

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΑ ΚΑΝ.ΕΠΕ. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΥΠΟΥ PILOTIS ΤΟΥ 1975 ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΠΟΥ ΣΤΑΜΑΤΟΥΝ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΗΣ PILOTIS

ΖΩΧΙΟΥ ΛΑΜΠΡΙΝΗ

Προπτυχιακή Φοιτήτρια Πανεπιστημίου Πατρών, lazochiou@gmail.com

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται η αποτίμηση, κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. και Ευρωκώδικα 8, τριώροφης υφιστάμενης κατασκευής του 1975 τύπου pilotis, με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, σχεδιασμένης και μελετημένης με τον παλιό Κανονισμό του '59. Η αποτίμηση γίνεται μέσω στατικής ανελαστικής ανάλυσης (pushover), για στάθμη επιτελεστικότητας B, και για δύο εναλλακτικές περιπτώσεις του φέροντα οργανισμού. Στη συνέχεια πραγματοποιείται ενίσχυση των δύο φορέων με την πολύ συχνά εφαρμοζόμενη μέθοδο του «κλεισίματος της pilotis», της κατασκευής δηλαδή τοιχωμάτων που δεν επεκτείνονται καθ' ύψος αλλά σταματούν στο επίπεδο της pilotis. Στόχος είναι να εξεταστεί η αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου, βάσει της επιρροής της στο σύνολο της κατασκευής. Η αποτίμηση της κατασκευής και η εφαρμογή της ενίσχυσης έγιναν με τη χρήση του Λογισμικού FESPA.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μετά από κάποιο ισχυρό σεισμικό γεγονός, ή εξαιτίας άλλης καταστροφικής αιτίας, οι κατασκευές υφίστανται βλάβες, μικρής ή μεγαλύτερης έκτασης και σπουδαιότητας, σε συγκεκριμένα μέλη ή στο σύνολό τους. Ακόμη και αν δεν υπάρξουν εμφανείς βλάβες (ρηγματώσεις, καταρρεύσεις), η συνεχής συσσώρευση της έντασης κατά τη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής του έργου, οδηγεί στην ανάγκη εύρεσης της σεισμικής ικανότητας της κατασκευής προκειμένου αυτή να συνεχίσει να είναι ασφαλής και η απόδοσή της συμβατή με τα απαιτούμενα επιστημονικά και θεσμικά κριτήρια. Η ανάγκη αυτή γίνεται πιο επιτακτική αν ληφθεί υπόψη πως ένας μεγάλος αριθμός κατασκευών στην Ελλάδα χρονολογείται προ του 1985, οπότε και συμπληρώθηκαν πρόσθετες ειδικές διατάξεις προς την πλευρά της ασφάλειας, στον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό.

Σε αυτήν την κατεύθυνση έγινε η σύνταξη του Κανονισμού Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) που αποτελεί ένα αυτοτελές και πλήρες κείμενο Κανονισμών, με τη μορφή Εθνικού Προσαρτήματος του Ευρωκώδικα 8.3 και σε απόλυτη αρμονία με αυτόν. Ο κανονισμός είναι σε θεσμοθετημένη ισχύ από το 2012 και έχει υποστεί δύο Αναθεωρήσεις, με την τελευταία το 2017. Μέσω του ΚΑΝ.ΕΠΕ. δίνονται αναλυτικά οι διαδικασίες και τα κριτήρια για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας υφιστάμενων κατασκευών, οι κανόνες εφαρμογής για τον αντισεισμικό σχεδιασμό και ενδεχομένες επισκευές ή ενισχύσεις, προκειμένου να συνεχιστεί η εύρυθμη και ασφαλής λειτουργία τους.

Κατά την αποτίμηση, ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. ορίζει κάποια ελάχιστα επίπεδα επίτευξης στόχων συμπεριφοράς, τις *Στάθμες Επιτελεστικότητας*, οι οποίες διαφοροποιούνται βάσει του βαθμού βλάβης της κατασκευής για τη σεισμική δράση σχεδιασμού. Οι στάθμες είναι τρεις και η περιγραφή τους όπως δίνεται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (§ 2.2.2. [2]) είναι η παρακάτω:

- «Περιορισμένες βλάβες» (A) : Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί μόνο ελαφριές βλάβες με τα δομικά στοιχεία να μην έχουν διαρρεύσει σε σημαντικό βαθμό και να διατηρούν την αντοχή και τη δυσκαμψία τους. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι αμελητέες.
- «Σημαντικές βλάβες» (B) : Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί σημαντικές και εκτεταμένες αλλά επισκευάσιμες βλάβες, ενώ τα δομικά στοιχεία διαθέτουν εναπομένουσα αντοχή και δυσκαμψία και είναι σε θέση να παραλάβουν τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι

μετρίου μεγέθους. Ο φέρων οργανισμός μπορεί να αντέξει μετασεισμικούς μέτριας έντασης.

- «Οιωνεί κατάρρευση» (Γ) : Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί εκτεταμένες και σοβαρές ή βαριές (μη επισκευάσιμες κατά πλειονότητα) βλάβες. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μεγάλες. Ο φέρων οργανισμός έχει ακόμη την ικανότητα να φέρει τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία (κατά, και για ένα διάστημα μετά το σεισμό), χωρίς πάντως να διαθέτει άλλο ουσιαστικό περιθώριο ασφαλείας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης, ακόμη και για μετασεισμικούς μέτριας έντασης.

Ανάλογα με την κατηγορία σπουδαιότητας της κατασκευής και άλλα κριτήρια όπως το κόστος, η διαθέσιμη ποιότητα εργασίας και υλικών, το διαθέσιμο χρονικό διάστημα διακοπής της λειτουργίας, η δυνατότητα επέμβασης λόγω της αρχιτεκτονικής του κτιρίου κλπ, καθορίζεται ως ελάχιστος στόχος το κατάλληλο επίπεδο επιτελεστικότητας, ή συνδυασμός των επιμέρους βαθμίδων των επιπέδων.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά οι στάθμες επιτελεστικότητας σε συναρτηση με την πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των συνήθων κατασκευών, τα 50 έτη.

Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών	Στάθμη Επιτελεστικότητας Φέροντος Οργανισμού		
	Άμεση Χρήση μετά το Σεισμό	Προστασία Ζωής	Αποφυγή Οιωνεί Κατάρρευσης
10%	A1	B1	Γ1
50%	A2	B2	Γ2

Εικόνα 1: Στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού. [2]

Κρίνεται σκόπιμη η υιοθέτηση στόχου αποτίμησης ή ανασχεδιασμού με πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης 10% στα 50 έτη, καθώς οδηγεί γενικά σε πιο έντονες βλάβες, έναντι ενός αντίστοιχου στόχου με πιθανότητα υπέρβασης 50% που όμως εμφανίζεται πιο συχνά. Στην Ελλάδα, ελάχιστος αποδεκτός στόχος, όπως προσδιορίζεται στο **Παράρτημα 2.1 του ΚΑΝ.ΕΠΕ**. [2], για Κατηγορία Σπουδαιότητας II όπως είναι η υπό μελέτη κατασκευή, είναι η στάθμη Γ1. Πρέπει όμως να τονιστεί ότι ο ΕΑΚ2000 [6] προτείνει στόχο σχεδιασμού B1 «Προστασία Ζωής», για πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης 10% εντός 50 ετών, οπότε για αυτή τη στάθμη επιτελεστικότητας θα γίνει η παρούσα μελέτη.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ένας πολύ συνηθισμένος τύπος κτιρίων είναι τα κτίρια τύπου pilotis, που χαρακτηρίζονται από έλλειψη τοιχοπλήρωσης στο επίπεδο του ισόγειου, και πολύ συχνά επιλέγονται προκειμένου να εξασφαλίζεται χώρος στάθμευσης οχημάτων, ή δημιουργία καταστήματος στο ισόγειο. Η pilotis διατυπώθηκε και υλοποιήθηκε στη συνηθισμένη μορφή της, για πρώτη φορά από τον αρχιτέκτονα Le Corbusier στη Villa Savoye το 1929, και συνδέεται με το αρχιτεκτονικό κίνημα του μοντερνισμού, αλλά και την έλευση στην καθημερινότητα των ιδιωτικών αυτοκινήτων, και κατ'επέκταση την ανάγκη για εξασφάλιση χώρου στάθμευσης.

Αυτή η διάταξη στις κατασκευές μπορεί να παρουσιάσει ιδιαίτερα προβληματική συμπεριφορά σε κάποιο σεισμικό γεγονός, καθώς η υπόλοιπη κατασκευή εκτός του ισόγειου συμπεριφέρεται σαν στερεό σώμα, λόγω των τοιχοπληρώσεων, και μόνο στο ισόγειο

συγκεντρώνονται οι πλευρικές μετακινήσεις. Έτσι μια τέτοια κατασκευή είναι πολύ πιο επιρρεπής σε πρώιμη αστοχία βασικών φερόντων στοιχείων και κατά συνέπεια σε δημιουργία μαλακού ορόφου στο επίπεδο της pilotis και κατάρρευση. Το πρόβλημα γίνεται ακόμα πιο κρίσιμο για κατασκευές σχεδιασμένες με Κανονισμούς προ του '85, χωρίς τις πρόσθετες αντισεισμικές διατάξεις.

Η αυξημένη τρωτότητα κτιρίων τύπου pilotis οφείλεται στην ανομοιόμορφη κατανομή των τοιχοπληρώσεων μεταξύ ισογείου και ορόφου. Η ύπαρξη της τοιχοπλήρωσης γενικά συνεισφέρει σημαντικά στη διατηρητική αντοχή του ορόφου, καθώς εμποδίζει την ανάπτυξη ανελαστικών παραμορφώσεων στο περιμετρικό πλαίσιο. Ως αποτέλεσμα, όλες οι παραμορφώσεις που αναπτύσσει η κατασκευή συγκεντρώνονται στον μη τοιχοπληρωμένο ορόφο (pilotis), που είναι και ο πιο εύκαμπτος όλων. Προκαλείται λοιπόν μηχανισμός πλαστικών αρθρώσεων στην κορυφή και τη βάση όλων των υποστυλωμάτων της pilotis και συγκέντρωση εκεί όλων των μετακινήσεων της κατασκευής που οδηγεί σε δημιουργία μηχανισμού μαλακού ορόφου και μερική ή ολική κατάρρευση.



1971-San Fernando (CA)



1994-Northridge (CA)



1999 - Taiwan

Εικόνα 2: Κατάρρευση κατασκευής τύπου pilotis λόγω δημιουργίας μαλακού ορόφου
(Πηγή φωτογραφιών: Διαδίκτυο)

Στόχος της παρούσας εργασίας, είναι αρχικά η αποτίμηση κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. της στατικής επάρκειας τριώροφης υφιστάμενης κατασκευής τύπου pilotis του 1975, που έχει μελετηθεί με τον παλιό αντισεισμικό κανονισμό του '59. Επιπρόσθετα, η εξέταση της καταλληλότητας και αποτελεσματικότητας της ευρέως εφαρμοζόμενης τεχνικής εν είδει ενίσχυσης του στατικού συστήματος, η οποία συνίσταται στην κατασκευή τοιχωμάτων που σταματούν στο επίπεδο της pilotis και χαρακτηρίζεται και ως «κλείσιμο της pilotis».

Για λόγους πληρότητας και σύγκρισης αποτελεσμάτων, θα εξεταστούν δύο εναλλακτικά στατικά συστήματα, ένας πλαισιακός φορέας με υποστυλώματα, και ένας τοιχωματικός. Πραγματοποιείται, με τη βοήθεια του προγράμματος FESPA ανελαστική στατική ανάλυση (pushover), καθώς κρίνεται περισσότερο αποτελεσματική έναντι της αντίστοιχης ελαστικής. Και στις δύο περιπτώσεις φορέων έχει ληφθεί υπόψη η επιρροή των τοιχοπληρώσεων.

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Το πρώτο και πολύ σημαντικό στάδιο κατά την αποτίμηση υφιστάμενης κατασκευής, είναι η διερεύνηση και τεκμηρίωση της υπάρχουσας κατάστασης. Πρέπει να γίνει πλήρης και ακριβής αποτύπωση του ξυλοτύπου και της θεμελίωσης, προσδιορισμός της εναπομένουσας αντοχής των υλικών αλλά και δυσκαμψίας και πλαστιμότητας των στοιχείων μέσα από επί τόπου μετρήσεις. Ακόμη, να καθοριστούν λεπτομερώς οι δράσεις ανασχεδιασμού. Η εν λόγω διαδικασία μπορεί να είναι σε πολλές περιπτώσεις δύσκολη και χρονοβόρα, αλλά είναι ιδιαίτερα κρίσιμη, αφού ανάλογα με τη δυνατότητα πρόσβασης στην κατασκευή, ελέγχου και επάρκειας των πληροφοριών, καθορίζονται οι *Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων* (ΣΑΔ) (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §3.6.2. [2]). Βάσει αυτών λαμβάνονται οι συντελεστές ασφαλείας που θα συμπεριληφθούν στην ανάλυση για υλικά και φορτία.

Το υπό μελέτη κτίριο είναι μία τριώροφη κατασκευή τύπου pilotis του 1975. Έχει μελετηθεί με τον Κανονισμό Σκυροδέματος του '54 και τον Αντισεισμικό Κανονισμό του '59. Βρίσκεται σε περιοχή Σεισμικότητας II, με σεισμική επιτάχυνση 0.24g, και σχεδιάστηκε με σεισμικό συντελεστή $\epsilon=0.08$.

Το έδαφος είναι άμμος αρκετά συνεκτική, με δείκτη εδάφους $K_s=9000 \text{ tn/m}^2/\text{m}$ και επιτρεπόμενη φέρουσα τάση $\sigma_{\epsilon\pi}=15 \text{ tn/m}$. Πρόκειται για κτίριο συνήθους Κατηγορίας Σπουδαιότητας (Σπουδαιότητα II) και η Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων θεωρείται Ικανοποιητική.

Έχει ύψος ορόφου 3m, και πάχος πλάκας σκυροδέματος $h=0.15\text{m}$. Υπάρχει κλιμακοστάσιο το οποίο έχει προσομοιωθεί κατάλληλα στο πρόγραμμα, μέσω πλάκας σκάλας με ισοδύναμο πάχος $h=0.2\text{m}$. Το πρόγραμμα συνδέει την πλάκα-σκάλα με τις δοκούς που βρίσκονται στις μικρότερες πλευρές της αποσυνδέοντάς την ταυτόχρονα από τις υπόλοιπες (LH Λογισμική [9]).

Ο έλεγχος θα γίνει για Στάθμη Επιτελεστικότητας Β «Προστασία Ζωής» και πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης 10% στα 50 έτη.

Αντοχή Υλικών

Η ποιότητα σκυροδέματος είναι B225, με χαρακτηριστική αντοχή $f_{ck}=16 \text{ MPa}$

Η ποιότητα χάλυβα είναι StIII για τον χάλυβα οπλισμού διαμήκων μελών και πλακών, και StI για το χάλυβα των συνδετήρων.

Φορτία

Επί των πλακών υπάρχει φορτίο επίστρωσης ίσο με 1 kN/m^2 . Τα κινητά ωφέλιμα φορτία είναι 2 kN/m^2 για τις πλάκες γενικώς (κατοικία), 5 kN/m^2 για τους προβόλους, και 3.5 kN/m^2 για την πλάκα της σκάλας όπως αυτή προσομοιώθηκε, όμοια για όλους τους ορόφους.

Περιμετρικά σε κάθε όροφο, και γύρω από το κλιμακοστάσιο, υπάρχει μπατική τοιχοποιία με φαινόμενο βάρος 3.5 kN/m^2 και στα υπόλοιπα εσωτερικά ανοίγματα δρομική τοιχοποιία με φαινόμενο βάρος 2 kN/m^2 . Θεωρήθηκε απομείωση κατά 50% και 35% σε όλα τα φαινόμενα βάρη αντίστοιχα, προκειμένου να ληφθεί υπόψη η παρουσία ανοιγμάτων στις τοιχοπληρώσεις.

Επί των περιμετρικών δοκών της οροφής υπάρχει μπατική τοιχοποιία ύψους 1m.

Οπλισμοί

ΔΟΚΟΙ

Όμοια και για τους δύο φορείς

Όλες οι δοκοί έχουν διαστάσεις 20/50, αλλά ο οπλισμός τους διαφοροποιείται ανάλογα με το μήκος του ανοίγματος που γεφυρώνουν.

Συγκεκριμένα, οι Δ1.1, Δ2.1, Δ3.1, Δ4.1, Δ5.3, Δ6.3, Δ7.2 οπλίζονται στο κάτω πέλμα με 4Φ16 στα ανοίγματα από τα οποία τα 2Φ16 κάμπτονται στις στηρίξεις προς το άνω πέλμα και τα άλλα 2Φ16 συνεχίζουν ευθύγραμμα προς το κάτω πέλμα της διατομής στήριξης.

Οι υπόλοιπες δοκοί οπλίζονται κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο αλλά με διάμετρο ράβδου Φ14.

Στο πάνω πέλμα όλων των δοκών υπάρχει οπλισμός 2Φ8, που ονομάζεται «μοντάζ» και δεν συμμετέχει στην ανάληψη ροπής στις παρειές στήριξης, λόγω μη επαρκούς αγκύρωσης του.

Οι συνδετήρες είναι ορθογωνικοί Φ8/25 όμοιοι σε όλες τις δοκούς.

ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Πλαισιακός φορέας με Υποστυλώματα

Τα υποστυλώματα διατομής 30/30 έχουν οπλισμό 4Φ16 στις γωνίες τους και συνδετήρες 2τμΣΦ8/20.

Τα υποστυλώματα διατομής 50/30 έχουν οπλισμό 6Φ16 και συνδετήρες 3τμΣΦ8/20.

Φορέας με Υποστυλώματα και Τοιχώματα

Τα υποστυλώματα διατομής 30/30 έχουν οπλισμό 4Φ16 στις γωνίες τους και συνδετήρες 2τμΣΦ8/20.

Τα τοιχώματα διατομής 120/25 έχουν οπλισμό 5Φ18 σε κάθε άκρο, και 3Φ10 σε κάθε μεγάλη πλευρά. Συνολικά 10Φ18 και 6Φ10 και συνδετήρες ΣΦ8/200.

ΠΛΑΚΕΣ

Όμοια και για τους δύο φορείς

Οι πλάκες είναι οπλισμένες σε δύο διευθύνσεις με Φ8/20, εκτός από την πλάκα προσομοίωσης σκάλας που οπλίστηκε από το πρόγραμμα με Φ8/130. Ωστόσο οι πλάκες δεν ελέγχονται ούτε συμμετέχουν στην ανάλυση, καθώς δεν αναλαμβάνουν σεισμικά φορτία. Λαμβάνεται απλά υπόψη η διαφραγματική λειτουργία τους.

Η επικάλυψη όλων των οπλισμών έχει θεωρηθεί ίση με 15mm.

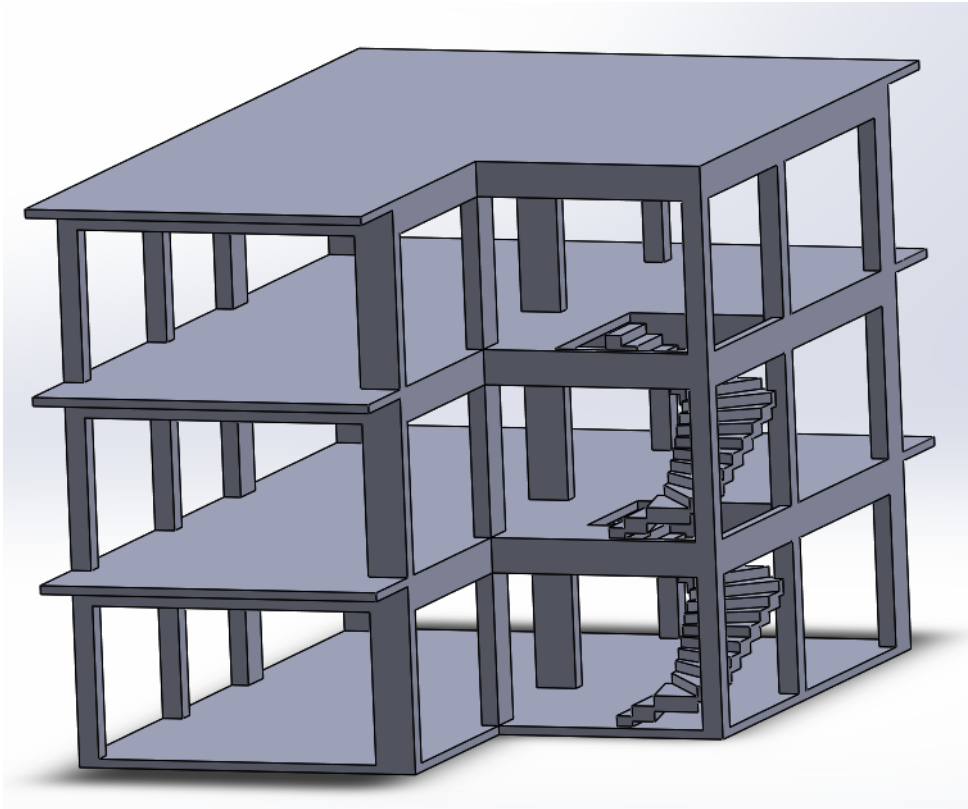
Γίνεται η θεώρηση ότι δεν έχει γίνει επαρκής αγκύρωση των οπλισμών, και ότι δεν συμπεριλαμβάνεται η επιρροή της περίσφιγξης στον υπολογισμό της αντοχής των μελών.

Θεμελίωση

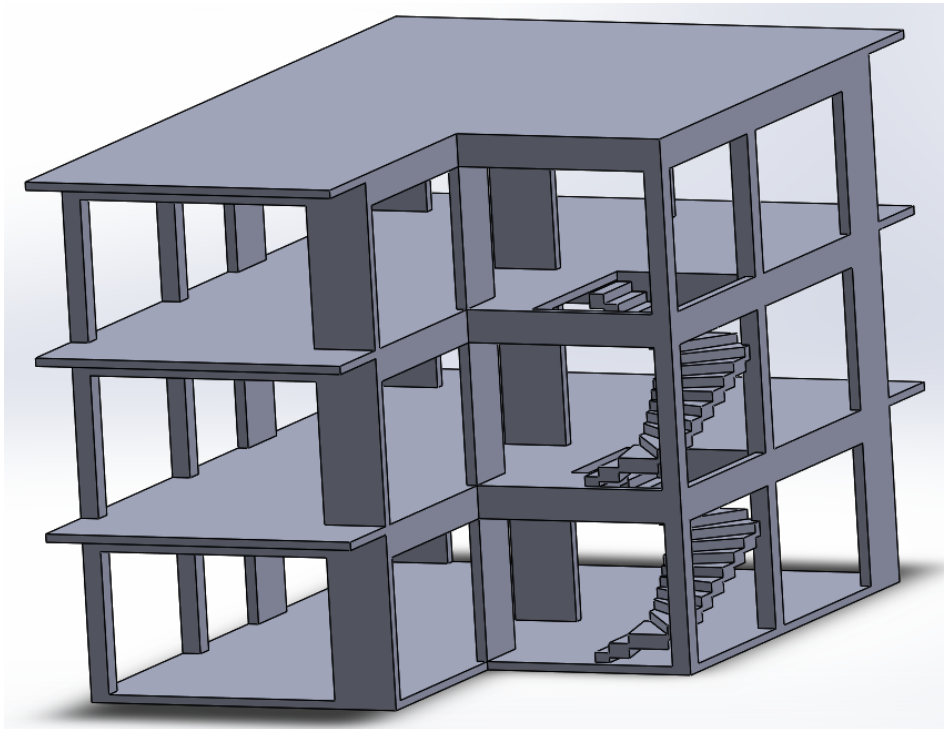
Όμοια και για τους δύο φορείς

Στο επίπεδο της θεμελίωσης έχει γίνει η παραδοχή πλήρους πάκτωσης των κόμβων στήριξης των υποστυλωμάτων.

Παρουσιάζεται στη συνέχεια τρισδιάστατη απεικόνιση του φορέα, με τα δύο εναλλακτικά στατικά συστήματα:

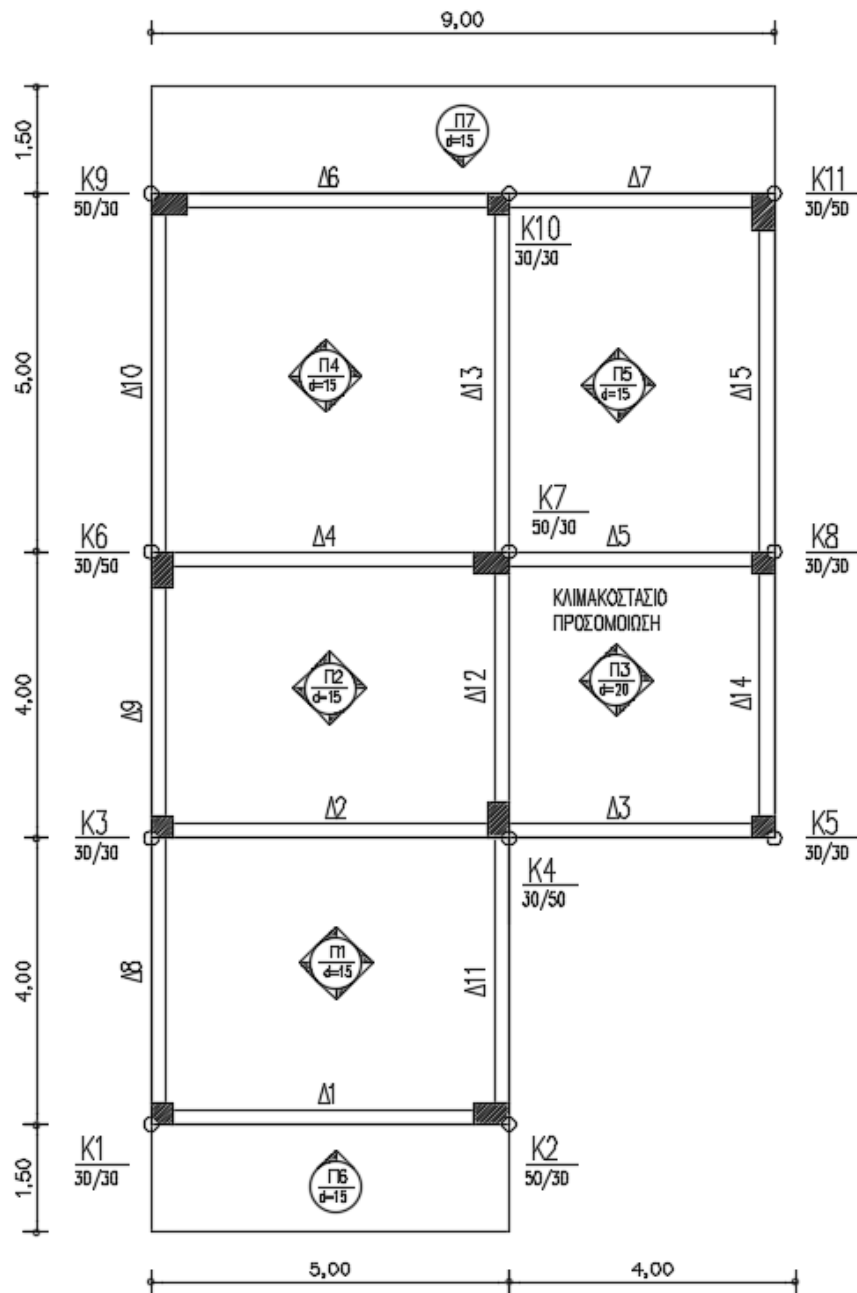


Εικόνα 3: Τρισδιάστατη απεικόνιση του εύκαμπτου φορέα

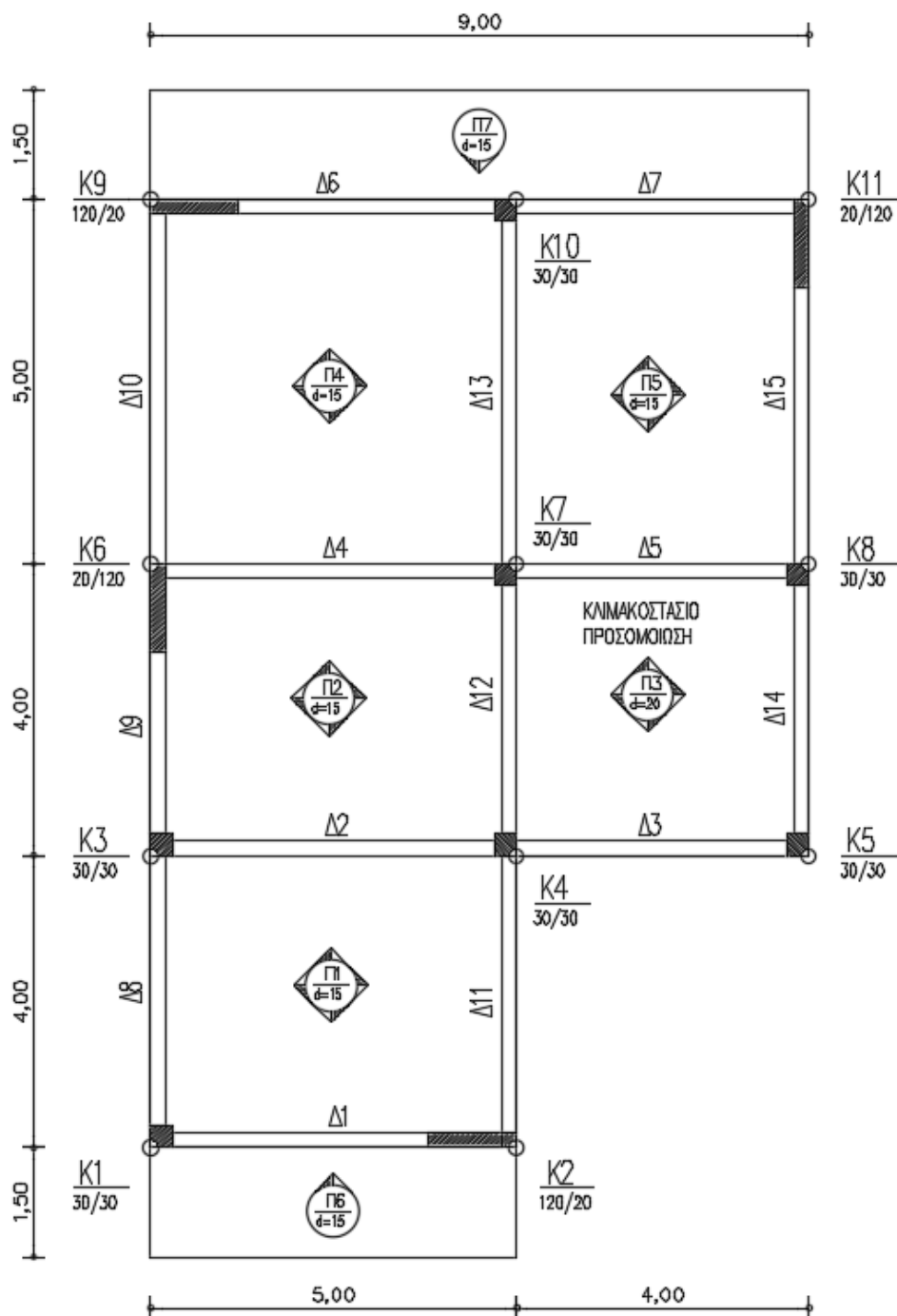


Εικόνα 4: Τρισδιάστατη απεικόνιση του τοιχωματικού φορέα

Δίνονται οι κατόψεις τυπικού ορόφου για τους δύο εναλλακτικούς φορείς, τον εύκαμπτο με υποστυλώματα και τον τοιχωματικό.



Σχήμα 1: Κάτοψη τυπικού ορόφου του εύκαμπτου φορέα



Σχήμα 2: Κάτοψη τυπικού ορόφου του τοιχωματικού φορέα

4. ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (PUSHOVER)

4.1. ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Προκειμένου να είναι αξιόπιστα τα αποτελέσματα της στατικής ανελαστικής ανάλυσης χωρίς να χρειάζεται να συνοδεύονται από συμπληρωματική δυναμική ελαστική ανάλυση, πρέπει να τηρούνται οι εξής προϋποθέσεις (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.7.2. [2]) :

- Πρέπει να διασφαλίζεται τουλάχιστον «Ικανοποιητική» ΣΑΔ
- Πρέπει η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών να μην είναι σημαντική

Για τον υπό μελέτη φορέα, ικανοποιούνται και οι δύο προϋποθέσεις.

4.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ PUSHOVER

Η ανελαστική στατική ανάλυση pushover είναι γνωστή και ως μέθοδος ελέγχου των μετακινήσεων. Κύριος στόχος της είναι η εκτίμηση του μεγέθους των ανελαστικών παραμορφώσεων που θα αναπτυχθούν στα δομικά στοιχεία όταν το κτίριο υπόκειται στη σεισμική δράση για την οποία γίνεται η αποτίμηση ή ο ανασχεδιασμός (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.7.1.1 [2]).

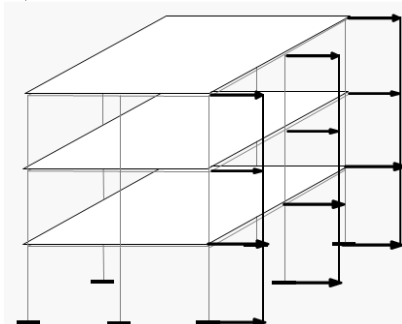
Όλοι οι σύγχρονοι κανονισμοί, ο Ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) ο Ευρωκώδικας 8, ο Αμερικανικός Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών (ASCE), προτείνουν ότι η εναπομείνουσα πλαστιμότητα μιας κατασκευής θα πρέπει να προσδιορίζεται μέσω μιας ανελαστικής στατικής ανάλυσης Pushover. Το πλεονέκτημα που την κάνει να υπερτερεί έναντι των ελαστικών στατικών αναλύσεων είναι το γεγονός ότι το προσομοίωμα μπορεί να συνεκτιμήσει και την ανελαστική συμπεριφορά των υλικών, χωρίς να περιοριστεί μόνο στην ελαστική. Λαμβάνονται υπόψη με άμεσο τρόπο τα μη-γραμμικά χαρακτηριστικά του νόμου δύναμης-παραμόρφωσης των δομικών στοιχείων, και εκτός από τις τιμές των ανελαστικών παραμορφώσεων, εξάγονται και οι τιμές των δυνάμεων στα στοιχεία που έχουν περάσει στη μετελαστική περιοχή της απόκρισής τους. Αποτελεί λοιπόν μια ρεαλιστικότερη εξιδανίκευση της κατάστασης ενός φορέα, η οποία, με τη ραγδαία και συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας, των υπολογιστών και των αλγορίθμων επίλυσης, όχι μόνο είναι πλέον εφικτή και υλοποιήσιμη αλλά βελτιώνεται και αναβαθμίζεται όλο και περισσότερο.

Πρόκειται ουσιαστικά για μία πλευρική ώθηση από οριζόντια φορτία κατανομημένα κατά τρόπο ανάλογο προς τις αδρανειακές δυνάμεις του σεισμού, που εφαρμόζονται στη στάθμη κάθε διαφράγματος, και θα αυξάνονται, μέχρις ότου κάποιο δομικό στοιχείο δεν είναι σε θέση να φέρει τα κατακόρυφα φορτία του. Αυτό επιτυγχάνεται στο συγκεκριμένο λογισμικό με την εισαγωγή των πλαστικών αρθρώσεων στην αρχή και το τέλος των στοιχείων δηλαδή τα σημεία του φορέα όπου αναπτύσσονται οι μέγιστες καμπτικές ροπές κατά τη σεισμική φόρτιση.

Απαιτούνται δύο τουλάχιστον διαφορετικές καθ' ύψος κατανομές φορτίων, προκειμένου να λαμβάνεται κατά το δυνατόν υπόψη, η μεταβολή του τρόπου κατανομής των φορτίων λόγω της μετελαστικής συμπεριφοράς και λόγω της επιρροής των ανώτερων ιδιομορφών. Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν δύο κατανομές, η Ομοιόμορφη και η Ιδιομορφική, όπως προβλέπονται στον EC 8-1 [4].

Ομοιόμορφη

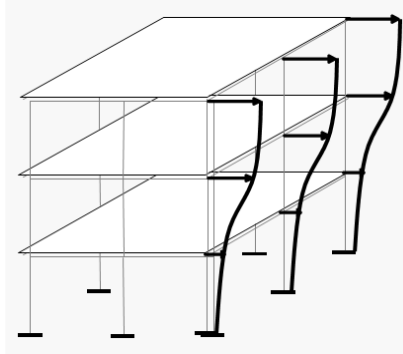
Βασίζεται σε οριζόντια φορτία ανάλογα ως προς τη μάζα κάθε ορόφου ανεξάρτητα από τη στάθμη του (LH Λογισμική [10]).



Εικόνα 5: Ομοιόμορφη κατανομή οριζοντίων φορτίων (LH Λογισμική [10])

Ιδιομορφική

Βασίζεται στο σχήμα της ιδιομορφής της κατασκευής που αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο ποσοστό ιδιομορφικής μάζας όπως αυτή προέκυψε από ελαστική ιδιομορφική ανάλυση (LH Λογισμική [10]).

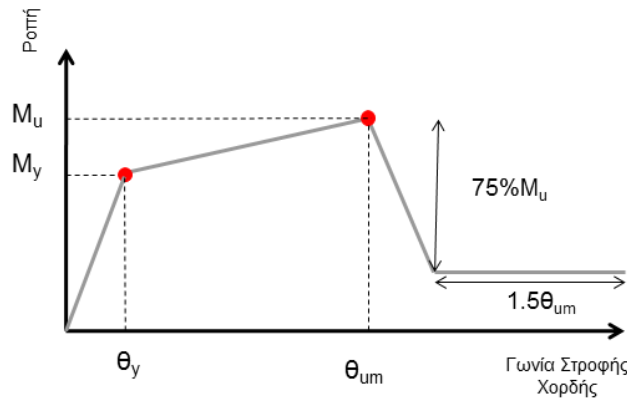


Εικόνα 6: Ιδιομορφική κατανομή οριζοντίων φορτίων (LH Λογισμική [10])

Μετά το πέρας της Pushover συντάσσεται η καμπύλη αντίστασης της κατασκευής, σε όρους τέμνουσας βάσης – μετακίνησης του χαρακτηριστικού σημείου. Το σημείο αυτό λέγεται κόμβος ελέγχου του κτιρίου, και επιλέγεται να είναι το κέντρο μάζας της οροφής (KAN.ΕΠΕ. §5.7.3.2 [2]). Βάσει της καμπύλης αυτής γίνονται όλοι οι έλεγχοι επιτελεσματικότητας (KAN.ΕΠΕ. §9.3.1 [2]), προσδιορίζεται ο λόγος υπεραντοχής α_u/α_1 , και δίνεται πλήρης εποπτεία της κατανομής των βλαβών, της δημιουργίας πλαστικών αρθρώσεων και της σειράς αστοχίας των μελών, μέσω και των λόγων επάρκειάς τους, ώστε να μπορεί να επιλεγεί ο καταλληλότερος τρόπος επέμβασης. (LH Λογισμική, 2013 [10]).

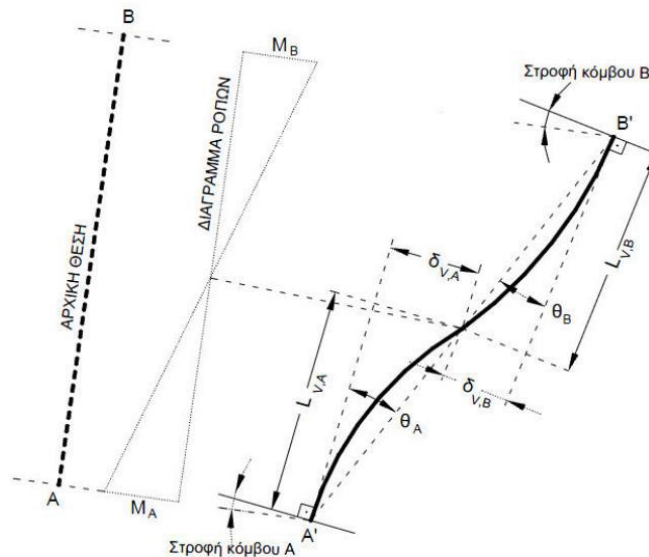
4.3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΡΘΡΩΣΕΩΝ

Η ανελαστική στατική ανάλυση βασίζεται πλήρως στην εμφάνιση των πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα των μελών της κατασκευής. Η ανελαστικότητα προκύπτει με τη συσχέτιση των γενικευμένων μεγεθών δύναμης F (δύναμη ή ροπή) με τις αντίστοιχες παραμορφώσεις δ (μετατοπίσεις ή στροφές). Στην περίπτωση καμπτόμενων μελών το ρόλο του F παίζει η ροπή M ενώ του δ η γωνία στροφής χορδής θ , ενώ στην περίπτωση αξονικής καταπόνησης ενεργοποιούνται οι άλλοι δύο όροι αντίστοιχα. (LH Λογισμική, 2013 [10]) Το χαρακτηριστικό διάγραμμα ροπής-στροφής χορδής βάσει του οποίου δίνονται τα αποτελέσματα του FESPA παρουσιάζεται παρακάτω.



Σχήμα 3: Γενική μορφή διαγράμματος M- θ καμπτόμενων μελών (LH Λογισμική [10])

Για κάθε γραμμικό μέλος απαιτείται ένα πλήθος τέτοιων διαγραμμάτων, ανάλογα με το αξονικό φορτίο αλλά και την παρουσία ροπής στον άλλο άξονα του μέλους. Η γωνία στροφής χορδής από την οποία εξαρτάται η καμπτική ροπή ορίζεται από την εφαπτόμενη στο εν λόγω άκρο του μέλους και τη χορδή που ενώνει τα δύο άκρα όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα (Σχ 4). Στο FESPA οι ιδιότητες πλαστικών αρθρώσεων υπολογίζονται αυτόματα, μετά την εισαγωγή των πραγματικών υλικών και οπλισμών δοκών και υποστυλωμάτων στο εξιδανίκευμα.



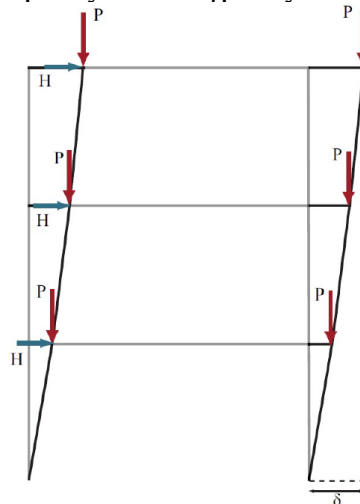
Σχήμα 4: Γωνίες στροφής χορδής στους κόμβους γραμμικού μέλους (LH Λογισμική [10])

4.4. ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ 2^{ας} ΤΑΞΗΣ (P-Δ EFFECT)

Ιδιαίτερα σημαντικά σε μια ανάλυση Pushover για αξιόπιστα και ρεαλιστικά αποτελέσματα είναι τα φαινόμενα 2^{ας} τάξεως, γνωστά και ως φαινόμενα P – Δ, που λαμβάνουν υπόψη τη γεωμετρική μη γραμμικότητα της κατασκευής. Λόγω των μεγάλων ανελαστικών παραμορφώσεων που αναπτύσσονται, είναι ορθότερο να εκτελείται η ισορροπία ροπών όχι στον απαραμόρφωτο φορέα, αλλά στον παραμορφωμένο. Τα φαινόμενα P – Δ είναι πιο σημαντικά όσο μειώνεται η δυσκαμψία και όσο αυξάνονται οι όροφοι μιας κατασκευής.

Τα φαινόμενα αυτά λαμβάνουν υπόψη τη γεωμετρική μη γραμμικότητα της κατασκευής, και τις πρόσθετες ροπές που παράγουν τα κατακόρυφα φορτία εξαιτίας της συνεχούς αλλαγής θέσης των κόμβων κατά τη φόρτιση. Η πρόσθετη ένταση έχει πρακτικά τη μορφή «ροπής αποσταθεροποίησης», η οποία είναι ισοδύναμη με τη βαρυντική δύναμη πολλαπλασιασμένη με την οριζόντια μετακίνηση της κατασκευής αν αυτή φορτιστεί πλευρικά. Επιφέρει μείωση στην πλευρική δυσκαμψία, εξασθένιση της φέρουσας ικανότητας της βάσης σε συνολική τέμνουσα δύναμη και σε ροπή ανατροπής, αλλά και αλλαγή στην κατανομή της αξονικής στη βάση της κατασκευής, ιδίως όσο αυξάνεται το ύψος της.

Στην παρούσα ανάλυση, τα φαινόμενα P – Δ λήφθηκαν υπόψη, μέσω της κατάλληλης επιλογής του FESPA, ενέργεια που υπαγορεύεται και από τον Κανονισμό (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.4.7 [2]). Σε κάθε βήμα της Pushover μορφώνεται εκ νέου το μητρώο δυσκαμψίας της κατασκευής με βάση τις ανανεωμένες συντεταγμένες των κόμβων της.



Σχήμα 5: Φαινόμενα P-Δ σε επίπεδο πλαίσιο (LH Λογισμική [10])

4.5. ΛΟΓΟΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΜΕΛΩΝ

Ο λόγος ανεπάρκειας (ή δείκτης ανεπάρκειας) κάθε μέλους, $\lambda = SE/R_m$, μας δίνει μια εικόνα για το μέγεθος και την ανελαστική συμπεριφορά των πρωτεύοντων στοιχείων που αναλαμβάνουν τις σεισμικές δράσεις.

SE είναι το εντατικό μέγεθος (ροπή) λόγω των δράσεων του σεισμικού συνδυασμού (KAN.ΕΠΕ. §4.4.2 [2])

R_m είναι η αντίστοιχη διαθέσιμη αντίσταση του στοιχείου με βάση τις μέσες αντοχές των υλικών (KAN.ΕΠΕ. §5.1.4 [2])

Οι λόγοι λ υπολογίζονται, τόσο για την αποτίμηση όσο και για τον ανασχεδιασμό, σε κάθε πρωτεύον φέρον στοιχείο. Κρίσιμος λόγος λ για έναν όροφο, θα θεωρείται ο μεγαλύτερος λόγος που προκύπτει από τα επιμέρους φέροντα στοιχεία.

Για την επίτευξη των στόχων της μελέτης απαιτείται $\lambda_{\max} < 1$ στα φέροντα στοιχεία.

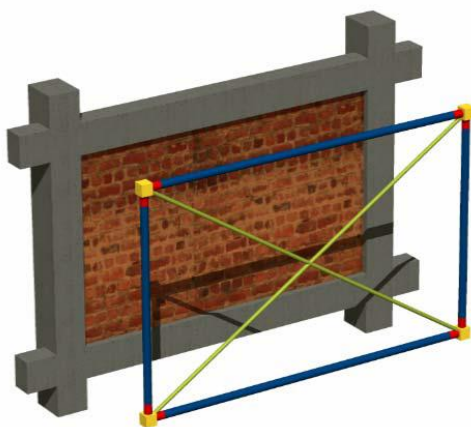
Για τις τοιχοπληρώσεις που δεν αποτελούν φέροντα στοιχεία, τυχόν υπέρβαση της επιτελεσματικότητας δεν ισοδυναμεί με σφάλμα. Ωστόσο, αναμένονται βλάβες σε αυτές, και μπορεί σε πολλές περιπτώσεις να προβλέπεται και ενίσχυσή τους έτσι ώστε οι επαναλαμβανόμενες βλάβες τους να μην προκαλέσουν συνολική βλάβη στο κτίριο.

4.6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η παρουσία των τοιχοπληρώσεων γενικά δρα θετικά σε έναν πλαισιακό φορέα, αυξάνοντας τη διατμητική αντοχή και τη δυσκαμψία του. Με την εμφάνισή τους στα πλαίσια οπλισμένου σκυροδέματος, δημιουργούν ένα είδος στατικού συστήματος που προσομοιάζει αυτό των τοιχωμάτων και απορροφά μέρος της σεισμικής έντασης, χωρίς ωστόσο να αποτελούν φέροντα στοιχεία. Είναι δε ακόμα πιο σημαντικές σε παλαιότερα κτίρια, όπου η χρήση μεγάλων τοιχωμάτων ήταν περιορισμένη.

Η συνεισφορά τους σε πολλές περιπτώσεις, μπορεί να είναι και αρνητική λόγω ανομοιομορφίας, όπως στην περίπτωση της *pilotis*, όπου το ισόγειο δεν είναι τοιχοπληρωμένο, ή και μηδενική λόγω μεγάλων ανοιγμάτων. Σε κάθε περίπτωση, η εισαγωγή τους στο μοντέλο αποτελεί ρεαλιστικότερο τρόπο εξιδανίκευσης, γι' αυτό και στην παρούσα εργασία, οι τοιχοπληρώσεις έχουν ληφθεί υπόψη στο προσομοίωμα για την ανάλυση.

Η προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων στο FESPA γίνεται μέσω διαγώνιων ράβδων δικτύματος που δε συμμετέχουν στην ανάληψη κατακόρυφων φορτίων. Για την επίλυση λαμβάνεται υπόψη η θλιβόμενη ράβδος.



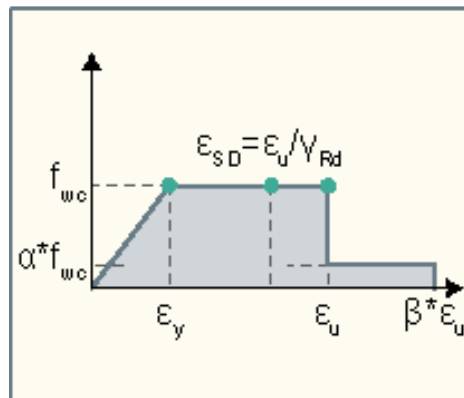
Εικόνα 7: Υπολογιστικό προσομοίωμα τοιχοπλήρωσης μέσω διαγώνιων ράβδων δικτύματος. (LH Λογισμική [9])

Μειωτικός συντελεστής

Στην περίπτωση ανοιγμάτων πρέπει να ληφθεί υπόψη ένας μειωτικός συντελεστής R. Έχει θεωρηθεί ότι οι διαστάσεις των ανοιγμάτων είναι αμελητέες συνεπώς $R=1$, και συμπεριλαμβάνεται κανονικά η επιρροή των τοιχοπληρώσεων στην σεισμική συμπεριφορά.

Χαρακτηριστική Αντοχή

Η χαρακτηριστική αντοχή των υφιστάμενων τοιχοπληρώσεων $f_{wcke}=1.5$ MPa, για Μέση Ποιότητα Δόμησης και Σφήνωσης όπως δίνεται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (Παράρτημα 3.1, Πίνακας 3 [2]), η παραμόρφωση διαρροής $\epsilon_{ye}=0.1\%$ και η οριακή παραμόρφωση $\epsilon_{ue}=0.25\%$.



Σχήμα 6: Σκελετικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων τοιχοπλήρωσης (LH Λογισμική [9])

Διαστάσεις τοιχοπληρώσεων

Πάχος: Λαμβάνεται ίσο με το συνολικό πάχος της τοιχοπλήρωσης ($t_{eff} = t$). Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε ματακός τοίχος πλήρωσης με πάχος 0.2m.

Πλάτος: Εκτιμάται με βάση την ισορροπία και το συμβιβαστό παραμορφώσεων-δυνάμεων. Χάριν απλότητας, για το πλάτος του διαγώνιου θλιπτήρα, έχει γίνει η παραδοχή αυτόματου υπολογισμού μέσω κατάλληλης εντολής του FESPA ((LH Λογισμική [9])).

Ο συντελεστής λυγηρότητας Φ έχει προκύψει επίσης με αυτόματο υπολογισμό.

Ο συντελεστής $\gamma_{RD} = 1.3$ για άοπλες υφιστάμενες τοιχοπληρώσεις και για Στάθμη B (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §9.3.1 [2])

5. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΜΕ PUSHOVER

Με βάση την περιγραφή της διαδικασίας προσομοίωσης και ανάλυσης, που προηγήθηκε στις προηγούμενες ενότητες, στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αποτίμησης για τους δύο φορείς που εξετάζονται. Υπενθυμίζεται ότι οι αναλύσεις Pushover έγιναν με τη χρήση του λογισμικού FESPA.

Όλα τα στοιχεία θεωρούνται πρωτεύοντα, πέραν των στοιχείων τοιχοπληρώσεων που θεωρούνται δευτερεύοντα, και των πλακών που δεν συνυπολογίζονται στην ανάλυση και συνεισφέρουν μόνο με τη διαφραγματική τους λειτουργία. Επίσης, η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών δεν θεωρείται σημαντική. Εκτελέστηκαν οκτώ αναλύσεις Pushover για κάθε κτίριο, δύο για κάθε ορθογώνια διεύθυνση σεισμού ($\pm X$, $\pm Z$), για ομοιόμορφη και ιδιομορφική κατανομή των αδρανειακών δυνάμεων.

Ένας τρόπος ελέγχου ικανοποίησης της στάθμης επιτελεστικότητας είναι με τη χρήση του διαγράμματος απαίτησης ικανότητας, ή του διαγράμματος απαιτούμενου φάσματος που προκύπτει με κατάλληλη μετατροπή του πρώτου.

5.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΠΑΙΤΗΣΗΣ – ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ADRS)

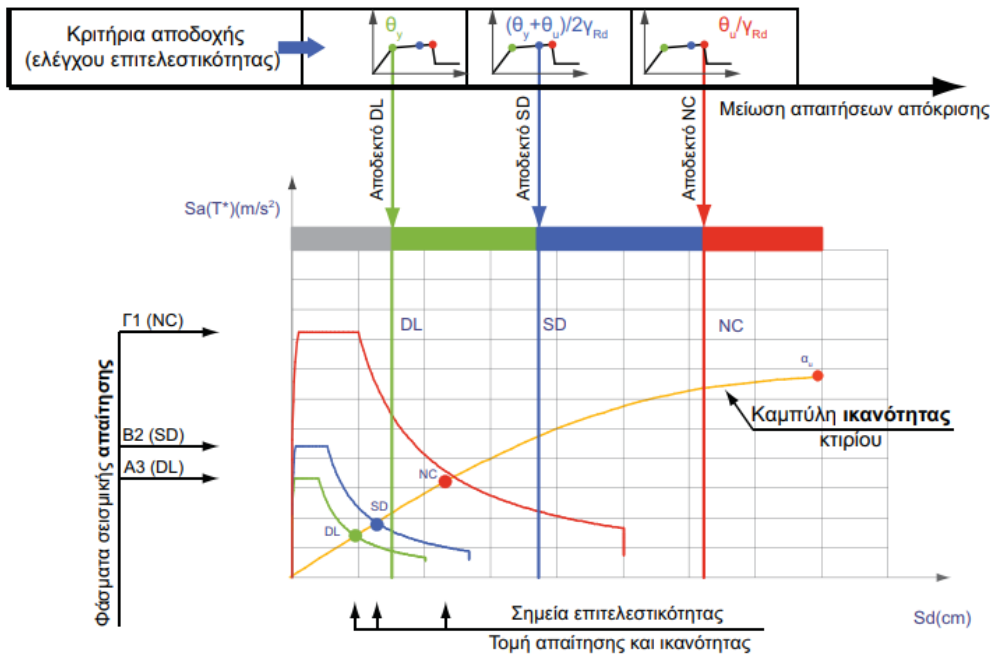
Διάγραμμα Δύναμης – Μετακίνησης: Πρόκειται για την Καμπύλη Τέμνουσας βάσης – Μετακίνησης κορυφής (Καμπύλη Ικανότητας), η οποία προκύπτει εφαρμόζοντας διαδοχικές ελαστικές αναλύσεις με αύξηση της τέμνουσας βάσης και υπολογισμό των μετακινήσεων σε κάθε βήμα, λαμβάνοντας υπόψη και τη μειωμένη δυσκαμψία των στοιχείων που έχουν ξεπεράσει το όριο διαρροής τους. Η καμπύλη αυτή περιγράφει την Ικανότητα της κατασκευής να αντιστέκεται στην απαίτηση που επιβάλλει η σεισμική δράση σχεδιασμού.

Διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας: Το διάγραμμα του φάσματος σχεδιασμού μετατρέπεται σε διάγραμμα απαιτούμενου φάσματος (ADRS), και η καμπύλη Ικανότητας σε καμπύλη επιτάχυνσης – μετατόπισης S_a-S_d για το ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα. Αυτό το διάγραμμα είναι το πλέον χρήσιμο, γιατί καθιστά εφικτή την αντιπαραβολή της ικανότητας της κατασκευής με τη σεισμική απαίτηση.

Στοχευόμενη Μετακίνηση: Είναι το σημείο τομής της καμπύλης Ικανότητας του κτιρίου και του φάσματος απαίτησης (σημεία DL, SD, NC). Πρακτικά είναι μια απεικόνιση της απαίτησης αντοχής του φορέα. Εκφράζεται μέσω της μέγιστης μετακίνησης που μπορεί να φέρει εις πέρας η κατασκευή, όπως αυτή επιβάλλεται από τη σεισμική δράση αποτίμησης ή ανασχεδιασμού, για την εκάστοτε Στάθμη Επιτελεστικότητας.

Σημεία Επιτελεστικότητας: Είναι οι κατακόρυφες ευθείες του σχήματος (γραμμές DL, SD, NC) και υποδεικνύουν την οριακή μετακίνηση των στοιχείων του φορέα για κάθε στάθμη, ακριβώς πριν τη δημιουργία πλαστικής άρθρωσης έστω και σε ένα στοιχείο του. Πρόκειται για την πραγματική αντοχή του φορέα.

Εάν τα σημεία DL, SD, NC, βρίσκονται πριν από την αντίστοιχη κατακόρυφη γραμμή DL, SD, NC, τότε ο φορέας επαρκεί για την αντίστοιχη στάθμη. Τα διαγράμματα αυτά θα παρουσιαστούν για τους δύο φορείς που εξετάζονται, όπως προέκυψαν από την ανάλυση αποτίμησής τους, προκειμένου να δειχθεί η επάρκεια ή ανεπάρκεια τους. Δίνεται επίσης ένα ενδεικτικό διάγραμμα ADRS.



Σχήμα 7: Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ADRS και στάθμες επιτελεστικότητας για συγκεκριμένη κατασκευή (LH Λογισμική [10])

5.2 ΚΑΘΟΛΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Μέσω του διαγράμματος ADRS, μπορεί να προκύψει εκτός από την επάρκεια ή όχι του φορέα, και ο καθολικός δείκτης ανεπάρκειάς του, λ. Πιο συγκεκριμένα, ο βαθμός στον οποίο θεωρείται επαρκής ή όχι ο φορέας στο σύνολό του.

$$\lambda = \frac{\text{απαίτηση}}{\text{αντοχή}} = \frac{\text{στοχευόμενη μετακίνηση}}{\text{μετακίνηση σχηματισμού πρώτης πλαστικής άρθρωσης}}$$

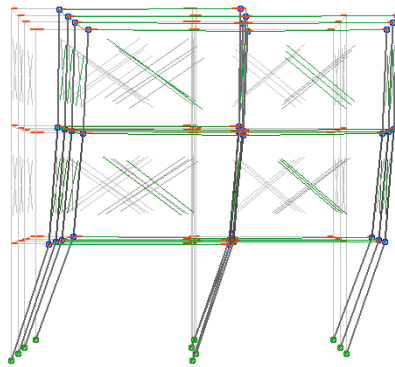
όπου αντοχή θεωρείται η μετακίνηση της κατασκευής τη στιγμή που το πρώτο φέρον στοιχείο θα ξεπεράσει το σημείο σχηματισμού της πρώτης πλαστικής άρθρωσης.

5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

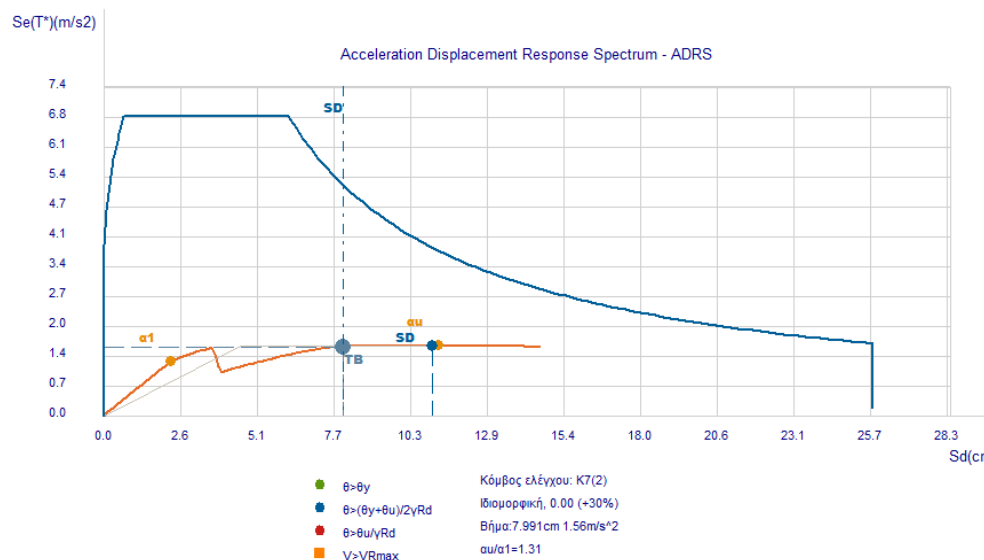
ΠΛΑΙΣΙΑΚΟΣ ΦΟΡΕΑΣ ΜΕ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Δίνεται ένα στιγμιότυπο του φορέα στην παραμορφωμένη μορφή του, τα διαγράμματα ADRS, και διαγραμματική απεικόνιση των λόγων ανεπάρκειας όπως προέκυψαν στα αποτελέσματα.

Παρουσιάζεται ενδεικτικά ένα διάγραμμα ADRS για κατεύθυνση 0.00° συμπεριλαμβανομένης και τυχόν εκκεντρότητας 30%. Τα διαγράμματα για τις υπόλοιπες κατευθύνσεις, 90°, 180°, 270° παραλείπονται λόγω ομοιότητας στο αποτέλεσμα και τη συμπεριφορά του φορέα.



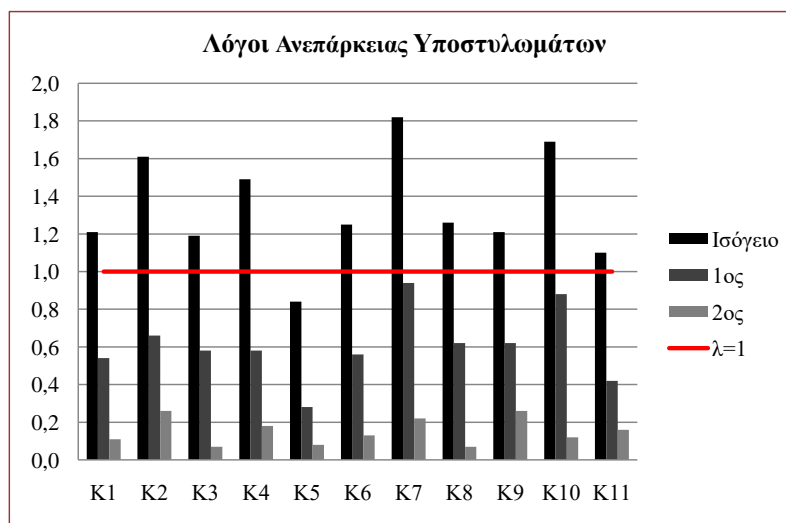
Εικόνα 8: Στιγμιότυπο του παραμορφωμένου τριώροφου εύκαμπτου φορέα



Σχήμα 8: Διάγραμμα ADRS του τριώροφου εύκαμπτου φορέα, Ιδιομορφική κατανομή, κατεύθυνση +X



Σχήμα 9: Διαγραμματική απεικόνιση των λόγων ανεπάρκειας των δοκών του τριώροφου εύκαμπτου φορέα



Σχήμα 10: Διαγραμματική απεικόνιση των λόγων ανεπάρκειας των υποστυλωμάτων του τριώροφου εύκαμπτου φορέα

Εύκαμπτος φορέας πριν την ενίσχυση			
	στοχευόμενη μετακίνηση (cm)	αντοχή (cm)	καθολικός λόγος ανεπάρκειας
ομοιόμορφη κατανομή			
0°	13.10	8.24	1.59
90°	8.66	9.87	0.88
180°	12.96	5.53	2.34
270°	6.33	5.52	1.15
ιδιομορφική κατανομή			
0°	10.97	8.10	1.36
90°	11.32	8.22	1.38
180°	10.75	7.88	1.37
270°	11.08	7.56	1.47

Πίνακας 1: Καθολικοί λόγοι ανεπάρκειας κατασκευής για όλες τις κατευθύνσεις και τις κατανομές φόρτισης

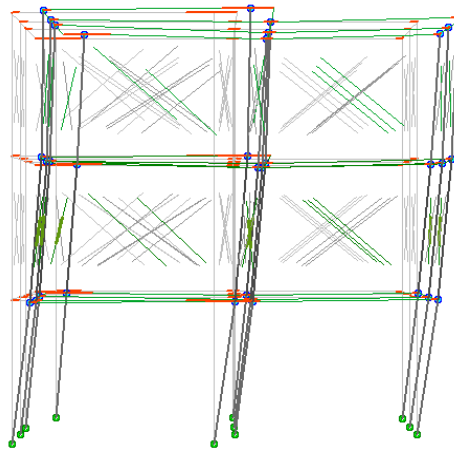
Όπως φαίνεται μέσω του διαγράμματος ADRS (Σχ.8), και του Πίν.1 με τους καθολικούς λόγους ανεπάρκειας για όλες τις περιπτώσεις φόρτισης, ο φορέας συνολικά προκύπτει ανεπαρκής για τη στάθμη επιτελεστικότητας B.

Αστοχούν όλες οι Δοκοί εκτός από τη Δ2.1, και όλα τα Υποστυλώματα εκτός από το γωνιακό Κ5. Μηχανισμός αστοχίας είναι η Κάμψη και όχι η Διάτμηση και όπως φαίνεται από τα διαγράμματα των λόγων ανεπάρκειας και από το στιγμιότυπο του φορέα, η ένταση, οι παραμορφώσεις και η αστοχία, έχουν πράγματι συγκεντρωθεί στο επίπεδο της pilotis, όπου θα σχηματιστούν οι πλαστικές αρθρώσεις και ο μαλακός όροφος.

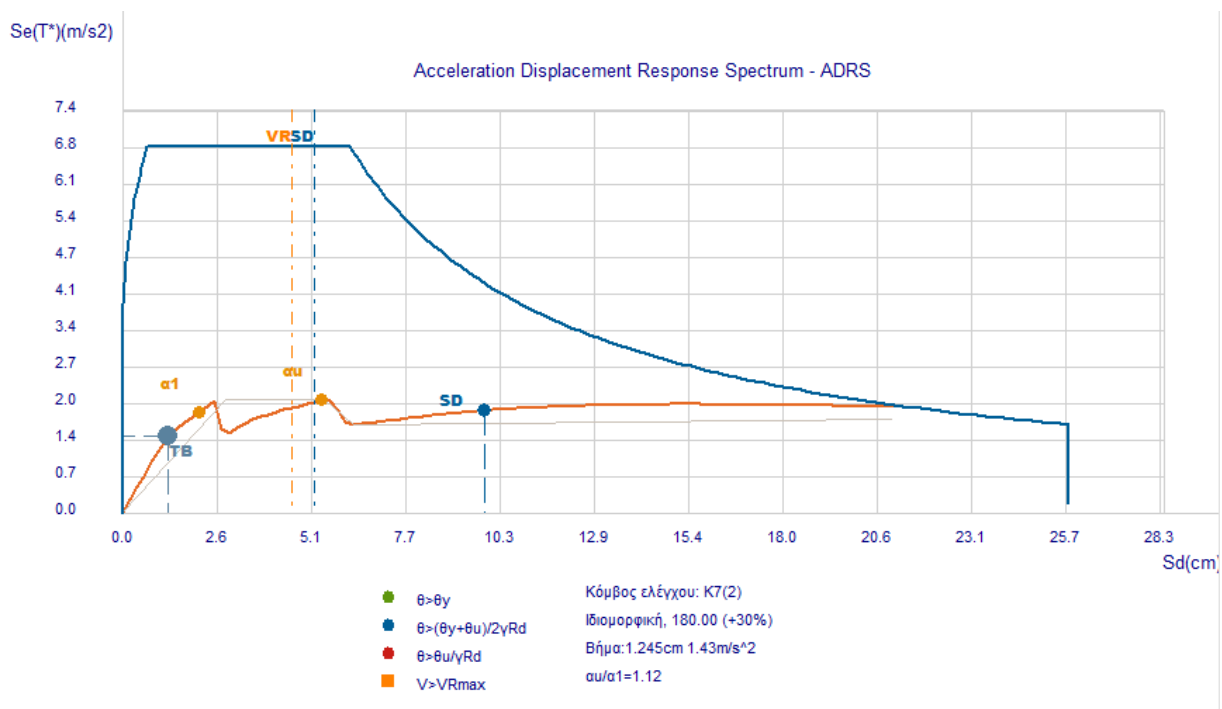
ΤΟΙΧΩΜΑΤΙΚΟΣ ΦΟΡΕΑΣ

Δίνεται ένα στιγμιότυπο του φορέα στην παραμορφωμένη μορφή του, τα διαγράμματα ADRS, και διαγραμματική απεικόνιση των λόγων ανεπάρκειας όπως προέκυψαν στα αποτελέσματα.

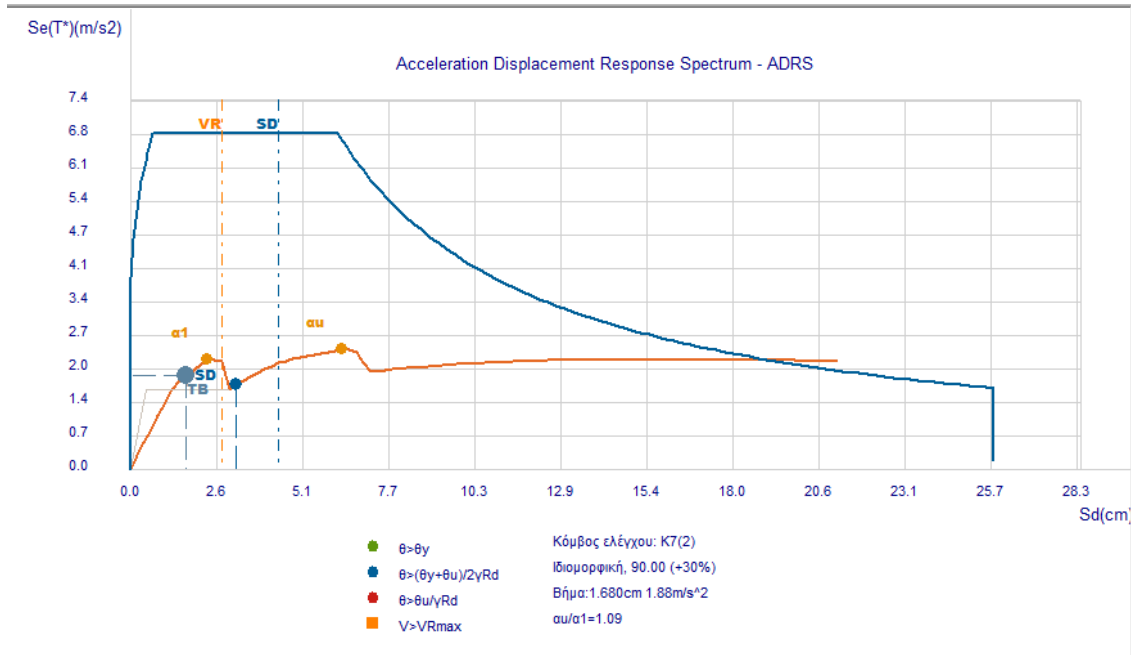
Παρουσιάζονται δύο διαγράμματα ADRS, για τις δύο κάθετες κατευθύνσεις ενδεικτικές της συμπεριφοράς και της απόκρισης του φορέα, 90° και 180° συμπεριλαμβανομένης και τυχόν εκκεντρότητας 30%.



Εικόνα 9: Στιγμιότυπο του παραμορφωμένου τοιχωματικού φορέα



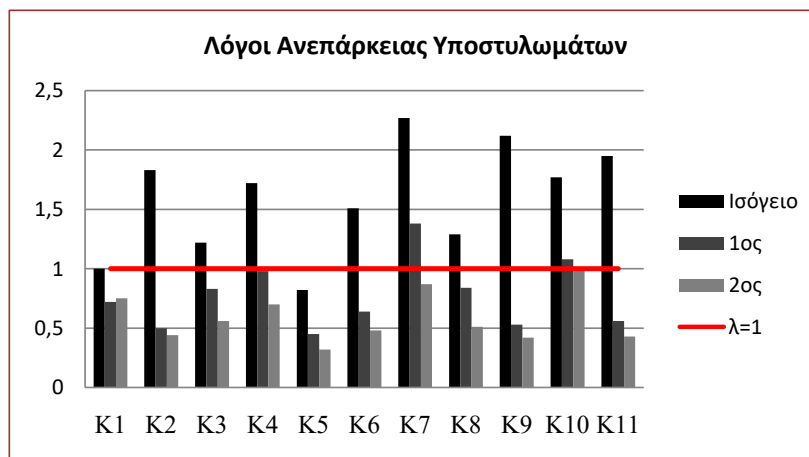
Σχήμα 11: Διάγραμμα ADRS του τριώροφου τοιχωματικού φορέα, Ιδιομορφική κατανομή, κατεύθυνση -X



Σχήμα 12: Διάγραμμα ADRS του τριώροφου τοιχωματικού φορέα, Ιδιομορφική κατανομή, κατεύθυνση +Z



Σχήμα 13: Διαγραμματική απεικόνιση των λόγων ανεπάρκειας των δοκών του τριώροφου τοιχωματικού φορέα



Σχήμα 14: Διαγραμματική απεικόνιση των λόγων ανεπάρκειας των υποστυλωμάτων του τριώροφου τοιχωματικού φορέα

Τοιχωματικός φορέας πριν την ενίσχυση			
	στοχευόμενη μετακίνηση (cm)	αντοχή (cm)	καθολικός λόγος ανεπάρκειας
ομοιόμορφη κατανομή			
0°	8.93	5.15	1.73
90°	8.37	3.51	2.39
180°	9.44	5.12	1.84
270°	8.37	4.59	1.82
ιδιομορφική κατανομή			
0°	7.56	5.88	1.29
90°	3.15	4.42	0.71
180°	9.84	5.23	1.88
270°	7.16	4.21	1.70

Πίνακας 2: Καθολικοί λόγοι ανεπάρκειας κατασκευής για όλες τις κατευθύνσεις και τις κατανομές φόρτισης

Όπως φαίνεται μέσω των διαγραμμάτων ADRS (Σχ.11,12) και του Πιν.2 με τους καθολικούς λόγους ανεπάρκειας για όλες τις περιπτώσεις φόρτισης, ο φορέας συνολικά προκύπτει ανεπαρκής για τη στάθμη επιτελεστικότητας Β. Σημαντικός μηχανισμός αστοχίας είναι η Διάτμηση, και τώρα με την ύπαρξη των τοιχωμάτων παίζει ρόλο η κατεύθυνση φόρτισης. Για κατεύθυνση Z (90° και 270°) επαρκεί σε Κάμψη και αστοχεί σε Διάτμηση, ενώ για X (0° και 180°) αστοχεί γενικά, με πρώτο μηχανισμό αστοχίας τη Διάτμηση.

Αστοχεί μόνο μία Δοκός, όλα τα Υποστυλώματα στο ισόγειο εκτός από τα K1, K5, αλλά και δύο Υποστυλώματα στον 1ο.

Η ένταση, οι παραμορφώσεις και η αστοχία, είναι μεν συγκεντρωμένες κυρίως στο επίπεδο της pilotis αλλά επεκτείνονται και στον 1ο όροφο.

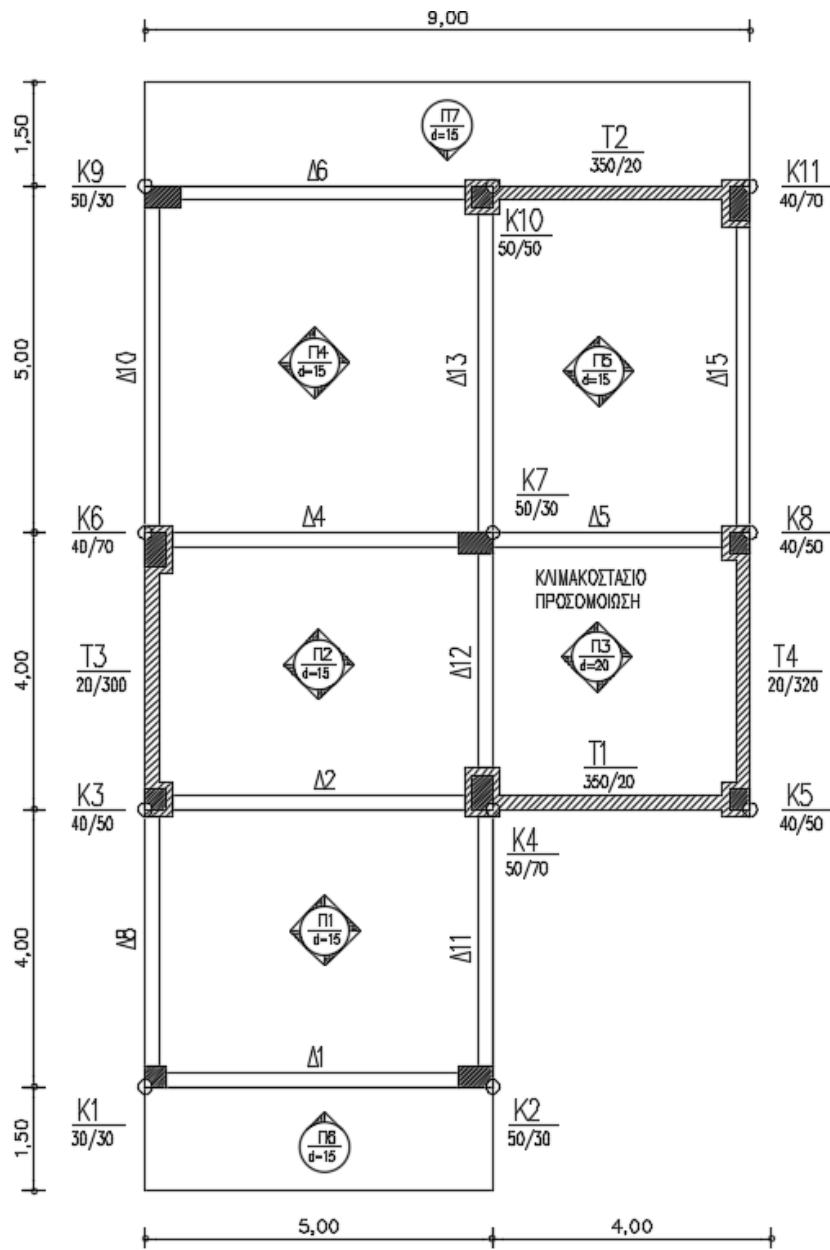
6. ΕΝΙΣΧΥΣΗ

Δεδομένου ότι μέσω της αποτίμησης και οι δύο φορείς προέκυψαν ανεπαρκείς, αποφασίστηκε η ενίσχυσή τους. Ένας πολύ συνηθισμένος τρόπος ενίσχυσης φορέων τύπου pilotis, είναι η κατασκευή τοιχωμάτων σε επιλεγμένα πλαίσια, εμφάνωση πλαισίων, διαδικασία γνωστή και ως «κλείσιμο της pilotis». Η τεχνική αυτή συνίσταται στην μετατροπή κάποιων εκ των μη τοιχοπληρωμένων πλαισίων, σε τοιχώματα, προκειμένου να αυξηθεί η δυσκαμψία και συνεπώς η αντίσταση του επιπέδου της pilotis. Τα τοιχώματα σταματούν στη στάθμη οροφής της pilotis και δε συνεχίζονται στα επόμενα επίπεδα.

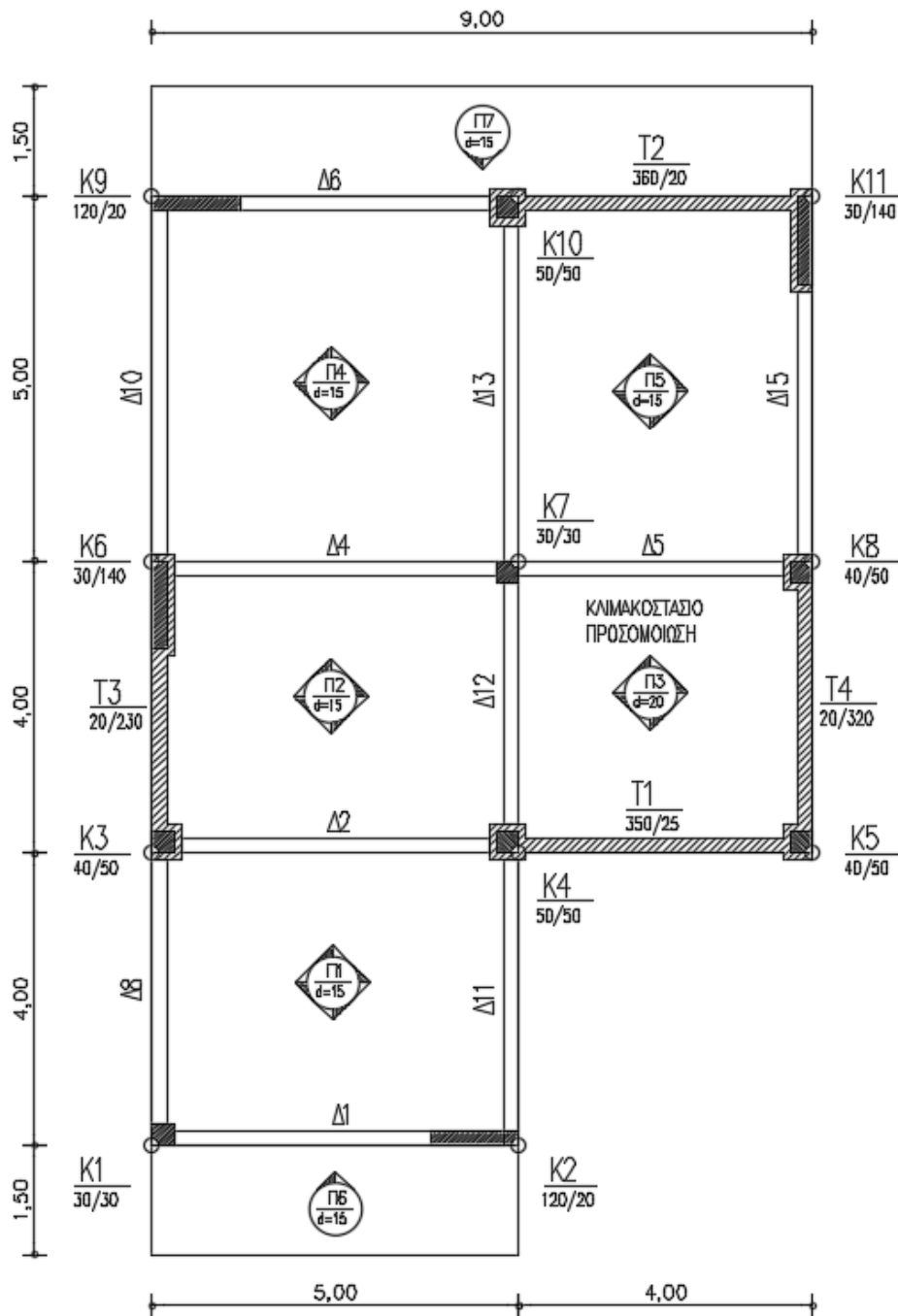
Τα πλαίσια της εμφάνωσης επιλέχθηκαν έτσι ώστε τα τοιχώματα να τοποθετηθούν κατά τρόπο συμμετρικό στην περίμετρο της κατασκευής. Αυτό είναι σκόπιμο προκειμένου το Κέντρο Δυσκαμψίας της κατασκευής να μην απομακρυνθεί κατά το δυνατόν από το Κέντρο Μάζας οπότε να μην έχει δεσπόζουσα συνεισφορά στην παραμόρφωση η στρεπτική καταπόνηση του κτιρίου η οποία οδηγεί σε πρώιμη μορφή αστοχίας. Ακόμη, να μην επηρεαστεί η λειτουργικότητα της pilotis που μπορεί να χρησιμοποιείται για παράδειγμα σαν χώρος στάθμευσης. Δεν μπορεί ωστόσο να αποφευχθεί η ανομοιομορφία καθ' ύψος, αφού τα τοιχώματα δε συνεχίζουν πάνω από το επίπεδο της pilotis.

Στην παρούσα εργασία λοιπόν, εφαρμόζεται αυτή η μορφή ενίσχυσης και εξετάζεται η αποτελεσματικότητά της.

Δίνονται οι νέοι ξυλότυποι, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή της ενίσχυσης.



Σχήμα 15: Κάτοψη της pilotis του εύκαμπτου φορέα μετά την ενίσχυση με εμφάνιση τοιχωμάτων



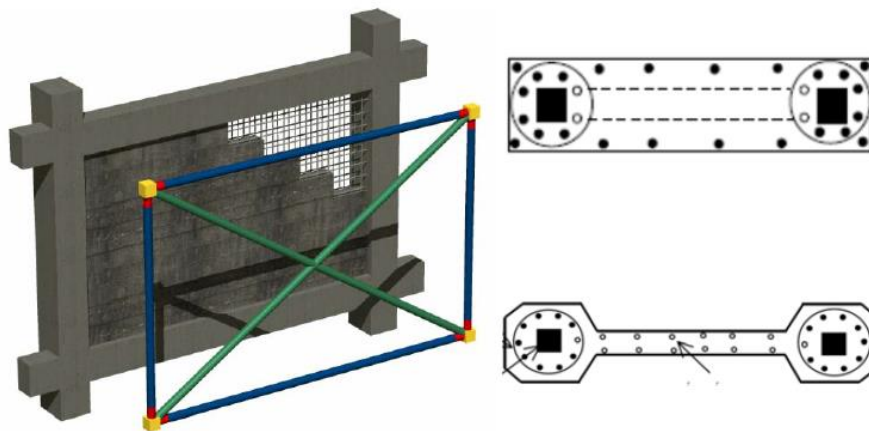
Σχήμα 16: Κάτοψη της pilotis του τοιχωματικού φορέα μετά την ενίσχυση με εμφάντωση τοιχωμάτων

6.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΜΕ ΕΜΦΑΤΝΩΣΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ

Για την εμφάντωση πλαισίων με έγχυτο ή και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα απαιτείται η επαρκής σύνδεση του εμφατούμενου τοιχώματος με το πλαίσιο που το περιβάλλει (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §8.5.3 [2]). Γι' αυτό το λόγο, το φάτνωμα επιμηκώνεται στην οριζόντια διεύθυνση ώστε να περιβάλλει τα εκατέρωθεν υποστυλώματα που ανήκουν στο πλαίσιο. Αυτό γίνεται με τη μορφή κλειστών μανδύων, που συμβάλλουν και στην ενίσχυση των ίδιων των υποστυλωμάτων, μέσα στους οποίους τοποθετούνται οι κατακόρυφοι οπλισμοί έναντι κάμψης και οι συνδετήρες για την εξασφάλιση της επιθυμητής πλαστιμότητας.

Η προσομοίωση της εμφάντωσης του πλαισίου στο λογισμικό FESPA, γίνεται με τον τρόπο που φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα (Εικ.10), με δύο διαγώνιους θλιπτήρες με κατάλληλες ιδιότητες. Σε μια ανάλυση αποτίμησης στο πρόγραμμα ελέγχεται η αντοχή σε

θλίψη του διαγώνιου θλιπτήρα σκυροδέματος βάσει της δύναμης διαγώνιου που πρέπει να παραλάβει, ενώ υπολογίζονται και τα απαιτούμενα βλήτρα στις κατακόρυφες και οριζόντιες διεπιφάνειες (LH Λογισμική [9]).



Εικόνα 10: Υπολογιστικό προσομοίωμα με θλιβόμενες διαγώνιες ράβδους δικτύωματος, της εμφάντωσης πλαισίου με οπλισμένο σκυρόδεμα, και οριζόντιες τομές όπου παρουσιάζεται εμφάντωση πλάτους μεγαλύτερου ή μικρότερου από το πλάτος της δοκού (LH Λογισμική [9]).

Χαρακτηριστικά Ενίσχυσης

Η εμφάντωση έγινε σε πλάτος ίσο με το πλάτος της δοκού.

Τα υποστυλώματα εκατέρωθεν της εμφάντωσης, στην ανάλυση θεωρήθηκαν ενισχυμένα, με μανδύα Ο.Σ. Οι μανδύες ενίσχυσης των υποστυλωμάτων διαστασιολογήθηκαν με πάχος $t = 10\text{cm}$, ανοικτοί για τα περιμετρικά υποστυλώματα που βρίσκονται στο όριο με γειτονικό οικόπεδο, και κλειστοί για τα υπόλοιπα. Κρίνονται απαραίτητοι προκειμένου να παραληφθεί η επιπλέον τέμνουσα δύναμη που προκύπτει από τη διαγώνιο.

Ποιότητα Υλικών και Ιδιότητες

Η ποιότητα σκυροδέματος της εμφάντωσης $f_{ckw}=25\text{ MPa}$

Η αντοχή του προστιθέμενου σκυροδέματος συνιστάται να είναι μεγαλύτερη από αυτήν του υφιστάμενου ώστε να μην αποτελεί το κρίσιμο μέγεθος στον υπολογισμό των βλήτρων (KAN.ΕΠΕ. §8.5.3.1(β) [2]).

Η ποιότητα του οπλισμού της εσχάρας του μανδύα ενίσχυσης ή του γεμίματος του φαντώματος στην περίπτωση εμφάντωσης πλαισίου, $f_{ykw}=500\text{ MPa}$

Η παραμόρφωση διαρροής και αστοχίας του διαγώνιου θλιπτήρα σκυροδέματος λήφθηκε από τον πίνακα 3.1 του EC2-1-1 ως εξής:

$$\epsilon_y = 0.20\%$$

$$\epsilon_u = 0.35\%$$

Συντελεστής $\gamma_{RD}=1.2$,

Συντελεστής εναπομένουσας αντοχής μετά την οριακή παραμόρφωση, $\alpha=0.4$

Συντ. παραμόρφωσης πλήρους απώλειας αντίστασης, $\beta=1.5$

Είναι γενικά σκόπιμο, το εμφανιζόμενο τοίχωμα καθώς και ο τυχόν μανδύας των υποστυλωμάτων να συνεχίζουν καθ' όλο το ύψος της κατασκευής, αλλά στην παρούσα εργασία εξετάζεται η συνήθης τεχνική της κατασκευής τους μέχρι το επίπεδο της pilotis με

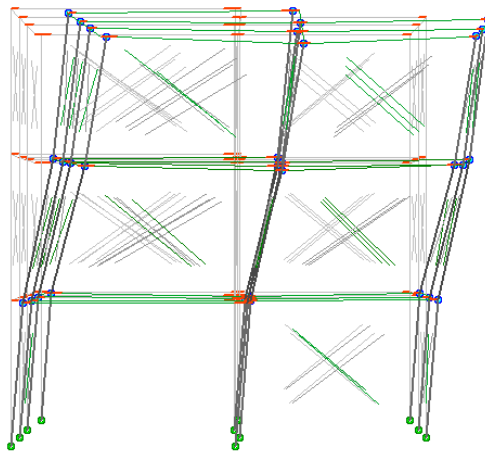
στόχο τη βελτίωση της σεισμικής απόκρισής της. Γίνεται ήδη προφανές πως αυτό επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τη δυσκαμψία και την κανονικότητά της κατασκευής με τρόπο μοιραίο για την απόκρισή της όπως θα δειχθεί στην συνέχεια.

6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΚ ΝΕΟΥ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΦΟΡΕΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ

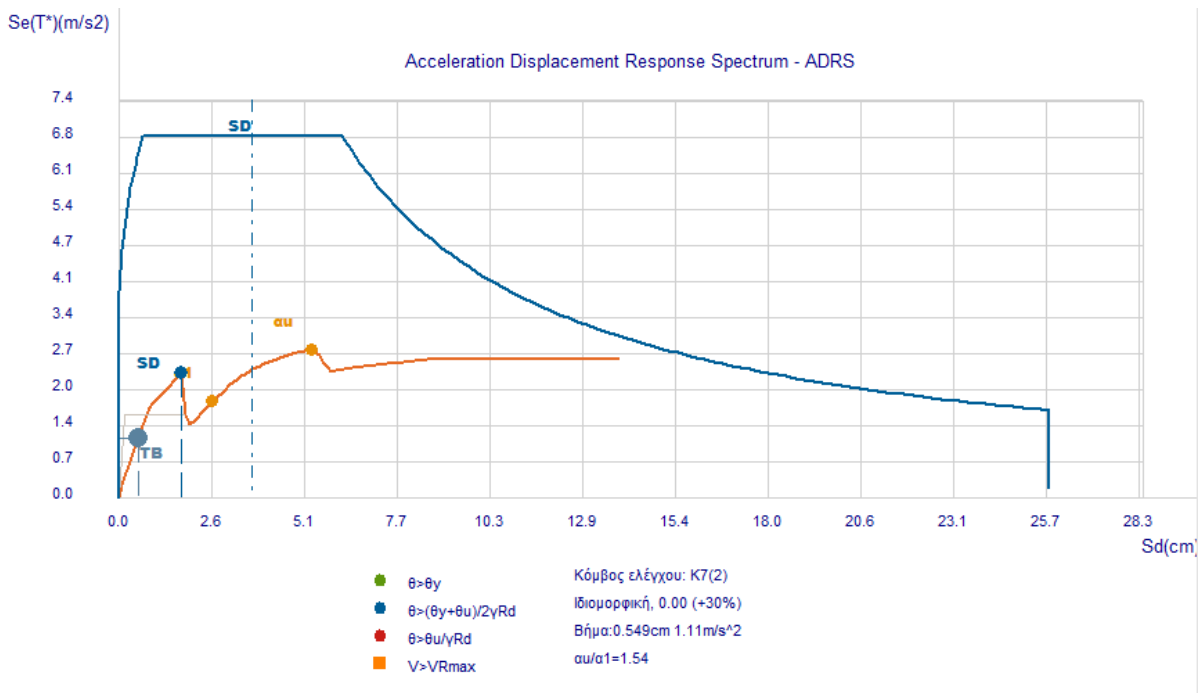
ΠΛΑΙΣΙΑΚΟΣ ΦΟΡΕΑΣ ΜΕ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Δίνεται ένα στιγμιότυπο από την παραμορφωμένη φάση του φορέα, τα διαγράμματα ADRS, και οι λόγοι ανεπάρκειας των μελών όπως προέκυψαν από την ανάλυση.

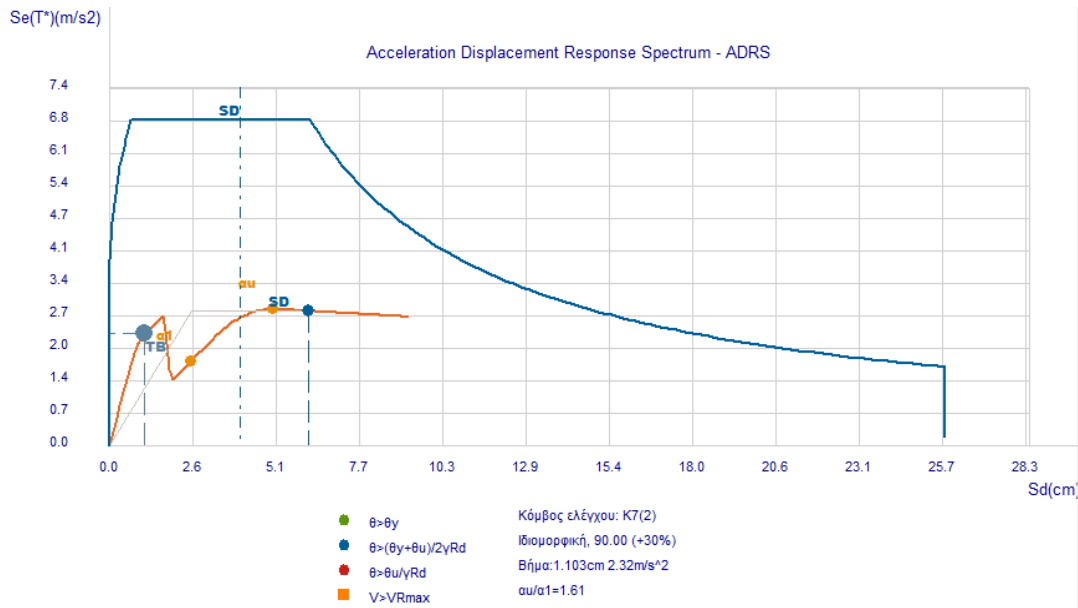
Παρουσιάζονται δύο διαγράμματα ADRS, για τις δύο κάθετες κατευθύνσεις ενδεικτικές της συμπεριφοράς και της απόκρισης του φορέα, 0° και 90° συμπεριλαμβανομένης και τυχόν εκκεντρότητας 30%.



Εικόνα 11: Στιγμιότυπο του παραμορφωμένου εύκαμπτου φορέα μετά την ενίσχυση



Σχήμα 17: Διάγραμμα ADRS του τριώροφου εύκαμπτου φορέα μετά την ενίσχυση, Ιδιομορφική κατανομή, κατεύθυνση +X



Σχήμα 18: Διάγραμμα ADRS του τριώροφου εύκαμπτου φορέα μετά την ενίσχυση, Ιδιομορφική κατανομή, κατεύθυνση +Z



Σχήμα 19: Διαγραμματική απεικόνιση των λόγων ανεπάρκειας των υποστυλωμάτων του τριώροφου εύκαμπτου φορέα μετά την ενίσχυση

Εύκαμπτος φορέας μετά την ενίσχυση			
	στοχευόμενη μετακίνηση (cm)	αντοχή (cm)	καθολικός λόγος ανεπάρκειας
ομοιόμορφη κατανομή			
0°	7.70	4.60	1.68
90°	3.53	5.15	0.69
180°	7.69	4.86	1.58
270°	7.01	4.98	1.41
ιδιομορφική κατανομή			
0°	1.75	3.71	0.47
90°	6.12	4.05	1.51
180°	2.28	3.92	0.58
270°	5.99	3.92	1.53

Πίνακας 3: Καθολικοί λόγοι ανεπάρκειας κατασκευής για όλες τις κατευθύνσεις και τις κατανομές φόρτισης

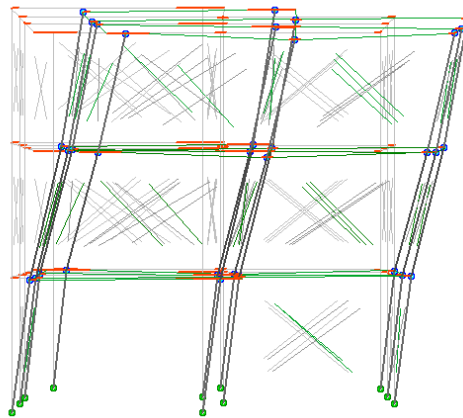
Όλες οι δοκοί προκύπτουν επαρκείς, με $\max \lambda = 0.63$

Από το Σχ.19 με το διάγραμμα των λόγων ανεπάρκειας των μελών του φορέα, τα διαγράμματα ADRS αλλά και τον Πίν.3 με τους καθολικούς λόγους ανεπάρκειας για όλες τις περιπτώσεις φόρτισης, φαίνεται πως ο φορέας προκύπτει τελικά ανεπαρκής για στάθμη επιτελεστικότητας Β, παρά την ενίσχυσή του.

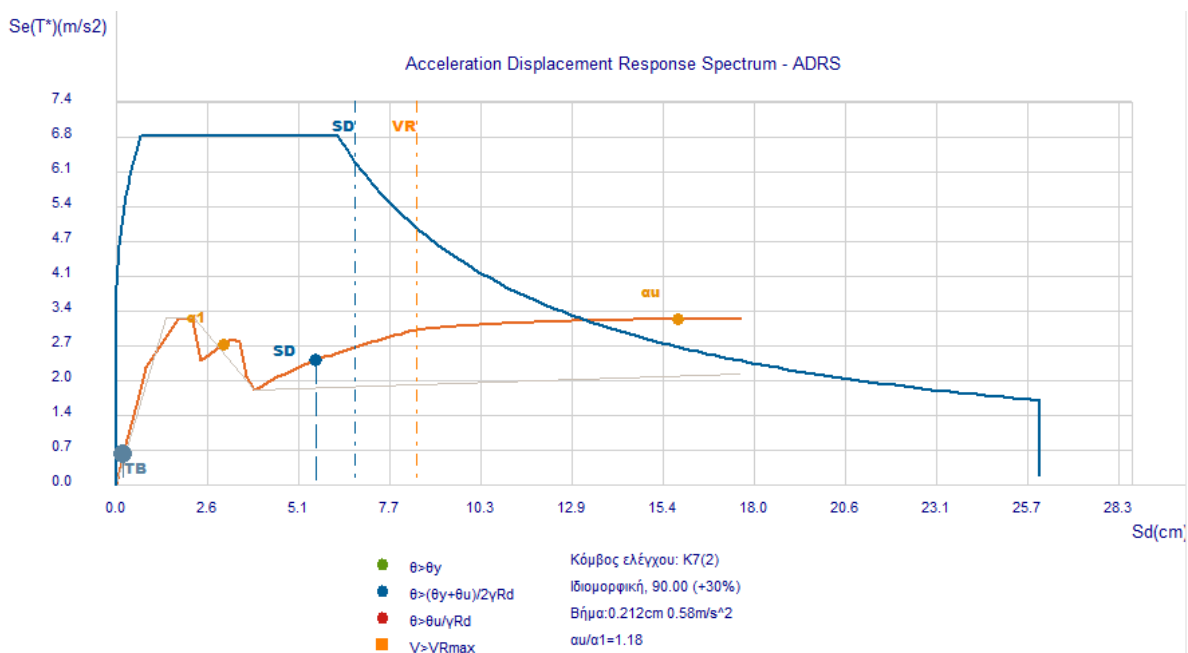
Όπως φαίνεται, η ανεπάρκεια έχει πλέον συγκεντρωθεί στον 1^ο όροφο, γεγονός που σημαίνει ότι αυτή η μορφή ενίσχυσης δεν είναι αποτελεσματική για την κατασκευή στο σύνολό της, καθώς μπορεί μεν να «θεράπυσει» το πρόβλημα της pilotis, αλλά ουσιαστικά μετέφερε την ένταση στους υπερκείμενους ορόφους, προκαλώντας αστοχίες εκεί.

ΤΟΙΧΩΜΑΤΙΚΟΣ ΦΟΡΕΑΣ

Δίνεται ενδεικτικά το διάγραμμα ADRS του φορέα για Ιδιομορφική Κατανομή και κατεύθυνση φόρτισης 0° συμπεριλαμβανομένης και τυχόν εκκεντρότητας 30%. Παραλείπονται τα διαγράμματα για τις υπόλοιπες κατευθύνσεις, καθώς η συμπεριφορά του φορέα ήταν παρόμοια.



Εικόνα 12: Στιγμιότυπο του παραμορφωμένου τοιχωματικού φορέα μετά την ενίσχυση



Σχήμα 20: Διάγραμμα ADRS του τριώροφου τοιχωματικού φορέα μετά την ενίσχυση, Ιδιομορφική κατανομή, κατεύθυνση +Z

Τοιχωματικός φορέας μετά την ενίσχυση			
	στοχευόμενη μετακίνηση (cm)	αντοχή (cm)	καθολικός λόγος ανεπάρκειας
ομοιόμορφη κατανομή			
0°	5.15	7.04	0.73
90°	5.13	7.02	0.73
180°	3.77	8.90	0.42
270°	7.29	7.02	1.04
ιδιομορφική κατανομή			
0°	6.47	6.04	1.07
90°	5.59	6.66	0.84
180°	3.00	7.30	0.41
270°	5.38	6.24	0.86

Πίνακας 4: Καθολικοί λόγοι ανεπάρκειας κατασκευής γις όλες τις κατευθύνσεις και τις κατανομές φόρτισης

Όπως φαίνεται από το Σχ.20 και τον Πίν.4 με του καθολικούς λόγους ανεπάρκειας για όλες τις περιπτώσεις φόρτισης, η ενίσχυση ήταν γενικά πιο επιτυχής για τον τοιχωματικό φορέα, αφού πλέον είναι επαρκής ή οριακά ανεπαρκής για τη Στάθμη Β. Από το στιγμιότυπο φαίνεται ότι και εδώ μεταβιβάζεται η ένταση από την pilotis στους επάνω ορόφους, ωστόσο λόγω της ύπαρξης των τοιχωμάτων που προσδίδουν μεγαλύτερη δυσκαμψία καθ' ύψος έναντι του προηγούμενου εύκαμπτου φορέα με τα υποστυλώματα, περιορίζεται το πρόβλημα και δεν οδηγεί σε ανεπάρκεια.

Οι τοιχοπληρώσεις στους υπερκείμενους της pilotis ορόφους εμφανίζουν συντελεστή ανεπάρκειας $\lambda > 1$, κυρίως στον 1ο όροφο, που σημαίνει ότι θα υποστούν βλάβες. Μπορεί να μην πρόκειται για φέροντα στοιχεία, αλλά είναι σημαντικό κριτήριο για την αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης, αφού στόχος της είναι η βελτίωση της συμπεριφοράς σε καθολικό επίπεδο.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ

Μετά την αποτίμηση των υφιστάμενων φορέων προέκυψε μια σειρά συμπερασμάτων. Αρχικά, επαληθεύτηκε το φαινόμενο της pilotis, και δείχθηκε ότι η ύπαρξη των τοιχοπληρώσεων σε ορόφους πάνω από έναν ανοιχτό όροφο δρα δυσμενώς σε αυτόν τον όροφο καθώς αυξάνει την ανεπάρκεια του και ευνοεί τις συνθήκες ανάπτυξης μαλακού ορόφου. Αυτό βελτιώνεται σε έναν βαθμό με την ύπαρξη μεγαλύτερων διατομών στα κατακόρυφα στοιχεία, δηλαδή στην περίπτωση του τοιχωματικού φορέα.

Ακόμη, στην περίπτωση του εύκαμπτου φορέα, όλα τα στοιχεία παρουσιάζουν πλαστικό τρόπο αστοχίας, δηλαδή η αστοχία σε Κάμψη προηγείται αυτής σε Διάτμηση. Αντίθετα, στην περίπτωση του τοιχωματικού φορέα, σημαντικός και καθοριστικός μηχανισμός αστοχίας είναι η Διάτμηση.

Από το διάγραμμα δύναμης-μετακίνησης, φαίνεται πως ο τοιχωματικός φορέας εμφανίζει στο αρχικό ελαστικό τμήμα μεγαλύτερες δυνάμεις και επιτρέπει μικρότερες μετακινήσεις, λόγω της δυσκαμψίας του έναντι του πιο εύκαμπτου φορέα με τα υποστυλώματα. Αυτό συνεχίζει και στη μετελαστική συμπεριφορά όπου ο εύκαμπτος φορέας διαρρέει για μεγαλύτερη μετακίνηση και μικρότερη δύναμη, ενώ οι τοιχωματικός συνεχίζει να αντιστέκεται σε μεγάλες μετακινήσεις, λόγω του συστήματος των τοιχωμάτων που παραλαμβάνουν μεγάλο ποσοστό της τέμνουσας βάσης και άρα της σεισμικής ενέργειας.

Το διάγραμμα ADRS του τοιχωματικού φορέα φανερώνει την επιρροή της θέσης των τοιχωμάτων. Τα τοιχώματα που αντιστέκονται σε πλευρικές δυνάμεις παράλληλες στον X (0°

και 180°), είναι στην περίμετρο σχετικά αντιδιαμετρικά, συνεπώς δεν προκαλούν στρεπτικά φαινόμενα στην απόκριση του φορέα. Αντίθετα, τα άλλα δύο τοιχώματα που είναι τα κύρια στοιχεία ανάληψης των πλευρικών σεισμικών δυνάμεων με κατεύθυνση $\pm Z$ (90° και 270°), λόγω της θέσης τους μετατοπίζουν το Κέντρο Δυσκαμψίας, δημιουργώντας εκκεντρότητα με το Κέντρο Μάζας και κατά συνέπεια σημαντική στρεπτική καταπόνηση, που οδηγεί τελικά στην ανεπάρκεια του φορέα.

Όσον αφορά την ανάλυση Pushover, κρίνεται ιδιαίτερα αποδοτική και ακριβής για την προσομοίωση της σεισμικής συμπεριφοράς της κατασκευής, αφού λαμβάνει υπόψη και τη δυσκαμψία αλλά και την αντοχή των μελών, αξιοποιώντας την μετελαστική συμπεριφορά τους και τη μη γραμμικότητα που τα διακρίνει. Χρειάζεται ωστόσο ιδιαίτερη προσοχή στην εισαγωγή των δεδομένων και στον ορισμό των παραδοχών που θα υιοθετηθούν, προκειμένου να μην οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα.

Συγκρίνοντας τις δύο κατανομές φόρτισης, η ιδιομορφική κατανομή των σεισμικών δυνάμεων στην Pushover ανάλυση επιφέρει δυσμενέστερα αποτελέσματα απ' ό,τι η ομοιόμορφη και κρίνεται ρεαλιστικότερη για την προσομοίωση του φορέα.

7.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ

Όπως προαναφέρθηκε, η διαδικασία της εμφάνισης επιλεγμένων πλαισίων στο επίπεδο της pilotis, γνωστή και ως «κλείσιμο της pilotis», είναι στην πράξη ευρέως εφαρμοζόμενη. Από τα αποτελέσματα μετά την ενίσχυση όμως, φαίνεται, και αυτός ήταν και ο σκοπός της παρούσας εργασίας, ότι αυτή η τεχνική δεν είναι στην πραγματικότητα αποτελεσματική καθώς δεν θεραπεύει το πρόβλημα, απλώς το μεταφέρει.

Με άλλα λόγια, μπορεί μεν να απομακρύνει την αστοχία από το επίπεδο της pilotis και να εμποδίζει την εμφάνιση μαλακού ορόφου στο σημείο εκείνο, αλλά μεταβιβάζει την ένταση και τις παραμορφώσεις στους υπερκείμενους ορόφους, και κυρίως στον πρώτο. Ανάλογα με τη μορφή και τη δυσκαμψία των υπολοίπων στοιχείων της κατασκευής, η μεταφορά της έντασης, μπορεί να είναι μοιραία, με καταστροφικές συνέπειες για την κατασκευή, όπως στην περίπτωση του πρώτου εύκαμπτου φορέα, όπου πλήττονται και αστοχούν κύρια φέροντα στοιχεία του πρώτου ορόφου, ή λιγότερο σημαντική, όπως στον τοιχωματικό φορέα, όπου αστοχούν οι τοιχοπληρώσεις, αλλά η κατασκευή διατηρεί την επάρκειά της.

Αυτό συμβαίνει, επειδή παραβιάζονται τα κριτήρια κανονικότητας σε κάτοψη αλλά και δυσκαμψία. Συγκεκριμένα, προκύπτει μεγάλη καθ' ύψος ανομοιομορφία της δυσκαμψίας και αλλάζει εντελώς ο μηχανισμός κατανομής της σεισμικής έντασης. Το ισόγειο είναι πλέον άκαμπτο και απαραμόρφωτο, και εξαναγκάζει τους υπερκείμενους ορόφους σε μεγάλες δυνάμεις και παραμορφώσεις, προκειμένου να παραληφθεί και να εκτονωθεί η σεισμική ενέργεια. Έτσι ο μαλακός όροφος θα δημιουργηθεί πλέον στο επίπεδο του πρώτου ορόφου, και πλήττονται στοιχεία που σε άλλη περίπτωση θα ήταν επαρκή και λειτουργικά.

Είναι μία τεχνική σχετικά απλή στην εφαρμογή της, με την έννοια ότι δεν απαιτεί διακοπή της λειτουργίας της κατασκευής κατά την εξέλιξή της, αλλά ούτε και αλλαγές στη διαρρύθμιση και τη λειτουργικότητα, ειδικά εάν επιλεγούν προσεκτικά τα πλαίσια τοποθέτησης της εμφάνισης. Εφόσον όμως στόχος της ενίσχυσης είναι να αποκαθιστά τα προ βλάβης χαρακτηριστικά των στοιχείων της κατασκευής, και να την επαναφέρει στην αρχική ή σε καλύτερη κατάσταση, η αποτελεσματικότητα αυτής της τεχνικής τίθεται υπό αμφισβήτηση. Το πρόβλημα θα βελτιωνόταν σαφώς με τη συνέχιση των τοιχωμάτων στους υπερκείμενους ορόφους, για να επέλθει ομοιομορφία της δυσκαμψίας καθ' ύψος, και να γίνει ενίσχυση όλων των επιπέδων κατά τον ίδιο τρόπο, διαδικασία περισσότερο κατάλληλη και αξιόπιστη, αλλά και περισσότερο χρονοβόρα, δαπανηρή και σύνθετη.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Στέφανος Η. Δρίτσος, «Ενισχύσεις-Επισκευές Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος», Σημειώσεις Μαθήματος, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2019
- [2] ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013, Κανονισμός Επεμβάσεων, Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, 2η Αναθεωρημένη Έκδοση 2017, Αθήνα (ΦΕΚ 2984/Β/30-08-2017).
- [3] Μιχαήλ Ν. Φαρδής, "Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος", Μέρος I, II, III, Σημειώσεις Μαθήματος, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2018.
- [4] Eurocode 8 (2004). "EC8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings", 2004 – Part 3: Assessment and Retrofitting of Buildings, 2005, Comité Européen de Normalisation, Brussels
- [5] Eurocode 2: Part 1-1: Generalrules and rules for Buildings, 2004, Comité Européen de Normalisation, Brussels
- [6] ΕΑΚ 2000 (2001), Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000, Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, Αθήνα.
- [7] ΕΚΩΣ 2000 (2001), Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος 2000, Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, Αθήνα.
- [8] Φ.Ε.Κ. Αντισεισμικός Κανονισμός 1959. Αναθεώρηση Α.Κ. 1959_1984/85, Κανονισμός Σκυροδέματος 1959.
- [9] Fespa 18, «Το επίσημο εγχειρίδιο αναφοράς», LH Λογισμική, Αθήνα, Ιούλιος 2018.
- [10] Pushover, «Θεωρητικά στοιχεία», LH Λογισμική, Αθήνα, Οκτώβριος 2013.
- [11] www.episkeves2.civil.upatras.gr