



**Αθανασοπούλου Χριστίνα**  
**Πουλούδη Ελένη**  
**Φουντή Ελισσάβητ**

**ΑΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ 2013**

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ



---

**Πτυχιακή εργασία**

Αποτίμηση και ενίσχυση υφιστάμενης κατασκευής και η επανεξέτασή της μετά την προσθήκη δεξαμενής νερού στην οροφή

Αθανασπούλου Χριστίνα  
Πουλούδη Ελένη  
Φουντή Ελισσάβετ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2013



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

## ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

### Πτυχιακή εργασία

Αποτίμηση και ενίσχυση υφιστάμενης κατασκευής και η επανεξέτασή της μετά την προσθήκη δεξαμενής νερού στην οροφή

**Αθανασοπούλου Χριστίνα**

**Πουλούδη Ελένη**

**Φουντή Ελισσάβητ**

**Υπεύθυνος καθηγητής:**

**Κ. Ρεπαπής, Επίκουρος καθηγητής Α.ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ**

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2013

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Αθανασοπούλου Χριστίνα, Πουλούδη Ελένη, Φουντή Ελισσάβετ, 2013

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής διατριβής από το Τμήμα Πολιτικών Δομικών Έργων του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Πειραιά δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων των συγγραφέων εκ μέρους του Τμήματος.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά στην αποτίμηση και ενίσχυση υφιστάμενου κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα με ανελαστική στατική ανάλυση Pushover σύμφωνα με την μεθοδολογία του Ευρωκώδικα 8, του Ελληνικού Κανονισμού ΕΑΚ 2000 και του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Η εργασία αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια, στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται ο στόχος και η πορεία της παρούσας πτυχιακής, ενώ στο δεύτερο, γίνεται εκτενής αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο, πάνω στο οποίο βασίζεται η εκπόνηση της εργασίας. Παρουσιάζεται η μεθοδολογία της ανελαστικής ανάλυσης, τα κριτήρια ελέγχου των σταθμών επιτελεστικότητας και όλες οι διατάξεις των κανονισμών που εφαρμόστηκαν.

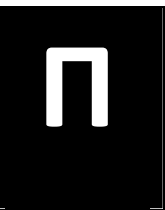
Το τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τους πιθανούς τρόπους επέμβασης και ενίσχυσης, που μπορούν να πραγματοποιηθούν στον φορέα για την βελτίωση της συμπεριφοράς του. Στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται αρχικά λεπτομερής περιγραφή του εξεταζόμενου κτιρίου και του προσομοιώματος του στον ηλεκτρονικό υπολογιστή και στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης Pushover και κρίνεται η επάρκεια του φορέα ως σύνολο. Στο πέμπτο κεφάλαιο, γίνεται παρουσίαση και αποτίμηση των αποτελεσμάτων, βάσει των οποίων προκύπτουν αντίστοιχα συμπεράσματα.

Σε αυτό το σημείο, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε, ιδιαίτερα τον επιβλέπων καθηγητή της εργασίας μας Επίκουρο Καθηγητή κύριο *Ρεπαπή Κωνσταντίνο* για το ενδιαφέρον θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, που μας πρότεινε, την επιστημονική καθοδήγηση, που μας προσέφερε, τις συμβουλές και τις παρατηρήσεις, οι οποίες αποτέλεσαν καταλυτικό παράγοντα στην πραγματοποίηση αυτής της εργασίας. Παράλληλα, θέλουμε να ευχαριστήσουμε τον κύριο *Κωτσοβό Δημήτριο* για την συμβολή του στην πτυχιακή εργασία.



**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**





ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....

ABSTRACT.....

## **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

**1.1. ΓΕΝΙΚΑ**

**1.2. ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

**2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8 & ΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ ΕΑΚ 2000**

**2.1. ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ .....**

**2.2. ΣΤΟΧΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ.....**

**2.3. ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ.....**

**2.4. ΕΠΙΠΕΔΑ ΓΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ.....**

**2.5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ .....**

**2.5.1. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ  
(ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ).....**

**2.5.1.1. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ.....**

**2.5.1.2. ΣΤΡΕΠΤΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ .....**

**2.5.1.3. ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....**

**2.5.2. ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (PUSHOVER).....**

**2.5.2.1. ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ .....**

**2.6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ .....**

**2.6.1. ΓΕΝΙΚΑ.....**

**2.6.2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΦΟΡΕΑ .....**

**2.6.3. ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ .....**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

2.6.3.1.	ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΜΕΛΟΥΣ .....
<b>2.7.</b>	<b>ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΘΜΩΝ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....</b>
2.7.1.	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΘΜΩΝ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ «ΟΙΟΝΗ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ» (NC).....
2.7.2.	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΘΜΗΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ «ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΒΛΑΒΩΝ » (SD) .....
2.7.3.	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΘΜΗΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ « ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΒΛΑΒΩΝ (DL).....
2.7.4.	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ.....
2.7.5.	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕΛΩΝ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ .....
2.7.6.	ΣΥΝΟΨΗ .....
<b>2.8.</b>	<b>ΚΑΜΠΥΛΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ.....</b>
2.8.1.	ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ (ATC-40).....
2.8.2.	ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΦΟΡΤΙΑ.....
<b>2.9.</b>	<b>ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ.....</b>
2.9.1.	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8 – ΜΕΡΟΣ 1 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β).....
2.9.2.	ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ (FEMA 356).....
2.9.2.1.	ΔΙΓΡΑΜΜΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ.....
2.9.2.2.	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΔΟΥΣ ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΥ.....
2.9.2.3.	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ.....
<b>2.10.</b>	<b>ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΦΟΡΕΑ.....</b>
<b>3. ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ</b>	
<b>3.1.</b>	<b>ΕΜΦΑΤΝΟΥΜΕΝΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ.....</b>
<b>3.2.</b>	<b>ΜΑΝΔΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....</b>
<b>3.3.</b>	<b>ΜΑΝΔΥΕΣ ΜΕ ΑΝΘΡΑΚΟΝΗΜΑΤΑ.....</b>

**3.4. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΠΕΔΙΛΟΔΟΚΩΝ – ΜΙΚΡΟΠΑΣΣΑΛΟΙ.....**

**4. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ**

**ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ**

**4.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ & ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟΥ.....**

**4.2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΦΟΡΕΑ.....**

**4.2.1. ΓΕΝΙΚΑ.....**

**4.2.2. ΥΛΙΚΑ.....**

**4.2.3. ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ.....**

**4.2.4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ.....**

**4.3. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΤΙΡΙΟΥ.....**

**4.3.1. ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΜΕΛΩΝ .....**

**4.3.2. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΦΟΡΕΑ**

**4.3.2.1. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ADRS ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΦΟΡΕΑ**

**4.4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....**

**5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΥΠΟ**

**ΑΥΞΑΝΟΜΕΝΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΟΡΤΙΑ**

**5.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΡΧΙΚΟΥ ΦΟΡΕΑ.....**

**5.1.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΡΧΙΚΟΥ ΦΟΡΕΑ ΜΕ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΟ  
ΤΟΙΧΕΙΟ ΑΣΑΝΣΕΡ**

**5.1.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΡΧΙΚΟΥ ΦΟΡΕΑ ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΤΟΙΧΕΙΟ  
ΑΣΑΝΣΕΡ**

**5.1.3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΡΧΙΚΟΥ ΦΟΡΕΑ**

**5.2. ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΗΣ**

**5.2.1. ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΛΗΡΟΥΣ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΗΣ**

**5.2.1. ΕΠΙΡΡΟΗ ΡΙΛΟΤΙΣ**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

**5.3. ΕΠΙΡΡΟΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΣΤΗΝ ΟΡΟΦΗ.....**

**5.4. ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΑ ΥΠΟ ΓΡΑΜΜΙΚΗ  
ΜΟΡΦΗ.....**

**5.5. ΦΟΡΕΑΣ ΜΕ ΡΙΛΟΤΙΣ ΚΑΙ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΟΡΟΦΗ.....**

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....**

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....**

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....**

ПЕРІАНЦІН

## **Π**ΕΡΙΛΗΨΗ

Η Ελληνική Πολιτεία, μετά τους τρεις τελευταίους σεισμούς, που έγιναν το 1986, το 1995 και το 1999, προέβλεψε κάποιους κανονισμούς για την αναβάθμιση των κτιρίων και την αποφυγή μεγάλων πληγμάτων. Στην παρούσα εργασία γίνεται αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας υφιστάμενου κτιρίου στο Παλιό Φάληρο και έλεγχος σεισμικής συμπεριφοράς αυτού ύστερα από παρεμβάσεις σε στοιχεία της κατασκευής. Για την αξιολόγηση της αντοχής και της σεισμικής συμπεριφοράς του κτιρίου χρησιμοποιείται η μέθοδος ανελαστικής μη-γραμμικής στατικής ανάλυσης (Static Pushover), την οποία αποδέχονται οι σύγχρονοι αντισεισμικοί κανονισμοί. Γίνεται προσομοίωση του κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα στο πρόγραμμα ETABs, καθορίζονται οι παράμετροι ανάλυσης και πραγματοποιούνται οι μελέτες, βάσει των οποίων παρουσιάζονται αποτελέσματα.

## **A**BSTRACT

The Greek state, after the three last earthquakes, which took place in 1986, 1995 and 1999, has predicted some regulations in order to upgrade the buildings and avoid devastating consequences. In this paper, a valuation of the carrying capacity of an existing building in Palaio Faliro is made. Following, its seismic behavior is being checked after interventions at the construction's elements. For the valuation of the building resistance and its seismic behavior, the method of Static Pushover is used, which the modern seismic regulations accept. The reinforcement concrete building is designed and stimulated with the help of the program ETABs, the analysis' parameters are set, experiments are conducted and conclusions from comparative studies are presented.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1



## 1.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η Ελλάδα βρίσκεται ανάμεσα στις έξι πιο σεισμογενείς χώρες του κόσμου, η οποία παρότι καταλαμβάνει το 0.02 της επιφάνειας της Γης, απελευθερώνει το 2% της παγκόσμιας σεισμικής ενέργειας κάθε χρόνο και πλέον το 50% της ευρωπαϊκής. Τα τελευταία 60 χρόνια έχουν κατά καιρούς εκδηλωθεί αρκετοί ισχυροί σεισμοί με αποκορύφωμα αυτόν στις 12 Αυγούστου του 1953 στην Κεφαλονιά, ο οποίος με μέγεθος 7,2 βαθμούς στην κλίμακα των Ρίχτερ επέφερε 476 νεκρούς και περίπου 28.000 καταρρεύσεις. Επίσης, ο πιο πρόσφατος ισχυρός σεισμός της χώρας ήταν αυτός της Πάρνηθας το 1999 με μέγεθος 5,9 Ρίχτερ και γενικό απολογισμό 143 νεκροί, 300 καταρρεύσεις και χιλιάδες κτίρια με σοβαρές ζημιές.

## 1.2. ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται το θέμα της αποτίμησης της σεισμικής συμπεριφοράς υφιστάμενου κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα, σχεδιασμένο βάσει του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού του 2000 (ΕΑΚ 2000) και του Ευρωκώδικα 8. Για αυτόν το σκοπό, διερευνάται η συμπεριφορά σε σεισμικά φορτία σχεδιασμένα με τους δυο αυτούς κανονισμούς.

Η διερεύνηση αυτή γίνεται με την βοήθεια του προγράμματος E-TABS. Πιο συγκεκριμένα, για την αποτίμηση με στατική ανελαστική ανάλυση (Pushover) προσομοιώθηκε ολόκληρο το κτίριο. Το προσομοίωμα φορτίζεται με οριζόντια φορτία αμετάβλητης κατανομής καθ' ύψος, τα οποία αυξάνουν μονότονα και αναπαριστούν τις αδρανειακές δυνάμεις, που εμφανίζονται στα επίπεδα των ορόφων κατά την διάρκεια σεισμού. Η ανάλυση Pushover διενεργείται μέχρι να σημειωθεί αστοχία του φορέα, την οποία θεωρούμε αστοχία σε κάμψη κρίσιμης διατομής, όπως αυτής του υποστυλώματος. Όσον αφορά την φόρτιση του μοντέλου μας, λάβαμε υπόψη τόσο τα μόνιμα φορτία (ίδιο βάρος πλάκας-τοιχοποιίας-εγκάρσιας φόρτισης υποστυλωμάτων  $1,35 \text{ KN/m}^2$ ), όσο και τα κινητά (εγκάρσιας φόρτισης υποστυλωμάτων  $1,50 \text{ KN/m}^2$ ). Από την ανάλυση αυτή, εξετάζεται αν η κατασκευή ανταποκρίνεται στους στόχους αποτίμησης και ανασχεδιασμού, που έχουν οριστεί από τον Κύριο του Έργου. Οι στόχοι αυτοί προκύπτουν από την επιλεγείσα στάθμη επιτελεστικότητας, δηλαδή την επιθυμητή συμπεριφορά της κατασκευής για την αντίστοιχη σεισμική δράση σχεδιασμού, δηλαδή την σεισμική δράση με δεδομένη αποδεκτή πιθανότητα υπέρβασης κατά την διάρκεια της συμβατικής ζωής του έργου, και μεταφράζονται σε συγκεκριμένα κριτήρια, που πρέπει να ικανοποιούνται από τα δομικά στοιχεία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Στη χώρα μας, η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας των υφιστάμενων κτιρίων αυτήν την στιγμή διέπεται από τον Ευρωκώδικα 8 και πιο συγκεκριμένα από το 3<sup>ο</sup> Μέρος του. Το συγκεκριμένο ισχύον θεσμικό πλαίσιο έχει τους ακόλουθους στόχους:

- Να προσφέρει κριτήρια για την αποτίμηση και αξιολόγηση της φέρουσα ικανότητας των υφιστάμενων μεμονωμένων κτιρίων,
- Να περιγράψει την προσέγγιση για την επιλογή των απαραίτητων μέτρων επέμβασης,
- Να θέσει κριτήρια για τον σχεδιασμό των μέτρων ενίσχυσης (δηλαδή, αποτύπωση υπάρχουσας κατάστασης, σύγκριση με την αρχική μελέτη, εντοπισμός βλαβών ή σημείων που χρίζουν επέμβαση, επιλογή τρόπων επεμβάσεων, τελική διαστασιολόγηση φερόντων στοιχείων και των συνδέσεων τους με τα υπάρχοντα δομικά στοιχεία).

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ  
ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ  
ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8  
& ΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ  
ΕΑΚ 2000

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

## 2.1. ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Το μέρος 3 του Ευρωκώδικα 8 έχει καθορίσει τρεις (3) στάθμες επιτελεστικότητας για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας φορέων, τις ονομαζόμενες Οριακές Καταστάσεις (Ο.Κ.), οι οποίες αποτελούν θεμελιώδεις απαιτήσεις και αναφέρονται στην κατάσταση των βλαβών του φορέα και την εναπομένουσα αντοχή του. Οι τρεις πιθανές στάθμες επιτελεστικότητας ορίζονται ως εξής:

- i. Ο Περιορισμός βλαβών
  - ii. Οι Σημαντικές βλάβες
  - iii. Η Οιονεί Κατάρρευση
- i. *Περιορισμός βλαβών* είναι η κατάσταση κατά την οποία ο φέρων οργανισμός του κτιρίου εμφανίζει ελαφρές μόνο βλάβες, με τα στοιχεία του να μην έχουν μπει σημαντικά στη μετελαστική περιοχή και να διατηρούν την αντοχή και την δυσκαμψία τους. Οι παραμένουσες παραμορφώσεις, κυρίως σε επίπεδο σχετικών μετακινήσεων ορόφων, είναι ασήμαντες και ο φέρων οργανισμός δε χρειάζεται επισκευή. Τα μη-φέροντα στοιχεία, όπως οι διαχωριστικοί τοίχοι, μπορεί να εμφανίζουν διάσπαρτη ρηγμάτωση, αλλά οι βλάβες τους μπορούν να επισκευασθούν με χαμηλό κόστος.
- ii. *Οι σημαντικές βλάβες* είναι μια κατάσταση κατά την οποία από τον αντίστοιχο σεισμό αναμένεται να προκληθούν σημαντικές βλάβες στον φέροντα οργανισμό του κτιρίου, ο οποίος όμως διατηρεί ένα σημαντικό μέρος της δυσκαμψίας και αντοχής του έναντι οριζόντιων δράσεων. Τα κατακόρυφα φέροντα στοιχεία είναι σε θέση να φέρουν τα κατακόρυφα φορτία, οι παραμένουσες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μέτριες, ενώ τα μη-φέροντα στοιχεία (διαχωριστικοί τοίχοι) έχουν βλάβες, αλλά δεν έχουν καταρρεύσει εκτός επιπέδου. Το κτίριο μπορεί να αντέξει μετασεισμικούς μέτριου μεγέθους, αλλά ενδέχεται η επισκευή τους να είναι αντικοινομική.
- iii. *Οιονεί κατάσταση* είναι μια κατάσταση κατά την οποία ο αντίστοιχος σεισμός αφήνει το φέροντα οργανισμό με σοβαρές βαριές βλάβες και με μικρή παραμένουσα δυσκαμψία και αντοχή έναντι οριζοντίων δράσεων, όμως με ικανότητα να φέρει ακόμα τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία. Οι παραμένουσες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μεγάλες, τα μη-φέροντα στοιχεία έχουν στην πλειονότητα τους καταρρεύσει, ενώ το κτίριο δεν απέχει πολύ από την κατάρρευση και κατά πάσα πιθανότητα δεν είναι σε θέση να αντέξει σεισμό, ακόμα και μέτριου μεγέθους.

Στην συνέχεια του κεφαλαίου περιγράφονται τα κριτήρια συμμόρφωσης και οι οριακές τιμές των παραμορφωσιακών και εντατικών μεγεθών που αντιστοιχούν σε κάθε στάθμη επιτελεστικότητας, καθώς και οι αντίστοιχοι στόχοι αποτίμησης.

## 2.2. ΣΤΟΧΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ

Ο στόχος της αποτίμησης ή της ενίσχυσης, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8–Μέρος 3, είναι ένας ή περισσότεροι συνδυασμοί στάθμης επιτελεσματικότητας και αντίστοιχης σεισμικής δράσης με δεδομένη πιθανότητα υπέρβασης κατά την συμβατική διάρκεια ζωής του κτιρίου. Οι Ευρωκώδικες δίνουν ενδεικτική τιμή της διάρκειας λειτουργικής ζωής κτιρίου (για το σχεδιασμό μη-μνημειακών κτιρίων) ίση με 50 χρόνια, ανεξαρτήτως σπουδαιότητας του.

Ο Ευρωκώδικας 8–Μέρος 3 δίνει στα κράτη-μέλη την ελευθερία να επιλέξουν τον ελάχιστο ανεκτό στόχο για την αποτίμηση ή ενίσχυση υφιστάμενων κτιρίων μέσω του Εθνικού Προσαρτήματος, που θα συντάξουν και που στο οποίο θα αναφέρονται ποιές στάθμες επιτελεσματικότητας θα πρέπει να ικανοποιηθούν και για ποιιά σεισμική δράση. Υπάρχει βέβαια και η πιθανότητα το κράτος-μέλος να μην θελήσει να χρησιμοποιήσει αυτή την ελευθερία μέσω του Εθνικού Προσαρτήματος. Σε αυτήν την περίπτωση, ο ορισμός του στόχου αποτίμησης ή ενίσχυσης επαφίεται στον Κύριο του Έργου, έτσι ώστε η ενίσχυση να είναι οικονομικά προσιτή. Ο Ευρωκώδικας αναφέρει απλώς σε Σημείωση ότι για νέα κτίρια συνήθους σπουδαιότητας θεωρούνται κατάλληλοι οι εξής στόχοι:

- «Περιορισμός βλαβών» για σεισμική δράση με πιθανότητα υπέρβασης 20% στον συμβατικό χρόνο ζωής των 50 ετών (μέση περίοδος επαναφοράς 225 χρόνια).
- «Σημαντικές βλάβες» για σεισμική δράση με πιθανότητα υπέρβασης 10% στον συμβατικό χρόνο ζωής των 50 ετών (μέση περίοδος επαναφοράς 475 χρόνια).
- «Οιονεί κατάρρευση» για σεισμική δράση με πιθανότητα υπέρβασης 2% στον συμβατικό χρόνο ζωής των 50 ετών (μέση περίοδος επαναφοράς 2475 χρόνια).

## 2.3. ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

Για να υπάρξουν όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστα δεδομένα, η διερεύνηση και η συλλογή πληροφοριών για τον υφιστάμενο φορέα σε επαρκή έκταση και βάθος από ποικίλες πηγές είναι απαραίτητη πριν από την εκπόνηση οποιασδήποτε μελέτης αποτίμησης ή ανασχεδιασμού. Πηγές άντλησης των απαιτούμενων στοιχείων αποτελούν τα διαθέσιμα ιδιωτικά και δημόσια αρχεία, οι συναφείς και αξιόπιστες βάσεις δεδομένων, όπως είναι οι σύγχρονοι κανονισμοί και κώδικες, καθώς και οι εργαστηριακές ή/και οι επιτόπου δοκιμές και έρευνες.

Τα σημεία, που θα πρέπει να καλύπτουν οι απαιτούμενες πληροφορίες για την δομική εκτίμηση του κτιρίου, περιγράφονται παρακάτω.

Αρχικά, είναι απαραίτητη η αποτύπωση του φέροντος οργανισμού, αλλά και του οργανισμού πλήρωσης του κτιρίου, με σκοπό την σύνταξη των κατασκευαστικών σχεδίων, τα οποία περιγράφουν την ακριβή μορφολογία της κατασκευής, τις συνολικές διαστάσεις, τον τύπο θεμελίωσης, τις διατομές των δομικών στοιχείων, καθώς και τις μηχανικές ιδιότητες και την κατάσταση των υλικών. Οι πληροφορίες για την αποτύπωση συλλέγονται είτε από τα σχέδια της αρχικής μελέτης, εφόσον είναι διαθέσιμη, είτε μέσω της επιτόπου έρευνας από το μηχανικό. Επιπρόσθετα, για να καταταγεί το έδαφος θεμελίωσης σε μία από τις κατηγορίες εδαφών του Ευρωκώδικα 8 και να προσδιορισθούν οι εδαφικές συνθήκες, απαιτείται η διεξαγωγή είτε επιτόπου επιθεώρησης, είτε ακόμα και γεωτεχνικής έρευνας, κυρίως σε κατασκευές μεγάλης σπουδαιότητας. [Σπύρου, 2011]

Σε κάθε μελέτη αποτίμησης κρίνεται αναγκαία η αναφορά στο ιστορικό του εξεταζόμενου στοιχείου, στην οποία θα εμπεριέχονται οι παρακάτω πληροφορίες:

- Οι ισχύοντες κατά την ανέγερση κανονισμοί, τα κριτήρια αντισεισμικού σχεδιασμού, καθώς και οι φάσεις κατασκευής.
- Η προβλεπόμενη χρήση του κτιρίου και οι ενδεχόμενες αλλαγές, που έχουν πραγματοποιηθεί κατά την διάρκεια ζωής του έργου, καθώς και η επανεκτίμηση των επιβαλλόμενων δράσεων με βάση την χρήση.
- Οι ενδεχόμενες βλάβες ή φθορές, που έχει υποστεί ο φορέας, ο τύπος και η έκτασή τους, καθώς και οι επεμβάσεις, που έχουν γίνει για την αντιμετώπισή τους.

### **2.4. ΕΠΙΠΕΔΑ ΓΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ**

Ανάλογα με την ποσότητα και την ποιότητα των δεδομένων, που έχουν συλλεχθεί όσον αφορά τα παραπάνω σημεία, καθορίζονται τρία επίπεδα γνώσης και χρησιμοποιούνται για αυτά αντίστοιχοι συντελεστές εμπιστοσύνης:

- ΕΓ1: Περιορισμένη γνώση
- ΕΓ2: Κανονική γνώση
- ΕΓ3: Πλήρης γνώση

Για τον προσδιορισμό του κατάλληλου επιπέδου γνώσης είναι απαραίτητος ο έλεγχος των τριών καθοριστικών παραγόντων:

- Η γεωμετρία του δομικού συστήματος, αλλά και των μη-φερόντων στοιχείων, που επηρεάζουν την απόκριση του φορέα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

- Οι λεπτομέρειες, που αφορούν την ποσότητα και την διάταξη του οπλισμού σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, τις συνδέσεις μεταξύ χαλύβδινων μελών, τη σύνδεση διαφραγμάτων του δαπέδου με τους κατακόρυφους φορείς αντίστασης, τη συνάφεια στις ενώσεις κονιάματος στην τοιχοποιία και την φύση οποιουδήποτε στοιχείου οπλισμού σε αυτή.
- Οι μηχανικές ιδιότητες των συστατικών αυτών.

Για κάθε παράγοντα οι πληροφορίες συλλέγονται διαφορετικά. Πιο συγκεκριμένα:

- Για την γεωμετρία: γενικά κατασκευαστικά σχέδια, σχέδια λεπτομερειών, οπτική ή πλήρης έρευνα.
- Για τις λεπτομέρειες: προσομοίωση του φορέα με βάση τον ισχύοντα κανονισμό κατά το χρόνο κατασκευής και επιτόπου επιθεώρηση ποικίλης έκτασης.
- Για τα υλικά μέσω: επιτόπου καταστρεπτικών και μη δοκιμών, όπως κρουσιμετρήσεις, πυρηνοληψίες, κτλ.

Ανάλογα με τον αριθμό των δομικών στοιχείων, που θα πρέπει να ελεγχθούν για λεπτομέρειες, καθώς και τον αριθμό των δειγμάτων υλικών ανά όροφο, που θα πρέπει να ληφθούν για τη διεξαγωγή δοκιμών, γίνεται κατηγοριοποίηση των επιπέδων επιθεώρησης και δοκιμών σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

	<b>Επιθεώρηση (λεπτομερειών)</b>	<b>Δοκιμή (υλικών)</b>
	<b>Για κάθε τύπο πρωτευόντων στοιχείων (δοκό, υποστύλωμα, τοίχο)</b>	
<b>Επίπεδο επιθεώρησης και ελέγχου</b>	<b>Ποσοστό στοιχείων, που ελέγχονται για λεπτομέρειες</b>	<b>Δείγματα υλικών ανά όροφο</b>
Περιορισμένο	20	1
Κανονικό	50	2
Διεξοδικό	80	3

Πίνακας 2.1. Κατάταξη επιπέδου επιθεώρησης και ελέγχου

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Οι τιμές των συντελεστών εμπιστοσύνης δίνονται στον παρακάτω πίνακα, συναρτήσει του επιπέδου γνώσης των παραπάνω παραγόντων. Οι συντελεστές εμπιστοσύνης χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των υπαρχόντων υλικών, που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της ικανότητας και έχουν ως στόχο να καλύψουν τις αβεβαιότητες, που προκύπτουν από την συλλογή πληροφοριών. Στις περιπτώσεις, που η ικανότητα θα συγκρίνεται με την απαίτηση για ελέγχους ασφαλείας, οι μέσες τιμές, οι οποίες προκύπτουν από τις επιτόπου δοκιμές και από τις πρόσθετες πηγές πληροφοριών, θα διαιρούνται με τον κατάλληλο συντελεστή εμπιστοσύνης CF. Αντίθετα, για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων, που θα χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό της ικανότητας ανάπτυξης δυνάμεων (αντοχή) σε ψαθυρά στοιχεία και μηχανισμούς, οι μέσες ιδιότητες των υφιστάμενων υλικών, τα οποία λαμβάνονται από τους επιτόπου ελέγχους και από τις πρόσθετες πηγές πληροφοριών, θα πολλαπλασιάζονται με τον κατάλληλο συντελεστή εμπιστοσύνης CF.

Κατά τον Ευρωκώδικα 8–Μέρος 3, δίνεται στα κράτη-μέλη η ελευθερία επιλογής των τιμών των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας έναντι αβεβαιότητας προσομοιωμάτων αντιστάσεων, λαμβάνοντας σαφώς υπόψη τις αυξημένες αβεβαιότητες των προσομοιωμάτων, μέσω των οποίων εκτιμώνται οι αντιστάσεις. Οι τιμές τόσο των συντελεστών εμπιστοσύνης, όσο και των συντελεστών ασφαλείας παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Επίπεδο γνώσης	Λεπτομέρειες	Υλικά	Ανάλυση	Σ.Ε., CF, $\gamma_c$ , $\gamma_s$
KL1: Περιορισμένη γνώση	Προσομοίωση σχεδιασμού με βάση την πρακτική κατά τον χρόνο κατασκευής και περιορισμένη επιτόπου επιθεώρηση	Καταχρηστικές τιμές σύμφωνα με τα ισχύοντα κατά τον χρόνο κατασκευής πρότυπα και περιορισμένες επιτόπου δοκιμές	Μόνο γραμμική ανάλυση  Στατική ή  Δυναμική	GR: CF= 1.30  $\gamma_c$ = 1.65  $\gamma_s$ = 1.265  CY: CF= 1.35  $\gamma_c$ = 1.50  $\gamma_s$ = 1.15
KL2: Κανονική γνώση	Από αρχικά μη πλήρη λεπτομερή κατασκευαστικά σχέδια και από περιορισμένη ή και εκτεταμένη επιτόπου επιθεώρηση	Από τις αρχικές προδιαγραφές σχεδιασμού και από περιορισμένες ή και εκτεταμένες επιτόπου δοκιμές	Γραμμική και μη γραμμική ανάλυση  Στατική ή	GR: CF= 1.20  $\gamma_c$ = 1.50  $\gamma_s$ = 1.15  CY: CF= 1.20  $\gamma_c$ = 1.50



			Δυναμική	$\gamma_s = 1.15$
KL3: Πλήρης γνώση	Από τα αρχικά λεπτομερή κατασκευαστικά σχέδια και από περιορισμένη ή και διεξοδική επιτόπου επιθεώρηση	Από τις αρχικές αναφορές δοκιμών και από περιορισμένες ή και διεξοδικές επιτόπου δοκιμές	Γραμμική και μη γραμμική ανάλυση	GR: CF= 1.10 $\gamma_c = 1.35$ $\gamma_s = 1.035$ CY: CF= 1.00 $\gamma_c = 1.50$ $\gamma_s = 1.15$

Πίνακα 2.2. Επίπεδα γνώσης και συντελεστές εμπιστοσύνης

## 2.5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Η επιτρεπόμενη μέθοδος ανάλυσης, που χρησιμοποιείται για την ανάλυση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, προσδιορίζεται από το επίπεδο γνώσης, το οποίο επιτυγχάνεται, σε συνδυασμό με την εκπλήρωση ορισμένων προϋποθέσεων κανονικότητας. Οι μέθοδοι ανάλυσης, που προβλέπονται είναι οι εξής:

- Ελαστική στατική ,
- Ελαστική δυναμική,
- Ανελαστική στατική (pushover),
- Ανελαστικά δυναμική (ανάλυση χρονοϊστορίας).

Οι ελαστικές μέθοδοι ανάλυσης υιοθετούν την παραδοσιακή γραμμική σχέση έντασης-παραμόρφωσης για τα δομικά στοιχεία της κατασκευής με κατάλληλες τροποποιήσεις των μετακινήσεων και των κριτηρίων επιτελεστικότητας, έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη η πιθανότητα εκδήλωσης μη γραμμικής συμπεριφοράς για το σεισμό σχεδιασμού. Η ελαστική στατική ανάλυση και η ελαστική δυναμική ανάλυση αντιστοιχούν στην ανάλυση οριζόντιας φόρτισης και στην ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης του Ευρωκώδικα 8.

Οι ελαστικές μέθοδοι ανάλυσης μπορούν μεν να δώσουν μια καλή ένδειξη της ελαστικής συμπεριφοράς του κτιρίου μέχρι το σημείο της πρώτης διαρροής, αλλά δεν

μπορούν να προβλέψουν την ανακατανομή των εντάσεων, η οποία θα συμβεί κατά τη διάρκεια της προοδευτικής διαρροής των δομικών στοιχείων του φορέα.

Οι ανελαστικοί μέθοδοι ανάλυσης βοηθούν στην κατανόηση της πραγματικής συμπεριφοράς των κατασκευών, τόσο στους μηχανισμούς αστοχίας, όσο και για το ενδεχόμενο προοδευτικής κατάρρευσης. Η χρήση των ανελαστικών μεθόδων ανάλυσης για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό υφιστάμενων κατασκευών επιτρέπει καλύτερη εποπτεία και κατανόηση της συμπεριφοράς των κατασκευών αυτών όταν αυτές θα υποβληθούν σε ισχυρούς σεισμούς, για τους οποίους είναι δεδομένο ότι θα συμπεριφερθούν ανελαστικά. Με τον τρόπο αυτόν, αντιμετωπίζονται πολλές από τις αβεβαιότητες, που σχετίζονται με τις ελαστικές μεθόδους ανάλυσης, που υιοθετούνται από τους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς.

### **2.5.1. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΑΣΜΣΑΤΟΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ)**

Στην ιδιομορφική ανάλυση λαμβάνεται υπόψη η απόκριση όλων των ιδιομορφών ταλάντωσης, που συμβάλλουν σημαντικά στην συνολική απόκριση. Η απαίτηση αυτή θεωρείται ότι ικανοποιείται, εάν μπορεί να αποδειχθεί οποιοδήποτε από τα παρακάτω:

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

Όταν χρησιμοποιείται χωρικό προσομοίωμα, οι παραπάνω συνθήκες πρέπει να ελέγχονται σε κάθε απαιτούμενη διεύθυνση.

Εάν οι παραπάνω απαιτήσεις δεν ικανοποιούνται, όπως στην περίπτωση κτιρίων με σημαντική συμβολή στρεπτικών ιδιομορφών, τότε ο ελάχιστος αριθμός ιδιομορφών  $k$ , που λαμβάνεται υπόψη σε μία χωρική ανάλυση, πρέπει να ικανοποιεί και τις δύο ακόλουθες συνθήκες:

$$k \geq 3 * \sqrt{n} \quad (2.1)$$

και

$$T_k \leq 0.20 * S \quad (2.2)$$

όπου,

$k$  είναι το πλήθος των ιδιομορφών, που λαμβάνονται υπόψη,

$n$  είναι το πλήθος των ορόφων πάνω από την θεμελίωση ή πάνω από την άνω επιφάνεια άκαμπτου υπογείου,

$T_k$  είναι η περίοδος ταλάντωσης της ιδιομορφής  $k$ .

Η δρώσα ιδιομορφική μάζα, που αντιστοιχεί σε κάθε ιδιομορφή  $m_k$ , καθορίζεται έτσι ώστε η τέμνουσα δύναμη βάσης  $F_{bk}$ , που δρα στην διεύθυνση εφαρμογής της σεισμικής δράσης, να μπορεί να εκφραστεί ως  $F_{bk} = S_d(T_k) * m_k$ . Αποδεικνύεται ότι το άθροισμα των δρωσών ιδιομορφικών μαζών είναι ίσο με τη μάζα του φορέα.

### 2.5.1.1. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ

Στα επίπεδα συστήματα, για την εκτίμηση των μέγιστων των ιδιομορφικών αποκρίσεων, χρησιμοποιείται η μέθοδος της απλής τετραγωνικής επαλληλίας (SRSS). Για τα χωρικά συστήματα επιτρέπεται η εφαρμογή της SRSS, εφόσον οι ιδιοσυχνότητες των ιδιομορφών είναι καλά διαχωρισμένες. Οι αποκρίσεις σε δύο ιδιομορφές ταλάντωσης  $i$  και  $j$ , οι οποίες περιλαμβάνουν και μεταφορικές και στρεπτικές ιδιομορφές, μπορεί να ληφθούν ως ανεξάρτητες, εφόσον οι περιόδοί τους  $T_i$  και  $T_j$  (με  $T_j \leq T_i$ ) ικανοποιούν την παρακάτω συνθήκη: [Σπύρου, 2011]

$$T_j \leq 0.90 * T_i \quad (2.3)$$

Όταν όλες οι σχετικές ιδιομορφικές αποκρίσεις μπορούν να θεωρηθούν αμοιβαία ανεξάρτητες, η μέγιστη τιμή  $E_E$  ενός εντατικού σεισμικού μεγέθους ή μετακίνησης μπορεί να ληφθεί ως εξής:

$$E_{Ei} = \sqrt{(E_{Ei})^T * E_{Ei}} \quad (2.4)$$

Όταν όμως οι ιδιομορφές δεν είναι ανεξάρτητες, τότε υιοθετούνται ακριβέστερες μέθοδοι για τον συνδυασμό των ιδιομορφικών μεγίστων, όπως η μέθοδος της πλήρους τετραγωνικής επαλληλίας (CQC). Η εκτίμηση ενός μεγέθους  $E_E$  δίνεται από την σχέση:

$$E_E = \sqrt{(E_{Ei})^T * (E) * (E_{Ei})} \quad (2.5)$$

όπου,

$E_E$  το σεισμικό μέγεθος, που εξετάζεται (δύναμη, μετακίνηση, κτλ.),

$E_{Ei}$  η τιμή του ίδιου σεισμικού μεγέθους λόγω της ιδιομορφής ταλάντωσης  $i$ .

Τα στοιχεία  $E_{ij}$  του τετραγωνικού μητρώου  $[E]$ , για  $j, i \neq 0$  και για κοινή απόσβεση  $\zeta$  όλων των κανονικών μορφών είναι ίσο με:

$$E_{ij} = \frac{8 * \zeta^2 * (1+r) * r^{2/3}}{10^4 * (1-r^2)^2 + 4 * \zeta^2 * r * (1+r)^2}, \quad \frac{1}{r} = \frac{T_i}{T_j}, \quad T_i > T_j \text{ και } \zeta \text{ σε } \%. \quad (2.6)$$

Για  $i = j$  και  $E_{ij} = 0$ .

### 2.5.1.2. ΣΤΡΕΠΤΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Όταν χρησιμοποιείται χωρικό προσομοίωμα για την ανάλυση, οι τυχηματικές στρεπτικές επιδράσεις μπορούν να καθοριστούν ως περιβάλλουσα των εντατικών μεγεθών στατικών φορτίσεων, που αποτελούνται από ομάδα στρεπτικών ροπών  $M_{ai}$  περί τον κατακόρυφο άξονα κάθε ορόφου  $i$ :

$$M_{ai} = e_{ai} * F_i \quad (2.7)$$

όπου,

- ο  $M_{ai}$  η στρεπτική ροπή, που εφαρμόζεται στον όροφο  $i$  περί τον κατακόρυφο άξονα,
- ο  $e_{ai}$  η τυχηματική εκκεντρότητα της μάζας του ορόφου  $i$  στην αντίστοιχη απαιτούμενη διεύθυνση ( $e_{ai} = \pm 0.05 * L_i$ ), όπου  $L_i$  η κάθετη προς την διεύθυνση της σεισμικής δράσης διάσταση του ορόφου,
- ο  $F_i$  το οριζόντιο φορτίο, που δρα στον όροφο  $i$  σε διεύθυνση κάθετη προς εκείνη της  $e_{ai}$ .

Τα παραπάνω εντατικά μεγέθη των φορτίσεων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη με θετικά και αρνητικά πρόσημα (το ίδιο πρόσημο για όλους τους ορόφους).

### 2.5.1.3. ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Η ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης εφαρμόζεται σε κτίρια, τα οποία δεν ικανοποιούν τις συνθήκες για την εφαρμογή της μεθόδου ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης, οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

- Έχουν θεμελιώδεις περιόδους ταλάντωσης  $T_1$  στις δύο κύριες διευθύνσεις μικρότερες από τις παρακάτω τιμές:

$$T_1 \leq \begin{cases} 4 * T_c \\ 2.0s \end{cases}$$

- Ικανοποιούν τα κριτήρια για κανονικότητα βάσει του EC8-Μέρος 1, 4.2.3.3.

## 2.5.2. ΜΗ – ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (PUSHOVER)

Μια από τις πιο γνωστές εφαρμογές της μη-στατικής ανάλυσης είναι η μη-γραμμική μέθοδος σταδιακής εξώθησης ή διαφορετικά Pushover, σύμφωνα με την αμερικάνικη βιβλιογραφία. Η μέθοδος αυτή είναι μία ευρύτατα διαδεδομένη μέθοδος αντισεισμικού υπολογισμού, η οποία εφαρμόζεται σε πολλούς κανονισμούς, όπως ο Ευρωκώδικας 8, ο FEMA 356, ο ATC-40, κ.α. Η ανάλυση αυτή έχει ως στόχο, αφενός στην αποτίμηση της στατικής συμπεριφοράς υφιστάμενων ή ανασχεδιαζόμενων κτιρίων μέσω της εκτίμησης των εντατικών και ανελαστικών παραμορφωσιακών μεγεθών, που αναπτύσσονται στα στοιχεία της κατασκευής κατά την επιβολή της σεισμικής δράσης, και αφετέρου στην εκτίμηση των αναμενόμενων πλαστικών μηχανισμών κατάρρευσης και της ενδεχόμενης κατανομής βλαβών, καθώς και στη αποκάλυψη των πιθανών αδυναμιών του φορέα, όπως οι ασυνεχείες στη δυσκαμψία και η υπερφόρτιση ψαθυρών στοιχείων. Η διαδικασία της μεθόδου της ανελαστικής στατικής ανάλυσης περιγράφεται εκτενέστερα στην συνέχεια του Κεφαλαίου.

### 2.5.2.1. ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της ανελαστικής στατικής ανάλυσης είναι η μικρή επιρροή ανώτερων ιδιομορφών, καθώς και η καμπύλη ικανότητας κατασκευάζεται με βάση την παραδοχή ότι η θεμελιώδης ιδιομορφή της ταλάντωσης είναι δεσπόζουσα, όσον αφορά στην σεισμική απόκριση της κατασκευής.

Η παραδοχή αυτή γενικά είναι ορθή για κτίρια με θεμελιώδεις ιδιοπεριόδους έως 1 sec. Για περισσότερο εύκαμπτα κτίρια, πρέπει κατά κανόνα να συμπεριληφθεί και η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών στην ανάλυση. Σύμφωνα με δόκιμες συστάσεις επεμβάσεων, όπως οι FEMA 356, προκειμένου να καθοριστεί εάν οι ανώτερες ιδιομορφές είναι σημαντικές, απαιτείται μια δυναμική ελαστική ανάλυση, στην οποία θα λαμβάνονται υπόψη όλες οι ιδιομορφές, που συνεισφέρουν αθροιστικά τουλάχιστον στο 90% της ταλαντευόμενης μάζας του συστήματος. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής συγκρίνονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα μίας δεύτερης δυναμικής φασματικής ανάλυσης με βάση μόνο την πρώτη ιδιομορφή. Η επιρροή των

ανώτερων ιδιομορφών πρέπει να θεωρείται σημαντική, εφόσον η τέμνουσα, που προκύπτει σε κάθε όροφο από την πρώτη ανάλυση ξεπερνά το 130% της αντίστοιχης τέμνουσα από την δεύτερη ανάλυση. Στην περίπτωση, που η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών είναι σημαντική, η στατική ανελαστική ανάλυση πρέπει να γίνεται σε συνδυασμό με μια ελαστική στατική ανάλυση και η κατασκευή να ικανοποιεί τα κριτήρια επιτελεστικότητας, που καθορίζονται και για τις δύο αναλύσεις, με τη διαφορά ότι τα κριτήρια επιτελεστικότητας της ελαστικής δυναμικής ανάλυσης επιτρέπεται να αυξάνονται κατά 33%.

Επιπλέον, αναγκαίο για την εφαρμογή της ανελαστικής στατικής μεθόδου ανάλυσης είναι το επίπεδο γνώσης της κατασκευής να είναι τουλάχιστον «Κανονική Γνώση».

## **2.6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ**

### **2.6.1. ΓΕΝΙΚΑ**

Αρχικά, μορφώνεται το υπολογιστικό προσομοίωμα της κατασκευής, όπως περιγράφεται στην Παράγραφο 2.7.2..

Στην συνέχεια, με βάση τους τύπους του Ευρωκώδικα 8, υπολογίζονται τα κριτήρια ελέγχου για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας σε όρους παραμορφωσιακών και εντατικών μεγεθών και σχηματίζονται οι καμπύλες αντοχής όλων των δομικών στοιχείων του φορέα στα άκρατους και για κάθε φόρτιση. Αφού καθοριστούν οι καμπύλες M-θ, που περιγράφουν την συμπεριφορά των στοιχείων της κατασκευής και τις στάθμες επιτελεστικότητας κάθε στοιχείου πάνω στην αντίστοιχη καμπύλη, μπορεί να κατασκευαστεί η καμπύλη αντίστασης όλης της κατασκευής, η οποία εκφράζει τη μη-γραμμική σχέση μεταξύ του επιβαλλόμενου οριζόντιου φορτίου και της μετατόπισης της κορυφής. [Σπύρου, 2011]

Η κατασκευή της καμπύλης αντίστασης γίνεται με υπολογισμό της ανελαστικής μετακίνησης της κορυφής για διάφορες τιμές του οριζόντιο φορτίου με δεδομένη κατανομή φορτίων στους ορόφους, σύμφωνα με τη μεθοδολογία του Pushover. Οι κατανομές, που εφαρμόζονται στο φορέα, περιγράφονται αναλυτικά στην Παράγραφο 2.9.2.. Για την κατασκευή αυτής της καμπύλης γίνονται πολλές ελαστικές στατικές επιλύσεις, με σταδιακή αύξηση της τέμνουσας βάσης και υπολογισμό της μετακίνησης της κορυφής σε κάθε βήμα, λαμβάνοντας υπόψη τη μειωμένη δυσκαμψία των στοιχείων, που έχουν διαρρεύσει, όπως αυτή προκύπτει από τις καμπύλες αντοχής των μελών. Αφού κατασκευαστεί η καμπύλη αντίστασης του φορέα, αποτυπώνονται πάνω σε αυτή τα σημεία, τα οποία αντιστοιχούν στις διάφορες στάθμες επιτελεστικότητας συνολικά για όλη την κατασκευή. Έπειτα, η πρωτογενής καμπύλη αντίστασης εξιδανικεύεται σε μια διγραμμική καμπύλη, που θεωρείται ότι αντιστοιχεί στο διάγραμμα δύναμης-μετακίνησης ενός ισοδύναμου

μονοβάθμιου συστήματος, η απόκριση του οποίου συσχετίζεται με την απόκριση της κατασκευής.

Στην συνέχεια, υπολογίζεται η αναμενόμενη μετακίνηση της κατασκευής (στοχευόμενη μετακίνηση), που ορίζει το σημείο επιτελεστικότητάς της για τον συγκεκριμένο σεισμό. Στην Παράγραφο 2.10. περιγράφονται αναλυτικά οι εφαρμοζόμενες μέθοδοι υπολογισμού της στοχευόμενης μετακίνησης του φορέα.

Αφού υπολογιστεί και η αναμενόμενη μετακίνηση της κατασκευής (μετακίνηση κορυφής), σημειώνεται στην καμπύλη αντίστασης το αντίστοιχο σημείο επιτελεστικότητας, το οποίο συγκρίνεται με την επιθυμητή στάθμη επιτελεστικότητας για την συγκεκριμένη σεισμική διέγερση. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλες τις στάθμες επιτελεστικότητας, για τις οποίες γίνεται έλεγχος. Διαπιστώνεται έτσι εάν έχει υπερβληθεί ή όχι κάποιος στόχος σεισμικής ικανότητας.

Για την στοχευόμενη μετακίνηση, που αντιστοιχεί σε κάποια στάθμη σεισμικής δόνησης, μπορεί να ελεγχθεί σε ποιό σημείο της καμπύλης M-θ βρίσκεται κάθε σημείο. Στοιχεία, στα οποία υπάρχει υπέρβαση της επιθυμητής στάθμης επιτελεστικότητας, πρέπει να ενισχυθούν και η όλη διαδικασία να επαναληφθεί.

### **2.6.2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΦΟΡΕΑ**

Για τη μη-γραμμική στατική ανάλυση χρησιμοποιείται ως επί τω πλείστον χωρικό προσομοίωμα, ενώ επιτρέπεται η χρήση δύο επίπεδων προσομοιωμάτων, ένα για κάθε οριζόντια διεύθυνση του κτιρίου, για κτίρια, που συμμορφώνονται με τα κριτήρια κανονικότητας σε κάτοψη του EC8-Μέρος 1, 4.3.3.4.2..

Στο προσομοίωμα περιλαμβάνονται τόσο τα πρωτεύοντα, όσο και τα δευτερεύοντα δομικά στοιχεία, ενώ λαμβάνεται υπόψη η μετελαστική τους συμπεριφορά με την προοδευτική μείωση της δυσκαμψίας και της αντοχής τους, με βάση την καμπύλη έντασης-παραμόρφωσης του κάθε στοιχείου. Η παραπάνω καμπύλη περιγράφεται εκτενέστερα στη Παράγραφο 2.7.3..

Ως πρωτεύοντα στοιχεία περιγράφονται τα στοιχεία, που συμβάλλουν στην αντοχή και στην ευστάθεια της κατασκευής, ενώ όλα τα υπόλοιπα χαρακτηρίζονται ως δευτερεύοντα. Έτσι, η βασική διαφορά μεταξύ των δύο κατηγοριών είναι το κατά πόσον ένα στοιχείο είναι κρίσιμο για την αντίσταση του κτιρίου έναντι κατάρρευσης υπό σεισμικές δράσεις. Κατά συνέπεια, ως δευτερεύοντα χαρακτηρίζονται τα στοιχεία, που συμβάλλουν μεν στην ανάληψη κατακόρυφων φορτίων, αλλά δεν θεωρείται ότι συνεισφέρουν σε μεγάλο βαθμό στην αντίσταση σε σεισμό, ή ο βαθμός συνεισφοράς τους είναι αναξιόπιστος, λόγω χαμηλής δυσκαμψίας και/ή αντοχής και/ή πλαστιμότητας. Παράλληλα, οι παραμορφώσεις και οι αναμενόμενες βλάβες,

που αντιστοιχούν στα δευτερεύοντα στοιχεία είναι γενικά μεγαλύτερες από αυτές των πρωτευόντων.

Τα διαφράγματα των δαπέδων του κτιρίου μπορούν να ληφθούν ως άκαμπτα μέσα στο επίπεδο τους, οι μάζες και οι ροπές αδρανείας κάθε δαπέδου μπορούν να συγκεντρωθούν στο κέντρο βάρους. Ένα διάφραγμα θεωρείται άκαμπτο, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8, εάν κατά την προσομοίωση με την πραγματική εντός του επιπέδου ευκαμψία του, οι οριζόντιες μετακινήσεις δεν υπερβαίνουν πουθενά αυτές, που προκύπτουν από την υπόθεση άκαμπτου διαγράμματος κατά περισσότερο από 10% των αντίστοιχων οριζόντιων μετακινήσεων κατά την σεισμική κατάσταση σχεδιασμού.

Όσον αφορά τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών, για τα υφιστάμενα δομικά στοιχεία γίνεται χρήση της μέσης τιμής των τιμών, που προκύπτουν από τις δοκιμές, που διενεργούνται, διαιρεμένες με τους κατάλληλους συντελεστές εμπιστοσύνης. Αντίθετα, για του νέους φορείς και τα υλικά επεμβάσεων χρησιμοποιούνται οι χαρακτηριστικές τιμές των υλικών. Ο υπολογισμός των δυσκαμψιών γίνεται πάντοτε χωρίς συντελεστές  $\gamma_m$ .

Τα κατακόρυφα φορτία των δομικών στοιχείων θα συμπεριλαμβάνονται στο προσομοίωμα ώστε να συνδυάζονται με τα οριζόντια φορτία, σύμφωνα με τον σεισμικό συνδυασμό του. Τα κινητά φορτία σχεδιασμού συνδυάζονται με τα μόνιμα φορτία με βάση τον συνδυασμό  $G + \psi_2 \times Q$ . Η τιμή του *συντελεστή συνδυασμού*  $\psi_2$  για μακροχρόνια τιμή των κινητών φορτίων (οιονεί μόνιμη) ελήφθη γενικά ίση με  $\psi_2=0,3$ . [Σπύρου, 2011]

Οι τοιχοπληρώσεις πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο προσομοίωμα, εφόσον η επιρροή τους δεν είναι δυσμενής. Επίσης, οποιαδήποτε μη-φέροντα στοιχεία, τα οποία που μπορεί να επηρεάσουν την απόκριση του βασικού αντισεισμικού φορέα, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

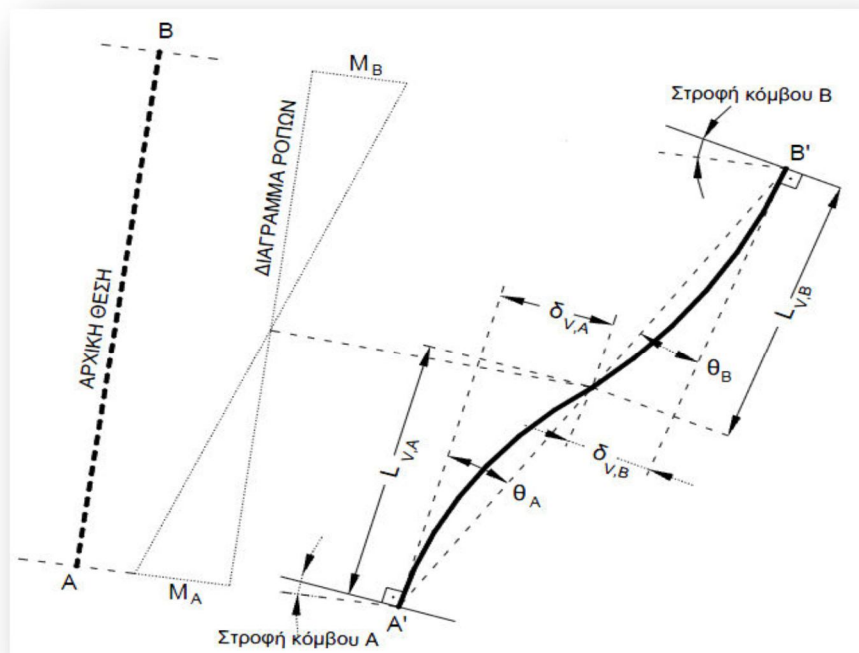
### 2.6.3. ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Η μηχανική συμπεριφορά ενός δομικού στοιχείου περιγράφεται μέσω ενός διαγράμματος εντατικού μεγέθους  $F$ , που χαρακτηρίζει το κύριο μέρος της έντασης, που προκαλεί η σεισμική δράση στο στοιχείο, συναρτήσει της παραμόρφωσης ή της *σχετικής μετακίνησης*  $\delta$ , η οποία επιλέγεται έτσι ώστε να εκφράζει την ενέργεια παραμόρφωσης του στοιχείου, σε συνδυασμό με το *εντατικό μέγεθος*  $F$ .

Επειδή οι καμπτικές και διατμητικές παραμορφώσεις στα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα συνυπάρχουν, ενώ οι στροφές των ακραίων διατομών τους επηρεάζονται και από την εξόλκευση των οπλισμών στις αγκυρώσεις, η καταλληλότερη επιλογή  $F$



και  $\delta$  είναι η ροπή κάμψης  $M$  και η γωνία στροφής χορδής  $\vartheta$  στα άκρα του στοιχείου, μέγεθος, που υπεισέρχεται και στη διαδικασία αποτίμησης του Ευρωκώδικα 8-Μέρος 3. Η γωνία  $\theta$  ορίζεται ως η γωνία μεταξύ της εφαπτομένης στον άξονα του στοιχείου στο άκρο υπό διαρροή και της χορδής, που συνδέει το άκρο αυτό με το άκρο του ανοίγματος διάτμησης, δηλαδή το σημείο μηδενισμού των ροπών. Με άλλα λόγια, η γωνία  $\theta$  ορίζεται ως η γωνία στροφής της χορδής, που ενώνει την βάση με την κορυφή ενός θεωρητικού προβόλου μήκους ίσου με το διατμητικό μήκος  $L_v$ , δηλαδή  $\theta = \delta v \div L_v$ , όπου:  $\delta v$  η μετατόπιση στην κορυφή του θεωρητικού προβόλου και  $L_v = M \div V$  ( $M$ : ροπή βάσης,  $V$ : τέμνουσα). [Σπύρου, 2011]



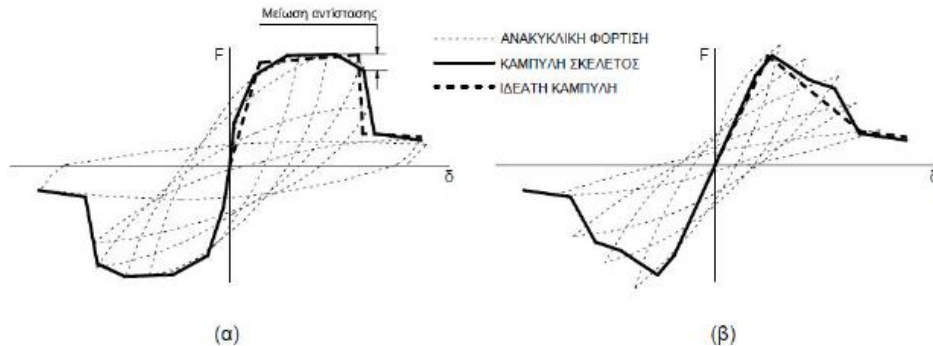
Εικόνα 2.1. Ορισμός στροφής χορδής  $\theta$

### 2.6.3.1. ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΜΕΛΟΥΣ

Η κατασκευή των διαγραμμάτων  $F$ - $\delta$  των στοιχείων έχει συνήθως ιδεατή μορφή, η οποία βασίζεται στην καμπύλη-σκελετό της συμπεριφοράς σε ανακυκλική φόρτιση, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2. Στην εικόνα 2.2(α) φαίνεται η ανελαστική συμπεριφορά ενός στοιχείου σε καμπτική καταπόνηση και στην Εικόνα 2.2(β) αντίστοιχα σε διατμητική καταπόνηση.

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8-Μέρος 3, η προσέγγιση της πραγματικής καμπύλης  $F$ - $\delta$  μέσω ενός πολυγραμμικού διαγράμματος είναι γενικώς επαρκής με τον ευθύγραμμο κλάδο να παρακάμπτει τη ρηγμάτωση και να εκτείνεται από την αρχή των αξόνων μέχρι τη διαρροή του στοιχείου, μετά την οποία, η καμπύλη μπορεί να

λαμβάνεται περίπου οριζόντια (τα στοιχεία είναι κατά κανόνα ήδη ρηγματωμένα από προγενέστερες δράσεις, σεισμικές και μη).



Εικόνα 2.2. Καμπύλες F-δ δομικών στοιχείων: α)καμπτική, β)διατμητική συμπεριφορά

Έτσι, σε κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα ή τοιχοποιία, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8-Μέρος 3, η ελαστική δυσκαμψία μιας διγραμμικής σχέσης δύναμης-παραμόρφωσης πρέπει να αντιστοιχεί σε αυτήν την ρηγματωμένων διατομών. Η ανάλυση του δομικού συστήματος πρέπει να χρησιμοποιεί οιονεί ελαστική δυσκαμψία  $K$ , που ορίζεται και υπολογίζεται ως η τέμνουσα (επιβατική) δυσκαμψία του μέλους μέχρι τη διαρροή του.

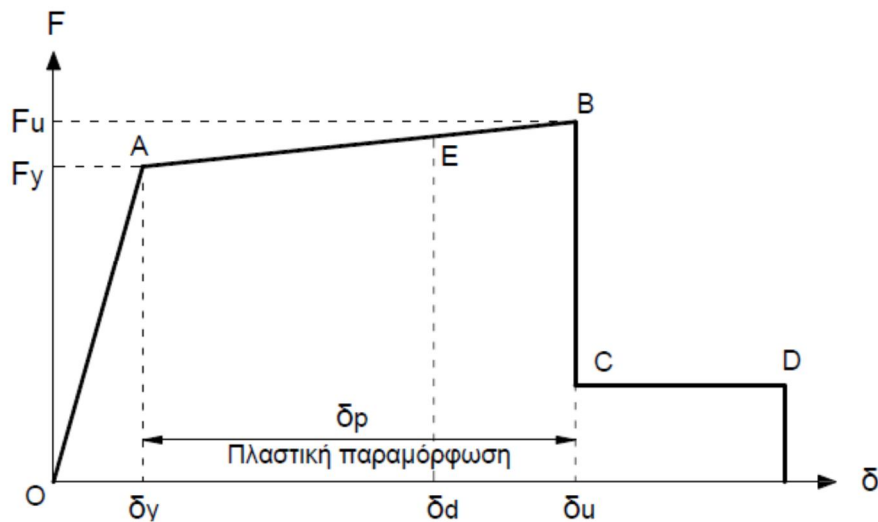
Η ενεργή δυσκαμψία του ρηγματωμένου μέλους μέχρι τη διαρροή του μπορεί να υπολογισθεί ως:

$$E_{eff} = My * \frac{Lv}{3 * \theta_y} \quad (2.8)$$

όπου,

- Το μήκος  $L_v$  είναι ο λόγος  $\frac{M}{V}$  στην ακραία διατομή του στοιχείου, δηλαδή η απόσταση της ακραίας διατομής από το σημείο μηδενισμού των ροπών,
- Η ροπή διαρροής  $My$  μπορεί να ληφθεί ίση με τη ροπή διαρροής ή με την οριακή ροπή, με χρήση των μέσων τιμών της αντοχής των υλικών,
- Η τιμή της γωνίας στροφής της χορδής στη διαρροή  $\theta_y$  πρέπει να λαμβάνει υπόψη όλες τις παραμορφώσεις κατά τη διαρροή του στοιχείου(καμπτικές, διατμητικές και λόγω ολίσθησης των οπλισμών από την αγκύρωση πέραν του άκρου του στοιχείου).

Σε μέλη με διαφορετικό οπλισμό στα δύο πέλατα, η εξίσωση δίνει διαφορετικές τιμές της  $E_{eff}$  για θετική ή αρνητική κάμψη. Η μία και μοναδική τιμή  $E_{eff}$  για το μέλος, μπορεί να ληφθεί ως ο μέσος όρος της  $E_{eff}$  στα δύο άκρα και για τα δύο πρόσημα της κάμψης.



Εικόνα 2.3. Ιδεατή καμπύλη F-δ δομικών στοιχείων

• ΤΜΗΜΑ ΟΑ:

Αντιπροσωπεύει την ελαστική συμπεριφορά μέχρι το θεωρητικό σημείο διαρροής. Η κλίση της ευθείας ΟΑ ορίζει τη τέμνουσα δυσκαμψία, που πρέπει να ληφθεί υπόψη στην ελαστική ανάλυση. Σημειώνεται ότι εάν η παραμόρφωση δίνεται σε όρους στροφής χορδής, η τιμή της  $\frac{\delta y}{\theta y}$  πρέπει να υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο τη καμπυλότητα διαρροής  $\left(\frac{1}{r}\right)_y$ , αλλά και την συμμετοχή των διατμητικών παραμορφώσεων και της πιθανής ολίσθησης σπλισμού στις αγκυρώσεις. Στον Ευρωκώδικα 8-Μέρος 3 δίνονται σχέσεις για τον υπολογισμό της  $\theta y$  για συνήθεις διατομές από Ω.Σ., λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα φαινόμενα, οι οποίες περιγράφονται στην Παράγραφο 2.8.3..

• ΤΜΗΜΑ ΑΒ:

Αντιπροσωπεύει τη μετελαστική συμπεριφορά του στοιχείου μέχρι τη θεωρητική αστοχία (σημείο Β). Το σημείο Β καθορίζεται από την οριακή παραμόρφωση αστοχίας,  $\delta u$ , που ορίζεται ως η παραμόρφωση, για την οποία έχει σημαντική μείωση της αντίστασης. Συνήθως, το σημείο αυτό αντιστοιχεί σε μείωση της αντίστασης, δηλαδή του μεγέθους  $F$ , κατά 20% σε σύγκριση με τη μέγιστη τιμή της [βλ. Εικόνα 2.2.(α)]. Στον Ευρωκώδικα 8-Μέρος 3 δίνονται σχέσεις για τον υπολογισμό της οριακής γωνίας στροφής χορδής  $\theta u$  για συνήθεις διατομές από σπλισμένο σκυρόδεμα, οι οποίες περιγράφονται στην Παράγραφο 2.8.1.. Πολλές φορές, η κλίση του κλάδου ΑΒ λαμβάνεται οριζόντια. Η παραμόρφωση,  $\delta u$ , ορίζει και την ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης, η οποία ορίζεται από το μετελαστικό τμήμα της παραμόρφωσης μέχρι την αστοχία, δηλαδή  $\delta p = \delta u - \delta y$ .

• ΤΜΗΜΑ CD:

Αντιπροσωπεύει την απομένουσα αντίσταση του στοιχείου. Συνήθως, μετά την παραμόρφωση αστοχίας,  $\delta u$ , η ικανότητα ενός μέλους να παραλάβει σεισμικά φορτία μειώνεται σημαντικά, αλλά δεν μηδενίζεται και έτσι το στοιχείο μπορεί να συνεχίσει να παραλαμβάνει κατακόρυφα φορτία. Στο σημείο D, θεωρείται ότι το στοιχείο χάνει την ικανότητα του να παραλαμβάνει και κατακόρυφα φορτία. Η τιμή της απομένουσας αντίστασης είναι δύσκολο να εκτιμηθεί. Συνήθως, λαμβάνεται ίση με το 20% της οριακής αντοχής.

• ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ-ΣΗΜΕΙΟ Ε:

Στην καμπύλη  $F-\delta$  του δομικού στοιχείου ορίζονται οι στάθμες επιτελεστικότητας με βάση τις αντίστοιχες παραμορφώσεις,  $\delta d$ . Στην Εικόνα 2.3., το σημείο Ε αντιστοιχεί στην στάθμη επιτελεστικότητας «Σημαντικές βλάβες» του Ευρωκώδικα 8, με γωνία στροφής ίση με το 0,75 της γωνίας στροφής αστοχίας,  $\theta u$ .

## 2.7. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΘΜΩΝ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

### 2.7.1. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΘΜΩΝ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

#### «ΟΙΟΝΕΙ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ» (NC)

- Οριακή στροφή χορδής,  $\theta u$ :

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8-Μέρος 3, η διαθέσιμη οριακή γωνία στροφής χορδής  $\theta u$  στο άκρο του δομικού στοιχείου πρέπει να υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη, υπέρ της ασφαλείας, όλες τις υπεισερχόμενες πηγές αβεβαιότητας. Είναι δυνατή η εμπειρική εκτίμηση της διαθέσιμης τιμής της γωνίας στροφής χορδής στοιχείων Ω.Σ. συναρτήσει των γεωμετρικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των στοιχείων και των οπλισμών τους, με τη βοήθεια εμπειρικών σχέσεων ή πινάκων, καθώς και η χρήση συντηρητικών αναλυτικών μεθόδων αποδεκτών στη διεθνή βιβλιογραφία. Ο Ευρωκώδικας 8-Μέρος 3 προτείνει για την συνολική ικανότητα στροφής της χορδής μελών από σκυρόδεμα υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση, την εξής σχέση:

$$\theta_{um} = \frac{1}{\gamma_{el}} * 0,016 * \left(0,3^V\right) * \left[\frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} * f_c\right]^{0,225} * \left(\frac{L_v}{h}\right)^{0,35} * 25^{\left[\alpha * \rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c}\right]} * \left(1,25^{100 * \rho d}\right) \quad (2.9)$$

όπου:

○  $L_v = \frac{M}{V}$  το μήκος διάτμησης,

○  $\omega$  μηχανικό ποσοστό εφελκόμενου οπλισμού, το οποίο περιλαμβάνει τον τυχόν διαμήκη οπλισμό κορμού μεταξύ εφελκόμενου και θλιβόμενου πέλματος,

○  $\omega'$  μηχανικό ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού,

○  $V = \frac{N}{b \cdot h \cdot f_c}$  ανηγμένο στη διατομή αξονικό φορτίο, όπου  $b$  το πλάτος της

θλιβόμενης ζώνης,

○  $\rho_s = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s_h}$  γεωμετρικό ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού παράλληλα στη

διεύθυνση της φόρτισης,

○  $a$  συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιξης:

$$a = \left(1 - \frac{s_h}{2 \cdot b_o}\right) \cdot \left(1 - \frac{s_h}{2 \cdot h_o}\right) \cdot \left(1 - \frac{\sum b_i^2}{6 \cdot b_o \cdot h_o}\right) \quad (2.10)$$

όπου,

○  $s_h$  η απόσταση των συνδετήρων,

○  $b_c$  και  $h_c$  οι διαστάσεις του περισφιγμένου πυρήνα,

○  $b_i$  οι αποστάσεις μεταξύ διαμηκών ράβδων, που συγκρατούνται από συνδετήρα στην περίμετρο της διατομής.

Η τιμή του πλαστικού μέρους της ικανότητας στροφής της χορδής των μελών από σκυρόδεμα υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

$$\theta_{um}^{pl} = \theta_{um} - \theta_y = \frac{1}{\gamma_{el}} 0,0145 \left(0,25^V\right) \left[\frac{\max(0,01; \omega)}{\max(0,01; \omega)}\right]^{0,3} \cdot f_c^{0,2} \cdot \left(\frac{L_v}{h}\right)^{0,35} \cdot 25^{\left[a \cdot \rho_{sx} \cdot \frac{f_{yw}}{f_c}\right]} \cdot (1,275^{100\rho_d}) \quad (2.11)$$

Για τα τοιχώματα, σύμφωνα με τις αντιλήψεις μετά το 1985 για αντισεισμικότητα, η εξίσωση (2.11) χρειάζεται να πολλαπλασιαστεί επί 0,6.

Στην εξίσωση (2.11) η γωνία στροφής χορδής στη διαρροή  $\theta_y$  υπολογίζεται από την εξίσωση (2.13) για δοκούς ή υποστυλώματα ή από την εξίσωση (2.14) για τοιχώματα.

Σε στοιχεία χωρίς αντισεισμικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες, οι εξισώσεις (2.9) και (2.11) χρειάζεται να πολλαπλασιαστεί επί 0,85.

### 2.7.2. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΘΜΗΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ «ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΒΛΑΒΩΝ» (SD)

Η ικανότητα στροφής της χορδής, η οποία αντιστοιχεί σε σημαντική βλάβη  $\theta_{sd}$ , μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι τα  $\frac{3}{4}$  της οριακής στροφής χορδής  $\theta_u$ .

### 2.7.3. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΘΜΗΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ «ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΒΛΑΒΩΝ» (DL)

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8-Μέρος 3, η γωνία στροφής χορδής στη διαρροή  $\theta_y$ , που περιλαμβάνει όλες τις παραμορφώσεις κατά τη διαρροή του στοιχείου, δηλαδή τις καμπτικές, τις διατμητικές και τις λόγω ολίσθησης των οπλισμών από την αγκύρωση πέραν του άκρου του στοιχείου, ισούται με:

- Για δοκούς ή υποστυλώματα:

$$\theta_y = \phi_y * \frac{L_v + a_v * Z}{3} + 0,0013 * \left( 1 + 1,5 * \frac{h}{L_v} \right) + 0,13 * \phi_y * \frac{d_b * f_y}{\sqrt{f_c}} \quad (2.13)$$

- Για τοιχώματα ορθογωνικής διατομής, διατομής μορφής T ή με εσοχές:

$$\theta_y = \phi_y * \frac{L_v + a_v * Z}{3} + 0,002 * \left( 1 - 0,125 * \frac{L_v}{h} \right) + 0,13 * \phi_y * \frac{d_b * f_y}{\sqrt{f_c}} \quad (2.14)$$

όπου:

- $\phi_y$  η καμπυλότητα διαρροής της ακραίας διατομής,
- $a_v * Z$  το μήκος μετατόπισης του διαγράμματος των ροπών κάμψης (βλ. EN 1992-1-1-:2004, **9.2.1.3(2)**), με:

$Z$  το μήκος του εσωτερικού μοχλοβραχίονα, που λαμβάνεται ίσο με  $d - d'$  σε δοκούς, υποστυλώματα, τοιχώματα διατομής μορφής  $T_a$ , με εσοχές και με  $0,8 * h$  σε τοιχώματα με ορθογωνική διατομή, και

$a_v = 1$  εάν η διατμητική ρηγμάτωση αναμένεται να προηγηθεί της καμπτικής διαρροής στην ακραία διατομή, δηλαδή όταν η ροπή διαρροής στην ακραία διατομή  $M_y$  υπερβαίνει το προϊόν του  $L_v$  επί τη διατμητική αντοχή του από εξέταση μέλους χωρίς οπλισμό διάτμησης, το  $V_{R,c}$  λαμβάνεται σύμφωνα με τον EN 1992-2-2:2004, **6.2.2(1)**). Διαφορετικά, εάν  $M_y < L_v * V_{R,c}$ , τότε  $a_v = 0$ .

- $f_y$  και  $f_c$  η τάση διαρροής του χάλυβα και του σκυροδέματος αντίστοιχα, όπως ορίζεται για την εξίσωση (2.9), και οι δύο σε MPa,

- $\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$ ,
- $d$  και  $d'$  ορίζουν τις θέσεις του εφελκυσμένου και του θλιβόμενου οπλισμού αντίστοιχα,
- $db$  η μέση διάμετρος του εφελκυσμένου οπλισμού.

Στις εξισώσεις (2.13) και (2.14), ο 1<sup>ος</sup> όρος αντιπροσωπεύει τη καμπτική συνεισφορά. Ο 2<sup>ος</sup> όρος στις εξισώσεις (2.13) και (2.14) εκφράζει τις μέσες διατμητικές παραμορφώσεις στο μήκος  $L_s$ , ενώ ο 3<sup>ος</sup> όρος εκφράζει την επιρροή της εξόλκευσης του τμήματος των ράβδων πέραν της ακραίας διατομής του στοιχείου.

#### 2.7.4. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Η διατμητική αντοχή VR ενός δομικού στοιχείου οπλισμένου σκυροδέματος, το οποίο υποβάλλεται σε ανακυκλιζόμενες παραμορφώσεις μειώνεται ανάλογα με το μέγεθος του πλαστικού τμήματος της απαιτούμενης γωνίας στροφής χορδής στη διατομή της μέγιστης ροπής. Αν το μέγεθος αυτό αναχθεί στο μέγεθος της γωνίας στροφής χορδής στη διαρροή στο ίδιο σημείο προκύπτει  $\mu_{\theta}^{pl} = \mu_{\theta} - 1$ . Το πλαστικό τμήμα του απαιτούμενου δείκτη πλαστιμότητας γωνίας στροφής χορδής  $\mu_{\theta}^{pl} = \mu_{\theta} - 1$ , ισούται με το λόγο του πλαστικού μέρους της μέγιστης τιμής της γωνίας στροφής χορδής (συνολική γωνία μείον γωνία στη διαρροή) προς την υπολογιζόμενη γωνία στροφής στη διαρροή  $\theta_y$ .

Η διατμητική αντοχή δομικού στοιχείου, όπως αυτή καθορίζεται από τη διαρροή των συνδετήρων, μειώνεται με τη τιμή του  $\mu_{\theta}^{pl}$  ως εξής: (Μονάδες σε MN και m)

$$V_R = \frac{1}{\gamma_{el}} * \left[ \frac{h-x}{2*L_v} * \min(N, 0,55 * A_c * f_c) + (1 - 0,05 * \min(5, \mu_{\Delta}^{pl})) * \left[ 0,16 * \max(0,5, 100 \rho_{tot} \left( 1 - 0,16 \min\left(5, \frac{L_v}{h}\right)\right) \sqrt{f_c} * A_c + V_w \right] \right] \quad (2.15)$$

όπου:

- $\gamma_{el}$  ισούται με 1,15 για τα πρωτεύοντα σεισμικά φορτία και 1,0 για τα δευτερεύοντα αντίστοιχα, όπως ορίζεται στο **2.2.1(6)P**,
- $h$  το ύψος της διατομής και ισούται με τη διάμετρο D σε κυκλικές διατομές,
- $x$  το ύψος της θλιβόμενης ζώνης,
- $N$  η θλιπτική αξονική δύναμη, η οποία λαμβάνεται μηδενική για εφελκυσμό,

- $L_v = \frac{M}{V}$  λόγος ροπής/τέμνουσας στην ακραία διατομή,
- $A_c$  η επιφάνεια της διατομής, η οποία λαμβάνεται ίση με  $b_w d$  για μία διατομή με ορθογωνικό κορμό πλάτους  $b_w$  και στατικού ύψους  $d$ , ή με  $\pi * \frac{D_c^2}{4}$  για κυκλικές διατομές όπου  $D_c = D - 2c - 2d_{bw}$  είναι η διάμετρος του πυρήνα σκυροδέματος στο εσωτερικό των σπειρών, με τα  $D$  και  $c$ , όπως ορίζονται παρακάτω, και με  $d_{bw}$  τη διάμετρο του εγκάρσιου σπλισμού,
- $f_c$  η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, όπως ορίζεται για την εξίσωση (2.9). Για τα πρωτεύοντα σεισμικά στοιχεία, το  $f_c$  θα πρέπει επιπλέον να διαιρείται με τον επιμέρους συντελεστή για το σκυρόδεμα σύμφωνα με τον EN 1998-1:2004, **5.2.4.**,
- $\rho_{tot}$  το συνολικό ποσοστό του διαμήκους σπλισμού,
- $V_w$  η συνεισφορά του εγκάρσιου σπλισμού στη διατμητική αντοχή, η οποία λαμβάνεται ίση με (για διατομές με ορθογωνικό κορμό πλάτους  $b_w$ ):  

$$V_w = \rho_w * b_w * Z * f_{yw} \quad (2.16)$$

όπου:

- $\rho_w$  το ποσοστό του εγκάρσιου σπλισμού,
- $Z$  το μήκος του εσωτερικού μοχλοβραχίονα, όπως καθορίζεται στο **A.3.1.3(2)**,  
 $f_{yw}$  η τάση διαρροής του εγκάρσιου σπλισμού, όπως ορίζεται στην εξίσωση (2.9). Για τα πρωτεύοντα σεισμικά φορτία, το  $f_{yw}$  θα πρέπει να διαιρείται περαιτέρω δια του επιμέρους συντελεστή για το χάλυβα, σύμφωνα με το EN 1998-1:2004, **5.2.4.**

Η διατμητική αντοχή  $V_R$  τοιχώματος δεν μπορεί να ξεπεράσει την οριακή τιμή, που αντιστοιχεί σε αστοχία του κορμού σε λοξή θλίψη  $V_{R,max}$ , η οποία μπορεί να λαμβάνεται από την πιο κάτω σχέση, υπό ανακυκλιζόμενες παραμορφώσεις, ελαστικές ή μετελαστικές:

$$V_{R,max} = \frac{0,85 \left( 1 - 0,06 \min \left( \xi, \mu_{\Delta}^{pl} \right) \right)}{\gamma_{el}} \left( 1 + 1,8 \min \left( 0,15 \frac{N}{A_c * f_c} \right) \right) \left( 1 + 0,25 \max \left( 1,75, 1,0 \rho_{tot} \right) \right) \left( 1 - 0,2 \min \left( 2, \frac{L_v}{h} \right) \right) \sqrt{f_c * b_w * Z} \quad (2.17)$$

Η διατμητική αντοχή  $V_R$  υποστυλώματος με λόγο διάτμησης  $a_s \leq 2,0$  δεν μπορεί να ξεπεράσει την οριακή τιμή, που αντιστοιχεί σε θλιπτική αστοχία του σκυροδέματος



κατά τη διαγώνιο του στοιχείου  $V_{R,max}$ , η οποία υπό ανακυκλιζόμενες μετελαστικές παραμορφώσεις, μειώνεται με το μέγεθος του πλαστικού τμήματος του δείκτη πλαστιμότητας μετακινήσεων,  $\mu_{\theta}^{pl} = \mu_{\theta} - 1$ . Η οριακή αυτή τιμή μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση (μονάδες σε KN και m):

$$V_{R,max} = \frac{4/7(1 - 0,02 \min(5; \mu_{\Delta}^{pl}))}{\gamma_{el}} \left( 1 + 1,35 \frac{N}{A_c * f_c} \right) (1 + 0,45(100 \rho_{tot})) \sqrt{\min(40; f_c)} b_w * z * \sin 2\delta \quad (2.18)$$

### 2.7.5. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕΛΩΝ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με το Μέρος 3 του Ευρωκώδικα 8, οι ακόλουθες σχέσεις μπορεί να θεωρηθούν ότι ισχύουν μεταξύ των τιμών του  $V_R$ ,  $M_y$ ,  $\vartheta_y$  και  $\vartheta_u$ , οι οποίες υπολογίζονται βάσει των πιο πάνω εξισώσεων, και των τιμών  $V_R^*$ ,  $M_y^*$ ,  $\vartheta_y^*$  και  $\vartheta_u^*$ , οι οποίες υιοθετούνται στους ικανοτικούς ελέγχους:

- Για την  $V_R^*$ :  $V_R^* = 0,9 \cdot V_R \quad (2.19)$

- Για την  $M_y^*$ :  $M_y^* = M_y \quad (2.20)$

- Για την  $\vartheta_y^*$ :  $\vartheta_y^* = 1,05 \cdot \vartheta_y \quad (2.21)$

αν τα μέτρα για την σύνδεση του μανδύα με το παλαιό σκυρόδεμα περιλαμβάνουν την εκτράχυνση της διεπιφάνειάς τους.

$$\vartheta_y^* = 1,2 \cdot \vartheta_y \quad (2.22)$$

για όλους τους άλλους τύπους μέτρων, τα οποία προορίζονται για την σύνδεση του μανδύα με το παλαιό σκυρόδεμα, αν δεν λαμβάνονται ειδικά μέτρα.

- Για την  $\vartheta_u^*$ :  $\vartheta_y^* = \vartheta_y \quad (2.23)$

### 2.7.6. ΣΥΝΟΨΗ

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8-μέρος 3, όλες οι παραπάνω τιμές διαιρούνται με τους παρακάτω συντελεστές, ανάλογα με το τύπο του στοιχείου:

Στοιχεία	Περιορισμός βλαβών	Σημαντικές βλάβες	Οιονεί κατάρρευση
Πλάστιμα Πρωτεύοντα	$\theta_{sd} \leq \theta_y$	$\theta_{sd} \leq 0,75 \cdot \theta_{u,m-\sigma}$	$\theta_{sd} \leq \theta_{u,m-\sigma}$
Πλάστιμα Δευτερεύοντα		$\theta_{sd} \leq 0,75 \cdot \theta_{u,m}$	$\theta_{sd} \leq \theta_{u,m}$
Ψαθυρά Πρωτεύοντα	$V_{sd} \leq V_{Rd,EC8} / 1,15$		
Ψαθυρά Δευτερεύοντα	$V_{sd} \leq V_{Rm,EC8}$		

Πίνακας 2.3. Σύνοψη κριτηρίων ελέγχου σταθμών επιτελεστικότητας

## 2.8. ΚΑΜΠΥΛΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

Το προσομοίωμα υποβάλλεται σε οριζόντια φορτία κατανεμημένα κατά τρόπο ανάλογο προς τις αδρανειακές δυνάμεις του σεισμού, όπως περιγράφεται παρακάτω. Τα φορτία αυξάνονται μονότονα, εν γένει μέχρις ότου κάποιο δομικό στοιχείο να μην είναι πλέον σε θέση να φέρει τα κατακόρυφα φορτία του. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της φόρτισης, κάθε φορά, που κάποια διατομή διαρρέει, δηλαδή σχηματίζει πλαστική άρθρωση, το προσομοίωμα τροποποιείται με την εισαγωγή κατάλληλων συνδέσμων και η επαυξητική διαδικασία συνεχίζεται. Σε κάθε βήμα της ανάλυσης καταγράφεται αφενός η τέμνουσα βάση, δηλαδή το άθροισμα των οριζόντιων φορτίων, αλλά και αφετέρου η μετακίνηση ενός χαρακτηριστικού σημείου του εξεταζόμενου φορέα, τον κόμβο ελέγχου δηλαδή, ο οποίος στην προκειμένη περίπτωση έχει ληφθεί στην κορυφή του φορέα μας. Η καμπύλη συνεχίζει μέχρι την τιμή, που αντιστοιχεί στο 150% της στοχευόμενης μετακίνησης.

Ως κόμβος ελέγχου για την σχεδίαση της καμπύλης αντίστασης λαμβάνεται το κέντρο μάζας του ανώτατου ορόφου. Για κτίρια με σοφίτες ή με μικρούς οικίσκους στο δώμα, ο κόμβος ελέγχου μπορεί να ληφθεί το κέντρο μάζας της οροφής του πλήρους υποκείμενου ορόφου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα εντατικά μεγέθη και οι στροφές των δομικών στοιχείων στην αρχή κάθε υπολογιστικού βήματος, έχουν την ίδια τιμή με τα αντίστοιχα μεγέθη στο τέλος του προηγούμενου βήματος. Κάθε φορά, που εφαρμόζεται μία νέα κατανομή προσαυξημένων οριζοντίων φορτίων, ξεκινά μία νέα ανάλυση, η οποία αρχίζει με μηδενικές αρχικές συνθήκες. Κατά συνέπεια, για να προσδιοριστεί το

σημείο διαρροής μίας νέας ομάδας στοιχείων, προστίθενται τα εντατικά μεγέθη και οι στροφές της τρέχουσας ανάλυσης με το άθροισμα των μεγεθών, που έχουν προκύψει από τις προηγούμενες αναλύσεις. Με αυτό τον τρόπο, χαράσσεται η καμπύλη τέμνουσα βάσης-μετακίνηση οροφής, ή αλλιώς και καμπύλη αντίστασης, η οποία θεωρείται αντιπροσωπευτική της γενικότερης σεισμικής συμπεριφοράς μίας κατασκευής και αποτελεί βάση για όλους τους απαιτούμενους ελέγχους των κριτηρίων επιτελεστικότητας.

### **2.8.1. ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ (ATC-40)**

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία του ATC-40, η καμπύλη ικανότητας χαράσσεται ακολουθώντας την παρακάτω διαδικασία, μέσω της οποίας επιτυγχάνεται ρεαλιστικότερη απόδοση της αντοχής του φορέα, καθώς και των μεταπτώσεων του κατά τον σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων λόγω οριζοντίων φορτίων.

Κατά την πρώτη ανάλυση, επιδιώκεται η φόρτιση να συνεχιστεί μέχρι να σημειωθεί το πρώτο σημείο σημαντικής υποβάθμισης δύναμης, δηλαδή τα πλευρικά φορτία να εντείνουν κάποιο σημείο στο 100% της αντοχής του. Στην συνέχεια, το προσομοίωμα αναθεωρείται κατάλληλα, έτσι ώστε τα στοιχεία, που διέρρευσαν στο προηγούμενο βήμα, να έχουν μηδενική ή αμελητέα δυσκαμψία, και ακολουθεί νέα ανάλυση του αναθεωρημένου φορέα εφαρμόζοντας την ίδια κατανομή πλευρικών φορτίων, με σκοπό να διαρρεύσει μία νέα ομάδα δομικών στοιχείων. Έτσι, δημιουργείται μία νέα καμπύλη ικανότητας του αναθεωρημένου φορέα. Ο αριθμός των πρόσθετων καμπυλών ελέγχου των μετακινήσεων πρέπει να είναι τέτοιος, ώστε να προσδιορίζεται επαρκώς η συνολική απώλεια αντοχής της κατασκευής.

Στην Εικόνα 2.4. απεικονίζεται η παραπάνω διαδικασία για την περίπτωση, που απαιτούνται τρεις διαφορετικές καμπύλες ικανότητας, ώστε να προσομοιωθεί επαρκώς η βαθμιαία απώλεια αντοχής των στοιχείων της κατασκευής. Η τελικά καμπύλη ικανότητας προκύπτει με μετάβαση από την πρώτη στη δεύτερη καμπύλη για τη μετακίνηση, που αντιστοιχεί στην αρχική απώλεια αντοχής, από τη δεύτερη στη τρίτη, κ.ο.κ. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2., η τελικά καμπύλη ικανότητας έχει «πριονωτό» σχήμα.

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου η συμπεριφορά της κατασκευής γίνει οριακή, όσον αφορά μία από τις παρακάτω παραμέτρους:

- Αστάθεια λόγω φαινομένων δευτέρας τάξεως (επιρροή P-Δ),
- Σημαντική υπέρβαση των κριτηρίων της επιθυμητής στάθμης επιτελεστικότητας,
- Απώλεια φέρουσας ικανότητας κατακόρυφων φορτίων ενός στοιχείου ή μίας ομάδας στοιχείων λόγω μεγάλης πλευρικής μετακίνησης.

Για τις περισσότερες κατασκευές, η καμπύλη ικανότητας μπορεί να σχηματιστεί με επαρκή ακρίβεια σε λιγότερα από δέκα βήματα, ενώ για απλούστερες αρκούν τρία ή τέσσερα.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί όταν η απώλεια αντοχής μας ομάδας στοιχείων ξεπερνά το 20%. Σε αυτή την περίπτωση, η αναμενόμενη συμπεριφορά των στοιχείων, που υποδεικνύουν αυτή την απώλεια, αυτών πρέπει να επανεξεταστεί. Γενικότερα, η προσομοίωση της συνολικής απώλειας αντοχής της κατασκευής απαιτεί εξαιρετική κριτική ικανότητα από το Μηχανικό, που κάνει τον έλεγχο αποτίμησης και ανασχεδιασμού.



Εικόνα 2.4. Διαδικασία διαμόρφωσης "πριονωτής" καμπύλης αντίστασης

### 2.8.2. ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΦΟΡΤΙΑ

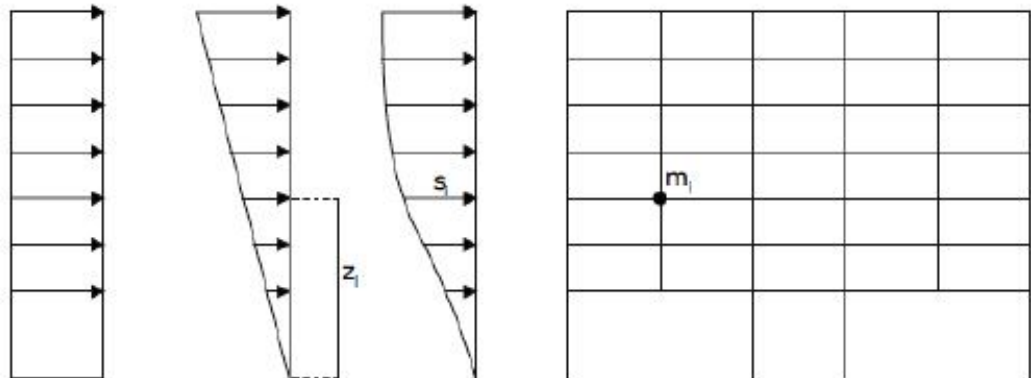
Τα οριζόντια φορτία θα εφαρμόζονται σε δύο αντίθετες διευθύνσεις και ο έλεγχος θα γίνεται για τα δυσμενέστερα μεγέθη απόκρισης, που προκύπτουν σε κάθε στοιχείο. Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8-Μέρος 3, απαιτείται η εφαρμογή τουλάχιστον δύο από τις ακόλουθες κατανομές των οριζοντίων φορτίων καθ' ύψος:

- Ομοιόμορφη κατανομή: οι οριζόντιες δυνάμεις είναι ανάλογες με τη μάζα, ανεξάρτητα από την στάθμη (ομοιόμορφη επιτάχυνση απόκρισης),
- Τριγωνική κατανομή: οι οριζόντιες δυνάμεις είναι ανάλογες με το ύψος της στάθμης  $Z_i$

$$F_i = F_b \cdot \frac{z_i \cdot m_i}{\sum z_j \cdot m_j} \quad (2.24)$$

- Ιδιομορφική κατανομή: οι οριζόντιες δυνάμεις είναι ανάλογες της μετατόπισης  $S_i$  της μάζας στη θεμελιώδη ιδιομορφή κάθε κατεύθυνσης, η οποία προκύπτει από την ελαστική ανάλυση

$$F_i = F_b \cdot \frac{S_i \cdot m_i}{\sum S_j \cdot m_j} \quad (2.25)$$



Εικόνα 2.5. Κατανομές φόρτισης: Ομοιόμορφη (ορθογωνική), τριγωνική και ιδιομορφική.

## 2.9. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ

Ο προσδιορισμός της καμπύλης ικανότητας μίας υφιστάμενης κατασκευής είναι εξαιρετικά χρήσιμος, καθώς παρέχει σημαντικές πληροφορίες τόσο για τα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς του κτιρίου, όσο και για την επιλογή των μεθόδων ενίσχυσης. Προκειμένου να κριθεί αν η κατασκευή πληροί τους στόχους αποτίμησης ή ανασχεδιασμού, που έχουν τεθεί για την υπάρχουσα κατάσταση της και για τις απαιτούμενες επεμβάσεις, πρέπει να εκτιμηθεί η μέγιστη πιθανή μετακίνηση, που αντιστοιχεί στην αντίστοιχη δράση σχεδιασμού, δηλαδή την στοχευόμενη μετακίνηση.

Δύο από τις κυριότερες μεθοδολογίες, που έχουν αναπτυχθεί για τον προσδιορισμό της απαίτησης σε μετακίνηση μίας κατασκευής για τον σεισμό σχεδιασμού είναι οι παρακάτω:

- Μέθοδος του Ευρωκώδικα 8-Μέρος 1
- Μέθοδος των συντελεστών (FEMA 356).

### 2.9.1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8-ΜΕΡΟΣ 1 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β)

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι μία μέθοδος υπολογισμού της στοχευόμενης μετακίνησης, η οποία παρουσιάζει ομοιότητες με τη μέθοδο N2, μέθοδος η οποία προτάθηκε από τον Fajfar και βασίζεται σε εμπειρικές σχέσεις, που συνδέουν τον συντελεστή συμπεριφοράς με την πλαστιμότητα. Έχοντας ως δεδομένο το ελαστικό φάσμα της ανάλυσης και έχοντας χαράξει την καμπύλη ικανότητας, η οποία

απεικονίζει την σχέση μεταξύ της τέμνουσα βάσης και της μετακίνησης του κόμβου ελέγχου, υπολογίζονται οι οριζόντιες ανηγμένες δυνάμεις  $F_i$  εν συναρτήσει των αντίστοιχων ανηγμένων μετακινήσεων  $\Phi_i$ , αφού πρώτα οι μετακινήσεις έχουν κανονικοποιηθεί έτσι ώστε  $\Phi_n = 1$ . Στην συνέχεια, γίνεται μετατροπή της καμπύλης αντίστασης του πολυβάθμιου συστήματος της πραγματικής κατασκευής (Σ.Π.Ε.Κ.) σε καμπύλη μονοβάθμιου συστήματος (Σ.Μ.Ε.Κ.).

Η μάζα ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος (Σ.Μ.Ε.Κ.),  $m^*$ , καθορίζεται ως εξής:

$$m^* = \sum m_i \cdot \Phi_i = \sum \bar{F}_i \quad (2.26)$$

και ο συντελεστής μετατροπής δίνεται από την σχέση:

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \cdot \Phi_i^2} = \frac{\sum \bar{F}_i}{\sum \left( \frac{\bar{F}_i^2}{m_i} \right)} \quad (2.27)$$

Με αυτό τον τρόπο, διαιρώντας τη τέμνουσα βάσης  $F_b$  και τη μετακίνηση του κόμβου ελέγχου  $d_n$  με τον συντελεστή  $\Gamma$ , υπολογίζονται τα αντίστοιχα μεγέθη του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος,  $F_b^*$  και  $d_n^*$ .

$$F^* = \frac{F_b}{\Gamma} \quad (2.28)$$

$$d^* = \frac{d_n}{\Gamma} \quad (2.29)$$

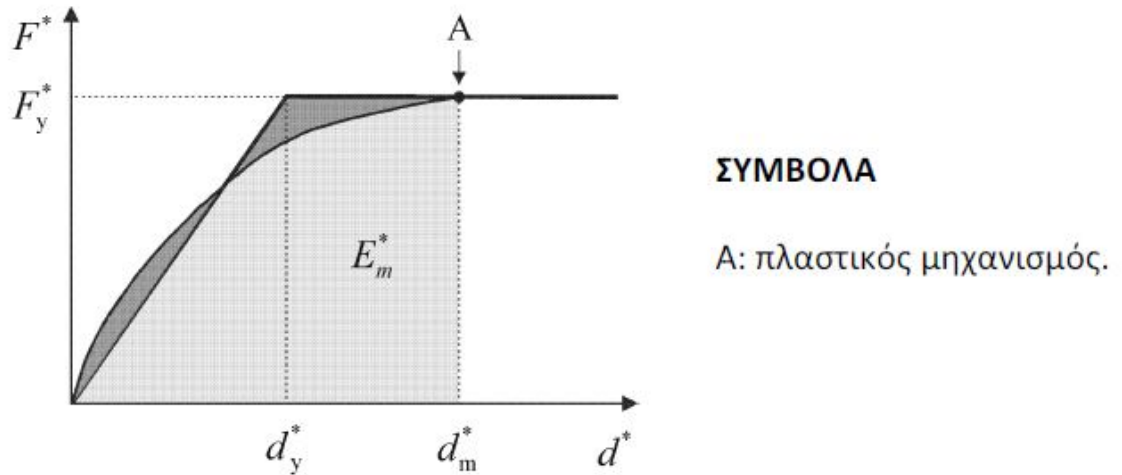
Στην συνέχεια, προσδιορίζεται η δύναμη διαρροής  $F_y^*$ , που εκφράζει την οριακή αντοχή του ιδεατού συστήματος και η οποία ισούται με τη τέμνουσα βάσεως στη δημιουργία του πλαστικού μηχανισμού. Για να μορφωθεί η καμπύλη πλήρως διγραμμικής ιδεατής καμπύλης, γίνεται η υπόθεση ίσων μετακινήσεων.

Συγκεκριμένα, η αρχική δυσκαμψία του ιδεατού συστήματος καθορίζεται, έτσι ώστε οι επιφάνειες κάτω από την πραγματική και την ιδεατή καμπύλη δύναμης-μετακίνησης να είναι ίσες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.6.. Η μετακίνηση διαρροής  $d_y^*$  του ιδεατού συστήματος Σ.Μ.Ε.Κ. δίνεται από την σχέση:

$$d_y^* = 2 \cdot \left( d_m^* - \frac{E m^*}{F_y^*} \right) \quad (2.30)$$

όπου:

$E_m^*$  η πραγματική ενέργεια παραμόρφωσης έως τη δημιουργία του πλαστικού μηχανισμού.



Εικόνα 2.6. Προσδιορισμός ιδεατής πλήρως ελαστοπλαστικής σχέσης δύναμης-μετακίνησης

Αφού προσδιοριστεί η περίοδος  $T^*$  του ιδεατού ισοδύναμου συστήματος Σ.Μ.Ε.Κ., προσδιορίζεται και η στοχευόμενη μετακίνηση για το ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα ανάλογα με την περιοχή της περιόδου του μονοβάθμιου.

$$T^* = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m^* \cdot dy^*}{F_{y^*}}} \quad (2.31)$$

Αρχικά, υπολογίζεται η στοχευόμενη μετακίνηση του φορέα με περίοδο  $T^*$  και απεριορίστα ελαστική συμπεριφορά, που δίνεται από την σχέση:

$$d_{et}^* = Se(T^*) \cdot \left[ \frac{T^*}{2\pi} \right]^2 \quad (2.32)$$

όπου:

$Se(T^*)$  το φάσμα απόκρισης ελαστικής επιτάχυνσης στην περίοδο  $T^*$ .

Για τον καθορισμό της μετακίνησης-στόχου  $dt^*$  σε φορείς στην περιοχή βραχέων περιόδων και σε φορείς στις περιοχές μεσαίων και μακρών περιόδων, πρέπει να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές εκφράσεις, όπως περιγράφεται παρακάτω. Η περίοδος διαχωρισμού μεταξύ της περιοχής βραχέων και μεσαίων περιόδων είναι η  $T_c$ .

- Περιοχή βραχέων περιόδων ( $T^* \leq T_c$ ):

- Αν  $F_{y^*}/m^* \geq Se(T^*)$ , η απόκριση είναι ελαστική, άρα

$$d_{t^*} = d_{et^*} \quad (2.33)$$

- Αν  $F_{y^*}/m^* < Se(T^*)$ , η απόκριση είναι μη-γραμμική και

$$d_{t^*} = \frac{d_{et^*}}{q_u} \cdot \left( 1 + (q_u - 1) \frac{T_c}{T^*} \right) \geq d_{et^*} \quad (2.34)$$

όπου:

$q_u$  ο λόγος επιτάχυνσης φορέα με απεριόριστα ελαστική συμπεριφορά  $Se(T^*)$  προς αυτήν ενός φορέα με περιορισμένη αντοχή  $F_{y^*}/m^*$ .

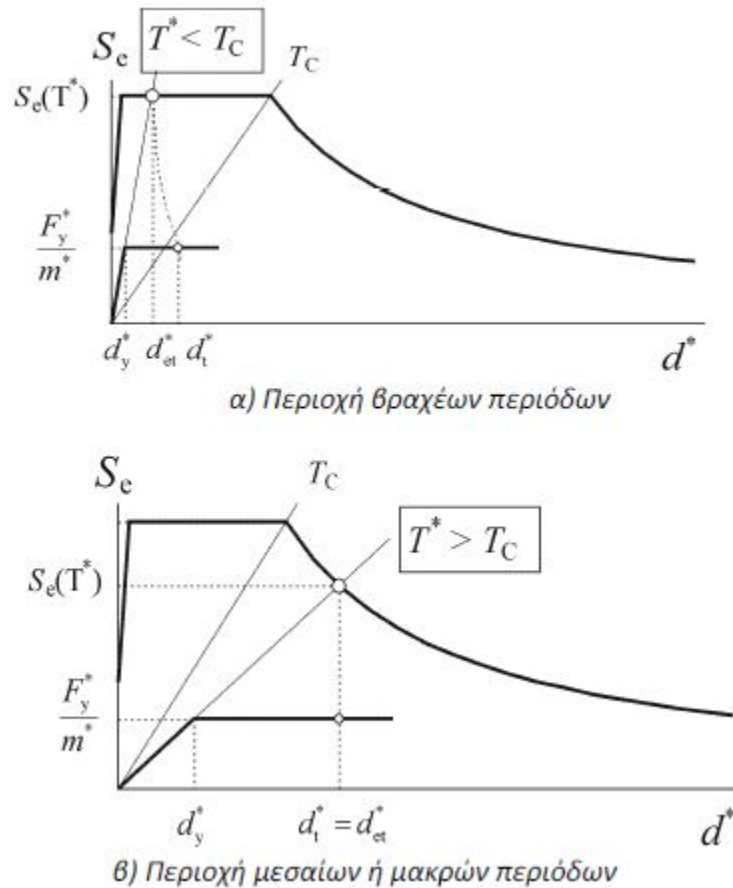
$$q_u = \frac{Se(T^*) \cdot m^*}{F_{y^*}} \quad (2.35)$$

- Περιοχή μεσαίων και μακρών περιόδων:

$$d_{t^*} = d_{et^*} \quad (2.36)$$

Η σχέση μεταξύ των διαφόρων μεγεθών απεικονίζεται συνοπτικά στην Εικόνα 2.7.(α) και (β). Τα διαγράμματα είναι σε μορφή επιτάχυνσης-μετακίνησης. Η περίοδος  $T^*$  αντιστοιχεί στην πολική ακτίνα από την αρχή του συστήματος συντεταγμένων έως το σημείο του ελαστικού φάσματος απόκρισης, που καθορίζεται από συντεταγμένες  $d^* = Se(T^*) \cdot \left( T^*/2\pi \right)^2$  και  $Se(T^*)$ .





Εικόνα 2.7. Προσδιορισμός της μετακίνησης-στόχου για το ισοδύναμο σύστημα ΣΜΕΚ

Σε περίπτωση, που η στοχευόμενη μετακίνηση  $d_t^*$  διαφέρει σημαντικά από τη μετακίνηση  $d_m^*$ , που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της ιδεατής πλήρως ελαστοπλαστικής σχέσης δύναμης-μετακίνησης, μπορεί να εφαρμοστεί επαναληπτική διαδικασία, στην οποία ακολουθούνται ακριβώς τα παραπάνω βήματα, χρησιμοποιώντας όμως αντί της  $d_m^*$  την  $d_t^*$  και την αντίστοιχη  $F_y^*$ .

Τέλος, αφού υπολογιστεί η στοχευόμενη μετακίνηση του μονοβάθμιου συστήματος  $d_t^*$ , υπολογίζεται και η στοχευόμενη μετακίνηση του πολυβάθμιου συστήματος, που αντιστοιχεί στον κόμβο ελέγχου  $d_t$ , με τον παρακάτω τύπο:

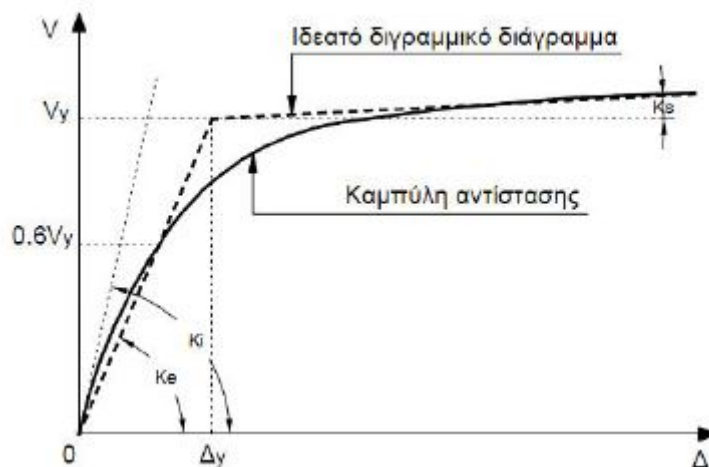
$$d_t = \Gamma \cdot d_t^* \quad (2.37)$$

## 2.9.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ (FEMA 356)

### 2.9.2.1. ΔΙΓΡΑΜΜΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

Η μέθοδος των συντελεστών περιγράφεται στον FEMA 356 και τον ATC-40. Ο υπολογισμός της στοχευόμενης μετακίνησης με αυτή τη μέθοδο βασίζεται στο ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα, το οποίο όμως χρησιμοποιείται χωρίς να αναφέρεται ρητά.

Για να εφαρμοστεί η συγκεκριμένη μέθοδος καταρχήν απαιτείται η μετατροπή της καμπύλης αντίστασης σε διγραμμικό διάγραμμα. Η κλίση του μετελαστικού κλάδου δεν λαμβάνεται μηδενική, αλλά έχει τιμή  $K_s$ . Ο τρόπος κατασκευής του διγραμμικού διαγράμματος προτείνεται στον ATC-40, όπως παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 2.8. Κατασκευή ιδεατής διγραμμικής απεικόνισης της καμπύλης αντίστασης

- Κατασκευάζεται ο μετελαστικός κλάδος ορίζοντας την δυσκαμψία  $K_s$ , κατά την κρίση του Μηχανικού, και θεωρώντας ότι η αντίστοιχη ευθεία διέρχεται από το σημείο, που η καμπύλη έχει γίνει περίπου οριζόντια.
- Ορίζεται η ισοδύναμη δυσκαμψία  $K_e$  από την ευθεία, που ενώνει την αρχή των αξόνων με το σημείο πάνω στην καμπύλη αντίστασης, που αντιστοιχεί στο 60% της τέμνουσα διαρροής  $V_y$ . Επειδή αυτή η τιμή δεν είναι γνωστή εκ των προτέρων, χρειάζεται να γίνουν κάποιες δοκιμές.
- Ορίζεται η τέμνουσα διαρροής  $V_y$  από το σημείο τομής των ευθειών με κλίση  $K_e$  και  $K_s$ , που αντιστοιχούν στον ελαστικό και μετελαστικό κλάδο αντίστοιχα.

### 2.9.2.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΔΟΥΣ ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΥ

Στην συνέχεια, από δυναμική ανάλυση υπολογίζεται η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος της κατασκευής στην διεύθυνση, που εξετάζεται, λαμβάνοντας υπόψη την ελαστική δυσκαμψία  $K_0$ . Για να υπολογίσουμε την ενεργό θεμελιώδη ιδιοπερίοδο  $T_e$ , που αντιστοιχεί σε δυσκαμψία  $K_e$ , χρησιμοποιείται η σχέση:

$$T_e = T_0 \cdot \sqrt{\frac{K_0}{K_e}} \quad (2.38)$$

όπου:

- $T_0$  η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος, όπως υπολογίζεται με ελαστική δυναμική ανάλυση,
- $K_0$  η αντίστοιχη ελαστική δυσκαμψία,
- $K_e$  η ισοδύναμη πλευρική δυσκαμψία.

### 2.9.2.3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ

Η μέθοδος του συντελεστή μετακίνησης βασίζεται στην στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων αναλύσεων χρονιότητας μονοβάθμιων συστημάτων και αποτελεί μία άμεση υπολογιστική διαδικασία για τον προσδιορισμό της απαίτησης σε μετακίνηση, η ονομαζόμενη στοχευόμενη μετακίνηση  $\delta_t$ . [Σπύρου, 2011]

Εφόσον είναι εξασφαλισμένη η διαφραγματική λειτουργία σε κάθε στάθμη, η στοχευόμενη μετακίνηση μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

$$\delta_t = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot \Phi_e \cdot \frac{T_e^2}{4\pi^2} \cdot g \quad (2.39)$$

όπου:

- $C_0, C_1, C_2$  και  $C_3$  διορθωτικοί συντελεστές
- $\Phi_e$  η φασματική επιτάχυνση, που αντιστοιχεί στην ισοδύναμη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο  $T_e$  και υπολογίζεται από το ελαστικό φάσμα απόκρισης του σεισμού σχεδιασμού.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

- Ο διορθωτικός συντελεστής  $C_0$  συσχετίζει τη φασματική μετακίνηση ενός ισοδύναμου συστήματος με την πιθανή μετακίνηση της οροφής του πολυβάθμιου συστήματος της κατασκευής και μπορεί να υπολογιστεί με μία από τις παρακάτω διαδικασίες:

Πολλαπλασιάζοντας τον συντελεστή συμμετοχής της θεμελιώδους ιδιομορφής με την συνιστώσα της θεμελιώδους ιδιομορφής στην στάθμη της οροφής του κτιρίου.

Αριθμός ορόφων	Διατμητικά κτίρια		Λοιπά κτίρια
	Τριγωνική κατανομή φορτίων	Ομοιόμορφη κατανομή φορτίων	Οποιαδήποτε κατανομή φορτίων
1	1,0	1,0	1,0
2	1,2	1,15	1,2
3	1,2	1,2	1,3
5	1,3	1,2	1,4
10+	1,3	1,2	1,5

Πίνακας 2.4. Τιμές του συντελεστή  $C_0$  κατά FEMA356

Οι τιμές του παραπάνω πίνακα προκύπτουν θεωρώντας γραμμική κατανομή των μετακινήσεων καθ' ύψος της κατασκευής και ίσες μάζες σε όλες τις στάθμες. Η χρήση αυτών των τιμών δίνει προσεγγιστικά αποτελέσματα, ιδιαίτερα στην περίπτωση, που οι μάζες διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Σε αυτή την περίπτωση, συνίσταται η χρήση της πρώτης διαδικασίας.

- Ο συντελεστής  $C_1$  συνδέει τη αναμενόμενη μέγιστη συνολική μετακίνηση, δηλαδή το άθροισμα της ελαστικής και της ανελαστικής μετακίνησης, με τη μετακίνηση, που υπολογίζεται θεωρώντας ελαστική συμπεριφορά.

Παίρνει τις ακόλουθες τιμές:

- ✓  $C_1 = 1,0$  , για  $T_e \geq T_2$  ,
- ✓  $C_1 = \left[ 1,0 + \frac{(R-1) \cdot T_2}{T_e} \right] / R$  , για  $0,1 < T_e < T_2$  ,
- ✓  $C_1 = 1,5$  , για  $T_e \leq 0,1 \text{sec}$  .

όπου:

- $T_2$  η χαρακτηριστική τιμή του φάσματος απόκρισης, που αντιστοιχεί στη μετάβαση από τον κλάδο σταθερής επιτάχυνσης στον κλάδο σταθερής ταχύτητας.
- $R$  ο λόγος της ελαστικής απαίτησης σε αντοχή προς την ανηγμένη τιμή αντοχής διαρροής και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$R = \frac{\Phi_e/g}{V_y/W} \cdot C_m \quad (2.40)$$

όπου:

- $C_m$  ο συντελεστής δρώσας μάζας,
- $W$  το βάρος, που αντιστοιχεί στην συνολική ταλαντευόμενη μάζα της κατασκευής.

Ο συντελεστής  $C_m$  χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της συνεισφοράς της μάζας των ανωτέρω ιδιομορφών και λαμβάνει τις τιμές του από τον Πίνακα 2.5., όταν η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος της κατασκευής είναι μικρότερη ή ίση από 1,0 sec. Εναλλακτικά, μπορεί να λαμβάνεται ίσος με την ενεργό ιδιομορφική μάζα της θεμελιώδους ιδιομορφής. Όταν η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος της κατασκευής είναι μεγαλύτερη από 1,0 sec, τότε ο συντελεστής  $C_m$  λαμβάνεται ίσος με 1,0.

Όροφοι	Ο.Σ. Πλαίσιο	Ο.Σ. Τοίχωμα	Ο.Σ. Πυρήνας	Χάλυβας Πλαίσιο	Χάλυβας Κέντρο.BR	Χάλυβας Έκκεντρ.BR	Άλλα
1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
3+	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0

Πίνακας 2.5. Τιμές του συντελεστή ενεργού μάζας ( $C_m$ ) κατά FEMA 356

- Ο διορθωτικός συντελεστής  $C_2$  εκφράζει την επίδραση του σχήματος του βρόχου υστέρησης των δομικών στοιχείων της κατασκευής στη μέγιστη αναμενόμενη μετακίνηση. Τιμές του συντελεστή  $C_2$  για διάφορους τύπους πλαισιακών φορέων δίνονται στον Πίνακα 2.6..

Στάθμη συμπεριφοράς	$T \leq 1,0 \text{ sec}$	$T \geq T_c(\text{sec})$
Άμεση λειτουργία	1,0	1,0
Ασφάλεια ζωής	1,3	1,1
Αποφυγή κατάρρευσης	1,5	1,2

Πίνακας 2.6. Τιμές του συντελεστή υστερητικής συμπεριφοράς (C2) κατά FEMA 356

Εάν οι βρόχοι υστέρησης παρουσιάζουν μεγάλο πεπλατυσμένο σχήμα ή είναι ενδεικτικοί σημαντικής απομείωσης της δυσκαμψίας, η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας της κατασκευής μειώνεται, οπότε η αναμενόμενη μετακίνηση είναι μεγαλύτερη. Το γεγονός αυτό έχει σημαντική επίδραση σε κατασκευές με μικρή θεμελιώδη ιδιοπερίοδο και χαμηλή αντοχή. Οι φορείς τύπου 1 αντιπροσωπεύουν κατασκευές, που παρουσιάζουν αυτού του είδους την συμπεριφορά, με συνέπεια να έχουν χαμηλή πλαστιμότητα.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.6., οι τιμές του C2 εξαρτώνται από την στάθμη επιτελεστικότητας, που έχει επιλεγεί για την ανάλυση της κατασκευής, και συγκεκριμένα μειώνονται όσο υψηλότερη είναι η επιλεγείσα στάθμη επιτελεστικότητας. Κατά συνέπεια, η στοχευόμενη μετακίνηση, που αντιστοιχεί σε αυστηρότερους στόχους αποτίμησης και ανασχεδιασμού, δηλαδή χαμηλότερο επίπεδο βλαβών, είναι μικρότερη. Παρόλα αυτά, η επιλεγείσα στάθμη επιτελεστικότητας δεν αποτελεί απόλυτο μέτρο του εύρους της ανελαστικής συμπεριφοράς της κατασκευής, ιδιαίτερα σε περιοχές μέτριας ή χαμηλής σεισμικής επικινδυνότητας. Εάν π.χ. μία κατασκευή ικανοποιεί τα κριτήρια, που αντιστοιχούν σε μία στάθμη επιτελεστικότητας υψηλότερη από την επιλεγείσα, η χρήση ενός μικρότερου συντελεστή C2 είναι δικαιολογημένη. Για το λόγο αυτό επιτρέπεται η γραμμική παρεμβολή μεταξύ τιμών του πίνακα, που αντιστοιχούν στις στάθμες επιτελεστικότητας πάνω και κάτω από την πραγματική συμπεριφορά της κατασκευής.

- Μέσω του διορθωτικού συντελεστή C3 λαμβάνοντας υπόψη φαινόμενα P-Δ, δηλαδή η επιρροή των φορτίων βαρύτητας στο παραμορφωμένο σύστημα. Για θετική μετελαστική δυσκαμψία, ο C3 λαμβάνεται ίσος με 1,0. Πιο ευαίσθητα είναι τα κτίρια, που εμφανίζουν αρνητική κλίση της δυσκαμψίας  $K_s$  μετά τη διαρροή, έχουν σχετικά μικρή αντοχή και μικρή ενεργό ιδιοπερίοδο. Στην περίπτωση κτιρίων με αρνητική μετελαστική δυσκαμψία, η τιμή του συντελεστή C3 δίνεται από την σχέση:

$$C_3 = 1 + \frac{|a| \cdot (R-1)^{3/2}}{T_e} \quad (2.41)$$

όπου:

$\alpha$  ο λόγος της μετελαστικής δυσκαμψίας προς την ελαστική δυσκαμψία, όταν η μη γραμμική σχέση δύναμης-μετακίνησης είναι διγραμμική.

Εναλλακτικά, ο συντελεστής  $C_3$  μπορεί να υπολογιστεί συναρτήσει του δείκτη σχετικής μεταθετότητας  $\theta$ . Για τις συνήθεις περιπτώσεις κατασκευών, όπου  $\theta < 1,0$ , λαμβάνεται ίσος με 1,0. Εάν ο δείκτης σχετικής μεταθετότητας είναι μεγαλύτερος από 0,1, ο συντελεστής δίνεται από την σχέση:

$$C_3 = 1 + 5 \cdot (\theta - 0,1) / T_e \quad (2.42)$$

Τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως, που οφείλονται στη δράση των φορτίων βαρύτητας στην παραμορφωμένη κατασκευή, έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της πλευρικής μετακίνησης. Ο βαθμός αύξησης της μετακίνησης εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- Το λόγο  $\alpha$  της μετελαστικής δυσκαμψία προς την ελαστική δυσκαμψία,
- Τη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο της κατασκευής  $T_e$ ,
- Το λόγο  $R$  της ελαστικής απαίτησης σε αντοχή προς την ανηγμένη τιμή της αντοχής διαρροής,
- Τις υστερητικές σχέσεις φορτίου-μετακίνησης των στοιχείων κάθε ορόφου,
- Τα δυναμικά χαρακτηριστικά της εδαφικής κίνησης,
- Τη διάρκεια της έντονης εδαφικής κίνησης.

Λόγω της πληθώρας των παραμέτρων, από τις οποίες εξαρτώνται τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως, είναι προφανώς δύσκολο να προσδιοριστεί η επιρροή τους με τη χρήση ενός μόνο συντελεστή. Για το λόγο αυτό, οι σχέσεις θεωρούνται απλοποιητικές.

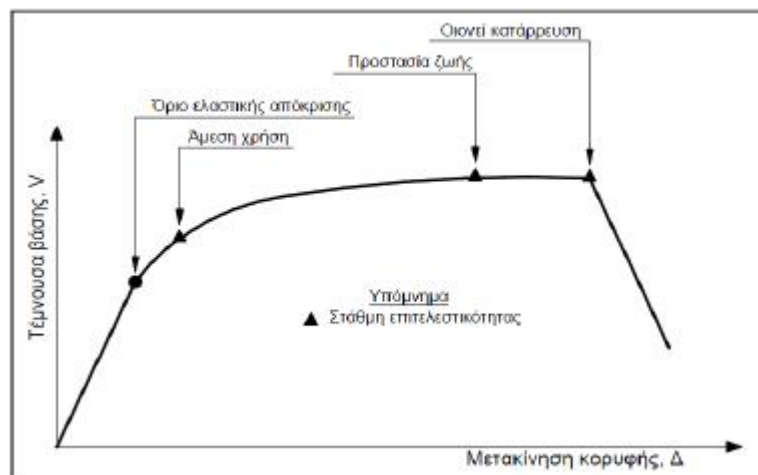
Πρέπει να σημειωθεί ότι για στρεπτικά ευαίσθητα κτίρια, προκειμένου να συνεκτιμηθούν τα στρεπτικά φαινόμενα, η στοχευόμενη μετακίνηση  $\delta_t$  πρέπει να προσαυξάνεται κατάλληλα. Πιο συγκεκριμένα, η τιμή της στοχευόμενης μετακίνησης πρέπει να πολλαπλασιάζεται με τη μέγιστη τιμή του συντελεστή προσαύξησης των μετακινήσεων, η οποία έχει υπολογιστεί για οποιονδήποτε όροφο του κτιρίου.

$$\eta = \frac{\delta_{\max}}{\delta_{\text{μεσο}}} \quad (2.43)$$

Ο συντελεστής  $\eta$  ορίζεται ως ο λόγος της μέγιστης μετακίνησης σε οποιοδήποτε σημείο του διαφράγματος κάθε στάθμης προς τη μέση μετακίνηση τους συγκεκριμένου διαφράγματος.

## 2.10. ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΦΟΡΕΑ

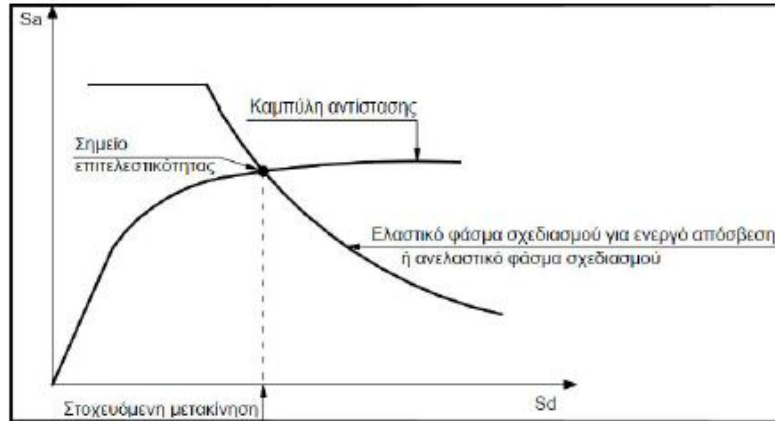
Μετά την κατασκευή της καμπύλης αντίστασης και τον υπολογισμό της στοχευόμενης μετακίνησης, τοποθετούνται πάνω σε αυτή τα σημεία, που αντιστοιχούν στις διάφορες στάθμες επιτελεστικότητας, συνολικά για όλη την κατασκευή. Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι ο καθορισμός των σημείων επιτελεστικότητας πάνω στην καμπύλη αντίστασης δεν είναι προφανής και απαιτεί καλή κρίση Μηχανικού. Αυτό συμβαίνει γιατί μία στάθμη επιτελεστικότητας για την κατασκευή σαν σύνολο δεν αντιστοιχεί πάντοτε στο σημείο, που το πρώτο στοιχείο της κατασκευής φτάνει σε αυτή την στάθμη επιτελεστικότητας. Επειδή, η κατασκευή αποτελείται από πολλά στοιχεία, είναι πιθανόν ένα μικρό ποσοστό αυτών να έχει περάσει κάποια στάθμη επιτελεστικότητας, αλλά η κατασκευή σαν σύνολο να βρίσκεται κάτω από αυτή την στάθμη.



Εικόνα 2.9. Ορισμός σταθμών επιτελεστικότητας στην καμπύλη αντίστασης

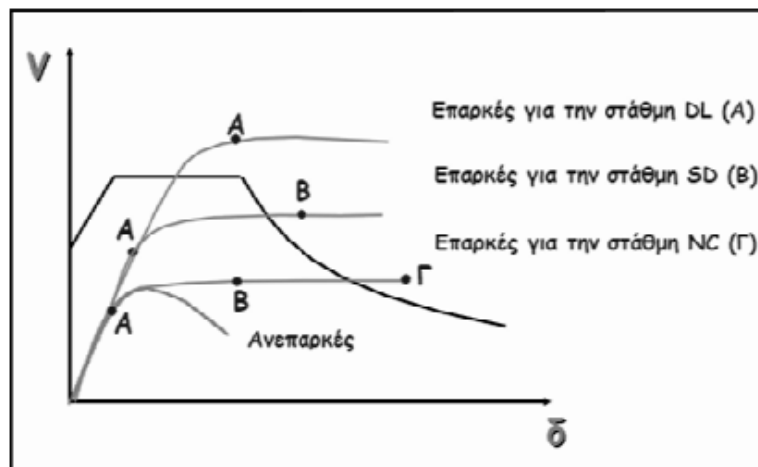
Η φιλοσοφία καθορισμού του σημείου επιτελεστικότητας βασίζεται στον υπολογισμό του σημείου, που αντιστοιχεί στην εξισορρόπηση της απαίτησης (demand), σύμφωνα με το επιθυμητό φάσμα σχεδιασμού, και της αντοχής (capacity) της κατασκευής. Σε διάγραμμα ADRS (Acceleration-Displacement Response Spectrum) η εξισορρόπηση αυτή για το ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα συμβαίνει στο σημείο τομής της καμπύλης αντίστασης και του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού, που αντιστοιχεί στην ενεργό απόσβεση για τη μέγιστη μετακίνηση (η ενεργός απόσβεση υπολογίζεται με βάση την πλαστιμότητα, που αντιστοιχεί στη μέγιστη μετακίνηση) ή του αντίστοιχου ανελαστικού φάσματος.





Εικόνα 2.10. Σημείο επιτελεστικότητας

Με βάση τη θέση των σημείων επιτελεστικότητας πάνω στο φάσμα αντίστασης και ανάλογα τη σχέση με το σημείο τομής, γίνεται έλεγχος επάρκειας του φορέα για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.11..



Εικόνα 2.11. Έλεγχος επάρκειας φορέα

ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Από τον έλεγχο και τις αναλύσεις, που συντελέστηκαν για τον υφιστάμενο φορέα με στόχο την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής, έγινε εξαγωγή των ακόλουθων συμπερασμάτων.

- Πρόκειται για μια εύκαμπτη κατασκευή, χαμηλής αντοχής, όπου παρατηρείται, ότι οι μέγιστες μετακινήσεις κορυφής καθώς και οι σχετικές μεταθέσεις ορόφων είναι σχετικά μεγάλες και πέρα από τα επιτρεπτά όρια των ισχυόντων κανονισμών για την επιλεγόμενη στάθμη επιτελεστικότητας.
- Από την αποτίμηση των στοιχείων του φορέα που παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 2, η βασική αδυναμία του υφιστάμενου κτιρίου, εντοπίζεται κυρίως στη καμπτική αντοχή των δοκών και των υποστυλωμάτων και στη διατμητική αντοχή ορισμένων κατακόρυφων στοιχείων, με αποτέλεσμα να ελλοχεύει ο κίνδυνος ψαθυρής αστοχίας των μελών της κατασκευής.

Για την αποκατάσταση των παρακάτω ελαττωμάτων του φορέα απαιτούνται κατάλληλες επεμβάσεις, ώστε να βελτιωθεί η στατική και σεισμική συμπεριφορά του. Προκειμένου να ληφθούν οι βέλτιστες αποφάσεις για την επιλογή του ενδεδειγμένου τύπου επέμβασης και τον σχεδιασμό τους, πρέπει οι επιλεγόμενες επεμβάσεις να ικανοποιούν ορισμένα τεχνικά κριτήρια.

Αρχικά, με την επιλεγόμενη επέμβαση, κρίνεται απαραίτητη η επίτευξη της αύξησης της τοπικής πλαστιμότητας στα επιμέρους δομικά στοιχεία, που παρουσιάζουν έντονη ψαθυρότητα, καθώς και η βελτίωση της δυσκαμψίας σε ιδιαιτέρως εύκαμπτα στοιχεία, ώστε να καλυτερέψει η γενικότερη συμπεριφορά τους. Ωστόσο, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή κατά τον σχεδιασμό των επεμβάσεων, έτσι ώστε η αύξηση της αντοχής μετά την επέμβαση να μη συνεπάγεται τη μείωση της διαθέσιμης συνολικής πλαστιμότητας. Επιπλέον η τροποποίηση της αντοχής και της δυσκαμψίας των υπαρχόντων δομικών στοιχείων, καθώς και η βελτίωση της κανονικότητας, τόσο σε κάτοψη όσο και καθ' ύψος. Γι' αυτό το λόγο, είναι αναγκαία η όσο το δυνατόν πιο συμμετρική κατανομή της δυσκαμψίας και της υπεραντοχής στο φορέα, προκειμένου να αποφευχθεί και η ανάπτυξη στρεπτικών δράσεων. Ακόμα, θα πρέπει να δοθεί μέριμνα και για τη μείωση των ιδιαιτέρως αυξημένων σχετικών μετατοπίσεων, που αναπτύσσονται στο φορέα. Επιπρόσθετα, στο συγκεκριμένο κτίριο η μελέτη ενίσχυσης του κτιρίου οφείλει να βασίζεται στη λογική να μην αυξηθούν σημαντικά τα κατακόρυφα φορτία, ώστε να αποφευχθούν νέες καθιζήσεις στο ήδη επιβαρυσμένο υπέδαφος.

Με βάση όλα τα παραπάνω κριτήρια και λαμβάνοντας υπόψη τα ελαττώματα της υφιστάμενης κατασκευής έγινε η επιλογή των ακόλουθων επεμβάσεων:

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

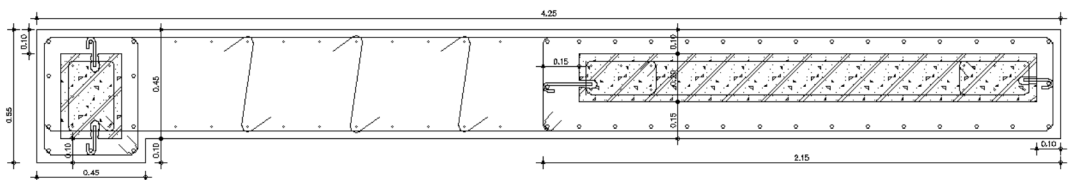
- Η τοποθέτηση μανδύα σκυροδέματος στα υποστυλώματα για την αύξηση της φέρουσας ικανότητας τους.
- Η κατασκευή τεσσάρων τοιχωμάτων ανά διεύθυνση σε συγκεκριμένα φαντώματα της κατασκευής σε κάθε όροφο, με στόχο την αύξηση της δυσκαμψίας και αντοχής του κτιρίου καθώς και τη μείωση των μετακινήσεων.
- Η χρήση μανδύων από υφάσματα σύνθετων υλικών από ίνες άνθρακα στις δοκούς, για την αύξηση της διαθέσιμης διατμητικής αντοχής και της ικανότητας πλαστικής στροφής (μέσω περισφίξης).
- Η ενίσχυση της θεμελίωσης με μικροπασσάλους, έτσι ώστε να αναβαθμιστεί η φέρουσα ικανότητα του εδάφους και της θεμελίωσης.

Στην συνέχεια του κεφαλαίου περιγράφονται εκτενέστερα οι προτεινόμενες επεμβάσεις, οι διαστάσεις τους, η μέθοδος εφαρμογής τους, καθώς και οι στόχοι που επιτυγχάνονται με την υλοποίησή του κάθε τύπου επέμβασης.

#### 3.1. ΕΦΑΤΝΟΥΜΕΝΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

Η εμφάντωση τοιχωμάτων εντός υφιστάμενων πλαισίων είναι μια μέθοδος, που χρησιμοποιείται για την αντισεισμική ενίσχυση της κατασκευής ως σύνολο. Η μέθοδος αυτή δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη εξαιτίας του υψηλού κόστους και της πολυπλοκότητας της διαδικασίας, που καθιστά την κατασκευή μη κατοικήσιμη για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Η μέθοδος επέμβασης των εμφατνούμενων τοιχωμάτων επιλέχθηκε στην εξεταζόμενη κατασκευή για τους ακόλουθους λόγους: Από μια εκτεταμένη θεωρητική και πειραματική έρευνα για το θέμα, έχει προκύψει το συμπέρασμα ότι η εμφάντωση τοιχωμάτων σε ένα πλαίσιο αυξάνει την φέρουσα ικανότητα (2 έως 5 φορές) και κυρίως την δυσκαμψία (5 έως 20 φορές). Επιπλέον, τα νέα τοιχώματα παραλαμβάνουν μεγάλο μέρος των οριζόντιων δράσεων, μειώνοντας δραστικά τις μετακινήσεις λόγω σεισμού του συστήματος, ενώ παράλληλα ανακουφίζουν τα υπόλοιπα στοιχεία της κατασκευής.



Εικόνα 3.1. Λεπτομέρεια εμφάντωσης τοιχώματος

Ωστόσο, η επέμβαση σε μια υφιστάμενη κατασκευή με τη προσθήκη τοιχωμάτων αλλοιώνει τα δυναμικά χαρακτηριστικά και ιδιαίτερα την κατανομή της δυσκαμψίας της κατασκευής. Γι' αυτό το λόγο, η θέση και η οργάνωση των τοιχωμάτων στο χώρο, χρήζει ιδιαίτερης σημασίας. Τα τοιχώματα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ισοκατανεμημένα και συμμετρικά στις δύο διευθύνσεις, ενώ η διάταξη τους κοντά στην περίμετρο του κτιρίου βοηθά στην στρεπτική του αντίσταση. Ασυμμετρία στην διάταξή τους ίσως προκαλούσε την ανάπτυξη ανεπιθύμητων στροφών, που οδηγούν σε ανελαστικές παραμορφώσεις στα περιμετρικά φέροντα στοιχεία της κάτοψης και κατ' επέκταση σε φθορά αυτών. Με τη διάταξη δυο τουλάχιστον τοιχωμάτων στη μια διεύθυνση και κοντά στην περίμετρο της κάτοψης επιτυγχάνεται ο περιορισμός του μεγέθους αυτών των στροφών. Επιπλέον βασικό ρόλο παίζει και η ομοιομορφία κατανομής της δυσκαμψίας καθ' ύψος, η οποία συμβάλλει στην εξομάλυνση της καθ' ύψος μεταβολής των οριζόντιων μετατοπίσεων των ορόφων. Για αυτό τον λόγο αποφασίστηκε η κατασκευή τεσσάρων τοιχωμάτων ανά διεύθυνση σε συγκεκριμένα φατνώματα καθ' ύψος όλων των ορόφων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.2.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στα άκρα των εκατέρωθεν δοκών, στις οποίους η προσθήκη τοιχωμάτων αυξάνει την καμπτική ένταση και ενδέχεται να αστοχήσουν πρόωρα.

### **3.2. ΜΑΝΔΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

Η τεχνική της αύξησης των διαστάσεων της διατομής με κατασκευή μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα αποτελεί συνηθέστερη μέθοδο ενίσχυσης υφιστάμενων υποστυλωμάτων που εμφανίζουν ανεπάρκεια όσον αφορά την αντοχή, τη δυσκαμψία και την πλαστιμότητα τους.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι αφενός δεν μεταβάλλεται η αρχιτεκτονική όψη της ενισχυμένης κατασκευής με την προσθήκη νέων υλικών και αφετέρου αυξάνεται ο βαθμός πυροπροστασίας. Επιπλέον, η κατασκευή μανδύα που περικλείει το υφιστάμενο στοιχείο έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της λυγηρότητας καθώς και την αύξηση της δυσκαμψίας της διατομής.

Οι μανδύες από σκυρόδεμα εφαρμόζονται σε υποστυλώματα και σε τοιχία, σε περιπτώσεις, που επιδιωκόμενο αποτέλεσμα είναι κάποιο ή συνδυασμός των ακόλουθων:

- Η αύξηση της φέρουσας ικανότητας,
- Η αύξηση της καμπτικής και διατμητικής αντοχής,

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

- Η αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης,
- Η βελτίωση της αντοχής των ελαττωματικών ενώσεων με παράθεση.

Στην εξεταζόμενη κατασκευή επιδιώκεται η βελτίωση των τριών πρώτων αποτελεσμάτων της ενίσχυσης με μανδύες και κυρίως της αύξησης της καμπτικής αντοχής.

Ανάλογα με το είδος του σκυροδέματος που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του μανδύα, τα πλέον διαδεδομένα είδη μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος που κατασκευάζονται στην πράξη είναι τα ακόλουθα:

- Μανδύες από έγχυτο σκυρόδεμα:

Έγχυτο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται όταν ο μανδύας, που πρόκειται να κατασκευαστεί, έχει πάχος μεγαλύτερο από 8 cm. Για την σκυροδέτηση του μανδύα απαιτείται η χρήση ξυλότυπου.

- Μανδύες από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Η κατασκευή μανδύα από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αποτελεί τη συνηθέστερη πρακτική για την περίπτωση που το συνολικό πάχος του μανδύα δεν υπερβαίνει τα 10 cm. Αν και δεν απαιτείται ξυλότυπος, πρέπει να εξασφαλίζεται η κατακόρυφη επιφάνεια του μανδύα. Για το σκοπό αυτό γίνεται συνήθως χρήση οδηγών. Ιδιαίτερη προσοχή σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να δοθεί στην συστολή ξηράνσεως, η οποία είναι μεγαλύτερη στη συγκεκριμένη κατηγορία μανδύων.



**Εικόνα 3.2. Τοποθέτηση οπλισμών μανδύα**

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Στο συγκεκριμένο φορέα κατασκευάστηκαν σε όλα τα υφιστάμενα υποστυλώματα μανδύες, των οποίων το πάχος κυμαίνεται από 10 έως 15 cm, αφού το πάχος των μανδύων πρέπει να είναι τόσο ώστε να επιτρέπει την τοποθέτηση τόσο των διατμητικών όσο και των εγκάρσιων οπλισμών με επαρκή επικάλυψη. Όσον αφορά στην απόσταση μεταξύ των συνδετήρων καθώς και την αγκύρωση των διατμητικών ράβδων του μανδύα, εφαρμόστηκαν οι διατάξεις του ισχύοντος κανονισμού, που αναφέρονται και στα νέα υποστυλώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Για την κατασκευή τους έγινε χρήση και των δύο παραπάνω μεθόδων, τόσο του έγχυτου όσο και του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Το συμβιβαστό των παραμορφώσεων μεταξύ παλαιού και νέου στοιχείου εξασφαλίστηκε με συνδυασμό ηλεκτροσυγκολλήσεων του νέου οπλισμού στον παλαιό και χημικώς πακτωμένων αγκυρίων (μηχανισμός δράσης βλήτρου).

Για να εξασφαλιστεί η αποδοτικότητα της ενίσχυσης απαιτείται η εκτράχυνση της επιφάνειας του σκυροδέματος, έτσι ώστε να απομακρυνθεί η εξωτερική επιδερμική στρώση τσιμεντοπολτού και να αποκαλυφθούν τα αδρανή, και στη συνέχεια ο επιμελής καθαρισμός της εκτραχυμένης επιφάνειας με αέρα υπό πίεση. Η εκτράχυνση πρέπει να έχει βάθος περίπου 6 mm. Πρέπει ακόμα να σημειωθεί, ότι η επιφάνεια του παλαιού σκυροδέματος πρέπει να διαβρέχεται πριν τη σκυροδέτηση του μανδύα. Μαζί με το σκυρόδεμα συνιστάται να διαβρέχονται είτε ο ξυλότυπος στην περίπτωση που χρησιμοποιείται έγχυτο σκυρόδεμα είτε τα αδρανή στην περίπτωση μανδύα από εκτοξευόμενο.

Στην περίπτωση που οι μανδύες στοχεύουν στην αύξηση της καμπτικής αντοχής, οι διαμήκεις ράβδοι πρέπει να συνεχίζουν και στον προσκείμενο όροφο μέσω οπών που διαπερνούν την πλάκα, ενώ θα πρέπει να τοποθετούνται οριζόντιοι σύνδεσμοι στην επιφάνεια των ενώσεων μέσω οριζόντιων οπών, οι οποίες είναι ανοιγμένες με τρυπάνι μέσα στις δοκούς. Οι σύνδεσμοι μπορούν να παραλείπονται στην περίπτωση πλήρως περισφιγμένων εσωτερικών ενώσεων. Αντίθετα, όταν το αντικείμενο των μανδύων είναι η αύξηση της διατμητικής αντοχής και της ικανότητας παραμόρφωσης, σε συνδυασμό με μια πιθανή βελτίωση των ενώσεων με παράθεση, τότε οι μανδύες θα πρέπει να τερματίζουν (τόσο το σκυρόδεμα όσο και ο οπλισμός) αφήνοντας ένα κενό με την πλάκα της τάξεως των 10 mm (ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8-3, ΠΑΡ.Α.4.2.1.(3),(4)). Τέλος, στην περίπτωση, που το υποστυλώμα του ανώτερου ορόφου είναι μικρότερων διατάξεων από το υποστυλώμα, που ενισχύεται με μανδύα, ο διαμήκης οπλισμός του μανδύα αγκυρώνεται στην άνω παρειά της πλάκας.

### **3.3. ΜΑΝΔΥΕΣ ΜΕ ΑΝΘΡΑΚΟΝΗΜΑΤΑ**

Η χρήση σύνθετων υλικών παρουσιάζει μεγάλη άνοδο τα τελευταία χρόνια καθώς συνδυάζουν αρκετά σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η υψηλή εφελκυστική αντοχή (ακόμα και σε συνθήκες κόπωσης), το μικρό βάρος, η μεγάλη αντίσταση στη διάβρωση, η υψηλή δυσκαμψία, η ευκολία στην τοποθέτηση και στην μόρφωση μεγάλων μηκών και οπουδήποτε σχήματος.

Οι συνηθέστερες μορφές επικόλλησης του υφάσματος είναι η μορφής U και ο κλειστός μανδύας, ο οποίος όμως είναι σχεδόν πάντα αδύνατο να εφαρμοστεί στην πράξη. Η ενίσχυση μπορεί να γίνει είτε με την μορφή συνεχούς υφάσματος, είτε με την μορφή ελασμάτων συγκεκριμένου πλάτους επικολλημένα δίπλα-δίπλα. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί και στον τρόπο αγκύρωσης του υφάσματος, καθώς στην πλειονότητα των περιπτώσεων κρίσιμη μορφή αστοχίας είναι η αποκόλληση του υφάσματος.

Οι ιδιότητες των ινοπλισμένων πολυμερών προκύπτουν ως συνδυασμός των ιδιοτήτων των διακριτών συστατικών των υλικών, δηλαδή των ινών (ίνες άνθρακα) και της μήτρας, συνήθως εποξειδική ρητίνη. Το μέτρο ελαστικότητας των σύνθετων υλικών με ίνες άνθρακα κυμαίνεται από 35 έως 190 GPa, ενώ η παραμόρφωση αστοχίας τους από 1 έως 1,5 %.

Στην εξεταζόμενη κατασκευή, η σχετικά περιορισμένη έκταση των ανεπαρκειών στις δοκούς οδήγησε κατά το στάδιο του ανασχεδιασμού στην επιλογή ενός σχήματος ήπιας επέμβασης, που περιλαμβάνει τοπική ενίσχυση των δοκών. Συγκεκριμένα προτείνεται η τοποθέτηση μίας ή περισσότερων στρώσεων ανθρακονήματος μορφής U σε όλο το μήκος των υπόψη δοκών. Η επέμβαση αυτή στοχεύει στην αύξηση της αντοχής των ενισχυόμενων δοκών, ώστε να είναι δυνατή η πλήρης εκμετάλλευση της διαθέσιμης καμπτικής αντοχής και πλαστιμότητας τους, ενώ παράλληλα δεν επιβαρύνει την κατασκευή με σημαντικά επιπλέον φορτία, καθώς το ίδιο βάρος τους είναι μικρό. [Σπύρου, 2011]

### **3.4. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΠΕΔΙΛΟΔΟΚΩΝ-ΜΙΚΡΟΠΑΣΣΑΛΟΙ**

Ο υφιστάμενος τρόπος θεμελίωσης του κτιρίου μας είναι με πεδילוδοκούς μορφής ανεστραμμένου «T».

Η τεχνική λύση που προτάθηκε για την ενίσχυση της θεμελίωσης του κτιρίου είναι η κατασκευή νέων διπλών πεδילוδοκών διαστάσεων από 40X60 cm έως 60X60 cm οι οποίες, σε συνεργασία με τις υφιστάμενες πεδילוδοκούς, θα αποτελούν τα νέα στοιχεία θεμελίωσης του ενισχυμένου φορέα και θα εδραστούν πάνω σε νέα στοιχεία



### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

υποθεμελίωσης (μικροπάσσαλοι). Η ενίσχυση της θεμελίωσης με μικροπασσάλους κρίνεται επιτακτική, ιδιαίτερα με την απόφαση για την κατασκευή νέων τοιχωμάτων, αφού η υπάρχουσα θεμελίωση καλείται να μεταφέρει στο έδαφος μεγάλα φορτία και στη στάθμη της θεμελίωσης δημιουργούνται αρκετά μεγάλες ροπές ανατροπής. Η κατασκευή των μικροπασσάλων είχε ως στόχο την αναβάθμιση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους και της θεμελίωσης χωρίς τη σκυροδέτηση μεγάλων ποσοτήτων σκυροδέματος, οι οποίες θα οδηγούσαν σε ενεργοποίηση καθιζήσεων με περαιτέρω ένταση της ανωδομής, γεγονός το οποίο κρίνεται επικίνδυνο για το κτίριο.

Για την θεμελίωση με πεδילוδοκούς προβλέπεται μέγιστη επιτρεπόμενη φόρτιση της τάξης των  $250\text{KN/m}^2$  και μέγιστες καθιζήσεις 25 mm. Η συνεργασία μεταξύ υφιστάμενων και νέων πεδילוδοκών εξασφαλίζεται μέσω της κατασκευής βλήτρων ( $8\Phi 20 /\text{m}$ ) και προεντεταμένων ελκυστήρων ( $1\Phi 25 /\text{m}$ ).

Όσον αφορά την κατασκευή βαθιών υποθεμελίωσεων, στην προκειμένη περίπτωση έγινε εφαρμογή της μεθόδου των υποθεμελίωσεων με μικροπασσάλους. Ως μικροπάσσαλοι, ορίζονται πάσσαλοι διαμέτρου 100 mm έως 300 mm.

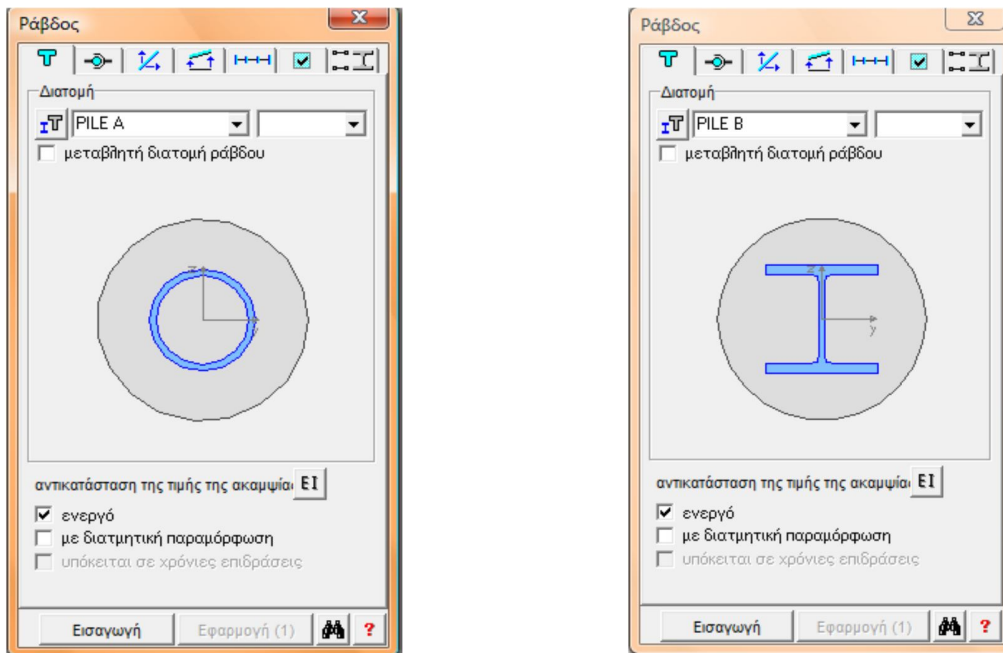
Η εγκατάστασή τους γίνεται με χρήση περιστροφικών γεωτρύπανων πολύ μικρού μεγέθους. Όταν η διάτρηση φτάσει στο επιθυμητό βάθος, ανασύρεται η διατρητική στήλη και η γεώτρηση πληρώνεται με κατάλληλο τσιμεντοκονίαμα. Η είσοδος του τσιμεντοκονιάματος έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση των ιδιοτήτων του εδάφους και την ενίσχυση της θεμελίωσης. Στην συνέχεια ακολουθεί η εγκατάσταση του οπλισμού η οποία μπορεί να είναι μια κεντρική χαλύβδινη κατασκευή. Στην προκειμένη περίπτωση λόγω της ανάγκης για παραλαβή οριζόντιων φορτίων θα χρησιμοποιηθούν ως οπλισμοί σωλήνες κυκλικής διατομής, καθώς και μεταλλικές διατομές «διπλού T».

Πιο συγκεκριμένα, τα προαναφερόμενα στοιχεία είναι μικροπάσσαλοι δύο ειδών:

**α)** μικροπάσσαλοι τύπου «Α» και **β)** μικροπάσσαλοι τύπου «Β».

Οι του πρώτου τύπου, έχουν διάμετρο οπής  $\Phi 250$  mm, οπλίζονται με σιδηροσωλήνα εξωτερικής διαμέτρου  $\Phi 127$  mm, πάχους 8 mm και έχουν μήκος 15,00 m από την άνω στάθμη των νέων πεδילוδοκών. Η πλήρωσή τους (μεταξύ σιδηροσωλήνα και παρειάς της οπής όπως και εσωτερικά του σιδηροσωλήνα) γίνεται με τσιμεντένεμα με αναλογία **τσιμέντο/νερό μεγαλύτερο ή ίσο του 2:1**. Η στατική λειτουργία των μικροπασσάλων αυτών είναι η ανάληψη των κατακόρυφων φορτίων που φορτίων που προκύπτουν από τον ενισχυμένο φορέα είτε σε στατική φάση (φορτία καθαρά θλίψεως) είτε σε σεισμική φάση (φορτία θλίψεως-εφελκυσμού).

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3



Εικόνα 3.3. Διατομές μικροπασσάλων Τύπων Α και Β

Οι μικροπασσάλοι του δεύτερου τύπου, έχουν διάμετρο οπής  $\Phi$  300 mm, σπλίζονται με σιδηροδοκό HEB 160 και έχουν μήκος 6,00m από την άνω στάθμη των νέων πεδιλοδοκών. Η πλήρωσή τους γίνεται, όπως και για τους μικροπασσάλους του πρώτου τύπου, με τσιμεντένεμα ίδιας αναλογίας. Η στατική τους λειτουργία είναι η ανάληψη των οριζόντιων φορτίων που προκύπτουν από τον ενισχυμένο φορέα σε σεισμική φάση.

Ο διαχωρισμός των μικροπασσάλων σε δύο είδη με βάση την στατική λειτουργία τους προσφέρει μια απλοποιημένη στους υπολογισμούς. Οι μικροπασσάλοι **Τύπου «Α»** έχουν μεγαλύτερη ικανότητα στην ανάληψη των κατακόρυφων δράσεων, καθώς λόγω του μεγάλου βάθους στο οποίο εισχωρούν διαθέτουν μεγαλύτερη επιφάνεια τριβής σε σχέση με τους μικροπασσάλους **Τύπου «Β»**, ενώ ταυτόχρονα διαπερνούν στρώματα εδάφους με καλύτερα χαρακτηριστικά. Παράλληλα οι μικροπασσάλοι **Τύπου «Β»** έχουν μεγαλύτερη ικανότητα ανάληψης των οριζόντιων φορτίων συγκριτικά με τους μικροπασσάλους **Τύπου «Α»**, λόγω της μεγαλύτερης ακαμψίας τους, που οφείλεται τόσο στον τύπο της μεταλλικής διατομής όσο και στην μεγαλύτερη διάμετρό τους. [Σπύρου, 2011]

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ  
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ  
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

## 4.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ-ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟΥ

Το κτίριο, που έχουμε επιλέξει για να διεξάγουμε την πτυχιακή μας εργασία, είναι μια τετράωροφη πολυκατοικία, που αποτελείται από ισόγειο και τρεις ορόφους. Ο κάθε όροφος έχει ύψος 3,20 m. Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου είναι από συμβατικό σκυρόδεμα, δηλαδή οπλισμένο σκυρόδεμα με χάλυβα S500. Από τα σχέδια προκύπτει ότι το ύψος των πλακών κυμαίνεται ανάμεσα στα 16 με 20 εκατοστά. Σε κάθε όροφο υπάρχουν εξώστες με προεξοχή από 0,40 m μέχρι και 2,30 m, οι οποίοι δεν προσομοιώνονται. Οι δοκοί των εκάστοτε ορόφων είναι διατομής 25/60, με εξαίρεση ορισμένες δοκούς σε κάποιους ορόφους. Οι διατομές των υποστυλωμάτων και των τοιχωμάτων είναι διαφορετικών διαστάσεων μέσα σε κάθε όροφο, αλλά και ο οπλισμός τους διαφέρει από όροφο σε όροφο (τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται εκτενώς στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β). Η θεμελίωσή του είναι με πεδילוδοκούς. Η πλήρωση του κτιρίου έχει γίνει με οπτοπλινθοδομή (μπατική) σύμφωνα με τα αρχιτεκτονικά σχέδια. Καθώς δεν συμπεριλήφθηκε το υπόγειο και η θεμελίωση, θεωρήθηκε ότι το κτίριο είναι πακτωμένο στο ισόγειο.

Για την ποιότητα των υλικών του φέροντος οργανισμού δεν διεξάχθηκε περαιτέρω έλεγχος με έμμεσες ή άμεσες μεθόδους, αλλά οι ιδιότητες των υλικών ελήφθησαν με βάση την υπάρχουσα μελέτη του κτιρίου. Η μελέτη προβλέπει σκυρόδεμα κατηγορίας C16/20 με μέση θλιπτική αντοχή τα 24 MPa. Οι διαμήκεις οπλισμοί δοκών και υποστυλωμάτων είναι νευροχάλυβες κατηγορίας S400, ενώ η ποιότητα των εγκάρσιων οπλισμών είναι S500.

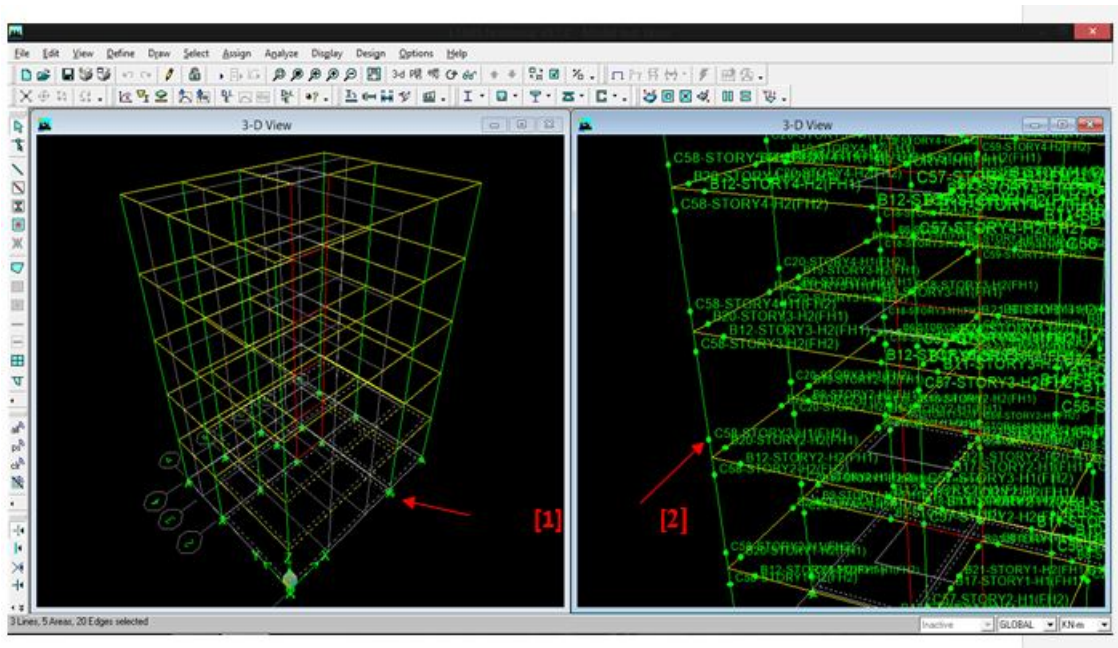
Με βάση τα σχέδια της αποτύπωσης μοντελοποιήθηκε το κτίριο στο πρόγραμμα ETABs. Στα σχέδια του Παραρτήματος Α δίνονται οι ξυλότυποι των ορόφων του κτιρίου, σύμφωνα με την μελέτη. Για τα δομικά στοιχεία, που πλαισιώνουν τον φέρων οργανισμό έγινε η παραδοχή ότι η μελέτη τηρήθηκε με ακρίβεια κατά την κατασκευή και θεωρήθηκε ότι οι οπλισμοί δεν έχουν υποστεί καμία διάβρωση από οξείδωση.

## 4.2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΦΟΡΕΑ

### 4.2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η ανάλυση του υφιστάμενου κτιρίου έγινε με το πρόγραμμα ETABs. Το υπολογιστικό προσομοίωμα είναι γραμμικό και συμπεριλαμβάνει το σύνολο των γραμμικών δομικών στοιχείων. Η στήριξη στο ισόγειο έχει προσομοιωθεί με πακτώσεις (Εικόνα 4.1, [1]) και έτσι δεν λαμβάνονται υπόψη φαινόμενα αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής. Στους κόμβους των πλαισίων θεωρήθηκαν ότι υπάρχουν πλαστικές αρθρώσεις (Εικόνα 4.1, [2]), ώστε να μπορέσει να εφαρμοστεί το *Pushover*.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4



Εικόνα 4.1. 3D Απεικόνιση του φορέα στο πρόγραμμα E-TABS (Εικόνες από το πρόγραμμα E-Tabs)

Τέλος, οι πλάκες θεωρήθηκαν απολύτως απαραμόρφωτες στο επίπεδό τους, κάνοντας χρήση της ενσωματωμένης δυνατότητας του προγράμματος για την προσομοίωση της διαφραγματικής λειτουργίας στις στάθμες των ορόφων. Η μάζα και η μαζική ροπή αδρανείας θεωρήθηκαν συγκεντρωμένες στα κέντρα βάρους (γεωμετρικά κέντρα) των ορόφων με τρεις ελευθερίες κίνησης, δυο μεταφορικές κατά τις διευθύνσεις  $x$  και  $y$  και μια στροφική κατά τον άξονα  $z$ .

### 4.2.2. ΥΛΙΚΑ

Στο προσομοίωμα, που γίνεται η μελέτη, έχουν ληφθεί και προσομοιωθεί οι μέσες τιμές αντοχής των υλικών, εφόσον πρόκειται για υφιστάμενο κτίριο. Το σκυρόδεμα είναι κατηγορίας C16/20, με μέση θλιπτική αντοχή τα 24 MPa (Εικόνα 4.2), ο χάλυβας είναι κατηγορίας S400 για τους διαμήκεις σπλισμούς και S500 για τους εγκάρσιους (Εικόνα 4.3).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for concrete. The 'Material Name' is 'C18'. The 'Type of Material' is 'Isotropic'. The 'Design' is 'Concrete'. The 'Analysis Property Data' includes: Mass per unit Volume (2,4007), Weight per unit Volume (23,5616), Modulus of Elasticity (24821128,4), Poisson's Ratio (0,2), Coeff of Thermal Expansion (9,900E-06), and Shear Modulus (10342136,8). The 'Design Property Data (ACI 318-05/IBC 2003)' includes: Specified Conc Comp Strength, f'c (16000), Bending Reinf. Yield Stress, fy (400000), Shear Reinf. Yield Stress, fys (500000), and a checkbox for 'Lightweight Concrete' which is unchecked. The 'Display Color' is a light blue color.

Εικόνα 4.2. Ιδιότητες σκυροδέματος (Εικόνα από το πρόγραμμα E-Tabs)

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for steel. The 'Material Name' is 'S400'. The 'Type of Material' is 'Isotropic'. The 'Design' is 'Steel'. The 'Analysis Property Data' includes: Mass per unit Volume (7,8271), Weight per unit Volume (76,8195), Modulus of Elasticity (1,999E+08), Poisson's Ratio (0,3), Coeff of Thermal Expansion (1,170E-05), and Shear Modulus (76884615,). The 'Design Property Data' includes: Minimum Yield Stress, Fy (400000), Minimum Tensile Strength, Fu (448159,26), and Cost per Unit Weight (271447,161). The 'Display Color' is a yellow color.

Εικόνα 4.3. Ιδιότητες χάλυβα (Εικόνα από το πρόγραμμα E-Tabs)

### 4.2.3. ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

#### ΠΛΑΚΕΣ

Στις πλάκες του φορέα εντοπίστηκαν και εφαρμόστηκαν τα εξής φορτία :

- Μόνιμα φορτία
  - Ίδιο βάρος πλακών.
  - Φορτία επικαλύψεων,

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

(Θεωρήθηκε:  $g = 1,2 \text{ KN/m}^2$ )

- Κινητά φορτία
- Θεωρήθηκαν φορτία  $q = 2 \text{ KN/m}^2$

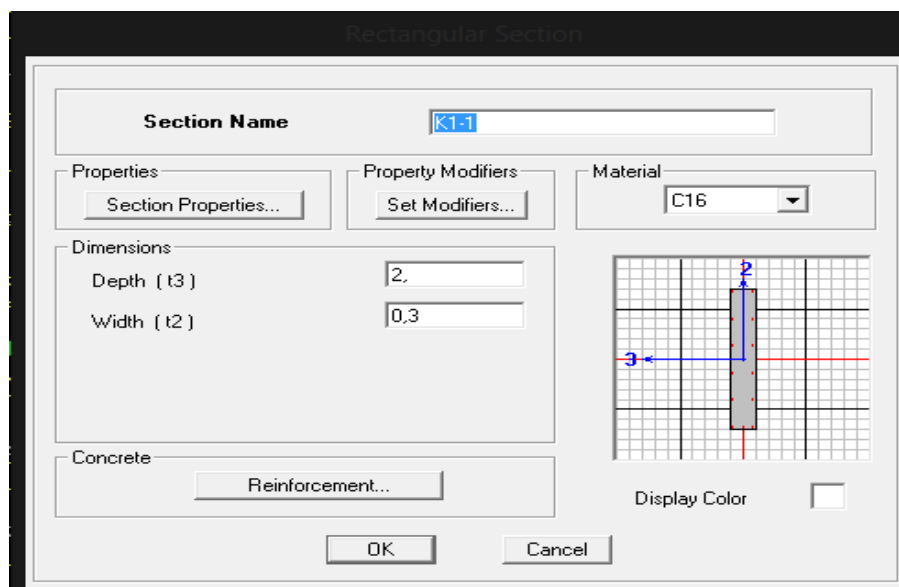
### ΔΟΚΟΙ

Οι δοκοί φορτίστηκαν με το ίδιο βάρος τους και με τα φορτία των πλακών με βάση τις επιφάνειες επιρροής, καθώς και με το βάρος της τοιχοποιίας.

Οι διαστάσεις, η μορφή των διατομών των δοκών, καθώς και ο υπάρχων οπλισμός στα άκρα των δοκών προσομοιώθηκαν σύμφωνα με τα κατασκευαστικά σχέδια, τα οποία παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.

### ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ-ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

Τα υποστυλώματα φορτίστηκαν με το ίδιο βάρος τους, καθώς και με τα φορτία, που μεταβιβάζονται σε αυτά από τις δοκούς. Οι διαστάσεις και η μορφή των διατομών των υποστυλωμάτων σχεδιάστηκαν βάσει των κατασκευαστικών σχεδίων. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι στις διατομές των υποστυλωμάτων δόθηκαν ο διαθέσιμος διαμήκης οπλισμός και οι συνδετήρες, έτσι ώστε η ροπή διαρροής τους να υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα. Ακολουθεί ενδεικτική φωτογραφία από τον πίνακα, που περιέχει τον οπλισμό για την προσομοίωση στο πρόγραμμα (Εικόνα 4.4.). Οι οπλισμοί παρουσιάζονται αναλυτικότερα στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.

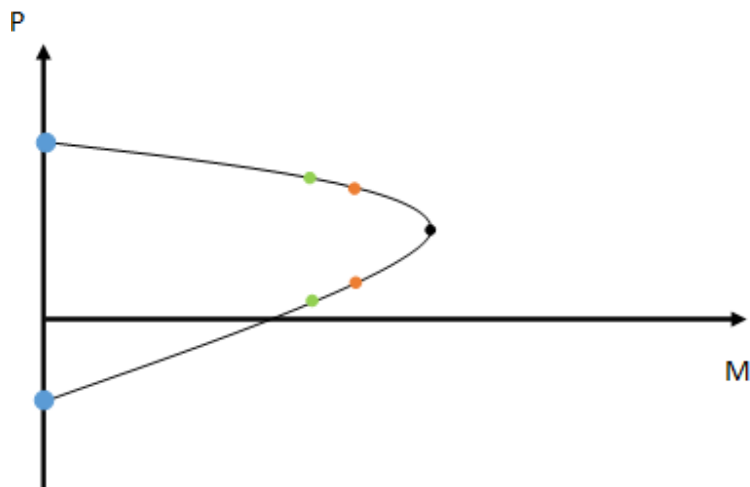


Εικόνα 4.4. Οπλισμός σε τομή (Εικόνα από το πρόγραμμα E-Tabs)

#### 4.2.4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

Από την ανάλυση με το πρόγραμμα ETABs προέκυψαν οι καμπύλες αντοχής των δοκών και των υποστυλωμάτων στα άκρα τους για τη φορά φόρτισης. Πρόκειται για μια προσέγγιση της πραγματικής καμπύλης  $M-\theta$  μέσω ενός πολυγραμμικού διαγράμματος με τον πρώτο ευθύγραμμο κλάδο να παρακάμπτει τη ρηγμάτωση και να εκτείνεται από την αρχή των αξόνων μέχρι τη διαρροή του στοιχείου, διάγραμμα το οποίο θεωρείται επαρκές από τον Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3. Το διάγραμμα συνεχίζεται στον μετελαστικό κλάδο, όπου βρίσκεται το σημείο, που αντιστοιχεί στη στάθμη των «Σημαντικών βλαβών» ( $0,75 \theta_u$ ) και στο σημείο αστοχίας του μέλους ( $\theta_u$ ). Τέλος, αναπαρίσταται και η απομένουσα αντίσταση του μέλους, η οποία συνήθως λαμβάνεται ίση με το 20% της οριακής αντοχής. Στην συνέχεια, απεικονίζονται ενδεικτικές καμπύλες αντοχής  $M-\theta$  μελών με καμπτική και διατμητική συμπεριφορά.

Όσον αφορά τις καμπύλες αντοχής των υποστυλωμάτων και των τοιχωμάτων είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη η επίδραση της αξονικής δύναμης στην καμπτική αντοχή μέσω του προσδιορισμού της καμπύλης αλληλεπίδρασης  $M-N$  (Εικόνα 4.5).



Εικόνα 4.5. Διάγραμμα αλληλεπίδρασης ροπής

Στο προσομοίωμα έχουν ληφθεί υπόψη τέμνουσες δυσκαμψίες στο υπολογιστικό σημείο διαρροής, σύμφωνα με τον ΕΑΚ (2000), για τις δοκούς  $I_{eff} = 0,50 * I_{gr}$ , για τα υποστυλώματα  $I_{eff} = 1,0 * I_{gr}$  και για τα τοιχώματα  $I_{eff} = 0,67 * I_{gr}$ .



### 4.3. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

Η αποτίμηση του κτιρίου έγινε με εφαρμογή της Ανελαστικής Στατικής Ανάλυσης (Pushover), σύμφωνα με τις αντίστοιχες διατάξεις του Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3, όπως αυτές περιγράφηκαν αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2. Σε αυτή την πτυχιακή εργασία δεν κρίθηκε σκόπιμος ο έλεγχος των προϋποθέσεων εφαρμογής της μεθόδου και συγκεκριμένα του κριτηρίου επιρροής των ανώτερων ιδιομορφών.

Ως στόχος σχεδιασμού υιοθετήθηκε ο στόχος, που αντιστοιχεί στη στάθμη επιτελεστικότητας «Σημαντικές βλάβες» για σεισμική δράση  $\alpha = 0,16g$ , με πιθανότητα υπέρβασης στο συμβατικό χρόνο ζωής των 50 ετών 10%, με μέση περίοδο επαναφοράς 475 χρόνια.

Το επίπεδο γνώσης για την εξεταζόμενη κατασκευή αντιστοιχεί στο δεύτερο επίπεδο, «Κανονική γνώση», καθώς τόσο για την γεωμετρία του φορέα όσο και για τις λεπτομέρειες χρησιμοποιήθηκαν πλήρεις κατασκευαστικά σχέδια, ενώ για τον προσδιορισμό της ποιότητας των υλικών ελήφθησαν από την υπάρχουσα μελέτη του κτιρίου. Ο συντελεστής εμπιστοσύνης, που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο επίπεδο γνώσης είναι 1,20.

Η προσομοίωση του κτιρίου έγινε, όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 2.4. κατά την ανάλυση του Pushover. Το προσομοίωμα φορτίστηκε με οριζόντια φορτία, τα οποία ακολουθούν την ομοιόμορφη και την ιδιομορφική κατανομή, όπως αυτές περιγράφονται στην παράγραφο 2.9.2.. Τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως αγνοήθηκαν. Μετά την ανάλυση του προγράμματος, σειρά πινάκων και αποτελεσμάτων προσδιορίζουν το σημείο στοχευόμενης μετακίνησης του φορέα.

Για τις συγκεκριμένες στοχευόμενες μετακινήσεις, που αντιστοιχούν σε κάθε διεύθυνση σεισμικής δόνησης και για τις δύο παραπάνω κατανομές οριζόντιων φορτίσεων, ελέχθησαν όλα τα στοιχεία του φορέα σε ποιό σημείο της δικής του καμπύλης  $M-\theta$  βρίσκονται και με αυτόν τον τρόπο, κατατάχθηκαν στην αντίστοιχη στάθμη επιτελεστικότητας, όπως επίσης προσδιορίστηκε το είδος και το επίπεδο βλάβης των δομικών στοιχείων, όπως παρουσιάζεται στους πίνακες της παραγράφου 2.5.1..

Στην συνέχεια, τοποθετήθηκαν πάνω στο φάσμα αντίστασης τα σημεία, που αντιστοιχούν στις στάθμες επιτελεστικότητας συνολικά για όλη την κατασκευή. Με αυτόν τον τρόπο, έγινε ο έλεγχος επάρκειας της υφιστάμενης κατασκευής για την επιλεγμένη στάθμη επιτελεστικότητας.

### 4.3.1. ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΜΕΛΩΝ

Στην παρούσα παράγραφο, δίνονται υπό μορφή πινάκων οι οριακές τιμές στροφής χορδής για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας, οι οποίες υπολογίστηκαν με χρήση των σχέσεων του Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 (Παράγραφος 2.8), καθώς και η κατάταξη των μελών με βάση τη στροφή χορδής τους για κάθε κατανομή και διεύθυνση φόρτισης. Με βάση την κατάταξη αυτή, λαμβάνονται οι αποφάσεις για το ποιά στοιχεία του φορέα απαιτείται ενίσχυση.

Στους πίνακες δίνεται η «κατώτερη» στάθμη, για την οποία επαρκεί το κάθε στοιχείο. Πιο συγκεκριμένα, ο χαρακτηρισμός του κάθε μέλους γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο:

- Όταν η στροφή χορδής στο άκρο ενός μέλους είναι μικρότερη της στροφής διαρροής, τότε το άκρο επαρκεί για όλες τις στάθμες επιτελεστικότητας, με «κατώτερη» στάθμη την «Προστασία ζωής» (Π.Ζ)
- Όταν η στροφή χορδής στο άκρο ενός μέλους είναι μικρότερη του 75% της στροφής αστοχίας και μεγαλύτερη της στροφής διαρροής, τότε το άκρο επαρκεί για τις στάθμες επιτελεστικότητας «Σημαντικές Βλάβες» (Σ.Β) και «Οιωνοί Κατάρρευση» (Ο.Κ), με «κατώτερη» στάθμη τις «Σημαντικές Βλάβες» (Σ.Β).
- Όταν η στροφή χορδής στο άκρο ενός μέλους είναι μικρότερη της στροφής αστοχίας και μεγαλύτερη του 75% της στροφής αστοχίας, τότε το άκρο επαρκεί μόνο για τη στάθμη επιτελεστικότητας «Οιωνοί Κατάρρευση» (Ο.Κ).
- Όταν η στροφή χορδής στο άκρο ενός μέλους είναι μεγαλύτερη της στροφής αστοχίας, τότε το μέλος έχει αστοχήσει (ΑΣΤΟΧΙΑ) και δεν επαρκεί για καμία στάθμη Επιτελεστικότητας.

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	
ΣΤΡΟΦΗ ΧΟΡΔΗΣ	ΕΠΑΡΚΕΙΑ
$\theta < \theta_{\gamma}$	Π.Β
$\theta_{\gamma} < \theta < \theta_{\alpha} * 0.75$	Σ.Β
$\theta_{\alpha} * 0.75 < \theta < \theta_{\alpha}$	Ο.Κ
$\theta > \theta_{\alpha}$	ΑΣΤΟΧΙΑ

Πίνακας 4.1. Κατάταξη στοιχείων

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΔΟΚΩΝ

Ως στόχος σχεδιασμού υιοθετήθηκε ο στόχος, που αντιστοιχεί στην στάθμη επιτελεστικότητας «Σημαντικές βλάβες». Έτσι, όσες δοκοί δεν επαρκούν για αυτή την στάθμη επιτελεστικότητας, θα κριθούν επισκευαστέες.

### 4.3.2. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΦΟΡΕΑ

#### 4.3.2.1. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ADRS ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΦΟΡΕΑ

Τα βασικά αποτελέσματα της ανελαστικής στατικής ανάλυσης παρουσιάζονται στις Εικόνες 4.7. και 4.8. , που ακολουθούν σε μορφή διαγραμμάτων A.D.R.S.

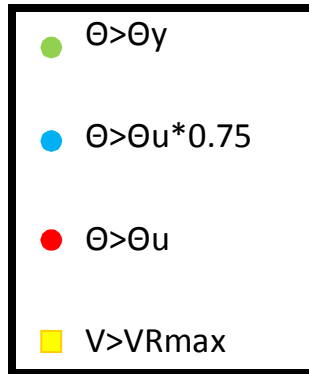
Σε κάθε καμπύλη αντίστασης σημειώνονται τα σημεία, που αντιστοιχούν στην υπέρβαση κάποιας «Στάθμης Επιτελεστικότητας». Όσον αφορά την τοποθέτηση πάνω στο φάσμα αντίστασης των σημείων αυτών, εφαρμόστηκε η ακόλουθη διαδικασία. Λόγω των αβεβαιοτήτων, που χαρακτηρίζουν τη διαδικασία και την δυσκολία να καθοριστεί το ακριβές σημείο, στο οποίο η κατασκευή ως σύνολο εισέρχεται σε κάθε στάθμη, η διαδικασία έγινε με βάση μια συντηρητική παραδοχή. Σύμφωνα με την παραδοχή αυτή, θεωρήθηκε ότι ο φορέας φτάνει σε κάποια στάθμη επιτελεστικότητας, όταν το πρώτο κατακόρυφο στοιχείο (υποσύλωμα, τοίχωμα) του φορέα φτάσει την οριακή στροφή χορδής για την αντίστοιχη στάθμη, καθώς η αστοχία των κατακόρυφων στοιχείων είναι κρισιμότερη.

Επιπλέον, δίνονται αποτελέσματα για αποτίμηση κατά Ευρωκώδικα 8-Μέρος 3 για όλο τον φορέα με τη μορφή εικόνων, που αντιστοιχούν στη στοχευόμενη μετακίνηση. Χρησιμοποιείται ο εξής συμβολισμός:

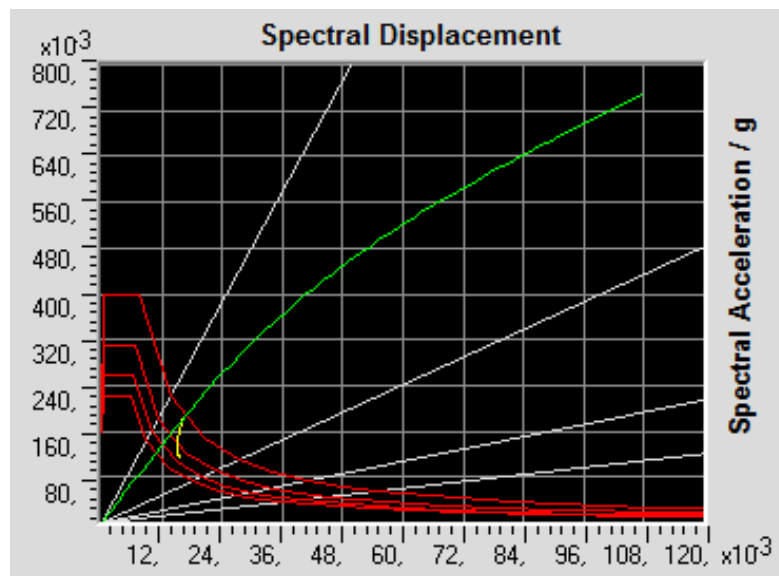
- Πράσινος κύκλος: Υπέρβαση στάθμης επιτελεστικότητας «Περιορισμός βλαβών» κατά Ευρωκώδικα 8-Μέρος 3, σε κάμψη (πλάστιμος τρόπος αστοχίας) σε κάποιο άκρο στοιχείου.
- Μπλε κύκλος: Υπέρβαση στάθμης επιτελεστικότητας «Σημαντικές βλάβες» κατά Ευρωκώδικα 8-Μέρος 3, σε κάμψη (πλάστιμος τρόπος αστοχίας) σε κάποιο άκρο στοιχείου.
- Κόκκινος κύκλος: Υπέρβαση στάθμης επιτελεστικότητας «Οιονεί κατάρρευση» κατά Ευρωκώδικα 8-Μέρος 3, σε κάμψη (πλάστιμος τρόπος αστοχίας) σε κάποιο άκρο στοιχείου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

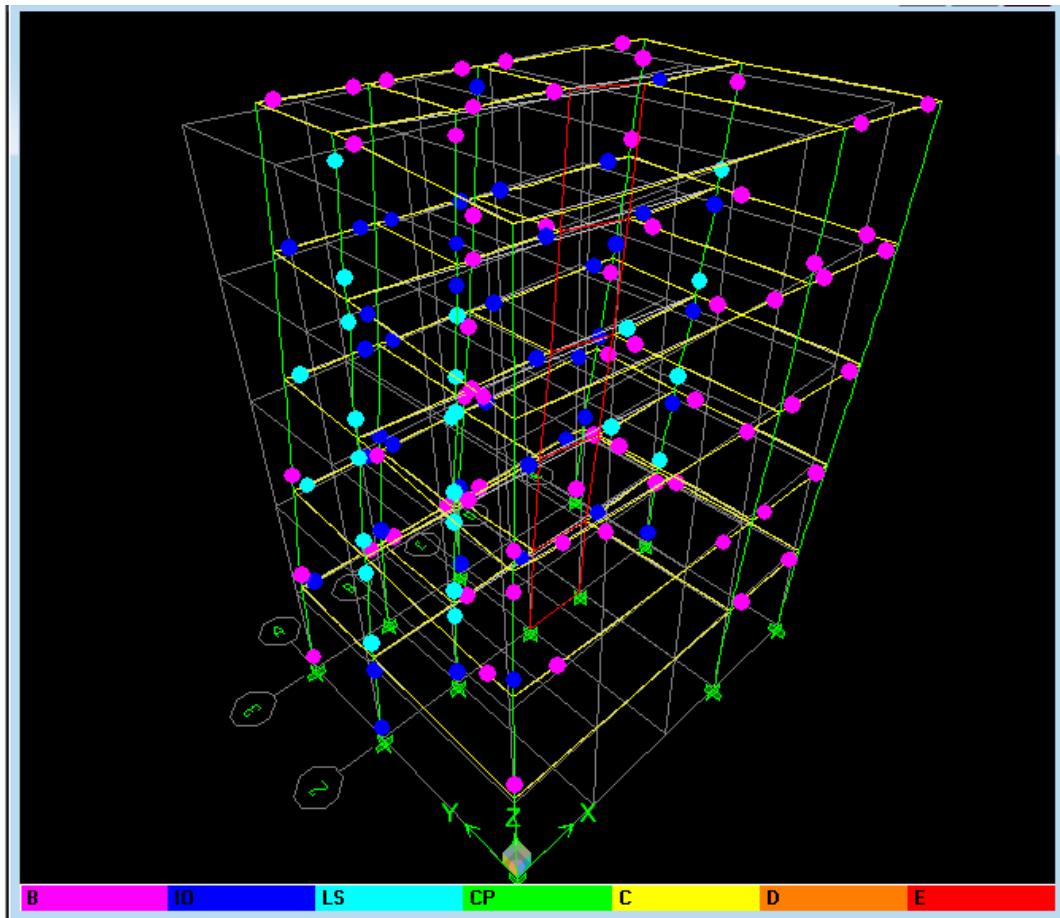
- Κίτρινος τετράγωνο: Υπέρβαση στάθμης επιτελεστικότητας «Οιονεί κατάρρευση» κατά Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3, σε διάτμηση (ψαθυρός τρόπος αστοχίας) σε κάποιο στοιχείο.



Εικόνα 4.6. Συμβολισμοί υπέρβασης σταθμών επιτελεστικότητας



Εικόνα 4.7. Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας φορέα



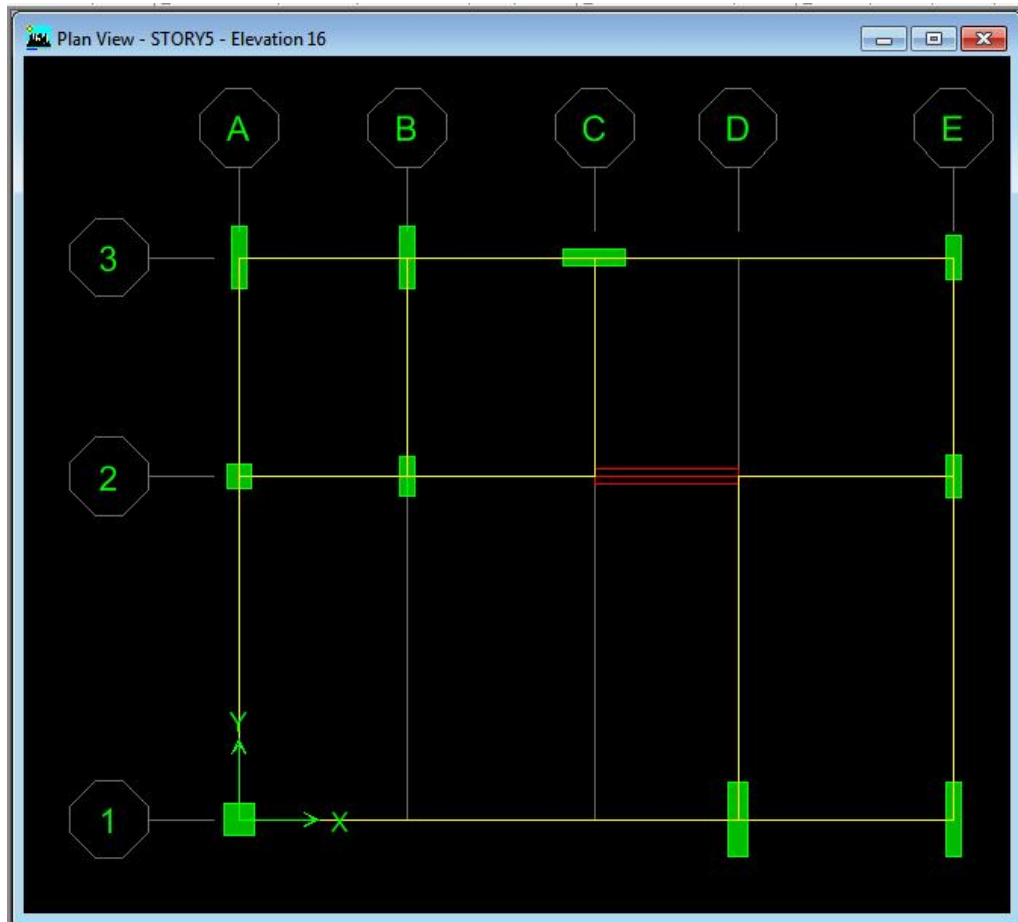
Εικόνα 4.8. Πλάγια όψη φορέα, που αντιστοιχεί στην στοχευόμενη μετακίνηση

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΩΝ  
ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ  
ΥΠΟ ΑΥΞΑΝΟΜΕΝΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ  
ΦΟΡΤΙΑ

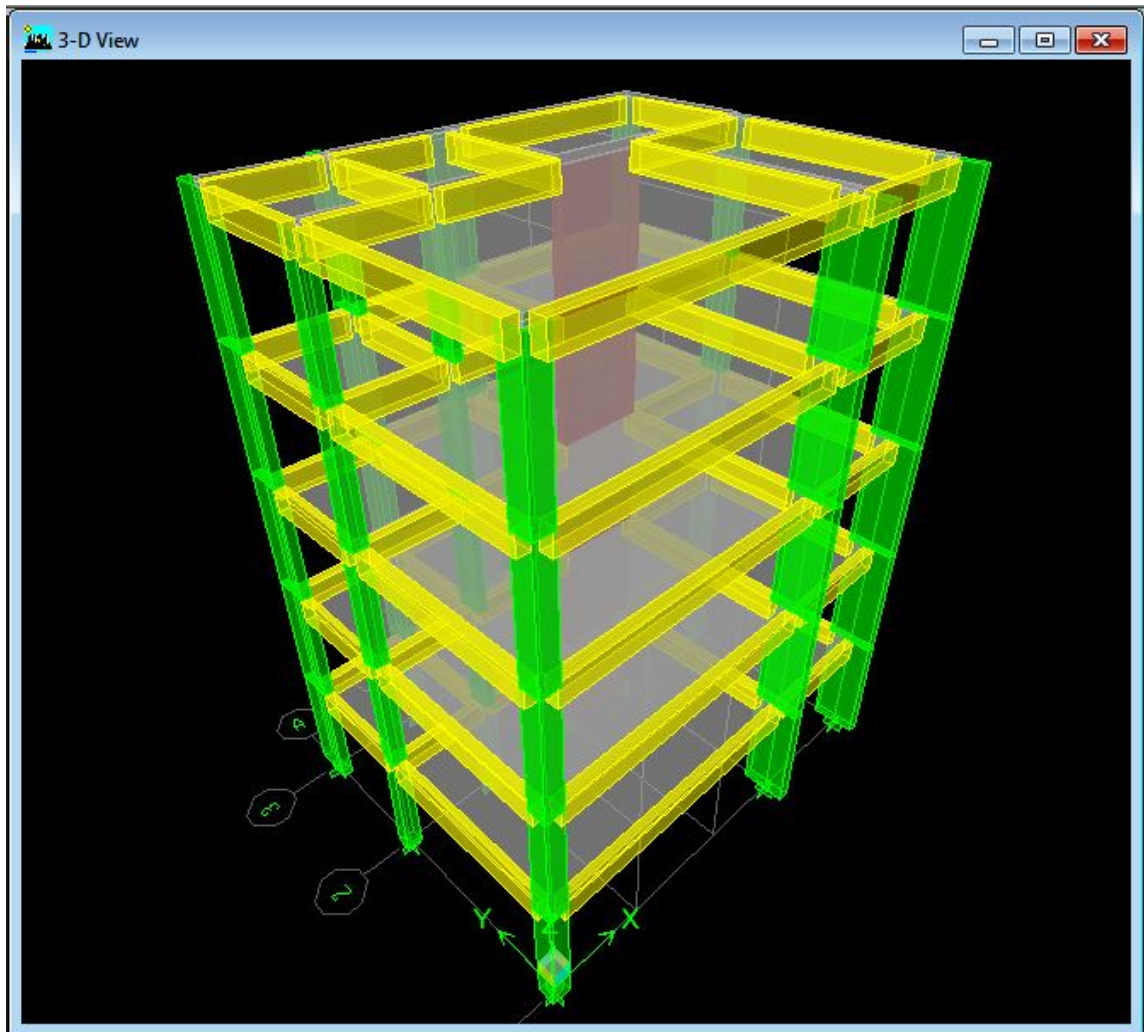
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### 5.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΑΡΧΙΚΟΥ ΦΟΡΕΑΣ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο αρχικός φορέας της κατασκευής (Εικόνα 5.1.α., 5.1.β.), όπως αυτός απεικονίζεται στα εγκεκριμένα σχέδια της Πολεοδομίας, τα οποία παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α.



Εικόνα 5.1.α. Αρχικός φορέας

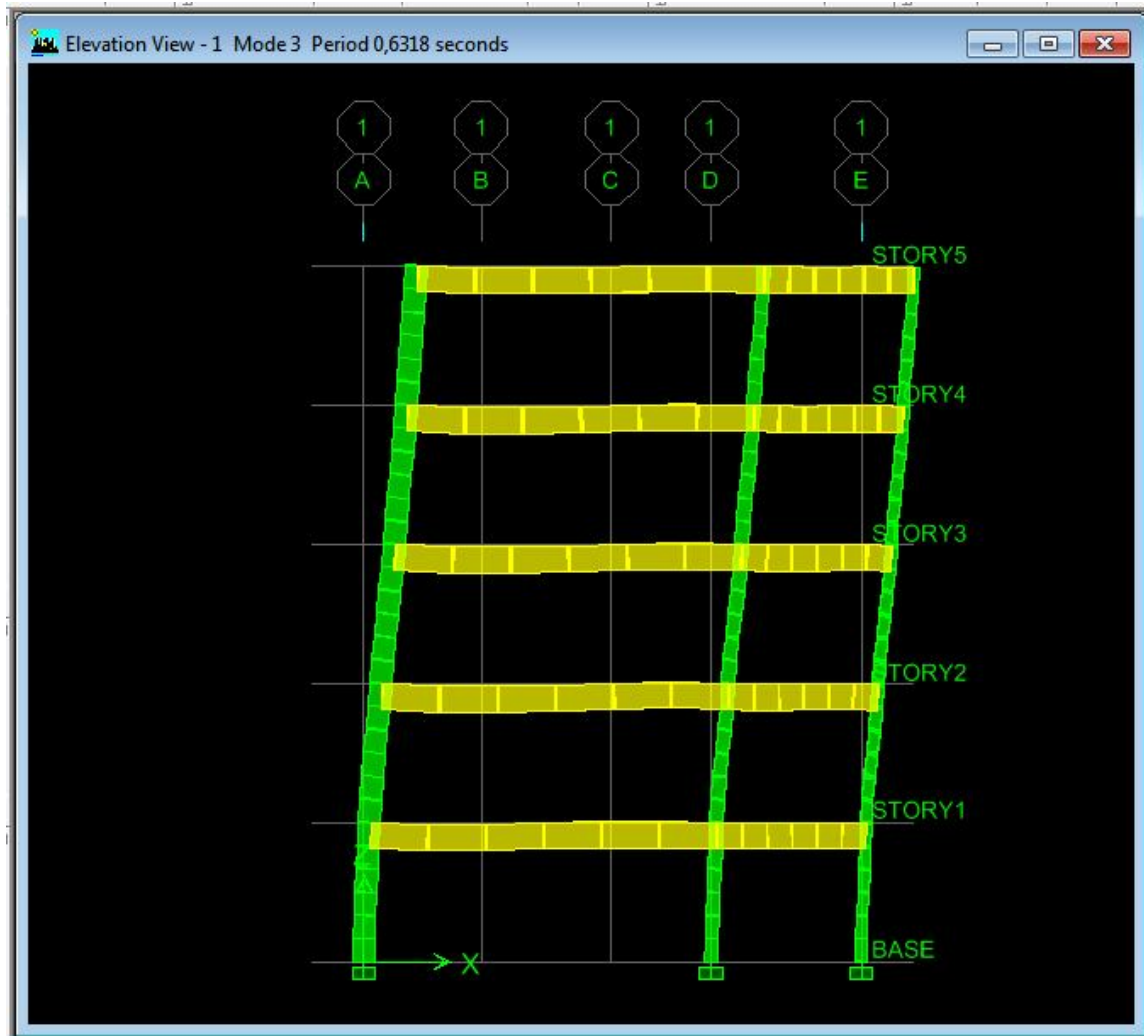


Εικόνα 5.1.β. 3D Απεικόνιση αρχικού φορέα

Κατά την διάρκεια της στατικής ανελαστικής ανάλυσης (*Pushover*), ο φορέας αρχίζει να παρουσιάζει τις πρώτες πλαστικές αρθρώσεις, τόσο σε δοκούς όσο και σε υποστυλώματα, (Εικόνα 5.1.δ.), κινούμενος κατά την X διεύθυνση επηρεασμένος από την 3<sup>η</sup> ιδιομορφή (Εικόνα 5.1.γ.).



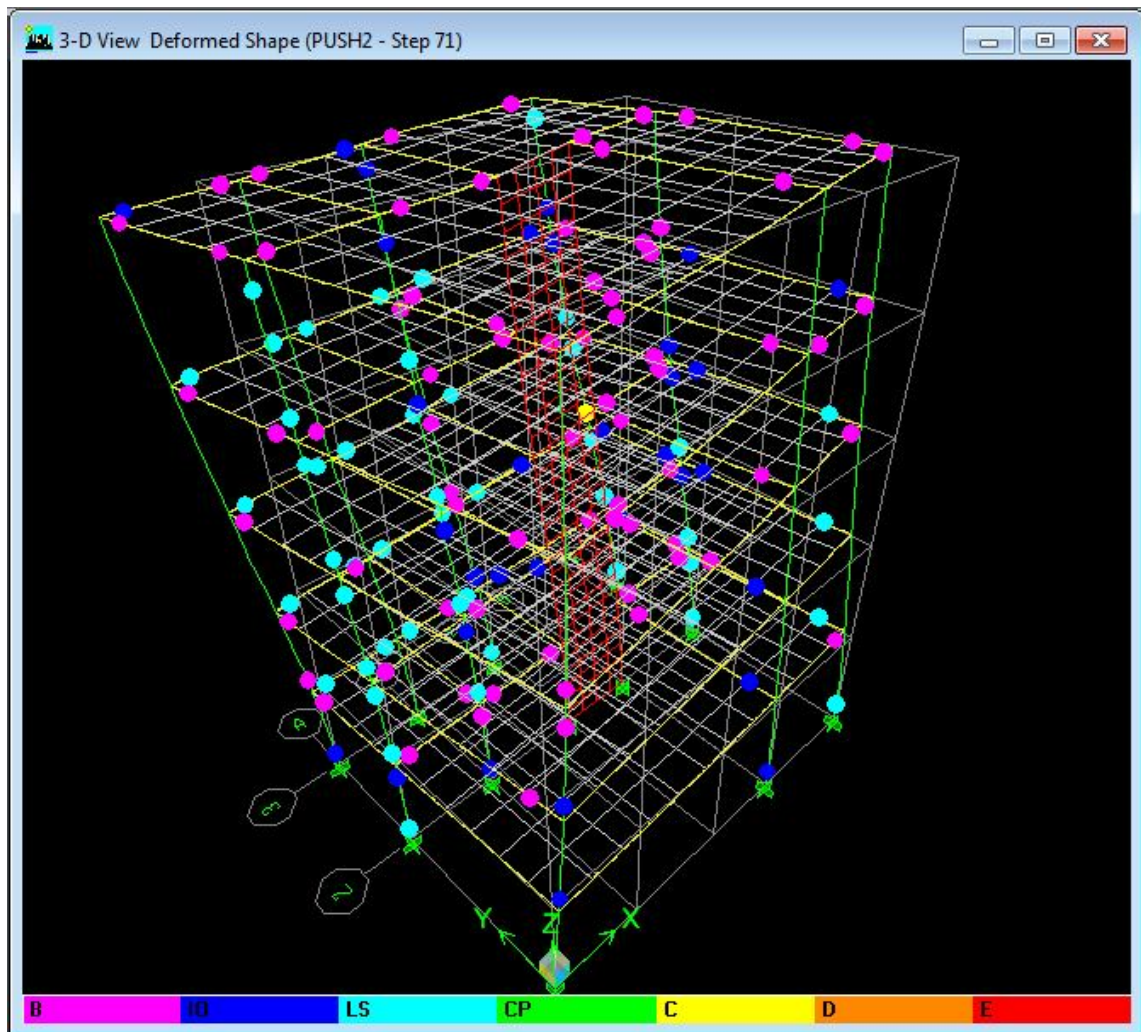
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



Εικόνα 5.1.γ. Κίνηση υπό την 3η ιδιομορφή

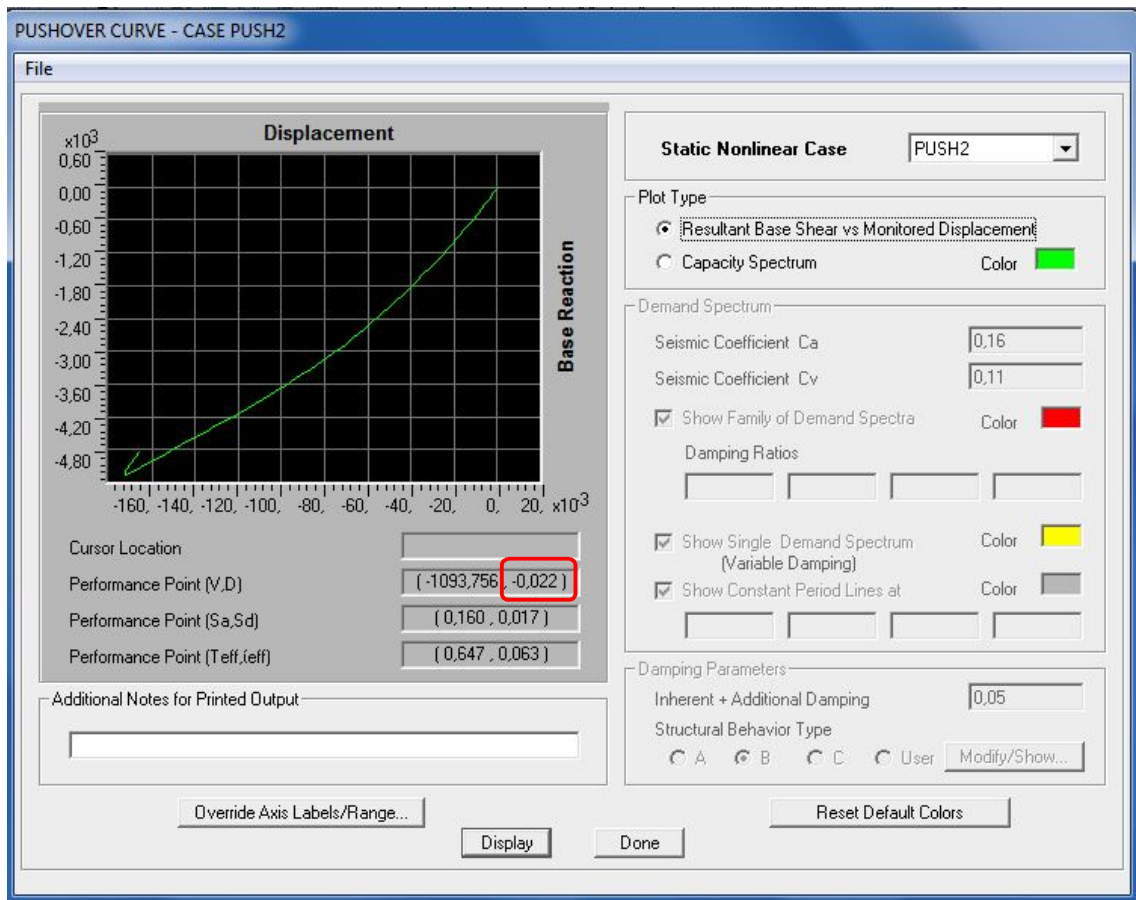
Εν συνεχεία της διαδικασίας, εμφανίζεται το πρώτο σημείο κρίσιμης αστοχίας (κίτρινου χρώματος) σε υποσύλωμα (Εικόνα 5.1.δ.), όπως επίσης και το σημείο στοχευόμενης μετακίνησης-σημείο επιτελεσματικότητας (Εικόνα 5.1.ε.).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



Εικόνα 5.1.δ. Κρίσιμη αστοχία υποστυλώματος

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

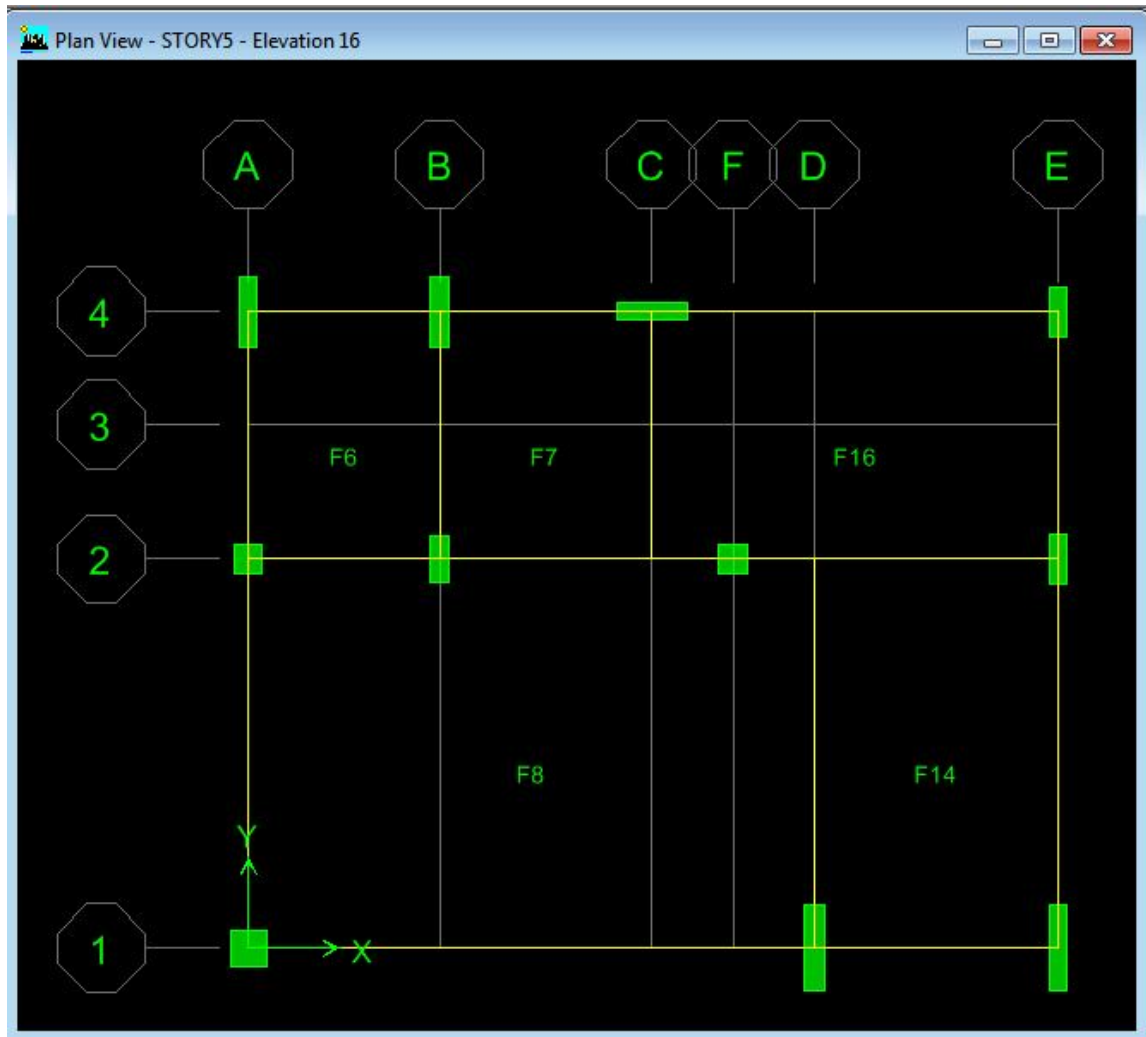


Εικόνα 5.1.ε. Καμπύλη Pushover αρχικού φορέα

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ:

Το κτίριο μας παρουσιάζει μεγάλη στρέψη στην πρώτη ιδιομορφή, γεγονός που πιθανώς οφείλεται στον ισχυρό πυρήνα του ανελκυστήρα.

Γι' αυτό το λόγο, θα εξετάσουμε την συμπεριφορά του φορέα αντικαθιστώντας το τοίχειο του ασανσέρ με ένα υποστύλωμα 40x40, όπως φαίνεται στην κάτοψη της Εικόνας 5.1.στ..



Εικόνα 5.1.στ. Πειραματικός φορέας με υποσύλωμα 40x40

#### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ:

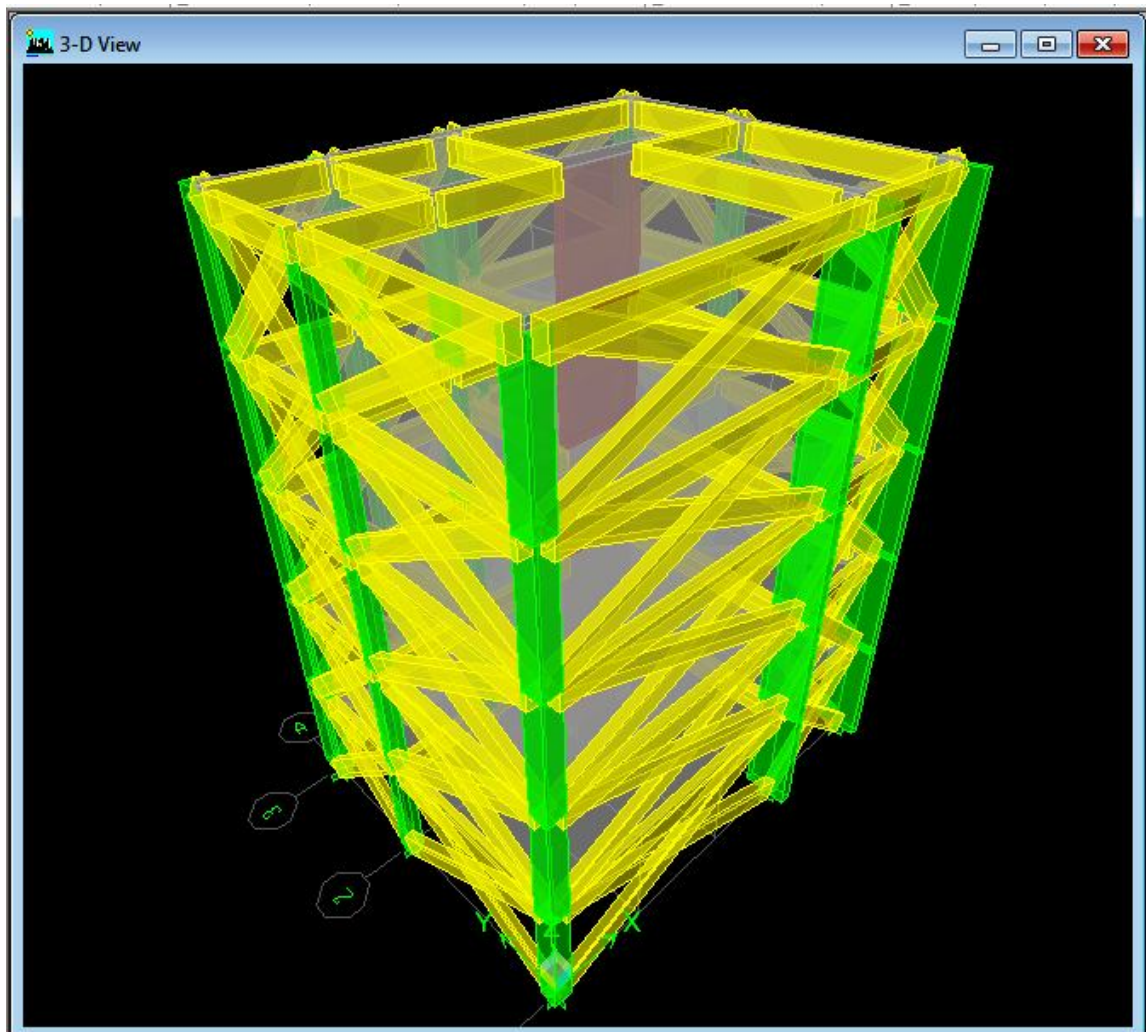
Συγκρίνοντας την συμπεριφορά του κάθε φορέα ανά περίπτωση, βλέπουμε ότι ενώ στο μοντέλο με τον ισχυρό πυρήνα παρουσιάζει στρεπτικές ιδιομορφές (1<sup>η</sup> ιδιομορφή), στην δεύτερη περίπτωση έχουμε μόνο μετακινησιακές ιδιομορφές. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι όντως η στρεπτική συμπεριφορά του οφείλεται στην μεγάλη δυσκαμψία του ανελκυστήρα.

Για τον παραπάνω λόγο, σχεδιασμός προς αποφυγή είναι η τοποθέτηση ισχυρών πυρήνων, όπως αυτό του ανελκυστήρα, περιμετρικά του κτιρίου, λόγω μετατόπισης του κέντρου βάρους αυτού από το κέντρο βάρους της ολικής κατασκευής.

## 5.2. ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΗΣ

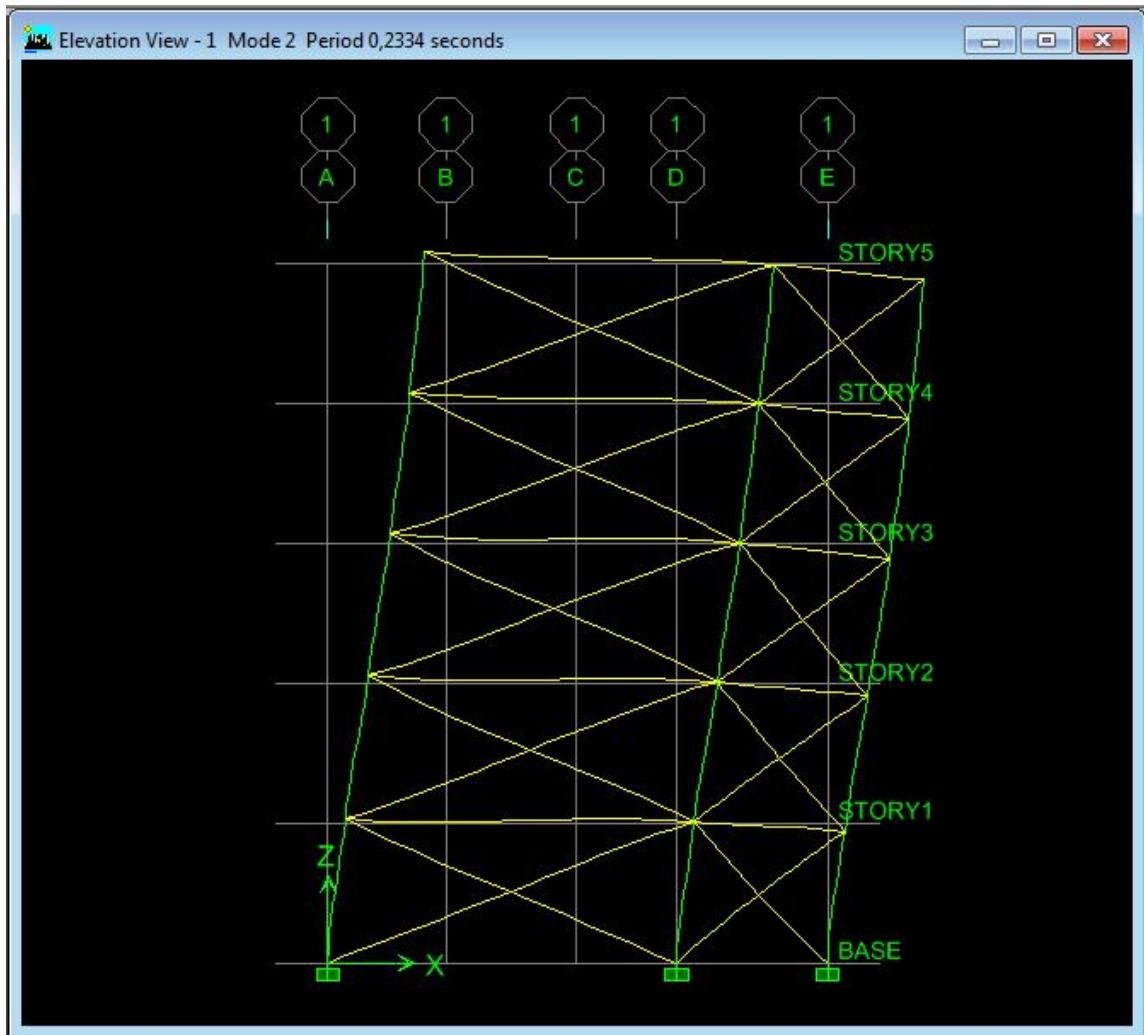
### 5.2.1. ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΛΗΡΟΥΣ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΗΣ

Για την καλύτερη προσομοίωση του φορέα τοποθετήθηκε η μπατική τοιχοπλήρωση σε μορφή θλιπτήρων, όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 5.2.1.α.).



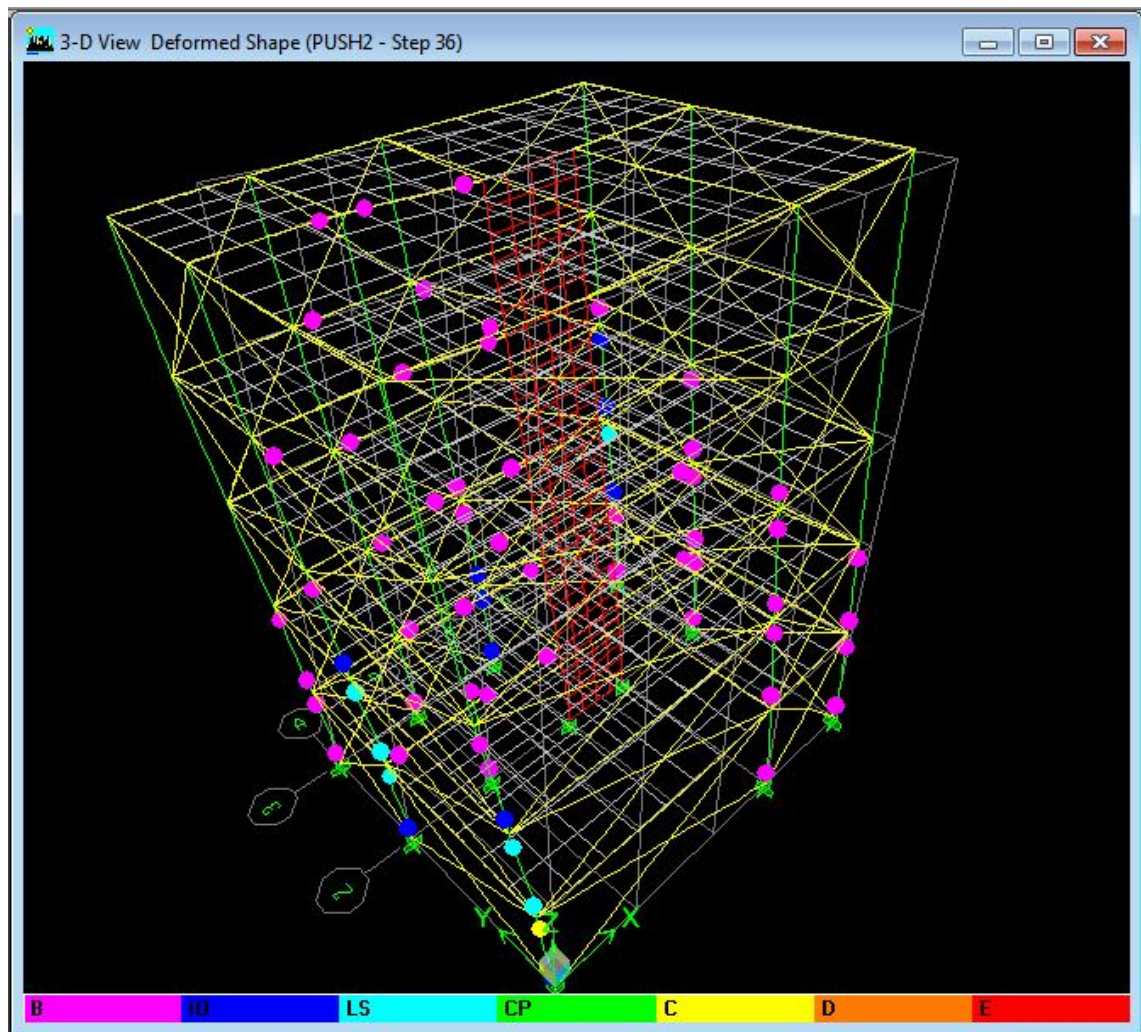
Εικόνα 5.2.1.α. 3D Απεικόνιση αρχικού φορέα με τοιχοπλήρωση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



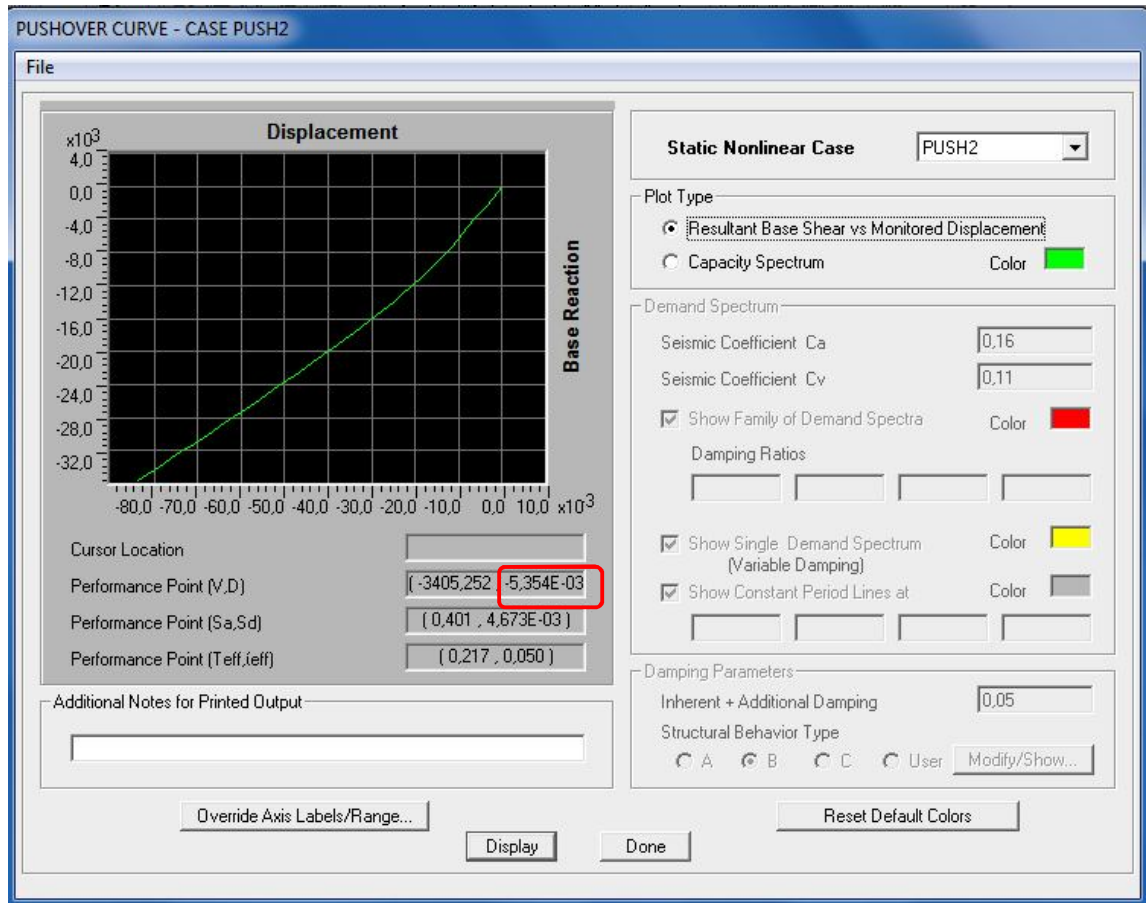
Εικόνα 5.2.1.β. Κίνηση υπό την 2η ιδιομορφή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



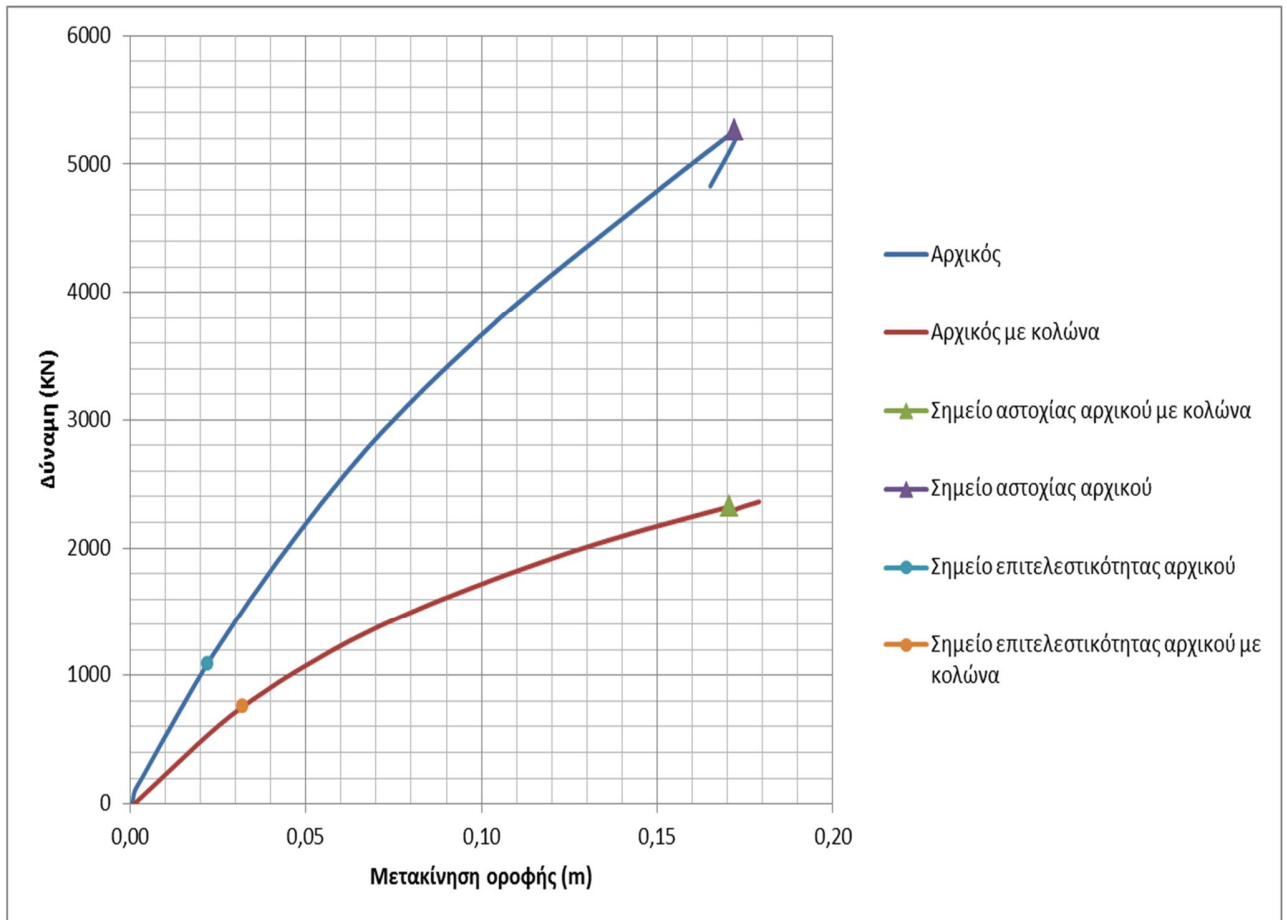
Εικόνα 5.2.1.γ. Κρίσιμη αστοχία υποστυλώματος

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



Εικόνα 5.2.1.δ. Καμπύλη Pushover αρχικού φορέα με τοιχοπλήρωση





Εικόνα 5.2.1.ε. Συγκριτικό διάγραμμα καμπυλών αναλύσεων

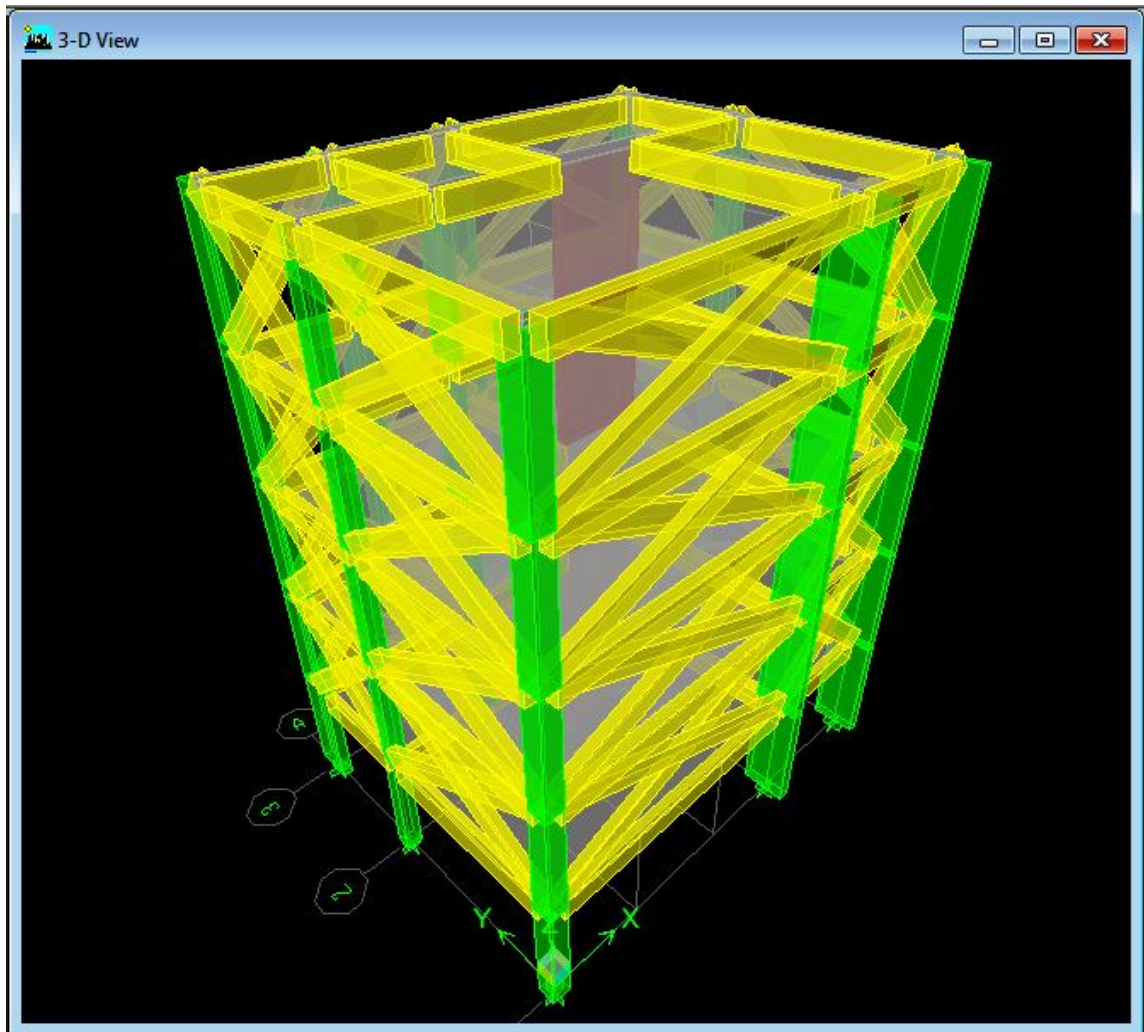
#### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ:

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα, η τοιχοπλήρωση της κατασκευής λειτουργεί ωφέλιμα στην δυσκαμψία του κτιρίου, διότι είναι σε θέση να λάβει τον εφελκυσμό και να κατανήμει το φορτίο ομαλότερα στον φορέα.

#### 5.2.2. ΕΠΙΡΡΟΗ ΡΙΛΟΤΙΣ

Για την καλύτερη αναπαράσταση του υφιστάμενου κτιρίου, προσθέσαμε στον αρχικό φορέα, ΡΙΛΟΤΙΣ, η επίδραση της οποίας εν συνεχεία θα συγκριθεί με αυτήν του προηγούμενου μοντέλου και του αρχικού.

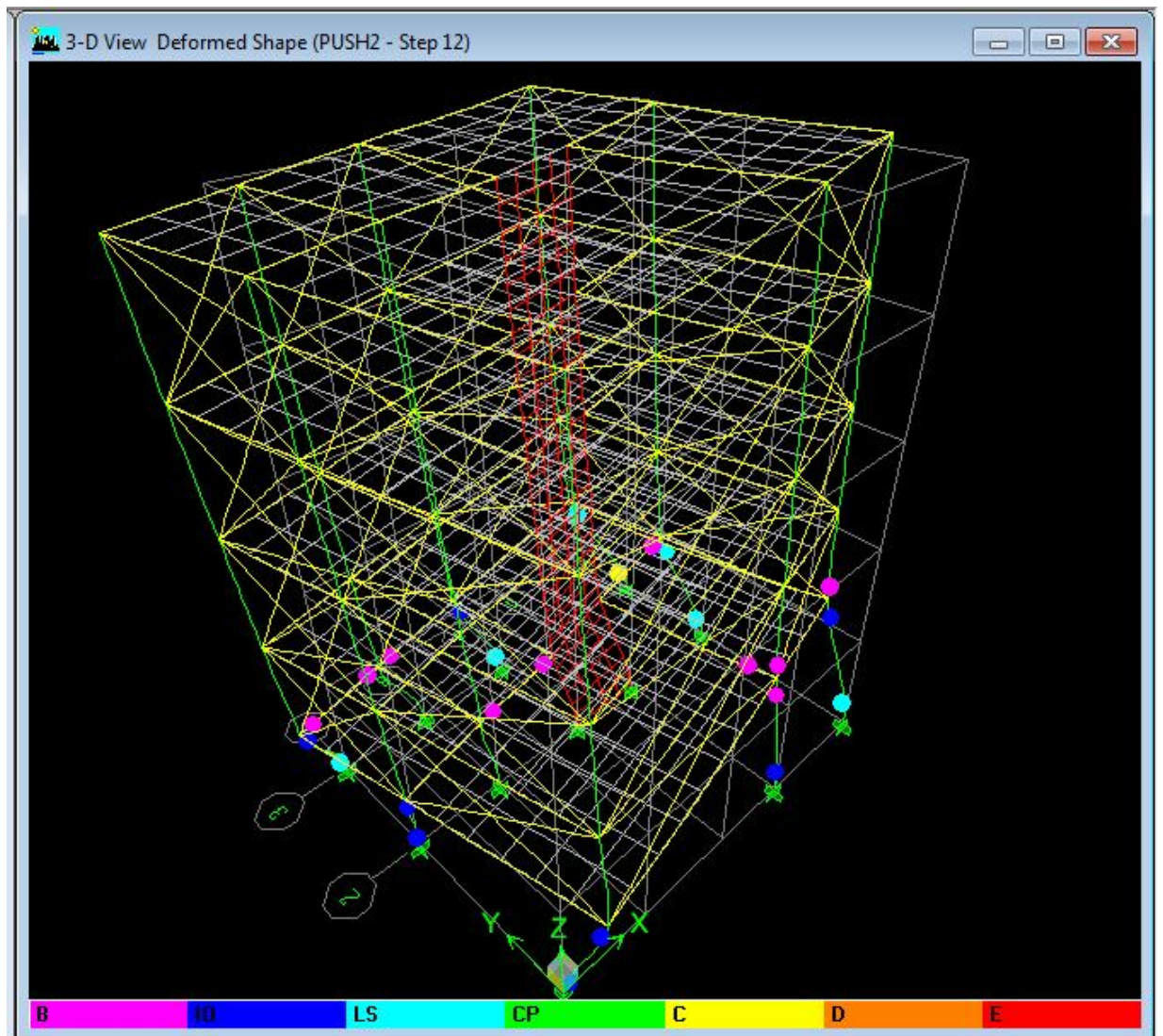
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



Εικόνα 5.2.2.α. 3D Απεικόνιση αρχικού φορέα με pilotis

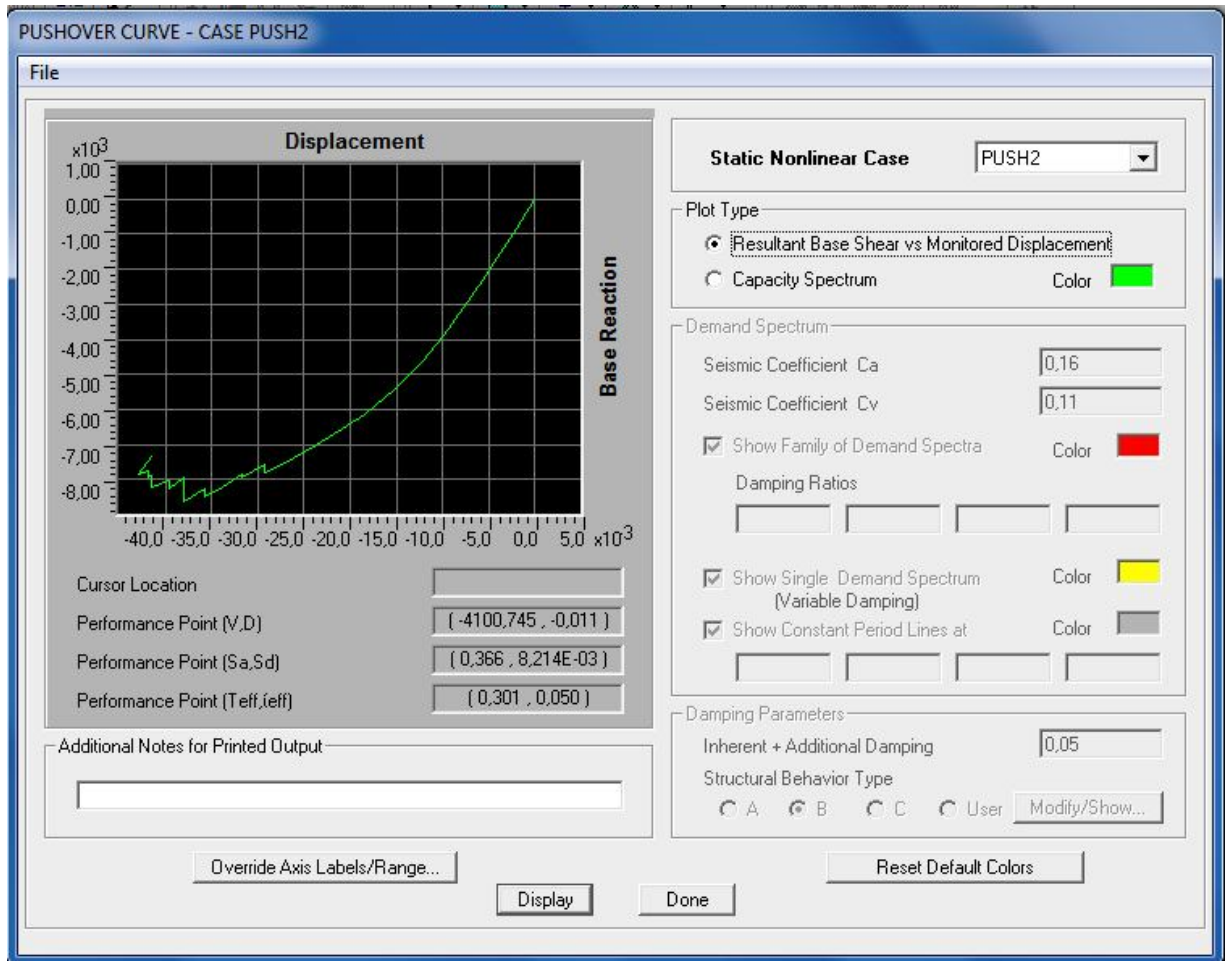


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

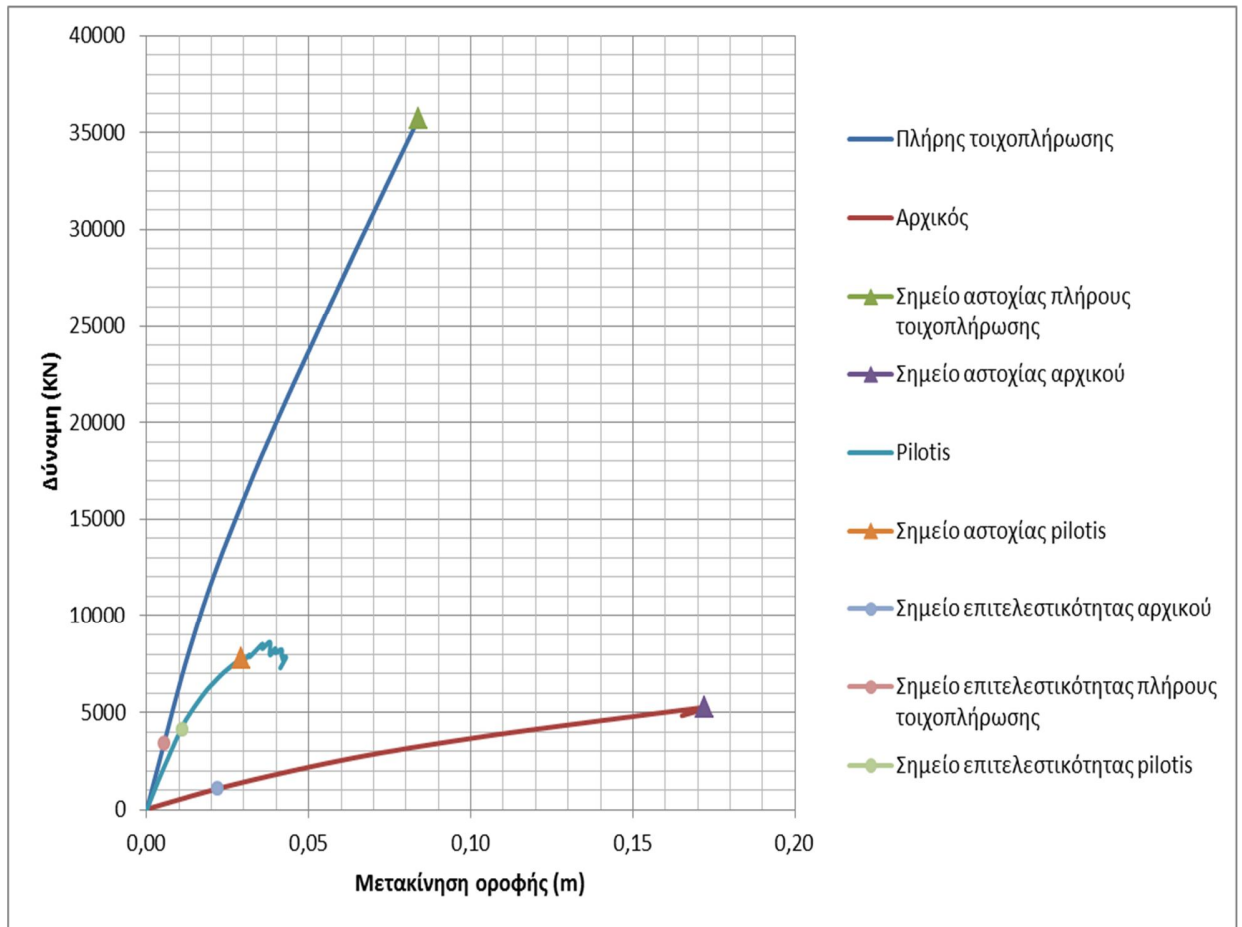


Εικόνα 5.2.2.γ. Κρίσιμη αστοχία υποστυλώματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



Εικόνα 5.2.2.6. Καμπύλη Pushover αρχικού φορέα με pilotis



Εικόνα 5.2.2.ε. Συγκριτικό διάγραμμα καμπυλών αναλύσεων

**ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ:**

Παρατηρούμε ότι, η συμπεριφορά του φορέα με pilotis είναι δυσμενέστερη από αυτή με τοιχοπλήρωση, πράγμα, που γίνεται εμφανές από τα παραπάνω διαγράμματα (Εικόνα 5.2.2.ε.). Στο σημείο αυτό επισημαίνεται ότι, το αποτέλεσμα της σύγκρισης ήταν αναμενόμενο, λόγω ισχυρής ακαμψίας των πάνω ορόφων και τον σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων στο ισόγειο (πλαστικός-μαλακός όροφος).

**5.3. ΕΠΙΡΡΟΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΣΤΗΝ ΟΡΟΦΗ**

- Φορτία δεξαμενής:

20 kN/m

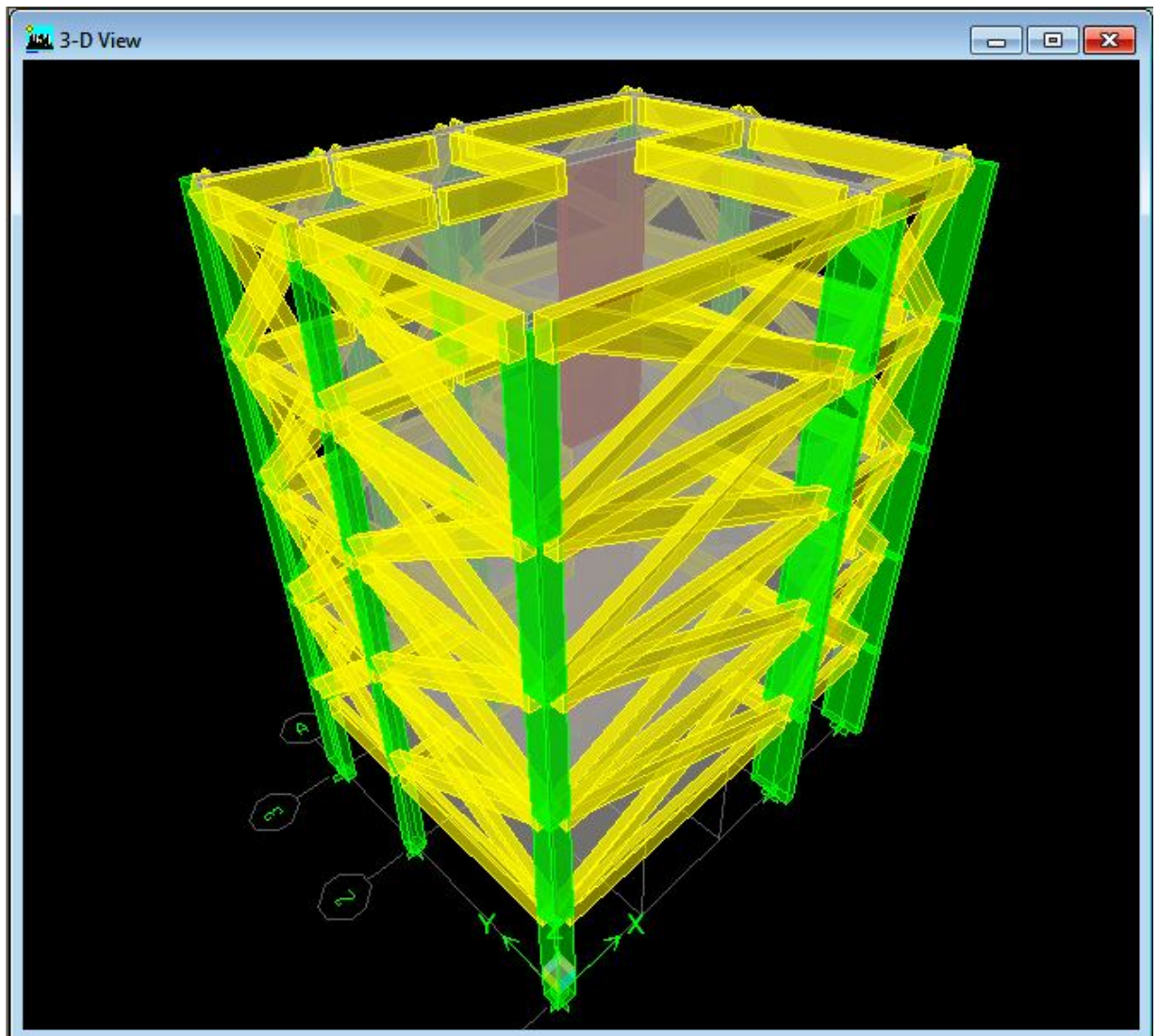
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

- Θέση δεξαμενής:

Πλάκα Π1

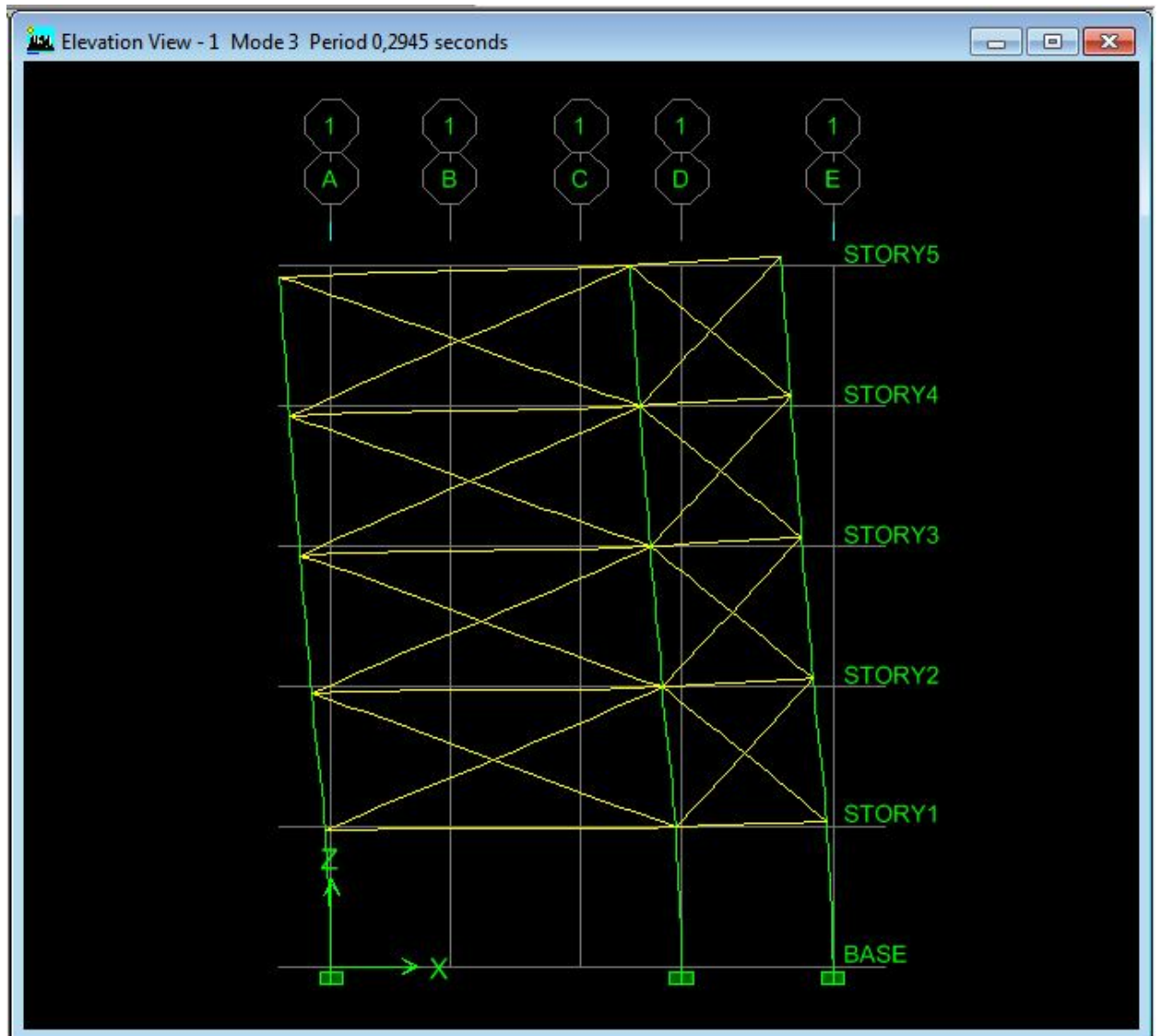
- Διαστάσεις Δεξαμενής:

$$8 \text{ m} \times 5,5 \text{ m} = 44 \text{ m}^2$$



Εικόνα 5.3.α. 3D Απεικόνιση αρχικού φορέα με δεξαμενή νερού

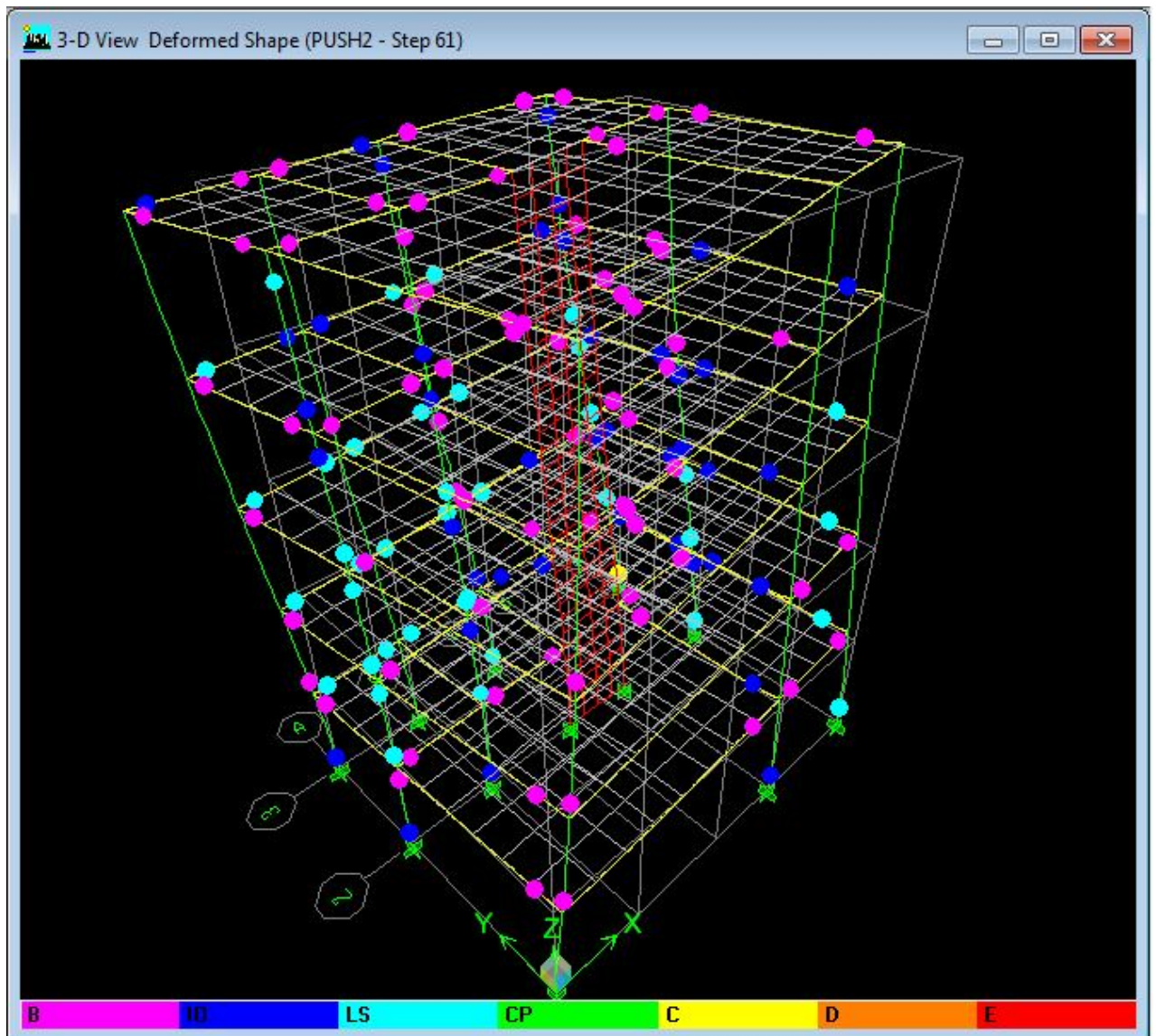
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



Εικόνα 5.3.β. Κίνηση υπό την 3η ιδιομορφή

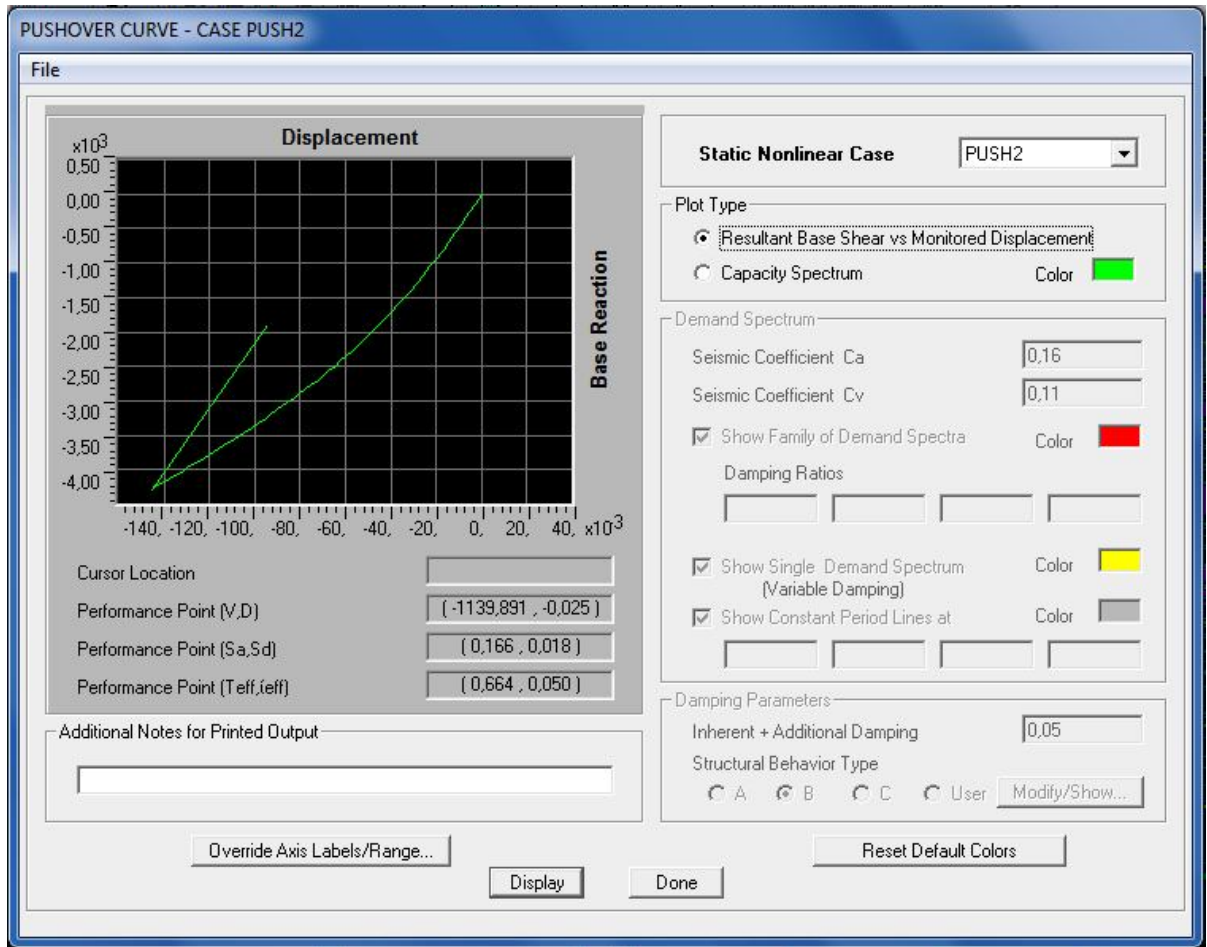


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



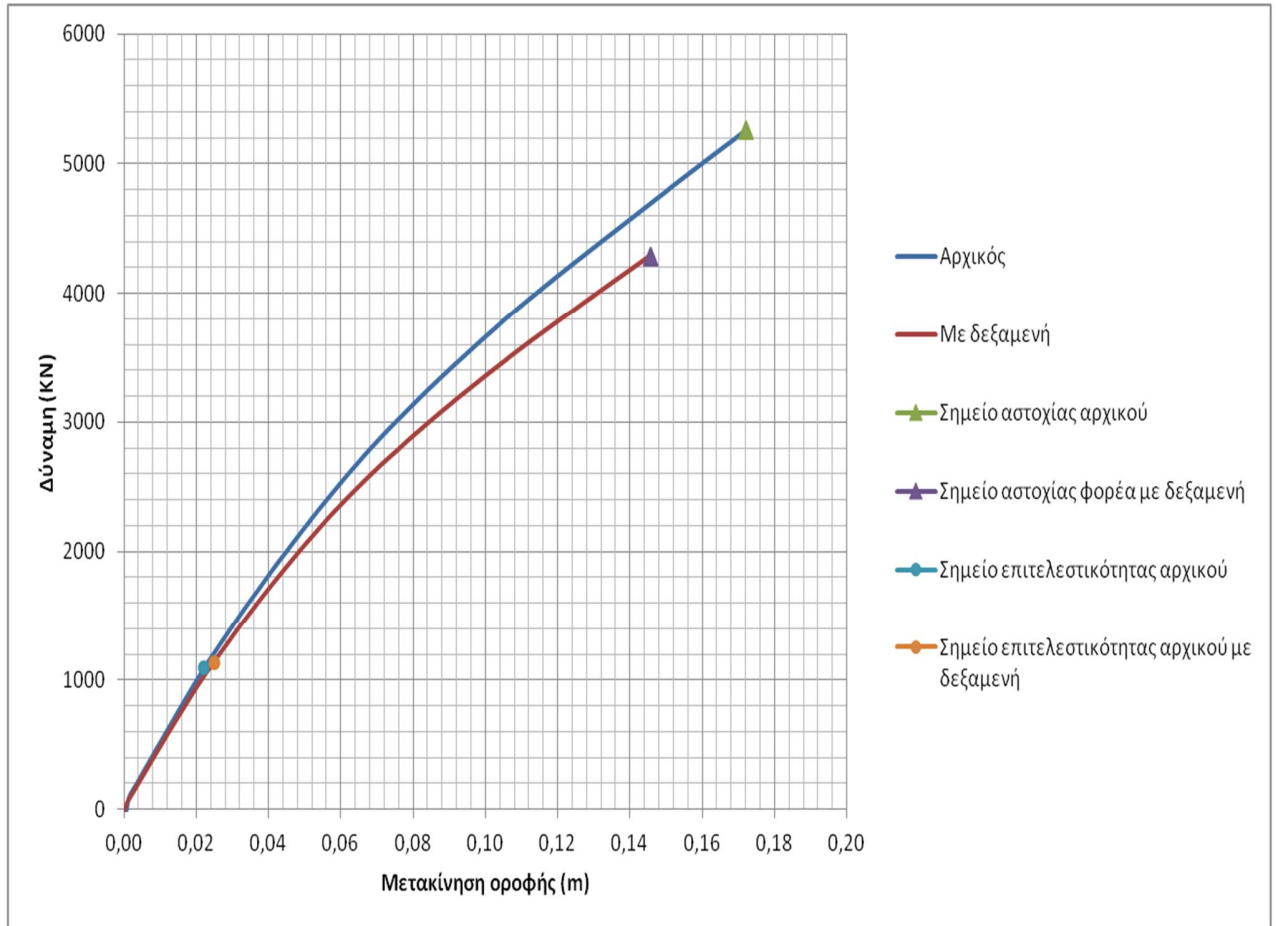
Εικόνα 5.3.γ. Κρίσιμη αστοχία υποστυλώματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



Εικόνα 5.3.δ. Καμπύλη Pushover αρχικού φορέα με δεξαμενή νερού

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



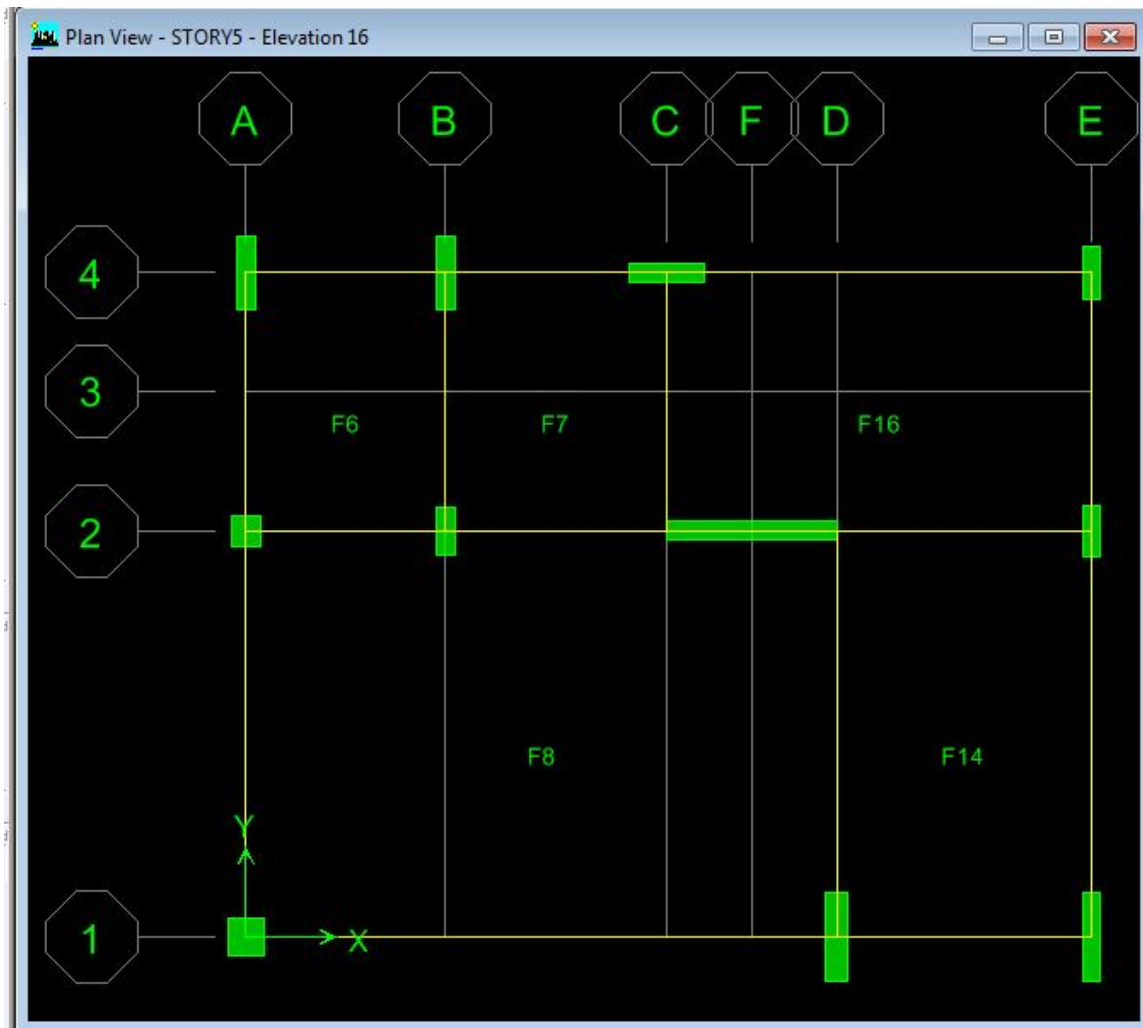
Εικόνα 5.3.ε. Συγκριτικό διάγραμμα καμπυλών αναλύσεων

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ:

Τα τελικά συμπεράσματα, που εξάγονται παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα (Εικόνα 5.3.ε.), είναι ότι ο φορέας με την προσθήκη δεξαμενής νερού στην οροφή, αν και με μικρή διαφορά, για την ίδια δύναμη αστοχεί σε μικρότερη μετακίνηση.

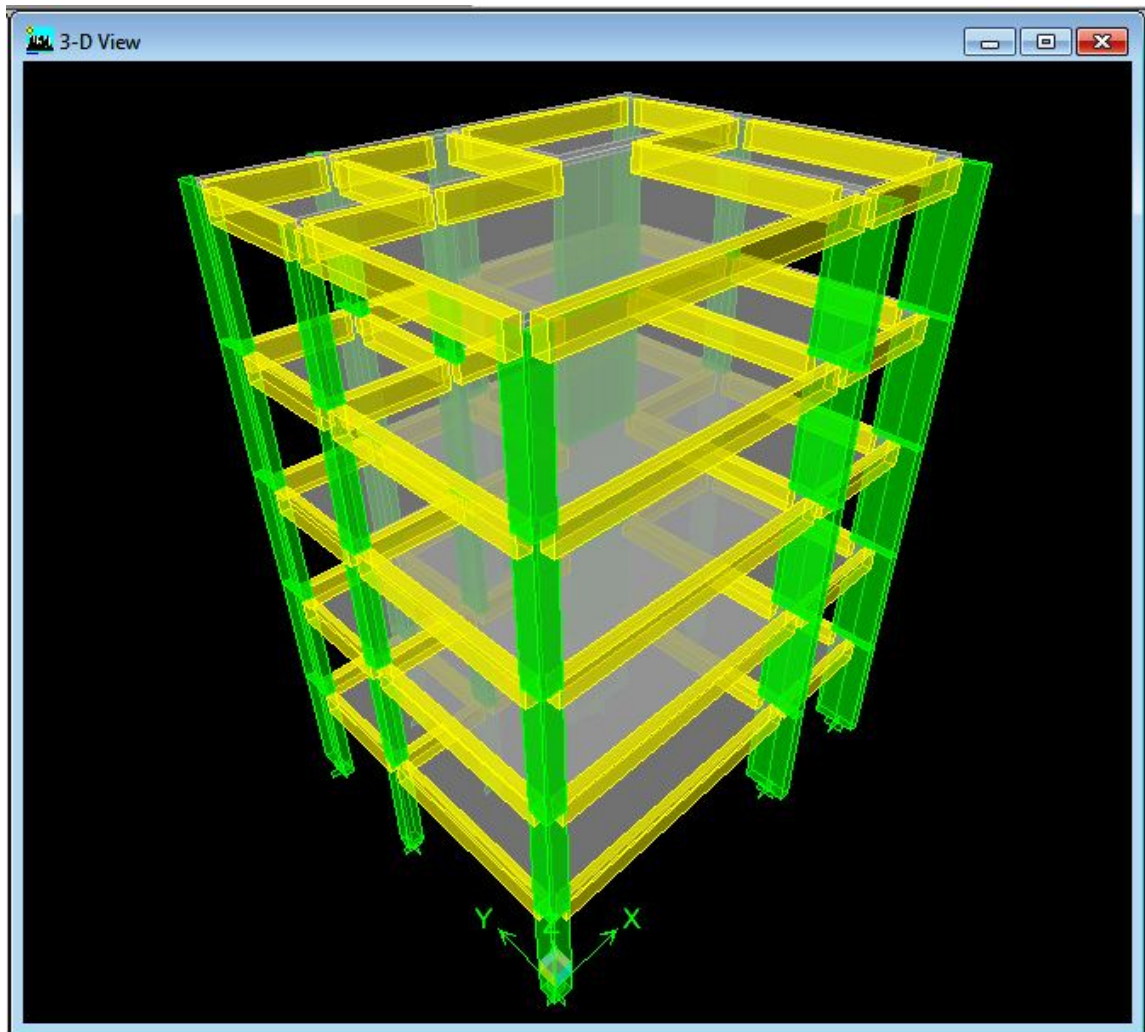
### 5.3. ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΑ ΥΠΟ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΜΟΡΦΗ

Στα πλαίσια της έρευνας για την συμπεριφορά του φορέα, αντικαθιστάμε το πεπερασμένο τοίχειο του ανελκυστήρα με γραμμικό ίδιων διαστάσεων.



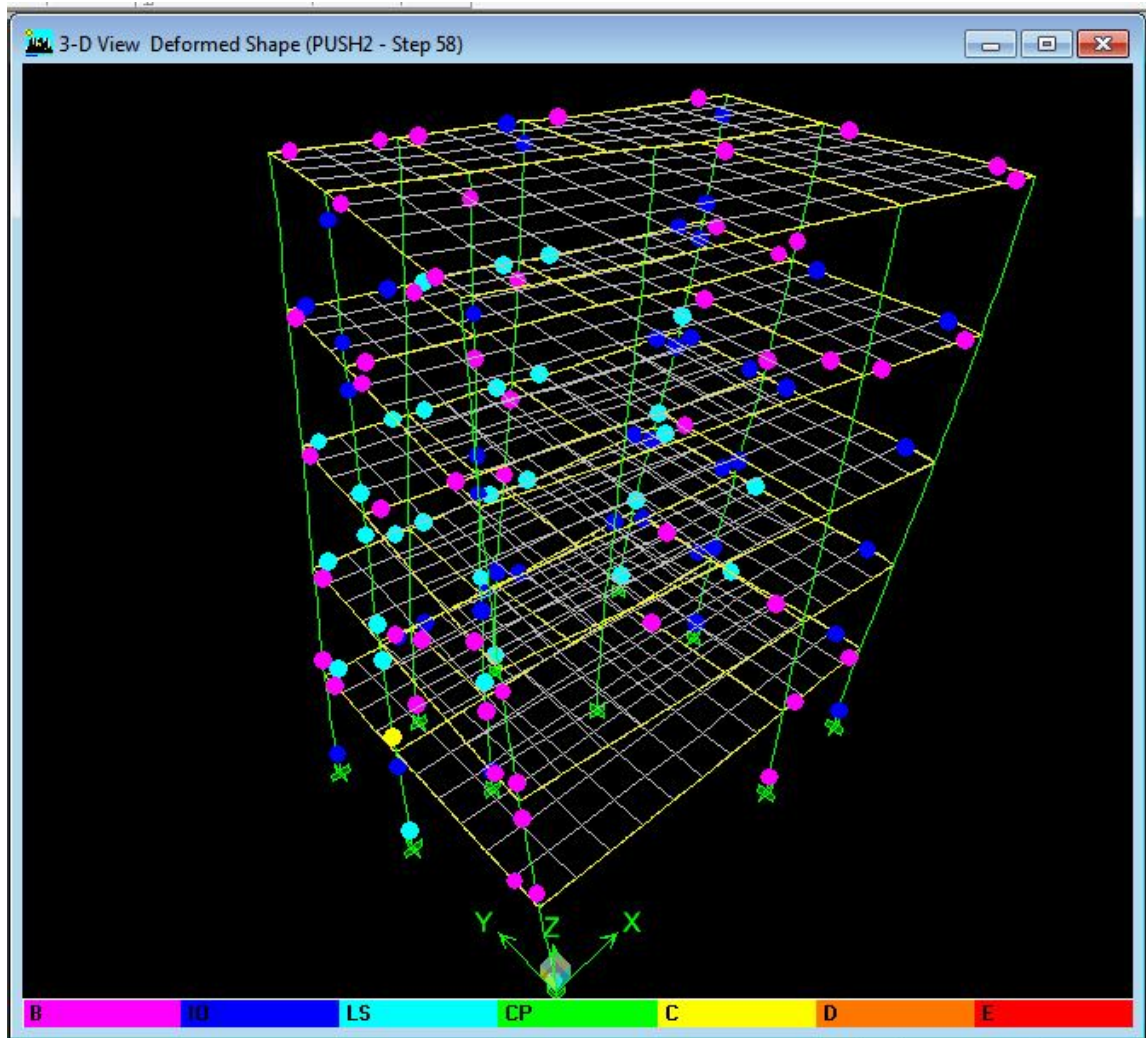
Εικόνα 5.4.α. Κάτοψη αρχικού φορέα με γραμμικό στοιχείο ασανσέρ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



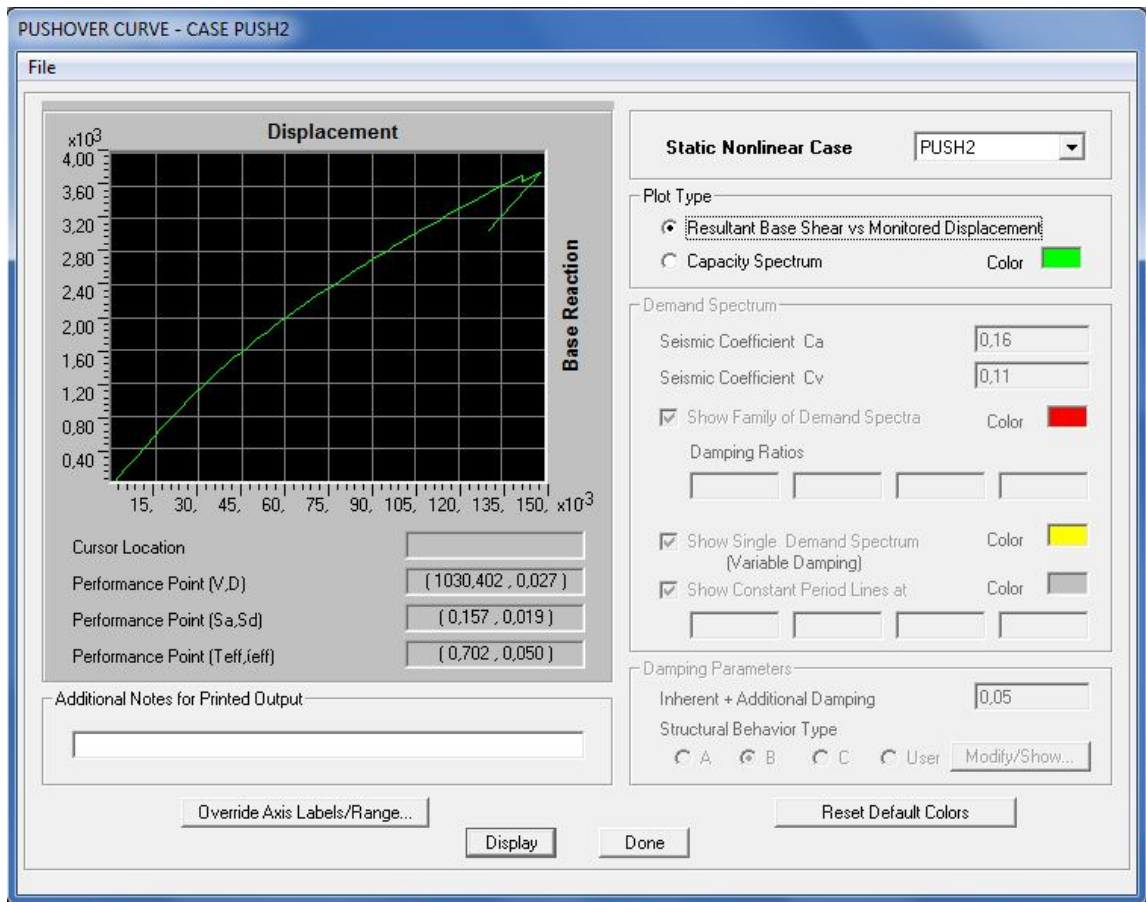
Εικόνα 5.4.β. 3D Απεικόνιση αρχικού φορέα με γραμμικό στοιχείο ασανσέρ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



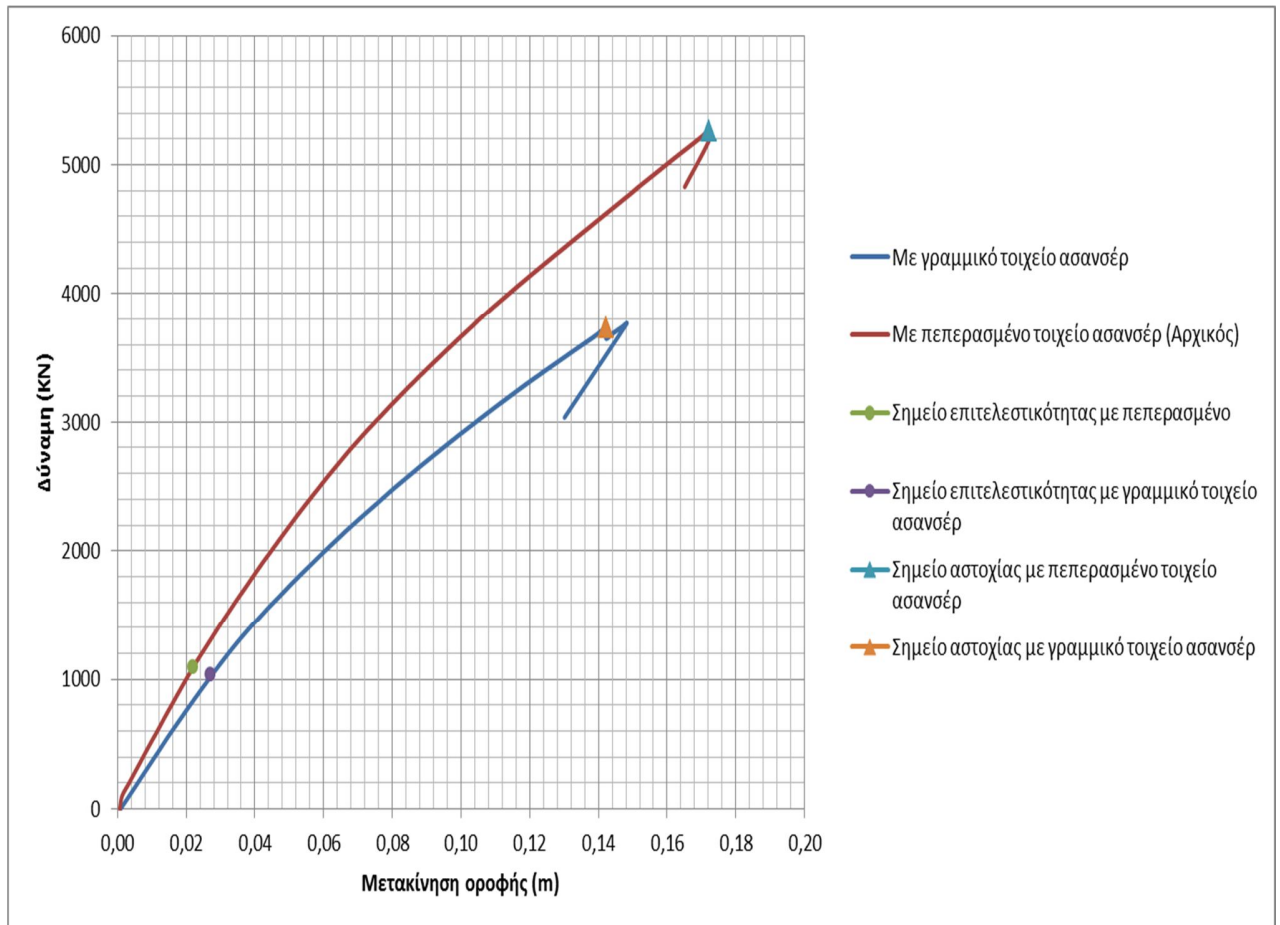
Εικόνα 5.4.γ. Κρίσιμη αστοχία υποστυλώματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



Εικόνα 5.4.δ. Καμπύλη pushover

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



Εικόνα 5.4.ε. Συγκριτικό διάγραμμα καμπυλών αναλύσεων

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ:

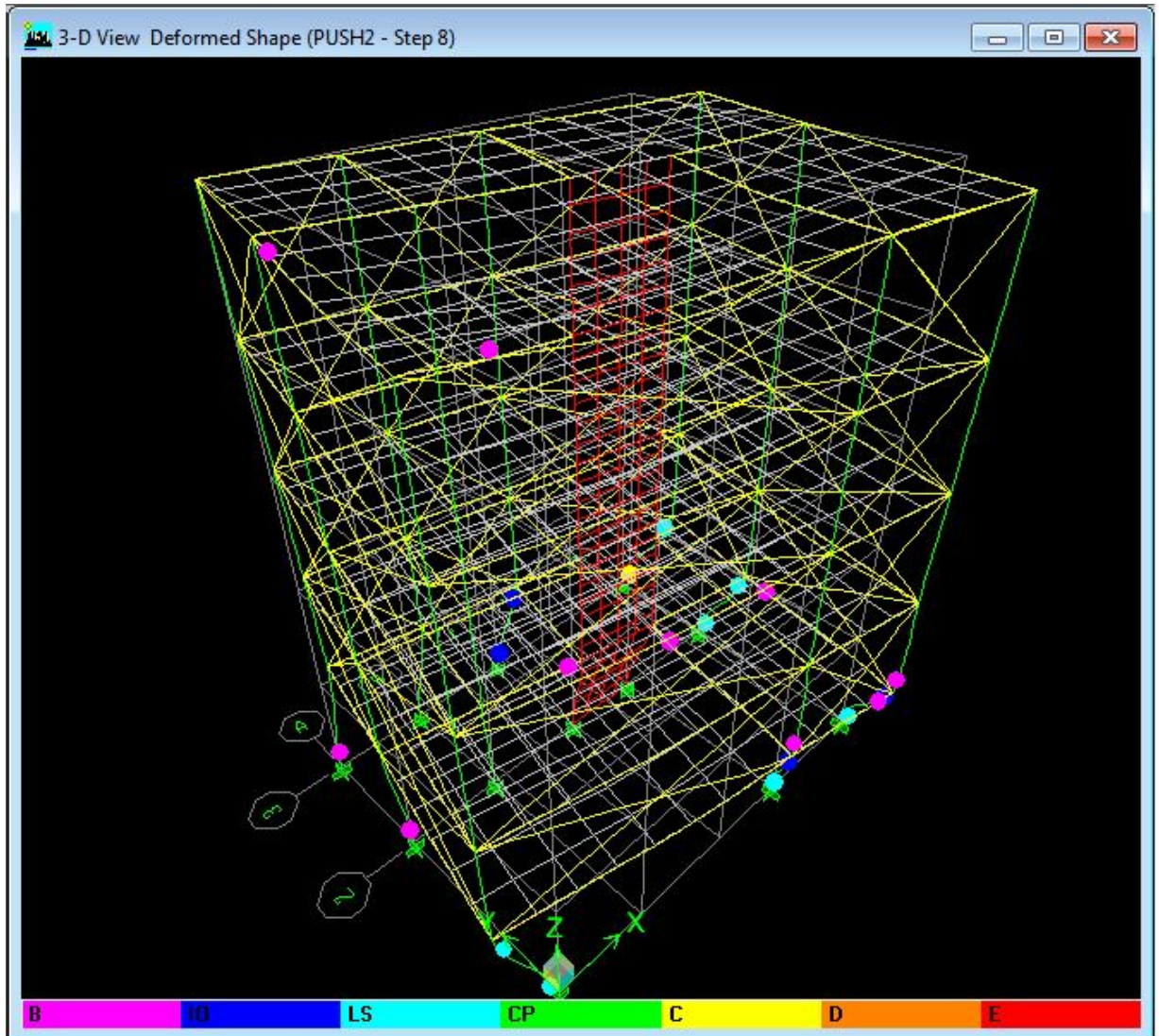
Όπως παρατηρούμε και από το παραπάνω διάγραμμα, η προσομοίωση του τοιχείου του ανασέρ με πεπερασμένο στοιχείο προσδίδει στον φορέα μεγαλύτερη αντοχή συγκριτικά με αυτήν του γραμμικού.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι μεν προσεγγιστική, αλλά μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα και έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα προβλήματα. Το μειονέκτημά της είναι οι αυξημένες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ, ιδίως όταν εφαρμόζεται σε σύνθετα μοντέλα. Αυτό όμως το μειονέκτημα ξεπεράστηκε τα τελευταία χρόνια χάρη στη ραγδαία ανάπτυξη των υπολογιστών.



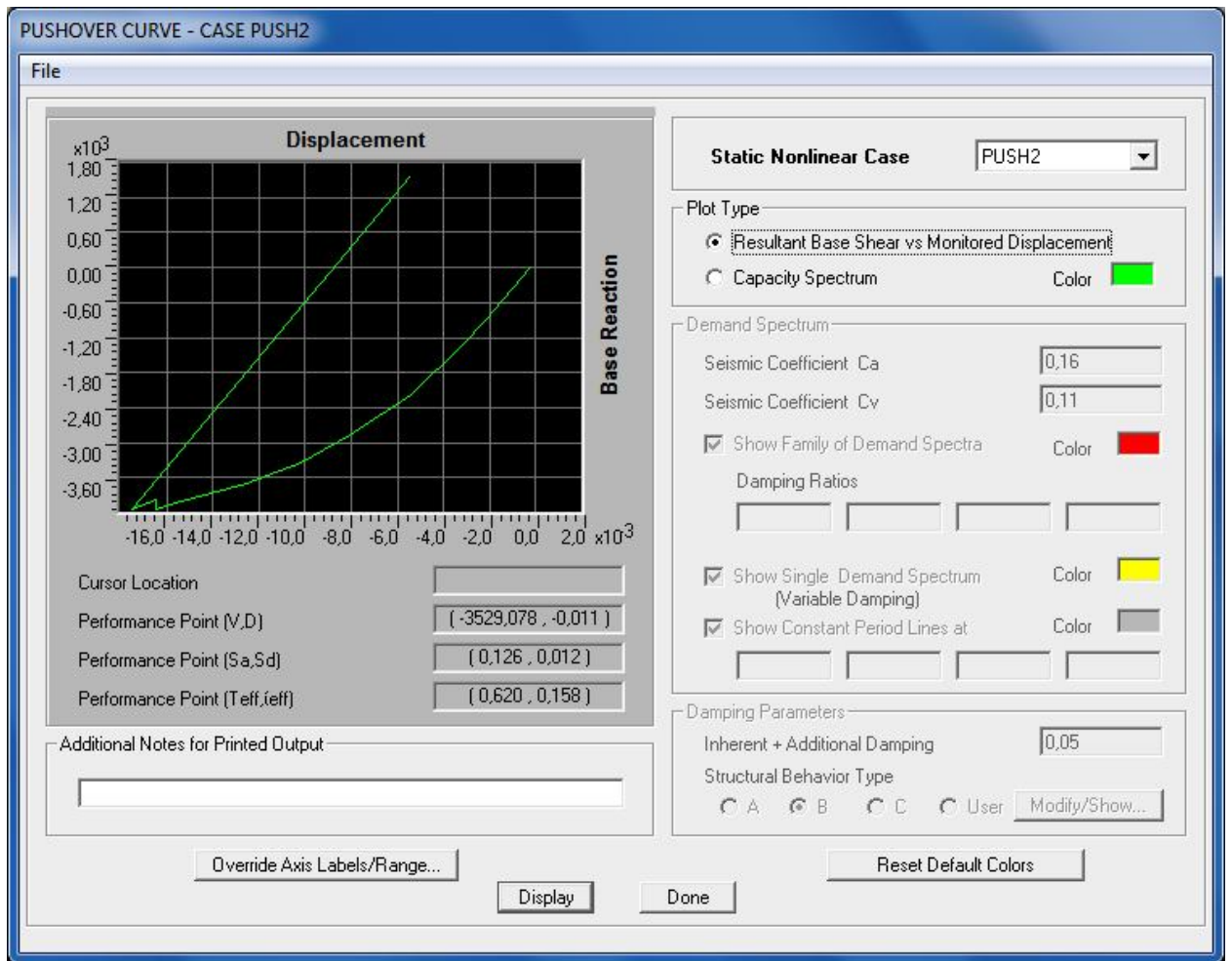
### 5.5. ΦΟΡΕΑΣ ΜΕ ΡΙΛΟΤΙΣ ΚΑΙ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΟΡΟΦΗ

Το μοντέλο, που πλησιάζει την υφιστάμενο φορέα της κατασκευής, συμπεριλαμβάνει τόσο την ριλοτίς, όσο και την δεξαμενή νερού στην οροφή του. Θα εξετάσουμε την επάρκεια αυτού του φορέα, έτσι ώστε να ελέγξουμε αν απαιτείται κάποιο είδος ενίσχυσης.



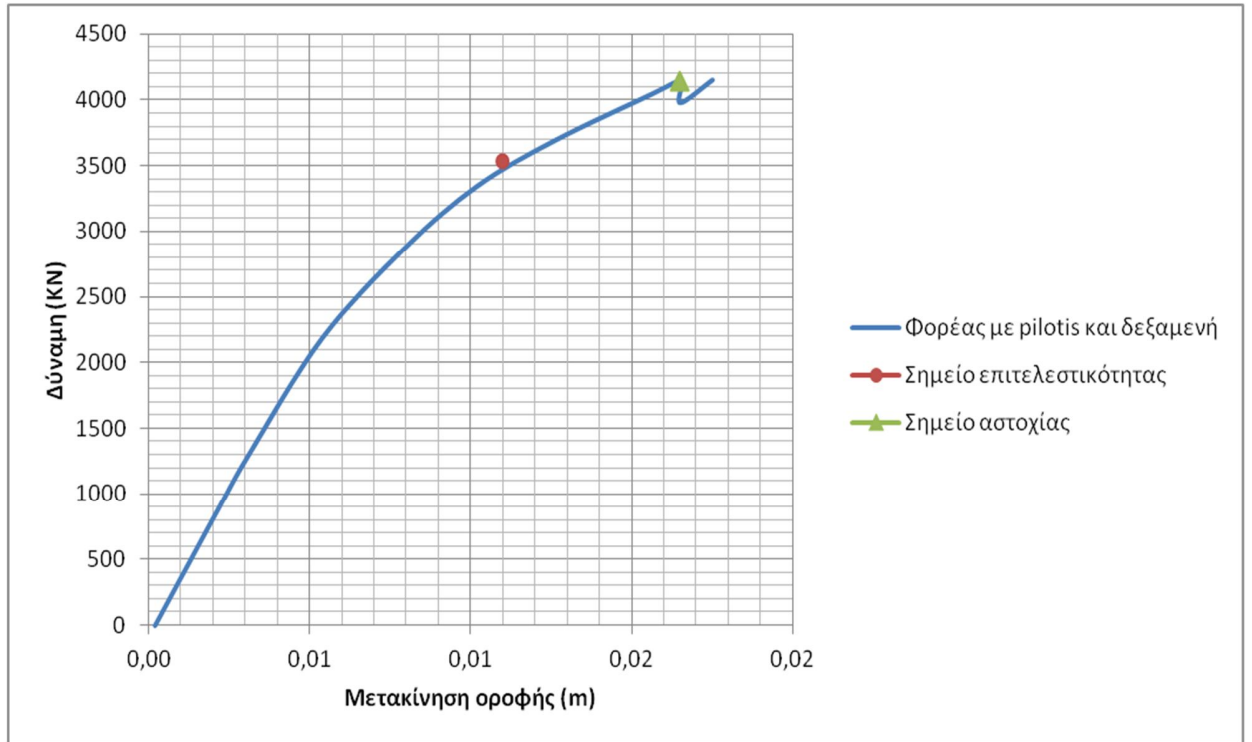
Εικόνα 5.5.α. Κρίσιμη αστοχία υποστυλώματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



Εικόνα 5.5.β. Καμπύλη pushover

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

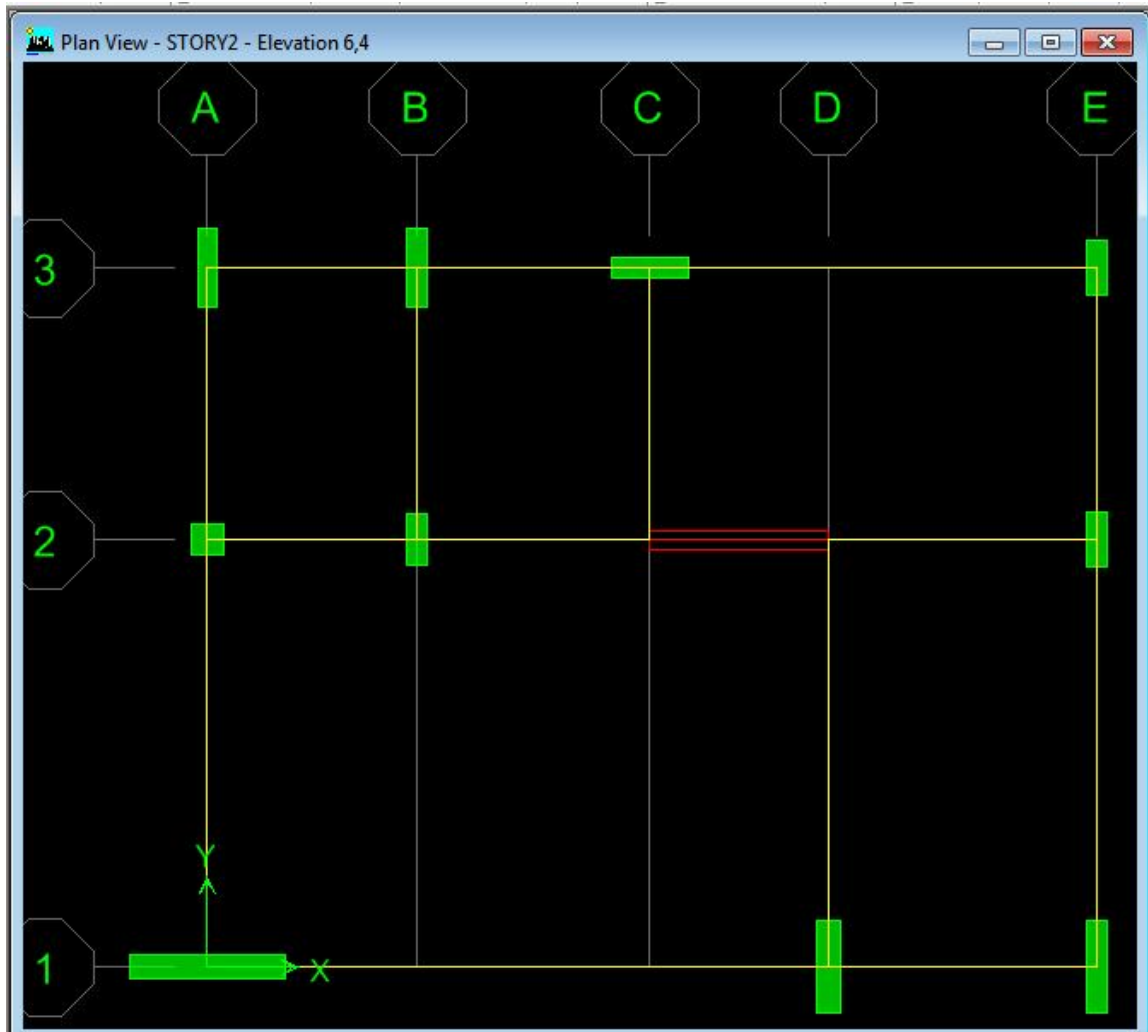


Εικόνα 5.5.γ. Διάγραμμα φορέα με Pilotis και δεξαμενή

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ:

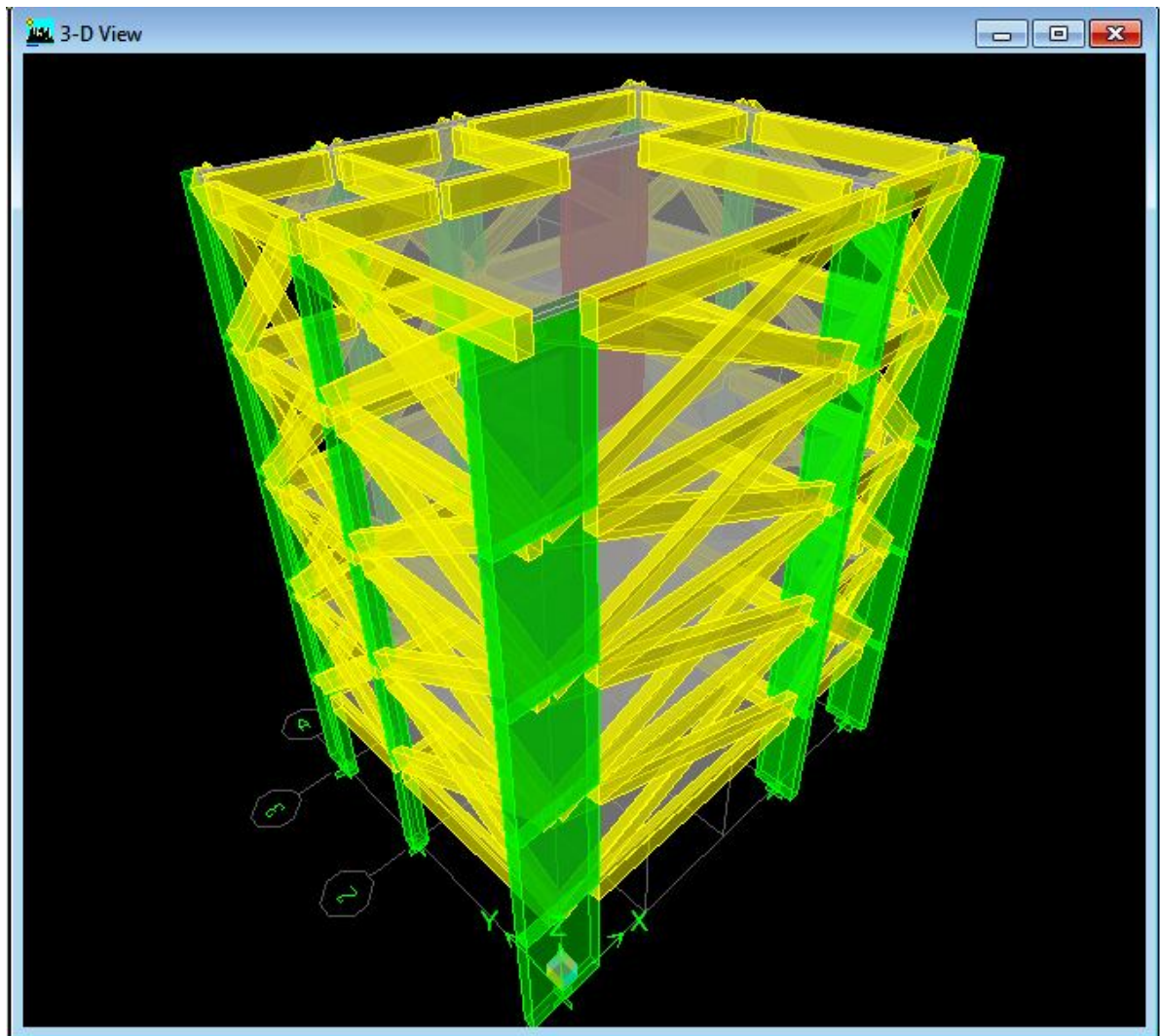
Παρατηρούμε ότι, το σημείο επιτελεστικότητας είναι μικρότερο από το σημείο αστοχίας ότι, θεωρητικά ο φορέας δεν κινδυνεύει με κατάρρευση. Παρόλα αυτά, επειδή η διαφορά αυτή δεν είναι μεγάλη και λόγω ότι δημιουργείται πλαστικός όροφος εν παρουσία pilotis, όπως επίσης και ότι η πρώτη κρίσιμη αστοχία εμφανίζεται σε υποστύλωμα του ισογείου (Εικόνα 5.5.α.), προτείνουμε την τοποθέτηση ενός τοιχώματος 2 m στην θέση του K1 υποστυλώματος, έτσι ώστε να βελτιωθεί η γενική συμπεριφορά του κτιρίου και να μειωθεί η στρεπτική τάση του. Τα αποτελέσματα αυτού εμφανίζονται παρακάτω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



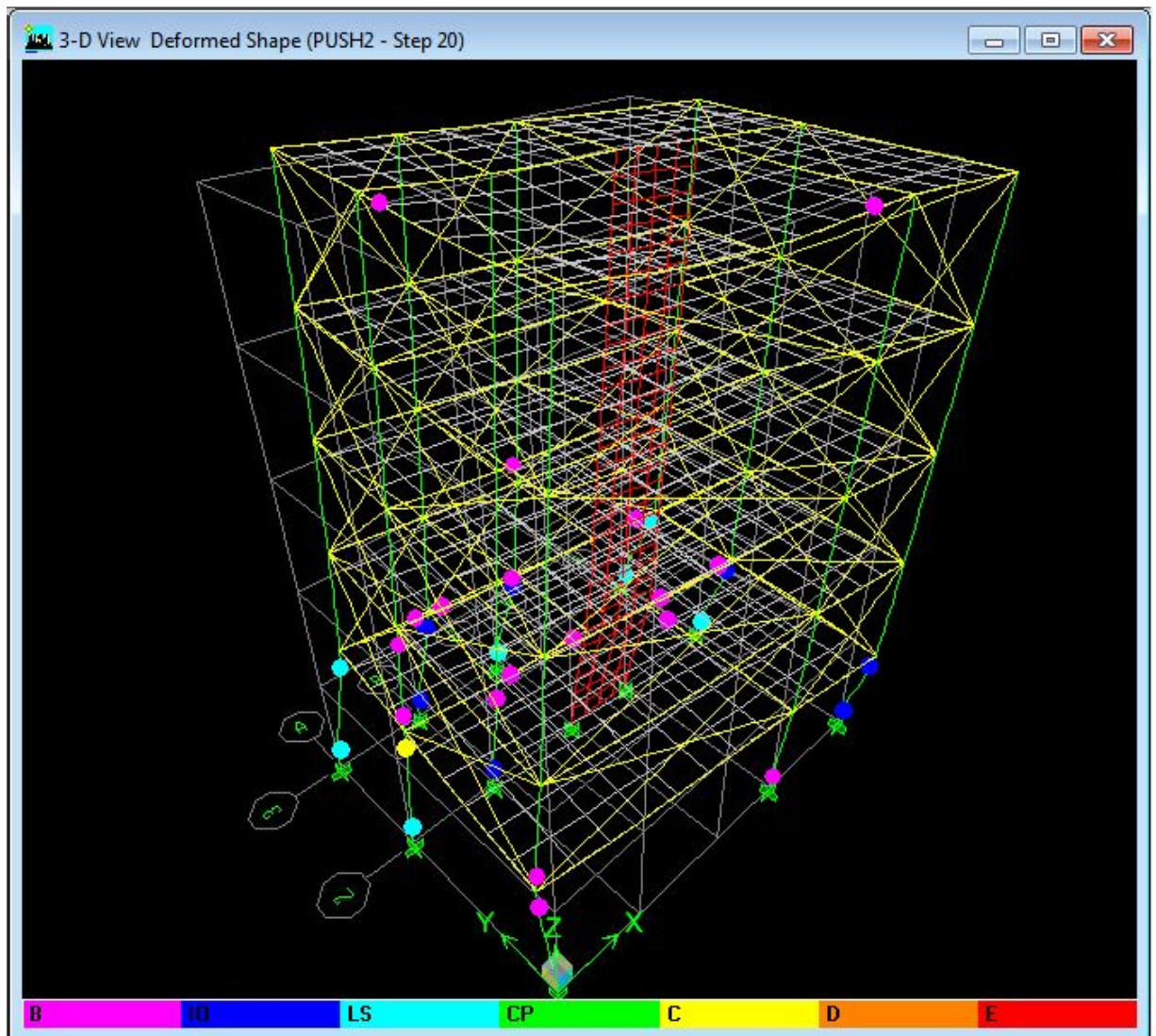
Εικόνα 5.5.δ. Κάτοψη ενίσχυσης με 2 m τοίχωμα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



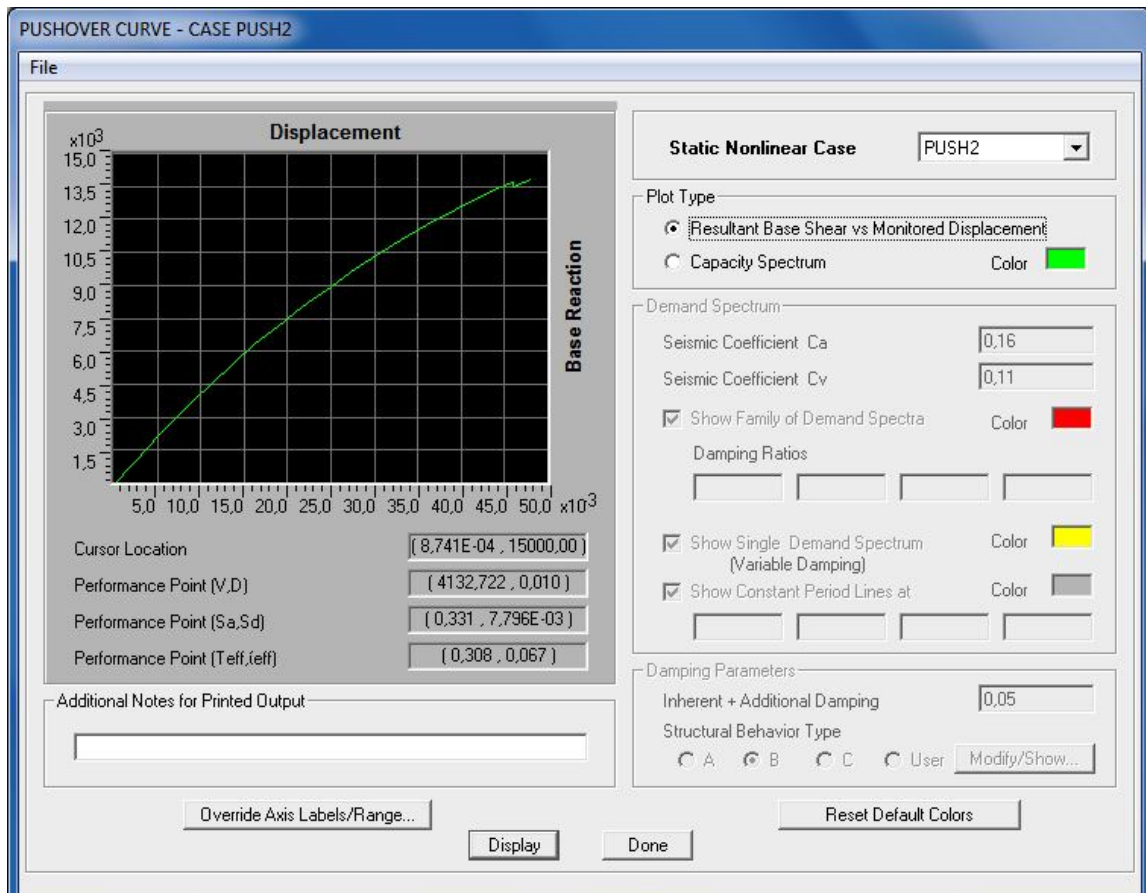
Εικόνα 5.5.ε. 3D Απεικόνιση ενισχυμένου φορέα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



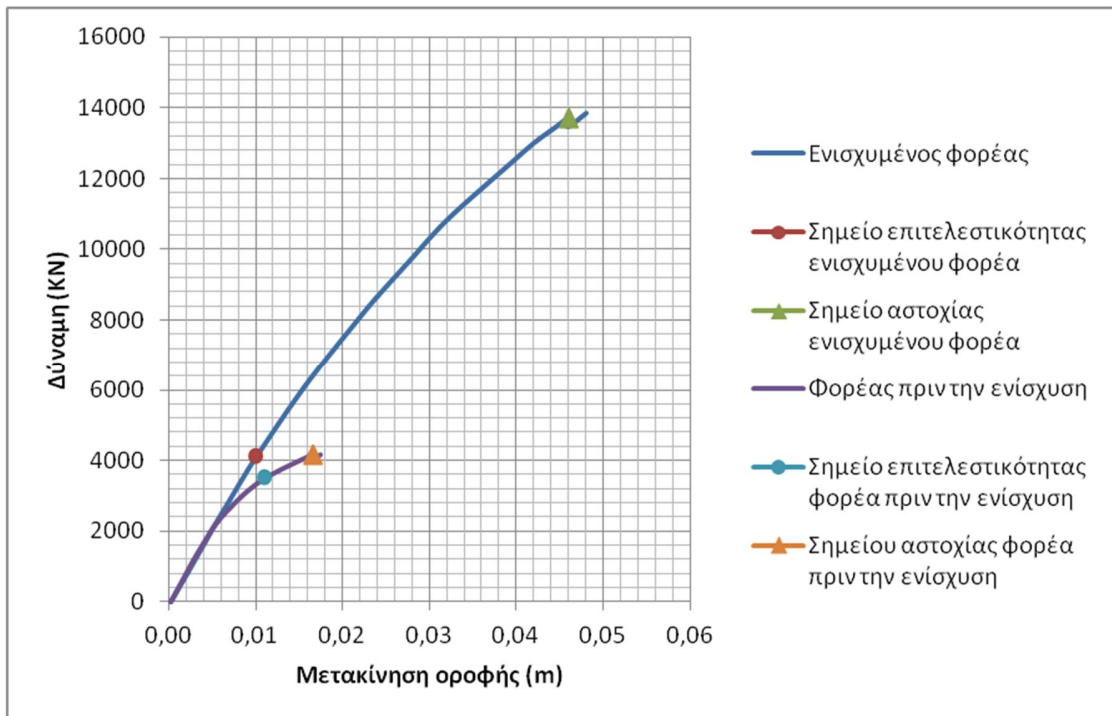
Εικόνα 5.5.στ. Κρίσιμη αστοχία υποσυλώματος

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



Εικόνα 5.5.η. Καμπύλη Pushover ενισχυμένου φορέα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



Εικόνα 5.5.θ. Συγκριτικό διάγραμμα καμπυλών ανάλυσης

### ΤΕΛΙΚΟ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ:

Η συμπεριφορά του κτιρίου μετά την προτεινόμενη ενίσχυση είναι εμφανώς πολύ καλύτερη από αυτήν, που είχε ο φορέας μας χωρίς καμία παρέμβαση, εξαλείφοντας με αυτόν τον τρόπο, την στρεπτική τάση του και αυξάνοντας την διαφορά μεταξύ του σημείου επιτελεστικότητας και του σημείου αστοχίας.

{ Σημείο επιτελεστικότητας πριν την ενίσχυση: 0,011 }  
{ Σημείο αστοχίας πριν την ενίσχυση: 0,0165 }

{ Σημείο επιτελεστικότητας ενισχυμένου: 0,010 }  
{ Σημείο αστοχίας ενισχυμένου: 0,0460 }



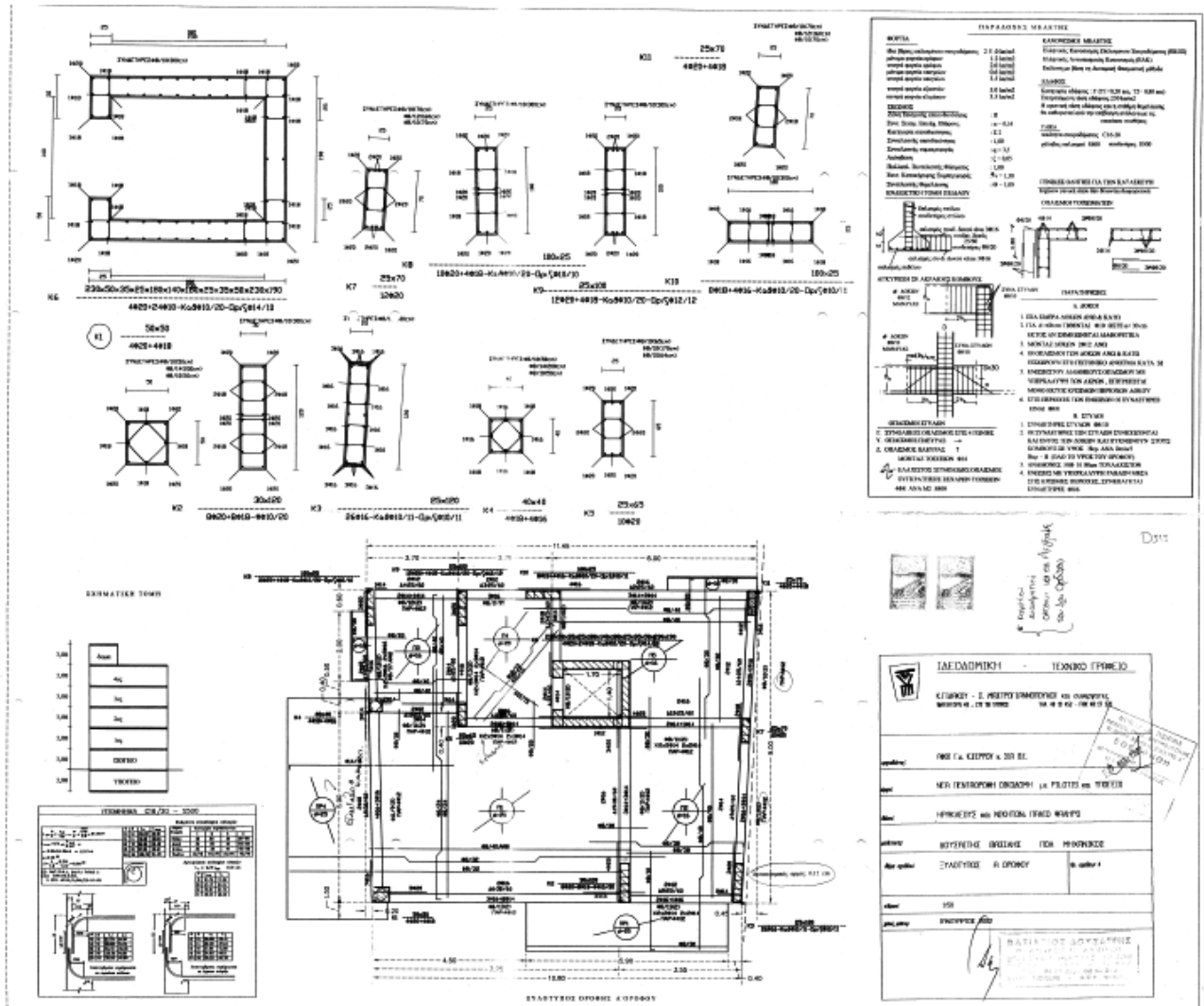
# **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ψυχάρης Γ., «ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ», Σημειώσεις για το μάθημα του 9<sup>ου</sup> Εξαμήνου «ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ 2», ΕΜΠ.
- Παπαθεοδώρου Ν., Φιλίνης Χρ., «ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ», «17<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών», Πάτρα, Φεβρουάριος 2011.
- Φαρδής Μ., «ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8: ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ», Σεμινάρια Ευρωκωδίκων στη Δυτική Ελλάδα, Τμήμα Πολιτικών Δομικών Πανεπιστημίου Πατρών.
- Φαρδής Μ., «ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ EN 1998-1:2004 – ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 8: ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ-ΜΕΡΟΣ 1:ΓΕΝΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ, ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ, ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΚΤΙΡΙΑ», Σεμινάρια Ευρωκωδίκων στη Δυτική Ελλάδα, Τμήμα Πολιτικών Δομικών Πανεπιστημίου Πατρών.
- Federal Emergency Management Agency, «PRESTANDARD AND COMMENTARY FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS», FEMA 356 Prestandard, November 2000.
- Σταματάκος Π., «Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ ΣΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ», «14<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών», Πάτρα, Φεβρουάριος 2008.
- Κανελλόπουλος Αντ., «ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ», ΕΜΠ.
- Σπύρου Δ., [2011] «ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ"

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



Εικόνα 1. Κάτοψη τυπικού ορόφου

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

## ΠΙΝΑΚΕΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΔΟΚΩΝ ΙΣΟΓΕΙΟΥ

		ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ															
		b	L	ΑΡΙΣΤΕΡΑ							ΔΕΞΙΑ						
D11	ΑΝΩ	25	60	1	Φ	20	+	2	Φ	14	3	Φ	20	+	2	Φ	14
	ΚΑΤΩ			4	Φ	16	+		Φ		4	Φ	16	+		Φ	
D12	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	16	+	4	Φ	16	2	Φ	16	+		Φ	
	ΚΑΤΩ			3	Φ	14	+	2	Φ	14	3	Φ	14	+	2	Φ	14
D13	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	12	+		Φ		2	Φ	12	+	4	Φ	16
	ΚΑΤΩ			3	Φ	16	+		Φ		3	Φ	16	+		Φ	
D14	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	12	+	1	Φ	14	2	Φ	12	+		Φ	
	ΚΑΤΩ			2	Φ	14	+	1	Φ	14	2	Φ	14	+	1	Φ	14
D15	ΑΝΩ	30	60	2	Φ	18	+	7	Φ	16	2	Φ	18	+	3	Φ	14
	ΚΑΤΩ			4	Φ	16	+	3	Φ	16	4	Φ	16	+	3	Φ	16
D16	ΑΝΩ	30	60	3	Φ	20	+	2	Φ	16	2	Φ	16	+	3	Φ	18
	ΚΑΤΩ			3	Φ	16	+	2	Φ	14	3	Φ	16	+	2	Φ	14
D17	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	18	+	3	Φ	14	3	Φ	20	+	2	Φ	18
	ΚΑΤΩ			5	Φ	16	+		Φ		5	Φ	16	+		Φ	
D18	ΑΝΩ	25	60	3	Φ	18	+	3	Φ	12	2	Φ	12	+	2	Φ	14
	ΚΑΤΩ			2	Φ	16	+	1	Φ	16	2	Φ	16	+		Φ	
D19	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	14	+	3	Φ	20	2	Φ	18	+	2	Φ	14
	ΚΑΤΩ			2	Φ	16	+	2	Φ	14	2	Φ	16	+	2	Φ	14
D110	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	12	+	2	Φ	14	1	Φ	14	+	2	Φ	12
	ΚΑΤΩ			3	Φ	14	+		Φ		3	Φ	14	+		Φ	
D111	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	16	+		Φ		2	Φ	16	+	4	Φ	20
	ΚΑΤΩ			2	Φ	16	+	2	Φ	14	2	Φ	16	+	2	Φ	14
D112	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	16	+	4	Φ	20	2	Φ	16	+		Φ	
	ΚΑΤΩ			3	Φ	14	+	1	Φ	12	3	Φ	14	+		Φ	
D113	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	18	+		Φ		2	Φ	18	+		Φ	
	ΚΑΤΩ			3	Φ	14	+		Φ		3	Φ	14	+		Φ	
D114	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	12	+	2	Φ	18	2	Φ	12	+	4	Φ	12
	ΚΑΤΩ			2	Φ	16	+	1	Φ	16	3	Φ	16	+	1	Φ	16
D115	ΑΝΩ	30	60	4	Φ	20	+	2	Φ	16	3	Φ	20	+	2	Φ	16
	ΚΑΤΩ			3	Φ	14	+	3	Φ	14	3	Φ	14	+	3	Φ	14
D116	ΑΝΩ	35	60	2	Φ	14	+		Φ		2	Φ	14	+		Φ	
	ΚΑΤΩ			4	Φ	14	+		Φ		4	Φ	14	+		Φ	

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

	ΑΡΙΣΤΕΡΑ		ΔΕΞΙΑ		ΟΛ. ΑΡΙΣΤ.	ΟΛ. ΔΕΞΙΑ	ΟΛ. Α&Κ	ΟΛΙΚΟ(m <sup>2</sup> )		
E1A	0,000314	+	0,000308	0,000942	+	0,000308	0,00062204	0,00125035	0,001872389	0,003480885
E1K	0,000804	+	0	0,000804	+	0	0,00080425	0,00080425	0,001608495	
E2A	0,000402	+	0,000804	0,000402	+	0	0,00120637	0,00040212	0,001608495	0,003147876
E2K	0,000462	+	0,000308	0,000462	+	0,000308	0,00076969	0,00076969	0,00153938	
E3A	0,000226	+	0	0,000226	+	0,000804	0,00022619	0,00103044	0,001256637	0,002463009
E3K	0,000603	+	0	0,000603	+	0	0,00060319	0,00060319	0,001206372	
E4A	0,000226	+	0,000154	0,000226	+	0	0,00038013	0,00022619	0,000606327	0,001529956
E4K	0,000308	+	0,000154	0,000308	+	0,000154	0,00046181	0,00046181	0,000923628	
E5A	0,000509	+	0,001407	0,000509	+	0,000462	0,00191637	0,00097075	0,002887124	0,005701991
E5K	0,000804	+	0,000603	0,000804	+	0,000603	0,00140743	0,00140743	0,002814867	
E6A	0,000942	+	0,000402	0,000402	+	0,000763	0,0013446	0,00116553	0,002510133	0,004332256
E6K	0,000603	+	0,000308	0,000603	+	0,000308	0,00091106	0,00091106	0,001822124	
E7A	0,000509	+	0,000462	0,000942	+	0,000509	0,00097075	0,00145142	0,002422168	0,004432787
E7K	0,001005	+	0	0,001005	+	0	0,00100531	0,00100531	0,002010619	
E8A	0,000763	+	0,000339	0,000226	+	0,000308	0,0011027	0,00053407	0,00163677	0,002642079
E8K	0,000402	+	0,000201	0,000402	+	0	0,00060319	0,00040212	0,00100531	
E9A	0,000308	+	0,000942	0,000509	+	0,000308	0,00125035	0,00081681	0,002067168	0,003487168
E9K	0,000402	+	0,000308	0,000402	+	0,000308	0,00071	0,00071	0,00142	
E10A	0,000226	+	0,000308	0,000154	+	0,000226	0,00053407	0,00038013	0,000914203	0,001837832
E10K	0,000462	+	0	0,000462	+	0	0,00046181	0,00046181	0,000923628	
E11A	0,000402	+	0	0,000402	+	0,001257	0,00040212	0,00165876	0,002060885	0,003480885
E11K	0,000402	+	0,000308	0,000402	+	0,000308	0,00071	0,00071	0,00142	
E12A	0,000402	+	0,001257	0,000402	+	0	0,00165876	0,00040212	0,002060885	0,00309761
E12K	0,000462	+	0,000113	0,000462	+	0	0,00057491	0,00046181	0,001036726	
E13A	0,000509	+	0	0,000509	+	0	0,00050894	0,00050894	0,001017876	0,001941504
E13K	0,000462	+	0	0,000462	+	0	0,00046181	0,00046181	0,000923628	
E14A	0,000226	+	0,000509	0,000226	+	0,000452	0,00073513	0,00067858	0,001413717	0,00282115
E14K	0,000402	+	0,000201	0,000603	+	0,000201	0,00060319	0,00080425	0,001407434	
E15A	0,001257	+	0,000402	0,000942	+	0,000402	0,00165876	0,0013446	0,003003363	0,004850619
E15K	0,000462	+	0,000462	0,000462	+	0,000462	0,00092363	0,00092363	0,001847256	
E16A	0,000308	+	0	0,000308	+	0	0,00030788	0,00030788	0,000615752	0,001847256
E16K	0,000616	+	0	0,000616	+	0	0,00061575	0,00061575	0,001231504	

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΠΙΝΑΚΕΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΔΟΚΩΝ 1<sup>ΟΥ</sup> ΚΑΙ 2<sup>ΟΥ</sup> ΟΡΟΦΟΥ

		ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ															
		b	L	ΑΡΙΣΤΕΡΑ							ΔΕΞΙΑ						
D21	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	14	+	1	Φ	20	2	Φ	14	+	3	Φ	20
	ΚΑΤΩ			4	Φ	16	+		Φ		4	Φ	16	+		Φ	
D22	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	16	+	4	Φ	16	2	Φ	16	+		Φ	
	ΚΑΤΩ			3	Φ	14	+	2	Φ	14	3	Φ	14	+	2	Φ	14
D23	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	12	+		Φ		2	Φ	12	+	4	Φ	16
	ΚΑΤΩ			3	Φ	16	+		Φ		3	Φ	16	+		Φ	
D24	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	12	+	1	Φ	14	2	Φ	12	+		Φ	
	ΚΑΤΩ			2	Φ	14	+		Φ		2	Φ	14	+		Φ	
D25	ΑΝΩ	30	60	2	Φ	18	+	7	Φ	16	2	Φ	18	+	3	Φ	14
	ΚΑΤΩ			4	Φ	16	+		Φ		4	Φ	16	+		Φ	
D26	ΑΝΩ	30	60	2	Φ	16	+	3	Φ	20	2	Φ	16	+	3	Φ	18
	ΚΑΤΩ			3	Φ	16	+		Φ		3	Φ	16	+		Φ	
D27	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	18	+	3	Φ	14	2	Φ	18	+	3	Φ	20
	ΚΑΤΩ			5	Φ	16	+		Φ		5	Φ	16	+		Φ	
D28	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	12	+	3	Φ	18	2	Φ	12	+	2	Φ	14
	ΚΑΤΩ			2	Φ	16	+		Φ		2	Φ	16	+		Φ	
D29	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	14	+	3	Φ	20	2	Φ	14	+	2	Φ	18
	ΚΑΤΩ			2	Φ	16	+		Φ		2	Φ	16	+		Φ	
D210	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	12	+	2	Φ	14	2	Φ	12	+	1	Φ	14
	ΚΑΤΩ			3	Φ	14	+		Φ		3	Φ	14	+		Φ	
D211	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	16	+		Φ		2	Φ	16	+	4	Φ	20
	ΚΑΤΩ			2	Φ	16	+		Φ		2	Φ	16	+		Φ	
D212	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	16	+	4	Φ	20	2	Φ	16	+		Φ	
	ΚΑΤΩ			2	Φ	14	+		Φ		2	Φ	14	+		Φ	
D213	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	18	+		Φ		2	Φ	18	+		Φ	
	ΚΑΤΩ			3	Φ	14	+		Φ		3	Φ	14	+		Φ	
D214	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	12	+	2	Φ	18	2	Φ	12	+	4	Φ	12
	ΚΑΤΩ			2	Φ	16	+		Φ		2	Φ	16	+	1	Φ	16
D215	ΑΝΩ	30	60	2	Φ	16	+	4	Φ	20	2	Φ	16	+	3	Φ	20
	ΚΑΤΩ			3	Φ	14	+		Φ		3	Φ	14	+		Φ	
D216	ΑΝΩ	35	60	2	Φ	14	+		Φ		2	Φ	14	+		Φ	
	ΚΑΤΩ			4	Φ	14	+		Φ		4	Φ	14	+		Φ	



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

	ΑΡΙΣΤΕΡΑ		ΔΕΞΙΑ		ΟΛ. ΑΡΙΣΤ.	ΟΛ.ΔΕΞΙΑ	ΟΛ.Α&Κ	ΟΛΙΚΟ(m <sup>2</sup> )		
E1A	0,000308	+	0,000314	0,000308	+	0,000942	0,00062204	0,00125035	0,001872389	0,003480885
E1K	0,000804	+	0	0,000804	+	0	0,00080425	0,00080425	0,001608495	
E2A	0,000402	+	0,000804	0,000402	+	0	0,00120637	0,00040212	0,001608495	0,003147876
E2K	0,000462	+	0,000308	0,000462	+	0,000308	0,00076969	0,00076969	0,00153938	
E3A	0,000226	+	0	0,000226	+	0,000804	0,00022619	0,00103044	0,001256637	0,002463009
E3K	0,000603	+	0	0,000603	+	0	0,00060319	0,00060319	0,001206372	
E4A	0,000226	+	0,000154	0,000226	+	0	0,00038013	0,00022619	0,000606327	0,00122208
E4K	0,000308	+	0	0,000308	+	0	0,00030788	0,00030788	0,000615752	
E5A	0,000509	+	0,001407	0,000509	+	0,000462	0,00191637	0,00097075	0,002887124	0,004495619
E5K	0,000804	+	0	0,000804	+	0	0,00080425	0,00080425	0,001608495	
E6A	0,000402	+	0,000942	0,000402	+	0,000763	0,0013446	0,00116553	0,002510133	0,003716504
E6K	0,000603	+	0	0,000603	+	0	0,00060319	0,00060319	0,001206372	
E7A	0,000509	+	0,000462	0,000509	+	0,000942	0,00097075	0,00145142	0,002422168	0,004432787
E7K	0,001005	+	0	0,001005	+	0	0,00100531	0,00100531	0,002010619	
E8A	0,000226	+	0,000763	0,000226	+	0,000308	0,0009896	0,00053407	0,001523672	0,00232792
E8K	0,000402	+	0	0,000402	+	0	0,00040212	0,00040212	0,000804248	
E9A	0,000308	+	0,000942	0,000308	+	0,000509	0,00125035	0,00081681	0,002067168	0,002871416
E9K	0,000402	+	0	0,000402	+	0	0,00040212	0,00040212	0,000804248	
E10A	0,000226	+	0,000308	0,000226	+	0,000154	0,00053407	0,00038013	0,000914203	0,001837832
E10K	0,000462	+	0	0,000462	+	0	0,00046181	0,00046181	0,000923628	
E11A	0,000402	+	0	0,000402	+	0,001257	0,00040212	0,00165876	0,002060885	0,002865133
E11K	0,000402	+	0	0,000402	+	0	0,00040212	0,00040212	0,000804248	
E12A	0,000402	+	0,001257	0,000402	+	0	0,00165876	0,00040212	0,002060885	0,002676637
E12K	0,000308	+	0	0,000308	+	0	0,00030788	0,00030788	0,000615752	
E13A	0,000509	+	0	0,000509	+	0	0,00050894	0,00050894	0,001017876	0,001941504
E13K	0,000462	+	0	0,000462	+	0	0,00046181	0,00046181	0,000923628	
E14A	0,000226	+	0,000509	0,000226	+	0,000452	0,00073513	0,00067858	0,001413717	0,002419026
E14K	0,000402	+	0	0,000402	+	0,000201	0,00040212	0,00060319	0,00100531	
E15A	0,000402	+	0,001257	0,000402	+	0,000942	0,00165876	0,0013446	0,003003363	0,003926991
E15K	0,000462	+	0	0,000462	+	0	0,00046181	0,00046181	0,000923628	
E16A	0,000308	+	0	0,000308	+	0	0,00030788	0,00030788	0,000615752	0,001847256
E16K	0,000616	+	0	0,000616	+	0	0,00061575	0,00061575	0,001231504	

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΠΙΝΑΚΕΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΔΟΚΩΝ 3<sup>ΟΥ</sup> ΚΑΙ 4<sup>ΟΥ</sup> ΟΡΟΦΟΥ

		b	L	ΑΡΙΣΤΕΡΑ						ΔΕΞΙΑ							
D31	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	12	+	1	Φ	14	2	Φ	12	+	1	Φ	14
	ΚΑΤΩ			3	Φ	14	+		Φ		3	Φ	14	+		Φ	
D32	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	12	+	2	Φ	20	2	Φ	12	+	1	Φ	14
	ΚΑΤΩ			2	Φ	14	+	1	Φ	14	2	Φ	14	+	1	Φ	14
D33	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	12	+		Φ		2	Φ	12	+	2	Φ	20
	ΚΑΤΩ			3	Φ	14	+		Φ		3	Φ	14	+		Φ	
D34	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	12	+	2	Φ	12	2	Φ	12	+		Φ	
	ΚΑΤΩ			2	Φ	14	+	1	Φ	14	2	Φ	14	+	1	Φ	14
D35	ΑΝΩ	30	60	2	Φ	18	+	2	Φ	12	2	Φ	12	+		Φ	
	ΚΑΤΩ			2	Φ	16	+	1	Φ	16	2	Φ	16	+	1	Φ	16
D36	ΑΝΩ	30	60	2	Φ	14	+	4	Φ	12	2	Φ	14	+	3	Φ	18
	ΚΑΤΩ			3	Φ	16	+	2	Φ	14	3	Φ	16	+	2	Φ	14
D37	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	12	+		Φ		2	Φ	12	+	3	Φ	12
	ΚΑΤΩ			3	Φ	14	+		Φ		3	Φ	14	+		Φ	
D38	ΑΝΩ	25	60	3	Φ	18	+	2	Φ	12	2	Φ	12	+	1	Φ	14
	ΚΑΤΩ			2	Φ	14	+	1	Φ	14	2	Φ	14	+	1	Φ	14
D39	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	12	+	4	Φ	12	2	Φ	12	+	1	Φ	12
	ΚΑΤΩ			3	Φ	14	+	1	Φ	12	3	Φ	14	+		Φ	
D310	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	12	+	1	Φ	14	2	Φ	12	+	1	Φ	14
	ΚΑΤΩ			3	Φ	14	+		Φ		3	Φ	14	+		Φ	
D311	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	16	+		Φ		2	Φ	16	+	4	Φ	18
	ΚΑΤΩ			3	Φ	14	+		Φ		3	Φ	14	+	1	Φ	14
D312	ΑΝΩ	25	60	2	Φ	18	+	2	Φ	16	2	Φ	16	+		Φ	
	ΚΑΤΩ			3	Φ	14	+	1	Φ	14	3	Φ	14	+		Φ	
D313	ΑΝΩ	25	60	3	Φ	16	+	2	Φ	14	2	Φ	14	+	1	Φ	12
	ΚΑΤΩ			3	Φ	14	+		Φ		3	Φ	14	+		Φ	
D314	ΑΝΩ	25	60	1	Φ	12	+	2	Φ	12	2	Φ	12	+	1	Φ	14
	ΚΑΤΩ			2	Φ	14	+	1	Φ	14	2	Φ	14	+	1	Φ	14
D315	ΑΝΩ	30	60	2	Φ	18	+	2	Φ	14	2	Φ	14	+	3	Φ	18
	ΚΑΤΩ			2	Φ	14	+	1	Φ	14	3	Φ	14	+	1	Φ	12
D316	ΑΝΩ	35	60	2	Φ	14	+		Φ		2	Φ	14	+		Φ	
	ΚΑΤΩ			4	Φ	14	+		Φ		4	Φ	14	+		Φ	

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

	ΑΡΙΣΤΕΡΑ		ΔΕΞΙΑ		ΟΛ. ΑΡΙΣΤ.	ΟΛ. ΔΕΞΙΑ	ΟΛ. Α&Κ	ΟΛΙΚΟ(m <sup>2</sup> )		
E1A	0,000226	+	0,000154	0,000226	+	0,000154	0,00038013	0,00038013	0,000760265	0,001683894
E1K	0,000462	+	0	0,000462	+	0	0,00046181	0,00046181	0,000923628	
E2A	0,000226	+	0,000628	0,000226	+	0,000154	0,00085451	0,00038013	0,001234646	0,002158274
E2K	0,000308	+	0,000154	0,000308	+	0,000154	0,00046181	0,00046181	0,000923628	
E3A	0,000226	+	0	0,000226	+	0,000628	0,00022619	0,00085451	0,001080708	0,002004336
E3K	0,000462	+	0	0,000462	+	0	0,00046181	0,00046181	0,000923628	
E4A	0,000226	+	0,000226	0,000226	+	0	0,00045239	0,00022619	0,000678584	0,001602212
E4K	0,000308	+	0,000154	0,000308	+	0,000154	0,00046181	0,00046181	0,000923628	
E5A	0,000509	+	0,000226	0,000226	+	0	0,00073513	0,00022619	0,000961327	0,002167699
E5K	0,000402	+	0,000201	0,000402	+	0,000201	0,00060319	0,00060319	0,001206372	
E6A	0,000308	+	0,000452	0,000308	+	0,000763	0,00076027	0,00107128	0,001831549	0,003653672
E6K	0,000603	+	0,000308	0,000603	+	0,000308	0,00091106	0,00091106	0,001822124	
E7A	0,000226	+	0	0,000226	+	0,000339	0,00022619	0,00056549	0,000791681	0,00171531
E7K	0,000462	+	0	0,000462	+	0	0,00046181	0,00046181	0,000923628	
E8A	0,000763	+	0,000226	0,000226	+	0,000154	0,0009896	0,00038013	0,001369734	0,002293363
E8K	0,000308	+	0,000154	0,000308	+	0,000154	0,00046181	0,00046181	0,000923628	
E9A	0,000226	+	0,000452	0,000226	+	0,000113	0,00067858	0,00033929	0,001017876	0,002054602
E9K	0,000462	+	0,000113	0,000462	+	0	0,00057491	0,00046181	0,001036726	
E10A	0,000226	+	0,000154	0,000226	+	0,000154	0,00038013	0,00038013	0,000760265	0,001683894
E10K	0,000462	+	0	0,000462	+	0	0,00046181	0,00046181	0,000923628	
E11A	0,000402	+	0	0,000402	+	0,001018	0,00040212	0,00142	0,001822124	0,00289969
E11K	0,000462	+	0	0,000462	+	0,000154	0,00046181	0,00061575	0,001077566	
E12A	0,000509	+	0,000402	0,000402	+	0	0,00091106	0,00040212	0,001313186	0,002390752
E12K	0,000462	+	0,000154	0,000462	+	0	0,00061575	0,00046181	0,001077566	
E13A	0,000603	+	0,000308	0,000308	+	0,000113	0,00091106	0,00042097	0,001332035	0,002255664
E13K	0,000462	+	0	0,000462	+	0	0,00046181	0,00046181	0,000923628	
E14A	0,000113	+	0,000226	0,000226	+	0,000154	0,00033929	0,00038013	0,000719425	0,001643053
E14K	0,000308	+	0,000154	0,000308	+	0,000154	0,00046181	0,00046181	0,000923628	
E15A	0,000509	+	0,000308	0,000308	+	0,000763	0,00081681	0,00107128	0,001888097	0,002924823
E15K	0,000308	+	0,000154	0,000462	+	0,000113	0,00046181	0,00057491	0,001036726	
E16A	0,000308	+	0	0,000308	+	0	0,00030788	0,00030788	0,000615752	0,001847256
E16K	0,000616	+	0	0,000616	+	0	0,00061575	0,00061575	0,001231504	

