

Π.Μ.Σ.: «Δομοστατικά Έργα»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Αποτίμηση υφιστάμενου δώροφου κτιρίου, πρόταση για  
προσθήκη ορόφου με ενίσχυση – Χρήση ΚΑΝ.ΕΠΕ

ΠΟΛΙΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Επιβλέπων: Δρ. Κυριαζόπουλος Αντώνιος

ΑΘΗΝΑ | 2022



Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

ΚΥΡΙΑΖΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ (Επιβλέπων Καθηγητής)	ΔΗΜΑΚΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ (Μέλος)	ΡΕΠΑΠΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ (Μέλος)

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΠΟΛΙΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ του ΘΕΟΔΩΡΟΥ, με αριθμό μητρώου 11 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΑ ΕΡΓΑ» του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Η Δηλών



## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Αποτίμηση υφιστάμενου δώροφου κτιρίου, πρόταση για προσθήκη ορόφου με ενίσχυση – Χρήση ΚΑΝ.ΕΠΕ» υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Δομοστατικά Έργα» του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Το θέμα της εργασίας αφορά την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας υπό σεισμικές δράσεις, ενός υφιστάμενου δώροφου κτιρίου οπλισμένου σκυροδέματος, το οποίο κατασκευάσθηκε το έτος 1959-1960. Η αποτίμηση του κτιρίου θα γίνει με βάση τους σύγχρονους κανονισμούς και συγκεκριμένα τον Ελληνικό Κανονισμό Επεμβάσεων του (ΚΑΝ.ΕΠΕ) και του Ευρωκώδικα 8, ακολουθώντας τα βήματα της μή γραμμικής στατικής ανελαστικής ανάλυσης (pushover). Στη συνέχεια εξετάζεται η πρόταση για προσθήκη ορόφου με ενίσχυση. Η εργασία εκπονήθηκε με τη βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος Fespa.

# Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη .....	5
Πίνακας Περιεχομένων .....	6
Κατάλογος Εικόνων .....	8
Κατάλογος Πινάκων .....	11
<b>Κεφάλαιο 1</b>	
Γενικές πληροφορίες.....	12
1.1 Εισαγωγή της εργασίας .....	12
1.2 Σκοπός της εργασίας .....	12
<b>Κεφάλαιο 2</b>	
Βασικές αρχές αποτίμησης και ανασχεδιασμού σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.....	14
2.1 Γενικά.....	14
2.2 Στόχοι αποτίμησης και ανασχεδιασμού .....	14
2.2.1 Γενικά.....	14
2.2.2 Στάθμες επιτελεσματικότητας .....	14
2.3 Στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων (Σ.Α.Δ.) .....	16
2.4 Μέθοδοι Ανάλυσης .....	16
<b>Κεφάλαιο 3</b>	
Ανελαστική στατική μέθοδος Pushover.....	18
3.1 Ανελαστική στατική μέθοδος (Pushover).....	18
3.2 Πλεονεκτήματα ανελαστικής ανάλυσης .....	19
3.3 Προσομοίωση.....	20
3.3.1 Οριζόντια κατανομή φορτίων .....	20
3.3.2 Καθ' ύψος κατανομή .....	21
3.3.3 Κύρια και δευτερεύοντα στοιχεία.....	22
3.4 Συμπεριφορά δομικών στοιχείων .....	23
3.4.1 Διάγραμμα έντασης - παραμόρφωσης .....	23
3.4.2 Διάγραμμα ροπών-καμπυλοτήτων (Μ-φ).....	23
3.4.3 Γωνία στροφής-χορδής.....	24

3.5	Ο συντελεστής $\alpha_u/\alpha_1$ .....	25
3.6	Επιρροές 2ης τάξης .....	25
3.7	Στάθμες επιτελεστικότητας.....	26
3.8	Τελικός έλεγχος επάρκειας κατασκευής.....	28
3.8.1	Καθολικός έλεγχος κατασκευής .....	28
3.8.2	Λόγοι στατικής επάρκειας μελών λ.....	30
3.8.3	Εύρεση του μέγιστου σεισμικού συντελεστή που αντιστοιχεί σε κάθε στάθμη επιτελεστικότητας .....	30
<b>Κεφάλαιο 4</b>		
	Περιγραφή του φορέα .....	31
4.1	Γενικά στοιχεία κτιρίου .....	31
4.2	Η μορφή του φορέα .....	32
4.2.1	Υλικά κατασκευής.....	35
4.3	Παραδοχές μελέτης αποτίμησης φέρουσας ικανότητας.....	36
4.3.1	Φορτία κατασκευής.....	36
4.4	Οπλισμός υπάρχοντος κτιρίου .....	37
<b>Κεφάλαιο 5</b>		
	Αποτίμηση κτιρίου με το πρόγραμμα Fespa .....	41
5.1	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	41
5.2	Συμπεράσματα .....	50
<b>Κεφάλαιο 6</b>		
	Αποτίμηση κτιρίου με πρόβλεψη για προσθήκη ορόφου.....	51
6.1	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	51
6.2	Συμπεράσματα .....	56
<b>Κεφάλαιο 7</b>		
	Ενίσχυση κτιρίου .....	58
7.1	Γενικά.....	58
7.2	Μανδύες υποστυλωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα .....	58
7.3	Ενίσχυση κτιρίου & αξιολόγηση αποτελεσμάτων .....	60
7.4	Συμπεράσματα .....	67
	Βιβλιογραφία .....	68

# Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1. Στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού (ΚΑΝ.ΕΠΕ.).....	16
Εικόνα 2.2. Κατηγορίες σπουδαιότητας & στόχοι .....	16
Εικόνα 3.1. Καμπύλη αντίστασης .....	19
Εικόνα 3.2. Βασικές απαιτήσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τα μέλη τις φορτίσεις της κατασκευής.....	20
Εικόνα 3.3. Τριγωνική κατανομή φόρτισης καθ' ύψος.....	21
Εικόνα 3.4. Ορθογωνική κατανομή φόρτισης καθ' ύψος.....	22
Εικόνα 3.5. Ιδιομορφική κατανομή φόρτισης καθ' ύψος.....	22
Εικόνα 3.6 Γενική μορφή διαγράμματος M-θ.....	23
Εικόνα 3.7 Διγραμμικοποίηση του διαγράμματος ροπών-καμπυλοτήτων διατομής .....	24
Εικόνα 3.8. Γωνίες στροφής χορδής σε κάθε κόμβο μέλους.....	25
Εικόνα 3.9 Πίνακας ανεκτών στόχων αποτίμησης & ανασχεδιασμού υφιστάμενων κτιρίων και προσθηκών .....	27
Εικόνα 3.10 Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ADRS και στάθμες επιτελεστικότητας για συγκεκριμένη κατασκευή στο πρόγραμμα Fespa .....	28
Εικόνα 3.11. Τελικός έλεγχος επάρκειας κατασκευής.....	29
Εικόνα 3.12. Μη ικανοποίηση του ελέγχου επάρκειας.....	29
Εικόνα 4.1. Ξυλότυπος θεμελίωσης.....	33
Εικόνα 4.2. Ξυλότυπος οροφής ισογείου .....	34
Εικόνα 4.3. Ξυλότυπος οροφής Α' ορόφου .....	35
Εικόνα 5.1. Διαγράμματα ροπών στροφών M-θ για την δοκό Δ1.1.....	42
Εικόνα 5.2. Διάγραμμα αλληλεπίδρασης M-N υποστυλώματος K1(0) .....	42
Εικόνα 5.3. Διάγραμμα ροπών-στροφών M-θ υποστυλώματος K1(0) .....	43
Εικόνα 5.4. Μέγιστα λόγων επάρκειας δοκών .....	43
Εικόνα 5.5. Μέγιστα λόγων επάρκειας υποστυλωμάτων.....	44
Εικόνα 5.6. Μέγιστα λόγων επάρκειας διάτμησης κόμβων .....	44



Εικόνα 5.7. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα απαίτησης-ικανότητας των 32 αναλύσεων για τη στάθμη επιτελεστικότητας SD.....	45
Εικόνα 5.8. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα απαίτησης-ικανότητας των 32 αναλύσεων για τη στάθμη επιτελεστικότητας NC.....	46
Εικόνα 5.9. Συγκεντρωτικά διαγράμματα F-d των 32 αναλύσεων.....	47
Εικόνα 5.10. Διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας SD.....	48
Εικόνα 5.11. Διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας NC.....	49
Εικόνα 5.12. Αποτελέσματα & διαδικασία υπολογισμού της στοχευόμενης μετακίνησης για τη στάθμη NC.....	50
Εικόνα 6.1. Μέγιστα λόγων επάρκειας δοκών.....	51
Εικόνα 6.2. Μέγιστα λόγων επάρκειας διάτμησης κόμβων.....	53
Εικόνα 6.3. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα απαίτησης-ικανότητας των 32 αναλύσεων για τη στάθμη επιτελεστικότητας SD.....	53
Εικόνα 6.4. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα απαίτησης-ικανότητας των 32 αναλύσεων για τη στάθμη επιτελεστικότητας NC.....	54
Εικόνα 6.5. Διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας SD.....	55
Εικόνα 6.6. Διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας NC.....	56
Εικόνα 6.7. 3D απεικόνιση του φορέα.....	57
Εικόνα 7.1. Μανδύας οπλισμένου σκυροδέματος (Δρίτσος Σ.).....	59
Εικόνα 7.2. Ολικός μανδύας (Δρίτσος Σ.).....	59
Εικόνα 7.3. Διαδικασίες απόληξης μανδύα στα στοιχεία θεμελίωσης (Δρίτσος Σ.).....	60
Εικόνα 7.4. Ξυλότυπος οροφής Ισογείου.....	62
Εικόνα 7.5. Ξυλότυπος οροφής Α ορόφου.....	63
Εικόνα 7.6. Ενισχυόμενα Υποστυλώματα και ο οπλισμός τους.....	63
Εικόνα 7.7. Λεπτομέρειες ενίσχυσης υποστυλωμάτων.....	64
Εικόνα 7.8. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα απαίτησης-ικανότητας των 32 αναλύσεων για τη στάθμη επιτελεστικότητας SD.....	64
Εικόνα 7.9. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα απαίτησης-ικανότητας των 32 αναλύσεων για τη στάθμη επιτελεστικότητας NC.....	65
Εικόνα 7.10. Διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας SD.....	66

Εικόνα 7.11. Διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας NC..... 67

# Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 4.1. Υλικά .....	35
Πίνακας 4.2. Μόνιμα φορτία .....	36
Πίνακας 4.3. Ωφέλιμα φορτία.....	37
Πίνακας 4.4. Διατομές και σπλισμός υποστυλωμάτων ισογείου και ορόφου .....	37
Πίνακας 4.5. Διατομές και σπλισμός δοκών ισογείου και ορόφου .....	39
Πίνακας 6.1. Μέγιστα λόγων επάρκειας υποστυλωμάτων .....	52
Πίνακας 6.2. Μέγιστα λόγων επάρκειας υποστυλωμάτων οριακά κάτω απ' τη μονάδα .....	52
Πίνακας 7.1. Λόγοι επάρκειας υποστυλωμάτων μετά την ενίσχυση .....	61

# Κεφάλαιο 1

## Γενικές πληροφορίες

### 1.1 Εισαγωγή της εργασίας

Το κτίριο που θα μελετηθεί στην παρούσα εργασία, είναι δύο ορόφων (Ισόγειο και Α΄ Όροφος). Για το συγκεκριμένο κτίριο είχε εκδοθεί η οικοδομική άδεια το έτος 1959. Από την συγκεκριμένη άδεια υπάρχουν μόνο μικροφίλμ από τα οποία φαίνονται μόνο η αρχιτεκτονική μελέτη, δηλ. κατόψεις, η όψη, η τομή του κτιρίου και το τοπογραφικό. Ούτε από το αρχείο της πολεοδομίας ούτε από το αρχείο του ιδιοκτήτη έχουν σωθεί άλλα σχέδια, όπως και η στατική μελέτη.

Το κτίριο έχει φορέα από οπλισμένο σκυρόδεμα άγνωστης ποιότητας και αντοχής ενώ για στοιχεία πλήρωσης έχει μπατική οπτοπλινθοδομή.

Με βάση τα παραπάνω έγινε αποτύπωση των φερόντων στοιχείων της υπάρχουσας κατασκευής όσον αφορά τις γεωμετρικές διαστάσεις και τους οπλισμούς.

Η χρήση του κτιρίου, όσον αφορά τις παραδοχές των φορτίων, ήταν και είναι μέχρι και σήμερα κατοικία.

Στο κτίριο δεν υπάρχουν εμφανείς ρωγμές ούτε υπερβολικές παραμορφώσεις καθιζήσεις ή άλλες βλάβες τόσο στον φέροντα οργανισμό όσο και στον οργανισμό πληρώσεως, επίσης δεν υπάρχουν βόθροι ρέματα ή εκσκαφές σε θέσεις που να επηρεάζουν την συμπεριφορά του κτιρίου.

Σημειώνεται πως η περιοχή στην οποία βρίσκεται το κτίριο ανήκει σε ζώνη II σεισμικής επικινδυνότητας.

### 1.2 Σκοπός της εργασίας

Όπως προαναφέρθηκε το κτίριο κατασκευάστηκε το έτος 1960, και έχουν σωθεί μόνο τα αρχιτεκτονικά σχέδια της οικοδομικής άδειας. Σκοπός της εργασίας είναι η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας υπό σεισμικές δράσεις, του υφιστάμενου δώροφου κτιρίου οπλισμένου σκυροδέματος. Η αποτίμηση του κτιρίου θα γίνει με βάση τους σύγχρονους κανονισμούς και συγκεκριμένα τον Ελληνικό Κανονισμό Επεμβάσεων του (ΚΑΝ.ΕΠΕ) και του Ευρωκώδικα 8, ακολουθώντας τα βήματα της μη γραμμικής στατικής ανελαστικής

ανάλυσης (pushover). Στη συνέχεια εξετάζεται η πρόταση για προσθήκη ορόφου με ενίσχυση. Η εργασία εκπονήθηκε με τη βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος Fespa.

# Κεφάλαιο 2

## Βασικές αρχές αποτίμησης και ανασχεδιασμού σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

### 2.1 Γενικά

Ο Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ), αφορά την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας και τον αντισεισμικό ανασχεδιασμό υφισταμένων δομημάτων ή μελών τους.

Καλύπτει τα έργα «συνήθους διακινδύνευσης», δηλαδή έργα των οποίων ενδεχόμενη βλάβη τους περιορίζεται στο ίδιο το έργο, στο περιεχόμενό του και στην άμεση γειτονία του. Ο Κανονισμός δεν καλύπτει τα έργα «υψηλής διακινδύνευσης» όπως π.χ. φράγματα ή θαλάσσια έργα, των οποίων ενδεχόμενη βλάβη μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες σε μεγάλη έκταση έξω από την περιοχή του έργου. (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2η Αναθεώρηση 2017).

### 2.2 Στόχοι αποτίμησης και ανασχεδιασμού

#### 2.2.1 Γενικά

- Για την εξυπηρέτηση ευρύτερων κοινωνικό-οικονομικών αναγκών, θεσπίζονται διάφορες «στάθμες επιτελεστικότητας» (στοχευόμενες συμπεριφορές) υπό δεδομένους αντίστοιχους σεισμούς σχεδιασμού.
- Οι στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού (Εικόνα 2.1) αποτελούν συνδυασμούς αφενός μιας στάθμης επιτελεστικότητας και αφετέρου μιας σεισμικής δράσης, με δεδομένη «ανεκτή πιθανότητα υπέρβασης κατά την τεχνική διάρκεια ζωής του κτιρίου» (σεισμός σχεδιασμού).
- Στον ΚΑΝ.ΕΠΕ προβλέπονται στόχοι επανελέγχου αναφερόμενοι αποκλειστικά και μόνον στον φέροντα οργανισμό. Αντίθετα, δεν προβλέπονται στόχοι για τον μη-φέροντα οργανισμό.

#### 2.2.2 Στάθμες επιτελεστικότητας

Οι στάθμες επιτελεστικότητας ορίζονται συναρτήσει του βαθμού βλάβης ως εξής:

- «Περιορισμένες βλάβες» (A) – Άμεση χρήση μετά το σεισμό ή (DL): Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί μόνο ελαφριές βλάβες, με τα δομικά στοιχεία να μην έχουν διαρρεύσει σε σημαντικό βαθμό και να διατηρούν την αντοχή και δυσκαμψία τους. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι αμελητέες.
- «Σημαντικές βλάβες» (B) – Προστασία ζωής ή (SD): Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί σημαντικές και εκτεταμένες αλλά επισκευάσιμες βλάβες, ενώ τα δομικά στοιχεία διαθέτουν εναπομένουσα αντοχή και δυσκαμψία και είναι σε θέση να παραλάβουν τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μετρίου μεγέθους. Ο φέρων οργανισμός μπορεί να αντέξει μετασεισμικούς μέτριας έντασης.
- «Οιονεί κατάρρευση» (Γ) ή (NC): Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί εκτεταμένες και σοβαρές ή βαριές (μη επισκευάσιμες κατά πλειονότητα) βλάβες. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μεγάλες. Ο φέρων οργανισμός έχει ακόμη την ικανότητα να φέρει τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία, (κατά, και για ένα διάστημα μετά τον σεισμό) χωρίς να διαθέτει άλλο ουσιαστικό περιθώριο ασφαλείας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης, ακόμη και για μετασεισμικούς μέτριας έντασης.

Ο όρος «φέρων οργανισμός» αντιστοιχεί στο σύστημα ανάληψης κατακόρυφων φορτίων. Ενώ ο όρος «μη-φέρων οργανισμός» αντιστοιχεί στο σύστημα που δεν συμμετέχει στην ανάληψη κατακόρυφων φορτίων.

Γίνεται δεκτή μια ονομαστική τεχνική διάρκεια ζωής ίση με τον συμβατικό χρόνο ζωής των 50 ετών, ανεξαρτήτως της «πραγματικής» υπολειπόμενης διάρκειας ζωής του κτίσματος.

Η υιοθέτηση στόχου αποτίμησης ή ανασχεδιασμού με πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης 50% οδηγεί εν γένει σε πιο συχνές, πιο εκτεταμένες και πιο έντονες βλάβες έναντι ενός αντίστοιχου στόχου με πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης 10%.

Στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. διακρίνονται τα παρακάτω δύο επίπεδα σεισμικής δράσης:

- Η πιθανότητα υπέρβασης 50% (μέγιστη ανεκτή) σε 50 έτη αντιστοιχεί σε μέση περίοδο επαναφοράς περίπου 70 ετών.
- Η πιθανότητα υπέρβασης 10% σε 50 έτη αντιστοιχεί σε μέση περίοδο επαναφοράς περίπου 475 ετών.

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

**Εικόνα 2.1.** Στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)

Οι ελάχιστοι ανεκτοί στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού υφιστάμενων κτιρίων ορίζονται ανάλογα με την κατηγορία σπουδαιότητας του κτιρίου ως εξής:

Κατηγορία Σπουδαιότητας	Στόχοι
I	Γ2
II	Γ1
III	B1
IV	B1 και A2 (Ικανοποίηση και των δύο στόχων)

Σε κάθε περίπτωση να θεωρηθεί ότι ισχύει  $A1 > A2$ ,  $B1 > B2$ ,  $\Gamma1 > \Gamma2$ ,  $A1 > B1 > \Gamma1$  και  $A2 > B2 > \Gamma2$

**Εικόνα 2.2.** Κατηγορίες σπουδαιότητας & στόχοι

### 2.3 Στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων (Σ.Α.Δ.)

Η Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων (Σ.Α.Δ.) που αφορούν δράσεις ή αντιστάσεις, εκφράζει την επάρκεια των πληροφοριών περί του υφισταμένου κτιρίου και λαμβάνεται υπόψη κατά την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό.

Διακρίνονται τρεις Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων:

- Υψηλή
- Ικανοποιητική
- Ανεκτή

### 2.4 Μέθοδοι Ανάλυσης

Οι μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση είναι:

- Ελαστική (ισοδύναμη) στατική ανάλυση με καθολικό δείκτη συμπεριφοράς ( $q$ ) ή τοπικό δείκτη ( $m$ ).
- Ελαστική δυναμική ανάλυση με καθολικό δείκτη συμπεριφοράς ( $q$ ) ή τοπικό δείκτη ( $m$ ).



- Ανελαστική στατική ανάλυση.
- Ανελαστική δυναμική ανάλυση (ανάλυση χρονοϊστορίας).

# Κεφάλαιο 3

## Ανελαστική στατική μέθοδος Pushover

### 3.1 Ανελαστική στατική μέθοδος (Pushover)

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται η ανελαστική στατική μέθοδος pushover η οποία αναφέρεται και ως μέθοδο των μετακινήσεων.

Κύριος στόχος της ανελαστικής στατικής ανάλυσης είναι η εκτίμηση του μεγέθους των ανελαστικών παραμορφώσεων που θα αναπτυχθούν στα δομικά στοιχεία όταν το κτίριο υπόκειται στη σεισμική δράση για την οποία γίνεται η αποτίμηση ή ο ανασχεδιασμός.

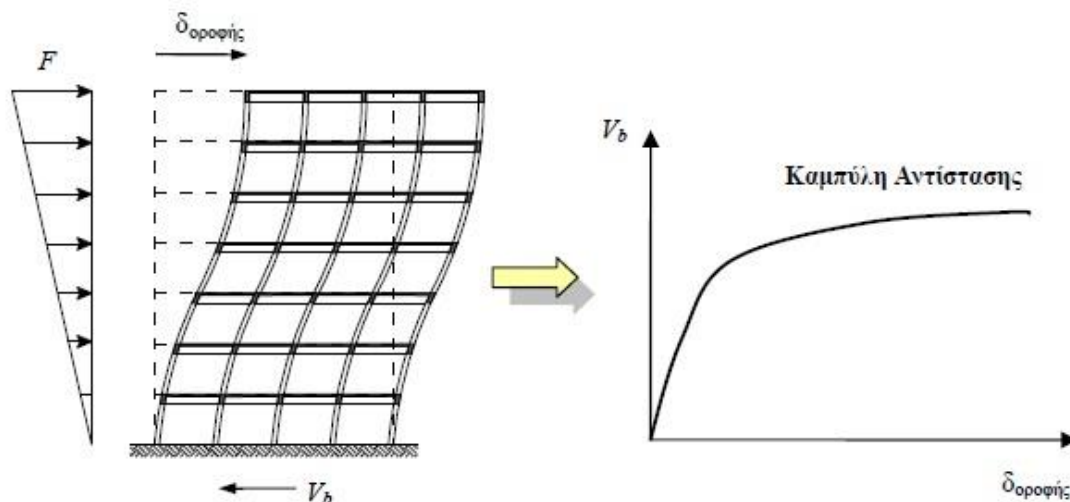
Βασικές παραδοχές της μεθόδου (KAN.ΕΠΕ):

- Στη στατική ανελαστική ανάλυση το προσομοίωμα του κτιρίου θα συνεκτιμά με άμεσο τρόπο τα μη γραμμικά χαρακτηριστικά του νόμου δύναμης παραμόρφωσης των δομικών στοιχείων.
- Το προσομοίωμα αυτό θα υποβάλλεται σε οριζόντια φορτία κατανεμημένα κατά τρόπο ανάλογο προς τις αδρανειακές δυνάμεις του σεισμού, τα οποία θα αυξάνονται μονότονα, μέχρις ότου κάποιο δομικό στοιχείο δεν είναι πλέον σε θέση να φέρει τα κατακόρυφα φορτία του. Από την ανάλυση αυτή προκύπτει η καμπύλη αντίστασης του κτιρίου (Εικόνα 3.1), η οποία είναι η αποτύπωση σε διάγραμμα της σχέσης της τέμνουσας βάσης ( $V_b$ ) με την μετακίνηση ( $\delta$ ) του χαρακτηριστικού σημείου του κτιρίου (κόμβος ελέγχου), το οποίο λαμβάνεται στην κορυφή του. Η καμπύλη αυτή αποτελεί τη βάση για όλους τους απαιτούμενους ελέγχους ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεστικότητας.
- Αφού επιλεγεί η σεισμική δράση (αποτίμησης ή ανασχεδιασμού), ο έλεγχος ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεστικότητας γίνεται για τη μετακίνηση του κόμβου ελέγχου που αντιστοιχεί στη σεισμική αυτή δράση. Ελέγχεται ότι για τη μετακίνηση αυτή η παραμόρφωση (γωνία στροφής κατά ή μετά τη διαρροή) των πλαστικών δομικών στοιχείων δεν συνεπάγεται βαθμό βλάβης μεγαλύτερο από εκείνον που γίνεται ανεκτός για τη σκοπούμενη στάθμη επιτελεστικότητας του κτιρίου.
- Όταν δεν γίνεται ακριβέστερος υπολογισμός, η μετακίνηση του κόμβου ελέγχου (στοχευόμενη μετακίνηση  $\delta_t$ ) που προκαλείται από τη σεισμική δράση (αποτίμησης

ή ανασχεδιασμού) μπορεί να εκτιμηθεί με βάση το φάσμα μετακινήσεων που αντιστοιχεί σε πλαστιμότητα συμβατή με τη μετακίνηση του κτιρίου.

Όταν εφαρμόζεται η ανελαστική στατική μέθοδος συνιστάται να διασφαλίζεται «ικανοποιητική» Στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων Σ.Α.Δ.

Ο κόμβος ελέγχου της στοχευόμενης μετακίνησης θα λαμβάνεται στο κέντρο μάζας της οροφής του κτιρίου.



Εικόνα 3.1. Καμπύλη αντίστασης

### 3.2 Πλεονεκτήματα ανελαστικής ανάλυσης

Η μη γραμμική ανάλυση υπερέχει της κλασικής ελαστικής καθώς παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα: (LH Logismiki).

- Είναι πιο ακριβής διότι δεν βασίζεται μόνο στη δυσκαμψία των μελών, αλλά συνεκτιμά και την αντοχή τους. Επίσης, καθιστά δυνατό τον έλεγχο της δυνατότητας παραμόρφωσης όπως αυτή διαμορφώνεται βάσει π.χ. της περίσφιγξης και της λεπτομέρειας όπλισης.
- Εξασφαλίζεται η εποπτεία κατανομής των βλαβών στον φορέα.
- Γίνεται απαλλαγή από ικανοτικά προσομοιώματα.
- Μπορεί να ελεγχθεί η επάρκεια του φορέα για πολλές επιτελεστικότητες ταυτόχρονα (Άμεση χρήση, Προστασία ζωής, Αποφυγή κατάρρευσης).
- Παρέχει πληροφόρηση σχετικά με την μορφή της δομικής ανεπάρκειας και βοηθάει να σχεδιαστεί η ενίσχυση είτε με αύξηση της αντοχής, είτε με αύξηση της πλαστιμότητας, είτε με συνδυασμό τους.

### 3.3 Προσομοίωση

Βασικό στοιχείο της ανάλυσης είναι η ορθή προσομοίωση της κατασκευής και τοποθέτηση των κατάλληλων φορτίων ώστε να λαμβάνονται σε αυτή όλα τα απαραίτητα στοιχεία, τα οποία θα οδηγήσουν σε αξιόπιστα αποτελέσματα.

Βασικές απαιτήσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. ως προς την τοποθέτηση των φορτίων στην κατασκευή και τη συμπεριφορά των μελών αυτής συνοψίζει η Εικόνα 3.2

Αρχές προσομοίωσης	Διατάξεις
<p><b>A.</b> Τα κατακόρυφα φορτία των στοιχείων θα συμπεριλαμβάνονται στο προσομοίωμα, ώστε να συνδυάζονται με τα οριζόντια φορτία σύμφωνα με το σεισμικό συνδυασμό του EC8-1 (§4.3.3.4.1 (5)P).</p> <p><b>B.</b> Εφαρμογή των πλευρικών στατικών φορτίων στη στάθμη κάθε διαφράγματος σύμφωνα με την κατανομή των αδρανειακών σεισμικών δυνάμεων.</p> <p><b>C.</b> Η εφαρμογή τους σε δύο αντίθετες διευθύνσεις («θετική» - «αρνητική»), θα οδηγήσει σε δυο αποτελέσματα για κάθε κρίσιμη διατομή, εκ των οποίων το δυσμενέστερο θα χρησιμοποιηθεί στον έλεγχο.</p> <p><b>D.</b> Στο προσομοίωμα θα συμπεριλαμβάνονται γενικά τόσο τα κύρια, όσο και τα δευτερεύοντα στοιχεία, αλλά και οι τοιχοπληρώσεις εφόσον λαμβάνεται υπόψη η φάση εξασθένησης της αντίστασης του στοιχείου. Σε αντίθετη περίπτωση τα δευτερεύοντα στοιχεία θα αποκλείονται από την ανάλυση.</p>	<p>ΚΑΝ.ΕΠΕ. (§5.7.3.1)</p> <p>Ενεργοποιήστε τα IV Μετάβαση στις ρυθμίσεις</p>

**Εικόνα 3.2.** Βασικές απαιτήσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τα μέλη τις φορτίσεις της κατασκευής

Η σεισμική ένταση εκφράζεται με οριζόντια φόρτιση κατανομής σύμφωνης με την κατανομή των αδρανειακών δυνάμεων, η οποία αυξάνεται σταδιακά μέχρι το επίπεδο της κρίσιμης μετακίνησης του δομήματος, το οποίο ταυτίζεται με την οροφή του κτιρίου.

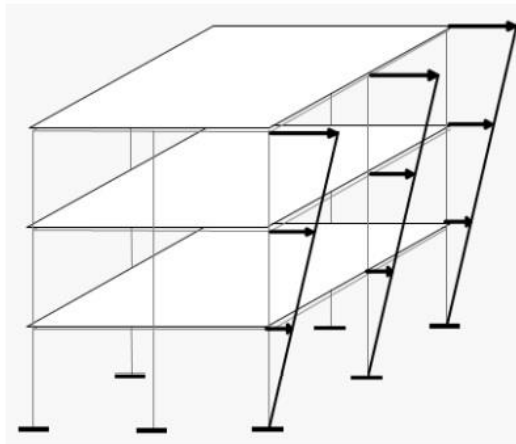
#### 3.3.1 Οριζόντια κατανομή φορτίων

Η εφαρμογή των οριζόντιων φορτίων γίνεται στη στάθμη του διαφράγματος (πλάκα ορόφου). (EC8-3, ΚΑΝ.ΕΠΕ.). Εφαρμόζονται σε δύο διευθύνσεις για θετικό και αρνητικό

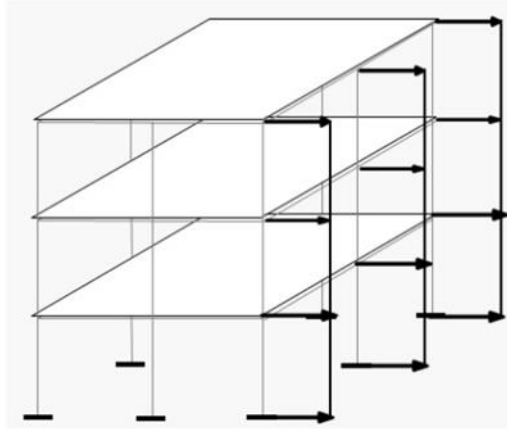
πρόσημο. Για κάθε μια από τις τέσσερις περιπτώσεις που προκύπτουν εφαρμόζονται δυο καθ' ύψος κατανομές των οριζόντιων φορτίων παράγοντας έτσι συνολικά 8 φορτίσεις.

### 3.3.2 Καθ' ύψος κατανομή

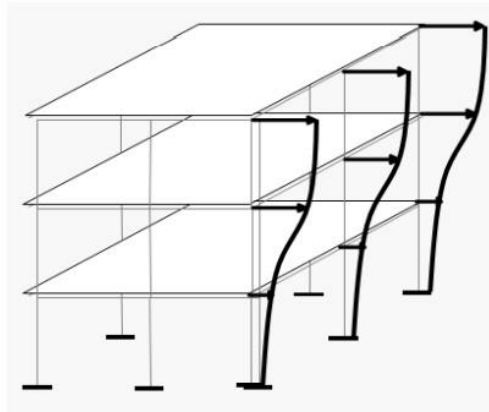
- **Τριγωνική Κατανομή:** Η επιλογή της 1ης κατανομής οριζόντιων φορτίων είναι ανάλογη με πλευρικές δυνάμεις που είναι συμβατές με την κατανομή οριζοντίων δυνάμεων που προκύπτουν από την ελαστική ανάλυση όπως αυτές που φαίνονται στην Εικόνα 3.3
- **Ομοιόμορφη Κατανομή:** Η επιλογή της 2ης κατανομής οριζοντίων φορτίων βασίζεται σε οριζόντιες δυνάμεις, οι οποίες είναι ανάλογες με τη μάζα ανεξάρτητα από τη στάθμη Εικόνα 3.4.
- **Ιδιομορφική Κατανομή:** Η επιλογή της 3ης κατανομής οριζόντιων φορτίων βασίζεται στο σχήμα της ιδιομορφής της κατασκευής που αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο ποσοστό ιδιομορφικής μάζας όπως αυτή προέκυψε από ελαστική ιδιομορφική ανάλυση Εικόνα 3.5.



Εικόνα 3.3. Τριγωνική κατανομή φόρτισης καθ' ύψος



Εικόνα 3.4. Ορθογωνική κατανομή φόρτισης καθ' ύψος



Εικόνα 3.5. Ιδιομορφική κατανομή φόρτισης καθ' ύψος

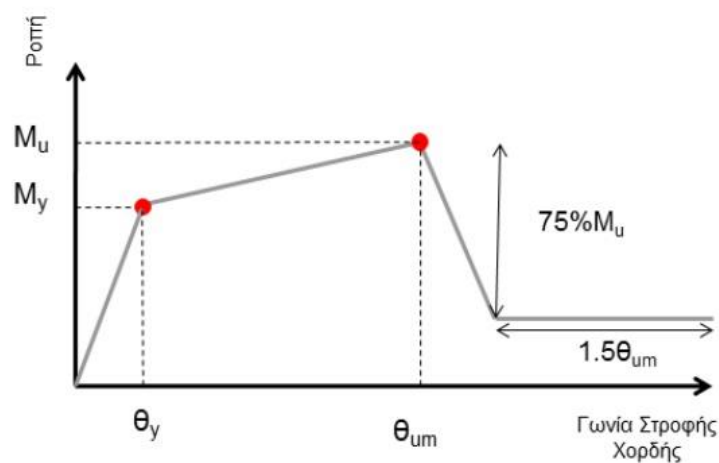
### 3.3.3 Κύρια και δευτερεύοντα στοιχεία

Η διάκριση των επιμέρους μελών της κατασκευής σε κύρια και δευτερεύοντα στοιχεία βασίζεται στο κατά πόσο σημαντική είναι η συνεισφορά τους στην παραλαβή των σεισμικών φορτίων. Ως κύρια (ή πρωτεύοντα) μέλη χαρακτηρίζονται όλα τα κατακόρυφα και οριζόντια στοιχεία που συμβάλλουν στην αντοχή και την ευστάθεια του δομήματος υπό σεισμικά φορτία. Όσον αφορά τα δευτερεύοντα μέλη η δυσκαμψία και η αντοχή τους στις σεισμικές δράσεις αγνοείται, ενώ διατηρούν την ικανότητα ανάληψης των κατακόρυφων φορτίων βαρύτητας. (ΚΑΝ.ΕΠΕ).

### 3.4 Συμπεριφορά δομικών στοιχείων

#### 3.4.1 Διάγραμμα έντασης - παραμόρφωσης

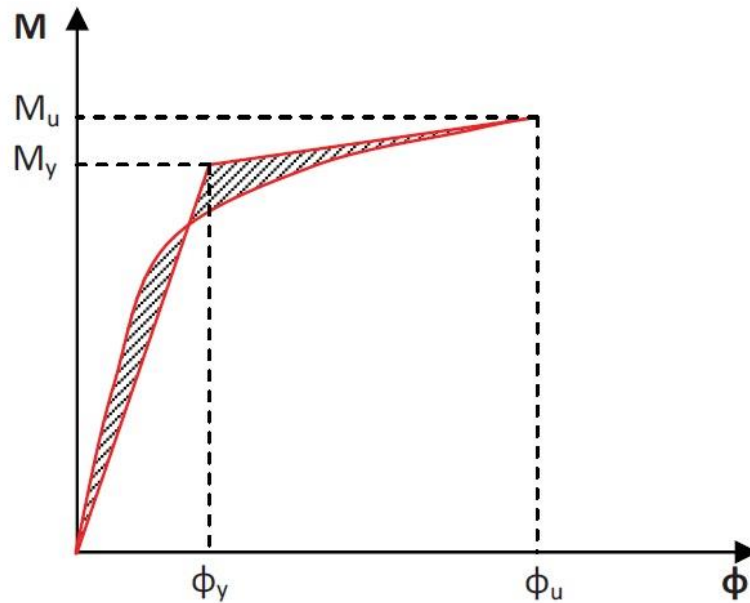
Η ανελαστική στατική ανάλυση βασίζεται στην εμφάνιση των πλαστικών αρθρώσεων στα μέλη της κατασκευής. Η ανελαστικότητα προκύπτει με τη συσχέτιση των γενικευμένων μεγεθών δύναμης  $F$  (δύναμη ή ροπή) με τις αντίστοιχες παραμορφώσεις  $\delta$  (μετατοπίσεις ή στροφές). Στην περίπτωση αξονικά καταπονούμενων μελών το ρόλο του  $F$  παίζει η δύναμη και του  $\delta$  η μετακίνηση, ενώ στην περίπτωση καμπτόμενων μελών το ρόλο του  $F$  παίζει η ροπή  $M$  ενώ του  $\delta$  η γωνία στροφής χορδής  $\theta$ . Η γενική μορφή του διαγράμματος  $M-\theta$  απεικονίζεται στην Εικόνα 3.6.



Εικόνα 3.6 Γενική μορφή διαγράμματος  $M-\theta$

#### 3.4.2 Διάγραμμα ροπών-καμπυλοτήτων ( $M-\phi$ )

Ο προσδιορισμός της συμπεριφοράς των μελών της κατασκευής στη μη γραμμική στατική ανάλυση απαιτεί την εύρεση της αντοχής των διατομών των μελών. Για κάθε κρίσιμη διατομή, είναι δυνατή η εξαγωγή του διαγράμματος ροπών-καμπυλοτήτων. Το διάγραμμα ροπών-καμπυλοτήτων είναι μη γραμμικό και η διγραμμικοποίηση αυτού επιτυγχάνεται με την εξαγωγή διγραμμικού διαγράμματος του οποίου η ενέργεια (εμβαδόν του χωρίου ανάμεσα στο διάγραμμα και τον οριζόντιο άξονα) ισούται με την ενέργεια του αρχικού μη γραμμικού διαγράμματος.

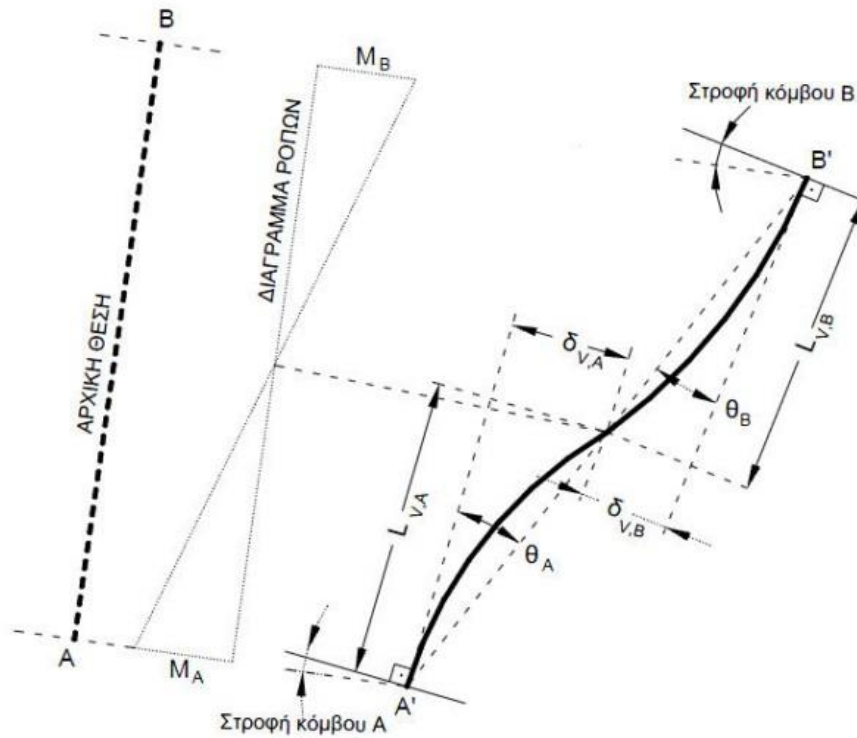


Εικόνα 3.7 Διγραμμικοποίηση του διαγράμματος ροπών-καμπυλοτήτων διατομής.

### 3.4.3 Γωνία στροφής-χορδής

Στη στατική ανελαστική ανάλυση χρησιμοποιείται ένα προσομοίωμα του φορέα το οποίο λαμβάνει υπόψη ανελαστικούς νόμους φορτίου-παραμόρφωσης για τα επιμέρους δομικά στοιχεία του κτιρίου. Ειδικότερα για το σκυρόδεμα, λόγω του ότι οι καμπτικές και οι διατμητικές παραμορφώσεις συνυπάρχουν, χρησιμοποιείται ο ανελαστικός νόμος ροπής κάμψης – γωνία στροφής χορδής (M-θ).





Εικόνα 3.8. Γωνίες στροφής χορδής σε κάθε κόμβο μέλους

### 3.5 Ο συντελεστής $\alpha_u/\alpha_1$

Ο ενιαίος συντελεστής συμπεριφοράς  $\mathbf{q}$  μιας κατασκευής είναι σταθερός ή ανάλογος του λόγου  $\alpha_u/\alpha_1$ , σύμφωνα με την τάξη της πλαστιμότητάς της (EC-8). Ο λόγος αυτός απαρτίζεται από:

$\alpha_1$  = τιμή με την οποία πρέπει να πολλαπλασιαστούν τα οριζόντια φορτία ώστε να φτάσει κάποιο μέλος της κατασκευής στην καμπτική διαρροή ενώ όλες οι άλλες φορτίσεις παραμένουν σταθερές (εμφάνιση της πρώτης πλαστικής άρθρωσης στο φέροντα οργανισμό).

$\alpha_u$  = τιμή με την οποία πρέπει να πολλαπλασιαστούν τα οριζόντια φορτία ώστε να δημιουργηθεί επαρκής αριθμός πλαστικών αρθρώσεων στο κτίριο για την αστάθεια του τελευταίου, ενώ όλες οι άλλες φορτίσεις παραμένουν σταθερές.

### 3.6 Επιρροές 2ης τάξης

Στην ανελαστική στατική ανάλυση, οι στατικές επιρροές 2ης τάξεως θα πρέπει να συνεκτιμώνται στην ανάλυση (KAN.ΕΠΕ) διότι στην οροφή του δομήματος η μετακίνηση  $\delta$  μπορεί να πάρει μεγάλες τιμές. Οι επιρροές αυτές μπορούν να οδηγήσουν στην επιβολή επιπρόσθετων ροπών επιταχύνοντας την εμφάνιση των πλαστικών αρθρώσεων στον φορέα. Συνεπώς γίνεται κατανοητό πως η αγνόηση αυτών των φαινομένων μπορεί να οδηγήσει σε

υπερεκτίμηση της αντοχής του κτιρίου. Συνεκτιμώνται στην ανάλυση ενσωματώνοντας στο προσομοίωμα την μη γραμμική σχέση έντασης-παραμόρφωσης όλων των στοιχείων που φέρουν αξονικά φορτία.

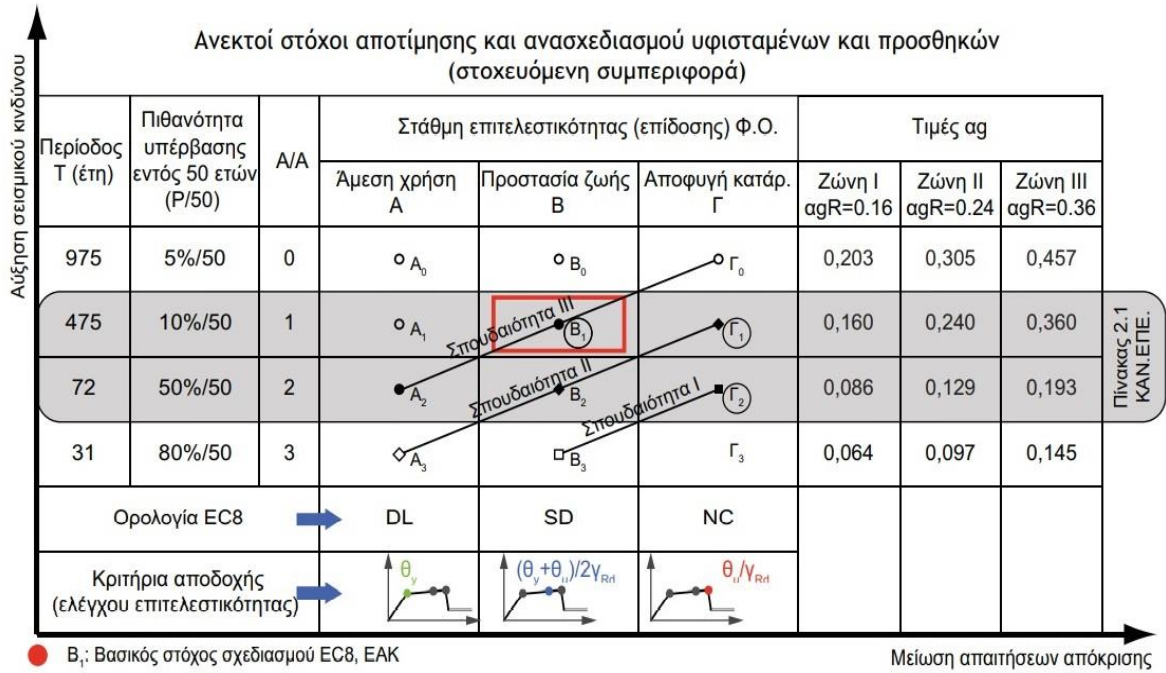
Για μείωση του υπολογιστικού φόρτου ο αριθμός των ανελαστικών γραμμικών αναλύσεων ορίζεται σε 16, με την επιλογή του συντελεστή συνδυασμού εγκάρσιας φόρτισης = 30% και χωρίς να ληφθεί υπ' όψιν η τυχηματική εκκεντρότητα.

### 3.7 Στάθμες επιτελεστικότητας

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2, οι στάθμες επιτελεστικότητας ορίζονται συναρτήσει του βαθμού βλάβης και είναι οι εξής:

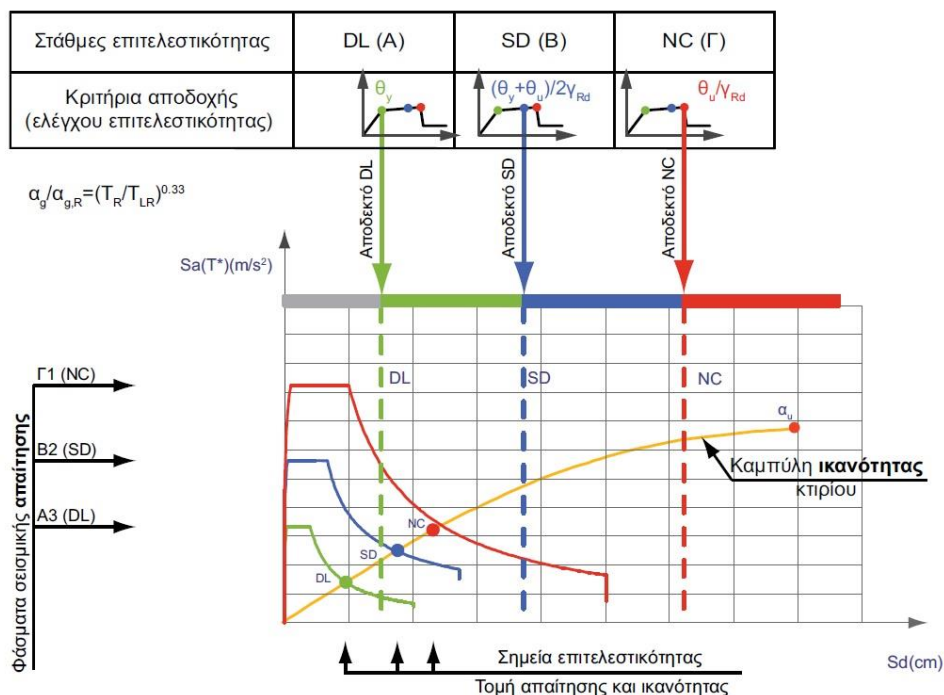
- Περιορισμένες βλάβες (Α) – Άμεση χρήση - (Damage Limitation - DL)
- Σημαντικές βλάβες (Β) – Προστασία ζωής - (Severe Damage – SD)
- Οιονεί κατάρρευση (Γ) - (Near Collapse - NC)

Στον παρακάτω πίνακα στην Εικόνα 3.9 παρουσιάζονται συνοπτικά οι προαναφερθείσες στάθμες επιτελεστικότητας όπως αναφέρονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Ο βασικός στόχος σχεδιασμού και αποτίμησης στον οποίο βασίζονται οι διατάξεις του EC8, αλλά και του προηγούμενου Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού ΕΑΚ ορίζεται η προστασία ζωής των ενοίκων σε ένα σεισμικό γεγονός που έχει περίοδο επανάληψης 10% στα 50 χρόνια. Μία υφιστάμενη κατασκευή, ανάλογα με τη σπουδαιότητα της, παρουσιάζει διαφορετικούς στόχους αποτίμησης για διάφορες στάθμες επιτελεστικότητας.



**Εικόνα 3.9** Πίνακας ανεκτών στόχων αποτίμησης & ανασχεδιασμού υφιστάμενων κτιρίων και προσθηκών

Στην Εικόνα 3.10 παρουσιάζεται το διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ADRS, η καμπύλη αντίστασης για μια συγκεκριμένη κατασκευή καθώς και τα ελαστικά σεισμικά φάσματα απαίτησης για τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας. Με τις χρωματιστές κουκίδες πάνω στην καμπύλη σημειώνονται οι στοχευόμενες μετακινήσεις και με κατακόρυφες διακεκομμένες οι αντίστοιχες ικανότητες μετακίνησης τις κατασκευής για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας. Το γεγονός ότι και οι τρεις διακεκομμένες γραμμές βρίσκονται στα δεξιά των στοχευόμενων μετακινήσεων καθιστά την παρούσα κατασκευή επαρκή στις απαιτήσεις αποτίμησης.



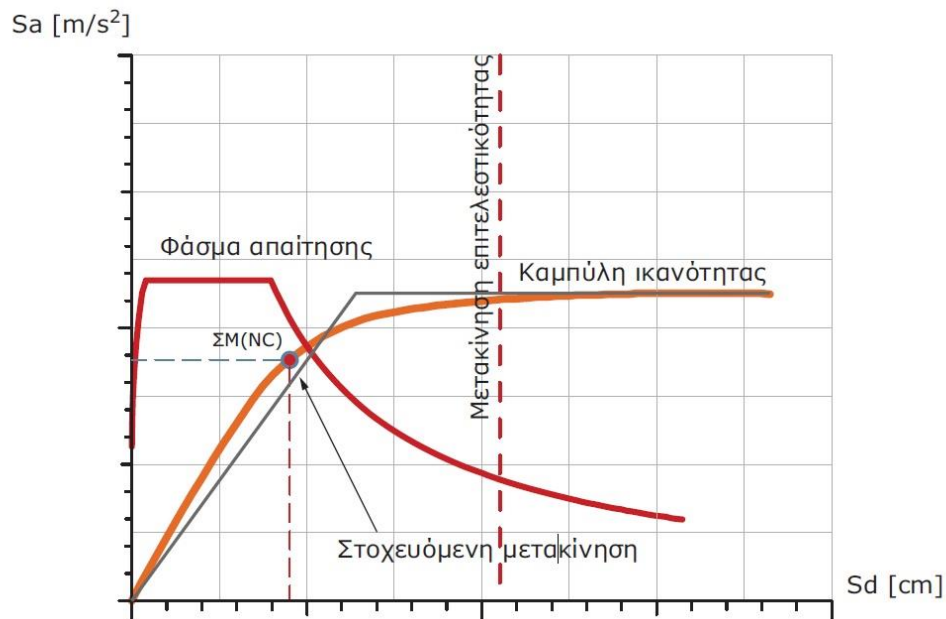
**Εικόνα 3.10** Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ADRS και στάθμες επιτελεστικότητας για συγκεκριμένη κατασκευή στο πρόγραμμα Fespa

Μετά την επιλογή της επιθυμητής στάθμης επιτελεστικότητας της κατασκευής θα πρέπει να ελεγχθεί ότι για μετακίνηση ίση με την υπολογισθείσα στοχευόμενη μετακίνηση, κανένα μέλος δεν υπερβαίνει την οριακή τιμή της γωνίας στροφής χορδής. Σε αντίθετη περίπτωση απαιτείται ενίσχυση της κατασκευής προς αύξηση της αντοχής.

### 3.8 Τελικός έλεγχος επάρκειας κατασκευής

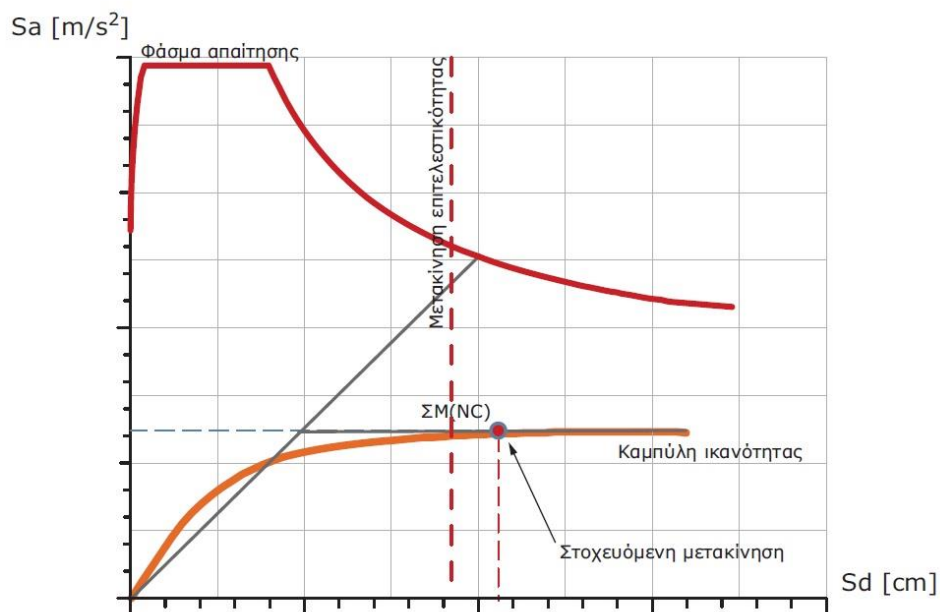
#### 3.8.1 Καθολικός έλεγχος κατασκευής

Στην Εικόνα 3.11 φαίνονται το ελαστικό φάσμα, η καμπύλη αντίστασης της κατασκευής και η μετακίνηση που αντιστοιχεί σε στάθμη επιτελεστικότητας Αποφυγής Κατάρρευσης. Η στοχευόμενη μετακίνηση, που λόγω των αυξημένων πλαστικών παραμορφώσεων, δεν βρίσκεται στο σημείο τομής της καμπύλης με το ελαστικό φάσμα, αλλά στο σημείο όπου θα αντιστοιχούσε η τομή με ένα υποβαθμισμένο πλαστικό φάσμα. Ο έλεγχος γίνεται με βάση τις μετακινήσεις και συγκεκριμένα αν η ικανότητα μετακίνησης της κατασκευής για τη συγκεκριμένη στάθμη επιτελεστικότητας είναι μεγαλύτερη από τη στοχευόμενη. Η διαδικασία αυτή έγκειται στην παρατήρηση αν η διακεκομμένη γραμμή (μετακίνηση για την αστοχία του πρώτου κύριου μέλους της κατασκευής) βρίσκεται δεξιά της στοχευόμενης μετατόπισης, γεγονός που θα σήμαινε την επάρκεια της κατασκευής. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η απαίτηση αυτή ικανοποιείται.



**Εικόνα 3.11.** Τελικός έλεγχος επάρκειας κατασκευής

Στην Εικόνα 3.12 η ικανότητα μετακίνησης της κατασκευής είναι μεγαλύτερη απ' τη στοχευόμενη για συγκεκριμένη στάθμη επιτελεστικότητας. Η διακεκομμένη γραμμή (μετακίνηση για την αστοχία του πρώτου κύριου μέλους της κατασκευής) βρίσκεται αριστερά της στοχευόμενης μετατόπισης, άρα η απαίτηση για την επάρκεια της κατασκευής δεν ικανοποιείται.



**Εικόνα 3.12.** Μη ικανοποίηση του ελέγχου επάρκειας

### 3.8.2 Λόγοι στατικής επάρκειας μελών $\lambda$

Έπειτα από την εύρεση της στοχευόμενης μετακίνησης της κατασκευής, βρίσκονται για κάθε μέλος ξεχωριστά οι γωνίες στροφής-χορδής που αντιστοιχούν στο βήμα επίλυσης όπου παρατηρείται η μετακίνηση αυτή. Ως συντελεστής επάρκειας της κάθε στάθμης επιτελεστικότητας ορίζεται ο λόγος της ευρισκόμενης αυτής τιμής προς την αντίστοιχη τιμή που ορίζει το κριτήριο επιτελεστικότητας. Τα παραπάνω ισχύουν για την περίπτωση της κάμψης, ενώ όσον αφορά την τέμνουσα ο λόγος επάρκειας αφορά μόνο την Αποφυγή Κατάρρευσης και υπολογίζεται ως ο λόγος της τέμνουσας του μέλους που αντιστοιχεί στη στοχευόμενη μετακίνηση προς την διατμητική αντοχή του μέλους.

Για κάθε μέλος υπολογίζονται οι λόγοι επάρκειας της κάθε στάθμης επιτελεστικότητας για όλες τις σεισμικές φορτίσεις που εκτελούνται. Οι λόγοι επάρκειας (απαίτηση/ικανότητα) υποδεικνύουν εάν και κατά πόσο ένα μέλος του φέροντος οργανισμού έχει ξεπεράσει την οριακή τιμή γωνίας στροφής  $\theta$  ( $\lambda = \theta / \theta_{lim}$ ), ή της τέμνουσας δύναμης ( $\lambda = V / V_R$ ). Εάν  $\lambda \leq 1$ , τότε το κριτήριο ικανοποιείται, διαφορετικά η αντοχή του κτιρίου δεν επαρκεί για την αντίστοιχη στάθμη επιτελεστικότητας και απαιτείται ενίσχυση. Στόχος είναι η εκπλήρωση όλων των στόχων επιτελεστικότητας και επιτυγχάνεται γενικά με τις εξής περιπτώσεις:

- Με αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας της κατασκευής μέσω αύξησης των διαστάσεων των διατομών και του οπλισμού.
- Με αύξηση της διατιθέμενης πλαστιμότητας της κατασκευής μέσω της καλύτερης περίσφιξης των διατομών.

### 3.8.3 Εύρεση του μέγιστου σεισμικού συντελεστή που αντιστοιχεί σε κάθε στάθμη επιτελεστικότητας

Πλεονέκτημα της μη γραμμικής ανάλυσης Pushover αποτελεί η δυνατότητα προσδιορισμού του μέγιστου σεισμικού συντελεστή που μπορεί να επιβληθεί σε μία κατασκευή έτσι ώστε αυτή να μην ξεπεράσει οριακά την αντίστοιχη στάθμη επιτελεστικότητας. Παράλληλα, είναι εφικτός ο υπολογισμός της πιθανότητας υπέρβασης του μέγιστου σεισμικού γεγονότος κατά τη συμβατική διάρκεια ζωής του έργου.

# Κεφάλαιο 4

## Περιγραφή του φορέα

### 4.1 Γενικά στοιχεία κτιρίου

Το κτίριο που θα μελετηθεί στην παρούσα εργασία, είναι δύο ορόφων (Ισόγειο και Α΄ Όροφος) και έχει κατασκευαστεί σύμφωνα τις υπεύθυνες δηλώσεις των ιδιοκτητών στην περίοδο 1960-61. Για το συγκεκριμένο κτίριο είχε εκδοθεί η οικοδομική άδεια το έτος 1959. Από την συγκεκριμένη άδεια υπάρχουν μόνο μικροφίλμ από τα οποία φαίνονται μόνο η αρχιτεκτονική μελέτη, δηλ. κατόψεις, η όψη, η τομή του κτιρίου και το τοπογραφικό. Ούτε από το αρχείο της πολεοδομίας ούτε από το αρχείο του ιδιοκτήτη έχουν σωθεί άλλα σχέδια, όπως και η στατική μελέτη.

Το κτίριο έχει φορέα από οπλισμένο σκυρόδεμα άγνωστης ποιότητας και αντοχής ενώ για στοιχεία πλήρωσης έχει μπατική οπτοπλινθοδομή. Οι πλάκες είναι επίσης από οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 0.15μ έως 0.20μ, ενώ οι περιμετρικοί δοκοί έχουν διαστάσεις που ποικίλουν.

Επειδή δεν είναι γνωστή η ποιότητα του σκυροδέματος και του χάλυβα που έχουν χρησιμοποιηθεί, η επίλυση γίνεται σύμφωνα με τα χαμηλότερης ποιότητας υλικά της εποχής δηλαδή για το μεν σκυρόδεμα B120 ενώ για τον χάλυβα St I τόσο για τον κύριο οπλισμό όσο και για τους συνδετήρες.

Έτσι ο έλεγχος του κτιρίου γίνεται με ορθογωνική και ιδιομορφική κατανομή, με σεισμικό συντ.  $\varepsilon=0,04$ , και υλικά για το σκυρόδεμα B120 (εφόσον δεν υπάρχουν εργαστηριακές μετρήσεις ή μελέτες) και για το χάλυβα St I.

Με βάση τα παραπάνω έγινε αποτύπωση των φερόντων στοιχείων της υπάρχουσας κατασκευής όσον αφορά τις γεωμετρικές διαστάσεις και τους οπλισμούς, για τα μεν υποστυλώματα ήταν εμφανείς από το δώμα (αναμονές) ενώ για τις δοκούς και για τον εντοπισμό των συνδετήρων των υποστυλωμάτων έγιναν αποκαλύψεις. Τέλος για την θεμελίωση έγινε ενδεικτική τομή από όπου μετρήθηκαν καταρχάς οι διαστάσεις των θεμελίων και των συνδετήριων δοκών, καθώς επίσης έγινε αποκάλυψη για τον εντοπισμό του οπλισμού τόσο του θεμελίου όσο και των δοκών.

Η χρήση του κτιρίου, όσον αφορά τις παραδοχές των φορτίων, ήταν και είναι μέχρι και σήμερα κατοικία.

Στο κτίριο δεν υπάρχουν εμφανείς ρωγμές ούτε υπερβολικές παραμορφώσεις καθιζήσεις ή άλλες βλάβες τόσο στον φέροντα οργανισμό όσο και στον οργανισμό πληρώσεως, επίσης δεν υπάρχουν βόθροι ρέματα ή εκσκαφές σε θέσεις που να επηρεάζουν την συμπεριφορά του κτιρίου.

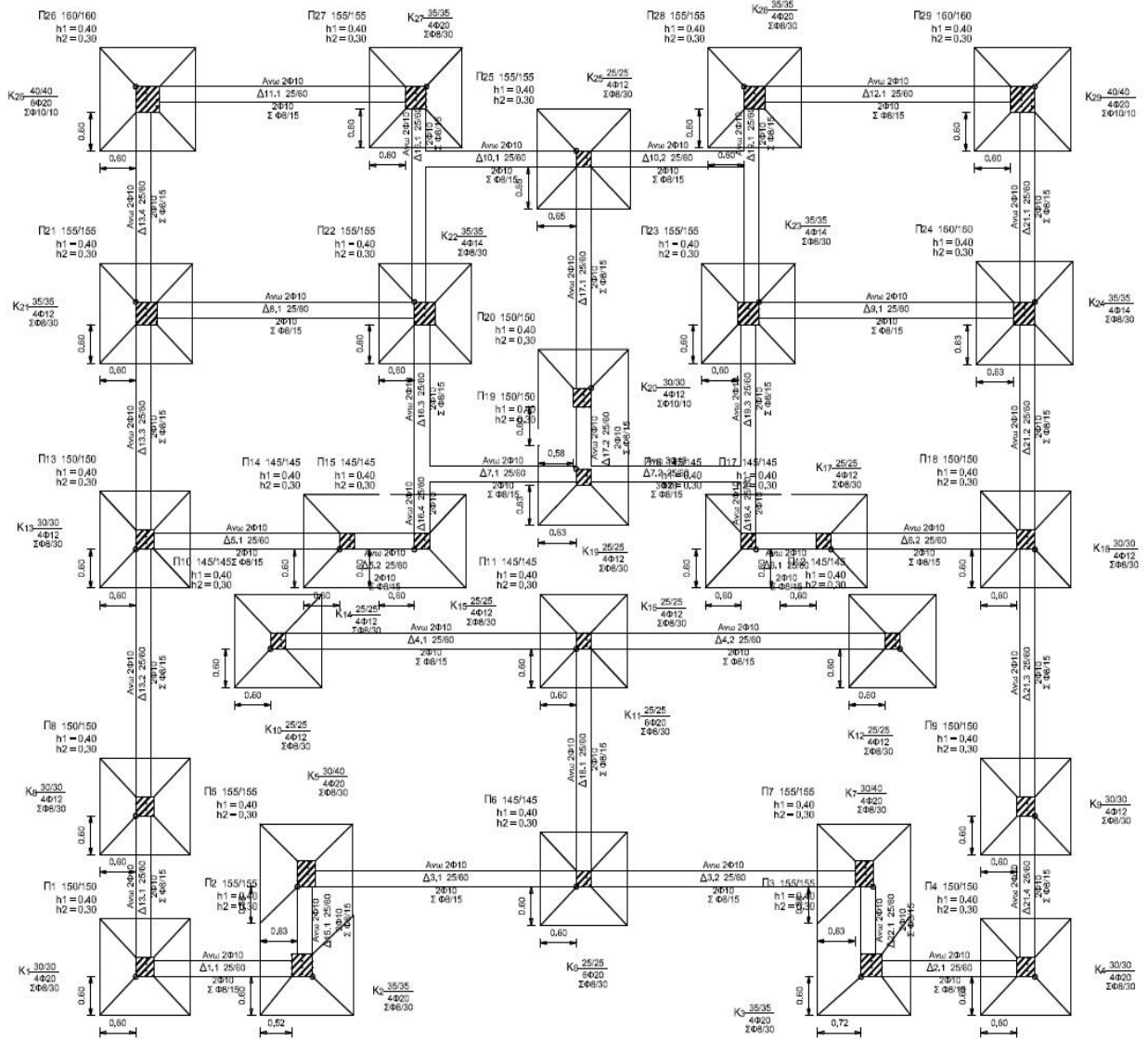
Το συμπέρασμα για την φέρουσα ικανότητα του κτιρίου σαν σύνολο και σαν μεμονωμένα στοιχεία είναι με βάση τους ελέγχους που έγιναν ότι υπάρχει πλήρης στατική επάρκεια.

Σημειώνεται πως η περιοχή στην οποία βρίσκεται το κτίριο ανήκει σε ζώνη II σεισμικής επικινδυνότητας με σεισμική επιτάχυνση εδάφους  $A=0,24g$ .

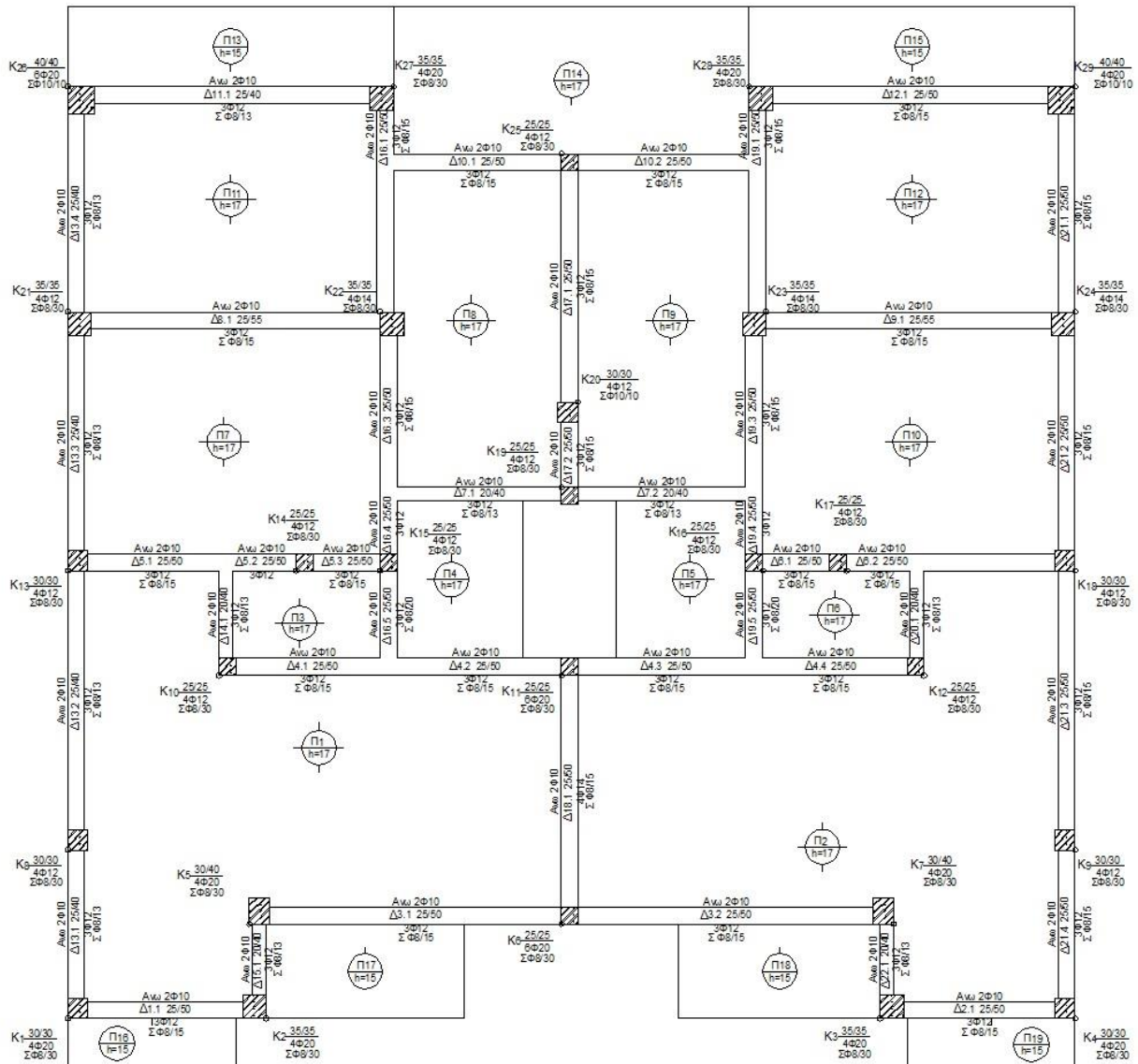
## 4.2 Η μορφή του φορέα

Η κατοικία αποτελείται από δύο ορόφους, με ύψος ορόφου τρία μέτρα. Το σχήμα της κάτοψης είναι ορθογωνικό με 4 προεξοχές. Οι τοιχοπληρώσεις είναι κανονικά τοποθετημένες και δεν παρατηρούνται επιπλέον προβλήματα στρέψης. Οι όψεις του κτιρίου έχουν τυπικά ανοίγματα και δεν δημιουργούνται φαινόμενα κοντών υποστυλωμάτων.

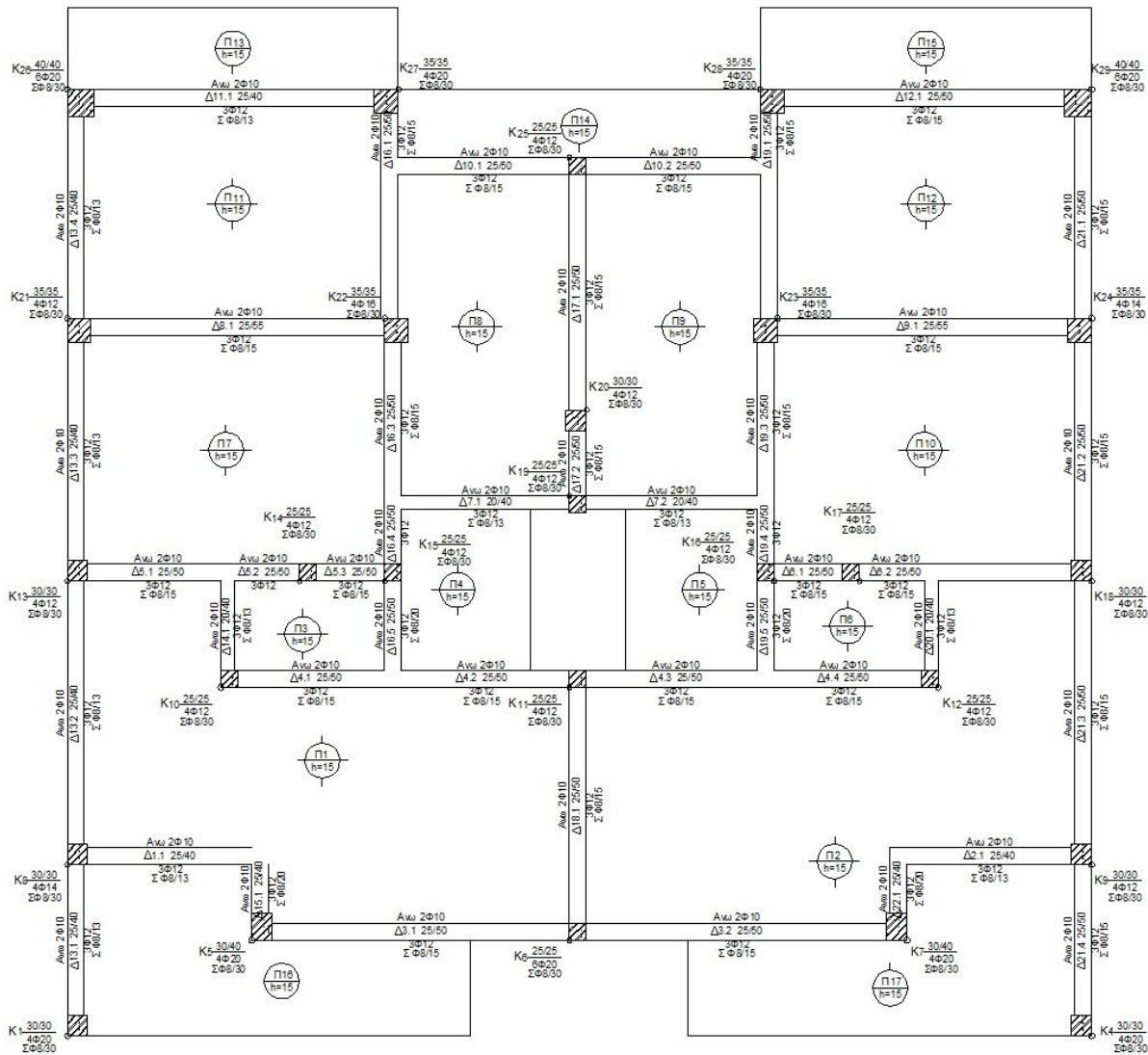




Εικόνα 4.1. Ξυλότυπος θεμελίωσης



Εικόνα 4.2. Ξυλότυπος οροφής ισογείου



Εικόνα 4.3. Ξυλότυπος οροφής Α' ορόφου

#### 4.2.1 Υλικά κατασκευής

Στο κτίριο οπλισμένου σκυροδέματος δεν είναι γνωστή η ποιότητα του σκυροδέματος και του χάλυβα που έχουν χρησιμοποιηθεί, η επίλυση γίνεται σύμφωνα με τα χαμηλότερης ποιότητας υλικά της εποχής δηλαδή για το μεν σκυρόδεμα B120 ενώ για τον Χάλυβα St I τόσο για τον κύριο οπλισμό όσο και για τους συνδετήρες, όπως τις παρουσιάζει ο Πίνακας 4.1.

Πίνακας 4.1. Υλικά

Σκυρόδεμα	B 120
Χάλυβας οπλισμού	ST I
Χάλυβας συνδετήρων	ST I

### 4.3 Παραδοχές μελέτης αποτίμησης φέρουσας ικανότητας

Παραδοχές – σεισμολογικά δεδομένα:

- Σεισμικότητα περιοχής: Ζώνη II με εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού  $A=0,24g$
- Κατηγορία εδάφους B με  $S=1.20$  ( $TB=0,15sec < Tc=0,5sec < TD=2,0sec$ )
- Επιτρεπομένη τάση εδάφους  $200 \text{ kN/m}^2$
- Σπουδαιότητα κτιρίου κατηγορίας II,  $\gamma=1.00$
- Ποιότητα σκυροδέματος B120
- Ποιότητα χάλυβα κυρίου οπλισμού (STI)
- Χάλυβας συνδετήρων (STI)
- Συντελεστής απόσβεσης  $\eta=5\%$
- Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων: Ικανοποιητική.
- Σεισμικός συντελεστής  $\varepsilon=0,04$
- Στάθμες επιτελεστικότητας: Προστασία ζωής SD & Οιονεί κατάρρευση NC
- Κατανομές φόρτισης Pushover: Ομοιόμορφη & Ιδιομορφική
- Μέθοδος επίλυσης: Μέθοδος μετατοπίσεων.

#### 4.3.1 Φορτία κατασκευής

Πίνακας 4.2. Μόνιμα φορτία

Ειδικό βάρος οπλισμένου σκυροδέματος	$25.00 \text{ KN/m}^3$
Βάρος δρομικής οπτοπλινθοδομής	$2.10 \text{ KN/m}^2$
Βάρος μπατικής οπτοπλινθοδομής	$3.60 \text{ KN/m}^2$
Επιστρώσεις δώματος	$1.50 \text{ KN/m}^2$
Επιστρώσεις πλακών	$1.20 \text{ KN/m}^2$

Πίνακας 4.3. Ωφέλιμα φορτία

<b>Δάπεδα κατοικιών</b>	2.00 KN/m <sup>2</sup>
<b>Δάπεδα εξωστών</b>	5.00 KN/m <sup>2</sup>
<b>Δάπεδα κλιμάκων κατοικιών</b>	3.50 KN/m <sup>2</sup>

Προβλέψεις ορόφων

- Καθ' ύψος: μηδέν (0)

Μη γραμμική ανάλυση pushover

- Κατανομή φόρτισης: Ομοιόμορφη & Ιδιομορφική
- Συντ. συνδυασμού εγκάρσιας φόρτισης: 30 %
- Τυχηματική εκκεντρότητα: Μόνο στην εγκάρσια διεύθυνση

#### 4.4 Οπλισμός υπάρχοντος κτιρίου

Για την σύνταξη της πρώτης φάσης της μελέτης αποτίμησης ελήφθησαν υπ' όψιν οι αποτυπώσεις των φερόντων στοιχείων της υπάρχουσας κατασκευής όσον αφορά τις γεωμετρικές διαστάσεις και τους οπλισμούς. Για τα μεν υποστυλώματα ήταν εμφανείς από το δώμα (αναμονές), ενώ για τις δοκούς και για τον εντοπισμό των συνδετήρων των υποστυλωμάτων έγιναν αποκαλύψεις. Για την θεμελίωση έγινε ενδεικτική τομή από όπου μετρήθηκαν καταρχάς οι διαστάσεις των θεμελίων και των συνδετήριων δοκών, καθώς επίσης έγινε αποκάλυψη για τον εντοπισμό του οπλισμού τόσο του θεμελίου όσο και των δοκών.

Στον Πίνακα 4.4 περιγράφονται αναλυτικά οι διατομές και οι οπλισμοί των υποστυλωμάτων.

Πίνακας 4.4. Διατομές και οπλισμός υποστυλωμάτων ισογείου και ορόφου

<b>Υποσύλωμα</b>	<b>Διατομή (cm)</b>	<b>Διαμήκης οπλισμός</b>	<b>Εγκάρσιος οπλισμός</b>
<b>K1</b>	30/30	4Φ20	Φ8/30
<b>K2</b>	35/35	4Φ20	Φ8/30
<b>K3</b>	35/35	4Φ20	Φ8/30
<b>K4</b>	30/30	4Φ20	Φ8/30

<b>K5</b>	30/40	4Φ20	Φ8/30
<b>K6</b>	25/25	6Φ20	Φ8/30
<b>K7</b>	30/40	4Φ20	Φ8/30
<b>K8</b>	30/30	4Φ12	Φ8/30
<b>K9</b>	30/30	4Φ12	Φ8/30
<b>K10</b>	25/25	4Φ12	Φ8/30
<b>K11</b>	25/25	6Φ20	Φ8/30
<b>K12</b>	25/25	4Φ12	Φ8/30
<b>K13</b>	30/30	4Φ12	Φ8/30
<b>K14</b>	25/25	4Φ12	Φ8/30
<b>K15</b>	25/25	4Φ12	Φ8/30
<b>K16</b>	25/25	4Φ12	Φ8/30
<b>K17</b>	25/25	4Φ12	Φ8/30
<b>K18</b>	30/30	4Φ12	Φ8/30
<b>K19</b>	25/25	4Φ12	Φ8/30
<b>K20</b>	30/30	4Φ12	Φ8/30
<b>K21</b>	35/35	4Φ12	Φ8/30
<b>K22</b>	35/35	4Φ14	Φ8/30
<b>K23</b>	35/35	4Φ14	Φ8/30
<b>K24</b>	35/35	4Φ14	Φ8/30
<b>K25</b>	25/25	4Φ14	Φ8/30
<b>K26</b>	40/40	6Φ20	Φ8/30
<b>K27</b>	35/35	4Φ20	Φ8/30
<b>K28</b>	35/35	4Φ20	Φ8/30
<b>K29</b>	40/40	4Φ20	Φ8/30

Στον Πίνακα 4.5 περιγράφονται αναλυτικά οι διατομές και οι σπλισμοί των δοκών.

Πίνακας 4.5. Διατομές και οπλισμός δοκών ισογείου και ορόφου

Δοκός	Διατομή (cm)	Διαμήκης οπλισμός		Εγκάρσιος οπλισμός
		Άνω	Κάτω	
-	-	Άνω	Κάτω	-
<b>Δ1.1</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ2.1</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ3.1</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ3.2</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ4.1</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ4.2</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ4.3</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ4.4</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ5.1</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ5.3</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ6.1</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ6.2</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ7.1</b>	20/40	2Φ10	3Φ12	Φ8/13
<b>Δ7.2</b>	20/40	2Φ10	3Φ12	Φ8/13
<b>Δ8.1</b>	25/55	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ9.1</b>	25/55	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ10.1</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ10.2</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ11.1</b>	25/40	2Φ10	3Φ12	Φ8/13
<b>Δ12.1</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ13.1</b>	25/40	2Φ10	3Φ12	Φ8/13
<b>Δ13.2</b>	25/40	2Φ10	3Φ12	Φ8/13
<b>Δ13.3</b>	25/40	2Φ10	3Φ12	Φ8/13
<b>Δ13.4</b>	25/40	2Φ10	3Φ12	Φ8/13
<b>Δ14.1</b>	25/40	2Φ10	3Φ12	Φ8/13
<b>Δ15.1</b>	25/40	2Φ10	3Φ12	Φ8/13
<b>Δ16.1</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ16.2</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15

<b>Δ16.3</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ16.4</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/12
<b>Δ16.5</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/20
<b>Δ17.1</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ17.2</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ18.1</b>	25/50	2Φ10	4Φ14	Φ8/15
<b>Δ19.1</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ19.2</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ19.3</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ19.4</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/12
<b>Δ19.5</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/20
<b>Δ20.1</b>	25/40	2Φ10	3Φ12	Φ8/13
<b>Δ21.1</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ21.2</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ21.3</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15
<b>Δ21.4</b>	25/50	2Φ10	3Φ12	Φ8/15



# Κεφάλαιο 5

## Αποτίμηση κτιρίου με το πρόγραμμα Fespa

### 5.1 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω πραγματοποιείται η αποτίμηση φέρουσας ικανότητας του κτιρίου με το λογισμικό πρόγραμμα Fespa και τα αποτελέσματα αξιολογούνται σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

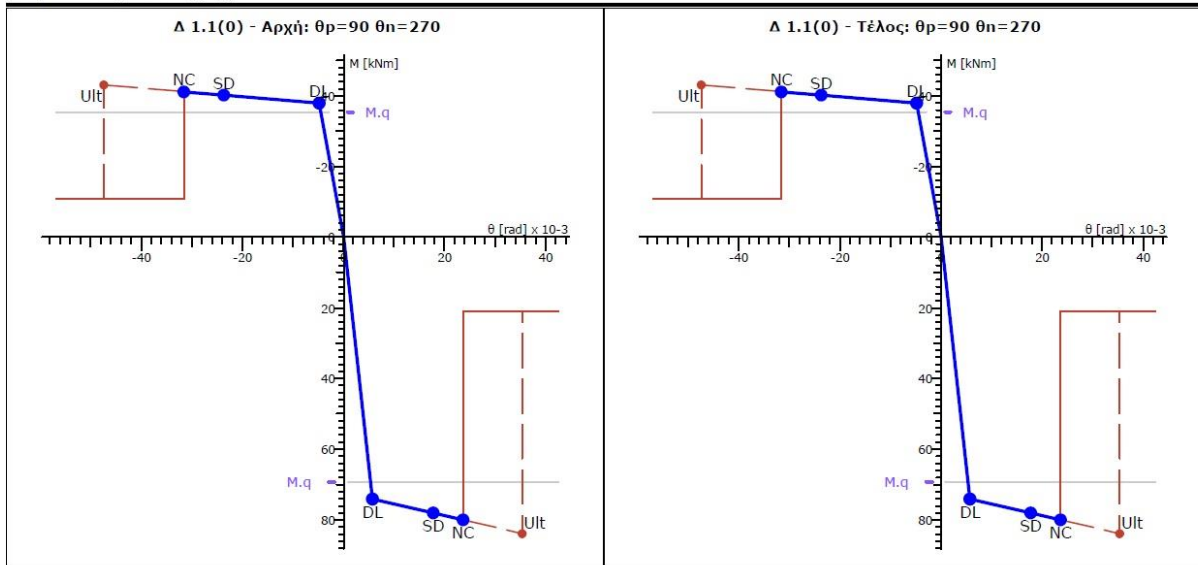
Στην παρούσα εργασία γίνεται αποτίμηση του υφιστάμενου κτιρίου σπουδαιότητας Σ2, με  $A=0,24g$ , για τις στάθμες επιτελεστικότητας Σημαντικές Βλάβες SD & Οιονεί κατάρρευση NC. Σύμφωνα με τον πίνακα ανεκτών στόχων αποτίμησης υφιστάμενων κτιρίων και προσθηκών στην Εικόνα 3.9, για υφιστάμενο κτίριο σπουδαιότητας Σ2, ο ελάχιστος συνδιασμός στόχων για τις δύο στάθμες επιτελεστικότητας που πρέπει να ικανοποιείται είναι Β2-Γ1.

Κατά την αποτίμηση με τη στατική ανελαστική μέθοδο Pushover, γίνεται έλεγχος σε κάμψη και διάτμηση για όλα τα μέλη του κτιρίου (δοκοί-υποστυλώματα), και προκύπτουν συγκεντρωτικοί πίνακες λόγων επάρκειας.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται προέρχονται από οκτώ ανελαστικές αναλύσεις για ομοιόμορφη και ιδιομορφική κατανομή φορτίων, που αναφέρονται στις τέσσερις κύριες διευθύνσεις σεισμού. Επιλέγοντας τιμή του συντελεστή συνδυασμού εγκάρσιας φόρτισης (30%) και τυχηματική εκκεντρότητα στην εγκάρσια διεύθυνση, τα αποτελέσματα της αποτίμησης προκύπτουν από 32 ανελαστικές αναλύσεις.

Στην Εικόνα 5.1 παρουσιάζονται ενδεικτικά για μία δοκό την Δ1.1, για κάθε άκρο της, τα διαγράμματα αντοχής ροπών – στροφών Μ-θ.

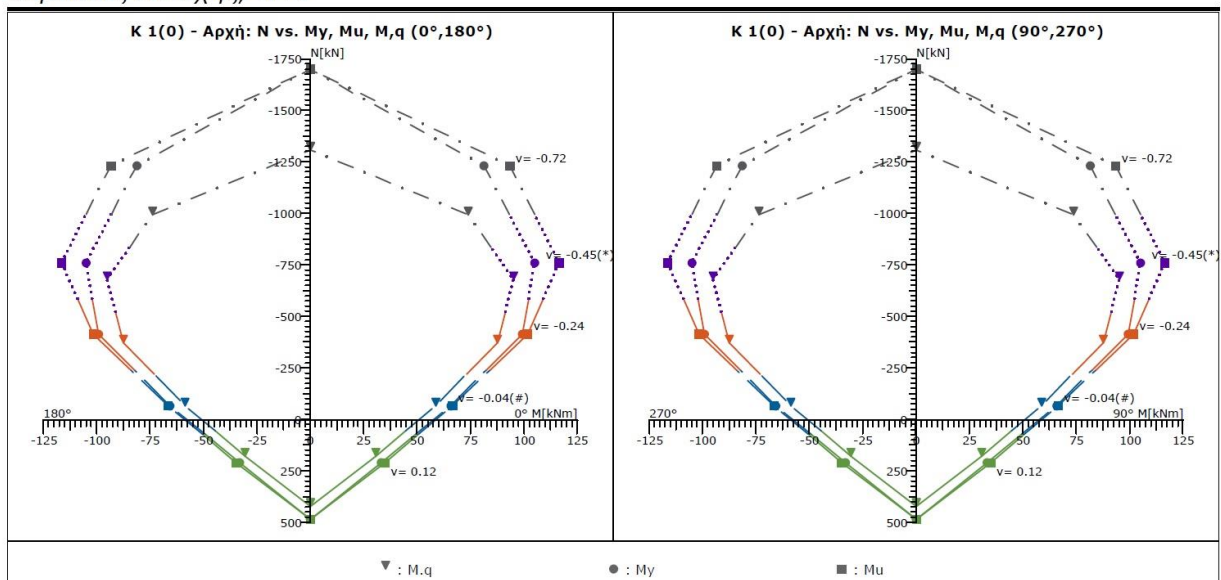
Καμπύλες Αντοχής



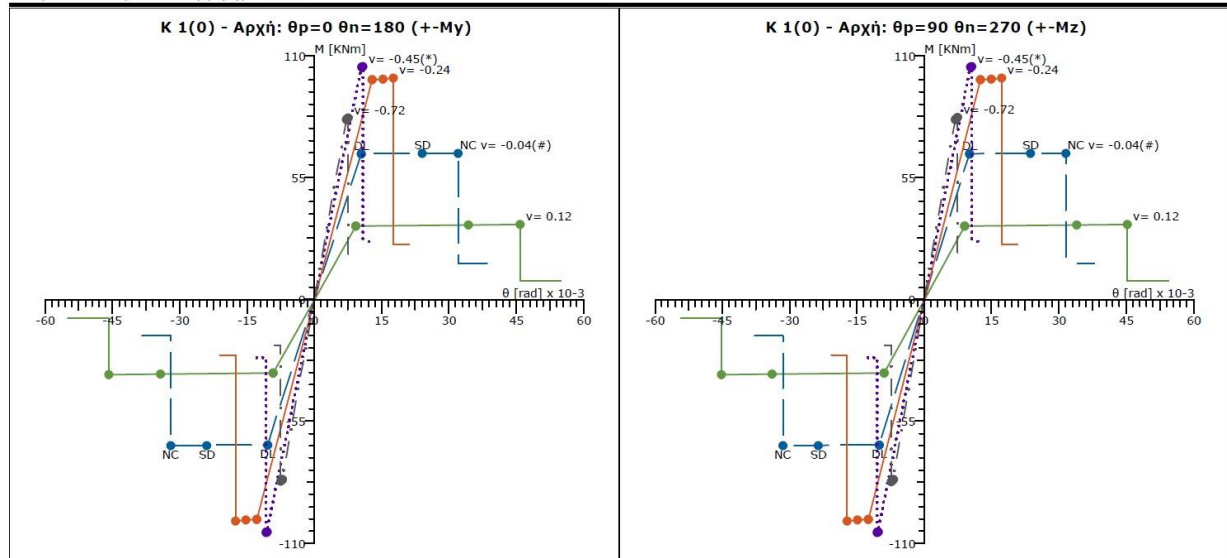
Εικόνα 5.1. Διαγράμματα ροπών στροφών M-θ για την δοκό Δ1.1

Στην Εικόνα 5.2 και στην Εικόνα 5.3 παρουσιάζονται ενδεικτικά για ένα υποστυλωμα, το K1(0), τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης M-N και τα διαγράμματα αντοχής ροπών – στροφών M-θ.

Καμπύλες Αντοχής, N-M



Εικόνα 5.2. Διάγραμμα αλληλεπίδρασης M-N υποστυλώματος K1(0)

Καμπύλες Αντοχής,  $M-\theta$ Εικόνα 5.3. Διάγραμμα ροπών-στροφών  $M-\theta$  υποστυλώματος  $K1(0)$ 

Στην Εικόνα 5.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μέγιστων λόγων επάρκειας των δοκών σε κάμψη και διάτμηση για τις στάθμες επιτελεστικότητας Σημαντικές Βλάβες (B) SD & Οιονεί Κατάρρευση (Γ) NC.

## Μέγιστα λόγων επάρκειας δοκών - Έλεγχος Ροπήs

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας
SD	$\Delta 11.1(0)$	Κύριο	0.53
NC	$\Delta 11.1(0)$	Κύριο	0.79

## Μέγιστα λόγων επάρκειας δοκών - Έλεγχος διάτμησηs

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας
SD	$\Delta 15.1(0)$	Κύριο	0.51
NC	$\Delta 15.1(0)$	Κύριο	0.73

Εικόνα 5.4. Μέγιστα λόγων επάρκειας δοκών

Οι λόγοι επάρκειας των δοκών σε έλεγχο κάμψης και διάτμησης είναι μικρότεροι από τη μονάδα (1,00), δηλ. η απαίτηση είναι μικρότερη απ' την ικανότητα, άρα το κριτήριο ικανοποιείται.

Στην Εικόνα 5.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μέγιστων λόγων επάρκειας των υποστυλωμάτων σε κάμψη και διάτμηση για τις στάθμες επιτελεστικότητας SD & NC.

*Μέγιστα λόγων επάρκειας υποστυλωμάτων - Έλεγχος Ροπής*

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας
SD	K25(0)	Κύριο	0.56
NC	K6(0)	Κύριο	0.98

*Μέγιστα λόγων επάρκειας υποστυλωμάτων - Έλεγχος διάτμησης*

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας
SD	K22(1)	Κύριο	0.53
NC	K6(0)	Κύριο	0.88

**Εικόνα 5.5.** Μέγιστα λόγων επάρκειας υποστυλωμάτων

Οι λόγοι επάρκειας των υποστυλωμάτων σε κάμψη και διάτμηση είναι μικρότεροι από τη μονάδα (1,00), δηλ. η απαίτηση είναι μικρότερη απ' την ικανότητα, άρα το κριτήριο ικανοποιείται. Παρατηρείται στο υποστύλωμα K6(0) ότι ο λόγος επάρκειας σε κάμψη έχει τιμή 0,98, για τη στάθμη επιτελεστικότητας NC, ελάχιστα μικρότερη απ' τη μονάδα (1,00), δηλ. το κριτήριο ικανοποιείται οριακά.

Στην Εικόνα 5.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μέγιστων λόγων επάρκειας διάτμησης κόμβων για τις στάθμες επιτελεστικότητας SD & NC. Οι λόγοι επάρκειας είναι μικρότεροι από τη μονάδα (1,00), δηλ. η απαίτηση είναι μικρότερη απ' την ικανότητα, άρα το κριτήριο ικανοποιείται.

*Διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση πυρήνα οπλισμένου κόμβου.*

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Κόμβος	Λόγος Επάρκειας
SD	K13(0)	0.40
NC	K13(0)	0.68

*Διαγώνια θλίψη πυρήνα κόμβου.*

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Κόμβος	Λόγος Επάρκειας
SD	K6(0)	0.10
NC	K6(0)	0.21

**Εικόνα 5.6.** Μέγιστα λόγων επάρκειας διάτμησης κόμβων

Στην Εικόνα 5.7 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα απαίτησης-ικανότητας των 32 αναλύσεων για τη στάθμη επιτελεστικότητας SD.

**Στάθμη επιτελεστικότητας SD**

<b>1. Στοιχευόμενη μετακίνηση dt</b>			
<b>X:</b>	<b>+3.7cm</b> -3.7cm	<b>0°-30%·270° -eZ, Ιδιομορφική</b> <b>180°+30%·90° +eZ, Ιδιομορφική</b>	<b>Z:</b> <b>+2.7cm</b> <b>-2.8cm</b> <b>90°-30%·180° +eX, Ιδιομορφική</b> <b>270°+30%·0° -eX, Ιδιομορφική</b>
<b>2. Στοιχευόμενη πλαστιμότητα (για ανασχεδιασμό)</b>			
Περίοδος μονοβάθμιου συστήματος	$T^*(s) =$	1.13	
Συντελεστής συμπεριφοράς πλαστιμότητας	$q_u (=q_n) =$	1.09	
Παράγοντας στοιχευόμενης πλαστιμότητας	$\max \mu_d =$	1.10	180°+30%·90° +eZ, Ομοιόμορφη
<b>3. Διαθέσιμος συντελεστής συμπεριφοράς q (για αποτίμηση)</b>			
Πλαστιμότητας $q_u (=q_n)$ και υπεραντοχής $q_s (=q_u)$	$q_u =$	1.10	$q_s =$ 9.90
Διαθέσιμος συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς	$\min q =$	$q_u \cdot q_s$	= 10.85 0°-30%·270° -eZ, Ομοιόμορφη
<b>4. Επιρροή ανελαστικής συμπεριφοράς, [ΚΑΝΕΠΕ, §5.7.4.2]</b>			
Λόγος ανελαστικών μετατοπίσεων	$\max C_1 =$	$\mu_d / q_u$	1.09 / 1.08 = 1.01 180°-30%·270° +eZ, Ιδιομορφική
<b>5. Ικανότητα επιτάχυνσης για <math>\lambda_{\max} = 1</math></b>			
	$\max a_g(SD) =$	0.124	0°-30%·270° -eZ, Ομοιόμορφη
<b>6. Στόχοι αποτίμησης, [ΚΑΝΕΠΕ, §2.2.1]</b>			
Περίοδος επαναφοράς SD	$\max a_g / a_{gR} = (\max T_R / T_{LR})^{1/k} \therefore \max T_R = (\max a_g / a_{gR})^k \cdot T_{LR}$	$\max T_R(SD) = (0.124/0.140)^{3.0} \cdot 475 =$	328 έτη > 72 (ok) [EC8-2 (A.3)]
Πιθανότητα υπέρβασης SD σε 50 έτη	$P(SD) = 1 - e^{-50/\max T_R}$	$P = 1 - e^{-50/328} =$	14.13% < 50% (ok) [EC8-1§2.1(1)]
Στόχος που ικανοποιείται:	$B2 : P(SD) < 50\%$		[ΚΑΝΕΠΕ Πίν. 2.1]

**Εικόνα 5.7.** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα απαίτησης-ικανότητας των 32 αναλύσεων για τη στάθμη επιτελεστικότητας SD.

Όπως προκύπτει απ’ τα αποτελέσματα για την στάθμη επιτελεστικότητας SD, ο στόχος που ικανοποιείται είναι B2.

Στην Εικόνα 5.8 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα απαίτησης-ικανότητας των 32 αναλύσεων για τη στάθμη επιτελεστικότητας NC.

### Στάθμη επιτελεστικότητας NC

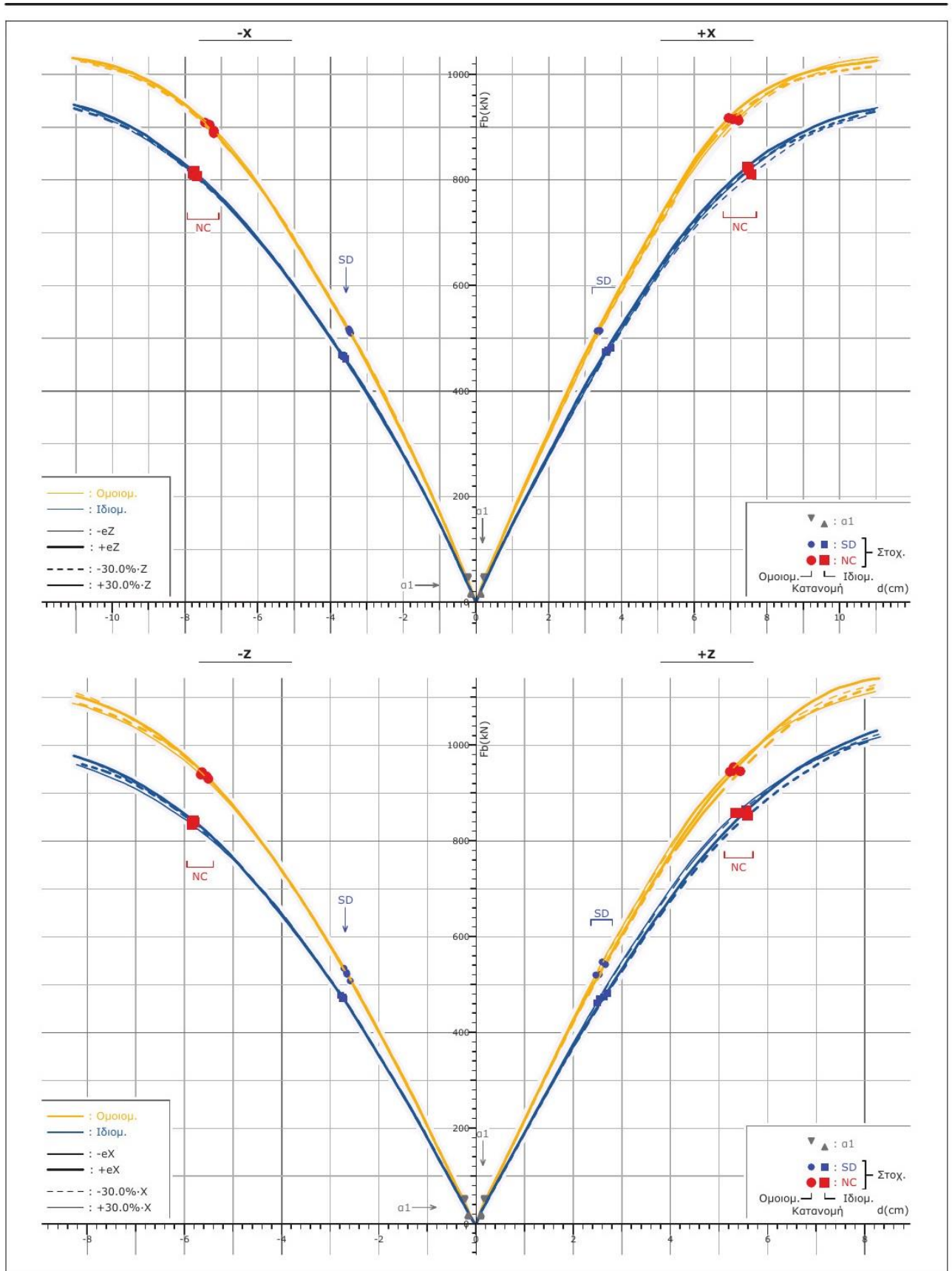
<b>1. Στοιχευόμενη μετακίνηση dt</b>			
<b>X:</b>	<b>+7.7cm</b> -7.8cm	$0^\circ\text{-}30\%\cdot 270^\circ\text{-eZ, Ιδιομορφική}$ $180^\circ\text{+}30\%\cdot 90^\circ\text{+eZ, Ιδιομορφική}$	<b>Z:</b>
			<b>+5.7cm</b> -5.9cm
			$90^\circ\text{-}30\%\cdot 180^\circ\text{+eX, Ιδιομορφική}$ $270^\circ\text{+}30\%\cdot 0^\circ\text{-eX, Ιδιομορφική}$
<b>2. Στοιχευόμενη πλαστιμότητα (για ανασχεδιασμό)</b>			
Περίοδος μονοβάθμιου συστήματος	$T^*(s) =$	1.10	
Συντελεστής συμπεριφοράς πλαστιμότητας	$q_u (=q_n) =$	1.16	
Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας	$\max \mu_d =$	1.18	
		$180^\circ\text{-}30\%\cdot 270^\circ\text{+eZ, Ιδιομορφική}$	
<b>3. Διαθέσιμος συντελεστής συμπεριφοράς q (για αποτίμηση)</b>			
Πλαστιμότητας $q_u (=q_n)$ και υπεραντοχής $q_s (=q_u)$	$q_u =$	1.12	$q_s =$ 9.90
Διαθέσιμος συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς	$\min q =$	$q_u \cdot q_s =$	11.14
			$0^\circ\text{-}30\%\cdot 270^\circ\text{-eZ, Ομοιόμορφη}$
<b>4. Επιρροή ανελαστικής συμπεριφοράς, [ΚΑΝΕΠΕ, §5.7.4.2]</b>			
Λόγος ανελαστικών μετατοπίσεων	$\max C_1 =$	$\mu_d / q_u =$	1.03
	$= 1.16 / 1.12 =$		$270^\circ\text{-}30\%\cdot 180^\circ\text{-eX, Ιδιομορφική}$
<b>5. Ικανότητα επιτάχυνσης για <math>\lambda_{\max} = 1</math></b>			
	$\max a_g(\text{NC}) =$	0.135	$0^\circ\text{-}30\%\cdot 270^\circ\text{-eZ, Ομοιόμορφη}$
	$\max a_g(\text{VR}) >$	0.264	$0^\circ\text{-}30\%\cdot 270^\circ\text{-eZ, Ιδιομορφική}$
<b>6. Στόχοι αποτίμησης, [ΚΑΝΕΠΕ, §2.2.1]</b>			
	$\max a_g / a_{gR} = (\max T_R / T_{LR})^{1/k} \therefore \max T_R = (\max a_g / a_{gR})^k \cdot T_{LR}$	[EC8-2 (A.3)]	
Περίοδος επαναφοράς NC	$\max T_R(\text{NC}) = (0.135/0.140)^{3.0} \cdot 475 =$	425 έτη	< 475 !
Περίοδος επαναφοράς VR	$\max T_R(\text{VR}) > (0.264/0.140)^{3.0} \cdot 475 =$	3191 έτη	> 475 (ok)
	$p = 1 - e^{-T_i/\max T_R}$	[EC8-1§2.1(1)]	
Πιθανότητα υπέρβασης NC σε 50 έτη	$P(\text{NC}) = 1 - e^{-50/425} =$	11.10%	> 10% !
Πιθανότητα υπέρβασης VR σε 50 έτη	$P(\text{VR}) < 1 - e^{-50/3191} =$	1.55%	< 10% (ok)
Στόχος που ικανοποιείται:	$\Gamma 2 : P(\text{NC}), P(\text{VR}) < 50\%$	[ΚΑΝΕΠΕ Πίν. 2.1]	

**Εικόνα 5.8.** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα απαίτησης-ικανότητας των 32 αναλύσεων για τη στάθμη επιτελεστικότητας NC.

Όπως προκύπτει απ' τα αποτελέσματα για την στάθμη επιτελεστικότητας NC, ο στόχος που ικανοποιείται είναι Γ2. Παρατηρείται ότι δεν ικανοποιεί οριακά τον στόχο Γ1 ο οποίος είναι απαιτούμενος για κτίριο σπουδαιότητας Σ2.

Στην Εικόνα 5.9 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα F-d των 32 αναλύσεων.

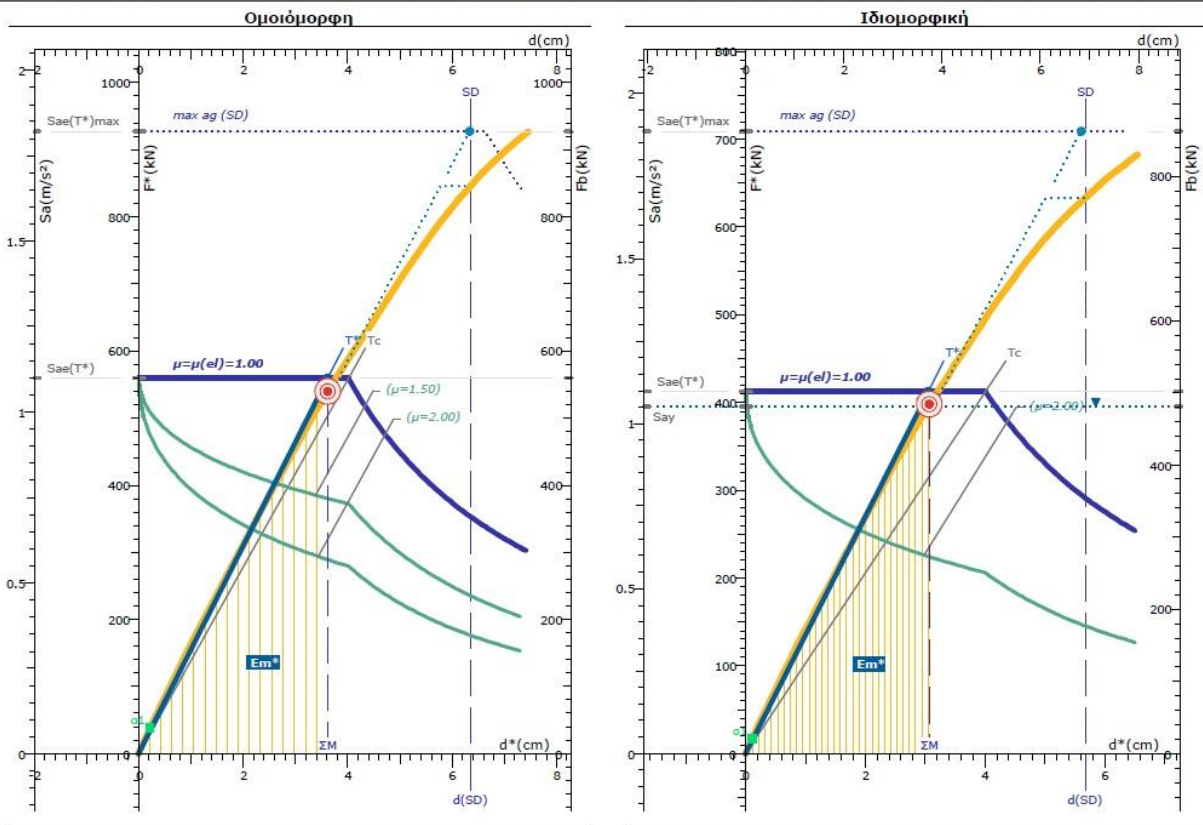




Εικόνα 5.9. Συγκεντρωτικά διαγράμματα F-d των 32 αναλύσεων.

Στην Εικόνα 5.10 παρουσιάζονται τα διαγράμματα απαίτησης-ικανότητας για την στάθμη επιτελεστικότητας SD, της ομοιόμορφης και ιδιομορφικής κατανομής, στην κατεύθυνση όπου εμφανίζεται η μεγαλύτερη στοχευόμενη μετακίνηση dt.

*Διαγράμματα Απαίτησης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση 0°-30%·270° -eZ.*



**Καμπύλη pushover και η αντίστοιχη διαγραμματική καμπύλη ικανότητας.**

Σημείωση για τις διαφορετικές κλίμακες: Η μετατόπιση του κόμβου ελέγχου  $d$  και η τέμνουσα βάσης  $F_b$  αφορούν το πολυβάθμιο σύστημα, ενώ η δύναμη  $F^*$  και η μετατόπιση  $d^*$  αφορούν το ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα.

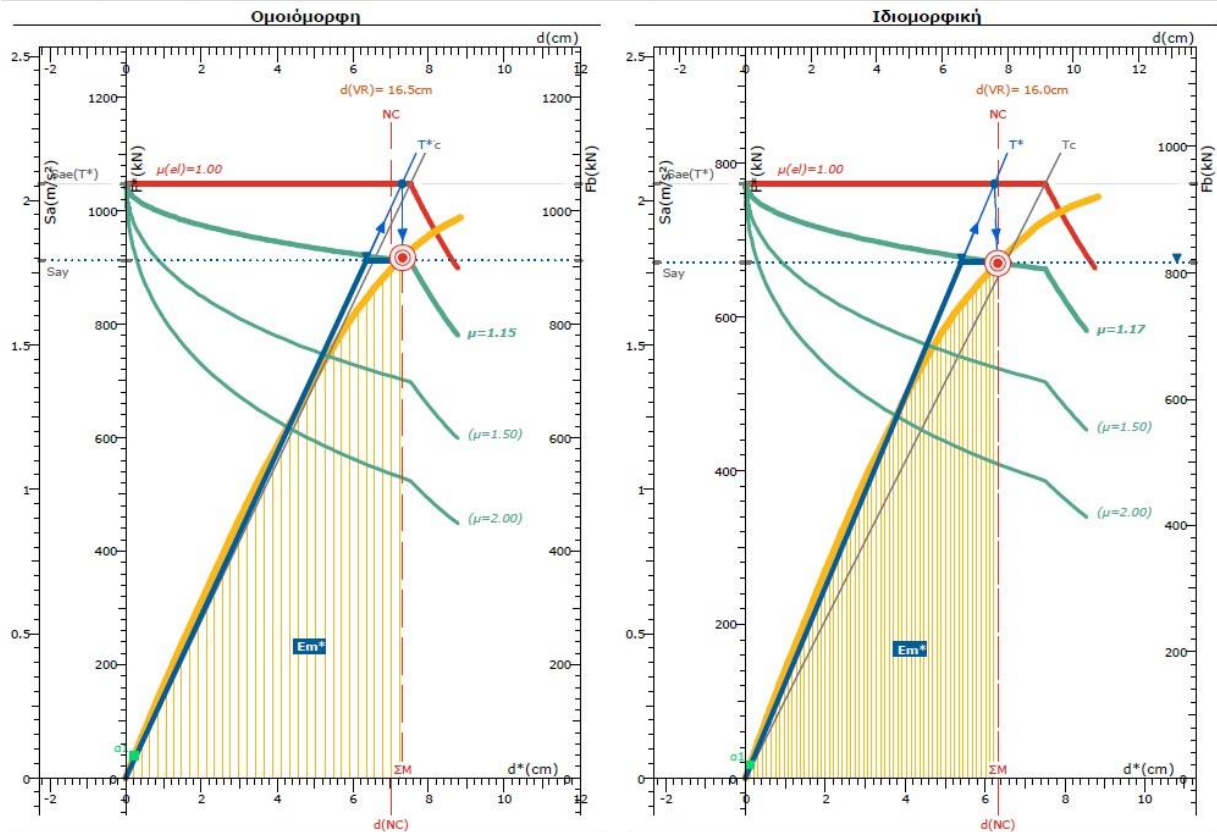
**Εικόνα 5.10.** Διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας SD

Όπως απεικονίζεται στα παραπάνω διαγράμματα απαίτησης-ικανότητας, η διακεκομμένη γραμμή η οποία ορίζει την ικανότητα μετακίνησης της κατασκευής για τη στάθμη επιτελεστικότητας SD, βρίσκεται δεξιά της μεγαλύτερης στοχευόμενης μετακίνησης dt, γεγονός που σημαίνει επάρκεια της κατασκευής για της συγκεκριμένη στάθμη.

Στην Εικόνα 5.11 παρουσιάζονται τα διαγράμματα απαίτησης-ικανότητας για την στάθμη επιτελεστικότητας NC, της ομοιόμορφης και ιδιομορφικής κατανομής, στην κατεύθυνση όπου εμφανίζεται η μεγαλύτερη στοχευόμενη μετακίνηση dt.



Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. NC, κατεύθυνση 0°-30%·270° -eZ.



Καμπύλη pushover και η αντίστοιχη διγραμμική καμπύλη ικανότητας.

Σημείωση για τις διαφορετικές κλίμακες: Η μετατόπιση του κόμβου ελέγχου  $d$  και η τέμνουσα βάσης  $F_b$  αφορούν το πολυβάθμιο σύστημα, ενώ η δύναμη  $F^*$  και η μετατόπιση  $d^*$  αφορούν το ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα.

Εικόνα 5.11. Διάγραμμα Απαιτήσης – Ικανότητας NC

Στην Εικόνα 5.12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και η διαδικασία υπολογισμού της στοχευόμενης μετακίνησης.

1.	Μάζα $m^*$ και περίοδος $T^*$ μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας $q_u$ .	$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i^2} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_b}{F^*}$	$m^* = 375.9tn$ , $\Gamma = 1.22$
		$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^* dy^*}{Fy^*}} = 2\pi \sqrt{\frac{dy^*}{Say}}$	$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{5.40cm}{1.79 \cdot 10^2 cm/s^2}} = 1.09s$
		$q_u = q_n = R = \frac{S_{ae}(T^*)}{S_{ay}}$	$q_u = \frac{2.06m/s^2}{1.79m/s^2} \therefore q_u = \underline{1.15}$
2.	Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας $\mu_d$ .	$T^* < T_c = 1.20s \therefore \mu_d = (q_u - 1) \frac{T_c}{T^*} + 1$	$\mu_d = (1.15 - 1) \frac{1.20s}{1.09s} + 1 \therefore \mu_d = \underline{1.17}$
3.	Στοχευόμενη μετατόπιση $dt$ .	$dy^* = 2 \left( d_m^* - \frac{E_m^*}{F_m^*} \right)$	$dy^* = 2 \left( 6.33cm - \frac{2436.0cm \cdot kN}{671.31kN} \right) = 5.40cm$
		$C_1 = \mu_d/q_u$	$C_1 = \mu_d/q_u = 1.17 / 1.15 = 1.01$
		$d_{et}^* = S_e(T^*) \left[ \frac{T^*}{2n} \right]^2$	$d_{et}^* = 2.06m/s^2 \cdot \left[ \frac{1.09s}{2n} \right]^2 = 6.23cm$
		$dt^* = \mu_d/q_u \cdot d_{et}^*$	$dt^* = 1.01 \cdot 6.23cm = 6.31cm$
		$dy = \Gamma \cdot dy^*, dt = \Gamma \cdot dt^*$	$dy = 6.58cm, dt = \underline{7.68cm}$
4.	Μέγιστη επιτάχυνση $\max a_g$ για $\lambda_{\max} = 1$ και επιτελεστικότητα NC.		
		NC: $\max a_g = \underline{0.135} < 0.140$ (!)	NC: $\max a_g = \underline{0.140} \geq 0.140$ (ok)
		VR: $\max a_g > \underline{0.302}$ (> 0.140) (ok)	VR: $\max a_g > \underline{0.264}$ (> 0.140) (ok)
5.	Παράγοντας υπεραντοχής $q_s$ .	$q_s = q_u = \frac{S_{ay}}{S_{a1}} \geq 1.0$	$q_s = \frac{1.79m/s^2}{0.05m/s^2} = 9.99$

**Εικόνα 5.12.** Αποτελέσματα & διαδικασία υπολογισμού της στοχευόμενης μετακίνησης για τη στάθμη NC

Όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 5.11, στα διαγράμματα απαίτησης-ικανότητας, η διακεκομμένη γραμμή η οποία ορίζει την ικανότητα μετακίνησης της κατασκευής για τη στάθμη επιτελεστικότητας NC, βρίσκεται οριακά αριστερά της μεγαλύτερης στοχευόμενης μετακίνησης  $dt$ , γεγονός που σημαίνει ανεπάρκεια της κατασκευής για τη συγκεκριμένη στάθμη.

## 5.2 Συμπεράσματα

Όπως προκύπτει απ' τα αποτελέσματα αποτίμησης για το υφιστάμενο κτίριο, οι λόγοι επάρκειας  $\lambda$  των μελών είναι μικρότεροι απ' την μονάδα (1,00) για τις στάθμες επιτελεστικότητας SD και NC οπότε το κριτήριο ικανοποιείται, έστω και οριακά για κάποια μέλη για την στάθμη NC.

Απ' τον έλεγχο των διαγραμμάτων απαίτησης-ικανότητας όλων των ανελαστικών αναλύσεων, προκύπτει επάρκεια της κατασκευής για την στάθμη επιτελεστικότητας SD, ενώ για την στάθμη NC δεν προκύπτει οριακά επάρκεια μόνο σε μία κατεύθυνση της ανελαστικής ανάλυσης, στην οποία εμφανίζεται η μεγαλύτερη στοχευόμενη μετακίνηση  $dt$ .

Στο κτίριο το οποίο μελετάμε, ο συνδιασμός στόχων για δύο στάθμες επιτελεστικότητας ο οποίος ικανοποιείται είναι B2-Γ2. Βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ ο επιθυμητός συνδιασμός στόχων για υφιστάμενο κτίριο σπουδαιότητας S2 είναι B2-Γ1.

# Κεφάλαιο 6

## Αποτίμηση κτιρίου με πρόβλεψη για προσθήκη ορόφου

### 6.1 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στο δεύτερο σκέλος της εργασίας γίνεται αποτίμηση του κτιρίου με πρόβλεψη για προσθήκη ορόφου.

Στην Εικόνα 6.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μέγιστων λόγων επάρκειας των δοκών σε κάμψη και διάτμηση για τις στάθμες επιτελεστικότητας SD & NC.

#### Μέγιστα λόγων επάρκειας δοκών - Έλεγχος Ροπής

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας
SD	Δ11.1(0)	Κύριο	0.65
NC	Δ15.1(0)	Κύριο	1.15!

#### Μέγιστα λόγων επάρκειας δοκών - Έλεγχος διάτμησης

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας
SD	Δ15.1(0)	Κύριο	0.62
NC	Δ15.1(0)	Κύριο	0.93

**Εικόνα 6.1.** Μέγιστα λόγων επάρκειας δοκών

Παρατηρείται ότι ο λόγος επάρκειας σε μία δοκό, στην δοκό Δ15.1(0) για τη στάθμη επιτελεστικότητας NC, στον έλεγχο κάμψης είναι  $1,15 > 1,00$ , δηλ. η απαίτηση είναι μεγαλύτερη απ' την ικανότητα, άρα το κριτήριο δεν ικανοποιείται.

Όσον αφορά τον έλεγχο λόγων επάρκειας των υποστυλωμάτων προκύπτει ότι σε 7 υποστυλώματα του κτιρίου, οι λόγοι επάρκειας σε κάμψη για τη στάθμη επιτελεστικότητας NC, είναι μεγαλύτεροι απ' τη μονάδα (1,00), δηλ. το κριτήριο απαίτησης-ικανότητας δεν ικανοποιείται. Ενώ για τη στάθμη SD οι λόγοι επάρκειας των υποστυλωμάτων σε κάμψη, είναι μικρότεροι απ' την μονάδα, άρα το κριτήριο ικανοποιείται. Στον έλεγχο διάτμησης το κριτήριο ικανοποιείται και για τις δύο στάθμες επιτελεστικότητας SD και NC.

Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μέγιστων λόγων επάρκειας των υποστυλωμάτων σε κάμψη για την στάθμη επιτελεστικότητας NC, οι οποίοι είναι μεγαλύτεροι από τη μονάδα (1,00), όπου η απαίτηση είναι μεγαλύτερη απ' την ικανότητα.

**Πίνακας 6.1.** Μέγιστα λόγων επάρκειας υποστυλωμάτων

Στάθμη επιτελεστικότητας	Μέλος	Λόγος επάρκειας λ
NC	K6 (0)	1.12
NC	K11 (1)	1.22
NC	K13 (1)	1.21
NC	K15 (1)	1.09
NC	K16 (1)	1.07
NC	K18 (1)	1.14
NC	K25 (0)	1.24

Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των λόγων επάρκειας των υποστυλωμάτων σε κάμψη για την στάθμη επιτελεστικότητας NC, οι οποίοι είναι οριακά μικρότεροι απ' την μονάδα, δηλ το κριτήριο απαίτησης-ικανότητας ικανοποιείται οριακά.

**Πίνακας 6.2.** Μέγιστα λόγων επάρκειας υποστυλωμάτων οριακά κάτω απ' τη μονάδα

Στάθμη επιτελεστικότητας	Μέλος	Λόγος επάρκειας λ
NC	K14 (0)	0.95
NC	K17 (1)	0.92
NC	K19 (1)	0.96

Στην Εικόνα 6.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μέγιστων λόγων επάρκειας διάτμησης κόμβων για τις στάθμες επιτελεστικότητας SD & NC. Οι λόγοι επάρκειας είναι μικρότεροι από τη μονάδα (1,00), δηλ. η απαίτηση είναι μικρότερη απ' την ικανότητα, άρα το κριτήριο ικανοποιείται.

**Διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση πυρήνα οπλισμένου κόμβου.**

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Κόμβος	Λόγος Επάρκειας
SD	K13(0)	0.40
NC	K13(0)	0.68

**Διαγώνια θλίψη πυρήνα κόμβου.**

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Κόμβος	Λόγος Επάρκειας
SD	K6(0)	0.10
NC	K6(0)	0.21

**Εικόνα 6.2.** Μέγιστα λόγων επάρκειας διάτμησης κόμβων

Στην Εικόνα 6.3 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα απαίτησης-ικανότητας των 32 αναλύσεων για τη στάθμη επιτελεστικότητας SD.

**Στάθμη επιτελεστικότητας SD**

<b>1. Στοιχειώμενη μετακίνηση dt</b>			
<b>X:</b>	<b>+6.1cm</b> <b>-6.1cm</b>	$0^{\circ}-30^{\circ}\cdot 270^{\circ}-eZ$ , Ιδιομορφική $180^{\circ}-30^{\circ}\cdot 270^{\circ}+eZ$ , Ιδιομορφική	<b>Z:</b> <b>+5.1cm</b> <b>-5.2cm</b>
			$90^{\circ}-30^{\circ}\cdot 180^{\circ}+eX$ , Ιδιομορφική $270^{\circ}-30^{\circ}\cdot 180^{\circ}-eX$ , Ιδιομορφική
<b>2. Στοιχειώμενη πλαστιμότητα (για ανασχεδιασμό)</b>			
Περίοδος μονοβάθμιου συστήματος	$T^*(s)$ =	1.54	
Συντελεστής συμπεριφοράς πλαστιμότητας	$q_u (=q_p)$ =	1.11	
Παράγοντας στοιχειώμενης πλαστιμότητας	$\max \mu_d$ =	1.11	$180^{\circ}-30^{\circ}\cdot 270^{\circ}+eZ$ , Ομοιόμορφη
<b>3. Διαθέσιμος συντελεστής συμπεριφοράς q (για αποτίμηση)</b>			
Πλαστιμότητας $q_u (=q_p)$ και υπεραντοχής $q_s (=q_u)$	$q_u$ =	1.10	$q_s$ = 2.86
Διαθέσιμος συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς	$\min q$ =	$q_u \cdot q_s$	= 3.14
			$90^{\circ}-30^{\circ}\cdot 180^{\circ}+eX$ , Ιδιομορφική
<b>4. Επιρροή ανελαστικής συμπεριφοράς, [ΚΑΝΕΠΕ, §5.7.4.2]</b>			
Λόγος ανελαστικών μετατοπίσεων	$\max C_1$ =	$\mu_d / q_u$	1.00
	= 1.05 / 1.05 =		$90^{\circ}+30^{\circ}\cdot 0^{\circ}-eX$ , Ιδιομορφική
<b>5. Ικανότητα επιτάχυνσης για <math>\lambda_{\max} = 1</math></b>			
	$\max a_g(SD)$ =	0.102	$90^{\circ}-30^{\circ}\cdot 180^{\circ}+eX$ , Ιδιομορφική
<b>6. Στόχοι αποτίμησης, [ΚΑΝΕΠΕ, §2.2.1]</b>			
	$\max a_g / a_{gR} = (\max T_R / T_{LR})^{1/k} \therefore \max T_R = (\max a_g / a_{gR})^k \cdot T_{LR}$		[EC8-2 (A.3)]
Περίοδος επαναφοράς SD	$\max T_R(SD) = (0.102/0.140)^{3.0} \cdot 475 =$	185 έτη	> 72 (ok)
	$p = 1 - e^{-T_u/\max T_R}$		[EC8-1§2.1(1)]
Πιθανότητα υπέρβασης SD σε 50 έτη	$P(SD) = 1 - e^{-50/185} =$	23.73%	< 50% (ok)
Στόχος που ικανοποιείται:	<b>B2</b> : $P(SD) < 50\%$		[ΚΑΝΕΠΕ Πίν. 2.1]

**Εικόνα 6.3.** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα απαίτησης-ικανότητας των 32 αναλύσεων για τη στάθμη επιτελεστικότητας SD.

Όπως προκύπτει απ' τα αποτελέσματα για την στάθμη επιτελεστικότητας SD, ο στόχος που ικανοποιείται είναι B2.

Στην Εικόνα 6.4 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα απαίτησης-ικανότητας των 32 αναλύσεων για τη στάθμη επιτελεστικότητας NC.

### Στάθμη επιτελεστικότητας NC

<b>1. Στοχευόμενη μετακίνηση <math>d_t</math></b>			
<b>X:</b>	<b>+11.9cm</b> <b>-12.1cm</b>	$0^\circ-30\% \cdot 270^\circ -eZ$ , Ιδιομορφική $180^\circ+30\% \cdot 90^\circ +eZ$ , Ιδιομορφική	<b>Z:</b> <b>+10.1cm</b> <b>-10.3cm</b> $90^\circ-30\% \cdot 180^\circ +eX$ , Ιδιομορφική $270^\circ-30\% \cdot 180^\circ -eX$ , Ιδιομορφική
<b>2. Στοχευόμενη πλαστιμότητα (για ανασχεδιασμό)</b>			
Περίοδος μονοβάθμιου συστήματος	$T^*(s)$ =	1.23	
Συντελεστής συμπεριφοράς πλαστιμότητας	$q_u (=q_n)$ =	1.23	
Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας	<b>max <math>\mu_d</math></b> =	<b>1.23</b>	$90^\circ-30\% \cdot 180^\circ -eX$ , Ιδιομορφική
<b>3. Διαθέσιμος συντελεστής συμπεριφοράς <math>q</math> (για αποτίμηση)</b>			
Πλαστιμότητας $q_u (=q_n)$ και υπεραντοχής $q_s (=q_y)$	$q_u$ =	1.14	$q_s$ = 3.22
Διαθέσιμος συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς	<b>min <math>q</math></b> =	$q_u \cdot q_s$	<b>3.69</b> $270^\circ-30\% \cdot 180^\circ +eX$ , Ομοιόμορφη
<b>4. Επιρροή ανελαστικής συμπεριφοράς, [ΚΑΝΕΠΕ, §5.7.4.2]</b>			
Λόγος ανελαστικών μετατοπίσεων	<b>max <math>C_1</math></b> = = 1.21 / 1.21	$\mu_d / q_u$	<b>1.00</b> $270^\circ-30\% \cdot 180^\circ -eX$ , Ιδιομορφική
<b>5. Ικανότητα επιτάχυνσης για <math>\lambda_{max} = 1</math></b>			
	<b>max <math>a_g</math> (NC)</b> =	<b>0.117</b>	$0^\circ-30\% \cdot 270^\circ -eZ$ , Ιδιομορφική
	<b>max <math>a_g</math> (VR)</b> =	<b>0.221</b>	$90^\circ-30\% \cdot 180^\circ +eX$ , Ομοιόμορφη
<b>6. Στόχοι αποτίμησης, [ΚΑΝΕΠΕ, §2.2.1]</b>			
	$\max a_g / a_{gR} = (\max T_R / T_{LR})^{1/k} \therefore \max T_R = (\max a_g / a_{gR})^k \cdot T_{LR}$		[EC8-2 (A.3)]
Περίοδος επαναφοράς NC	<b>max <math>T_R</math> (NC)</b> = (0.117/0.140) <sup>3.0</sup> · 475 =	<b>276 έτη</b>	< 475 !
Περίοδος επαναφοράς VR	<b>max <math>T_R</math> (VR)</b> = (0.221/0.140) <sup>3.0</sup> · 475 =	<b>1877 έτη</b>	> 475 (ok)
	$p = 1 - e^{-T_u/\max T_R}$		[EC8-1§2.1(1)]
Πιθανότητα υπέρβασης NC σε 50 έτη	<b>P(NC)</b> = 1 - $e^{-50/276}$ =	<b>16.57%</b>	> 10% !
Πιθανότητα υπέρβασης VR σε 50 έτη	<b>P(VR)</b> = 1 - $e^{-50/1877}$ =	<b>2.63%</b>	< 10% (ok)
Στόχος που ικανοποιείται:	<b>G2</b> : P(NC), P(VR) < 50%		[ΚΑΝΕΠΕ Πίν. 2.1]

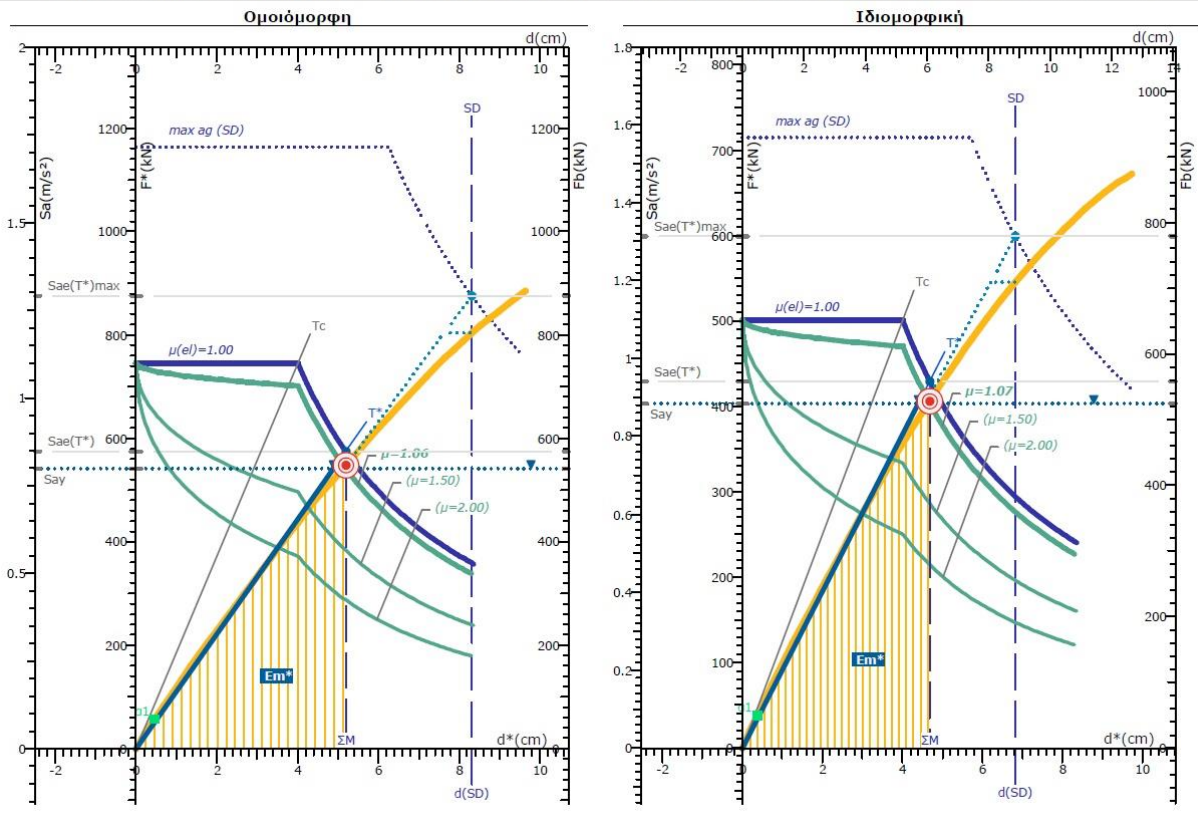
**Εικόνα 6.4.** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα απαίτησης-ικανότητας των 32 αναλύσεων για τη στάθμη επιτελεστικότητας NC.

Όπως προκύπτει απ' τα αποτελέσματα για την στάθμη επιτελεστικότητας NC, ο στόχος που ικανοποιείται είναι G2.

Στην Εικόνα 6.5 παρουσιάζονται τα διαγράμματα απαίτησης-ικανότητας για την στάθμη επιτελεστικότητας SD, της ομοιόμορφης και ιδιομορφικής κατανομής, στην κατεύθυνση όπου εμφανίζεται η μεγαλύτερη στοχευόμενη μετακίνηση  $d_t$ .



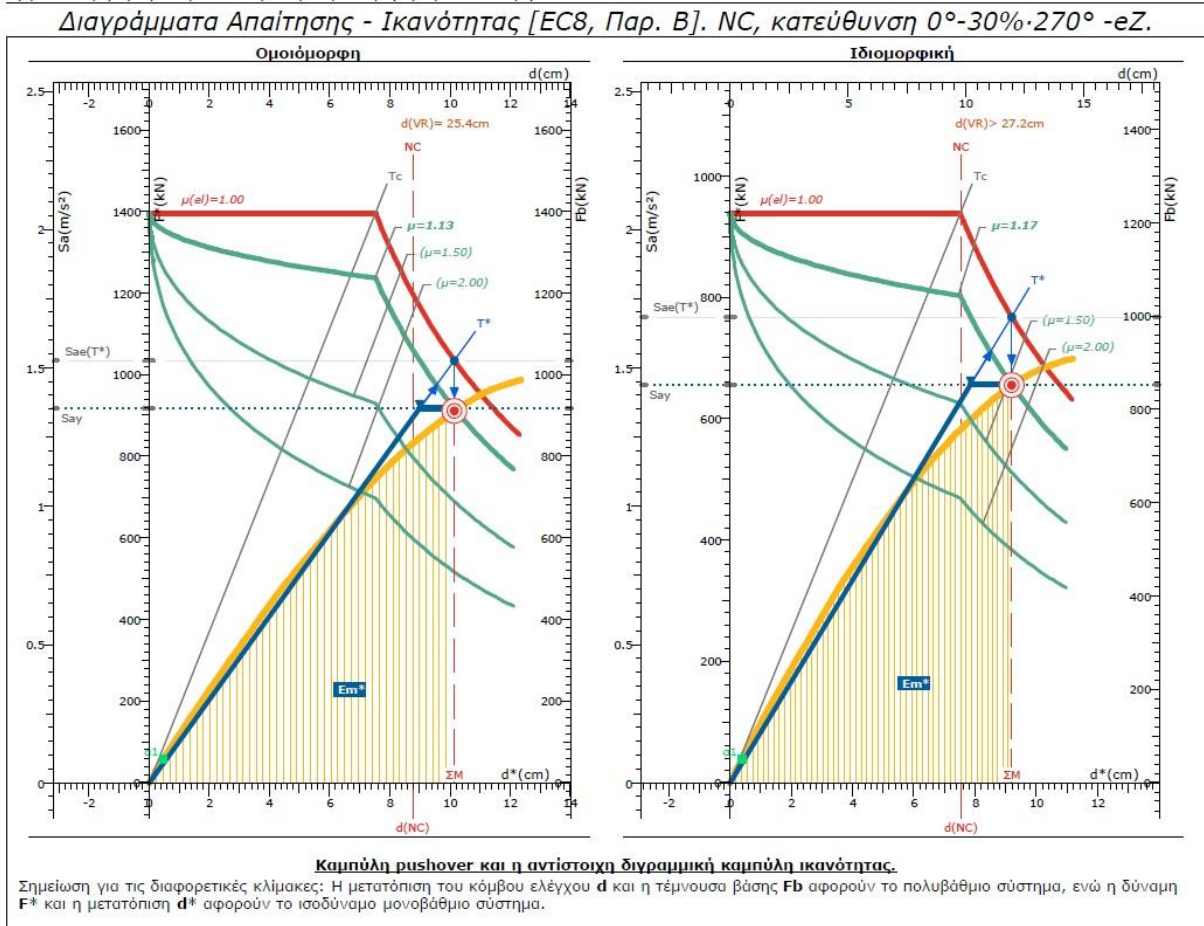
Διαγράμματα Απαίτησης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση 0°-30%-270° -eZ.



Εικόνα 6.5. Διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας SD

Όπως απεικονίζεται στα παραπάνω διαγράμματα απαίτησης-ικανότητας, η διακεκομμένη γραμμή η οποία ορίζει την ικανότητα μετακίνησης της κατασκευής για τη στάθμη επιτελεστικότητας SD, βρίσκεται δεξιά της μεγαλύτερης στοχευόμενης μετακίνησης  $d_t$ , γεγονός που σημαίνει επάρκεια της κατασκευής για της συγκεκριμένη στάθμη.

Στην Εικόνα 6.6 παρουσιάζονται τα διαγράμματα απαίτησης-ικανότητας για την στάθμη επιτελεστικότητας NC, της ομοιόμορφης και ιδιομορφικής κατανομής, στην κατεύθυνση όπου εμφανίζεται η μεγαλύτερη στοχευόμενη μετακίνηση  $d_t$ .



**Εικόνα 6.6.** Διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας NC

Όπως απεικονίζεται στα παραπάνω διαγράμματα απαίτησης-ικανότητας, το οποίο παρατηρείται και στα διαγράμματα των περισσότερων ανελαστικών αναλύσεων για τη στάθμη επιτελεστικότητας NC, η διακεκομμένη γραμμή η οποία ορίζει την ικανότητα μετακίνησης της κατασκευής, βρίσκεται αριστερά της στοχευόμενης μετακίνησης  $d_t$ , γεγονός που σημαίνει ανεπάρκεια της κατασκευής για τη συγκεκριμένη στάθμη .

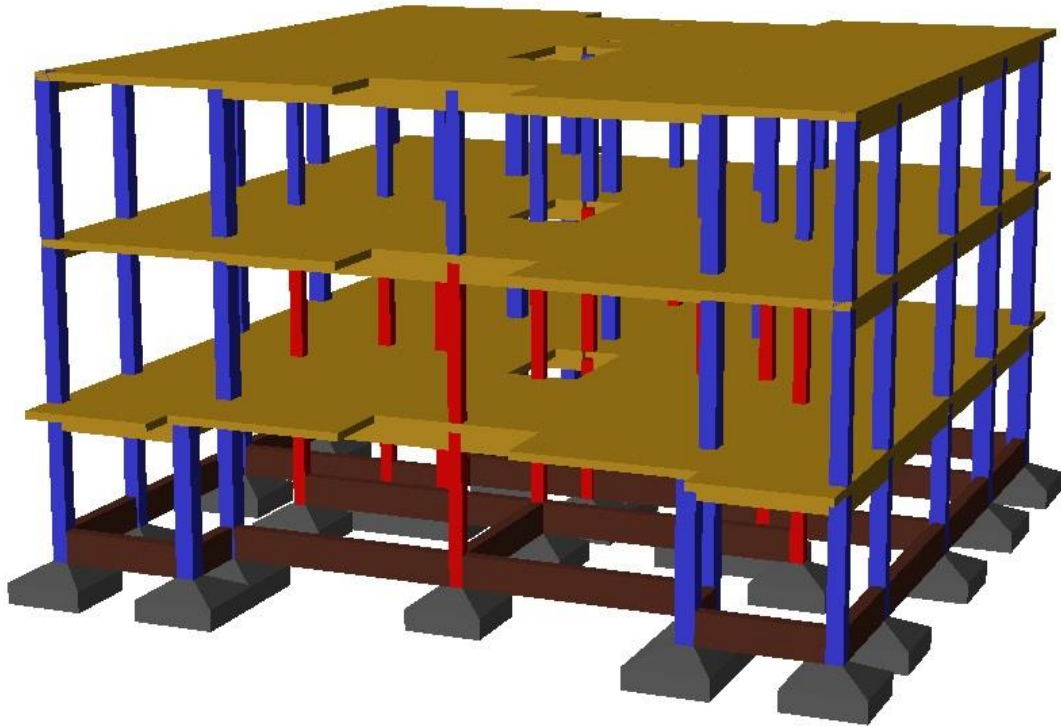
## 6.2 Συμπεράσματα

Απ’ τον έλεγχο των διαγραμμάτων απαίτησης-ικανότητας όλων των ανελαστικών αναλύσεων, προκύπτει ανεπάρκεια της κατασκευής για την στάθμη επιτελεστικότητας NC.

Επίσης, οι λόγοι επάρκειας σε 7 υποστυλώματα και σε μία δοκό, είναι μεγαλύτεροι απ’ την μονάδα (1,00) για την στάθμη επιτελεστικότητας NC οπότε αστοχούν. Υπάρχουν επίσης επιπλέον 3 υποστυλώματα που ο λόγος επάρκειας τους είναι οριακά κάτω απ’ τη μονάδα (1,00) για την ίδια στάθμη.



Στην Εικόνα 6.7 η οποία απεικονίζει τον φορέα σε τρισδιάστατη μορφή, εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα τα μέλη τα οποία στοχεύουν στην μελέτη αποτίμησης με πρόβλεψη ορόφου, και χρήζουν ενίσχυσης.



**Εικόνα 6.7.** 3D απεικόνιση του φορέα

# Κεφάλαιο 7

## Ενίσχυση κτιρίου

### 7.1 Γενικά

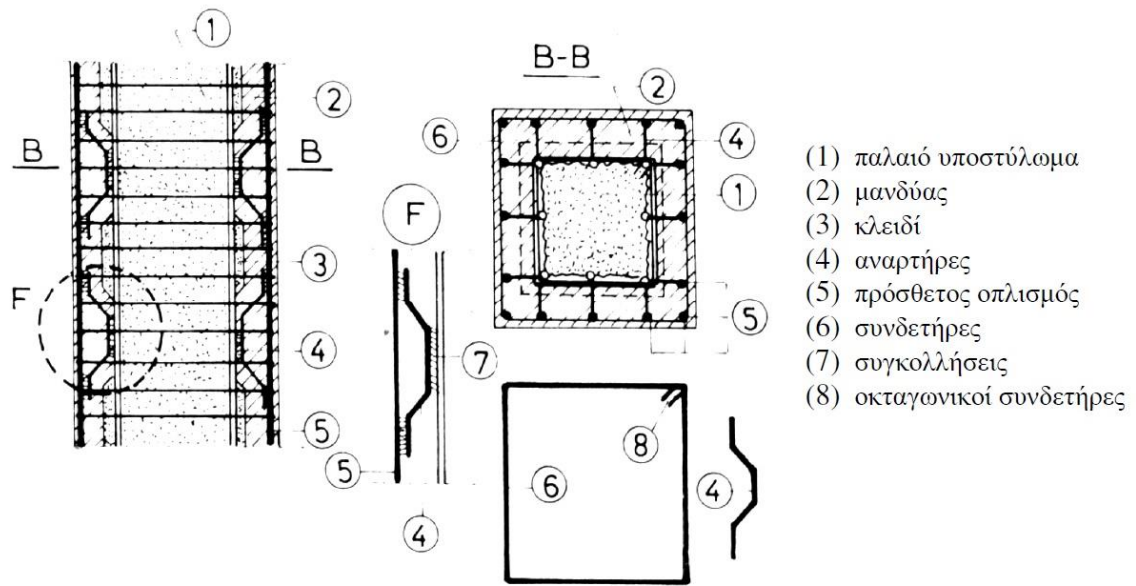
Οι τεχνικές ενίσχυσης των υποστυλωμάτων μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με την αύξηση ή όχι της διατομής του υποστυλώματος.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι τεχνικές στις οποίες δεν αυξάνεται η διατομή του υποστυλώματος και η ενίσχυση επιτυγχάνεται με ενεργή περίσφιγξη του στοιχείου.

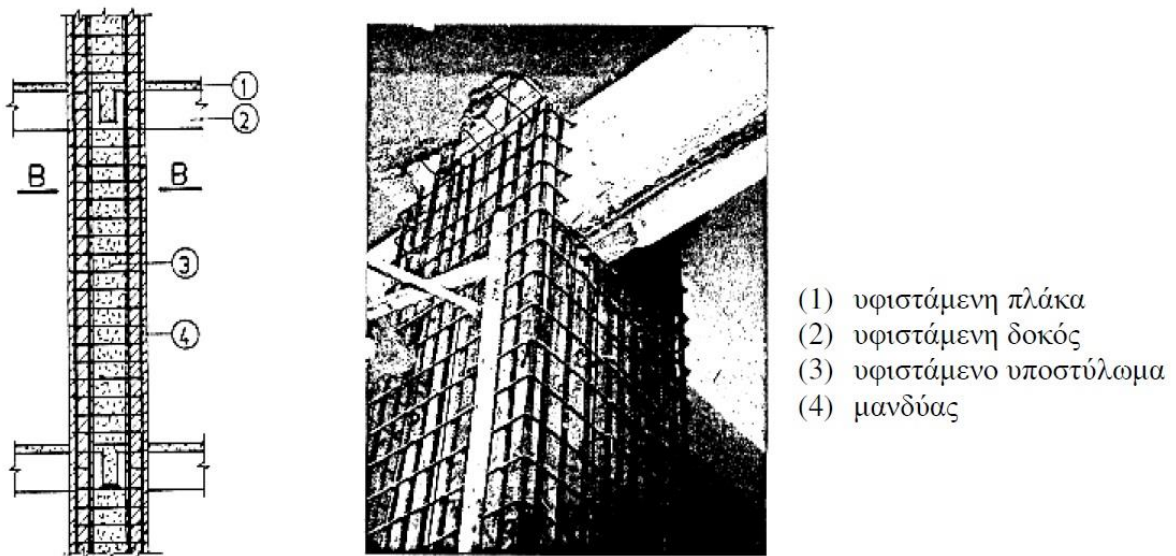
Στη δεύτερη κατηγορία η ενίσχυση επιτυγχάνεται με αύξηση της διατομής του υποστυλώματος με νέες στρώσεις σκυροδέματος και νέους οπλισμούς, κατασκευάζοντας έναν μανδύα γύρω απ' το αρχικό στοιχείο. Είναι η συνηθέστερη μέθοδος ενίσχυσης υφιστάμενων υποστυλωμάτων. Τα πλεονεκτήματά της είναι: α) Μη μεταβολή αρχιτεκτονικής όψης με προσθήκη νέων υλικών. β) Αυξάνεται ο βαθμός πυροπροστασίας.

### 7.2 Μανδύες υποστυλωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα

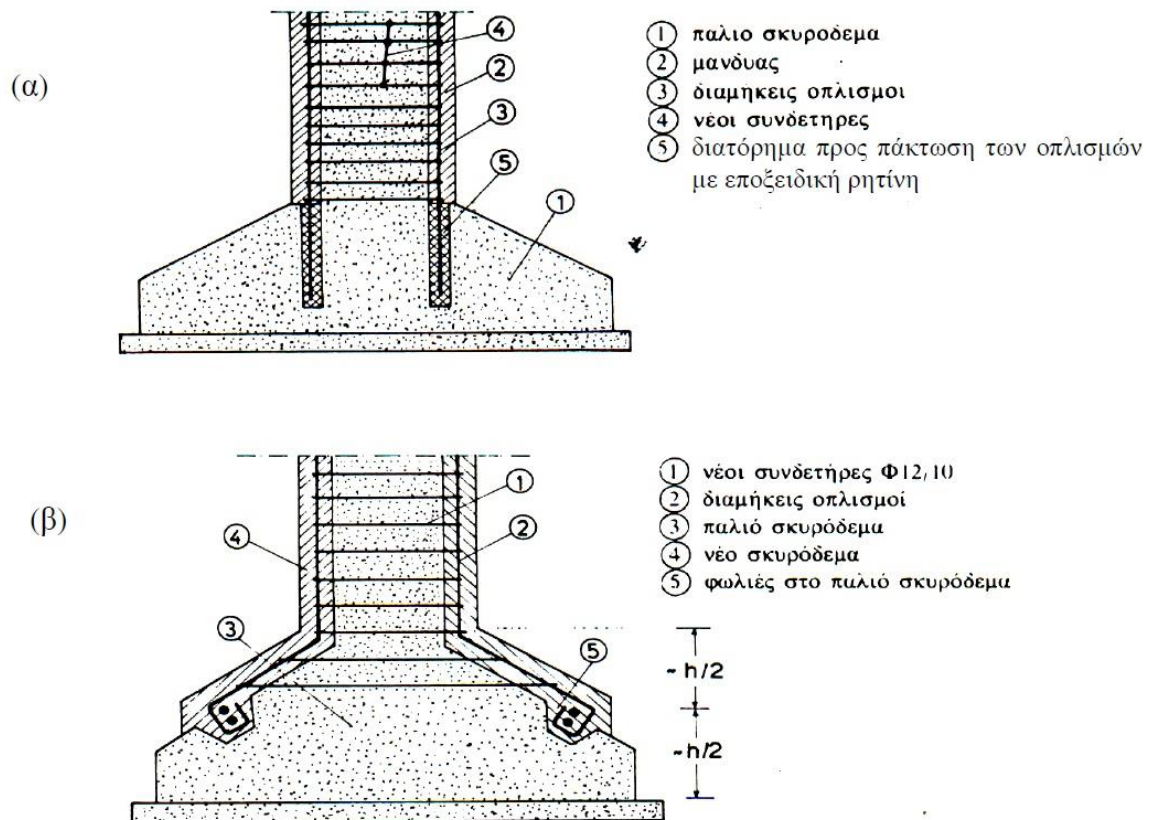
Η τεχνική της κατασκευής μανδυών σε υποστυλώματα οπλισμένου σκυροδέματος είναι η πλέον αποτελεσματική μέθοδος αύξησης της αντοχής, δυσκαμψίας και πλαστιμότητας τους. Συνήθως εφαρμόζεται σε περιπτώσεις υποστυλωμάτων με σοβαρές βλάβες η γενικότερα όταν διαπιστώνεται ανεπάρκεια της αντοχής τους ή άλλων χαρακτηριστικών τους. Η τεχνική περιλαμβάνει την αύξηση της διατομής του υποστυλώματος με νέο σκυρόδεμα και νέους διαμήκης και εγκάρσιους οπλισμούς περιμετρικά του αρχικού στοιχείου και μπορεί να εκτείνεται είτε σε όλο το μήκος του υποστυλώματος (ολικός μανδύας), είτε σε ένα μόνο τμήμα του (τοπικός μανδύας).



Εικόνα 7.1. Μανδύας οπλισμένου σκυροδέματος (Δρίτσος Σ.)



Εικόνα 7.2. Ολικός μανδύας (Δρίτσος Σ.)



**Εικόνα 7.3.** Διαδικασίες απόληξης μανδύα στα στοιχεία θεμελίωσης (Δρίτσος Σ.)

Είδη μανδυνών οπλισμένου σκυροδέματος:

- Μανδύες από έγχυτο σκυροδέμα.
- Μανδύες από εκτοξευόμενο σκυροδέμα.
- Μανδύες από σκυροτσιμεντόπηγμα.
- Μανδύες από ειδικά σκυροδέματα ή τσιμεντοκονιάματα.

### 7.3 Ενίσχυση κτιρίου & αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στην παρούσα μελέτη κρίθηκε απαραίτητη η ενίσχυση του κτιρίου για την προσθήκη καθ' ύψος ενός ορόφου. Επιλέγεται η αύξηση της διατομής των υποστυλωμάτων με μανδύα από έγχυτο σκυροδέμα πάχους 10 cm ποιότητας C20/25. Ο μανδύας από έγχυτο σκυροδέμα χρησιμοποιείται όταν ο μανδύας έχει πάχος μεγαλύτερο από 8 cm και απαιτείται χρήση ξυλοτύπου.

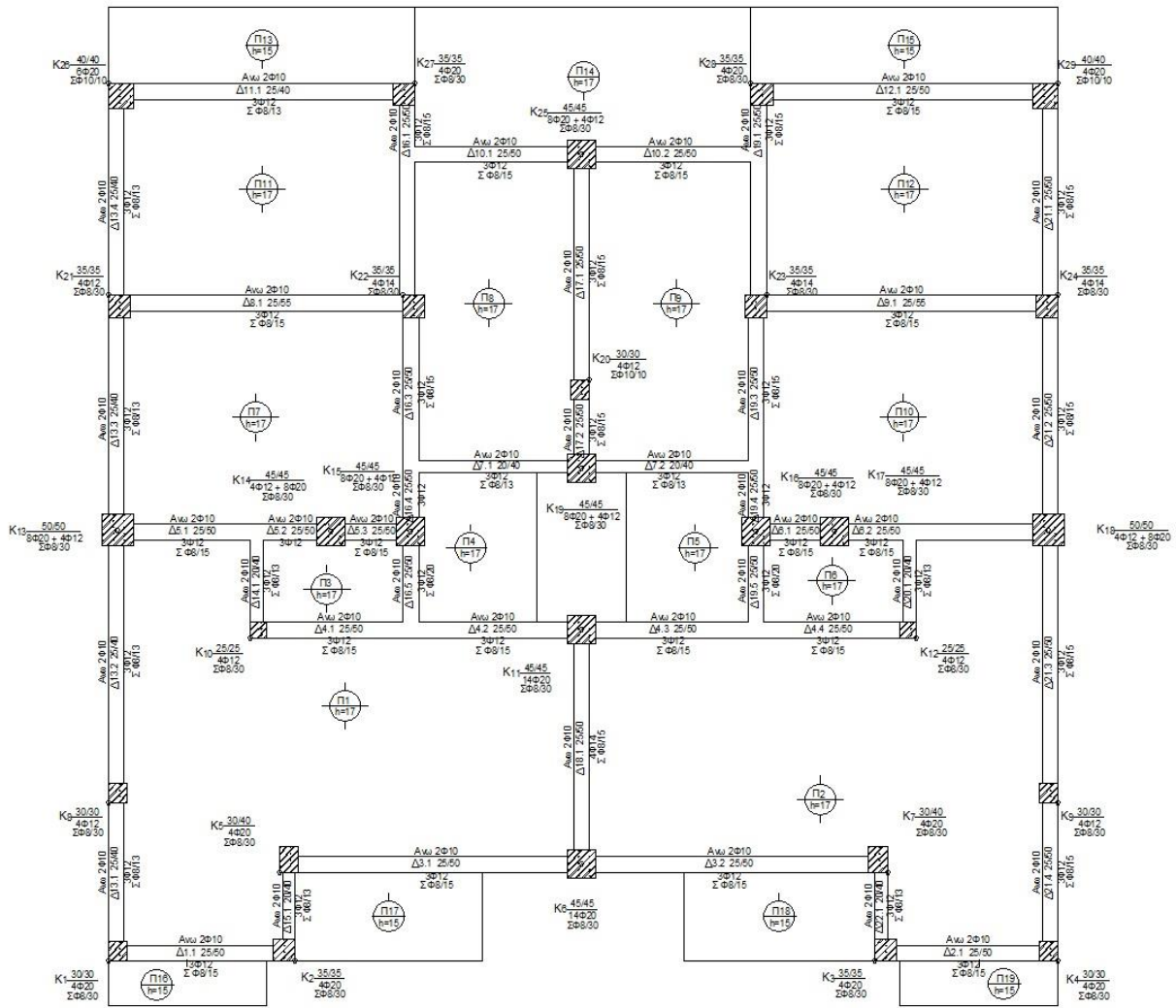
Στο τρίτο και τελικό σκέλος της εργασίας γίνεται μελέτη αποτίμησης του κτιρίου για πρόβλεψη προσθήκης ορόφου ενισχύοντας συνολικά 10 υποστυλώματα, απ' τα οποία 7 υποστυλώματα είχαν λόγο επάρκειας  $\lambda > 1,00$ , και επιπλέον 3 υποστυλώματα τα οποία ο λόγος επάρκειας τους ήταν οριακά μικρότερο απ' τη μονάδα (1,00).

Στον Πίνακα 7.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των λόγων επάρκειας των υποστυλωμάτων σε κάμψη για την στάθμη επιτελεστικότητας NC, τα οποία ενισχύθηκαν. Πλέον οι λόγοι επάρκειας είναι μικρότεροι απ' τη μονάδα, άρα το κριτήριο ικανοποιείται.

**Πίνακας 7.1.** Λόγοι επάρκειας υποστυλωμάτων μετά την ενίσχυση

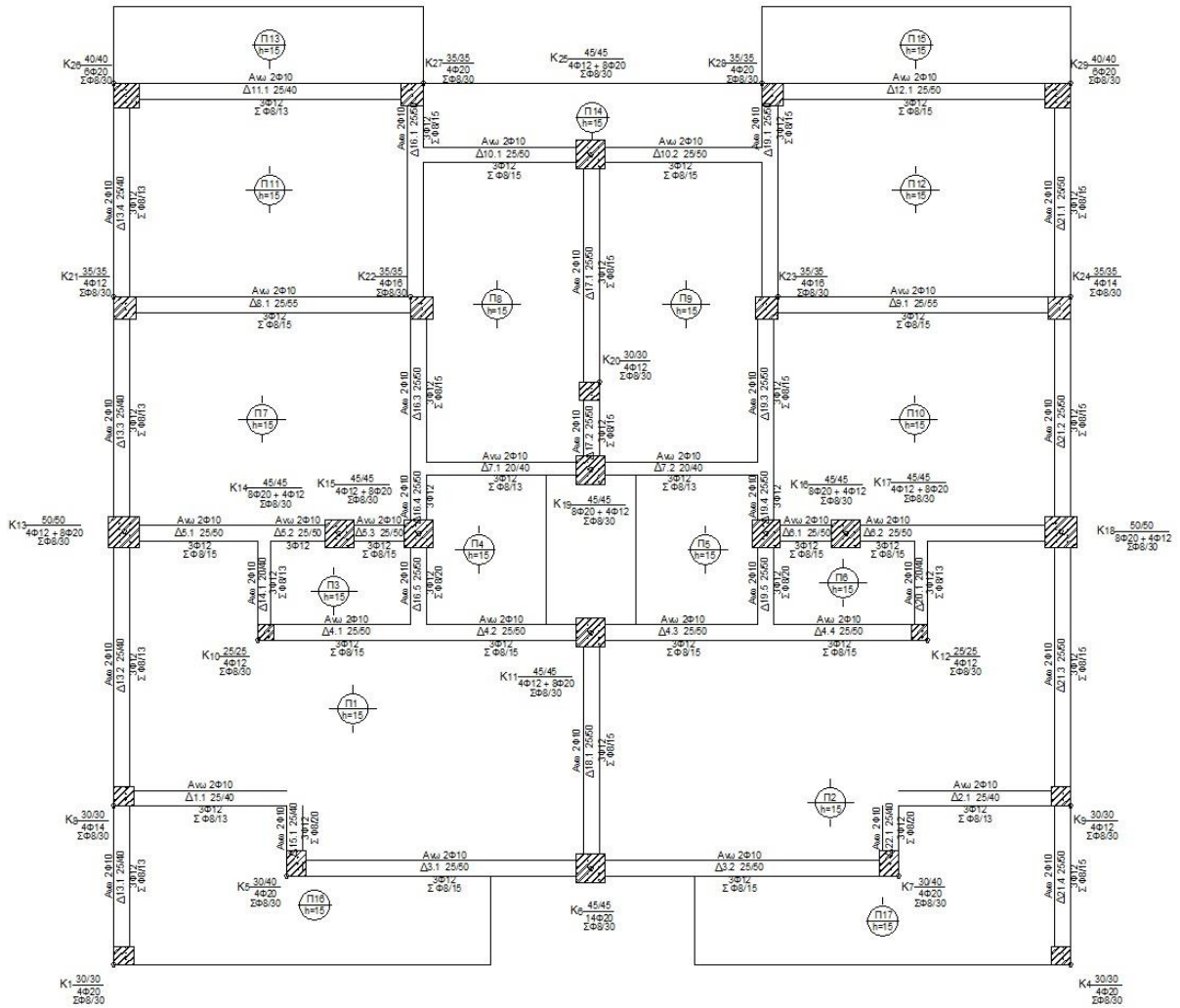
Στάθμη επιτελεστικότητας	Μέλος	Λόγος επάρκειας $\lambda$
NC	K6 (0)	0.28
NC	K11 (0)	0.26
NC	K13 (0)	0.23
NC	K14 (0)	0.22
NC	K15 (0)	0.21
NC	K16 (0)	0.21
NC	K17 (1)	0.20
NC	K18 (0)	0.22
NC	K19 (0)	0.22
NC	K25 (0)	0.27

Στις Εικόνα 7.4 και Εικόνα 7.5 παρουσιάζονται οι νέοι ξυλότυποι Ισογείου και Α' ορόφου με τα ενισχυόμενα υποστυλώματα.



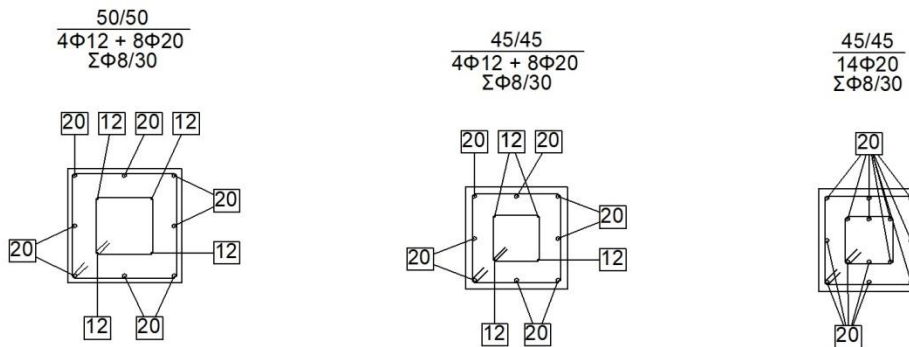
Εικόνα 7.4. Ξυλότυπος οροφής Ισογείου



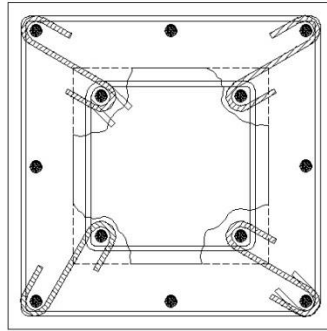


Εικόνα 7.5. Ξυλότυπος οροφής Α ορόφου

Στην Εικόνα 7.6 και στην Εικόνα 7.7, παρουσιάζονται ο σπλισμός των ενισχυόμενων υποστυλωμάτων και οι λεπτομέρειες ενίσχυσης.



Εικόνα 7.6. Ενισχυόμενα Υποστυλώματα και ο σπλισμός τους.



**Εικόνα 7.7.** Λεπτομέρειες ενίσχυσης υποστυλωμάτων.

Στην Εικόνα 7.8 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα απαίτησης-ικανότητας των 32 αναλύσεων για τη στάθμη επιτελεστικότητας SD.

### Στάθμη επιτελεστικότητας SD

<b>1. Στοιχειώμενη μετακίνηση dt</b>			
<b>X:</b>	<b>+4.7cm</b>	$0^\circ-30\% \cdot 270^\circ -eZ$ , Ιδιομορφική	<b>Z:</b>
	<b>-4.8cm</b>	$180^\circ-30\% \cdot 270^\circ +eZ$ , Ιδιομορφική	<b>+3.9cm</b>
			<b>-4.0cm</b>
			$90^\circ-30\% \cdot 180^\circ +eX$ , Ιδιομορφική
			$270^\circ+30\% \cdot 0^\circ -eX$ , Ιδιομορφική
<b>2. Στοιχειώμενη πλαστιμότητα (για ανασχεδιασμό)</b>			
Περίοδος μονοβάθμιου συστήματος	$T^*(s)$	=	1.12
Συντελεστής συμπεριφοράς πλαστιμότητας	$q_u (=q_n)$	=	1.12
Παράγοντας στοιχειώμενης πλαστιμότητας	$\max \mu_d$	=	<b>1.13</b>
			$180^\circ-30\% \cdot 270^\circ +eZ$ , Ιδιομορφική
<b>3. Διαθέσιμος συντελεστής συμπεριφοράς q (για αποτίμηση)</b>			
Πλαστιμότητας $q_u (=q_n)$ και υπεραντοχής $q_s (=q_y)$	$q_u$	=	1.10
Διαθέσιμος συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς	$\min q$	=	$q_u \cdot q_s$
			<b>10.93</b>
			$90^\circ+30\% \cdot 0^\circ +eX$ , Ιδιομορφική
<b>4. Επirroή ανελαστικής συμπεριφοράς, [ΚΑΝΕΠΕ, §5.7.4.2]</b>			
Λόγος ανελαστικών μετατοπίσεων	$\max C_1$	=	$\mu_d / q_u$
	= 1.07 / 1.06	=	<b>1.01</b>
			$270^\circ+30\% \cdot 0^\circ -eX$ , Ιδιομορφική
<b>5. Ικανότητα επιτάχυνσης για <math>\lambda_{\max} = 1</math></b>			
	$\max a_g (SD)$	=	<b>0.134</b>
			$90^\circ-30\% \cdot 180^\circ +eX$ , Ομοιόμορφη
<b>6. Στόχοι αποτίμησης, [ΚΑΝΕΠΕ, §2.2.1]</b>			
	$\max a_g / a_{gR} = (\max T_R / T_{LR})^{1/k} \cdot \max T_R = (\max a_g / a_{gR})^k \cdot T_{LR}$		[EC8-2 (A.3)]
Περίοδος επαναφοράς SD	$\max T_R (SD) = (0.134/0.140)^{3.0} \cdot 475 =$	<b>416 έτη</b>	> 72 (ok)
	$P = 1 - e^{-T_U / \max T_R}$		[EC8-1§2.1(1)]
Πιθανότητα υπέρβασης SD σε 50 έτη	$P(SD) = 1 - e^{-50/416} =$	<b>11.32%</b>	< 50% (ok)
Στόχος που ικανοποιείται:	<b>B2</b> : $P(SD) < 50\%$		[ΚΑΝΕΠΕ Πιν. 2.1]

**Εικόνα 7.8.** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα απαίτησης-ικανότητας των 32 αναλύσεων για τη στάθμη επιτελεστικότητας SD.

Όπως προκύπτει απ' τα αποτελέσματα για την στάθμη επιτελεστικότητας SD, ο στόχος που ικανοποιείται είναι B2.



Στην Εικόνα 7.9 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα απαίτησης-ικανότητας των 32 αναλύσεων για τη στάθμη επιτελεστικότητας NC.

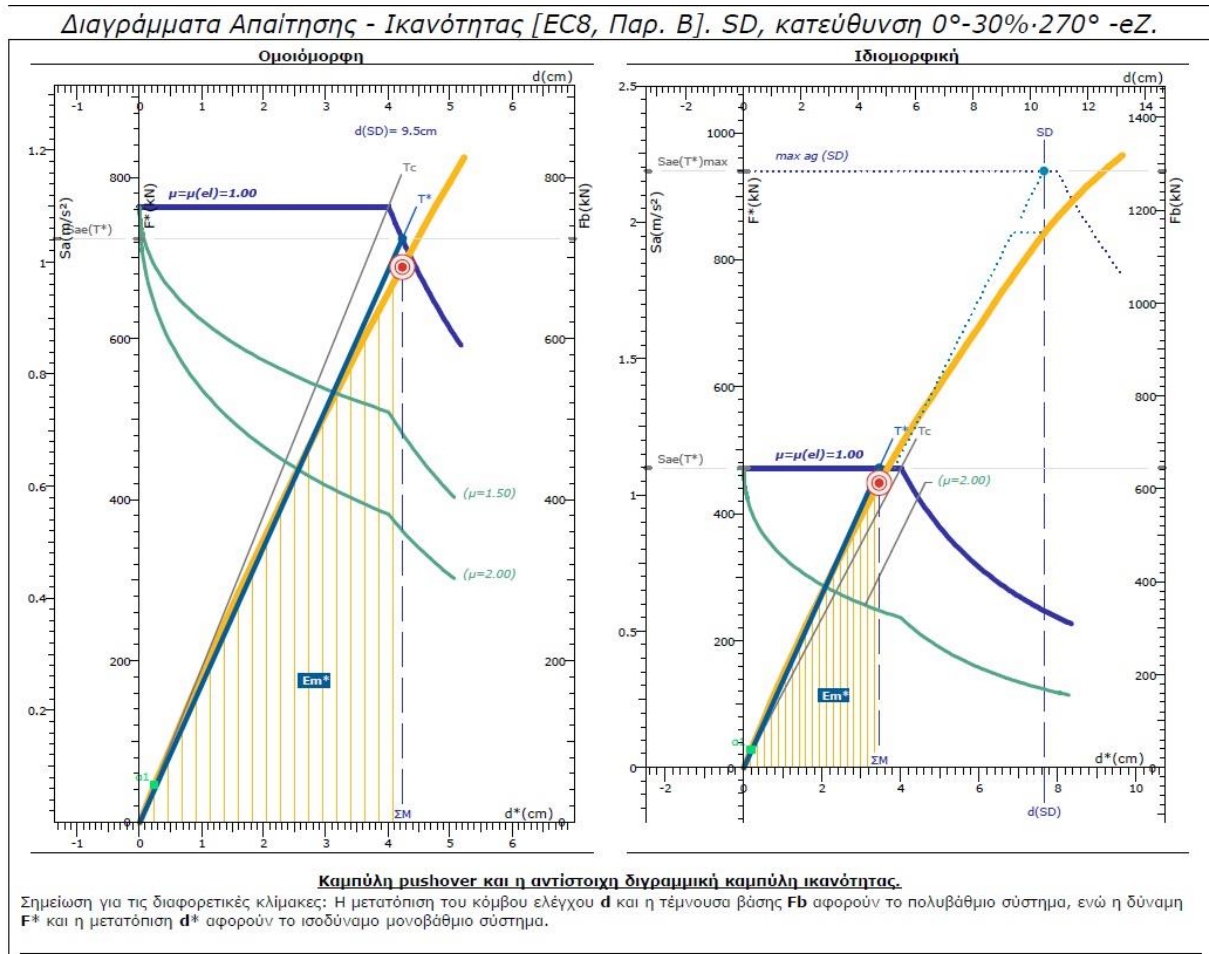
### Στάθμη επιτελεστικότητας NC

1. Στοχευόμενη μετακίνηση dt			
<b>X:</b>	<b>+9.8cm</b> <b>-10.3cm</b>	$0^\circ\text{-}30\%\text{-}270^\circ\text{-eZ}$ , Ιδιομορφική $180^\circ\text{-}30\%\text{-}270^\circ\text{+eZ}$ , Ιδιομορφική	<b>Z:</b> <b>+8.0cm</b> <b>-8.2cm</b> $90^\circ\text{-}30\%\text{-}180^\circ\text{+eX}$ , Ιδιομορφική $270^\circ\text{+}30\%\text{-}0^\circ\text{-eX}$ , Ιδιομορφική
2. Στοχευόμενη πλαστικότητα (για ανασχεδιασμό)			
Περίοδος μονοβάθμιου συστήματος	$T^*(s)$ =	1.35	
Συντελεστής συμπεριφοράς πλαστικότητας	$q_u(=q_n)$ =	1.14	
Παράγοντας στοχευόμενης πλαστικότητας	$\max \mu_d$ =	<b>1.14</b>	$180^\circ\text{-}30\%\text{-}270^\circ\text{-eZ}$ , Ομοιόμορφη
3. Διαθέσιμος συντελεστής συμπεριφοράς q (για αποτίμηση)			
Πλαστικότητα $q_u(=q_n)$ και υπεραντοχής $q_s(=q_u)$	$q_u$ =	1.13	$q_s$ = 9.90
Διαθέσιμος συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς	$\min q$ =	$q_u \cdot q_s$	<b>11.22</b> $0^\circ\text{+}30\%\text{-}90^\circ\text{-eZ}$ , Ιδιομορφική
4. Επιρροή ανελαστικής συμπεριφοράς, [ΚΑΝΕΠΕ, §5.7.4.2]			
Λόγος ανελαστικών μετατοπίσεων	$\max C_1$ =	$\mu_d / q_u$	
	= 1.12 / 1.10 =	<b>1.01</b>	$90^\circ\text{+}30\%\text{-}0^\circ\text{-eX}$ , Ιδιομορφική
5. Ικανότητα επιτάχυνσης για $\lambda_{\max} = 1$			
	$\max a_g(\text{NC})$ =	<b>0.157</b>	$0^\circ\text{+}30\%\text{-}90^\circ\text{-eZ}$ , Ιδιομορφική
	$\max a_g(\text{VR})$ =	<b>0.256</b>	$270^\circ\text{-}30\%\text{-}180^\circ\text{+eX}$ , Ιδιομορφική
6. Στόχοι αποτίμησης, [ΚΑΝΕΠΕ, §2.2.1]			
	$\max a_g / a_{gR} = (\max T_R / T_{LR})^{1/k} \therefore \max T_R = (\max a_g / a_{gR})^k \cdot T_{LR}$		[EC8-2 (A.3)]
Περίοδος επαναφοράς NC	$\max T_R(\text{NC}) = (0.157/0.140)^{3.0} \cdot 475 =$	<b>674 έτη</b>	> 475 (ok)
Περίοδος επαναφοράς VR	$\max T_R(\text{VR}) = (0.256/0.140)^{3.0} \cdot 475 =$	<b>2908 έτη</b>	> 475 (ok)
	$p = 1 - e^{-T_r/\max T_R}$		[EC8-1§2.1(1)]
Πιθανότητα υπέρβασης NC σε 50 έτη	$P(\text{NC}) = 1 - e^{-50/674} =$	<b>7.15%</b>	< 10% (ok)
Πιθανότητα υπέρβασης VR σε 50 έτη	$P(\text{VR}) = 1 - e^{-50/2908} =$	<b>1.70%</b>	< 10% (ok)
Στόχοι που ικανοποιούνται:	<b>Γ1</b> : $P(\text{NC}), P(\text{VR}) < 10\%$ και	<b>Γ2</b> : $P(\text{NC}), P(\text{VR}) < 50\%$	[ΚΑΝΕΠΕ Πίν. 2.1]

**Εικόνα 7.9.** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα απαίτησης-ικανότητας των 32 αναλύσεων για τη στάθμη επιτελεστικότητας NC.

Όπως προκύπτει απ' τα αποτελέσματα για την στάθμη επιτελεστικότητας NC, ο στόχος που ικανοποιείται είναι Γ1.

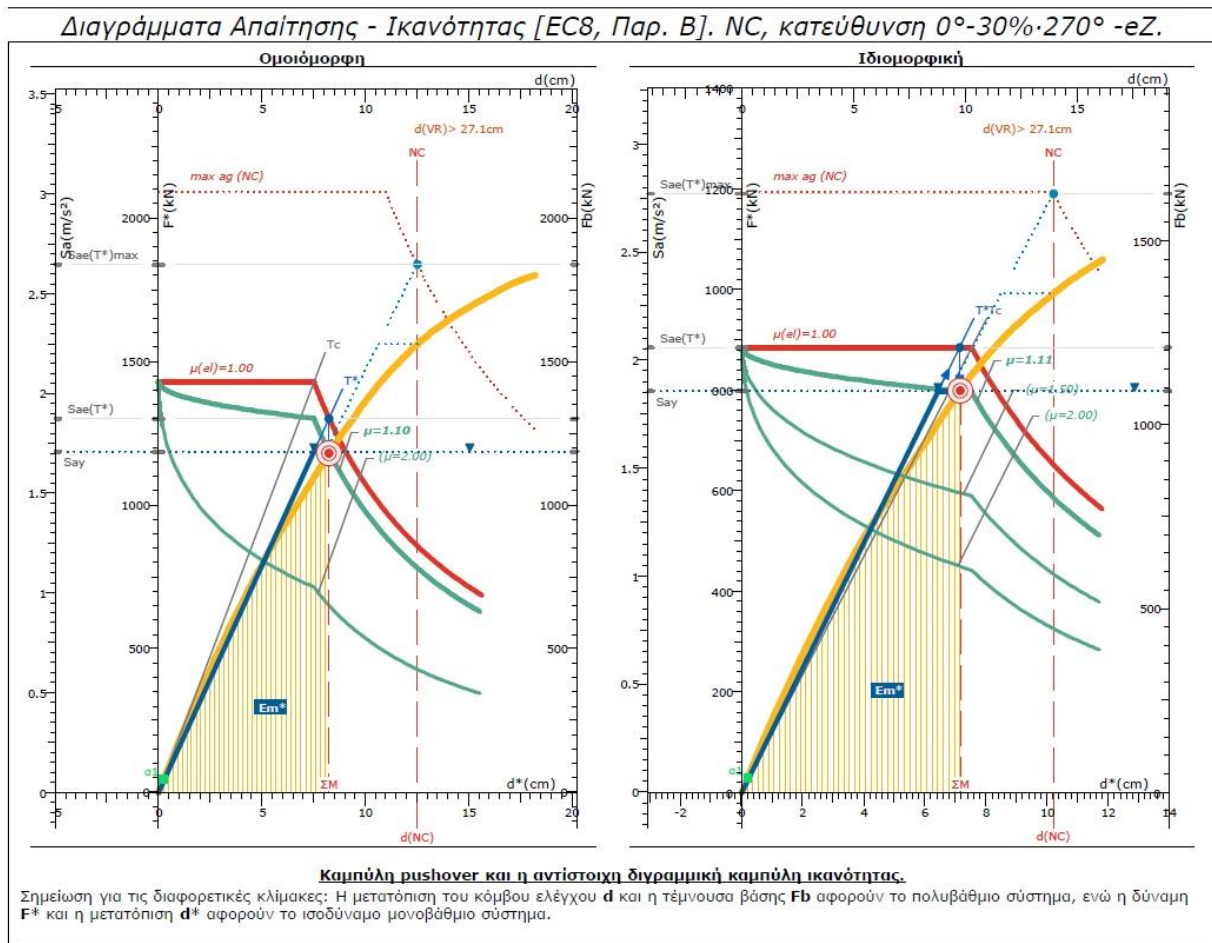
Στην Εικόνα 7.10 παρουσιάζονται τα διαγράμματα απαίτησης-ικανότητας για την στάθμη επιτελεστικότητας SD, της ομοιόμορφης και ιδιομορφικής κατανομής, στην κατεύθυνση όπου εμφανίζεται η μεγαλύτερη στοχευόμενη μετακίνηση dt.



**Εικόνα 7.10.** Διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας SD

Όπως απεικονίζεται στα παραπάνω διαγράμματα απαίτησης-ικανότητας, η διακεκομμένη γραμμή η οποία ορίζει την ικανότητα μετακίνησης της κατασκευής για τη στάθμη επιτελεστικότητας SD, βρίσκεται δεξιά της μεγαλύτερης στοχευόμενης μετακίνησης  $d_t$ , γεγονός που σημαίνει επάρκεια της κατασκευής για της συγκεκριμένη στάθμη.

Στην Εικόνα 7.11 παρουσιάζονται τα διαγράμματα απαίτησης-ικανότητας για την στάθμη επιτελεστικότητας NC, της ομοιόμορφης και ιδιομορφικής κατανομής, στην κατεύθυνση όπου εμφανίζεται η μεγαλύτερη στοχευόμενη μετακίνηση  $d_t$ .



**Εικόνα 7.11. Διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας NC**

Όπως απεικονίζεται στα παραπάνω διαγράμματα απαίτησης-ικανότητας, η διακεκομμένη γραμμή η οποία ορίζει την ικανότητα μετακίνησης της κατασκευής για τη στάθμη επιτελεστικότητας NC, βρίσκεται δεξιά της μεγαλύτερης στοχευόμενης μετακίνησης  $d_t$ , γεγονός που σημαίνει επάρκεια της κατασκευής για της συγκεκριμένη στάθμη.

## 7.4 Συμπεράσματα

Μετά την ενίσχυση των υποστυλωμάτων με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος, σύμφωνα με τη μελέτη αποτίμησης του κτιρίου με πρόβλεψη προσθήκης ορόφου, οι λόγοι επάρκειας  $\lambda$  των μελών είναι μικρότεροι απ' την μονάδα (1,00) για τις στάθμες επιτελεστικότητας SD και NC οπότε το κριτήριο ικανοποιείται. Επίσης στον έλεγχο των διαγραμμάτων απαίτησης-ικανότητας όλων των ανελαστικών αναλύσεων για τον καθολικό έλεγχο του κτιρίου, προκύπτει επάρκεια της κατασκευής για τις δύο στάθμες επιτελεστικότητας SD & NC. Ο συνδιασμός στόχων για τις δύο στάθμες επιτελεστικότητας που πλέον επιτυγχάνεται για το κτίριο σπουδαιότητας Σ2, είναι B2-Γ1 ο οποίος είναι και ο επιθυμητός βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ.

## Βιβλιογραφία

*Βοηθητικά κείμενα Fespa, LH Logismiki.*

*Δρίτσος, Σ. (2005). Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. 3<sup>η</sup> έκδοση Πανεπιστήμιο Πατρών. Πάτρα.*

*ΚΑΝ.ΕΠΕ, Κανονισμός επεμβάσεων (Αναθεώρηση 2017).*

*Κυριαζόπουλος, Α. (2015). Επισκευή και Ενίσχυση Στοιχείων από Ο.Σ με Παραδοσιακές Μεθόδους. Διδακτικές Σημειώσεις. Μεταπτυχιακό Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. ΤΕΙ Πειραιά.*

*Ρεπαπής, Κ. (2018). Αποτίμηση και Ανασχεδιασμός Υφιστάμενων Κατασκευών. Διδακτικές Σημειώσεις. Μεταπτυχιακό Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. ΤΕΙ Πειραιά.*