

ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΗΨΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ ΠΛΑΙΣΙΑΚΟΥ ΦΟΡΕΑ ΑΠΟ Ο/Σ

ΜΙΝΤΖΟΛΛΙ ΚΕΙ, Προπτυχιακή Φοιτήτρια, kaymin1112@gmail.com

ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΥ ΡΟΥΜΠΙΝΗ, Προπτυχιακή Φοιτήτρια, rubini.petr@gmail.com

Περίληψη

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ & ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ και φέρει ως στόχο τη μελέτη της επιρροής των τοιχοπληρώσεων οπτοπλινθοδομής, στα φέροντα στοιχεία της κατασκευής, κατά την επιβολή σεισμικών δράσεων. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με βοήθεια των προγραμμάτων ETABS, BIAX εφαρμόζοντας ανελαστική στατική ανάλυση pushover. Ειδικότερα, γίνεται σύγκριση των καμπυλών τέμνουσας βάσης-μετατόπισης πλαισίου οπλισμένου σκυροδέματος με και χωρίς τοιχοπλήρωση (εύρος πάχους τοιχοποιίας 6cm-30cm). Αντίστοιχα, ακολουθεί ανάλυση διώροφου πλαισίου, ενώ εξετάζεται και η περίπτωση δημιουργίας μαλακού ορόφου. Διερευνάται, επίσης, και η επιρροή θέσης, είδους, μεγέθους και συνδυασμού των ανοιγμάτων. Επιδιώκεται, ακόμη, η μελέτη του θέματος πέρα από τους περιορισμούς που οριοθετούνται στον ΚΑΝΕΠΕ. [1]

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται μελέτη της συνεισφοράς τοίχων πλήρωσεως σε πλαισιακό φορέα οπλισμένου σκυροδέματος κατά τη διάρκεια σεισμικών φορτίσεων.[2] Ειδικότερα, παρουσιάζονται τέσσερεις προσανατολισμοί διερεύνησης του θέματος: i) η "απόδοση" τοιχοποιίας χωρίς ανοίγματα συναρτήσει του πάχους αυτής, με εύρος τιμών από 6 έως 30 εκατοστά, ii) συμπεριφορά τοιχοπλήρωσεως με πόρτα σταθερού μεγέθους - εμβαδού, της οποίας η θέση μεταβάλλεται κατά μήκος του υπάρχοντος πλαισιακού φορέα, iii) μία γενικότερη μελέτη της συμπεριφοράς - συνεισφοράς του τοίχου πλήρωσεως όταν σε αυτόν υπάρχουν ανοίγματα - συνδυασμοί ανοιγμάτων - (πόρτες, παράθυρα) διαφόρων διαστάσεων και iv) επιρροή των τοίχων σε διώροφο πλαίσιο, όπου διακρίνονται οι εξής δύο περιπτώσεις: a) πλήρως τοιχοπληρωμένο και b) φαινόμενο δημιουργίας μαλακού ορόφου, όπου υπάρχει τοίχος πλήρωσης μόνο στον όροφο. [3]

Για τη διεκπεραίωση της μελέτης επιλέχθηκε πλαίσιο και όχι κτίριο, καθώς αποτελεί πολύ πιο απλή κατασκευή, η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί και ως "δομικός λίθος" των περισσότερων σύγχρονων οικοδομημάτων. Συνεπώς, προσφέρεται η δυνατότητα γενίκευσης των αποτελεσμάτων - συμπερασμάτων, κάτι το οποίο δεν είναι εφικτό σε ένα κτίριο όπου έχει τα δικά του χαρακτηριστικά και ιδιαιτερότητες.

2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ

Για χαμηλά επίπεδα φόρτισης ένα τοιχοπληρωμένο πλαίσιο συμπεριφέρεται μονολιθικά σαν ένα σύνολο, όπου τοιχοπλήρωση και περιβάλλον πλαίσιο καταπονούνται με ενιαίο τρόπο. Όσο το δυναμικό φορτίο αυξάνεται, η τοιχοπλήρωση αρχίζει να αποκολλάται από το πλαίσιο στις δύο απέναντι γωνίες και να αναπτύσσεται μηχανισμός θλιβόμενης διαγώνιου ανάμεσα στις δύο γωνίες που βρίσκονται σε επαφή με το πλαίσιο.

Οι κυριότεροι μηχανισμοί αστοχίας που έχουν διαπιστωθεί στις διάφορες ερευνητικές εργασίες είναι:

- Διατμητική αστοχία ολίσθησης
- Αστοχία θλιβόμενης διαγώνιου
- Αστοχία διαγώνιου λόγω εφελκυσμού
- Εφελκυστική αστοχία λόγω καμπτικών δυνάμεων

Οι τοιχοπληρώσεις προσφέρουν σημαντική δυσκαμψία σε πλαίσια από οπλισμένο σκυρόδεμα τα οποία υπόκεινται σε οριζόντια φόρτιση. Η συμβολή τους αυτή αποδείχθηκε από τις πειραματικές διερευνήσεις τοιχοπληρωμένων πλαισίων υπό οριζόντια φόρτιση (CEB 1996). Ο πολιτικός μηχανικός ακόμα και σήμερα συναντά μεγάλες δυσκολίες στην προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων με ανοίγματα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη χρήση κάποιων απλοποιημένων μεθόδων που πολλές φορές οδηγούν σε μεγάλα σφάλματα. Οι τοίχοι πλήρωσης μπορούν να προσομοιωθούν με διατμητικό φάτνωμα, με θλιβόμενη διαγώνιο καθώς και με την χρήση δύο διαγώνιων, μια θλιβόμενη και μια εφελκυστική. Στην παρούσα εργασία επιλέγεται η προσομοίωση με θλιβόμενη διαγώνιο. Οι τοιχοπληρώσεις διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Χωρίς ανοίγματα
- Με ανοίγματα (παράθυρα, πόρτες)

2.1 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ ΧΩΡΙΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ (§ 7.4.1.α) όταν ένα πλαίσιο από Ο/Σ είναι πλήρως τοιχοπληρωμένο και υπόκειται σε οριζόντια φόρτιση τότε οι τοιχοπληρώσεις μπορούν να προσομοιωθούν:

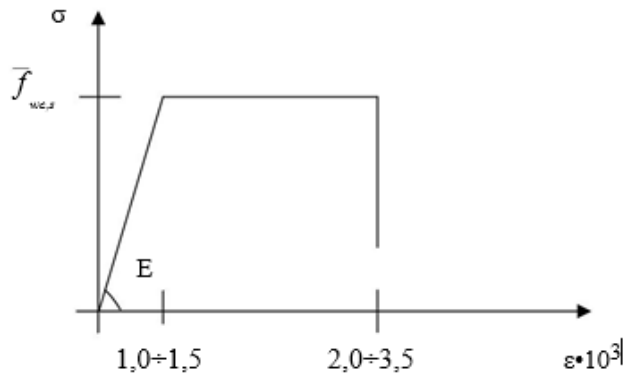
- Είτε ως διατμητικό φάτνωμα ορθοτροπικό, με τέσσερις "κόμβους"-αρθρώσεις προς τους αντίστοιχους κόμβους του τοιχοπληρωμένου πλαισίου [4]
- Είτε, απλούστερα, ως ισοδύναμη αμφιαρθρωτή θλιβόμενη διαγώνια ράβδος(κατά την εκάστοτε φορά του σεισμού εντός του πλαισίου), με συγκεκριμένο πλάτος b . [7]
- Αν η διαγώνια ράβδος αρχίζει και τελειώνει σε κόμβους του πλαισίου, η χρήση προσομοιώματος θλιπτήρα-ελκυστήρα κατά τις δύο για γωνίες με ράβδους μισής δυστένειας σε σχέση με αυτές του προσομοιώματος της απλής θλιβόμενης διαγώνιας, έχει πρακτικώς ως αποτέλεσμα ίση ένταση στο φορέα πλην των αξονικών δυνάμεων κάποιων στοιχείων. Σχετικώς υπάρχουν διαφορές στις αξονικές δυνάμεις εξωτερικών υποστυλωμάτων, οι οποίες όμως είναι μικρές σε σχέση με τις αξονικές δυνάμεις που προκύπτουν από τα κατακόρυφα φορτία, έτσι η διαφορά μπορεί να αμεληθεί. Στις δοκούς οι αξονικές δυνάμεις εν γένει μπορούν να αμεληθούν και οι διαφορές είναι ούτως ή άλλως μικρές. Οι διαφορές δεν μπορούν πάντα να αμεληθούν όταν οι ελκυστήρες/θλιπτήρες καταλήγουν σε ενδιάμεση περιοχή δοκού (ή υποστυλώματος).

2.1.1 ΘΛΙΒΟΜΕΝΗ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ

Παρουσιάζεται αναλυτικότερα η μέθοδος της θλιβόμενης διαγώνιου, η οποία εφαρμόζεται στην παρούσα μελέτη.

Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ (§ 7.4.1. ζ2 σχόλια) [1] προτείνει για το πλάτος της θλιβόμενης διαγώνιου που θα χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση, για τη στάθμη επιτελεστικότητας A (Προστασία ζωής), τιμή πλάτους $b = 0.15 L$. Για ενιαίες κατά τη διατομή τοιχοπληρώσεις, ως «ισοδύναμο» πάχος λαμβάνεται το συνολικό τους πάχος (ΚΑΝ.ΕΠΕ § 7.4.1. ε. σχόλια).

Όταν δεν διατίθενται ακριβέστερα στοιχεία, μπορεί να χρησιμοποιείται το ακόλουθο διάγραμμα, για στάθμη επιτελεστικότητας B :



Σχήμα: 1. Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων ισοδύναμης θλιβόμενης διαγώνιας ράβδου άοπλης τοιχοπλήρωσης.

Η επιλογή των τιμών ε_y και ε_u οφείλει να γίνεται κατ' αντιστοιχία προς τις αναγραφόμενες περιοχές τιμών, δηλ. για μικρές ε_y ισχύουν και μικρές ε_u κ.ο.κ.

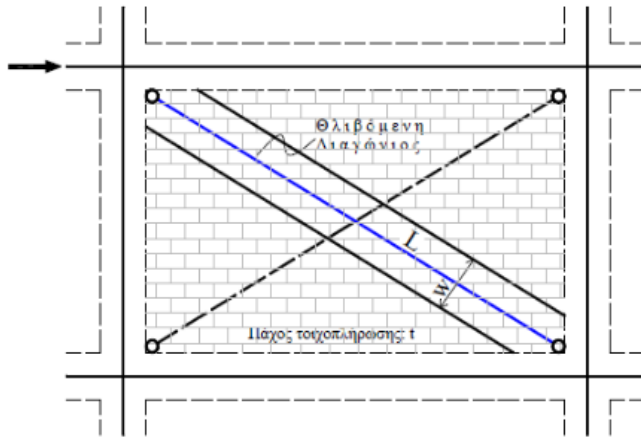
Η μέση θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας κατά τη διεύθυνση της διαγώνιας ράβδου θα λαμβάνεται υπόψη ως η μέση θλιπτική αντοχή κατά την κατακόρυφη διεύθυνση και η μείωσή της λόγω των εγκάρσιων εφελκυστικών τάσεων. Ελλείψει ακριβέστερων δεδομένων, η αντοχή αυτή επιτρέπεται να εκτιμάται μέσω της χαρακτηριστικής τιμής της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας κατά τη κατακόρυφη διεύθυνση $f_{wc,k}$ κατά τον Ευρωκώδικα 6.

$$f_{wc,s} = \lambda_m * \lambda_s * \lambda_c * k * f_{bc}^{0.7} * f_{mc}^{0.3} \quad (\text{KAN.EΠΕ. Εξίσωση Σ7.18}) \quad (1)$$

Όπου $\lambda_m = 1.50$ συντελεστής μετατροπής της χαρακτηριστικής αντοχής σε μέση, $\lambda_s = 0.7$ μειωτικός συντελεστής για τη δυσμενή υπό γωνία εφαρμογή του φορτίου, $\lambda_c = 1.20$ αυξητικός συντελεστής για την ευμενή επιρροή της περίσφιξης την οποία εξασφαλίζουν τα περιβάλλοντα την τοιχοπλήρωση δομικά στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος, f_{bc} και f_{mc} η θλιπτική αντοχή τοιχοσώματος και κονιάματος αντιστοίχως, k εμπειρικός συντελεστής, ο οποίος λαμβάνει υπόψη την ομάδα στην οποία κατατάσσονται τα τοιχοσώματα και το είδος του κονιάματος δομήσεως. Για συνήθη κονιάματα ο συντελεστής παίρνει τιμές από 0.35 έως 0.55. Όταν οι κατακόρυφοι αρμοί της τοιχοποιίας δεν είναι γεμάτοι με κονίαμα, η τιμή της θλιπτικής αντοχής του λοξού θλιπτήρα πολλαπλασιάζεται με ένα πρόσθετο μειωτικό συντελεστή (πέραν του λ_s). Όταν δεν διατίθενται ακριβέστερα στοιχεία, ο μειωτικός συντελεστής εκτιμάται βάσει του ποσοστού πληρώσεως των κατακόρυφων αρμών και μπορεί να παίρνει τιμές από 0.6 έως 0.9. Όταν το πάχος των οριζόντιων αρμών της τοιχοποιίας είναι μεγαλύτερο από 15 mm, η τιμή της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας πολλαπλασιάζεται με ένα πρόσθετο μειωτικό συντελεστή 0.85. (KAN.EΠΕ. § 7.4.1. ζ2. σχόλια). Ελλείψει άλλων ακριβέστερων στοιχείων, τόσο για τις δοκούς, όσο και για τα υποστυλώματα του περιβάλλοντος πλαισίου, το μήκος επαφής αυτών των στοιχείων με την τοιχοπλήρωση θα προκύπτει απ' το πλάτος της θλιβόμενης διαγώνιου, το οποίο έχει ληφθεί υπόψη για τον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών. Εντός του μήκους επαφής, πραγματοποιείται τριγωνική κατανομή της αντίστοιχης συγκεντρωμένης κατακόρυφης ή οριζόντιας τέμνουσας (με την μέγιστη τιμή τάσεως στην γωνία του πλαισίου).

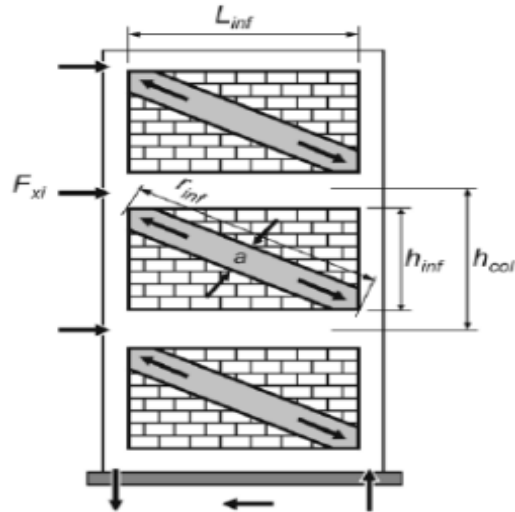
Το μέτρο Ελαστικότητας της τοιχοποιίας προκύπτει είτε από δοκιμές είτε λαμβάνεται από εμπειρικούς τύπους :

$$E_{\text{masonry}} = 1000 * f_{wc} \quad (2)$$



Σχήμα: 2.

Προσομοίωση τοιχοπλήρωσης με θλιβόμενες διαγώνιους



Σχήμα: 3.

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά τοιχοπληρωμένου πλαισίου κατά το κείμενο FEMA 356.

2.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ ΜΕ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Όταν εντός ενός φαντώματος η τοιχοπλήρωση έχει ανοίγματα, η προσομοίωσή της θα πρέπει να προσαρμόζεται καταλλήλως, ελέγχοντας κατά πόσον η διάταξη των ανοιγμάτων επιτρέπει την λειτουργία διατμητικού φαντώματος ή την διαμόρφωση λοξών θλιβόμενων ράβδων τοιχοποιίας, για τις οποίες να εξασφαλίζονται συνοριακές συνθήκες επιτρέπουσες την συμμετοχή των θλιβόμενων ράβδων στο σχήμα αντίστασης του πλαισίου. Κατά τον έλεγχο αυτόν, θα λαμβάνεται καταλλήλως υπόψη και το κατά πόσο τα κάθε είδους ανοίγματα περιβάλλονται από διαζώματα ή πλαίσια (ή άλλα ενισχυτικά στοιχεία), οριζόντια ή/και κατακόρυφα (οπλισμένοι λαμπάδες ή/και ποδιές, πρέκια κ.λπ.). Η επιρροή του μεγέθους και της θέσεως των ανοιγμάτων στην δυστημσία ή δυστένεια και στην φέρουσα ικανότητα των τοιχοπληρώσεων δεν προσομοιώνεται με απλά μέσα. Ελλείπει λεπτομερέστερης διερευνήσεως για άοπλες τοιχοπληρώσεις, μπορούν να λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα στοιχεία:

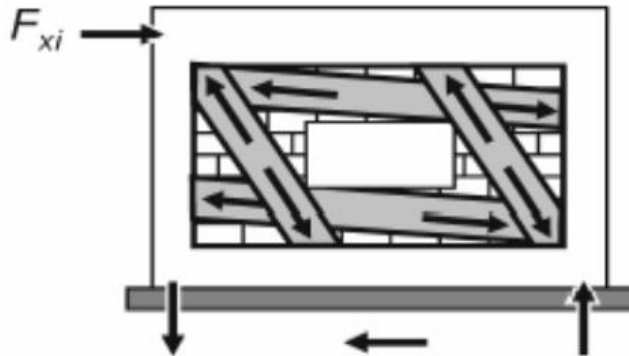
(α) Όταν υπάρχουν δύο μεγάλα ανοίγματα κοντά σε αμφοτέρωτα τα άκρα του φαντώματος, η τοιχοπλήρωση αμελείται.

(β) Όταν υπάρχει άνοιγμα διαστάσεων οι οποίες δεν υπερβαίνουν το 20% των αντίστοιχων διαστάσεων του φαντώματος και είναι τοποθετημένο περίπου στο κέντρο του φαντώματος, η επιρροή του στα χαρακτηριστικά της τοιχοπλήρωσης μπορεί να αμελείται.

(γ) Όταν υπάρχει άνοιγμα, τοποθετημένο περίπου στο κέντρο του φαντώματος, του οποίου οι διαστάσεις πλησιάζουν ή υπερβαίνουν το 50% των αντίστοιχων διαστάσεων του φαντώματος, η τοιχοπλήρωση μπορεί να αμελείται.

(δ) Όταν υπάρχει άνοιγμα τοποθετημένο περίπου στο κέντρο του φαντώματος, του οποίου οι διαστάσεις είναι μεταξύ του 20% και του 50% των αντίστοιχων διαστάσεων του φαντώματος, τότε είναι δυνατόν να ληφθούν υπόψη δύο λοξοί θλιπτήρες ανά φάντωμα. Αυτοί οι θλιπτήρες θα ξεκινούν απ' τα δύο άκρα της κυρίας διαγώνιου και θα καταλήγουν κοντά στο μέσον της υπερκείμενης και της υποκείμενης δοκού αντιστοίχως. Σ' αυτήν την περίπτωση, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επιρροή των θλιπτήρων στην έναντι τέμνουσας ασφάλεια των δοκών.

ε) Δύο μικρά και γειτονικά ανοίγματα σε ένα φάντωμα μπορούν να θεωρηθούν ως ένα ισοδύναμο και ενιαίο, περιεγραμμένο σ' αυτά.

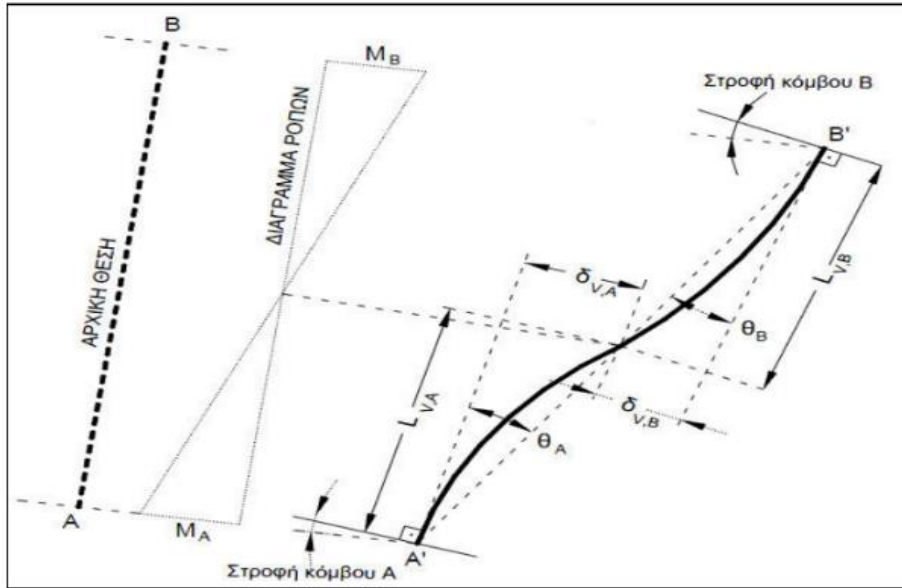


Σχήμα: 4. Προσομοίωση ανοίγματος τοιχοποιίας (FEMA 356, ΚΑΝ.ΕΠΕ.)

3. ΥΠΕΡΩΘΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ, ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΙ ΠΛΑΣΤΙΚΕΣ ΑΡΘΡΩΣΕΙΣ

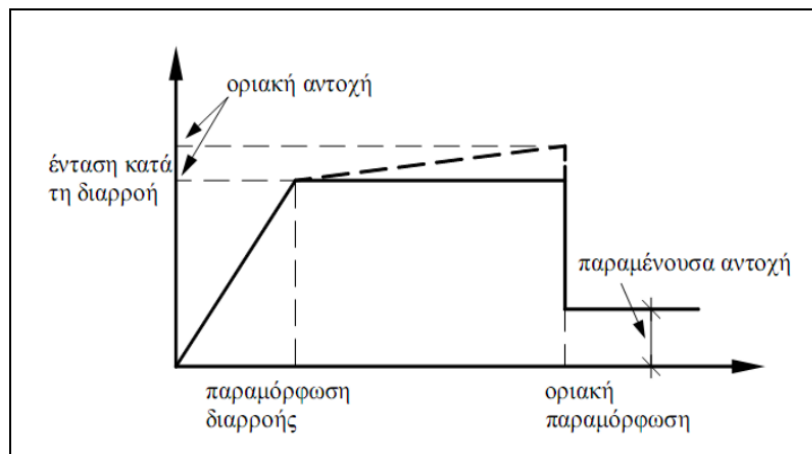
3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER)

Κύριος στόχος της στατικής ανελαστικής ανάλυσης είναι η εκτίμηση του μεγέθους των ανελαστικών παραμορφώσεων που θα αναπτυχθούν στα δομικά στοιχεία της κατασκευής, όταν αυτή υπόκειται στη σεισμική δράση για την οποία γίνεται η αποτίμηση ή ο ανασχεδιασμός. Τα μεγέθη αυτά των ανελαστικών παραμορφώσεων συγκρίνονται με τις επιτρεπόμενες τιμές που προσδιορίζονται με βάση τη στοχευόμενη στάθμη επιτελεστικότητας και τις ικανότητες των μελών. Στη στατική ανελαστική ανάλυση χρησιμοποιείται ένα προσομοίωμα του φορέα το οποίο λαμβάνει υπόψη ανελαστικούς νόμους φορτίου - παραμόρφωσης για τα επιμέρους δομικά στοιχεία του κτιρίου. Ειδικότερα για το σκυρόδεμα, λόγω του ότι οι καμπτικές και οι διατμητικές παραμορφώσεις συνυπάρχουν, χρησιμοποιείται ο ανελαστικός νόμος ροπής κάμψης – γωνία στροφής χορδής (M-θ).



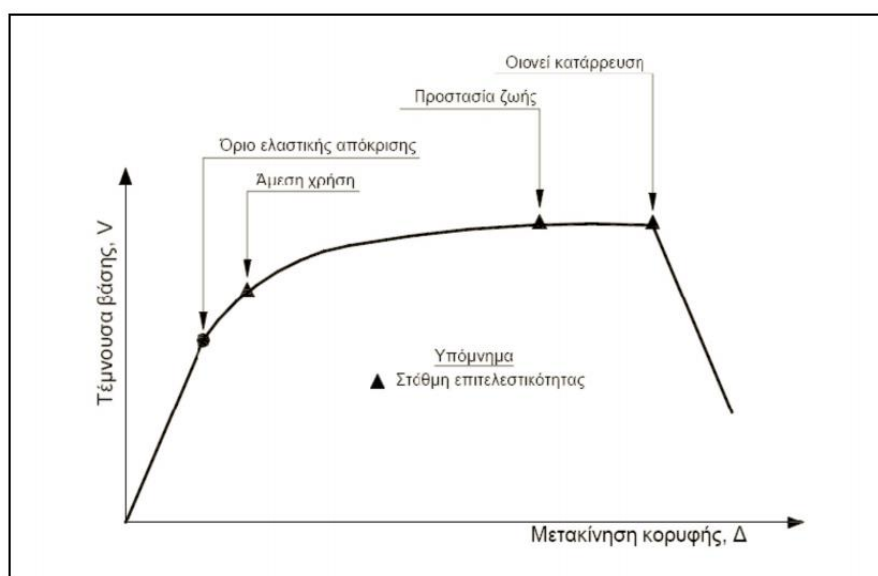
Σχήμα: 5. Ορισμός στροφής χορδής θ

Το προσομοίωμα φορτίζεται με οριζόντια φορτία διαφορετικών κατανομών καθ' ύψος, τα οποία αυξάνουν μονότονα και αναπαριστούν τις αδρανειακές δυνάμεις που εμφανίζονται στα επίπεδα των ορόφων κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Η ανάλυση διενεργείται μέχρι να σημειωθεί αστοχία του φορέα. Η συνήθης μορφή αστοχίας είναι η αστοχία σε κάμψη μίας κρίσιμης διατομής (ο ικανότατος σχεδιασμός που επιβάλλουν οι σύγχρονοι αντισεισμικοί κανονισμοί εξασφαλίζει ότι η καμπτική αστοχία προηγείται πάντοτε της διατμητικής) ή η μετατροπή του φορέα σε μηχανισμό, τοπικά ή συνολικά. Σε κάθε περιοχή που αναμένεται να εμφανιστεί ανελαστική συμπεριφορά λαμβάνεται υπόψη η σχέση φορτίου - παραμόρφωσης μέσω πλήρων καμπυλών μονότονης φόρτισης μέχρι την αστοχία. Οι καμπύλες αυτές περιλαμβάνουν την φάση εξασθένησης του στοιχείου, καθώς και την παραμένουσα αντοχή του και έχουν την παρακάτω μορφή:



Σχήμα : 6. Σκελετικό διάγραμμα Συμπεριφοράς

Από την ανάλυση του προσομοιώματος κατασκευάζεται η καμπύλη αντίστασης της κατασκευής, η οποία εκφράζει τη σχέση μεταξύ της τέμνουσας βάσης, του κτηρίου και της μετατόπισης κορυφής, δ . Με βάση αυτή την καμπύλη γίνονται όλοι οι απαιτούμενοι έλεγχοι ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεστικότητας. Για τον προσδιορισμό της στοχευόμενης μετακίνησης ωστόσο, απαιτείται η αντικατάσταση της καμπύλης αντίστασης από μία εξιδανικευμένη διγραμμική καμπύλη από την οποία προσδιορίζεται η ισοδύναμη πλευρική δυσκαμψία, και η αντίστοιχη τέμνουσα διαρροής, V . Η στοχευόμενη μετατόπιση της κατασκευής υπολογίζεται για δεδομένη περίοδο επαναφοράς του σεισμού κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ (βλ. Κεφάλαιο 5 §5.7.4). Αφού υπολογιστεί η αναμενόμενη μετακίνηση της κορυφής της κατασκευής, σημειώνεται πάνω στην καμπύλη το αντίστοιχο σημείο επιτελεστικότητας και συγκρίνεται με την επιθυμητή στάθμη για τη συγκεκριμένη σεισμική διέγερση.



Σχήμα : 7. Ορισμός σταθμών επιτελεστικότητας στην καμπύλη αντίστασης

3.2 ΠΛΑΣΤΙΚΕΣ ΑΡΘΡΩΣΕΙΣ

Κύριος στόχος σε μια κατασκευή είναι ο προσδιορισμός του τρόπου και των θέσεων εκδήλωσης ανελαστικών παραμορφώσεων και η εκτίμηση του μεγέθους τους συγκριτικά με τις αποδεκτές τιμές. Η απορρόφηση της σεισμικής ενέργειας εξασφαλίζεται κυρίως μέσω των πλαστικών αρθρώσεων. Για την εφαρμογή των ανελαστικών αναλύσεων, θα πρέπει να καθορίσουμε τα μέλη, καθώς και τα σημεία τους στα οποία ενδέχεται να εμφανιστούν πλαστικές αρθρώσεις. Πρόκειται για το σύνολο των μελών της κατασκευής – υποστυλώματα, τοιχώματα και δοκοί – στα σημεία αρχής και τέλους. Ειδικότερα, για τα υποστυλώματα ορίζεται κρίσιμη η αλληλεπίδραση σε διαξονική κάμψη κατά τις δύο διευθύνσεις και αξονική δύναμη και για τις δοκούς αλληλεπίδραση μόνο σε καμπτική ροπή περί τον άξονα 3-3. Στη λογική αυτή, απαιτείται ο προσδιορισμός διαφορετικών πλαστικών αρθρώσεων, που θα εφαρμοστούν στα άκρα των στοιχείων για κάθε δοκό, ανάλογα με την ροπή διαρροής της. Αντίστοιχα, οι πλαστικές αρθρώσεις των υποστυλωμάτων θα πρέπει να οριστούν για κάθε ένα χωριστά, ώστε να περιέχουν τις τιμές των

αξονικών δυνάμεων οι οποίες θα ληφθούν κατά το δυσμενέστερο από τον στατικό συνδυασμό $1.35G + 1.50Q$.

3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΩΘΗΣΗΣ

Η ανάλυση πλευρικής ώθησης περιλαμβάνει δύο φάσεις φόρτισης. Κατά την πρώτη φάση, λαμβάνονται υπόψη οι αρχικές φορτικές συνθήκες $G+0.3Q$, ανάλογες της σεισμικής δράσης και ακολουθείται μια στατική μη-γραμμική ανάλυση υπό μηδενικές αρχικές συνθήκες. Στη φάση αυτή η κατασκευή πρέπει να βρίσκεται στην ελαστική περιοχή, διαφορετικά αστοχεί υπό τα ίδια βάρη της. Η επόμενη φάση συνεχίζει από το τέλος της πρώτης και περιλαμβάνει τη σταδιακή εξώθηση της κατασκευής, δηλαδή τη σταδιακή επιβολή οριζόντιων σεισμικών φορτίων σε κάθε όροφο του κτηρίου. Η καθ' ύψος κατανομή φόρτισης επιλέγεται τριγωνική ανάλογη της πρώτης ιδιόμορφης με μέγιστη τιμή μονάδα στην κορυφή του τελευταίου ορόφου και σταδιακή μείωση προς τους χαμηλότερους ορόφους. Τα φορτία αυτά σημειώνουν μονότονη αύξηση και πρακτικά αναπαριστούν τις εμφανιζόμενες αδρανειακές δυνάμεις ανά όροφο κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Απαραίτητη είναι η επιλογή ενός κόμβου ελέγχου στον οποίο προσδίδεται μία μέγιστη μετακίνηση. Η αύξηση της φόρτισης συνεχίζεται μέχρι η παραμόρφωση στον εκλεγμένο κόμβο ελέγχου να φτάσει τη μετακίνηση αυτή. Πρόκειται για μια προαποφασισμένη ακραία τιμή η οποία δεν πρόκειται να αναληφθεί από την κατασκευή, αλλά αποσκοπεί στην ανάδειξη της πορείας της αστοχίας. Η παραπάνω φόρτιση εφαρμόζεται στα κέντρα μάζας κάθε ορόφου με σταδιακή αύξηση του φορτίου καθ' ύψος ανάλογη με το ύψος του ορόφου. Η μέθοδος φόρτισης - αποφόρτισης που χρησιμοποιείται είναι αυτή της αποφόρτισης όλης της κατασκευής. Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι όταν μια πλαστική άρθρωση φτάσει σε κάποιο τμήμα του διαγράμματος $M-\theta$ με αρνητική κλίση, η πλευρική φόρτιση της κατασκευής συνεχίζεται έως ότου η επιπρόσθετη παραμόρφωση να αποκτήσει αρνητική τιμή. Εφόσον τώρα η παραμόρφωση αντιστραφεί, η κατασκευή αποφορτίζεται, δηλαδή σημειώνεται μείωση της κατανομής της πλευρικής παραμόρφωσης. Η μείωση εξακολουθεί μέχρι την πλήρη αποφόρτιση της εν λόγω πλαστικής άρθρωσης. Στη συνέχεια, η κατασκευή επαναφορτίζεται και κάποιο άλλο τμήμα της αναλαμβάνει το ποσοστό της φόρτισης που αφαιρέθηκε από τη συγκεκριμένη πλαστική άρθρωση.

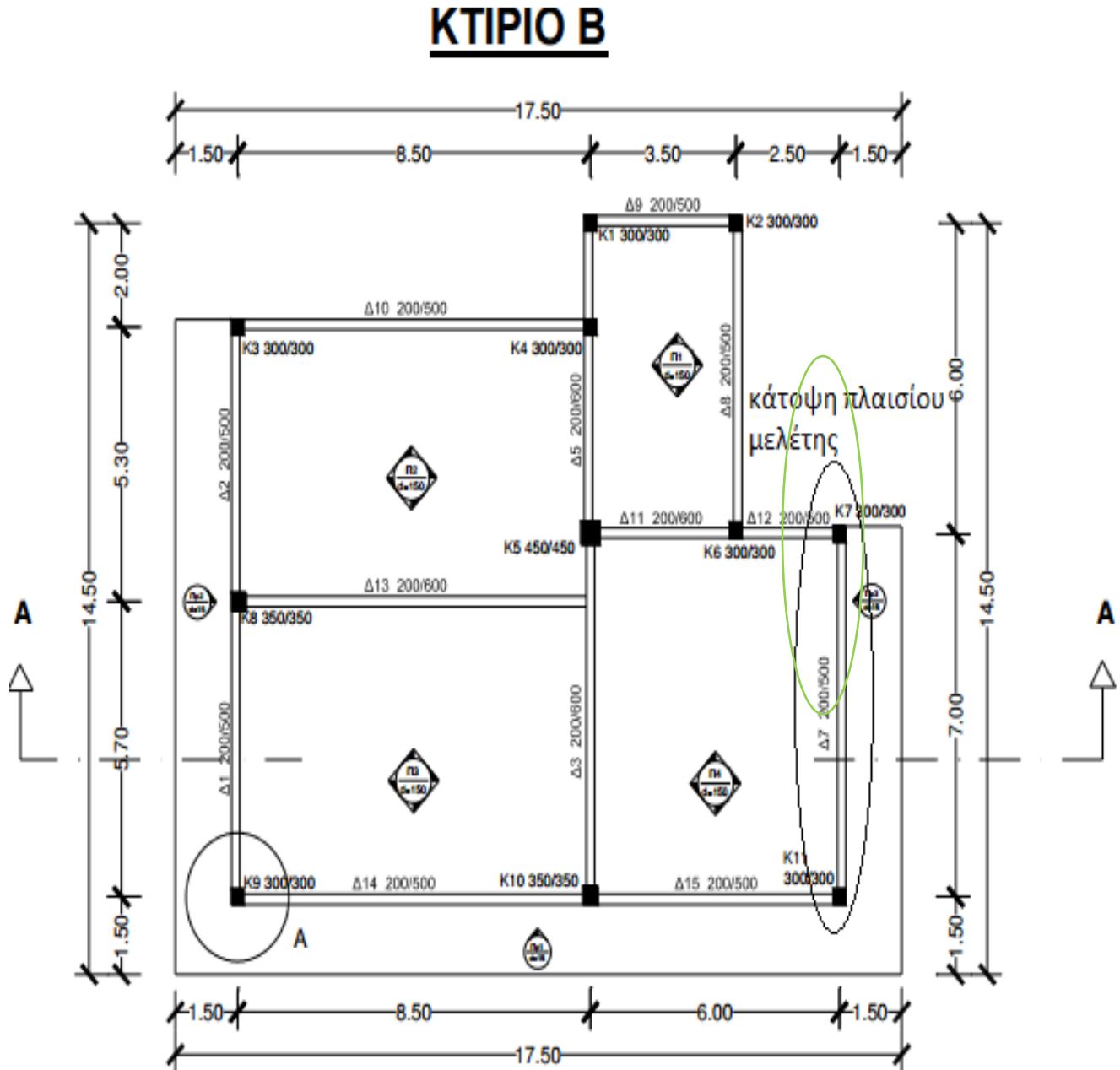
3.4 ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η μέθοδος της υπερωθητικής ανάλυσης λαμβάνει υπόψη μόνο την οριζόντια συνιστώσα του σεισμού, ενώ παράλληλα αγνοεί την κινητική ενέργεια και την απόσβεση της σεισμικής φόρτισης. Η υπερωθητική ανάλυση, για την συγκεκριμένη μελέτη, αποτελεί την βέλτιστη επιλογή από άποψη ακρίβειας αποτελεσμάτων και οικονομίας υπολογισμών-χρόνου.

4. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΟΡΕΑ

4.1 ΚΑΤΟΨΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Για την παρούσα εργασία επιλέχθηκε περιμετρικό πλαίσιο του κτιρίου Β, το οποίο συμπεριλαμβάνει τα Κ7, Κ11 υποστυλώματα, καθώς και τη δοκό Δ7.



Σχήμα : 8. Κάτοψη κτιρίου.

4.2 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΗΣ

Οι διαστάσεις και οι οπλισμοί των υποστυλωμάτων είναι: 300/300 με οπλισμό 4Φ20. Η δοκός έχει διαστάσεις 200/500 και οπλίζεται στο κάτω πέλμα με 4Φ14 στα ανοίγματα, από τα οποία τα

μισά κάμπτονται στις στηρίξεις, όπου υπάρχουν επιπλέον 2Φ14 ως πρόσθετος αντισεισμικός οπλισμός. Οι συνδετήρες είναι Φ8/200 σε όλα τα υποστυλώματα, καλά αγκυρωμένοι με ημικυκλικά άγκιστρα, και Φ8/300 στις δοκούς με επαρκή αγκύρωση. Οι πλάκες έχουν πάχος $h_f = 150\text{mm}$ και είναι οπλισμένες σε δύο διευθύνσεις με Φ8/150. Επί των πλακών υπάρχει φορτίο από επίστρωση ίσο με 1.5 kN/m^2 . Τα ωφέλιμα φορτία λαμβάνονται με βάση τους ισχύοντες Κανονισμούς Φορτίσεων. Περιμετρικά σε κάθε όροφο υπάρχει μπατική τοιχοποιία με εκτιμώμενο φαινόμενο βάρος 3.6 kN/m^2 επιφάνειας όψης και εσωτερικά, κάτω από κάθε (εσωτερική) δοκό, δρομική τοιχοποιία με φαινόμενο βάρος 2.1 kN/m^2 . Επί των περιμετρικών δοκών της οροφής υπάρχει μπατική τοιχοποιία ύψους 1.20 m . Τα υλικά θεωρούνται: Σκυρόδεμα C16/20 και χάλυβας S400.

Εκλέχθηκε υλικό τοιχοπλήρωσης με μέση θλιπτική αντοχή $f_{wc,s} = 2000\text{ kPa}$, $\varepsilon_y = 1.25\%$ $\varepsilon_u = 2.75\%$ και μέτρο Ελαστικότητας $E_{\text{masonry}} = 2000\text{ MPa}$, τιμές που θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικές των υπαρχόντων ελληνικών κατασκευών.

Υπολογισμός φορτίων πλαισίου

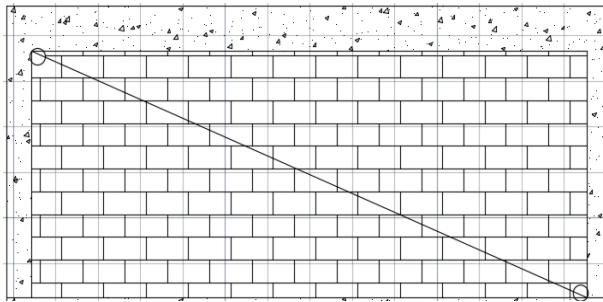
$$g = 3.6 * 2.7 + 1.2 * 3.6 + 2 * (25 * 0.15 * 1.94 + 1.5 * 1.94) = 24.3\text{ kN / m}$$

$$q = 2 * 1.94 = 4\text{ kN / m}$$

Συνδυασμός φορτίσεων που λήφθηκε υπόψη στην ανάλυση: $g + 0.3 * q \pm E$

5. ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 ΠΛΑΙΣΙΟ ΜΕ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΗ (χωρίς ανοίγματα)



Σχήμα : 9. Πλήρως τοιχοπληρωμένο πλαίσιο.

Διαστάσεις τοιχοπλήρωσης

$$\text{Καθαρό Ύψος Τοιχοπλήρωσης, } h(\text{m}) = \text{Ύψος Ορόφου} - \text{Κρέμαση Δοκού} = 3.20 - 0.50 = 2.70\text{m}$$

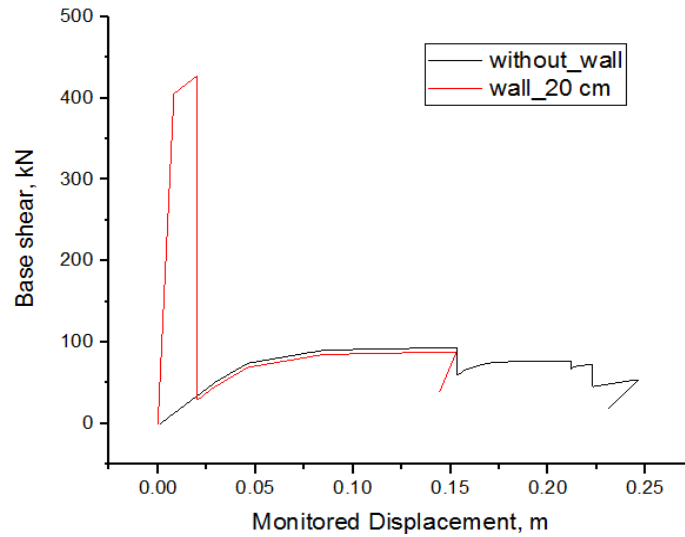
$$\text{Καθαρό Μήκος Τοιχοπλήρωσης, } l(\text{m}) = \text{Μήκος Ανοίγματος} - 2 * 0.5 * \text{Πλάτος Υποστυλώματος}$$

$$= 7.15 * 2 * 0.5 * 0.30 = 6.85\text{m}$$

$$\text{Μήκος Θλιβόμενης Διαγώνιου, } L(\text{m}) = \sqrt{l^2 + h^2} = \sqrt{6.85^2 + 2.7^2} = 7.36\text{m}$$

$$\text{Πλάτος θλιβόμενης Διαγώνιου, } b(\text{m}) = 0.15 * L = 0.15 * 7.36 = 1.10\text{m}$$

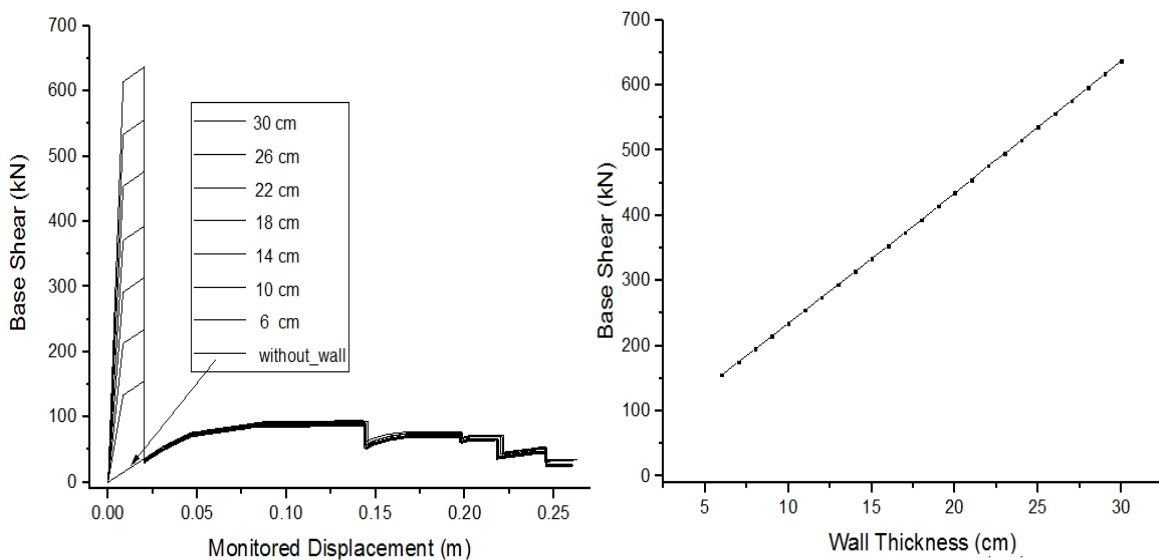
Σύγκριση απόκρισης πλαισίου παρουσία-απουσία τοίχου πληρώσεως



Διάγραμμα 2 : Καμπύλες Pushover για το γυμνό και για πάχος τοίχου 20 cm.

Συγκρίνοντας τις δύο καμπύλες pushover παρατηρείται η συμβολή της τοιχοπλήρωσης στην ικανότητα παραλαβής τέμνουσας βάσης του πλαισίου. Ειδικότερα, διαφαίνεται ότι παρουσία τοίχου πλήρωσης και στο εύρος μετακινήσεων όπου ο τοίχος δεν έχει αστοχήσει (μέχρι το σημείο A) η μέγιστη τιμή της τέμνουσας βάσης είναι υπερτριπλάσια αυτής που αντιστοιχεί σε απλό πλαίσιο. Μετά το σημείο A, το πλαίσιο παραλαμβάνει όλα τα φορτία μόνο του έως την τελική αστοχία (σημείο B).

5.2 Έλεγχος συμπεριφοράς διαφορετικών παχών τοίχου (6 cm - 30 cm)



Διάγραμμα 3 : A) Καμπύλες Pushover για ενδεικτικά πάχη τοίχου, B) Εύρος Πάχους Τοίχου – Μέγιστη Τέμνουσα Βάσης

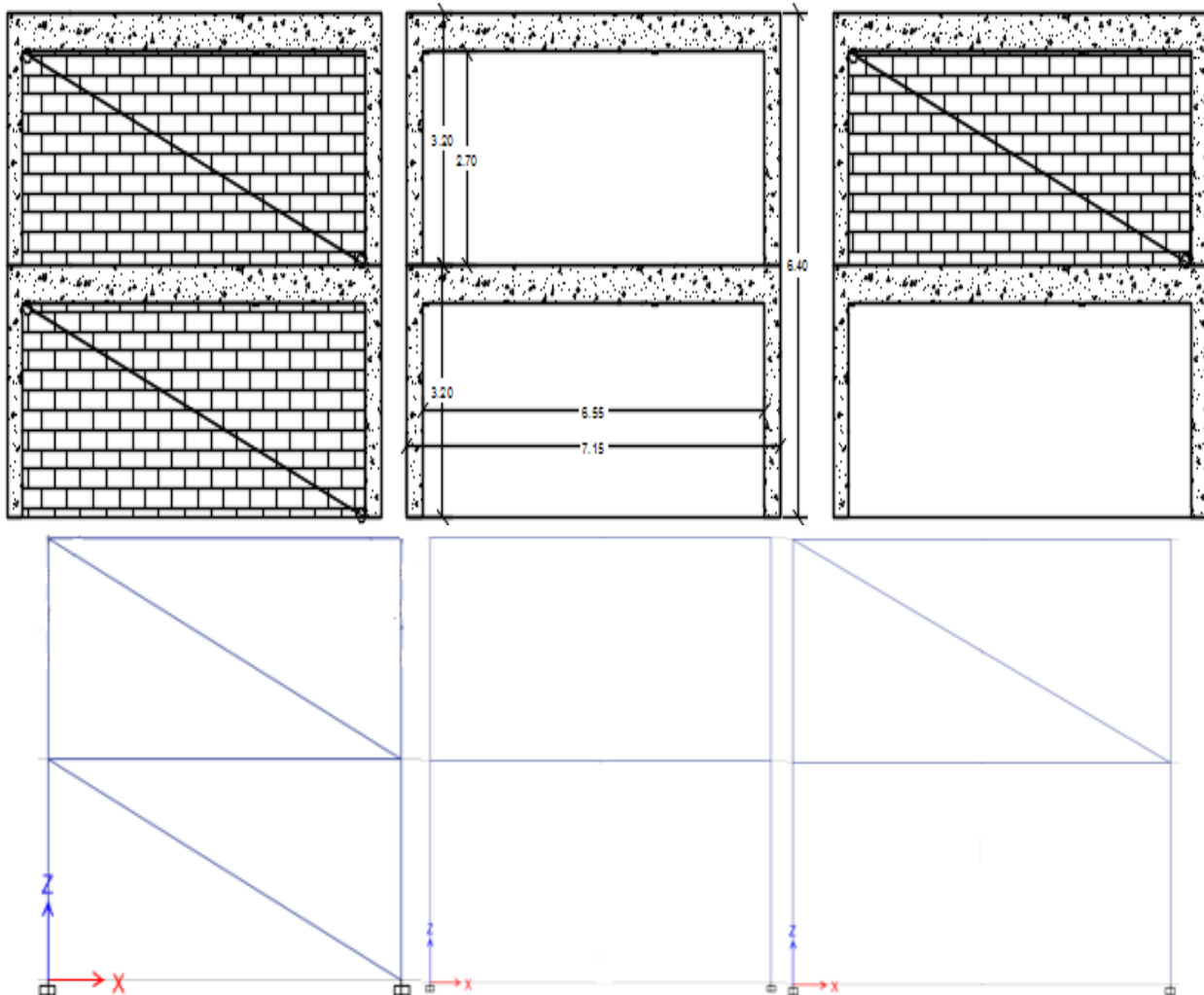
Είναι εμφανής η ύπαρξη δύο κύριων περιοχών, όπου

- Στην 1^η περιοχή λειτουργεί η τοιχοπλήρωση, προσδίδοντας αυξημένη αντοχή στο σύστημα μειωμένη όμως πλαστιμότητα ($\delta_u / \delta_y = 0.019/0.007 = 2.7$ για το τοιχοπληρωμένο πλαίσιο και για το «γυμνό» πλαίσιο $\delta_u / \delta_y = 0.14/0.04 = 3.5$)
- Στην 2^η περιοχή η τοιχοπλήρωση έχει πια αστοχήσει και το σύστημα λειτουργεί με αυξημένη μεν πλαστιμότητα, αλλά και με μειωμένη αντοχή.

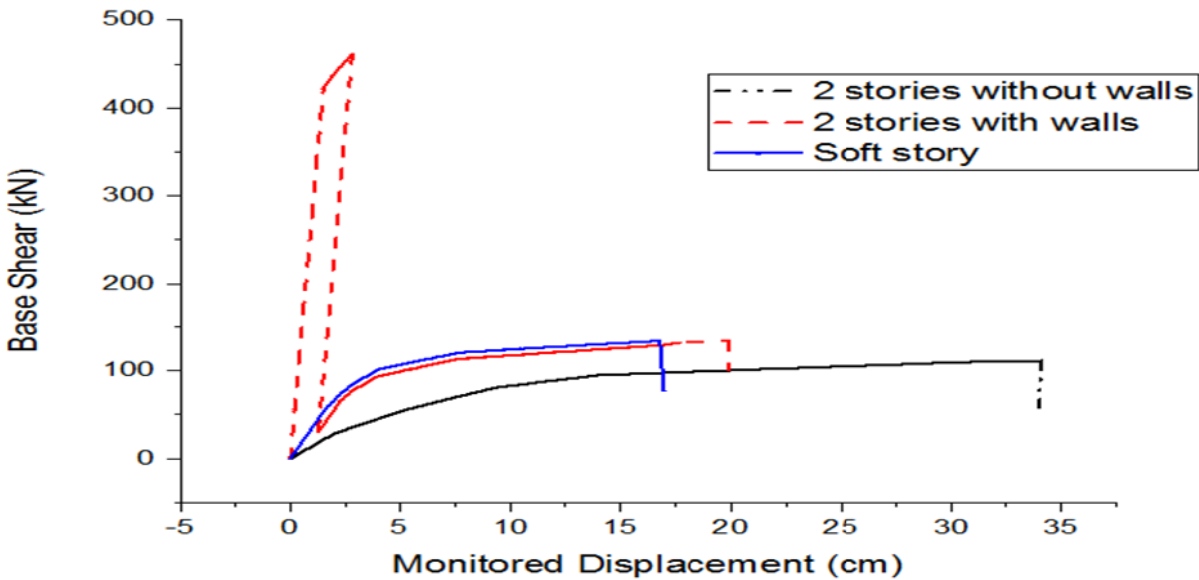
Η συσχέτιση του πάχους της τοιχοποιίας με την ικανότητα ανάληψης τέμνουσας βάσης του συστήματος προκύπτει γραμμική.

5.3 Διώροφο πλαίσιο χωρίς τοίχους, με τοίχους, φαινόμενο μαλακού ορόφουΣ

Κατά την ανάλυση του διώροφου πλαισίου με πυλωτή, χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες διατομές και φορτίσεις όπως και στο μονώροφο πλαίσιο με την διαφορά ότι τοιχοπλήρωση τοποθετήθηκε τοιχοπλήρωση μόνο στον πρώτο όροφο, όχι στο ισόγειο. Ακολούθως, έγινε σύγκριση με το αντίστοιχο μη τοιχοπληρωμένο διώροφο πλαίσιο.



Σχήμα: 10. Α) Πλήρως τοιχοπληρωμένο δώροφο , Β) Δώροφο πλαίσιο απουσία τοιχοπλήρωσης, Γ) Δώροφο πλαίσιο με μαλακό όροφο



Διάγραμμα 4: Καμπύλες Pushover για δώροφο πλαίσιο «γυμνό», πλήρως τοιχοπληρωμένο και με τοιχοπλήρωση στον πάνω όροφο μόνο(σχηματισμός μαλακού ορόφου)

Είναι εμφανής η συμβολή της τοιχοπλήρωσης και στην περίπτωση του δώροφου πλαισίου, πάλι μόνο για την πρώτη περιοχή (πριν την αστοχία της) κατά την οποία το σύστημα έχει αυξημένη αντοχή και μειωμένη πλαστιμότητα σε σχέση με το μη τοιχοπληρωμένο πλαίσιο ή την περίπτωση με τοιχοπλήρωση στον πάνω όροφο. Είναι σημαντικό στην παρούσα φάση να σχολιασθεί το γεγονός ότι η τέμνουσα βάσης του πλαισίου με τον μαλακό όροφο προκύπτει μεγαλύτερη από αυτή του γυμνού πλαισίου, ενώ αναμένεται ο σχηματισμός του είναι δυσχερής για το πλαίσιο. Πράγμα που εγείρει αμφιβολίες για το εάν έχει γίνει ορθή προσομοίωση και ανάλυση του εν λόγω συστήματος.

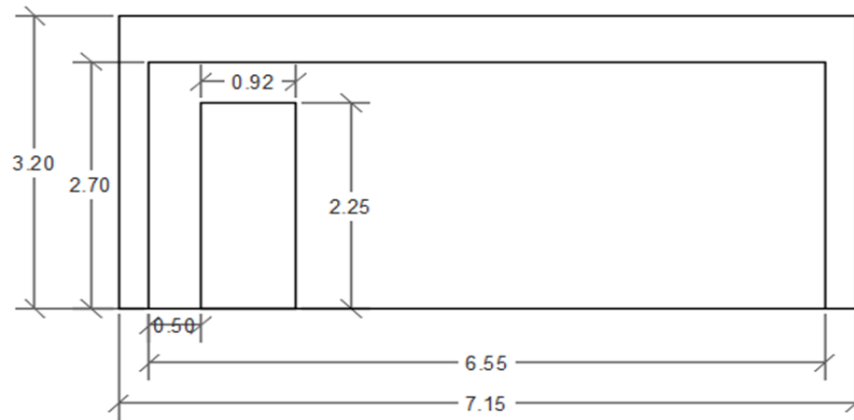
5.4 ΠΛΑΙΣΙΟ ΜΕ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΗ (Διάφορες θέσεις, είδη και συνδυασμοί ανοιγμάτων)

5.4.1 ΠΟΡΤΕΣ

Οι διαστάσεις της πόρτας που ελέγχθηκε είναι οι εξής (π x υ): 0.92m x 2.25m.

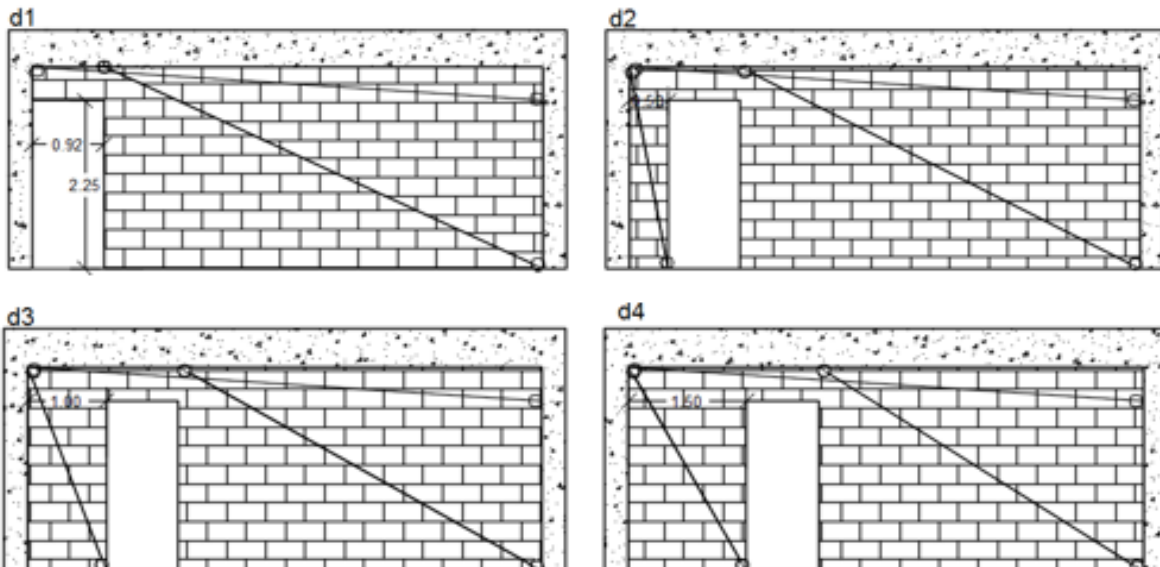
Κατά τον ίδιο τρόπο με την § 4.2.1 υπολογίστηκαν και πάλι οι διαστάσεις των επιμέρους θλιπτήρων.

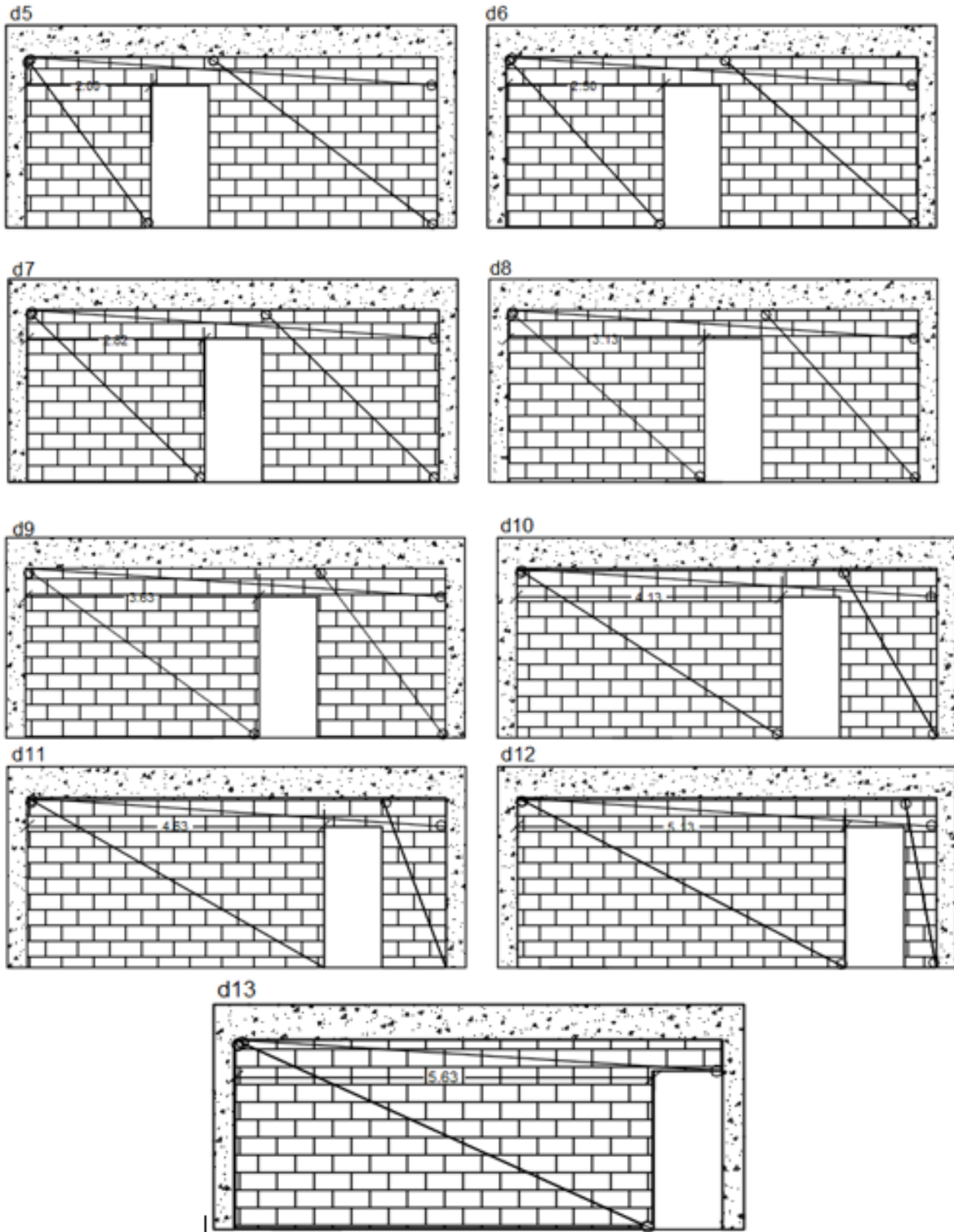
Λόγος εμβαδού ανοίγματος / εμβαδό τοίχου : $A_{op} / A_{tot} = 11.7\%$



Σχήμα: 11. Διαστάσεις πλαισίου.

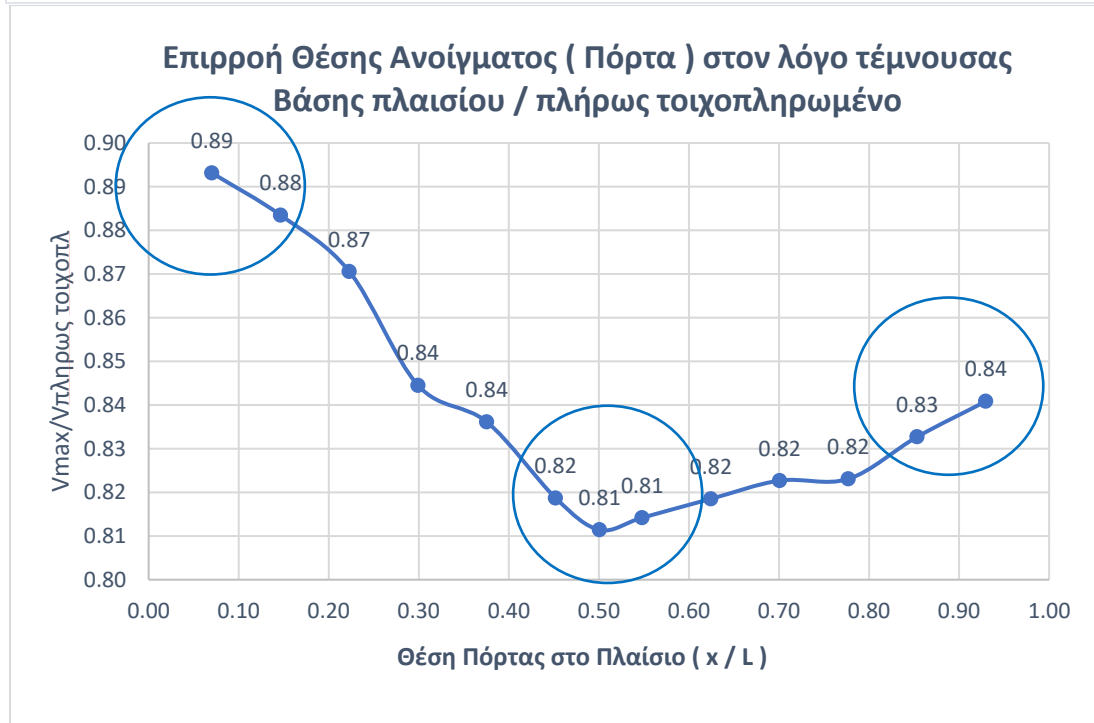
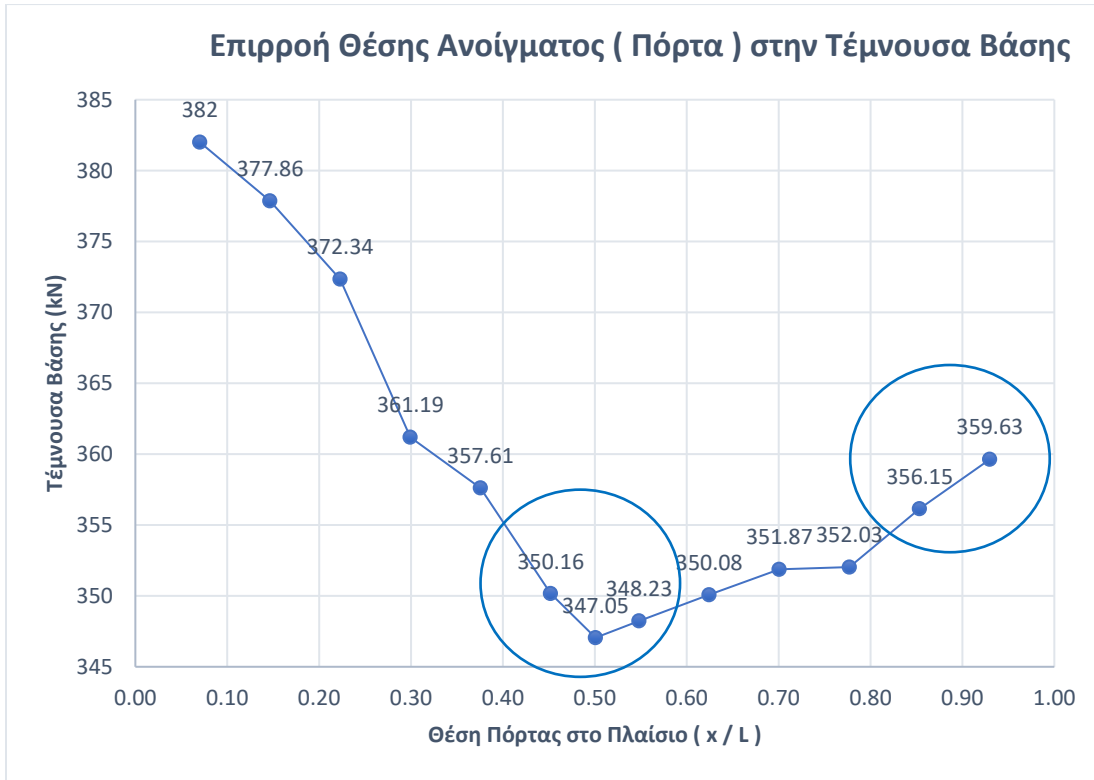
Ακολουθούν τα σχέδια των ανοιγμάτων, τα οποία επιλέχθηκαν για ανάλυση. Η πόρτα μετατοπίστηκε κατά το μήκος του πλαισίου σε διάφορες θέσεις και υπολογίστηκε η μέγιστη τέμνουσα βάση που εμφάνισε το πλαίσιο σε κάθε περίπτωση. Το βήμα της αλλαγής θέσης είναι 50 cm, ξεκινώντας από το αριστερό υποστύλωμα.

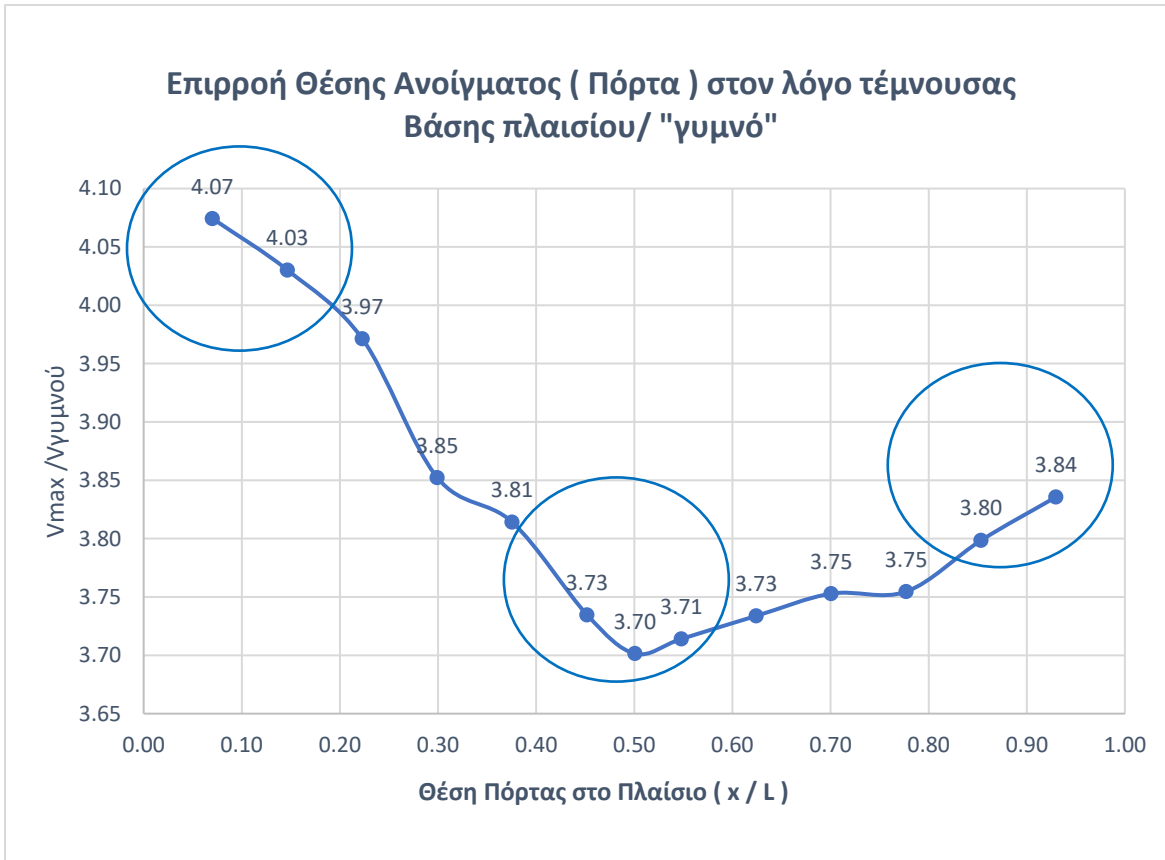




Σχήμα: 12. Εναλλακτικές θέσεις πόρτας κατά μήκος του ανοίγματος του πλαισίου, τοποθέτηση διαγώνιων συνδέσμων.

Ακολουθούν τα διαγράμματα των συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων των αναλύσεων για όλες τις παραπάνω περιπτώσεις καθώς επίσης και τα αποτελέσματα αυτά κανονικοποιημένα ως προς τις τέμνουσες βάσης του πλήρους τοιχοπληρωμένου πλαισίου και ως προς του γυμνού πλαισίου (πλήρης απουσία τοίχου)





Διάγραμμα 5-6-7 : Επιρροή θέσης πόρτας στην τέμνουσα βάσης, Επιρροή θέσης πόρτας στον λόγο τέμνουσα βάσης πλαισίου με πόρτα / πλήρως τοιχοπληρωμένου, Επιρροή θέσης πόρτας στον λόγο τέμνουσα βάσης πλαισίου με πόρτα / γυμνού

Από τα παραπάνω διαγράμματα είναι εμφανής η επιρροή της θέσης της πόρτας στο πλαίσιο όσον αφορά την μέγιστη σεισμική τέμνουσα βάσης που εμφανίζει η υπερωθητική ανάλυση σε κάθε περίπτωση. Η ελάχιστη τέμνουσα βάσης εμφανίζεται όταν το άνοιγμα της πόρτας βρίσκεται στο κέντρο του πλαισίου, ενώ υψηλότερες τέμνουσες επιτυγχάνονται όσο απομακρύνεται το άνοιγμα από το κέντρο. Από τα διαγράμματα των κανονικοποιημένων τιμών, φαίνεται η σημαντική συμβολή της ύπαρξης τοιχοπλήρωσης στο πλαίσιο την ώρα του σεισμού παρόλο που υπάρχει το άνοιγμα της πόρτας σε αυτή.

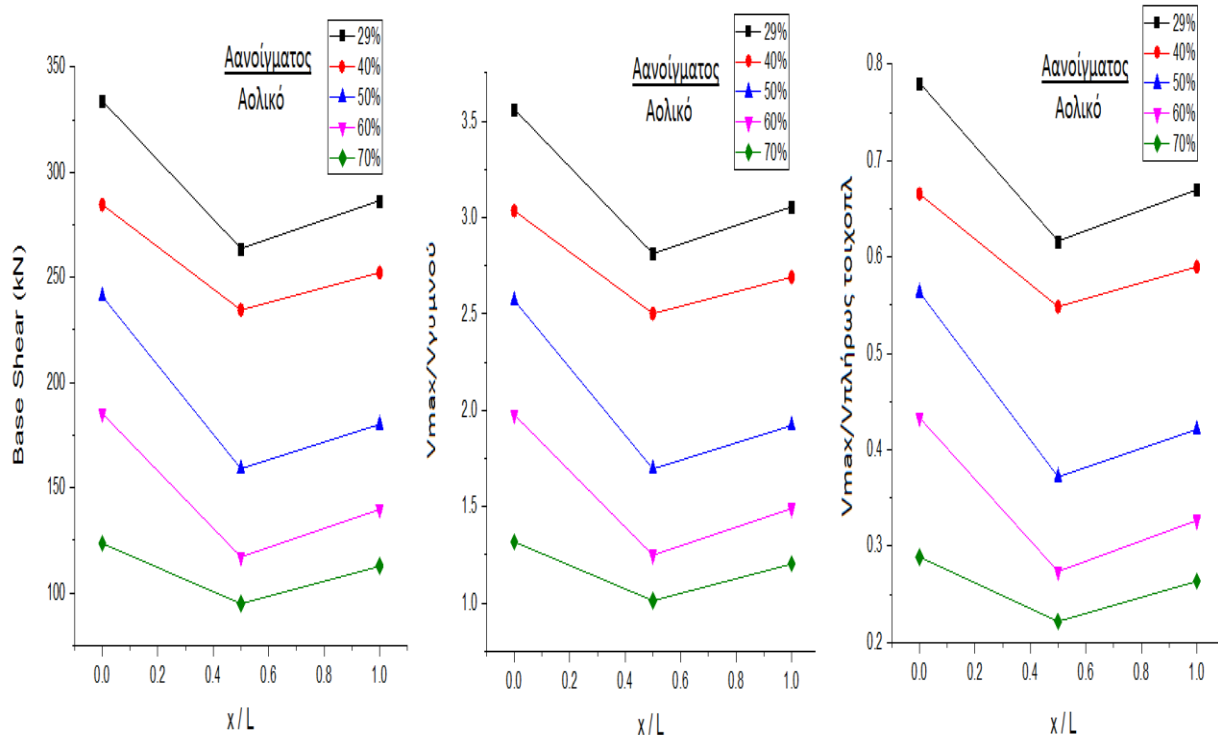
5.4.2 ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΕΣ

Οι διαστάσεις της πόρτας που ελέγχθηκε είναι οι εξής (π x υ): 0.92m x 2.25m. Κατά τον ίδιο τρόπο με την § 4.2.1 υπολογίστηκαν και πάλι οι διαστάσεις των επιμέρους θλιπτήρων.

Λόγος εμβαδού ανοίγματος / εμβαδό τοίχου : A_{op} / A_{tot} :



Σχήμα 13 : Μπαλκονόπορτες

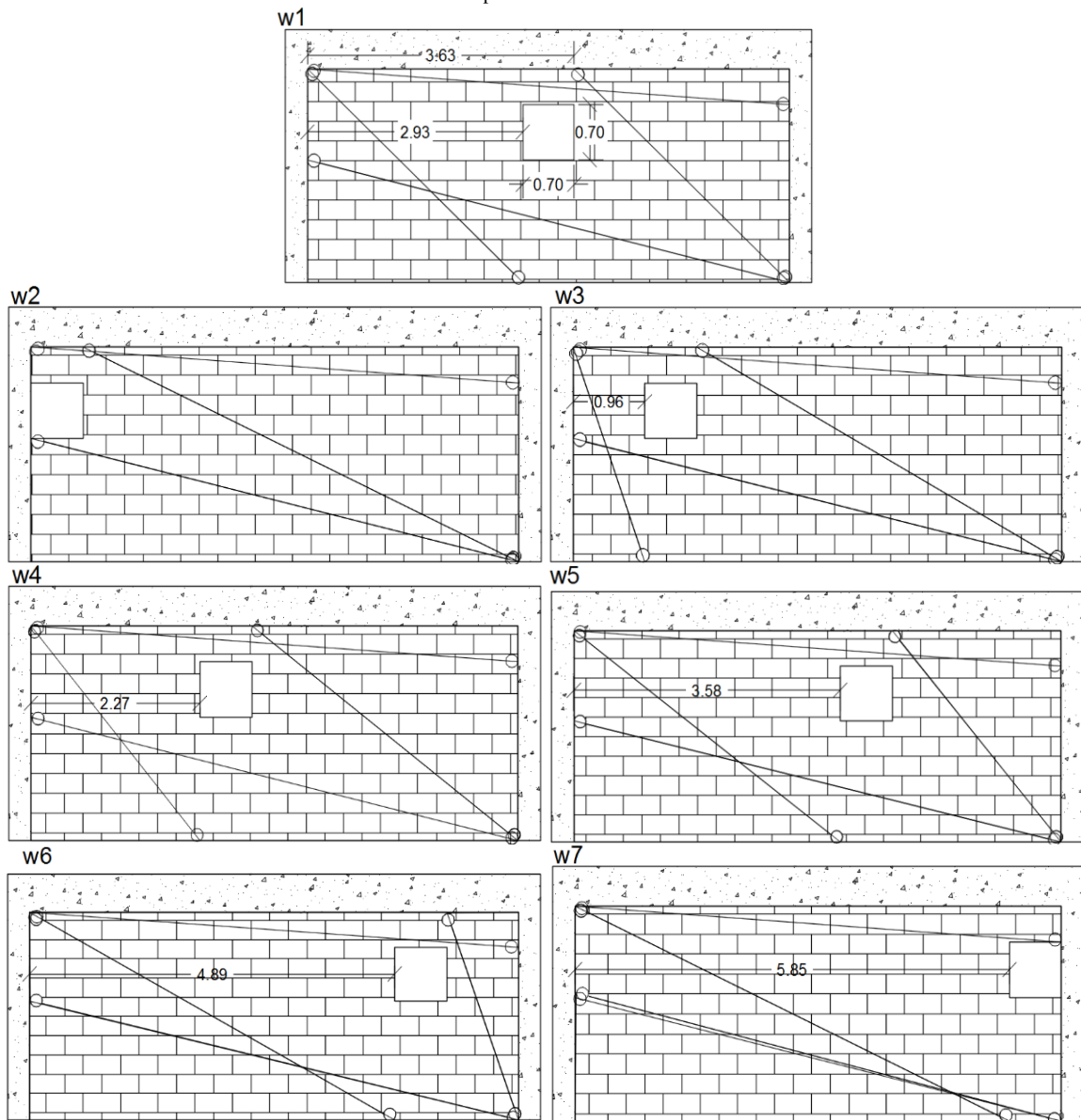


Διάγραμμα 8-9-10 : Επιρροή θέσης μπαλκονόπορτας στην τέμνουσα βάσης, Επιρροή θέσης μπαλκονόπορτας στον λόγο τέμνουσα βάσης πλαισίου με πόρτα / πλήρως τοιχοπληρωμένου, Επιρροή θέσης μπαλκονόπορτας στον λόγο τέμνουσα βάσης πλαισίου με πόρτα / γυμνού

Όπως και στην προηγούμενη ενότητα, έτσι και σε αυτή, είναι εμφανής η επιρροή της θέσης της μπαλκονόπορτας στο πλαίσιο όσον αφορά την μέγιστη σεισμική τέμνουσα βάσης που εμφανίζει η υπερωθητική ανάλυση σε κάθε περίπτωση. Η ελάχιστη τέμνουσα βάσης εμφανίζεται σε όλες τις περιπτώσεις όταν το άνοιγμα της μπαλκονόπορτας βρίσκεται στο κέντρο του πλαισίου, ενώ υψηλότερες τέμνουσες επιτυγχάνονται όσο απομακρύνεται το άνοιγμα από το κέντρο. Από τα διαγράμματα των κανονικοποιημένων τιμών, φαίνεται η σημαντική συμβολή της ύπαρξης τοιχοπλήρωσης στο πλαίσιο την ώρα του σεισμού παρόλο που υπάρχει το άνοιγμα της πόρτας σε αυτή. Έχοντας λάβει σε αυτή την ενότητα και την μεταβολή εμβαδού του ανοίγματος, μπορεί να σχολιασθεί ότι ακόμα και στα πολύ μεγάλα ανοίγματα, η τέμνουσα βάσης ήταν πάλι αυξημένη σε σχέση με αυτή του γυμνού πλαισίου, όχι όμως σε τέτοιο βαθμό όσο στα ανοίγματα μικρότερου μεγέθους.

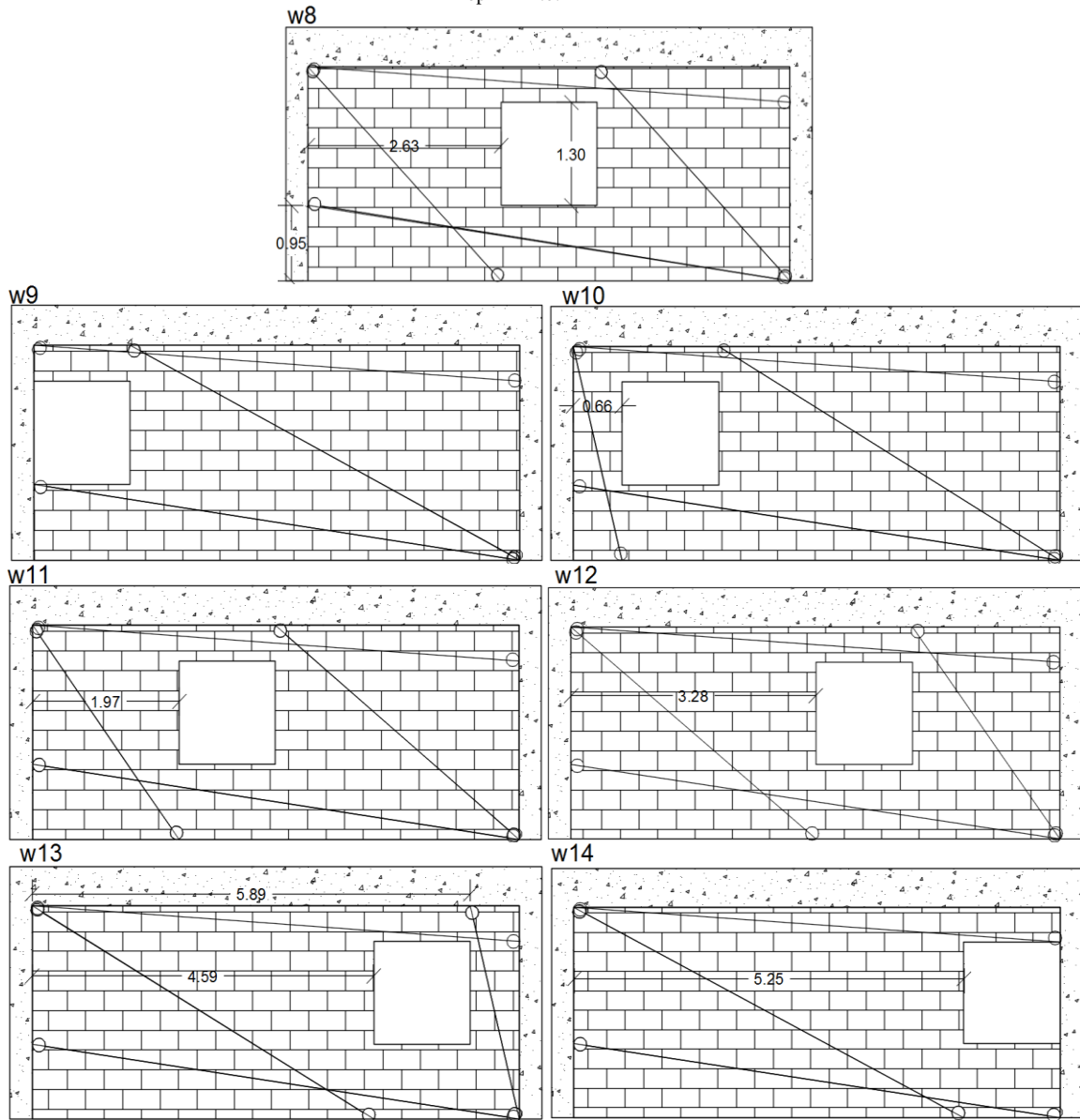
5.4.3 ΠΑΡΑΘΥΡΑ

$$A_{op} / A_{tot} = 3\%$$

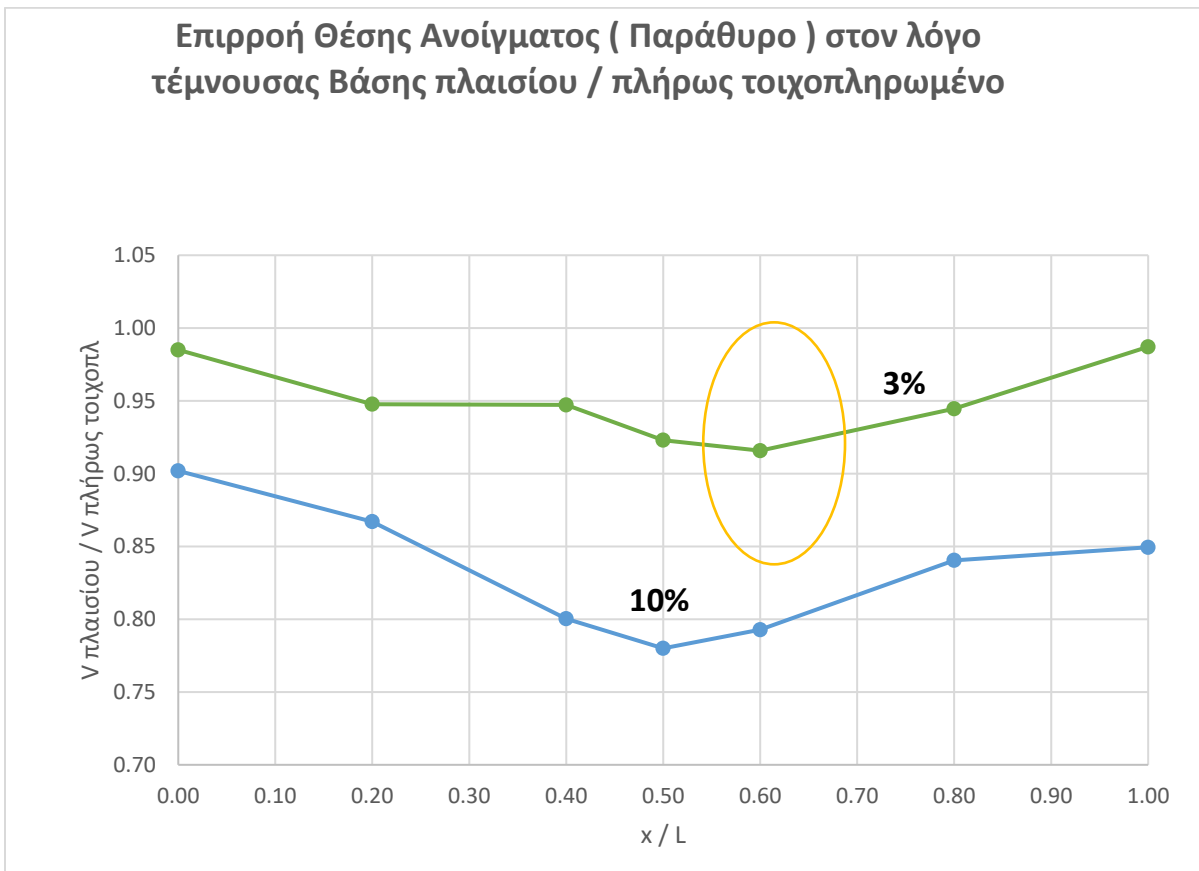
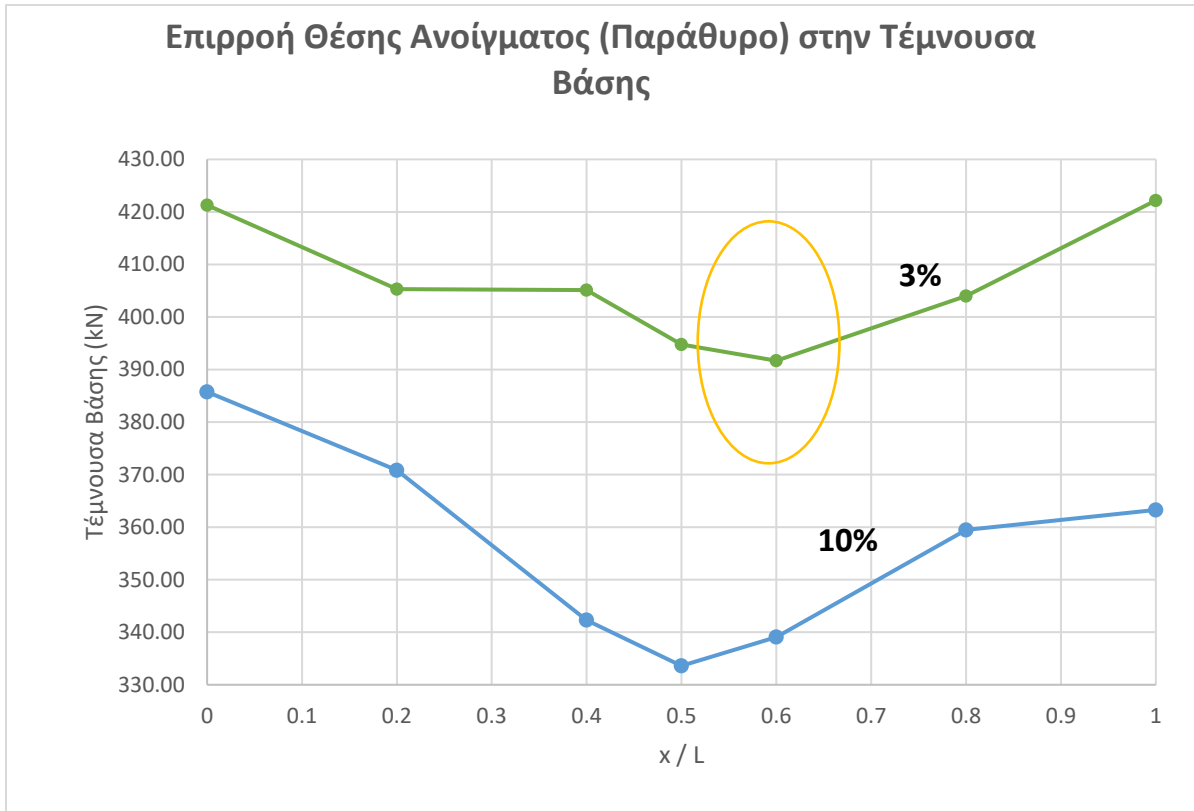


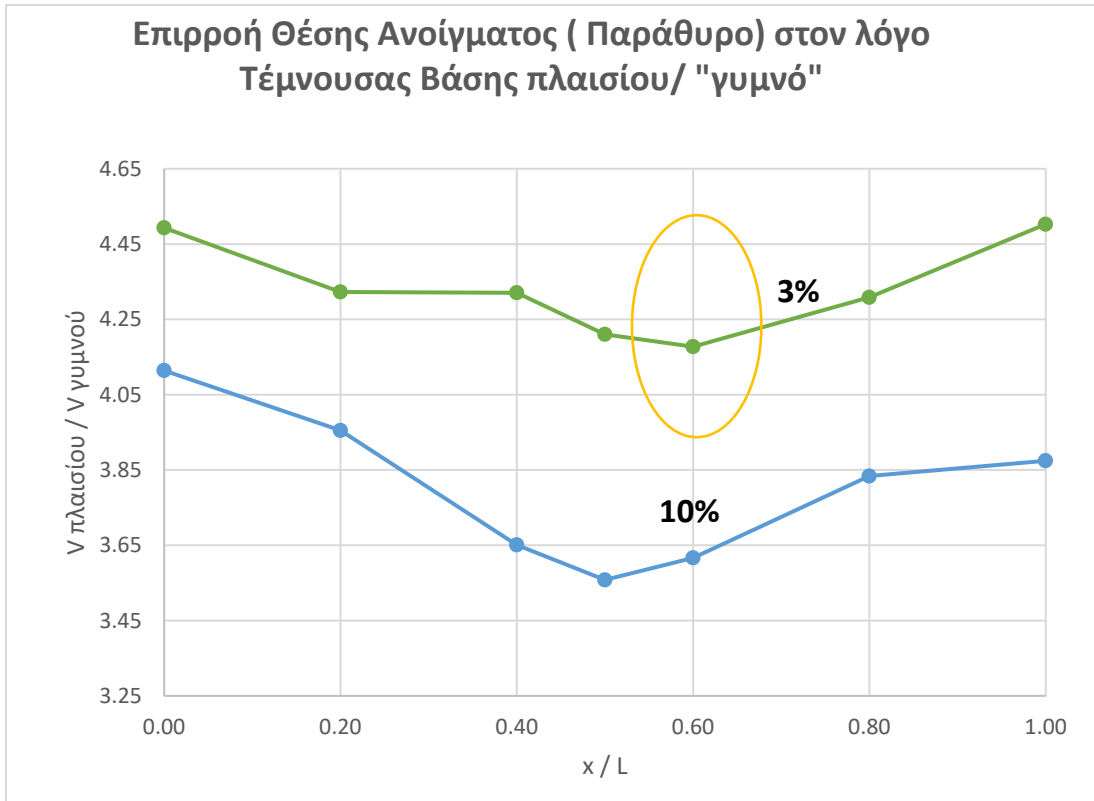
Σχήμα 14 : Παράθυρο 3%

$$A_{op} / A_{tot} = 10\%$$



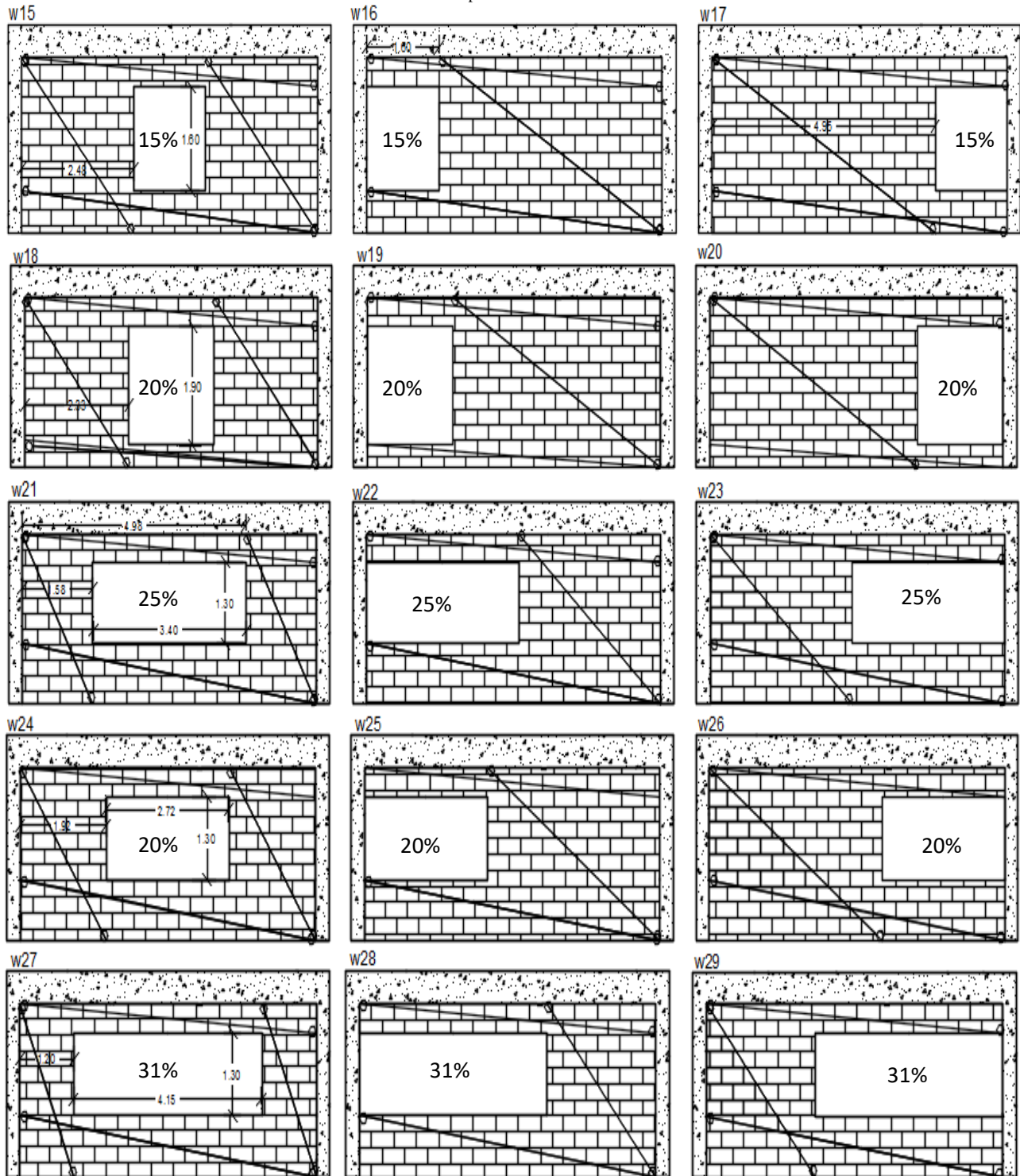
Σχήμα 15 : Παράθυρο 10%



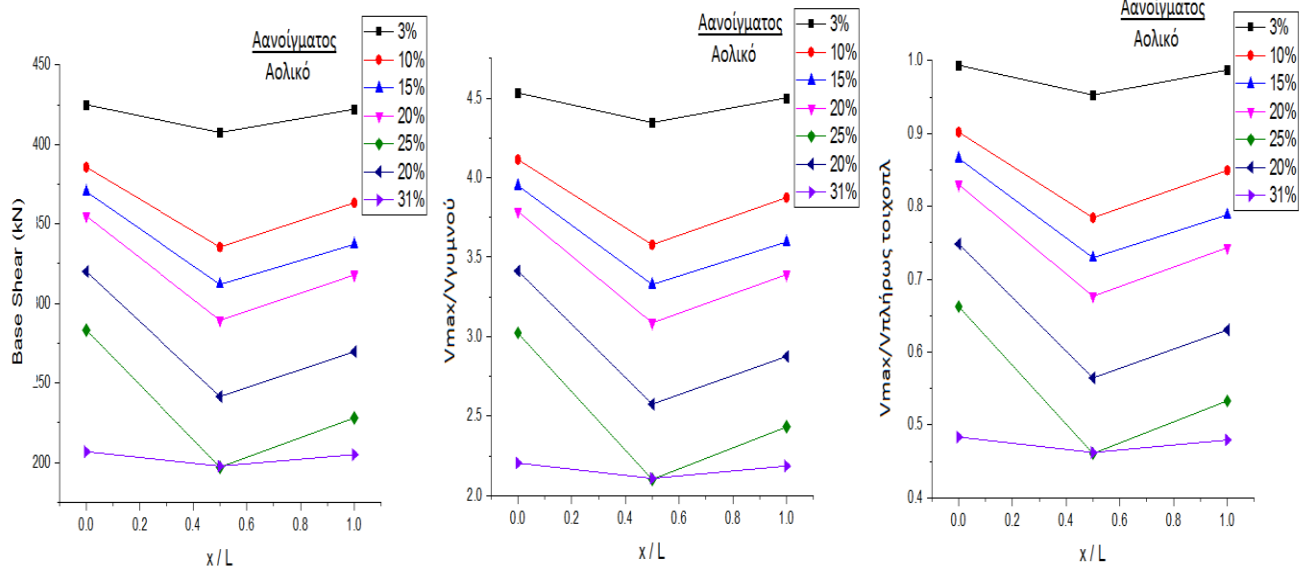


Διάγραμμα 11-12-13 : Επιρροή θέσης παραθύρου στην τέμνουσα βάσης, Επιρροή θέσης παραθύρου στον λόγο τέμνουσα βάσης πλαισίου με πόρτα / πλήρως τοιχοπληρωμένου, Επιρροή θέσης παραθύρου στον λόγο τέμνουσα βάσης πλαισίου με πόρτα / γυμνού

$A_{op} / A_{tot} :$



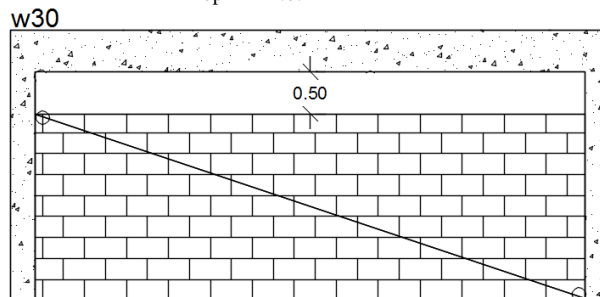
Σχήμα 16: Παράθυρα 15%-31%



Διάγραμμα 14-15-16 : Επιρροή θέσης παραθύρου στην τέμνουσα βάσης, Επιρροή θέσης παραθύρου στον λόγο τέμνουσα βάσης πλαισίου με πόρτα / πλήρως τοιχοπληρωμένου, Επιρροή θέσης παραθύρου στον λόγο τέμνουσα βάσης πλαισίου με πόρτα / γυμνού

Φεγγίτης

$$A_{op} / A_{tot} = 18.5\%$$



Μέγιστη τέμνουσα βάσης = 217 kN

Σχήμα 17 : Φεγγίτης

Οι υπερωθητικές αναλύσεις των πλαισίων με παράθυρα ακολούθησαν παρόμοιο μοτίβο με αυτές των πλαισίων με πόρτες και μπαλκονόπορτες. Πάλι μεγάλη τέμνουσα βάσης παρουσίαζαν τα ανοίγματα μακριά από το κέντρο του πλαισίου. Η ελάχιστη τέμνουσα βάσης εμφανίζεται όταν το άνοιγμα της παραθύρου βρίσκεται στο κέντρο του πλαισίου, με εξαίρεση τα πλαίσια με λόγο $A_{op} / A_{tot} = 3\%$ όπου ελάχιστη τέμνουσα βάσης εμφανίστηκε για $x / L = 0.6$. Από τα διαγράμματα των κανονικοποιημένων τιμών, φαίνεται η σημαντική συμβολή της ύπαρξης τοιχοπλήρωσης στο πλαίσιο την ώρα του σεισμού παρόλο που υπάρχει το άνοιγμα της πόρτας σε αυτή. Έχοντας λάβει σε αυτή την ενότητα και την μεταβολή εμβαδού του ανοίγματος, μπορεί να σχολιασθεί ότι ακόμα και στα πολύ μεγάλα ανοίγματα, η τέμνουσα βάσης ήταν πάλι αυξημένη σε σχέση με αυτή του γυμνού πλαισίου, όχι όμως σε τέτοιο βαθμό όσο στα ανοίγματα μικρότερου μεγέθους, ενώ στα πολύ μικρά ανοίγματα η τέμνουσα βάσης είναι σχεδόν ίδια με αυτή του πλήρως τοιχοπληρωμένου πλαισίου (σε ποσοστό 97% περίπου). Σημαντική διαφοροποίηση των αναλύσεων των πλαισίων με παράθυρα σε σχέση με τις προηγούμενες αναλύσεις, είναι ότι αυτές οι καθ' ύψος μεταβολές

στην τοιχοπλήρωση που προκαλεί η ύπαρξη των παραθύρων είναι ιδιαίτερα επιβαρυντικές για τα υποστυλώματα, πράγμα που φαίνεται και στα βήματα των υπερωθητικών (pushover) αναλύσεων, καθώς στα συγκεκριμένα φέροντα στοιχεία δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις από τα πρώτα κιάλας βήματα των υπερωθητικών αναλύσεων και σε αυτά δημιουργούνται μηχανισμοί οι οποίοι οδηγούν σε κατάρρευση τις κατασκευές.

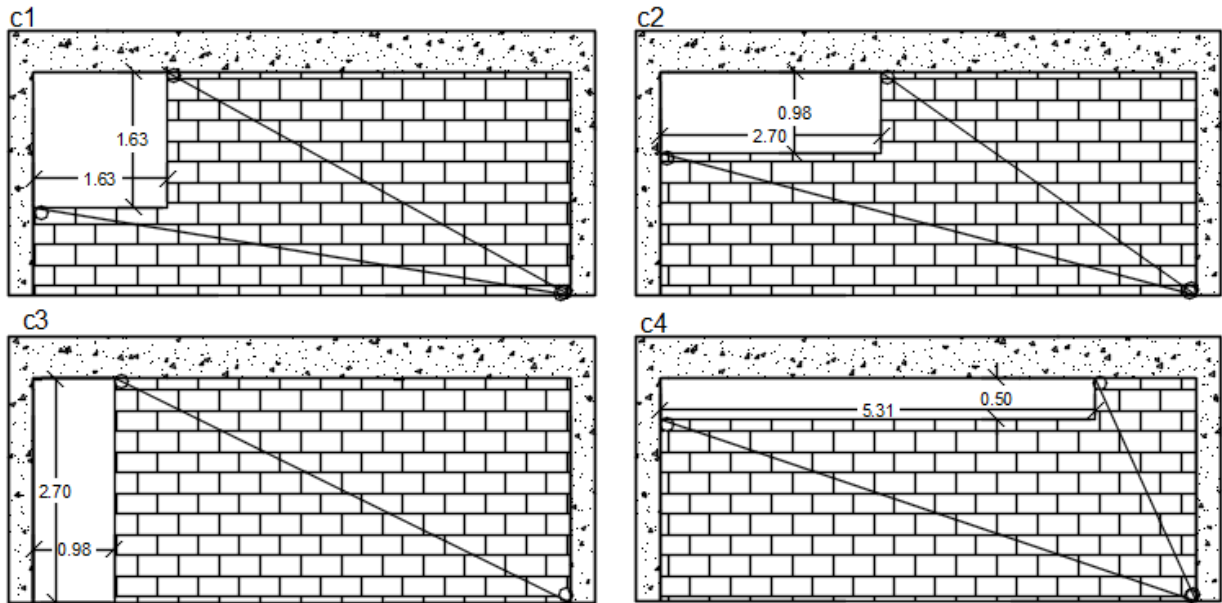
5.4.4 ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΕΜΒΑΔΟΥ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ

Σκοπός αυτής της ενότητας είναι να διερευνηθεί πως μια αρχιτεκτονική επιλογή επηρεάζει στατικά μια κατασκευή.

5.4.4.1 ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΕΜΒΑΔΟΥ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ- ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1

Λόγος εμβαδού ανοίγματος προς συνολικό εμβαδό = 15%

Με σταθερό κόστος υλικών (σταθερό εμβαδό τοίχου πλήρωσεως) μπορούμε να πετύχουμε διαφορετικές αντοχές, λόγω διαφορετικής επιλογής σχήματος στο άνοιγμα.



Σχήμα 18 : Σταθερό εμβαδό- μεταβαλλόμενο σχήμα 15%

Μέγιστη τέμνουσα βάσης για κάθε περίπτωση:

$$c1 : V = 396.21 \text{ kN}$$

$$c2 : V = 335.79 \text{ kN}$$

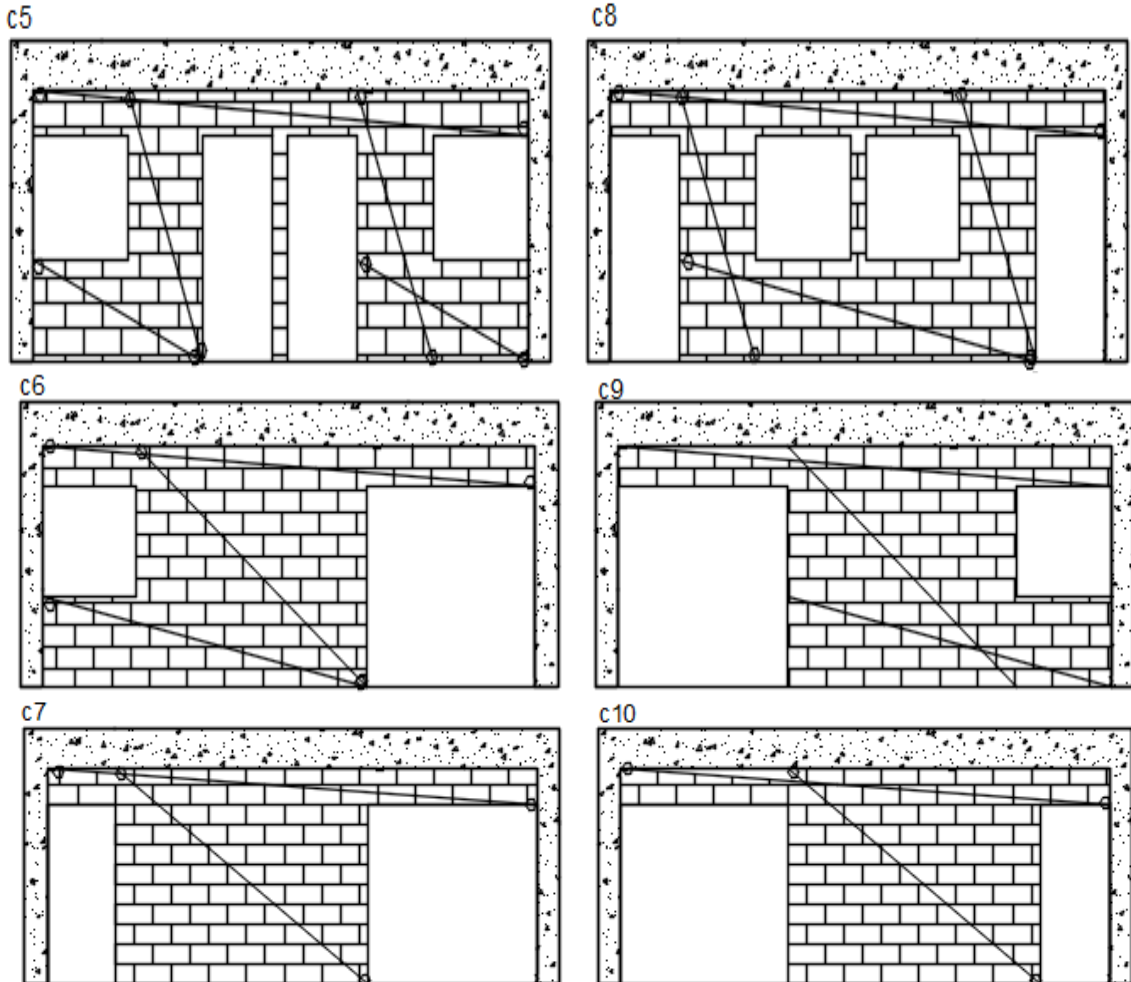
$$c3 : V = 406.89 \text{ kN}$$

$$c4 : V = 251.82 \text{ kN}$$

Όπως φαίνεται από τις αναλύσεις μέγιστη τέμνουσα επιτυγχάνεται όταν το άνοιγμα είναι συγκεντρωμένο στο άκρο του πλαισίου και δεν εμφανίζονται μεταβολές της τοιχοπλήρωσης καθ' ύψος (σχηματισμός κοντών υποστυλωμάτων).

5.4.4.2 ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΕΜΒΑΔΟΥ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ- ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2

Λόγος εμβαδού ανοίγματος προς συνολικό εμβαδό = 40% . Παρατηρούμε ότι η αντοχή του πλαισίου είναι «ανάλογη» της αρχιτεκτονικής επιλογής .



Σχήμα 19 : Σταθερό εμβαδό- μεταβαλλόμενο σχήμα 40%

Μέγιστη τέμνουσα βάσης για κάθε περίπτωση:

$$c5 : V = 220.87 \text{ kN}$$

$$c6 : V = 251.77 \text{ kN}$$

$$c7 : V = 238.55 \text{ kN}$$

$$c8 : V = 208.95 \text{ kN}$$

$$c9 : V = 266.12 \text{ kN}$$

$$c10 : V = 284.53 \text{ kN}$$

Και στην περίπτωση αυτή, όπως φαίνεται από τις αναλύσεις μέγιστη τέμνουσα επιτυγχάνεται όταν το άνοιγμα είναι συγκεντρωμένο στα άκρα του πλαισίου και δεν εμφανίζονται μεταβολές της τοιχοπλήρωσης καθ' ύψος (σχηματισμός κοντών υποστρωμάτων).

5.4.5 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. αναφέρεται ότι αν το άνοιγμα βρίσκεται στο κέντρο του πλαισίου και υπερβαίνει σε ποσοστό το 50 % του ολικού, τότε αγνοείται ο τοίχος. Αντίθετα, αν το ποσοστό ανοίγματος είναι μικρότερο του 20% , τότε αγνοείται το άνοιγμα. Όμως, βάσει των ανελαστικών αναλύσεων που διεξήχθησαν στη παρούσα εργασία παρατηρείται ότι εμφανίζονται σημαντικές διακυμάνσεις την αντοχή του πλαισίου με την ύπαρξη τοιχοπλήρωσης πέραν του εύρους μελέτης που οροθετείται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Συνεπώς, ορίζεται μια εξίσωση που θα συσχετίζει τις παρατηρούμενες τέμνουσες βάσης στα πλαίσια με ανοίγματα με την αντίστοιχη του πληρωμένου ή του γυμνού πλαισίου και θα εξαρτάται από τις ακόλουθες παραμέτρους:

- Εμβαδό ανοίγματος , A_{op}
- Εμβαδό πλαισίου, A_{tot}
- Κεντροβαρική οριζόντια απόσταση ανοίγματος από την μία άκρη (αριστερή) , x
- Κεντροβαρική κάθετη απόσταση ανοίγματος από τη στάθμη εδάφους, y
- Μήκος πλαισίου, L
- Ύψος πλαισίου, H
- Μέγιστη τέμνουσα πλαισίου με διάφορα είδη και συνδυασμούς ανοιγμάτων, V
- Μέγιστη τέμνουσα «γυμνού» πλαισίου με διάφορα είδη και συνδυασμούς ανοιγμάτων, V_{γ}
- Μέγιστη τέμνουσα πλήρως τοιχοπληρωμένου πλαισίου, V

Ζητάμε λύση της μορφής a) $v = k * \chi^n * \alpha^m$ ή b) $v = k * \chi^n * \psi^o * \alpha^m$

Όπου:

- $v = V / V_{\gamma}$ ή $v = V / V_{\pi\pi}$
- $\chi = x / L$
- $\psi = y / H$
- $\alpha = A_{op} / A_{tot}$

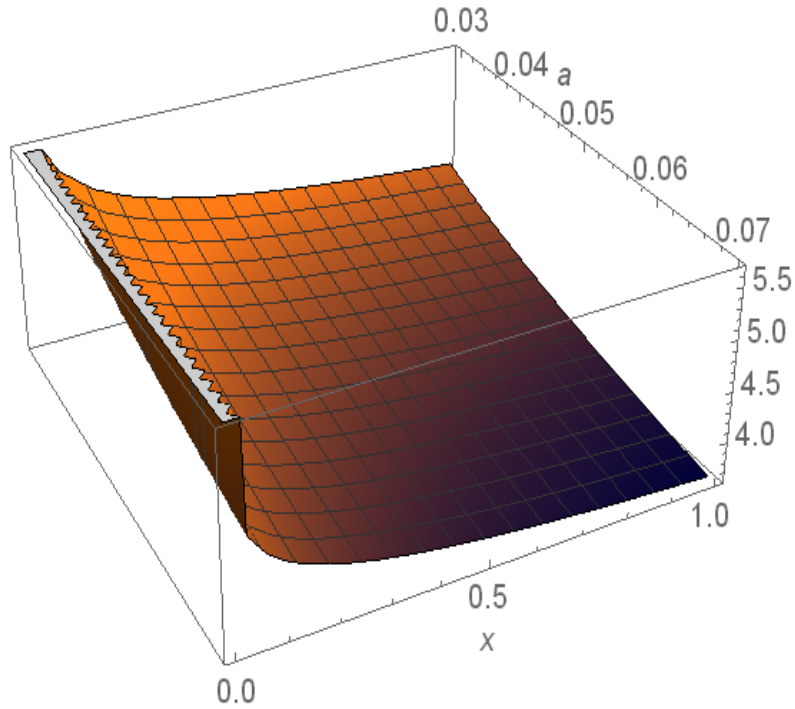
Όπου για

$$a) v = k * \chi^n * \alpha^m$$

- Αν $v = V / V_{\gamma}$, προκύπτει

$$v = 1.9093 * \chi^{-0.0722} * \alpha^{-0.2418}$$

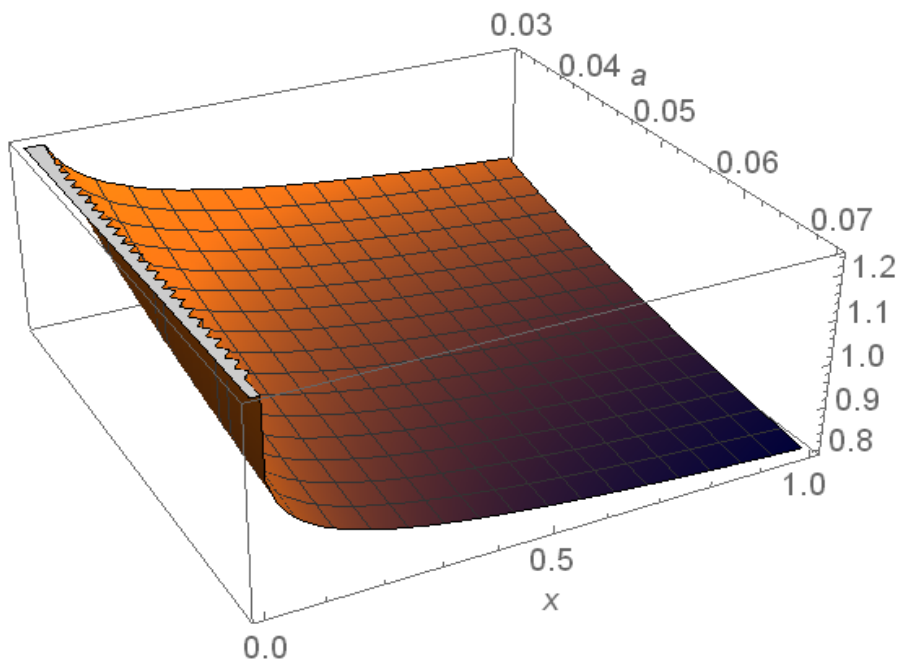
	Estimate	Standard Error	Confidence Interval
Out[22]= k	1.90928	0.108246	{1.69268, 2.12588}
n	-0.072218	0.0245445	{-0.121331, -0.0231045}
m	-0.24182	0.0226095	{-0.287061, -0.196578}



- $Av \quad v = V / V_{\pi\tau}$, προκύπτει
 $v = 0.4186 * \chi^{-0.0722} * \alpha^{-0.2418}$

Out[27]=

	Estimate	Standard Error	Confidence Interval
k	0.418551	0.0237296	{0.371068, 0.466034}
n	-0.072218	0.0245445	{-0.121331, -0.0231045}
m	-0.24182	0.0226095	{-0.287061, -0.196578}



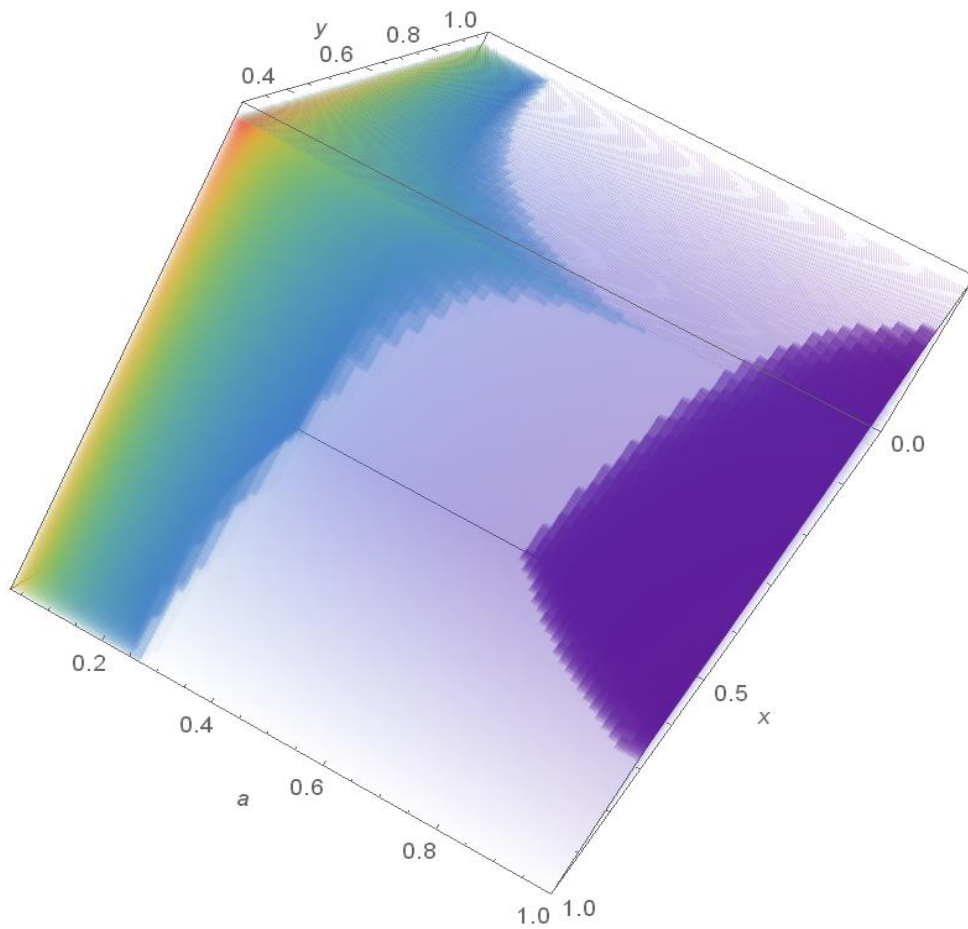
Ενώ εάν λάβουμε υπόψη και την επιρροή της μεταβολής του ύψους y του ανοίγματος σε σχέση με το συνολικό ύψος H του πλαισίου

$$b) v = k * \chi^n * \psi^o * \alpha^m$$

- Αν $v = V / V_\gamma$, προκύπτει

$$v = 1.3152 * \psi^{-0.3339} * \chi^{-0.0737685} * \alpha^{-0.2936}$$

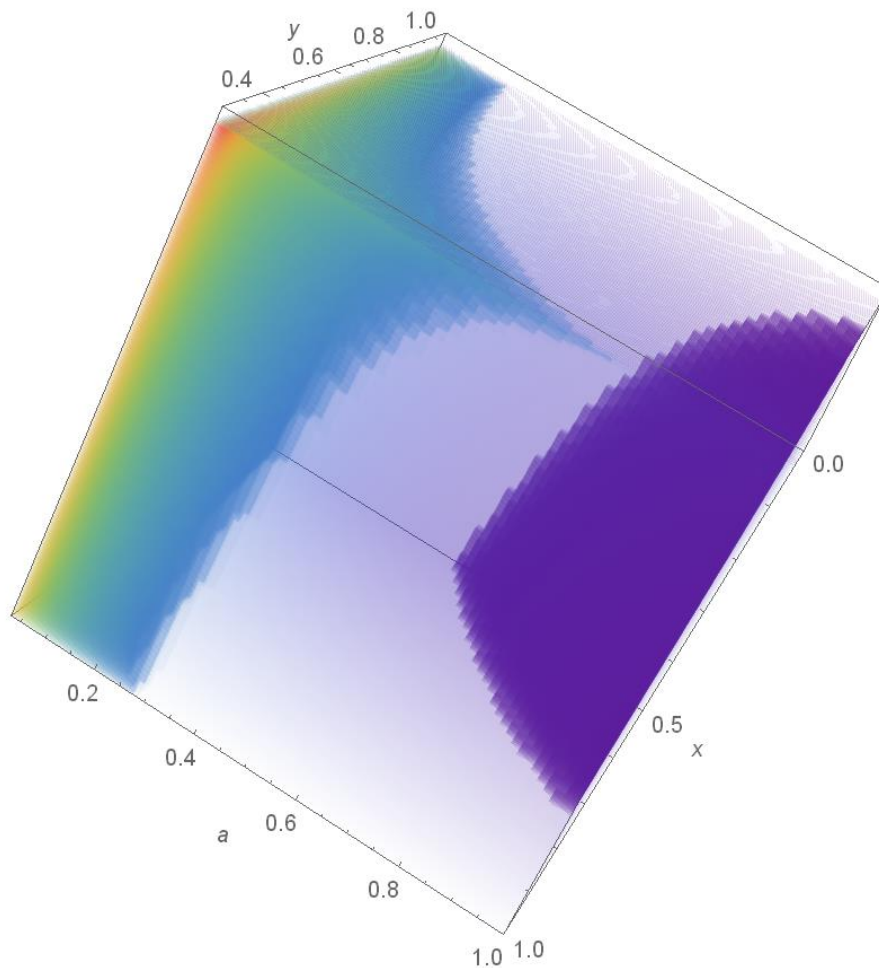
	Estimate	Standard Error	Confidence Interval
k	0.288327	0.0354893	{0.217287, 0.359366}
Out[17]= n	-0.0737685	0.0224436	{-0.118694, -0.0288429}
m	-0.293644	0.0260973	{-0.345884, -0.241405}
o	-0.333896	0.0969056	{-0.527874, -0.139918}



• Αν $v = V / V_{\pi\tau}$, προκύπτει
 $v = 0.2883 * \psi^{-0.3339} * \chi^{-0.0737685} * \alpha^{-0.2936}$

Out[12]=

	Estimate	Standard Error	Confidence Interval
k	1.31524	0.16189	{0.991188, 1.6393}
n	-0.0737685	0.0224436	{-0.118694, -0.0288429}
m	-0.293644	0.0260973	{-0.345884, -0.241405}
o	-0.333896	0.0969056	{-0.527874, -0.139918}



6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αν και οι τοίχοι πληρώσεως αποτελούν χαρακτηριστικό στοιχείο των περισσότερων δομικών έργων και είναι κατανοητό ότι συμβάλουν στη συμπεριφορά της κατασκευής κατά τη διάρκεια σεισμικών δονήσεων, δεν λαμβάνονται υπόψιν κατά την ανάλυση. Αυτό οφείλεται στο ότι δεν υπάρχει κοινή αντίληψη για τη συμπεριφορά των τοιχοπληρώσεων κατά την αλληλεπίδραση τους με τα πλαίσια, ενώ το μεγάλο εύρος αρχιτεκτονικών περιπτώσεων και το πλήθος των δομικών υλικών που χρησιμοποιούνται αυξάνουν το πρόβλημα.

Εν περιλήψει, θα μπορούσε να αναφερθεί πως η αύξηση του πάχους στην τοιχοποιία συμβάλει θετικά στην παραλαβή φορτίου τέμνουσας βάσης, αυξάνεται σημαντικά, δηλαδή, με γραμμικό τρόπο η μέγιστη τιμή αυτού. Είναι, ακόμη, αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι ανοίγματα σταθερού εμβαδού και σχήματος προκαλούν διακυμάνσεις στην μέγιστη τιμή τέμνουσας βάσης όταν μεταβάλλεται η θέση αυτών, με τη δυσμενέστερη περίπτωση να εντοπίζεται στο κέντρο του πλαισίου. Η ανομοιόμορφη κατανομή της τοιχοπλήρωσης καθ' ύψος (διατάξεις τύπου πυλωτής) συμβάλει στην ανάπτυξη μηχανισμών μαλακού ορόφου. Ειδικότερα, όπως είδαμε από τα διαγράμματα τέμνουσας βάσης μετατόπισης, η ύπαρξη της τοιχοπλήρωσης αυξάνει τη διατμητική αντοχή του ορόφου. Αποτρέπει την ανάπτυξη ανελαστικών παραμορφώσεων στο πλαίσιο, ώστε όλες οι παραμορφώσεις της κατασκευής κατά την μετακίνηση λόγω σεισμού να εντοπίζονται στον γυμνό όροφο. Ουσιαστικά σε αυτές τις περιπτώσεις έχουμε δημιουργία μηχανισμού με πλαστικές αρθρώσεις στην κορυφή και στη βάση των υποστυλωμάτων του “γυμνού” ορόφου και τοπική συγκέντρωση όλων των μετακινήσεων της κατασκευής με επακόλουθο την ανάπτυξη φαινομένων δευτέρας τάξεως που οδηγούν σε μερική ή ολική κατάρρευση. Μια επίσης δυσμενής διάταξη των τοιχοπληρώσεων ακόμη και αν αυτές είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες στην περίμετρο της κατασκευής, δημιουργήθηκε όταν οι τοιχοπληρώσεις διακόπτονταν καθ' ύψος, π.χ. στη στάθμη της ποδιάς των παραθύρων σε όλο το μήκος του φαντώματος ή σε υψηλότερη στάθμη (για λόγους αερισμού και φωτισμού) π.χ. φεγγίτης. Αποτέλεσμα της διακοπής των τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος μέσα σε ένα φάνωμα ήταν η δημιουργία κοντών υποστυλωμάτων, στοιχείων μικρής λυγηρότητας που κατά τη σεισμική διέγερση της κατασκευής καταπονούνται ιδιαίτερα. Απόρροια της συγκέντρωσης των εντάσεων στα υποστυλώματα του μη τοιχοπληρωμένου ορόφου είναι η εμφάνιση του ανεπιθύμητου φαινομένου του “μαλακού” ορόφου. Οι φορείς με πυλωτή φθάνουν στη διαρροή για μετακινήσεις μικρότερες από τις αντίστοιχες των “ελεύθερων” φορέων, ενώ η μετάβαση των φορέων στη στάθμη της κατάρρευσης παρουσιάζεται πολύ πιο απότομη.

Τοιχοπληρώσεις, οι οποίες ήταν κατανεμημένες ομοιόμορφα και χωρίς ασυνέχειες καθ' ύψος είχαν γενικά ευνοϊκό ρόλο σε σχέση με την αντίσταση του κτιρίου σε σεισμικά φορτία. Η θετική αυτή επιρροή είναι σημαντική κυρίως σε πλαισιακούς φορείς οπλισμένου σκυροδέματος, όπως αυτός που επιλέχθηκε στην ανάλυση, σχεδιασμένους με παλαιότερες κανονιστικές διατάξεις, αφού αυξάνουν την αντοχή υπό οριζόντια φορτία καθώς και την πλευρική δυσκαμψία των φορέων, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι μετακινήσεις λόγω σεισμού, άρα και τα φαινόμενα δευτέρας τάξης, τα οποία συνήθως προκαλούν την κατάρρευση υπό σεισμικά φορτία. Η αύξηση αυτή είναι σημαντική, γιατί αν και υπάρχει μόνο για μικρές τιμές μετακινήσεων, με την τοιχοποιία να μην έχει αστοχήσει ακόμα ψαθυρά, δίνεται στην κατασκευή μεγάλη αντοχή και δυσκαμψία

στην αρχή του σεισμού, που είναι και πιο ισχυρός. Στην πραγματικότητα όμως, ελάχιστοι είναι οι φορείς με γεωμετρία που να καθορίζεται από συμμετρίες και τοιχοπληρώσεις ομοιόμορφα κατανεμημένες σε κάτοψη και τομή.

Γενικά, θα μπορούσε κανείς να πει ότι οι τοιχοπληρώσεις δεν έχουν αμελητέα δυσκαμψία και αντοχή, αλλά αντιθέτως η παρουσία τους μεταβάλλει ουσιαστικά τα δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής, καθώς και τη συνολική σεισμική συμπεριφορά της. Οι οριζόντιες μετακινήσεις, οι στρόφες, αλλά και οι μέγιστες σχετικές μετακινήσεις του φορέα με τοιχοπλήρωση εμφανίστηκαν αρκετά μικρότερες από τις αντίστοιχες του “γυμνού” φορέα, καθώς η ύπαρξη τοιχοπληρώσεων συνεισφέρει σημαντικά στη συνολική δυσκαμψία του, μειώνοντας τις μετακινήσεις κατά την επιβολή των σεισμικών διεγέρσεων. Αυτό το φαινόμενο οδηγεί στην ανάπτυξη μεγάλων παραμορφώσεων στα δομικά στοιχεία του συγκεκριμένου ορόφου, οι οποίες σε ορισμένες περιπτώσεις ξεπερνούν τις αντίστοιχες του ελευθέρου από τοίχους πλήρωσης φορέα, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στην αύξηση της ταλαντούμενης μάζας ή και στην εμφάνιση φαινομένων “συντονισμού”. Αντιθέτως, οι πλήρως τοιχοπληρωμένοι φορείς, διαρρέουν σε μεγαλύτερες μετατοπίσεις και για πολύ μεγαλύτερες τέμνουσες βάσης. συνεπώς η ύπαρξη τοιχοπληρώσεων συμβάλλει στην αύξηση της ελαστικότητας των κατασκευών. Επίσης, το γεγονός ότι η ύπαρξη πυλωτής είναι ιδιαίτερα επιβαρυντική για τα υποστυλώματα του ισογείου, φάνηκε και στα βήματα των υπερωθητικών (pushover) αναλύσεων, καθώς στα συγκεκριμένα φέροντα στοιχεία δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις από τα πρώτα κιάλας βήματα των υπερωθητικών αναλύσεων και σε αυτά δημιουργούνται μηχανισμοί οι οποίοι οδηγούν σε κατάρρευση τις κατασκευές. Σαν γενική παρατήρηση, θα μπορούσε να επισημανθεί ότι η ελάχιστη τέμνουσα βάσης εμφανίζεται στις περισσότερες περιπτώσεις όταν το άνοιγμα βρίσκεται στο κέντρο του πλαισίου, ενώ υψηλότερες τέμνουσες επιτυγχάνονται όσο απομακρύνεται το άνοιγμα από το κέντρο. Από τα διαγράμματα των κανονικοποιημένων τιμών, φαίνεται η σημαντική συμβολή της ύπαρξης τοιχοπλήρωσης στο πλαίσιο την ώρα του σεισμού παρόλο που υπάρχει άνοιγμα σε αυτή. Έχοντας λάβει και την μεταβολή εμβαδού του ανοίγματος, μπορεί να σχολιασθεί ότι ακόμα και στα πολύ μεγάλα ανοίγματα, η τέμνουσα βάσης ήταν πάλι αυξημένη σε σχέση με αυτή του γυμνού πλαισίου, όχι όμως σε τέτοιο βαθμό όσο στα ανοίγματα μικρότερου μεγέθους. Σημαντική διαφοροποίηση των αναλύσεων των πλαισίων με παράθυρα σε σχέση με τις προηγούμενες αναλύσεις, είναι ότι αυτές οι καθ’ ύψος μεταβολές στην τοιχοπλήρωση που προκαλεί η ύπαρξη των παραθύρων είναι ιδιαίτερα επιβαρυντικές για τα υποστυλώματα, πράγμα που φαίνεται και στα βήματα των υπερωθητικών (pushover) αναλύσεων, καθώς στα συγκεκριμένα φέροντα στοιχεία δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις από τα πρώτα κιάλας βήματα των υπερωθητικών αναλύσεων και σε αυτά δημιουργούνται μηχανισμοί οι οποίοι οδηγούν σε κατάρρευση τις κατασκευές.

Σαν γενικό συμπέρασμα της παρούσας εργασίας μπορεί να ειπωθεί ότι κρίνεται απαραίτητη η πλήρης προσομοίωση ενός κτιρίου οπλισμένου σκυροδέματος, συμπεριλαμβανομένων και των τοιχοποιιών πλήρωσης, για να είναι δυνατή μία όσο το δυνατόν ρεαλιστικότερη αποτίμηση της δυναμικής συμπεριφοράς του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΚΑΝ.ΕΠΕ., 1η αναθεώρηση – Ιούλιος 2013
- [2] «Διερεύνηση της επιρροής των τοιχοπληρώσεων στη σεισμική απόκριση πλαισιακών κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος», Λάμπρος Γ. Πασπάτης, Διπλωματική Διατριβή Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης, Χανιά 2009
- [3] http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/947/1/master_Antonopoulos.pdf «Σεισμική συμπεριφορά παλαιών κτιρίων με *pilotis* και πρακτικές προτάσεις βελτίωσής της», Θεμιστοκλής Α. Αντωνόπουλος, Διατριβή μεταπτυχιακού διπλώματος ειδίκευσης, Πάτρα 2008.
- [4] «Συγκριτική μελέτη μεθόδων εμφάνωσης πλαισίων Ο.Σ. κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. μέσω ανελαστικών στατικών αναλύσεων», Πολυδωρόπουλος Σπυρίδων, Τσιτσόκας Δημήτριος, 20ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών 2014
- [5] «Αναλύσεις τύπου Pushover με τα προγράμματα CSi SAP2000, ETABS & BIAX» , Σημειώσεις, Μ. Γ. Σφακιανάκης, Επίκ. Καθηγητής, Πάτρα 2013
- [6] « ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ BIAX, Οδηγίες Χρήσης», Μ. Γ. Σφακιανάκης, Επίκ. Καθηγητής, Πάτρα 2015
- [7] « Διερεύνηση του τρόπου προσομοίωσης τοιχοπληρωμένων πλαισίων με ανοίγματα, σε κατασκευές Ο.Σ.», Παναγιώτης Τσίτσας¹, Στέφανος Δρίτσος, 16ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, 21-23/10/ 2009, Πάφος, Κύπρος