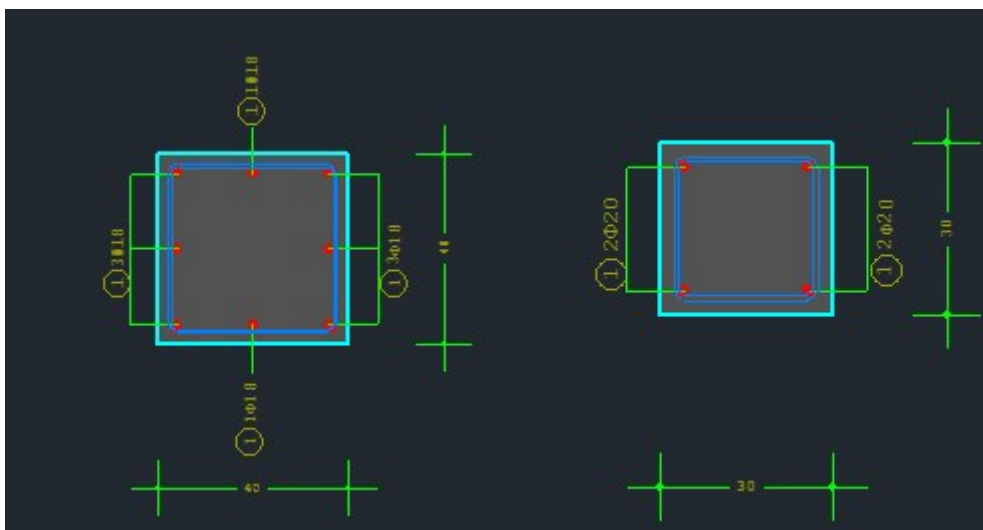
Το τελικό στάδιο στη διαδικασία μοντελοποίησης της κατασκευής αποτελεί η διαστασιολόγηση της. Είναι απαραίτητη μια πρώτη διαστασιολόγηση του φορέα χρησιμοποιώντας σενάριο του Ευρωκώδικα 2 ώστε να υπολογιστεί ο σπλισμός του.

Οι αντοχές των υλικών τροποποιούνται με τέτοιο τρόπο πριν την διαστασιολόγηση ώστε να ταυτίζονται με τις μέσες χαρακτηριστικές τιμές για τις παλαιότερες κατηγορίες σκυροδέματος και χάλυβα και με την εντολή «αυτόματη διαστασιολόγηση» εισάγεται σπλισμός στις δοκούς και τα υποστυλώματα του φορέα. Μετά τη διαστασιολόγηση, εντός της αντίστοιχης καρτέλας, οι δοκοί στην κάτοψη της κατασκευής χρωματίζονται με πράσινο και τα υποστυλώματα με γαλάζιο, πληροφορώντας μας για την πετυχημένη εισαγωγή του σπλισμού (Σχήμα 6.8).



**Σχήμα 6.8: Επιτυχημένη διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων και δοκών**

Ενώ η αρχική διαστασιολόγηση λαμβάνει υπόψη τις μέσες τιμές των υλικών που ορίσαμε, η επιλογή για την διάμετρο των ράβδων και τον αριθμό τους έχει γίνει αυτόματα σύμφωνα με σύγχρονους κανονισμούς με αποτέλεσμα να μην ανταποκρίνονται σε αυτούς που ήδη διαθέτει η κατασκευή, ανάλογοι της παλαιότητάς της. Η διόρθωση γίνεται από την εντολή «Λεπτομέρειες οπλισμών» όπου μεμονωμένα για κάθε υποστύλωμα και για κάθε δοκό επιλέγονται οι διάμετροι και οι αριθμοί των ράβδων, οι διάμετροι των συνδετήρων και οι μεταξύ τους αποστάσεις και άλλοι παράμετροι όπλισης ώστε να προσαρμοσθούν σε αυτούς όπως περιγράφονται παραπάνω από τους πίνακες των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και των λεπτομερειών όπλισης των στοιχείων (Σχήμα 6.9).



**Σχήμα 6.9: Κάτοψη υποστυλωμάτων με διορθωμένο οπλισμό**



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Αφού ολοκληρωθεί η διαστασιολόγηση και πριν την ανάλυση υπολογίζονται τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης ροπών και αξονικών δυνάμεων (M-N) με βάση τη γεωμετρία της διατομής, την ποιότητα των υλικών και τον σπλισμό. Η εντολή «υπολογισμός αντοχών (Pushover)» υπολογίζει τα διαγράμματα για όλα τα υποστυλώματα του φορέα και όλες τις στάθμες. Πραγματοποιείται επίσης ένας προέλεγχος όπου υπολογίζονται οι δείκτες ανεπάρκειας λ οι οποίοι δίνουν και μια πρώτη Σχήμα της αντίστασης του κτιρίου σε σεισμού και της μορφολογικής κανονικότητας του. Στη συνέχεια η κατασκευή είναι έτοιμη να υποβληθεί σε ανελαστική στατική ανάλυση.

### **6.6 Ενισχύσεις**

Οι ενισχύσεις σύμφωνα με τις οποίες μελετήθηκε η κατασκευή περιλαμβάνουν την περίσφιξη των υποστυλωμάτων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος, την τοποθέτηση χαλύβδινων ελασμάτων, την προσθήκη πλευρικών τοιχωμάτων σε συνέχεια δοκών και την περίσφιξη με ΙΟΠ κεντρικού υποστυλώματος. Στη μια περίπτωση πραγματοποιήθηκε η ενίσχυση όλων των υποστυλωμάτων με μανδύες η οποία αφού κρίθηκε ότι δεν επαρκεί, μελετήθηκε σε μια δεύτερη εκδοχή στην οποία συμπληρώθηκε από την προσθήκη χαλύβδινων ελασμάτων στις δοκούς. Στη δεύτερη περίπτωση, τα ενδιάμεσα υποστυλώματα μετατράπηκαν σε τοιχία οπλισμένου σκυροδέματος που αφού αξιολογήθηκαν ως προς την αποτελεσματική ή μη επιρροή τους στην ενίσχυση της κατασκευής, οδήγησαν σε μια συμπληρωματική ενίσχυση ενός μεμονωμένου στοιχείου με ινοπλισμένα πολυμερή.

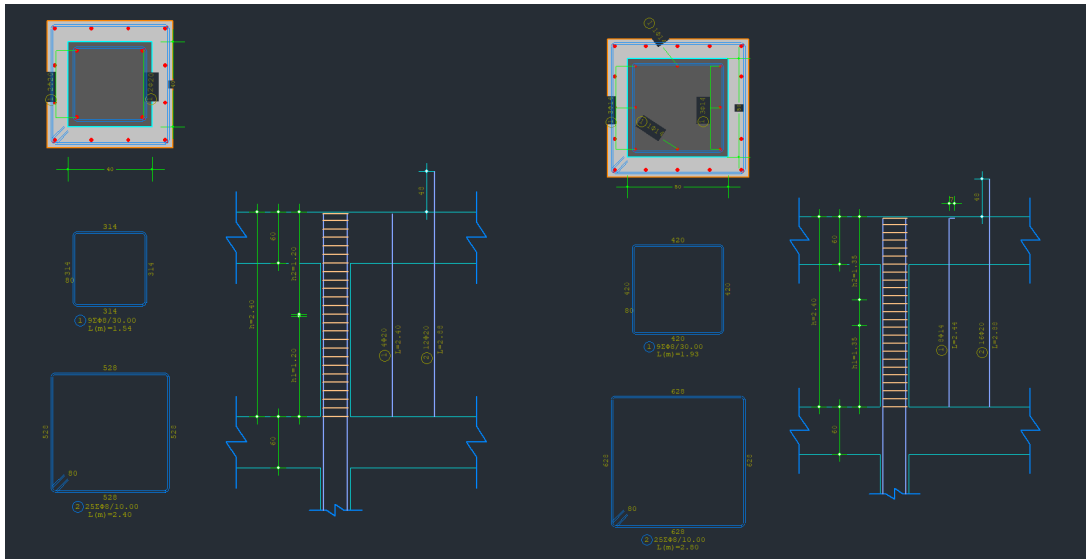
#### Ενίσχυση υποστυλωμάτων με μανδύες

Επιλέχθηκε ένα γενικό πάχος μανδύων (10cm) για όλα τα υποστυλώματα κάθε στάθμης για να μην επηρεαστεί σημαντικά η μορφολογική κανονικότητα της κατασκευής και η κατανομή των μαζών. Η επιλεγθείσα κατηγορία σκυροδέμα είναι αντοχής C20/25 και ο χάλυβας B500C, τόσο για τον διαμήκη όσο και για τον διατμητικό οπλισμό (συνδετήρες).

Ο διαμήκης οπλισμός που τοποθετήθηκε είναι 12Ø20, ίδιος για όλα τα υποστυλώματα πλην του κεντρικού στη στάθμη ισογείου όπου τοποθετήθηκαν 16Ø20 ώστε να καλυφθούν οι απαιτήσεις για την ελάχιστη απόσταση μεταξύ των ράβδων. Οι απαιτήσεις για το ελάχιστο και μέγιστο ποσοστό οπλισμού ως προς το εμβαδό διατομής έχουν ληφθεί επίσης υπόψη.

Στις παρακάτω εικόνες, φαίνεται το γραφικό περιβάλλον του προγράμματος όπου διακρίνεται δυο εκ των υποστυλωμάτων σε κάθετη και οριζόντια τομή (διατομή υποστυλώματος). Οι ανοιχτόχρωμη γκρίζα περιοχή αντιστοιχεί στον μανδύα που διατρέχει το υποστυλώμα ενώ η σκουρόχρωμη εντός στο αρχικό μη-ενισχυμένο υποστυλώμα. (Σχήμα 6.10) Και στις δυο περιπτώσεις ο οπλισμός διακρίνεται με κόκκινες κουκίδες ενώ οι συνδετήρες με μπλε σε κάτοψη και κίτρινο σε πλάγια όψη. Το πρόγραμμα υπολογίζει αυτόματα των αριθμό των βλήτρων και την μεταξύ τους απόσταση, ώστε να διασφαλιστεί η αποτελεσματική συναρμογή παλαιού-νέου υλικού, με την προϋπόθεση ότι έχει επιλεγεί η διάμετρος τους που εδώ είναι 14mm.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ



**Σχήμα 6.10: Ενισχυμένα υποστυλώματα σε οριζόντια και κατακόρυφη τομή**

Τοποθέτηση		
Επικάλυψη(mm)	20	Πάχη (cm) Μήκη
Πάχος	10	0 0
Πλευρά		0 0
Σε όλη την Διατομή		Μανδύας Περίσφιξης
Υλικά		
Σκυρόδεμα : C20/25	Χάλυβας (Κύριας) :B500C	EM4C
Βλήτρα - Αναρτήρες :B500C	Χάλυβας (Συνδ/ρων) :B500C	Sika
Ελεγκοί		
Επιλογή πλευράς	Στάθμη επιτελεστικότητα	B - SD
Υπολογισμός Συνολικά	Μήκος Συναρμογής (cm)	290
	Ποσοστό Εντασης μέσω μηχανισμού τριβής(%)	0
Αναρτήρες		
Διάμετρος(mm)	14	show
Αριθμός	0	hs(mm)
		Συνδετήρες
		Φ 8
		/ 10 cm
Βλήτρα		
Διάμετρος(mm)	14	Αριθμός 9 Σειρές 1
Επικάλυψη (mm)	Ανά(cm)	35.575
Κάτω Πάνω Πλευρική		<input type="checkbox"/> Εναλλάξ
84 70 42	Μήκος Εμπήξεως	84
N = 20.02 20.02 Vy = 25.44 25.44 Vz = -1.10 -1.10 Mx = -0.40 -0.40		Υπολογισμός Επανελέγχος Τεύχος

**Σχήμα 6.11: Παράθυρο παραμέτρων για την ενίσχυση υποστυλωμάτων**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

### Τοποθέτηση χαλύβδινων ελασμάτων

Τα χαλύβδινα ελάσματα τοποθετήθηκαν σε όλες τις δοκούς στο κάτω πέλμα και στις δυο παρειές. Το πάχος του ελάσματος που επιλέχθηκε είναι 4mm κοινό και τοποθετήθηκε σε μια στρώση.

The screenshot shows a software window with several tabs: Γεωμετρία, Κύριος Οπλισμός Ανοίγματος, Οπλισμός Στηρίξεων, Συνδετήρες, Προσθετα, Ρηγμάτωση, Διαγράμματα, and Ενίσχυση. The 'Ενίσχυση' tab is active. It contains the following fields and options:

- Αριθμός Ανοίγματος: 2
- Γενικά στοιχεία: Τύπος: Χαλύβδινα Ελάσματα
- Ενισχύει ενίσχυση σε όλο το μήκος
- Επικάλυψη (mm): 20
- Πάχος Πλάκας: 16
- Προσπελασιμότητα (Πιν.Σ4.3):  Ταυ,  Κανονική (Συνήθης)
- Υλικά: Σκυρόδεμα : C20/25, χάλυβας (Κύριος) : S275(Fe430), χάλυβας (Συνδ/ρων) : B500C, Βλήτρα - Αναρτήρες : B500C
- Δεδομένα: Στήριξη Αριστερά, Ανοίγμα, Στήριξη Δεξιά
- Στάθμη επιτελεστικότητας: B - SD

### Ενίσχυση Δοκού

The 'Ενίσχυση Δοκού' dialog box is shown with the following settings:

- Ίδια και στις 2 Παρειές
- Να ληφθεί υπόψη ο οπλισμός των παρειών
- Να ληφθεί υπόψη ο πρόσθετος οπλισμός
- Default button
- Πάνω πέλμα: Μήκος (cm): 90, Πάχος: 0, Πλάτος: 20, Αγκύρωση (cm): 40, Αριθμός Στρώσεων: 1,  Δεν συμμετέχει στην κάμψη
- Παρειά Αριστερά: Μήκος (cm): 44, Πάχος: 4, Πλάτος: 90, Αγκύρωση (cm): 29, Αριθμός Στρώσεων: 1,  Δεν συμμετέχει στην κάμψη
- Στοιχεία Λωρίδων:  Συνεχόμενη τοποθέτηση, Πλάτος: 0, Απόσταση (cm): 0
- Παρειά Δεξιά: Μήκος (cm): 60, Πάχος: 0, Πλάτος: 90, Αγκύρωση (cm): 29, Αριθμός Στρώσεων: 1,  Δεν συμμετέχει στην κάμψη
- Στοιχεία Λωρίδων:  Συνεχόμενη τοποθέτηση, Πλάτος: 0, Απόσταση (cm): 0
- Κάτω πέλμα: Μήκος (cm): 90, Πάχος: 4, Πλάτος: 20, Αγκύρωση (cm): 40, Αριθμός Στρώσεων: 1,  Δεν συμμετέχει στην κάμψη
- Ροπή Αντοχής Διατομής: Αρχική, Ενισχυμένη
- Buttons: OK, Cancel, Sika, Τεύχος, EM4C, Αποκατάσταση, Προστασία, Ελεγχος, Αυτόματος Υπολογισμός Πάχους

**Σχήμα 6.12: Παράθυρα παραμέτρων για την ενίσχυση των δοκών με ελάσματα**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

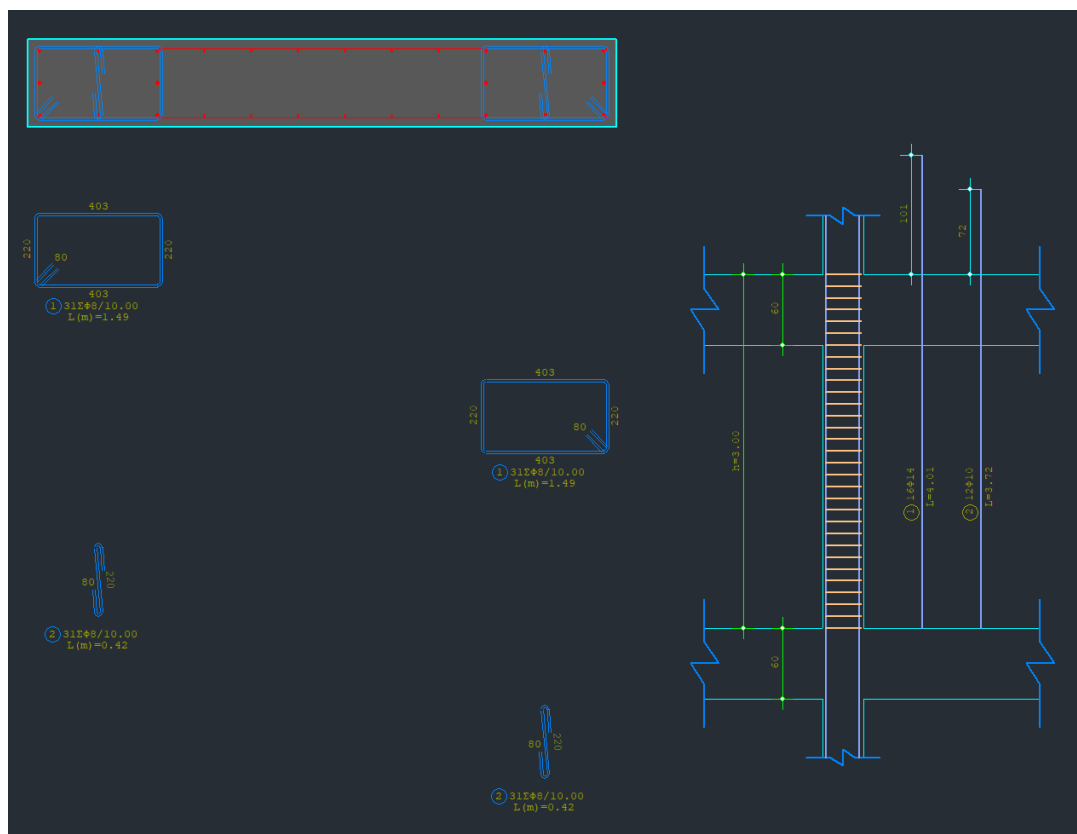
### Τοιχία σε συνέχεια υποστυλώματος

Τα τοιχία έχουν διαστάσεις 2,00m \* 0,30m και έχουν τοποθετηθεί ως συνέχεια των ενδιάμεσων υποστυλωμάτων του φορέα σε όλο το ύψος της κατασκευής. Κρίθηκε βέλτιστο να προσομοιωθεί ως ένα νέο τοιχίο, χωρίς την παρουσία του αρχικού υποστυλώματος. Αφού δημιουργήθηκε η γεωμετρία εντός του γραφικού περιβάλλοντος του προγράμματος, η διαστασιολόγησή του έγινε αυτόματα με μια σειρά εργαλείων του προγράμματος για τη σύμφωνη προς του κανονισμούς τοποθέτηση οπλισμού. Η κατηγορία του σκυροδέματος είναι C20/25 και η ποιότητα του χάλυβα B500C.



**Σχήμα 6.13: Κάτοψη μετά την προσθήκη τοιχίων στα ενδιάμεσα υποστυλώματα**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

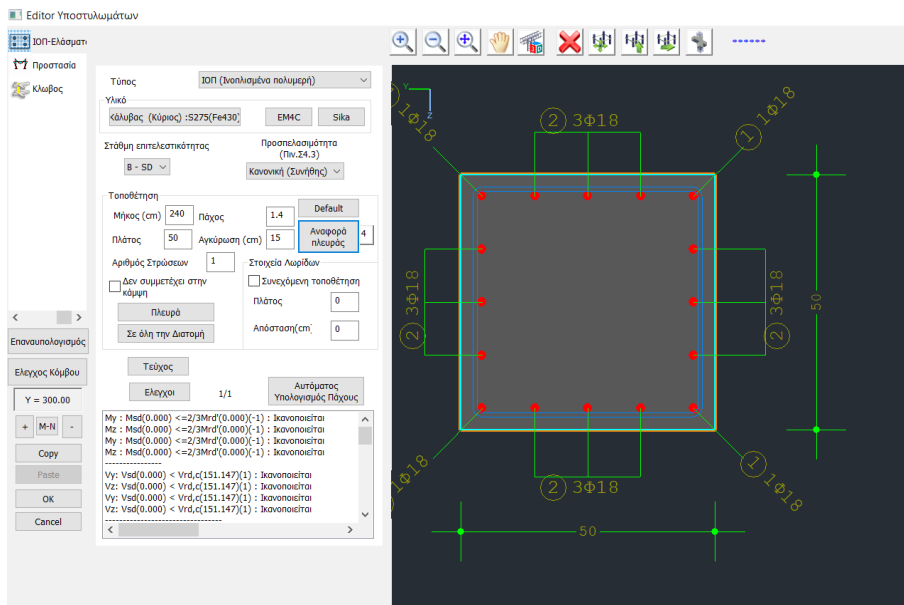


Σχήμα 6.14: Οριζόντια και κατακόρυφη τομή τοιχίου

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

### Τοποθέτηση ΙΟΠ

Η επιλογή για την τοποθέτηση ΙΟΠ έγινε αφού εκτιμήθηκαν τα αποτελέσματα για την ενισχυμένη με τοιχία κατασκευή και εφαρμόστηκε στο κεντρικό υποστύλωμα της στάθμης του ισογείου. Επιλέχθηκε ένα πάχος 1,4mm το οποίο τοποθετήθηκε σε τρεις στρώσεις σε όλο το ύψος του υποστυλώματος.



**Σχήμα 6.15: Τοποθέτηση ΙΟΠ και γραφικό περιβάλλον του προγράμματος**

Επιπλέον ορίστηκαν οι παράμετροι για το υλικό, την στάθμη επιτελεστικότητα και το μήκος και το πάχος της τοποθέτησης που αντιστοιχεί σε όλη την επιφάνεια του υποστυλώματος. Η τοποθέτηση του ΙΟΠ εμφανίζεται ως μια πορτοκαλί λεπτή γραμμή περιμετρικά στην διατομή του υποστυλώματος.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της ανελαστικής στατικής ανάλυσης για την αρχική μη-ενισχυμένη κατασκευή και για τις διάφορες περιπτώσεις ενίσχυσης στις οποίες υποβλήθηκε. Για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιούνται τα διαγράμματα ικανότητας, οι πίνακες ελέγχων και το προσομοίωμα του φορέα πάνω στον οποίο αποτυπώνονται οι αστοχίες και η δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων.

Στην καμπύλη αντίστασης τα βήματα της ανάλυσης εμφανίζονται υπό μορφή σημείων για την ευκολότερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ενώ το επιλεγμένο βήμα διακρίνεται με ροζ χρωματισμό. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το επιλεγμένο βήμα αντιστοιχεί στην στοχευόμενη μετακίνηση.

Χρησιμοποιώντας ως σημείο αναφοράς το προαναφερθέν βήμα πραγματοποιούνται οι έλεγχοι επιτελεστικότητας και ελέγχεται εάν τα φέροντα και τα μη φέροντα στοιχεία της κατασκευής έχουν υποστεί βαθμό βλαβών μεγαλύτερο από εκείνον που γίνεται ανεκτό για τη σκοπούμενη στάθμη επιτελεστικότητας.

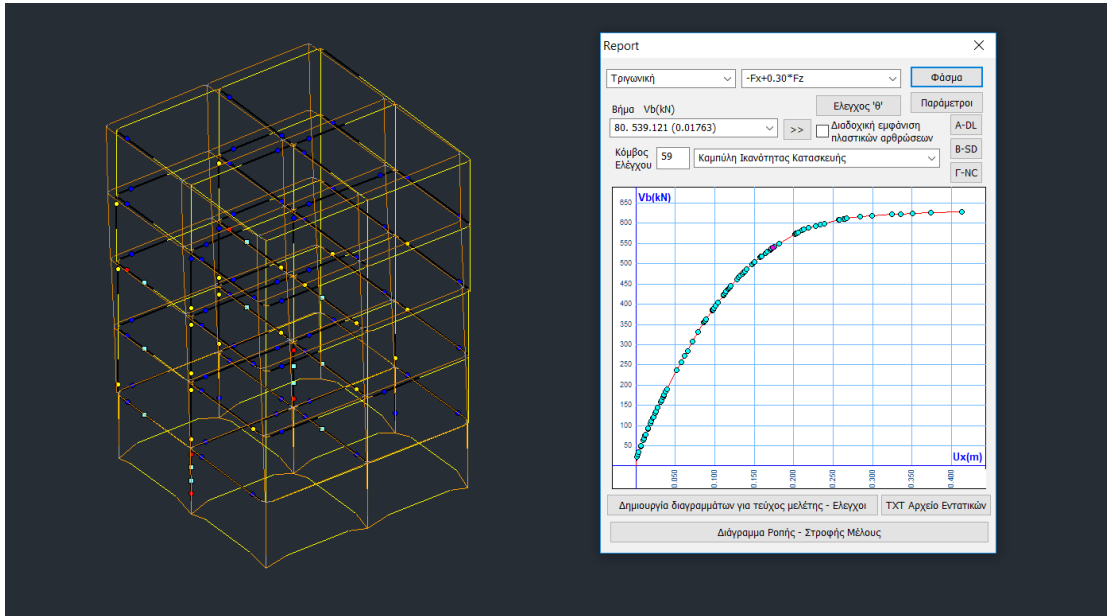
Στον τρισδιάστατο γραμμικό φορέα η δημιουργία των πλαστικών αρθρώσεων εμφανίζεται με τη χρήση διακριτών έγχρωμων κουκίδων. Η κουκίδα χρωματίζεται ανάλογα με το μέγεθος της γωνίας στροφής της πλαστικής άρθρωσης με τρία χρώματα: μπλε, κίτρινο και κόκκινο. Η κόκκινη κουκίδα αντιστοιχεί σε υπέρβαση του μεγέθους της γωνίας στροφής και αστοχία από κάμψη του μέλους στο συγκεκριμένο σημείο ενώ το θαλασσί τετραγωνάκι υποδηλώνει αστοχία από διάτμηση.

Στο πίνακα ελέγχου αποτυπώνεται συγκεντρωτικά ο αριθμός των αστοχιών για τα υποστυλώματα και τις δοκούς για τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας και για όλους τους συνδυασμούς των δυο κατανομών.



## 7.1 Χωρίς ενίσχυση

Μια πρώτη ανάλυση της κατασκευής στην αρχική μη ενισχυμένη μορφή της μας δίνει μια Σχήμα της κατανομής της έντασης σε αυτή και των ευπαθών της σημείων που χρίζουν προσοχής και τα οποία θα κλιθούμε να λάβουμε υπόψη στην ενίσχυσή της.



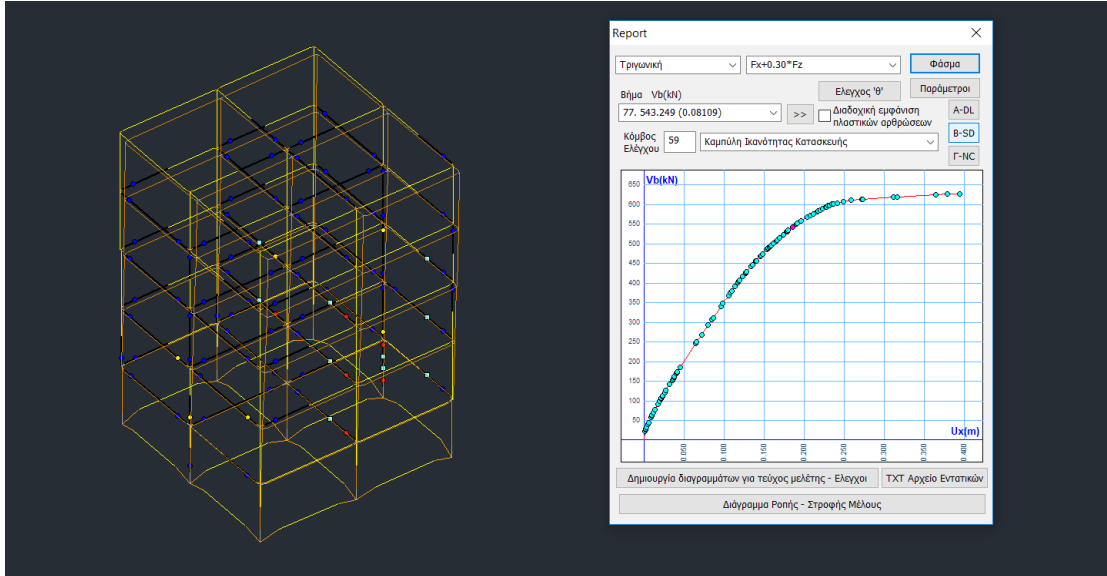
**Σχήμα 7.0: Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια και τριγωνική κατανομή  $-F_x+0.30 \cdot F_z$**

Οι επιλογές A-DL, B-SD, Γ-NC δίνουν την παραμορφωσιακή κατάσταση του φορέα για τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας αντίστοιχα, δηλαδή δείχνουν τον φορέα στο βήμα της ανάλυσης όπου η μετακίνηση του κόμβου ελέγχου είναι ίση με την αντίστοιχη στοχευόμενη. Η κατασκευή έχει μελετηθεί για τη δεύτερη στάθμη επιτελεστικότητας οπότε και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων θα γίνεται σύμφωνα με αυτή τη στάθμη και για τους δυσμενέστερους συνδυασμούς της κάθε κατανομής.

Για το βήμα που αντιστοιχεί στη δεύτερη στάθμη επιτελεστικότητας για τον συνδυασμό  $-F_x+0.30 \cdot F_z$  της τριγωνικής κατανομής η στοχευόμενη μετακίνηση είναι ίση με  $U_x = 0.17\text{m}$  και η τέμνουσα βάσης με  $V_b = 539,121\text{ KN}$ . Ο συγκεκριμένος συνδυασμός είναι ο δυσμενέστερος της τριγωνικής και ο δυσμενέστερος στο σύνολο των συνδυασμών. Οι πλαστικές αρθρώσεις έχουν σχηματιστεί στην πλειονότητα των μελών η κατανομή των οποίων είναι σε όλη την κατασκευή, τόσο στα υποστυλώματα όσο και στις δοκούς ενώ παρατηρούνται και σημαντικές αστοχίες σε κάμψη και

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

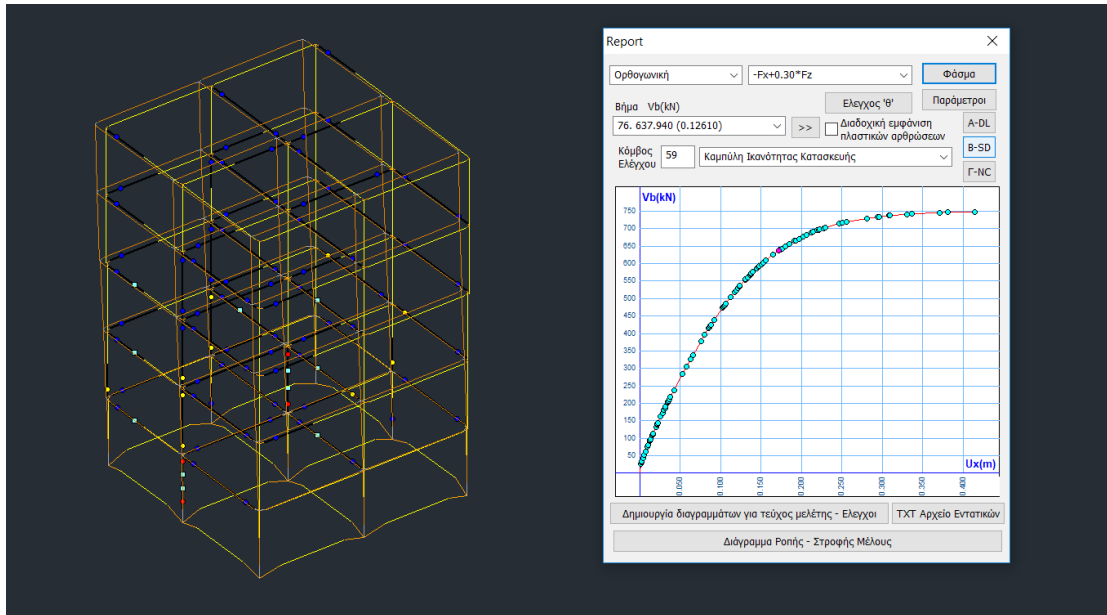
διάτμηση στα ενδιάμεσα και στα κεντρικά υποστυλώματα του ισογείου και σε δοκούς των υπερκείμενων ορόφων.



**Σχήμα 7.1:** Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια και τριγωνική κατανομή  $F_x+0.30 \cdot F_z$

Το ίδιο ισχύει και για τις υπόλοιπους συνδυασμούς της τριγωνικής κατανομής όπου εντοπίζονται αστοχίες στα ενδιάμεσα υποστυλώματα του ισογείου και στα κεντρικά του ισογείου και του πρώτου ορόφου. Για τις δοκούς εμφανίζεται ένα σημαντικός αριθμός από κίτρινες κουκίδες υποδηλώνοντας μια ενδιάμεση κατάσταση όπου δεν λειτουργούν πλέον ως πλαστική άρθρωση αλλά και δεν έχει εκδηλωθεί αστοχία. Σε κάθε περίπτωση αποτελεί μια επισφαλή κατάσταση που θα ερμηνευθεί με το δυσμενέστερο τρόπο, δηλαδή αυτόν της αστοχίας. Ιδιαίτερη μέριμνα πρέπει να αποδίδεται στις βλάβες διατμητικού χαρακτήρα και δεν πρέπει να αγνοούνται καθώς είναι ψαθυρής μορφής και ως εκ τούτου θεωρούνται σοβαρές.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

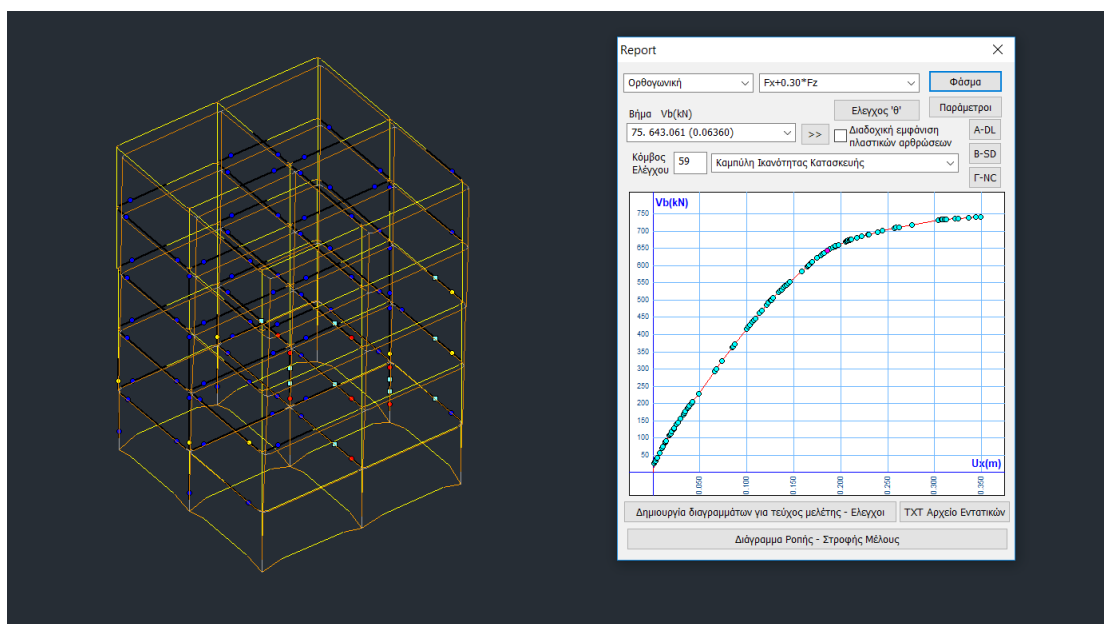


**Σχήμα 7.2: Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια και ορθογωνική κατανομή  $-F_x+0.30*F_z$**

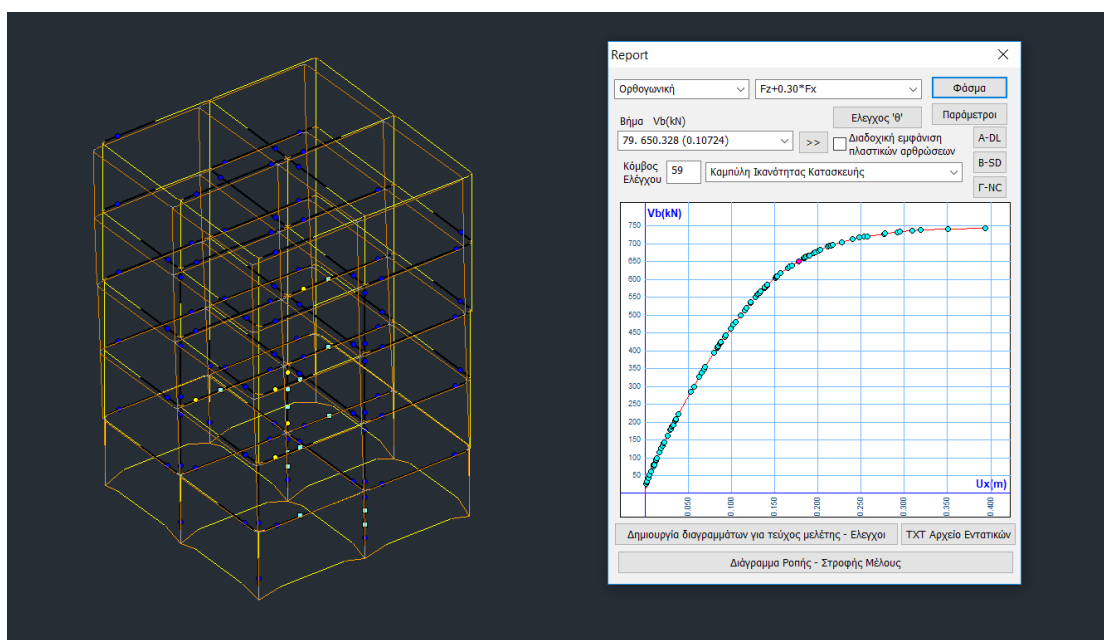
Τα αποτελέσματα για τον συνδυασμό  $-F_x+0.30*F_z$  της ορθογωνικής κατανομής αποτυπώνουν μια κατάσταση όπου αν και οι αστοχίες εμφανίζονται περιορισμένες, ειδικά στις δοκούς όπου έχουμε λιγότερες κίτρινες κουκίδες, δεν υπάρχουν αξιοσημείωτες διαφορές ως προς τα σημεία πάνω στον φορέα στα οποία εκδηλώνονται. Παρατηρούμε, έτσι ότι οι κόκκινες κουκίδες που υποδηλώνουν αστοχία από κάμψη συνεχίζουν να εμφανίζονται στα ενδιάμεσα υποστυλώματα του ισογείου ενώ οι πλαστικές αρθρώσεις εμφανίζονται με την ίδια συχνότητα στα στοιχεία του φορέα, όπως και στην τριγωνική κατανομή.

Η ίδια κατάσταση επαναλαμβάνεται και για τον συνδυασμό  $F_x+0.30*F_z$  της ορθογωνικής με τις αστοχίες να επικεντρώνονται στα ίδια υποστυλώματα (κεντρικά και ενδιάμεσα) κυρίως στις στάθμες του ισογείου και του πρώτου ορόφου ενώ για τους συνδυασμούς στη διεύθυνση z συμβαίνει σε μικρότερο βαθμό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 7.3: Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια και ορθογωνική κατανομή  $F_x+0.30*F_z$



Σχήμα 7.4: Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια και ορθογωνική κατανομή  $F_z+0.30*F_x$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ελεγχοι

	Είδος Ανάλυσης - Κατανομής	DL			SD			NC			Εκ
		Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ	
1	Fx+0.30*Fz - Τριγωνική	70	13	83	7	5	12	5	4	9	
9	-Fx+0.30*Fz - Τριγωνική	68	16	84	11	17	28	0	4	4	
17	Fz+0.30*Fx - Τριγωνική	70	17	87	2	0	2	0	0	0	
25	-Fz+0.30*Fx - Τριγωνική	73	11	84	0	0	0	0	0	0	
101	Fx+0.30*Fz - Ορθογωνική	70	11	81	7	8	15	4	8	12	
109	-Fx+0.30*Fz - Ορθογωνική	71	18	89	3	11	14	5	7	12	
117	Fz+0.30*Fx - Ορθογωνική	72	17	89	4	2	6	4	1	5	
125	-Fz+0.30*Fx - Ορθογωνική	72	11	83	0	5	5	8	8	16	

Εκτύπωση συγκεντρωτικού πίνακα στο τεύχος  
 Προεπισκόπηση Ελεγχων  
 Επιλογή Ανάλυσης για Ελεγχο Ενισχύσεων  
 Fx+0.30\*Fz - Τριγωνική

OK Cancel

**Σχήμα 7.5: Πίνακας ελέγχων για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια**

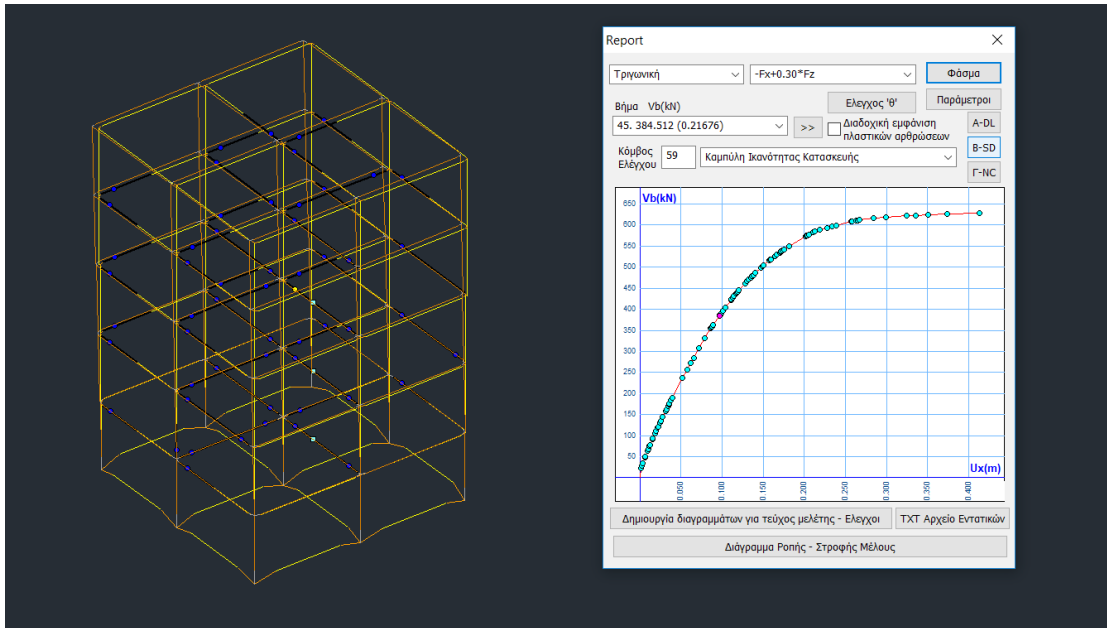
Ο πίνακας των ελέγχων μας πληροφορεί για την κάθε ανελαστική ανάλυση που έχει εκτελεστεί, τον συνολικό αριθμό των δοκών και των στύλων που δεν επαρκούν, για την κάθε στάθμη επιτελεστικότητας. Η κίτρινη περιοχή αντιστοιχεί στη δεύτερη στάθμη επιτελεστικότητας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παρατηρούμε ότι οι περισσότερες ανεπάρκειες εντοπίζονται για τη διεύθυνση  $x$  και για τα δύο είδη κατανομών της σεισμικής φόρτωσης. Συγκεκριμένα για την τριγωνική κατανομή και τον συνδυασμό  $-F_x+0.30*F_z$  η οποία κρίνεται ως η δυσμενέστερη, δεν επαρκούν 28 συνολικά στοιχεία εκ των οποίων τα 11 αναφέρονται σε δοκούς και τα 17 σε υποστυλώματα, βασικού παράγοντα ευστάθειας της κατασκευής. Αντίστοιχα, για τον ίδιο συνδυασμό της ορθογωνικής κατανομής για ένα αριθμό 14 συνολικά στοιχείων τα υποστυλώματα είναι 11 έναντι 3 μόνο δοκών. Για τους συνδυασμούς  $F_x+0.30*F_z$  ο αριθμός των αστοχιών είναι επίσης σημαντικός. Για την τριγωνική κατανομή έχουμε συνολικά 12 αδύναμα μέλη, 5 υποστυλώματα και 7 δοκοί και αντίστοιχα για την ορθογωνική υπάρχουν συνολικά 15 μέλη, εκ των οποίων τα 8 ανταποκρίνονται σε υποστυλώματα. Για τους υπόλοιπους συνδυασμούς ο αριθμός των στοιχείων που δεν επαρκούν είναι μικρότερος με τους συνδυασμούς τις ορθογωνικής να μην καλύπτουν τον επιδιωκόμενο στόχο ελάχιστων βλαβών. Στις επόμενες ενότητες, για την ενισχυμένη κατασκευή ο επιδιωκόμενος στόχος θα είναι ο αριθμός των ευπαθών μελών να είναι μηδενικός, πρωτίστως για τα υποστυλώματα και ακολούθως για τις δοκούς.

### Αποτελέσματα φάσματος σεισμού με πιθανότητα υπέρβασης 50% στα 50 χρόνια

Οι αναλύσεις των αποτελεσμάτων παραπάνω έγινε για ένα φάσμα σεισμού με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και στις περιπτώσεις των ενισχύσεων που ακολουθούν. Η επιλογή του φάσματος αυτού δεν έγινε τυχαία αλλά με κριτήριο το γεγονός ότι θεωρείται η δυσμενέστερη περίπτωση καθώς αναφέρεται σε ένα σπάνιο αλλά ισχυρότερο σεισμό σε σύγκριση με ένα φάσμα σεισμού με πιθανότητα υπέρβασης 50% στα 50 χρόνια ενώ για το φάσμα σεισμού με πιθανότητα υπέρβασης 50% η απόκριση της κατασκευής αποτυπώνεται λιγότερο δυσμενής όπως προκύπτει στη συνέχεια και από την ερμηνεία των αντίστοιχων αποτελεσμάτων.



**Σχήμα 7.6: Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 50% στα 50 χρόνια και τριγωνική κατανομή  $-F_x+0.30 \cdot F_z$**

Από την καμπύλη ικανότητας παρατηρούμε ότι για φάσμα σεισμού με πιθανότητα υπέρβασης 50% στα 50 χρόνια η τέμνουσα βάσης είναι  $V_b=384,512\text{KN}$  και η στοχευόμενη μετακίνηση  $U_x=0,10\text{m}$ , τιμές μικρότερες σε σχέση με το φάσμα σεισμού με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια, που δικαιολογούνται από την μικρότερης έντασης σεισμική φόρτιση στην οποία αντιστοιχεί.

Αντίθετα, όσον αφορά τον έλεγχο επιτελεστικότητας, στην κατασκευή δεν παρουσιάζονται αστοχίες σε στοιχεία κρίσιμα για την ευστάθειά της, όπως τα υποστυλώματα, ενώ ο αριθμός των πλαστικών αρθρώσεων είναι συγκριτικά μικρός και εντοπίζεται αποκλειστικά στις δοκούς, μαζί με ένα περιορισμένο αριθμό αστοχιών. Το ίδιο προκύπτει και από τον πίνακα ελέγχου όπου εμφανίζονται μηδενικές αστοχίες υποστυλωμάτων και ένας ελάχιστος αριθμός αστοχιών στις δοκούς για δυο συνδυασμούς τριγωνικής και έναν ορθογωνικής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ελεγχος

	Είδος Ανάλυσης - Κατανομής	DL			SD			NC			Εκτύπ
		Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ	
1	$F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική	52	0	52	0	0	0	0	0	0	
9	$-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική	52	0	52	1	0	1	0	0	0	
17	$F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική	54	0	54	1	0	1	0	0	0	
25	$-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική	52	0	52	0	0	0	0	0	0	
101	$F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική	52	0	52	0	0	0	1	0	1	
109	$-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική	52	0	52	0	0	0	0	0	0	
117	$F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική	54	0	54	1	0	1	0	0	0	
125	$-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική	54	0	54	0	0	0	0	0	0	

Εκτύπωση συγκεντρωτικού πίνακα στο τεύχος

Προεπισκόπηση Ελεγχων

Επιλογή Ανάλυσης για Έλεγχο Ενισχύσεων

$F_x+0.30 \cdot F_z$  - Τριγωνική

OK Cancel

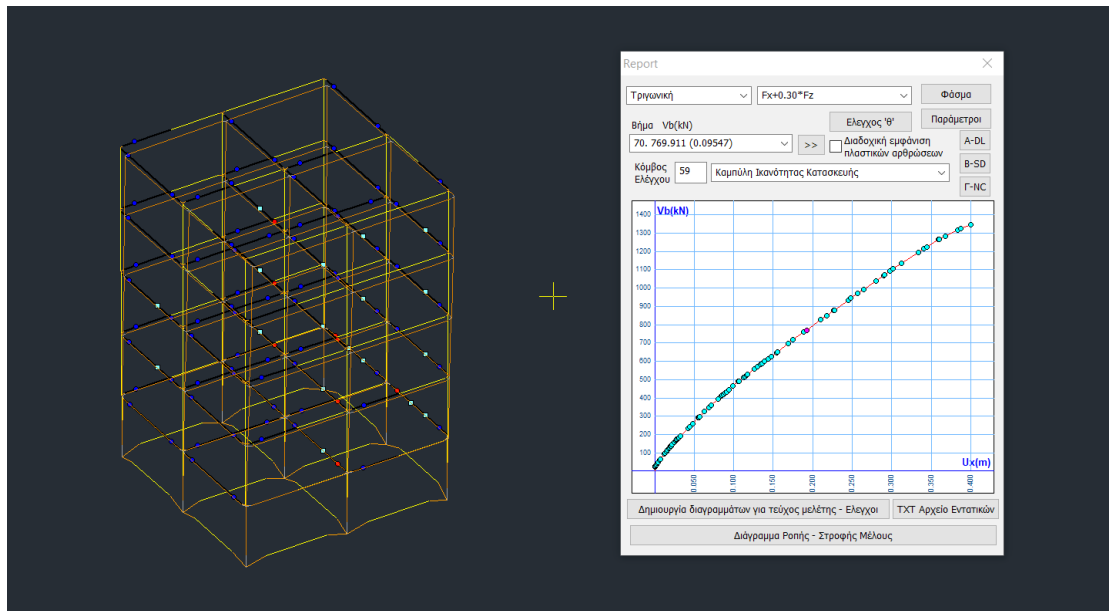
**Σχήμα 7.7: Πίνακας ελέγχων για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 50% στα 50 χρόνια**

Προκύπτει συνεπώς ότι η ερμηνεία των αποτελεσμάτων για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια υπερκαλύπτει αυτή του φάσματος με πιθανότητα υπέρβασης 50% και ο έλεγχος της ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεστικότητας στις επόμενες ενότητες θα πραγματοποιηθεί κυρίως γι' αυτόν, ενώ τα αποτελέσματα για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 50% στα 50 χρόνια θα δοθούν συνοπτικά για τις ολοκληρωμένες περιπτώσεις αποτελεσματικής ενίσχυσης της κατασκευής.



## 7.2 Ενίσχυση όλων των υποστυλωμάτων

Σε μια πρώτη απόπειρα να ενισχύσουμε την κατασκευή επιλέγεται η προσθήκη κλειστού μανδύα σε όλα τα υποστυλώματα τις κατασκευής. Τα υποστυλώματα παίζουν πρωταρχικό ρόλο στην ευστάθεια του φορέα και ως εκ τούτου προηγούνται σε σπουδαιότητα των δοκών όσον αφορά στην πρόληψη δημιουργίας βλαβών. Με την επιλογή της προσθήκης μανδύων, όπως έχει προαναφερθεί στο κεφάλαιο για τις μεθόδους ενίσχυσης, στοχεύουμε κυρίως στην αύξηση της πλαστιμότητας της κατασκευής. Οι αξιολογήσεις των αποτελεσμάτων για τις ενισχύσεις θα πραγματοποιηθούν για φάσμα σεισμού με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια.

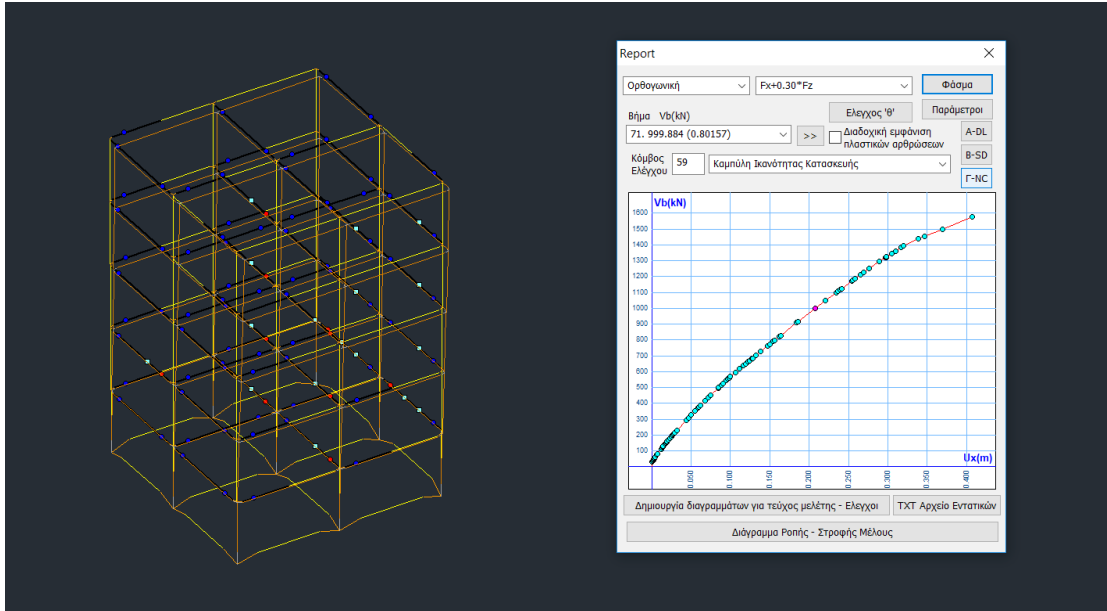


**Σχήμα 7.8: Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια και τριγωνική κατανομή  $F_x+0.30 \cdot F_z$  (ενίσχυση υποστυλωμάτων)**

Από τις διακριτές κουκίδες στο προσομοίωμα της κατασκευής, καθώς και από τον πίνακα ελέγχου, παρατηρούμε ότι τα ενισχυμένα υποστυλώματα δεν παρουσιάζουν πλέον ούτε αστοχίες ούτε ανελαστικές παραμορφώσεις, ενώ η δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων και οι αστοχίες εντοπίζονται εξ' ολοκλήρου στις δοκούς που κατανέμονται σε όλους τους ορόφους της κατασκευής. Η εκδήλωση αστοχιών στις δοκούς έχει μειωθεί για τους δυσμενείς συνδυασμούς της προηγούμενης ενότητας, παρ' όλα αυτά για τους υπόλοιπους οι μεταβολές είναι πολύ μικρές ενώ πολλές είναι και οι αστοχίες από διάτμηση. Η στοχευόμενη μετακίνηση είναι ίση με  $U_x=0,195$  m εκφράζοντας τη ικανότητα για μεγαλύτερες μετακινήσεις λόγω αυξημένης

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

πλαστιμότητας και η τέμνουσα βάσης, η οποία έχει αυξηθεί σημαντικά σε σχέση με την αρχική μη-ενισχυμένη κατασκευή, ισούται με  $V_b=769,911$  KN.



**Σχήμα 7.9: Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια και ορθογωνική κατανομή  $F_x+0.30 \cdot F_z$  (ενίσχυση υποστυλωμάτων)**

Για την ορθογωνική κατανομή η κατάσταση είναι παρόμοια με της τριγωνικής. Τα υποστυλώματα δεν εμφανίζουν πλαστικές αρθρώσεις επιβεβαιώνοντας την αποτελεσματική ενίσχυσή τους. Οι δοκοί επιφορτίζονται εξ' ολοκλήρου με το έργο της απορρόφησης της σεισμικής ενέργειας εκδηλώνοντας αστοχίες σε κάμψη και διάτμηση στην πλειοψηφία των στοιχείων. Η τέμνουσα βάσης  $V_b=999,884$ KN έχει αυξηθεί και είναι μεγαλύτερη της τριγωνικής, λειτουργώντας σε αντιστοιχία με την αρχική μη-ενισχυμένη κατασκευή όπου ήταν επίσης μεγαλύτερη της αντίστοιχης τριγωνικής. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι η ορθογωνική κατανομή, όντας ομοιόμορφα κατανεμημένη, επιβάλλει με διαφορετικό τρόπο τις εντάσεις στα μέλη, επηρεάζοντας και τη στοχευόμενη μετακίνηση που είναι  $U_x=0,21$ m.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ελεγχος

	Είδος Ανάλυσης - Κατανομής	DL			SD			NC			E
		Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ	
1	Fx+0.30*Fz - Τριγωνική	83	0	83	8	0	8	11	0	11	
9	-Fx+0.30*Fz - Τριγωνική	83	0	83	2	0	2	4	0	4	
17	Fz+0.30*Fx - Τριγωνική	89	0	89	2	0	2	0	0	0	
25	-Fz+0.30*Fx - Τριγωνική	86	0	86	2	0	2	0	0	0	
101	Fx+0.30*Fz - Ορθογωνική	84	0	84	10	0	10	10	0	10	
109	-Fx+0.30*Fz - Ορθογωνική	83	0	83	2	0	2	5	0	5	
117	Fz+0.30*Fx - Ορθογωνική	87	0	87	2	0	2	0	0	0	
125	-Fz+0.30*Fx - Ορθογωνική	86	0	86	2	0	2	0	0	0	

Εκτύπωση συγκεντρωτικού πίνακα στο τεύχος

Επιλογή Ανάλυσης για Ελεγχο Ενισχύσεων

Fx+0.30\*Fz - Τριγωνική

Προεπισκόπηση Ελεγχων

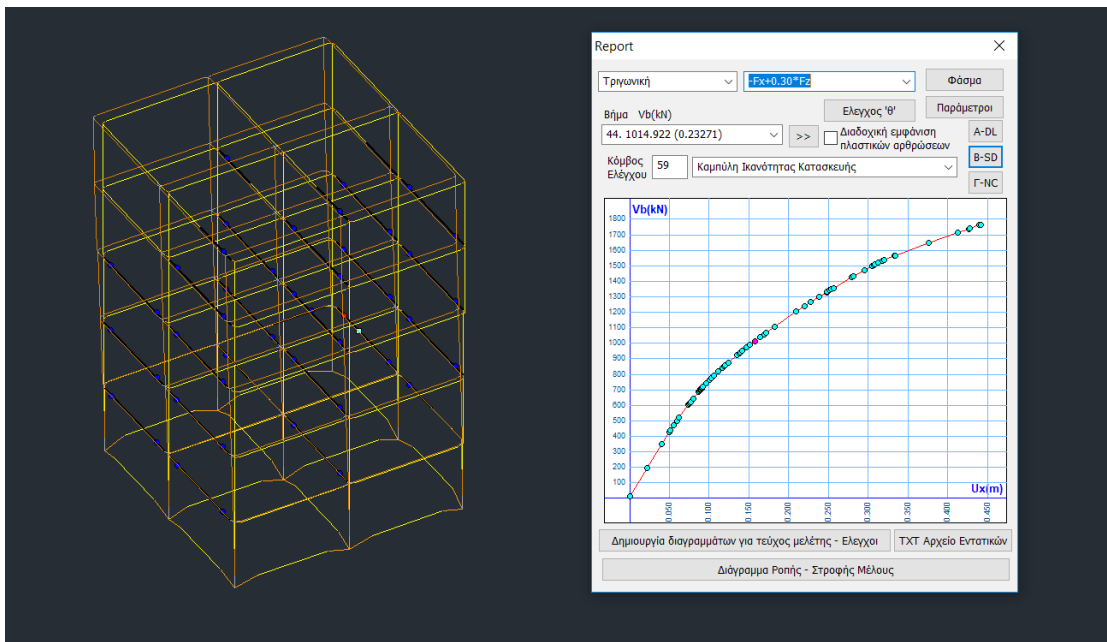
OK Cancel

**Σχήμα 7.10: Πίνακας ελέγχων για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια (ενίσχυση υποστυλωμάτων)**

Ο επιδιωκόμενος στόχος του μηδενισμού των αστοχιών, τουλάχιστον για τα υποστυλώματα, που τέθηκε στην προηγούμενη ενότητα επιβεβαιώνεται από τον πίνακα ελέγχων και την ποσοτική απεικόνιση των αστοχιών. Παρατηρούμε ότι πλέον για όλους τους συνδυασμούς και των δύο κατανομών ( Τριγωνική-Ορθογωνική ) ο αριθμός των υποστυλωμάτων που αστοχούν είναι μηδενικός. Η σεισμική ενέργεια απελευθερώνεται αποκλειστικά με τη δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων και αστοχιών διαμέσου των δοκών. Οι δυσμενέστεροι συνδυασμοί είναι ο Fx+0.30\*Fz της ορθογωνικής κατανομής για τον οποίο αστοχούν 10 μέλη-δοκοί και ο Fx+0.30\*Fz της τριγωνικής για τον οποίο αστοχούν 8.

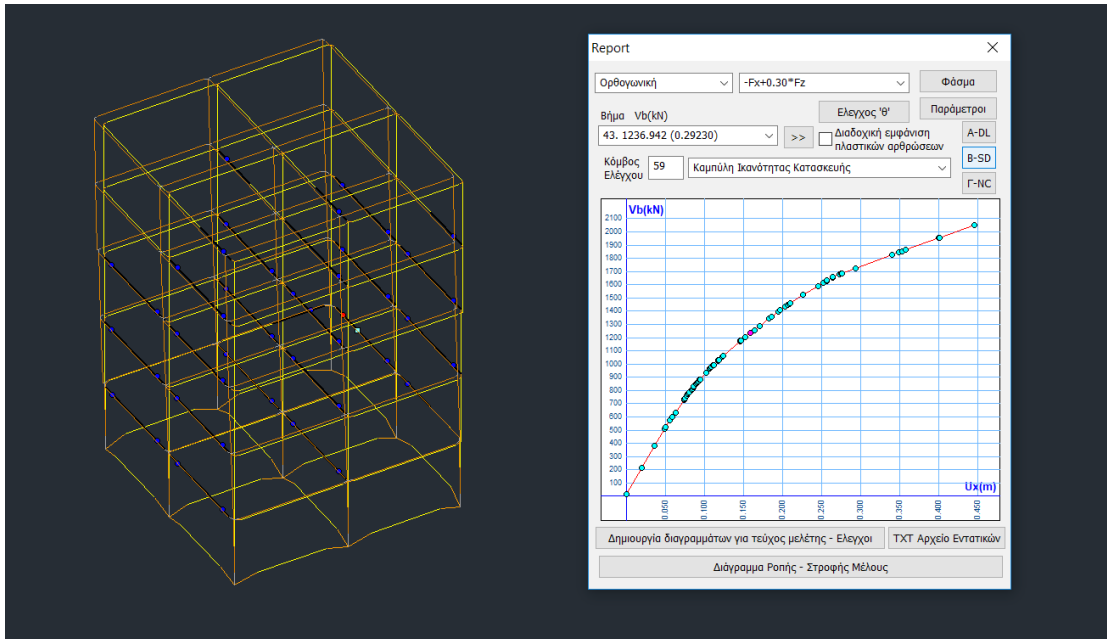
### 7.3 Ενίσχυση υποστυλωμάτων και δοκών

Στην συνέχεια της διερεύνησης μεθόδων ενίσχυσης, επιλέγουμε να ενισχύσουμε τις δοκούς, της ήδη ενισχυμένης με μανδύες κατασκευής του σεναρίου που προηγήθηκε, με χαλύβδινα ελάσματα. Η τοποθέτηση των ελασμάτων γίνεται στο κάτω πέλμα των δοκών για ενίσχυση σε κάμψη και στις παρειές για ενίσχυση σε διάτμηση. Η εκτίμηση των αποτελεσμάτων θα γίνει όπως και παραπάνω, καθώς και για τις επόμενες περιπτώσεις ενισχύσεων, για φάσμα σεισμού με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια.



**Σχήμα 7.11: Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια και τριγωνική κατανομή  $-F_x+0.30 \cdot F_z$**

Μετά την ενίσχυση με ελάσματα, για το ίδιο φάσμα σεισμού η απόκριση της κατασκευής δεν παρουσιάζει μεγάλες διαφορές ως προς την τέμνουσα βάσης και την στοχευόμενη μετακίνηση καθώς για  $V_b = 1014,992$  KN η στοχευόμενη μετακίνηση είναι  $U_x = 0,16$  m. Για τα κατακόρυφα στοιχεία οι αστοχίες παραμένουν μηδενικές και για τις δοκούς, που αποτελούν και το αντικείμενο της συμπληρωματικής ενίσχυσης με μεταλλικά ελάσματα, τα αποτελέσματα κρίνονται εξίσου ικανοποιητικά. Στις δοκούς οι πλαστικές αρθρώσεις συνεχίζουν να εμφανίζονται αν και σε ένα μικρότερο και σημαντικά περιορισμένο βαθμό.



**Σχήμα 7.12: Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια και ορθογωνική κατανομή  $-F_x+0.30 \cdot F_z$**

Στην ορθογωνική κατανομή η τέμνουσα βάσης είναι  $V_b=1236,942\text{KN}$ , μεγαλύτερη της τριγωνικής, και η στοχευόμενη μετακίνηση  $U_x=0,16\text{m}$ . Δεν εμφανίζονται διαφορές στην συμπεριφορά της κατασκευής σε σύγκριση με την τριγωνική κατανομή και οι αστοχίες εμφανίζονται μόνο για μια δοκό και μόνο για τον συνδυασμό  $-F_x+0.30 \cdot F_z$  ενώ οι πλαστικές αρθρώσεις εκδηλώνονται αποκλειστικά στο σύνολο των δοκών.

Όπως φαίνεται και στον πίνακα ελέγχων οι αστοχίες από κάμψη συμβαίνουν για τους συνδυασμούς  $-F_x+0.30 \cdot F_z$  της τριγωνικής και της ορθογωνικής κατανομής και μόνο για ένα στοιχείο. Οι αστοχίες από διάτμηση, όπως αποτυπώνονται στο προσομοίωμα του φορέα, έχουν μειωθεί επίσης και δεν εμφανίζονται σε όλους αλλά μόνο σε κάποιους από τους συνδυασμούς με αποτέλεσμα να μην θεωρούνται επικίνδυνες για την αντοχή και την ευστάθεια της κατασκευής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ελεγχος

	Είδος Ανάλυσης - Κατανομής	DL			SD			NC			Εκτύπ
		Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ	
1	$F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική	40	0	40	0	0	0	0	0	0	
9	$-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική	42	0	42	1	0	1	1	0	1	
17	$F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική	51	0	51	0	0	0	0	0	0	
25	$-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική	40	0	40	0	0	0	0	0	0	
101	$F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική	35	0	35	0	0	0	0	0	0	
109	$-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική	38	0	38	1	0	1	1	0	1	
117	$F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική	61	11	72	0	0	0	0	0	0	
125	$-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική	37	0	37	0	0	0	0	0	0	

Εκτύπωση συγκεντρωτικού πίνακα στο τεύχος

Επιλογή Ανάλυσης για Έλεγχο Ενισχύσεων

$F_x+0.30 \cdot F_z$  - Τριγωνική

Προεπισκόπηση Ελεγχων

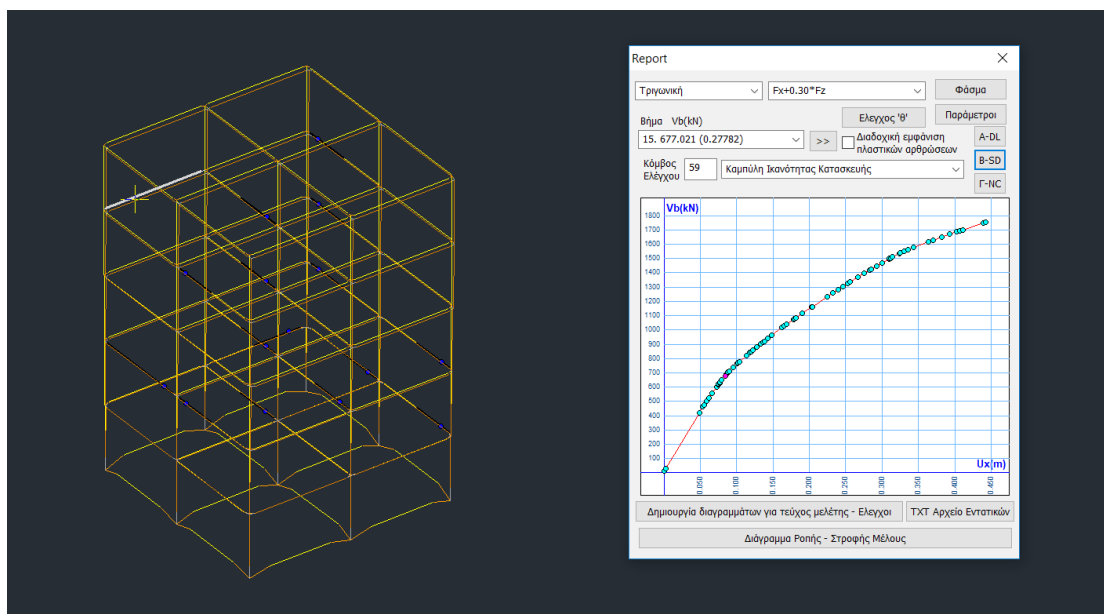
OK Cancel

**Σχήμα 7.13: Πίνακας ελέγχων για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια (ενίσχυση υποστυλωμάτων και δοκών)**

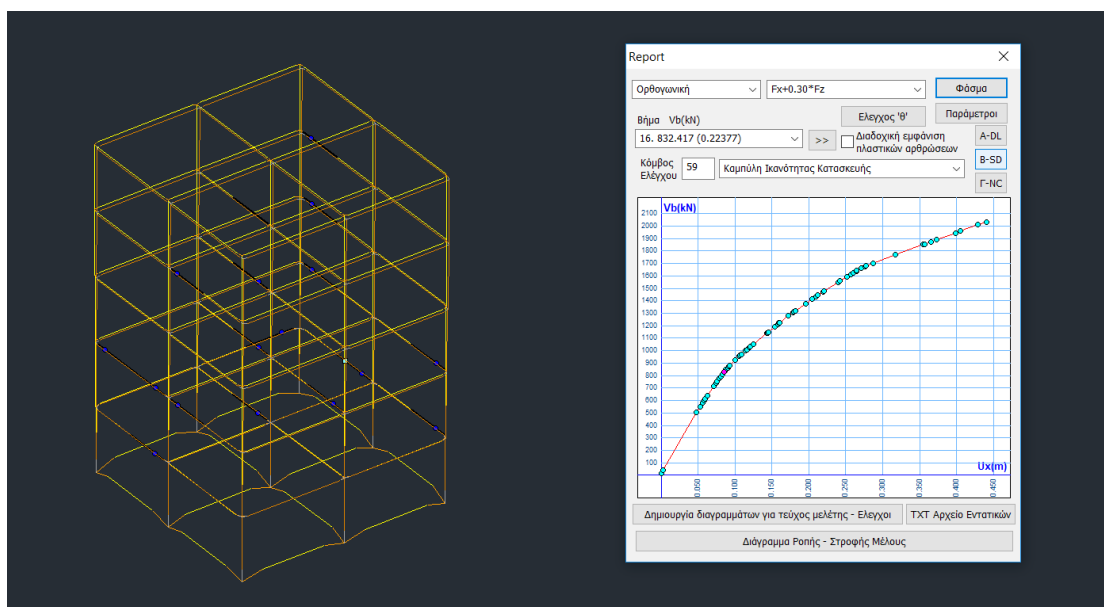
Η ενίσχυση με μανδύες και μεταλλικά ελάσματα αποτελεί μια ολοκληρωμένη λύση και καταφέρνει να ενισχύσει αποτελεσματικά την κατασκευή. Τα κριτήρια επιτελεσματικότητας σύμφωνα με τα οποία προβλέπεται προστασία ζωής και όχι σοβαρές βλάβες ικανοποιούνται καθώς επιτυγχάνεται μηδενικός αριθμός αστοχιών για τη δεύτερη στάθμη επιτελεσματικότητας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αποτελέσματα φάσματος σεισμού με πιθανότητα υπέρβασης 50% στα 50 χρόνια



Σχήμα 7.14: Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 50% στα 50 χρόνια και τριγωνική κατανομή  $F_x+0.30 \cdot F_z$



Σχήμα 7.15: Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 50% στα 50 χρόνια και τριγωνική κατανομή  $F_x+0.30 \cdot F_z$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ελεγχτοι ×

	Είδος Ανάλυσης - Κατανομής	DL			SD			NC			Εκτύτ
		Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ	
1	$F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική	12	0	12	0	0	0	0	0	0	
9	$-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική	12	0	12	0	0	0	0	0	0	
17	$F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική	32	0	32	0	0	0	0	0	0	
25	$-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική	14	0	14	0	0	0	0	0	0	
101	$F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική	12	0	12	0	0	0	0	0	0	
109	$-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική	12	0	12	0	0	0	0	0	0	
117	$F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική	49	0	49	0	0	0	0	0	0	
125	$-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική	15	0	15	0	0	0	0	0	0	

Εκτύπωση συγκεντρωτικού πίνακα στο τεύχος Προεπισκόπηση Ελεγχτων

Επιλογή Ανάλυσης για Ελεγχο Ενισχύσεων

$F_x+0.30 \cdot F_z$  - Τριγωνική OK Cancel

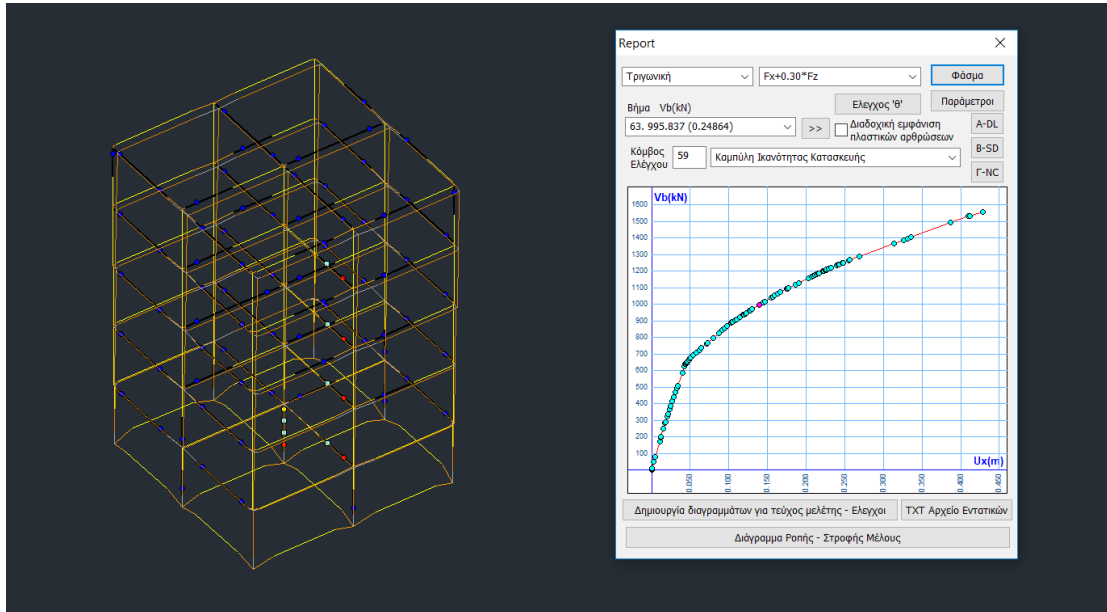
**Σχήμα 7.16: Πίνακας ελέγχων για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 50% στα 50 χρόνια (ενίσχυση υποστυλωμάτων και δοκών)**

Για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 50% στα 50 χρόνια, οι κουκίδες που υποδεικνύουν αστοχίες από κάμψη και διάτμηση απουσιάζουν στο τρισδιάστατο προσομοίωμα του φορέα και η εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων είναι περιορισμένη. Ομοίως στον πίνακα ελέγχων οι στήλες είναι συμπληρωμένες από μηδενικά. Για το ίδιο φάσμα ο στόχος επιτελεσματικότητας είναι άμεση χρήση μετά το σεισμό με αποτέλεσμα να ικανοποιούνται τα κριτήρια επιτελεσματικότητας.



### 7.4 Ενίσχυση ενδιάμεσων υποστυλωμάτων με τοιχία

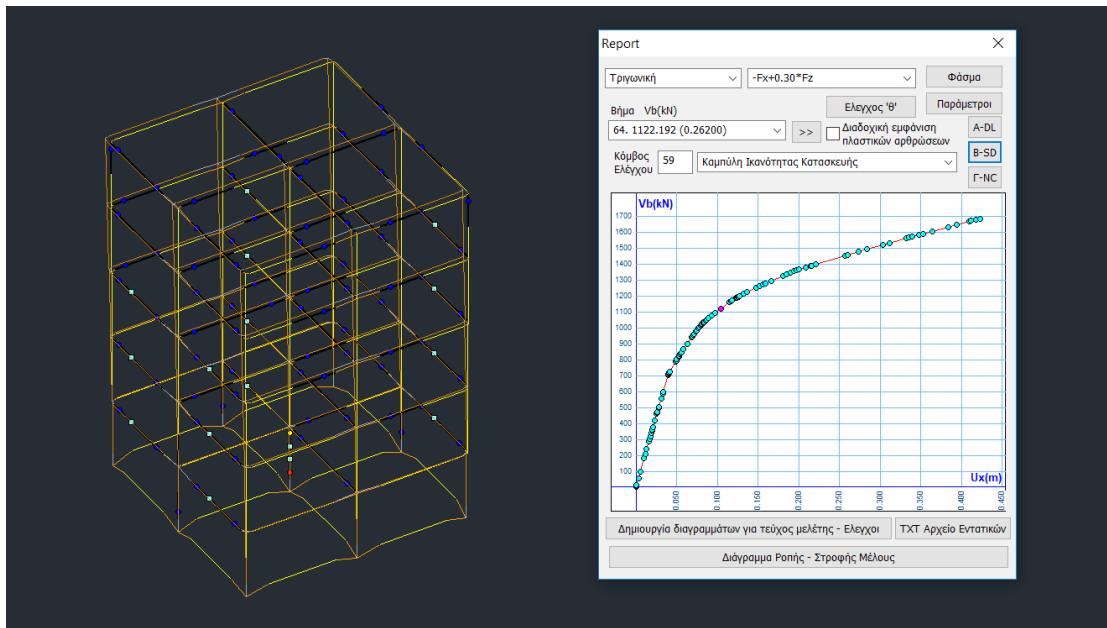
Μια διαφορετική προσέγγιση στο ζήτημα της ενίσχυσης της κατασκευής είναι η προσθήκη πλευρικών τοιχωμάτων σε συνέχεια δοκών. Ενισχύοντας με πλευρικά τοιχώματα την αρχική κατασκευή στοχεύουμε στην αύξηση της δυσκαμψίας και ένα συνεπαγόμενο περιορισμό των μετακινήσεων.



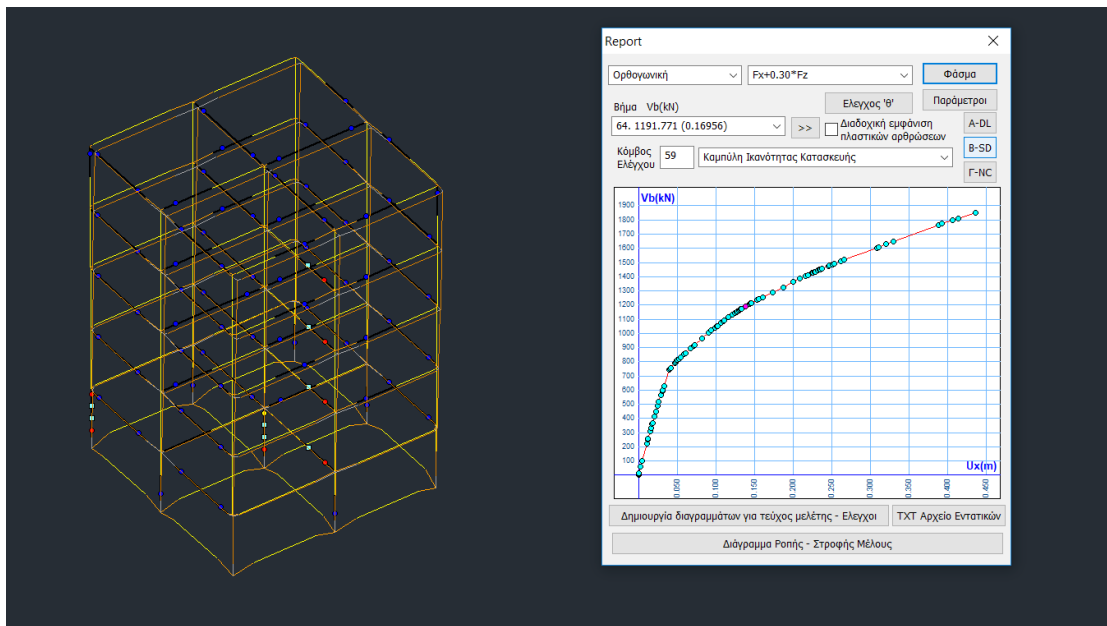
**Σχήμα 7.17: Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια και τριγωνική κατανομή  $F_x+0.30 \cdot F_z$**

Η τέμνουσα βάσης  $V_b=995,837\text{KN}$  είναι διπλάσια της αρχικής και η στοχευόμενη μετακίνηση ισούται με  $U_x=0,140\text{m}$ . Από τα κατακόρυφα στοιχεία οι αστοχίες επικεντρώνονται στο κεντρικό υποστύλωμα μόνο στη στάθμη του ισογείου. Για τις υπόλοιπες στάθμες, τα υποστύλωματα διατηρούν την αντοχή τους χωρίς να εμφανίζουν αστοχίες ενώ απουσιάζει και η δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων. Στις δοκούς εκδηλώνεται μεγάλος αριθμός πλαστικών αρθρώσεων, στις οποίες όμως η γωνία στροφής (μπλε) δεν έχει ξεπεράσει τα επιτρεπτά όρια ασφαλείας ενώ πιο επισφαλής κρίνονται οι εσωτερικές δοκοί για τις οποίες παρατηρείται αστοχίες σε κάμψη αλλά και διάτμηση.

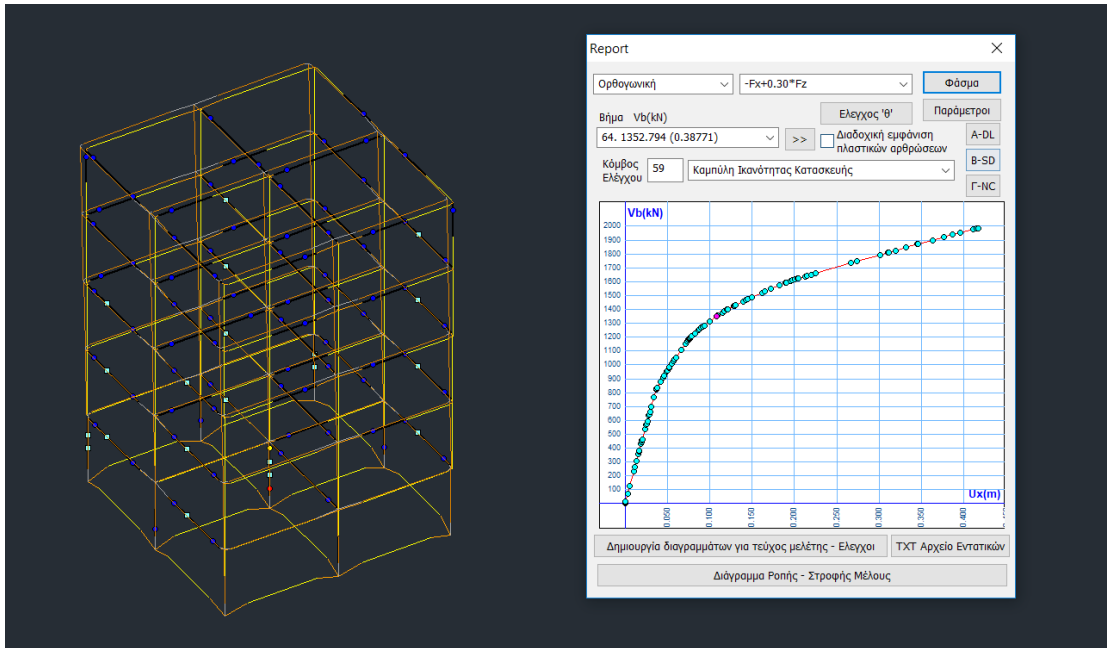
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 7.18: Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια και τριγωνική κατανομή  $-F_x+0.30 \cdot F_z$



Σχήμα 7.19: Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια και ορθογωνική κατανομή  $F_x+0.30 \cdot F_z$



**Σχήμα 7.20: Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια και ορθογωνική κατανομή  $-Fx+0.30*Fz$**

Παρόμοια αποτυπώνεται και η κατάσταση για την ορθογωνική κατανομή, με εξαίρεση τον συνδυασμό  $Fx+0.30*Fz$  που αποτελεί και τον δυσμενέστερο, στον οποίο εκδηλώνονται αστοχίες στη βάση και την κεφαλή ενός γωνιακού υποστυλώματος. Αξίζει να παρατηρηθεί ο μεγάλος αριθμός από θαλασσί τετραγωνάκια που υποδηλώνει αστοχία από διάτμηση και εμφανίζεται στις δοκούς, τόσο εξωτερικές όσο και εσωτερικές για τον συνδυασμό  $-Fx+0.30*Fz$  κάθε κατανομής.

Πιο αναλυτικά, σύμφωνα με τον πίνακα ελέγχων, για το συνδυασμό  $Fx+0.30*Fz$  της τριγωνικής και της ορθογωνικής κατανομής εκδηλώνονται οι περισσότερες αστοχίες. Για τον δυσμενέστερο συνδυασμό της τριγωνικής έχουμε 6 στοιχεία που δεν επαρκούν εκ των οποίων τα 2 είναι υποστυλώματα ενώ για τον δυσμενέστερο της ορθογωνικής είναι συνολικά 8, 4 υποστυλώματα και 4 δοκοί. Για τους υπόλοιπους συνδυασμούς οι ανεπάρκειες είναι μικρές και συγκεντρώνονται στα υποστυλώματα, κυρίως στο κεντρικό του ισογείου και σε κάποιο από τα γωνιακά, διαφορετικό για κάθε συνδυασμό. Για τον συνδυασμό  $-Fx+0.30*Fz$  και των δυο κατανομών, έχουμε 2

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

σημεία όπου εμφανίζονται αστοχίες και εντοπίζονται στο κεντρικό υποστύλωμα του ισογείου με μηδενικό αριθμό αστοχιών από κάμψη στις δοκούς.

Ελεγχτοι

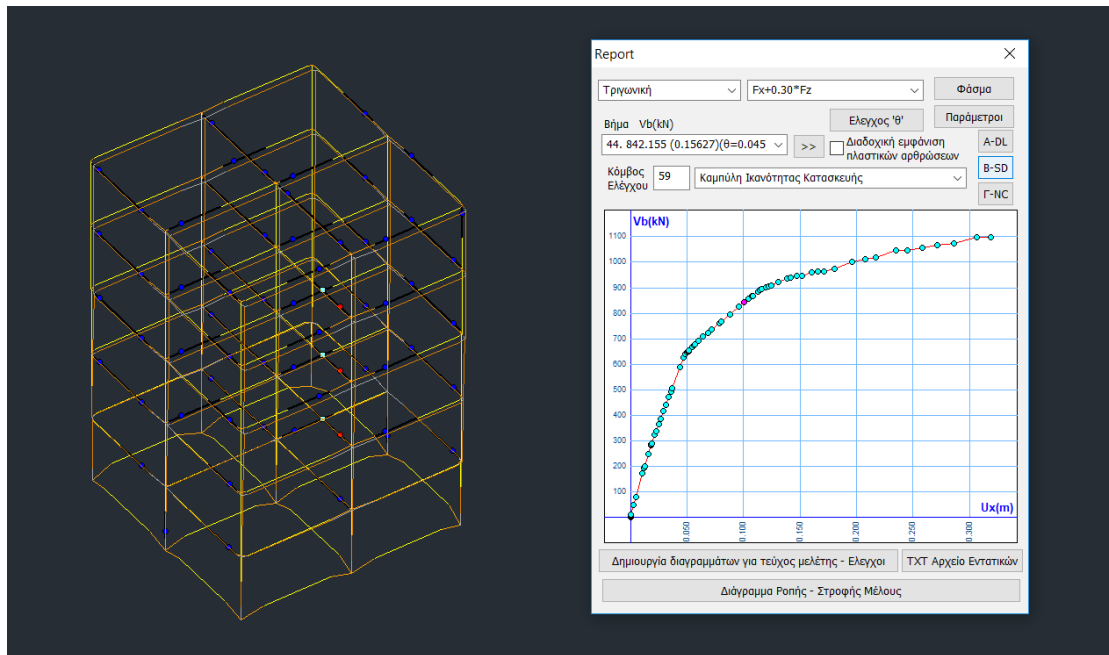
	Είδος Ανάλυσης - Κατανομής	DL			SD			NC			Εκτί
		Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ	
1	Fx+0.30*Fz - Τριγωνική	71	7	78	4	2	6	6	1	7	
9	-Fx+0.30*Fz - Τριγωνική	76	6	82	0	2	2	0	1	1	
17	Fz+0.30*Fx - Τριγωνική	71	7	78	0	0	0	0	0	0	
25	-Fz+0.30*Fx - Τριγωνική	77	6	83	0	0	0	0	0	0	
101	Fx+0.30*Fz - Ορθογωνική	70	7	77	4	4	8	7	7	14	
109	-Fx+0.30*Fz - Ορθογωνική	75	7	82	0	2	2	0	6	6	
117	Fz+0.30*Fx - Ορθογωνική	70	7	77	0	0	0	0	0	0	
125	-Fz+0.30*Fx - Ορθογωνική	76	8	84	0	1	1	0	0	0	

Εκτύπωση συγκεντρωτικού πίνακα στο τεύχος  
 Προεπισκόπηση Ελεγχων  
 Επιλογή Ανάλυσης για Ελεγχο Ενισχύσεων  
 Fx+0.30\*Fz - Τριγωνική

**Σχήμα 7.21: Πίνακας ελέγχων για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια (Ενίσχυση ενδιάμεσων υποστυλωμάτων με τοιχία)**

### 7.5 Περίσφιξη με ΙΟΠ

Αν και η ενίσχυση με τοιχία βελτιώνει σημαντικά την συμπεριφορά και την απόκριση της κατασκευής αφήνει εκτεθειμένα σε αστοχίες μεμονωμένα στοιχεία με πρωτεύοντα ρόλο στην ευστάθεια της. Στην προσέγγιση της συνολικής ενίσχυσης της κατασκευής με τοιχία προστίθεται η επιλεκτική ενίσχυση του κεντρικού υποστυλώματος του ισογείου με ινοπλισμένα πολυμερή.



**Σχήμα 7.22: Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια και τριγωνική κατανομή  $F_x+0.30 \cdot F_z$**

Με τη μεμονωμένη ενίσχυση του κεντρικού υποστυλώματος στη στάθμη του ισογείου, παρατηρούμε ότι επηρεάζεται η απόκριση της κατασκευής συνολικά και διορθώνονται οι ευπάθειες και σε άλλα μέλη. Πριν την ενίσχυση του κεντρικού υποστυλώματος αστοχίες εκδηλώνονταν και στα γωνιακά υποστυλώματα κάτι το οποίο δεν συμβαίνει πλέον. Αυτό οφείλεται εν μέρει στη σημαντική θέση του κεντρικού υποστυλώματος για το φέροντα οργανισμό και εν μέρει στην επιλογή του συγκεκριμένου υλικού ενίσχυσης. Για τις δοκούς οι διαφορές κρίνονται λιγότερο αξιοσημείωτες καθώς εκδηλώνουν τον ίδιο περίπου αριθμό αστοχιών.

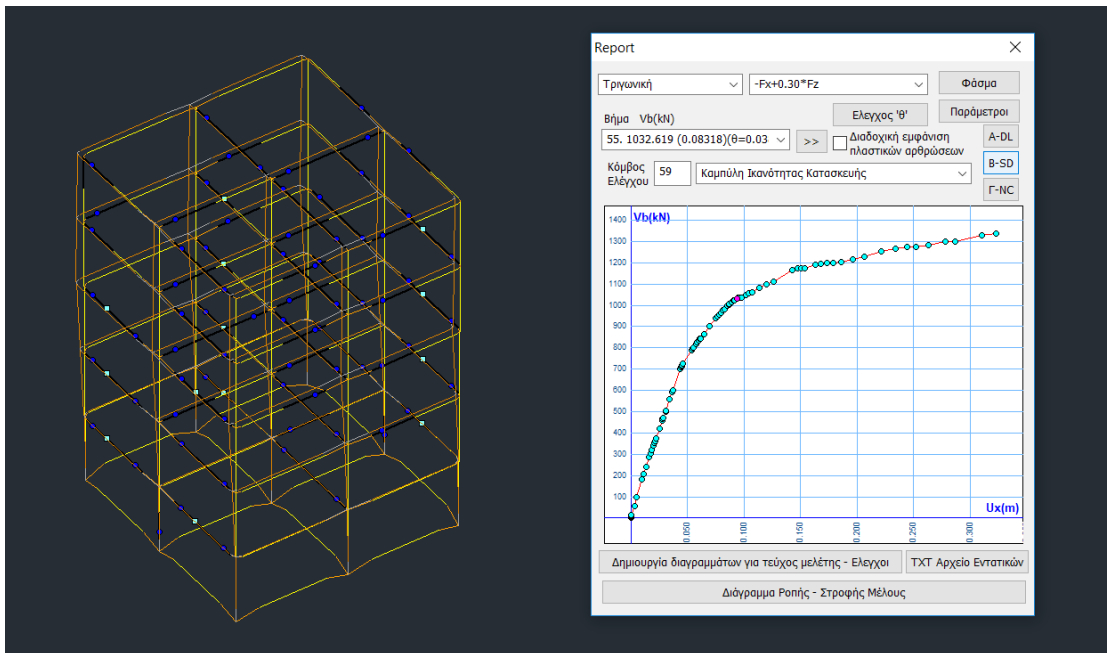
Παρ' όλα αυτά, η ενίσχυση του κεντρικού υποστυλώματος είναι από μόνη της μεγάλης σπουδαιότητας καθώς μια αστοχία του συγκεκριμένου μέλους θα συμπαρέσε-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

νε μαζί της κι άλλα μέλη των υπερκείμενων ορόφων και θα οδηγούσε στην κατάρρευση της κατασκευής.

Η τέμνουσα βάσης για τον συνδυασμό  $F_x+0.30 \cdot F_z$  που είναι ο δυσμενέστερος της τριγωνικής κατανομής και που αντιστοιχεί στη στοχευόμενη μετακίνηση είναι ίση με  $V_b=842,155$  KN, μικρότερη συγκρινόμενη με αυτή της ενίσχυσης με τοιχία μεγαλύτερη όμως της μη-ενισχυμένης αρχικής ενώ και η στοχευόμενη μετακίνηση  $U_x=0,10$ m έχει μειωθεί, επηρεάζοντας τη ικανότητα της κατασκευής για μεγάλες μετακινήσεις.

Για τρεις εσωτερικές δοκούς εμφανίζονται αστοχίες από κάμψη στον ένα άκρο τους και αστοχία από διάτμηση σε κάθε μια από αυτές και αποτελούν τις μοναδικές αστοχίες που εμφανίζονται για το σύνολο της κατασκευής.

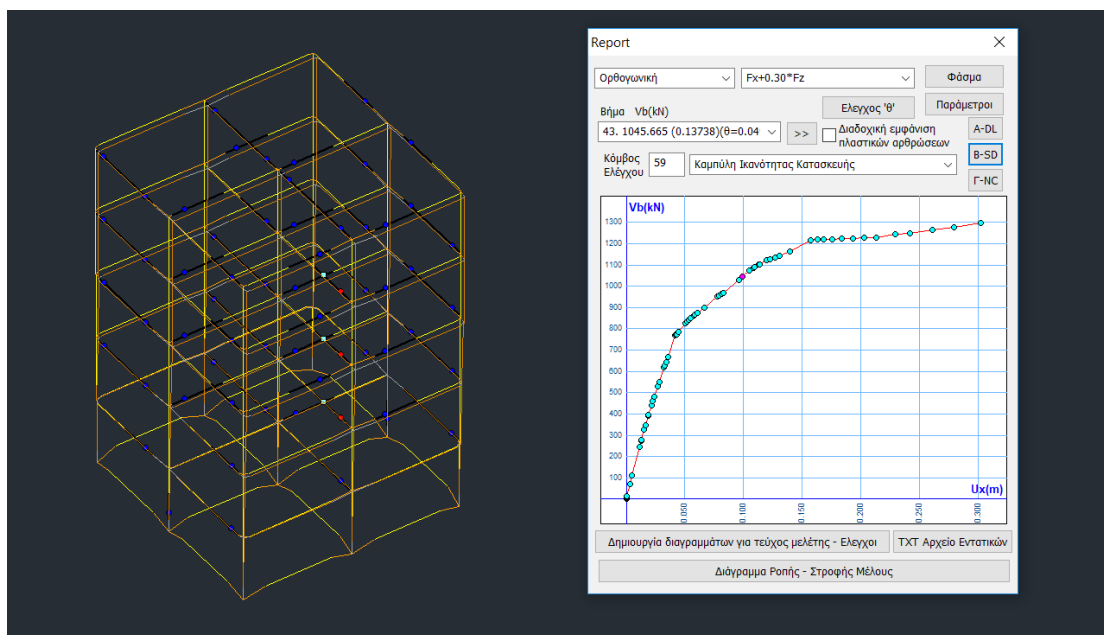


**Σχήμα 7.23: Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια και τριγωνική κατανομή  $-F_x+0.30 \cdot F_z$**

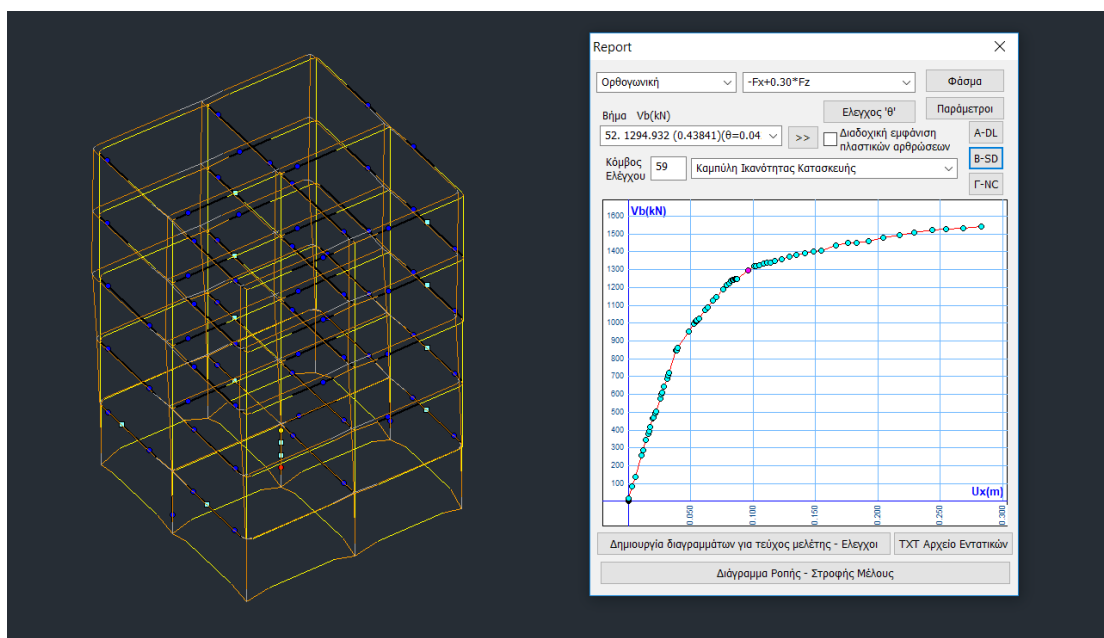
Ίδια αποτυπώνεται η κατάσταση για τον συνδυασμό  $F_x+0.30 \cdot F_z$  της ορθογωνικής κατανομής. Οι αστοχίες είναι της ίδιας μορφής και εμφανίζονται για τις ίδιες εσωτερικές δοκούς. Η τέμνουσα βάσης  $V_b=1045,665$ KN είναι μεγαλύτερη διατηρώντας αμετάβλητη την τιμή της στοχευόμενης μετακίνησης  $U_x=0,10$ m. Διαφορά διαπιστώνεται για τον συνδυασμό  $-F_x+0.30 \cdot F_z$  της ορθογωνικής όπου το

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

κεντρικό υποστύλωμα του ισογείου εκδηλώνει αστοχία από κάμψη και διάτμηση.



Σχήμα 7.24: Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια και ορθογωνική κατανομή  $F_x+0.30 \cdot F_z$



Σχήμα 7.25: Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια και ορθογωνική κατανομή  $-F_x+0.30 \cdot F_z$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ελεγχτοι

	Είδος Ανάλυσης - Κατανομής	DL			SD			NC			Εκτύτ
		Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ	
1	$F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική	59	2	61	3	0	3	4	0	4	
9	$-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική	65	2	67	0	0	0	0	0	0	
17	$F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική	60	2	62	0	0	0	0	0	0	
25	$-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική	66	2	68	0	0	0	0	0	0	
101	$F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική	58	2	60	3	0	3	3	0	3	
109	$-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική	61	2	63	0	2	2	0	1	1	
117	$F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική	60	2	62	0	0	0	0	0	0	
125	$-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική	63	2	65	0	0	0	0	0	0	

Εκτύπωση συγκεντρωτικού πίνακα στο τεύχος

Επιλογή Ανάλυσης για Έλεγχο Ενισχύσεων

$F_x+0.30 \cdot F_z$  - Τριγωνική

Προεπισκόπηση Ελεγχων

OK Cancel

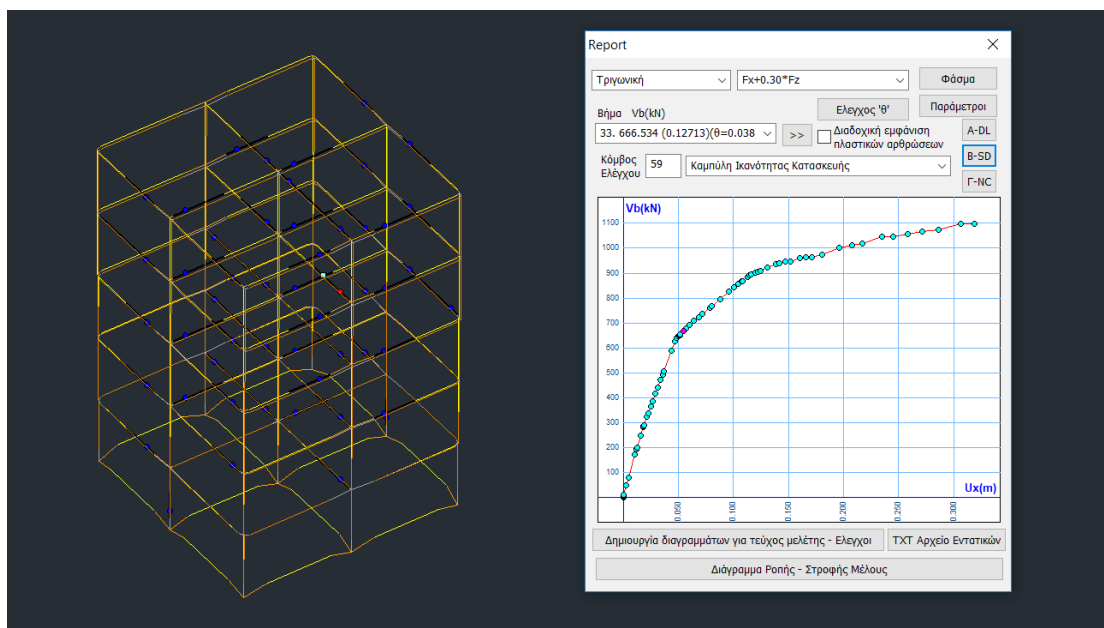
**Σχήμα 7.26: Πίνακας ελέγχων για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια (περίσφιξη με ΙΟΠ)**

Από τον πίνακα ελέγχων προκύπτει ότι δεν εμφανίζονται πλέον αστοχίες στα υποστυλώματα, εξαιρουμένου του συνδυασμού  $-F_x+0.30 \cdot F_z$  της ορθογωνικής, που δεν κρίνονται όμως κρίσιμες για την συνολική συμπεριφορά της κατασκευής. Οι δοκοί εκδηλώνουν αστοχίες για τους συνδυασμούς  $F_x+0.30 \cdot F_z$  και των δυο κατανομών, ο οποίες όμως περιορίζονται σε ένα αριθμό τριών στοιχείων.

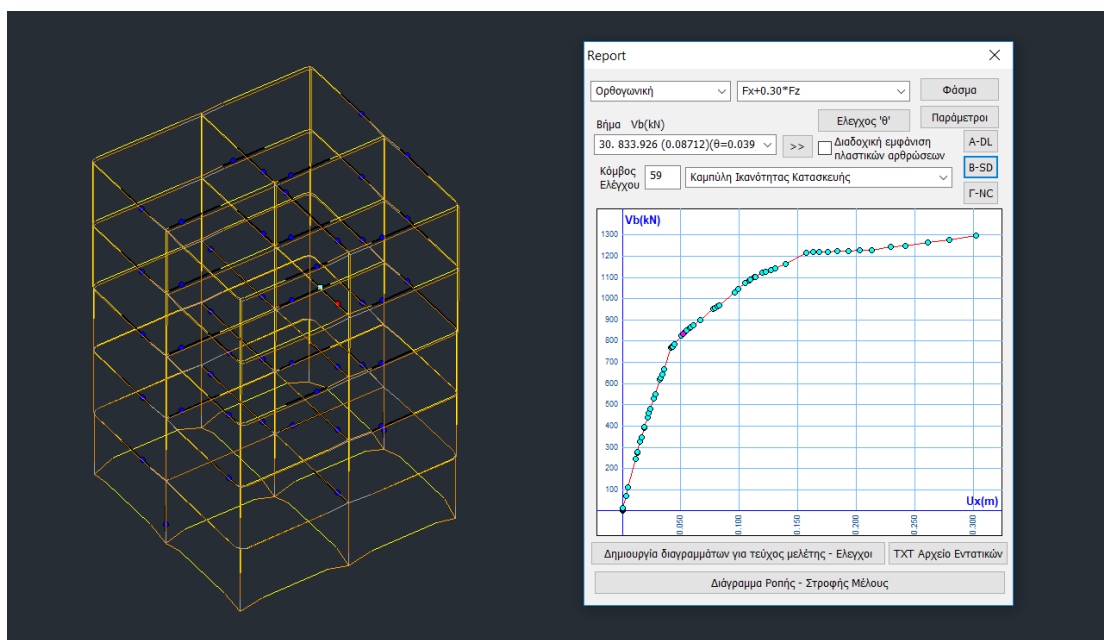


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αποτελέσματα φάσματος σεισμού με πιθανότητα υπέρβασης 50% στα 50 χρόνια



Σχήμα 7.27: Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 50% στα 50 χρόνια και τριγωνική κατανομή  $F_x+0.30*F_z$



Σχήμα 7.28: Παραμόρφωση φορέα και καμπύλη ικανότητας κατασκευής για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 50% στα 50 χρόνια και ορθογωνική κατανομή  $F_x+0.30*F_z$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ελεγχος

	Είδος Ανάλυσης - Κατανομής	DL			SD			NC			Εκτύπ
		Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ	
1	Fx+0.30*Fz - Τριγωνική	45	1	46	1	0	1	1	0	1	
9	-Fx+0.30*Fz - Τριγωνική	49	0	49	0	0	0	0	0	0	
17	Fz+0.30*Fx - Τριγωνική	47	1	48	0	0	0	0	0	0	
25	-Fz+0.30*Fx - Τριγωνική	48	0	48	0	0	0	0	0	0	
101	Fx+0.30*Fz - Ορθογωνική	45	2	47	1	0	1	1	0	1	
109	-Fx+0.30*Fz - Ορθογωνική	47	2	49	0	0	0	0	0	0	
117	Fz+0.30*Fx - Ορθογωνική	45	2	47	0	0	0	0	0	0	
125	-Fz+0.30*Fx - Ορθογωνική	48	2	50	0	0	0	0	0	0	

Εκτύπωση συγκεντρωτικού πίνακα στο τεύχος  
 Προεπισκόπηση Ελεγχων

Επιλογή Ανάλυσης για Έλεγχο Ενισχύσεων  
 Fx+0.30\*Fz - Τριγωνική

OK Cancel

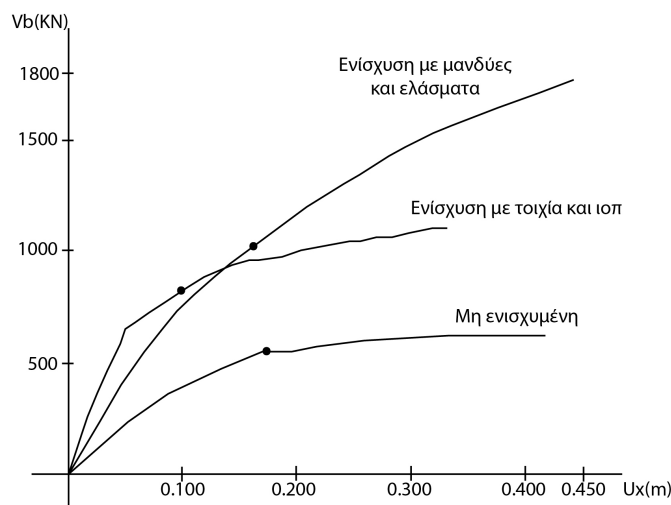
**Σχήμα 7.29: Πίνακας ελέγχων για φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 50% στα 50 χρόνια (ενίσχυση με ΙΟΠ)**

Η κατάσταση της κατασκευής για φάσμα σεισμού με πιθανότητα υπέρβασης 50% στα 50 χρόνια αποτυπώνεται εξίσου ικανοποιητική με την αντίστοιχη περίπτωση της ενίσχυσης με μανδύες και μεταλλικά ελάσματα. Συνολικά απουσιάζουν οι αστοχίες με εξαίρεση μιας δοκού όπου εμφανίζεται αστοχία σε κάμψη και διάτμηση. Οι πλαστικές αρθρώσεις είναι συγκριτικά περισσότερες και στον πίνακα ελέγχου αποτυπώνονται η αστοχία για την δοκού που προαναφέρθηκε.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την σταδιακή ενίσχυση της κατασκευής και αξιολογώντας κάθε φορά τα αποτελέσματα προέκυψαν δυο ολοκληρωμένες λύσεις ενίσχυσης. Η πρώτη περίπτωση αφορά την ενίσχυση με μανδύες στα υποστυλώματα και μεταλλικά ελάσματα στις δοκούς. Στη δεύτερη περίπτωση τοποθετήθηκαν τοιχία σε συνέχεια υποστυλωμάτων στα ενδιάμεσα περιμετρικά υποστυλώματα της κατασκευής η οποία συμπληρώθηκε από την ενίσχυση με ΙΟΠ του κεντρικού υποστυλώματος στη στάθμη του ισογείου.

Και στις δυο περιπτώσεις οι ενισχύσεις θεωρούνται αποτελεσματικές καθώς οι βλάβες που εμφανίζονται στα μέλη του φορέα όταν η στοχευόμενη μετακίνηση συμπίπτει με την μετακίνηση του κόμβου ελέγχου είναι μηδενικές ή σχεδόν μηδενικές. Στο σχήμα 8.0 συγκεντρώνονται οι καμπύλες ικανότητας της αρχικής μη-ενισχυμένης κατασκευής και των δυο περιπτώσεων ενίσχυσης προκειμένου να γίνει μια συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.



**Σχήμα 8.0: Καμπύλες ικανότητας για κάθε περίπτωση ενίσχυσης**

Παρατηρούμε ότι για την πρώτη περίπτωση (ενίσχυση με μανδύες και μεταλλικά ελάσματα) η κατασκευή έχει γίνει πιο δύσκαμπτη σε σχέση με την αρχική κατασκευή, όπως αυτό αποτυπώνεται στην κλίση που έχει το αρχικό τμήμα του διαγράμματος (ελαστική περιοχή). Επίσης, αυξημένες είναι και οι αντοχές της κατασκευής, καθώς

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

για τις ίδιες μετακινήσεις θα πρέπει να δεχθεί σημαντικά μεγαλύτερες σεισμικές φορτίσεις πριν αρχίσει να συμπεριφέρεται πλάστιμα καταλήγοντας σε αστοχία.

Στην δεύτερη περίπτωση, της ενίσχυσης με τοιχία και ΙΟΠ στο κεντρικό υποστύλωμα, η απόκριση της κατασκευής είναι διαφορετική. Η συμπεριφορά της είναι επίσης βελτιωμένη σε σχέση με την αρχική. Η αντοχή της έχει επίσης αυξηθεί σε σχέση με την αρχική κατασκευή και παρουσιάζει μεγαλύτερη δυσκαμψία συγκρινόμενη με την πρώτη περίπτωση ενίσχυσης (ενίσχυση με μανδύες και μεταλλικά ελάσματα). Μικρότερη εμφανίζεται η ικανότητα της κατασκευής για πλαστικές παραμορφώσεις περιορίζοντας την δυνατότητα της κατασκευής να υποστεί μεγάλες μετακινήσεις που θα την διασφαλίσουν έναντι επικίνδυνων αστοχιών.

Συνολικά και οι δυο περιπτώσεις βελτιώνουν την συμπεριφορά και την απόκριση της κατασκευής. Η ενίσχυση με μανδύες και μεταλλικά ελάσματα αποδεικνύεται η πιο βέλτιστη επιλογή αφού παρουσιάζει αυξημένη δυσκαμψία και αυξημένες αντοχές που υποστηρίζονται από την δυνατότητα για ανάλογα μεγάλες μετακινήσεις. Από την άλλη, η ενίσχυση με τοιχία και ινοπλισμένα πολυμερή αν και παρουσιάζει μεγαλύτερη δυσκαμψία υστερεί ως προς την απομένουσα φέρουσα ικανότητα και την δυνατότητα για μεγάλες μετακινήσεις.

Δεδομένου όμως ότι η ικανοποίηση των κριτηρίων επιτελεσματικότητας, τα οποία πληρούνται και στις δύο περιπτώσεις, αποτελεί το γνώμονα και το σημείο αναφοράς σύμφωνα με το οποίο αξιολογούνται τα αποτελέσματα η τελική επιλογή εμπίπτει στην εμπειρία και κρίση του μελετητή μηχανικού συνυπολογίζοντας παράγοντες όπως το κόστος, η επίδραση των εργασιών στη συνήθη λειτουργία του κτιρίου, η αισθητική, η ευκολία εφαρμογής, κ.α.

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] Κανονισμός Επεμβάσεων 2013, ΚΑΝ.ΕΠΕ.
- [2] Σπυράκος Κ. (2004), Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία, ΤΕΕ
- [3] Εγχειρίδιο χρήσης Scada Pro
- [4] Κωνσταντίνος Ρεπαπής (2007), Αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς υφιστάμενων κτιρίων από ωπλισμένο σκυρόδεμα, Διδακτορική διατριβή
- [5] Γαβριλάκη Αικατερίνη (2013), Ανάπτυξη νομογραφημάτων, πινάκων και άλλων εργαλείων υποστήριξης μελετών ΚΑΝ.ΕΠΕ., Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία
- [6] Καματερή Δήμητρα (2012), Αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς υφιστάμενων κτιρίων από ωπλισμένο σκυρόδεμα και τρόποι ενίσχυσής του, Πτυχιακή εργασία
- [7] Στατική Ανελαστική Ανάλυση, Μέθοδος ελέγχου μετατοπίσεων, Μέθοδος Pushover, LH Λογισμική
- [8] Κορφιάτης Γεώργιος (2007), Ιδιότητες και σύγκριση επεμβάσεων με FRP και προσθήκης νέων χαλύβδινων στοιχείων, «13<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών» Πάτρα
- [9] Δρίτσος Σ. (2005), Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα
- [10] Μπάρος Δ. (2006), “Επιλογή στρατηγικής ενίσχυσης σε υφιστάμενες κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα με χρήση ανελαστικών αναλύσεων”, Διατριβή Διπλώματος Ειδίκευσης, Πάτρα