



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

# **ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΔΥΟ ΟΡΟΦΩΝ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΚΤΙΡΙΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟ ΜΕ ΠΑΛΑΙΟ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ**



**Φοιτήτρια : Τριανταφύλλου Νίκη Φανή**  
**ΑΜ : 44366960226**

**Επιβλέπων :**  
**Δρίβας Δημήτριος**  
**Ρεπαπής Κωνσταντίνος**

**ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, 2024**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**FACULTY OF ENGINEERING**  
**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

## **DIPLOMA THESIS**

# **RESEARCH FOR THE ADDITION OF TWO STOREYS TO AN EXISTING BUILDING CONSTRUCTED BASED ON OLDER REGULATIONS**



**Student: Triantafyllou Niki Fani**  
**Registration Number: 44366960226**

**Supervisor**  
**Drivas Dimitrios**  
**Repapis Constantinos**

**ATHENS-EGALEO, 2024**

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

Κωνσταντίνος Ρεπαπής, (Επιβλέπων)	Νικόλαος Πνευματικός, (Εξεταστής)	Ισαάκ Βρυζίδης, (Εξεταστής)
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

**Copyright ©** Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και (Τριανταφύλλου Νίκη Φανή  
Φεβρουάριος, 2024**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

### **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Τριανταφύλλου Νίκη Φανή του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 44366960226 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, **δηλώνω υπεύθυνα ότι:**

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής 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 διπλώματός μου.

Η Δηλούσα

**ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ ΝΙΚΗ ΦΑΝΗ**

Υπογραφή φοιτήτριας



*Στη μητέρα μου...*

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα πρωτίστως να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα μου κ. Δρίβα Δημήτριο για την πολύτιμη καθοδήγησή του στην ολοκλήρωση και εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.  
Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία Ace Hellas S.A. που μας παραχώρησε την εκπαιδευτική άδεια χρήσης του προγράμματος SCADA PRO, για την διεξαγωγή της μελέτης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά τη δυνατότητα προσθήκης δύο ορόφων σε υφιστάμενο κτίριο από ωπλισμένο σκυρόδεμα, το οποίο έχει μελετηθεί με τις Πρόσθετες Διατάξεις του Βασιλικού Διατάγματος του 1959, παρουσιάζοντας κατά βήμα την διαδικασία της αποτίμησης του. Η διαδικασία της προσομοίωσης και της ανάλυσης του φορέα διεξάγεται με τη βοήθεια του λογισμικού Scada Pro από την εταιρεία Ace Hellas. Ο φορέας αναλύεται με εφαρμογή της μη γραμμικής στατικής μεθόδου ανάλυσης (μέθοδος Pushover). Επιπλέον γίνεται η επιλογή κατάλληλης μεθόδου ενίσχυσης του κτιρίου καθώς και η εφαρμογή της στο προσομοίωμα, ακολουθώντας τους κανονισμούς και τις προϋποθέσεις που ορίζει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. και ο Ευρωκώδικας 8.

## **ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ**

Αποτίμηση, Προσθήκη, Ενίσχυση, Μη γραμμική στατική μέθοδος ανάλυσης, ΚΑΝ.ΕΠΕ, Ευρωκώδικας 8, Επιτελεστικότητα

## **ABSTRACT**

This thesis presents a research that is focused on the possibility of adding two floors to an existing reinforced concrete building, which has been studied with the Additional Provisions of the Royal Decree of 1959. In the scope of this research is the process of its evaluation and redesign, which are presented step by step. The simulation and the analysis of the structure is carried out with the help of the static software Scada Pro, which was granted from the company Ace Hellas. The structure is analyzed according to the non-linear static analysis method (Pushover method). The final step of this thesis is the selection of the proper reinforcement method, which is going to be based on the results of the non-linear analysis, as well as the application of the reinforcement to the simulated building. The processes of the evaluation and redesign are following the regulations and conditions set by the 3rd Revision of the Code of interventions (KAN.EPE. 2022) and Eurocode 8.

## **KEYWORDS**

Evaluation, Storey addition, Reinforcement, Pushover analysis, KAN.EPE., Eurocode 8, Performance



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>11</b>
<b>ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b> .....	<b>13</b>
<b>ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ</b> .....	<b>15</b>
<b>1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : Αρχές αποτίμησης και ανασχεδιασμού ΚΑΝ.ΕΠΕ</b> .....	<b>16</b>
1.1 Γενικά .....	16
1.2 Πεδίο εφαρμογής αποτίμησης.....	16
1.3 Πεδίο εφαρμογής ανασχεδιασμού .....	17
1.4 Στόχοι αποτίμησης και ανασχεδιασμού.....	17
1.5 Στάθμες επιτελεστικότητας.....	20
1.6 Στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων.....	21
1.7 Κύρια και δευτερεύοντα στοιχεία.....	23
1.8 Μορφολογική κανονικότητα .....	24
1.9 Έλεγχοι ασφαλείας .....	24
<b>2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : Κριτήρια απαλλαγής ελέγχου επάρκειας για προσθήκες</b> .....	<b>27</b>
2.1 Γενικά .....	27
2.2 Προϋποθέσεις απαλλαγής κριτηρίων επαρκείας .....	28
2.2.1 Πιθανές δυσμενείς συνέπειες .....	28
2.2.2 Προσθήκες.....	29
<b>3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : Μέθοδοι ανάλυσης σεισμικής αποτίμησης</b> .....	<b>31</b>
3.1 Γενικά .....	31
3.2 Ελαστικές μέθοδοι ανάλυσης .....	31
3.2.1 Ελαστική ισοδύναμη στατική .....	32
3.2.2 Ελαστική δυναμική ανάλυση .....	33
3.2.3 Ενιαίος δείκτης συμπεριφοράς $q$ .....	33
3.2.4 Τοπικός δείκτης $m$ .....	35
3.3 Ανελαστικές μέθοδοι ανάλυσης .....	35
3.3.1 Ανελαστική στατική ανάλυση – Μέθοδος Pushover.....	35
3.3.2 Ανελαστική δυναμική ανάλυση .....	37
3.3.3 Στοχευμένη μετακίνηση .....	37
<b>4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : Επισκευές και Ενισχύσεις</b> .....	<b>39</b>
4.1 Γενικά .....	39
4.2 Πιθανές βλάβες στα μέλη του φορέα .....	40
4.2.1 Βλάβες σε υποστυλώματα .....	40
4.2.2 Βλάβες σε δοκούς .....	40
4.2.3 Βλάβες σε κόμβους.....	41
4.3 Ενισχύσεις κατασκευών.....	41
4.3.1 Στρατηγικές ενίσχυσης κατασκευών .....	41
4.3.2 Ενίσχυση με μανδύες σκυροδέματος .....	43
4.3.3 Ενίσχυση με περίσφιγξη .....	44
4.4 Επισκευές κατασκευών.....	45
4.4.1 Επισκευή με ρητινενέσεις .....	46
4.4.2 Επισκευή με επισκευαστικά κονιάματα .....	46
4.4.3 Τοπικές αποκαταστάσεις ίσης διατομής .....	47

<b>5</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : Προσομοίωση στο πρόγραμμα.....</b>	<b>48</b>
<b>5.1</b>	<b>Περιγραφή κατασκευής.....</b>	<b>48</b>
	5.1.1 Ξυλότυποι κατασκευής .....	51
	5.1.2 Παραδοχές κατασκευής.....	54
<b>5.2</b>	<b>Δημιουργία μοντέλου .....</b>	<b>55</b>
<b>6</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : Αποτίμηση υφιστάμενου φορέα .....</b>	<b>59</b>
<b>6.1</b>	<b>Διαδικασία ανάλυσης.....</b>	<b>59</b>
	6.1.1 Διαστασιολόγηση .....	59
	6.1.2 Κριτήρια απαλλαγής ελέγχου επάρκειας .....	61
	6.1.3 Εκτέλεση ανελαστικής ανάλυσης.....	66
<b>6.2</b>	<b>Αποτελέσματα ανελαστικής ανάλυσης .....</b>	<b>68</b>
<b>7</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> : Ενίσχυση της κατασκευής.....</b>	<b>76</b>
<b>7.1</b>	<b>Γενικά .....</b>	<b>76</b>
<b>7.2</b>	<b>Ενίσχυση με μανδύες ωπλισμένου σκυροδέματος .....</b>	<b>76</b>
	7.2.1 Ενίσχυση δοκών .....	76
	7.2.2 Ενίσχυση υποστυλωμάτων.....	77
<b>7.3</b>	<b>Αποτελέσματα ανελαστικής ανάλυσης με ενισχύσεις .....</b>	<b>79</b>
<b>8</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>88</b>
	<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....</b>	<b>90</b>
	<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>92</b>
	<b>Αναφορές .....</b>	<b>94</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από την μεταπολεμική κιάλας περίοδο (1945 - 1967) αναγνωρίστηκε η ανάγκη θέσπισης βελτιωμένων αντισεισμικών κανονισμών δόμησης. Στην απόφαση αυτή έπαιξε μεγάλο ρόλο ο ραγδαίος ρυθμός αστικοποίησης Ελλήνων πολιτών και μεταναστών στις μεγαλουπόλεις, που όμως εκείνη την περίοδο οι δομικές εκτάσεις αυτών, δεν επαρκούσαν για να στεγάσουν το υπέρογκο πλήθος των ανθρώπων. Κατά συνέπεια, έπρεπε να πραγματοποιηθεί ταχεία ανέγερση πολυώροφων κτιρίων. Πέραν όμως της ανάγκης για στέγαση, δόθηκε μεγάλη έμφαση στην απόδοση αντισεισμικής προστασίας στα νεοανεγερθέν κτίρια, καθότι πολλές περιοχές όπως η Κόρινθος και το Λουτράκι είχαν ήδη πληγεί από καταστροφικούς σεισμούς τις προηγούμενες δεκαετίες. Το Προεδρικό Διάταγμα του 1928, ήταν το πρώτο που είχε θέσει αντισεισμικούς κανονισμούς δόμησης όπου οι σεισμικές δυνάμεις θεωρούνταν ως ποσοστό των κατακόρυφων φορτίων (Δουδούμης, 2018). Ακολούθησε αντίστοιχος αντισεισμικός κανονισμός το 1934, καθώς και τα βασιλικά διατάγματα του 1947 και 1954, με σχετικές αναθεωρήσεις και επέκταση της ισχύς τους σε άλλες εξίσου σοβαρά πληγείσες περιοχές (Δουδούμης, 2018).

Το 1959 θεσμοθετήθηκε και εφαρμόστηκε σε όλη την Ελλάδα το Βασιλικό Διάταγμα “Περί αντισεισμικού κανονισμού οικοδομικών έργων”, έχοντας λάβει υπόψη τους σεισμούς μεγάλης κλίμακας που έλαβαν χώρα στο μεσοδιάστημα του 1928 – 1959, με αποκορύφωμα αυτόν της Κεφαλλονιάς που σχεδόν την ισοπέδωσε (Δουδούμης, 2018). Το Διάταγμα αυτό απέδωσε σημαντικές αναθεωρήσεις, όπως την εισαγωγή της σεισμικής δύναμης ως οριζόντια φόρτιση, την κατηγοριοποίηση των περιοχών σε τρεις κατηγορίες σεισμικότητας, την κατάταξη του εδάφους σε τέσσερις κατηγορίες επικινδυνότητας, τους ανανεωμένους συντελεστές σεισμικής επιβάρυνσης “ε” οι οποίοι αποδίδονταν σε πίνακα που αντιστοιχούνται με τη κατηγορία εδάφους και τη σεισμικότητα κ.α. (Δουδούμης, 2018). Όμως παρά τις αναθεωρήσεις, το διάταγμα του 1959 εμπεριείχε σημαντικές κανονιστικές αδυναμίες που μετρίαζαν την ασφάλεια των κτιρίων, όπως για παράδειγμα η αναγκαστική προσεγγιστική εκτίμηση της έντασης των πολυώροφων συστημάτων αντί της αναλυτικής στατικής διαδικασίας, λόγω έλλειψης ηλεκτρονικών υπολογιστικών συστημάτων (Δουδούμης, 2018). Συνεπώς το Βασιλικό Διάταγμα του 1959 οδηγήθηκε σε εσπευσμένες τροποποιήσεις οι οποίες θεσμοθετήθηκαν το 1984 ως Πρόσθετες Διατάξεις, φέροντας ριζικές αλλαγές στην αντισεισμική δόμηση. Με τη νέα τροποποίηση, θεσπίστηκε η ανάλυση του φέροντα οργανισμού με τη μέθοδο πολυώροφου πλαισίου, η τριγωνική κατανομή της σεισμικής φόρτισης με καθ’ ύψος επαυξημένο φορτίο, εισήχθη ο συντελεστής σπουδαιότητας κτιρίου σε αντιστοιχία με τον σεισμικό συντελεστή ε, και καθιερώθηκαν πιο λεπτομερείς αναλύσεις λόγω της διάθεσης ηλεκτρονικού Η/Υ. (Δουδούμης, 2018).

Το 1995 τίθεται σε εφαρμογή ο Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (Ν.Ε.Α.Κ), έπειτα από άλλη μία σειρά συντριπτικών σεισμών που δημιούργησαν καταστροφές εκτός των άλλων σε Θεσσαλονίκη, Αθήνα και Λουτράκι (Δουδούμης, 2018). Ο Ν.Ε.Α.Κ. εμπεριέχει βελτιωμένες

μεθόδους που αφορούν την σωστότερη εκτίμηση των πολυβάθμιων συστημάτων και τον έλεγχο των οριζόντιων μετακινήσεων, τον ικανοτικό έλεγχο, την πλαστιμότητα του φέροντα οργανισμού κ.α. (Δουδούμης, 2018).

Εν τέλει το 2000, ο Ν.Ε.Α.Κ. αναθεωρήθηκε και πάλι έτσι ώστε να γίνει συμβατός με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα δόμησης, συγκεκριμένα με τον Ευρωκώδικα EC7 (θεμελιώσεις) και τον Ευρωκώδικα EC8 (αντισεισμικά)(Δουδούμης, 2018). Το 2001, έγινε η θέσπιση του Ε.Α.Κ. 2000 ο οποίος εφαρμόζεται μέχρι και σήμερα, έχοντας πλέον αναθεωρηθεί ως προς τα σημερινά δεδομένα (Δουδούμης, 2018). Ο Ε.Α.Κ. 2000 ήλθε να προτείνει εκτός των άλλων την αντικατάσταση του συντελεστή “ε” με το φάσμα σχεδιασμού που ορίζει ο EC8, τον ορισμό της φασματικής μεθόδου ανάλυσης ως βασική μέθοδο ανάλυσης, τον συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ , τη μέθοδο της οριακής αντοχής και τη δημιουργία κατασκευών με καλύτερη πλαστική συμπεριφορά (Δουδούμης, 2018).

Πέραν από τις σημαντικές προσπάθειες που καταβλήθηκαν για την βέλτιστη διατύπωση κανονιστικών διατάξεων αντισεισμικής μελέτης και σχεδιασμού, σύντομα παρουσιάστηκε επιτακτική ανάγκη για την θέσπιση ενός νέου κανονιστικού κειμένου μελέτης με αντικείμενο την αντισεισμική ενίσχυση των υφιστάμενων κατασκευών, καθότι ο EC8 και ο Ε.Α.Κ. δεν μπορούν να καλύψουν τέτοιες μεθόδους σχεδιασμού και υπολογισμού. Όπως προαναφέρθηκε, τα περισσότερα κτίσματα στις πόλεις της Ελλάδας και ιδίως στην Αθήνα, ανεγέρθη πριν τη θέσπιση του Ν.Ε.Α.Κ. το 1995 και μάλιστα με βιαστικούς ρυθμούς, πράγμα που μας κάνει να αμφισβητούμε την επάρκεια αυτών, έχοντας υπόψη την έντονη σεισμική δραστηριότητα της χώρας. Εκτιμώντας όλα τα παραπάνω, αποτυπώθηκε ο Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) ο οποίος έδινε λύσεις στον μηχανικό προκειμένου να γίνουν εφικτές οι μελέτες αποτίμησης και τεχνικές ενίσχυσης και επέμβασης σε υφιστάμενες κατασκευές. Πρόκειται για ένα ισχυρό εργαλείο που θέτει τα θεμέλια για την καλύτερη και προσεγγιστικότερη κατανόηση της υπάρχουσας κατάστασης ενός κτιρίου αλλά και του ιστορικού του. Επιπλέον παρέχει τη δυνατότητα της εναρμόνισης παλαιού τύπου υλικών με τα νέα βελτιωμένα υλικά, επιτρέποντας την προσθήκη νέων κατασκευαστικών τμημάτων σε υφιστάμενα κτίρια με ασφαλή και καθοριστικό τρόπο, ή και την ενίσχυσή τους με νέες ποιότητες υλικών και μεθόδων. Εν κατακλείδι, μπορούμε να πούμε πως ο Κανονισμός Επεμβάσεων ολοκληρώνει τη μελέτη του αντισεισμικού σχεδιασμού, προσθέτοντας το κομμάτι του ανασχεδιασμού και της αποτίμησης των υπάρχοντων κτιρίων με κύριο στόχο την ικανοτική τους αναβάθμιση και κατ’ επέκταση την παροχή ασφαλέστερων δομημάτων για τους πολίτες.

## **ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Η παρούσα διπλωματική εκτείνεται σε τέσσερα κεφάλαια τα οποία παρουσιάζουν σε βήματα την διαδικασία της αποτίμησης και του ανασχεδιασμού μίας υφιστάμενης κατασκευής του 1987, στοχεύοντας στην επέμβαση αυτής με τη προσθήκη δύο επιπλέον ορόφων. Το κάθε κεφάλαιο είναι χωρισμένο σε υποκεφάλαια που εξηγούν τη διαδικασία μελέτης της παρούσας εργασίας σε θεωρητικό αλλά και πρακτικό επίπεδο.

Το πρώτο κεφάλαιο ενημερώνει και εξηγεί τους θεμελιώδεις ορισμούς και αρχές του Κανονισμού Επεμβάσεων, που κατά τη διαδικασία μίας μελέτης αποτίμησης θα ληφθούν υπόψη και θα εφαρμοστούν.

Το δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζει σε γενικό βαθμό την νομοθεσία περί δυνατότητας απαλλαγής από τον έλεγχο γενικών κριτηρίων επάρκειας για ειδικές περιπτώσεις προσθήκης σε υφιστάμενα κτίρια.

Το τρίτο κεφάλαιο εξηγεί τους τύπους βλαβών που συναντάμε σε μία κατασκευή, την σοβαρότητά τους, καθώς και τα είδη των ενισχύσεων ή επεμβάσεων που μπορούμε να εφαρμόσουμε ανά περίπτωση.

Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται στις μεθόδους ανάλυσης που προτάζουν ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. και οι Ευρωκώδικες. Επιπλέον σχολιάζεται η αξιοπιστία τους καθώς και σε ποιες περιπτώσεις θα πρέπει να προτιμάται η κάθε μία από αυτές.

Το πέμπτο κεφάλαιο εξηγεί διεξοδικά τα βήματα δημιουργίας του προσομοιώματος που αναπαριστά το υπό μελέτη κτίριο, στο στατικό πρόγραμμα Scada Pro. Παρουσιάζονται τα βήματα της μοντελοποίησης του φορέα και των πλακών, της εισαγωγής των φορτίων στα μέλη καθώς και ο γεωμετρικός τους μερισμός.

Το έκτο κεφάλαιο παρουσιάζει τις αρχικές αναλύσεις που θα εκτελέσει το πρόγραμμα για να μας αποδώσει τους ελέγχους επάρκειας των στοιχείων της κατασκευής. Επιπλέον αποδίδονται τα αποτελέσματα των ελέγχων της μη γραμμικής στατικής μεθόδου ανάλυσης (Pushover), τα οποία αναλύονται και σχολιάζονται .

Το έβδομο κεφάλαιο αναφέρεται στον τρόπο επιλογής της κατάλληλης μεθόδου ενίσχυσης. Συνέχεια έχει η εφαρμογή των υλικών ενίσχυσης στα στοιχεία του φορέα, αλλά και η μετ' έπειτα διεξαγωγή της ανελαστικής ανάλυσης όπου συμπεραίνουμε εάν ο φορέας μπορεί να θεωρηθεί από σεισμικής άποψης επαρκής με τις ενισχύσεις που του έχουμε αποδώσει.

Τέλος, αποδίδονται και αιτιολογούνται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα αποτελέσματα των τελικών αναλύσεων με τις ενισχύσεις και τη σύγκριση αυτών με τα αποτελέσματα των αρχικών αναλύσεων

## ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

- Ανασχεδιασμός : Οι διαδικασίες ελέγχου μίας υφιστάμενης μελέτης, που θα αναδείξουν τις κατάλληλες επεμβάσεις και αναδιαμορφώσεις με σκοπό την αποκατάσταση ή ενίσχυση της επάρκειας της κατασκευής.
- Αποτίμηση : Νοείται η αξιολόγηση μίας υπάρχουσας κατασκευής ως προς την φέρουσα ικανότητά της, καθώς και αν ικανοποιεί σε σημαντικό βαθμό τα κριτήρια που ορίζουν οι κανονισμοί.
- Επέμβαση : Αναφερόμαστε σε στοχευόμενες αλλαγές στην κατασκευή που επρόκειτο να τροποποιήσουν τις μηχανικές ιδιότητες των στοιχείων και κατά συνέπεια, την απόκριση του κτιρίου.
- Επισκευή : Αναφερόμαστε στην διαδικασία επαναφοράς των μηχανικών ιδιοτήτων των στοιχείων της κατασκευής που έχουν υποστεί βλάβη με αποτέλεσμα να χάσουν τις ιδιότητες αυτές.
- Ενίσχυση : Είναι η διαδικασία επέμβασης σε μία κατασκευή, χωρίς αυτή να έχει εμφανίσει απαραίτητα βλάβες, προκειμένου να αυξήσουμε την στάθμη της φέρουσας ικανότητας του φορέα της, δηλαδή την επάρκεια του κτιρίου.
- Προσθήκη : Πρόκειται για τη διαδικασία επέκτασης του υφιστάμενου φορέα, είτε καθ' ύψος, είτε σε κάτοψη, κατά την οποία συνδέεται ο νέος φορέας του προστιθέμενου τμήματος με αυτόν του υφιστάμενου τμήματος.
- Στάθμη επιτελεστικότητας : Η εκτίμηση της στοχευμένης συμπεριφοράς των στοιχείων του φέροντα οργανισμού του κτιρίου, σε συνάρτηση με τον βαθμό των βλαβών που αυτά έχουν υποστεί.
- Στάθμη σεισμικής επικινδυνότητας : Αναφερόμαστε σε μία σεισμική δράση σχεδιασμού η οποία αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης κατά τη περίοδο του συμβατικού χρόνου ζωής ενός κτιρίου και με συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς σε έτη.
- Σεισμική κλάση : Με τον όρο αυτό ορίζεται ο μέγιστος στόχος αποτίμησης ή ανασχεδιασμού που αποδίδουμε σε ένα κτίριο σύμφωνα με τη στάθμη επιτελεστικότητας στην οποία ανήκει.
- Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων : Πρόκειται για την αξιολόγηση της επάρκειας των δεδομένων που διαθέτουμε για την υφιστάμενη κατασκευή, τα οποία ασχολούνται με την ικανοτική συμπεριφορά της κατασκευής έναντι των σεισμικών φορτίων.
- Φέρον Οργανισμός : Είναι το σύστημα ενός συνόλου δομικών στοιχείων τα οποία λαμβάνουν τα μόνιμα και κινητά φορτία και τα μεταφέρουν στο έδαφος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : ΑΡΧΕΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΝ.ΕΠΕ

### 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Κύριος στόχος του Κανονισμού Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) είναι η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας των υφιστάμενων κατασκευών, αλλά και ο ανασχεδιασμός αυτών μέσω προτεινόμενων μεθόδων επέμβασης, επισκευής ή ενίσχυσης. Ο στόχος αυτός εκπληρώνεται με την εφαρμογή ενός συνόλου θεσμοθετημένων κριτηρίων που ορίζει ο Κανονισμός, έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι βασικές συνθήκες επάρκειας.

### 1.2 ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ

Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. §2.1.1, η διαδικασία αποτίμησης περιλαμβάνει τα εξής τρία στάδια:

- Συλλογή στοιχείων (έρευνα του ιστορικού του δομήματος).
- Ανάλυση (του δομήματος ως έχει).
- Έλεγχος οριακών καταστάσεων.

Με την εκπλήρωση αυτών, οδηγούμαστε σε μία τελική μελέτη σχεδιασμού της κατασκευής η οποία βασίζεται στην επιτελεσματικότητα, δηλαδή στην εκτίμηση της διαθέσιμης φέρουσας ικανότητας της κατασκευής σε συγκεκριμένη σεισμική διέγερση και κατά πόσο αυτή ικανοποιεί τις απαιτήσεις που θέτουν οι ισχύοντες κανονισμοί (ΚΑΝ.ΕΠΕ §2.1.2). Η επιτελεσματικότητα άλλωστε συντελεί την όλη φιλοσοφία της αποτίμησης και του ανασχεδιασμού και μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς βασικούς παράγοντες όπως είναι η αλλοίωση των οπλισμών στα μέλη του φορέα ή η ύπαρξη ενδεχόμενων βλαβών σε αυτά. Η διαδικασία της αποτίμησης διαφοροποιείται ανάλογα με την παρουσία ή μη παρουσία βλαβών στα μέλη, ή εάν ο υφιστάμενος φέρων οργανισμός προβλέπεται να μετέχει ανάληψη τόσο των κατακόρυφων όσο και των σεισμικών φορτίων. Ακόμα και στις περιπτώσεις υφιστάμενων κτιρίων που δεν φέρουν βλάβες, η διαδικασία της αποτίμησης κρίνεται εξίσου σημαντική, καθώς οι περισσότερες κατασκευές που συντάχθηκαν με παλαιούς κανονισμούς φέρουν ελλείψεις ή διαθέτουν κατασκευαστικά χαρακτηριστικά που δεν εγκρίνουν πλέον οι σύγχρονοι κανονισμοί για λόγους ασφαλείας. Κατά συνέπεια, ο μηχανικός καλείται σε κάθε περίπτωση να μελετά εις βάθος το υπό μελέτη υφιστάμενο κτίριο προκειμένου να εντοπίσει τυχόν κατασκευαστικά σφάλματα που επηρεάζουν την απόκριση του και κατ' επέκταση, να



τα διορθώνει σύμφωνα πάντα με τις μεθόδους που προτάζουν οι ισχύοντες κανονισμοί. Θα πρέπει ωστόσο να λαμβάνουμε υπόψη ότι οι φυσικές δραστηριότητες όπως οι σεισμικές δράσεις, είναι τυχηματικά γεγονότα που δεν μπορεί να προβλέψει ο μηχανικός. Συνεπώς ακόμα και στις περιπτώσεις δομημάτων όπου οι ισχύοντες κανονισμοί πληρούνται και έχουν εφαρμοστεί στην εντέλεια, θα υπάρχει πάντοτε μία αβεβαιότητα υπέρβασης της φέρουσας ικανότητας τους.

### 1.3 ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Στις περιπτώσεις που ο μελετητής μηχανικός κρίνει ότι το κτίριο δεν πληροί τα κριτήρια επάρκειας των ισχυόντων Κανονισμών και ότι θα πρέπει να επέμβει στη λειτουργικότητα του κτιρίου, τότε εφαρμόζονται οι αρχές του ανασχεδιασμού. Πρόκειται για θεσμοθετημένες μεθόδους αποκατάστασης ή ενίσχυσης της φέρουσας ικανότητας του φορέα.

Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. §2.4.1 αναφέρει 3 βήματα ανασχεδιασμού των υφιστάμενων κατασκευών :

- Σύλληψη και προκαταρκτικός σχεδιασμός.
- Ανάλυση.
- Έλεγχος οριακών καταστάσεων.

Η μέθοδος ανασχεδιασμού του κτιρίου θα κριθεί σύμφωνα με τις πληροφορίες που έχουμε συλλέξει από την διαδικασία αποτίμησης και το μέγεθος επάρκειας που διαθέτει.

### 1.4 ΣΤΟΧΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Όπως αναφέραμε και στο κεφάλαιο 1.1, ο σχεδιασμός των κατασκευών βασίζεται στην επιτελεσματικότητα. Κατά τη διερεύνηση του ιστορικού μίας υφιστάμενης κατασκευής, ο μηχανικός συλλέγει μία βάση δεδομένων σχετιζόμενη με τη ποιότητα υλικών, τη χρονολογία κατασκευής, ενδεχόμενες βλάβες κ.α. Τα στοιχεία αυτά σε συνδυασμό με τους ορισμούς των ισχυόντων Κανονισμών, θα οδηγήσουν σε έναν εμπεριστατωμένο στόχο αποτίμησης ή ανασχεδιασμού. Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. §2.2.1, οι στόχοι αυτοί προκύπτουν από τον

συνδυασμό μίας στάθμης επιτελεσματικότητας και μίας ανοιγμένης εδαφικής επιτάχυνσης με ανεκτή πιθανότητα υπέρβασης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής του κτιρίου. Έπειτα από την οποιαδήποτε διαδικασία επέμβασης, η απόκριση της κατασκευής θα πρέπει να ικανοποιεί απόλυτα τον στόχο αποτίμησης που ο μηχανικός έχει θέσει. Σε κάθε περίπτωση μελέτης, ορίζεται ο ελάχιστος ανεκτός στόχος αποτίμησης που αντιστοιχείται με την κατηγορία σπουδαιότητας του κτιρίου που μελετάται, όπως φαίνεται από τον πίνακα ΠΑ2.1 του ΚΑΝ.ΕΠΕ (Πίνακας 1.1). Η επιλογή ενός διαφορετικού ελάχιστου στόχου από αυτόν που ορίζουν οι πίνακες, γίνεται εφικτή με απόφαση της Δημόσιας Αρχής.

**Πίνακας 1.1** Ελάχιστοι ανεκτοί στόχοι αποτίμησης και ανασχεδιασμού υφιστάμενων κτιρίων (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022)

Κατηγορία Σπουδαιότητας	Ελάχιστοι Ανεκτοί 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  $A2 > B2 > \Gamma2$

**Πίνακας 1.2** Συσχέτιση περιόδου επαναφοράς, πιθανότητας υπέρβασης, ανοιγμένης εδαφικής επιτάχυνσης (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022).

Περίοδος Επαναφοράς (έτη)	Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών	$a_g / a_{g,ref}$
2475	2%	1.80
975	5%	1.30
<b>475</b>	<b>10%</b>	<b>1.00</b>
225	20%	0.75
<b>135</b>	<b>30%</b>	<b>0.60</b>
70	50%	0.45
40	70%	0.35
20	90%	0.25
<20	>90%	<0.25

Με βάση τους ισχύοντες Κανονισμούς που είχαν εφαρμοστεί στην αρχική μελέτη του υπάρχοντος κτιρίου, κρίνεται και η ελάχιστη βασική σεισμική κλάση όπως βλέπουμε και από

τον πίνακα ΠΑ.22 του κανονισμού (Πίνακας 1.3). Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. §2.2.1, αναφέρει ως σεισμικές κλάσεις, τους μέγιστους στόχους αποτίμησης ή ανασχεδιασμού που μπορεί να φτάσει ένα κτίριο για τη στάθμη επιτελεστικότητας που έχει επιλεγεί.

**Πίνακας 1.3** Ελάχιστες βασικές σεισμικές κλάσεις υφιστάμενων κτιρίων σπουδαιότητας Ι, ΙΙ. (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022)

Εφαρμοσθέντες Κανονισμοί Μελέτης και Κατασκευής	Ελάχιστη Βασική Σεισμική Κλάση Κτιρίου
...<1985	B3
1985≤...<1995	B3 <sup>+</sup>
1995≤...	B2 <sup>+</sup>

**Πίνακας 1.4** Στόχοι αποτίμησης και ανασχεδιασμού (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022)

$\alpha_g / \alpha_{g,ref}$	Στάθμη Επιτελεστικότητας Φέροντος Οργανισμού		
	A «Περιορισμένες Βλάβες»	B «Σημαντικές Βλάβες»	Γ «Οιονεί Κατάρρευση»
1.80	<b>A0</b>	<b>B0</b>	<b>Γ0</b>
1.30	<b>A1<sup>+</sup></b>	<b>B1<sup>+</sup></b>	<b>Γ1<sup>+</sup></b>
<b>1.00</b>	<b>A1</b>	<b>B1</b>	<b>Γ1</b>
0.75	<b>A2<sup>+</sup></b>	<b>B2<sup>+</sup></b>	<b>Γ2<sup>+</sup></b>
<b>0.60</b>	<b>A2</b>	<b>B2</b>	<b>Γ2</b>
0.45	<b>A3<sup>+</sup></b>	<b>B3<sup>+</sup></b>	<b>Γ3<sup>+</sup></b>
0.35	<b>A3</b>	<b>B3</b>	<b>Γ3</b>
0.25	<b>A4<sup>+</sup></b>	<b>B4<sup>+</sup></b>	<b>Γ4<sup>+</sup></b>
<0.25	<b>A4</b>	<b>B4</b>	<b>Γ4</b>

Όλα τα παραπάνω συνδέονται με τον πίνακα 2.1 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (Πίνακας 1.4), όπου διακρίνονται οι τρεις στάθμες επιτελεστικότητας με τις σεισμικές κλάσεις σε σειρά σπουδαιότητας και κατηγορίας. Η σύνδεση του πίνακα 2.1 με τον πίνακα Σ2.1 (Πίνακας 1.2) γίνεται μέσω της ανοιγμένης επιτάχυνσης  $\alpha_g / \alpha_{g,ref}$ , όπου :

- $\alpha_{g,ref}$  είναι η οριζόντια εδαφική επιτάχυνση αναφοράς, που ορίζεται με πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης 10% στα 50 χρόνια συμβατικής ζωής του έργου.
- $\alpha_g$  είναι η οριζόντια εδαφική επιτάχυνση.

Η σεισμική κλάση που αντιστοιχεί στην στάθμη επιτελεστικότητας Β αποτελεί τη βασική σεισμική κλάση, αφού σε αυτήν κρίνεται η προστασία ζωής του ανθρώπου.

Αξίζει να αναφερθεί, ότι ο στόχος αποτίμησης δεν αποτελεί απαραίτητα και τον στόχο ανασχεδιασμού σε μία μελέτη. Ανά περίπτωση, στόχος ανασχεδιασμού ενδέχεται να είναι πιο υψηλός από αυτόν της αποτίμησης.

## 1.5 ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Πρόκειται για στοχευόμενες συμπεριφορές των κατασκευών σε δεδομένες εδαφικές επιταχύνσεις. Δηλαδή, η κάθε στάθμη περιγράφει για μία συγκεκριμένη κατασκευή με συγκεκριμένη εδαφική επιτάχυνση την σοβαρότητα των βλαβών, το επίπεδο λειτουργικότητας, αλλά και το μέγεθος της απειλής για την ζωή του ανθρώπου. Είναι ένα απαραίτητο εργαλείο με το οποίο θα τεθεί στη μελέτη ένας στόχος αποτίμησης προκειμένου να εξασφαλιστεί βεβαιότητα ως προς την ασφάλεια.

Για τον προσδιορισμό των στόχων επιτελεστικότητας, δεχόμαστε μια ονομαστική τεχνική διάρκεια ζωής ίση με τον συμβατικό χρόνο ζωής των 50 ετών ενός κτιρίου, ο αριθμός της οποίας όμως είναι ανεξάρτητος από την πραγματική υπολειπόμενη διάρκεια ζωής του (Ρεπαπής, 2007). Τα ποσοστά επί τοις εκατό που αναγράφονται στον πίνακα Σ2.1. του ΚΑΝ.ΕΠΕ., αναφέρονται στη πιθανότητα επανάληψης του συγκεκριμένου φάσματος σεισμού με την αντίστοιχη ανοιγμένη εδαφική επιτάχυνση στα επόμενα 50 χρόνια. Στον πίνακα 2.1 του ΚΑΝ.ΕΠΕ., αντιστοιχούνται οι εδαφικές επιταχύνσεις με τις στάθμες επιτελεστικότητας, σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες βλάβες. Διακρίνονται τρεις στάθμες επιτελεστικότητας συναρτήσει του βαθμού βλάβης:

- A - DL «Περιορισμένες βλάβες – Damage Limitation» : Παρατηρούνται ελαφριές βλάβες στον φέρων οργανισμό του κτιρίου. Τα δομικά στοιχεία έχουν διαρρέυσει ελαστικά, με αποτέλεσμα να διατηρούν την αντοχή και δυσκαμψία τους. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι αμελητέες.
- B - SD «Σημαντικές βλάβες – Significant Damage» : Παρατηρούνται σημαντικές και εκτεταμένες βλάβες στον φέρων οργανισμό που όμως είναι επισκευάσιμες. Παρόλο που τα δομικά στοιχεία έχουν διαρρέυσει μετελαστικά, διαθέτουν εναπομένουσα αντοχή και δυσκαμψία και είναι σε θέση να παραλάβουν τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία, συνεπώς το κτίριο μπορεί να αποκριθεί ικανοποιητικά σε μετασεισμούς μέτριας έντασης. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μετρίου μεγέθους.
- Γ - NC «Οιονεί κατάρρευση – Near Collapse» : Παρατηρούνται εκτεταμένες και μη επισκευάσιμες βλάβες στα στοιχεία του φέρων οργανισμού. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μεγάλες. Το κτίριο έχει ακόμη την ικανότητα να φέρει τα

προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία, χωρίς όμως να μπορεί να αποκριθεί κατάλληλα και με ασφάλεια σε μετασεισμικούς μέτριας έντασης.

Στις περιπτώσεις που ο στόχος αποτίμησης και ανασχεδιασμού έχει πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης 50% ή και παραπάνω, τότε αναμένουμε να αντιμετωπίσουμε σοβαρότερες βλάβες καθώς η περίοδος επαναφοράς προσεγγίζει κατά πολύ τον συμβατικό χρόνο ζωής του κτιρίου. Με το ίδιο σκεπτικό, για ένα νέο κτίριο με πιθανότητα υπέρβασης από 10% και κάτω αναμένουμε περίοδο επαναφοράς του σεισμικού φάσματος σχεδιασμού έπειτα από περίπου 475 έτη, που απέχει αρκετά από τον συμβατικό χρόνο ζωής των 50 ετών.

## 1.6 ΣΤΑΘΜΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (Σ.Α.Δ.)

Το πρώτο βήμα για την αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών είναι η συλλογή στοιχείων του φορέα που μελετάμε ως προς το ιστορικό του, αλλά και ως προς την παρούσα κατάστασή του. Τα δεδομένα αυτά αφορούν κυρίως :

- τον τρόπο δόμησης της κατασκευής (αρχιτεκτονικά σχέδια, ξυλότυποι)
- τα χαρακτηριστικά των διατομών και οι αντίστοιχες τιμές εντατικών δυνάμεων
- τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί
- το έτος κατασκευής
- ενδεχόμενες βλάβες ή φθορές
- ενδεχόμενες επεμβάσεις

Αναφερόμαστε συνεπώς σε δεδομένα που επηρεάζουν την ευστάθεια και την συμπεριφορά του κτιρίου κατά τη σεισμική διέγερση. Απαιτείται επομένως βαθύτατη διερεύνηση και τεκμηρίωση έτσι ώστε να ληφθούν υπόψη τα πιο αξιόπιστα δεδομένα, καθότι σε αυτά θα βασιστεί ολόκληρη η μελέτη.

Με βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 3.6.2, οι στάθμες αξιοπιστίας δεδομένων διακρίνονται σε 3 κατηγορίες :

- Υψηλή
- Ικανοποιητική
- Ανεκτή

Ωστόσο η Σ.Α.Δ. που θα προκύψει δεν θα αφορά απαραίτητα ολόκληρο το κτίριο, διότι η Σ.Α.Δ μπορεί να διαφοροποιείται ανά όροφο ή τμήματα ορόφων. Επειδή για κάθε στοιχείο της κατασκευής τα δεδομένα πρέπει να αντιμετωπίζονται διαφορετικά, η Σ.Α.Δ. προτείνει

συγκεκριμένες υποκατηγορίες προκειμένου να προσδιορίζονται ακριβέστερα οι τιμές των συντελεστών. Όπως βλέπουμε παρακάτω από τον πίνακα 3.2, § 3.8 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (Πίνακας 1.5), η Σ.Α.Δ.Γ αφορά τη γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος των στοιχείων και χωρίζεται στις υποκατηγορίες Σ.Α.Δ<sub>Γ1</sub> και Σ.Α.Δ<sub>Γ2</sub>, ενώ η Σ.Α.Δ<sub>Λ</sub> αφορά την διάταξη και τις λεπτομέρειες του οπλισμού.

**Πίνακας 1.5** Πίνακας Σ.Α.Δ. περί γεωμετρίας και λεπτομερειών όπλισης (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022)

**Πίνακας 3.2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΑΔΓ ΚΑΙ ΣΑΔΛ**

ΣΧΕΔΙΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ		ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΟΥ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	ΔΕΔΟΜΕΝΑ								
				ΣΑΔΓ (= η δυσμενέστερη μεταξύ των ΣΑΔΓ <sub>1</sub> & ΣΑΔΓ <sub>2</sub> )						ΣΑΔΛ		
				ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΦΟΡΕΑ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ή ΑΝΩΔΟΜΗΣ (ΣΑΔΓ <sub>1</sub> )			ΠΑΧΗ, ΒΑΡΗ κ.λπ. ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ, ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΩΝ, ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ κ.λπ. (ΣΑΔΓ <sub>2</sub> )			ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΟΠΛΙΣΗΣ		
				Ανεκτή	Ικανοποιητική	Υψηλή	Ανεκτή	Ικανοποιητική	Υψηλή	Ανεκτή	Ικανοποιητική	Υψηλή
ΥΠΑΡΧΟΥΝ	ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΟΥΝ											
✓		1	Δεδομένο που προέρχεται από σχέδιο της αρχικής μελέτης η οποία έχει αποδεδειγμένα εφαρμοστεί, χωρίς τροποποιήσεις	(1)			✓			✓		
✓		2	Δεδομένο που προέρχεται από σχέδιο της αρχικής μελέτης η οποία έχει εφαρμοστεί με λίγες τροποποιήσεις	(2)			✓			✓		✓
✓		3	Δεδομένο που προέρχεται από αναφορά (π.χ. υπόμνημα σε σχέδιο της αρχικής μελέτης)	(3)	✓			✓			✓	
	✓	4	Δεδομένο που έχει διαπιστωθεί ή/και μετρηθεί ή/και αποτυπωθεί αξιόπιστα	(4)		✓	✓		✓	✓		✓
	✓	5	Δεδομένο που έχει προσδιοριστεί με έμμεσον αλλά επαρκώς αξιόπιστον τρόπο	(5)	✓	✓		✓	✓		✓	✓
	✓	6	Δεδομένο που έχει ευλόγως θεωρηθεί κατά την κρίση Μηχανικού	(6)	✓	✓		✓	✓		✓	✓

Οι στάθμες που θα προκύψουν για τις τρεις κατηγορίες της Σ.Α.Δ. που αναφέρθηκαν παραπάνω, αντιστοιχίζονται με τους συντελεστές που αποδίδει ο πίνακας Π4.1 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (Πίνακας 1.5), σύμφωνα με τη μέθοδο ελέγχου που θα ακολουθήσει ο μηχανικός. Πρόκειται για τους συντελεστές που επηρεάζουν την αντοχή των υλικών, και η χρήση τους παίζει καθοριστικό ρόλο στα αποτελέσματα των αναλύσεων, ιδίως αν μιλάμε για ανελαστικές αναλύσεις.

**Πίνακας 1.6 Συντελεστές ασφάλειας υλικών (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022)**

	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ <sup>1</sup>					
	ΣΕ ΟΡΟΥΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ <sup>2</sup>			ΣΕ ΟΡΟΥΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ <sup>3</sup>		
	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ <sup>6</sup>	ΠΡΟΣΤΙΘΕΜΕΝΑ		ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ	ΠΡΟΣΤΙΘΕΜΕΝΑ	
		ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ			ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ	
		Ναι	Όχι		Ναι	Όχι
Αντιπροσωπευτικές τιμές <sup>5</sup>	— $X - s$	$X_k$	$X_k$	— $X$	— $X$	— $X$
Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας $\gamma'_m$ <sup>4</sup>	Για το σκυρόδεμα: Αναλόγως ΣΑΔΥ $\gamma'_c = 1,30 \pm 0,15$ Για τον χάλυβα οπλισμού: Για ΣΑΔΛ «Υψηλή» και αναλόγως ΣΑΔΥ $\gamma'_s = 1,10 \pm 0,05$ Για ΣΑΔΛ «Ικανοποιητική» και αναλόγως ΣΑΔΥ $\gamma'_s = 1,15 \pm 0,05$ Για ΣΑΔΛ «Ανεκτή» και αναλόγως ΣΑΔΥ $\gamma'_s = 1,20 \pm 0,05$	Αναλόγως διατομής ή / και προσπελασιμότητας	Αυξημένοι	Αναλόγως ΣΑΔΥ $\gamma'_m = 1,10 \pm 0,10$	Αναλόγως διατομής ή / και προσπελασιμότητας $\gamma'_m = 1,15$ ή $1,25$	Αναλόγως διατομής ή / και προσπελασιμότητας $\gamma'_m = 1,15$ ή $1,25$
		$\gamma_m \cdot (1,05 \text{ ή } 1,20)$				

- Υφιστάμενες τοιχοπληρώσεις:  $\gamma_m = 1,5 \pm 0,2$ .
- Προστιθέμενες τοιχοπληρώσεις:  $\gamma_m = 1,70 \div 3,00$ , βλ. ΕΚ 6.

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, στις περιπτώσεις εφαρμογής ελέγχου σε όρους δυνάμεων οι συντελεστές των υφιστάμενων υλικών λαμβάνουν τη μέση τιμή της αντοχής τους όπου ανά περιπτώσεις είναι μειωμένη κατά την τυπική απόκλιση που αναγράφεται δίπλα στην τιμή. Στην περίπτωση εφαρμογής ελέγχου σε όρους παραμορφώσεων, μέθοδος που συνηθίζεται στις μη – γραμμικές αναλύσεις, η τιμή των συντελεστών αποδίδονται με τις χαρακτηριστικές τιμές αντοχής των υλικών.

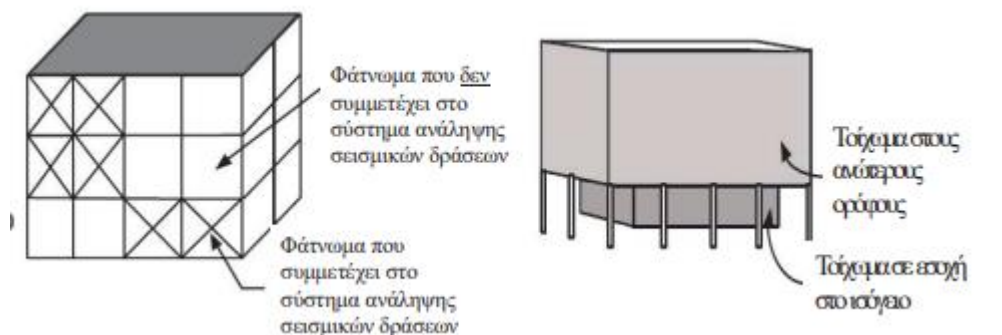
## 1.7 ΚΥΡΙΑ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η ανάληψη σεισμικών φορτίων σε μία κατασκευή, δεν διανέμεται ισότιμα σε όλα τα στοιχεία του φορέα της. Είναι σημαντικό επομένως να διακρίνουμε ποια στοιχεία είναι κρίσιμα στην συμπεριφορά τους έναντι των φορτίων κατάρρευσης και ποια όχι. Ως κύρια, θεωρούνται τα στοιχεία που αντιστέκονται και στα κατακόρυφα αλλά και στα σεισμικά φορτία. Αντιθέτως, ως δευτερεύοντα στοιχεία διακρίνονται αυτά που θεωρούνται αναξιόπιστα ως προς την ικανότητά τους να αναλάβουν σεισμικά φορτία, καθότι διαθέτουν συνήθως χαμηλή δυσκαμψία/αντοχή/ πλαστιμότητα. Τέτοια στοιχεία μπορούν να χαρακτηριστούν οι δοκοί μικρού μήκους, τα φυτευτά υποστυλώματα κ.α.. Συμπεραίνουμε πως για τις δύο κατηγορίες στοιχείων καθορίζονται διαφορετικές στάθμες επιτελεστικότητας αλλά και διαφορετικοί έλεγχοι έτσι ώστε η επάρκεια του κτιρίου να μην επηρεάζεται αρνητικά από στοιχεία που ούτως ή άλλως δεν συμμετέχουν σημαντικά στην ανάληψη σεισμικών φορτίων.

## 1.8 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟΤΗΤΑ

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά και η γεωμετρία μίας κατασκευής επηρεάζουν την συμπεριφορά της κατά τη σεισμική φόρτιση. Συνεπώς η διαπίστωση για το αν η μορφολογία του κτιρίου καθίσταται κανονική ή όχι, θα καθορίσει και την μέθοδο ανάλυσης που θα ακολουθήσουμε. Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 5.5.1.2, ένα κτίριο θεωρείται μορφολογικά κανονικό όταν :

- Οι φορείς ανάληψης σεισμικών φορτίων δεν διακόπτονται καθ' ύψος ή δεν συνεχίζουν σε άλλο φάτνωμα.
- Οι φορείς ανάληψης σεισμικών φορτίων δεν συνεχίζουν σε γειτονικό όροφο σε εκτός επιπέδου εσοχή.
- Οι όροφοι δεν παρουσιάζουν μέσο δείκτη ανεπάρκειας  $\lambda_k$  που να υπερβαίνει το 150% σε σύγκριση με αυτόν ενός υποκείμενου ή υπερκείμενου γειτονικού ορόφου.
- Οι όροφοι δεν είναι στρεπτικώς ασθενής, δηλαδή όταν το πηλίκο του κρίσιμου λόγου  $\lambda$  στοιχείου που βρίσκεται στη μία πλευρά προς τον αντίστοιχο λόγο στοιχείου που βρίσκεται στην απέναντι πλευρά, υπερβαίνει τον 1.5 .



Σχήμα 1.1 Παράδειγμα μη – κανονικότητας καθ' ύψος (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022)

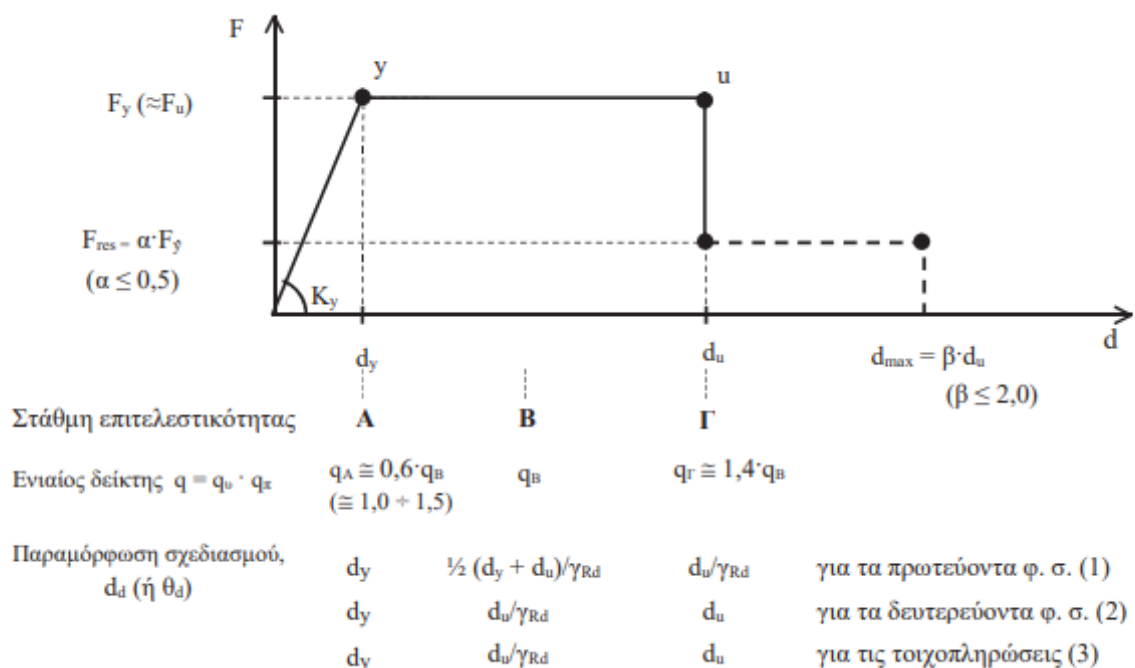
## 1.9 ΕΛΕΓΧΟΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Το σημαντικότερο κομμάτι της αποτίμησης και του ανασχεδιασμού είναι να διασφαλίσουμε ότι τα κρίσιμα εντατικά μεγέθη αλλά και οι παραμορφώσεις που αναπτύσσονται στα μέλη του φορέα να είναι επαρκώς μικρότερα σε σύγκριση με την φέρουσα ικανότητα της κατασκευής, δηλαδή να ισχύει η ανίσωση  $S_d < R_d$  (ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2022) όπου :



- $S_d$  : Οι εντατικές ή παραμορφωσιακές τιμές σχεδιασμού που δημιουργούνται από τις δράσεις.  
 $S_d = \gamma_{sd} \cdot S \cdot (S_k \gamma_f)$ , όπου  $S_k$  οι τιμές των βασικών και τυχηματικών δράσεων, για τις οποίες υπάρχει ορισμένη πιθανότητα υπερβάσεως σε 50 έτη.
- $R_d$  : Οι τιμές σχεδιασμού των αντίστοιχων αντιστάσεων που διαθέτει η κατασκευή  
 $R_d = (1/\gamma_{Rd}) \cdot R \cdot (R_k/\gamma_m)$ , όπου  $R_k$  οι τιμές των ιδιοτήτων των υλικών που διαμορφώνουν τις αντιστάσεις και έχουν ορισμένη πιθανότητα υποσκελίσεως.
- $\gamma_f, \gamma_m$  : Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για τις δράσεις και τις ιδιότητες των υλικών, με τους οποίους λαμβάνονται υπόψη οι ενδεχόμενες δυσμενείς αποκλίσεις των αντίστοιχων μεταβλητών από τις αντιπροσωπευτικές τιμές.
- $\gamma_{sd}, \gamma_{Rd}$  : Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας με τους οποίους λαμβάνονται υπόψη οι αυξημένες αβεβαιότητες των προσομοιωμάτων, μέσω των οποίων εκτιμώνται οι συνέπειες των δράσεων και οι κάθε είδους αντιστάσεις, αντιστοίχως.

Οι έλεγχοι ασφαλείας λαμβάνουν υπόψη τόσο τα κύρια όσο και τα δευτερεύοντα στοιχεία, καθώς και οι δύο κατηγορίες πρέπει να είναι σε θέση να λαμβάνουν φορτία. Στα κύρια στοιχεία όμως η οριακή παραμόρφωση σχεδιασμού  $d_d$  θα πρέπει να είναι σε ικανοποιητικό βαθμό μικρότερη από την  $d_u$  ( $d_d$  ή  $\theta_d = d_u/\gamma_{Rd}$ ), ενώ στα δευτερεύοντα στοιχεία υπάρχει μεγαλύτερη ανοχή στο όριο της τιμής  $d_d$  ( $d_d$  ή  $\theta_d = d_u$ ).



**Σχήμα 1.2** Σκελετικό διάγραμμα συμπεριφοράς με τις στάθμες επιτελεστικότητας και τους επιμέρους ελέγχους ασφαλείας (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022)

Έτσι, σύμφωνα με το παραπάνω σκελετικό διάγραμμα του ΚΑΝ.ΕΠΕ., παράρτημα 4.4 (Σχήμα 1.2), έχουμε τους εξής ελέγχους ασφαλείας ανά στάθμη επιτελεστικότητας.

Στάθμη Α (DL) : Άμεση χρήση μετά το σεισμό, ελαφριές επιδιορθώσιμες βλάβες.

$\theta_d = \theta_y$  για πρωτεύοντα και δευτερεύοντα στοιχεία αλλά και για τοιχοπληρώσεις.

Στάθμη Β (SL) : Ασφάλεια ζωής, σοβαρές αλλά επισκευάσιμες βλάβες.

$\theta_d = \frac{1}{2}(\theta_y + \theta_u)/\gamma_{Rd}$  για πρωτεύοντα στοιχεία με  $\gamma_{Rd} = 1.8$  .

$\theta_d = \theta_u/\gamma_{Rd}$  για δευτερεύοντα στοιχεία με  $\gamma_{Rd} = 1.8$ , και για τοιχοπληρώσεις με  $\gamma_{Rd} = 3$  .

Στάθμη Γ (NC) : Οιονεί κατάρρευση, σοβαρές βλάβες μη επισκευάσιμες.

$\theta_d = \theta_u/\gamma_{Rd}$  για πρωτεύοντα στοιχεία με  $\gamma_{Rd} = 1.8$  .

$\theta_d = \theta_u$  για δευτερεύοντα στοιχεία και για τοιχοπληρώσεις με  $\gamma_{Rd} = 1$ .

Στην περίπτωση που μία κατασκευή επρόκειτο να ελεγχθεί ανελαστικά, τότε η γενική ανίσωση ασφαλείας θα γίνεται σε όρους παραμορφώσεων για πλαστικές αστοχίες όπου θα πρέπει να ισχύει  $\theta_{Sd} \leq \theta_{Rd}$ . Για ψαθυρού είδους αστοχίας γίνεται σε όρους εντατικών μεγεθών όπου πρέπει να ισχύει  $V_{Sd} \leq V_{Rd}$ . Για ελαστικές αναλύσεις οι έλεγχοι πραγματοποιούνται κατά κύριο λόγο με τη χρήση του τοπικού συντελεστή  $m = \delta d / \delta y$  και του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ . Η γενική ανίσωση ασφαλείας γίνεται σε όρους εντατικών μεγεθών όπου για ψαθυρή αστοχία θα πρέπει να ισχύει  $V_{Sd} \leq V_{Rd}$  και για πλαστική αστοχία  $M_{Sd} \leq M_{Rd}$ .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΑΛΛΑΓΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το ΦΕΚ 350B/17-2-2016, αποτελεί την αντικατάσταση του παραρτήματος Ε' του Ε.Α.Κ. Αναφέρεται στη δυνατότητα απαλλαγής ελέγχου των γενικών κριτηρίων αποτίμησης στις περιπτώσεις που η μελέτη αφορά λειτουργικές μεταβολές όπως προσθήκη, αλλαγή χρήσεων – μετατροπές ή τον συνδυασμό και των δύο. Κύριος στόχος του κανονισμού είναι η εξασφάλιση ότι έπειτα από οποιαδήποτε λειτουργική μεταβολή, η υφιστάμενη κατασκευή θα ικανοποιεί τις ελάχιστες απαιτήσεις επάρκειας των ισχυόντων κανονισμών.

Λαμβάνοντας υπόψη την διαθεσιμότητα της στατικής μελέτης του κτιρίου και επιπλέον τον κανονισμό στον οποίο βασίστηκε η σύνταξή της, ο κανονισμός απαλλαγής κριτηρίων επάρκειας διευκρινίζει δύο ομάδες ισχυόντων κανονισμών :

- ΟΜΑΔΑ Α : Σχεδιασμός νέων κτιρίων.  
ΕΑΚ 2000, ΕΚΩΣ 2000, EN1991, EN1992-1-1, EN1993-1-1, EN1994-1-1, EN1995-1-1, EN1996-1-1, EN1997-1, EN1998-1 .
- ΟΜΑΔΑ Β : Αποτίμηση και ανασχεδιασμός.  
ΚΑΝ.ΕΠΕ., ΕΚ8 – 3 (ΕΝ 1998 - 3) .

Το τμήμα της προσθήκης σχεδιάζεται και ελέγχεται σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς της ομάδας Α, χωρίς επιβολή σεισμικών φορτίων. Στις περιπτώσεις ελέγχου με σεισμική φόρτιση, το κτίριο αναλύεται αρχικά με τους ισχύοντες κανονισμούς της ομάδας Α και με σεισμό σχεδιασμού ένα εκτιμώμενο κλάσμα του σεισμού σχεδιασμού των νέων κτιρίων. Στη συνέχεια το ολοκληρωμένο κτίριο μαζί με την προσθήκη, ελέγχεται σύμφωνα με τη χρήση των κανονισμών της ομάδας Β, όπου καλείται να εμφανίσει την απαιτούμενη επάρκεια.

## 2.2 ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΑΠΑΛΛΑΓΗΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ

Απαραίτητη προϋπόθεση για την απαλλαγή από τα κριτήρια επάρκειας είναι ο υφιστάμενος φορέας να μην φέρει ενδείξεις σημαντικής στατικής ανεπάρκειας, δηλαδή να μην φέρει εμφανείς σοβαρές βλάβες ή να μην βασίζεται σε ελαττωματικό σχεδιασμό. Οι συνηθέστερες ενδείξεις στατικής ανεπάρκειας είναι οι εξής :

- Εκτεταμένες καμπτικές ή διατμητικές ρωγμές μεγαλύτερες από 0.4 mm, στα κύρια στοιχεία του φέροντα οργανισμού.
- Σημαντική μείωση του σπλισμού των κύριων στοιχείων λόγω διάβρωσης.
- Ύπαρξη κοντών υποστυλωμάτων χωρίς περίσφιγξη σε κρίσιμα σημεία του φέροντα οργανισμού.
- Εξαιρετικά μικρή δυσκαμψία στο ισόγειο σε σύγκριση με αυτή των υπερκείμενων ορόφων, εξαιτίας της έλλειψης τοιχοπληρώσεων (πχ. Πυλωτή) ή εξαιτίας της ασύμμετρης διάταξης αυτών στην περίπτωση που ο αριθμός των κατακόρυφων στοιχείων δεν επαρκεί.

Εάν η λειτουργική μεταβολή περιλαμβάνει προσθήκη, βασική προϋπόθεση απαλλαγής είναι να περιλαμβάνεται στην αρχική μελέτη η πλήρη πρόβλεψη των ορόφων των ορόφων που θέλουμε να προσθέσουμε.

### 2.2.1 ΑΛΛΑΓΕΣ ΧΡΗΣΗΣ – ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ

Η δυνατότητα απαλλαγής κριτηρίων γενικής ισχύος για αλλαγή χρήσης ή μετατροπή, κρίνεται από τις επιπτώσεις που αναμένεται να προκαλέσουν αυτές οι λειτουργικές μεταβολές στο υπόλοιπο σύστημα. Στις περιπτώσεις που οι επεμβάσεις οι ίδιες δεν προκαλούν δυσμενείς συνθήκες από στατικής άποψης στην κατασκευή, δεν απαιτείται έλεγχος. Οι πιθανές δυσμενείς συνέπειες που μπορούν να προκληθούν από επεμβάσεις αλλαγής χρήσης – μετατροπές είναι οι εξής :

- Δυσμένεια Δ1 : Αύξηση κατακόρυφων φορτίων.
- Δυσμένεια Δ2 : Αύξηση μαζών και κατά συνέπεια και σεισμικών φορτίων.
- Δυσμένεια Δ3 : Τροποποίηση στατικού συστήματος που αναλαμβάνει οριζόντιες φορτίσεις.
- Δυσμένεια Δ4 : Επιδείνωση της μη κανονικότητας του κτιρίου εξαιτίας αλλαγών στις τοιχοπληρώσεις, με αποτέλεσμα το κτίριο να αποκρίνεται δυσμενέστερα σε σεισμικές φορτίσεις.
- Δυσμένεια Δ5 : Αύξηση του συντελεστή σπουδαιότητας.

Στην περίπτωση Δ1, τα στοιχεία που καθίστανται ευάλωτα σε κατακόρυφη φόρτιση ελέγχονται σύμφωνα με τους κανονισμούς της Ομάδας Α ενώ παράλληλα αποκαθίστανται τυχόν ανεπάρκειες με τις αντίστοιχες κατάλληλες ενισχύσεις.

Στην περίπτωση Δ2 ή Δ5, η απαλλαγή γίνεται εφικτή μόνον εφόσον  $\rho_v \leq \rho_\alpha$

$\rho_v = \frac{V_{\text{μετα}}}{V_{\text{πριν}}}$ , όπου  $V_{\text{πριν}}$  και  $V_{\text{μετα}}$  οι τέμνουσες βάσης πριν και μετά τη μετατροπή.

Μετά την επέμβαση θα πρέπει το κτίριο να ικανοποιεί τις απαιτήσεις ασφαλείας που ορίζει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Στην περίπτωση Δ3 δεν γίνεται απαλλαγή κριτηρίων. Θα πρέπει σε οποιαδήποτε περίπτωση επέμβασης να εφαρμοστεί το κριτήριο γενικής ισχύος, δηλαδή ο ΚΑΝ.ΕΠΕ και ο ΕΚ-8.

Παρομοίως και στην περίπτωση Δ4, δεν υφίσταται απαλλαγή και θα πρέπει και εδώ να γίνει εφαρμογή των κανόνων γενικής ισχύος.

### 2.2.2 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ

Για τις προσθήκες, η δυνατότητα απαλλαγής από τα κριτήρια ελέγχου επάρκειας καθορίζεται από τις επακόλουθες 4 κατηγορίες κτιρίων, οι οποίες κατηγοριοποιούν τα κτίρια ανάλογα με τους ισχύοντες κανονισμούς που συντάχθηκε η αρχική μελέτη τους, ή με τη σπουδαιότητα τους.

- Κατηγορίας 1 : Αφορά κτίρια που έχουν μελετηθεί σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς της Ομάδας Α.
- Κατηγορίας 2 : Αφορά κτίρια που έχουν μελετηθεί σύμφωνα με τους κανονισμούς ΝΕΑΚ/ΝΕΚΩΣ 1992, ΕΑΚ/ΕΚΩΣ 2000, EN1992-1-1, EN1993-1-1, EN1994-1-1, EN1995-1-1, EN1996, EN1998-1.
- Κατηγορίας 3 : Αφορά κτίρια ωπλισμένου σκυροδέματος και σπουδαιότητας I, II, που έχουν μελετηθεί σύμφωνα με τις Πρόσθετες Διατάξεις του 1984.
- Κατηγορίας 4 : Αφορά οποιοδήποτε άλλο κτίριο.

Στις περιπτώσεις κτιρίων κατηγορίας 1, μπορεί να γίνει απαλλαγή κριτηρίων χωρίς την ικανοποίηση πρόσθετων απαιτήσεων.

Στις περιπτώσεις κτιρίων κατηγορίας 2, η απαλλαγή γίνεται εφικτή μόνον εφόσον :

$$\rho \leq \rho_{\alpha} \rightarrow \rho_{\alpha} = \frac{\alpha_{g.n}}{\gamma_1 \alpha_{g.\varepsilon}}, \text{ όπου}$$

- $\alpha_{g.n}$  είναι η παρούσα εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού με  $\gamma_1 = 1$  και  $S = 1$  για εδάφη Β, C όπως προστάζει ο ΕΚ – 8., και
- $\gamma_1 \alpha_{g.\varepsilon}$  η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού που είχε χρησιμοποιηθεί στην αρχική μελέτη.

Αν δεν ικανοποιείται η σχέση μπορούμε να περιορίσουμε τον αριθμό των ορόφων που επιθυμούμε να προσθέσουμε, ούτως ώστε να ικανοποιείται η συνθήκη :

$$\rho \leq \rho_{\alpha} \text{ με } \rho_v = \frac{V_n}{V_e} \text{ όπου:}$$

$V_n$  και  $V_e$  οι τιμές των τέμνουσών βάσης που προέκυψαν από τις εδαφικές επιταχύνσεις  $\alpha_{g.n}$  και  $\gamma_1 \alpha_{g.\varepsilon}$ .

Στην περίπτωση επέμβασης σε κτίρια κατηγορίας 3, η απαλλαγή είναι αποδεκτή μόνο εφόσον  $\rho_v \leq 1.25$ , με  $\rho_v = \frac{V_n}{V_{e,u}}$  όπου :

- $V_n$  : η τέμνουσα βάσης του κτιρίου υπολογιζόμενη με την προσθήκη για εδαφική επιτάχυνση  $\alpha_{g.n}$  σύμφωνα με τους παρόντες ισχύοντες κανονισμούς και με συντελεστή συμπεριφοράς  $q = 2.3$ .
- $V_{e,u}$  :  $1.75 V_e$  . Όπου  $V_e$  η τέμνουσα βάσης του κτιρίου υπολογιζόμενη για ολική εδαφική επιτάχυνση  $\alpha_{g.e}$  σύμφωνα με τους τότε ισχύοντες κανονισμούς με τους οποίους μελετήθηκε το υφιστάμενο τμήμα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ

### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στην περίπτωση μελέτης υφιστάμενου κτιρίου, η σεισμική αποτίμηση αποτελεί το βασικότερο βήμα της μελέτης καθώς τα αποτελέσματα αυτής θα κρίνουν την οποιαδήποτε επέμβαση. Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου ανάλυσης προκύπτει από τα δεδομένα που διαθέτουμε για την κατασκευή, την κατηγορία σπουδαιότητας ή και από το είδος των βλαβών που μπορεί να έχουν υποστεί κάποια στοιχεία αυτής. Στους Ευρωπαϊκούς και Ελληνικούς Κανονισμούς (ΕΑΚ2000, ΕΚΩΣ2000), αναφέρονται διατάξεις σχεδιασμού που ασχολούνται κυρίως με τη μορφολογία των στοιχείων, την διαστασιολόγηση του οπλισμού τους, του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  και του τοπικού δείκτη  $m$ . Στην περίπτωση μελέτης νέων κτιρίων όπου μας δίνεται η ευκαιρία να τροποποιήσουμε τα φέροντα στοιχεία, μπορούμε να βασιστούμε σε αυτούς τους κανονισμούς και να κάνουμε την αποτίμηση με ελαστικές αναλύσεις, οι οποίες είναι μεν πιο απλουστευμένες στην εφαρμογή τους αλλά προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό την αξιοπιστία των ανελαστικών. Στην περίπτωση όμως μιας μελέτης υφιστάμενης κατασκευής, η επιλογή εφαρμογής ελαστικής ανάλυσης μπορεί να είναι τουλάχιστον συντηρητική ως προς την εκτέλεσή της και συνήθως αποφεύγεται, καθότι σε πολλά κριτήρια των κανονιστικών διατάξεων οι τιμές θα πρέπει να υπολογίζονται εμπειρικά (πχ. συντελεστές  $q$  και  $m$ ) και αυτό δημιουργεί πρόβλημα στην αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Τη λύση αυτού του προβλήματος έρχονται να δώσουν οι ανελαστικές αναλύσεις, οι οποίες εμπεριέχουν πιο απαιτητικούς υπολογισμούς και παράλληλα διαθέτουν ένα πιο λεπτομερές προσομοίωμα της κατασκευής με ακριβέστερη ικανοτική συμπεριφορά στις σεισμικές φορτίσεις. Οι ανελαστικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν το ίδιο αποτελεσματικά και στις νέες κατασκευές, σε αντίθεση με τις ελαστικές.

### 3.2 ΕΛΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Οι ελαστικές μέθοδοι αναφέρονται και ως γραμμικές μέθοδοι ανάλυσης καθώς επικεντρώνονται στο ελαστικό τμήμα του διαγράμματος τάσεων – παραμορφώσεων των στοιχείων. Σε αυτές τις μεθόδους ανάλυσης, οι διαδικασίες των ελέγχων ασφάλειας εφαρμόζονται σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες και γίνονται σε όρους εντατικών μεγεθών. Οι

προϋποθέσεις εφαρμογής τους δεν σχετίζονται με την Σ.Α.Δ. Να σημειωθεί ότι στην περίπτωση νέων κατασκευών που κατατάσσονται στη στάθμη επιτελεστικότητας Α', τόσο οι στατικές όσο και οι δυναμικές ελαστικές αναλύσεις μπορούν να εφαρμοστούν χωρίς τις προϋποθέσεις που ορίζουν οι παράγραφοι § 5.5 και § 5.6 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

### 3.2.1 ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Αναφέρεται και ως απλοποιημένη φασματική μέθοδος κατά τον ΕΑΚ. Η ελαστική στατική μέθοδος ανάλυσης είναι μία προκαταρκτική διαδικασία, προκειμένου να υπολογιστούν οι δείκτες ανεπάρκειας  $\lambda = S / R_m$ , όπου  $S$  το μέγεθος της ροπής που προκύπτει από τη σεισμική φόρτιση και  $R_m$  η αντίσταση του στοιχείου (ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 5.5.1). Οι δείκτες ανεπάρκειας  $\lambda$  υπολογίζονται για κάθε στοιχείο ούτως ώστε να διαπιστώσουμε ποια από αυτά είναι κρίσιμα. Αυτό προκύπτει από την ανάλυση της δυναμικής απόκρισης του κτιρίου υπολογίζοντας την τέμνουσα βάση, ένα συνολικό οριζόντιο φορτίο που κατανέμεται καθ' ύψος της κατασκευής με βάση το φάσμα σχεδιασμού που βρίσκεται στις διατάξεις του ΕΚ-8, § 3.2. Για τον υπολογισμό της τέμνουσας βάσης θεωρούμε μόνο τη θεμελιώδη ιδιόμορφη για κάθε μία από τις δύο διευθύνσεις (Βεργίνη. Τσιουμπής. 2013). Ο υπολογισμός των στατικών φορτίων πραγματοποιείται είτε με τη μέθοδο των τοπικών δεικτών ( $m$ ), είτε με τη μέθοδο του καθολικού δείκτη συμπεριφοράς ( $q$ ) ο οποίος ωστόσο, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται πιο συντηρητικά.

Προϋποθέσεις εφαρμογής ελαστικής στατικής ανάλυσης κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ § 5.5.2 και ΕΚ-8 :

- i) Θα πρέπει για όλα τα κύρια στοιχεία να ισχύει ότι  $\lambda \leq 2.5$ , ή για ένα ή περισσότερα από αυτά να προκύπτει  $\lambda > 2.5$  και το κτίριο είναι μορφολογικά κανονικό.
- ii) Η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του κτιρίου  $T_0$  να είναι μικρότερη του  $4 T_c$  ή  $2s$ .
- iii) Ο λόγος της οριζόντιας διάστασης σε έναν όροφο προς την αντίστοιχη διάσταση σε έναν γειτονικό όροφο δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1.5, με εξαίρεση τον τελευταίο όροφο.
- iv) Να μην παρουσιάζει το κτίριο ασύμμετρη κατανομή δυσκαμψίας σε κάτοψη.
- v) Να μην παρουσιάζει το κτίριο ασύμμετρη κατανομή δυσκαμψίας ή μάζας καθ' ύψος.
- vi) Να διαθέτει σύστημα ανάληψης σεισμικών δράσεων σε δύο διευθύνσεις που είναι κάθετες μεταξύ τους.

Για σκοπούς αποτίμησης και μόνο και εφόσον το υπό μελέτη κτίριο δεν έχει παρουσιάσει ουσιώδεις βλάβες, μπορούμε να εφαρμόσουμε την στατική ελαστική ανάλυση λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις προϋποθέσεις iii και vi και κάνοντας προσαύξηση του συντελεστή  $\gamma_{sd}$  κατά 0.15.



### 3.2.2 ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στην ελαστική δυναμική ανάλυση, η σεισμική δράση εισάγεται με δύο τρόπους :

- i) Είτε ως ελαστικό φάσμα σχεδιασμού σύμφωνα με αυτό του ΕΚ-8 (Μέθοδος φάσματος απόκρισης), όπου η κατασκευή υπόκειται σε μία σεισμική διέγερση και για κάθε ιδιομορφή παρέχεται μία στατική απόκριση η οποία εάν πολλαπλασιαστεί με την φασματική επιτάχυνση θα αποφέρει την μέγιστη απόκριση.
- ii) Είτε ως χρονοϊστορίες επιταχύνσεων βάσεως σύμφωνα με το ελαστικό φάσμα του ΕΚ-8 (Μέθοδος χρονοϊστορίας απόκρισης), όπου η απόκριση της κατασκευής αναπαρίσταται ως μία συνάρτηση του χρόνου και η μελέτη σχεδιασμού της γίνεται με βάση τις μέγιστες δράσεις όλων των εντατικών μεγεθών.

Προϋποθέσεις εφαρμογής ελαστικής δυναμικής ανάλυσης κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ § 5.6.1 και ΕΚ-8 :

- i) Θα πρέπει για όλα τα κύρια στοιχεία να ισχύει ότι  $\lambda \leq 2.5$ , ή για ένα ή περισσότερα από αυτά να προκύπτει  $\lambda > 2.5$  και το κτίριο είναι μορφολογικά κανονικό.

Όπως ισχύει και στη στατική ελαστική, αποκλειστικά για περιπτώσεις αποτίμησης και με δεδομένο ότι το κτίριο δεν έχει παρουσιάσει ουσιώδεις βλάβες, μπορούμε να εφαρμόσουμε την δυναμική ελαστική ανάλυση λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις προϋποθέσεις iii και vi και κάνοντας προσαύξηση του συντελεστή  $\gamma_{sd}$  κατά 0.15.

Ένα μεγάλο πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε στην δυναμική στατική ανάλυση είναι πως τίθεται αξιόπιστη μόνο στις περιπτώσεις που η απόκριση του κτιρίου είναι ελαστική, δηλαδή όταν τα στοιχεία του δεν έχουν φτάσει στο όριο διαρροής τους. Η προϋπόθεση αυτή περιορίζει το εύρος χρήσης αυτής της μεθόδου μόνο σε νέα σχετικά κτίρια και για ήπιες έντασης σεισμούς (Βεργίνη. Τσιουμπής. 2013).

### 3.2.3 ΕΝΙΑΙΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ $q$

Ο δείκτης συμπεριφοράς  $q$  είναι ένας μειωτικός συντελεστής των ελαστικών εντατικών δυνάμεων με τα οποία υπολογίζεται η σεισμική απόκριση των μελών ενός κτιρίου που έχει σχεδιαστεί με νέους κανονισμούς (Ρεπαπής, 2007). Η εκτίμηση της τιμής του δείκτη συμπεριφοράς βασίζεται στην εμπειρία και στην κρίση του μηχανικού, ο οποίος καλείται να διαμορφώσει την τιμή του ανάλογα με τους παράγοντες που επηρεάζουν την σεισμική απόκριση του κτιρίου. Σύμφωνα με την παράγραφο § 4.6.2 του ΚΑΝ.ΕΠΕ., οι παράγοντες εκτίμησης της τιμής του είναι οι εξής :

- εάν το υφιστάμενο δόμημα εμφανίζει φθορές,

- εάν οι κανονισμοί με τους οποίους έχει σχεδιαστεί το δόμημα επαρκούν
- την κανονικότητα των ορόφων και τον βαθμό αποκλεισμού “μαλακού ορόφου”
- το πόσο επιρρεπή είναι τα στοιχεία του δομήματος στην εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων και κατά πόσο αυτό εξαρτάται από την υπεραντοχή ή την κανονικότητα
- ο τρόπος αστοχίας των στοιχείων (πλάστιμη ή ψαθυρή αστοχία), η κατάταξη της εμφάνισης αυτών και τον βαθμό αποκλεισμού στα κύρια κατακόρυφα στοιχεία και στους κόμβους.
- η τοπική πλαστιμότητα που διαθέτει το κάθε στοιχείο στα κρίσιμα τμήματά του
- τους διαθέσιμους μηχανισμούς ενίσχυσης της συμπεριφοράς του κτιρίου υπό σεισμική φόρτιση

**Πίνακας 3.1** Τιμές του λόγου  $q^*/q'$  ανά στάθμη επιτελεστικότητας (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022)

Στάθμη επιτελεστικότητας		
«Περιορισμένες βλάβες» (Α)	«Σημαντικές βλάβες» (Β)	«Οιονεί κατάρρευση» (Γ)
0,6 πάντως δε $1,0 < q^* < 1,5$	1,0	1,4

**Πίνακας 3.2** Τιμές του δείκτη συμπεριφοράς  $q'$  για την στάθμη επιτελεστικότητας Β (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022)

Εφαρμοσθέντες Κανονισμοί μελέτης (και κατασκευής)	Ευμενής παρουσία ή απουσία τοιχοπληρώσεων (1)		Δυσμενής (γενικώς) παρουσία τοιχοπληρώσεων (1)	
	Ουσιώδεις βλάβες σε πρωτεύοντα στοιχεία		Ουσιώδεις βλάβες σε πρωτεύοντα στοιχεία	
	Όχι	Ναι	Όχι	Ναι
1995 ≤ ...	3,0	2,3	2,3	1,7
1985 ≤ ... < 1995 (2)	2,3	1,7	1,7	1,3
... < 1985	1,7	1,3	1,3	1,1

### 3.2.4 ΤΟΠΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ $m$

Ο τοπικός δείκτης  $m$  χρησιμοποιείται στην εκτίμηση της πλαστιμότητας που διαθέτει ένα στοιχείο του φέροντος οργανισμού και ορίζεται ως  $m=d_d/d_y=\theta_d/\theta_y$ , όπου  $d_d$  η τιμή σχεδιασμού οριακής παραμόρφωσης ανάλογα με την στάθμη επιτελεστικότητας όπως ορίζει η παράγραφος § 4.7.1 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Όπως και με τον δείκτη συμπεριφοράς  $q$ , οι τιμές των τοπικών δεικτών  $m$  των μελών προσδιορίζονται βασίζονται στη στάθμη επιτελεστικότητας και τη πλαστιμότητα του φέροντος οργανισμού.

## 3.3 ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

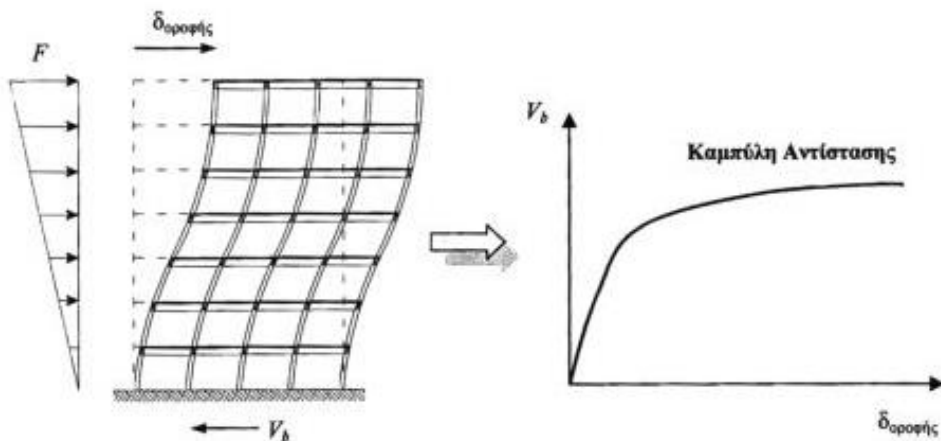
Οι ανελαστικές μέθοδοι ανάλυσης ή αλλιώς μη-γραμμικές μέθοδοι, ασχολούνται με τις ανελαστικές παραμορφώσεις που εμφανίζονται στα στοιχεία της κατασκευής έπειτα από επιβολή οριζόντιας φόρτισης. Σε αντίθεση με τις στατικές αναλύσεις, μας προσφέρουν το προνόμιο να μελετήσουμε διεξοδικά και εκτεταμένα την πραγματική απόκριση μίας κατασκευής σε σεισμική φόρτιση. Ειδικά για τις περιπτώσεις μελέτης υφιστάμενων κατασκευών, τόσο οι Ευρωκώδικες όσο και οι Ελληνικοί αντισεισμικοί κανονισμοί, παροτρύνουν την χρήση ανελαστικών μεθόδων για την καλύτερη κατανόηση της πλαστικής απόκρισης του κτιρίου. Το γεγονός ότι οι μη - γραμμικές μέθοδοι ανάλυσης εφαρμόζονται κυρίως για τις στάθμες επιτελεστικότητας Β ή Γ, μας επιτρέπει να συγκρίνουμε τα μεγέθη των πλαστικών παραμορφώσεων των στοιχείων με τις αντίστοιχες τιμές που επιβάλλει ο στόχος επιτελεστικότητας που έχουμε θέσει, πράγμα που ενισχύει την ασφάλεια της μελέτης αποτίμησης. Επιπλέον, οι ανελαστικές αναλύσεις λαμβάνουν σημαντικά υπόψη τη Σ.Α.Δ. και μάλιστα προτείνεται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. να διασφαλίζεται τουλάχιστον “ικανοποιητική” στάθμη, γεγονός που μας αποδίδει πολύ πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

### 3.3.1 ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ – ΜΕΘΟΔΟΣ PUSHOVER

Κατά τη εκτέλεση μίας ανελαστικής Pushover ανάλυσης, το κτίριο φορτίζεται με οριζόντια φορτία κατανεμημένα με τέτοιο τρόπο ώστε να αναλογεί στις αδρανειακές δυνάμεις ενός σεισμού. Πρόκειται για μία επαναληπτική διαδικασία, όπου σε κάθε βήμα τα φορτία αυξάνονται μονότονα καθ’ ύψος, έως ότου δημιουργηθεί μία πλαστική άρθρωση. Η επαύξηση του επιβαλλόμενου οριζόντιου φορτίου θα επιφέρει όλο και σοβαρότερες παραμορφώσεις σε κάθε επόμενο βήμα. Τελικός στόχος της ανάλυσης αυτής, είναι η

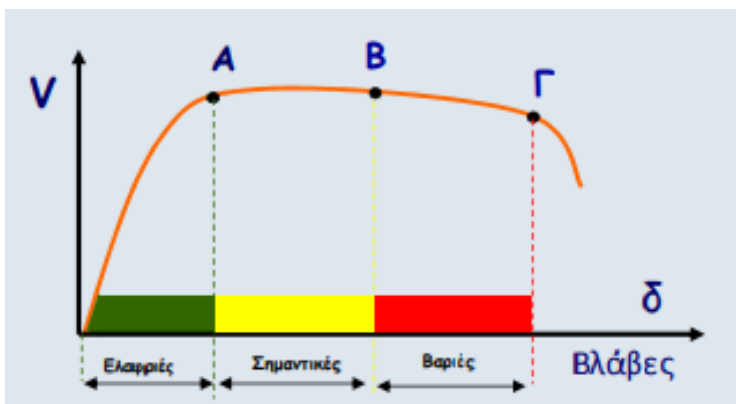
δημιουργία της καμπύλης αντίστασης, η οποία θα αποτελείται από όλα τα βήματα της διαδικασίας με το τελευταίο από αυτά να εκφράζει την ολική κατάρρευση του κτιρίου. Η τιμή της μετακίνησης που αποδίδεται στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης πιθανότατα προσεγγίζει και το σημείο κατάρρευσης του κτιρίου στην πραγματικότητα (Ρεπαπής, 2007).

Η καμπύλη αντίστασης αποτυπώνεται σύμφωνα με την μετακίνηση που χαράσσει το σημείο της οροφής του κτιρίου, το οποίο ορίζεται ως "κόμβος ελέγχου". Τα σημεία από τα οποία μορφοποιείται η καμπύλη αντίστασης, είναι η αντίστοιχη τέμνουσα βάσης και η αντίστοιχη μετακίνηση του κόμβου ελέγχου στο εκάστοτε βήμα.



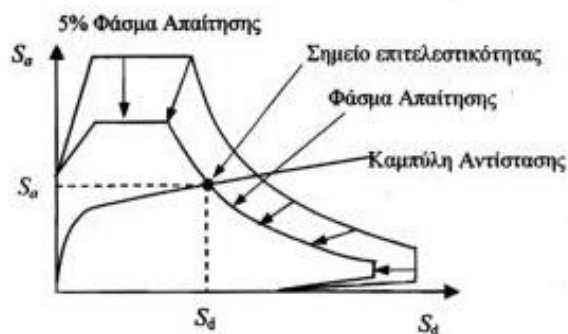
Σχήμα 3.1 Καμπύλη τέμνουσας βάσης – μετακίνησης οροφής σε Pushover ανάλυση (Ρεπαπής, 2007)

Σε αυτή την καμπύλη ορίζονται τα σημεία επιτελεστικότητας A-DL, B-SD και Γ-NC, που αντιστοιχούν στις στάθμες επιτελεστικότητας που εξηγήσαμε προηγουμένως και φανερώνουν το μέγεθος των βλαβών που θα υποστεί η κατασκευή σε δεδομένο σεισμικό φάσμα.



Σχήμα 3.2 Ενδεικτική απεικόνιση σημείων επιτελεστικότητας σε καμπύλη αντίστασης. (Δρίτσος, 2021)

Η καμπύλη αντίστασης, σε συνδυασμό με το φάσμα απαίτησης μειωμένο (συγκριτικά με το ελαστικό) αναλόγως με την απόσβεση της κατασκευής, αποδίδουν το σημείο επιτελεσματικότητας το οποίο βρίσκεται στο σημείο που αυτά τα δύο τέμνονται (Ρεπαπής, 2007).



Σχήμα 3.3 Προσδιορισμός σημείου επιτελεσματικότητας. (Ρεπαπής, 2007)

### 3.3.2 ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στις δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις, η φόρτιση της κατασκευής αποδίδεται μέσω των επιταχυνσιογραφημάτων, τα οποία περιγράφουν εδαφικές επιταχύνσεις του εδάφους. Καθώς γίνεται χρήση φυσικών ή και τεχνητών σεισμικών καταγραφών, είναι αναμενόμενο τα υπολογιζόμενα εντατικά μεγέθη αλλά και η υπολογιζόμενη παραμορφωσιμότητα των εξεταζόμενων στοιχείων να προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό την πραγματικότητα. Παρ' όλα αυτά, η δυναμική ανάλυση δεν ενδείκνυται για συνήθεις περιπτώσεις σχεδιασμού λόγω της πολυπλοκότητας και των υπολογιστικών απαιτήσεων που αυτή δημιουργεί (Ρεπαπής, 2007).

### 3.3.3 ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ

Στις μεθόδους σεισμικής ανάλυσης, υπολογίζεται για δεδομένο φάσμα σεισμού και για κάθε στάθμη επιτελεσματικότητας μία τιμή μετακίνησης με την οποία στοχεύουμε να ανταποκριθεί η κατασκευή. Στις ανελαστικές αναλύσεις αυτό επιτυγχάνεται με τη μέθοδο της στατικής ανάλυσης Pushover, ενώ στις ελαστικές αναλύσεις η μετακίνηση αυτή υπολογίζεται με προσεγγιστικές μεθόδους όπως και οι συντελεστές  $q$  και  $m$ . Η ανταπόκριση της κατασκευής

με τις παραπάνω μεθόδους παρουσιάζεται ως ένα ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα που φέρει παραμορφώσεις στα μέλη του για συγκεκριμένο καθ' ύψος φορτίο κατανομής ανά όροφο. Η στοχευόμενη μετακίνηση επομένως καθορίζεται ως η τιμή της μετακίνησης του σημείου επιτελεστικότητας της στάθμης που έχουμε θέσει ως στόχο. Το σημείο επιτελεστικότητας εντοπίζεται στο σημείο τομής της καμπύλης αντίστασης και του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού μειωμένο ανάλογα με την απόσβεση της κατασκευής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ

### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι περισσότερες υφιστάμενες κατασκευές στην Ελλάδα έχουν μελετηθεί με παλαιούς κανονισμούς, πολλοί εκ των οποίων υστερούσαν σημαντικά σε γνώση αντισεισμικού σχεδιασμού. Πέραν όμως της έλλειψης των απαραίτητων κανονιστικών πλαισίων, μεγάλο ρόλο έπαιξε και ο ανθρώπινος παράγοντας ο οποίος επιδρά στο σύνολο των διαδικασιών που αφορούν τον σχεδιασμό ενός κτιρίου. Ιδίως στην χώρα μας συναντάμε πολλές περιπτώσεις υφιστάμενων κτιρίων, η μελέτη των οποίων εμπεριέχει ανακρίβειες που ενδεχομένως να προέκυψαν επειδή ο εκάστοτε μηχανικός ή εργολάβος δεν έδωσε την απαραίτητη προσοχή για τον σωστό σχεδιασμό και υλοποίηση του έργου. Αποτέλεσμα αυτών ήταν η ανέγερση ποικίλων ελαττωματικών δομημάτων, που σύμφωνα με τους σύγχρονους κανονισμούς αμφισβητείται η ασφάλειά τους. Τα κατασκευαστικά λάθη που τότε είχαν υλοποιηθεί, δημιούργησαν ευάλωτα σημεία στα στοιχεία των φορέων στα οποία μπορούν να προξενηθούν σοβαρές βλάβες καμπτικής ή διατμητικής μορφής. Μερικά τέτοια παραδείγματα κτιρίων που συναντάμε συχνά, όπως αναφέρει αναλυτικά και ο κ. Δρίτσος (2005) είναι :

- Μη κανονικά κτίρια με έντονη μεταβολή της δυσκαμψίας τους καθ' ύψος
- Κοντά υποστυλώματα στη βάση του κτιρίου λόγω υπερυψωμένου υπογείου
- Κακή επίδραση των τοιχοπληρώσεων στα περιβάλλοντα στοιχεία
- Ακανόνιστη κατανομή των στοιχείων σε κάτοψη
- Πρόσκρουση μεταξύ των κτιρίων σε γειτονιές που έχουν σχεδιαστεί με συνεχές σύστημα δόμησης.
- Εμφάνιση προβλημάτων στην θεμελίωση

Βέβαια αξίζει να αναφερθεί ότι ακόμα και στις περιπτώσεις που το κτίριο έχει μελετηθεί και δομηθεί με άρτιο τρόπο, η εμφάνιση βλαβών είναι αρκετά πιθανή έως και αναπόφευκτη, καθώς οι σύγχρονοι κανονισμοί επιτρέπουν την εμφάνιση βλαβών ελαφριάς μορφής στον φορέα κατά τη διάρκεια ενός σεισμού (Δρίτσος. 2005). Επιπλέον στις υφιστάμενες κατασκευές που έχουν ήδη διανύσει περισσότερο από τη συμβατική ζωή τους, αναμένουμε να αντιμετωπίσουμε βλάβες που προκλήθηκαν από περιβαλλοντικά αίτια όπως ο παγετός, η υγρασία, το καυσαέριο των μεγαλουπόλεων και άλλοι παράγοντες που φθείρουν τον οπλισμό, το σκυρόδεμα και λοιπά υλικά της κατασκευής.

## 4.2 ΠΙΘΑΝΕΣ ΒΛΑΒΕΣ ΣΤΑ ΜΕΛΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ

### 4.2.1 ΒΛΑΒΕΣ ΣΕ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Κατά τη διάρκεια μίας σεισμικής δόνησης, επιβάλλονται στον φορέα της κατασκευής οριζόντια φορτία επαυξανόμενα καθ' ύψος. Τα υποστυλώματα αποτελούν τα στοιχεία που θα απορροφήσουν το μεγαλύτερο μέρος της σεισμικής ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός σεισμικού γεγονότος, καθώς το οριζόντιο σεισμικό φορτίο επιδρά ως τέμνουσα σε αυτά. Συνεπώς, είναι συχνό φαινόμενο οι σοβαρότερες βλάβες ενός φορέα να παρατηρούνται κυρίως στους στύλους.

Τα υποστυλώματα παρουσιάζουν κατά κύριο λόγο είτε καμπτικές, είτε διατμητικές παραμορφώσεις. Οι καμπτικές βλάβες εμφανίζονται συνήθως στις άνω και κάτω στηρίξεις των υποστυλωμάτων, καθώς σε αυτά τα σημεία δημιουργούνται οι μεγαλύτερες εντάσεις (Δρίτσος, 2005) λόγω λυγισμού του στοιχείου. Το μέγεθος της βλάβης ποικίλει αναλόγως με το μέγεθος του σεισμού και τη συμπεριφορά των υλικών με τα οποία έχουν κατασκευαστεί τα στοιχεία του φορέα. Ο βαθμός της βλάβης μπορεί να κυμαίνεται από απλές καμπτικές ή διατμητικές ρηγματώσεις του σκυροδέματος στην περιοχή εκτός του περισφυγμένου πυρήνα, έως και πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος λόγω διαρροής του εγκάρσιου οπλισμού. Η τελευταία περίπτωση αναφέρεται σε βλάβες ψαθυρού χαρακτήρα, που είναι και οι σοβαρότερες. Τέτοιες συναντάμε συχνά σε υποστυλώματα που αναλαμβάνουν υψηλά ποσοστά θλιπτικού φορτίου ή σε αυτά των υψηλότερων ορόφων της ανωδομής, όπου ασκούνται μεγάλες καμπτικές ροπές (Δρίτσος, 2005).

### 4.2.2 ΒΛΑΒΕΣ ΣΕ ΔΟΚΟΥΣ

Οι δοκοί πλήττονται σε εξίσου συχνό βαθμό ή και περισσότερο από τα υποστυλώματα, με τη διαφορά όμως ότι έρχονται δεύτερες από θέμα επικινδυνότητας, αφού δεν διαθέτουν τον κύριο ρόλο ως προς την ευστάθεια του κτιρίου όπως τα υποστυλώματα. Εμφανίζουν τόσο καμπτικές όσο και διατμητικές βλάβες, οι οποίες φανερώνουν ως αίτιο είτε έντονη σεισμική διέγερση, είτε υπερβολική φόρτιση από κατακόρυφα φορτία. Το συνηθέστερο είδος βλάβης που παρατηρείται στις δοκούς είναι ρωγμές στο κάτω πέλμα τους λόγω καμπτικής αστοχίας. Η ψαθυρού τύπου αστοχία λόγω κάμψης στις δοκούς παρατηρείται με αστοχίες στο άνω πέλμα τους και ολίσθηση του οπλισμού στο κάτω πέλμα. Αντίστοιχα στις ψαθυρές διατμητικές αστοχίες, ούσες οι πιο ανησυχητικές, παρατηρούνται έντονες λοξές ρωγμές στις στηρίξεις των δοκών.



### 4.2.3 ΒΛΑΒΕΣ ΣΕ ΚΟΜΒΟΥΣ

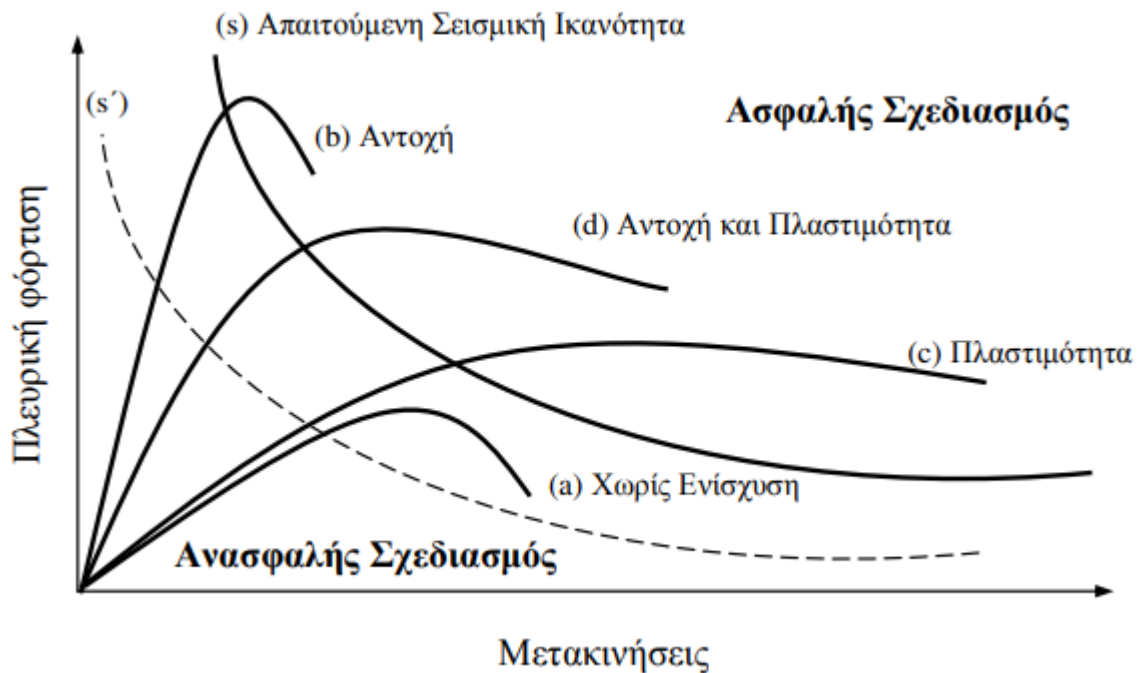
Οι βλάβες στους κόμβους ενός φορέα απαιτείται να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη και να εξετάζονται εις βάθος, ασχέτως του μεγέθους βλάβης που μπορεί να φέρουν. Τα κομβικά σημεία ενός κτιρίου καθίστανται ιδιαίτερα ευπαθή σε βλάβες, καθώς καταπονούνται με έντονες διατμητικές εντάσεις. Επιπλέον, εμπεριέχουν μεγάλο ποσοστό οπλισμού εξαιτίας των εκτεινόμενων οπλισμών των δοκών, των στύλων αλλά και τον οπλισμό των στηρίξεων, γεγονός που μειώνει την αποδοτικότητα του σκυροδέματος. Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι η διαστασιολόγηση των κόμβων, δεν αποτελεί αντικείμενο κατασκευαστικής μελέτης ακόμα και σήμερα, σε αντίθεση με οποιοδήποτε άλλο στοιχείο ενός φορέα που η διαστασιολόγηση του είναι απαραίτητη.

## 4.3 ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Η ενίσχυση των κατασκευών αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του ανασχεδιασμού, καθώς στοχεύει στην βελτίωση της φέρουσας ικανότητας των μελών ενός υφιστάμενου φορέα, είτε αυτά έχουν παρουσιάσει βλάβες είτε όχι. Τα κύρια μέλη του φορέα που συνήθως χρήζουν ενίσχυσης είναι τα υποστυλώματα, αφού αποτελούν τα στοιχεία που καταπονούνται εντονότερα στις σεισμικές δράσεις.

### 4.3.1 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία αποτίμησης της κατασκευής και εξεταστούν διεξοδικά τα δεδομένα αυτής, το επόμενο βήμα είναι η λήψη αποφάσεων σχετικά με τις ενισχύσεις και επεμβάσεις που απαιτούνται για την αύξηση τις φέρουσας ικανότητας του κτιρίου. Λαμβάνοντας υπόψη την σεισμική απόκριση του υφιστάμενου φορέα, ο μηχανικός θα κρίνει εάν η μέθοδος ενίσχυσης που πρόκειται να εφαρμοστεί, θα στοχεύει στην αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας, ή αντιθέτως στην αύξηση της ανελαστικής ικανότητας της κατασκευής. Η μορφή των καμπύλων αντίστασης που προκύπτουν από τα αποτελέσματα της ανελαστικής ανάλυσης μπορούν να αναλυθούν πιο ξεκάθαρα σε συνδυασμό με το παρακάτω διάγραμμα, όπου αποδίδεται μία εικόνα για το αποτέλεσμα που αναμένουμε στη συμπεριφορά του κτιρίου ανά μέθοδο ενίσχυσης.



Σχήμα 4.1 Μέθοδοι ενίσχυσης. (Δρίτσος, 2005)

Στο διάγραμμα αυτό εμπεριέχονται ενδεικτικές καμπύλες αντίστασης, με την καθεμία από αυτές να αναπαριστά την συμπεριφορά της ενισχυμένης κατασκευής αναλόγως με την στρατηγική ενίσχυσης που εφαρμόστηκε.

- Η καμπύλη (a) αναπαριστά τη συμπεριφορά της κατασκευής πριν από οποιαδήποτε ενίσχυση.
- Η καμπύλη (b) αναπαριστά τη συμπεριφορά της κατασκευής έπειτα από εφαρμογή στρατηγικής ενίσχυσης, με επιτυχία αύξησης της αντοχής και της δυσκαμψίας του φορέα.
- Η καμπύλη (c) αναπαριστά τη συμπεριφορά της κατασκευής έπειτα από εφαρμογή στρατηγικής ενίσχυσης, με επιτυχία αύξησης της πλαστιμότητας του φορέα.
- Η καμπύλη (d) αναπαριστά τη συμπεριφορά της κατασκευής έπειτα από εφαρμογή στρατηγικής ενίσχυσης, με επιτυχία αύξησης της αντοχής, της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητας του φορέα.
- Η καμπύλη (s') αναπαριστά την απαιτούμενη σεισμική ικανότητα της κατασκευής έπειτα από εφαρμογή στρατηγικής ενίσχυσης, με επιτυχία μείωσης της εισαγόμενης σεισμικής έντασης του φορέα.

Βέβαια, η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου δεν είναι πάντοτε ξεκάθαρη και εύκολη καθώς ποικίλουν οι παράγοντες που θα την καθορίσουν, ενώ παράλληλα θα πρέπει να γίνει αξιολόγηση όλων αυτών των παραγόντων. Η επιλογή μίας μεθόδου ενίσχυσης μπορεί να εξαρτηθεί από τους παρακάτω παράγοντες :

- Οι τοπικές συνθήκες που επικρατούν στον χώρο του έργου.
- Τα νομικά ή και πολεοδομικά πλαίσια που μπορεί να περιορίζουν κάποιες ενέργειες επέμβασης.
- Το κόστος της επέμβασης.
- Ο χρόνος διάρκειας της επέμβασης.
- Το μέγεθος της όχλησης που θα προκληθεί από τις ενέργειες επέμβασης.
- Η διαθεσιμότητα του κατάλληλου εξειδικευμένου προσωπικού που μπορούμε να εξασφαλίσουμε.

Οι επιλογές επισκευών και ενισχύσεων είναι οι εξής (Τάσιος, 2014):

- Η επισκευή και ενίσχυση τις κρίσιμες περιοχές των υφιστάμενων στοιχείων του φορέα.
- Η προσθήκη νέων φέροντων στοιχείων τις προσθήκη σκελετού, τοιχωμάτων ή σιδηρών πλαισίων.
- Εμφάνωση πλαισίων με προσθήκη γεμίματος ή με προσθήκη τοιχωμάτων από ωπλισμένο σκυρόδεμα ή με μεταλλικούς ακαμπτήρες/αποσβεστήρες.
- Προσθήκη αποσβεστήρων.
- Προσθήκη σεισμικής μόνωσης.

#### 4.3.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Οι μανδύες ωπλισμένου σκυροδέματος χρησιμοποιούνται σε μεμονωμένα στοιχεία της κατασκευής που έχουν υποστεί βλάβη ή είναι γενικώς ευάλωτα στις φορτίσεις και συνεπώς απαιτείται η αύξηση της δυσκαμψίας, της αντοχής και της πλαστιμότητας τους. Ο συγκεκριμένος τρόπος ενίσχυσης αφορά την αύξηση της διατομής ενός υφιστάμενου στοιχείου είτε τοπικά, είτε καθολικά, με ένα νέο στρώμα σκυροδέματος το οποίο συγκρατεί πρόσθετος διαμήκης και εγκάρσιος οπλισμός. Τα είδη μανδύων διαφοροποιούνται από την ποιότητα σκυροδέματος αλλά και από την διαδικασία της κατασκευής τους, και αναφέρονται ως εξής (Γιάννακας, 2014):

- Μανδύες από έγχυτο σκυρόδεμα.
- Μανδύες από εκτοξευμένο σκυρόδεμα.
- Μανδύες από σκυροτσιμεντόπηγμα.
- Μανδύες από ειδικά σκυροδέματα ή τσιμεντοκονιάματα.

Εκτός από διαμήκεις και εγκάρσιους οπλισμούς, στους μανδύες περιλαμβάνονται και βλήτρα που λειτουργούν ως διατμητικοί σύνδεσμοι και βοηθούν στη σωστή συνεργασία

μεταξύ του νέου και του παλαιού σκυροδέματος. Ο υπολογισμός για το ελάχιστο εμβαδόν οπλισμού είναι ο εξής :

$$A_{s\delta} = \rho_{min\delta} \cdot A_{c\delta} \quad , \quad \text{όπου} \quad \rho_{min\delta} = \max(\rho_w, 0.12\%)$$

$\rho_w$ : το ελάχιστο ποσοστό διάτμησης δοκών που δίνεται από τον Ευρωκώδικα 2

$A_{c\delta}$  : το εμβαδόν της διατομής της διεπιφάνειας.

Οι αποστάσεις των βλήτρων πρέπει να ικανοποιούν την σχέση:  $S \leq \min(6h_{min}, 800 \text{ mm})$  όπου  $h_{min}$  είναι το μικρότερο από τα πάχη των δύο στοιχείων που έρχονται σε επαφή.

Σε κάποιες περιπτώσεις μανδύων, όπως για παράδειγμα στις περιπτώσεις κατασκευής τοπικού μανδύα σε υποστυλώματα, συνίσταται η προσθήκη αναρτήρων ούτως ώστε το αξονικό φορτίο που καταπονεί τους υφιστάμενους οπλισμούς να μπορέσει να μεταφερθεί στους νέους.

Οι εγκάρσιοι οπλισμοί του μανδύα, προτείνεται να διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργούν πυκνώσεις στα κρίσιμα σημεία των διατομών. Το εμβαδόν οπλισμού και η απαιτούμενη απόσταση μεταξύ των συνδετήρων δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$\frac{A_{sw}}{a_{sw}} \geq \frac{t * f_{ctm}}{f_{ywd}}$$

$A_{sw}$  : το εμβαδόν της διατομής της ράβδου του συνδετήρα

$a_{sw}$  : η απόσταση των συνδετήρων

$f_{ywd}$  : το όριο διαρροής των συνδετήρων

$f_{ctm}$  : μέση εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος που σε αυτή την ανίσωση ισούται με το οριακό ποσοστό 95% της μέσης τιμής αξονικής εφελκυστικής αντοχής  $f_{ctk0,95} = 1.3 f_{ctm}$  .

### 4.3.3 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ

Η ενίσχυση των υποστυλωμάτων με τη μέθοδο της περίσφιξης αυξάνει σημαντικά την πλαστιμότητα και παράλληλα την αντοχή του σκυροδέματος. Αποτελεί ιδανική μέθοδος στις περιπτώσεις υφιστάμενων κτιρίων με υπερβολική δυσκαμψία, όπου τα υλικά περίσφιξης συμπληρώνουν στην ουσία τον εφελκυσμένο οπλισμό που χρειάζεται ο φορέας ώστε να αποκρίνεται με πιο πλαστικό τρόπο. Σε αντίθεση με τους μανδύες σκυροδέματος, δεν τροποποιούν την αρχιτεκτονική του δομήματος καθώς τα υλικά περίσφιξης δεν αυξάνουν

ιδιαίτερα τη διατομή των στοιχείων. Το σημαντικότερο όμως πλεονέκτημα που αποδίδει η μέθοδος περίσφιγξης, είναι η αύξηση της διατμητικής αντοχής των στοιχείων, γεγονός πολύ σημαντικό από άποψη μείωσης της πιθανότητας εμφάνισης ψαθυρών βλαβών. Αξίζει να αναφερθεί επίσης ότι η ενίσχυση των υποστυλωμάτων με σύνθετα υλικά μειώνει την πιθανότητα αστοχίας λόγω κακής συνάφειας των κατακόρυφων οπλισμών με την υπερκάλυψη.

Οι επιλογές ενίσχυσης με τη μέθοδο περίσφιγξης που διαθέτουμε είναι οι παρακάτω :

- Περίσφιγξη με μεταλλικά επικολητά ελάσματα
- Περίσφιγξη με σπειροειδή οπλισμό
- Περίσφιγξη με ολόσωμο μεταλλικό μανδύα
- Περίσφιγξη με μεταλλικό κλωβό
- Περίσφιγξη με χαλύβδινες λάμες
- Περίσφιγξη με ινοπλισμένα πολυμερή FRP

Τα ινοπλισμένα πολυμερή ή αλλιώς FRPs (Fiber Reinforced Polymer), αποτελούν την πιο διαδεδομένη και προτιμότερη διαδικασία περίσφιγξης. Πρόκειται για ιδιαιτέρως ανθεκτικά υλικά, αποτελούμενα από μία σύνθεση ινών γυαλιού ή άνθρακα με εποξειδική ρητίνη. Η διαδικασία εφαρμογής τους είναι αρκετά εύκολη και εύχρηστη, καθώς δεν επιβαρύνουν το στοιχείο με ιδιαίτερο βάρος. Διατίθενται είτε σε φύλλα δύσκαμπτου τύπου, είτε σε εύκαμπτα υφάσματα, και επιπλέον μπορούν να εφαρμοστούν είτε σε συγκεκριμένα σημεία του στοιχείου ή και καθολικά σε όλο το μήκος του. Η σωστότερη εφαρμογή τους επιτυγχάνεται περιτυλίγοντας το υλικό γύρω από το στοιχείο, με τη προϋπόθεση όμως ότι οι ίνες θα είναι προσανατολισμένες κάθετα στον άξονα του υποστυλώματος. Με αυτό τον τρόπο το υλικό αντιστέκεται στις τάσεις που δημιουργούνται κατά τη θλίψη.

#### 4.4 ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Κατά την αξιολόγηση μίας υφιστάμενης κατασκευής, ο μηχανικός ενδεχομένως να εντοπίσει βλάβες στα στοιχεία του φορέα της, είτε ελαφριάς είτε βαριάς μορφής. Σε αυτή την περίπτωση και αναλόγως την βαρύτητα της βλάβης, απαιτείται πέραν από ενίσχυση και η επισκευή των μελών που έχουν φθαρεί. Με την έννοια της επισκευής νοείται η επαναφορά των χαρακτηριστικών και μηχανικών ιδιοτήτων που διέθετε το στοιχείο στην προ βλαβών κατάσταση. Η μέθοδος επισκευής που θα ακολουθήσει ο μηχανικός κρίνεται από την

αξιολόγηση της βλάβης. Για ελαφριάς φύσεως βλάβες όπως επιφανειακές ρηγματώσεις ή αποφλοιώσεις του σκυροδέματος επιλέγεται συνήθως η επισκευή με ρητινενέσεις ή επισκευαστικά κονιάματα. Για σοβαρές βλάβες, όπως η αποδιοργάνωση του σκυροδέματος, λυγισμό του διαμήκη οπλισμού ή διάρρηξη των συνδετήρων, ακολουθεί η επέμβαση αποκατάστασης ίσης διατομής και συνήθως το στοιχείο ενισχύεται έπειτα με μανδύα ωπλισμένου σκυροδέματος (Δρίτσος, 2005).

#### **4.4.1 ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΜΕ ΡΗΤΙΝΕΝΕΣΕΙΣ**

Οι ρητινενέσεις εφαρμόζονται κυρίως για την αποκατάσταση των ρηγματώσεων. Πρόκειται για υλικά συγκόλλησης που προκύπτουν απ'τον συνδυασμό υγρού πολυμερές υλικού με σκληρυντή και τα επικρατέστερα είδη στην αγορά είναι οι εποξειδικές και οι πολυεστερικές ρητίνες. Η τεχνική των ρητινενέσεων χρησιμοποιείται ευρέως χάρη στα πλεονεκτήματα που διαθέτουν, καθώς γεμίζουν εις βάθος τα κενά των ρηγματώσεων, κατέχουν υψηλή εφελκυστική αντοχή και δεν φθείρονται ευκολά από περιβαλλοντικά αίτια ή από τον χρόνο. Η σημαντικότερη απαίτηση της τεχνικής αυτής είναι η σωστή εφαρμογή της στη περιοχή της ρωγμής και η τήρηση του απαιτούμενου χρόνου εργασιμότητας του υλικού πριν παρέμβουμε με οποιοδήποτε άλλο τρόπο στο στοιχείο. Οι υψηλές θερμοκρασίες αποτελούν τον μεγαλύτερο "εχθρό" των ρητινενέσεων. Συγκεκριμένα, όταν το υλικό υποβάλλεται σε θερμοκρασία άνω των 50°C, μειώνεται σημαντικά το μέτρο ελαστικότητας του, με αποτέλεσμα να δημιουργείται κακή συνεργασία με το σκυρόδεμα του στοιχείου.

#### **4.4.2 ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΜΕ ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ**

Τα επισκευαστικά κονιάματα χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που συναντάμε αποφλοίωση του σκυροδέματος. Διακρίνονται σε δύο είδη και επιλέγονται σύμφωνα με το μέγεθος της βλάβης. Όταν οι αποφλοιώσεις του σκυροδέματος είναι ελαφριές και με μικρό πάχος, προτιμάται η χρήση ρητινοκονιαμάτων (Δρίτσος, 2005). Στην περίπτωση όμως που το πάχος αποφλοίωσης είναι μεγάλο και μάλιστα η βλάβη εκτείνεται και πέραν από την περιοχή των συνδετήρων, προτιμάται η χρήση των τσιμεντοκονιαμάτων (Δρίτσος, 2005), εξαιτίας της υψηλής αντοχής που προσφέρουν.

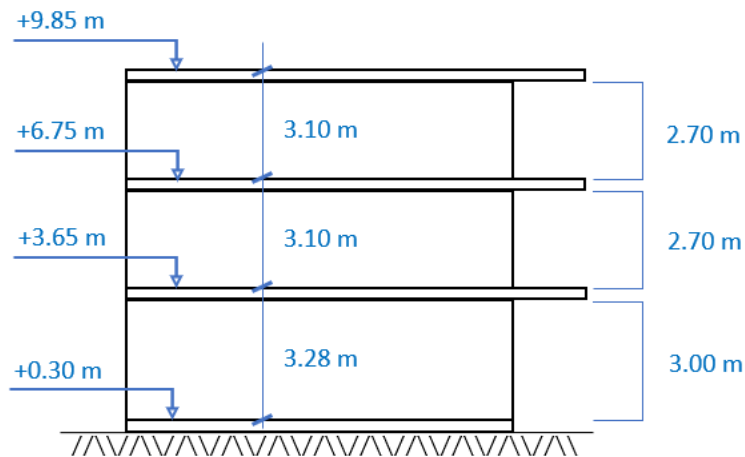
#### 4.4.3 ΤΟΠΙΚΕΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΙΣΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Οι επισκευές τέτοιου είδους εφαρμόζονται σε στοιχεία που έχουν υποστεί σοβαρές βλάβες με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος και διάρρηξη του οπλισμού. Το μέλος που φέρει τη βλάβη απογυμνώνεται από τα κατεστραμμένα του υλικά, δηλαδή από το σκυρόδεμα και τα χαλύβδινα στοιχεία που έχουν παραμορφωθεί. Η περιοχή αυτή χτίζεται εκ νέου με ειδικά πρόσμικτα ή ειδικές συνθέσεις σκυροδέματος και νέους οπλισμούς. Οι κόκκοι των αδρανών που επρόκειτο να χρησιμοποιηθούν για τη σύνθεση του σκυροδέματος απαιτείται να είναι ίσης διατομής με του προϋπάρχοντος. Βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή αυτής της τακτικής είναι η πλήρη αποφόρτιση των τμημάτων της κατασκευής επιβάλλουν φορτία στο στοιχείο που θέλουμε να επισκευάσουμε (Δρίτσος, 2005).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

### 5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Το υπό μελέτη κτίριο δομείται από τη θεμελίωση, το ισόγειο και δύο ορόφους, Α' και Β'. Η πρωταρχική μελέτη του κτιρίου πραγματοποιήθηκε το 1987 όπου έγινε η κατασκευή του ισογείου, του Α' ορόφου και του Β' ορόφου. Το μεικτό ύψος του ισογείου είναι 3.28 m ενώ των ορόφων Α' και Β' είναι 3.10 m. Η ανωδομή παρουσιάζει ομοιομορφία όσον αφορά τη γεωμετρία των ορόφων και των στοιχείων καθ' ύψος.

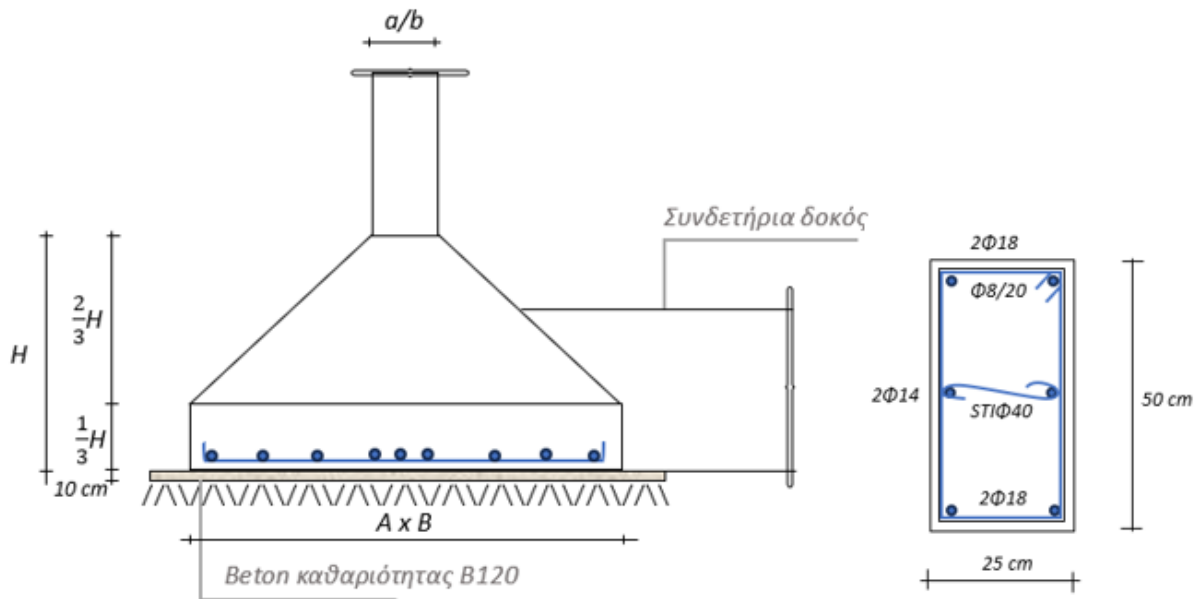


**Σχήμα 5.1** Όψη κτιρίου με τις στάθμες και τα ύψη ορόφων

Η θεμελίωση αποτελείται από 8 μεμονωμένα πέδιλα (4 κεντρικά και 4 έκκεντρα) δύσκαμπτου τύπου και συνδετήριες δοκούς. Η μελέτη έχει γίνει για επιτρεπόμενη τάση ίση με 18 kg/cm<sup>2</sup>.



2



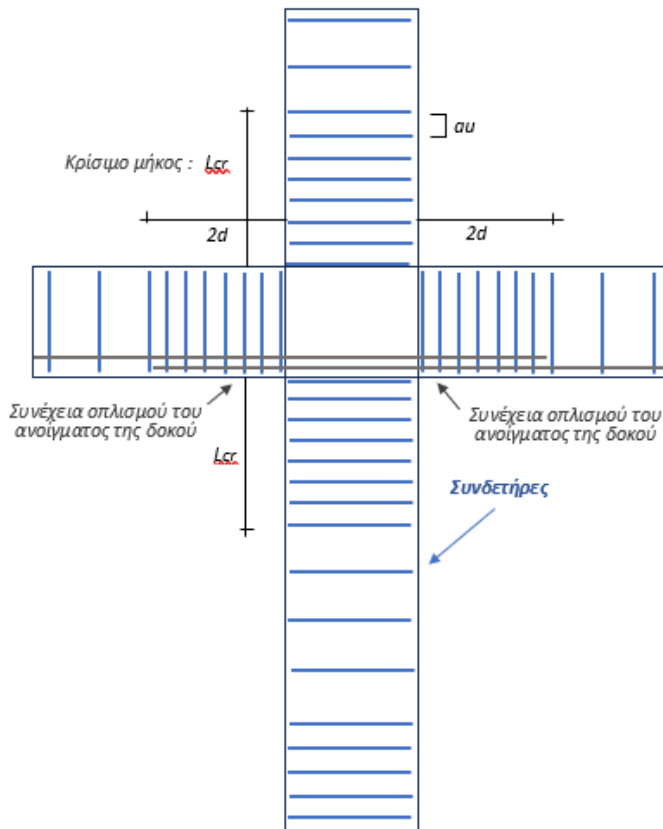
**Σχήμα 5.2** Αριστερά : Ένδειξη πέλδου σε τομή, Δεξιά : Ένδειξη συνδετήριας δοκού σε τομή

Οι δύο όροφοι καθώς και το ισόγειο αποτελούνται από δύο τετραέρειστες πλάκες Π1 και Π2 και τρεις αμφιέρειστες πλάκες που αποτελούν τους εξώστες. Σε κάθε όροφο παρεμβάλλει μία ενισχυμένη ζώνη με εσωτερικό διαμήκη και εγκάρσιο ωπλισμό, εμφυτευμένη μεταξύ των δύο πλακών Π1 και Π2. Το πάχος των δύο τετραέρειστων πλακών είναι ίσο με 27 cm ενώ των αμφιέρειστων πλακών είναι ίσο με 29 cm. Όλες οι πλάκες είναι τύπου Zoellner (πλάκες με νευρώσεις), με κενά πάχους 50 cm και συμπαγείς ζώνες πάχους 15 cm. Διαθέτουν οπλισμό και στις δύο διευθύνσεις.

Οι δοκοί οπλίζονται κυρίως στο κάτω πέλμα, εξαιρουμένης της δοκού στην ενισχυμένη ζώνη η οποία διαθέτει οπλισμό και στο άνω και στο κάτω πέλμα. Ο οπλισμός που αναγράφεται σε κάθε δοκό είναι καμπτόμενος κατά το ήμισυ του συνόλου των ράβδων. Στις δοκούς όπου το σύνολο των ράβδων είναι περιττός αριθμός, κάμπτεται μία επιπλέον ράβδος. Οι καμπτόμενοι οπλισμοί προχωρούν στα εκατέρωθεν συνεχόμενα ανοίγματα σε μήκος  $L_1 = 0.3L$ , όπου  $L$  το θεωρητικό μήκος του ανοίγματος μέσα στο οποίο κάμπτονται οι οπλισμοί. Το υπόλοιπο μισό του μη καμπτόμενου οπλισμού προεκτείνεται κατά  $2d$  (όπου  $d$  το ύψος της δοκού) από την παρειά του υποστυλώματος έως το γειτονικό άνοιγμα. Σε συγκεκριμένες δοκούς έχει προστεθεί οπλισμός montage (διακρίνεται με το σύμβολο  $m$ ) στο άνω πέλμα, διατομής 2Φ12 κατ' ελάχιστον, αγκυρούμενος στις ακραίες στηρίξεις.

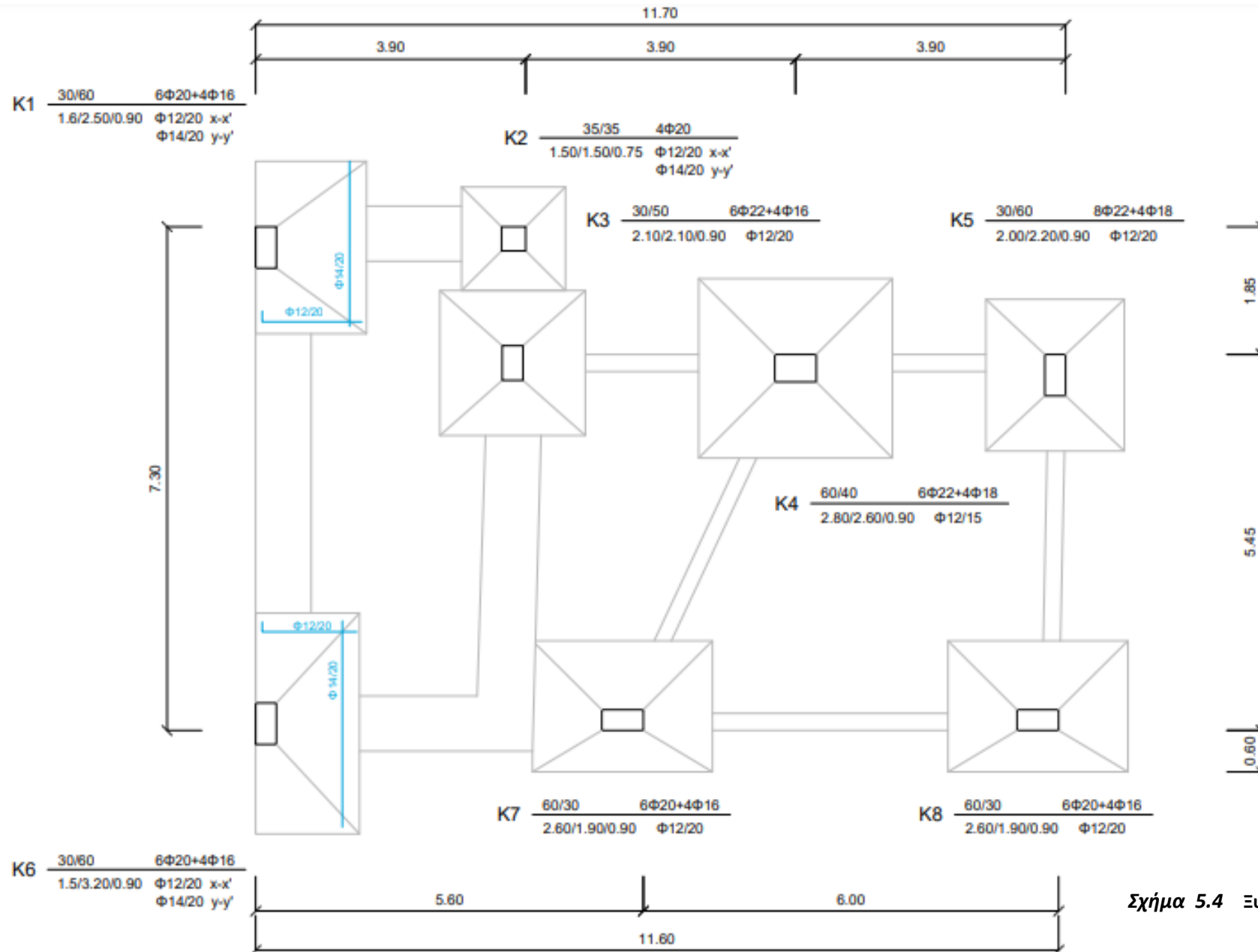
Τα υποστυλώματα παρουσιάζουν μία ανομοιομορφία καθ' ύψος, με τη διατομή τους να μικραίνει στους δύο τελευταίους ορόφους σε σύγκριση με το ισόγειο. Οι συνδετήρες παρουσιάζουν πυκνώσεις στις παρειές και στα κρίσιμα μήκη. Σε μήκος  $2d$  εκατέρωθεν των παρειών των υποστυλωμάτων, διατάσσονται κλειστοί συνδετήρες σε απόσταση μικρότερη

από  $d/3$ . Εάν υπάρχει θλιβόμενος οπλισμός, η πύκνωση αυτών των συνδετήρων συνεχίζεται έως το σημείο που τελειώνει ο θλιβόμενος οπλισμός.

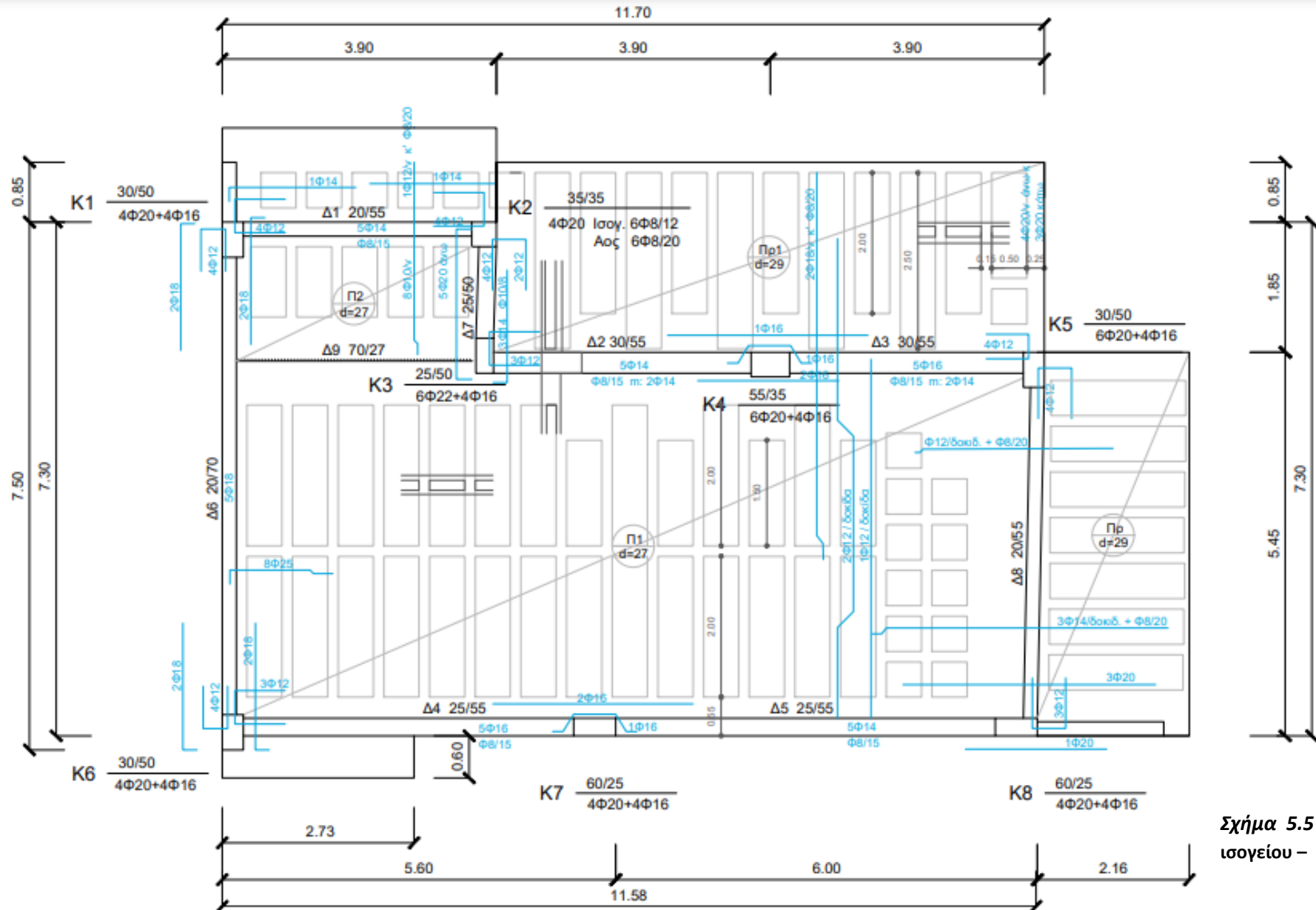


**Σχήμα 5.3** Κατανομή των συνδετήρων σε δοκούς και υποστυλώματα

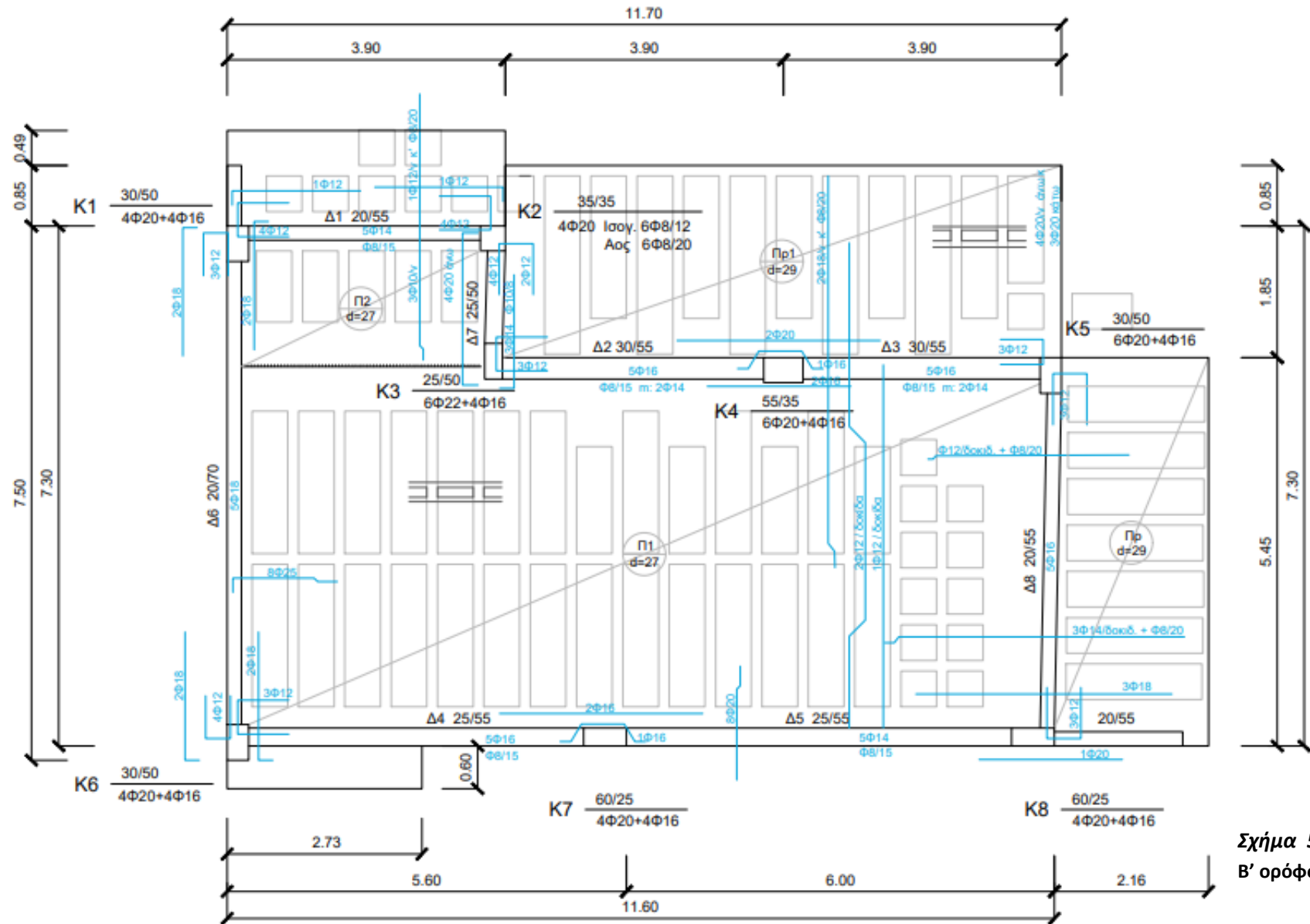
### 5.1.1 ΞΥΛΟΥΠΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ



Σχήμα 5.4 Ξυλότυπος θεμελίου



Σχήμα 5.5 Ξυλότυπος  
ισογείου – Α' ορόφου



Σχήμα 5.6 Ξυλότυπος Β' ορόφου

## 5.1.2 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

### Μόνιμα

- Ωπλισμένου σκυροδεματος :  $2400 \text{ kg/m}^3$
- Επικάλυψη δαπέδων με πλακάκια :  $1.10 \text{ kg/m}^2$
- Μπατική τοιχοποιία :  $3.20 \text{ kg/m}^2$

### Κινητά

- Κινητό φορτίο δοπέδων :  $2.00 \text{ kg/m}^2$
- Κινητό φορτίο εξωστών :  $5.00 \text{ kg/m}^2$

### ΥΛΙΚΑ

- Σκυρόδεμα B225 με  $f_{ck} = 18 \text{ MPa}$ , σύμφωνα με τις επιτρεπόμενες τάσεις κατά παλαιό κανονισμό<sup>1</sup> .  $80 \text{ kg/cm}^2$  στις πλάκες και  $70 - 80 \text{ kg/cm}^2$  στις δοκούς αντίστοιχα για άνοιγμα και στήριξη.
- Νευροχάλυβας STIII γενικά, με τάση  $2200 \text{ kg/cm}^2$
- Λείος χάλυβας STI για τους συνδετήρες, με τάση  $1400 \text{ kg/cm}^2$

### ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ

- Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας : Κατηγορία I με  $\alpha = 0.16$
- Σεισμικός συντελεστής  $\varepsilon = 0.06$
- Προσαύξηση στο ισόγειο

### ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

- Σπουδαιότητα κτιρίου : II
- Συντελεστής σπουδαιότητας :  $\gamma_i = 1.00$
- Κατηγορία εδάφους : B

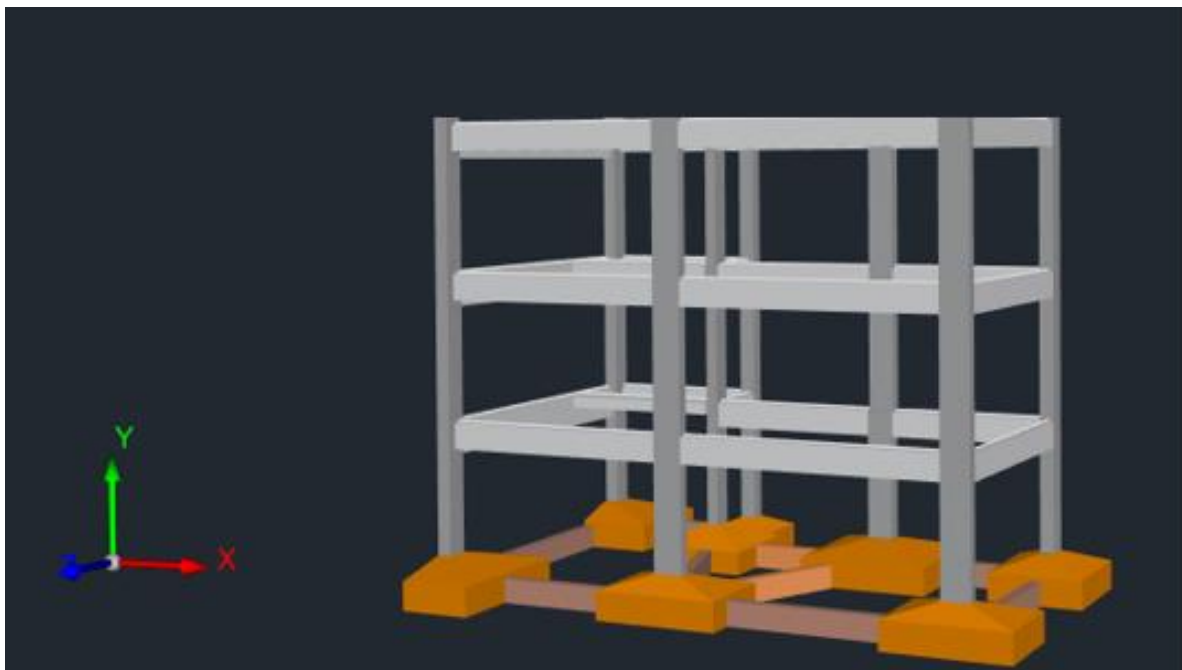
---

<sup>1</sup> [ΦΕΚ 160Α 26/07/1954](#)

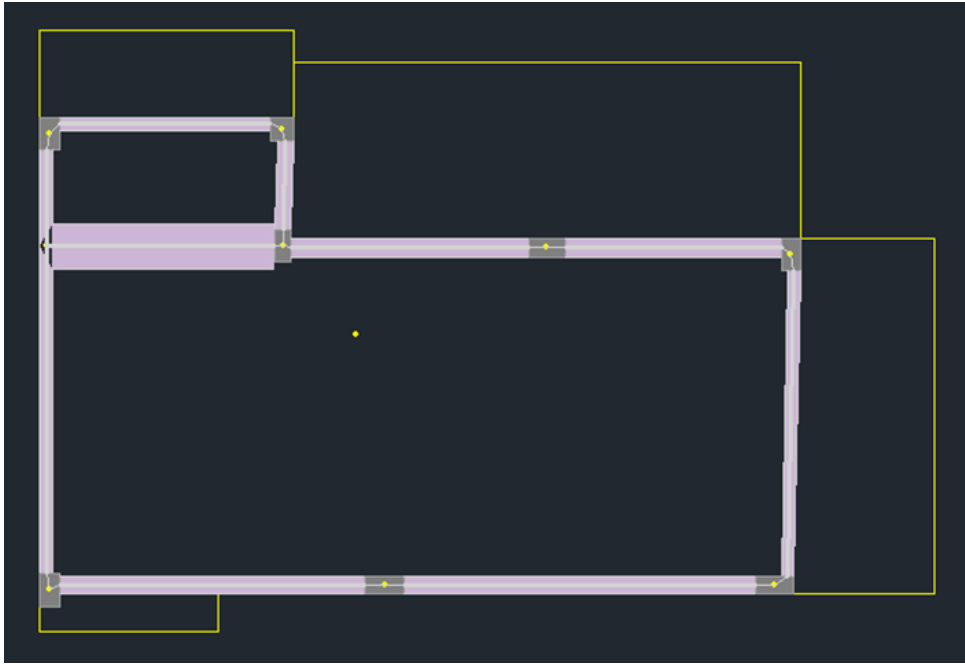
## 5.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η μελέτη της κατασκευής είναι απαραίτητο να προσομοιωθεί το κτίριο σε κατάλληλο στατικό περιβάλλον. Κατά την εκκίνηση ενός νέου αρχείου στο πρόγραμμα, θα πρέπει να δηλώσουμε τις γενικές παραμέτρους που αφορούν τον κανονισμό, τις ποιότητες των υλικών και τους συντελεστές ασφαλείας γ. Στην δική μας περίπτωση το κτίριο έχει κατασκευαστεί με παλαιά υλικά, B225 για σκυρόδεμα και STI/STIII για χάλυβα, τα οποία δεν μπορούμε να εισάγουμε στο πρόγραμμα. Θα πρέπει να αντικατασταθούν με νεότερα υλικά, άρα δηλώνουμε C16/20 για σκυρόδεμα και B500C για χάλυβα.

Για να γίνει η προσομοίωση του φορέα, θα πρέπει πρωτίστως να διαθέτουμε τις κατόψεις σε αρχεία τύπου .dwg, τα οποία εισάγουμε στο πρόγραμμα. Με αυτό το τρόπο σε κάθε στάθμη θα αποτυπώνεται και η σχετική κάτοψη. Στη συνέχεια το πρόγραμμα θα κάνει αυτόματη αναγνώριση διατομών μέσω των κατόψεων και θα κτίσει το φυσικό μοντέλο του κτιρίου. Έπειτα μπορούμε να τροποποιήσουμε τις διατομές μέσω των εργαλείων της μοντελοποίησης.

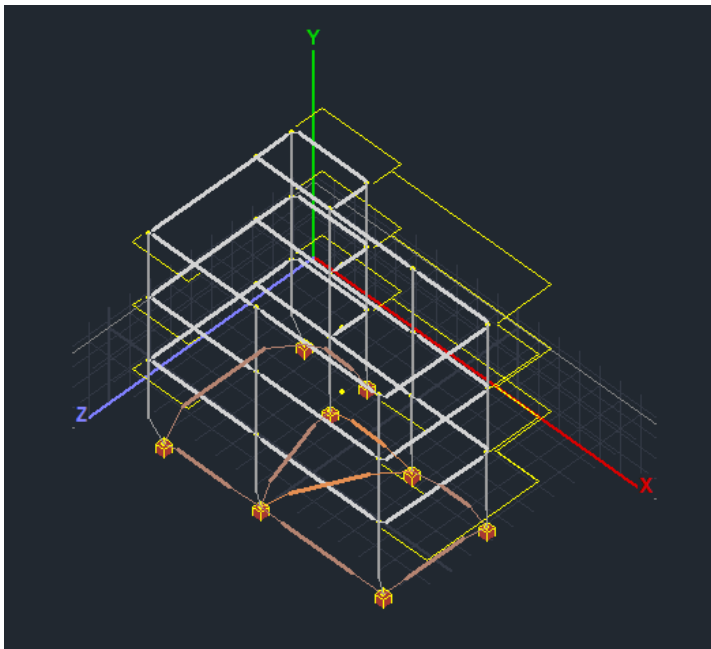


Σχήμα 5.7 Τρισδιάστατη απεικόνιση του υφιστάμενου φορέα



**Σχήμα 5.8** Υφιστάμενος φορέας σε κάτοψη

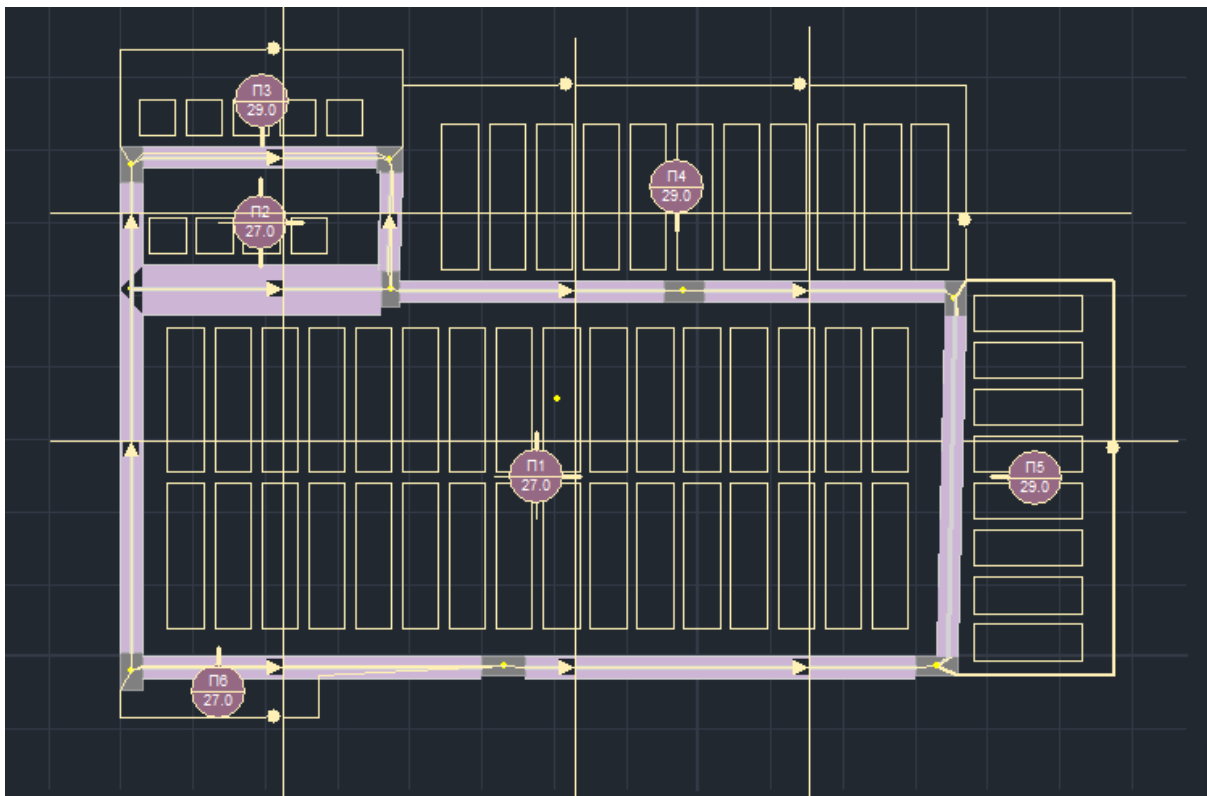
Το προσομοίωμα του κτιρίου δεν είναι ακόμα έτοιμο, διότι το φυσικό μοντέλο αναπαριστά μόνο την υλική οντότητα του κτιρίου, δηλαδή τα χαρακτηριστικά των διατομών του. Θα πρέπει να δημιουργήσουμε και το μαθηματικό μοντέλο, το οποίο θα συνδέσει τα μέλη μεταξύ τους και θα μας επιτρέψει να αποδώσουμε σε αυτά αδρανειακές ιδιότητες.



**Σχήμα 5.9** Μαθηματικό μοντέλο υφιστάμενου φορέα



Στη συνέχεια προσθέτουμε στο προσομοίωμα τις πλάκες ανά όροφο, δηλώνοντας το είδος τους (Zoellner), το πάχος της πλάκας, τις συμπαγείς ζώνες και τις διαστάσεις των κενών και των διαδοκίδων ανά διεύθυνση. Επίσης με την εντολή "Συνθήκες στήριξης", δηλώνουμε στο πρόγραμμα την κάθε πλευρά της πλάκας ως πάκτωση ή αρθρωση ή ελεύθερο άκρο (πρόβολος). Αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό βήμα καθώς πάνω στις πλάκες θα εισάγουμε μόνιμα και κινητά φορτία, τα οποία θα αποδοθούν στα υπόλοιπα μέλη του φορέα και στους κόμβους. Τέλος, τοποθετούμε τις τομές κατά χ'χ και ζ'ζ, προκειμένου να διαστασιολογήσει το πρόγραμμα τον απαιτούμενο σπλισμό των πλακών και να υπολογίσει τα σχετικά διαγράμματα.



**Σχήμα 5.10** Κάτοψη του υφιστάμενου φορέα με τις πλάκες και τις τομές χ'χ και ζ'ζ.

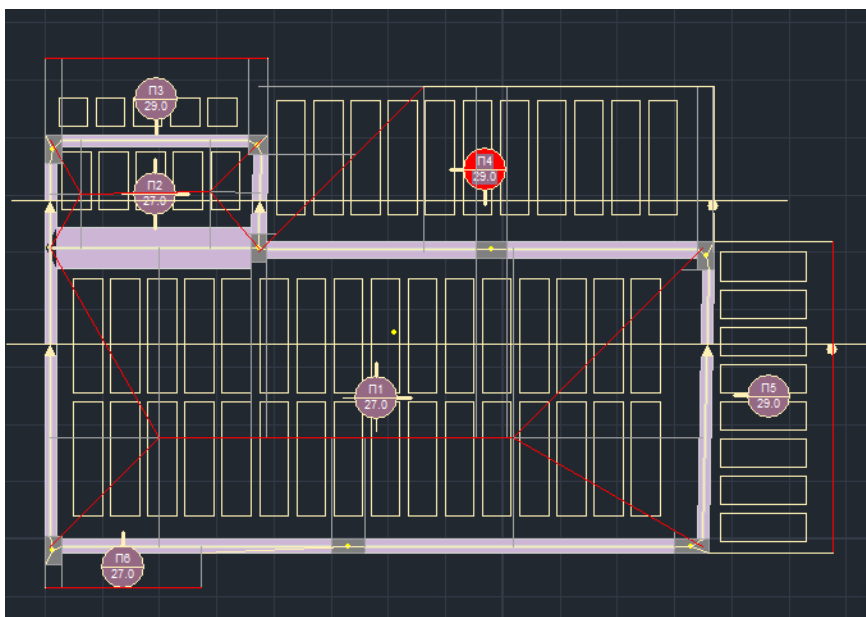
Ακολουθεί η απόδοση των φορτίων στις πλάκες με την εντολή "Εισαγωγή" από την ενότητα "Φορτία πλακών", όπου για κάθε πλάκα δηλώνουμε το είδος της φόρτισης (μόνιμα ή κινητά), τον τύπο του φορτίου (Ομοιόμορφο, τμηματικό, γραμμικό) και την τιμή του σε  $\text{kN/m}^2$ . Αποδίδουμε επομένως  $2.50 \text{ kN/m}^2$  μόνιμα φορτία και  $2 \text{ kN/m}^2$  κινητά φορτία στις δύο εσωτερικές πλάκες Π1, Π2 και στην Π6, ενώ στις πλάκες Π3, Π4, Π5 που αποτελούν τους εξώστες αποδίδουμε  $5 \text{ kN/m}^2$  μόνιμα φορτία και  $2 \text{ kN/m}^2$  κινητά φορτία. Στην ταράτσα, αποδίδουμε μόνιμο φορτίο ίσο με  $3.50 \text{ kN/m}^2$  διότι συμπεριλαμβάνεται και η μόνωση. Το

ιδίον βάρος των στοιχείων του φορέα και των πλακών υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα και συμπεριλαμβάνεται στα μόνιμα φορτία.

Στην ενότητα “Φορτία μελών” με την εντολή “Επεξεργασία”, εισάγουμε στα μέλη που επιθυμούμε επιπρόσθετα φορτία γραμμικού τύπου (kN/m). Περιμετρικά των πλακών Π1, Π2 θα προσθέσουμε φορτίο μπατικής τοιχοποιίας με τιμή 3.20 kN/m<sup>2</sup> και ύψος 2.50 m (χωρίς την κρέμαση του δοκαριού), ενώ στους εξώστες και στην ταράτσα θα προστεθεί φορτίο 3.10 kN/m<sup>2</sup> που θα αντιπροσωπεύει αυτό των στηθαίων.

Ιδιότητα Φορτίου			
Τύπος	Είδος		
Μέλος	Ομοιόμορφα κατανεμημένα φορτία		
Περιγραφή	ΜΠΑΤΙΚΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ		
Τιμή i (kN/m)	8.10	Τιμή j (kN/m)	0
Αποστ. i (cm)	0	Αποστ. j (cm)	0
Γωνία	0		
Εφαρμογή σε	Τοπικό xy	Προκαθορισμένο Φορτίο	

Εφόσον έχουμε δηλώσει όλα τα φορτία στην πλάκες και στα λοιπά μέλη, εφαρμόζουμε τις γραμμές διαρροής στις πλάκες. Με την εντολή αυτή θα γίνει ο γεωμετρικός μερισμός της επιφάνειας τους, ούτως ώστε να ληφθεί η σωστή ποσότητα των φορτίων των πλακών από το κάθε μέλος που τη στηρίζει. Η απόδοση των φορτίων γίνεται με την εντολή “Απόδοση αντιδράσεων”, όπου τα φορτία μεταφέρονται στους κόμβους και στα μέλη του φορέα.



Σχήμα 5.11 Απεικόνιση γραμμών διαρροής

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΦΟΡΕΑ

### 6.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Έπειτα από την ολοκλήρωση της διαδικασίας της μοντελοποίησης, εφαρμόζουμε το επόμενο βήμα που είναι η δημιουργία σεναρίων ανάλυσης, σύμφωνα με τον κανονισμό που έχουμε πρωτίστως ορίσει στις γενικές παραμέτρους.

Η αρχική ανάλυση που πρέπει να εκτελέσουμε είναι είτε ένα σενάριο στατικής ανάλυσης, ή ένα σενάριο δυναμικής, τα οποία θα μας δημιουργήσουν τους απαραίτητους συνδυασμούς δυνάμεων. Επιλέγουμε επομένως να εκτελέσουμε το σενάριο "EC8 Greek Static", το οποίο ακολουθεί τους κανονισμούς του Ευρωκώδικα 8 και του Ελληνικού Προσαρτήματος.

#### 6.1.1 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

Ακολουθεί η διαστασιολόγηση των οπλισμών των μελών σύμφωνα με το σενάριο του Ευρωκώδικα 2, αφού πρώτα έχουμε τροποποιήσει τις χαρακτηριστικές αντοχές των παλαιών υλικών με τις αντίστοιχες που ορίζει το παράρτημα 3.1 του ΚΑΝ.ΕΠΕ (Πίνακας 6.1). Το υπό μελέτη κτίριο κατασκευάστηκε το 1987, και με βάση το τεύχος μελέτης έχει χρησιμοποιηθεί χάλυβας ποιότητας STIII για τον οπλισμό των στοιχείων γενικά, και STI για τους εγκάρσιους οπλισμούς.

**Πίνακας 6.1** Ερήμην αντιπροσωπευτικές τιμές αντοχής υλικών (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022)

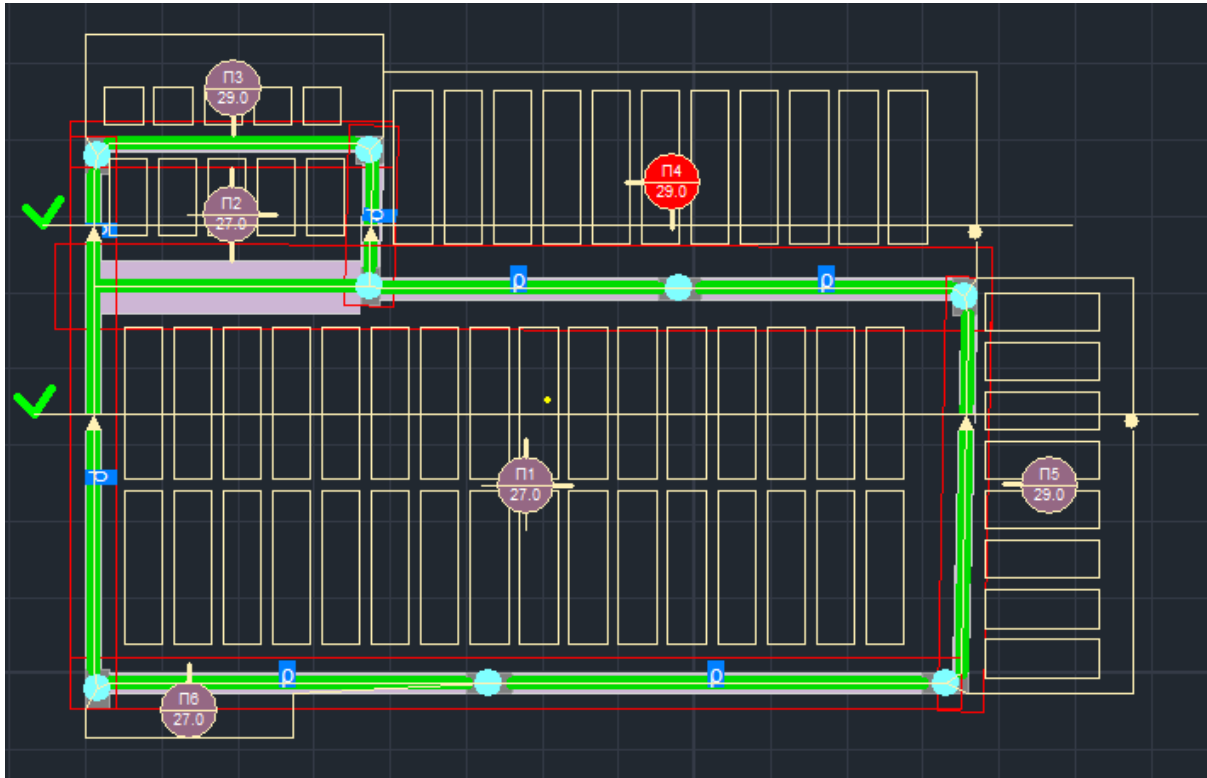
Εφαρμοσθέντες Κανονισμοί Μελέτης και Κατασκευής	«Ονομαστική» Μέση τιμή $f_{cm}$ (MPa)	«Χαρακτηριστική» Μέση τιμή μείον μία τυπική απόκλιση $f_{ct}$ (MPa)
...<1985	13	9
1985≤...	17	13

Κατηγορία Χάλυβα Οπλισμού	«Ονομαστική» Μέση τιμή $f_{ym}$ (MPa)	«Χαρακτηριστική» Μέση τιμή μείον μία τυπική απόκλιση $f_{yk}$ (MPa)
S220 & Stahl I	280	240
S400 & Stahl III	450	410
S500 & Stahl IV	520	500

Σύμφωνα με τις παραπάνω ερήμην τιμές, συμπληρώνουμε στις παραμέτρους σκυροδέματος  $F_{cm} = 13 \text{ MPa}$  και  $F_{ck} = 9 \text{ MPa}$ , στις παραμέτρους του χάλυβα θα συμπληρώσουμε  $F_{ym} = 450 \text{ MPa}$  και  $F_{yk} = 410 \text{ MPa}$ , και αντίστοιχα στους συνδετήρες  $F_{ym} = 280 \text{ MPa}$  και  $F_{yk} = 240 \text{ MPa}$ .

Στις παραμέτρους των Δομικών Στοιχείων επιλέγουμε “Υφιστάμενο ενεργό υλικό διαστασιολόγησης” και εκτελούμε την εντολή “Αυτόματη διαστασιολόγηση μελέτης”, όπου θα γίνει μία αρχική διαστασιολόγηση για να αποδώσει το πρόγραμμα τους οπλισμούς στα στοιχεία του φορέα. Το αποτέλεσμα θα είναι το παρακάτω, σε όλες τις στάθμες που έχουμε ορίσει.



Σχήμα 6.1 Διαστασιολόγηση των μελών του φορέα

Το πράσινο χρώμα στις δοκούς και ο γαλάζιος κύκλος στα υποστυλώματα υποδηλώνει ότι το πρόγραμμα απέδωσε οπλισμούς στο εκάστοτε στοιχείο χωρίς αυτό να έχει αστοχήσει. Ωστόσο, οι οπλισμοί που διαθέτουν τα στοιχεία δεν αντιπροσωπεύουν τους πραγματικούς οπλισμούς της κατασκευής και θα πρέπει να τους τροποποιήσουμε με βάση τους ξυλότυπους της τελευταίας μελέτης. Αυτό θα πραγματοποιηθεί με την εντολή “Λεπτομέρειες οπλισμών”, όπου μπορούμε να δούμε λεπτομερώς τον οπλισμό των στοιχείων και να τον τροποποιήσουμε.

Αφού διορθώσουμε όλους τους οπλισμούς των στοιχείων, θα κάνουμε έναν “Επανυπολογισμό μεγεθών ΚΑΝ.ΕΠΕ.”, διότι θα πρέπει το πρόγραμμα να υπολογίσει τα νέα διαγράμματα αλληλεπίδρασης των εντατικών δυνάμεων που προκύπτουν από το νέο

ποσοστό των οπλισμών. Το αποτέλεσμα ενδέχεται να διαφέρει από το αρχικό και κάποια από τα στοιχεία να έχουν αστοχήσει, είτε από ελλειπή οπλισμό, είτε από κάμψη, είτε από διάτμηση.

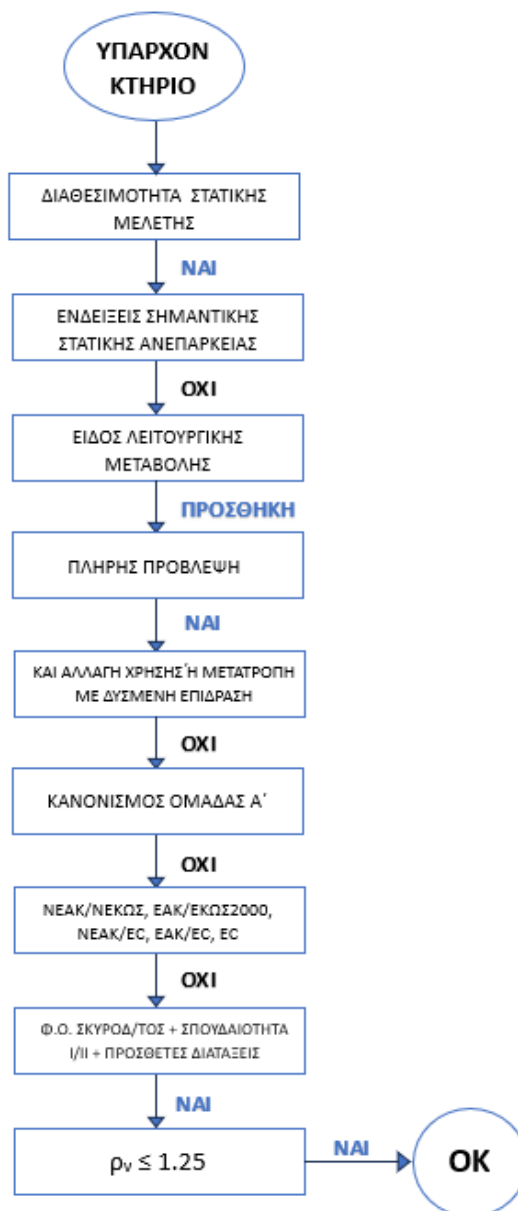
Τέλος, θα εκτελέσουμε το σενάριο “EC8 – Greek Προέλεγχος Static”, το οποίο θα πραγματοποιήσει μία προκαταρκτική διαδικασία ελαστικών αναλύσεων, με σκοπό να υπολογιστούν οι δείκτες ανεπάρκειας  $\lambda$  (KAN.ΕΠΕ. § 5.5.1.1.). Η ανάλυση αυτή θα μας αποφέρει μία πρώτη εικόνα της σεισμικής επάρκειας του κτιρίου και της μορφολογικής του κανονικότητας. Αναλόγως με το αν ικανοποιείται ή όχι ο κρίσιμος δείκτης ανεπάρκειας του κάθε ορόφου, θα καθοριστεί εάν το κτίριο θα πρέπει να υποβληθεί σε ελαστική ή σε ανελαστική ανάλυση. Γενικά θα πρέπει να ισχύει ότι  $\lambda \leq 2.5$ . Παρακάτω βλέπουμε ότι ο έλεγχος δεν ικανοποιείται και συνεπώς θα πρέπει να προχωρήσουμε την ανάλυση με την ανελαστική μέθοδο.

**Πίνακας 6.2** Αποτελέσματα στατικού ελαστικού προελέγχου – Κρίσιμοι δείκτες ανεπάρκειας  $\lambda$ .

Κρίσιμοι Δείκτες Ανεπάρκειας $\lambda$ δομικών στοιχείων										(& 5.5.2α (i) ΚΑΝ.ΕΠΕ)				
α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Δοκοί				Υποστυλώματα				Σύνολο				
		$\lambda \leq 2.5$		$\lambda > 2.5$		$\lambda \leq 2.5$		$\lambda > 2.5$		$\lambda \leq 2.5$		$\lambda > 2.5$		
0	0.000	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	
1	3.650	1	3%	9	30%	0	0%	8	33%	1	2%	17	31%	
2	6.750	1	3%	9	30%	0	0%	8	33%	1	2%	17	31%	
3	9.850	9	30%	1	3%	2	8%	6	25%	11	20%	7	13%	
ΣΥΝΟΛΟ		11	37%	19	63%	2	8%	22	92%	13	24%	41	76%	
ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Για όλα τα στοιχεία πρέπει $\lambda \leq 2.5$ .										Ο έλεγχος :			Δεν Ικανοποιείτ.	
Εάν $\lambda > 2.5$ το κτίριο πρέπει να είναι μορφολογικά κανονικό.														

### 6.1.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΑΛΛΑΓΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ

Πριν προχωρήσουμε στην διαδικασία της αποτίμησης, θα πρέπει να εξετάσουμε εάν το κτίριο μας πληροί τις προϋποθέσεις απαλλαγής ελέγχου επάρκειας προ της προσθήκης των δύο ορόφων. Η διαδικασία αυτή θα γίνει με τη βοήθεια του σεναρίου ανάλυσης “Seismic – E.A.K.”. Σύμφωνα με το [ΦΕΚ/350 2016](#), τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσουμε είναι τα εξής:



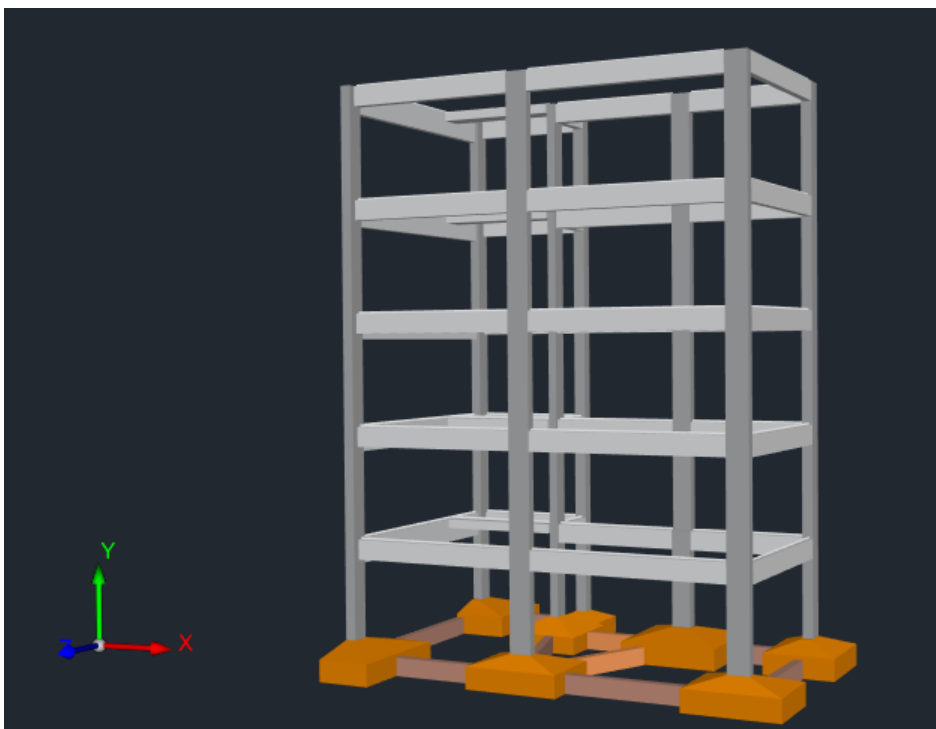
**Σχήμα 6.2** Διάγραμμα ροής για τη διερεύνηση δυνατότητας απαλλαγής ελέγχου γενικής ισχύος.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την διερεύνηση αυτή είναι η στατική μελέτη του κτιρίου να περιλαμβάνει την πλήρη πρόβλεψη των ορόφων που θέλουμε να προσθέσουμε. Με βάση το τεύχος της μελέτης, περιλαμβάνεται η πρόβλεψη και των δύο ορόφων.

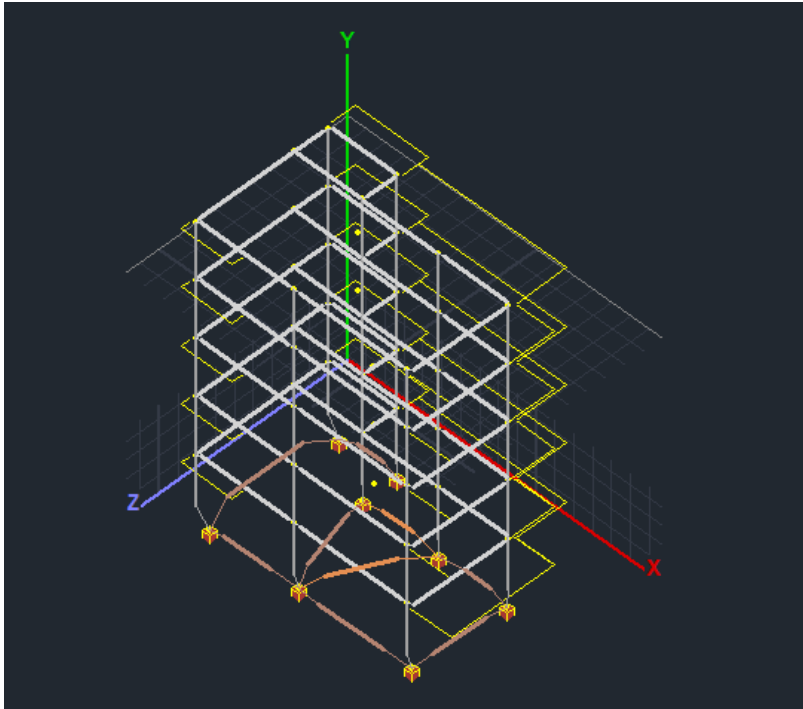
Δημιουργούμε το σενάριο “Seismic – Ε.Α.Κ.” με τύπο του σεναρίου “παλιός κανονισμός”, και εκτελούμε το σενάριο. Στη συνέχεια, θα πρέπει να προσθέσουμε τους ορόφους προσθήκης στο υπάρχον προσομοίωμα και να επαναλάβουμε τις διαδικασίες όπως είχαμε

κάνει και στη προετοιμασία του υφιστάμενου τμήματος (μοντελοποίηση, εισαγωγή φορτίων, εισαγωγή οπλισμών).

Η γεωμετρία των δύο νέων ορόφων θα ακολουθήσει αυτή των υφιστάμενων, χωρίς περαιτέρω προσθήκες μελών, με τη μόνη διαφορά ότι θα αυξήσουμε το πάχος των δοκών από 20cm σε 30cm για να έχουμε καλύτερη κατανομή του οπλισμού και επαρκής επικάλυψη. Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι νέας ποιότητας καθώς τα νέα τμήματα του κτιρίου θα διαστασιολογηθούν σύμφωνα με τους νέους κανονισμούς EC2 και EC8. Έτσι δηλώνεται ποιότητα C20/25 για το σκυρόδεμα και B500C για τον χάλυβα οπλισμού και για τους συνδετήρες, καθώς τα νέα τμήματα.

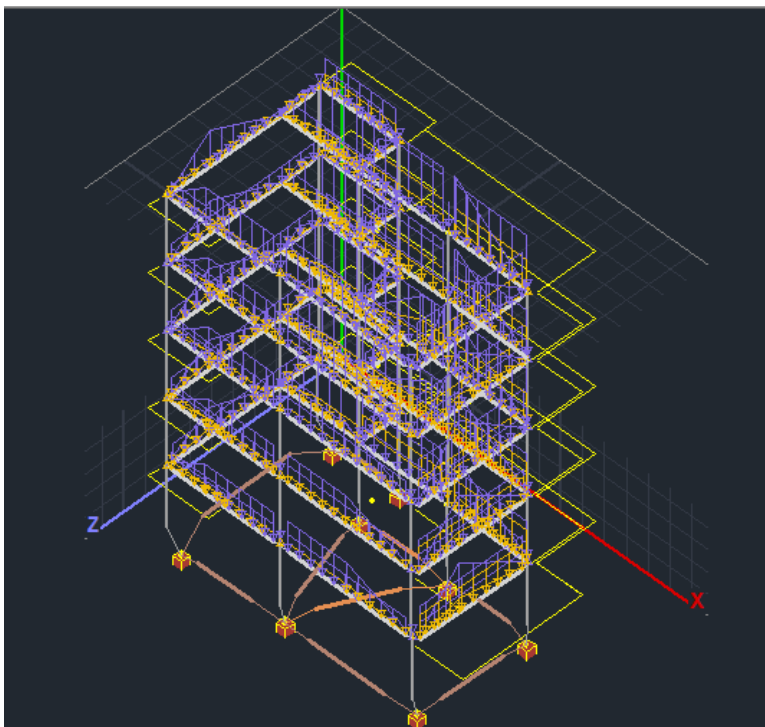


**Σχήμα 6.3** Τρισδιάστατη απεικόνιση του φορέα με τη προσθήκη



**Σχήμα 6.4** Μαθηματικό μοντέλο του φορέα με τη προσθήκη

Η εισαγωγή και κατανομή φορτίων στους νέους ορόφους γίνεται με παρόμοιο τρόπο, όπως έχει προαναφερθεί στο κεφάλαιο του υφιστάμενου κτίσματος.



**Σχήμα 6.5** Απόδοση μόνιμων και κινητών φορτίων στα μέλη του φορέα



Τέλος κάνουμε την διαστασιολόγηση των δύο νέων ορόφων έχοντας ορίσει τις σωστές κατηγορίες των υλικών και έπειτα θα πρέπει να υπολογίσουμε ξανά τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης ροπών – αξονικής με την εντολή “Υπολογισμός αντοχών”.

Δημιουργούμε ένα νέο σενάριο ανάλυσης “EC8 – Greek\_Static” το οποίο θα συμπεριλάβει στην ανάλυση το υφιστάμενο κτίριο μαζί με τους ορόφους προσθήκης. Επιπλέον στις παραμέτρους του σεναρίου αυτού, στην επιλογή “Κριτήρια απαλλαγής στατικής επάρκειας” μπορούμε να εισάγουμε τις πληροφορίες που χρειάζεται το πρόγραμμα για την πραγματοποίηση των απαραίτητων ελέγχων απαλλαγής που θα φανούν στα αποτελέσματα.

Στο είδος επέμβασης επιλέγουμε προσθήκη. Οι κατηγορίες του κτιρίου χωρίζονται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 6.3** Κατηγορίες κτιρίων σύμφωνα με το ΦΕΚ 350/17-2-2016. (Δρίτσος)

Κατηγορίες Κτιρίων	
Κατηγορία 1	Κτίρια που έχουν μελετηθεί με βάση τους Κανονισμούς της Ομάδας Α, έτσι όπως ισχύουν σήμερα
Κατηγορία 2	Κτίρια που έχουν μελετηθεί με βάση ΝΕΑΚ/ΝΕΚΩΣ (1992), ΕΑΚ/ΕΚΩΣ (2000) EN1998-1, EN1992-1-1, EN1993-1-1, EN1994-1-1, EN1995, EN1996
Κατηγορία 3	Κτίρια που έχουν μελετηθεί με τις “Πρόσθετες Διατάξεις του 1984”, από Οπλισμένο Σκυρόδεμα και κατηγορίας σπουδαιότητας I ή II.
Κατηγορία 4	Οποιοδήποτε κτίριο

Επιλέγουμε την κατηγορία 3, καθότι σύμφωνα με το τεύχος το κτίριο έχει μελετηθεί ακολουθώντας τις πρόσθετες διατάξεις του 1984, είναι κατασκευή από ωπλισμένο σκυρόδεμα και επιπλέον συγκαταλέγεται στην κατηγορία σπουδαιότητας II αφού είναι κατοικία.

Στο σενάριο ανάλυσης επιλέγουμε το σενάριο ‘Seismic – E.A.K.’ για να συμπληρωθούν από το σενάριο αυτό η υπολογισμένη τέμνουσα βάση, η σπουδαιότητα και η εδαφική επιτάχυνση. Στα αποτελέσματα που λαμβάνουμε από την εκτέλεση του σεναρίου, περιλαμβάνονται και οι παρακάτω πίνακες, όπου παρατηρούμε ότι ισχύει η παραδοχή  $\rho_v \leq 1.25$ .

**Πίνακας 6.4** Αποτελέσματα σεναρίου δυνατότητας απαλλαγής ελέγχου γενικής ισχύος

Στοιχεία Αρχικής Μελέτης					EC-8_Greek Static (0)		
Σπουδαιότητα	$\gamma_i$	$\alpha$	$a_{g,ex}$ (m/sec <sup>2</sup> )	$a_{g,ez}$ (m/sec <sup>2</sup> )	$V_{e,ux}$ (kN)	$V_{e,uz}$ (kN)	
Σ2	1.00	0.16	3.4563	3.4563	2008.65	2008.65	
Στοιχεία Παρούσας Μελέτης					EC-8_Greek Static (0)		
	$\gamma_i$	$\alpha$	$a_{g,nx}$ (m/sec <sup>2</sup> )	$a_{g,nz}$ (m/sec <sup>2</sup> )	$V_{n,ux}$ (kN)	$V_{n,uz}$ (kN)	
---	1.00	0.16	3.4563	3.4563	2100.31	2100.31	
	$\rho_{ag,n/ag,\varepsilon}$	$\rho_a$	$\rho/\rho_a$	$\rho_v$ $V_n/V_{e,u}$	$\rho_a$	$\rho_v/\rho_a$	
X				0.60	1.25	0.48	Απαλλάσσεται
Z				0.60	1.25	0.48	Απαλλάσσεται

### 6.1.3 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Πλέον το προσομοίωμα μας είναι ολοκληρωμένο και θα πρέπει να επιβληθεί σε οριζόντια φόρτιση για να εκτιμήσουμε ποια στοιχεία του φορέα θα χρειαστούν ενίσχυση. Η διαδικασία μη – γραμμικής στατικής ανάλυσης (Pushover), θα κατανείμει οριζόντια φορτία στον φορέα με τρόπο ανάλογο ώστε να παραπέμπει σε σεισμική διέγερση. Η ανάλυση παρουσιάζεται από μία σειρά βημάτων, όπου τα φορτία θα αυξάνονται μονότονα έως ότου κάποιο μέλος διαρρέυσει και σχηματίσει πλαστική άρθρωση. Σε κάθε τέτοια περίπτωση, το προσομοίωμα τροποποιείται, η φόρτιση επαυξάνεται και τα βήματα συνεχίζουν έως ότου επέλθει η ολική κατάρρευση του κτιρίου, που θα αποτελεί και το τελευταίο βήμα της ανάλυσης.

Δημιουργούμε ένα σενάριο “EC8 - Greek Ανελαστική ” και τροποποιούμε τις παραμέτρους του σεναρίου ανάλυσης σύμφωνα με τα δεδομένα που διαθέτουμε για την κατασκευή. Θα πρέπει να ορίσουμε στο πρόγραμμα τους σεισμικούς συνδυασμούς που θέλουμε να μας εκτυπώσει στο τεύχος των αποτελεσμάτων. Ο κάθε συνδυασμός αναφέρεται στην φορά των δύο διευθύνσεων x ή z, κατά τις οποίες το κτίριο μπορεί να κινηθεί κατά τη σεισμική φόρτιση. Θα δηλώσουμε επομένως να γίνει επιβολή σεισμικού φορτίου και στις τέσσερις διευθύνσεις του κτιρίου, και επιπλέον η σεισμική δύναμη να κατανεμηθεί καθ’ ύψος τόσο σε τριγωνική αλλά και σε ορθογωνική κατανομή, όπως άλλωστε ορίζει και ο ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Σεισμικοί συνδυασμοί

<input checked="" type="checkbox"/> Fx +k Fz	<input checked="" type="checkbox"/> Τριγωνική Κατανομή
<input type="checkbox"/> Fx -k Fz	<input checked="" type="checkbox"/> Ορθογωνική Κατανομή
<input checked="" type="checkbox"/> -Fx +k Fz	<input type="checkbox"/> Τυχηματικές εοκεντρότητες Ex
<input type="checkbox"/> -Fx -k Fz	<input type="checkbox"/> Τυχηματικές εοκεντρότητες Ez
<input checked="" type="checkbox"/> Fz +k Fx	<input type="checkbox"/> Επιλογή Τέμνουσας Βάσης Από Φάσμα Σχεδιασμού.
<input type="checkbox"/> Fz -k Fx	Συντελεστής Εγκάρσιας Φόρτισης (k) <input type="text" value="0.3"/>
<input checked="" type="checkbox"/> -Fz +k Fx	
<input type="checkbox"/> -Fz -k Fx	

Θα πρέπει στην επιλογή “Φάσματα” να ορίσουμε την κατηγορία σεισμικής επικινδυνότητας με τον σχετικό συντελεστή με τον οποίο θα πολλαπλασιαστεί η αρχική εδαφική επιτάχυνση.

Με βάση την κατηγορία σπουδαιότητας του κτιρίου, εντοπίζουμε από το Παράρτημα 2.1 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. τον ελάχιστο ανεκτό στόχο σχεδιασμού και αποτίμησης. Για κατηγορία σπουδαιότητας II ο ελάχιστος ανεκτός στόχος μας είναι η κλάση Γ1.

Στη συνέχεια εντοπίζουμε την ελάχιστη βασική σεισμική κλάση σύμφωνα με τους κανονισμούς με τους οποίους έχει μελετηθεί η κατασκευή. Η στατική μελέτη του κτιρίου βασίστηκε στις Πρόσθετες Διατάξεις του 1984 άρα σύμφωνα με τον πίνακα 2.2 του ΚΑΝ.ΕΠΕ., η ελάχιστη βασική σεισμική κλάση είναι η Β3 που θα πρέπει να είναι βελτιωμένη κατά μία ανώτερη κλάση. Επομένως ο τελικός μας στόχος είναι το κτίριο να επαρκεί τουλάχιστον στην κλάση Β3+. Όπως βλέπουμε και από τον πίνακα 2.1. του ΚΑΝ.ΕΠΕ., θα δηλώσουμε στις παραμέτρους ανοιγμένη οριζόντια επιτάχυνση  $a_g/a_{g,ref} = 0.45$  που αντιστοιχείται με πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης 50% και περίοδο επαναφοράς 70 έτη.

Περίοδος Επαναφοράς (έτη)	Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών	$a_g / a_{g,ref}$	Στάθμη Επιτελεστικότητας Φέροντος Οργανισμού			
			$a_g / a_{g,ref}$	A «Περιορισμένες Βλάβες»	B «Σημαντικές Βλάβες»	Γ «Οιονεί Κατάρρευση»
2475	2%	1.80	1.80	A0	B0	Γ0
975	5%	1.30	1.30	A1+	B1+	Γ1+
475	10%	1.00	1.00	A1	B1	Γ1
225	20%	0.75	0.75	A2+	B2+	Γ2+
135	30%	0.60	0.60	A2	B2	Γ2
70	50%	0.45	0.45	A3+	B3+	Γ3+
40	70%	0.35	0.35	A3	B3	Γ3
20	90%	0.25	0.25	A4+	B4+	Γ4+
<20	>90%	<0.25	<0.25	A4	B4	Γ4

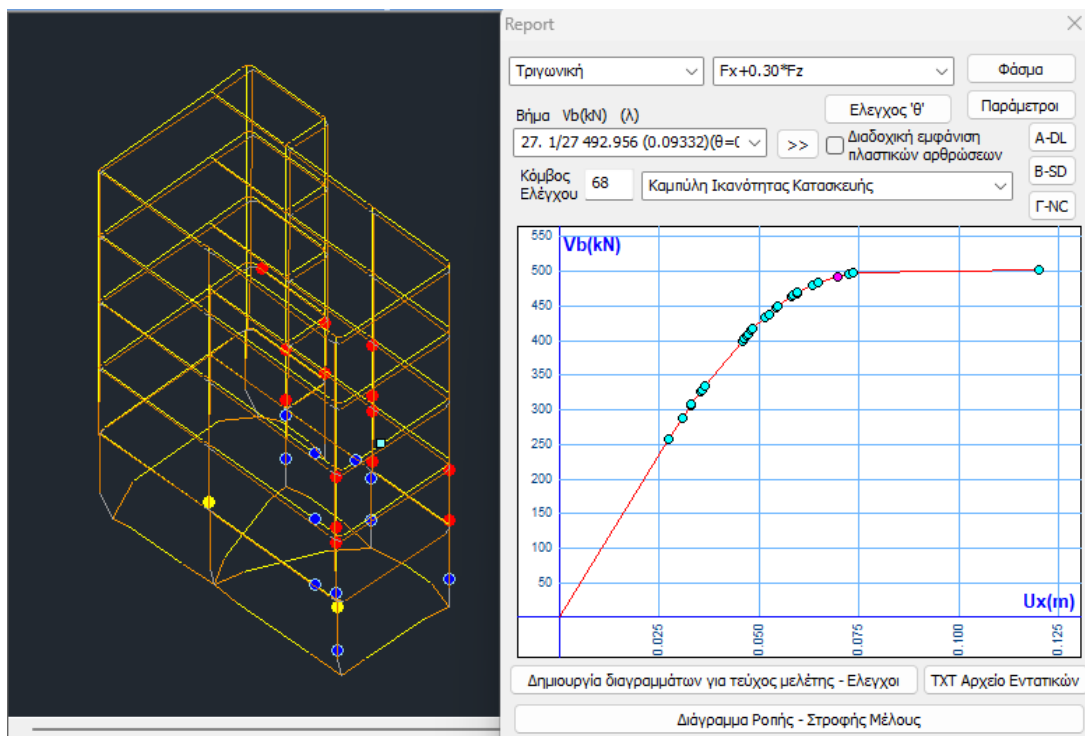
Με την καταχώρηση των παραπάνω δεδομένων μπορούμε πλέον να εκτελέσουμε το σενάριο της ανελαστικής ανάλυσης, κατά την οποία θα γίνει πρώτα ο υπολογισμός μαζών και ακαμψιών, θα εκτελέσει μία ελαστική στατική ανάλυση για τον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών καθώς και μία δυναμική για τον υπολογισμό των ιδιοπεριόδων και της στοχευόμενης μετακίνησης, και τέλος θα πραγματοποιήσει την διαδικασία της ανελαστικής ανάλυσης ανά βήμα έως ότου το κτίριο καταρρεύσει.

## 6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

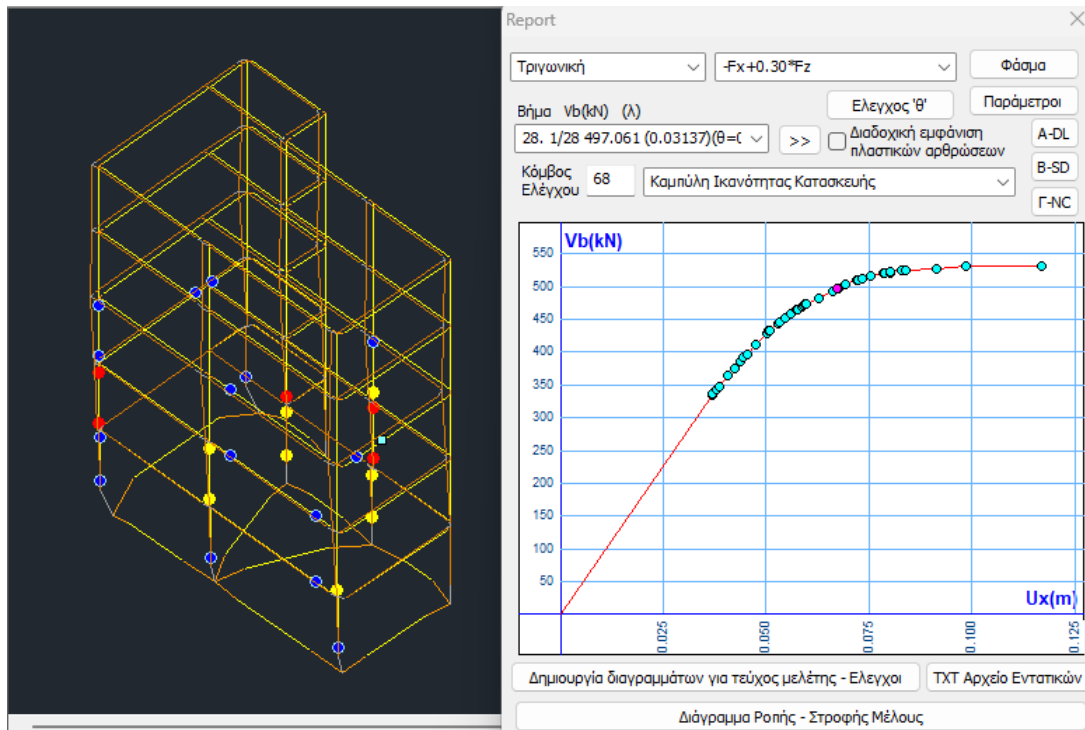
Το πρόγραμμα εμφανίζει τα αποτελέσματα σε μορφή διαγραμμάτων και επιπλέον δίνεται η δυνατότητα να διακρίνουμε όλες τις πλαστικές αρθρώσεις που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια της ανάλυσης στην τρισδιάστατη απεικόνιση του φορέα και για όλες τις κατανομές. Επίσης για κάθε βήμα της ανάλυσης, εμφανίζεται η τέμνουσα  $V_b$  (kN), η στροφή  $\theta$  και ο ελάχιστος φορτικός συντελεστής  $\lambda$ . Τα διαγράμματα που σχηματίζει το πρόγραμμα για κάθε κατανομή είναι το διάγραμμα καμπύλης ικανότητας, διγραμμικής καμπύλης ικανότητας και η στοχευόμενη μετακίνησης.

Η καμπύλη ικανότητας μας αποφέρει μία εικόνα της μετακίνησης του κόμβου ελέγχου που βρίσκεται στην τελευταία στάθμη του κτιρίου σε συνάρτηση με το επιβαλλόμενο οριζόντιο φορτίο, ανά βήμα. Τα βήματα εκφράζονται ως μπλέ κουκίδες επάνω στην καμπύλη. Με βάση τις παραμέτρους που δηλώσαμε στο φάσμα, το πρόγραμμα μπορεί να υποδείξει την παραμορφωσιακή κατάσταση του φορέα ανά στάθμη επιτελεστικότητας (A-DL, B-SD, Γ-NC), δηλαδή τα βήματα με τις τιμές όπου ο κόμβος ελέγχου φτάνει την στοχευόμενη μετακίνηση. Η μελέτη του κτιρίου έχει βασιστεί στην SD στάθμη επιτελεστικότητας και συνεπώς οι παρακάτω απεικονίσεις του καταπονούμενου φορέα αφορούν βλάβες που έχουν σχηματιστεί στη στάθμη αυτή.

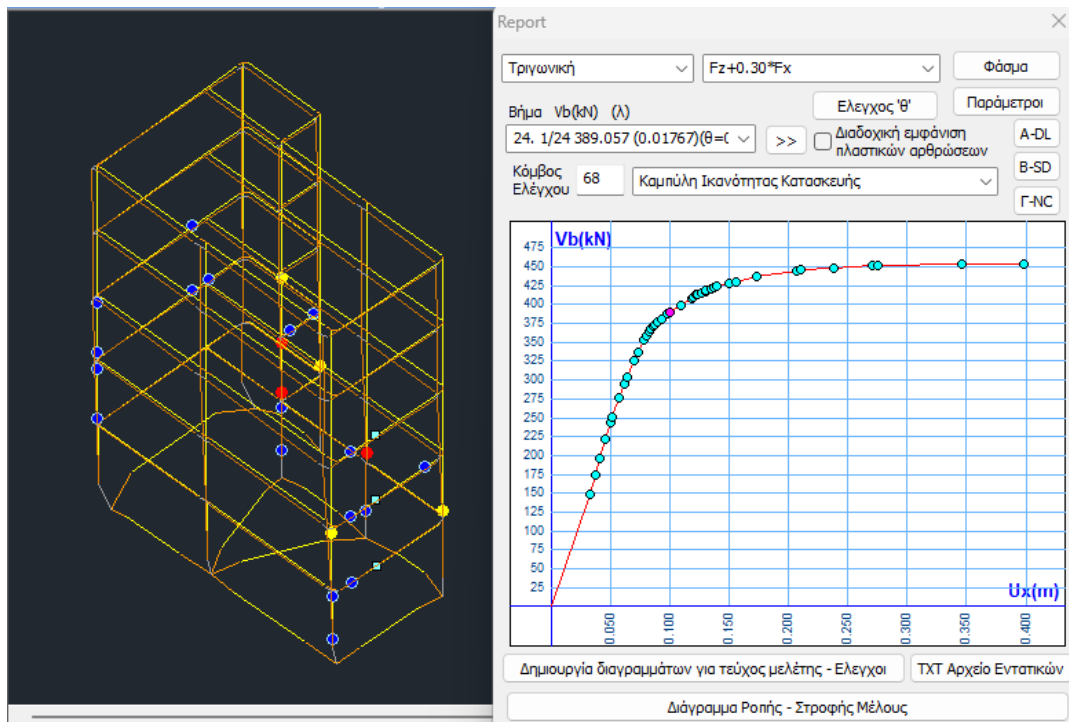
Στο προσομοίωμα του κτιρίου, εμφανίζονται σε κάθε βήμα κουκίδες επάνω στα μέλη του φορέα, οι οποίες υποδηλώνουν με το χρώμα τους τη στάθμη επιτελεστικότητας στην οποία ανήκει η βλάβη, αναλόγως με την τιμή της στροφής της πλαστικής άρθρωσης. Στις παρακάτω εικόνες αποδίδονται οι καμπύλες αντίστασης του προσομοιώματος σε κάθε διεύθυνση, με εμφανή τις πλαστικές αρθρώσεις που έχουν δημιουργηθεί στα μέλη ανά βήμα και ανά στάθμη επιτελεστικότητας.



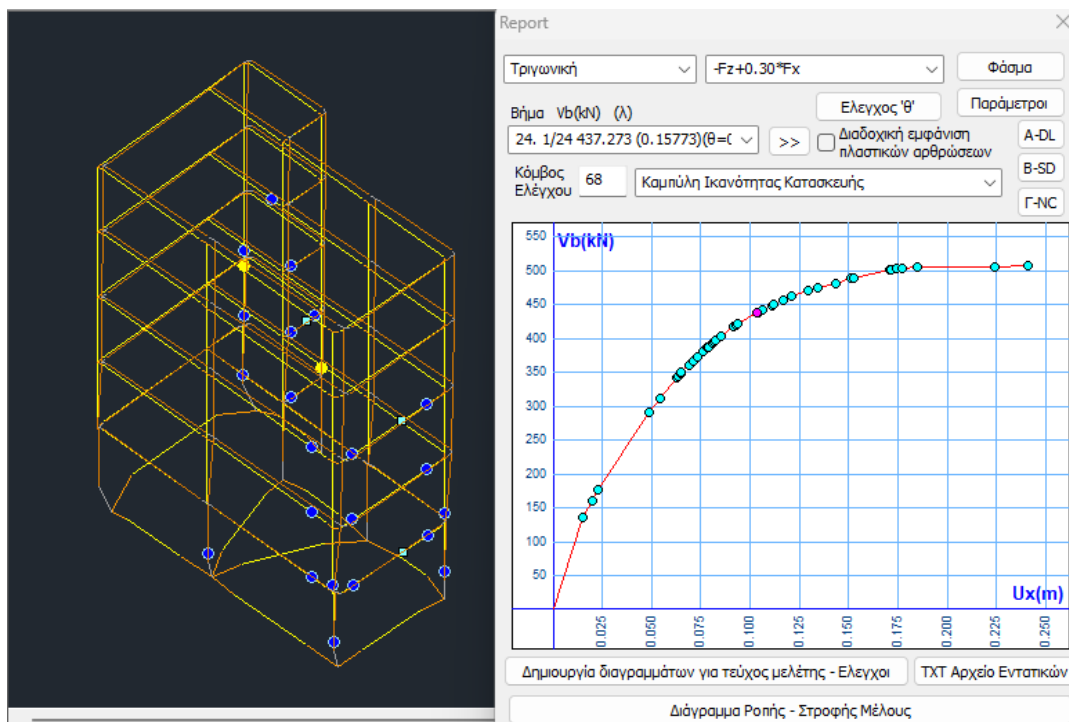
**Σχήμα 6.6** Καμπύλη ικανότητας παραμόρφωσης φορέα με τριγωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης  $F_x + 0.30x F_z$



**Σχήμα 6.7** Καμπύλη ικανότητας παραμόρφωσης φορέα με τριγωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης  $-F_x + 0.30x F_z$



Σχήμα 6.8 Καμπύλη ικανότητας παραμόρφωσης φορέα με τριγωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης  $Fz + 0.30x Fx$



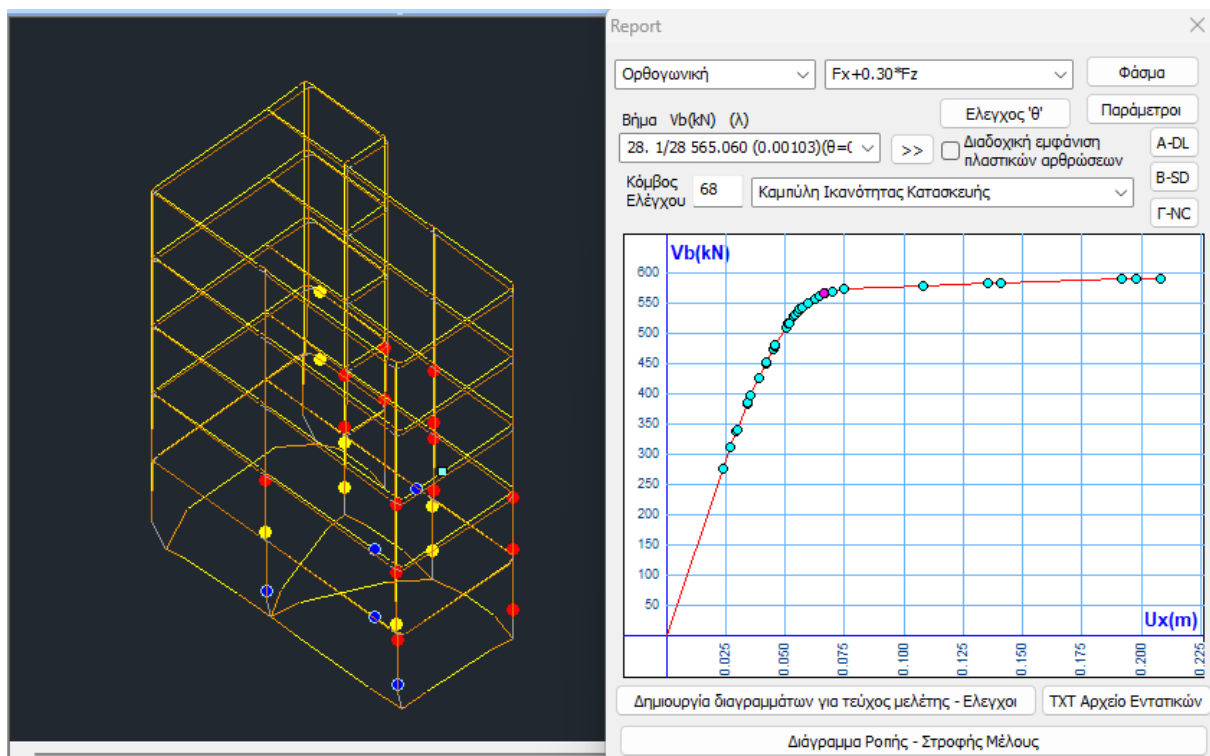
Σχήμα 6.9 Καμπύλη ικανότητας παραμόρφωσης φορέα με τριγωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης  $-Fz + 0.30x Fx$

Στο συνδυασμό  $F_x+0.3F_z$  της τριγωνικής κατανομής καταγράφηκε τέμνουσα βάσης ίση με  $V_b = 492.96$  kN και στοχευόμενη μετακίνηση ίση με  $U_x = 0.07$  m. Οι βλάβες που δημιουργήθηκαν είναι αρκετά σοβαρές και δεν μπορούν να αγνοηθούν. Οι κόκκινες κουκίδες υποδηλώνουν ότι το στοιχείο έχει αστοχήσει από κάμψη και μάλιστα μία δοκός έχει αστοχήσει διατμητικά. Οι κίτρινες κουκίδες υποδηλώνουν σοβαρές βλάβες που όμως δεν αποτελούν κίνδυνο για την ακεραιότητα του κτιρίου. Οι μπλε κουκίδες αναπαριστούν ελαφριές βλάβες που είναι επισκευάσιμες και δεν αποτελούν κίνδυνο. Ο συνδυασμός αυτός φέρει τις περισσότερες βλάβες από τις υπόλοιπες τις τριγωνικής κατανομής.

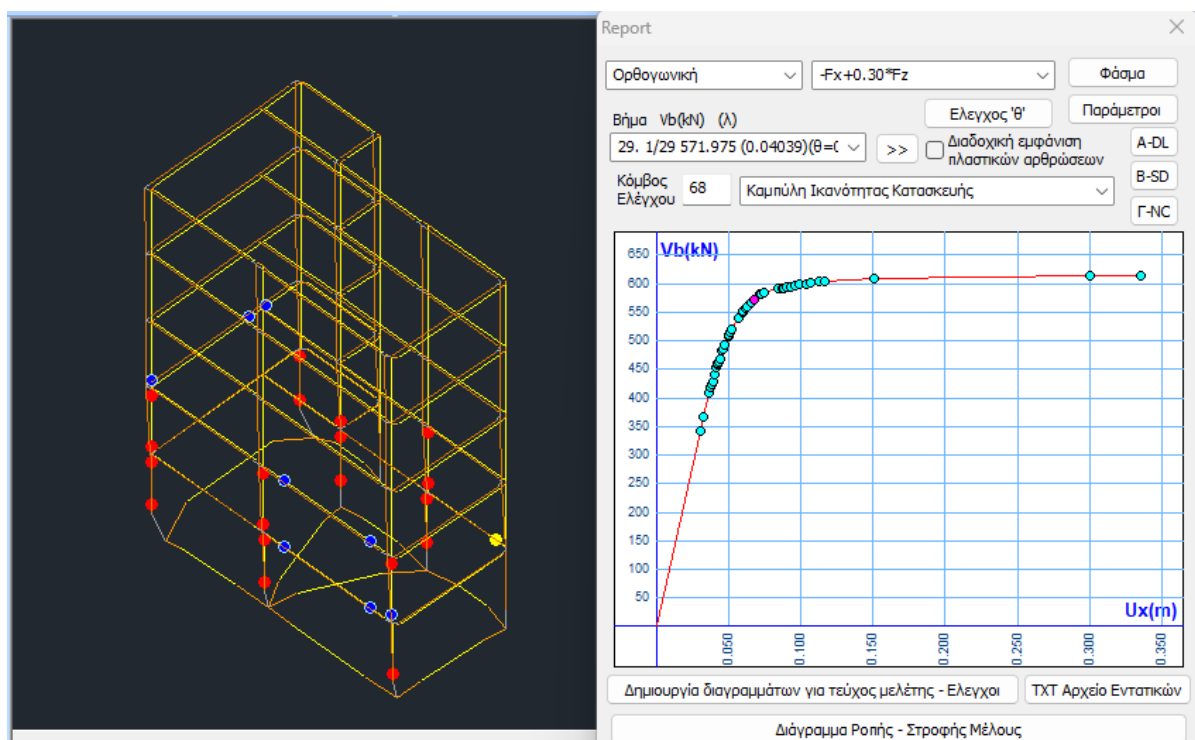
Στο συνδυασμό  $-F_x+0.3F_z$  της τριγωνικής κατανομής καταγράφηκε τέμνουσα βάσης ίση με  $V_b = 497.06$  kN και στοχευόμενη μετακίνηση ίση με  $U_x = 0.068$  m. Η τέμνουσα βάσης σε αυτό τον συνδυασμό είναι η μεγαλύτερη που καταγράφηκε από όλους τις συνδυασμούς της τριγωνικής κατανομής. Φέρει και αυτή αρκετές βλάβες, εκ των οποίων οι περισσότερες αναπαριστούν πλαστικές αρθρώσεις χωρίς ωστόσο να έχουν αστοχήσει τα μέλη.

Στο συνδυασμό  $F_z+0.3F_x$  της τριγωνικής κατανομής καταγράφηκε τέμνουσα βάσης ίση με  $V_b = 389.06$  kN και στοχευόμενη μετακίνηση ίση με  $U_x = 0.1$  m. Η τέμνουσα βάσης σε αυτόν τον συνδυασμό είναι η μικρότερη τις κατανομής, ωστόσο ο φορέας παρουσιάζει αστοχίες σε κάμψη αλλά και σε διάτμηση.

Στο συνδυασμό  $-F_z+0.3F_x$  της τριγωνικής κατανομής καταγράφηκε τέμνουσα βάσης ίση με  $V_b = 437.27$  kN και στοχευόμενη μετακίνηση ίση με  $U_x = 0,12$  m. Η στοχευόμενη μετακίνηση που υπολογίστηκε είναι η μεγαλύτερη αυτής της κατανομής. Σε αυτό τον συνδυασμό δεν παρουσιάζονται βλάβες καμπτικής αστοχίας όπως στους προηγούμενους δύο συνδυασμούς και διακρίνουμε κυρίως ασθενείς βλάβες. Έχουν καταγραφεί ωστόσο διατμητικές βλάβες σε 3 στοιχεία του φορέα, η οποίες είναι και οι σοβαρότερες καθώς πρόκειται για ψαθυρές αστοχίες.

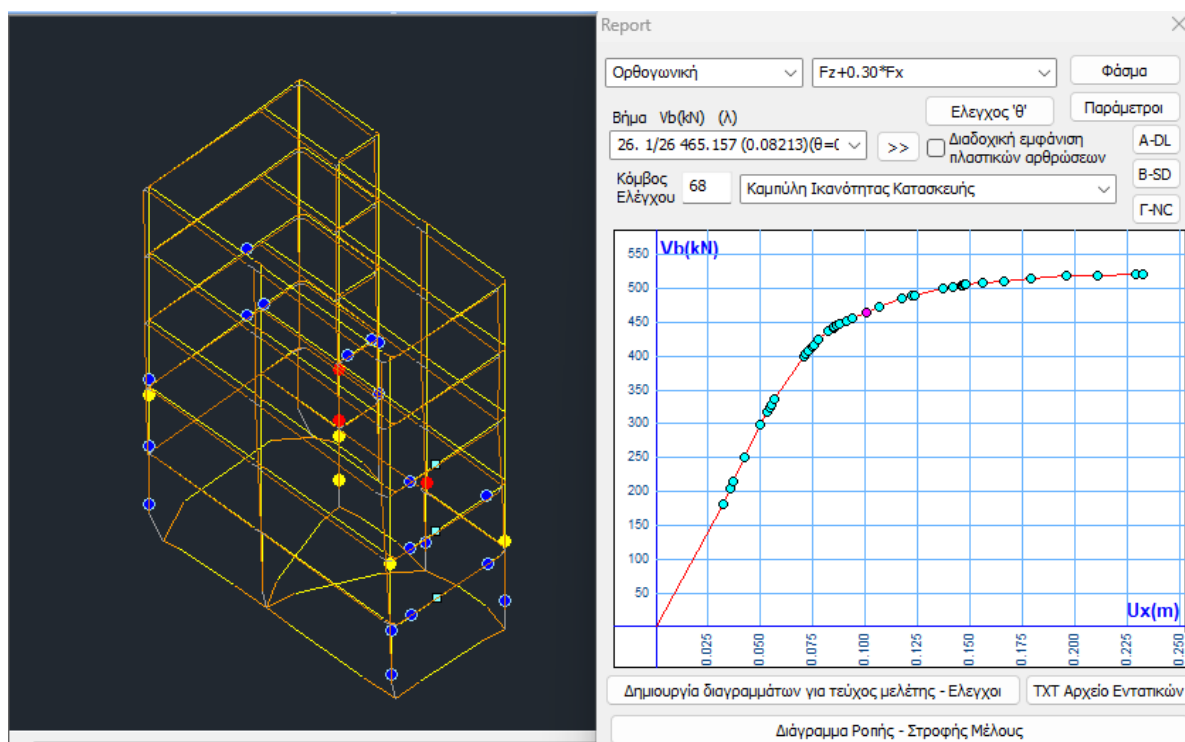


**Σχήμα 6.10** Καμπύλη ικανότητας παραμόρφωσης φορέα με ορθογωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης  $F_x + 0.30x F_z$

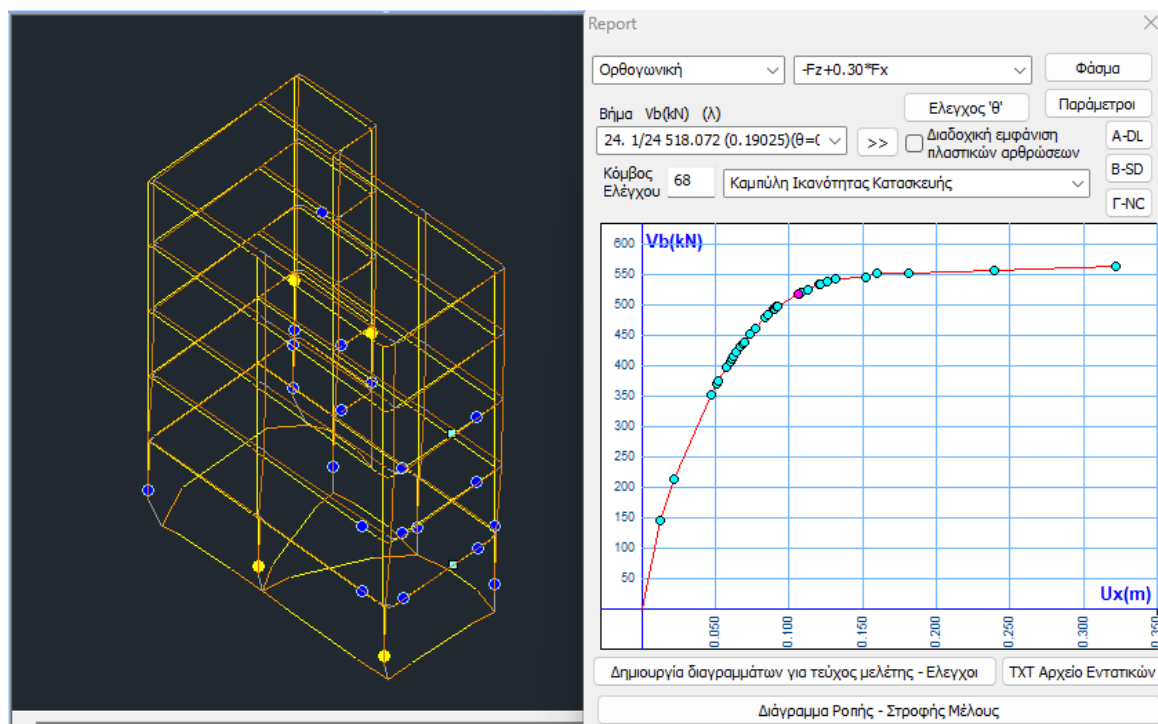


**Σχήμα 6.11** Καμπύλη ικανότητας παραμόρφωσης φορέα με ορθογωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης  $-F_x + 0.30x F_z$





**Σχήμα 6.12** Καμπύλη ικανότητας παραμόρφωσης φορέα με ορθογωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης  $F_z + 0.30x F_x$



**Σχήμα 6.13** Καμπύλη ικανότητας παραμόρφωσης φορέα με ορθογωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης  $-F_z + 0.30x F_x$

Στο συνδυασμό  $F_x+0.3F_z$  της ορθογωνικής κατανομής καταγράφηκε τέμνουσα βάσης ίση με  $V_b = 565.06$  kN και στοχευόμενη μετακίνηση ίση με  $U_x = 0.069$  m. Ο συνδυασμός συτός φέρει τις περισσότερες βλάβες σε σύγκριση με τις υπόλοιπες της ορθογωνικής κατανομής. Παρατηρούμε πως το κτίριο έχει υποστεί σοβαρές βλάβες αστοχίας.

Στο συνδυασμό  $-F_x+0.3F_z$  της ορθογωνικής κατανομής καταγράφηκε τέμνουσα βάσης ίση με  $V_b = 571.98$  kN και στοχευόμενη μετακίνηση ίση με  $U_x = 0.054$  m. Όπως και στον αντίστοιχο συνδυασμό τις τριγωνικής, η τέμνουσα βάσης σε αυτό τον συνδυασμό είναι η μεγαλύτερη που καταγράφηκε από όλους τις συνδυασμούς της ορθογωνικής κατανομής. Σε αντίθεση όμως με αυτήν, έχουν παρουσιαστεί κατά κύριο λόγο καμπτικές αστοχίες που εντοπίζονται στη βάση του κτιρίου.

Στο συνδυασμό  $F_z+0.3F_x$  της ορθογωνικής κατανομής καταγράφηκε τέμνουσα βάσης ίση με  $V_b = 465.16$  kN και στοχευόμενη μετακίνηση ίση με  $U_x = 0.1$  m. Η τέμνουσα βάσης σε αυτόν τον συνδυασμό είναι η μικρότερη της κατανομής, ωστόσο ο φορέας παρουσιάζει αστοχίες σε κάμψη αλλά και σε διάτμηση.

Στο συνδυασμό  $-F_z+0.3F_x$  της ορθογωνικής κατανομής καταγράφηκε τέμνουσα βάσης ίση με  $V_b = 518.072$  kN και στοχευόμενη μετακίνηση ίση με  $U_x = 0,12$  m. Η στοχευόμενη μετακίνηση που υπολογίστηκε είναι η μεγαλύτερη αυτής της κατανομής. Σε αυτό τον συνδυασμό διακρίνουμε κυρίως ασθενείς βλάβες.

**Πίνακας 6.5** Αποτελέσματα ελέγχων ανελαστικής ανάλυσης

Ελεγχτοι											
	Είδος Ανάλυσης - Κατανομής	DL			SD			NC			Εκτύπωση
		Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ	
1	$F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική	4	21	25	1	18	19	1	19	20	Ναι
9	$-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική	5	20	25	0	14	14	0	10	10	Ναι
17	$F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική	9	12	21	0	8	8	0	5	5	Ναι
25	$-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική	13	7	20	0	2	2	0	0	0	Ναι
101	$F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική	4	21	25	2	21	23	0	19	19	Ναι
109	$-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική	6	18	24	1	19	20	0	20	20	Ναι
117	$F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική	10	15	25	0	8	8	0	5	5	Ναι
125	$-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική	10	10	20	0	4	4	0	0	0	Ναι

Εκτύπωση συγκεντρωτικού πίνακα στο τεύχος

Επιλογή Ανάλυσης για Έλεγχο Ενισχύσεων  
 $F_x+0.30 \cdot F_z$  - Τριγωνική

Προεπισκόπηση Ελεγχων

OK Cancel

Όπως παρατηρούμε στο παραπάνω πινακάκι, ο φορέας έχει παρουσιάσει βλάβες και στις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας. Επιπλέον, οι περισσότερες βλάβες εντοπίζονται στην διεύθυνση x και για τις δύο κατανομές. Στον δυσμενέστερο συνδυασμό  $F_x+0.30F_z$  της τριγωνικής κατανομής έχουν καταγραφεί συνολικά 25 ελαφριές βλάβες στάθμης DL-A, 19 σοβαρές βλάβες στάθμης SD-B, και 20 βλάβες αστοχίας στάθμης NC-Γ. Στον δυσμενέστερο συνδυασμό  $-F_x+0.30F_z$  της ορθογωνικής κατανομής έχουν καταγραφεί συνολικά 24 ελαφριές βλάβες στάθμης DL-A, 19 σοβαρές βλάβες στάθμης SD-B, και 20 βλάβες αστοχίας στάθμης NC-Γ.

Από τις εικόνες της παραμορφωσιακής κατάστασης του φορέα στην στάθμη επιτελεστικότητας B, παρατηρούμε ότι οι περισσότερες βλάβες παρουσιάζονται στα υποστυλώματα του υφιστάμενου τμήματος και ειδικότερα στον όροφο Α' και στο ισόγειο. Σύμφωνα με τον στόχο επιτελεστικότητας που έχουμε θέσει, θα πρέπει το κτίριο να επαρκεί τουλάχιστον για τη στάθμη SD-B και NC-Γ, δηλαδή ο αριθμός βλαβών σε αυτές τις στάθμες στο πινακάκι ελέγχων να είναι μηδέν.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> : ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

### 7.1 ΓΕΝΙΚΑ

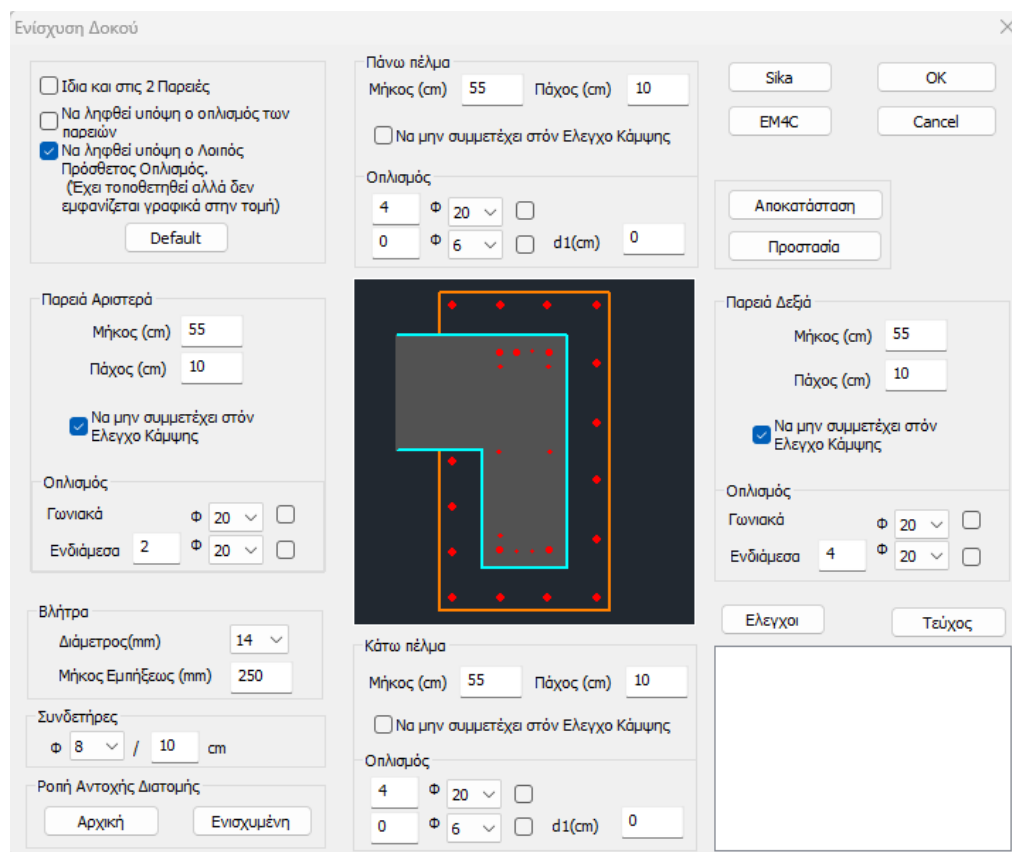
Όπως παρατηρήσαμε και στα αποτελέσματα της μη γραμμικής στατικής ανάλυσης του προηγούμενου κεφαλαίου οι μετακινήσεις του κόμβου ελέγχου είναι αρκετά μικρές σε όλες τις διευθύνσεις. Παρόλα αυτά ο φορέας φέρει σοβαρές παραμορφώσεις και αστοχίες στα στοιχεία του, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο φορέας χρειάζεται ενίσχυση ως προς την αντοχή αλλά και τη πλαστιμότητά του.

Η καλύτερη και συνηθέστερη μέθοδος ενίσχυσης που προτιμάται σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι η κατασκευή μανδύων ωπλισμένου σκυροδέματος με τους τρόπους που εξηγήσαμε παραπάνω.

### 7.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

#### 7.2.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΩΝ

Στο προσομοίωμα του φορέα εμφανίστηκαν καμπτικές αστοχίες τις δοκούς Δ7 και Δ8 του ισογείου, τις Δ1 και Δ8 του Α' ορόφου και τις Δ2 και Δ8 του Β' ορόφου. Αυτές οι δοκοί θα ενισχυθούν με μανδύες σκυροδέματος με τη βοήθεια τις εντολής "Λεπτομέρειες οπλισμών" στο πρόγραμμα Scada Pro, όπως φαίνεται παρακάτω.



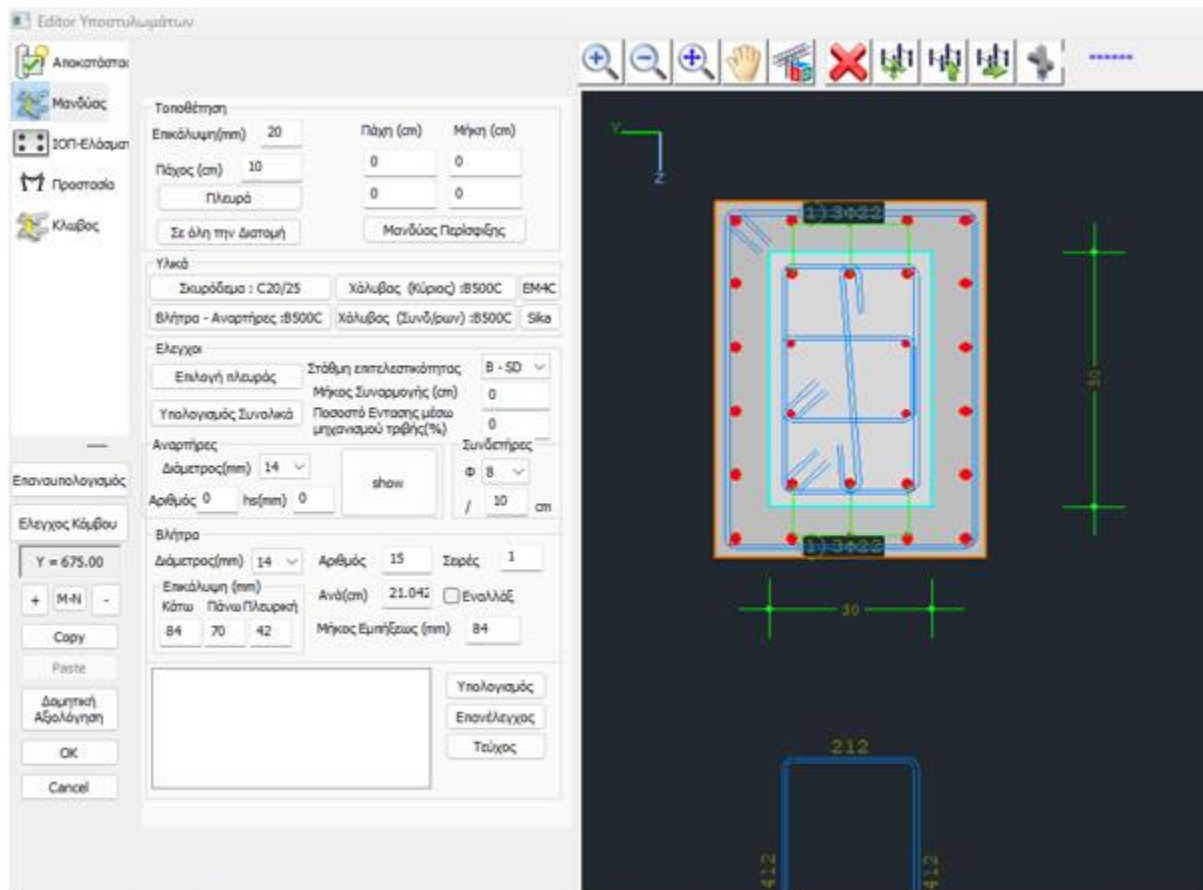
**Σχήμα 7.1** Ενίσχυση δοκού με μανδύα ωπλισμένου σκυροδέματος

Το πάχος του μανδύα σκυροδέματος θα είναι 10 cm με επικάλυψη 20 mm και θα περικλείει όλο το στοιχείο, δηλαδή τη δεξιά και αριστερή στήριξη και το μέσον της δοκού. Οι διαμήκεις οπλισμοί θα είναι 4Φ20 στις παρειές και 2Φ20 στην άνω και κάτω παρειά. Οι γωνιακοί διαμήκεις οπλισμοί θα είναι συνολικά 4Φ20 εξίσου. Για τους εγκάρσιους και διατμητικούς οπλισμούς επιλέξαμε τον ελάχιστο ωπλισμό που επιτρέπει ο Ευρωκώδικας 2 προκειμένου να δημιουργήσουμε δυσμενέστερες συνθήκες. Επομένως για τους συνδετήρες δηλώσαμε οπλισμό διαμέτρου Φ8/10, ενώ αντίστοιχα για τα βλήτρα δηλώσαμε διάμετρο 14 με μήκος εμπήξεως 250 mm.

### 7.2.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

Στα υποστυλώματα εντοπίζονται οι περισσότερες αστοχίες του φορέα, με τις περισσότερες να απαριθμούνται στο ισόγειο και στον Α΄ όροφο. Οι στύλοι K2, K3 και K4 φαίνεται να είναι οι πιο ευάλωτοι, καθώς έχουν εμφανίσει σοβαρές αστοχίες σχεδόν σε όλους τους συνδυασμούς. Επιλέγουμε να ενισχύσουμε όλα τα υποστυλώματα του ισογείου και Α΄ ορόφου. Στον Β΄ όροφο θα ενισχυθούν οι στύλοι K1, K2, K3, K4, K5 και K8.

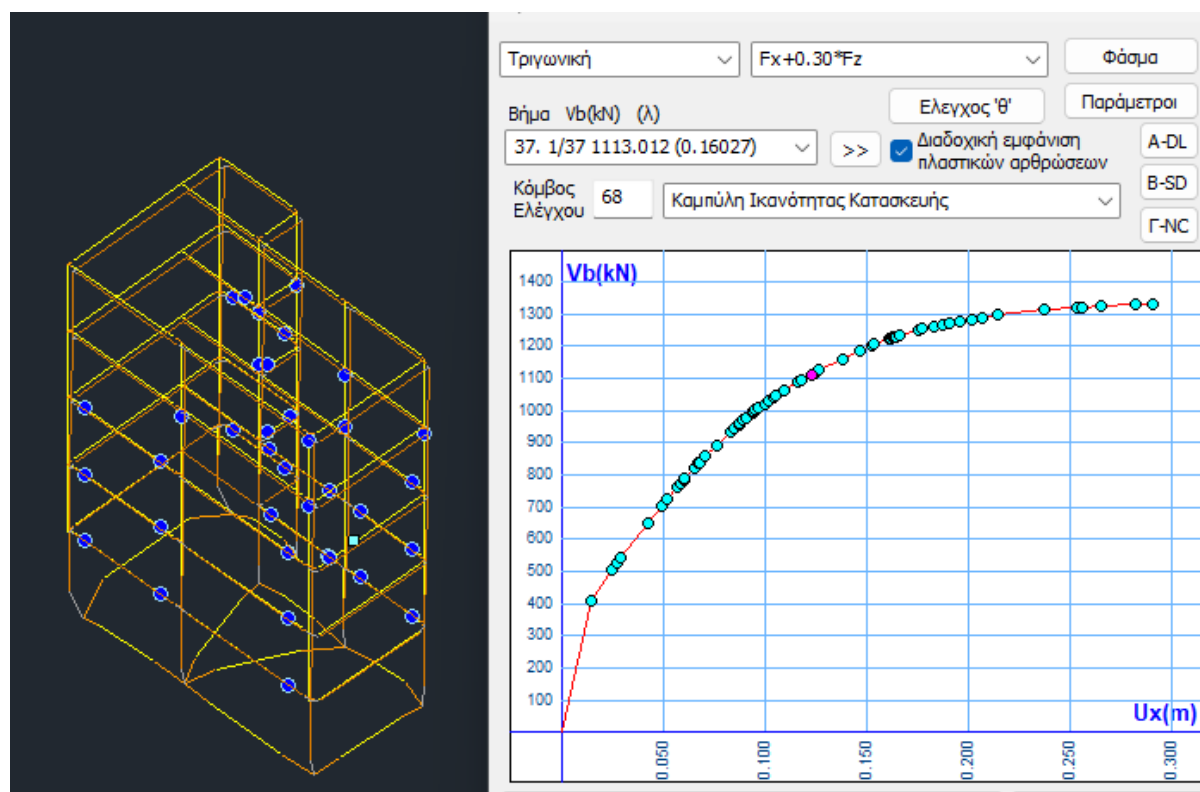
Θα ενισχύσουμε επομένως τους στύλους του φορέα με μανδύα ωπλισμένου σκυροδέματος, ελάχιστου πάχους 10 cm και επικάλυψης 20 mm, σε όλο το μήκος των στοιχείων. Οι διαμήκεις οπλισμοί θα είναι 4Φ22 στις παρειές και 3Φ22 στην άνω και κάτω παρειά. Οι γωνιακοί διαμήκεις οπλισμοί θα είναι συνολικά 4Φ22. Για τους συνδετήρες θα ορίσουμε οπλισμό διαμέτρου Φ8/10 κατ'ελάχιστον, ενώ αντίστοιχα για τα βλήτρα θα χρησιμοποιήσουμε διάμετρο 14 με μήκος εμπήξεως 250 mm.



Σχήμα 7.2 Ενίσχυση υποστυλώματος με μανδύα ωπλισμένου σκυροδέματος

### 7.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ

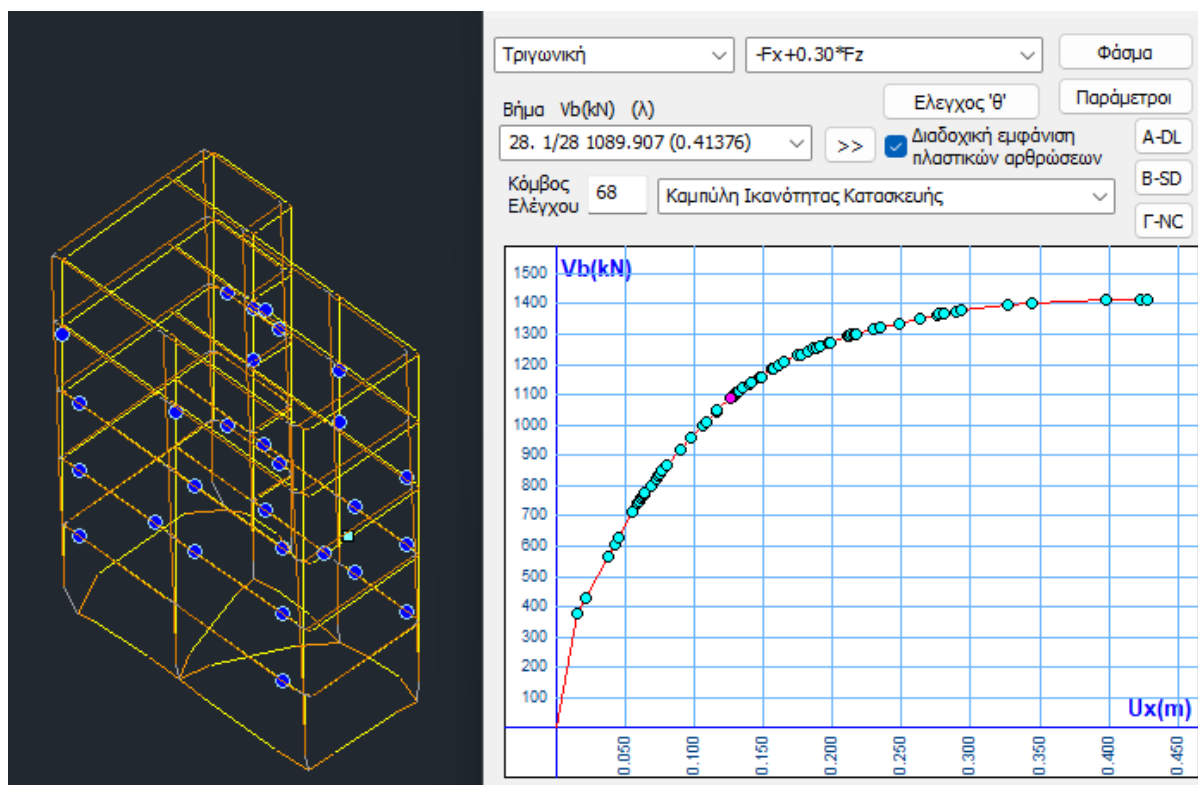
Παρακάτω αποδίδονται τα αποτελέσματα της Pushover ανάλυσης έπειτα από εφαρμογή των ενισχύσεων για τριγωνική και ορθογωνική κατανομή φόρτισης. Επίσης αποδίδονται και οι τιμές στοχευόμενης μετακίνησης ανά στάθμη επιτελεστικότητας, όπου μπορούμε να διακρίνουμε εάν το κτίριο μας επαρκεί για τις αποστάσεις αυτές.



**Σχήμα 7.3** Καμπύλη αντίστασης παραμόρφωσης φορέα με τριγωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης  $F_x + 0.30F_z$ , με ενισχύσεις

**Πίνακας 7.1** Στοχευόμενη μετακίνηση ανά στάθμη επιτελεστικότητας, τριγωνικής κατανομής, διεύθυνσης  $F_x + 0.30F_z$

	Στοχευόμενη Μετακίνηση dt(cm)	Συνολική Μετακίνηση dm(cm)	λόγος $\lambda = dt/dm$	ΕΠΑΡΚΕΙΑ
Περιορισμένες Βλάβες (A-DL)	11.15	29.10	0.38	Ναι
Σημαντικές Βλάβες (B-SD)	12.27	29.10	0.42	Ναι
Οιονεί Κατάρρευση (Γ-NC)	13.38	29.10	0.46	Ναι

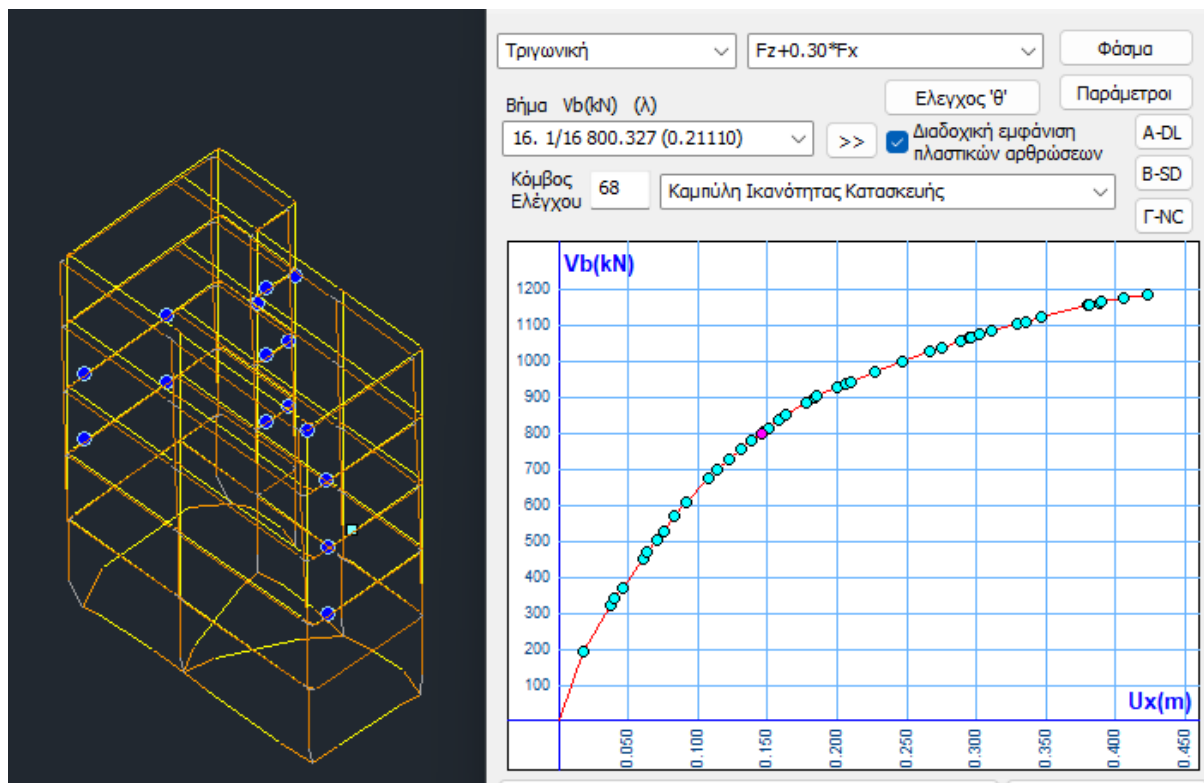


**Σχήμα 7.4** Καμπύλη αντίστασης παραμόρφωσης φορέα με τριγωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης  $-F_x + 0.30x F_z$ , με ενισχύσεις

**Πίνακας 7.2** Στοχευόμενη μετακίνηση ανά στάθμη επιτελεστικότητας, τριγωνικής κατανομής, διεύθυνσης  $-F_x + 0.30x F_z$

	Στοχευόμενη Μετακίνηση $dt$ (cm)	Συνολική Μετακίνηση $dm$ (cm)	λόγος $\lambda = dt/dm$	ΕΠΑΡΚΕΙΑ
Περιορισμένες Βλάβες (A-DL)	10.87	42.84	0.25	Ναι
Σημαντικές Βλάβες (B-SD)	11.96	42.84	0.28	Ναι
Οιονεί Κατάρρευση (Γ-NC)	13.04	42.84	0.30	Ναι

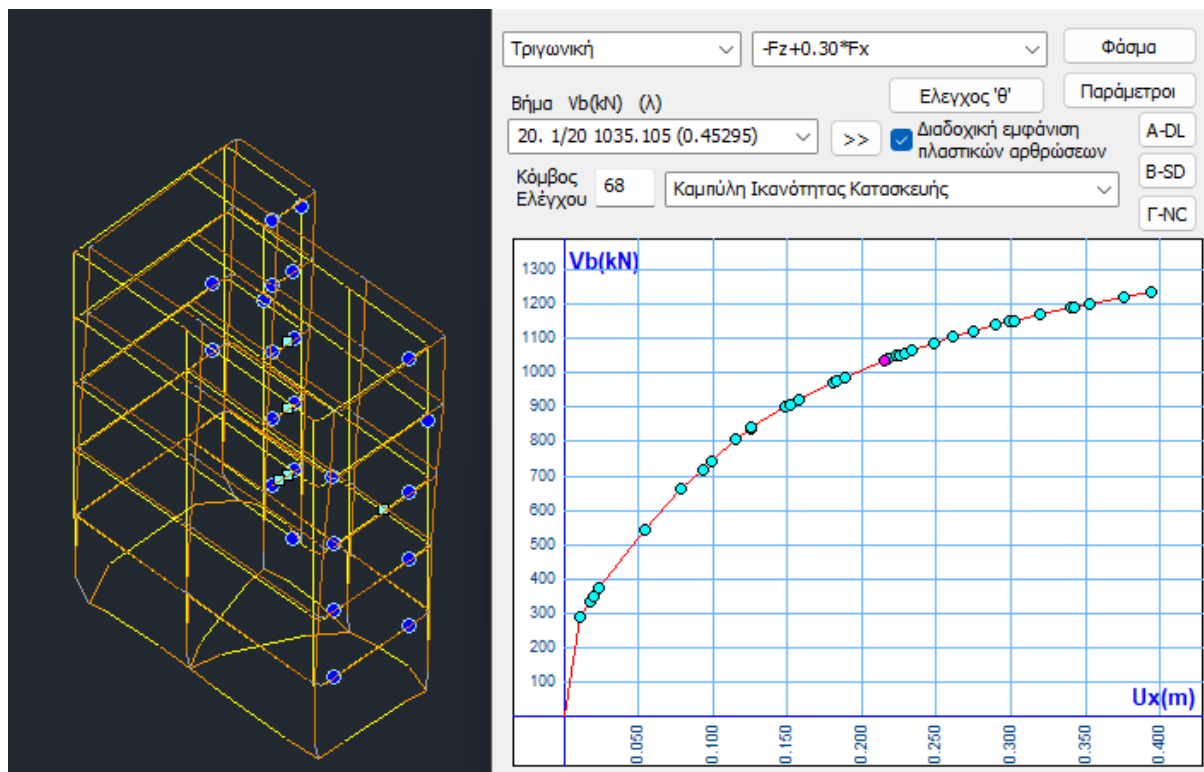




**Σχήμα 7.5** Καμπύλη αντίστασης παραμόρφωσης φορέα με τριγωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης  $F_z + 0.30 \cdot F_x$ , με ενισχύσεις

**Πίνακας 7.3** Στοχευόμενη μετακίνηση ανά στάθμη επιτελεστικότητας, τριγωνικής κατανομής, διεύθυνσης  $F_z + 0.30 \cdot F_x$

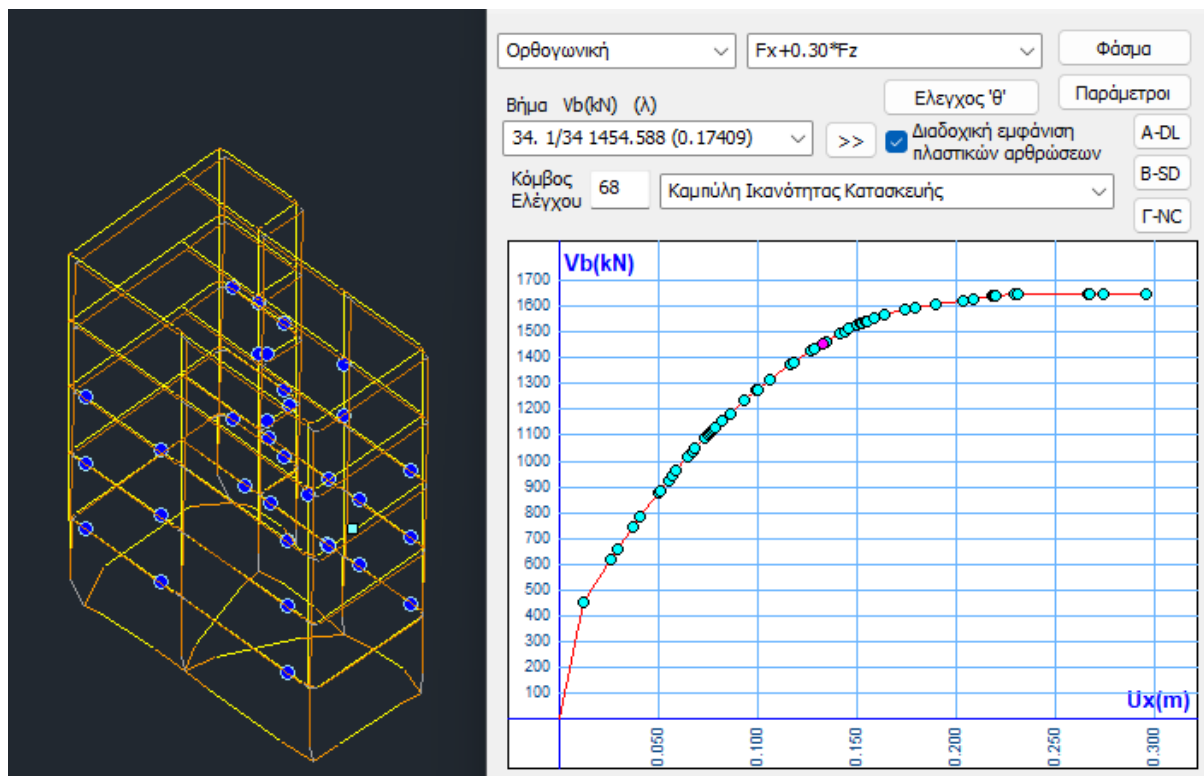
	Στοχευόμενη Μετακίνηση $dt$ (cm)	Συνολική Μετακίνηση $dm$ (cm)	λόγος $\lambda = dt/dm$	ΕΠΑΡΚΕΙΑ
Περιορισμένες Βλάβες (A-DL)	13.04	42.34	0.31	Ναι
Σημαντικές Βλάβες (B-SD)	14.34	42.34	0.34	Ναι
Οιονεί Κατάρρευση (Γ-NC)	15.65	42.34	0.37	Ναι



**Σχήμα 7.6** Καμπύλη αντίστασης παραμόρφωσης φορέα με τριγωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης  $-F_z + 0.30x F_x$ , με ενισχύσεις.

**Πίνακας 7.4** Στοχευόμενη μετακίνηση ανά στάθμη επιτελεστικότητας, τριγωνικής κατανομής, διεύθυνσης  $-F_z + 0.30x F_x$

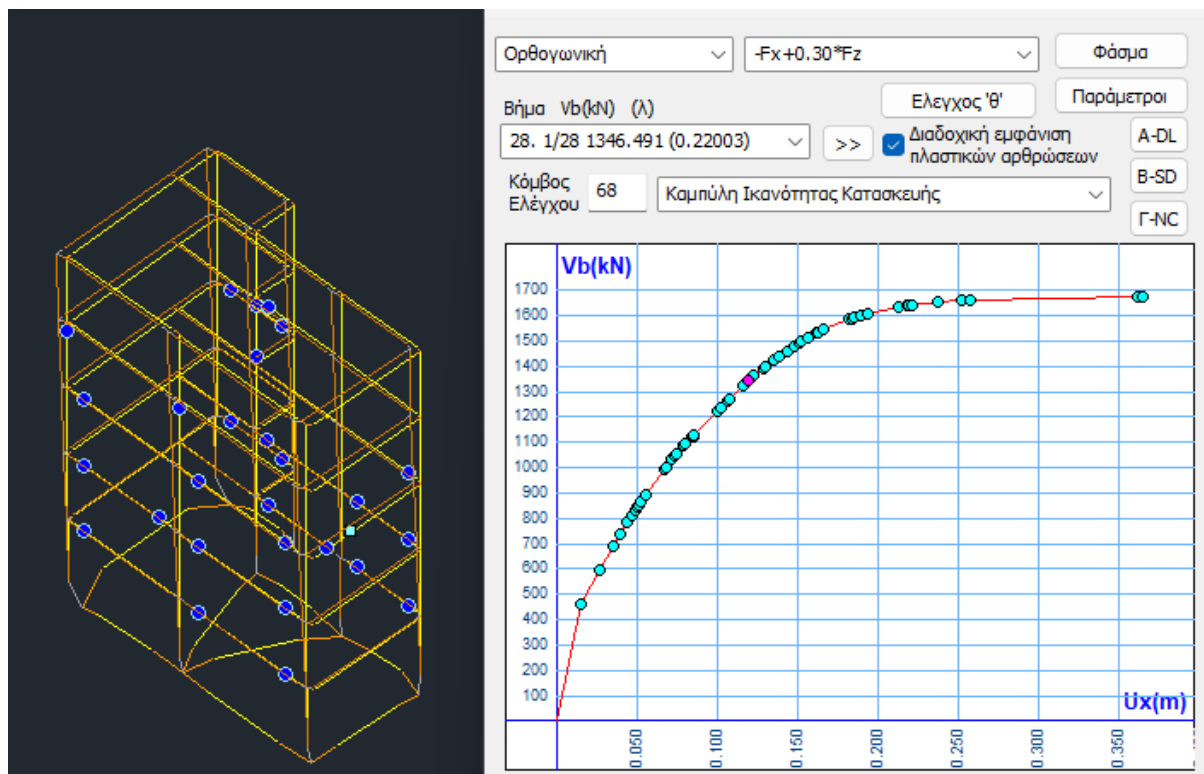
	Στοχευόμενη Μετακίνηση $dt$ (cm)	Συνολική Μετακίνηση $dm$ (cm)	λόγος $\lambda = dt/dm$	ΕΠΑΡΚΕΙΑ
Περιορισμένες Βλάβες (A-DL)	17.66	39.45	0.45	Ναι
Σημαντικές Βλάβες (B-SD)	19.43	39.45	0.49	Ναι
Οιονεί Κατάρρευση (Γ-NC)	21.19	39.45	0.54	Ναι



**Σχήμα 7.7** Καμπύλη αντίστασης παραμόρφωσης φορέα με ορθογωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης  $F_x + 0.30 F_z$ , με ενισχύσεις.

**Πίνακας 7.5** Στοχευόμενη μετακίνηση ανά στάθμη επιτελεστικότητας, ορθογωνικής κατανομής, διεύθυνσης  $F_x + 0.30 F_z$

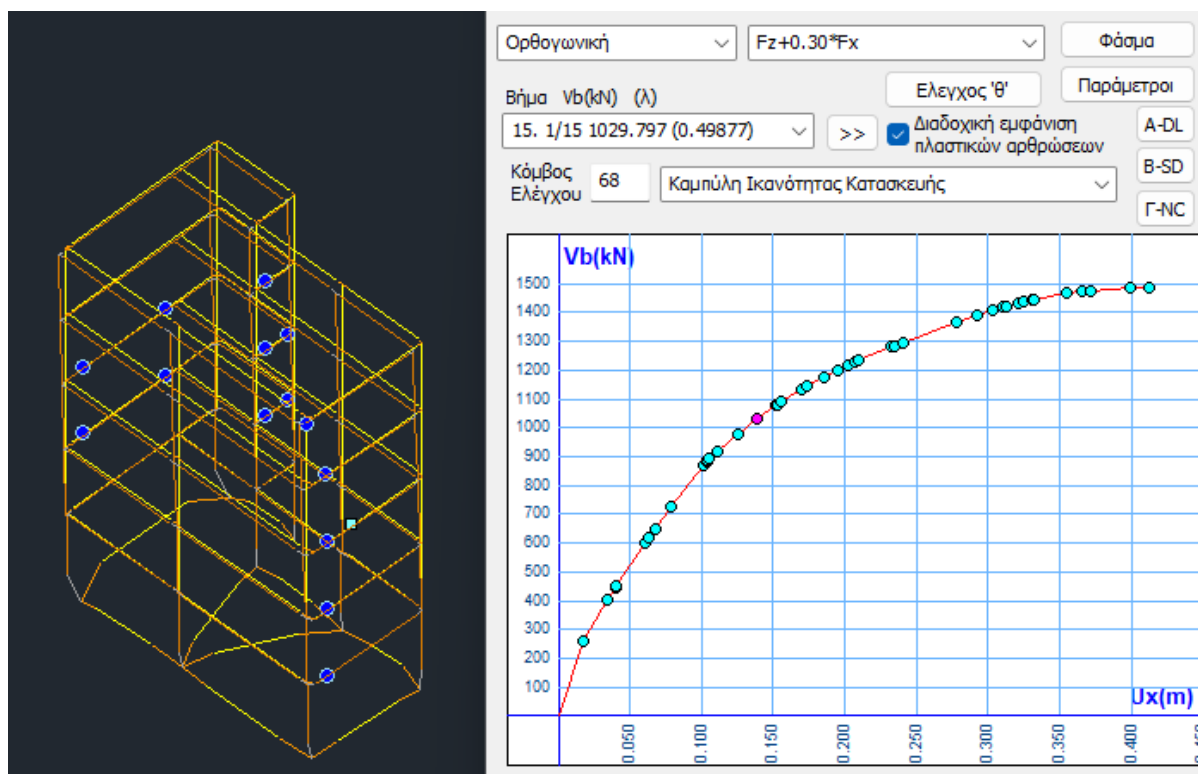
	Στοχευόμενη Μετακίνηση $dt$ (cm)	Συνολική Μετακίνηση $dm$ (cm)	λόγος $\lambda = dt/dm$	ΕΠΑΡΚΕΙΑ
Περιορισμένες Βλάβες (A-DL)	11.92	29.63	0.40	Ναι
Σημαντικές Βλάβες (B-SD)	13.12	29.63	0.44	Ναι
Οιονεί Κατάρρευση (Γ-NC)	14.31	29.63	0.48	Ναι



**Σχήμα 7.8** Καμπύλη αντίστασης παραμόρφωσης φορέα με ορθογωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης  $-F_x + 0.30x F_z$ , με ενισχύσεις

**Πίνακας 7.6** Στοχευόμενη μετακίνηση ανά στάθμη επιτελεστικότητας, ορθογωνικής κατανομής, διεύθυνσης  $-F_x + 0.30x F_z$

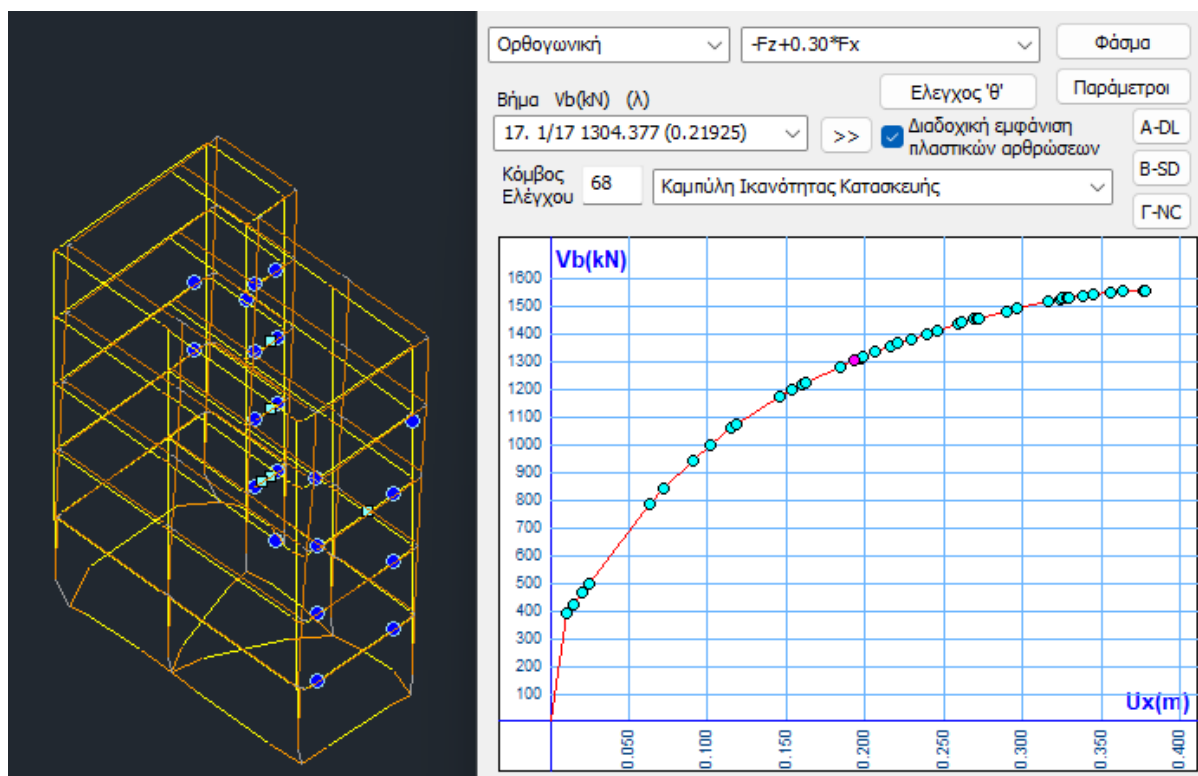
	Στοχευόμενη Μετακίνηση dt(cm)	Συνολική Μετακίνηση dm(cm)	λόγος $\lambda = dt/dm$	ΕΠΑΡΚΕΙΑ
Περιορισμένες Βλάβες (A-DL)	10.75	36.49	0.29	Ναι
Σημαντικές Βλάβες (B-SD)	11.83	36.49	0.32	Ναι
Οιονεί Κατάρρευση (Γ-NC)	12.91	36.49	0.35	Ναι



**Σχήμα 7.9** Καμπύλη αντίστασης παραμόρφωσης φορέα με ορθογωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης  $F_z + 0.30 \cdot F_x$ , με ενισχύσεις

**Πίνακας 7.7** Στοχευόμενη μετακίνηση ανά στάθμη επιτελεστικότητας, ορθογωνικής κατανομής, διεύθυνσης  $F_z + 0.30 \cdot F_x$

	Στοχευόμενη Μετακίνηση dt(cm)	Συνολική Μετακίνηση dm(cm)	λόγος $\lambda = dt/dm$	ΕΠΑΡΚΕΙΑ
Περιορισμένες Βλάβες (A-DL)	12.01	41.29	0.29	Ναι
Σημαντικές Βλάβες (B-SD)	13.21	41.29	0.32	Ναι
Οιονεί Κατάρρευση (Γ-NC)	14.41	41.29	0.35	Ναι



**Σχήμα 7.10** Καμπύλη αντίστασης παραμόρφωσης φορέα με ορθογωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης  $-F_z + 0.30x F_x$ , με ενισχύσεις

**Πίνακας 7.8** Στοχευόμενη μετακίνηση ανά στάθμη επιτελεστικότητας, ορθογωνικής κατανομής, διεύθυνσης  $-F_z + 0.30x F_x$

	Στοχευόμενη Μετακίνηση $dt$ (cm)	Συνολική Μετακίνηση $dm$ (cm)	λόγος $\lambda = dt/dm$	ΕΠΑΡΚΕΙΑ
Περιορισμένες Βλάβες (A-DL)	17.07	37.81	0.45	Ναι
Σημαντικές Βλάβες (B-SD)	18.78	37.81	0.50	Ναι
Οιονεί Κατάρρευση (Γ-NC)	20.49	37.81	0.54	Ναι

Ελεγχος											
	Είδος Ανάλυσης - Κατανομής	DL			SD			NC			Εκτύπωση
		Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ	
1	$F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική	24	8	32	0	0	0	0	0	0	
9	$-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική	21	4	25	0	0	0	0	0	0	
17	$F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική	12	1	13	0	0	0	0	0	0	
25	$-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική	17	1	18	0	0	0	0	0	0	
101	$F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική	28	3	31	0	0	0	0	0	0	
109	$-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική	23	3	26	0	0	0	0	0	0	
117	$F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική	12	1	13	0	0	0	0	0	0	
125	$-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική	18	1	19	0	0	0	0	0	0	

**Πίνακας 7.9** Αποτελέσματα ελέγχων ανελαστικής ανάλυσης με ενισχύσεις

Παρατηρούμε ότι τόσο στην τριγωνική όσο και στην ορθογωνική κατανομή υπάρχουν ελαφριάς μορφής βλάβες στην A – DL στάθμη επιτελεστικότητας και σε όλους τους συνδυασμούς. Σε αυτή την περίπτωση όμως το κτίριο δεν εμφάνισε σοβαρότερες βλάβες σε καμία από τις άλλες δύο στάθμες, σε αντίθεση με τα αποτελέσματα του μη ενισχυμένου κτιρίου. Συγκεκριμένα, στην στάθμη B – SD στην οποία ανήκει και ο τελικός μας στόχος, διακρίνουμε μηδενικές αστοχίες όπως επίσης και στην στάθμη Γ - NC. Στο προσομοίωμα όμως, μπορούμε να παρατηρήσουμε μερικές διατμητικές αστοχίες σε κάποιες δοκούς του φορέα, οι οποίες όμως δεν είναι ανησυχητικές διότι κατά τη διαστασιολόγηση των δοκών οι συνδετήρες κατανεμήθηκαν ίσα σε όλο το μήκος της δοκού προκειμένου να δημιουργήσουμε πιο δυσμενείς συνθήκες, με αποτέλεσμα ο οπλισμός σε κάποια σημεία του φορέα να είναι ελλιπής. Διακρίνουμε επίσης, ότι η στοχευόμενη μετακίνηση αλλά και η τέμνουσα βάση σε κάθε συνδυασμό, είναι περίπου η διπλάσια σε σύγκριση με αυτή που διακρίνουμε στα αποτελέσματα του μη ενισχυμένου κτιρίου. Επομένως το κτίριο μπορεί να παραμορφώνεται σε μεγαλύτερο βαθμό χωρίς να φτάνει στο όριο της αντοχής και της πλαστιμότητας του. Το κτίριο πλέον επαρκεί για τη στάθμη επιτελεστικότητας B και ο στόχος αποτίμησης έχει εκπληρωθεί.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύθηκε εκτενώς η αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς ενός υφιστάμενου κτιρίου από ωπλισμένο σκυρόδεμα, με κύριο στόχο την προσθήκη δύο επιπλέον ορόφων. Η ανάλυση και η ενίσχυσή του επιτεύχθηκε σύμφωνα με τις μεθόδους που ορίζουν οι σύγχρονοι κανονισμοί και ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. Το υπό μελέτη κτίριο αποτέλεσε μία τριώροφη κατοικία, η κατασκευή της οποίας χρονολογείται το έτος 1987, ενώ έχει μελετηθεί σύμφωνα με τις Πρόσθετες Διατάξεις του Βασιλικού Διατάγματος του 1959.

Αρχικά έγινε μία διερεύνηση ως προς την δυνατότητα απαλλαγής των κριτηρίων γενικής ισχύος, ακολουθώντας τους κανονισμούς του ΦΕΚ 350/17-2-2016 για περιπτώσεις προσθήκης. Στη συνέχεια, το κτίριο αναλύθηκε ανελαστικά με τη μέθοδο μη γραμμικής στατικής ανάλυσης (Pushover) και για στάθμη επιτελεστικότητας B2 – (SD), με τη βοήθεια του λογισμικού Scada Pro. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανελαστικής ανάλυσης, ο υφιστάμενος φορέας φάνηκε να μην επαρκεί σε καμία από τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας, καθώς παρουσίασε σε όλους τους συνδυασμούς σοβαρές και κατά κύριο λόγο ψαθυρές βλάβες. Συνεπώς οδηγηθήκαμε στο συμπέρασμα ότι το κτίριο χρήζει ενίσχυσης με στόχο την αύξηση της αντοχής του φορέα. Επιλέξαμε να ενισχύσουμε τα υποστυλώματα και μερικές δοκούς με κλειστούς μανδύες ωπλισμένου σκυροδέματος. Έπειτα, αναλύσαμε εκ νέου το ενισχυμένο κτίριο μαζί με τους δύο επιπλέον ορόφους, προκειμένου να διερευνήσουμε την απόκριση του ολοκληρωμένου κτίσματος σε σεισμική φόρτιση. Σύμφωνα με τα τελικά αποτελέσματα της Pushover ανάλυσης με τις ενισχύσεις, οδηγηθήκαμε στα παρακάτω συμπεράσματα :

1. Τα κτίρια που έχουν μελετηθεί με παλιό κανονισμό ενδεχομένως να πληρούν τα κριτήρια απαλλαγής ελέγχου γενικής ισχύος. Ωστόσο συνιστάται να πραγματοποιείται έλεγχος ακόμα και σε αυτές τις περιπτώσεις για μεγαλύτερη ασφάλεια.
2. Στα αποτελέσματα των τελευταίων ανελαστικών αναλύσεων, συμπεραίνουμε ότι ο φορέας διαθέτει πράγματι μεγαλύτερη αντοχή και πλαστιμότητα, καθώς οι στοχευόμενες μετακινήσεις του κόμβου ελέγχου είναι μεγαλύτερες χωρίς ωστόσο να βλάπτονται τα στοιχεία του φορέα σε σοβαρό βαθμό.
3. Το κτίριο αποκρίνεται ικανοποιητικά στην στάθμη B – SD και για πιθανότητα υπέρβασης 50% έπειτα από τις ενισχύσεις, εμφανίζοντας μεν ελαφριές βλάβες στη στάθμη A-DL, χωρίς όμως περαιτέρω αστοχίες. Το κτίριο επαρκεί για τον στόχο αποτίμησης B3<sup>+</sup> που έχουμε θέσει.
4. Η ενίσχυση του υφιστάμενου φορέα με μανδύες ωπλισμένου σκυροδέματος αποδείχτηκε όντως ως η καλύτερη λύση για την αύξηση της αντοχής και συγχρόνως της πλαστιμότητας του φορέα.



5. Η αντοχή και η πλαστιμότητα είναι ιδιότητες που συνήθως δεν διαθέτουν σε επαρκή βαθμό τα κτίρια που έχουν κατασκευαστεί σύμφωνα με τους παλαιούς κατασκευαστικούς κανονισμούς.

Τα κτίρια που έχουν μελετηθεί με παλαιούς κανονισμούς κρίνονται δικαίως ευάλωτα έναντι σεισμικής φόρτισης και κατά συνέπεια θεωρούνται επίφοβα όσον αφορά την προστασία του ανθρώπου. Οι σύγχρονοι κανονισμοί έχουν θέσει πλέον γερά θεμέλια για την σωστή ενίσχυση των υφιστάμενων δομημάτων με συνεχή εξέλιξη των υπάρχοντων μεθόδων αλλά και με την σύνταξη νέων ασφαλέστερων μεθόδων.

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<b>Σχήμα 1.1</b> Παράδειγμα μη – κανονικότητας καθ’ ύψος (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022) .....	24
<b>Σχήμα 1.2</b> Σκελετικό διάγραμμα συμπεριφοράς με τις στάθμες επιτελεστικότητας και τους επιμέρους ελέγχους ασφαλείας (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022) .....	25
<b>Σχήμα 3.1</b> Καμπύλη τέμνουσας βάσης – μετακίνησης οροφής σε Pushover ανάλυση (Ρεπαπής, 2007).....	36
<b>Σχήμα 3.2</b> Ενδεικτική απεικόνιση σημείων επιτελεστικότητας σε καμπύλη αντίστασης. (Δρίτσος, 2021) .....	36
<b>Σχήμα 3.3</b> Προσδιορισμός σημείου επιτελεστικότητας. (Ρεπαπής, 2007).....	37
<b>Σχήμα 4.1</b> Μέθοδοι ενίσχυσης. (Δρίτσος, 2005).....	42
<b>Σχήμα 5.1</b> Όψη κτιρίου με τις στάθμες και τα ύψη ορόφων .....	48
<b>Σχήμα 5.2</b> Αριστερά : Ένδειξη πέδιλου σε τομή, Δεξιά : Ένδειξη συνδετήριας δοκού σε τομή .....	49
<b>Σχήμα 5.3</b> Κατανομή των συνδετήρων σε δοκούς και υποστυλώματα .....	50
<b>Σχήμα 5.4</b> Ξυλότυπος θεμελίου .....	51
<b>Σχήμα 5.5</b> Ξυλότυπος ισογείου – Α’ ορόφου .....	52
<b>Σχήμα 5.6</b> Ξυλότυπος Β’ ορόφου .....	53
<b>Σχήμα 5.7</b> Τρισδιάστατη απεικόνιση του υφιστάμενου φορέα.....	55
<b>Σχήμα 5.8</b> Υφιστάμενος φορέας σε κάτοψη .....	56
<b>Σχήμα 5.9</b> Μαθηματικό μοντέλο υφιστάμενου φορέα.....	56
<b>Σχήμα 5.10</b> Κάτοψη του υφιστάμενου φορέα με τις πλάκες και τις τομές $x'x$ και $z'z$ . .....	57
<b>Σχήμα 5.11</b> Απεικόνιση γραμμών διαρροής .....	58
<b>Σχήμα 6.1</b> Διαστασιολόγηση των μελών του φορέα .....	60
<b>Σχήμα 6.2</b> Διάγραμμα ροής για τη διερεύνηση δυνατότητας απαλλαγής ελέγχου γενικής ισχύος.....	62
<b>Σχήμα 6.3</b> Τρισδιάστατη απεικόνιση του φορέα με τη προσθήκη .....	63
<b>Σχήμα 6.4</b> Μαθηματικό μοντέλο του φορέα με τη προσθήκη.....	64
<b>Σχήμα 6.5</b> Απόδοση μόνιμων και κινητών φορτίων στα μέλη του φορέα .....	64
<b>Σχήμα 6.6</b> Καμπύλη ικανότητας παραμόρφωσης φορέα με τριγωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης $F_x + 0.30x F_z$ .....	69

<b>Σχήμα 6.7</b> Καμπύλη ικανότητας παραμόρφωσης φορέα με τριγωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης $-F_x + 0.30x F_z$ .....	69
<b>Σχήμα 6.8</b> Καμπύλη ικανότητας παραμόρφωσης φορέα με τριγωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης $F_z + 0.30x F_x$ .....	70
<b>Σχήμα 6.9</b> Καμπύλη ικανότητας παραμόρφωσης φορέα με τριγωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης $-F_z + 0.30x F_x$ .....	70
<b>Σχήμα 6.10</b> Καμπύλη ικανότητας παραμόρφωσης φορέα με ορθογωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης $F_x + 0.30x F_z$ .....	72
<b>Σχήμα 6.11</b> Καμπύλη ικανότητας παραμόρφωσης φορέα με ορθογωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης $-F_x + 0.30x F_z$ .....	72
<b>Σχήμα 6.12</b> Καμπύλη ικανότητας παραμόρφωσης φορέα με ορθογωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης $F_z + 0.30x F_x$ .....	73
<b>Σχήμα 6.13</b> Καμπύλη ικανότητας παραμόρφωσης φορέα με ορθογωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης $-F_z + 0.30x F_x$ .....	73
<b>Σχήμα 7.1</b> Ενίσχυση δοκού με μανδύα ωπλισμένου σκυροδέματος .....	77
<b>Σχήμα 7.2</b> Ενίσχυση υποστυλώματος με μανδύα ωπλισμένου σκυροδέματος.....	78
<b>Σχήμα 7.3</b> Καμπύλη αντίστασης παραμόρφωσης φορέα με τριγωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης $F_x + 0.30x F_z$ , με ενισχύσεις.....	79
<b>Σχήμα 7.4</b> Καμπύλη αντίστασης παραμόρφωσης φορέα με τριγωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης $-F_x + 0.30x F_z$ , με ενισχύσεις.....	80
<b>Σχήμα 7.5</b> Καμπύλη αντίστασης παραμόρφωσης φορέα με τριγωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης $F_z + 0.30x F_x$ , με ενισχύσεις.....	81
<b>Σχήμα 7.6</b> Καμπύλη αντίστασης παραμόρφωσης φορέα με τριγωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης $-F_z + 0.30x F_x$ , με ενισχύσεις.....	82
<b>Σχήμα 7.7</b> Καμπύλη αντίστασης παραμόρφωσης φορέα με ορθογωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης $F_x + 0.30x F_z$ , με ενισχύσεις .....	83
<b>Σχήμα 7.8</b> Καμπύλη αντίστασης παραμόρφωσης φορέα με ορθογωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης $-F_x + 0.30x F_z$ , με ενισχύσεις .....	84
<b>Σχήμα 7.9</b> Καμπύλη αντίστασης παραμόρφωσης φορέα με ορθογωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης $F_z + 0.30x F_x$ , με ενισχύσεις .....	85
<b>Σχήμα 7.10</b> Καμπύλη αντίστασης παραμόρφωσης φορέα με ορθογωνική κατανομή σεισμικών φορτίων και διεύθυνσης $-F_z + 0.30x F_x$ , με ενισχύσεις .....	86

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 1.1</b> Ελάχιστοι ανεκτοί στόχοι αποτίμησης και ανασχεδιασμού υφιστάμενων κτιρίων (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022).....	18
<b>Πίνακας 1.2</b> Συσχέτιση περιόδου επαναφοράς, πιθανότητα υπέρβασης, ανοιγμένης εδαφικής επιτάχυνσης (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022).....	18
<b>Πίνακας 1.3</b> Ελάχιστες βασικές σεισμικές κλάσεις υφιστάμενων κτιρίων σπουδαιότητας I, II (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022).....	19
<b>Πίνακας 1.4</b> Στόχοι αποτίμησης και ανασχεδιασμού (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022).....	19
<b>Πίνακας 1.5</b> Πίνακας Σ.Α.Δ. περί γεωμετρίας και λεπτομερειών όπλισης (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022).....	22
<b>Πίνακας 1.6</b> Συντελεστές ασφάλειας υλικών (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022) .....	23
<b>Πίνακας 3.1</b> Τιμές του λόγου $q^*/q'$ ανά στάθμη επιτελεστικότητας (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022).....	34
<b>Πίνακας 3.2</b> Τιμές του δείκτη συμπεριφοράς $q'$ για την στάθμη επιτελεστικότητας B (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022).....	34
<b>Πίνακας 6.1</b> Ερήμην αντιπροσωπευτικές τιμές αντοχής υλικών (ΚΑΝ.ΕΠΕ. παράρτημα 3.1) .....	59
<b>Πίνακας 6.2</b> Αποτελέσματα στατικού ελαστικού προελέγχου – Κρίσιμοι δείκτες ανεπάρκειας $\lambda$ .....	61
<b>Πίνακας 6.3</b> Κατηγορίες κτιρίων σύμφωνα με το ΦΕΚ 350/17-2-2016. (Δρίτσος, ).....	65
<b>Πίνακας 6.4</b> Αποτελέσματα σεναρίου δυνατότητας απαλλαγής ελέγχου γενικής ισχύος....	66
<b>Πίνακας 6.5</b> Αποτελέσματα ελέγχων ανελαστικής ανάλυσης .....	75
<b>Πίνακας 7.1</b> Στοχευόμενη μετακίνηση ανά στάθμη επιτελεστικότητας, τριγωνικής κατανομής, διεύθυνσης $F_x + 0.30x F_z$ .....	79
<b>Πίνακας 7.2</b> Στοχευόμενη μετακίνηση ανά στάθμη επιτελεστικότητας, τριγωνικής κατανομής, διεύθυνσης $-F_x + 0.30x F_z$ .....	90
<b>Πίνακας 7.3</b> Στοχευόμενη μετακίνηση ανά στάθμη επιτελεστικότητας, τριγωνικής κατανομής, διεύθυνσης $F_z + 0.30x F_x$ .....	90
<b>Πίνακας 7.4</b> Στοχευόμενη μετακίνηση ανά στάθμη επιτελεστικότητας, τριγωνικής κατανομής, διεύθυνσης $-F_z + 0.30x F_x$ .....	90
<b>Πίνακας 7.5</b> Στοχευόμενη μετακίνηση ανά στάθμη επιτελεστικότητας, ορθογωνικής κατανομής, διεύθυνσης $F_x + 0.30x F_z$ .....	83

<b>Πίνακας 7.6</b> Στοχευόμενη μετακίνηση ανά στάθμη επιτελεστικότητας, ορθογωνικής κατανομής, διεύθυνσης $-F_x + 0.30 \times F_z$ .....	90
<b>Πίνακας 7.7</b> Στοχευόμενη μετακίνηση ανά στάθμη επιτελεστικότητας, ορθογωνικής κατανομής, διεύθυνσης $F_z + 0.30 \times F_x$ .....	90
<b>Πίνακας 7.8</b> Στοχευόμενη μετακίνηση ανά στάθμη επιτελεστικότητας, ορθογωνικής κατανομής, διεύθυνσης $-F_z + 0.30 \times F_x$ .....	90
<b>Πίνακας 7.9</b> Αποτελέσματα ελέγχων ανελαστικής ανάλυσης με ενισχύσεις .....	90

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- ΦΕΚ 350/Β/2016. (2016). Απόφαση ΔΝΣΓ/34033/ΠΕ/ΦΝ275/2016: Τροποποίηση κανονισμών που αφορούν σε ειδικές περιπτώσεις επεμβάσεων σε υπάρχοντα κτίρια.
- Βεργίνη, Δ. Τσιουμπής, Κ. (2013). Αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς κτιρίων από ωπλισμένο σκυρόδεμα με χρήση ελαστικών – ανελαστικών μεθόδων. Αθήνα.
- Γιάννακας, Ν. (2014). Επισκευές και ενισχύσεις των κατασκευών. Ανακτήθηκε από :   
[https://eclass.hmu.gr/modules/document/file.php/TD141/%CE%9C%CE%91%CE%98%CE%97%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%91/141022\\_%CE%95%CE%A0%CE%99%CE%A3%CE%9A%CE%95%CE%A5%CE%95%CE%A3%20%CE%9C%CE%91%CE%98%CE%97%CE%9C%CE%91%203%CE%BF.pdf](https://eclass.hmu.gr/modules/document/file.php/TD141/%CE%9C%CE%91%CE%98%CE%97%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%91/141022_%CE%95%CE%A0%CE%99%CE%A3%CE%9A%CE%95%CE%A5%CE%95%CE%A3%20%CE%9C%CE%91%CE%98%CE%97%CE%9C%CE%91%203%CE%BF.pdf)
- Εγχειρίδιο Scada Pro. Παράδειγμα 1 - Μελέτη Νέου Κτιρίου από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα. Ανακτήθηκε από :   
[https://www.scadapro.com/wp-down/download/21/meleti\\_neou\\_ktiriou\\_1.pdf](https://www.scadapro.com/wp-down/download/21/meleti_neou_ktiriou_1.pdf)
- Εγχειρίδιο Scada Pro. Παράδειγμα 6 - Μελέτη Αποτίμησης και Ανασχεδιασμού κτιρίου βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ. Ανακτήθηκε από :   
[https://www.scadapro.com/wp-down/download/23/meleti\\_apotimisis\\_kanepe\\_6.pdf](https://www.scadapro.com/wp-down/download/23/meleti_apotimisis_kanepe_6.pdf)
- Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000, ΟΑΣΠ, Αθήνα.
- Τάσιος, Θ. Θεωρία σχεδιασμού επισκευών και ενισχύσεων .Ζωγραφου. Συμμετρία.
- Δουδούμης, Ι. (2018). Η Εξέλιξη των αντισεισμικών κανονισμών στην Ελλάδα και ο ρόλος του σεισμού της Θεσσαλονίκης το 1978. Ανακτήθηκε από :   
[https://tkm.tee.gr/wp-content/uploads/2018/06/16%CE%95CEE\\_Doudoumis.pdf](https://tkm.tee.gr/wp-content/uploads/2018/06/16%CE%95CEE_Doudoumis.pdf)
- Μυωφά, Ν. (2022). Αστική Γεωγραφία. Ανακτήθηκε από :   
<https://eclass.hua.gr/modules/document/file.php/GEO211/7%CE%B7%20%CE%B4%CE%B9%CE%AC%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CE%B7/%CE%91%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%80%CE%BF%CE%AF%CE%B7%CF%83%CE%B7%20%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD%20%CE%95%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1.pdf>
- Ρεπαπής, Κ. (2007) Αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς υφιστάμενων κτιρίων από ωπλισμένο σκυρόδεμα'. Διδακτορική διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα.
- Δρίτσος Σ. (2005) Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα, Πάτρα.

- ΚΑΠ.ΕΠΕ., ΦΕΚ 3197 Β 22/06/2022. (2022). Έγκριση του Κανονισμού Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ) σε κτίρια από ωπλισμένο σκυρόδεμα (3η Αναθεώρηση). Αθήνα.
- Mosley B. Bungey, J. Hulse, R. (2016) Μελέτη κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα σύμφωνα με τον ευρωκώδικα 2. Αθήνα. Κλειδάριθμος.
- Παναγόπουλος. Γ. (2010). Ειδικές κατασκευές από ωπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα. Ανακτήθηκε από:  
<https://mpeton2.weebly.com/uploads/2/3/7/7/23778197/10-zoellner.pdf>