

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΣΧΟΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΚΚΕΝΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

ΦΩΤΙΟΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ

Πολιτικός Μηχανικός, ΕΜΠ (2023), fsapostolou@gmail.com

Περίληψη

Πραγματοποιείται πρωτοβάθμιος, δευτεροβάθμιος και τριτοβάθμιος προσεισμικός έλεγχος σε τριώροφο σχολικό κτίριο οπλισμένου σκυροδέματος του 2003 με μεγάλη εκκεντρότητα τοιχωμάτων. Στον τριτοβάθμιο προσεισμικό γίνεται σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ ΚΑΝΕΠΕ-ΕΚ8/ Με και Χωρίς τοιχοπληρώσεις/ Στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων Υψηλή-Ικανοποιητική/ Στάθμη επιτελεστικότητας B1-Γ0 προκύπτοντας έτσι 16 διαφορετικές περιπτώσεις ελέγχου. Στη συνέχεια μελετάται η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών καθώς και η διαφορά στα αποτελέσματα των στοχευόμενων μετακινήσεων σε ΚΑΝΕΠΕ και ΕΚ8. Τέλος, πραγματοποιείται μια συμπληρωματική γραμμική δυναμική ανάλυση και γίνεται έλεγχος των κοντών δοκών και υποστυλωμάτων.

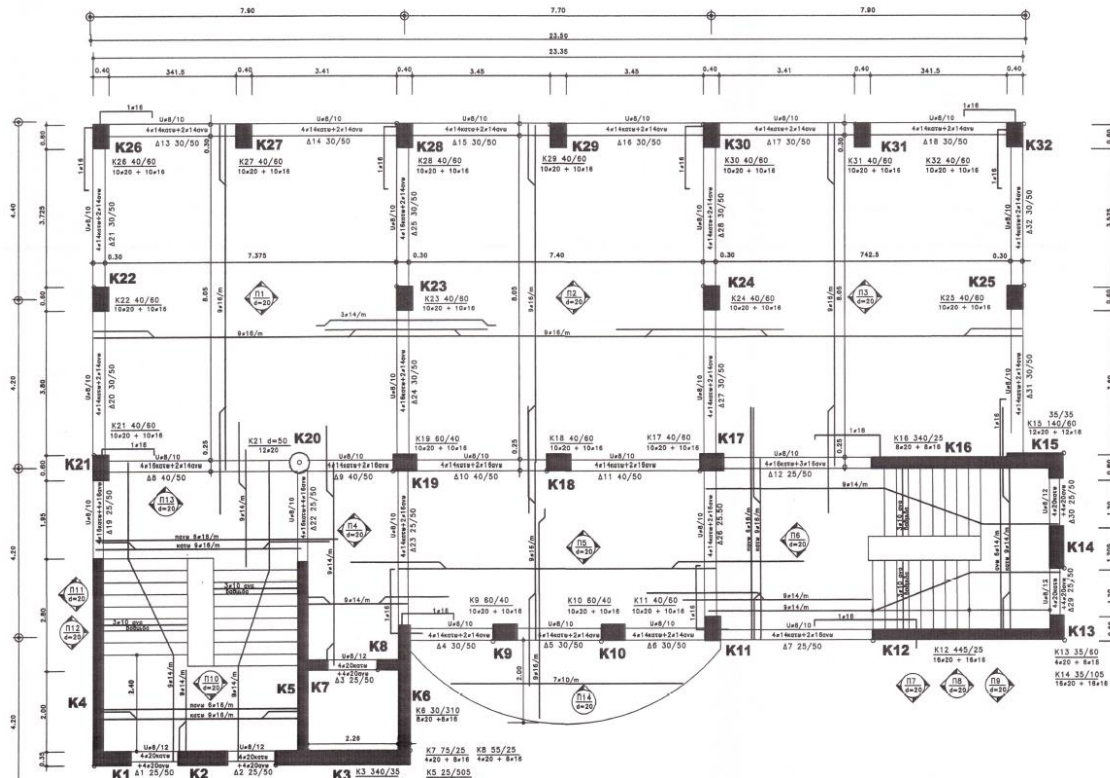
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάγκη για την αντισεισμική θωράκιση όλων των υφιστάμενων σχολικών κτιρίων είναι αδιαμφισβήτητη σημαντική. Με ποιόν τρόπο, όμως, εντοπίζονται άμεσα και φθηνά τα πιο τρωτά κτίρια με σκοπό να υπολογιστεί η σεισμική τους ικανότητα και να ενισχυθούν σε περίπτωση που απαιτηθεί; Η πρώτη, σύντομη, αλλά και λιγότερο ακριβής κατάταξη γίνεται μέσω του πρωτοβάθμιου προσεισμικού ελέγχου. Συμπληρώνεται ένα δελτίο ελέγχου μέσω αυτοψίας βάση ποιοτικών κριτηρίων. Στην συνέχεια, τα κρισιμότερα κτίρια περνούν στο δευτεροβάθμιο προσεισμικό έλεγχο, το ενδιάμεσο στάδιο που με απλούς υπολογισμούς θα εντοπίσει τα κτίρια που είναι ανάγκη να περάσουν από τον τριτοβάθμιο προσεισμικό έλεγχο, τον μόνο έλεγχο που βγάζει ακριβή αποτελέσματα σχετικά με την ενίσχυση ή όχι του κτιρίου. Από αυτά τα τρία στάδια ελέγχου επιλέχθηκε να περάσει ένα τριώροφο σχολικό κτίριο οπλισμένου σκυροδέματος μελετημένο το 2003 στην περιοχή των Γρεβενών. Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο τριτοβάθμιος προσεισμικός έλεγχος, καθώς οι επιλογές του μελετητή μπορεί να επηρεάσουν καθοριστικά τα αποτελέσματα της σεισμικής αποτίμησης. Δηλαδή να εφαρμοστεί Κανονισμός Επεμβάσεων ή Ευρωκώδικας 8, να ληφθούν υπόψη οι τοιχοπληρώσεις ή όχι, να εξασφαλισθεί στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων υψηλή ή να παραμείνει στην ικανοποιητική αλλά και να εξεταστεί η στάθμη επιτελεστικότητας B1 ή Γ0; Όλες αυτές οι 16 διαφορετικές περιπτώσεις που προκύπτουν εξετάζονται και συγκρίνονται. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι και τα 2 κλιμακοστάσια του κτιρίου είναι χωροθετημένα στην βόρεια πλευρά με τοιχώματα μήκους περί τα 4 m , θέτοντας έτσι το κέντρο στροφής αρκετά μακριά από το κέντρο μάζας. Έτσι είναι ανάγκη να διερευνηθεί αν η στατική ανελαστική ανάλυση μπορεί να εφαρμοστεί, αλλά και τι αποτελέσματα βγάζει σε κάθε περίπτωση, καθώς πιθανότατα θα είναι συμπληρωματική με μια γραμμική δυναμική ανάλυση. Ακόμα, παρατηρείται ότι στην νότια όψη οι τοιχοπληρώσεις διακόπτονται, δημιουργώντας έτσι «θέσει» κοντά υποστυλώματα, τα οποία πρέπει να ληφθούν με κάποιο τρόπο υπόψη στο λογισμικό. Τέλος, μεταξύ των τοιχωμάτων κλιμακοστασίου υπάρχουν υψίκορμες δοκοί, οι οποίες θέλουν προσεκτική διαχείριση.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΟΡΕΑ-ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

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 ΕΑΚ 2000 και ο ΕΚΩΣ. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι σκυρόδεμα C20/25 και χάλυβας αντοχής S500s. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1 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.



Σχήμα 1: Ευλότυπος οροφής ισογείου

Η προσομοίωση του κτιρίου έγινε στο πρόγραμμα Seismobuild 2023 της SEISMOSOFT [1]. 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 υποστύλωμα (αρνητικό). Συνεπώς, δεν είναι ξεκάθαρο εξαρχής αν επιδρούν θετικά ή αρνητικά στην κατασκευή, οπότε εξετάζονται και οι 2 περιπτώσεις. Όσον αφορά στους υαλοπίνακες του κλιμακοστασίου, λήφθηκαν υπόψιν μόνο ως κατακόρυφο φορτίο αντίστοιχο της τοιχοποιίας.

3. ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΟΣ ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Συμπληρώθηκε το δελτίο πρωτοβάθμιου προσεισμικού ελέγχου [2] θεωρώντας βασική βαθμολογία ίση με 8 λόγω της χρονολογίας της κατασκευής (2003), ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ι (Γρεβενά) και κατηγορία εδάφους Β, Η τελική βαθμολογία του κτιρίου είναι

5.6 και με βάση τον κανονισμό κατατάσσεται οριακά στην κατηγορία χαμηλής προτεραιότητας περαιτέρω ελέγχου.

Πίνακας 1: Δελτίο πρωτοβάθμιου προσεισμικού ελέγχου	
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΟΣγ
Βασική βαθμολογία, αναλόγως δομικού τύπου	8
Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I	-0.5
Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II ή III	-
Έδαφος κατηγορίας B (για αποδεδειγμένως A: -0.1)	-0.3
Έδαφος κατηγορίας Γ ή Δ	-
Έδαφος Γ ή Δ και άνω των 5 ορόφων -	-
Έδαφος κατηγορίας X	-
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

4. ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΟΣ ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Μέσω του ελέγχου αυτού [3] γίνεται εκ νέου κατάταξη των κρισιμότερων κτιρίων του πρωτοβάθμιου ελέγχου με σκοπό να κριθεί εάν χρειάζεται να περάσουν στον τριτοβάθμιο. Υπολογίζεται προσεγγιστικά η δράση και η αντίσταση της κατασκευής και βάση αυτού του λόγου το κτίριο κατατάσσεται σε κατηγορία σεισμικής κλάσης. Οι αναλυτικοί υπολογισμοί αυτής της διαδικασίας δεν παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία (υπάρχουν στο [4]), καθώς στόχος είναι μόνο η ποιοτική σύγκριση κάποιων κριτηρίων σε σχέση με τον τριτοβάθμιο έλεγχο. Παρουσιάζεται λοιπόν στον πίνακα 2, η τελική βαθμολογία των 13 στοιχείων τρωτότητας που διαμορφώνουν τον μειωτικό συντελεστή «β», βάση του οποίου από απομειώνεται το άθροισμα των διατημητικών αντοχών των κατακόρυφων στοιχείων του ισογείου της κατασκευής. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει το κριτήριο της στρέψης που έλαβε και την δυσμενέστερη βαθμολογία, καθώς και τον κοντών υποστυλωμάτων που παρόλο που υπάρχουν έλαβε την ευμενέστερη βαθμολογία λόγω του έντονου τοιχωματοποίησης.

Πίνακας 2: Τελική βαθμολογία κριτηρίων τρωτότητας

α/α	Κριτήρια σεισμικής επιβάρυνσης	Βαθμός Επιβάρυνσης β _i		Συντελεστής
		Κατά Χ	Κατά Υ	
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	

5. ΤΡΙΤΟΒΑΘΜΙΟΣ ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

5.1. ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η πρώτη ανάλυση που πραγματοποιείται είναι η ιδιομορφική, μέσω της οποίας υπολογίζονται οι ιδιομορφές και οι ιδιοπερίοδοι, απαραίτητα δεδομένα για τον υπολογισμό των φορτίων και των στοχευόμενων μετακινήσεων για την pushover και των φασματικών επιταχύνσεων για την γραμμική δυναμική ανάλυση. Να σημειωθεί ότι ο λόγος για τον οποίο μετά από 16 ιδιόμορφες το άθροισμα της ταλαντούμενης μάζας είναι μικρότερο από 90% εξηγείται από το γεγονός ότι το λογισμικό λαμβάνει υπόψιν του και την μάζα του υπογείου η οποία δεν ταλαντώνεται. Ωστόσο προτιμήθηκε να συμπεριληφθεί το υπόγειο στο μοντέλο καθώς έτσι προσομοιώνονται καλύτερα οι συνοριακές συνθήκες στήριξης των κατακόρυφων στοιχείων του ισογείου. Παρουσιάζονται στους πίνακες 3 & 4 οι ιδιοπερίοδοι για αρηγμάτωτες και ρηγματωμένες διατομές, καθώς οι υπολογισμοί των στοχευόμενων μετακινήσεων γίνονται για αρηγμάτωτες διατομές ενώ των φασματικών επιταχύνσεων για ρηγματωμένες.

Πίνακας 3: 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 4: 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%

5.2. ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η στατική ανελαστική ανάλυση είναι αυτή που θα δώσει την τελική καμπύλη ικανότητας της κατασκευής. Τα 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 επιλέγεται να εξεταστεί και η στάθμη επιτελεστικότητας Γ0 (2% στα 50 χρόνια).

Στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων (ΣΑΔ):

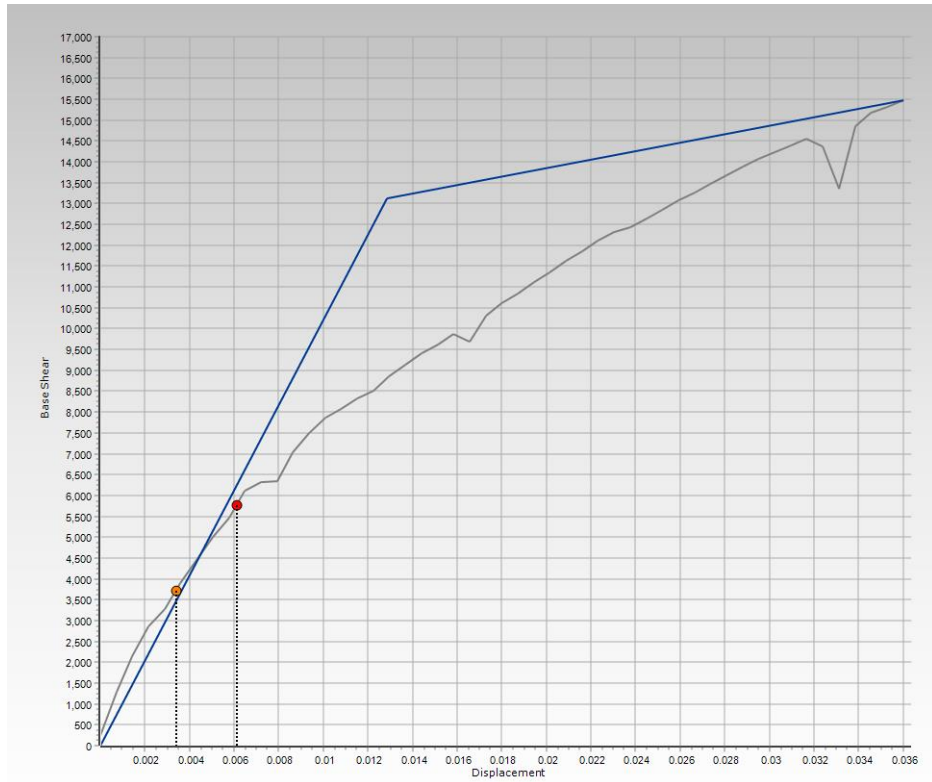
- Ικανοποιητική ΣΑΔ
- Υψηλή ΣΑΔ

Παράμετροι ανάλυσης Pushover:

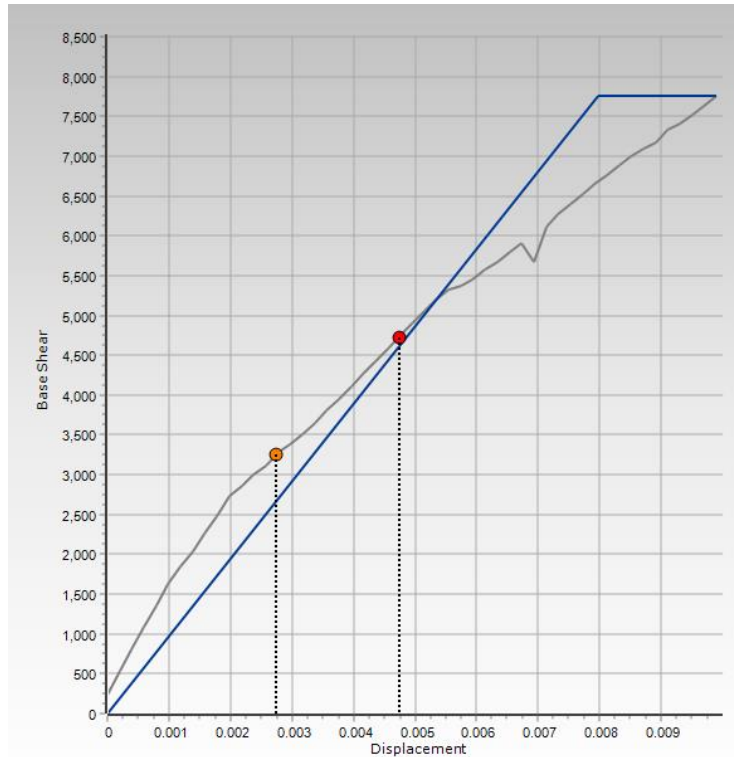
Σημαντικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα είναι η επιλογή της μέγιστης σχετικής μετακίνησης (drift) που θα σταματήσει το λογισμικό την ανάλυση. Η προεπιλογή είναι στο 2% (στον ΚΑΝ.ΕΠΕ.-σχόλιο §5.7.1.2- αναφέρεται ότι αρκεί χάραξη της καμπύλης αντίστασης σε σημείο 50% μεγαλύτερο της στοχευόμενης μετακίνησης), ωστόσο όπως προκύπτει από τα Σχήματα 2 & 3 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. [5] και 0.11% κατά Ευρωκώδικα 8 [6]. Τέλος, για τους ελέγχους κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. επιλέχθηκαν 64 συνδυασμοί, 32 με ομοιόμορφη κατανομή φορτίου και 32 με ιδιομορφική κατανομή. Αντιθέτως, 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, οι 16 συνδυασμοί που προκύπτουν παρουσιάζονται στον Πίνακα 5. Από το Σχήμα 5 έως το Σχήμα 20 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των περιπτώσεων Π1 έως Π16, ενώ στο Σχήμα 4 φαίνεται η ονοματολογία των μελών για την καλύτερη κατανόηση των συντελεστών αξιοποίησης του Πίνακα 5.



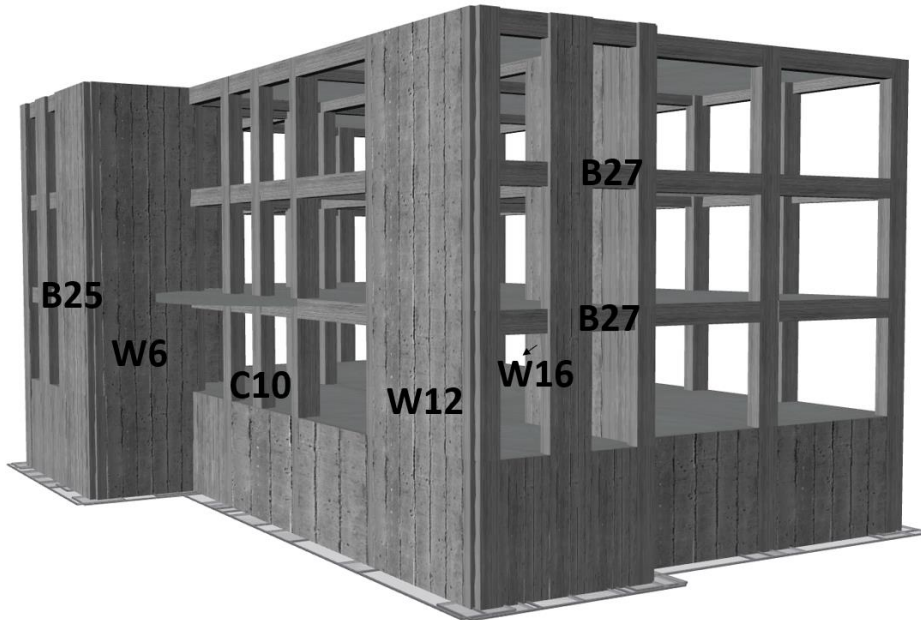
Σχήμα 2: Καμπύλη ικανότητας κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τον συνδυασμό Modal X+ (Προσομοίωμα Π5) για ΣΕ B1(0.0033m-3888 kN) και για ΣΕ Γ0(0.0061 m-5817 kN)



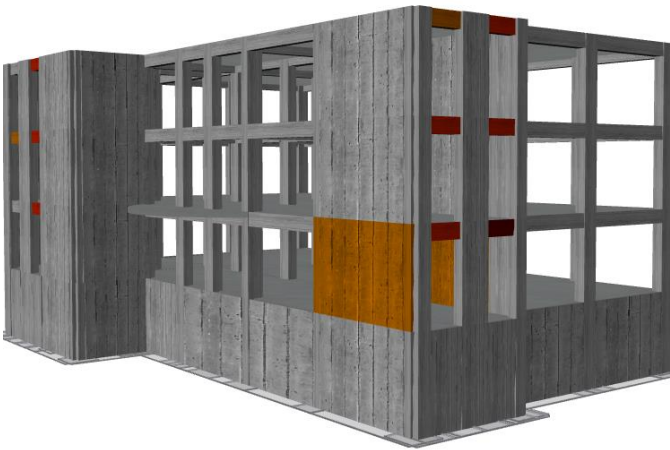
Σχήμα 3: Καμπύλη ικανότητας κατά Ευρωκώδικα για τον συνδυασμό Modal X+ (Προσομοίωμα Π13) για ΣΕ B1 (0.0027m-3386 kN) και για ΣΕ Γ0 (0.0047 m-4737 kN)

Πίνακας 5: Συνδυασμοί διαφορετικών περιπτώσεων προσομοιωμάτων που έγιναν οι έλεγχοι

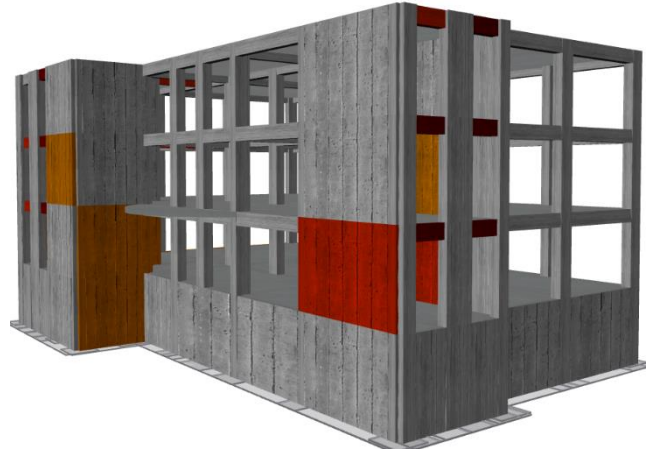
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	ΤΟΙΧΟ-ΠΛΗΡΩΣΕΙΣ		ΣΤΑΘΜΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ		ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ		
	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ	ΥΨΗΛΗ	B1	Γ0	
1		X	X		X		
2		X	X			X	
3		X		X	X		
4	ΚΑΝ.ΕΠΕ		X		X	X	
5		X		X		X	
6		X		X			X
7		X			X	X	
8		X			X		X
9			X	X		X	
10			X	X			X
11			X		X	X	
12	ΕΚ8		X		X	X	
13		X		X			
14		X		X			X
15		X			X	X	
16		X		X		X	



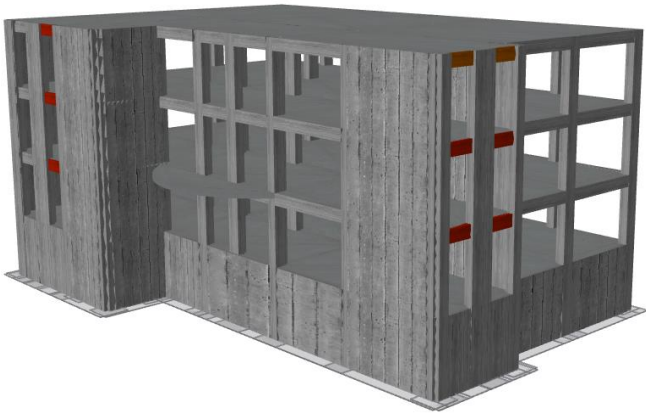
Σχήμα 4: Προοπτικό κτιρίου με τις ονοματολογίες των μελών που παρουσιάζονται οι συντελεστές αξιοποίησής ανά περίπτωση



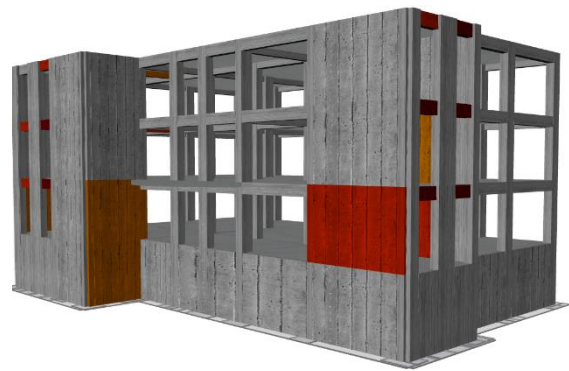
Σχήμα 5: Π1. Έλεγχος σε διάτμηση-ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Χωρίς τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ: Ικανοποιητική-ΣΕ: Β1



Σχήμα 6: Π2. Έλεγχος σε διάτμηση-ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Χωρίς τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ: Ικανοποιητική-ΣΕ: Γ0



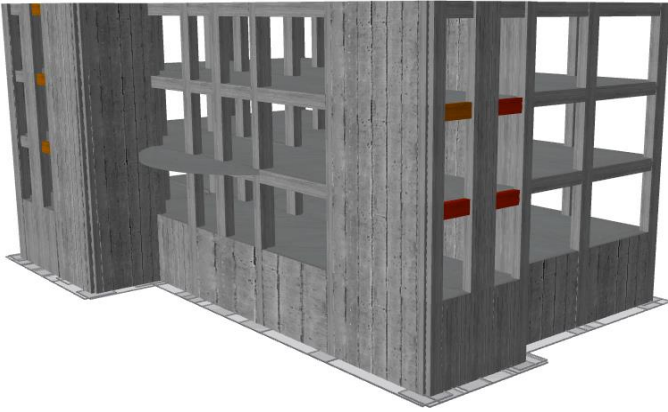
Σχήμα 7: Π3. Έλεγχος σε διάτμηση-ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Χωρίς τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ: Υψηλή-ΣΕ: Β1



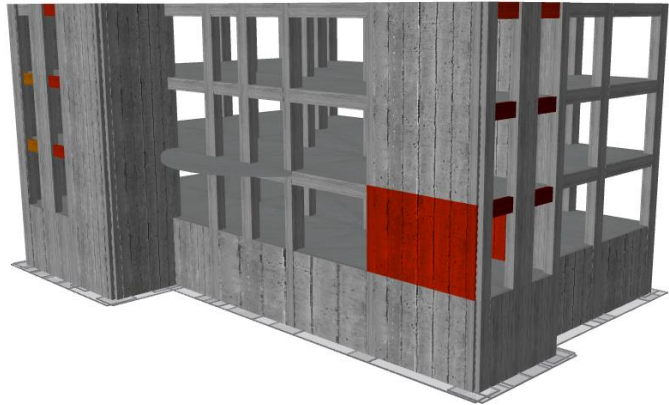
Σχήμα 8: Π4. Έλεγχος σε διάτμηση-ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Χωρίς τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ: Υψηλή -ΣΕ: Γ0

Πίνακας 6: Συντελεστές εκμετάλλευσης μελών περιπτώσεων Π1-Π4

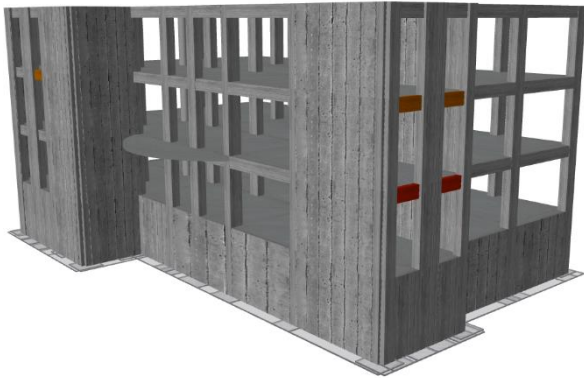
	Π1	Π2	Π3	Π4
W12 Ισογείου	1.06	1.67	0.97	1.54
W16 Ισογείου	1.03	1.82	0.96	1.69
W6 Ισογείου	0.95	1.10	0.89	1.01
C10 Ισογείου	0.12	0.19	0.11	0.18
B27 (1 ^ο διάφραγμα)	2.13	2.89	1.97	2.68
B27(2 ^ο διάφραγμα)	1.90	2.92	1.76	2.70
B25 Ισογείου	1.42	2.20	1.31	2.04



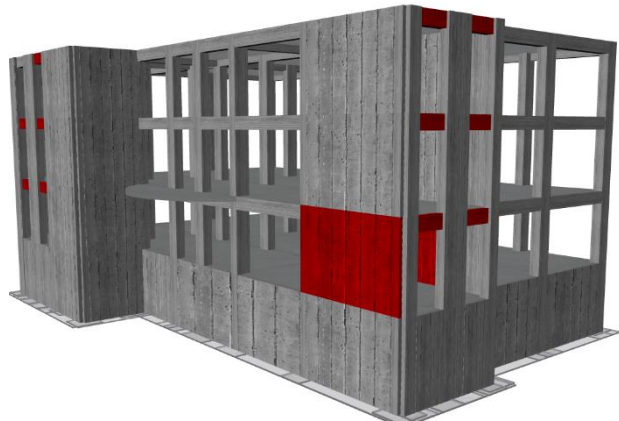
Σχήμα 9: Π5: Έλεγχος σε διάτμηση-ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Με τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ: Ικανοποιητική-ΣΕ: Β1



Σχήμα 10: Π6: Έλεγχος σε διάτμηση-ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Με τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ: Ικανοποιητική-ΣΕ: Γ0



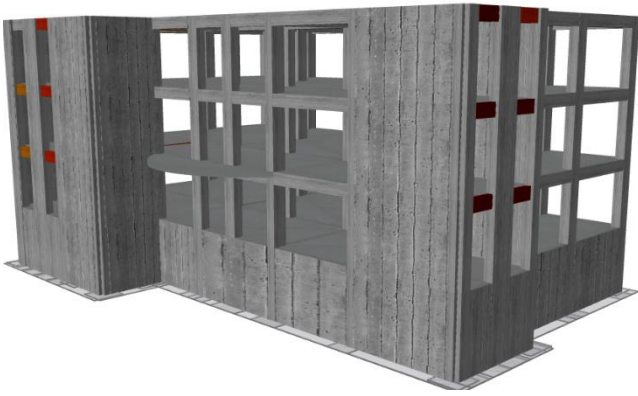
Σχήμα 11: Π7: Έλεγχος σε διάτμηση-ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Με τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ: Υψηλή-ΣΕ: Β1



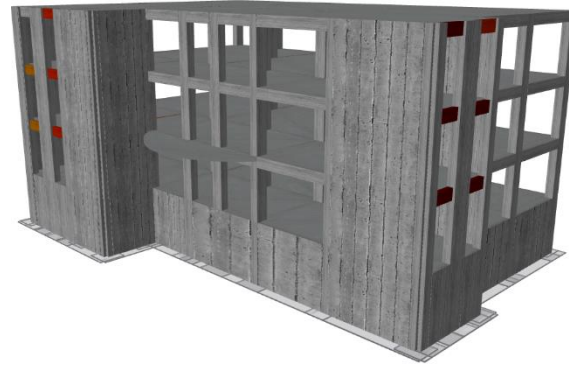
Σχήμα 12: Π8: Έλεγχος σε διάτμηση-ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Με τοιχοπληρώσεις -ΣΑΔ: Υψηλή -ΣΕ: Γ0

Πίνακας 7: Συντελεστές εκμετάλλευσης μελών περιπτώσεων Π5-Π8

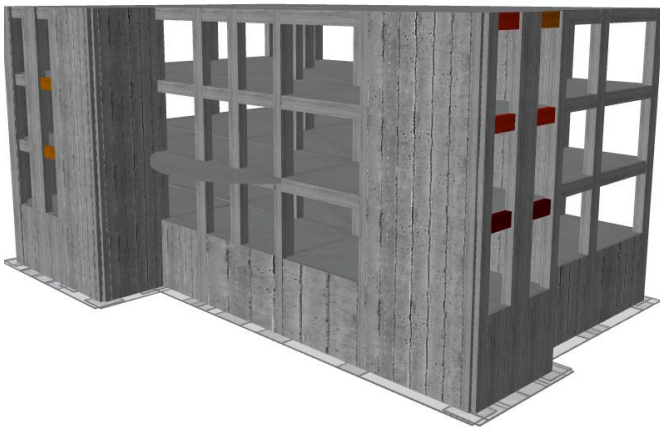
	Π5	Π6	Π7	Π8
W12 Ισογείου	0.98	1.52	0.90	1.39
W16 Ισογείου	0.83	1.26	0.77	1.13
W6 Ισογείου	0.91	0.93	0.85	0.86
C10 Ισογείου	0.11	0.15	0.10	0.13
B27 (1ο διάφραγμα)	1.60	2.73	1.48	2.53
B27(2ο διάφραγμα)	1.26	2.29	1.16	2.12
B25 Ισογείου	1.05	1.65	0.97	1.52



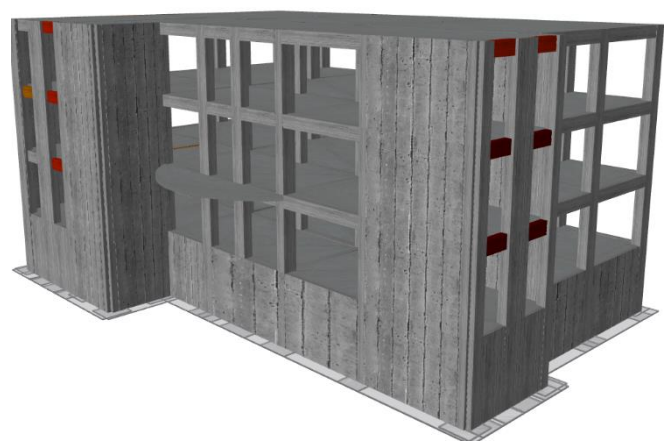
Σχήμα 13: Π9.Έλεγχος σε διάτμηση-ΕΚ8.-Χωρίς τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ:Ικανοποιητική-ΣΕ:Β1



Σχήμα 14: Π10.Έλεγχος σε διάτμηση-ΕΚ8.-Χωρίς τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ:Ικανοποιητική-ΣΕ:Γ0



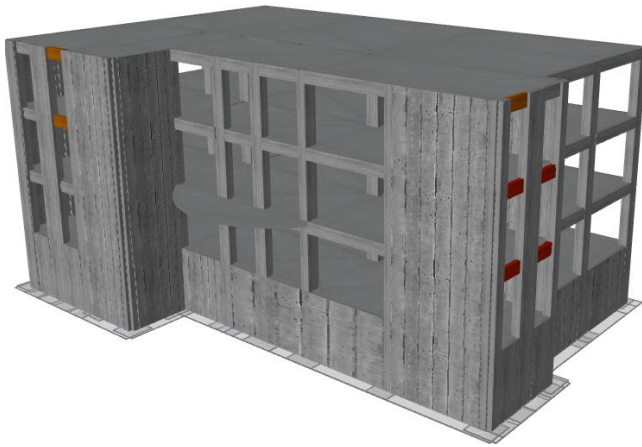
Σχήμα 15: Π11.Έλεγχος σε διάτμηση-ΕΚ8.-Χωρίς τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ:Υψηλή-ΣΕ:Β1



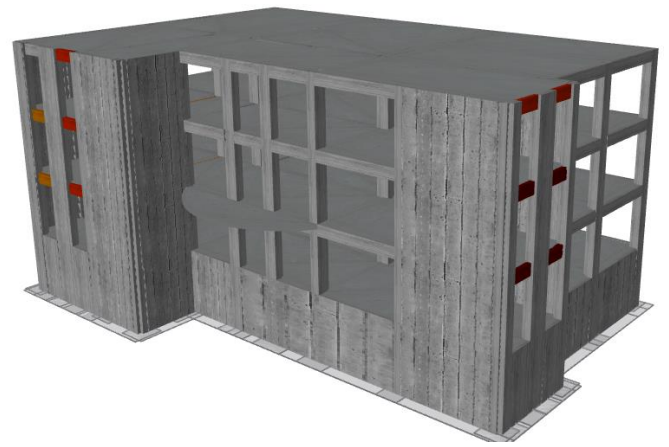
Σχήμα 16:Π12.Έλεγχος σε διάτμηση-ΕΚ8.-Χωρίς τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ: Υψηλή -ΣΕ:Γ0

Πίνακας 8:Συντελεστές εκμετάλλευσης μελών περιπτώσεων Π9-Π10

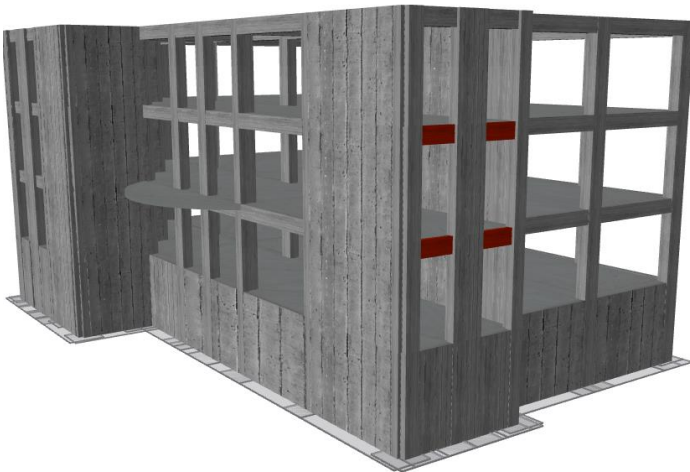
	Π9	Π10	Π11	Π12
W12 Ισογείου	0.52	0.83	0.45	0.71
W16 Ισογείου	0.61	0.81	0.54	0.73
W6 Ισογείου	0.58	0.78	0.49	0.66
C10 Ισογείου	0.11	0.14	0.10	0.12
B27 (1ο διάφραγμα)	2.41	3.25	2.09	2.82
B27(2ο διάφραγμα)	2.11	2.82	1.83	2.45
B25 Ισογείου	1.31	1.77	1.13	1.54



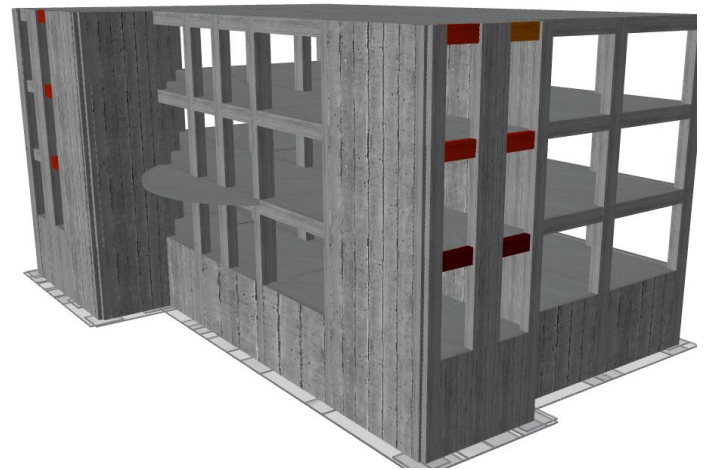
Σχήμα 17: Π13.Έλεγχος σε διάτμηση-ΕΚ8.-Με τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ:Ικανοποιητική-ΣΕ:Β1



Σχήμα 18: Π14.Έλεγχος σε διάτμηση-ΕΚ8.-Με τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ:Ικανοποιητική-ΣΕ:Γ0



Σχήμα 19: Π15.Έλεγχος σε διάτμηση-ΕΚ8.-Με τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ:Υψηλή-ΣΕ:Β1



Σχήμα 20: Π16.Έλεγχος σε διάτμηση-ΕΚ8.-Με τοιχοπληρώσεις-ΣΑΔ: Υψηλή -ΣΕ:Γ0

Πίνακας 9:Συντελεστές εκμετάλλευσης μελών περιπτώσεων Π13-Π16

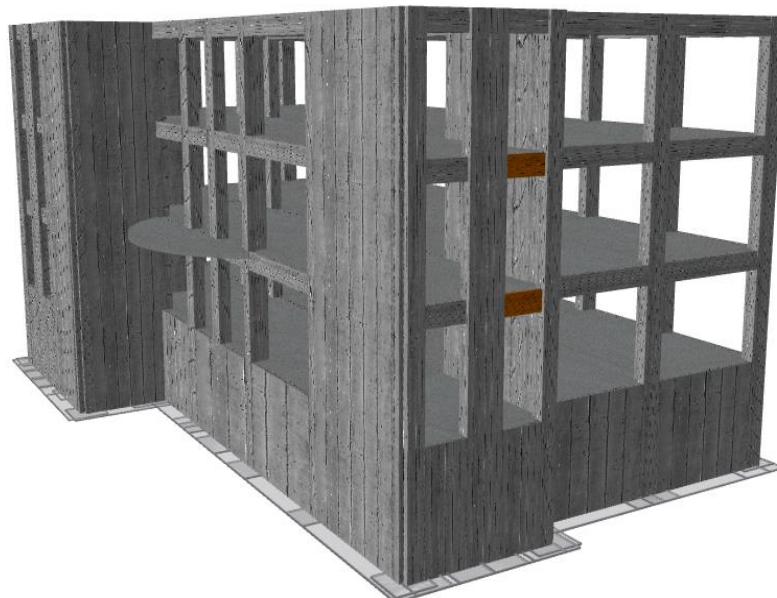
	Π13	Π14	Π15	Π16
W12 Ισογείου	0.56	0.89	0.53	0.77
W16 Ισογείου	0.59	0.80	0.49	0.71
W6 Ισογείου	0.55	0.75	0.47	0.65
C10 Ισογείου	0.12	0.15	0.11	0.13
B27 (1ο διάφραγμα)	1.73	2.67	1.49	2.33
B27(2ο διάφραγμα)	1.42	2.12	1.23	1.85
B25 Ισογείου	0.87	1.44	0.76	1.25

5.3. ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ)

Λόγω της έντονης ανομοιομορφίας της δυσκαμψίας 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 μειώθηκαν από 16 σε 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 10 (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 21 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 κάποια αστοχία.

Πίνακας 10: Ποσοστιαίες διαφορές τέμνουσας μεταξύ των αναλύσεων με 1 και 6 ιδιομορφών ανά όροφο και διεύθυνση

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



Σχήμα 21: Έλεγχος τέμνουσας

5.4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΟΝΤΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

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

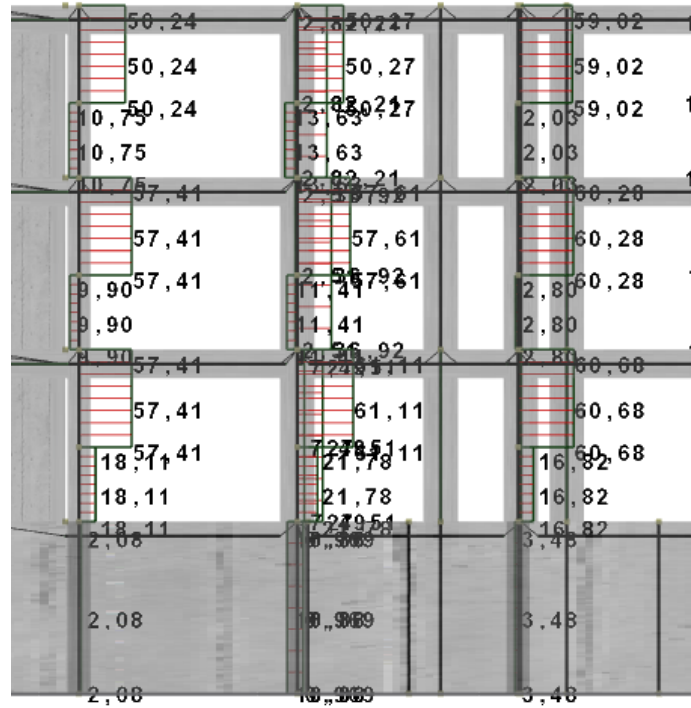
- Στον ΚΑΝΕΠΕ δεν υπάρχει κάποια παράγραφος σχετικά με τα κοντά υποστυλώματα.
- Στον Ευρωκώδικα 8-1 στην παράγραφο §5.4.3.2.2 κοντό ορίζεται ένα υποστυλώμα όταν (το μήκος επαφής τοιχοπλήρωσης/πλάτος διατομής) $l_c/h_c < 3$.
- Στον Ε.Κ.Ω.Σ. [7] §18.4.9, από το 2004 (η μελέτη του κτιρίου είναι 10/2003) αναφέρεται ότι κοντό θεωρείται ένα υποστυλώμα με λόγο διάτμησης μικρότερο του 2.5 .

$$\alpha_s = M_{sd} / (V_{sd} \cdot h) \leq 2.5 \quad [1]$$

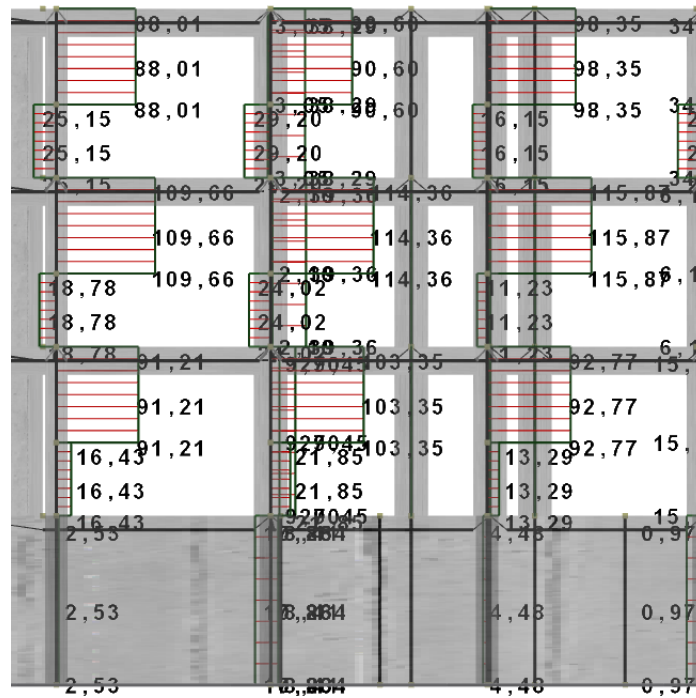
Όπου M_{sd} , V_{sd} εντατικά μεγέθη σεισμικού συνδυασμού στο κρίσιμο άκρο και h το πλάτος διατομής στην διεύθυνση της τέμνουσας. Στο κτίριο αυτό, στη νότια όψη, υπάρχει παράθυρο με ύψος 1.5 m και πλάτος υποστυλώματος κατά τη διεύθυνση της τοιχοπλήρωσης ίσο με 0.40 m.

- Στον Ν.Ε.Α.Κ. [8] (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 λόγο 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 1.50 m. Για τον δυσμενέστερο σεισμικό συνδυασμό στις στάθμες επιτελεστικότητας Β1 και Γ0 υπολογίστηκαν οι δυσμενέστερες τέμνουσες ίσες με 61 kN και 116 kN αρκετά μικρότερες από την αντοχή του ίδιου υποστυλώματος στην στάθμη επιτελεστικότητας Β, που σύμφωνα με το παράρτημα 7Γ του ΚΑΝ.ΕΠΕ 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 22: Διάγραμμα εντατικής κατάστασης Τεμνουσών [Q] για την ΣΕ Β1 και τον συνδυασμό Modal X+



Σχήμα 23 Διάγραμμα εντατικής κατάστασης Τεμνουσών [Q] για την ΣΕ Γ0 και τον συνδυασμό Modal X+

5.5. ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΠΡΩΤΟΥ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΜΕΛΟΥΣ

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 0.16 g μέχρι την τιμή για την οποία δεν παρατηρείται οριακά καμία αστοχία κατακόρυφου μέλους. Για την διαδικασία αυτή επιλέχθηκε το προσομοίωμα Π1 (Σχήμα 5) για τους ελέγχους κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. και το Π15 (Σχήμα 1) για τους ελέγχους με Ευρωκώδικα 8.

Πίνακας 11: 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)

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 12: 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. (Π10)

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

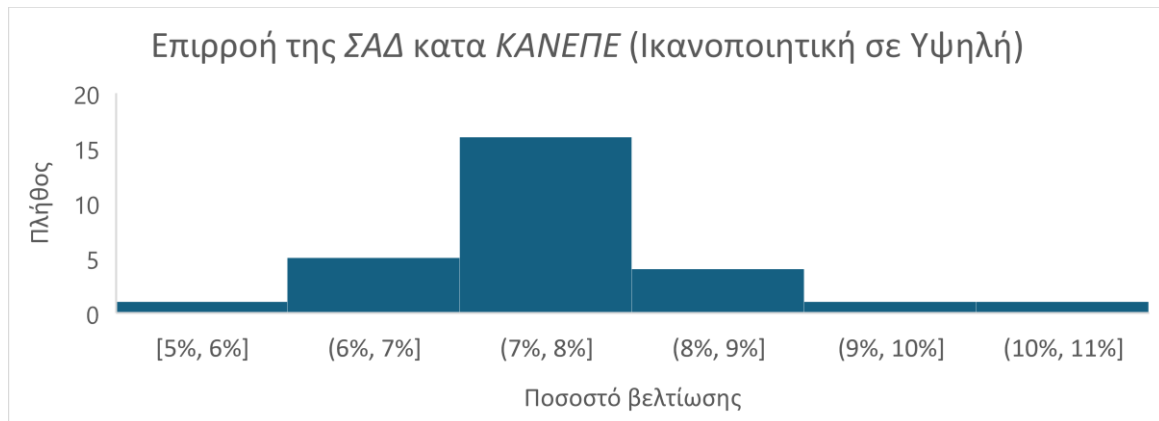
5.6. ΣΧΟΛΙΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Όσον αφορά τον προσδιορισμό της έντασης του φορέα ιδιαίτερη προσοχή θέλει η επιλογή του σημείου που θα σταματήσει η καμπύλη pushover. Βάσει 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:

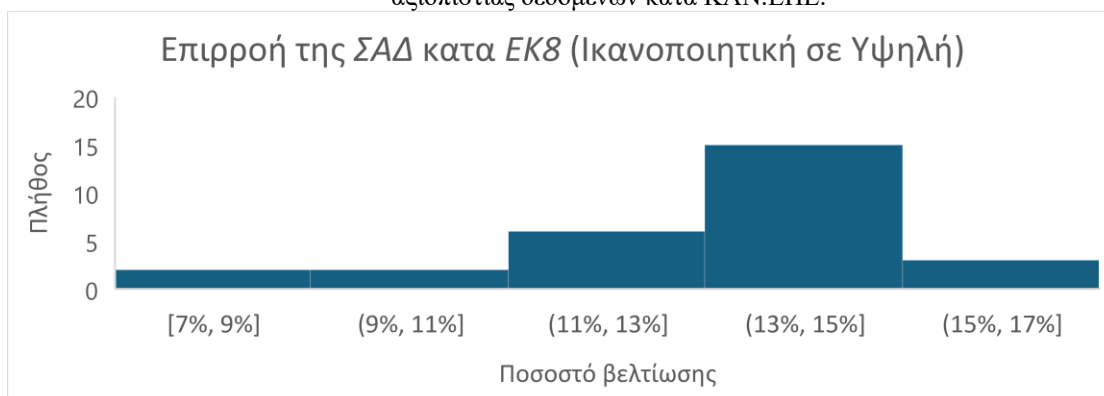
- Στον ΚΑΝΕΠΕ (§5.7.3.4) αναφέρεται ότι: η ισοδύναμη πλευρική δυσκαμψία υπολογίζεται στο σημείο που αντιστοιχεί στο 60% της τέμνουσας διαρροής της διγραμμικής καμπύλης. Για καλύτερη ακρίβεια, λοιπόν, απαιτείται μια μικρή επαναληπτική διαδικασία.
 - Ορίζεται ένα σημείο διακοπής της pushover
 - Υπολογίζεται 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.
 - Ορίζεται ένα σημείο διακοπής της pushover
 - Υπολογίζεται η δύναμη και η 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;

- ο ΝΑΙ, ΟΧΙ → κατάλληλη τροποποίηση.

Σχετικά με τους συντελεστές εκμετάλλευσης, που παρουσιάστηκαν στους πίνακες 6-9, 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 4) για κάποιες συγκεκριμένες περιπτώσεις. Εξετάστηκε η βελτίωση μεταξύ των προσομοιωμάτων Π1-Π3, Π2-Π4, Π5-Π7, Π6-Π7 και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με την μορφή ιστογράμματος στο Σχήμα 24. 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 25. 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. 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.



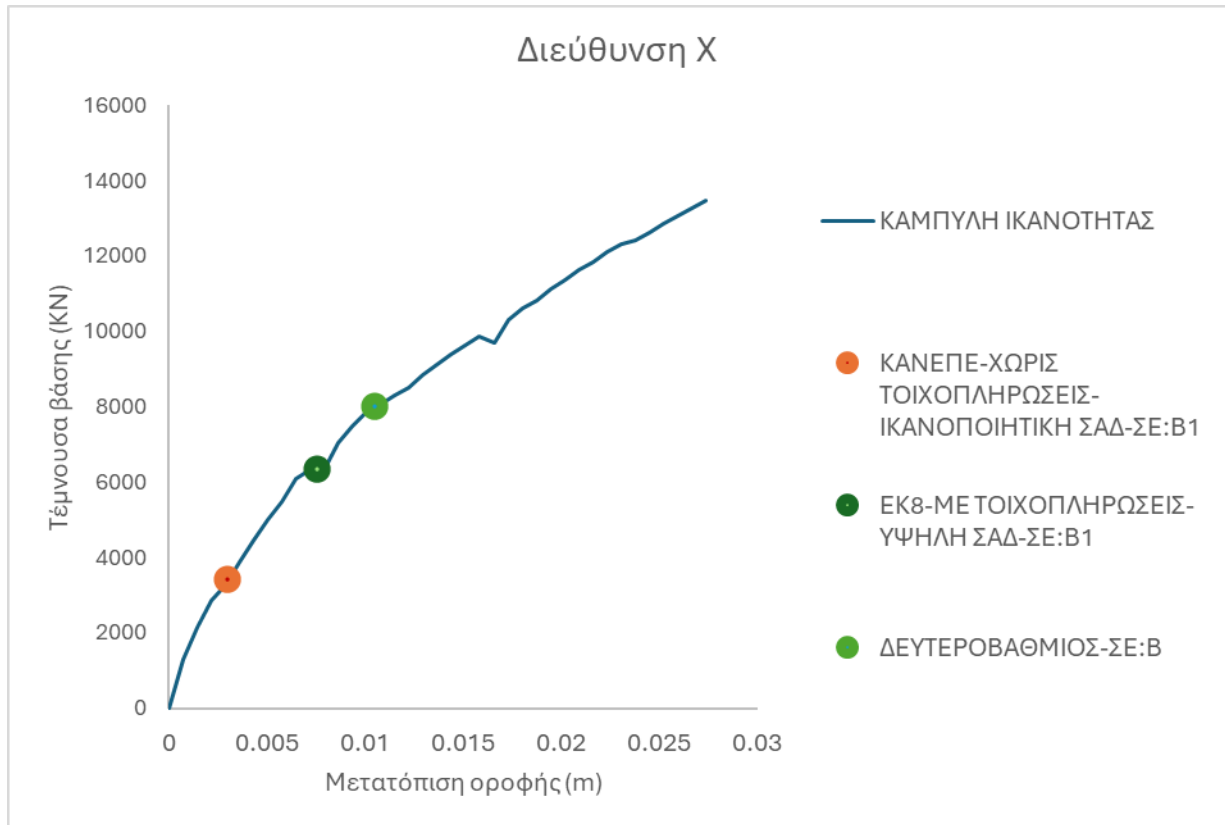
Σχήμα 24: Ιστόγραμμα με ποσοστά βελτίωσης συντελεστή αξιοποίησης μελών λόγω αλλαγής της στάθμης αξιοπιστίας δεδομένων κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.



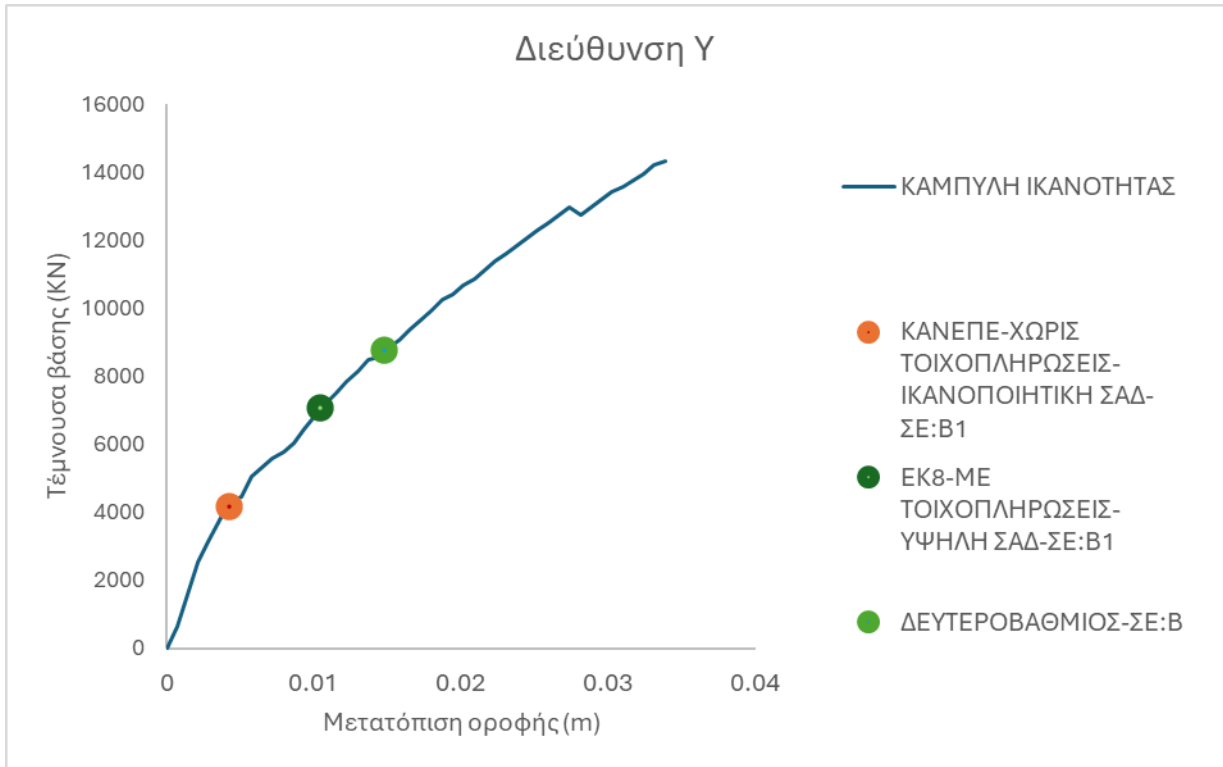
Σχήμα 25: Ιστόγραμμα με ποσοστά βελτίωσης συντελεστή αξιοποίησης μελών λόγω αλλαγής της στάθμης αξιοπιστίας δεδομένων κατά Ευρωκώδικα.

Τέλος, στο Σχήμα 26 και στο Σχήμα 27 απεικονίζεται σε ποιο σημείο της καμπύλης ικανότητας μπορεί να φτάσει η ανάλυση κάθε προσομοιώματος χωρίς να εμφανίζεται κάποια 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 βάσει 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 βάση, δεν υπάρχει δεδομένο για την στοχευόμενη μετακίνηση), καθώς μπορεί να είναι χρήσιμη πληροφορία για περαιτέρω διερεύνηση αποτελεσματικότητας δευτεροβάθμιου ελέγχου σε μεγαλύτερο δείγμα κατασκευών.



Σχήμα 26: 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 27 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

6. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο σημείο αυτό είναι ανάγκη να εξεταστεί σε ποιον παράγοντα οφείλεται η τεράστια διαφορά της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης για την οποία εμφανίζεται η πρώτη αστοχία της κατασκευής σε ΚΑΝ.ΕΠΕ. και ΕΚ8. Οπότε, διερευνήθηκε αν ο κύριος παράγοντας είναι οι διαφορές στις αντοχές των μελών, σύμφωνα με τον εκάστοτε κανονισμό, ή οι διαφορές στις εντάσεις για τις ίδιες στάθμες επιτελεστικότητας. Πρακτικά, στην στατική ανελαστική ανάλυση ο παράγοντας που καθορίζει την ένταση είναι η στοχευόμενη μετακίνηση [9], η μετακίνηση οροφής δηλαδή που αναμένεται να αναπτυχθεί. Και οι δύο κανονισμοί, λοιπόν, υπολογίζουν ίδια τάξη μεγέθους αντοχής μελών, αλλά στα κρίσιμα μέλη, όπως το W12, η ένταση υπολογίζεται πολύ διαφορετικά με τους 2 κανονισμούς. Ο λόγος είναι ο διαφορετικός τρόπος υπολογισμού της στοχευόμενης μετακίνησης. Και οι 2 κανονισμοί βασίζονται στον υπολογισμό της στοχευόμενης μετακίνησης για έναν μονοβάθμιο ταλαντωτή και με κάποιους διορθωτικούς συντελεστές προσπαθούν να προσεγγίσουν την στοχευόμενη μετακίνηση του πολυβάθμιου. Στον ΚΑΝ.ΕΠΕ, λοιπόν, η στοχευόμενη μετακίνηση προσαυξάνεται συναρτήσει των ορόφων της κατασκευής, ανεξαρτήτως άλλων υπολογισμών, ενώ στον Ευρωκώδικα 8, πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή συμμετοχής μάζας της 1^{ης} ιδιομορφής. Στην δεδομένη περίπτωση, επειδή υπάρχει επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών [10], ο συντελεστής συμμετοχής υπολογίστηκε μικρότερος της μονάδας, με αποτέλεσμα να απομειώνει την στοχευόμενη μετακίνηση του πολυβάθμιου συστήματος σε σχέση με το μονοβάθμιο και κατ'επέκταση να μειώνεται η ένταση των μελών, κάτι το οποίο δεν φαίνεται λογικό. Έτσι, λοιπόν, στην παρούσα περίπτωση η γραμμική δυναμική ανάλυση δίνει ασφαλέστερα αποτελέσματα συγκριτικά με την στατική ανελαστική, ειδικά για τον Ευρωκώδικα 8.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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 αποτελέσματα, 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.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Seismosoft [2023] "SeismoBuild 2023 – A computer program for seismic assessment and retrofitting of RC structures.," available from <https://seismosoft.com/>.
- [2] Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ), “Πρωτοβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος”, ΚΥΑ 7581/ΦΕΚ 405B/20-02-2014, 2014.
- [3] Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) “Δευτεροβάθμιος προσεισμικός έλεγχος κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα” 1η αναθεώρηση ΦΕΚ 3134/21-6-2022, 2022.
- [4] Αποστόλου Φ. “Σεισμική και οικονομική αποτίμηση σχολικού κτιρίου οπλισμένου σκυροδέματος του 2003 στα Γρεβενά”, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, 2023.
- [5] Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ). “Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) , 3η Αναθεώρηση”, 2022.
- [6] European Committee for Standardization (CEN). “Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 3: Strengthening and Repair of Buildings, EN 1998-3”, Brussels, 2004.
- [7] ΥΠΕΧΩΔΕ, “Συμπλήρωση της απόφασης έγκρισης του Ελληνικού Κανονισμού Ωπλισμένου Σκυροδέματος (ΕΚΩΣ) ΦΕΚ 447/B/ 05-03-2004”, 2004.
- [8] ΥΠΕΧΩΔΕ “Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΝΕΑΚ), ΦΕΚ 613/B/12-10-1992 & ΦΕΚ 534/B/20-6-95”, 1995.
- [9] Fajfar, P. and Gašperšič, P., ‘N2 - a method for non-linear seismic analysis for RC buildings’, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25, 23-67, 1996.
- [10] Fajfar, P., Marušić, D., & Peruš, I., Torsional effects in the pushover-based seismic analysis of buildings. Journal of earthquake engineering, 9(06), 831-854, 2005.

9. ΕΠΙΒΛΕΨΗ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να δώσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στον Αναπληρωτή καθηγητή του ΕΜΠ, Δημήτριο Βαμβάτσικο, για την επίβλεψη της διπλωματικής μου εργασίας, μέρος της οποίας αποτελεί το παρόν κείμενο.

