

Προσεισμικός έλεγχος στύλων pilotis υφιστάμενου κτιρίου.

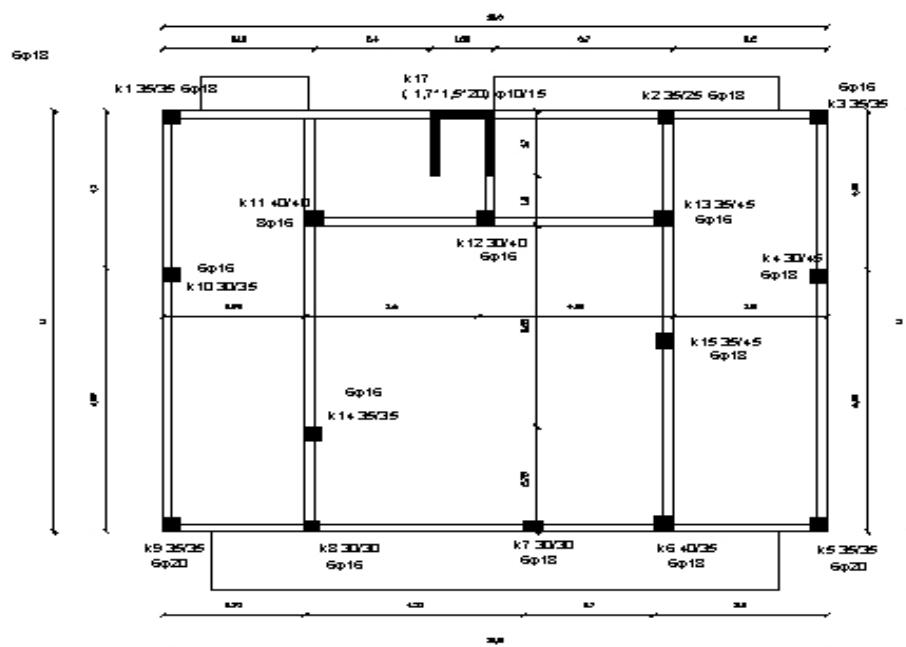
Ι.Γερεουδάκης – Ν.Καλογήρου.

1. Περίληψη

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται ο προσεισμικός έλεγχος των στύλων pilotis ενός υφιστάμενου κτιρίου. Το κτίριο αυτό μελετήθηκε σύμφωνα με τον πρώτο αντισεισμικό κανονισμό (Β.Δ. 59') και κατασκευάστηκε το 1978. Βρίσκεται στο Δήμο Πειραιώς, είναι πενταόροφο με πυρήνα ανελκυστήρα, δώμα, pilotis, έχει εμβαδόν κάτοψης 152m², και το έδαφος στο οποίο εδράζεται είναι κατηγορίας Β. Ανήκει στην ζώνη ΙΙ και επομένως έχουμε σεισμική επιτάχυνση 0.16g.

Ο έλεγχος έγινε με την βοήθεια του προγράμματος pilotis της Cubus το οποίο εξετάζει το μηχανισμό μαλακού ορόφου και βασίζεται στην ελαστοπλαστική ανάλυση με τη μέθοδο των μετακινήσεων (push-over). Εφαρμόζεται η μέθοδος του συντελεστή μετακίνησης (DCM) και ελέγχονται οι πλαστικές στροφές και η μεταφορά τέμνουσας στους στύλους. Τέλος προτείνονται μέτρα ενίσχυσης-βελτίωσης της συμπεριφοράς.

Κάτοψη ισογείου :



2. Γενικά

Τα κτίρια με pilotis εμφανίζουν, ως γνωστόν, αυξημένη τρωτότητα. Είναι επομένως επιτακτική ανάγκη, να διαπιστωθούν άμεσα οι αδυναμίες τους και να προχωρήσουν οι ενδιαφερόμενοι στα κατάλληλα προληπτικά μέτρα.

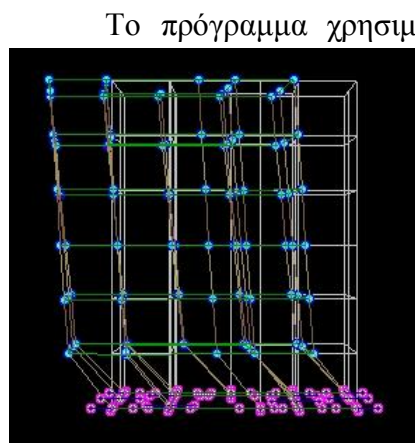
Τα κτίρια τύπου pilotis, που μελετήθηκαν με παλαιότερους κανονισμούς και γενικά παλαιότερες αντιλήψεις περί αντισεισμικού σχεδιασμού, εμφανίζουν σε μεγάλο ποσοστό μειωμένη ανθεκτικότητα. Το πλέον ευπαθές τους σημείο είναι οι στύλοι της pilotis, που

αστοχούν πρώιμα και οδηγούν το κτίριο σε μερική ή ολική κατάρρευση με τις γνωστές συνέπειες.

Η σημερινή γνώση και διατιθέμενη τεχνολογία στις κατασκευές , επιτρέπουν να προβούμε σε λύσεις , που αποτρέπουν πλήρως το δυσμενές αυτό ενδεχόμενο. Προϋπόθεση είναι να εντοπισθούν έγκαιρα οι αδυναμίες και να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα.

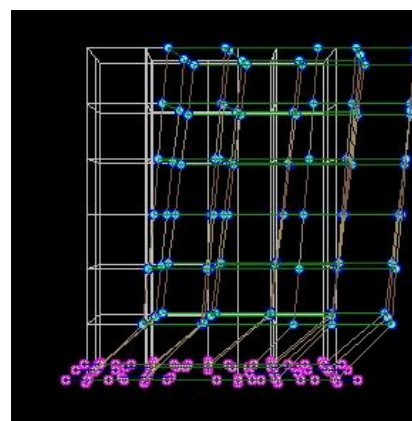
Είναι πλέον γνωστό και αποδεκτό και απόλυτα τεκμηριωμένο , βάσει των Αμερικανικών οδηγιών (FEMA 273 / ATC 40) ότι αυτοί οι υπολογισμοί θα πρέπει να βασίζονται σε μετακινήσεις (Push over analysis) και όχι αποκλειστικά σε δυνάμεις που προκύπτουν από μια ελαστική ανάλυση. Και τούτο διότι ο φορέας διέρχεται στην ανελαστική περιοχή υπό τη σεισμική δράση , είτε το θέλουμε είτε όχι, και επομένως είμαστε υποχρεωμένοι να ερευνήσουμε τι συμβαίνει σε αυτή την περίπτωση και κάτω από ποιες συνθήκες αστοχούν τα δομικά του μέλη. Στην ανελαστική συμπεριφορά του φορέα υπό σεισμό βασίζονται όλοι σχεδόν οι σύγχρονοι κανονισμοί καθώς και ο Ελληνικός NEAK 90/95 και ΕΑΚ 2000.

3.Πεδίο εφαρμογής



Το πρόγραμμα χρησιμεύει για τον προσεισμικό έλεγχο στύλων pilotis . Είναι κατάλληλο για κτίρια που εμφανίζουν μειωμένη δυσκαμψία και αντοχή στο ισόγειο. Θεωρείται ότι οι υπερκείμενοι όροφοι έχουν σχετικά αυξημένη αντοχή και δυσκαμψία λόγω τοιχοπληρώσεων και συμπεριφέρονται ελαστικά, ενώ στο ισόγειο εμφανίζεται μηχανισμός πλαστικής παραμόρφωσης (μαλακός όροφος) . Τέτοια κτίρια υπάρχουν δυστυχώς πολλά . Αυτά είτε σχεδιάστηκαν με παλαιότερους κανονισμούς ως πολυκατοικίες με pilotis , είτε προέκυψαν μετά την αφαίρεση των τοίχων του ισόγειου για την δημιουργία καταστημάτων. Σκοπός του προγράμματος είναι να προσεγγίσει την ελαστοπλαστική συμπεριφορά των κατακόρυφων στοιχείων του ισόγειου και να εντοπίσει τις αδυναμίες τους , δηλαδή το ενδεχόμενο αστοχίας υπό συχνό σεισμό ,περιστασιακό , σχεδιασμού ή μεγάλο.

Βασίζεται στη θεωρία της μεθόδου των μετακινήσεων (Push over) κατά FEMA 356/273 και ATC 40 . Προσδιορίζεται δηλαδή η απαιτούμενη μετακίνηση για το συγκεκριμένο σεισμό και συγκρίνονται οι τιμές των πλαστικών στροφών των στύλων και οι γωνιακές παραμόρφωσης των τοίχων από άοπλη ή οπλισμένη πλινθοδομή ή οπλισμένο σκυρόδεμα με τις αποδεκτές των ανωτέρω οδηγιών . Επίσης ελέγχεται η αντοχή των στύλων σε διάτμηση σύμφωνα με τις τελευταίες αντιλήψεις περί συνεισφοράς της αξονικής δύναμης και απώλειας αντοχής συναρτήσει της ανελαστικής στροφής .



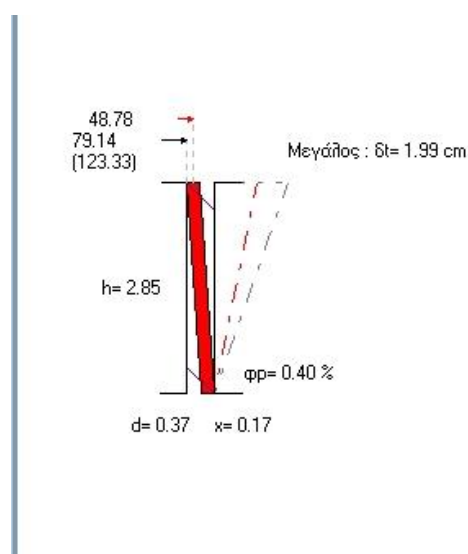
Κατά τον προσδιορισμό των σεισμικών εντάσεων λαμβάνεται υπόψη στους ακραίους στύλους και το φαινόμενο αυξομειώσης της θλιπτικής δύναμης .

4. Απλοποιητικές παραδοχές προγράμματος

- Εμφάνιση μηχανισμού μαλακού ορόφου .
- Ελαστική συμπεριφορά των υπερκείμενων ορόφων με αμελητέα παραμόρφωση .
- Πάκτωση των στύλων στη βάση τους .
- Απουσία τοιχωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα, που οδηγούν σε σημαντική βελτίωση της συμπεριφοράς .
- Απλοποιητικά μοντέλα ορθογωνικών διατομών οπλισμένου σκυροδέματος σε μονή κάμψη με αξονική δύναμη .
- Μεταθετική και όχι στροφική συμπεριφορά του κτιρίου .

5. Τύποι αστοχιών

5.1. Αστοχία λόγω εξάντλησης πλαστιμότητας στροφής στο στύλο



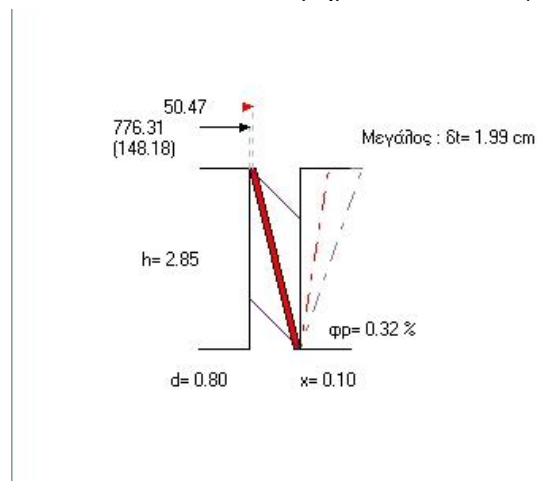
Μέσω της ανάλυσης των μετακινήσεων προσδιορίζεται η απαιτούμενη μετακίνηση του ορόφου για ένα δεδομένο επίπεδο σεισμού βάσει του αντίστοιχου φάσματος. Η μετακίνηση αυτή περιλαμβάνει ένα ελαστικό και ένα ανελαστικό τμήμα . Το ανελαστικό τμήμα διαιρούμενο με το ελεύθερο ύψος του στύλου δίδει την ανελαστική στρόφη στις πλαστικές αρθρώσεις που εμφανίζονται στον κεφαλή και στην πόδα του.

Από πειραματική έρευνα αλλά και από θεωρητικά προσομοιώματα γνωρίζουμε ότι ένας στύλος από οπλισμένο σκυρόδεμα έχει περιορισμένη ικανότητα πλαστικής στροφής η οποία μάλιστα επηρεάζεται κύριος από τους παρακάτω παράγοντες :

- Από την ανηγμένη θλιπτική καταπόνηση του στύλου και συγκεκριμένα όσο αυξάνεται , τόσο μειώνεται η ικανότητα πλαστικής στροφής.
- Από την ανηγμένη διατμητική καταπόνηση του στύλου , η οποία οδηγεί σε μείωση της πλαστικής στροφής
- Από την περίσφιξη , η οποία οδηγεί σε αύξηση της ικανότητας ανελαστικής βράχυνσης του σκυροδέματος στη θλιβόμενη ζώνη και επομένως αύξηση της ικανότητας πλαστικής στροφής.

5.2. Αστοχία στύλου σε διάτμηση λόγω ανεπάρκειας συνδετήρων

Ένας δεύτερος ψαθυρός τρόπος αστοχίας των στύλων από οπλισμένο σκυρόδεμα, εμφανίζεται όταν λόγω ανεπάρκειας συνδετήρων δεν μπορεί να σχηματιστεί δικτύωμα Moersh για την μεταφορά της τέμνουσας. Ουσιαστικά πρόκειται για το τμήμα αυτό της τέμνουσας $V_c - V_{cc}$ που οφείλεται στην καμπτική αντοχή που προσδίδει ο διαμήκης ολισμός στο στύλο., διότι το τμήμα V_{cc} που οφείλεται στην αξονική θλιπτική δύναμη μεταφέρεται



κατά κανόνα ασφαλώς μέσω του κεκλιμένου θλιπτήρα που σχηματίζεται στον κορμό του στύλου. Για το λόγο αυτό κινδυνεύουν κυρίως οι στύλοι που έχουν δυσανάλογα πολύ διαμήκη οπλισμό σε σχέση με τους εγκάρσιους συνδετήρες. Επίσης κινδυνεύουν οι στύλοι που εμφανίζουν αυξημένη πλαστική στροφή στις αρθρώσεις, δηλαδή απαιτούν αυξημένη πλαστιμότητα. Αυτό οφείλεται στο ότι το σκυρόδεμα διαθέτει σε αρηγμάτωτη κατάσταση μια ικανοποιητική εφελκυστική αντοχή η οποία και απουσία συνδετήρων είναι σε θέση να μεταφέρει σημαντικό ποσοστό τέμνουσας V_{cs} (όπως στις πλάκες

από οπλισμένο σκυρόδεμα που κατά κανόνα δεν οπλίζονται με συνδετήρες).

Όταν όμως σχηματίζονται οι πλαστικές αρθρώσεις το σκυρόδεμα ρηγματώνεται σταδιακά και χάνει αυτήν τη δυνατότητα. Εάν υπάρχουν επαρκείς συνδετήρες σχηματίζεται τότε δικτύωμα Moersh και μεταφέρονται ασφαλώς οι δυνάμεις. Εάν οι συνδετήρες είναι ανεπαρκείς διαρρέουν ή πολύ συχνά απαγκυρώνονται και ανοίγει ρωγμή μεγάλου εύρους που αποκλείει περαιτέρω ανακατανομή δυνάμεων μέσω αλλαγής κλίσης των θλιπτήρων του σκυροδέματος.

Το τμήμα της τέμνουσας $V_c - V_{cc}$ που οφείλεται στο διαμήκη οπλισμό εξαρτάται από το μηχανικό ποσοστό του και από το λόγο στατικού ύψους / ελεύθερο μήκος του μέλους. Τα «κοντά» υποστυλώματα κινδυνεύουν από διατμητική αστοχία γι αυτό ακριβώς το λόγο. Το τμήμα της τέμνουσας V_{cs} που μπορεί να μεταφέρει το σκυρόδεμα με την εφελκυστική του αντοχή εξαρτάται από το μέγεθος της πλαστικής στροφής στις αρθρώσεις που εκφράζεται με την απαιτούμενη πλαστιμότητα μ_c .

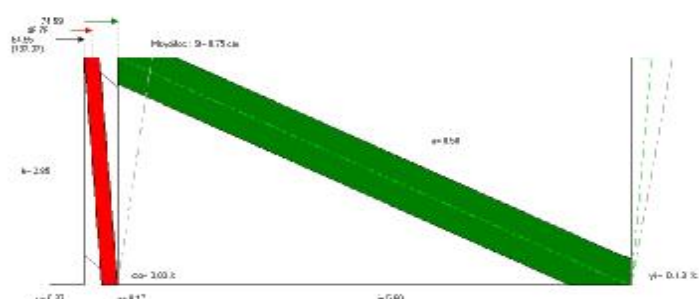
5.3. Αστοχία τοίχου λόγω γωνιακής παραμόρφωσης.

Σε τοιχοποιίες που δεν υπερβαίνουν το όριο λυγηρότητας (π.χ. κατά FEMA 356), ώστε να αποκλειστεί ο πλευρικός λυρισμός, υπάρχουν δυο ενδεχόμενα αστοχίας:

Στην πρώτη περίπτωση έχουμε θλιπτική αστοχία, η οποία συνήθως εμφανίζεται στα άκρα του θλιπτήρα.

Στην δεύτερη περίπτωση θραύσης του θλιπτήρα υπολογίζεται αρχικά το ενεργό πλάτος του θλιπτήρα κατά τους τύπους της FEMA.

Όσο μεγαλώνει η θλιπτική αντοχή και το πλάτος του θλιπτήρα προς το μήκος της διαγωνίου τόσο αυξάνεται η αντοχή του θλιπτήρα και μπορεί να γίνει κρίσιμη η αντοχή σε διατμητική



ολίσθηση. Αυτός ο έλεγχος πρέπει να γίνεται και στην εισαγωγή της αντοχής στους θλιπτήρες των τοίχων κατά την ακριβή ανάλυση χωρικού πλαισίου μέσω push over.

Η πλαστιμότητα των τοίχων και συγκεκριμένα οι μέγιστες επιτρεπτές τιμές της ανελαστικής γωνιακής παραμόρφωσης γ_i (‰)

λαμβάνονται από τις συστάσεις της FEMA 356, όπου γίνεται διάκριση μεταξύ άοπλης και οπλισμένης πλινθοδομής και σε κάθε περίπτωση τα όρια εξαρτώνται από το επίπεδο ζημιών το οποίο εξετάζεται.

	Άμεση κατάληψη.	Περιορισμοί ζημιών.	Ασφάλεια ζωής.	Ευστάθεια.
Άοπλοι.	0	1.5	3	6
Οπλισμένοι	2	4	6	15

6. Προτεινόμενες λύσεις βελτίωσης συμπεριφοράς.

6.1. Περίσφιγξη του στύλου με σύνθετα υλικά.

Είναι εύκολη και οικονομική λύση, εφαρμόζεται όμως σε περιπτώσεις που απαιτείται μόνο αύξηση της πλαστιμότητας του στύλου σε στροφή μέχρι κάποιο όριο. Δεν αυξάνει την καμπτική αντοχή του στύλου και κατ' επέκταση την αντοχή του κτιρίου. Δεν αυξάνει τη δυσκαμψία του κτιρίου και επομένως δεν οδηγεί σε μείωση των μετακινήσεων και των ανελαστικών στροφών του στύλου, καθώς και των ανελαστικών παραμορφώσεων και ζημιών των τοίχων. Σε περίπτωση ανεπάρκειας συνδετήρων εφαρμόζονται τα σύνθετα υλικά σε όλο το ύψος του στύλου αλλιώς αρκεί η περίσφιγξη των κρίσιμων μηκών. Στην περίπτωση αύξησης της διατμητικής αντοχής του στύλου ως ενεργός δύναμη περίσφιγξης δεν πρέπει να λαμβάνεται η αντοχή του υφάσματος, διότι αντιστοιχεί σε πολύ μεγάλη παραμόρφωση θραύσης, αλλά μια περιορισμένη μήκυνση (0.4%) επί το μέτρο ελαστικότητας και το πάχος του υφάσματος. Απαιτείται προσεκτική εφαρμογή των στρώσεων του υφάσματος αφού προηγηθεί προεργασία του στύλου όπως καμπύλωση των γωνιών και εξομάλυνση της επιφάνειας. Υπάρχει υγρή και ξηρή μέθοδος, σε κάθε περίπτωση δε απαιτούνται το ελάχιστο 2 στρώσεις για λόγους ασφαλείας. Τέλος απαιτείται προστασία των υλικών από την ακτινοβολία του ήλιου, θερμοκρασία κλπ., μέσω εφαρμογής στρώσης κονιάματος επικάλυψης.

6.2. Προσθήκη τοίχου από άοπλη ή οπλισμένη πλινθοδομή στα φατνώματα.

Ουσιαστικά πρόκειται για μία εκ των υστέρων άρση της μειωμένης δυσκαμψίας και αντοχής του ορόφου του ισογείου pilotis . Βεβαίως θα πρέπει η πλινθοδομή να είναι εξασφαλισμένης αντοχής και λυγηρότητας (μπατική) και να ενσφηνωθεί καλά στα πλάγια και στο πάνω μέρος . Η πλάκα έδρασής της στο δάπεδο θα πρέπει επίσης να διαθέτει την απαιτούμενη αντοχή ,αλλιώς θα πρέπει να θεμελιωθεί επί δοκού που συνδέει τα πέδιλα των εκατέρωθεν στύλων.

Το πλήθος των φατνωμάτων που οφείλουν να κτισθούν εξαρτάται από την προσδοκώμενη αύξηση δυσκαμψίας και αντοχής του ορόφου . Πρέπει αυτά να επιλεγθούν σε συμμετρική διάταξη και προς τις δύο διευθύνσεις , ώστε να αποφευχθεί η στροφή του κτιρίου . Η μηχανική δράση τους μπορεί να προσομοιωθεί με μοντέλο θλιπτήρα , το πάχος του οποίου υπολογίζεται βάση των οδηγιών της FEMA. Η διατμητική αντοχή των στύλων , λόγω ανεπάρκειας συνδετήρων , αυξάνεται έμμεσα λόγω της μείωσης των μετακινήσεων του ορόφου και κατ' επέκταση της πλαστικής στροφής στις αρθρώσεις που εμφανίζονται στους στύλους. Η πλαστιμότητα της άοπλης πλινθοδομής είναι σχετικά μικρή και μπορεί να ενισχυθεί σημαντικά αν οπλιστεί ελαφρά με οριζόντιες και κατακόρυφες ράβδους.

6.3. Αύξηση της διατομής των στύλων με μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Πρόκειται για κλασσική και ευρύτατα εφαρμοσμένη και δοκιμασμένη σε σεισμούς λύση ενίσχυσης με εκτοξευόμενο ή έγχυτο σκυρόδεμα . Εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που απαιτείται αύξηση της πλαστιμότητας του στύλου σε στροφή ή και της διατμητικής του αντοχής λόγω ανεπάρκειας συνδετήρων . Εάν εφαρμοσθεί σε περισσότερους στύλους οδηγεί και σε αύξηση της δυσκαμψίας του κτιρίου , δηλαδή σε μείωση των σχετικών μετακινήσεων σεισμού . Υπάρχουν δύο περιπτώσεις εφαρμογής :

(α) Προσθήκη συνδετήρων και διαμήκων ράβδων (μοντάζ) που δεν αγκυρώνονται στα υπερκείμενα και υποκείμενα στοιχεία (κόμβους , θεμέλια κλπ.) αλλά σταματούν στα πέρατα του μέλους. Στην περίπτωση αυτή έχουμε μικρή αύξηση της καμπτικής αντοχής και της δυσκαμψίας , λόγω αύξησης του στατικού ύψους προς την πλευρά της θλιβόμενης ζώνης του στύλου , αλλά κυρίως σημαντική αύξηση της διατμητικής αντοχής και της πλαστιμότητας σε στροφή . Το σημαντικό πλεονέκτημα είναι η αποφυγή των κατασκευαστικά δύσκολων αγκυρώσεων του διαμήκους οπλισμού στα γειτονικά στοιχεία του στύλου , αλλά και η αποφυγή εισαγωγής αυξημένης έντασης σε αυτά , που συχνά δημιουργεί προβλήματα και οδηγεί σε ενίσχυση και των γειτονικών περιοχών.

(β) Διατμητική και καμπτική ενίσχυση . Οι διαμήκεις ράβδοι αγκυρώνονται στις γειτονικές περιοχές με όλους τους απαραίτητους ελέγχους και τις επεκτάσεις των ενισχύσεων , όπου απαιτούνται . Στην αυτή η αύξηση της καμπτικής αντοχής του στύλου οφείλεται και στους πρόσθετους διαμήκεις οπλισμούς του μανδύα , θλιβόμενους και εφελκυσμένους , και στην αύξηση του στατικού ύψους της διατομής. Η λύση αυτή όμως είναι δυσκολότερη και δαπανηρότερη , οφείλουν δε να διερευνώνται προηγουμένως και άλλες λύσεις αύξησης της αντοχής , όπως προσθήκη τοίχων στα φατνώματα , εφόσον είναι εφικτή η εφαρμογή τους.

6.4. Προσθήκη τοίχου από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Ισχύουν όλα όσα αναφέρθηκαν στην περίπτωση τοίχων από οπλισμένη πλινθοδομή , μόνο που εδώ οι δυνάμεις που αναλαμβάνει ο θλιπτήρας είναι μεγαλύτερες , δηλαδή έχουμε πολύ μεγαλύτερη αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής του ορόφου . Αυτό όμως δημιουργεί και την απαίτηση αυξημένης αντοχής των κόμβων που συνορεύουν με τον θλιπτήρα . Για το λόγο αυτό , αλλά και για καλύτερη αγκύρωση των οριζόντιων οπλισμών του τοίχους , συνήθως κατασκευάζονται μανδύες στους στύλους που εγκιβωτίζουν αυτούς και τους συνδέουν με τον τοίχο . Η θεμελίωση του τοίχου πρέπει επίσης να προσεχθεί ώστε να μπορεί να μεταφέρει τις δυνάμεις ασφαλώς στα εκατέρωθεν πέδιλα των στύλων . Είναι μια δοκιμασμένη λύση και σε σεισμούς , μόνο που έχει κατάτι αυξημένο κόστος έναντι των πλινθοδομών . Βεβαίως επειδή αυξάνεται αισθητά η τέμνουσα βάσης θα πρέπει να ελεγχθεί η ικανότητα του υπερκείμενου ορόφου να την παραλάβει ασφαλώς χωρίς σημαντικές ζημιές .

6.5. Χρήση σύνθετων υλικών

Έχει γίνει σημαντική έρευνα για να διατυπωθεί η αποτελεσματικότητα της βελτίωσης της συμπεριφοράς κολωνών μέσω μανδύων από σύνθετα υλικά όπως ίνες υάλου , ανθρακονηματα και κεβλαρ συνδεδεμένα μεταξύ τους και με το στύλο μέσω εποξειδικής ρητίνης. Η τοποθέτηση τους γίνεται είτε χειρονακτικά είτε μηχανικά με ανθρακονηματα , επίσης εμποτισμένα με εποξειδική ρητίνη . Λόγω αυξημένης αντοχής και ατένειας των ανθρακονημάτων απαιτούνται μικρότερα πάχη από ότι στην περίπτωση των πιο οικονομικών αλλά μικρότερης αντοχής και ατένειας υφασμάτων από ίνες υάλου . Υφάσματα από ίνες υάλου έχουν ήδη εφαρμοσθεί σε κολώνες κτιρίων και σποραδικά σε γέφυρες . Τα ανθρακονηματα βρίσκονται σε φάση εξέλιξης .

Οι κυκλικές κολώνες είναι πιο κατάλληλες για την εφαρμογή των υφασμάτων , καθόσον η περίσφιξη ορθογωνικών στύλων απαιτεί τη χρήση προσθέτου υλικού, ώστε να έχουμε καμπύλη επιφάνεια προς περίσφιξη . Παρά ταύτα τα πειράματα έδειξαν ότι επιτυγχάνεται σημαντική βελτίωση της πλαστιμότητας και στις ορθογωνικές κολώνες ,είτε με ανθρακονηματα είτε με υφάσματα από ίνες υάλου με εποξειδική ρητίνη . Η βασική επιδίωξη είναι η αύξηση της ικανότητας πλαστικής στροφής στα άκρα της κολώνας , στις πλαστικές αρθρώσεις . Πειράματα σε κυκλικές κολώνες έδειξαν ότι η αποτελεσματικότητα της περίσφιξης με σύνθετα υλικά είναι μεγαλύτερη από ότι με μανδύες από χάλυβα. Πιστεύεται ότι αυτό είναι αποτέλεσμα ελαστικής συμπεριφοράς του σύνθετου υλικού. Ο χάλυβας διαρρέει υπό σεισμό και οι παραμένουσες πλαστικές παραμορφώσεις μειώνουν την αποτελεσματικότητα του στον επόμενο κύκλο. Στα υφάσματα από ίνες υάλου και στα ανθρακονηματα η συμπεριφορά παραμένει ελαστική μέχρι τη θραύση.

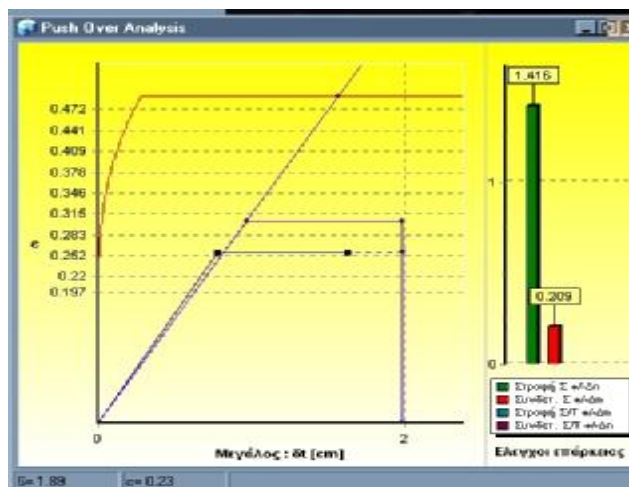
Έχει αποδειχθεί ότι οι μανδύες από σύνθετα υλικά , όπως και από χάλυβα , βελτιώνουν την αντοχή σε διάτμηση και αποφεύγονται οι ψαθυρές διατμητικές θραύσεις. Όμως δεν μπορούν να διαστασιολογηθούν βάση της αντοχής του υφάσματος , διότι οι παραμορφώσεις που αντιστοιχούν σε αυτό το όριο είναι πολύ μεγάλες (3 έως 5%) και θα αστοχούσε το σκυρόδεμα λόγω απώλειας της ικανότητας εμπλοκής των αδρανών στη ρωγμή. Γι αυτό το λόγο διαστασιολογούνται με μια μειωμένη μήκυνση $\epsilon_j = 0.004$.

Η ενεργός τάση σε εφελκυσμό υπολογίζεται βάσει του μέτρου ελαστικότητας , που είναι επίσης μειωμένο έναντι του υαλουφάσματος και δίδεται στις προδιαγραφές του κατασκευαστή . το πάχος του υαλουφάσματος πρέπει να υπολογίζεται από το βάρος του ανά m^2 ,δηλημένο δια του ειδικού βάρους του υλικού .

7. Ελαστοπλαστικό προσομοίωμα στύλου τοίχου

7.1 Εσωτερικός στύλος

Η οριζόντια δύναμη αναλαμβάνεται από δυο ελαστοπλαστικά συστήματα του στύλου και του ποσοστού των στύλων που του αναλογούν . Για το σκοπό αυτό εισάγεται το ποσοστό ρ_w (%) που αντιστοιχεί στο πλήθος τοίχων προς το συνολικό αριθμό στύλων για την συγκεκριμένη διεύθυνση και φορά μετακίνησης . Το κάθε σύστημα έχει διαφορετική ελαστική αντίσταση και διαφορετική αντοχή. Συνήθως δεν αντιστηρίζονται όλοι οι στύλοι ,



για τη συγκεκριμένη διεύθυνση και φορά μετακίνησης που εξετάζεται , απευθείας σε γειτονικό τοίχο. Σε περίπτωση αντιστήριξης συμβαίνει μια ανακατανομή της κατακόρυφης θλιπτικής δύναμης του στύλου , δηλαδή ένα τμήμα αυτής πάει στον τοίχο για να μεταφερθεί μαζί με την οριζόντια συνιστώσα, μέσω του κεκλιμένου θλιπτήρα. Αυτό το τμήμα πρέπει να αφαιρείται από την θλιπτική δύναμη του στύλου.

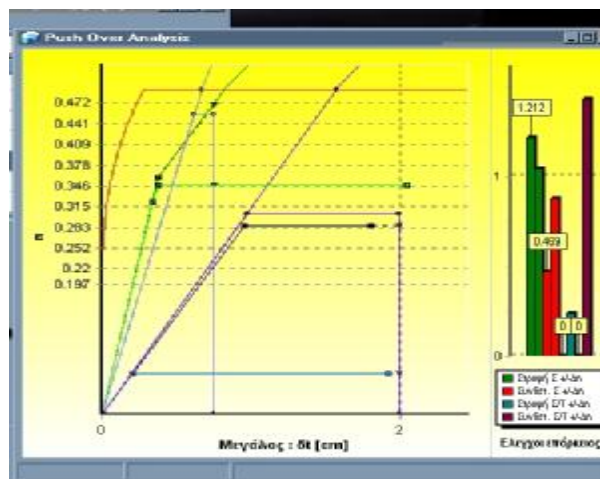
Η ελαστοπλαστική συμπεριφορά του συστήματος στύλου –τοίχων προκύπτει ως άθροισμα των επιμέρους απλοποιημένων διγραμμικών συναρτήσεων δύναμης – μετακινήσεις. Στον κατακόρυφο άξονα μπορεί να διαιρεθεί η οριζόντια δύναμη του συστήματος με την θλιπτική δύναμη του στύλου, ώστε να προκύψει ένας αδιάστατος συντελεστής ϵ οριζόντιας δύναμης ,συγκρίσιμος αργότερα και με το εκάστοτε φάσμα απόκρισης σεισμού.

7.2. Ακραίος στύλος

Στα ακραία υποστυλώματα πρέπει να λαμβάνεται υποψιν η μεταβολή της αξονικής δύναμης κατά την επιβολή της οριζόντιας φόρτισης σεισμού. Για τον υπολογισμό της μεταβολής αυτής έχει αναπτυχθεί ένα απλοποιητικό μοντέλο. Θεωρείται ότι το σημείο μηδενισμού της ροπής είναι στο μέσο του ύψους των στύλων του ισογείου και ότι υπάρχουν ρ το πλήθος ακραίοι στύλοι , όπου οι μισοί ευρίσκονται αριστερά και οι άλλοι μισοί δεξιά .

Για κάθε ακραίο στύλο πρέπει επομένως να ελέγχονται δυο περιπτώσεις αξονικής δύναμης $N+\Delta N, N-\Delta N$.

Όσο μεγαλύτερη είναι η τέμνουσα βάσης ή το συνολικό ύψος του κτιρίου τόσο μεγαλύτερη είναι η μεταβολή της αξονικής δύναμης. Η μεταβολή μικραίνει όταν αυξάνει το πλήθος των ακραίων στύλων ή η απόσταση L μεταξύ τους.



8. Δυσκαμψία-Ιδιοπερίοδος συστήματος στύλων-τοίχων.

Θεωρείται ότι το κτίριο εκτελεί κυρίως μεταφορική ταλάντωση, κατά την οποία κάμπτονται οι στύλοι του ισογείου, ενώ η υπερκείμενη κατασκευή μένει πρακτικά απαραμόρφωτη. Αυτό προϋποθέτει ότι ο όροφος του ισογείου (pilotis) έχει αρκετά μικρότερη δυσκαμψία σε σχέση με τους υπερκείμενους ορόφους, λόγω απουσίας τοίχων και προφανώς ότι το κτίριο δεν διαθέτει τοιχώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Κατά τον υπολογισμό της ελαστικής αντίστασης των στύλων λαμβάνεται μειωμένη τιμή του μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος $E_i = 2/3 \cdot E$ λόγω ρηγμάτωσης. Κατά τα άλλα εφαρμόζονται οι τύποι της θεωρίας κάμψης ραβδόμορφων συστημάτων για τους στύλους και αξονικής βράχυνσης για τους θλιπτήρες των τοίχων. Σε περίπτωση που μια λωρίδα κτιρίου κατά την εξεταζόμενη διεύθυνση εμφανίζει αισθητά μεγαλύτερη ιδιοπερίοδο ως προς τις υπόλοιπες και μάλιστα όταν τούτο οδηγεί σε ασύμμετρη συμπεριφορά ως προς τις μετακινήσεις, δηλαδή σε στροφή του κτιρίου, μπορεί να εξετασθεί μεμονωμένα βάσει των αυξημένων μετακινήσεων που προκύπτουν.

9. Μετακίνηση σεισμού μέσω φάσματος απόκρισης και μεθόδου συντελεστή μετακινήσεων (DCM).

Η μέθοδος των μετακινήσεων θέτει ως βασικό στόχο την εκτίμηση της απαιτούμενης πιθανής μετακίνησης που θα εμφανίσει ένα σύστημα για ένα συγκεκριμένο φάσμα σεισμικής απόκρισης. Στα δομικά μέλη του συστήματος μπορούν να εμφανιστούν ελαστικές και ανελαστικές μετακινήσεις και στροφές για τις οποίες θα πρέπει να ελεγχθεί η αντοχή τους και κατ' επέκταση ολόκληρου του φορέα, όσον αφορά ζημιές, αστοχίες ή καταρρεύσεις.

Η εκτίμηση της μέγιστης πιθανής μετακίνησης του συστήματος επιτυγχάνεται θεωρούμενου αυτού ως μονοβάθμιο ελαστοπλαστικό σύστημα. Ο υπολογισμός της μετακίνησης μπορεί να γίνει με τη χρήση του φάσματος απόκρισης, εκφρασμένου σε άξονες μετακίνησης-επιτάχυνσης και με την εφαρμογή της απλοποιητικής μεθόδου του συντελεστή μετακίνησης DCM.

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην αρχή των ίσων μετακινήσεων (για πιο εύκαμπτα συστήματα $T > T_0$) και στην αρχή των ίσων ενεργειών (για πιο δύσκαμπτα $T < T_0$), (FEMA 273).

Ο λόγος αντοχής R υπολογίζεται ως η απαιτούμενη αντοχή για να παραμείνει ελαστικό το σύστημα ε_s προς τη μειωμένη ανοχή του ελαστοπλαστικού ε_y και T_2 είναι η ιδιοπερίοδος του

Επίπεδα σεισμού.			
Επίπεδο σεισμού.	Περίοδος επαναφοράς (έτη).	Πιθανότητα σε ένα έτος.	Συντελεστής φάσματος.
Συχνός	43	0.023	0.35
Περιστασιακός	72	0.014	0.44
Μεγάλος	475	0.002	1
Σχεδιασμού	970	0.001	1.23

φάσματος απόκρισης, όπου από σταθερή τιμή της επιτάχυνσης μεταβαίνουμε στον φθίνοντα κλάδο του φάσματος, όπου ισχύει η αρχή των ίσων μετακινήσεων.

Η συμπεριφορά του στύλου ελέγχεται σε πλαστική στρόφη και συγκρίνεται με τους πίνακες της

FEMA. Οι τιμές της επιτρεπόμενης στρόφης κυμαίνονται μεταξύ 0.5% και 2% και εξαρτώνται από την ανηγμένη θλιπτική και διατμητική τάση και από τον τύπο της συνδετηρίωσης. Επίσης ελέγχεται η διατομή των υφιστάμενων συνδετήρων αν επαρκεί για την δημιουργία δικτύωματος κατά Moersch με κλίση θλιπτίρων 1/1. Τέλος υπολογίζεται και η τιμή της απαιτούμενης πλαστιμότητας.

Η αξιολόγηση της συμπεριφοράς του ισογείου (pilotis) θα πρέπει να γίνει με διαφορετικά επίπεδα για κάθε επίπεδο σεισμού. Άλλος θα είναι ο στόχος μας για ένα συχνό ή ένα περιστασιακό σεισμό, για το σεισμό σχεδιασμού ή για το μεγάλο. Τα τέσσερα επίπεδα σεισμού τα οποία εξετάζονται, έχουν ορισθεί σύμφωνα με τον Αμερικάνικο κανονισμό SEAOC 99 ως εξής:

Πριν την απόφαση ενίσχυσης θα πρέπει να αξιολογηθεί, κατά πόσον στην υπάρχουσα κατάσταση πληρούνται τα απαιτούμενα όρια συμπεριφοράς. Τα επίπεδα συμπεριφοράς ορίζονται ως εξής:

Άμεση χρήση: Το κτίριο είναι ασφαλές προς χρήση μετά το σεισμό. Διατηρεί τη δυσκαμψία και αντοχή που είχε πριν το σεισμό. Χρειάζεται ορισμένες επισκευές, αλλά δεν είναι απαραίτητο να γίνουν πριν την χρήση. Δεν έχει παραμένονσα γωνιακή παραμόρφωση. Οι στύλοι του ισογείου έχουν τριχοειδής ρωγμές και η διαρροή του διαμήκους οπλισμού είναι πολύ περιορισμένη. Η βράχυνση του σκυροδέματος δεν υπερβαίνει το 0.3%.

Ασφάλεια ζωής: Περιλαμβάνει ζημιές σε δομικά στοιχεία αλλά έχει ασφαλή απόσταση από μερική ή ολική κατάρρευση. Κατά κανόνα είναι δυνατή η επισκευή του κτιρίου εκτός αν είναι οικονομικά ασύμφορη. Πριν την χρήση είναι σκόπιμο να γίνουν επισκευές και να εφαρμοσθούν προσωρινά συστήματα ενίσχυσης της δυσκαμψίας (πχ. χιαστί σύνδεσμοι). Παρατηρείται εμφάνιση ζημιών σε διαχωριστικούς τοίχους, μη φέροντα στοιχεία, αρχιτεκτονικά, μηχανολογικά και ηλεκτρολογικά. Επίσης λαμβάνουν χώρα ζημιές σε δοκούς, απώλεια επικάλυψης και ρωγμές διάτμησης σε στύλους. Οι κόμβοι εμφανίζουν επίσης ρωγμές.

Αποφυγή κατάρρευσης : Το δόμιμα έχει υποστεί βαριές ζημιές σε δομικά μέλη αλλά είναι σε θέση να μεταφέρει τα φορτία βαρύτητας . Έχουμε όμως εξάντληση των περιθωρίων έναντι κατάρρευσης , σημαντική πτώση της δυσκαμψίας και αντοχής του συστήματος ανάληψης των οριζοντίων δυνάμεων , παραμένουσες παραμορφώσεις και σε κάποιο ίσως ποσοστό πτώση της φέρουσας ικανότητας έναντι κατακόρυφης φόρτισης .

Το κτίριο κατά κανόνα δεν επισκευάζεται και δεν είναι ασφαλές προς χρήση διότι μπορεί να καταρρεύσει σε ένα μετασεισμό . Οι στύλοι εμφανίζουν εκτεταμένη ρηγμάτωση και πλαστικές αρθρώσεις . Τα κοντά υποστυλώματα εμφανίζουν σοβαρές ζημιές και πολλά ματίσματα οπλισμών έχουν αστοχήσει.

Προκειμένου να χαρακτηριστεί η συμπεριφορά του κτιρίου ως **ικανοποιητική** θα πρέπει να πλήρη το βασικό στόχο που είναι :

Ασφάλεια ζωής για το σεισμό σχεδιασμού και συγγρόνως αποφυγή κατάρρευσης για το μεγάλο σεισμό.

Η συμπεριφορά του κτιρίου χαρακτηρίζεται ως **καλή** εφόσον πλήρη τον επαυξημένο στόχο που είναι ο βασικός και επιπροσθέτως :

Άμεση χρήση για συχνό σεισμό και ταυτόχρονα περιορισμένες ζημιές για περιστασιακό σεισμό.

10. Υλικά

Τα υλικά του φέροντα οργανισμού είναι σκυρόδεμα και χάλυβας και η κατηγορία αντοχής τους σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα είναι C12/15 για το σκυρόδεμα , S220 για το χάλυβα των συνδετήρων , S400 για το χάλυβα του διαμήκους οπλισμού (οι παλαιές κατηγορίες είναι αντίστοιχα B225 , St I και St III) .

Λαμβάνοντας υπόψη τις παραδοχές λειτουργίας του προγράμματος ο πυρήνας του ανελκυστήρα προσομοιώθηκε με υποστύλωμα ίδιας αντοχής και παρόμοιας δυσκαμψίας :

Για διεύθυνση φορτίου κατά x , προσομοιώθηκε με υποστύλωμα 20/70 ροπής αντοχής 1000kNm.

Για διεύθυνση φορτίου κατά y , προσομοιώθηκε με υποστύλωμα 80/20 ροπής αντοχής 1200kNm.

11. Αποτίμηση υφιστάμενου κτιρίου

Στους πίνακες που ακολουθούν , παρουσιάζεται ο δείκτης βλάβης των υποστυλωμάτων $pilotis$ και η μετακίνηση της οροφής ισογείου (η οποία σύμφωνα με τις παραδοχές μας , είναι η ίδια με αυτήν της οροφής του κτιρίου) πριν την ενίσχυση.

11.1. Σεισμική διεύθυνση στον άξονα x.

Σεισμός σχεδιασμού (1.00)

	πλαστική στροφή στύλου φ_p [%]	επιτρεπόμενη πλαστική στροφή $\varphi_{επ}$ [%]	δείκτης βλάβης	μετακίνηση δτ
K1	0.58	0.20	2.90	1.678
K2	0.24	0.20	1.20	
K3	0.21	0.22	0.95	
K4	0.21	0.22	0.95	
K5	0.50	0.20	2.50	
K6	0.29	0.20	1.45	
K7	0.14	0.28	0.50	
K8	0.19	0.20	0.95	
K9	0.53	0.20	2.65	
K10	0.28	0.27	1.04	
K11	0.30	0.20	1.50	
K12	0.39	0.22	1.77	
K13	0.34	0.20	1.70	
K14	0.24	0.20	1.20	
K15	0.35	0.20	1.75	
K16	0.10	0.38	0.26	

Σεισμός συχνός (0.35)

	πλαστική στροφή στύλου φ_p [%]	επιτρεπόμενη πλαστική στροφή $\varphi_{επ}$ [%]	δείκτης βλάβης	μετακίνηση δτ
K1	0.00	0.20	0.00	0.504
K2	0.00	0.20	0.00	
K3	0.01	0.20	0.05	
K4	0.00	0.22	0.00	
K5	0.00	0.20	0.00	
K6	0.00	0.20	0.00	
K7	0.00	0.28	0.00	
K8	0.00	0.20	0.00	
K9	0.00	0.20	0.00	
K10	0.00	0.27	0.00	
K11	0.00	0.20	0.00	
K12	0.00	0.22	0.00	
K13	0.00	0.20	0.00	
K14	0.00	0.20	0.00	
K15	0.00	0.20	0.00	
K16	0.00	0.38	0.00	

Σεισμός περιστασιακός (0.44)

	πλαστική στροφή στύλου φ_p [%]	επιτρεπόμενη πλαστική στροφή $\varphi_{επ}$ [%]	δείκτης βλάβης	μετακίνηση δτ
K1	0.06	0.20	0.30	0.633
K2	0.00	0.20	0.00	
K3	0.11	0.20	0.55	
K4	0.00	0.22	0.00	
K5	0.00	0.20	0.00	
K6	0.00	0.20	0.00	
K7	0.00	0.28	0.00	
K8	0.00	0.20	0.00	
K9	0.01	0.20	0.05	
K10	0.00	0.27	0.00	
K11	0.00	0.20	0.00	
K12	0.03	0.22	0.13	
K13	0.00	0.20	0.00	
K14	0.00	0.20	0.00	
K15	0.00	0.20	0.00	
K16	0.00	0.38	0.00	

Σεισμός μεγάλος (1.23)

	πλαστική στροφή στύλου φ_p [%]	επιτρεπόμενη πλαστική στροφή $\varphi_{επ}$ [%]	δείκτης βλάβης	μετακίνηση δτ
K1	0.77	0.30	2.56	2.205
K2	0.43	0.30	1.43	
K3	0.40	0.32	1.25	
K4	0.40	0.32	1.25	
K5	0.68	0.30	2.26	
K6	0.48	0.30	1.60	
K7	0.33	0.38	0.87	
K8	0.38	0.30	1.27	
K9	0.72	0.30	2.40	
K10	0.46	0.37	1.24	
K11	0.48	0.30	1.60	
K12	0.58	0.32	1.81	
K13	0.52	0.30	1.73	
K14	0.42	0.30	1.40	
K15	0.53	0.30	1.77	
K16	0.29	0.48	0.60	

11.2. Σεισμική διεύθυνση στον άξονα y.

Σεισμός σχεδιασμού (1.00)

	πλαστική στρόφι στύλου φ_p [%]	επιτρεπόμενη πλαστική στρόφι φ_{ep} [%]	δείκτης βλάβης	μετακίνηση δt
K1	0.15	0.22	0.68	1.491
K2	0.17	0.20	0.85	
K3	0.15	0.22	0.68	
K4	0.15	0.22	0.68	
K5	0.45	0.20	2.25	
K6	0.23	0.20	1.15	
K7	0.08	0.28	0.28	
K8	0.13	0.20	0.65	
K9	0.49	0.20	2.45	
K10	0.21	0.27	0.78	
K11	0.23	0.20	1.15	
K12	0.33	0.22	1.50	
K13	0.27	0.20	1.35	
K14	0.17	0.20	0.85	
K15	0.28	0.20	1.40	
K16	0.14	0.41	0.34	

Σεισμός συχνός (0.35)

	πλαστική στρόφι στύλου φ_p [%]	επιτρεπόμενη πλαστική στρόφι φ_{ep} [%]	δείκτης βλάβης	μετακίνηση δt
K1	0.00	0.20	0.00	0.447
K2	0.00	0.20	0.00	
K3	0.00	0.20	0.00	
K4	0.00	0.22	0.00	
K5	0.00	0.20	0.00	
K6	0.00	0.20	0.00	
K7	0.00	0.28	0.00	
K8	0.00	0.20	0.00	
K9	0.00	0.20	0.00	
K10	0.00	0.27	0.00	
K11	0.00	0.20	0.00	
K12	0.00	0.22	0.00	
K13	0.00	0.20	0.00	
K14	0.00	0.20	0.00	
K15	0.00	0.20	0.00	
K16	0.00	0.41	0.00	

Σεισμός περιστασιακός (0.44)

	πλαστική στρόφι στύλου φ_p [%]	επιτρεπόμενη πλαστική στρόφι φ_{ep} [%]	δείκτης βλάβης	μετακίνηση δt
K1	0.04	0.20	0.20	0.562
K2	0.00	0.20	0.00	
K3	0.08	0.20	0.40	
K4	0.00	0.22	0.00	
K5	0.00	0.20	0.00	
K6	0.00	0.20	0.00	
K7	0.00	0.28	0.00	
K8	0.00	0.20	0.00	
K9	0.00	0.20	0.00	
K10	0.00	0.27	0.00	
K11	0.00	0.20	0.00	
K12	0.00	0.22	0.00	
K13	0.00	0.20	0.00	
K14	0.00	0.20	0.00	
K15	0.00	0.20	0.00	
K16	0.00	0.41	0.00	

Σεισμός μεγάλος (1.23)

	πλαστική στρόφι στύλου φ_p [%]	επιτρεπόμενη πλαστική στρόφι φ_{ep} [%]	δείκτης βλάβης	μετακίνηση δt
K1	0.63	0.30	2.1	1.988
K2	0.35	0.30	1.17	
K3	0.63	0.30	2.10	
K4	0.63	0.30	2.10	
K5	0.63	0.30	2.10	
K6	0.40	0.30	1.33	
K7	0.25	0.38	0.65	
K8	0.30	0.30	1.00	
K9	0.66	0.30	2.20	
K10	0.39	0.37	1.05	
K11	0.40	0.30	1.33	
K12	0.50	0.32	1.56	
K13	0.44	0.30	1.47	
K14	0.35	0.30	1.17	
K15	0.45	0.30	1.50	
K16	0.32	0.51	0.63	

11.3. Προσεισμικός έλεγχος υφιστάμενων στύλων.

	Σεισμός στη διεύθυνση x.			
	Συχνός	Περιστασιακός	Σχεδιασμού	Μεγάλος
K1	Α.Α.Σ.	Α.Π.Σ.	Α.Π.Σ.	Α.Π.Σ.
K2	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Α.Π.Σ.	Α.Π.Σ.
K3	Α.Α.Σ.	Α.Π.Σ.	Α.Ε.	Α.Ε.
K4	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Α.Π.Σ.
K5	Α.Α.Σ.	Α.Α.Σ.	Α.Π.Σ.	Α.Π.Σ.
K6	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Α.Π.Σ.	Α.Π.Σ.
K7	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Ι.Σ.
K8	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Α.Π.Σ.
K9	Α.Α.Σ.	Α.Α.Σ.	Α.Π.Σ.	Α.Π.Σ.
K10	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Α.Π.Σ.	Α.Π.Σ.
K11	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Α.Π.Σ.	Α.Π.Σ.
K12	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Α.Π.Σ.	Α.Π.Σ.
K13	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Α.Π.Σ.	Α.Π.Σ.
K14	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Α.Π.Σ.	Α.Π.Σ.
K15	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Α.Π.Σ.	Α.Π.Σ.
K16	Α.Α.Σ.	Α.Α.Σ.	Α.Α.Σ.	Α.Α.Σ.

	Σεισμός στη διεύθυνση y.			
	Συχνός	Περιστασιακός	Σχεδιασμού	Μεγάλος
K1	Α.Ε.	Α.Α.Σ.	Α.Α.Σ.	Α.Ε.
K2	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Α.Π.Σ.
K3	Α.Ε.	Α.Α.Σ.	Α.Α.Σ.	Α.Ε.
K4	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Ι.Σ.
K5	Α.Α.Σ.	Α.Α.Σ.	Ι.Σ.	Α.Π.Σ.
K6	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Α.Π.Σ.	Α.Π.Σ.
K7	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Ι.Σ.
K8	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Ι.Σ.
K9	Α.Α.Σ.	Α.Α.Σ.	Ι.Σ.	Α.Π.Σ.
K10	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Α.Π.Σ.
K11	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Α.Π.Σ.	Α.Π.Σ.
K12	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Α.Π.Σ.	Α.Π.Σ.
K13	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Α.Π.Σ.	Α.Π.Σ.
K14	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Α.Α.Σ.	Α.Π.Σ.
K15	Ι.Σ.	Ι.Σ.	Α.Π.Σ.	Α.Π.Σ.
K16	Α.Α.Σ.	Α.Α.Σ.	Α.Α.Σ.	Α.Α.Σ.

Υπόμνημα	
Ι.Σ.	Ικανοποιητική συμπεριφορά
Α.Π.Σ.	Αστοχία στύλου σε πλαστική στρόφη
Α.Α.Σ.	Αστοχία στύλου λόγω ανεπάρκειας συνδετήρων
Α.Ε.	Αστοχία στύλου σε εφελκυσμό

12. Μέθοδοι ενίσχυσης

Από τις προτεινόμενες μεθόδους ενίσχυσης αυτές που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι τοιχοπληρώσεις με άοπλη και οπλισμένη οπτοπλινθοδομή, οι προσθήκη τοιχίων οπλισμένου σκυροδέματος ($t_i=30\text{cm}$, $E_i=20000\text{N/mm}^2$, $f_i=17\text{N/mm}^2$) και σύνθετα υλικά περίσφιγξης.

☒ Τοίχος πλήρωσης	☐ Οπλισμένος	☒ Σύνθετο υλικό περίσφιγξης
Υψος ορόφου :	$h_c = 3.00$ [m]	Διάκενο μανδύα στη στήριξη :
Υψος πυλινρότητας :	$h_i = 2.40$ [m]	Διάμετρος διαμήκους οπλισμού :
Καθαρό άνοιγμα τοίχου :	$L_i = 4.60$ [m]	Μέτρο ελαστικότητας :
Ενεργό πάχος τοίχου :	$t_i = 20.00$ [cm]	Εφελκυστική αντοχή :
Μέτρο ελαστικότητας τοίχου :	$E_i = 4500.00$ [N/mm ²]	Μήκυνση θραύσης :
Ελάχιστη θλιπτική αντοχή :	$f_i = 2.40$ [N/mm ²]	Πάχος μιας στρώσης :
Ποσοστό στύλων με τοίχους :	$\rho_w = 25.00$ [%]	Σ.Α.ελέγχου πλαστικής στρώσης : $\gamma_i = 2.00$

12.1 Αποτελέσματα

12.1.1. Ενίσχυση στον άξονα x.

Μέθοδοι ενίσχυσης υφιστάμενων στύλων.
Σειρά τοιχοπληρώσεων (1-16)(5-6)(2-3)(8-9)(12-13)(16-2)(7-8)(7-6)(11-12)

Τοιχοπλήρωση με άοπλη οπτοπλινθοδομή και περίσφιγξη.
--

Ποσοστό στύλων με τοίχους [%].	Στύλοι με παραμένοντα προβλήματα.		Πρόσθετη ενίσχυση με σύνθετο υλικό περίσφιγξης.
	Επάρκειας συνδετήρων.	Εφελκυσμού.	
12.5	16	1,3	
25	16	1,3	
37.5	5,9,16	3	
50	5,9,16		K5,K9(1 στρώση) K16(3 στρώσεις)
62.5	5,9,16		K5,K9(1 στρώση) K16(2 στρώσεις)
62.5	5,9,16		K5,K9(1 στρώση) K16(2 στρώσεις)
68.75	1,5,9,16		K1,K5,K9(1 στρώση) K16(1 στρώση)
68.75	1,5,9,16		K1,K5,K9(1 στρώση) K16(2 στρώσεις)
75	1,5,9,16		K1,K5,K9(1 στρώση) K16(1 στρώση)

Τοιχοπλήρωση με οπλισμένη οπτοπλινθοδομή και περίσφιγξη.

Ποσοστό στύλων με τοιχούς [%].	Στύλοι με παραμένοντα προβλήματα.		Πρόσθετη ενίσχυση με σύνθετο υλικό περίσφιγξης.
	Επάρκειας συνδετήρων.	Εφελκυσμού.	
12.5	16	1,3	
25	16	1,3	
37.5	5,9,16	3	
50	5,9,16		K5,K9(1 στρώση) K16(3 στρώσεις)
62.5	5,9,16		K5,K9(1 στρώση) K16(2 στρώσεις)
62.5	5,9,16		K5,K9(1 στρώση) K16(2 στρώσεις)
68.75	1,5,9,16		K1,K5,K9(1 στρώση) K16(1 στρώση)
68.75	1,5,9,16		K1,K5,K9(1 στρώση) K16(2 στρώσεις)
75	1,5,9,16		K1,K5,K9(1 στρώση) K16(1 στρώση)

Τοιχοπλήρωση με οπλισμένο σκυρόδεμα και περίσφιγξη.

Ποσοστό στύλων με τοιχούς [%].	Στύλοι με παραμένοντα προβλήματα.		Πρόσθετη ενίσχυση με σύνθετο υλικό περίσφιγξης.
	Επάρκειας συνδετήρων.	Εφελκυσμού.	
12.5	3,5,9,16	1	
25	3		K3(1 στρώση)
37.5			
50			
62.5			
62.5			
68.75			
68.75			
75			

12.1.2. Ενίσχυση στον άξονα y.

Μέθοδοι ενίσχυσης υφιστάμενων στύλων.
Σειρά τοιχοπληρώσεων (1-10)(4-5)(10-9)(3-4)(16-12)(2-13)(13-15)(14-8)(15-6)(11-14)

Τοιχοπλήρωση με άοπλη οπτοπλινθοδομή και περίσφιγξη.

Ποσοστό στύλων με τοιχούς [%].	Στύλοι με παραμένοντα προβλήματα.		Πρόσθετη ενίσχυση με σύνθετο υλικό περίσφιγξης.
	Επάρκειας συνδετήρων.	Εφελκυσμού.	
12.5	16	1,3	
25	16	1,3	
31.25	5,16		K5(1 στρώση) K16(3 στρώσεις)
37.5	5,16	3	
50	5,9,16		K5(1 στρώση) K16(3 στρώσεις)
62.5	5,9,16		K5(1 στρώση) K16(3 στρώσεις)

68.75	5,9,16		K5(1 στρώση) K16(2 στρώσεις)
81.25	5,9,16		K5(1 στρώση) K16(2 στρώσεις)
87.5	5,9,16		K5(1 στρώση) K16(2 στρώσεις)
93.75	5,9,16		K5(1 στρώση) K16(2 στρώσεις)

Τοιχοπλήρωση με οπλισμένη οπτοπλινθοδομή και περίσφιγξη.

Ποσοστό στύλων με τοίχους [%].	Στύλοι με παραμένοντα προβλήματα.		Πρόσθετη ενίσχυση με σύνθετο υλικό περίσφιγξης.
	Επάρκειας συνδετήρων.	Εφελκυσμού.	
12.5	16	1,3	
25	16	1,3	
31.25	5,16		K5(1 στρώση) K16(3 στρώσεις)
37.5	5,16	3	
50	5,9,16		K5(1 στρώση) K16(3 στρώσεις)
62.5	5,9,16		K5(1 στρώση) K16(3 στρώσεις)
68.75	5,9,16		K5(1 στρώση) K16(2 στρώσεις)
81.25	5,9,16		K5(1 στρώση) K16(2 στρώσεις)
87.5	5,9,16		K5(1 στρώση) K16(2 στρώσεις)
93.75	5,9,16		K5(1 στρώση) K16(2 στρώσεις)

Τοιχοπλήρωση με οπλισμένο σκυρόδεμα και περίσφιγξη.

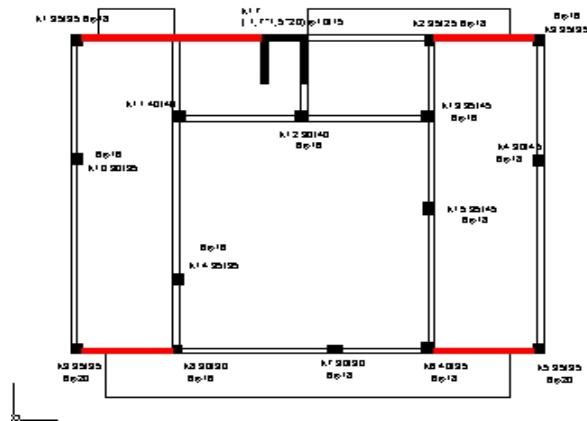
Ποσοστό στύλων με τοίχους [%].	Στύλοι με παραμένοντα προβλήματα.		Πρόσθετη ενίσχυση με σύνθετο υλικό περίσφιγξης.
	Επάρκειας συνδετήρων.	Εφελκυσμού.	
12.5	1,3,5,9,16		K1,K3,K5,K9,K16(1 στρώση)
25	3		K3(1 στρώση)
31.25			
37.5			
50			
62.5			
68.75			
81.25			
87.5			
93.75			

12.2. Βέλτιστες ενισχύσεις.

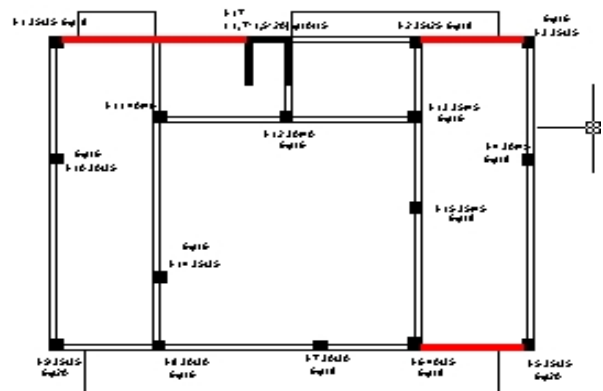
Οι βέλτιστες λύσεις επιλέχθηκαν με κριτήριο την ασφάλεια αλλά και την οικονομία.

- 12.2.1. Τοιχοπλήρωση με άοπλη οπτοπλινθοδομή στον άξονα x.(σχ.1)
- 12.2.2. Τοιχοπλήρωση με οπλισμένη οπτοπλινθοδομή στον άξονα x.(σχ.1)
- 12.2.3. Τοιχοπλήρωση με τοίχους από Ο.ΣΚ. στον άξονα x.(σχ.2)
- 12.2.1. Τοιχοπλήρωση με άοπλη οπτοπλινθοδομή στον άξονα x.(σχ.3)
- 12.2.2. Τοιχοπλήρωση με οπλισμένη οπτοπλινθοδομή στον άξονα x.(σχ.3)
- 12.2.3. Τοιχοπλήρωση με τοίχους από Ο.ΣΚ. στον άξονα x.(σχ.3)

Σχήμα 1 :

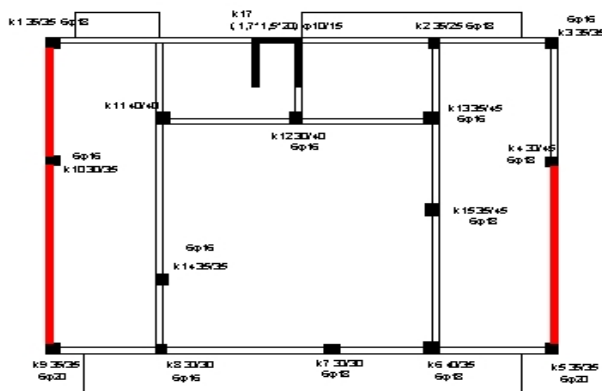


Σχήμα 2 :



Τόσο στη λύση 2 όσο και στη λύση 3 υπάρχει ο κίνδυνος να στρίψει λίγο η πλάκα. Για το λόγο αυτό συνίσταται να τοποθετηθεί και τέταρτος τοίχος , για αποκατάσταση της συμμετρίας.

Σχήμα 3 :



13. Κρίνεται απαραίτητο να ευχαριστήσουμε θερμά τον μεταπτυχιακό φοιτητή Βασίλη Μπαρδάκη για την βοήθειά του.

14. Βιβλιογραφία.

- **Pilotis MANUAL**
- **Pilotis Example**
- Α.Κανελλόπουλος : **Μέθοδος προσεισμικού ελέγχου στύλων pilotis .**
2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας.
Θεσσαλονίκη Νοέμβριος 2001.
- Θ Τάσιος (2001) .**Θεωρία σχεδιασμού Επισκευών και Ενισχύσεων. Σημειώσεις μεταπτυχιακού μαθήματος.** Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- **Συστάσεις για προσεισμικές και μετασεισμικές επεμβάσεις σε κτίρια.**
Ο.Α.Σ.Π.2001
- Τρ. Καραντώνη (2003) **Φέρουσες τοιχοποιίες** Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών
- Μ.Φαρδής Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών 2002 **Μαθήματα οπλισμένου σκυροδέματος μέρος 1**
- Σ.Η.Δρίτσος (2003).**Ενισχύσεις επισκευές κατασκευών από Οπλισμένο σκυρόδεμα.**
- **Ε.Α.Κ.**
- **Sap2000 MANUAL**
- **FEMA 356 /273**
- Βασίλης Μπαρδάκης , Μεταπτυχιακη εργασία υπο την επίβλεψη του καθηγητη Θ.Π.Τάσιου.**Αποτίμηση του δείκτη συμπεριφοράς υφιστάμενης κατασκευής κατασκευών Ω/Σ (με μη-γραμμική στατική ανάλυση επιβαλλόμενων μετακινήσεων) και βαθμονόμηση πινάκων για την ψευδο-ποσοτική εκτίμηση του (σε τρεις στάθμες επιτελεστικότητας).**
- Αθ. Χ. Τριανταφύλλου (2003) **Προηγμένες τεχνολογίες υλικών και κατασκευών** Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών .