



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Σεισμική και οικονομική αποτίμηση σχολικού κτιρίου οπλισμένου σκυροδέματος του 2003 στα Γρεβενά



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Φώτιος Αποστόλου

Επιβλέπων: Δημήτριος Βαμβάτσικος

Αθήνα, Νοέμβριος 2023

ΕΜΚ ΔΕ 2023/19

Αποστόλου Φ.(2023).
Σεισμική και οικονομική αποτίμηση σχολικού κτιρίου οπλισμένου σκυροδέματος του
2003 στα Γρεβενά
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2023/19
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Apostolou F.(2023).
Seismic performance and loss assessment of a reinforced concrete school building
constructed in 2003 in Grevena
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2023/19
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	4
Abstract	5
Ευχαριστίες	6
1 Εισαγωγή	7
1.1 Γενικά.....	7
1.2 Πρωτοβάθμιος προσεισμικός έλεγχος-Ταχύς οπτικός έλεγχος.....	8
1.3 Δευτεροβάθμιος προσεισμικός έλεγχος	10
1.4 Τριτοβάθμιος προσεισμικός έλεγχος.....	13
2 Περιγραφή φορέα	15
2.1 Γενικά χαρακτηριστικά	15
2.2 Προσομοίωση.....	18
3 Εφαρμογή προσεισμικών ελέγχων	21
3.1 Πρωτοβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος.....	21
3.2 Δευτεροβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος	22
3.3 Τριτοβάθμιος Προσεισμικός έλεγχος.....	31
3.3.1 Ιδιομορφική ανάλυση.....	31
3.3.2 Στατική ανελαστική ανάλυση (pushover).....	34
3.3.3 Γραμμική δυναμική ανάλυση (Φασματική Ανάλυση).....	43
3.3.4 Έλεγχος κοντού υποστύλωματος.....	44
3.4 Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση χωρίς αστοχία κατακόρυφου μέλους.....	46
3.5 Σχόλια-Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα.....	46
4 Εκτίμηση οικονομοτεχνικών απωλειών	50
4.1 Γενικά.....	50
4.2 Εκτίμηση τρωτότητας.....	50
4.3 Προσδιορισμός σεισμικής επικινδυνότητας κατά ΕΦΕΗΡ	54
4.4 Εισαγωγή δεδομένων στο PACT.....	56
4.5 Αποτελέσματα οικονομοτεχνικής μελέτης.....	59
5 Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα	65
6 Βιβλιογραφία	66
Παράρτημα Α: Ξυλότυποι.....	68

Σεισμική και οικονομική αποτίμηση σχολικού κτιρίου οπλισμένου σκυροδέματος του 2003 στα Γρεβενά

Αποστόλου Φ. (Επιβλέπων: Βαμβάτσικος Δ.)

Περίληψη

Η αντισεισμική θωράκιση υφιστάμενων κατασκευών ιδιαίτερης κοινωνικής σημασίας, όπως τα σχολεία, είναι αδιαμφισβήτητα σημαντική. Με ποιόν τρόπο όμως εντοπίζονται άμεσα τα πιο τρωτά σχολεία με σκοπό να ενισχυθούν και να αυξήσουν το επίπεδο ασφάλειας τους; Λύση στο πρόβλημα αυτό δίνουν οι προσεισμικοί έλεγχοι, οι οποίοι χωρίζονται σε τρία επίπεδα. Τον πρωτοβάθμιο που κάνει μια γρήγορη και αδρομερή κατάταξη προτεραιότητας περαιτέρω ελέγχου, τον δευτεροβάθμιο που απαιτεί περισσότερο χρόνο και κατατάσσει καλύτερα τα κρίσιμα κτίρια, και τον αναλυτικότερο τριτοβάθμιο έλεγχο που επιτρέπει το σχεδιασμό της αποκατάστασης της κατασκευής.

Από όλη αυτήν την διαδικασία επιλέχθηκε να περάσει ένα τριώροφο σχολικό κτίριο οπλισμένου σκυροδέματος, μελετημένο το 2003, που βρίσκεται στην πόλη των Γρεβενών. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον έχει ο τριτοβάθμιος προσεισμικός έλεγχος, καθώς οι επιλογές του μελετητή μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά τα αποτελέσματα ως προς την εκτιμώμενη συμπεριφορά της κατασκευής. Εξετάζεται λοιπόν, πόσο πιο ευμενή ή όχι γίνονται τα αποτελέσματα αν εφαρμοστεί ο Κανονισμός Επεμβάσεων ή ο Ευρωκώδικας 8, αν ληφθούν υπόψιν οι τοιχοπληρώσεις ή όχι, αν επιλεγθεί στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων ικανοποιητική ή υψηλή και αν η επιθυμητή στάθμη επιτελεστικότητας γίνει B1 (σημαντικές βλάβες) ή Γ0 (οιωνεί κατάρρευση). Με βάση αυτά υπολογίζεται η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση για την οποία δεν εμφανίζεται καμία αστοχία κατακόρυφου μέλους για το συντηρητικότερο και το λιγότερο συντηρητικό προσομοίωμα, με το εύρος να είναι εντυπωσιακό. Παράλληλα, μελετάται η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών και γίνεται μια συμπληρωματική γραμμική δυναμική ανάλυση πέρα από την στατική ανελαστική. Τέλος, εξετάζεται η κρισιμότητα των κοντών υποστυλωμάτων που εμφανίζονται στην βόρεια όψη, λόγω της διακοπής των τοιχοπληρώσεων.

Αφού εξασφαλισθεί ότι το κτίριο έχει χαμηλή διακινδύνευση έναντι σεισμού, υπολογίζεται ποιο είναι το κόστος επισκευών δομικών (δηλαδή φερόντων) και μη δομικών μελών για κλιμακούμενες εντάσεις εδαφικής επιτάχυνσης. Στο λογισμικό PACT εισάγονται σεισμολογικά δεδομένα από τον ευρωπαϊκό οργανισμό σεισμικής επικινδυνότητας και ρίσκου (EFEHR), δεδομένα από την καμπύλες τρωτότητας που υπολογίστηκαν από το SPO2FRAG καθώς και κόστη επισκευής όλων των μελών του κτιρίου. Έτσι υπολογίζεται το μέσο ετήσιο κόστος επισκευών, μέγεθος που υποστηρίζει την λήψη αποφάσεων σχετικά με την ασφάλιση ή ενίσχυση της κατασκευής.

Λέξεις κλειδιά: Σεισμική Αποτίμηση, Στατική ανελαστική ανάλυση, Γραμμική δυναμική ανάλυση, Στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων, SPO2FRAG, PACT, ΚΑΝ.ΕΠΕ., Ευρωκώδικας 8, Μέσο ετήσιο κόστος

Seismic performance and loss assessment of a reinforced concrete school building constructed in 2003 in Grevena

Apostolou F.(supervised by Vamvatsikos D.)

Abstract

The seismic protection of existing structures that are of great value to society, such as schools, is undeniably important. How such buildings are evaluated to determine if additional reinforcement is necessary remains an important issue. The solution comes in the form of seismic risk assessment, which is partitioned into three levels. The first level serves to offer a rapid and rough prioritization of which building needs further evaluation; the second is more resource intensive but achieves more refined classification, while the third is detailed enough to allow designing the rehabilitation scheme.

To showcase this process, we selected a three-storey reinforced concrete school building designed in 2003, which is located in the city of Grevena, Greece. Of primary interest is the third level of the earthquake risk assessment, since the structural engineer's choices could drastically affect the end results regarding the estimated behavior of the structure. As such, it is examined whether the results change if the Greek Code of Interventions (KAN.EΠ.E) or Eurocode 8 is used, if infills are taken into account when modelling, if the knowledge level of building data is set to satisfactory or high, as well as if the desired performance level is set to B1 (Significant damage) or C0 (Near collapse). According to the above parameters, the peak ground acceleration for which there are no failures in lateral members is calculated, with the difference between the more versus less conservative model being impressive. At the same time, the influence of higher modes of response on the model is looked into by performing modal response spectrum analysis, in addition to the nonlinear static analysis. Finally, we assess the criticality of short columns found in the northern side due to the less-than-full-height infill walls.

After ensuring that the building carries a low risk against earthquakes, the cost of repairs relevant to increasing ground acceleration is determined, both for structural (load-bearing) and non-structural members. Seismic data stemming from the European Facilities for Earthquake Hazard and Risk (EFEHR), fragility curves estimated by SPO2FRAG as well as the repair cost data for the building members are all plugged into the PACT software. Then the average yearly cost of repairs is estimated, which in turn allows determining whether one should insure or reinforce the structure.

Keywords: Seismic performance assessment, Static pushover analysis, response spectrum analysis, Data knowledge level, SPO2FRAG, PACT, KAN.EΠ.E., Eurocode 8, Average annual loss

Ευχαριστίες

Κάπου εδώ ο προπτυχιακός κύκλος σπουδών μου φτάνει στο τέλος του, οπότε θα ήθελα να ευχαριστήσω όσα άτομα με βοήθησαν. Πρώτα από όλους τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Δημήτρη Βαμβάτσικο, για όλο το χρόνο που διέθεσε, ώστε να λύνονται οι απορίες και οι προβληματισμοί που είχα, καθώς και για τις γενικότερες συζητήσεις που κάναμε σχετικά με τα επόμενα ακαδημαϊκά σχέδια.

Στην συνέχεια άτομα που γνώρισα στην σχολή Πολιτικών Μηχανικών, τον Αναστάση Αποστολόπουλο, τον Αναστάση Κουτσοβίτη, τον Επαμεινώντα Λεϊμονή τον Φώτη Πατρινέλη και πολλούς ακόμα που είχαμε την ευκαιρία να διαβάσουμε, να προβληματιστούμε, να βγούμε, να ξενυχτίσουμε, να πιούμε και γενικότερα να κάνουμε την φοιτητική μας ζωή, ακόμα πιο ευχάριστη.

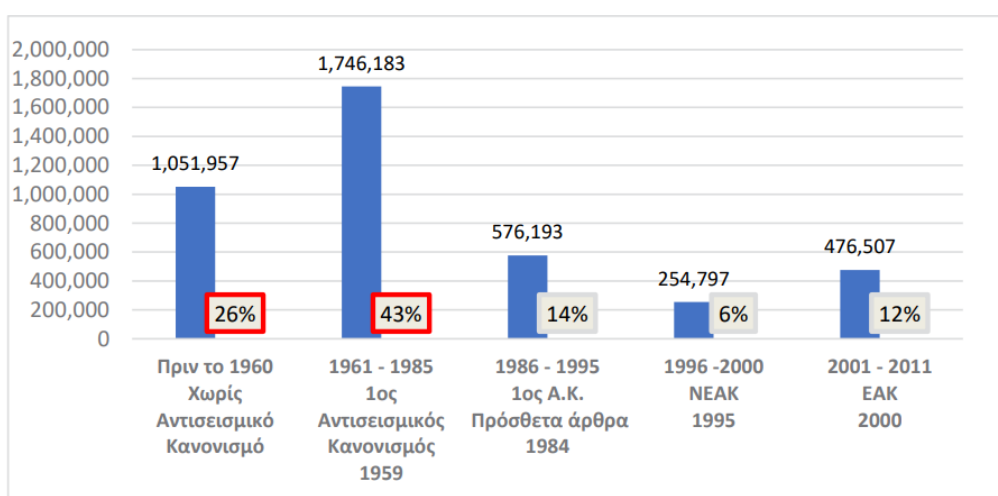
Ειδική αναφορά στον κατά ένα χρόνο μικρότερο αδερφό μου Γιάννη (Γιαννάκη) που παρά τα «μαλώματα» που προκύπτουν λόγω της συγκατοίκησης στο φοιτητικό σπίτι της Αθήνας, μοιραζόμαστε τις ίδιες φιλοδοξίες και μου ασκεί πάντα γόνιμη κριτική.

Τέλος φυσικά τους γονείς μου, Χριστίνα και Γιάννη για όλη τους την ηθική υποστήριξη και τον αδιάκοπο αγώνα που κάνουν 23+ χρόνια, ώστε και εγώ και ο αδερφός μου να συνεχίζουμε τις σπουδές μας, με αφοσίωση, χωρίς παρεμβολές.

1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Σεισμοί ονομάζονται οι δονήσεις του εδάφους που προκαλούνται από την εκτόνωση μιας ποσότητας συσσωρευμένης ενέργειας σε μία θέση μέσα στην γη που ονομάζεται εστία του σεισμού ή υπόκεντρο (Ραντογιάννη, 2018). Οι επιπτώσεις αυτών των δονήσεων μπορεί να γίνουν ολέθριες όταν τα τεχνικά έργα δεν σχεδιάζονται κατάλληλα ώστε να συνυπάρχουν με το φαινόμενο του σεισμού. Η ιστορία των αντισεισμικών κανονισμών στην Ελλάδα ξεκινάει το 1959 ,με τον πρώτο ελληνικό αντισεισμικό κανονισμό να τίθεται σε ισχύ σε όλη τη χώρα (είχε προηγηθεί το ΦΕΚ 234Α/7-11-1928 περί αντισεισμικού οικοδομικού κανονισμού Κορίνθου Λουτρακίου σε τοπικό επίπεδο). Το 1984 συμπληρώθηκε με πρόσθετα βασικά άρθρα και το 1995 τέθηκε σε αποκλειστική εφαρμογή ο Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (Ν.Ε.Α.Κ).Το 2001 θεσπίστηκε ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός – 2000 (Ε.Α.Κ.2000) και τέλος από την 30-5-2014 (ΦΕΚ 1457/2014) είναι σε παράλληλη και αυτούσια χρήση και ο Ευρωκώδικας 8. Στο Σχήμα 1.1 αποτυπώνονται στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ του 2011, σύμφωνα με τα οποία 2.798.140 κτίρια ή αλλιώς το 69% των κτιρίων της Ελλάδας είναι κατασκευασμένα χωρίς καθόλου αντισεισμικό κανονισμό ή με τον Αντισεισμικό κανονισμό του 1959. Ο συγκεκριμένος κανονισμός αντιμετώπιζε τον σεισμό απλά ως μια οριζόντια δύναμη και ποσοστό του συνολικού βάρους της κατασκευής που εφαρμόζεται στο κέντρο βάρους κάθε ορόφου. Δεν περιείχε έννοιες όπως η πλαστιμότητα και ο ικανοτικός σχεδιασμός και οι υπολογισμοί γινόταν χωρίς την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Οι παράγοντες αυτοί είναι πιθανό να έχουν οδηγήσει σε κατασκευές αμφιλεγόμενης ασφάλειας που χρήζουν άμεσης σεισμικής αποτίμησης. Το ερώτημα που τίθεται όμως είναι πόσος χρόνος θα πάρει να ελεγχθούν όλα τα κτίρια της χώρας και πώς θα εντοπιστούν τα κρισιμότερα κτίρια με σκοπό να ενισχύσουν τον επίπεδο ασφάλειας τους το συντομότερο δυνατόν; Η απάντηση δίνεται χάρη στον πρωτοβάθμιο και δευτεροβάθμιο προσεισμικό έλεγχο που εφαρμόζονται στις παραγράφους 3.1 και 3.2 αντίστοιχα , ενώ η τελική απάντηση σχετικά με το επίπεδο ασφάλειας του συγκεκριμένου σχολείου, δίνεται στην παράγραφο 3.3. Τέλος στο κεφάλαιο 4 εκτιμάται το ετήσιο πιθανό κόστος επισκευών για διάφορα επίπεδα σεισμικής έντασης.



Σχήμα 1.1: Πλήθος κτιρίων ανά κατασκευαστική περίοδο (ΕΛΣΤΑΤ 2011, ΟΑΣΠ 2022)

1.2 Πρωτοβάθμιος προσεισμικός έλεγχος-Ταχύς οπτικός έλεγχος

Ο πρωτοβάθμιος προσεισμικός έλεγχος είναι το πρώτο στάδιο κατηγοριοποίησης των κτιρίων ως προς την κρισιμότητά τους για περαιτέρω έλεγχο. Από το 2001 διενεργείται υπό την εποπτεία του ΟΑΣΠ για κτίρια δημόσιας και κοινωφελούς χρήσης, ενώ από το 2014 (ΚΥΑ 7581/ΦΕΚ 405B/20-02-2014) είναι απαραίτητος για την νομιμοποίηση των αυθαιρέτων. Ο έλεγχος αυτός αποτυπώνεται στο Δελτίο Δομικής Τρωτότητας Αυθαιρέτου ή αλλιώς εν συντομία ΔΕ.ΔΟ.Τ.Α. Τα στοιχεία που συμπληρώνονται στο δελτίο παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.2, αφορούν ποιοτικά κριτήρια για τα οποία είναι απαραίτητη η επιτόπου αυτοψία του κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα, στο δελτίο πρωτοβάθμιου προσεισμικού ελέγχου (5^η έκδοση, 2020) περιέχονται πέντε ενότητες με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Ενότητα Α: Ταυτότητα κτιρίου, περιέχονται στοιχεία σχετικά με την γεωγραφική τοποθεσία, στοιχεία του ιδιοκτήτη.
- Ενότητα Β: Τεχνικά στοιχεία κτιρίου, όπως ο αριθμός ορόφων, το έτος κατασκευής, κατηγορία σπουδαιότητας.
- Ενότητα Γ: Σεισμολογικά και γεωτεχνικά στοιχεία περιοχής, δηλαδή τρέχουσα ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας και ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας κατά την περίοδο μελέτης και κατηγορία εδάφους κατά τον Ε.Α.Κ. – 2000 .
- Ενότητα Δ: Δομικός τύπος κτιρίου (Πίνακας 1.1).
- Ενότητα Ε: Στοιχεία Τρωτότητας, συμπληρώνονται στοιχεία σχετικά με την κανονικότητα, το ύψος, τα κοντά υποστυλώματα, το μαλακό όροφο, προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις κ.α. .

Πίνακας 1.1: Περιγραφή δομικών τύπων

ΔΟΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ	ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ
ΟΣα	Κτίρια με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, παλαιότερα	Χωρίς Κανονισμούς Αντισεισμικός Κανονισμός 1959 (Α/Σ '59) Κανονισμός Σκυροδέματος 1954 (Κ/Σ '54) Ουσιαστικώς , κτίρια μέχρι το 1985
ΟΣβ	Κτίρια με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, νεότερα	Α/Σ '59 με πρόσθετα άρθρα 1985 (Α/Σ '85) Κ/Σ '54 Ουσιαστικώς , κτίρια μέχρι το 1986 έως και 1995/2000
ΟΣγ	Κτίρια με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, σύγχρονα	Α/Σ : ΝΕΑΚ Κ/Σ : ΝΕΚΟΣ Σύγχρονα κτίρια , με το πλαίσιο των σύγχρονων κανονισμών

Πίνακας 1.2: Πίνακας τελικής βαθμολόγησης πρωτοβάθμιου ελέγχου για κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ		
	ΟΣα	ΟΣβ	ΟΣγ
Βασική Βαθμολογία, αναλόγως Δομικού Τύπου	6	7	8
Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας I	-0.5	-0.1	-0.5
Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας II ή III	-1.5	-1.5	-1
Έδαφος κατηγορίας B (για αποδεδειγμένως A: - 0.1)	-0.3	-0.3	-0.3
Έδαφος κατηγορίας Γ ή Δ	-0.6	-0.6	-0.6
Έδαφος Γ ή Δ και άνω των 5 ορόφων	-0.8	-0.8	-0.8
Έδαφος κατηγορίας X	-0.8	-0.8	-0.8
Χωρίς Αντισεισμικό Κανονισμό	-0.5	-	-
Προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις, προβλήματα	-1	-0.5	-0.5
Κακή κατάσταση	-0.5	-0.5	-0.5
Κρούση με γειτονικά κτίρια	-0.5	-0.5	-
Pilotis ή/και Κοντά Υποστυλώματα	-1.5	-1.5	-0.5
Μη Κανονική διάταξη τοιχοπλήρωσης σε κάτοψη	0.5	0.5	-
Μεγάλο ύψος	-1	-0.5	-0.5
Μη κανονικότητα σε τομή	-1	-0.5	-0.5
Μη κανονικότητα σε κάτοψη	-1	-0.5	-0.5
Στρέψη (έντονη)	-0.5	-0.5	-0.5
Ένταση λειτουργίας	0.2 ή 0.5	0.2 ή 0.5	0.2 ή 0.5
Αριθμός χρηστών ≤ 9	-0.2	-0.2	-0.2
Αριθμός χρηστών 10-99	-0.4	-0.4	-0.4
Αριθμός χρηστών ≥ 100	-0.6	-0.6	-0.6

Πίνακας 1.3: Κατάταξη προτεραιότητας περαιτέρω ελέγχου

Βαθμολογία	Κατηγορία
$\tau.β. \leq 4$	Υψηλή προτεραιότητα περαιτέρω ελέγχου
$4 < \tau.β. < 5.5$	Μέση προτεραιότητα περαιτέρω ελέγχου
$\tau.β. \geq 5.5$	Χαμηλή προτεραιότητα περαιτέρω ελέγχου

1.3 Δευτεροβάθμιος προσεισμικός έλεγχος

Τα κρισιμότερα κτίρια του πρωτοβάθμιου ελέγχου, περνούν στον δευτεροβάθμιο. Γίνεται δηλαδή με αναλυτικότερο τρόπο η εκ νέου ταξινόμηση των κρισιμότερων κτιρίων, για τα οποία θα απαιτηθεί τριτοβάθμιος έλεγχος. Δεν είναι στόχος του δευτεροβάθμιου να υπολογίσει την σεισμική ικανότητα της κατασκευής βάση της οποίας θα σχεδιαστεί μια πιθανή ενίσχυση, παρά μόνο να συγκρίνει κτίρια μεταξύ τους για τα οποία θα απαιτηθεί περαιτέρω έλεγχος. Όλη η φιλοσοφία του συμπυκνώνεται στα ακόλουθα τρία βήματα:

1^ο Βήμα: Προσδιορισμός της σεισμικής απαίτησης V_{req} ($V_{req,x}$, $V_{req,y}$).

$$V_{req} = M \cdot S_d(T) \quad (1.1)$$

- M : η μάζα του κτιρίου για συνδυασμό $G+\psi_2Q$.
- T : η ιδιοπερίοδος της κατασκευής δίνεται από τον τύπο:

$$T_0 = C_t \cdot h_n^\beta \quad (1.2)$$

Όπου $C_t=0.052$, $\beta=0.90$ και h_n , συνολικό ύψος κτιρίου.

- $\gamma_1=1.00$
- $S_d(T)$: Η φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού κατά ΕΚ8
- q : Συντελεστής συμπεριφοράς για την στάθμη επιτελεστικότητας σημαντικές βλάβες.

2^ο Βήμα: Προσδιορισμός σεισμικής αντίστασης V_R ($V_{R,x}$ - $V_{R,y}$)

A) Πρώτα υπολογίζεται ο όρος V_{Ri} , δηλαδή η διατμητική αντοχή κάθε κατακόρυφου στοιχείου. Υπολογίζεται ξεχωριστά για κάθε υποστύλωμα, τοίχωμα, κοντό υποστύλωμα ενώ συντηρητικά μπορούν να αγνοηθούν οι τοιχοπληρώσεις. Πιο αναλυτικά ισχύει ότι:

$$V_{Ri} = \min(V_{Rd}, V_m) \quad (1.3)$$

$$V_m = M_R/L_s \quad (1.4)$$

V_{Rd} : διατμητική αντοχή κατακόρυφου μέλους κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ παράρτημα 7Γ

M_R : Η ροπή αντοχής του κατακόρυφου στοιχείου

L_s : Διατμητικό μήκος

B) Στην συνέχεια υπολογίζεται ο όρος V_{R0} , ο οποίος πολλαπλασιάζει τα επιμέρους αθροίσματα των διαφορετικών ομάδων κατακόρυφων στοιχείων με κάποιους μειωτικούς συντελεστές (Πίνακας 1.4).

$$V_{R0} = \alpha_1 \cdot \sum V_{Ri, \text{υποστ.}} + \alpha_2 \cdot \sum V_{Ri, \text{τοιχ.}} + \alpha_3 \cdot \sum V_{Ri, \text{κοντά υποστ.}} \quad (1.5)$$

Να σημειωθεί στο σημείο αυτό, ότι για να επιλεγεί ο κατάλληλος τύπος φορέα (Πίνακας 1.4) είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του βαθμού τοιχωματοποίησης. Είναι ο λόγος του αθροίσματος τέμνουσας που αναλαμβάνουν τα τοιχώματα σε όρους V_{Ri} (χωρίς μειωτικό συντελεστή α_i) προς την συνολική τέμνουσα που αναλαμβάνει η κατασκευή (V_{R0}). Αν ο λόγος αυτός είναι μικρότερος του 0.10 τότε αγνοούνται τα τοιχώματα. Σχετικά με την παρουσία κοντών υποστυλωμάτων γίνεται περαιτέρω επεξήγησή στην παράγραφο 3.2.

Πίνακας 1.4: Πίνακας συντελεστών απομείωσης διατμητικής αντοχής φορέα συναρτήσει του τύπου του φορέα

Τύπος φορέα	α_1	α_2	α_3
όταν υπάρχουν υποστυλώματα ,τοιχώματα και κοντά υποστυλώματα	0.5	0.7	0.85
όταν υπάρχουν υποστυλώματα και τοιχώματα και δεν υπάρχουν κοντά υποστυλώματα	0.7	0.85	-
όταν ο φορέας είναι πλαισιακός χωρίς τοιχώματα και υπάρχουν κοντά υποστυλώματα	0.7	-	0.85
όταν ο φορέας είναι πλαισιακός χωρίς την παρουσία τοιχωμάτων ή κοντών υποστυλωμάτων	0.85	-	-

Γ) Ο τελικός δείκτης σεισμικής αντίστασης V_R προκύπτει εφόσον συνυπολογιστεί και ο μειωτικός συντελεστής β , δηλαδή:

$$V_R = \beta \cdot V_{R0} \quad (1.6)$$

$$\beta = \sum \left(\frac{\sigma_i \beta_i}{5} \right) \quad (1.7)$$

Όπου β , είναι ο μειωτικός συντελεστής απομείωσης της αντοχής βάσης της στάθμησης δεκατριών κριτηρίων τρωτότητας τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά (Πίνακας 1.6). Όλα τα κριτήρια βαθμολογούνται με ακέραιο αριθμό από 1 (δυσμενέστερο) έως 5 (ευμενέστερο). Να σημειωθεί ότι τα πρώτα τρία κριτήρια είναι ιδιαίτερα σημαντικά καθώς μπορεί να επηρεάσουν την γενικότερη ευστάθεια του κτιρίου. Στην περίπτωση που υπάρχει δυσμένεια έστω και σε ένα από τα τρία αυτά κριτήρια, το κτίριο εντάσσεται σε ειδική κατηγορία με τίτλο «κτίρια με υπερκρίσιμα στοιχεία τρωτότητας» και όσα από τα τρία αυτά κριτήρια είναι υπερκρίσιμα βαθμολογούνται με «0» .

3^ο Βήμα: Προσδιορισμός Δείκτη Προτεραιότητας Ελέγχου.

Υπολογίζεται ανά διεύθυνση ένας λόγος δράσης προς αντίδραση σύμφωνα με τους τύπους 1.8 και 1.9. και τέλος γίνεται η βαθμονόμηση του κτιρίου σε σεισμική κατηγορία δευτεροβάθμιου προσεισμικού ελέγχου (Πίνακας 1.5) για την στάθμη επιτελεστικότητας Β (Σημαντικές Βλάβες).

$$\lambda_x = \frac{V_{req,x} + 0.30V_{req,y}}{V_{R,x} + 0.30V_{R,y}} \quad (1.8)$$

$$\lambda_y = \frac{V_{req,y} + 0.30V_{req,x}}{V_{R,y} + 0.30V_{R,x}} \quad (1.9)$$

$$\lambda = 100 \cdot \max \{ \lambda_x, \lambda_y \} \quad (1.10)$$

$$\delta = \min \left\{ \frac{1}{\lambda_x}, \frac{1}{\lambda_y} \right\} \quad (1.11)$$

Πίνακας 1.5: Κατάταξη κτιρίου σε Σεισμική Κατηγορία (Πίνακας Π1 ΦΕΚ 3134/Β/21-06-2022)

Περίοδος Επαναφοράς (έτη)	Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών	δ	ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ (Κ)
2475	2%	$1.80 \leq \delta$	Κ0
975	5%	$1.30 \leq \delta < 1.80$	Κ1 ⁺
475	10%	$1.00 \leq \delta < 1.30$	Κ1
225	20%	$0.75 \leq \delta < 1.00$	Κ2 ⁺
135	30%	$0.60 \leq \delta < 0.75$	Κ2
70	50%	$0.45 \leq \delta < 0.60$	Κ3 ⁺
40	70%	$0.35 \leq \delta < 0.45$	Κ3
20	90%	$0.25 \leq \delta < 0.35$	Κ4 ⁺
<20	>90%	$\delta < 0.25$	Κ4

Πίνακας 1.6: Πίνακας κριτηρίων σεισμικής επιβάρυνσης

α/α	Κριτήρια σεισμικής επιβάρυνσης	Βαθμός Επιβάρυνσης βι					Συντελεστές βαρύτητας σι
		0 (max)	1	2	3	4	
1	Βλάβες στατικής ανεπάρκειας						0.10
2	Οξείδωση οπλισμών						0.10
3	Μέγεθος ανηγμένου αξονικού φορτίου	-					0.05
4	Κανονικότητα κάτοψης	-					0.05
5	Κανονικότητα δυσκαμψίας σε κάτοψη - στρέψη	-					0.10
6	Κανονικότητα σε τομή / όψη	-					0.05
7	Κατανομή δυσκαμψίας καθ' ύψος - μαλακός όροφος	-					0.15
8	Κατανομή μάζας καθ' ύψος	-					0.05
9	Κοντά υποστυλώματα	-					0.15
10	Κατακόρυφες ασυνέχειες	-					0.05
11	Διαδρομή και μεταφορά δυνάμεων	-					0.05
12	Γειτονικά κτίρια	-					0.05
13	Κακοτεχνίες, τραυματισμοί	-					0.05

1.4 Τριτοβάθμιος προσεισμικός έλεγχος

Ο τριτοβάθμιος προσεισμικός έλεγχος είναι η τελευταία και ακριβέστερη βαθμίδα προσεισμικού ελέγχου μιας κατασκευής. Είναι η μόνη από τις βαθμίδες ελέγχου που μπορεί να δώσει με μεγάλη ασφάλεια την απάντηση σχετικά με το αν το κτίριο πληροί τις απαιτήσεις μιας συγκεκριμένης στάθμης επιτελεστικότητας ή όχι. Κατά τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. προτείνονται τέσσερεις διαφορετικές μέθοδοι ανάλυσης. Δύο ελαστικές, κατά τις οποίες οι έλεγχοι γίνονται σε όρους δυνάμεων και συνιστώνται σε περιπτώσεις αστοχίας ψαθυρής μορφής και δύο ανελαστικές, κατά τις οποίες οι έλεγχοι γίνονται σε όρους μετακινήσεων και συνιστώνται σε περιπτώσεις πλάστιμης αστοχίας. Πιο συγκεκριμένα προτείνονται :

- Ελαστική στατική ανάλυση: Πρόκειται για την πιο απλή μέθοδο γνωστή αλλιώς ως μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης. Κάποιες βασικές προϋποθέσεις εφαρμογής της μεθόδου είναι η κανονικότητα της κατασκευής καθ' ύψος και σε κάτοψη, η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος να είναι μικρότερη των 2 sec ή του $4 T_c$ κατά τον ΕΚ-8 και να διατίθεται σύστημα ανάληψης σεισμικών δυνάμεων σε δύο περίπου κάθετες διευθύνσεις.
- Ελαστική δυναμική ανάλυση με καθολικό δείκτη (q) ή τοπικό δείκτη (m): Στον ΕΚ 8-1 ονομάζεται ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης. Εφαρμόζεται σε μορφολογικά κανονικά κτίρια ή ανεξάρτητα από αυτό σε κτίρια που όλα τα κύρια στοιχεία έχουν λόγο έντασης προς αντίσταση μικρότερο του 2.5 .
- Ανελαστική στατική ανάλυση: Γνωστή στην ξενόγλωσση βιβλιογραφία με τον όρο pushover analysis, σε αυτήν το προσομοίωμα φορτίζεται πλευρικά με οριζόντια φορτία μέχρι κάποιο δομικό στοιχείο να μην είναι σε θέση να φέρει τα κατακόρυφα φορτία του. Είναι βασισμένη στην πρώτη ιδιομορφή, συνεπώς δεν είναι η ακριβέστερη για κτίρια με έντονη στρέψη και επιρροή ανώτερων ιδιομορφών.
- Ανελαστική δυναμική ανάλυση (ανάλυση χρονοϊστορίας): Μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε περίπτωση, αφού εισάγεται σε λογισμικό κατάλληλες χρονοϊστορίες εδαφικών επιταχύνσεων και λαμβάνονται υπόψιν και τα δυναμικά φαινόμενα της κατασκευής.

Στην ενότητα 3.3 γίνεται η εφαρμογή της ανελαστικής στατικής ανάλυσης και της ελαστικής δυναμικής συμπληρωματικά. Αφού εξάγονται τα αποτελέσματα της καμπύλης ικανότητας είναι ανάγκη να υπολογιστεί το σημείο μετακίνησης οροφής για το οποίο θα πραγματοποιηθούν οι έλεγχοι για κάθε μέλος. Πρόκειται για το σημείο της στοχευόμενης μετακίνησης το οποίο υπολογίζεται από την σχέση:

$$\delta_t = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot \frac{T_e^2}{4\pi^2} \cdot S_e(T) \quad (1.12)$$

Όπου:

- C_0, C_1, C_2, C_3 διορθωτικοί συντελεστές.
- $S_e(T)$ είναι η φασματική επιτάχυνση που προκύπτει για την ισοδύναμη κυρίαρχη περίοδο (§5.7.3.5. ΚΑΝ.ΕΠΕ.) από το ελαστικό φάσμα του Ευρωκώδικα 8.

Ο Πίνακας 1.7 παρουσιάζει οι στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Κάθε στόχος χαρακτηρίζεται από έναν χαρακτήρα Α , Β ή Γ και από έναν δείκτη αριθμού 0, 1, 3 ή 4 με τα ενδιάμεσα του. Ο δείκτης του αριθμού είναι αυτός που θα καθορίσει το επίπεδο της έντασης συναρτήσει της εδαφικής επιτάχυνσης αναφοράς $a_{g,ref}$. Για παράδειγμα, αν επιλεγεί ο δείκτης «0» τότε αυξάνεται κατά 80% η εδαφική επιτάχυνση αναφοράς από το χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας, συνεπώς αυξάνεται η $S_e(T)$ και εν τέλη η τελική στοχευόμενη μετακίνηση. Από την άλλη ο χαρακτήρας Α , Β , Γ δηλώνει το επίπεδο αντίστασης κάθε μέλους ανάλογα με το αποδεκτό επίπεδο βλαβών. Συνεπώς για κάθε σειρά ισχύει ότι $A1 > B1 > \Gamma 1$ καθώς για την ίδια σεισμική ένταση στο επίπεδο Α τα μέλη έχουν χαμηλότερη αντίσταση από ότι στο Β και το Γ. Αντίστοιχα για κάθε στήλη ισχύει ότι $B1 > B2^+$ καθώς για την ίδια αντίσταση μέλους είναι μεγαλύτερη η σεισμική ένταση στο επίπεδο 1 από ότι το 2⁺. Σε καμία περίπτωση όμως δεν γίνεται να συγκριθούν στάθμες επιτελεστικότητας που ανήκουν σε διαφορετική γραμμή και στήλη καθώς έτσι επηρεάζεται και η ένταση και η αντίσταση.

Πίνακας 1.7: Στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού φέροντος οργανισμού (Πίνακας 2.1 ΚΑΝ.ΕΠΕ.)

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

Να σημειωθεί ότι στον ΕΚ-8 ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζεται η στοχευόμενη μετακίνηση βασίζεται στην μέθοδο N2 (Fajfar,1996). Αφού κατασκευαστεί η καμπύλη ικανότητας ολόκληρης της κατασκευής, δημιουργείται το φάσμα ικανότητας ενός ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος και το αντίστοιχο ιδεατό διγραμμικό διάγραμμα Ακολουθώς υπολογίζεται η ανελαστική μετακίνηση του μονοβάθμιου και πολλαπλασιάζοντας την με τον συντελεστή συμμετοχής (Γ) γίνεται η μετατροπή στην αντίστοιχη στοχευόμενη μετακίνηση του πολυβάθμιου συστήματος. Επίσης οι στάθμες επιτελεστικότητας που ελέγχονται είναι για επίπεδο σεισμικής έντασης με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια για την στάθμη σημαντικές βλάβες και 2% στα 50 χρόνια για την στάθμη οιονεί κατάρρευση, ωστόσο είναι διαφορετικός ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζονται οι αντοχές κάθε μέλους στη στάθμη Α,Β,Γ σε σχέση με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Το πόσο σημαντικές είναι οι διαφορές μεταξύ των δύο αυτών κανονισμών και ποια η επίδραση τους στα αποτελέσματα θα σχολιάζονται στην ενότητα 3.3.2.

2 Περιγραφή φορέα

2.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Πρόκειται για τριώροφο σχολικό κτίριο οπλισμένου σκυροδέματος με υπόγειο στην περιοχή των Γρεβενών. Λειτουργεί ως λύκειο και εξυπηρετεί τις εκπαιδευτικές ανάγκες τουλάχιστον 200 μαθητών. Η χρονολογία της μελέτης είναι το 2003 και οι κανονισμοί που εφαρμόστηκαν ο ΕΑΚ2000 και ο ΕΚΩΣ. Ο Πίνακας 2.1 και ο Πίνακας 2.2 παρουσιάζουν τα υλικά και τα φορτία της κατασκευής, αντίστοιχα. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.5 οι εξωτερικές διαστάσεις της κάτοψης είναι 23.50 x 16.425m και το καθαρό εμβαδόν κάτοψης 341m² σταθερό σε όλες τις στάθμες, με ύψος ορόφου 3m. Είναι ένα κτίριο με δύο ισχυρούς πυρήνες οπλισμένου σκυροδέματος στην βόρεια όψη (Σχήμα 2.1), γεγονός που προκαλεί έντονο ενδιαφέρον ως προς τη θέση του κέντρου δυσκαμψίας και την στρεπτική του συμπεριφορά. Παράλληλα στην νότια όψη (Σχήμα 2.3) παρατηρούνται θέσει κοντά υποστυλώματα λόγω της διακοπής της τοιχοπλήρωσης προκειμένου να υπάρχει χώρος για τα κουφώματα. Ο τρόπος συμπεριφοράς τους εξετάζεται στις παραγράφους 3.2 και 3.3.4 για δευτεροβάθμιο και τριτοβάθμιο προσεισμικό έλεγχο αντίστοιχα.



Σχήμα 2.1: Βόρεια όψη



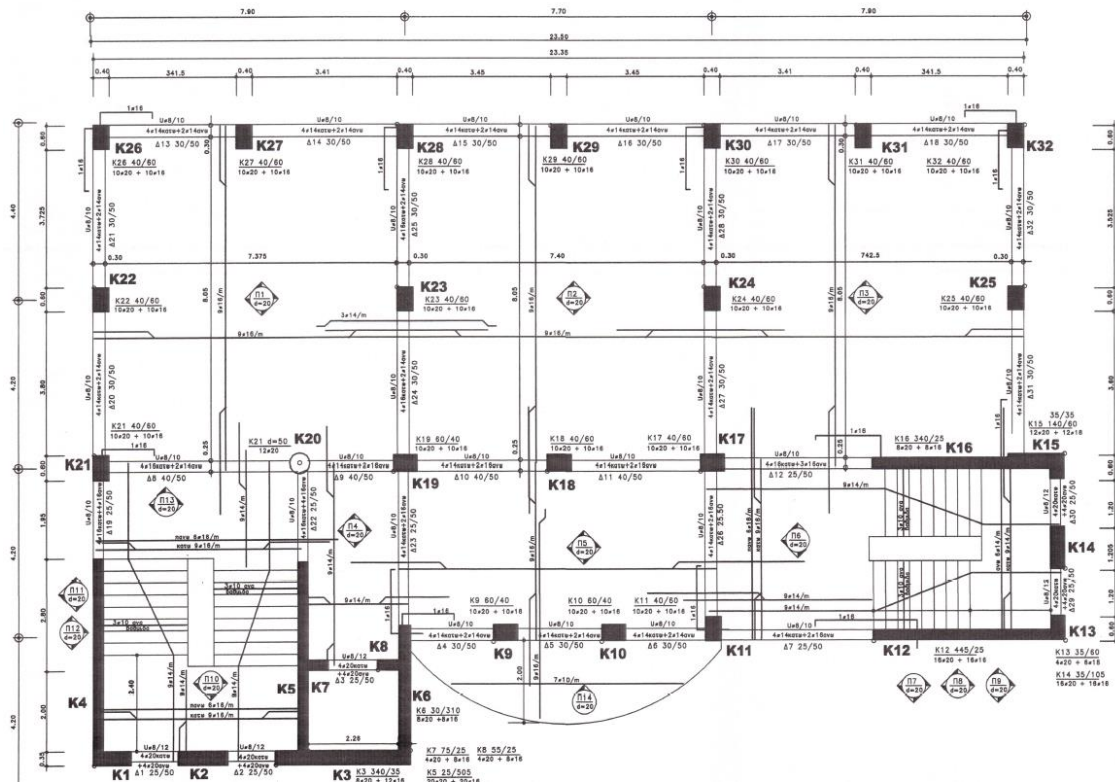
Σχήμα 2.2: Δυτική όψη



Σχήμα 2.3: Νότια (δεξιά) και δυτική (αριστερά) όψη



Σχήμα 2.4: Ανατολική όψη



Σχήμα 2.5: Ξυλότυπος οροφής ισογείου

Πίνακας 2.1: Υλικά κατασκευής

Υλικό	Ποιότητα
Σκυρόδεμα	C20/25
Χάλυβας	S500s

Πίνακας 2.2: Φορτία κατασκευής

Είδος φορτίου	Τιμή	Μονάδες
Μόνιμα	24	KN/m ³
Κινητά	3.5	KN/m ²
Πρόσθετα μόνιμα	2.5	KN/m ²
Ξύλινη Στέγη	2	KN/m ²
Μπατική τοιχοποιία	3.6	KN/m ² όψης
Δρομική τοιχοποιία	2.2	KN/m ² όψης

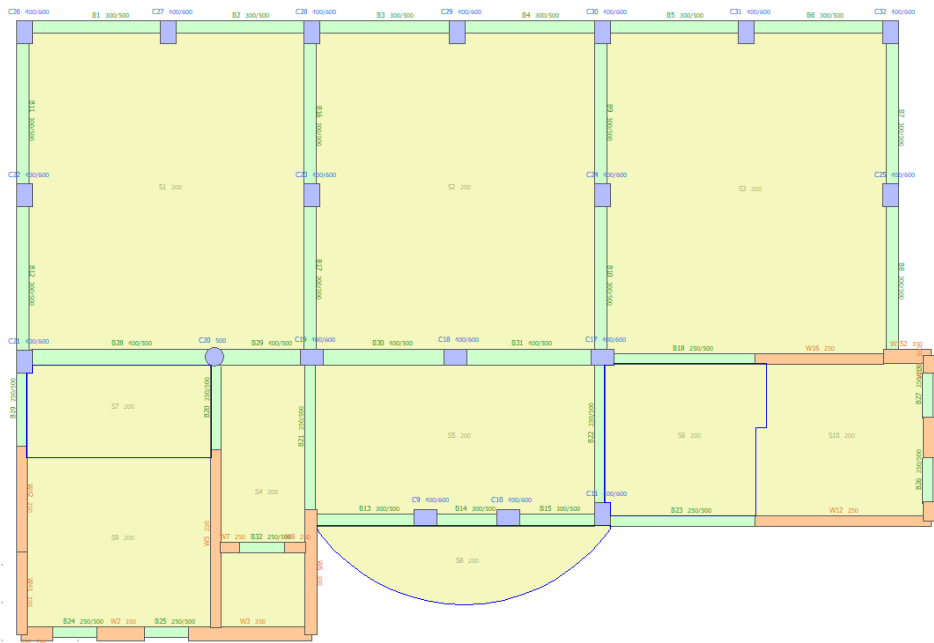
2.2 Προσομοίωση

Η προσομοίωση του κτιρίου έγινε στο πρόγραμμα Seisbuild 2023 της Seismosoft. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων προσανατολισμένο στις αποτιμήσεις και ενισχύσεις. Έχει την δυνατότητα να κάνει ελέγχους κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ και Ευρωκώδικα 8 και να λαμβάνει υπόψιν παραμέτρους όπως η ανελαστικότητα υλικού και η γεωμετρική μη γραμμικότητα.

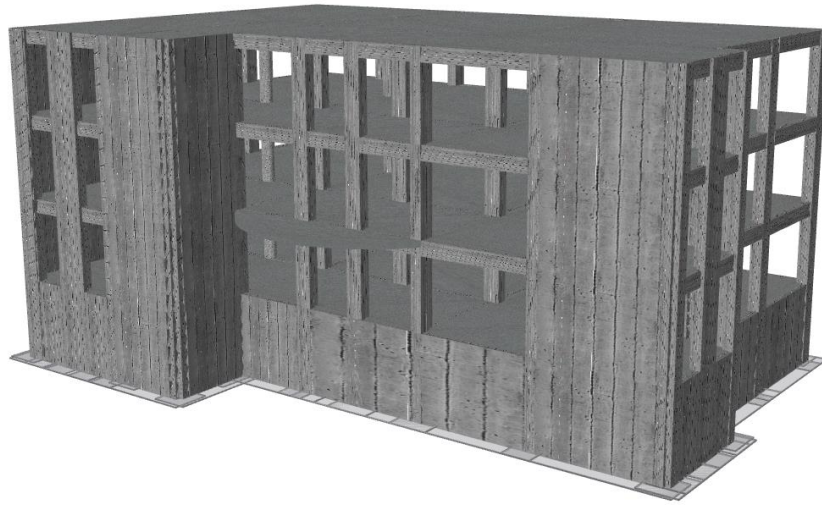
Στο μοντέλο δεν προσομοιώθηκε η σκάλα υπέρ της ασφαλείας καθώς προσδίδει πρόσθετη δυσκαμψία στην κατασκευή. Ωστόσο για να ληφθούν σωστά υπόψιν τα κατακόρυφα φορτία δημιουργήθηκε μια ισοδύναμη πλάκα. Ακόμη δεν υπήρχε η δυνατότητα στο λογισμικό να αραιώνουν και να πυκνώνουν οι συνδετήρες κατά μήκος ενός στοιχείου, συνεπώς υπολογίστηκε χειροκίνητα μια σταθερή ισοδύναμη απόσταση συνδετήρων χωρίς να υπάρχουν κρίσιμες περιοχές. Επίσης το στοιχείο K4, προσομοιώθηκε ως 2 ξεχωριστά τοιχώματα μήκους 2.00 m και 2.80 m με σκοπό να προσομοιωθούν και οι 4 «κρυφοκολώνες» του στοιχείου. Όσον αφορά τις τοιχοπληρώσεις κατά τον ΚΑΝ.ΕΠΕ (§2.1.4.2.γ) είναι υποχρεωτικό να συνεκτιμώνται στην ανάληψη σεισμικών δράσεων όταν αυτό συνεπάγεται δυσμενή αποτελέσματα για τον φέροντα οργανισμό σε τοπικό ή γενικό επίπεδο. Ωστόσο στην συγκεκριμένη περίπτωση από την μία προσθέτουν επιπλέον δυσκαμψία, άρα μικρότερες μετακινήσεις (θετικό) αλλά από την άλλη λόγω των τοιχοπληρώσεων δημιουργούνται τα κοντά υποστυλώματα (αρνητικό). Συνεπώς δεν είναι ξεκάθαρο εξαρχής αν επιδρούν θετικά ή αρνητικά στην κατασκευή οπότε εξετάζονται και οι 2 περιπτώσεις οι οποίες παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.7 και στο Σχήμα 2.8 αντίστοιχα. Όσον αφορά στους υαλοπίνακες του κλιμακοστασίου λήφθηκαν υπόψιν μόνο ως κατακόρυφο φορτίο αντίστοιχο της τοιχοποιίας.

Σχετικά με την προσομοίωση των στοιχείων της κατασκευής, επιλέχθηκαν για δοκούς και υποστυλώματα το ανελαστικό πλαισιακό στοιχείο δύναμης με πλαστική άρθρωση-infrmFBPH. Πρόκειται για ένα στοιχείο που βασίζεται στις δυνάμεις και συγκεντρώνει την

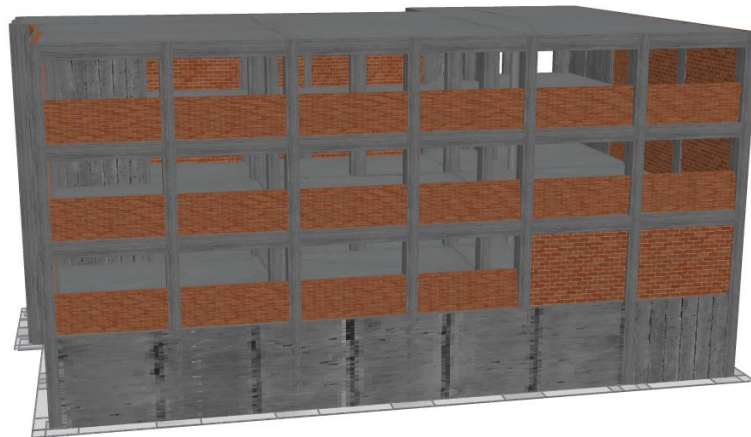
ανελαστικότητά του σε ένα σταθερό μήκος του στοιχείου στα άκρα του. Για την διακριτοποίηση των ινών, διατηρήθηκε η προεπιλογή, 150 ίνες. Όσον αφορά στα τοιχώματα επιλέχθηκε το ανελαστικό πλαισιακό στοιχείο δύναμης- infmFB που είναι και ακριβέστερο καθώς κατανέμει την πλαστικότητα σε όλο το μήκος του. Αν και είναι το ακριβέστερο στοιχείο δεν προτιμήθηκε και για τις δοκούς και τα υποστυλώματα καθώς αυξάνει σημαντικά τον υπολογιστικό χρόνο χωρίς ιδιαίτερη αλλαγή αποτελεσμάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αλληλεπίδραση των δοκών προσομοιωμένων με ίνες με το άκαμπτο διάφραγμα μπορεί να οδηγήσει στο Seisobuild στην εμφάνιση αξονικών δυνάμεων που δεν υπάρχουν στην πραγματικότητα. Το γεγονός επηρεάζει τον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής των δοκών με συνέπεια λανθασμένα αποτελέσματα. Για τον σκοπό αυτό επιλέχθηκαν αξονικές ελευθερώσεις στα άκρα των δοκών. Επιλέχθηκε μη γραμμικό μοντέλο σκυροδέματος (Mander et al, 1988) και τέλος οι τοιχοπληρώσεις προσομοιώνονται με το στοιχείο infill (Crisafulli 1997) λαμβάνοντας υπόψιν τα υπάρχοντα ανοίγματα ως ποσοστό της τοιχοπλήρωσης, μειώνοντας αντίστοιχα την δυσκαμψία του στοιχείου.



Σχήμα 2.6: Ξυλότυπος οροφής ισογείου στο Seisobuild



Σχήμα 2.7: 3D απεικόνιση του μοντέλου στο Seisbuild χωρίς τοιχοπληρώσεις



Σχήμα 2.8: Προσομοίωση των κοντών υποστυλωμάτων με την προσθήκη τοιχοπληρώσεων στα κατάλληλα ύψη

3 Εφαρμογή προσεισμικών ελέγχων

3.1 Πρωτοβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος

Μετά από αυτοψία που έγινε στο κτίριο, συμπληρώθηκε ο Πίνακας 3.1, δηλαδή το δελτίο πρωτοβάθμιου προσεισμικού ελέγχου με βάση τα εξής χαρακτηριστικά της κατασκευής:

- Μελέτη κτιρίου το 2003 → ΟΣγ (Πίνακας 1.1)
- Τοποθεσία: Γρεβενά → Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ι.
- Έδαφος κατηγορίας Β.

Η τελική βαθμολογία του κτιρίου είναι 5.6 και με βάση τον Πίνακα 1.3 κατατάσσεται οριακά στην κατηγορία χαμηλής προτεραιότητας περαιτέρω ελέγχου.

Πίνακας 3.1: Δελτίο πρωτοβάθμιου προσεισμικού ελέγχου

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΟΣγ
Βασική βαθμολογία, αναλόγως δομικού τύπου	8
Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ι	-0.5
Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας ΙΙ ή ΙΙΙ	-
Έδαφος κατηγορίας Β (για αποδεδειγμένως Α: -0.1)	-0.3
Έδαφος κατηγορίας Γ ή Δ	-
Έδαφος Γ ή Δ και άνω των 5 ορόφων -	-
Έδαφος κατηγορίας Χ	-
Προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις, προβλήματα	-
Χωρίς αντισεισμικό κανονισμό	-
Κακή κατάσταση	-
Κρούση με γειτονικά κτίρια	-
Pilotis ή /και κοντά υποστυλώματα	-0.5
Κανονική διάταξη τοιχοπλήρωσης σε κάτοψη	-
Μεγάλο ύψος	-
Μη κανονικότητα σε τομή	-
Μη κανονικότητα σε κάτοψη	-
Στρέψη (έντονη)	-0.5
Ένταση λειτουργίας	-
Αριθμός χρηστών ≤ 9	-
Αριθμός χρηστών 10-99	-
Αριθμός χρηστών ≥ 100	-0.6
ΑΡΧΙΚΗ ΔΟΜΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ (αβ)	5.6
Στοιχεία πρόσθετης τρωτότητας	-
Ενδεχόμενη τρωτότητα έναντι άλλων αιτιών	-
ΤΕΛΙΚΗ ΔΟΜΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ (τβ)	5.6

3.2 Δευτεροβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος

Η μέθοδος αυτή κάνει μια ακριβέστερη κατάταξη προτεραιότητας ελέγχου υφιστάμενων κτιρίων με βάση ποιοτικά και ποσοτικά κριτήρια. Υπολογίζει έναν μειωτικό συντελεστή β βάση αξιολόγησης 13 στοιχείων τρωτότητας της κατασκευής. Η βαθμολογία 5 αντιστοιχεί στην ελάχιστη επιβάρυνση και η βαθμολογία 1 στην μέγιστη.

Κριτήριο 1 - Βλάβες στατικής ανεπάρκειας:

Δεν παρατηρήθηκαν βλάβες στα δομικά στοιχεία, συνεπώς το κριτήριο βαθμολογείται με 5.

Κριτήριο 2 - Οξείδωση οπλισμών:

Δεν υπάρχει κάποιο στοιχείο που να προδίδει οξείδωση οπλισμών, οπότε η βαθμολογία είναι ίση με 5.

Κριτήριο 3 - Μέγεθος ανηγμένου αξονικού φορτίου:

Ο Πίνακας 3.2 παρουσιάζει τις τιμές αξονικών δυνάμεων που υπολογίστηκαν από το λογισμικό SeisMobuild, καθώς και το ανηγμένο αξονικό φορτίο ανά κατακόρυφο στοιχείο. Η μέση τιμή του ανηγμένου αξονικού φορτίου είναι $0.071 < 0.15$ και η μέγιστη $0.158 < 0.30$, συνεπώς το κριτήριο βαθμολογείται με 5.

Κριτήριο 4 - Μέγεθος ανηγμένου αξονικού φορτίου:

Αν αγνοηθούν οι 2 εσοχές και θεωρηθεί το κτίριο ορθογωνικό ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη πλευρά του κτιρίου είναι $\lambda = 23.50/13.375 = 1.76 < 4$. Συνυπολογίζοντας και το εμβαδόν της μέγιστης εσοχής είναι 25m^2 μικρότερο από το 15% των 341m^2 , που αποτελεί εμβαδόν κάτοψης όλου του ορόφου. Συνεπώς σε κάθε περίπτωση η βαθμολογία του κριτηρίου είναι ίση με 5.

Κριτήριο 5 – Κατανομή δυσκαμψίας σε κάτοψη – στέψη:

Στόχος του κριτηρίου αυτού είναι να υπολογιστεί η τιμή της ανηγμένης εκκεντρότητας για να διαπιστωθεί πόσο εύστρεπτο είναι το κτίριο. Για να γίνει αυτό υπολογίζονται οι συντεταγμένες του κέντρου μάζας και του κέντρου δυσκαμψίας. Για τον υπολογισμό του κέντρου δυσκαμψίας δεν λήφθηκαν υπόψιν οι δυσκαμψίες των τοιχοπληρώσεων καθώς πρόκειται για τοιχωματικό κτίριο. Συνυπολογίστηκε όμως η συνεισφορά των δοκών που συντρέχουν στην κορυφή κάθε στοιχείου ανά διεύθυνση. Ο Πίνακας 3.3 παρουσιάζει τις συντεταγμένες και τις δυσκαμψίες ανά διεύθυνση κάθε κατακόρυφου στοιχείου και ο Πίνακας 3.4 τις τελικές τιμές του κέντρου μάζας, του κέντρου δυσκαμψίας, των εκκεντροτήτων και ανηγμένων εκκεντροτήτων ανά διεύθυνση. Προκύπτει $\epsilon_x = 0.24$, οπότε ο βαθμός $\beta_{5x} = 2$, ενώ $\epsilon_y = 0.28$, πολύ κοντά στην οριακή τιμή 0.30 συνεπώς $\beta_{5y} = 1$.

Πίνακας 3.2: Ανηγμένο αξονικό φορτίο ανά διατομή

Μέλος	Διαστάσεις διατομής	Εμβαδόν διατομής (cm ²)	Αξονικό φορτίο N (KN)	Ανηγμένο αξονικό φορτίο
K1	95x35	3325	65	0.010
K2	125x35	4375	198	0.023
K3	340x25	8500	340	0.020
K4	25x480	12000	683	0.028
K5	25x505	12625	773	0.031
K6	30x310	9300	413	0.022
K7	75x25	1875	75	0.020
K8	55x25	1375	75	0.027
K9	60x40	2400	260	0.054
K10	60x40	2400	247	0.051
K11	40x60	2400	423	0.088
K12	445x25	11125	562	0.025
K13	35x60	2100	50	0.012
K14	35x105	3675	378	0.051
K15	140/60/35/35	5775	286	0.025
K16	340x25	8500	711	0.042
K17	60x40	2400	756	0.158
K18	60x40	2400	488	0.102
K19	60x40	2400	600	0.125
K20	Φ50	1963.5	467	0.119
K21	40x60	2400	492	0.103
K22	40x60	2400	431	0.090
K23	40x60	2400	589	0.123
K24	40x60	2400	663	0.138
K25	40x60	2400	490	0.102
K26	40x60	2400	383	0.080
K27	40x60	2400	377	0.079
K28	40x60	2400	550	0.115
K29	40x60	2400	373	0.078
K30	40x60	2400	579	0.121
K31	40x60	2400	355	0.074
K32	40x60	2400	322	0.067
Μέσος όρος				0.071
Max τιμή				0.158

Πίνακας 3.3: Συντεταγμένες κέντρου βάρους και δυσκαμψίες κατακόρυφων στοιχείων ισογείου

Μέλος	Αξονικό φορτίο N (kN)	X _{c,i} (m)	Y _{c,i} (m)	K _{C,x} (kN/m)	K _{C,y} (kN/m)
K1	65	0.475	0.175	10260	37036
K2	198	2.750	0.175	17820	113932
K3	340	6.250	0.175	19908	733284
K4	683	0.125	2.750	914286	15324
K5	773	5.265	2.700	984540	16549
K6	413	7.800	1.900	536701	15072
K7	75	5.640	2.475	6944	23438
K8	75	7.375	2.475	5521	9243
K9	260	10.825	3.250	14576	14400
K10	247	13.024	3.250	15074	14400
K11	423	15.524	3.350	22570	6736
K12	562	21.800	3.175	15528	815861
K13	50	24.200	3.350	12600	8610
K14	378	24.200	5.375	67528	15752
K15	286	23.750	7.480	40000	187646
K16	711	21.275	7.475	10791	523774
K17	756	15.525	7.500	16583	24034
K18	488	11.625	7.500	18144	19200
K19	600	7.825	7.500	19636	26978
K20	467	5.250	7.500	26019	19841
K21	492	0.200	7.400	19136	12849
K22	431	0.200	11.800	14400	11781
K23	589	7.825	11.800	19200	15704
K24	663	15.500	11.800	19200	15704
K25	490	23.150	11.800	14400	11778
K26	383	0.200	16.125	18160	9555
K27	377	4.015	16.125	21321	6400
K28	550	7.825	16.125	21292	10384
K29	373	11.670	16.125	21258	6400
K30	579	15.500	16.125	21292	10384
K31	355	19.350	16.125	21321	6400
K32	322	23.150	16.125	14400	9551

Πίνακας 3.4: Αποτελέσματα συντεταγμένων κέντρου μάζας, κέντρου δυσκαμψίας, εκκεντροτήτων και ανηγμένων εκκεντροτήτων

Τελικά αποτελέσματα	
$X_{c,i}$ (m)	11.35
$Y_{c,i}$ (m)	8.45
X_{cr} (m)	5.68
Y_{cr} (m)	3.92
e_x (m)	5.67
e_y (m)	4.53
ϵ_x	0.24
ϵ_y	0.28

Κριτήριο 6 – Κανονικότητα σε τομή/όψη:

Δεν υπάρχει μεταβολή της γεωμετρίας, ούτε εσοχές στους ανώτερους ορόφους και το κριτήριο βαθμολογείται με 5.

Κριτήριο 7 – Κατανομή δυσκαμψίας καθ' ύψος – μαλακός όροφος:

Οι διατομές όλων των κατακόρυφων στοιχείων παραμένουν ίδιες από το ισόγειο έως και την ανώτερη στάθμη. Παρατηρείται μείωση της διατομής ορισμένων δοκών στην ανώτερη στάθμη χωρίς αυτό να δημιουργεί κάποιο πρόβλημα μαλακού ορόφου. Ο βαθμός του κριτηρίου είναι 5.

Κριτήριο 8 – Κατανομή μάζας καθ' ύψος:

Από την στιγμή που δεν παρουσιάζεται διαφορετική χρήση της κατασκευής από όροφο σε όροφο, ούτε αλλαγή δυσκαμψίας καθ' ύψος δεν αναμένεται να αλλάξει ιδιαίτερα η μάζα από στάθμη σε στάθμη. Παρ' όλα αυτά παρουσιάζεται η μάζα κάθε ορόφου (Πίνακας 3.5-αθροίζοντας τις αξονικές δυνάμεις που υπολογίζει το λογισμικό για τον συνδυασμό G+0.6Q) και επιβεβαιώνεται ότι δεν υπάρχει διαφορά μεγαλύτερη του 20%. Συνεπώς το κριτήριο βαθμολογείται με 5.

Πίνακας 3.5: Μάζα ανά όροφο

Όροφος	Μάζα (tn)	Ποσοστιαία διαφορά
1ος	429	7%
2ος	463	1%
3ος	469	
Σύνολο	1361	

Κριτήριο 9 – Κοντά υποστυλώματα:

Από το Σχήμα 2.3 διακρίνεται το στοιχείο του κοντού υποστυλώματος στο υφιστάμενο κτίριο. Για κάθε υποστύλωμα και διεύθυνση παρουσιάζεται (Πίνακας 3.6) ο λόγος του ελεύθερου καθαρού ύψους (l), προς το ύψος της διατομής (h) στην εξεταζόμενη διεύθυνση (αν είναι μικρότερος του 5, το υποστύλωμα χαρακτηρίζεται κοντό) καθώς και ο συντελεστής β που αποδόθηκε ανά στοιχείο. Έτσι λοιπόν το αποτέλεσμα του σταθμισμένου συντελεστή β με την θεώρηση ότι το κτίριο δεν έχει τοιχώματα είναι 3.54 στην διεύθυνση X και 4.02 στην διεύθυνση Y. Τα στοιχεία K2, K7, K8, K13, K14 συνυπολογίζονται στο κριτήριο των κοντών υποστυλωμάτων καθώς δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις της παρούσας μεθοδολογίας ώστε να θεωρηθούν τοιχία.

Πίνακας 3.6: Υπολογισμός μειωτικού συντελεστή κοντού υποστυλώματος για κτίριο χωρίς τοιχώματα

Μέλος	l_x	l_y	h_x	h_y	l_x/h_x	l_y/h_y	β_x	β_y
K2	3	3	1.25	0.35	2.4	8.6	2	5
K7	3	3	0.75	0.25	4	12	3	5
K8	3	3	0.55	0.25	5.5	12	5	5
K9	3	3	0.6	0.4	2	7.5	4	5
K10	3	3	0.6	0.4	2	7.5	4	5
K11	3	3	0.4	0.6	3	5	5	4
K13	3	3	0.35	0.6	8.6	5	5	4
K14	3	3	0.35	1.05	8.6	2.9	5	2
K17	3	3	0.6	0.4	5	7.5	4	5
K18	3	3	0.6	0.4	5	7.5	4	5
K19	3	3	0.6	0.4	5	7.5	4	5
K20	3	3	0.5	0.5	6	6	5	5
K21	3	3	0.4	0.6	7.5	5	5	4
K22	3	3	0.4	0.6	7.5	5	5	4
K23	3	3	0.4	0.6	7.5	5	5	4
K24	3	3	0.4	0.6	7.5	5	5	4
K25	3	3	0.4	0.6	7.5	5	5	4
K26	1.5	3	0.4	0.6	3	5	3	4
K27	1.5	3	0.4	0.6	3	5	3	4
K28	1.5	3	0.4	0.6	3	5	3	4
K29	1.5	3	0.4	0.6	3	5	3	4
K30	1.5	3	0.4	0.6	3	5	3	4
K31	1.5	3	0.4	0.6	3	5	3	4
K32	1.5	3	0.4	0.6	3	5	3	4
Σταθ. β							3.54	4.02

Ακολούθως υπολογίστηκε και ο βαθμός τοιχοματοποίησης α_{τ} ως ο λόγος της τέμνουσας βάσης που αναλαμβάνουν τα τοιχία προς την συνολική τέμνουσα βάσης όλων των κατακόρυφων στοιχείων ίση με $\alpha_{\tau X} = 0.85$ και $\alpha_{\tau Y} = 0.78$. Αφού λοιπόν ο βαθμός τοιχοματοποίησης είναι μεγαλύτερος του 0.5, ο τελικός συντελεστής β λαμβάνεται ίσος με 5 και στις 2 διευθύνσεις. Παρ' όλα αυτά στην πλευρά του κτιρίου που εμφανίζονται κοντά υποστυλώματα δεν υπάρχει κανένα τοίχωμα, οπότε είναι ένα ζήτημα αν και στην πραγματικότητα επιτευχθεί αυτή η ευνοϊκή συμπεριφορά. Αναλυτικότερα συμπεράσματα εξάγονται στον τριτοβάθμιο έλεγχο.

Κριτήριο 10 – Κατακόρυφες ασυνέχειες:

Δεν υπάρχουν φυτευτά υποστυλώματα και τοιχώματα σε πλάκες και δοκούς. Αντίστοιχα δεν εντοπίζεται η ύπαρξη λοξών υποστυλωμάτων ή τοιχωμάτων ούτε εκκεντροτήτων. Συνεπώς το κριτήριο βαθμολογείται με 5.

Κριτήριο 11 – Διαδρομή και μεταφορά δυνάμεων:

Ο Πίνακας 3.7 παρουσιάζει τη βαθμολογία που προτείνεται για κάθε τοίχωμα. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω υπάρχουν στοιχεία που οπλίζονται ως τοιχώματα αλλά δεν ικανοποιούν τις γεωμετρικές προϋποθέσεις της παρούσας μεθοδολογίας για να θεωρηθούν τοιχώματα, συνεπώς δεν βαθμολογούνται. Οι βαθμοί τοιχοματοποίησης είναι 0.85 και 0.78 για X και Y διεύθυνση αντίστοιχα, πρακτικά μεγαλύτεροι του 0.80, συνεπώς το κριτήριο βαθμολογείται με βάση την σύνδεση των τοιχωμάτων με το διάφραγμα ίσο με 2.75.

Πίνακας 3.7 Βαθμολογία τοιχωμάτων με κριτήριο την διαδρομή και μεταφορά δυνάμεων

Μέλος	Βαθμός
K1	1
K2	-
K3	1
K4	2
K5	5
K6	4
K7	-
K8	-
K12	2
K13	-
K14	-
K15	2
K16	5
Σύνολο	2.75

Κριτήριο 12 – Γειτονικά κτίρια:

Δεν υπάρχουν γειτονικά κτίρια, άρα $\beta=5$.

Κριτήριο 13 – Κακοτεχνίες ή τραυματισμοί:

Δεν παρατηρούνται κακοτεχνίες ούτε έχουν προκληθεί τραυματισμοί, συνεπώς το κριτήριο βαθμολογείται με 5.

Ο Πίνακας 3.8 παρουσιάζει τις βαθμολογίες κάθε κριτηρίου ανά κατεύθυνση και ο συνολικός μειωτικός συντελεστής β που είναι ίσος με 0.92 και 0.90 σε X και Y διεύθυνση αντίστοιχα.

Πίνακας 3.8: Τελική βαθμολογία κριτηρίων τρωτότητας

α/α	Κριτήρια σεισμικής επιβάρυνσης	Βαθμός Επιβάρυνσης β_i		Συντελεστής
		Κατά X	Κατά Y	
1	Βλάβες στατικής ανεπάρκειας	5	5	0.10
2	Οξειδωση οπλισμών	5	5	0.10
3	Μέγεθος ανηγμένου αξονικού φορτίου	5	5	0.05
4	Κανονικότητα κάτοψης	5	5	0.05
5	Κανονικότητα δυσκαμψίας σε κάτοψη - στρέψη	2	1	0.10
6	Κανονικότητα σε τομή / όψη	5	5	0.05
7	Κατανομή δυσκαμψίας καθ' ύψος - μαλακός όροφος	5	5	0.15
8	Κατανομή μάζας καθ' ύψος	5	5	0.05
9	Κοντά υποστυλώματα	5	5	0.15
10	Κατακόρυφες ασυνέχειες	5	5	0.05
11	Διαδρομή και μεταφορά δυνάμεων	2.75	2.75	0.05
12	Γειτονικά κτίρια	5	5	0.05
13	Κακοτεχνίες, τραυματισμοί	5	5	0.05
Τελικός συντελεστής		0.92	0.90	

Συνοψίζοντας τα βήματα της μεθοδολογίας:

1) Η σεισμική απαίτηση υπολογίζεται με βάση τον τύπο (1.1). και η ιδιοπερίοδος της κατασκευής προκύπτει με βάση τον τύπο (1.2) ίση με $T=0.38$ sec (ύψος του κτιρίου στα 9 m). Όπου:

- Η συνολική μάζα (Πίνακας 3.5) είναι ίση με 1361 Mg .
- Η επιτάχυνση υπολογίζεται από το φάσμα του Ευρωκώδικα 8 και αφού η ιδιοπερίοδος είναι μικρότερη των 0.50 sec και μεγαλύτερη των 0.15 sec ο τύπος είναι:

$$S_d(T) = \alpha_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \quad (3.1)$$

- Κατηγορία εδάφους B, άρα $S=1$
- Ζώνη I, άρα $\alpha_g=0.16$ g
- Συντηρητικά (θα διερευνηθεί στον τριτοβάθμιο) δυσμενής παρουσία τοιχοπληρώσεων, άρα $q=2.3$
- Συνεπώς $S_d(T) = 0.174$ g.

Τελικά $V_{req,0} = 2323$ KN για X και Y διεύθυνση. Στην παρούσα μεθοδολογία υπάρχει η δυνατότητα να συνεκτιμηθεί και ο συντελεστής σπουδαιότητας της κατασκευής, πολλαπλασιάζοντας με τον συντελεστή 1.15 για κτίρια σπουδαιότητας III όπως είναι τα σχολεία. Συνεπώς η $V_{req} = 2672$ KN

2) Η σεισμική αντίσταση υπολογίζεται ως:

A) Οι τιμές των V_{rd} , V_m που βασίζονται στις σχέσεις του παραρτήματος 7Γ του ΚΑΝ.ΕΠΕ. υπολογίζονται μέσω του Seisobuild (Πίνακας 3.9.)

B) Στην συνέχεια επιλέγονται οι μειωτικοί συντελεστές $\alpha_1 = 0.7$ και $\alpha_2 = 0.85$ (κτίριο με υποστυλώματα και τοιχώματα χωρίς κοντά υποστυλώματα-Πίνακας 1.4). Το κτίριο θεωρείται χωρίς κοντά υποστυλώματα καθώς στο κριτήριο 9 προέκυψε συντελεστής $\beta=5$ και στις 2 διευθύνσεις. Τα κοντά υποστυλώματα λαμβάνονται υπόψιν, όταν $\beta < 3$. Ο χαρακτηρισμός τοιχωματικό κτίριο επιβεβαιώνεται και από το βαθμό τοιχωματοποίησης που είναι 0.85 και 0.78 για X και Y διεύθυνση αντίστοιχα, ενώ για να θεωρηθεί παρουσία τοιχωμάτων αρκεί ο $\alpha_t > 0.10$. Άρα με βάση την σχέση 1.5:

- $V_{R,X0} = 8688$ KN
- $V_{R,Y0} = 9718$ KN

Γ) Τέλος συνυπολογίζοντας και τους μειωτικούς συντελεστές β λόγω τρωτότητας κατασκευής ίσους με 0.92 και 0.90 σε X και Y διεύθυνση αντίστοιχα η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής υπολογίζεται από την σχέση 1.6 και είναι ίση με:

- $V_{R,X} = 7993$ KN
- $V_{R,Y} = 8746$ KN

3) Ο δείκτης προτεραιότητας ελέγχου:

Με βάση τους τύπους (1.8) – (1.11) υπολογίζονται:

- $\lambda_x = 0.33$
- $\lambda_y = 0.31$
- $\lambda = 33$
- $\delta = 3.03$

Συνεπώς το κτίριο με βάση τον Πίνακα 1.5 κατατάσσεται στην K0 κατηγορία σεισμικής κλάσης.

Πίνακας 3.9: Τέμνουσες αντοχής κατακόρυφων μελών (Σύμφωνα με το Παράρτημα 7Γ ΚΑΝ.ΕΠΕ.)

Μέλος	$V_{Rd,s}(X)$	$V_{Rd,s}(Y)$	$V_M(X)$	$V_M(Y)$	$V_{Ri}(X)$	$V_{Ri}(Y)$
K1	814	320	141	51	141	51
K2	1259	553	256	67	256	67
K3	1715	495	615	63	615	63
K4	689	2368	85	1230	85	1230
K5	494	2308	69	1509	69	1509
K6	543	1946	82	852	82	852
K7	250	208	160	102	160	102
K8	297	211	253	120	253	120
K9	515	379	566	356	515	356
K10	508	381	574	363	508	363
K11	385	449	376	588	376	449
K12	2101	507	1249	59	1249	59
K13	165	262	181	315	165	262
K14	1114	1151	76	316	76	316
K15	1611	1040	233	78	233	78
K16	1596	290	702	43	702	43
K17	497	384	606	392	497	384
K18	498	380	587	374	498	374
K19	495	380	600	386	495	380
K20	260	268	282	282	260	268
K21	379	485	387	601	379	485
K22	383	480	371	582	371	480
K23	379	476	381	594	379	476
K24	382	502	383	597	382	502
K25	380	515	376	588	376	515
K26	387	516	373	585	373	516
K27	407	416	367	579	367	416
K28	410	513	382	596	382	513
K29	404	417	367	578	367	417
K30	408	493	385	599	385	493
K31	408	421	366	577	366	421
K32	397	492	368	579	368	492

3.3 Τριτοβάθμιος Προσεισμικός έλεγχος

3.3.1 Ιδιομορφική ανάλυση

Η πρώτη ανάλυση που γίνεται στον τριτοβάθμιο έλεγχο είναι η ιδιομορφική. Μέσω της ανάλυσης αυτής υπολογίζονται οι ιδιομορφές, οι ιδιοπερίοδοι και ποσοστά συμμετοχής μάζας κάθε ιδιομορφής. Είναι απαραίτητη για την στατική ανελαστική ανάλυση, διότι τα αυξανόμενα πλευρικά φορτία μοιράζονται βάση ιδιομορφών, οι στοχευόμενες μετακινήσεις υπολογίζονται βάση των ιδιοπεριόδων αρηγμάτων διατομών και αναγκαία για την γραμμική δυναμική ανάλυση καθώς μέσω των ιδιοπεριόδων ρηγματωμένων διατομών υπολογίζονται οι φασματικές επιταχύνσεις κάθε ιδιομορφής της κατασκευής.

Ο Πίνακας 3.10 παρουσιάζει τις ιδιοπεριόδους και τα ποσοστά συμμετοχής μάζας κάθε ιδιομορφής για ανάλυση χωρίς τοιχοπληρώσεις. Στο σημείο αυτό πρέπει να εντοπιστούν χειροκίνητα πόσες είναι οι απαραίτητες ιδιομορφές που πρέπει να ληφθούν υπόψιν ώστε να ενεργοποιείται το 90% της μάζας στις διευθύνσεις X και Y. Σημειώνεται ότι το πρόγραμμα Seisobuild λαμβάνει υπόψιν και την μάζα του υπογείου που δεν ταλαντώνεται, συνεπώς δεν ενεργοποιείται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα όσες ιδιομορφές και να ληφθούν υπόψιν το συνολικό ποσοστό της μάζας που ταλαντώνεται να φτάνει κοντά στο 80%. Τελικά αποφασίστηκε ότι χρήσιμες είναι οι πρώτες 16 ιδιομορφές και επιβεβαιώθηκε ότι αρκούν με μια συμπληρωματική ιδιομορφική ανάλυση χωρίς το υπόγειο στην οποία όντως ταλαντώνεται το 90% της μάζας. Ωστόσο προτιμήθηκε το προσομοίωμα να παραμείνει με υπόγειο καθώς έτσι προσομοιώνονται ορθότερα οι συνοριακές συνθήκες στήριξης των υποστυλωμάτων ισογείου. (Πχ. ένα μη γωνιακό περιμετρικό υποστύλωμα ισογείου στην ανάλυση χωρίς υπόγειο θεωρείται πακτωμένο και στις 2 διευθύνσεις, ενώ στην ανάλυση με υπόγειο πακτώνεται στην διεύθυνση του περιμετρικού τοιχίου υπογείου).

Κάτι άλλο που παρατηρείται στα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης (Πίνακας 3.10) είναι οι σχετικά μικρές ιδιοπερίοδοι. Για μία τριώροφη κατασκευή θα περίμενε κάποιος με βάση κάποιον εμπειρικό τύπο $T=0.1*\text{όροφο}$ (Crowley and Pinho 2004) θεμελιώδη ιδιοπερίοδο στα 0.30 sec ή με βάση τον τύπο (1.2) του δευτεροβάθμιου προσεισμικού ελέγχου που προέρχεται από τους (Goel & Chopra, 1997) ιδιοπερίοδο ίση με 0.38 sec, ενώ εδώ είναι στα 0.21 sec. Το γεγονός αυτό εξηγείται αφού στο πρόγραμμα επιλέχθηκε ότι θα ακολουθήσει στατική ανελαστική ανάλυση. Συνεπώς αυτόματα στο Seisobuild επιλέγεται το μοντέλο αρηγμάτων διατομής με σκοπό να υπολογίσει τις ιδιοπεριόδους που είναι απαραίτητες για τον υπολογισμό της στοχευόμενης μετακίνησης. Αν επιλεχθεί ότι θα ακολουθήσει γραμμική δυναμική ανάλυση, το πρόγραμμα χρησιμοποιεί ρηγματωμένη διατομή και η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος είναι στα 0.29 sec (Πίνακας 3.12).

Ο Πίνακας 3.11 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης για προσομοίωμα με τοιχοπληρώσεις. Οι διαφορές που παρατηρούνται είναι αμελητέες και εξηγείται από το γεγονός ότι πρόκειται για ένα νέο κτίριο έντονα τοιχωματικό που οι τοιχοπληρώσεις δεν φαίνεται να επηρεάσουν δραστικά την συνολική του δυσκαμψία.

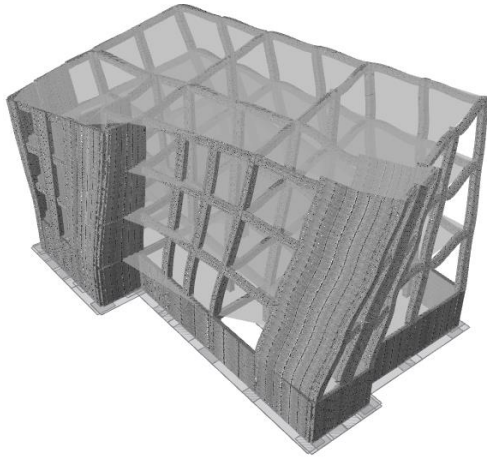
Τέλος απαραίτητο είναι να ελεγχθούν οπτικά και οι παραμορφωμένες εικόνες της κατασκευής για κάθε ιδιομορφή, με σκοπό να γίνει κατανοητή η δυναμική της συμπεριφορά. Κρίνεται παράλληλα αν είναι λογικός ο τρόπος με τον οποίο παραμορφώνεται η κατασκευή ώστε να αποτραπούν σφάλματα προσομοίωσης. Οι παραμορφωμένες εικόνες του φορέα για κάθε ιδιομορφή παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.1 έως Σχήμα 3.5.

Πίνακας 3.10: Ιδιοπερίοδοι για αρηγμάτωτες διατομές και ποσοστά συμμετοχής μάζας ανά ιδιομορφή χωρίς τοιχοπληρώσεις

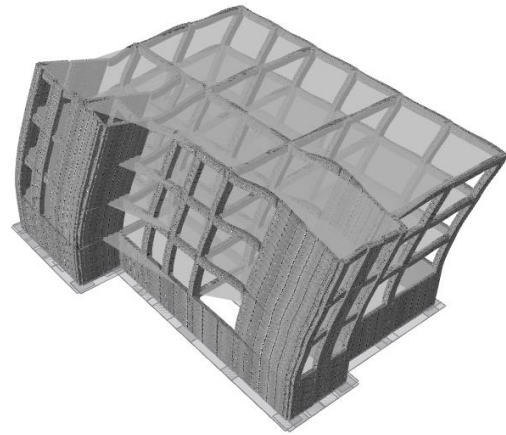
Mode	Period	[Ux]	[Uy]	[Uz]	[Rx]	[Ry]	[Rz]
1	0.21	23%	24%	0%	4%	2%	25%
2	0.13	28%	40%	0%	7%	3%	1%
3	0.08	15%	5%	0%	2%	3%	45%
4	0.06	0%	0%	11%	0%	2%	0%
5	0.06	5%	5%	0%	2%	1%	3%
6	0.05	0%	0%	3%	0%	3%	0%
7	0.05	0%	0%	12%	2%	0%	0%
8	0.05	0%	0%	0%	3%	0%	0%
9	0.04	0%	0%	5%	8%	1%	0%
10	0.04	0%	0%	4%	7%	2%	0%
11	0.04	0%	0%	0%	0%	1%	0%
12	0.04	0%	0%	7%	0%	11%	0%
13	0.04	0%	0%	1%	1%	3%	0%
14	0.04	0%	0%	6%	3%	10%	0%
15	0.04	0%	0%	3%	5%	6%	0%
16	0.03	10%	8%	0%	2%	1%	0%
Σύνολα		81%	83%	53%	46%	48%	74%

Πίνακας 3.11: Ιδιοπερίοδοι για αρηγμάτωτες διατομές και ποσοστά συμμετοχής μάζας ανά ιδιομορφή με τοιχοπληρώσεις

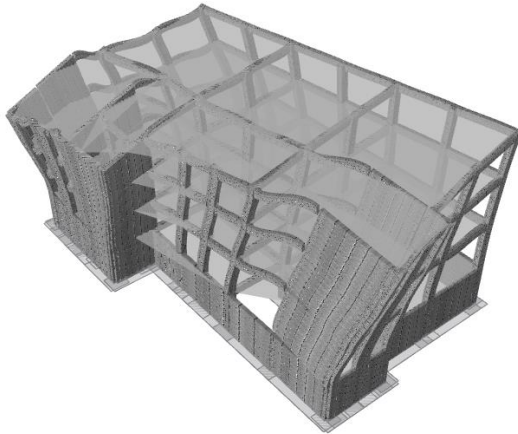
Mode	Period	[Ux]	[Uy]	[Uz]	[Rx]	[Ry]	[Rz]
1	0.19	22%	27%	0%	4%	2%	24%
2	0.12	31%	37%	0%	6%	3%	1%
3	0.08	14%	6%	0%	2%	3%	46%
4	0.06	0%	0%	11%	0%	2%	0%
5	0.06	5%	5%	0%	2%	1%	2%
6	0.05	0%	0%	3%	1%	3%	0%
7	0.05	0%	0%	13%	2%	0%	0%
8	0.05	0%	0%	0%	3%	0%	0%
9	0.04	0%	0%	5%	8%	1%	0%
10	0.04	0%	0%	3%	5%	2%	0%
11	0.04	0%	0%	1%	1%	0%	0%
12	0.04	0%	0%	6%	0%	9%	0%
13	0.04	0%	0%	3%	1%	8%	0%
14	0.04	0%	0%	6%	3%	11%	0%
15	0.04	0%	0%	1%	5%	2%	0%
16	0.03	10%	7%	0%	2%	2%	0%
Σύνολα		82%	83%	54%	46%	49%	74%



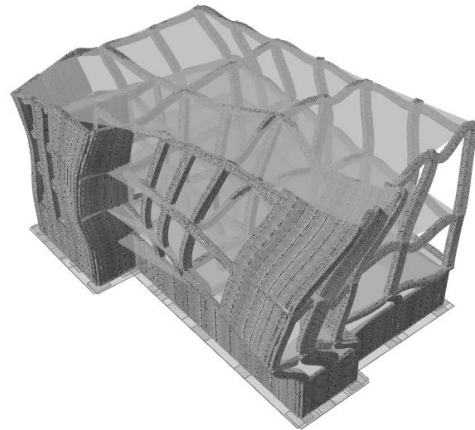
Σχήμα 3.1: 1^η Ιδιομορφή ($U_x=23\%$, $U_y=24\%$, $R_z=25\%$)



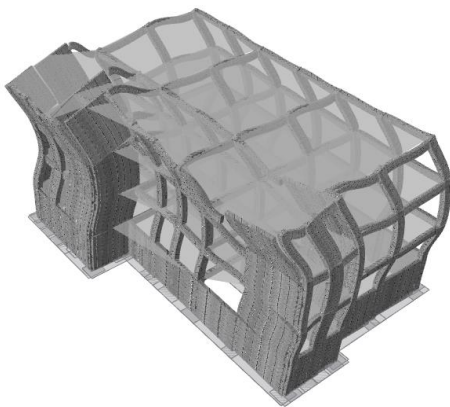
Σχήμα 3.2: 2^η Ιδιομορφή ($U_x=28\%$, $U_y=40\%$, $R_z=1\%$)



Σχήμα 3.3: 3^η Ιδιομορφή ($U_x=15\%$, $U_y=5\%$, $R_z=45\%$)



Σχήμα 3.4: 5^η Ιδιομορφή ($U_x=5\%$, $U_y=5\%$, $R_z=3\%$)



Σχήμα 3.5: 16^η Ιδιομορφή ($U_x=10\%$, $U_y=8\%$, $R_z=0\%$)

Πίνακας 3.12: Ιδιοπερίοδοι για ρηγματωμένες διατομές και ποσοστά συμμετοχής μάζας ανά ιδιομορφή χωρίς τοιχοπληρώσεις

Mode	Period	[Ux]	[Uy]	[Uz]	[Rx]	[Ry]	[Rz]
1	0.29	24%	27%	0%	4%	2%	27%
2	0.18	32%	42%	0%	7%	3%	1%
3	0.12	16%	7%	0%	2%	3%	49%
4	0.08	6%	5%	0%	2%	0%	3%
5	0.07	0%	0%	10%	0%	2%	0%
6	0.07	0%	0%	2%	2%	2%	0%
7	0.07	0%	0%	17%	0%	3%	0%
8	0.06	0%	0%	0%	3%	0%	0%
9	0.05	0%	0%	6%	10%	1%	0%
10	0.05	0%	0%	0%	0%	1%	0%
11	0.05	0%	0%	4%	7%	2%	0%
12	0.05	0%	0%	3%	0%	1%	0%
13	0.05	0%	0%	5%	0%	11%	0%
14	0.05	0%	0%	7%	2%	11%	0%
15	0.05	0%	1%	4%	5%	10%	0%
16	0.04	0%	1%	0%	2%	0%	2%
Σύνολα		81%	83%	53%	46%	48%	74%

3.3.2 Στατική ανελαστική ανάλυση (pushover)

Η στατική ανελαστική ανάλυση είναι αυτή που θα δώσει την τελική καμπύλη ικανότητας της κατασκευής. Ένα διάγραμμα τέμνουσας βάσης-μετακίνησης σημείου ελέγχου οροφής μέσω του οποίου γίνεται αντιληπτή δεδομένα που ζητήθηκαν είναι τα εξής:

Σεισμική Δράση:

- Εδαφική επιτάχυνση (PGA):0.16g
- Φάσμα ΕΚ8
- Τύπος Φάσματος 1
- Τύπος εδάφους Β
- Κατηγορία σπουδαιότητας ΙΙΙ
- Απόσβεση 5%

Στόχοι επιτελεστικότητας:

- Στάθμη Επιτελεστικότητας σημαντικές βλάβες (ΣΕ) : Β1
- Στάθμη Επιτελεστικότητας οιονεί κατάρρευση (ΣΕ) : Γ0

Σύμφωνα με τον πίνακα ΠΑ.2.1. του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για κτίρια σπουδαιότητας ΙΙΙ, όπως οι εκπαιδευτικοί χώροι η ελάχιστη στάθμη επιτελεστικότητας που πρέπει να ικανοποιείται είναι η Β1 (10% στα 50 χρόνια), ωστόσο για λόγους σύγκρισης καθώς και για τα δεδομένα που απαιτούνται για την οικονομοτεχνική μελέτη του κεφαλαίου 3.4 επιλέγεται να εξεταστεί και η στάθμη επιτελεστικότητας Γ0 (2% στα 50 χρόνια).

Στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων (ΣΑΔ):

- Ικανοποιητική ΣΑΔ
- Υψηλή ΣΑΔ

Εξετάζονται και οι 2 περιπτώσεις με σκοπό να γίνει αντιληπτό πόσο επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα αυτή η επιλογή. Οι συντελεστές που επηρεάζονται από την ΣΑΔ είναι οι:

- γ_f : αβεβαιότητες μη σεισμικών δράσεων
- γ_{sd} : αβεβαιότητες σεισμικών δράσεων
- γ_m : αβεβαιότητες ιδιοτήτων του υλικού
- γ_{Rd} : αβεβαιότητες αντοχής

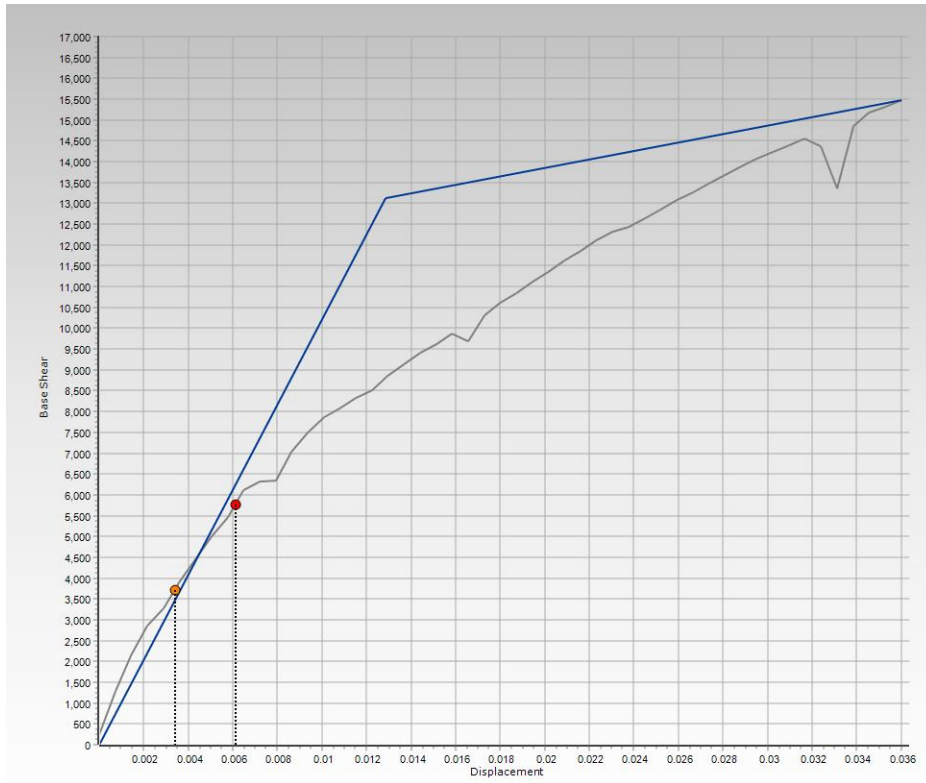
Παράμετροι ανάλυσης Pushover:

Σημαντικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα είναι η επιλογή της μέγιστης σχετικής μετακίνησης (drift) που θα σταματήσει το λογισμικό την ανάλυση. Η προεπιλογή είναι στο 2% (στον ΚΑΝ.ΕΠΕ.-σχόλιο §5.7.1.2- αναφέρεται ότι αρκεί χάραξη της καμπύλης αντίστασης σε σημείο 50% μεγαλύτερο της στοχευόμενης μετακίνησης.), ωστόσο όπως προκύπτει από το Σχήμα 3.6 και το Σχήμα 3.7 πρόκειται για ένα ιδιαίτερα δύσκαμπτο κτίριο με σχετικά μικρή μετατόπιση οροφής κατά την αστοχία. Συνεπώς για να γίνει καλύτερα η διγραμμικοποίηση της καμπύλης ικανότητας επιλέχθηκε μέγιστο drift ίσο με 0.40% κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. και 0.11% κατά Ευρωκώδικα. Τέλος για τους ελέγχους κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. επιλέχθηκαν 64 συνδυασμοί, 32 με ομοιόμορφη κατανομή φορτίου και 32 με ιδιομορφική κατανομή. Αντίθετα για τους ελέγχους με Ευρωκώδικα οι συνδυασμοί είναι 16, 8 με ιδιομορφική και 8 με ομοιόμορφη κατανομή.

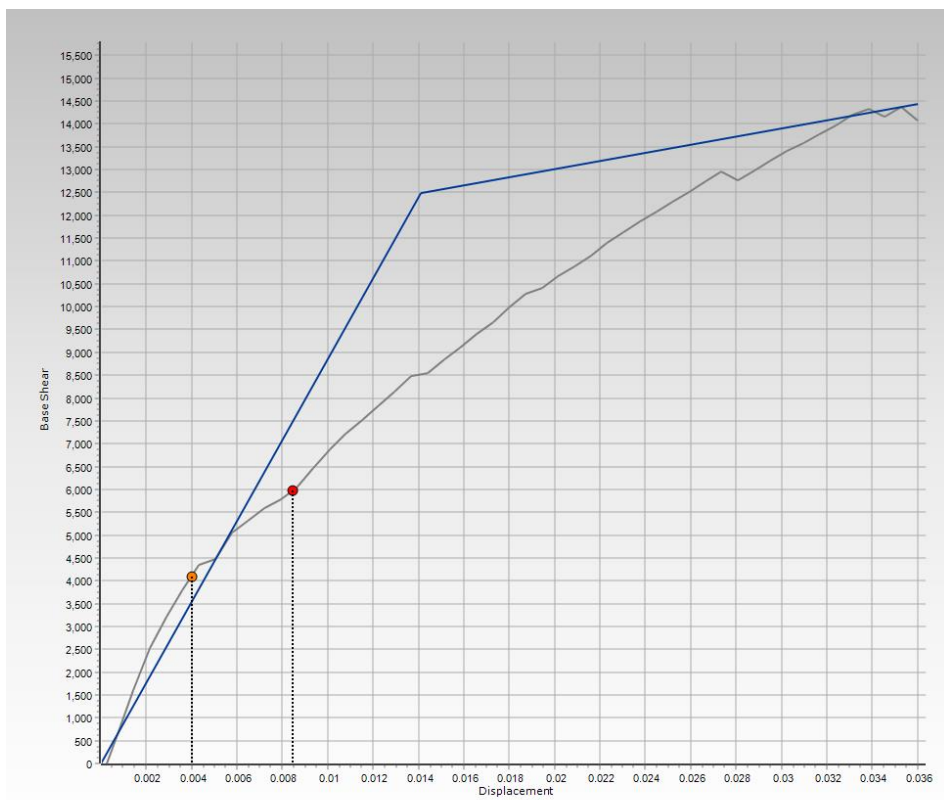
Περιπτώσεις προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν και αποτελέσματα:

Αφού έγινε εισαγωγή όλων των απαραίτητων δεδομένων έγινε διερεύνηση σχετικά με το πως επηρεάζουν τα αποτελέσματα παράγοντες όπως η επιλογή του κανονισμού, της στάθμης αξιοπιστίας δεδομένων, των τοιχοπληρώσεων και της στάθμης επιτελεστικότητας. Συνεπώς και οι 16 συνδυασμοί παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.13

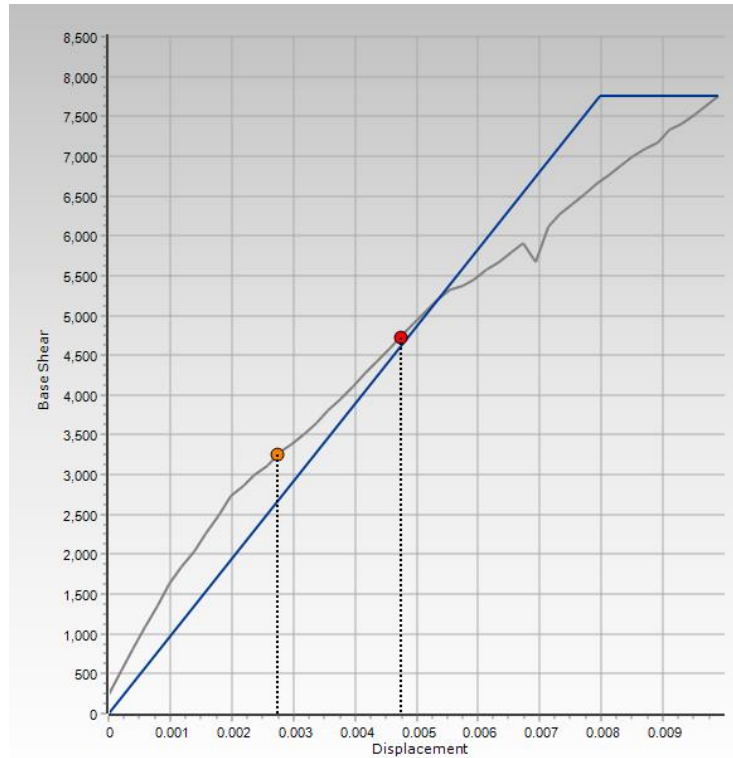
Από το Σχήμα 3.11 έως το Σχήμα 3.26 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των περιπτώσεων Π11 έως Π16 (Πίνακας 3.13), ενώ στο Σχήμα 3.10 φαίνεται η ονοματολογία των μελών για την καλύτερη κατανόηση των συντελεστών αξιοποίησης του Πίνακα 3.13.



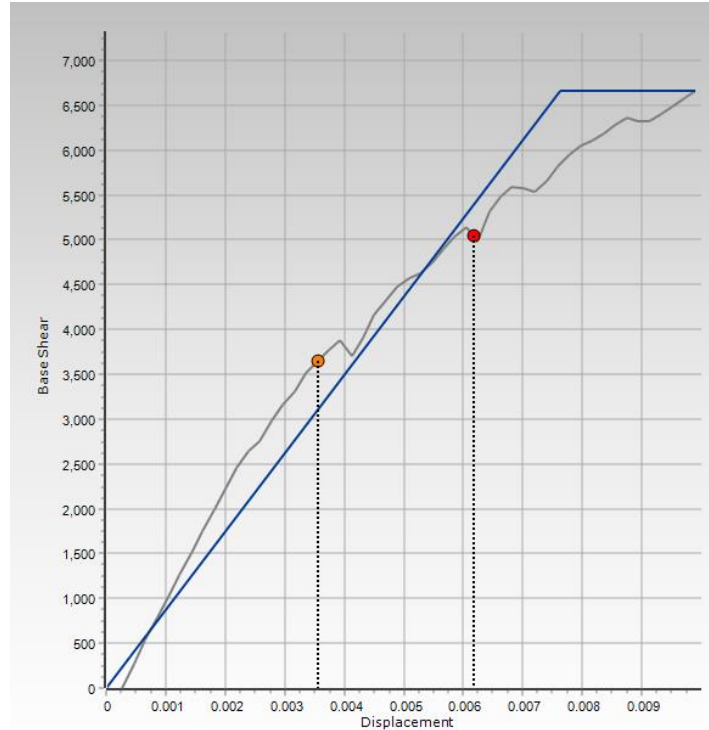
Σχήμα 3.6: Καμπύλη ικανότητας κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τον συνδυασμό Modal X+ (Προσομοίωμα Π5) για ΣΕ Β1(0.0033m-3888 KN) και για ΣΕ Γ0(0.0061 m-5817 KN)



Σχήμα 3.7: Καμπύλη ικανότητας κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τον συνδυασμό Modal Y+ (Προσομοίωμα Π5)-για ΣΕ Β1 (0.0040 m-4096 KN) και για ΣΕ Γ0 (0.0082m-5992KN)



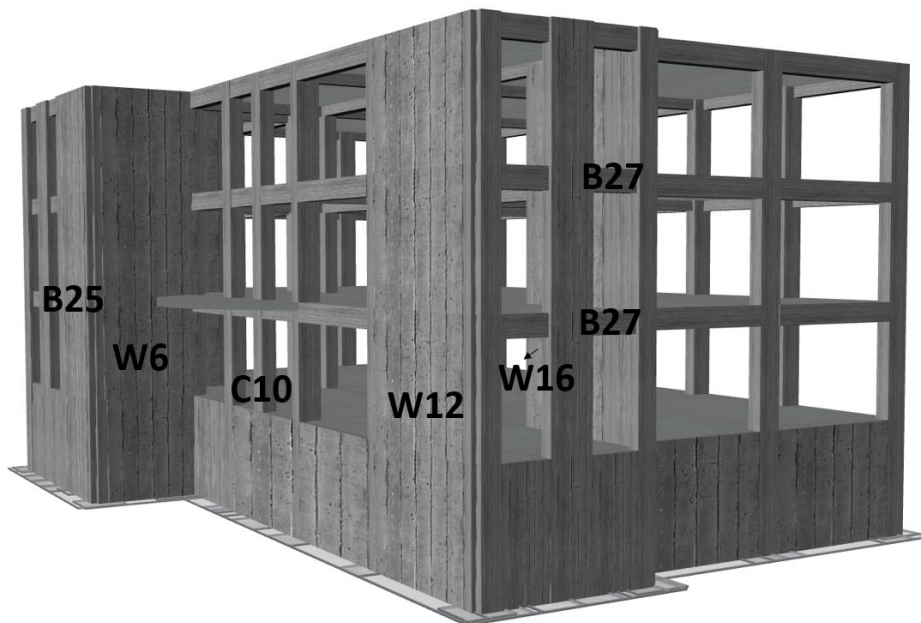
Σχήμα 3.8: Καμπύλη ικανότητας κατά Ευρωκώδικα για τον συνδυασμό Modal X+ (Προσομοίωμα Π13) για ΣΕ Β1 (0.0027m-3386 KN) και για ΣΕ Γ0 (0.0047 m-4737 KN)



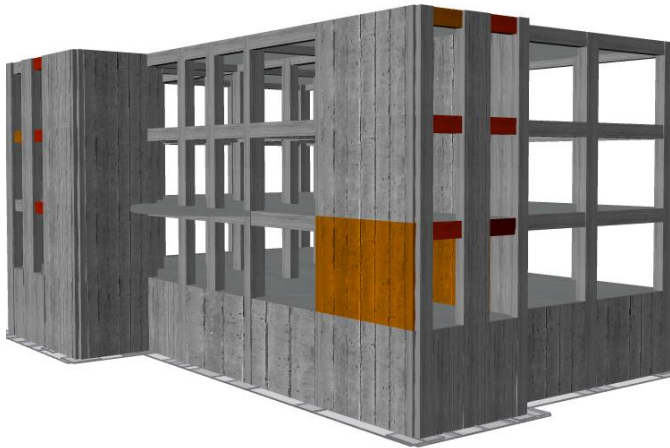
Σχήμα 3.9: Καμπύλη ικανότητας κατά Ευρωκώδικα για τον συνδυασμό Modal Y+ (Προσομοίωμα Π13) για ΣΕ Β1 (0.0035m-3734 KN) και για ΣΕ Γ0 (0.0062 m-5123 KN)

Πίνακας 3.13: Συνδυασμοί διαφορετικών περιπτώσεων προσομοιωμάτων που έγιναν οι έλεγχοι

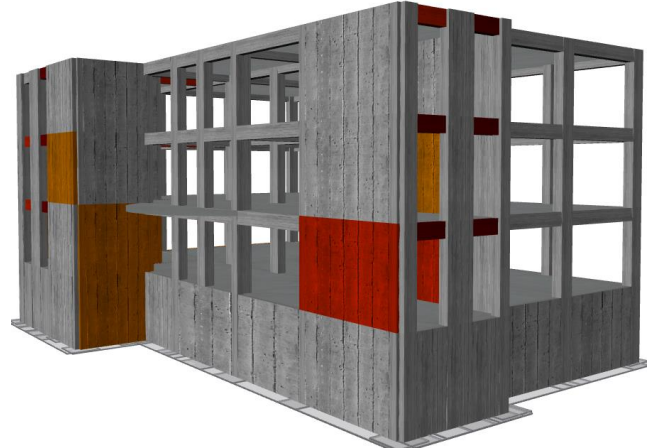
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	ΤΟΙΧΟ-ΠΛΗΡΩΣΕΙΣ		ΣΤΑΘΜΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ		ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ		
	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ	ΥΨΗΛΗ	Β1	Γ0	
1		X	X		X		
2		X	X			X	
3		X		X	X		
4	ΚΑΝ.ΕΠΕ	X		X		X	
5		X		X		X	
6		X			X		
7		X			X		
8		X			X		
9			X	X		X	
10			X	X			X
11			X		X	X	
12	ΕΚ8			X		X	
13		X		X		X	
14		X		X		X	
15		X			X	X	
16		X		X		X	



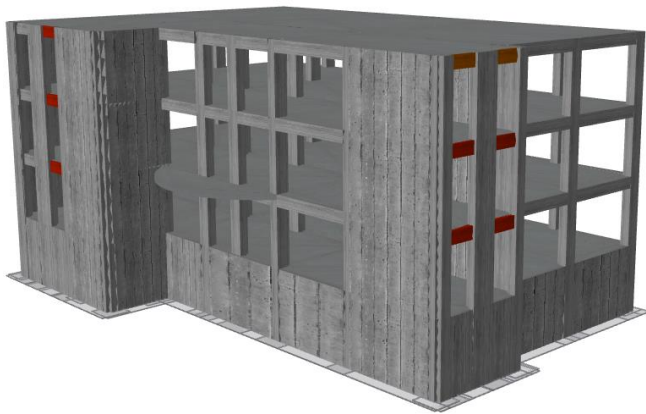
Σχήμα 3.10: Προοπτικό κτιρίου με τις ονοματολογίες των μελών που παρουσιάζονται οι συντελεστές αξιοποίησής ανά περίπτωση



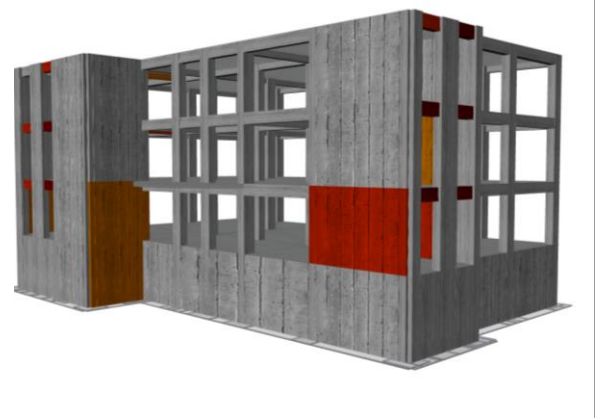
Σχήμα 3.11: Π1: Έλεγχος σε διάτμηση-ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Χωρίς τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ: Ικανοποιητική-ΣΕ: Β1



Σχήμα 3.12: Π2: Έλεγχος σε διάτμηση-ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Χωρίς τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ: Ικανοποιητική-ΣΕ: Γ0



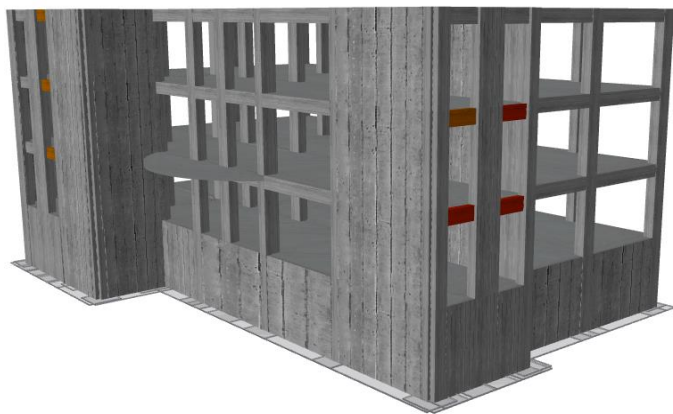
Σχήμα 3.13: Π3: Έλεγχος σε διάτμηση-ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Χωρίς τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ: Υψηλή-ΣΕ: Β1



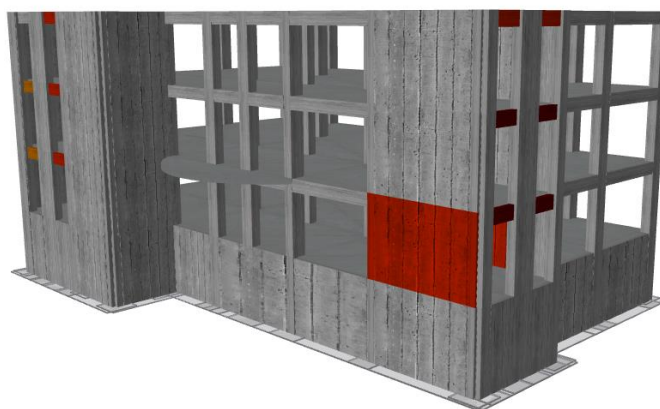
Σχήμα 3.14: Π4: Έλεγχος σε διάτμηση-ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Χωρίς τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ: Υψηλή -ΣΕ: Γ0

Πίνακας 3.14: Συντελεστές εκμετάλλευσης μελών περιπτώσεων Π1-Π4

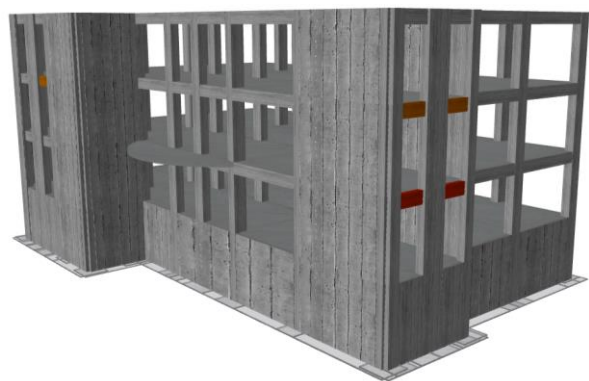
	Π1	Π2	Π3	Π4
W12 Ισογείου	1.06	1.67	0.97	1.54
W16 Ισογείου	1.03	1.82	0.96	1.69
W6 Ισογείου	0.95	1.10	0.89	1.01
C10 Ισογείου	0.12	0.19	0.11	0.18
B27 (1 ^ο διάφραγμα)	2.13	2.89	1.97	2.68
B27(2 ^ο διάφραγμα)	1.90	2.92	1.76	2.70
B25 Ισογείου	1.42	2.20	1.31	2.04



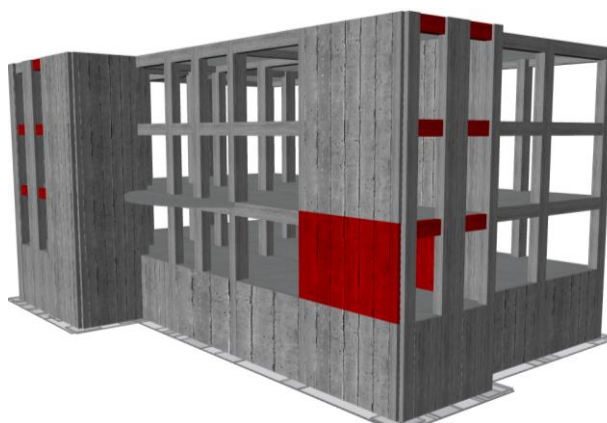
Σχήμα 3.15: Π5 Έλεγχος σε διάτμηση-ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Με τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ: Ικανοποιητική-ΣΕ: Β1



Σχήμα 3.16: Π6 Έλεγχος σε διάτμηση-ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Με τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ: Ικανοποιητική-ΣΕ: Γ0



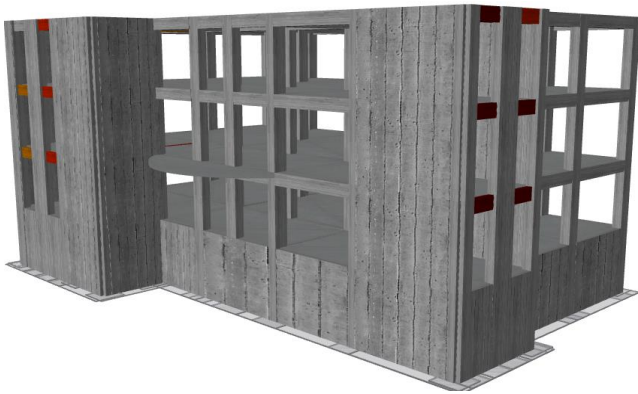
Σχήμα 3.17: Π7 Έλεγχος σε διάτμηση-ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Με τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ: Υψηλή-ΣΕ: Β1



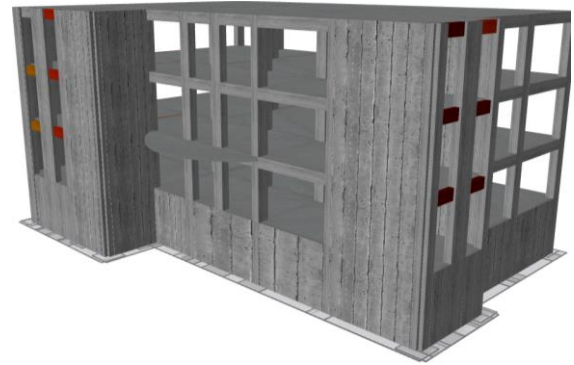
Σχήμα 3.18: Π8 Έλεγχος σε διάτμηση-ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Με τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ: Υψηλή-ΣΕ: Γ0

Πίνακας 3.15: Συντελεστές εκμετάλλευσης μελών περιπτώσεων Π5-Π8

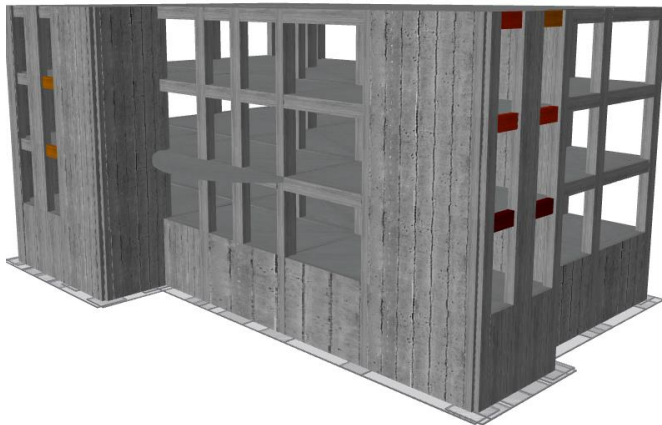
	Π5	Π6	Π7	Π8
W12 Ισογείου	0.98	1.52	0.90	1.39
W16 Ισογείου	0.83	1.26	0.77	1.13
W6 Ισογείου	0.91	0.93	0.85	0.86
C10 Ισογείου	0.11	0.15	0.10	0.13
B27 (1ο διάφραγμα)	1.60	2.73	1.48	2.53
B27(2ο διάφραγμα)	1.26	2.29	1.16	2.12
B25 Ισογείου	1.05	1.65	0.97	1.52



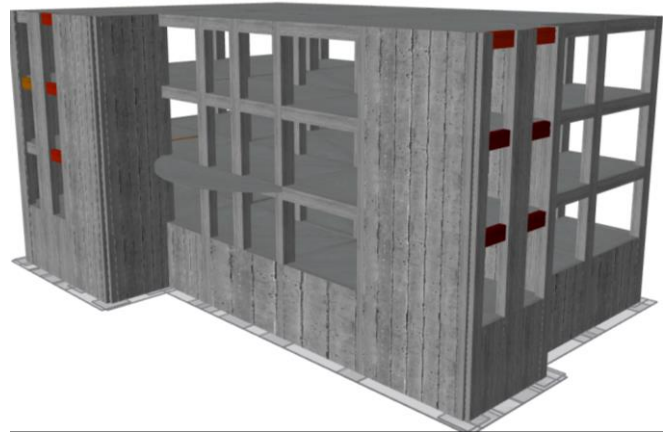
Σχήμα 3.19: Π9.Έλεγχος σε διάτμηση-EK8.-Χωρίς τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ:Ικανοποιητική-ΣΕ:Β1



Σχήμα 3.20: Π10.Έλεγχος σε διάτμηση-EK8.-Χωρίς τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ:Ικανοποιητική-ΣΕ:Γ0



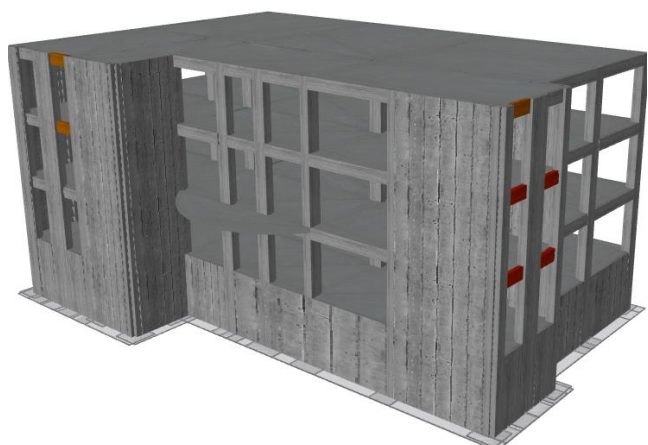
Σχήμα 3.21: Π11.Έλεγχος σε διάτμηση-EK8.-Χωρίς τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ:Υψηλή-ΣΕ:Β1



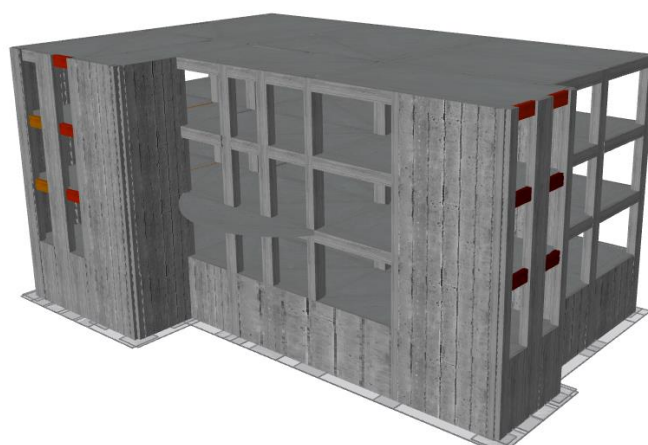
Σχήμα 3.22:Π12.Έλεγχος σε διάτμηση-EK8.-Χωρίς τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ: Υψηλή -ΣΕ:Γ0

Πίνακας 3.16:Συντελεστές εκμετάλλευσης μελών περιπτώσεων Π9-Π10

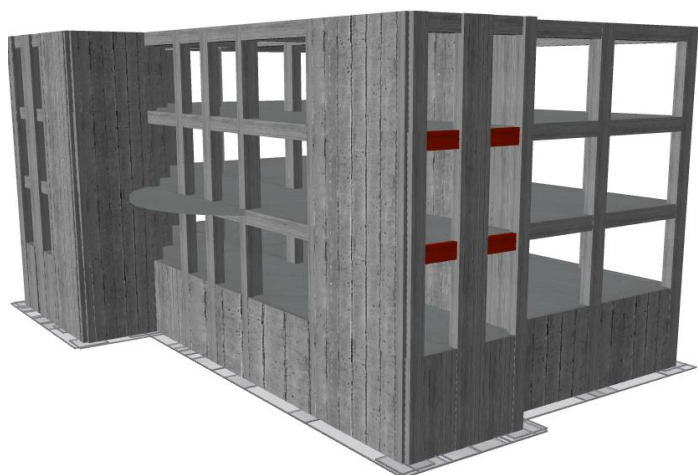
	Π9	Π10	Π11	Π12
W12 Ισογείου	0.52	0.83	0.45	0.71
W16 Ισογείου	0.61	0.81	0.54	0.73
W6 Ισογείου	0.58	0.78	0.49	0.66
C10 Ισογείου	0.11	0.14	0.10	0.12
B27 (1ο διάφραγμα)	2.41	3.25	2.09	2.82
B27(2ο διάφραγμα)	2.11	2.82	1.83	2.45
B25 Ισογείου	1.31	1.77	1.13	1.54



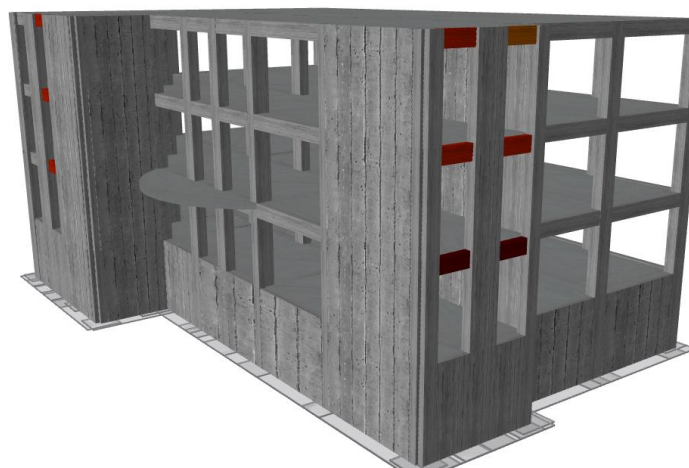
Σχήμα 3.23: Π13.Έλεγχος σε διάτμηση-ΕΚ8.-Με τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ:Ικανοποιητική-ΣΕ:Β1



Σχήμα 3.24: Π14.Έλεγχος σε διάτμηση-ΕΚ8.-Με τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ:Ικανοποιητική-ΣΕ:Γ0



Σχήμα 3.25: Π15.Έλεγχος σε διάτμηση-ΕΚ8.-Με τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ:Υψηλή-ΣΕ:Β1



Σχήμα 3.26: Π16.Έλεγχος σε διάτμηση-ΕΚ8.-Με τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ:Υψηλή-ΣΕ:Γ0

Πίνακας 3.17:Συντελεστές εκμετάλλευσης μελών περιπτώσεων Π13-Π16

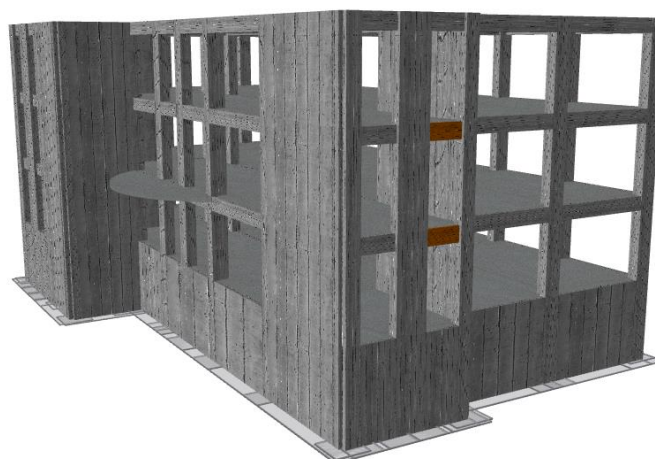
	Π13	Π14	Π15	Π16
W12 Ισογείου	0.56	0.89	0.53	0.77
W16 Ισογείου	0.59	0.80	0.49	0.71
W6 Ισογείου	0.55	0.75	0.47	0.65
C10 Ισογείου	0.12	0.15	0.11	0.13
B27 (1ο διάφραγμα)	1.73	2.67	1.49	2.33
B27(2ο διάφραγμα)	1.42	2.12	1.23	1.85
B25 Ισογείου	0.87	1.44	0.76	1.25

3.3.3 Γραμμική δυναμική ανάλυση (Φασματική Ανάλυση)

Λόγω της έντονης ανομοιομορφίας της δυσκαμψιάς σε κάτοψη, είναι ανάγκη να εξεταστεί η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών. Υπολογίζονται λοιπόν οι τέμνουσες λόγω της 1^{ης} ιδιομορφής και οι τέμνουσες όσων ιδιομορφών είναι απαραίτητες προκειμένου να ενεργοποιείται το 90% της δρώσας μάζας. Προτιμήθηκε να μην ληφθεί υπόψιν η μάζα κατά τον κατακόρυφο άξονα (z) για την ιδιομορφική ανάλυση, καθώς δεν επηρεάζει συνήθως η κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού τέτοιες κατασκευές. Συνεπώς οι απαραίτητες ιδιομορφές για να ταλαντώνεται το 90% της μάζας έγιναν από 16, 6. Παρατηρείται ότι το άθροισμα των τεμνουσών της ανάλυσης για 6 ιδιομορφές υπερβαίνει το 130% των τεμνουσών της ανάλυσης για 1 ιδιομορφή όπως παρουσιάζει και ο Πίνακας 3.18 (Σχόλιο §5.7.2 ΚΑΝ.ΕΠΕ.). Άρα η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών είναι σημαντική. Έτσι είναι απαραίτητο να γίνει μια συμπληρωματική γραμμική δυναμική ανάλυση (ανάλυση φάσματος απόκρισης) και να ληφθούν υπόψιν στους ελέγχους τα δυσμενέστερα αποτελέσματα από τις 2 αναλύσεις. Επιλέγεται αρχικά συντελεστής συμπεριφοράς $q=3$ (πίνακας Σ4.4 ΚΑΝ.ΕΠΕ) ο οποίος επιτρέπεται να προσαυξηθεί κατά 25%, αφού η ανάλυση γίνεται συμπληρωματικά. Άρα ο τελικός συντελεστής συμπεριφοράς είναι $q=3+25\%=3.75$. Στο Σχήμα 3.27 παρουσιάζεται ο έλεγχος σε διάτμηση από την φασματική ανάλυση. Το κτίριο δεν εμφανίζει προβλήματα πέρα από 2 οριακές αστοχίες των δοκών Β26 πρώτου και δευτέρου ορόφου. Στον έλεγχο στροφής χορδής δεν παρατηρήθηκε καμία αστοχία.

Πίνακας 3.18: Ποσοστιαίες διαφορές τέμνουσας μεταξύ των αναλύσεων με 1 και 6 ιδιομορφών ανά όροφο και διεύθυνση

	Διαφορά Τέμνουσας Κατά Χ	Διαφορά Τέμνουσας Κατά Υ
1 ^{ος} όροφος	138%	124%
2 ^{ος} όροφος	141%	122%
3 ^{ος} όροφος	137%	119%



Σχήμα 3.27: Έλεγχος σε διάτμηση-Φασματική ανάλυση-Χωρίς τοιχοπληρώσεις-ΣΕ:Β1

3.3.4 Έλεγχος κοντού υποστυλώματος

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε και στα κοντά υποστυλώματα καθώς αυτά δεν λαμβάνονται πάντα αυτόματα υπόψη από τα διάφορα λογισμικά. Στους κανονισμούς που είτε εφαρμόστηκαν στο συγκεκριμένο κτίριο είτε είναι σε ισχύ τώρα αναφέρεται:

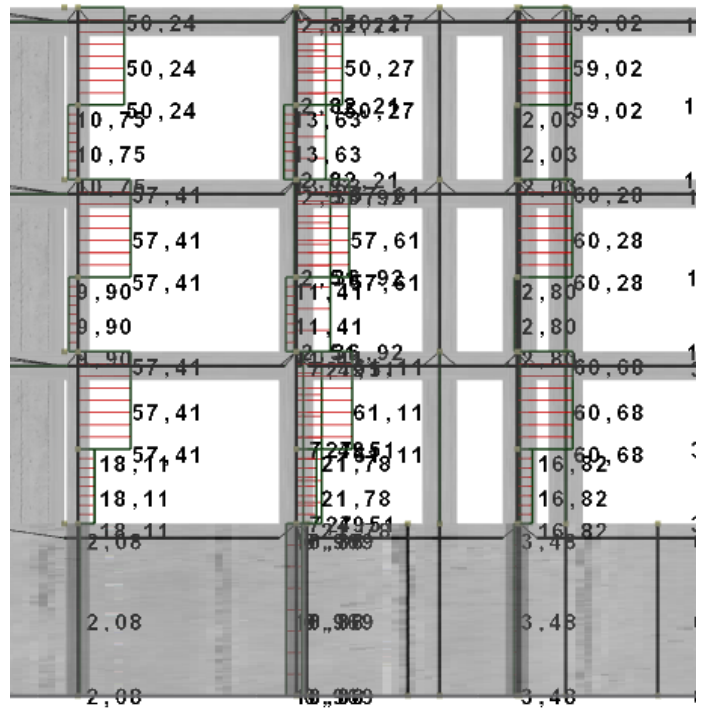
- Στον ΚΑΝΕΠΕ δεν υπάρχει κάποια παράγραφος σχετικά με τα κοντά υποστυλώματα.
- Στον Ευρωκώδικα 8-1 στην παράγραφο §5.4.3.2.2 κοντό ορίζεται ένα υποστυλώμα όταν (το μήκος επαφής τοιχοπλήρωσης/πλάτος διατομής) $l_c/h_c < 3$. Σε αυτή την περίπτωση ολόκληρο το ύψος του υποστυλώματος θεωρείται κρίσιμο και οπλίζεται ανάλογα.
 - $l_c = w_{inf} / \cos\theta$ (3.2)
 - w_{inf} : πλάτος διαγωνίου θλιπτήρα, μπορεί να λαμβάνεται ίσο με ένα ποσοστό (πχ 15%) του μήκους της διαγωνίου του φατνώματος.
 - θ : κλίση διαγωνίου του φατνώματος προς την οριζόντιο.
 - h_c : πλάτος διατομής στην εξεταζόμενη διεύθυνση
- Στον Ε.Κ.Ω.Σ. §18.4.9, από το 2004 (η μελέτη του κτιρίου είναι 10/2003) αναφέρεται ότι κοντό θεωρείται ένα υποστυλώμα με λόγο διάτμησης μικρότερο του 2.5 .

$$\alpha_s = M_{sd} / (V_{sd} \cdot h) \leq 2.5 \quad (3.3)$$

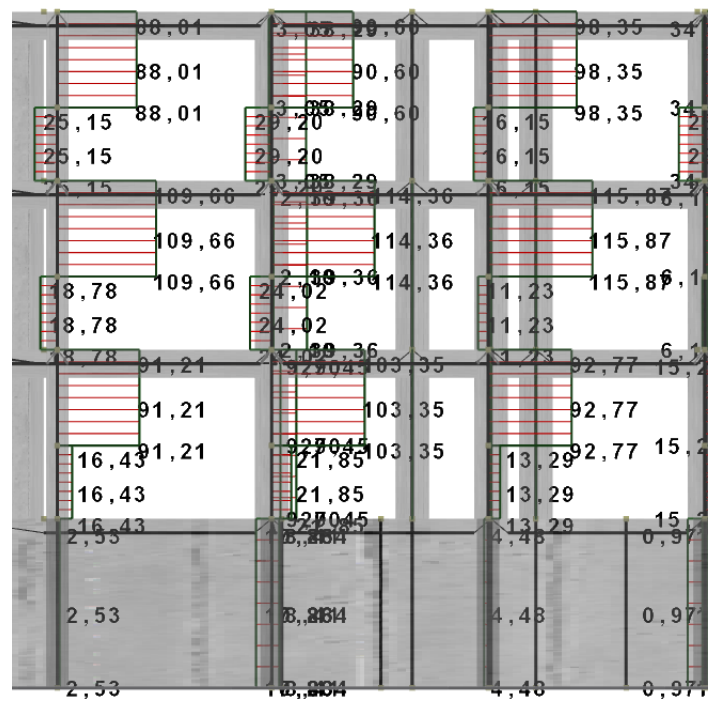
Όπου M_{sd} , V_{sd} εντατικά μεγέθη σεισμικού συνδυασμού στο κρίσιμο άκρο και h το πλάτος διατομής στην διεύθυνση της τέμνουσας. Στο κτίριο αυτό, στη νότια όψη (Σχήμα 2.3) υπάρχει παράθυρο με ύψος 1.5 m και πλάτος υποστυλώματος κατά τη διεύθυνση της τοιχοπλήρωσης ίσο με 0.40 m.

- Στον Ν.Ε.Α.Κ. (ΦΕΚ 613/Β/12-10-1992) στην §4.1.7.1 (4) , αναφέρεται ότι η διαστασιολόγηση για υποστυλώματα στα οποία διακόπτεται η τοιχοπλήρωση καθ' ύψος γίνεται για σεισμική ροπή διπλάσια από αυτήν που προέκυψε από την σεισμική ανάλυση του κρισιμότερου ελέγχου. Παράλληλα διατηρείται σταθερός διαμήκης οπλισμός στον όροφο και γίνεται περίσφιξη σε μήκος διπλάσιο του πλάτους υποστυλώματος εκατέρωθεν της τοιχοπλήρωσης. Δεν αναγράφεται κάπου συγκεκριμένη τιμή του λόγου διάτμησης , ώστε να χαρακτηριστεί ένα υποστυλώμα κοντό.

Να σχολιαστεί ότι στον δευτεροβάθμιο έλεγχο, κοντά υποστυλώματα θεωρούνται αυτά που έχουν λόγω διάτμησης (ελεύθερο ύψος υποστυλώματος / πλάτος υποστυλώματος) μικρότερο του 5. Στον Ε.Κ.Ω.Σ. ο λόγος M_{sd} / V_{sd} ισούται με το διατμητικό μήκος, που είναι πολύ κοντά στο μισό του ελεύθερου ύψους του υποστυλώματος, συνεπώς και οι 2 μεθοδολογίες καταλήγουν στο ίδιο αποτέλεσμα. Σε κάθε περίπτωση, προσομοιώθηκαν οι τοιχοπληρώσεις στο SeisMobuild, αφήνοντας ελεύθερο ύψος 1.50m. Για τον δυσμενέστερο σεισμικό συνδυασμό στις στάθμες επιτελεστικότητας B1 (Σχήμα 3.28) και Γ0 (Σχήμα 3.29) υπολογίστηκαν οι δυσμενέστερες τέμνουσες ίσες με 61 KN και 116 KN αρκετά μικρότερες από την αντοχή του ίδιου υποστυλώματος στην στάθμη επιτελεστικότητας B, που σύμφωνα με το παράρτημα 7Γ του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (Πίνακας 3.9) υπολογίστηκε τουλάχιστον 381 KN. Άρα δεν παρατηρείται κάποιο πρόβλημα στο συγκεκριμένο σημείο, γεγονός που δικαιολογείται, καθώς το κτίριο είναι έντονα τοιχωματικό και δεν επιβαρύνονται ιδιαίτερα τα υποστυλώματα (κοντά και μη) σε τέμνουσα.



Σχήμα 3.28: Διάγραμμα εντατικής κατάστασης Τεμνουσών [Q] για την ΣΕ Β1 και τον συνδυασμό Modal X+



Σχήμα 3.29: Διάγραμμα εντατικής κατάστασης Τεμνουσών [Q] για την ΣΕ Γ0 και τον συνδυασμό Modal X+

3.4 Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση χωρίς αστοχία κατακόρυφου μέλους

Αφού γίνεται ο έλεγχος σεισμικής επάρκειας της κατασκευής για δεδομένη εδαφική επιτάχυνση (PGA) και διαπιστώνεται ότι η κατασκευή αστοχεί, το επόμενο ερώτημα είναι για ποιο PGA η κατασκευή δεν αστοχεί; Για να βρεθεί αυτή η τιμή εφαρμόζεται μια επαναληπτική διαδικασία στην οποία μειώνεται συνεχώς το PGA από την τιμή αναφοράς που είναι τα 0.16g μέχρι την τιμή για την οποία δεν παρατηρείται οριακά καμία αστοχία κατακόρυφου μέλους. Για την διαδικασία αυτή επιλέχθηκε το προσομοίωμα Π1 (Σχήμα 3.11) για τους ελέγχους κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. και το Π15 (Σχήμα 3.25) για τους ελέγχους με Ευρωκώδικα 8.

Πίνακας 3.19: Μετατόπιση οροφής και τέμνουσα βάσης (συνδυασμός Modal X+ και Modal Y+) για τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση χωρίς καμία κατακόρυφη αστοχία κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. χωρίς τοιχοπληρώσεις και ικανοποιητική ΣΑΔ (Π1-Σχήμα 3.11)

Στάθμη επιτελεστικότητας	Διεύθυνση	Μέγιστο PGA (g)	Μετακίνηση οροφής (m)	Τέμνουσα Βάσης (KN)
Σημαντικές βλάβες	X	0.14	0.0029	3686
Σημαντικές βλάβες	Y	0.16	0.0041	4162

Πίνακας 3.20: Μετατόπιση οροφής και τέμνουσα βάσης (συνδυασμός Modal X+ και Modal Y+) για τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση χωρίς καμία κατακόρυφη αστοχία κατά Ευρωκώδικα 8 με τοιχοπληρώσεις και υψηλή ΣΑΔ. (Π15-Σχήμα 3.25)

Στάθμη επιτελεστικότητας	Διεύθυνση	Μέγιστο PGA (g)	Μετακίνηση οροφής (m)	Τέμνουσα Βάσης (KN)
Σημαντικές βλάβες	X	0.26	0.0078	6431
Σημαντικές βλάβες	Y	0.29	0.0108	7065

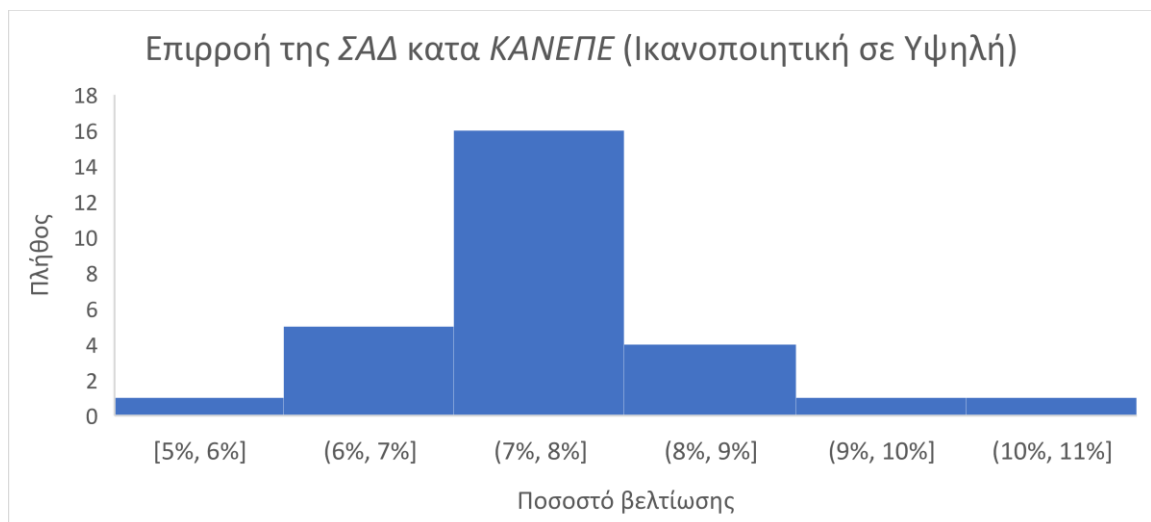
3.5 Σχόλια-Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα

Όσον αφορά τον προσδιορισμό της έντασης του φορέα ιδιαίτερη προσοχή θέλει η επιλογή του σημείου που θα σταματήσει η καμπύλη pushover. Βάση του σημείου αυτού, επηρεάζεται η ισοδύναμη διγραμμική καμπύλη που καθορίζει την στοχευόμενη μετακίνηση και κατ'επέκταση την «ένταση» του φορέα. Γίνεται με διαφορετικό τρόπο σε ΚΑΝ.ΕΠΕ. και Ευρωκώδικα 8:

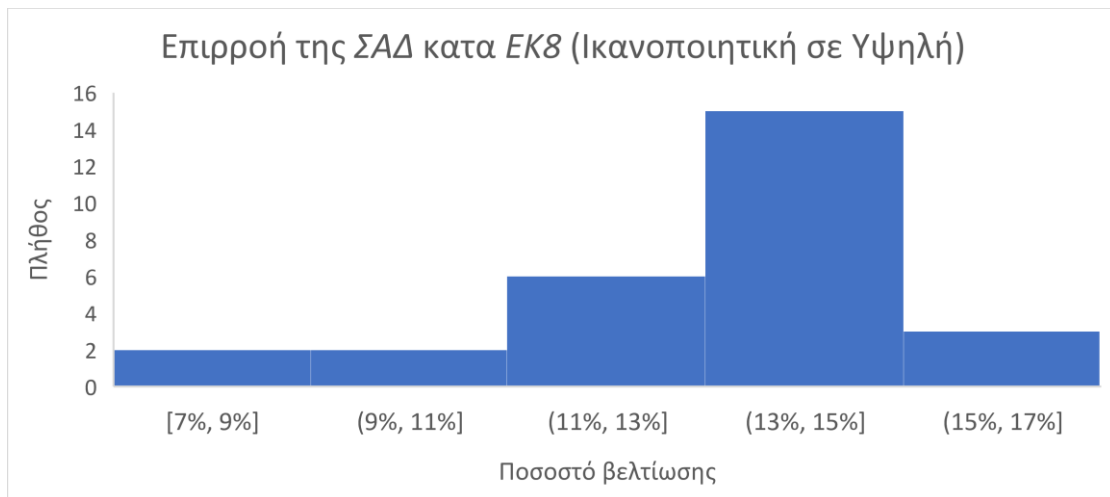
- Στον ΚΑΝΕΠΕ (§5.7.3.4) αναφέρεται ότι: η ισοδύναμη πλευρική δυσκαμψία υπολογίζεται στο σημείο που αντιστοιχεί στο 60% της τέμνουσας διαρροής της διγραμμικής καμπύλης. Για καλύτερη ακρίβεια λοιπόν απαιτείται μια μικρή επαναληπτική διαδικασία.
 - Ορίζεται ένα σημείο διακοπής της pushover
 - Υπολογίζεται η πλευρική δυσκαμψία K_e
 - Υπολογίζεται η ισοδύναμη ελαστική ιδιοπερίοδος $T_e = T (K_0/K_e)^{0.5}$
 - Η στοχευόμενη μετακίνηση $\delta_i = C_0 C_1 C_2 C_3 (T_e^2 / 4\pi^2) S_e(T)$
 - Η διγραμμική καμπύλη περνάει κοντά από την στοχευόμενη μετακίνηση;
 - ΝΑΙ, ΟΧΙ → κατάλληλη τροποποίηση.

- Στον Ευρωκώδικα 8, η διγραμμικοποίηση γίνεται με βάση τα ίσα εμβαδά πάνω και κάτω από τη διγραμμικοποιημένη και τη πραγματική καμπύλη. Παράλληλα η καμπύλη είναι ελαστική απολύτως πλαστική, γεγονός που μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα σε κτίρια που αναμένεται να έχουν ελαστική συμπεριφορά όπως το συγκεκριμένο (Σχήμα 3.6).
 - Ορίζεται ένα σημείο διακοπής της pushover
 - Υπολογίζεται το δυνάμη και μετακίνηση διαρροής F_y^* , d_y^* , (K_y^*) και άλλα χαρακτηριστικά του ισοδύναμου μονοβάθμιου
 - Η ιδιοπερίοδος $T^* = 2\pi (m^* d_y^* / F_y^*)^{0.5}$
 - Στοχευόμενη μετακίνηση ανάλογη του T^*
 - Η διγραμμική καμπύλη περνάει κοντά από την στοχευόμενη μετακίνηση;
 - ΝΑΙ, ΟΧΙ → κατάλληλη τροποποίηση.

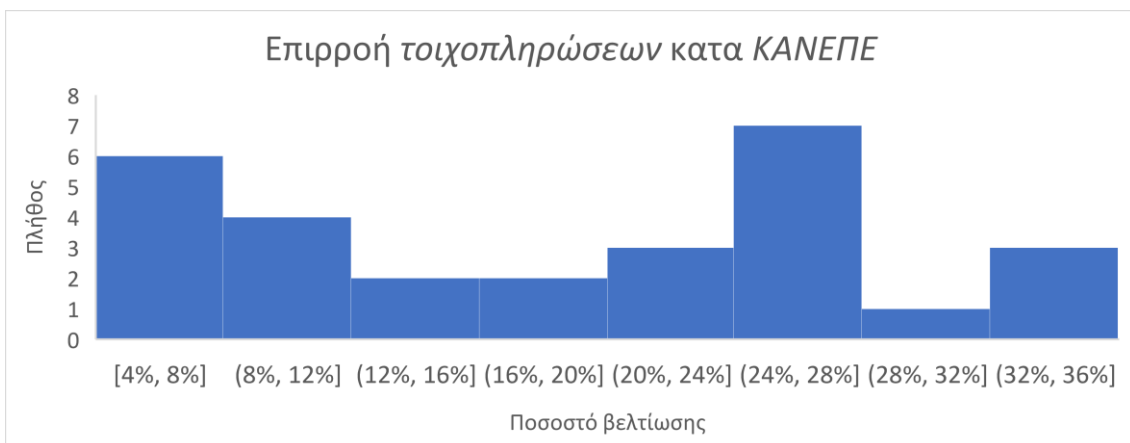
Σχετικά με τους συντελεστές εκμετάλλευσης, που παρουσιάστηκαν στους πίνακες 3.14-3.17, έγινε μια προσπάθεια να εκτιμηθεί ποια είναι η επιρροή της *Στάθμης Αξιοπιστίας δεδομένων* καθώς και των *τοιχοπληρώσεων* στον ΚΑΝΕΠΕ και στον Ευρωκώδικα 8. Έτσι λοιπόν υπολογίστηκε το ποσοστό βελτίωσης του συντελεστή εκμετάλλευσης των 7 μελών που εξετάστηκαν (Σχήμα 3.10) για κάποια συγκεκριμένες περιπτώσεις. Εξετάστηκε η βελτίωση μεταξύ των προσομοιωμάτων (Πίνακας 3.13) Π1-Π3, Π2-Π4, Π5-Π7, Π6-Π7 και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με την μορφή ιστογράμματος στο Σχήμα 3.30. Παρατηρείται βελτίωση της τάξης του 8% τόσο για τοιχία όσο και για τις δοκούς που αστοχούσαν. Αντίστοιχα για τον Ευρωκώδικα συγκρίθηκαν οι περιπτώσεις Π9-Π11, Π10-Π12, Π13-Π15, Π14-Π16 με τα αποτελέσματά τους να παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.31. Εκεί φαίνεται να υπάρχει καλύτερη ποσοστιαία βελτίωση της τάξης του 14%. Σχετικά με την επιρροή των τοιχοπληρώσεων έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων των περιπτώσεων Π1-Π5, Π2-Π6, Π3-Π7, Π4-Π8 για ΚΑΝ.ΕΠΕ. και Π9-Π13, Π10-Π14, Π11-Π15, Π12-Π16 για Ευρωκώδικα. Τα αποτελέσματα της ποσοστιαίας βελτίωσης λόγω παρουσίας τοιχοπληρώσεων κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.32, χωρίς αυτά να συγκλίνουν σε κάποια συγκεκριμένη τιμή. Οι υψηλές τιμές βελτίωσης -τάξης 30%-εμφανίστηκαν στα 3 δοκάρια που εξετάστηκαν. Παράλληλα το τοιχίο W16 φαίνεται να έχει σημαντική βοήθεια από τις τοιχοπληρώσεις περί το 20%, ενώ τα τοιχώματα W12 και W6 βελτίωσαν την συμπεριφορά τους κατά περίπου 5%. Αντίστοιχες είναι οι συμπεριφορές και κατά ΕΚ8, χωρίς πάλι τα αποτελέσματα να συγκλίνουν σε συγκεκριμένη τιμή.



Σχήμα 3.30: Ιστόγραμμα με ποσοστά βελτίωσης συντελεστή αξιοποίησης μελών λόγω αλλαγής της στάθμης αξιοπιστίας δεδομένων κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.

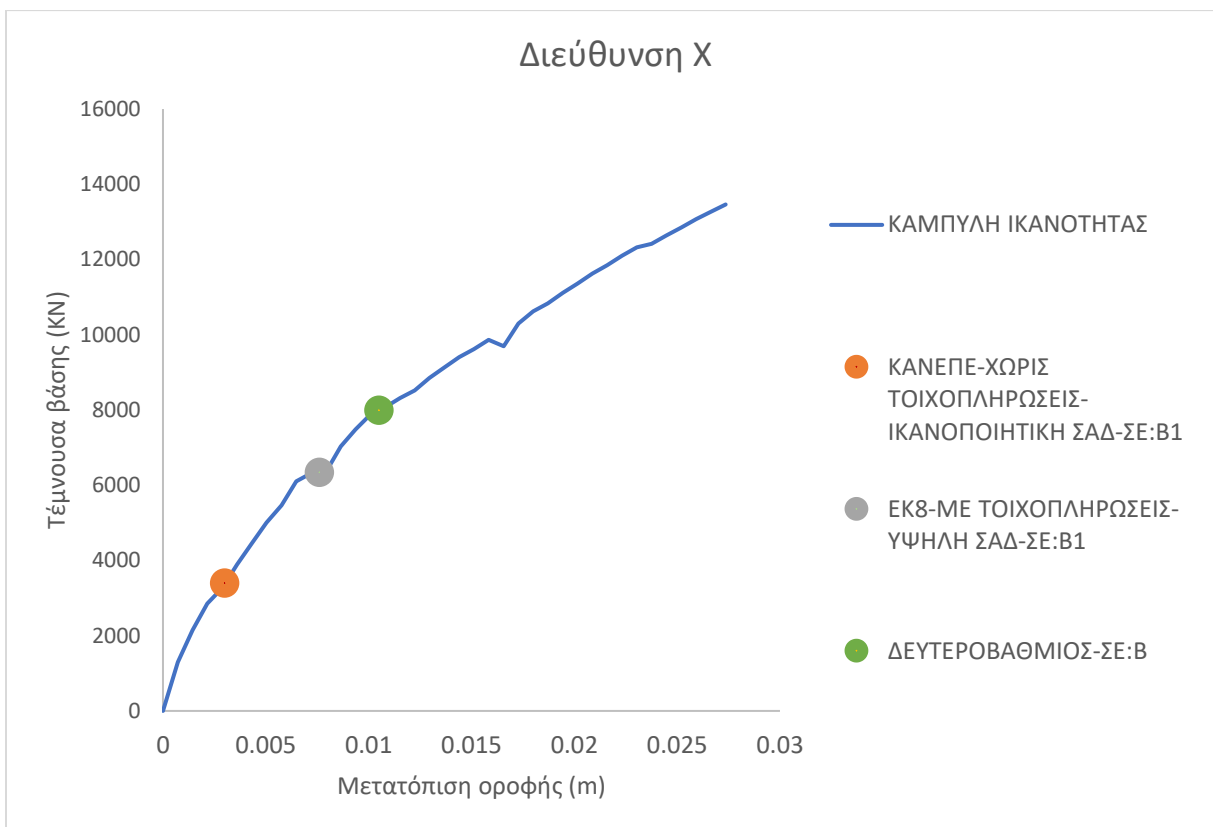


Σχήμα 3.31: Ιστόγραμμα με ποσοστά βελτίωσης συντελεστή αξιοποίησης μελών λόγω αλλαγής της στάθμης αξιοπιστίας δεδομένων κατά Ευρωκώδικα

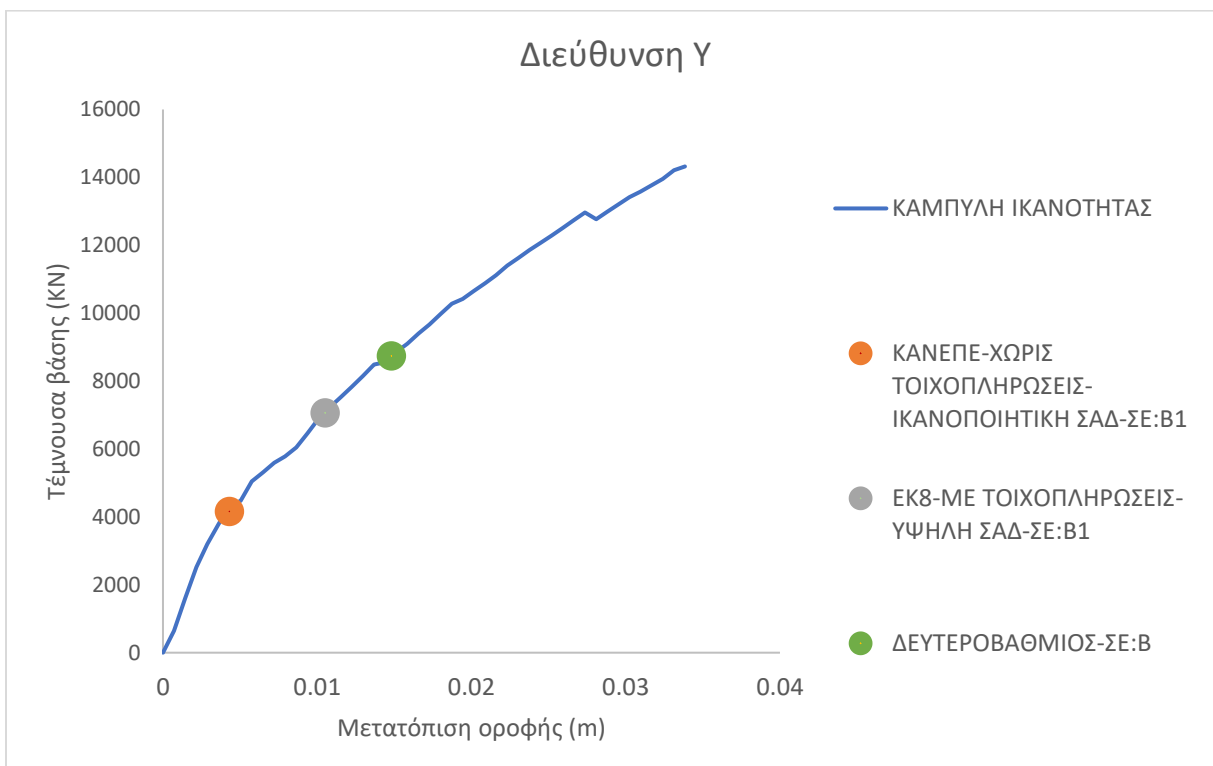


Σχήμα 3.32: Ιστόγραμμα με ποσοστά βελτίωσης συντελεστή αξιοποίησης μελών λόγω προσθήκης των τοιχοπληρώσεων κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Τέλος στο Σχήμα 3.33 και στο Σχήμα 3.34 απεικονίζεται σε ποιο σημείο της καμπύλης ικανότητας μπορεί να φτάσει η ανάλυση κάθε προσομοιώματος χωρίς να εμφανίζεται καμία αστοχία κατακόρυφου μέλους. Εμφανίζεται δηλαδή το πιο συντηρητικό προσομοίωμα Π1 (ΚΑΝΕΠΕ-Χωρίς τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ:Ικανοποιητική-ΣΕ:Β1), το λιγότερο συντηρητικό Π15 (ΕΚ8-Με τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ: Υψηλή-ΣΕ:Β1) και το αποτέλεσμα τέμνουσας βάσης του δευτεροβάθμιου προσεισμικού ελέγχου. Να τονιστεί ότι τα αποτελέσματα του δευτεροβάθμιου προσεισμικού ελέγχου σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να συγκριθούν με αυτά του τριτοβάθμιου. Σκοπός του δευτεροβάθμιου ελέγχου είναι μόνο να κατηγοριοποιήσει τα κτίρια με βάση την κρισιμότητά τους για περαιτέρω έλεγχο. Μόνο βάση του τριτοβάθμιου προσεισμικού μπορούν να εξαχθούν αναλυτικά συμπεράσματα σχετικά με την ικανότητα του κτιρίου καθώς και προτάσεις ενίσχυσης. Ωστόσο αποτυπώνεται και το αποτέλεσμα του δευτεροβάθμιου (η χρήσιμη πληροφορία είναι η τέμνουσα βάσης, δεν υπάρχει δεδομένο για την στοχευόμενη μετακίνηση), καθώς μπορεί να είναι χρήσιμη πληροφορία για περαιτέρω διερεύνηση αποτελεσματικότητας δευτεροβάθμιου ελέγχου σε μεγαλύτερο δείγμα κατασκευών.



Σχήμα 3.33: Αποτύπωση σημείων ανά προσομοίωμα (συντηρητικότερου κατά ΚΑΝΕΠΕ, λιγότερο συντηρητικού κατά ΕΚ8 και δευτεροβάθμιου) για τα οποία δεν εμφανίζεται καμία αστοχία κατακόρυφου μέλους πάνω στην καμπύλη ικανότητας κατά Χ



Σχήμα 3.34 Αποτύπωση σημείων ανά προσομοίωμα (συντηρητικότερου κατά ΚΑΝΕΠΕ, λιγότερο συντηρητικού κατά ΕΚ8 και δευτεροβάθμιου) για τα οποία δεν εμφανίζεται καμία αστοχία κατακόρυφου μέλους πάνω στην καμπύλη ικανότητας κατά Υ

4 Εκτίμηση οικονομοτεχνικών απωλειών

4.1 Γενικά

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού, είναι ο υπολογισμός του μέσου ετήσιου κόστους απωλειών, του ποσού δηλαδή που μειώνεται η αξία της κατασκευής ετησίως. Για διάφορες τιμές λοιπόν έντασης εδαφικής επιτάχυνσης (συγκεκριμένα για το 25%,50%,75%,100% του \max PGA για το οποίο δεν υπάρχει καμία αστοχία κατακόρυφου μέλους) υπολογίζονται μετατοπίσεις και επιταχύνσεις σε κάθε όροφο. Είναι χρήσιμα μεγέθη μέσω των οποίων υπολογίζονται ποιο είναι το εύρος των ζημιών δομικών και μη μελών καθώς και το κόστος των επισκευών. Για να υπολογιστεί το κόστος των επισκευών εισάγονται τιμές όλων των στοιχείων του κτιρίου μετά από σχετική έρευνα αγοράς. Η σεισμική διακινδύνευση εισάγεται μέσω δεδομένων του EFEHR, ενώ η τρωτότητα και κατ' επέκταση η φασματική επιτάχυνση κατάρρευσης υπολογίζεται μέσω του SPO2FRAG.

4.2 Εκτίμηση τρωτότητας

Αποτέλεσμα του τριτοβάθμιου προσεισμικού ελέγχου είναι η εξαγωγή της καμπύλης ικανότητας της κατασκευής μέσω της ανάλυσης pushover. Παραδοχή της ανάλυσης αυτής είναι ότι η φόρτιση είναι μονότονη και στατική. Αυτό σημαίνει ότι η κατασκευή συνεχώς φορτίζεται αυξητικά τόσο αργά ώστε να μην ενεργοποιείται η απόσβεση του φορέα. Αποτέλεσμα της παραπάνω παραδοχής είναι ότι δεν λαμβάνονται υπόψιν τα δυναμικά φαινόμενα που προκαλεί ο σεισμός ως ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Το πρόβλημα αυτό έρχεται να λύσει το λογισμικό SPO2FRAG (Baltzopoulos et al, 2017) Μέσω του αλγορίθμου SPO2IDA ένας ισοδύναμος μονοβάθμιος ταλαντωτής υποβάλλεται σε ικανοτική δυναμική ανάλυση (Vamvatsikos, 2002) με δεδομένα 30 διαφορετικές χρονοϊστορίες επιταχύνσεων. Με βάση τις αναλύσεις αυτές δημιουργούνται τα διαγράμματα γωνίας στροφής χορδής οροφής (θ %)-φασματικής επιτάχυνσης (S_a σε g), τα οποία παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.1 και στο Σχήμα 4.3 για τις διευθύνσεις X και Y. Οι καμπύλες τρωτότητας της κατασκευής βάσει προσομοιώσεων ικανοτικής δυναμικής ανάλυσης, οι οποίες βασίζονται σε στοιχεία της υπερωθητικής στατικής ανάλυσης (Pushover). Είναι καμπύλες που για δεδομένη σεισμική ένταση δίνουν την πιθανότητα εμφάνισης μιας συγκεκριμένης στάθμης βλάβης της. Τα βήματα και τα δεδομένα που εισάγονται στο λογισμικό SPO2FRAG είναι τα εξής:

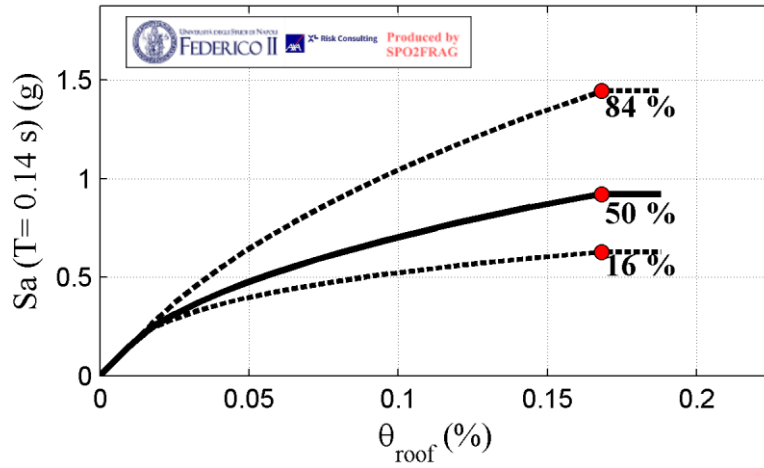
- Βήμα 1^ο: Έγινε εισαγωγή σε μορφή .txt των δεδομένων της καμπύλης ικανότητας σε όρους μετατόπιση οροφής-τέμνουσα βάσης.
- Βήμα 2^ο: Βάση του σχήματος της καμπύλης επιλέχθηκε να γίνει «Bilinear fit» (επειδή δεν υπάρχει καθοδικός κλάδος η προεπιλογή «Quadlinear fit» είναι αδύνατον να δουλέψει).
- Βήμα 3^ο: Έγινε εισαγωγή του αριθμού ορόφων (3), καθώς και μιας μέσης τιμής μάζας (Πίνακας 3.5 / 453tn). Ο συντελεστής συμμετοχής Γ , λαμβάνεται από την έκθεση του Seismobuild και είναι για τον συνδυασμό Modal X+ $\Gamma_x=0.77$ και για τον συνδυασμό Modal Y+ $\Gamma_y=0.91$. Η ισοδύναμη ιδιοπερίοδος του μονοβάθμιου T^* υπολογίζεται αυτόματα από το SPO2FRAG και οι διαφορές με τις αντίστοιχες του Seismobuild είναι της τάξεως του 0.01 sec.
- Βήμα 4^ο: Δημιουργούνται οι καμπύλες IDA .
- Βήμα 5^ο: Επιλέγεται ότι θα εισαχθούν δεδομένα σχετικά με την γωνία στροφής χορδής της οροφής και όχι και των ενδιάμεσων ορόφων

- Βήμα 6^ο: Αφού βρέθηκαν για το προσομοίωμα Π1 (Σχήμα 3.11) οι επιταχύνσεις για τις οποίες εμφανίζεται η 1^η αστοχία κατακόρυφου μέλους για τις διευθύνσεις X και Y (0.14g για X και 0.16g για Y αντίστοιχα) εισάγονται για τις στάθμες επιτελεστικότητας B1 και Γ0, τα drift της οροφής (στοχευόμενη μετακίνηση / ύψος κτιρίου x 100%) και παράλληλα ενεργοποιείται η επιλογή Probabilistic Thersholds για τις στάθμες «Life Safety» και «Collapse Prevention» και συμπληρώνεται η τιμή «0.15»
 - 0.03% για ΣΕ B1 και διεύθυνση X
 - 0.07% για ΣΕ Γ0 και διεύθυνση X
 - 0.05% για ΣΕ B1 και διεύθυνση Y
 - 0.10% για ΣΕ Γ0 και διεύθυνση Y
- Βήμα 7^ο: Προστίθεται επιπλέον μεταβλητότητα στην τρίτη στήλη της τάξης του 0.25 για τις στάθμες επιτελεστικότητας «Life Safety» και «Collapse Prevention», σχετικά με το μέτρο διασποράς και την διάμεσο του μέτρου έντασης που προκαλεί υπέρβαση κάποιας στάθμης επιτελεστικότητας.
- Βήμα 8^ο: Ορίζεται ο κατάλληλος συντελεστής απόσβεσης (5% για κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος) και εξάγονται οι τελικές καμπύλες τρωτότητας οι οποίες παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.2 και στο Σχήμα 4.4 για τις διευθύνσεις X και Y αντίστοιχα. Ο Πίνακας 4.1 παρουσιάζει τις τιμές διάμεσης φασματικής επιτάχυνσης και διασποράς για την λογαριθμοκανονική κατανομή (Log-normal distribution).

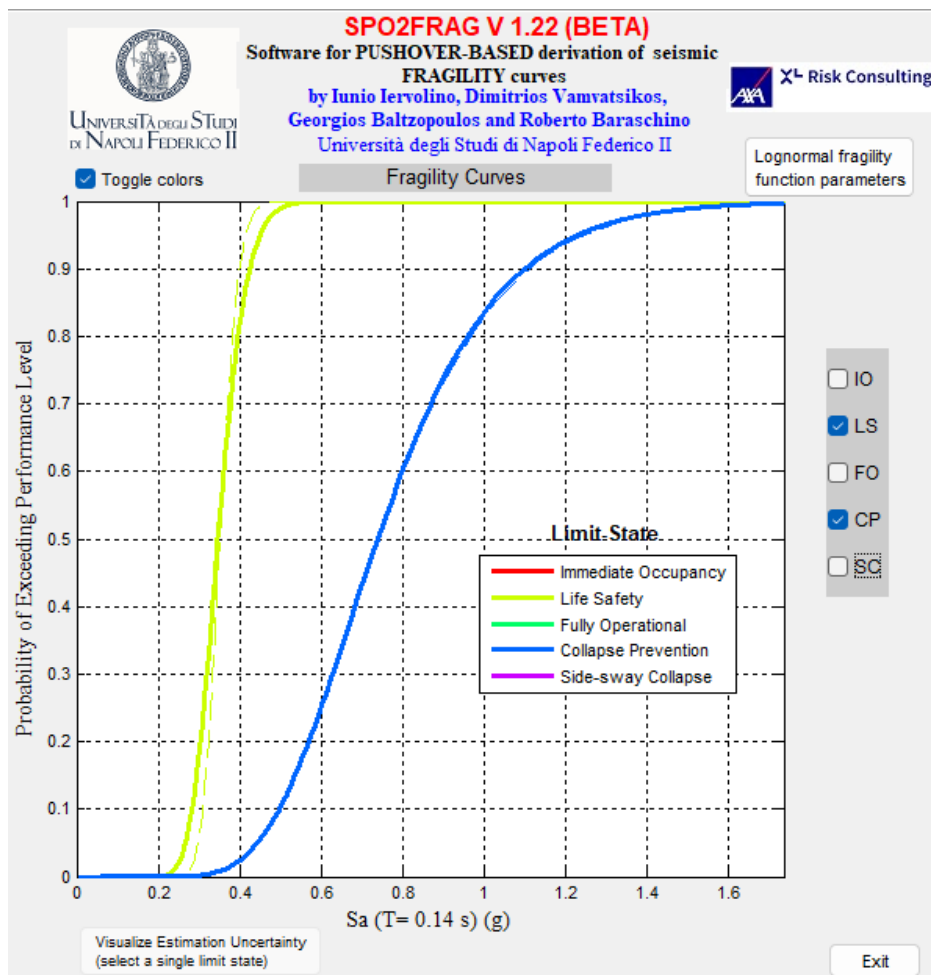
Πίνακας 4.1: Μέση τιμή, διασπορά και διάμεση φασματική επιτάχυνση καμπυλών τρωτότητας για κάθε διεύθυνση για lognormal κατανομή

	Διασπορά (σ)	Διάμεση S_a
Διεύθυνση X & ΣΕ B1	0.15	0.35g
Διεύθυνση Y & ΣΕ B1	0.18	0.37g
Διεύθυνση X & ΣΕ Γ0	0.31	0.74g
Διεύθυνση Y & ΣΕ Γ0	0.27	0.85g

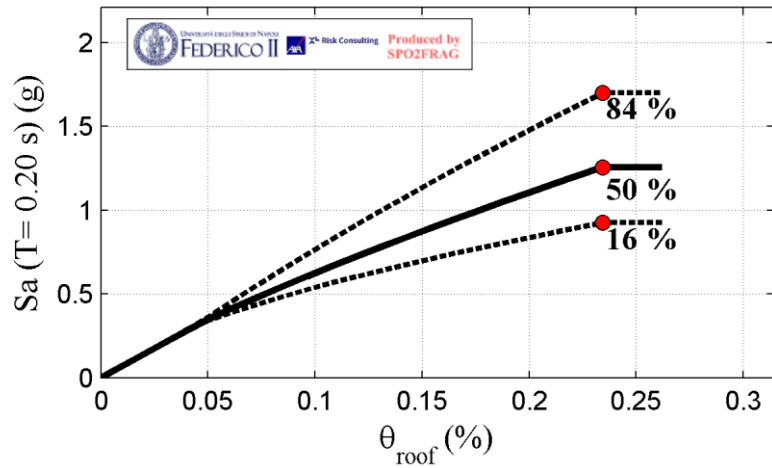
Στο Σχήμα 4.1 και στο Σχήμα 4.3 για X και Y διεύθυνση αντίστοιχα, παρουσιάζεται ποια είναι η σχέση γωνίας στροφής χορδής -φασματικής επιτάχυνσης για σταθερή πιθανότητα υπέρβασης 16%, 50% και 84%. Από το Σχήμα 4.2 και το Σχήμα 4.4 λαμβάνεται η τιμή φασματικής επιτάχυνσης για κάθε πιθανότητα υπέρβασης. Αν ληφθεί υπόψιν η φασματική επιτάχυνση για πιθανότητα υπέρβασης 50% μπορεί να καταλάβει κάποιος το αντίστοιχο θ_{roof} για την δεδομένη πιθανότητα. Από την άλλη για την φασματική επιτάχυνση με πιθανότητα υπέρβασης 50% η κατασκευή έχει 50% πιθανότητα να ξεπεράσει την δεδομένη στάθμη επιτελεστικότητας. Έτσι λοιπόν με το SPO2FRAG γίνεται προσπάθεια να ληφθούν υπόψιν επιπλέον αβεβαιότητες και οι σχέσεις των μεγεθών να αντιστοιχούνται βάση μιας τιμής πιθανότητας υπέρβασης και όχι μονοσήμαντα όπως τα λογισμικά τύπου SeisMobuild, που για δεδομένη εδαφική επιτάχυνση εξάγουν συγκεκριμένη τιμή γωνίας στροφής χορδής και άλλα συγκεκριμένα μεγέθη.



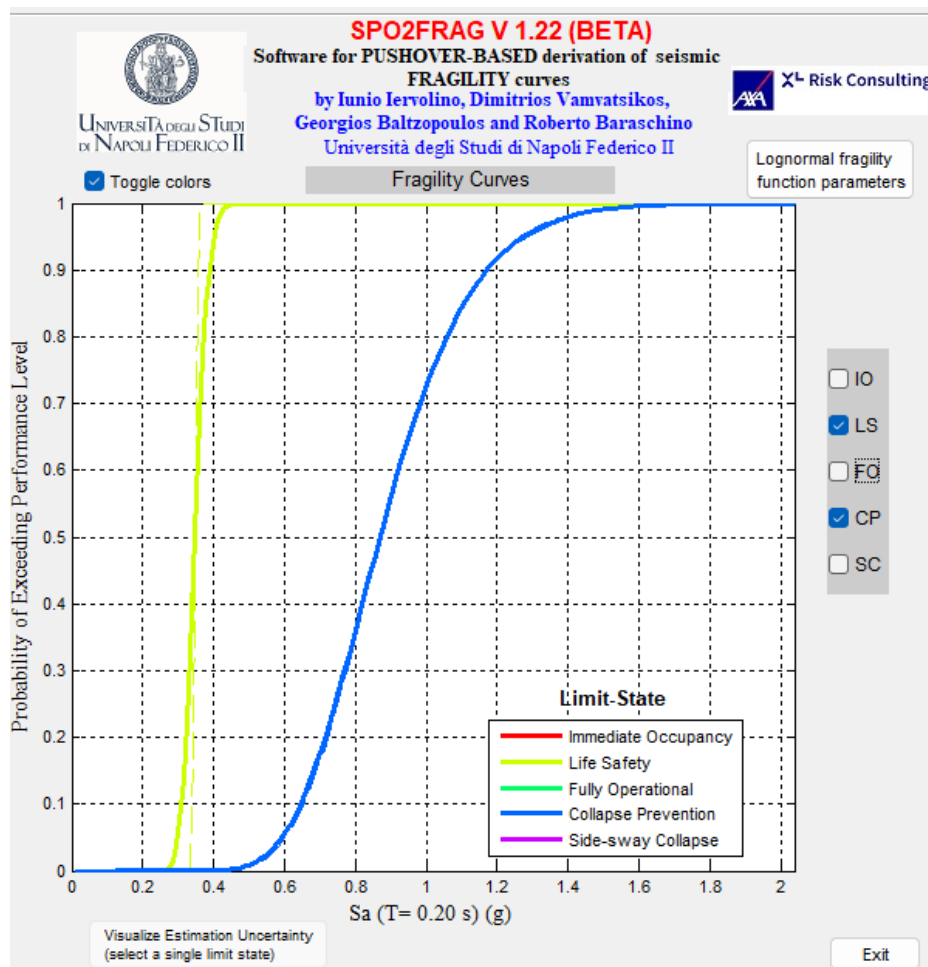
Σχήμα 4.1: Ποσοστιαίες καμπύλες της ανηγμένης παραμόρφωσης οροφής για την διεύθυνση X



Σχήμα 4.2: Καμπύλες τρωτότητας για την 1^η αστοχία κατακόρυφου μέλους κατά την διεύθυνση X κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τις στάθμες επιτελεστικότητας B1 (Life Safety) και Γ0 (Collapse Prevention)



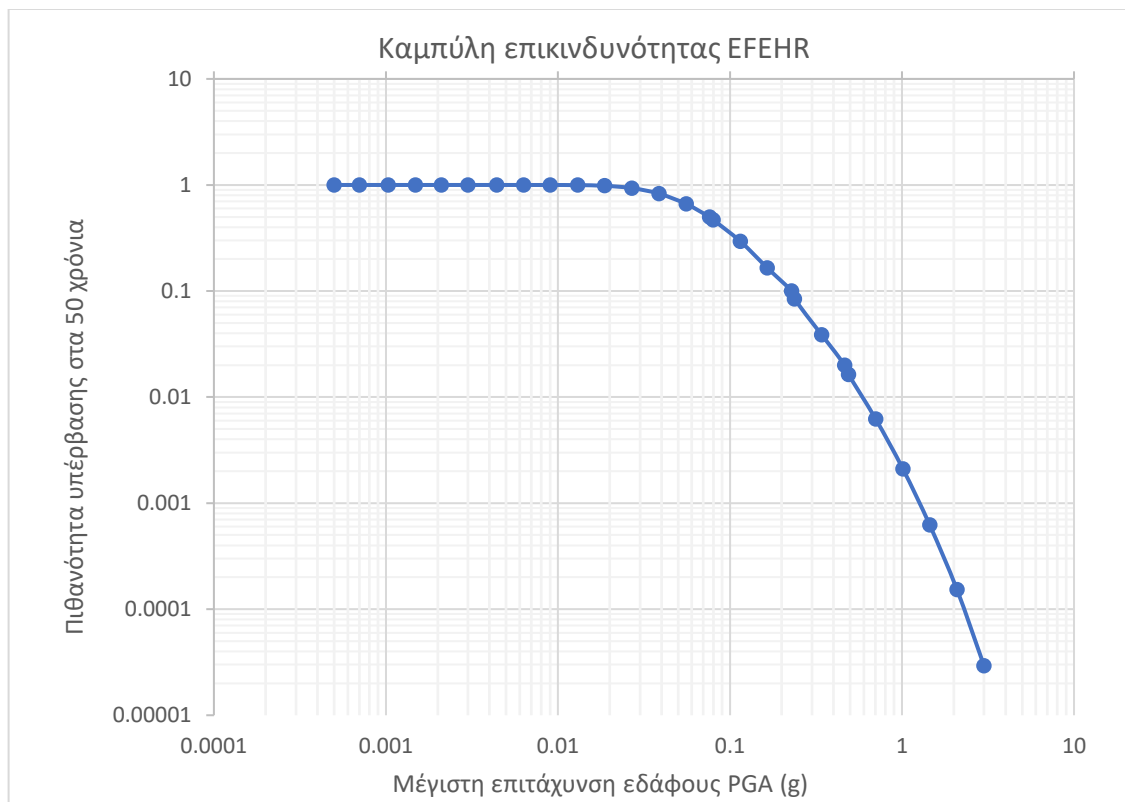
Σχήμα 4.3: Ποσοστιαίες καμπύλες της ανηγμένης παραμόρφωσης οροφής για την διεύθυνση Y



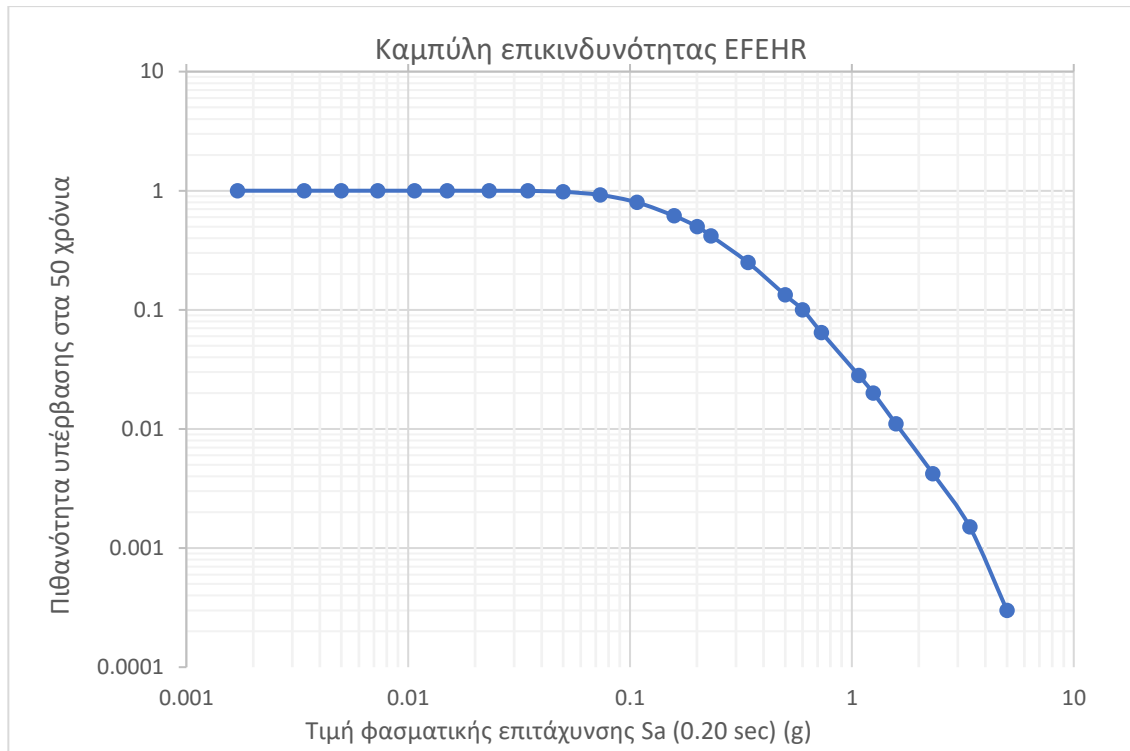
Σχήμα 4.4: Καμπύλες τρωτότητας για την 1^η αστοχία κατακόρυφου μέλους κατά την διεύθυνση Y κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τις στάθμες επιτελεστικότητας B1 (Life Safety) και Γ0 (Collapse Prevention)

4.3 Προσδιορισμός σεισμικής επικινδυνότητας κατά EFHR

Στο Σχήμα 4.5 παρουσιάζεται η καμπύλη σεισμικής επικινδυνότητας για την περιοχή των Γρεβενών με δεδομένα που προέρχονται από τον ευρωπαϊκό οργανισμό σεισμικής επικινδυνότητας και ρίσκου (EFHR). Φαίνεται δηλαδή ποια είναι η πιθανότητα υπέρβασης μιας συγκεκριμένης τιμής εδαφικής επιτάχυνσης στα 50 χρόνια. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι τιμές εδαφικής επιτάχυνσης με πιθανότητα υπέρβασης 50%, 10% και 2% στα 50 χρόνια οι οποίες είναι 0.076g, 0.2283g και 0.465g αντίστοιχα. Αξίζει να σχολιαστεί και η διαφορά της τιμής που υπάρχει σε σχέση με τα εθνικά προσαρτήματα σχεδιασμού του Ευρωκώδικα 8, που για τον δήμο Γρεβενών η τιμή εδαφικής επιτάχυνσης σχεδιασμού είναι 0.16g. Στο Σχήμα 4.6 παρουσιάζεται το ίδιο διάγραμμα αλλά σε όρους φασματικής επιτάχυνσης-πιθανότητας υπέρβασης στα 50 χρόνια. Οι χρήσιμες τιμές φασματικής επιτάχυνσης που είναι απαραίτητες για το λογισμικό Pact είναι αυτές για πιθανότητα υπέρβασης 50%, 10% και 2%, δηλαδή 0.20g, 0.60g και 1.25g αντίστοιχα. Εξετάζονται επίσης και τα σενάρια φασματικής επιτάχυνσης για την πρώτη αστοχία κατακόρυφου μέλους της κατασκευής και αντιστοιχούν σε πιθανότητα υπέρβασης 23% και 18% για την διεύθυνση X και Y αντίστοιχα.



Σχήμα 4.5: Καμπύλη σεισμικής επικινδυνότητας Γρεβενών κατά EFHR σε όρους μέγιστης επιτάχυνσης εδάφους σε (g) με πιθανότητα υπέρβασης στα 50 χρόνια



Σχήμα 4.6: Καμπύλη σεισμικής επικινδυνότητας Γρεβενών κατά EFEHR σε όρους φασματικής επιτάχυνσης σε (g) με πιθανότητα υπέρβασης στα 50 χρόνια

Πίνακας 4.2 και ο Πίνακας 4.3 παρουσιάζουν τις φασματικές επιταχύνσεις και τις ετήσιες συχνότητες υπέρβασης (MAFE) για κάθε σενάριο έντασης που θα εξεταστεί στο Pact. Είναι δηλαδή οι τιμές που εισάγονται στην καρτέλα Hazard Curve του προγράμματος. Ο τύπος με τον οποίο υπολογίζεται η μέση ετήσια συχνότητα (MAF) δίνεται από τη σχέση:

$$MAF = -\frac{\ln(1-p)}{t} \quad (4.1)$$

- p : Πιθανότητα υπέρβασης
- t : Περίοδος επαναφοράς σε έτη

Πίνακας 4.2: Φασματικές επιταχύνσεις και μέσες ετήσιες συχνότητες υπέρβασης ανά σενάριο για την διεύθυνση X

Σενάριο	Πιθανότητα Υπέρβασης στα 50 χρόνια	Φασματική επιτάχυνση (g)	Μέση ετήσια συχνότητα υπέρβασης
1	50%	0.20	0.01386
2	23%	0.37	0.00523
3	10%	0.60	0.00211
4	2%	1.25	0.00040

Πίνακας 4.3: Φασματικές επιταχύνσεις και μέσες ετήσιες συχνότητες υπέρβασης ανά σενάριο για την διεύθυνση Y

Σενάριο	Πιθανότητα Υπέρβασης στα 50 χρόνια	Φασματική επιτάχυνση (g)	Μέση ετήσια συχνότητα υπέρβασης
1	50%	0.20	0.01386
2	18%	0.44	0.00397
3	10%	0.60	0.00211
4	2%	1.25	0.00040

4.4 Εισαγωγή δεδομένων στο PACT

Τα πρώτα δεδομένα που εισάγονται στο PACT στην καρτέλα building info είναι:

- Συνολικό κόστος κατασκευής: Προέκυψε 2.557.000€ (2.500€/m²).
- Κόστος αποκατάστασης φέροντος οργανισμού: Εκτιμήθηκε στο 50% του συνολικού κόστους κατασκευής, δηλαδή 1.278.750€.
- Όριο βλαβών: Εκτιμήθηκε ίσος με 0.6, δηλαδή αν το κόστος βλαβών ξεπεράσει το 60% του συνολικού κόστους της κατασκευής είναι προτιμότερο η κατασκευή να αντικατασταθεί παρά να επισκευαστεί.
- Τετραγωνικά ανά όροφο : 341m²
- Ύψος κάθε ορόφου: 3m

Ακολουθεί η καρτέλα component fragilities στην οποία επιλέγονται όλα τα δομικά και μη δομικά στοιχεία της κατασκευής.

- Max επιτρεπόμενη επιτάχυνση κατά X: 0.14g
- Max επιτρεπόμενη επιτάχυνση κατά Y: 0.16g

Στην καρτέλα Collapse Fragility εισάγονται δεδομένα για την πρώτη αστοχία κατακόρυφου μέλους όπως αυτά υπολογίστηκαν από το SPO2FRAG και παρουσιάζει ο Πίνακας 4.1

Στην καρτέλα Structural Analysis Results επιλέγεται ο απλός τύπος ανάλυσης (Simplified -linear) και δημιουργούνται 4 επίπεδα έντασης ανά διεύθυνση που αντιστοιχούν στο 25%, 50%, 75% και 100% της επιτάχυνσης αστοχίας. Στην συνέχεια εισάγονται ανά όροφο και διεύθυνση οι γωνίες στροφής χορδής που προκύπτουν από τις αναλύσεις του Seisbuild καθώς και οι επιταχύνσεις που εμφανίζονται ανά όροφο. Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 4.4-Πίνακας 4.7) παρουσιάζονται τα συγκεντρωμένα τα δεδομένα που εισήχθησαν στην συγκεκριμένη καρτέλα.

Πίνακας 4.4: Μέγιστες επιταχύνσεις ανά όροφο και ανά επίπεδο έντασης (25% , 50% , 75% και 100%) για την διεύθυνση X

Μέγιστες επιταχύνσεις ορόφων κατά X			
Ισόγειο	1ος	2ος	3ος
Αυξητικός συντελεστής	1.68	1.87	2.35
0.14	0.24	0.26	0.33
0.105	0.18	0.20	0.25
0.07	0.12	0.13	0.16
0.035	0.06	0.07	0.08

Πίνακας 4.5: Μέγιστες επιταχύνσεις ανά όροφο και ανά επίπεδο έντασης (25% , 50% , 75% και 100%) για την διεύθυνση Y

Μέγιστες επιταχύνσεις ορόφων κατά Y			
Ισόγειο	1ος	2ος	3ος
Αυξητικός συντελεστής	1.68	1.87	2.35
0.16	0.27	0.30	0.38
0.12	0.20	0.22	0.28
0.08	0.13	0.15	0.19
0.04	0.07	0.07	0.09

Πίνακας 4.6: Σχετικές γωνίες στροφής χορδής ανά επίπεδο έντασης (25% , 50% , 75% και 100%) για την διεύθυνση X

Γωνιά στροφής χορδής ορόφων κατά X (%)			
Σενάριο έντασης (g)	1ος	2ος	3ος
0.14	0.094%	0.104%	0.083%
0.105	0.070%	0.076%	0.062%
0.07	0.053%	0.057%	0.047%
0.035	0.023%	0.026%	0.022%

Πίνακας 4.7: Σχετικές γωνίες στροφής χορδής ανά επίπεδο έντασης (25% , 50% , 75% και 100%) για την διεύθυνση Y

Γωνιά στροφής χορδής ορόφων κατά Y (%)			
Σενάριο έντασης (g)	1ος	2ος	3ος
0.16	0.220%	0.204%	0.152%
0.12	0.164%	0.162%	0.121%
0.08	0.111%	0.105%	0.081%
0.04	0.053%	0.054%	0.040%

Να σημειωθεί ότι οι σχετικές γωνίες στροφής χορδής που παρουσιάζει ο Πίνακας 4.6 και ο Πίνακας 4.7 για την διεύθυνση X και Y αντίστοιχα, αφορούν το στοιχείο υποστυλώματος C32, δηλαδή του κατακόρυφου δομικού μέλους που είναι πιο απομακρυσμένο από το κέντρο στρέψης.

Στην καρτέλα Component Fragilities εισάγονται στοιχεία σχετικά με τον αριθμό των υποστυλωμάτων, τοιχωμάτων, εσωτερικής και εξωτερικής τοιχοποιίας καθώς και στοιχεία όπως το δίκτυο θέρμανσης και ηλεκτρισμού και άλλα. Όλα αυτά περιγράφονται στον Πίνακα 4.8 και στον Πίνακα 4.9 παρουσιάζονται οι τιμές επισκευής ανά επίπεδο βλάβης κάθε στοιχείου που λήφθηκε υπόψιν στο PACT.

Πίνακας 4.8: Περιγραφή στοιχείων που εισήχθησαν στο PACT με τις αντίστοιχες ποσότητες τους ανά διεύθυνση σε κάθε όροφο

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	Ποσότητα Κατά X	Ποσότητα Κατά Y	Χωρίς διεύθυνση
B1041.001a	ACI 318 SMF , Conc Col & Bm = 24" x 24", Beam one side	8	7	-
B1041.001b	ACI 318 SMF , Conc Col & Bm = 24" x 24", Beam both sides	5	6	-
B1044.003	Glazing	-	-	50
B1051.011	Ordinary reinforced masonry walls with partially grouted cells, shear dominated, 8" to 12" thick, up to 12 foot tall	3	3	-
B1051.001g	Infill walls	106 m ²	112 m ²	-
D1014.021	Hydraulic Elevator – Applies to most California Installations 1976 or later, most western states installations postdating 1982 and most U.S installations postdating 1998.	-	-	1
D2021.011a	Cold or Hot Potable - Small Diameter Threaded Steel - (2.5 inches in diameter or less), SDC A or B, PIPING FRAGILITY	-	-	31
E2022.103a	Bookcase, 3 shelves, unanchored laterally	-	-	5
E2022.023	Desktop electronics including computers, monitors, stereos, etc, smooth surface	-	-	10

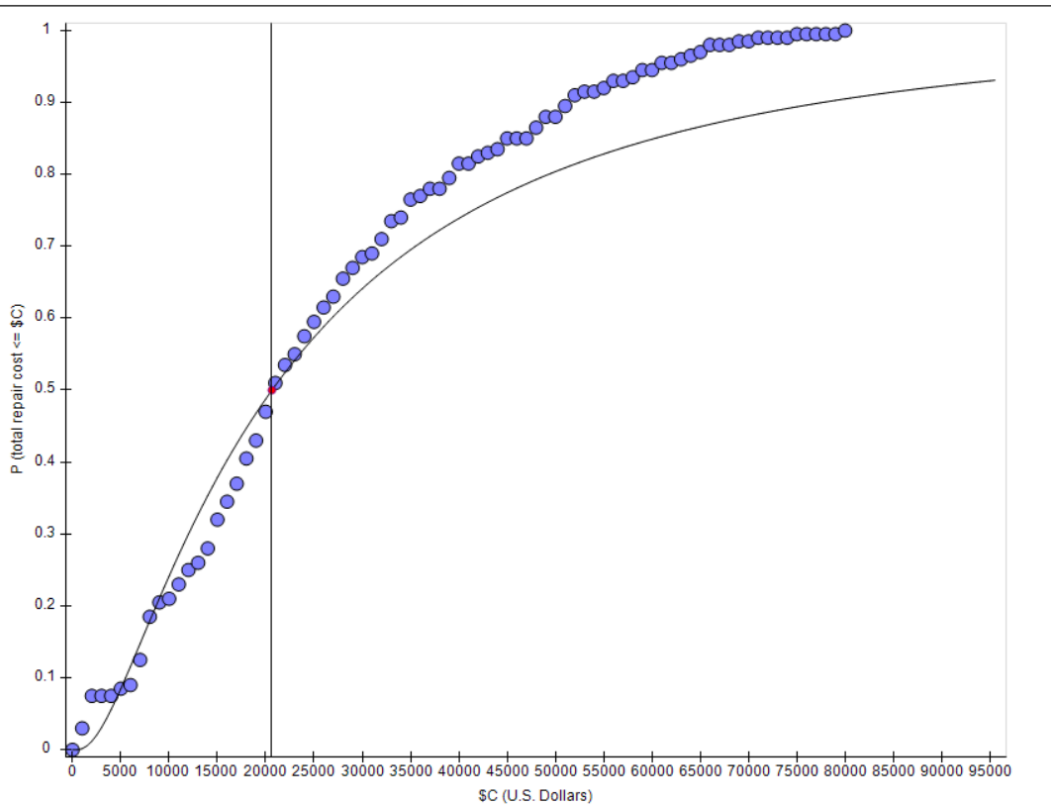
Πίνακας 4.9: Τιμή επισκευής κάθε στοιχείου ανά επίπεδο βλάβης

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	Επίπεδο βλάβης 1	Επίπεδο βλάβης 2	Επίπεδο βλάβης 3
B1041.001a	ACI 318 SMF , Conc Col & Bm = 24" x 24", Beam one side	441€/m ²	532€/m ²	584€/m ²
B1041.001b	ACI 318 SMF , Conc Col & Bm = 24" x 24", Beam both sides	441€/m ²	532€/m ²	584€/m ²
B1044.003	Glazing	-	-	520€/m ²
B1051.011	Ordinary reinforced masonry walls with partially grouted cells, shear dominated, 8" to 12" thick, up to 12 foot tall	441€/m ²	532€/m ²	584€/m ²
B1051.001g	Infill walls	1142€/m ²	1377€/m ²	2042€/m ²
D1014.021	Hydraulic Elevator – Applies to most California Installations 1976 or later, most western states installations postdating 1982 and most U.S installations postdating 1998.	2000€	17000€	25000€
D2021.011a	Cold or Hot Potable - Small Diameter Threaded Steel - (2.5 inches in diameter or less), SDC A or B, PIPING FRAGILITY	-	-	348€/m
E2022.103a	Bookcase, 3 shelves, unanchored laterally	-	-	500€/τμχ
E2022.023	Desktop electronics including computers, monitors, stereos, etc, smooth surface	-	-	1500€/τμχ

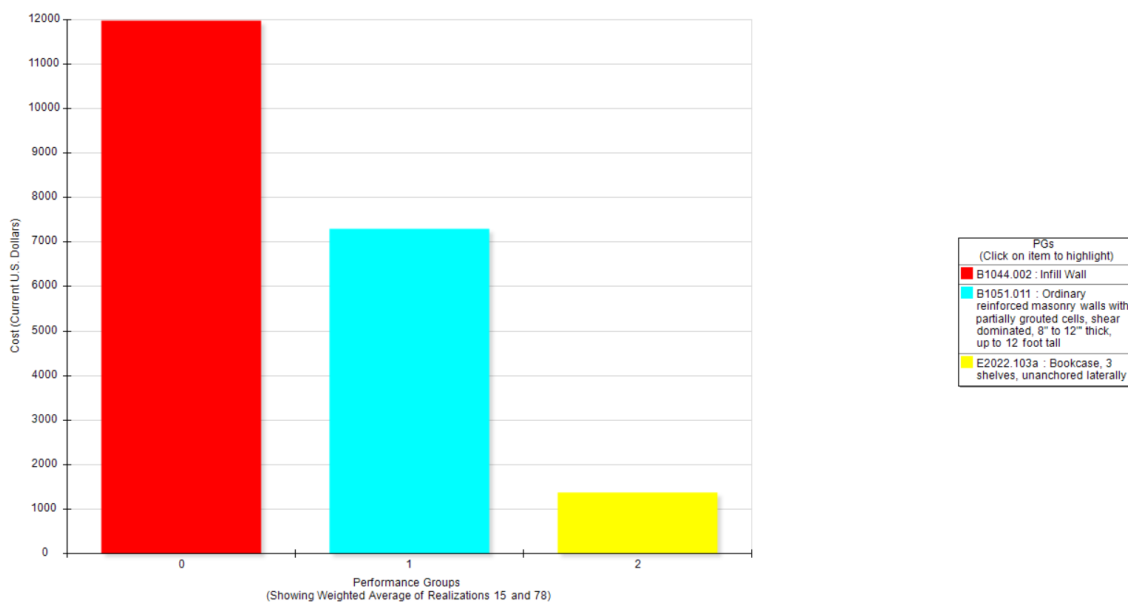
4.5 Αποτελέσματα οικονομοτεχνικής μελέτης

Στα σχήματα που ακολουθούν (Σχήμα 4.7 έως Σχήμα 4.16) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τα κόστη επισκευής, για κάθε σενάριο εδαφικής επιτάχυνσης ανά δομικό είδος. Πιο συγκεκριμένα:

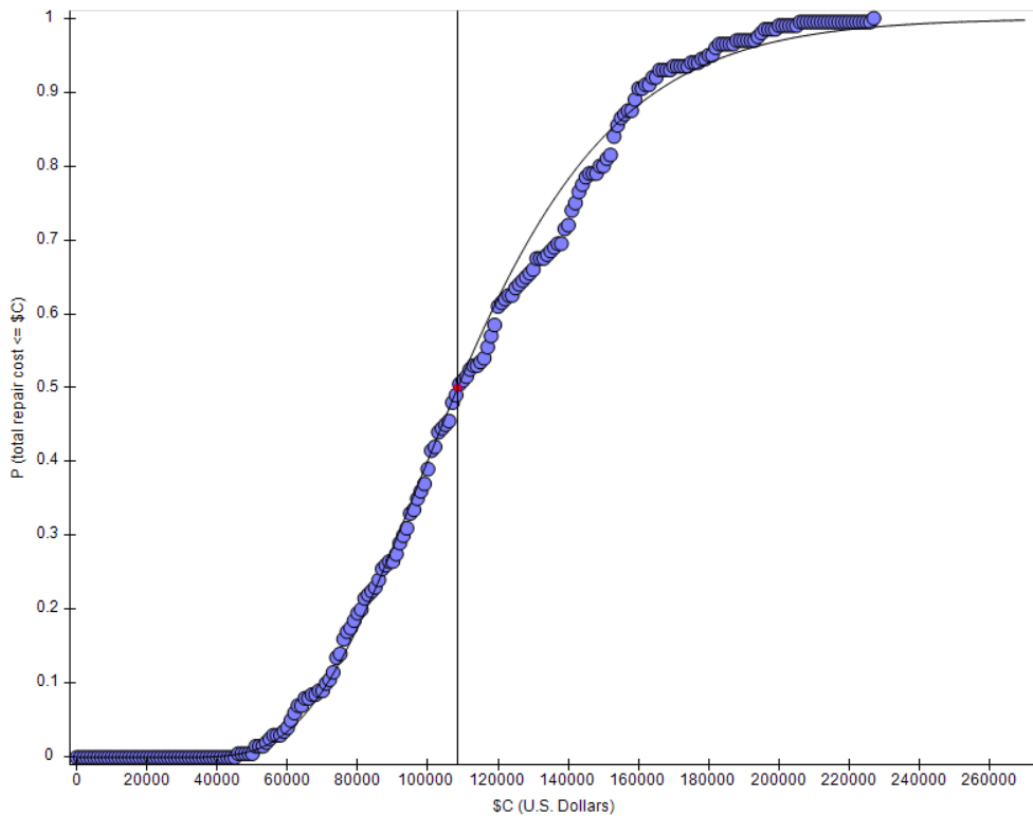
- Σενάριο 1: (PGA:0.035g) Συνολικό κόστος επισκευής 20645€, αντιστοιχεί στο 0.81% της κατασκευής.
- Σενάριο 2: (PGA=0.07g) Συνολικό κόστος επισκευής 108457€, ίσο δηλαδή με το 4.24% της συνολικής αξίας της κατασκευής, με το μεγαλύτερο κόστος να συγκεντρώνεται στις τοιχοπληρώσεις, στην συνέχεια στα τοιχώματα και τέλος στους υαλοπίνακες.
- Σενάριο 3: (PGA=0.105g) Συνολικό κόστος επισκευής 179514€, ή αλλιώς το 7.02% της κατασκευής με την αναλογία των ζημιών να είναι παρόμοια με το σενάριο 2
 - Σενάριο 4: (PGA=0.14g) Συνολικό κόστος επισκευής 259759€, περίπου ίσο με το 10.16% της συνολικής αξίας της κατασκευής με τις ζημιές να συγκεντρώνονται κατά περίπου 50% στις τοιχοπληρώσεις, 25% στα τοιχώματα και οι υπόλοιπες ζημιές στις εγκαταστάσεις Η/Μ, ηλεκτρονικούς υπολογιστές βιβλιοθήκες κ.α. Το μέσο ετήσιο κόστος επισκευών είναι ίσο με 3127€, ή αλλιώς το 0.12% της αξίας της κατασκευής.



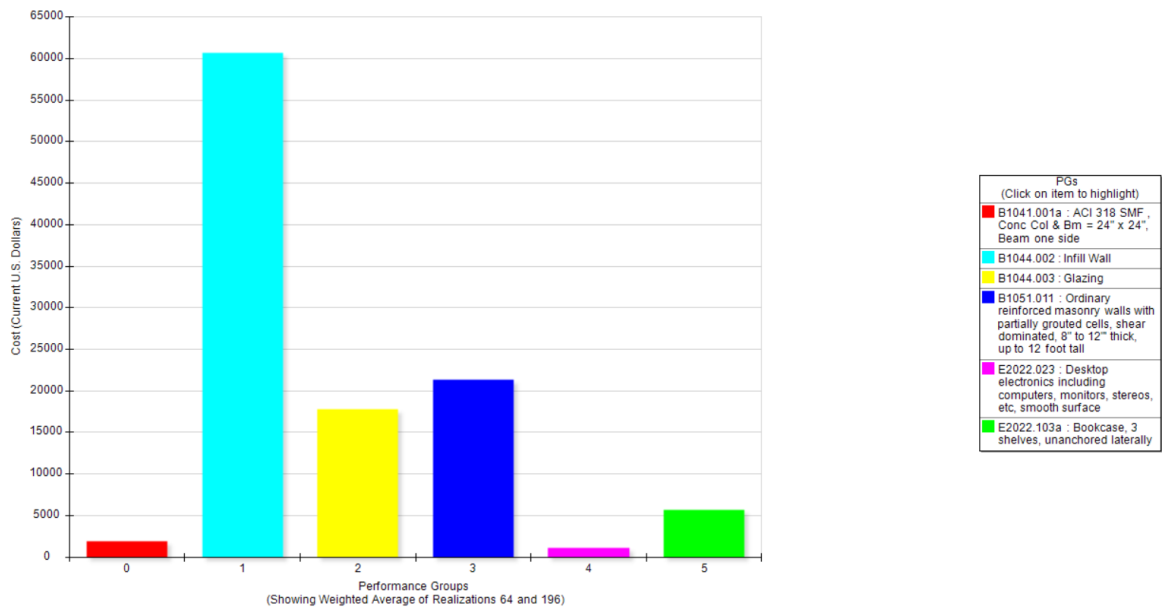
Σχήμα 4.7: Καμπύλη επιτελεσματικότητας μέσω κόστους για το σενάριο 1 (Κόστος επισκευών 20645€)



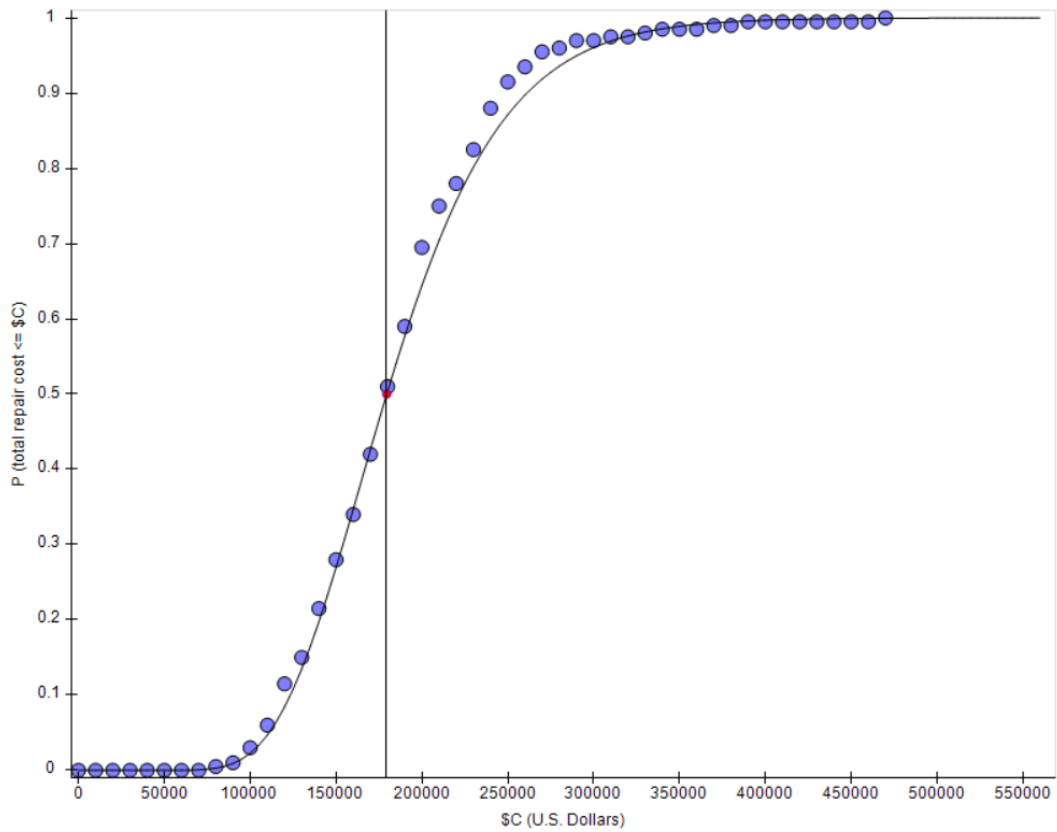
Σχήμα 4.8: Κόστη ανά ομάδα μελών για το σενάριο 1



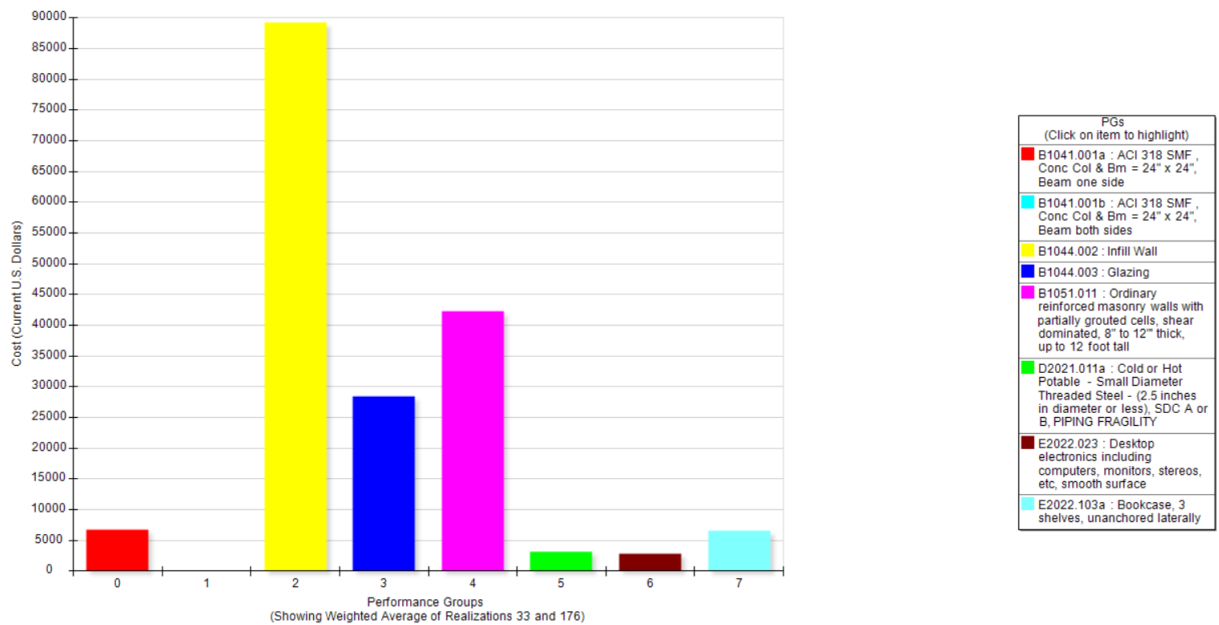
Σχήμα 4.9: Καμπύλη επιτελεστικότητα μέσω κόστους για το σενάριο 2 (Κόστος επισκευών 108457€)



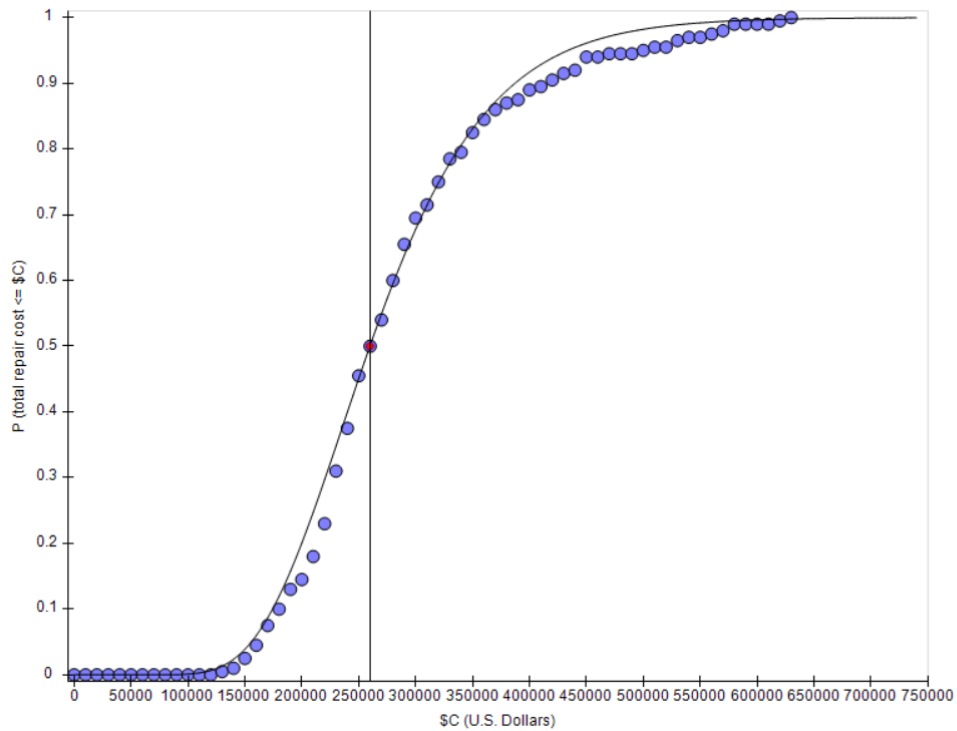
Σχήμα 4.10: Κόστη ανά ομάδα μελών για το σενάριο 2



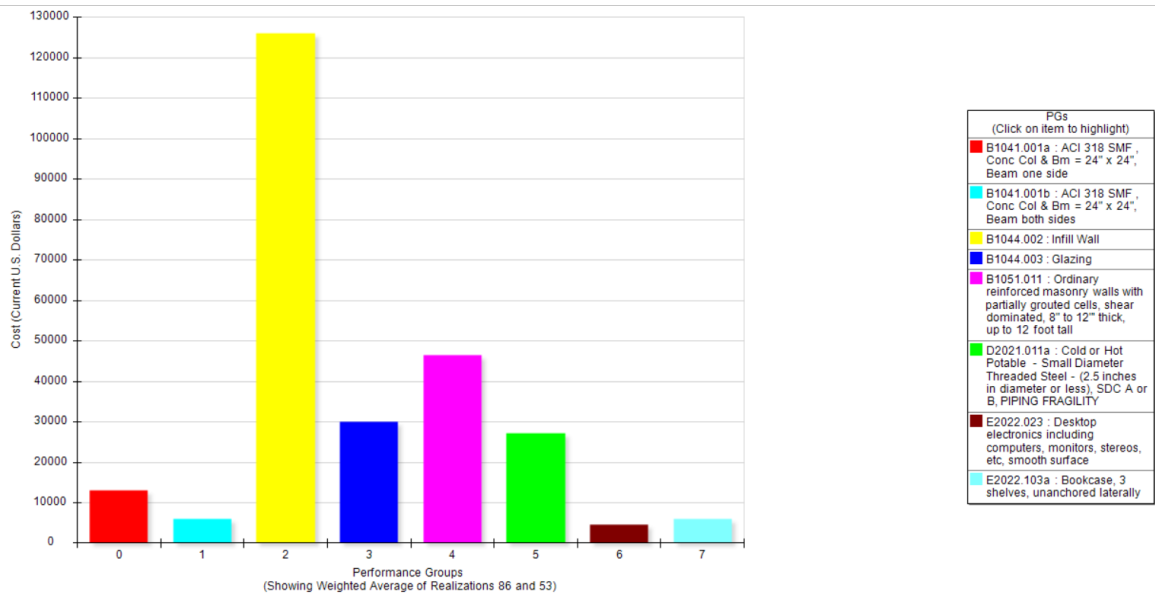
Σχήμα 4.11: Καμπύλη επιτελεστικότητας μέσου κόστους για το σενάριο 3 (Κόστος επισκευών 179514€)



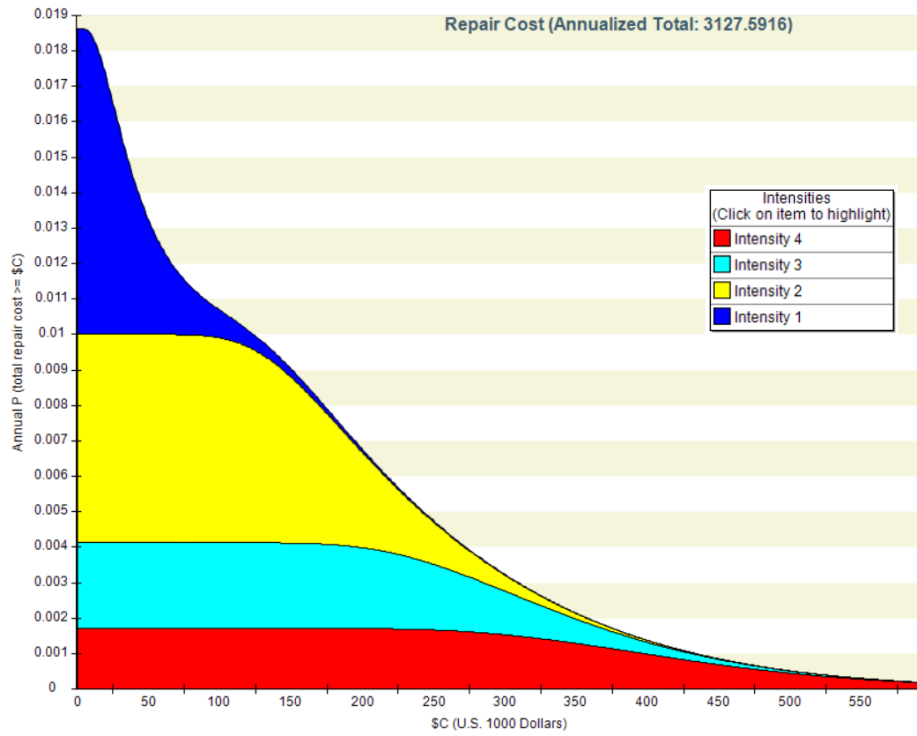
Σχήμα 4.12: Κόστη ανά ομάδα μελών για το σενάριο 3



Σχήμα 4.13: Καμπύλη επιτελεστικότητας μέσω κόστους για το σενάριο 4 (Κόστος επισκευών 259759€)

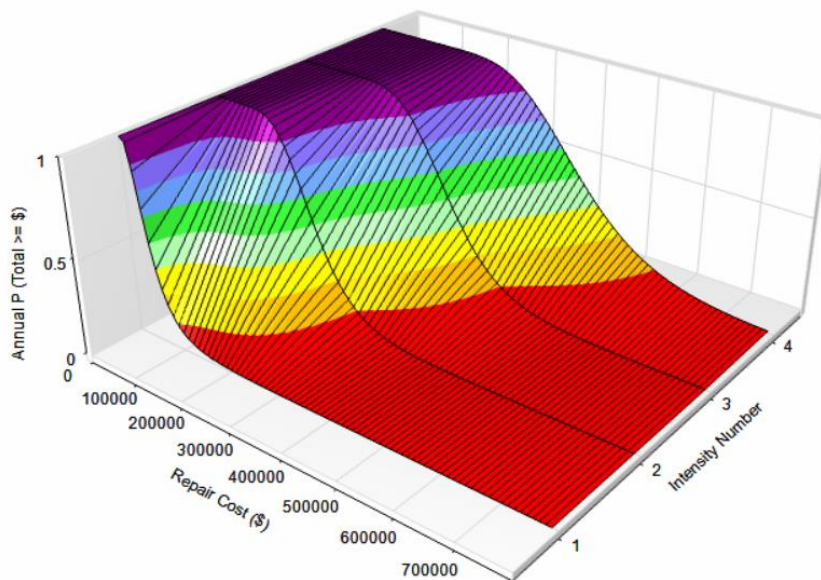


Σχήμα 4.14: Κόστη ανά ομάδα μελών για το σενάριο 4



Σχήμα 4.15: Μέσο ετήσιο κόστος επισκευών (3127€)

Repair Cost Curves



Σχήμα 4.16: Επιφάνεια κόστους επισκευών συναρτήσει πιθανότητας υπέρβασης και μέτρου έντασης

5 Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα

Κάνοντας μια προσπάθεια να καταγραφούν επιγραμματικά τα συμπεράσματα αυτής της εργασίας προκύπτει:

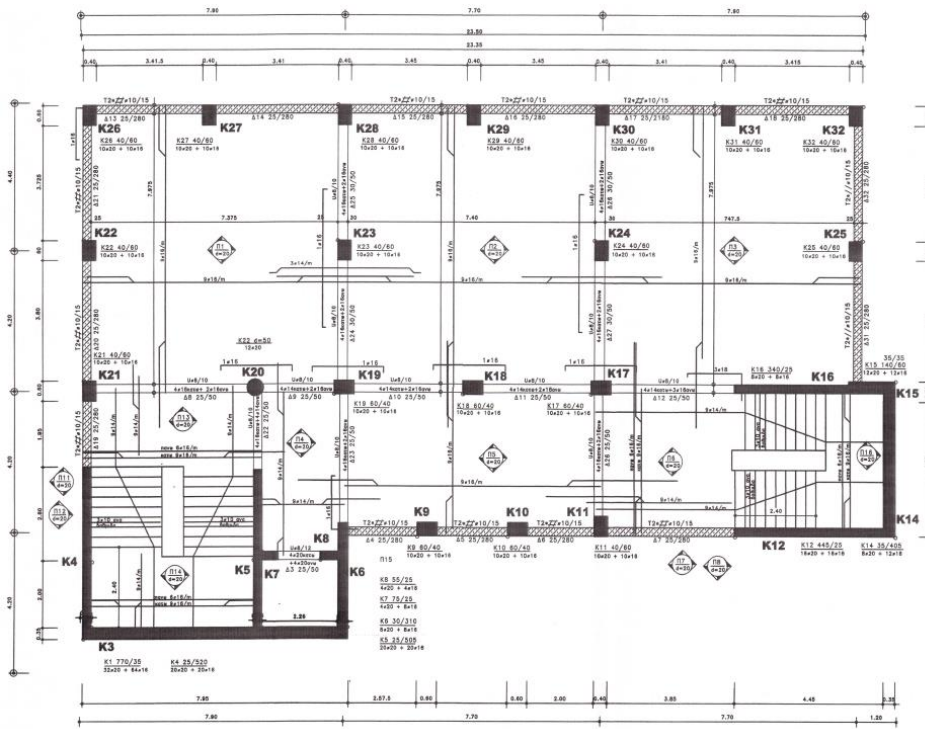
- Το κρίσιμο στοιχείο του πρωτοβάθμιου προσεισμικού ελέγχου είναι η χρονολογία της κατασκευής.
- Η αξία του δευτεροβάθμιου ελέγχου πέρα από την κατάταξη της κατασκευής είναι να αξιολογήσει ποιοτικά την κατασκευή.
- Η μέθοδος με την οποία διγραμμικοποιεί ο ΕΚ8 την καμπύλη ικανότητας εξαρτάται άμεσα από το σημείο, στο οποίο θα οριστεί η μέγιστη εκτροπή οροφής και τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται σημαντικά.
- Η εξασφάλιση υψηλής στάθμης αξιοπιστίας δεδομένων σε σχέση με την ικανοποιητική, φαίνεται να βελτιώνει τα αποτελέσματα κατά περίπου 7% στον ΚΑΝΕΠΕ και 14% στον ΕΚ8.
- Η επιρροή των τοιχοπληρώσεων βοήθησε την κατασκευή, χωρίς να υπάρχει ξεκάθαρη σύγκλιση σε αποτέλεσμα όπως με την στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων.
- Το κοντό υποστύλωμα δεν ήταν πρόβλημα για το κτίριο λόγω του έντονου βαθμού τοιχωματοποίησης.
- Η μεγάλη διαφορά που βγάζουν ΚΑΝΕΠΕ-ΕΚ8 στην μέγιστη εδαφική επιτάχυνση που εμφανίζεται η πρώτη αστοχία κατακόρυφου μέλους (0.14g έναντι 0.26g), οφείλεται στον διαφορετικό τρόπο που υπολογίζεται η στοχευόμενη μετακίνηση.
- Αν και είναι γνωστό ότι η pushover, έχει αδυναμίες στα εύστρεπτα συστήματα, η μέθοδος υπολογισμού στοχευόμενης μετακίνησης του Ευρωκώδικα φαίνεται να επηρεάζεται ακόμα περισσότερο και να βγάζει αρκετά μη συντηρητικά αποτελέσματα.
- Η συμπληρωματική φασματική ανάλυση που απαιτήθηκε, έδειξε ότι το κτίριο δεν έχει προβλήματα.
- Η pushover δεν είναι η καταλληλότερη μέθοδος ελέγχου ούτε για κτίρια που αστοχούν διατμητικά ούτε για κτίρια που είναι εύστρεπτα. Οπότε μεγάλο ενδιαφέρον θα είχε η εξέταση του παρόντος κτιρίου με μη γραμμική δυναμική ανάλυση.

6 Βιβλιογραφία

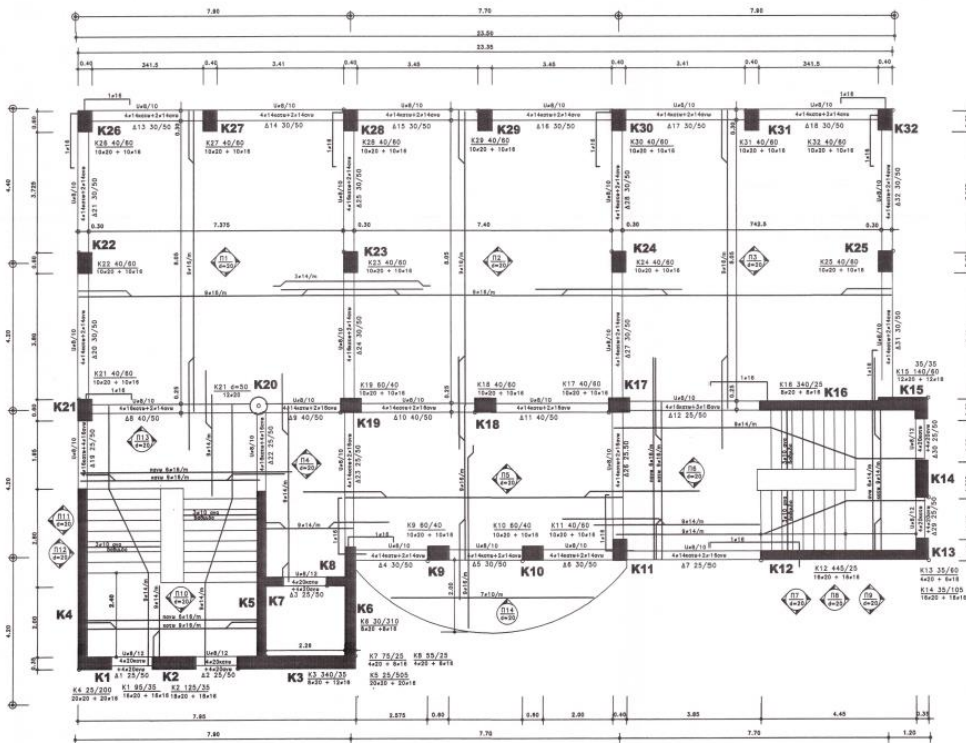
1. Asteris, P.G., Repapis, C.C., Cavaleri, L., Sarhosis, V., Athanasopoulou, A., (2015a). "On the fundamental period of infilled RC frame buildings", *Structural Engineering and Mechanics*, 54(6), 1175-1200.
2. Baltzopoulos, G., Baraschino, R., Iervolino, I., & Vamvatsikos, D. (2017). SPO2FRAG: software for seismic fragility assessment based on static pushover. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15, 4399-4425.
3. Crisafulli, F. J. (1997). Seismic behaviour of reinforced concrete structures with masonry infills.
4. Crowley H., Dabbeek J., Despotaki V., Rodrigues D., Martins L., Silva V., Romão X., Pereira N., Weatherill G., Danciu L. (2021): European Seismic Risk Model (ESRM20), EFEHR Technical Report 002, V1.0.1, 84 pp
5. Crowley, H., & Pinho, R. (2004). Period-height relationship for existing European reinforced concrete buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, 8(spec01), 93-119.
6. De Luca F., Vamvatsikos D., Iervolino I. (2011). "Near-optimal bilinear fit of capacity curves for equivalent SDOF analysis." *Proceedings of the COMPDYN2011 Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, Corfu, Greece.
7. Doudoumis, I.(2018). "The Development of the Anti he Development of the Anti-seismic Regulations seismic Regulations and the Role of Thessaloniki Earthquake 1978" 16th European Conference on Earthquake Engineering (16ECEE), Thessaloniki, Greece. 18 June, 2018 - 21 June, 2018.
8. European Committee for Standardization (CEN). 'Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 3: Strengthening and Repair of Buildings, EN 1998-3, Brussels.
9. Fajfar, P. and Gašperšič, P. (1996). 'N2 - a method for non-linear seismic analysis for RC buildings', *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 25, 23-67.
10. Fajfar, P., Marušić, D., & Peruš, I. (2005). Torsional effects in the pushover-based seismic analysis of buildings. *Journal of earthquake engineering*, 9(06), 831-854.
11. FEMA (2018), "Seismic Performance Assessment of Buildings", Volume 1- Methodology, Second Edition
12. Fragiadakis, M., Vamvatsikos, D., & Aschheim, M. (2014). Application of nonlinear static procedures for the seismic assessment of regular RC moment frame buildings. *Earthquake Spectra*, 30(2), 767-794.
13. Goel, R. K., & Chopra, A. K. (1997). Period formulas for moment-resisting frame buildings. *Journal of Structural Engineering*, 123(11), 1454-1461.
14. Hatzigeorgiou, G. D., & Kanapitsas, G. (2013), Evaluation of fundamental period of low-rise and mid-rise reinforced concrete buildings. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 42(11), 1599-1616
15. Mander, J. B., Priestley, M. J., & Park, R. (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of structural engineering*, 114(8), 1804-1826.
16. Seismosoft [2023] "SeismoBuild 2023 – A computer program for seismic assessment and retrofitting of RC structures.," available from <https://seismosoft.com/>.
17. Vamvatsikos D., Cornell C.A. (2002). "Incremental Dynamic Analysis." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31(3), 491–514.
18. ΕΛΣΤΑΤ (2011), "Απογραφή κτηρίων 2011"

19. Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) (2014) “Πρωτοβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος”, ΚΥΑ 7581/ΦΕΚ 405B/20-02-2014 .
20. Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) (2022). Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) , 3η Αναθεώρηση.
21. Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) (2022). Τεύχος Δραστηριοτήτων.
22. Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) (2022). “Δευτεροβάθμιος προσεισμικός έλεγχος κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα” 1η αναθεώρηση ΦΕΚ 3134/21-6-2022.
23. Παππά Β. (2021), “Σεισμική αποτίμηση και οικονομοτεχνική μελέτη 3-όροφης κατασκευής του 1979 στην περιοχή του Κεραμεικού”, Διπλωματική Εργασία ΕΜΠ.
24. Ραντογιάννη-Τσιαμπάου, Θ. (2018). Γεωλογία, Θεμελιώδεις Έννοιες για Μηχανικούς, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
25. ΥΠΕΧΩΔΕ (1995). Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΝΕΑΚ), ΦΕΚ 613/B/12-10-1992 & ΦΕΚ 534/B/20-6-95.
26. ΥΠΕΧΩΔΕ (1999). Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ), ΦΕΚ 2184/B/20-12-1999.
27. ΥΠΕΧΩΔΕ (2004). Συμπλήρωση της απόφασης έγκρισης του Ελληνικού Κανονισμού Ωπλισμένου Σκυροδέματος (ΕΚΩΣ) ΦΕΚ 447/B/ 05-03-2004.

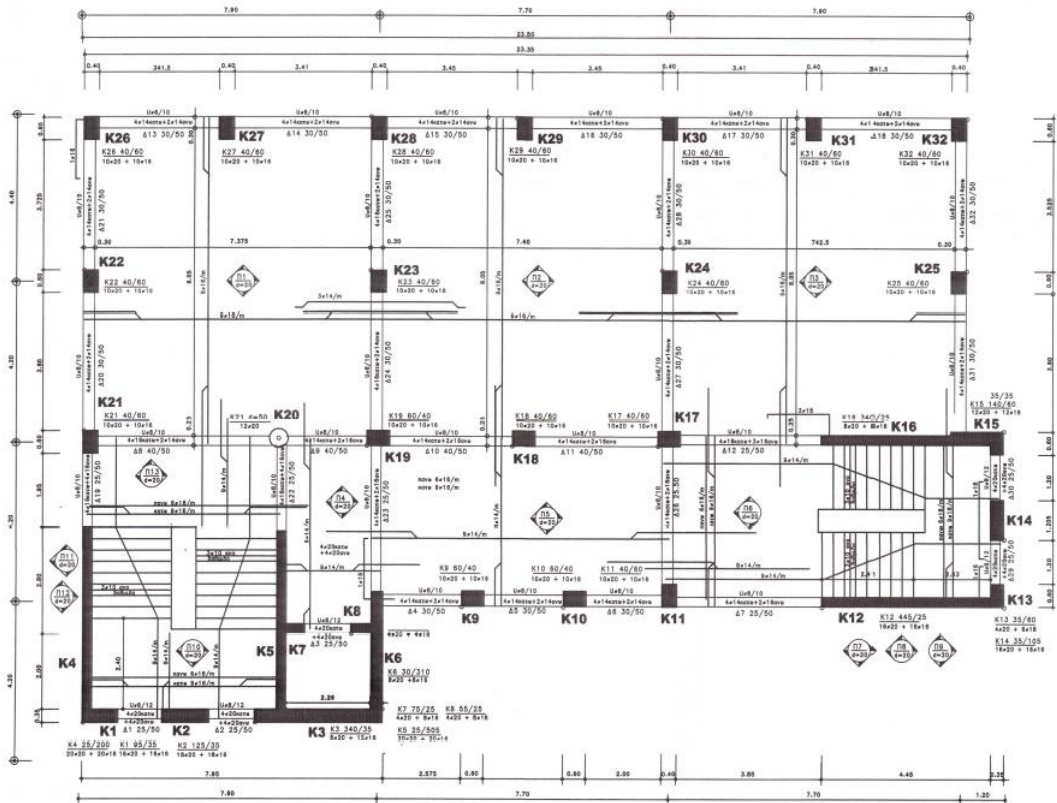
Παράρτημα Α: Ξυλότυποι



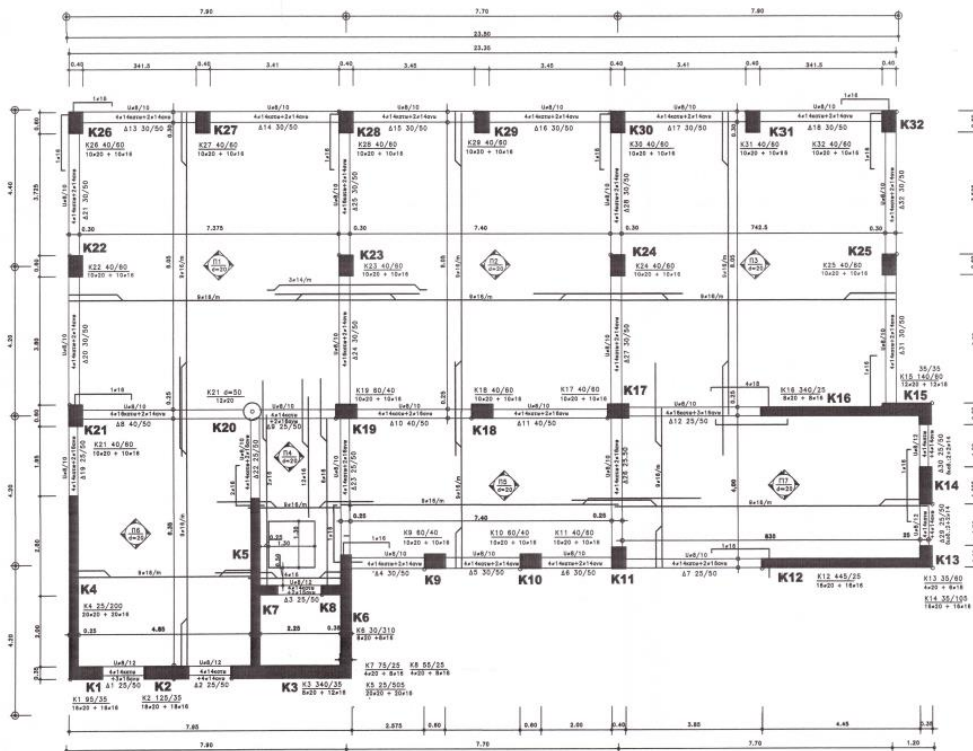
Σχήμα Α-1: Ξυλότυπος οροφής υπογείου



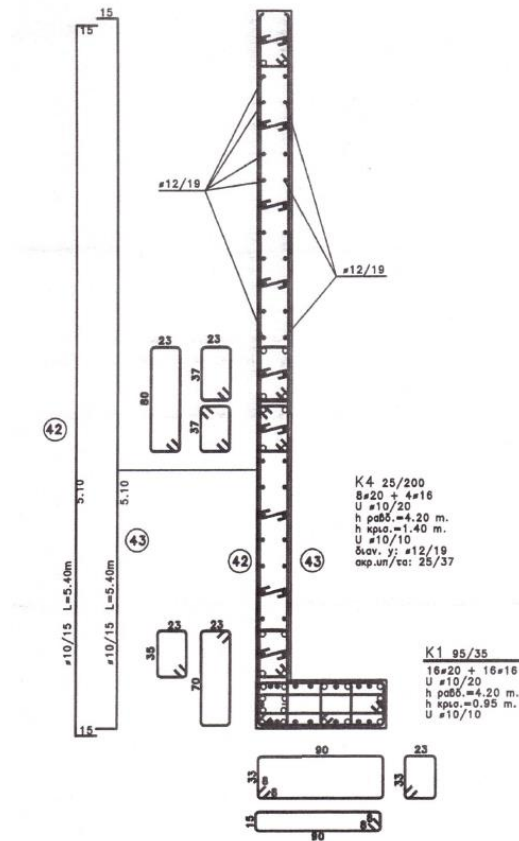
Σχήμα Α-2: Ξυλότυπος οροφής ισογείου



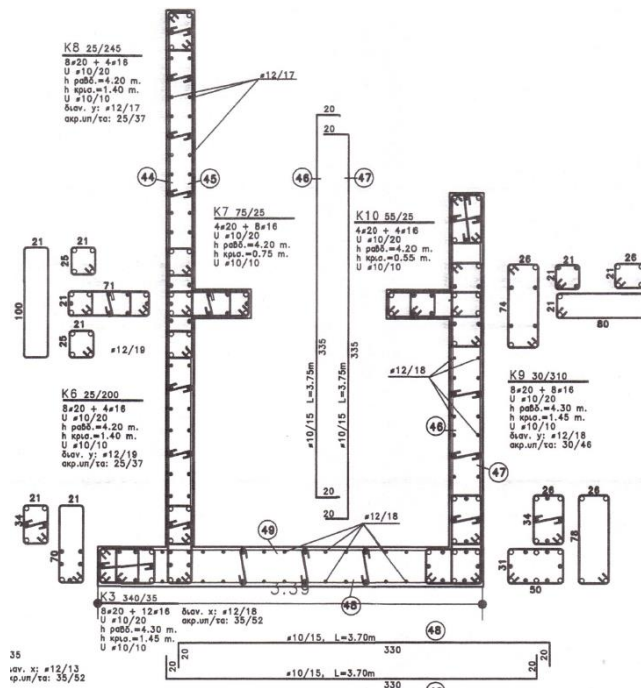
Σχήμα Α-3: Ευλότυπος οροφής 1^{ου} ορόφου



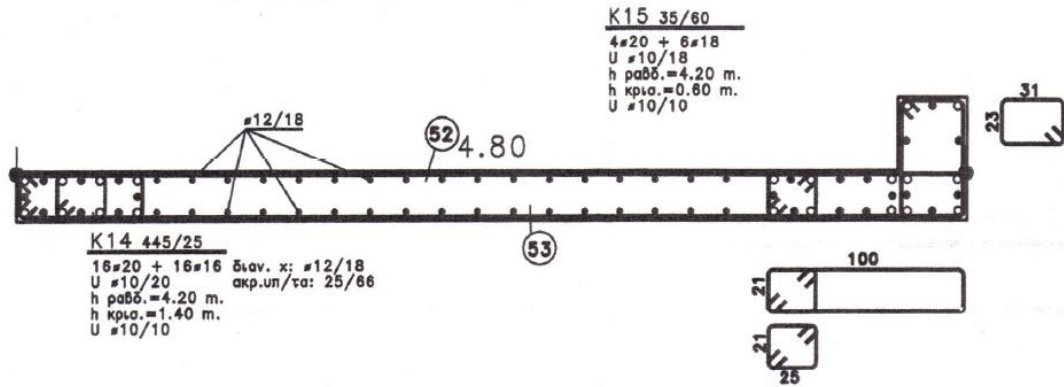
Σχήμα Α-4: Ευλότυπος οροφής 2^{ου} ορόφου



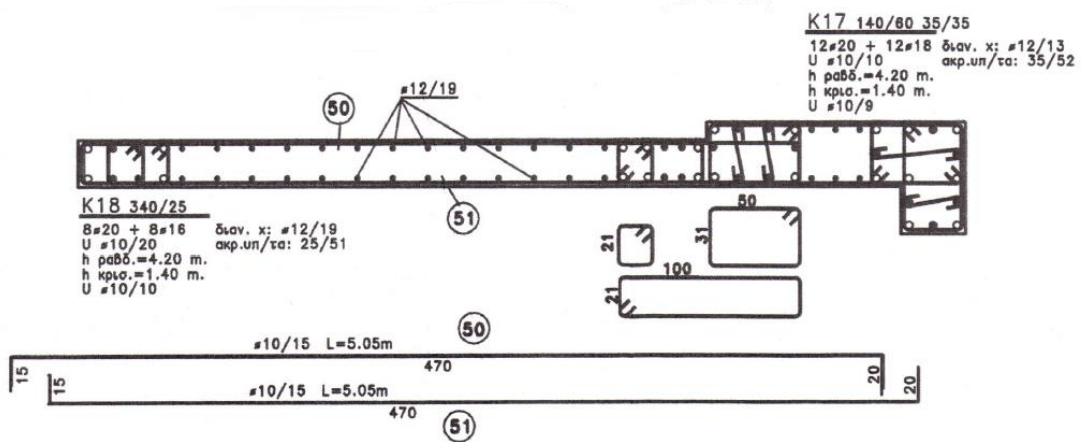
Σχήμα Α-5: Λεπτομέρεια όπλισης στοιχείου Κ4



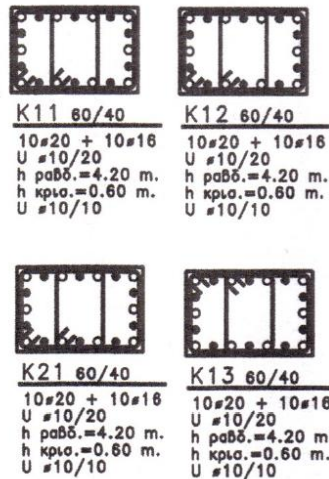
Σχήμα Α-6: Λεπτομέρεια όπλισης στοιχείου Κ3-Κ5-Κ6-Κ7-Κ8



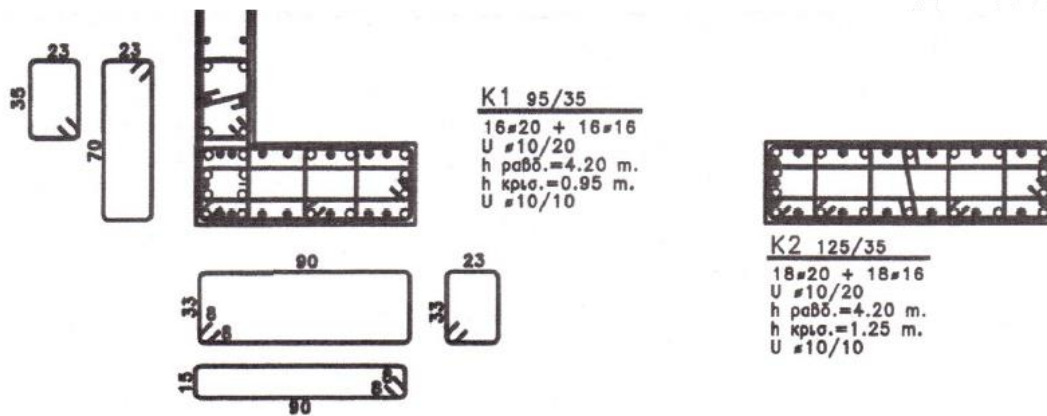
Σχήμα Α-7: Λεπτομέρεια όπλισης στοιχείου K12(κατά κάτοψη)



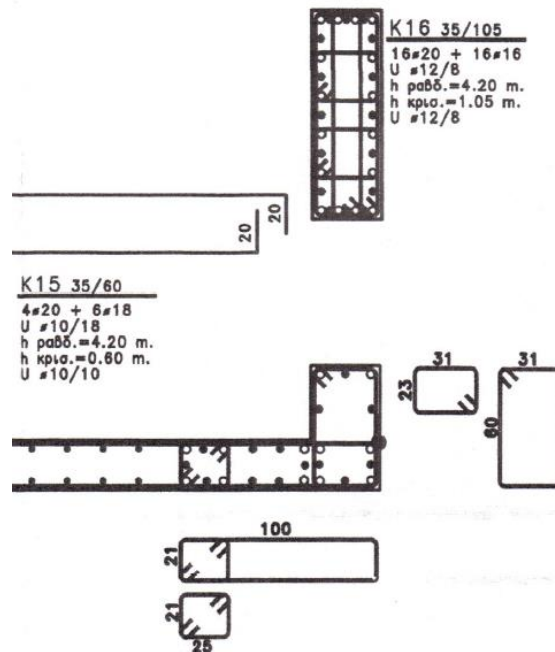
Σχήμα Α-8: Λεπτομέρεια όπλισης στοιχείου K15-K16(κατά κάτοψη)



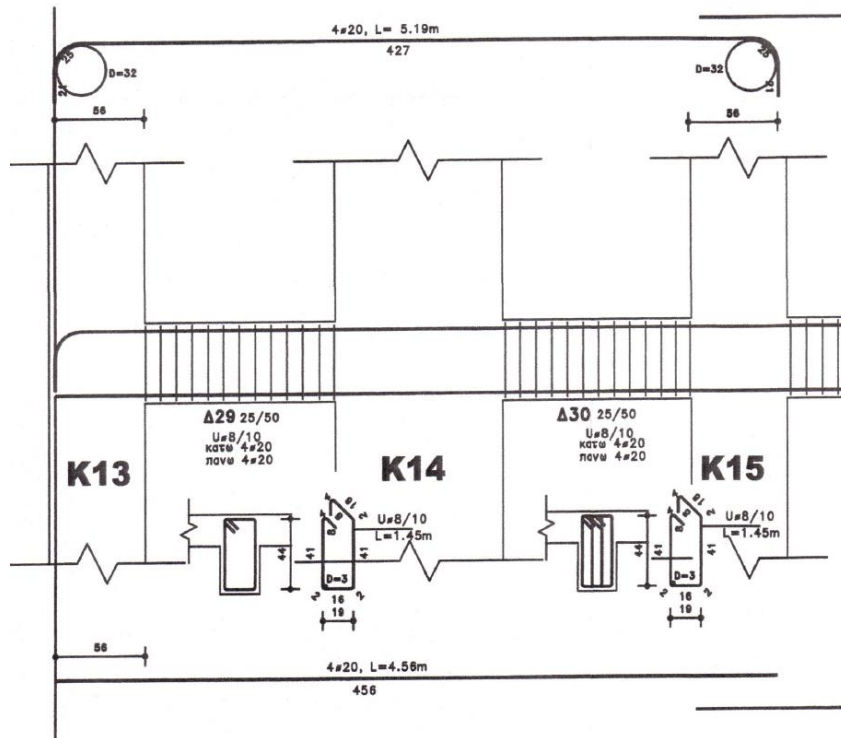
Σχήμα Α-9: Λεπτομέρεια όπλισης τυπικών υποστυλωμάτων K11-K12-K21-K13



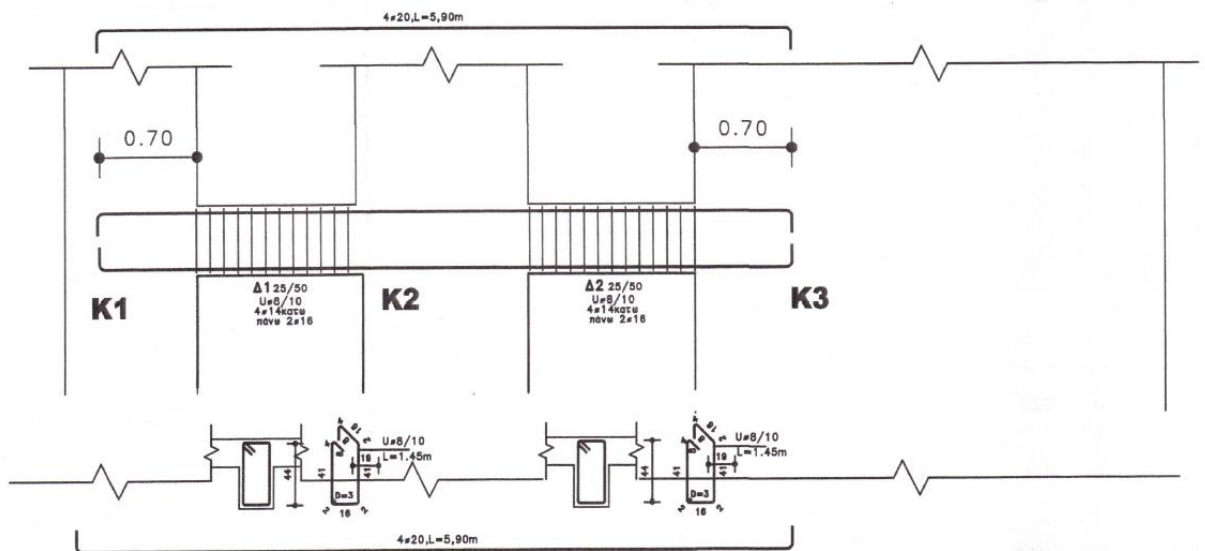
Σχήμα Α-10: Λεπτομέρεια όπλισης στοιχείων K1-K2



Σχήμα Α-11: Λεπτομέρεια όπλισης στοιχείων K13-K14 (κατά κάτοψη)



Σχήμα A-12: Λεπτομέρεια όπλισης στοιχείων Δ29-Δ30



Σχήμα A-13: Λεπτομέρεια όπλισης στοιχείων Δ1-Δ2