

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ PUSHOVER ΚΑΤΑ ΚΑΝ.ΕΠΕ. ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΩΝ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΚΤΙΡΙΟ

**ΜΟΥΛΙΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ
ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΠΟΥΛΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

Περίληψη

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας εξετάστηκε η επιρροή των τοιχοπληρώσεων στη σεισμική απόκριση κτιρίου. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε υφιστάμενο διώροφο κτίριο με υπόγειο, κατασκευής 1978. Το κτίριο αυτό αποτιμήθηκε για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις συμμετοχής τοίχων πλήρωσης, με τη μέθοδο ανελαστικής στατικής ανάλυσης (Pushover), σύμφωνα με όσα ορίζει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων συγκρίθηκαν μεταξύ τους με βάση τις αντίστοιχες καμπύλες απόκρισης. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με το πρόγραμμα Scada Pro 15.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.), που εκδόθηκε πρώτη φορά το 2010 και αναθεωρήθηκε την επόμενη χρονιά, ασχολείται με το καίριο θέμα της ενίσχυσης υφιστάμενων κατασκευών. Ιδιαίτερα για μία περιοχή τόσο σεισμογενή, όπως η Ελλάδα, το συγκεκριμένο ζήτημα είναι πολύ σημαντικό, ειδικότερα αν αναλογιστεί κανείς ότι στη χώρα μας η υιοθέτηση σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών συνέβη μόλις το 1984. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη πληθώρας κτιρίων – περίπου το 60-70% του συνόλου [3] – με ελλείψεις προβλέψεις έναντι σεισμού. Για το λόγο αυτό, ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. ορίζει τις ακριβείς διαδικασίες και υπολογισμούς που πρέπει να προηγηθούν της επέμβασης σε ένα κτίριο. Συγκεκριμένα, ο Κανονισμός περιέχει διατάξεις οι οποίες αφορούν στην αποτίμηση ενός υφιστάμενου δομήματος και στον αντισεισμικό ανασχεδιασμό των μελών του. [1]

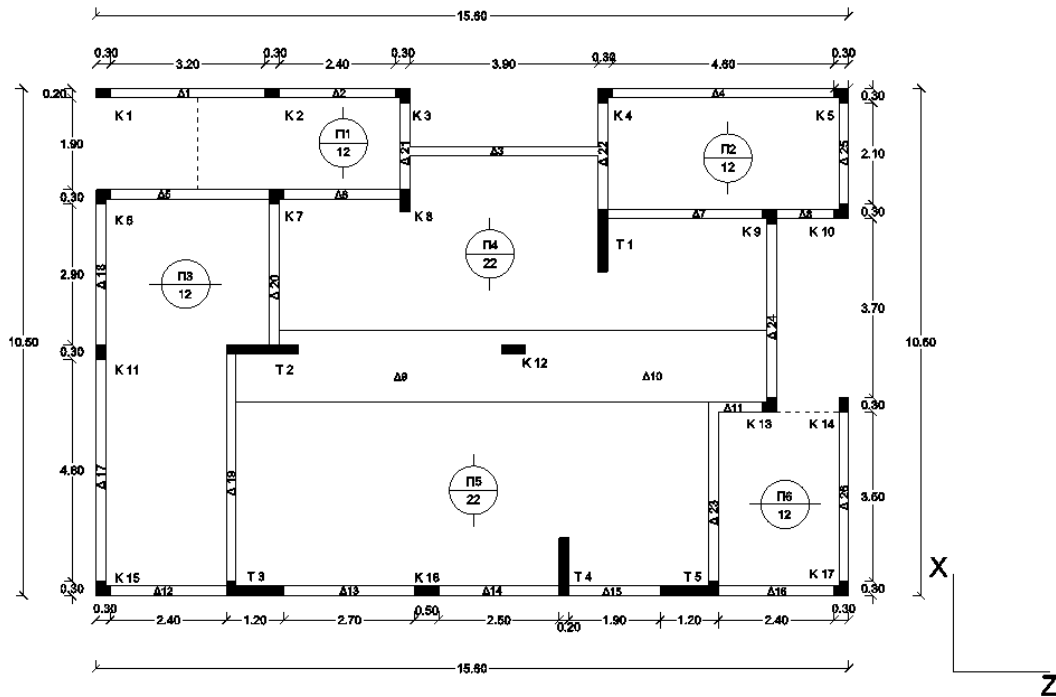
Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στο πρώτο τμήμα και πιο συγκεκριμένα, στην επίδραση των τοιχοπληρώσεων στη σεισμική συμπεριφορά ενός υφιστάμενου κτιρίου. Το φαινόμενο αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς τα παλαιά κτίρια αποτελούνται από σχετικά αδύναμους σκελετούς, οι οποίοι ενισχύονται σημαντικά, σε αντοχή και δυσκαμψία, από τη συνεργασία τους με τις τοιχοπληρώσεις. [4] Ωστόσο, σε κάποιες περιπτώσεις, η παρουσία τοιχοπληρώσεων έχει δυσμενή επίδραση σε ορισμένα μέλη του υφιστάμενου φορέα. Αυτό καθιστά το πρόβλημα της αποτίμησης ενός κτιρίου περισσότερο πολύπλοκο, ενώ η αντιμετώπισή του επαφίεται στην κρίση του υπεύθυνου μηχανικού, καθώς και στην εμπειρία που συσσωρεύεται από προηγούμενες μελέτες. Προς αυτήν την κατεύθυνση, μελετήθηκε μία πραγματική κατασκευή για τρία διαφορετικά σενάρια:

- Συνυπολογισμός των τοιχοπληρώσεων με βάση τα όσα ορίζει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ.
- Παράλειψη όλων των τοιχοπληρώσεων.
- Συνυπολογισμός μόνο των τοιχοπληρώσεων των ανώτερων σταθμών, ώστε να δημιουργηθεί δομή τύπου Pilotis, για τη διερεύνηση ανάπτυξης μηχανισμού μαλακού ορόφου.

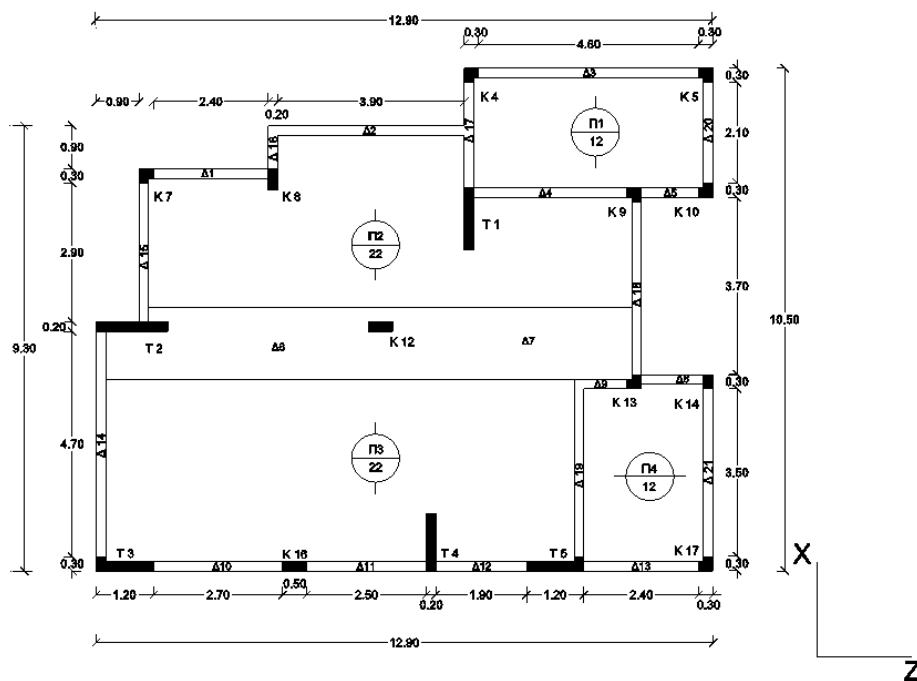
Η αποτίμηση της κατασκευής έγινε με τη μέθοδο ανελαστικής στατικής ανάλυσης (Pushover), η οποία είναι αποδεκτή και από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., για καθένα από τα τρία σενάρια και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν μεταξύ τους, με βάση τη συμπεριφορά τόσο του συνολικού φορέα όσο και των επιμέρους μελών του.

1.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

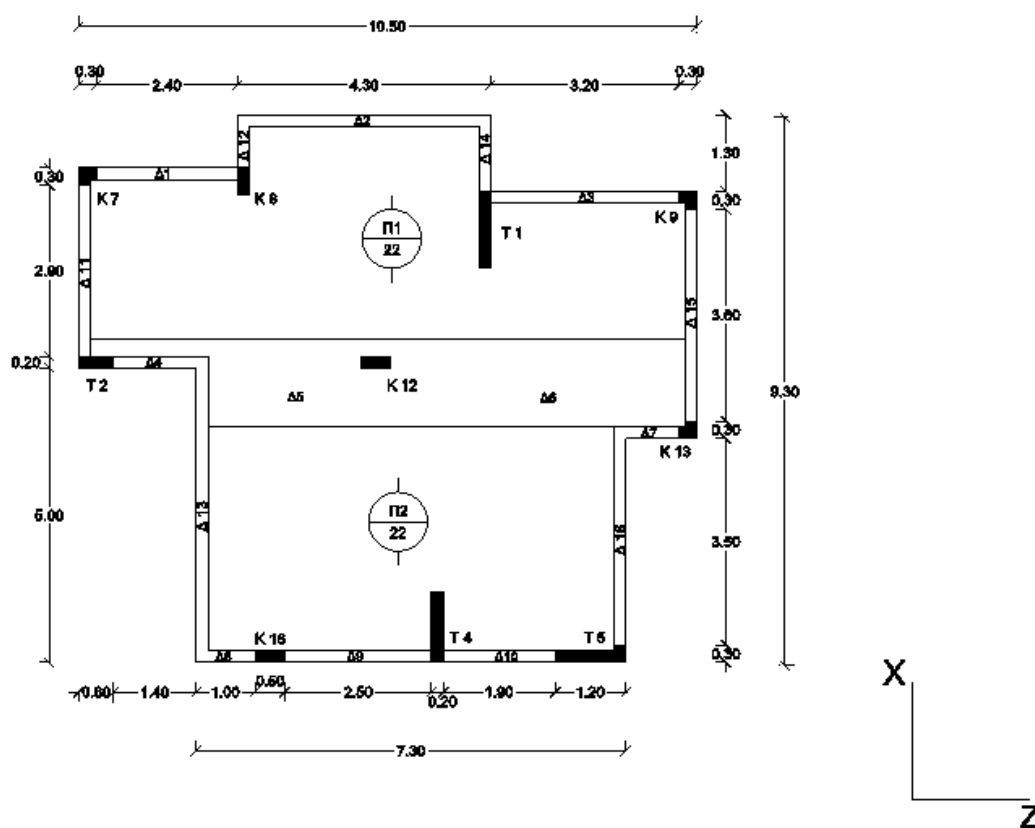
Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε υπαρκτό διώροφο κτίριο με υπόγειο, κατασκευής 1978, στην περιοχή του Ρίου. Η κάτοψη του κτιρίου είναι ορθογωνική στη στάθμη της οροφής υπογείου, ενώ στις πιο πάνω στάθμες δημιουργούνται εσοχές. Για τη βελτίωση της λειτουργικότητας του κτιρίου η ύπαρξη μεγάλων ανοιγμάτων κρίθηκε αναγκαία, η οποία συνετέλεσε στη χρήση πλακών Zoellner μίας διεύθυνσης. Επίσης παρατηρήθηκε εκτεταμένη χρήση έμμεσων στηρίξεων σε όλες τις στάθμες του κτιρίου (εικόνες 1.1, 1.2, 1.3).



Εικόνα 1.1: Ξυλότυπος οροφής υπογείου



Εικόνα 1.2: Ξυλότυπος οροφής ισογείου



Εικόνα 1.3: Ξυλότυπος οροφής 1^{ου} ορόφου

Στοιχεία του κτιρίου:

- Σκυρόδεμα: B160.
- Χάλυβας οπλισμών: St I.
- Ωφέλιμα φορτία: 2 kN/m² στις εσωτερικές πλάκες, 3 kN/m² στις εξωτερικές πλάκες.
- Φορτία επικάλυψης: 0.8 kN/m²
- Έδαφος: Κατηγορία Β.
- Σεισμικότητα περιοχής: II (Ρίο-Πάτρα)

1.2.1 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΜΟΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

Δοκοί:

Δοκός	Διατομή (cm)	Άνοιγμα	Στήριξη	Συνδετήρες
Δ1	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ2	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ3	20/50	5Φ12	2Φ12	Φ6/20
Δ4	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ5	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ6	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ7	20/50	5Φ12	2Φ12	Φ6/20
Δ8	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ9	20/50	7Φ12 + 7Φ14	4Φ14	Φ6/20
Δ10	20/50	7Φ14 + 8Φ16	4Φ16	Φ6/20

Δ11	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ12	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ13	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ14	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ15	20/50	2Φ12 + 2Φ14	2Φ14	Φ6/20
Δ16	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ17	20/50	4Φ12	2Φ12	Φ6/20
Δ18	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ19	20/50	2Φ12 + 3Φ14	2Φ14	Φ6/20
Δ20	20/50	4Φ12	2Φ12	Φ6/20
Δ21	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ22	20/50	5Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ23	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ24	20/50	5Φ12	2Φ12	Φ6/20
Δ25	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ26	20/50	4Φ12	2Φ12	Φ6/20

Πίνακας 1.1: Στοιχεία δοκών οροφής υπογείου

Δοκός	Διατομή (cm ²)	Ανοιγμα	Στήριξη	Συνδετήρες
Δ1	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ2	20/50	5Φ12	2Φ12	Φ6/20
Δ3	20/50	2Φ14 + 2Φ12	2Φ14	Φ6/20
Δ4	20/50	5Φ12	2Φ12	Φ6/20
Δ5	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ6	20/50	7Φ12 + 7Φ14	4Φ14	Φ6/20
Δ7	20/50	7Φ14 + 8Φ16	4Φ16	Φ6/20
Δ8	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ9	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ10	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ11	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ12	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ13	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ14	20/50	2Φ12 + 3Φ14	2Φ14	Φ6/20
Δ15	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ16	20/50	5Φ12	2Φ12	Φ6/20
Δ17	20/50	5Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ18	20/50	5Φ12	2Φ12	Φ6/20
Δ19	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ20	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ21		4Φ10	2Φ10	Φ6/20

Πίνακας 1.2: Στοιχεία δοκών οροφής ισόγειου

Δοκός	Διατομή (cm ²)	Άνοιγμα	Στήριξη	Συνδετήρες
Δ1	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ2	20/50	5Φ12	2Φ12	Φ6/20
Δ3	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ4	20/50	6Φ20	3Φ20	Φ6/20
Δ5	20/50	7Φ12 + 7Φ14	4Φ14	Φ6/20
Δ6	20/50	7Φ14 + 8Φ16	4Φ16	Φ6/20
Δ7	20/50	2Φ10	1Φ10	Φ6/20
Δ8	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ9	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ10	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ11	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ12	20/50	5Φ12	2Φ12	Φ6/20
Δ13	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20
Δ14	20/50	5Φ14	2Φ14	Φ6/20
Δ15	20/50	5Φ12	2Φ12	Φ6/20
Δ16	20/50	4Φ10	2Φ10	Φ6/20

Πίνακας 1.3: Στοιχεία δοκών οροφής 1^{ου} ορόφου

Υποστυλώματα: διατομής Γ: 30/30/20 με οπλισμό 8Φ14
 ορθογωνικά: 30/20 με οπλισμό 4Φ14
 45/20 (Κ8) με οπλισμό 4Φ16
 50/20 (Κ12) με οπλισμό 6Φ18
 50/20 (Κ16) με οπλισμό 8Φ14

Επειδή για τον εγκάρσιο οπλισμό των υποστυλωμάτων δεν υπήρχαν στοιχεία, θεωρήθηκε ο ελάχιστος οπλισμός των κανονιστικών διατάξεων της εποχής κατασκευής του δομήματος, σύμφωνα με τις οποίες τα υποστυλώματα πρέπει να οπλίζονται κατ' ελάχιστον με Φ8/25. [5]

Τοιχώματα:

Τοίχωμα	Διατομή	Σύνολο Ακραίων	Κατακόρυφος Οπλισμός Κορμού	Οριζόντιος Οπλισμός Κορμού	Συνδετήρες
T1	150/20	8Φ14	2Φ8/25	2Φ8/25	Φ8/25
T2	20/150	8Φ14	2Φ8/25	2Φ8/25	Φ8/25
T3	20/120	8Φ14	2Φ8/25	2Φ8/25	Φ8/25
T4	120/20	8Φ14	2Φ8/25	2Φ8/25	Φ8/25
T5	20/120	8Φ14	2Φ8/25	2Φ8/25	Φ8/25

Πίνακας 1.4: Στοιχεία Τοιχωμάτων

Πλάκες:

Στάθμη	Πλάκα	Είδος	Πάχος	Ύψος δοκίδων	Στατική λειτουργία	Οπλισμός
Οροφή Υπογείου	Π1	Συμπαγής	12cm	-	Μίας διεύθυνσης	Φ8/16
	Π2	Συμπαγής	12cm	-	Μίας διεύθυνσης	Φ8/16
	Π3	Συμπαγής	12cm	-	Μίας διεύθυνσης	Φ8/12*
	Π4	Zoellner	7cm	15cm	Μίας διεύθυνσης	2Φ10/δοκ.
	Π5	Zoellner	7cm	15cm	Μίας διεύθυνσης	2Φ8/δοκ.
	Π6	Συμπαγής	12cm	-	Μίας διεύθυνσης	Φ8/16
Οροφή Ισογείου	Π1	Συμπαγής	12cm	-	Μίας διεύθυνσης	Φ8/16
	Π2	Zoellner	7cm	15cm	Μίας διεύθυνσης	2Φ10/δοκ.
	Π3	Zoellner	7cm	15cm	Μίας διεύθυνσης	2Φ8/δοκ.
	Π4	Συμπαγής	12cm	-	Μίας διεύθυνσης	Φ8/16
Οροφή 1 ^{ου} Ορόφου	Π1	Zoellner	7cm	15cm	Μίας διεύθυνσης	2Φ10/δοκ.
	Π2	Zoellner	7cm	15cm	Μίας διεύθυνσης	2Φ8/δοκ.

Πίνακας 1.5:Στοιχεία πλακών

*Το άνοιγμα της Π3 αλλάζει κατά το μήκος της (Εικόνα 1.1). Σε αυτό το τμήμα, οπλίζεται με Φ10/10.

- Στις πλάκες Π1, Π6 ασκείται γραμμικό φορτίο λόγω της παρουσίας εξωτερικής σκάλας.

2. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥΚΑΤΑ ΚΑΝ.ΕΠΕ.**2.1 ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**

Η στάθμη επιτελεστικότητας εκφράζει την κατάσταση του φορέα έπειτα από έναν σεισμό, ανάλογο της τιμής σχεδιασμού του. Συγκεκριμένα, ο ΚΑΝ.ΕΠΕ ορίζει τρεις στάθμες επιτελεστικότητας:

- Περιορισμένες βλάβες (Α): Ο φορέας έχει υποστεί ελαφρίες βλάβες που δεν χρήζουν άμεσης επισκευής, ενώ οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις των ορόφων είναι αμελητέες. Το κτίριο είναι ασφαλές για χρήση μετά το σεισμό.
- Σημαντικές βλάβες (Β): Ο φορέας έχει υποστεί σημαντικές και εκτεταμένες αλλά επισκευάσιμες βλάβες. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις των ορόφων είναι μετρίου μεγέθους. Το κτίριο δεν κινδυνεύει από μετασεισμούς μικρής έντασης.
- Οιονεί κατάρρευση (Γ): Ο φορέας έχει υποστεί σοβαρές και εκτεταμένες βλάβες, μη επισκευάσιμες. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις των ορόφων είναι μεγάλες. Το κτίριο είναι ακατάλληλο για χρήση.

Οι στόχοι αποτίμησης και ανασχεδιασμού μπορούν να διαφέρουν μεταξύ τους ανάλογα με την σπουδαιότητα του κτιρίου και τα διαθέσιμα οικονομικά κριτήρια. Ο πίνακας 3.1 που ακολουθεί παρουσιάζει την επιλογή ενός συγκεκριμένου στόχου αποτίμησης ή ανασχεδιασμού του φέροντος οργανισμού. (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §2.2.2)[1]

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

Πίνακας 3.1: Στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού φέροντος οργανισμού [1]

2.2 ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η αποτίμηση του κτιρίου έγινε με χρήση της ανελαστικής στατικής ανάλυσης (Pushover). Η ανάλυση αυτή είναι ένα εργαλείο πολύ χρήσιμο για την αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών, καθώς δίνει πολύ αξιόπιστα αποτελέσματα, χωρίς να απαιτεί την ικανοποίηση πολλών προϋποθέσεων για την εφαρμογή της. Για το λόγο αυτό έχει υιοθετηθεί από όλους τους σύγχρονους κανονισμούς.

2.2.1 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Σκοπός της ανελαστικής στατικής ανάλυσης (Pushover) είναι η εκτίμηση του μεγέθους των ανελαστικών παραμορφώσεων που θα αναπτυχθούν στο κτίριο πριν την κατάρρευσή του. Κατά την εκτέλεση της ανάλυσης, στο φορέα υποβάλλονται οριζόντια κατανομημένα φορτία κατά τρόπο ανάλογο προς τις αδρανειακές δυνάμεις του σεισμού.[1] Η προσομοίωση της σεισμικής φόρτισης γίνεται με μονότονα αυξανόμενο ισοδύναμο πλευρικό στατικό φορτίο, σε επαναλαμβανόμενους κύκλους. Στο φορέα, σταδιακά σχηματίζονται πλαστικές αρθρώσεις. Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν δημιουργηθούν πλαστικές αρθρώσεις σε όλα τα γραμμικά στοιχεία, μετατρέποντας το φορέα σε μηχανισμό ή όταν η φόρτιση φτάσει μια προκαθορισμένη μέγιστη τιμή. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτει η καμπύλη αντίστασης του κτιρίου, η οποία συνδέει τη μετακίνηση ενός κόμβου (κόμβος ελέγχου) με την τέμνουσα βάση αυτού. Η καμπύλη αυτή αποτελεί τη βάση για όλους τους απαιτούμενους ελέγχους ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεστικότητας. [1] Ο κόμβος ελέγχου συνήθως ορίζεται στην κορυφή της τελευταίας πλήρους στάθμης της κατασκευής.

2.2.2 ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, κατά την εφαρμογή της ανελαστικής στατικής ανάλυσης (Pushover) δεν απαιτείται να πληρούνται πολλές προϋποθέσεις. Πιο συγκεκριμένα, είναι επιθυμητό, αν και όχι απαραίτητο, να διασφαλίζεται τουλάχιστον «Ικανοποιητική» Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων της κατασκευής, καθώς με αυτόν τον τρόπο εκμεταλλευόμαστε καλύτερα την ακρίβεια της μεθόδου (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.7.2)[1]. Απαραίτητος έλεγχος για την εφαρμογή της διαδικασίας είναι η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών. Για το λόγο αυτό, πραγματοποιείται πρώτα μια δυναμική ελαστική ανάλυση με τη συνεισφορά των ιδιομορφών που αντιστοιχούν τουλάχιστον στο 90% της συνολικής μάζας. Έπειτα, εκτελείται ακόμα μια ελαστική δυναμική ανάλυση λαμβάνοντας υπόψη μόνο την πρώτη ιδιομορφή. Στην περίπτωση που η τέμνουσα βάση της πρώτης ανάλυσης είναι μεγαλύτερη κατά 30% από αυτήν της δεύτερης, εκτός από την Pushover πρέπει να εκτελείται και μία ελαστική δυναμική ανάλυση. Οι έλεγχοι διεξάγονται και με τις δύο μεθόδους (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.7.2)[1].

2.3 ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ

Κατά τη διαστασιολόγηση και το σχεδιασμό νέων κτιριακών φορέων από οπλισμένο σκυρόδεμα, οι τοιχοπληρώσεις αγνοούνται, ικανοποιώντας μόνο αρχιτεκτονικές απαιτήσεις. Ωστόσο, η συνεισφορά τους πρέπει να υπόκειται σε έλεγχο, σε περίπτωση ύπαρξης σεισμικών δράσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §2.1.4.2)[1]. Ο προσδιορισμός της συμπεριφοράς των τοιχοπληρώσεων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά τους.

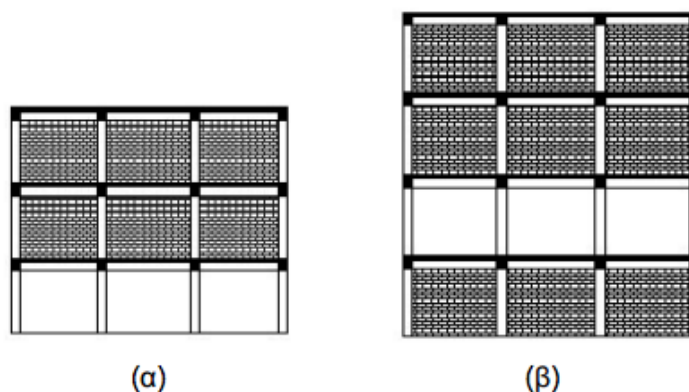
2.3.1 ΔΥΣΜΕΝΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Επεμβάσεων είναι υποχρεωτικό, όταν η παρουσία των τοιχοπληρώσεων έχει δυσμενή αποτελέσματα στον φέροντα οργανισμό, να συνεκτιμώνται στην ανάληψη σεισμικών δράσεων. Η επιρροή των τοιχοπληρώσεων σε ένα φορέα εξαρτάται από την κατανομή τους στο κτίριο, τη δυσκαμψία τους και τη γεωμετρία τους μέσα στο φάτνωμα στο οποίο ανήκουν.

2.3.1.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ

Ιδιαίτερα δυσμενείς συνθήκες δημιουργεί η ανομοιόμορφη κατανομή των τοίχων πλήρωσης, τόσο καθ' ύψος του κτιρίου όσο και σε κάτοψη.

Στην πρώτη περίπτωση (εικόνα 2.1), το πρόβλημα έγκειται στη δημιουργία μαλακού ορόφου, με μικρότερη αντοχή σε διάτμηση, στο ύψος της στάθμης που απουσιάζουν οι τοίχοι πλήρωσης. Ακόμη, στην ίδια στάθμη παρουσιάζεται μείωση της πλαστιμότητας, η οποία οξύνει το ήδη υπάρχον πρόβλημα.



Εικόνα 2.1: Ανομοιόμορφη κατανομή τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος. [2]

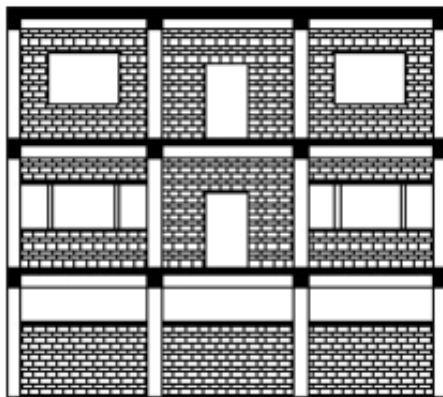
Στη δεύτερη περίπτωση, η ανομοιομορφία της κατανομής των τοιχοπληρώσεων σε κάτοψη, επηρεάζει τη θέση του κέντρου δυσκαμψίας ορόφου, «μετακινώντας» το προς τις περιοχές με ισχυρότερη παρουσία τοιχοποιίας. Αυτό προκαλεί εκκεντρότητα σε σχέση με το αντίστοιχο κέντρο μάζας, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη στρεπτικών ροπών περί κατακόρυφο άξονα κατά τη σεισμική διέγερση, οι οποίες καταπονούν σημαντικά το κτίριο.

2.3.1.2 ΔΥΣΚΑΜΨΙΑ

Τοιχοπληρώσεις οι οποίες χαρακτηρίζονται από μεγάλη δυσκαμψία, με υψηλή αντοχή, τείνουν να προκαλέσουν τοπικές αστοχίες σε γειτονικά, αδύναμα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα. Πιο συγκεκριμένα, η διαγώνια δύναμη που ασκείται στο υποστύλωμα από τον τοίχο μπορεί να προκαλέσει διατμητική αστοχία η οποία συνεχίζει ως τον υπερκείμενο κόμβο.

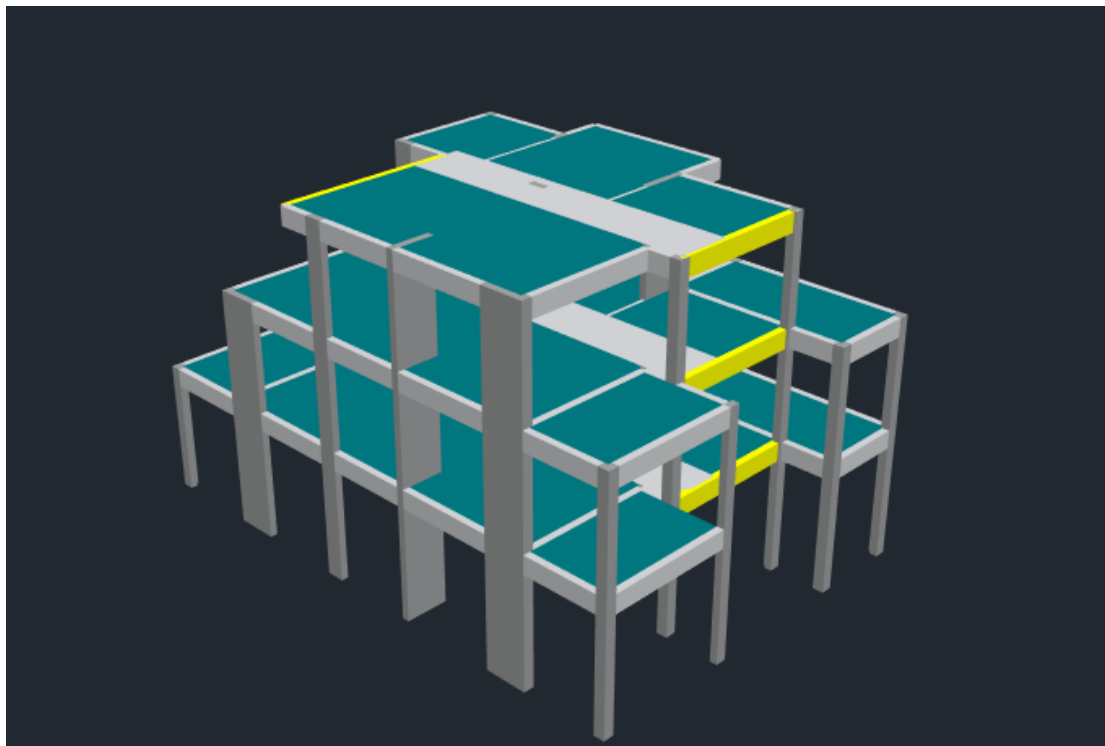
2.3.1.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

Η ύπαρξη ανοιγμάτων σε ένα φάτνωμα επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά της τοιχοποιίας, κυρίως όσον αφορά τα μηχανικά χαρακτηριστικά της. Ειδικότερα, δυσμενείς συνθήκες αναπτύσσονται, όταν οι τοιχοπληρώσεις διακόπτονται στη στάθμη της ποδιάς των παραθύρων, σε όλο το μήκος του φαντώματος (εικόνα 2.2). Αποτέλεσμα της διάταξης αυτής είναι η δημιουργία κοντών υποστλωμάτων, στοιχείων με μικρή λυγηρότητα, τα οποία είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε οριζόντιες δράσεις.



Εικόνα 2.2: Διακοπή τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος, στη στάθμη της ποδιάς των παραθύρων, σε όλο το μήκος του φαντώματος ή σε ψηλότερη στάθμη. [2]

3. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ



Εικόνα 3.1: Τρισδιάστατη απεικόνιση του φορέα.

Η προσομοίωση του κτιρίου έγινε στο πρόγραμμα Scada Pro. Το πρώτο βήμα ήταν η περιγραφή του φορέα στο πρόγραμμα, η οποία περιελάμβανε τον ορισμό διατομών:

- δοκών
- υποστρωμάτων
- τοιχείων
- πλακών
- τοιχοπληρώσεων

καθώς και τον οπλισμό των φερόντων στοιχείων.

Ωστόσο, απαραίτητες κρίθηκαν κάποιες παραδοχές λόγω της ιδιομορφίας του φορέα:

- Τοιχοπληρώσεις με άνοιγμα το οποίο πλησιάζει ή υπερβαίνει το 50% των αντίστοιχων διαστάσεων φατνώματος, αγνοούνται (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §7.4.1)[1].
- Η στάθμη οροφής υπογείου βρίσκεται 0,5m πάνω από το έδαφος. Για το λόγο αυτό, στους υπολογισμούς, θεωρήθηκε ότι η στάθμη του εδάφους βρίσκεται στη βάση του υπογείου, παραδοχή η οποία είναι προς τη μεριά της ασφάλειας.

Επίσης για την προσομοίωση του φορέα η θεμελίωση δεν εισάγεται στο μοντέλο, αλλά θεωρούνται πακτώσεις στη βάση όλων των κατακόρυφων στοιχείων. Τα υλικά που χρησιμοποιήσαμε, ορίστηκαν με σύγχρονες ποιότητες και προσαρμογή των χαρακτηριστικών τους στα υφιστάμενα (σκυρόδεμα C8/10, χάλυβας S220 για B160 και StI αντίστοιχα).

Επειδή διατίθενται πλήρη σχέδια της αρχικής μελέτης που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κτιρίου, αλλά δεν είναι γνωστό αν έχουν εφαρμοστεί ακριβώς, η στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων (Σ.Α.Δ.) θεωρήθηκε ικανοποιητική (ΚΑΝ.ΕΠΕ. ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2)[1], υπέρ της ασφάλειας.

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER)

Μετά την προσομοίωση της κατασκευής με τους υπάρχοντες οπλισμούς, ακολούθησε η διενέργεια της ανάλυσης για την αποτίμηση του κτιρίου. Η φάση αυτή της μελέτης πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια. Αρχικά, εκτιμήθηκε η αντοχή όλων των κατακόρυφων δομικών στοιχείων του κτιρίου. Κατά το δεύτερο στάδιο, προσδιορίστηκε η απόκριση της κατασκευής και εξήχθη το σχετικό διάγραμμα. Ο ορισμός των παραμέτρων για την αποτίμηση του κτιρίου έγινε με βάση τα στοιχεία που αναφέρθηκαν παραπάνω (§1.2). Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε για τέσσερις συνδυασμούς σεισμικών δράσεων, σε δύο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις, με δύο διαφορετικές κατανομές καθ' ύψος, όπως ορίζει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. (§5.7.3.3)[1], μία τριγωνική και μία ομοιόμορφη (ορθογωνική). Ως κόμβος ελέγχου ορίστηκε ο κόμβος διαφράγματος της τελευταίας στάθμης του κτιρίου. Τέλος, δεν πραγματοποιήθηκε έλεγχος επιρροών 2ας τάξεως.

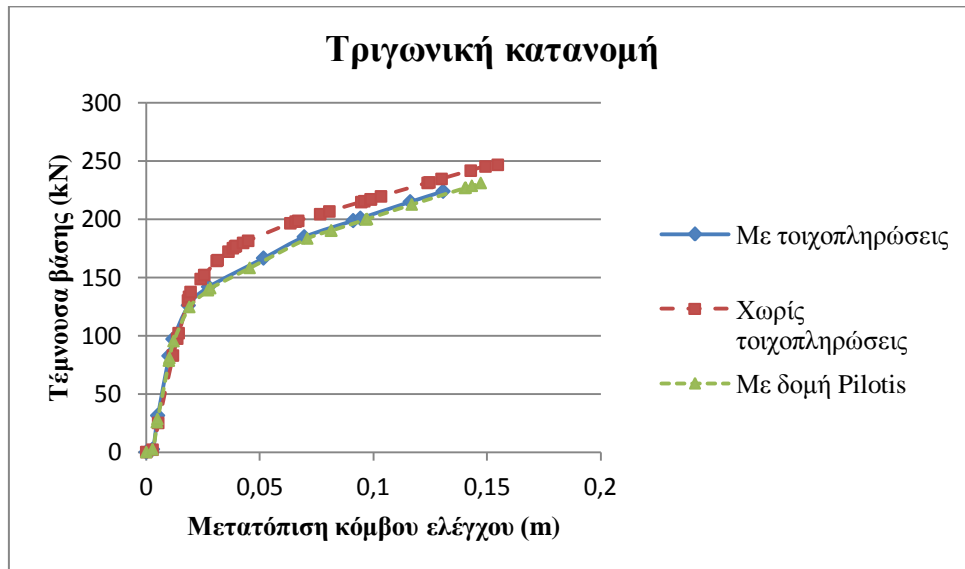
4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με δύο διαφορετικές κατανομές, μία τριγωνική και μία ορθογωνική. Παράλληλα η μοντελοποίηση του φορέα διαχωρίστηκε σε τρεις περιπτώσεις, ανάλογα με τη θεώρηση που έγινε σχετικά με τους τοίχους πλήρωσης.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το δυσμενέστερο συνδυασμό κάθε κατανομής, ο οποίος ήταν, σε όλες τις περιπτώσεις, ο $F_z+0,3F_x$ (η φορά των αξόνων φαίνεται στις εικόνες 1.1-1.3). Αξίζει να σημειωθεί ότι όλες οι συγκρίσεις γίνονται σε όρους μετακινήσεων και όχι δυνάμεων, καθώς με αυτόν τον τρόπο χρησιμοποιούνται συνήθως οι ανελαστικές μέθοδοι. Τέλος, οι καμπύλες απόκρισης σχεδιάζονται μέχρι τελικής αστοχίας του φορέα και όχι μέχρι το 150% της στοχευόμενης μετακίνησης, όπως προτείνεται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., καθώς έχει σημασία το μέγεθος των ανελαστικών παραμορφώσεων που μπορεί να παραλάβει ο φορέας με και χωρίς τοιχοπληρώσεις.

4.1.1 ΤΡΙΓΩΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

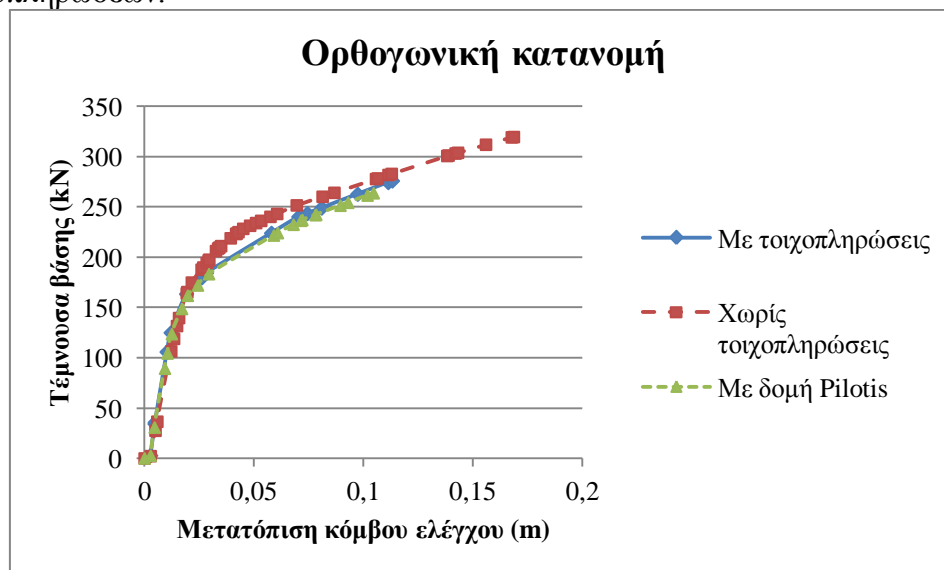
Από τα αποτελέσματα της τριγωνικής κατανομής, τα οποία παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.1, η χαμηλότερη παραμόρφωση αστοχίας εντοπίζεται στην περίπτωση συνυπολογισμού των τοιχοπληρώσεων, ενώ ακολουθεί η δομή Pilotis. Συγκεκριμένα, η παραμόρφωση αστοχίας για την περίπτωση που οι τοιχοπληρώσεις αγνοούνται είναι αυξημένη κατά 18,4% σε σχέση με την πρώτη, ενώ μόλις κατά 5% ως προς τη δεύτερη. Αυτό μας οδηγεί στην υπόθεση ότι οι τοιχοπληρώσεις έχουν δυσμενή επιρροή στην απόκριση του κτιρίου.



Σχήμα 4.1: Αποτελέσματα Pushover ανάλυσης για τριγωνική κατανομή

4.1.2 ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

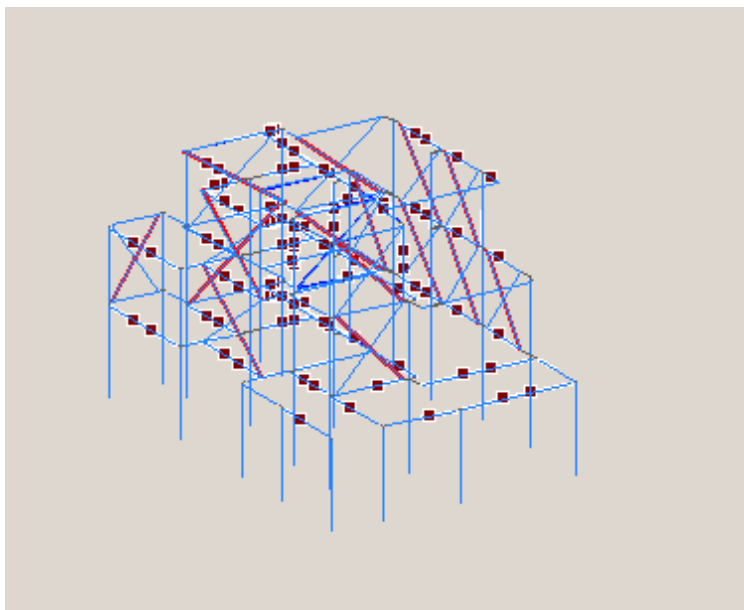
Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 4.2, για την ορθογωνική κατανομή τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται σημαντικά. Η χαμηλότερη παραμόρφωση παρατηρείται αυτήν τη φορά στη δομή Pilotis, μειωμένη σε σχέση με την τριγωνική κατανομή κατά 40,7%. Ομοίως, η παραμόρφωση αστοχίας για την περίπτωση συνυπολογισμού των τοιχοπληρώσεων είναι μειωμένη κατά 15,4%. Αντιθέτως, στην τρίτη περίπτωση δεν παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση. Τέλος, επιβεβαιώνεται η προηγούμενη υπόθεση περί δυσμενούς επιρροής των τοιχοπληρώσεων.



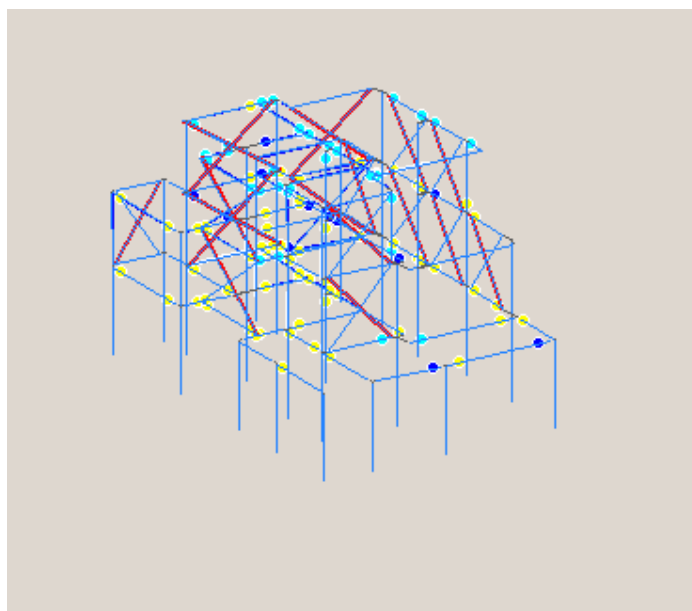
Σχήμα 4.2: Αποτελέσματα Pushover ανάλυσης για ορθογωνική κατανομή

4.1.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΑΛΑΚΟΥ ΟΡΟΦΟΥ

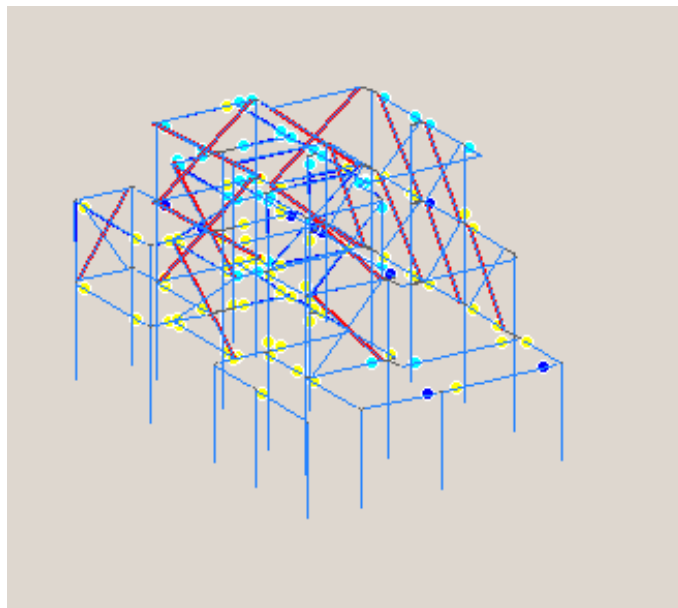
Όσον αφορά τον έλεγχο για τη δημιουργία μηχανισμού μαλακού ορόφου, παρατηρήθηκε ότι πλαστικές αρθρώσεις δημιουργήθηκαν πρώτα στις ανώτερες στάθμες του κτιρίου (εικόνες 4.1-4.4). Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι δεν προέκυψε τέτοια κατάσταση. Μία πιθανή εξήγηση για αυτό το φαινόμενο είναι η ύπαρξη εσοχών στους ανώτερους ορόφους, η οποία συνεπάγεται τη μείωση της δυσκαμψίας τους, ως αποτέλεσμα της ελάττωσης του πλήθους των υποστυλωμάτων που διέρχονται από αυτούς.



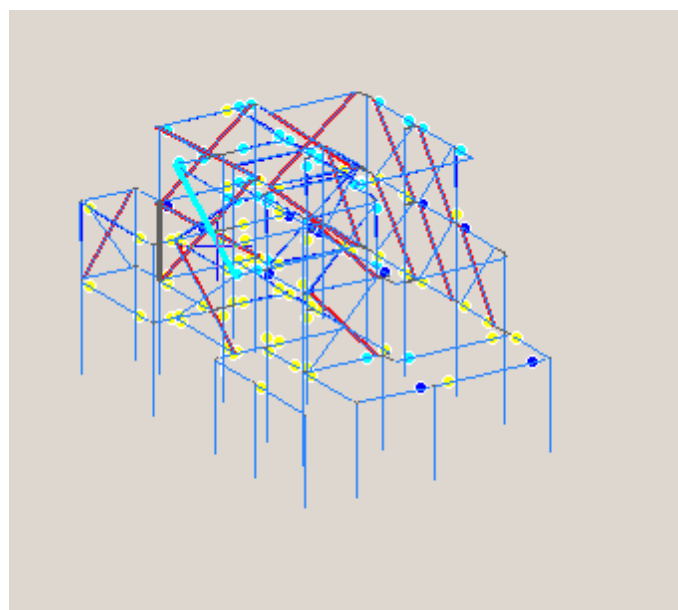
Εικόνα 4. 1



Εικόνα 4. 2



Εικόνα 4.3



Εικόνα 4.4

Εικόνες 4.1-4.4: Διαδοχική δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων στο φορέα για τα πρώτα βήματα της ανάλυσης Pushover, για το δυσμενέστερο συνδυασμό

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η συμμετοχή των τοιχοπληρώσεων στην ανάληψη σεισμικών δράσεων είναι αρκετά απρόβλεπτη. Για το λόγο αυτό συνίσταται να εκτελούνται πάντα δύο αναλύσεις, μία με συνυπολογισμό των τοιχοπληρώσεων και μία χωρίς και να πραγματοποιείται η αποτίμηση του κτιρίου με τη δυσμενέστερη από τις δύο.
- Η πλευρική δυσκαμψία του κτιρίου δε φαίνεται να επηρεάζεται από την ύπαρξη τοιχοπληρώσεων.

- Το σημείο στο οποίο το κτίριο περνάει από την ελαστική στην ανελαστική κατάσταση, αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη τέμνουσα βάση για την περίπτωση της μη-συμμετοχής τοιχοπληρώσεων. Από αυτό προκύπτει ότι, σε αντίθεση με την πλευρική δυσκαμψία, η αντοχή του κτιρίου επηρεάζεται περισσότερο από την παρουσία τοιχοπληρώσεων, στη συγκεκριμένη περίπτωση αρνητικά, πιθανώς λόγω πρόωρης αστοχίας των τοίχων πλήρωσης, οι οποίοι επιβαρύνουν στη συνέχεια τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία.
- Ο κίνδυνος δημιουργίας μαλακού ορόφου προκύπτει μειωμένος για κτίρια τα οποία έχουν εσοχές σε ανώτερες στάθμες, ακόμα και σε περίπτωση πλήρους απουσίας τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο, καθώς η σεισμική δύναμη ενδέχεται να προκαλέσει αστοχία πρώτα σε υποστυλώματα ανώτερων ορόφων.
- Τα στοιχεία τοιχοπληρώσεων που αστοχούν πρώτα είναι αυτά που βρίσκονται στις ανώτερες στάθμες, λόγω των αυξημένων παραμορφώσεων που προκαλούνται εκεί.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] ΚΑΝ.ΕΠΕ., 1^η αναθεώρηση – Ιούλιος 2013

[2] «Διερεύνηση της επιρροής των τοιχοπληρώσεων στη σεισμική απόκριση πλαισιακών κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος», Λάμπρος Γ. Πασπάτης, Διπλωματική Διατριβή Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης, Χανιά 2009

[3] http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/947/1/master_Antonopoulos.pdf
«Σεισμική συμπεριφορά παλαιών κτιρίων με pilotis και πρακτικές προτάσεις βελτίωσής της», Θεμιστοκλής Α. Αντωνόπουλος, Διατριβή μεταπτυχιακού διπλώματος ειδίκευσης, Πάτρα 2008.

[4] «Συγκριτική μελέτη μεθόδων εμφάνωσης πλαισίων Ο.Σ. κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. μέσω ανελαστικών στατικών αναλύσεων», Πολυδωρόπουλος Σπυρίδων, Τσιτσόκας Δημήτριος, 20^ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών 2014

[5] Ελληνικός κανονισμός σκυροδέματος, 1954