



Προσομοίωση και ανάλυση Κατασκευών από Φέρουσα Τοιχοποιία

Καλύπτονται στο **Κεφάλαιο 5 του ΚΑΔΕΤ**
που συντάχθηκε από τις

- Σ. Πανταζοπούλου, Καθηγήτρια, York University, CA
- Φ. Καραντώνη, Αν. Καθηγήτρια, Πανεπιστήμιο Πατρών

1

Διάρθρωση της παρουσίασης

- **Εισαγωγή**
Κρίνεται απαραίτητη λόγω της μη εξοικείωσης με φορείς από επιφανειακά στοιχεία
- **Προσομοίωση (φορέα και φορτίσεων)**
Δίνεται έμφαση στη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων
- **Ανάλυση**
Δίνεται έμφαση στην ελαστική ισοδύναμη στατική μέθοδο
- **Προσεγγιστικές μέθοδοι**

Φ. Καραντώνη

2

Συστήματα φορέων

- Δύο είναι οι τύποι φορέων των κτιριακών κατασκευών, οι οποίοι μπορούν να συνδυασθούν ώστε να προκύψει ένας τρίτος τύπος, οι **μικτές κατασκευές**. Οι τύποι αυτοί είναι:
- **Πλαισιακοί φορείς**, δηλαδή σύστημα δοκών και υποστυλωμάτων, τα οποία υπό κατακόρυφα ή/και οριζόντια φορτία υπόκεινται κυρίως σε κάμψη. Οι πλαισιακοί φορείς μπορεί να είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα, χάλυβα ή ξύλο. Τα μέλη τους έχουν μία διάσταση μεγαλύτερη από τις άλλες δύο (το μήκος) και στις παραδοχές για την ανάλυση και το σχεδιασμό τους λαμβάνουμε υπόψη τις παραδοχές της τεχνικής θεωρίας κάμψης.
- **Τοιχωματικοί φορείς**, δηλαδή σύστημα κατακόρυφων στοιχείων με μία διάσταση μικρότερη από τις άλλες δύο (το πάχος ή πλάτος) στα οποία υπάρχουν ανοίγματα. Το υλικό τους είναι κυρίως τοιχοποιία και σπανίως οπλισμένο σκυρόδεμα. Προσφάτως, κατασκευάζονται και από ξύλο. **Το μήκος στα μέλη είναι η οριζόντια διάσταση, ύψος η κατακόρυφη και πάχος ή πλάτος η διάσταση εγκάρσια στην επιφάνεια**

Φ. Καραντώνη

Εισαγωγή

3

- Οι **πλαισιωτοί φορείς** συνήθως διαθέτουν δύσκαμπτα πατώματα από πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος, ή σύμμικτες, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος της μάζας τους να είναι συγκεντρωμένο στη στάθμη κάθε οροφής. Επιπλέον διαθέτουν μικρό σχετικά αριθμό υπερστατικότητας, ώστε αστοχία ενός μέλους οδηγεί σε ανακατανομή των φορτίων σε γειτονικά, τα οποία υπερφορτιζόμενα κινδυνεύουν με αστοχία και τελικώς μπορεί να οδηγηθεί σε κατάρρευση ολόκληρο το κτίριο



Φ. Καραντώνη

Εισαγωγή

4

- Τα κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία, αναλόγως της εποχής κατασκευής τους, μπορεί να έχουν εύκαμπτα ή δύσκαμπτα πατώματα. Στην πρώτη περίπτωση, περισσότερο από το 90% της μάζας τους είναι κατανεμημένη καθ' ύψος, ενώ στη δεύτερη, μόνο περίπου το 50% της μάζας τους είναι συγκεντρωμένο στη στάθμη των οροφών. Λόγω του μεγάλου αριθμού υπερστατικότητας που διαθέτουν, αστοχία ή και πλήρης κατάρρευση ενός τοίχου δεν οδηγεί το κτήριο σε κατάρρευση



Φ. Καραντώνη

5

Δομικά συστήματα κτηρίων από Φ.Τ

- Στην Ελλάδα, στα κτήρια από φέρουσα τοιχοποιία διακρίνονται 2 συστήματα με σαφώς διαφορετική συμπεριφορά έναντι σεισμικών δράσεων, όμως είναι συχνή η μείξη των δύο συστημάτων στο μεσοδιάστημα κυριαρχίας του καθενός

1) κτήρια χωρίς καθόλου διαφραγματική λειτουργία (τα παλαιότερα)

2) κτήρια με διαφραγματική λειτουργία

- Ενδιάμεσο είδος είναι τα κτήρια με διαφραγματική λειτουργία πατωμάτων αλλά όχι στέγης
- Μη διαδεδομένο σύστημα στην Ελλάδα, που όμως συναντάται, είναι η θολοδομία για τα πατώματα των κατώτερων ορόφων

Φ. Καραντώνη

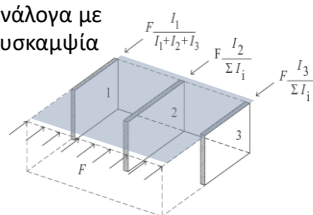
6

Κατανομή σεισμικής δύναμης στους παράλληλους τοίχους

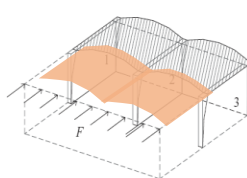
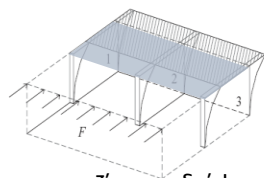
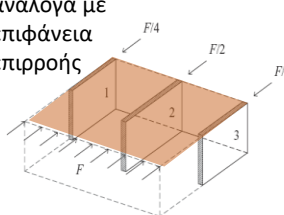
Με διαφραγματική λειτουργία

χωρίς διαφραγματική λειτουργία

ανάλογα με
δυσκαμψία



ανάλογα με
επιφάνεια
επιρροής



Οι τοίχοι παραμορφώνονται μαζί με το διάφραγμα

Οι τοίχοι παραμορφώνονται ανεξάρτητα και
ανάλογα με την δρώσα δύναμη η οποία
εξαρτάται από τη μάζα τους

Παρατίθεται μεθοδολογία εμπειρικού υπολογισμού
της δυσκαμψίας

απαντών

εισαγωγή

7

Στην ανάλυση κατασκευών από Φέρουσα Τοιχοποιία ανακύπτουν ζητήματα προσομοίωσης που δεν παρουσιάζονται σε άλλου τύπου κατασκευές και αφορούν :

1. Προσομοίωση του φέροντα οργανισμού διότι:
 - a) Δεν αποτελείται από γραμμικά μέλη
 - b) Συνήθως δεν διαθέτει διαφράγματα
2. Προσομοίωση της σύνδεσης τμημάτων που ανεγέρθησαν σε διαδοχικές φάσεις
3. Προσομοίωση των μεσοτοιχιών
4. Προσομοίωση τυχόν ξυλοδεσιών
5. Προσομοίωση των ποδιών των παραθύρων
6. Προσομοίωση των ενισχύσεων

Ως εκ τούτου η προσομοίωση θα πρέπει να μπορεί να αναπαραγάγει υπάρχουσες ή αναμενόμενες βλάβες

Φ. Καραντώνη

προσομοίωση

8

Η εισαγωγή των στοιχείων θα πρέπει να αναπαριστά αξιόπιστα τις συνθήκες στήριξης

Στοιχεία με χαμηλές δυσκαμψίες και στηριζόμενα ώστε να μην μεταφέρουν ροπές – μπορούν να εισάγονται στο προσομοίωμα με συνθήκες άρθρωσης στα άκρα τους- π.χ.

- αμφιαρθρωτά στοιχεία για πεσσούς ξυλόπηκτης τοιχοποιίας σε δράση εκτός επιπέδου κάμψης,
- ξύλινες δοκοί πατωμάτων.

Φ. Καραντώνη

9

Στήριξη δοκών πατωμάτων



Οι δοκοί απλώς εδράζονται στους τοίχους και επ ουδενί δημιουργούν συνθήκες διαφραγματικής λειτουργίας και πάκτωσης των τοίχων στη στάθμη έδρασης τους (βλέπε και ΕΚ 6)

10

Πεσσοί και υπέρθυροι δίσκοι



Οι ποδιές είναι τοιχοπλήρωση

Το μήκος των πεσσών δεν είναι σταθερό καθ' ύψος

Φ. Καραντώνη

11



Οι ποδιές είναι σε εμπλοκή

Πεσσοί και υπέρθυροι δίσκοι



Οι ποδιές είναι τοιχοπλήρωση

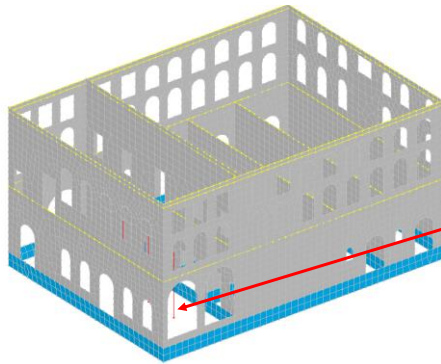
Το μήκος των πεσσών δεν είναι σταθερό καθ' ύψος

Φ. Καραντώνη

12



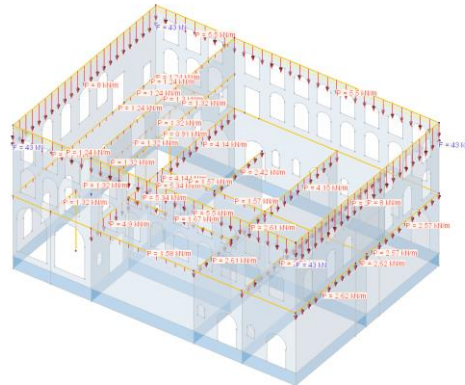
Οι ποδιές είναι σε εμπλοκή



Στοιχείο δοκού =beam
 element (M, N, V)

Ραβδωτό μέλος
 =bar element
 (αξονική ένταση, N)

Τα ευπαράμορφα διαφράγματα μπορούν να μην συμπεριλαμβάνονται στο προσομοίωμα του φορέα υπό τον όρο ότι τα φορτία που αναλαμβάνουν έχουν καταλλήλως μεταφερθεί στα κατακόρυφα μέλη του.



Μέθοδοι προσομοίωσης

Για την προσομοίωση του φορέα του δομήματος, επιτρέπεται η χρήση των εξής μεθόδων:

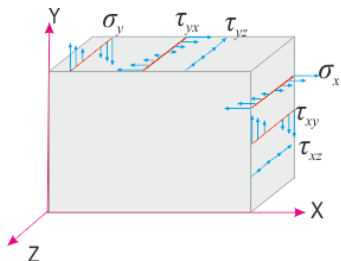
1. Πεπερασμένων στοιχείων
2. Μακροστοιχείων
3. Ισοδύναμου πλαισίου οιονεί - γραμμικών μελών* (υπό συνθήκες) **Στοιχεία δοκού**
4. Σύστημα θλιπτήρων και ελκυστήρων **(στοιχεία ράβδων και καλωδίων)**

* Ως γραμμικά μέλη αναφέρονται τα μέλη με τη μία διάσταση μεγαλύτερη και με ένταση MNV (**Στοιχεία δοκού**)

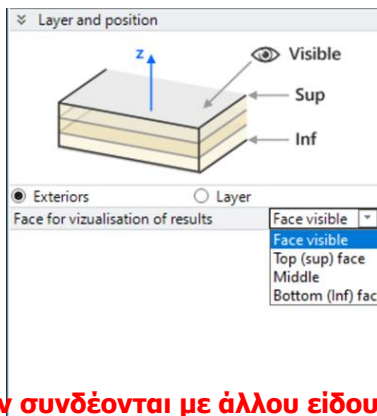
Τι είδους στοιχεία?

Επιφανειακά στοιχεία Mindlin που είναι συνδυασμός για εντός και εκτός επιπέδου δράση (εν αντιθέσει με το στοιχεία Kirchhoff):

shell elements, thick plate κλπ



Stresses on a shell (Mindlin) finite element

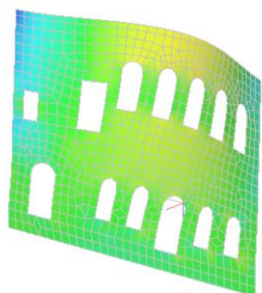


Στεριά 3-d στοιχεία θέλουν προσοχή αν συνδέονται με άλλου είδους γιατί υπάρχουν περιορισμοί στους Dofs

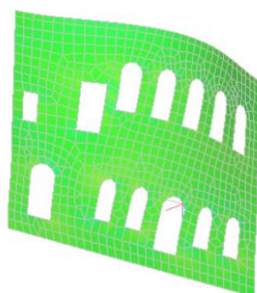
Μέλη με μία διάσταση μεγαλύτερη (τοιχοκολώνες), μπορούν με στοιχεία δοκού

Φ. Καραντώνη

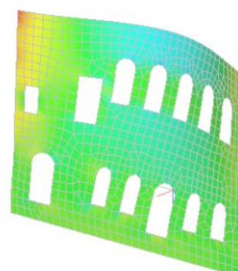
ένα εμπορικό πρόγραμμα πρέπει να παρέχει αποτελέσματα τάσεων σε παρειές



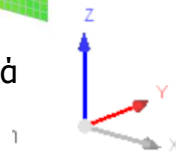
Πίσω παρειά



Μέση επιφάνεια



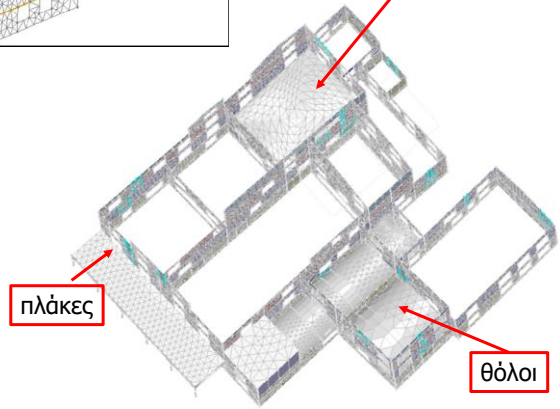
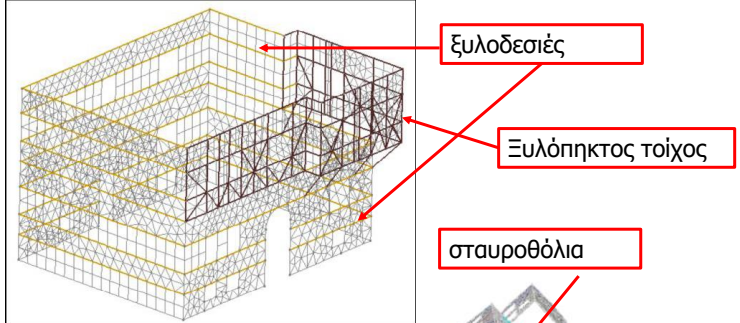
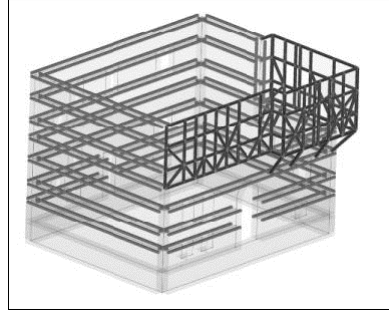
Εμπρός παρειά



Τα αποτελέσματα τάσεων πρέπει να παρέχονται για κάθε παρειά. Στη μέση επιφάνεια είναι σχεδόν μηδενικές (ουδέτερος άξονας)

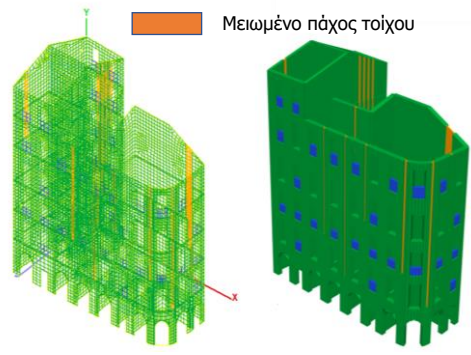
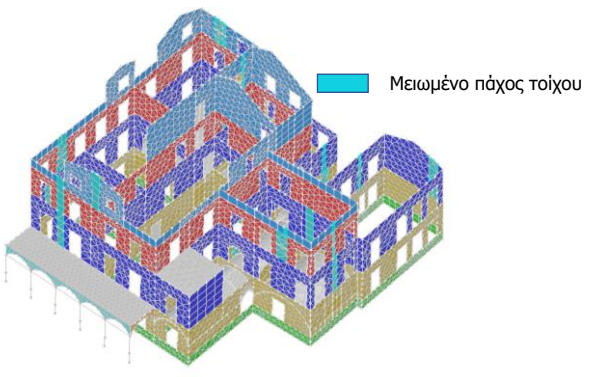
Φ. Καραντώνη

1. Πεπερασμένων στοιχείων



Παρέχει τη δυνατότητα ακριβούς προσομοίωσης όλων των στοιχείων αλλά και διαφορετικών ιδιοτήτων των τμημάτων

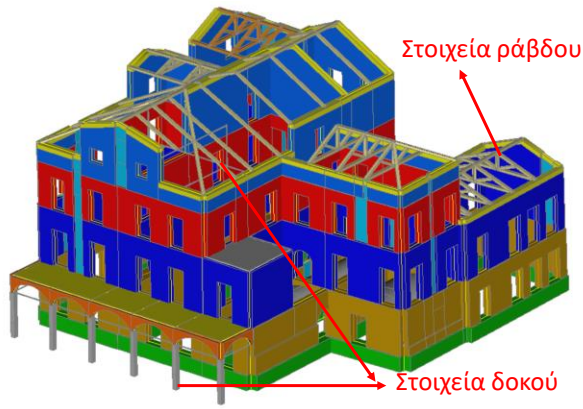
Φ. Καραντώνη



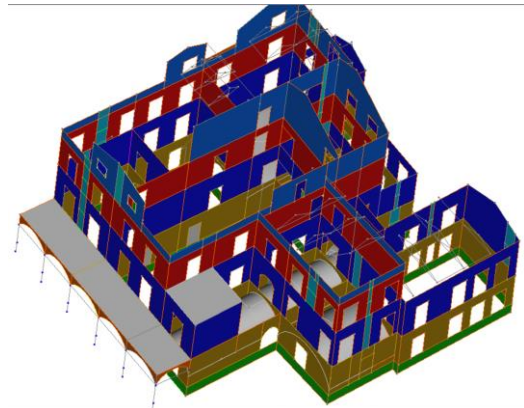
Προσοχή στα ανώφλια. Δεν είναι αυτοφερόμενα, στηρίζονται σε ξύλινα, μεταλλικά ή από ο.σ στοιχεία.
Το ίδιο ισχύει για μεγάλα ελεύθερα ανοίγματα

Φ. Καραντώνη

1. Πεπερασμένων στοιχείων

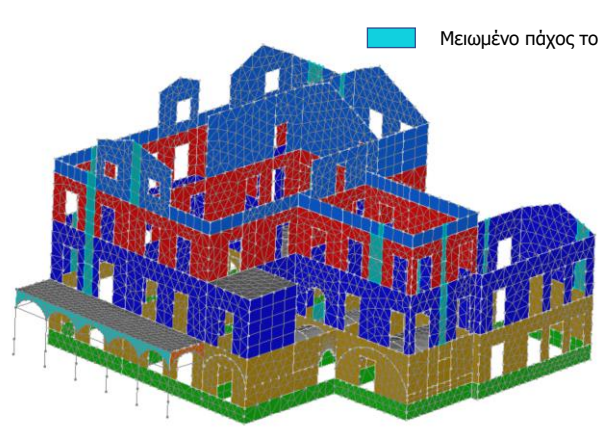


«Φωτορεαλιστικό μοντέλο»

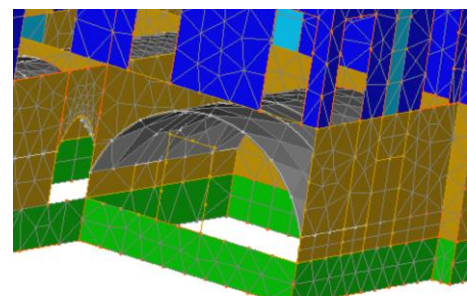
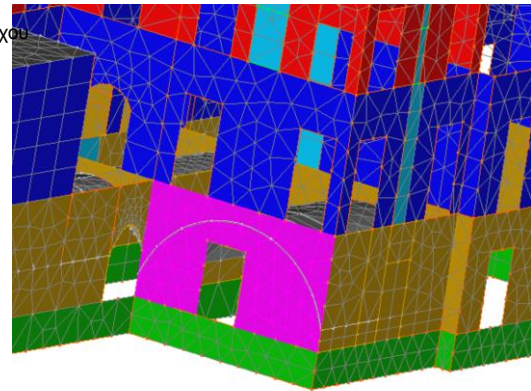


19

1. Πεπερασμένων στοιχείων



Πλέγμα ΠΣ για την ανάλυση

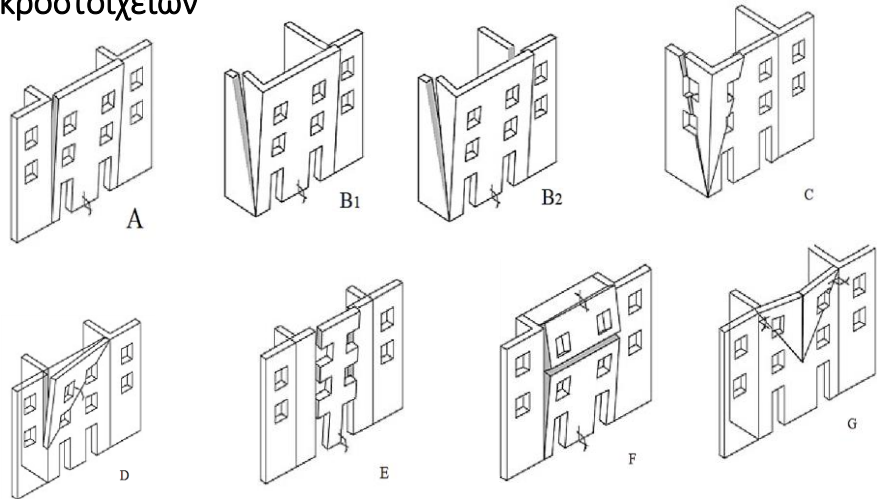


20

2. Μακροστοιχείων

Η μέθοδος των Μακροστοιχείων

Η μέθοδος των Μακροστοιχείων προϋποθέτει την ακριβή γνώση της συμπεριφοράς



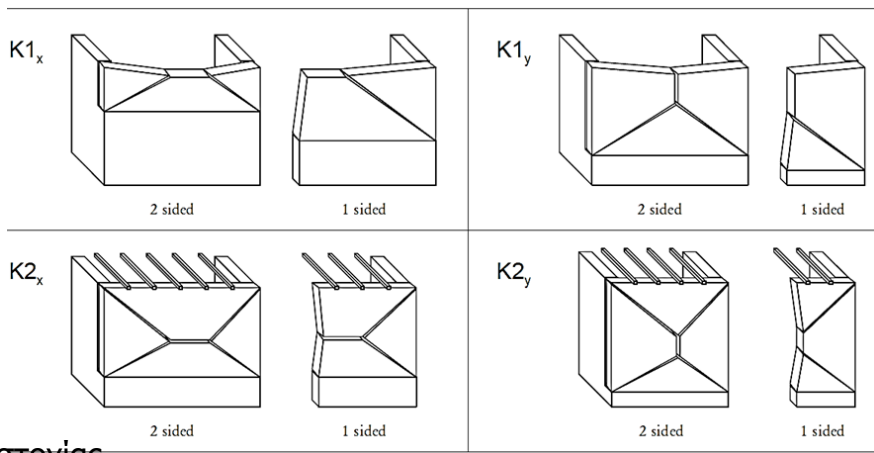
Για κάθε μηχανισμό αστοχίας παρέχονται σχέσεις υπολογισμού

Θεωρία των γραμμών διαρροής D' Ayala

Φ. Καραντώνη

2. Μακροστοιχείων

Η μέθοδος των Μακροστοιχείων προϋποθέτει την ακριβή γνώση της συμπεριφοράς



Για κάθε μηχανισμό αστοχίας παρέχονται σχέσεις υπολογισμού

Θεωρία των γραμμών διαρροής Vaculik

Φ. Καραντώνη

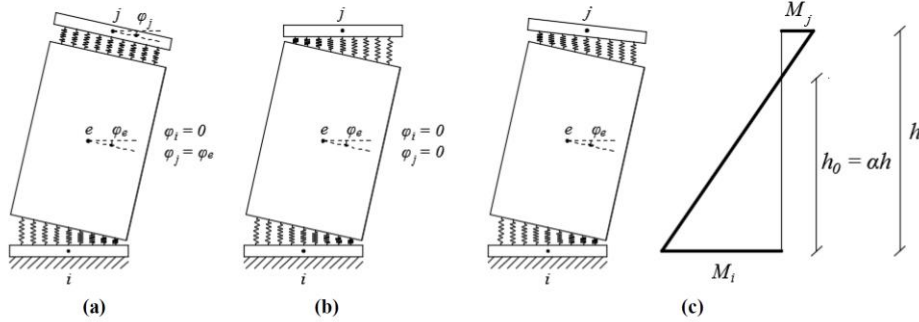
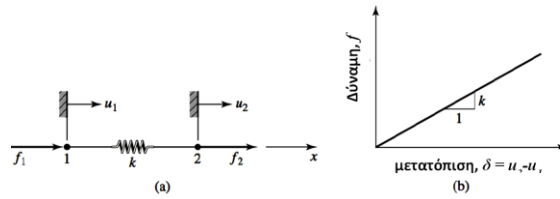
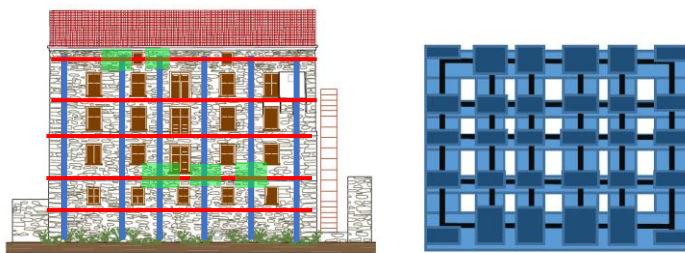


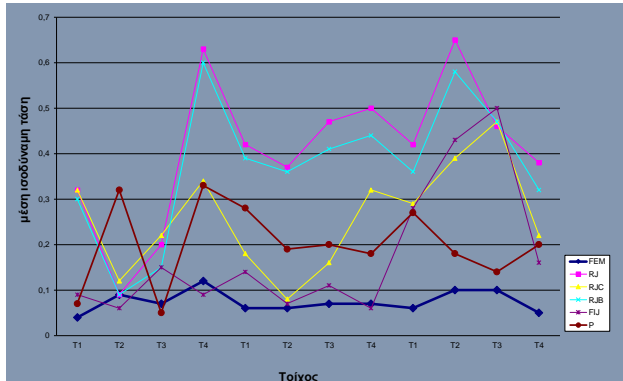
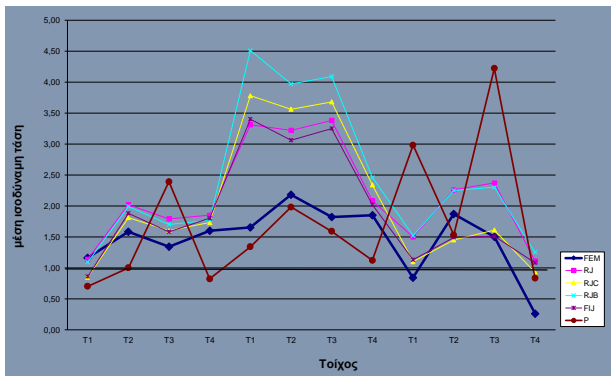
Figure 8 Macroelement in (a) cantilever, (b) double-fixed and (c) general boundary conditions.

Τα μακροστοιχεία συνδέονται μεταξύ τους στους κόμβους μέσω ελατηρίων επαφής. Το διάγραμμα δύναμης παραμόρφωσης του τυπικού ελατηρίου δίνεται στην § 5.1.1.



Στη συνέχεια θα αναφέρονται ως γραμμικά μέλη τα στοιχεία δοκού, beam elements





Χωρίς Διαφράγματα- για σεισμό παράλληλα,

Με Διαφράγματα- για σεισμό παράλληλα,

εναλλακτικοί τρόποι εφαρμογής της Μεθόδου του Ισοδύναμου Πλαισίου στο Χώρο (με **πλήρως άκαμπτους κόμβους - RJ**, ή με άκαμπτους κόμβους μόνο μέσα στα ανώφλια - RJB ή μόνο μέσα στους πεσσούς - RJC, ή με πλήρως εύκαμπτους κόμβους - FIJ),

Φ. Καραντώνη

25

3. Προσομοίωση με γραμμικά μέλη

Ισοδύναμο Πλαίσιο

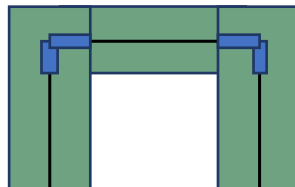
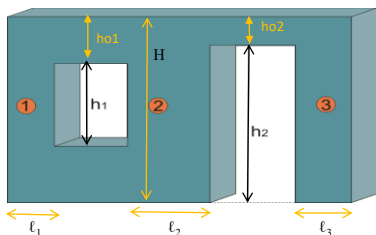
Η διακριτοποίηση μπορεί να γίνει **με επίπεδα πλαίσια** σε εκείνες τις περιπτώσεις που το κτίριο μπορεί να χαρακτηριστεί κανονικό σε κάτοψη και καθύψος κατά τον ΕΚ 8-1, § 4.2.3. Τα υπολογιστικά προσομοιώματα μπορούν να βασίζονται σε μεμονωμένα ανεξάρτητα μεταξύ τους τμήματα του δομήματος (όπως, π.χ. μεμονωμένοι τοίχοι), υπό τον όρο ότι ικανοποιείται η § 5-A1.1 του Παραρτήματος Α. Σε αντίθετη περίπτωση, πρέπει να χρησιμοποιείται ένα **χωρικό πλαίσιο**.

Ισοδύναμο πλαίσιο μπορεί να προσομοιώσει κατασκευή μόνο αν συντρέχουν οι παρακάτω συνθήκες ταυτοχρόνως:

- i) έχει εξασφαλισθεί η επαρκής διαφραγματική λειτουργία των πατωμάτων και της στέγης
- ii) η διάταξη των ανοιγμάτων είναι τέτοια ώστε κάθε πεσός να έχει περίπου σταθερό μήκος (οριζόντια διάσταση στο επίπεδο του τοίχου) από τη στάθμη της θεμελίωσης μέχρι τη στέψη του τοίχου
- iii) ο λόγος του ύψους προς το μήκος του πεσού (στον όροφο) υπερβαίνει το 2.0

Φ. Καραντώνη

26



Πεσσός 1: ύψος $h_{p1}=h_1$

μήκος l_1

Πεσσός 2: ύψος $h_{p2}=0,5(h_1+h_2)$

μήκος l_2

Πεσσός 3: ύψος $h_{p3}=h_2$

μήκος l_3

Υπέρθυρος δίσκος 1: ύψος h_{o1}

Υπέρθυρος δίσκος 2: ύψος h_{o2}

ορισμοί

Φ. Καραντώνη



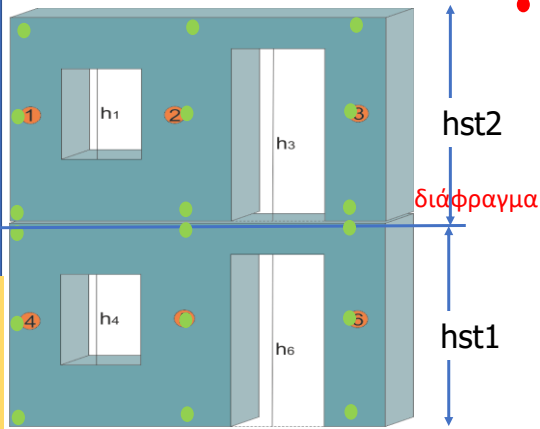
Ασυνέχεια πεσσών



Μερική ασυμμετρία

Φ. Καραντώνη

Θέσεις ελέγχου

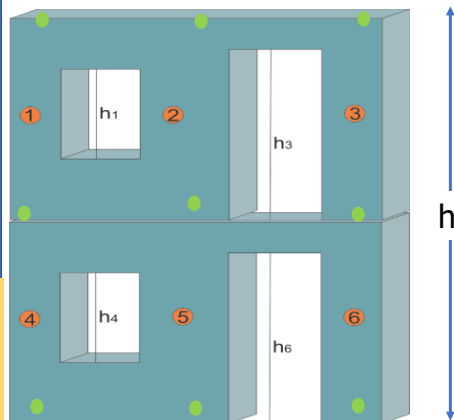


- Θέσεις ελέγχου για θλίψη – ύπαρξη διαφραγμάτων

- Άκρα και μέση κάθε τοίχου ορόφου
- έλεγχος οριακών συνθηκών

Θέσεις ελέγχου

29



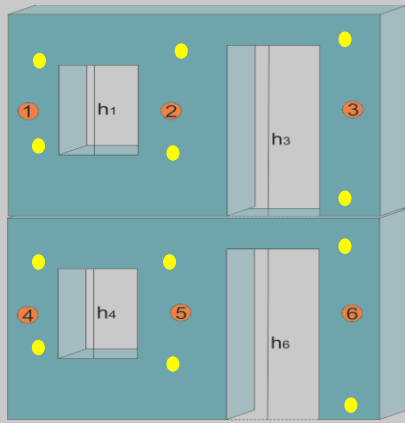
- Θέσεις ελέγχου για θλίψη – απουσία διαφραγμάτων

- Άκρα και μέση κάθε τοίχου
- έλεγχος οριακών συνθηκών
- ΕΚ6 επιτρέπει (ίσως γιατί θεωρεί αυτονόητη την ύπαρξη διαφραγμάτων) έλεγχο ανά όροφο

Θέσεις ελέγχου

30

Θέσεις ελέγχου



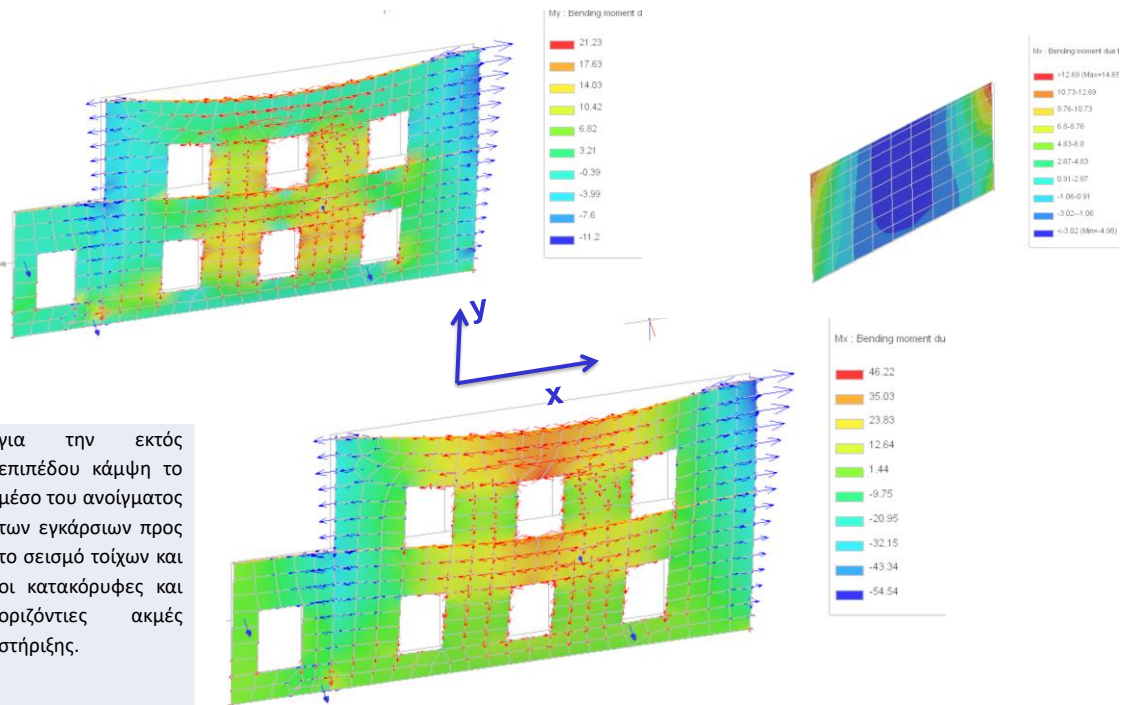
• Θέσεις ελέγχου για διάτμηση

- Για τους πεσσούς 2 και 5 ως ύψος θα υπολογισθεί το ημιάθροισμα του ύψους των συντρεχόντων ανοιγμάτων

31

Θέσεις ελέγχου

για την εκτός επιπέδου κάμψη το μέσο του ανοίγματος των εγκάρσιων προς το σεισμό τοίχων και οι κατακόρυφες και οριζόντιες ακμές στήριξης.

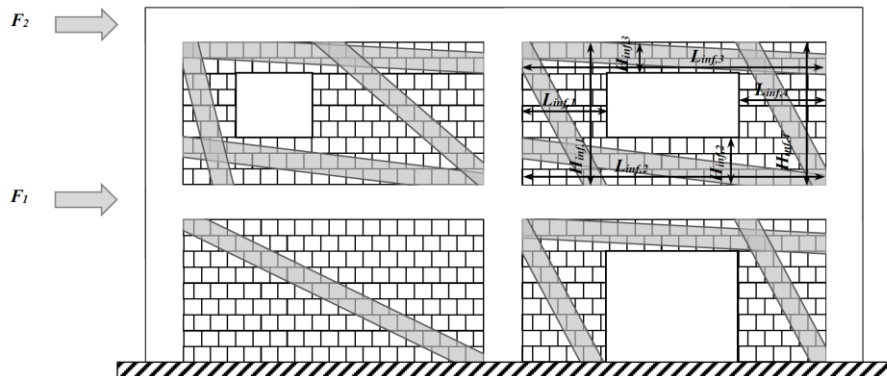


32

- Να σημειωθεί ότι οι περισσότεροι κανονισμοί δεν προβλέπουν έλεγχο μεμονωμένα των ανωφλίων γιατί δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί η κατάλληλη θεωρία και γιατί τα ανώφλια δεν είναι αυτοφερόμενα και οι συνοριακές συνθήκες είναι αβέβαιες.

Φ. Καραντώνη

33



- για την ανάλυση (κρίσιμων) τμημάτων κατασκευών στο επίπεδο, αλλά απαιτεί υψηλό βαθμό γνώσης και εμπειρίας του Μηχανικού.
- απαιτείται αξιόπιστος ορισμός της θέσης και κατεύθυνσης δράσης των ελκυστήρων, οι οποίοι προϋποθέτουν την δυνατότητα ανάληψης εφελκυστικών τάσεων από την τοιχοποιία ή μέσω συναφείας κατά μήκος των διεπιφανειών ανόμοιων υλικών (π.χ. μεταξύ λιθοσωμάτων και ξύλινων ή μεταλλικών ελκυστήρων), εκτός και αν οι ελκυστήρες έχουν αγκυρωθεί με μηχανικά μέσα (όπως ελκυστήρες που στηρίζονται με δράση σφικκτήρα – ενίοτε στοιχεία αυτού του τύπου αποτελούν μέρος της ενίσχυσης).

Φ. Καραντώνη

34

μέθοδοι ανάλυσης

1. Ελαστικές

- ελαστική (ισοδύναμη) στατική ανάλυση
- Ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης (ελαστική δυναμική)

εφαρμόζονται

- είτε με κριτήριο ελέγχου τα εντατικά μεγέθη σε όρους δυνάμεων (με χρήση του δείκτη συμπεριφοράς $q_{\delta\theta}$ και του φάσματος σχεδιασμού $S_d(T)$)
- είτε με κριτήριο ελέγχου τις παραμορφώσεις με χρήση του ελαστικού φάσματος $S_e(T)$.

2. Ανελαστικές

- ανελαστική (μη γραμμική) στατική ανάλυση
- ανελαστική δυναμική ανάλυση (ανάλυση χρονοϊστορίας)

εφαρμόζονται με κριτήριο ελέγχου τις παραμορφώσεις και χρήση του ελαστικού φάσματος $S_e(T)$.

δεν συνιστώνται για ευρεία χρήση

Φ. Καραντώνη

35

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των υπολογιστικών προσομοιωμάτων θα πρέπει να παρέχουν για κάθε μέλος τα μεγέθη που μνημονεύονται στα Κεφ. 6, 7, 8 και 9.

Προσεγγιστικές και εμπειρικές μέθοδοι αποτίμησης

μόνο για τους σκοπούς της αποτίμησης μπορεί να γίνει **προσεγγιστική** αναλυτική εκτίμηση της έντασης σε κρίσιμα στοιχεία του φορέα, χωρίς λεπτομερή ανάλυση προσομοιώματος του συνόλου του κτιρίου.

Χρήση εμπειρικών ή ημι-εμπειρικών μεθόδων σε ειδικές περιπτώσεις, π.χ. όταν

- Η αποτίμηση αφορά έναν σημαντικό αριθμό κτιρίων, για τα οποία επιδιώκεται να προσδιορισθεί εάν καταρχήν υπάρχει ανάγκη προσεισμικής ενίσχυσης (και με ποια προτεραιότητα), ή
- Το προς αποτίμηση κτίριο είναι μικρής σημασίας, και δεν είναι διατηρητέο,

Η χρήση αμιγώς εμπειρικών μεθόδων επιτρέπεται μόνον στις περιπτώσεις που καλύπτονται από σχετικές ειδικές διατάξεις εκδιδόμενες από τη Δημόσια Αρχή

Φ. Καραντώνη

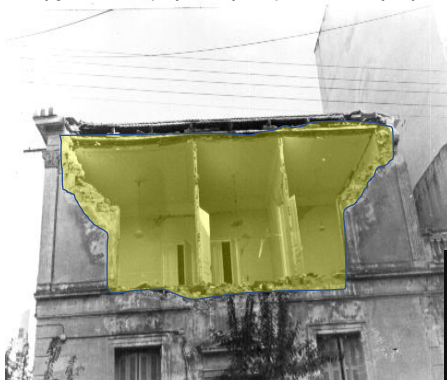
36

- Η ελαστική στατική ανάλυση καθώς και η Ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης μπορεί να εφαρμοσθεί με θεώρηση γραμμικά ελαστικού προσομοιώματος για το δόμημα, προκειμένου να προσδιοριστεί η διαδρομή των δυνάμεων στον φέροντα οργανισμό, και οι περιοχές όπου παρουσιάζεται συγκέντρωση τάσεων.
- Σε περίπτωση τελικής εφαρμογής ανελαστικής ανάλυσης πρέπει να προηγείται η ελαστική (με θεώρηση $\alpha=1$), με στόχο να εντοπισθούν οι περιοχές όπου αναμένεται η συγκέντρωση παραμορφώσεων όπου πρέπει να προβλεφθεί η τοποθέτηση κατάλληλων ανελαστικών ιδιοτήτων στο προσομοίωμα. Το αυτό ισχύει και για την διαμόρφωση «μηχανισμών» για τον έλεγχο αστοχιών εκτός επιπέδου των πεσσών

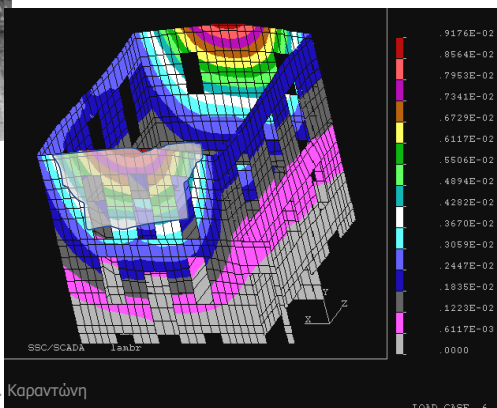
Φ. Καραντώνη

37

Αναπτυχθείσες βλάβες Θεώρηση και των δύο παρειών του τοίχου



μετακινήσεις



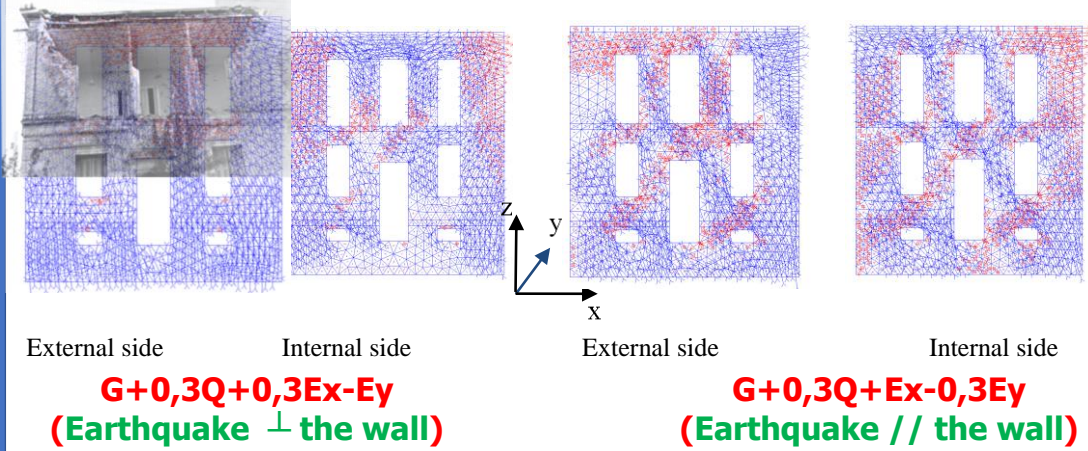
ελαστική στατική ανάλυση

Φ. Καραντώνη

38

μέθοδοι ανάλυσης

Αναπτυχθείσες βλάβες Θεώρηση και των δύο παρειών του τοίχου



ελαστική στατική ανάλυση

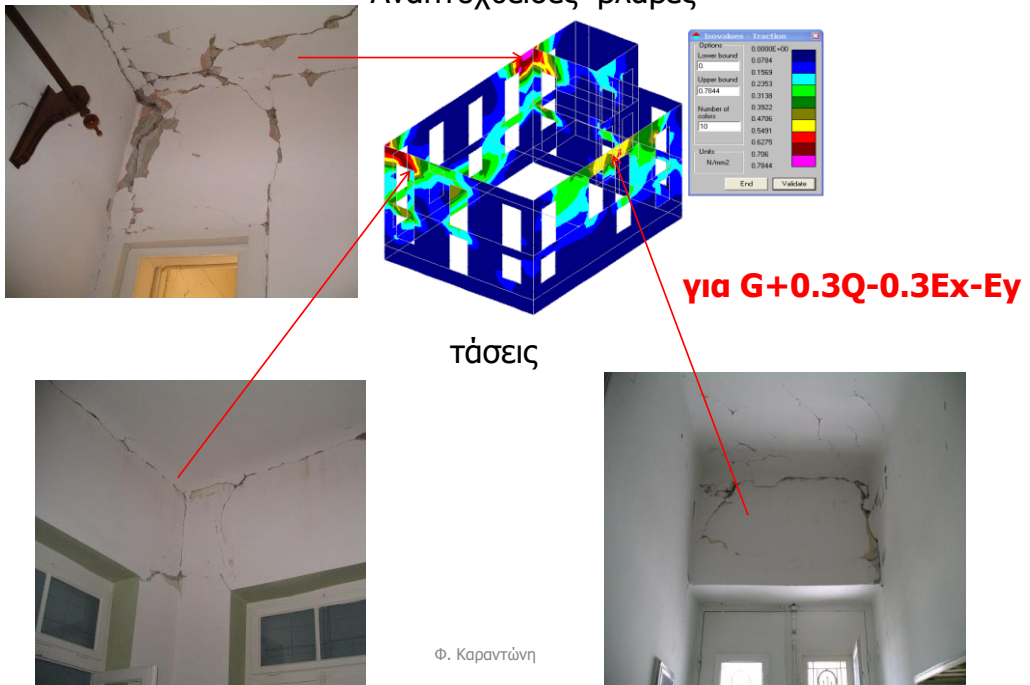
F. Karantoni

39

39

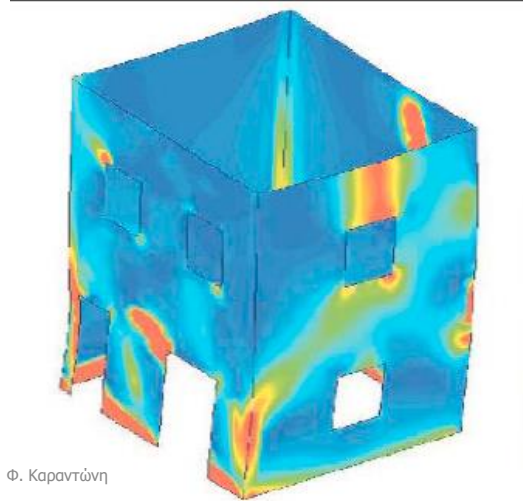
μέθοδοι ανάλυσης

Αναπτυχθείσες βλάβες



40

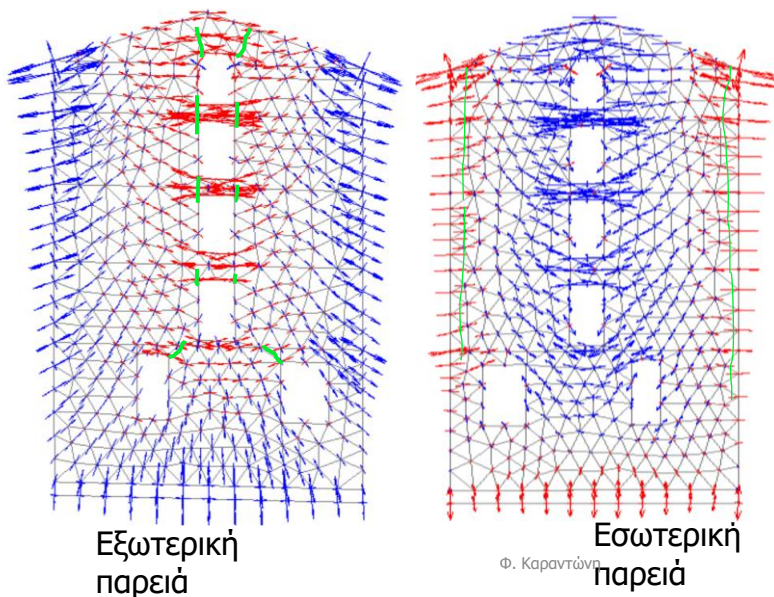
Διατμητική ρηγμάτωση των ισχυρών πεσών
διατρέχουσα τα ανώφλια



Φ. Καραντώνη

41

Αναμενόμενες βλάβες
Θεώρηση και των δύο παρειών του τοίχου



Εξωτερική
παρειά

Εσωτερική
παρειά

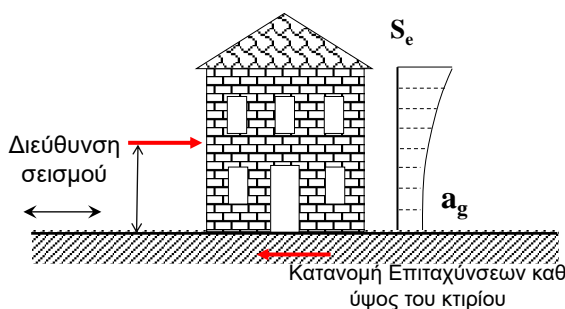
Φ. Καραντώνη

Σεισμός
εγκάρσια στον
τοίχο

42

1. ΕΛΑΣΤΙΚΗ (ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ) ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

- Η βασική μέθοδος αναφοράς για τη σεισμική αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό.
- Μπορούν να θεωρούνται δύο εναλλακτικές κατανομές των οριζόντων σεισμικών φορτίων καθ ύψος του δομήματος:
 - (α) ανεστραμμένη τριγωνική κατανομή καθύψος του κτηρίου,
 - (β) ομοιόμορφη κατανομή οριζόντων σεισμικών ωθήσεων στο ύψος του κτιρίου



Φ. Καραντώνη

Η ομοιόμορφη κατανομή προσομοιώνεται εύκολα αναλύοντας το κτήριο σε κάθε διεύθυνση

- είτε για οριζόντια επιτάχυνση ίση με $1.0g$ και πολλαπλασιάζοντας τα αποτελέσματα με $S_e(T)/g$
- είτε με τη φασματική τιμή της $S_e(T)$.

Τα αποτελέσματα πολλαπλασιάζονται με $C_m \cdot S \cdot \eta$ και συνδυάζονται με τα φορτία βαρύτητας

A. Εφαρμογή της μεθόδου με κριτήριο ελέγχου τις δυνάμεις

Η τιμή της σεισμικής τέμνουσας βάσης θα υπολογίζεται με βάση το τροποποιημένο φάσμα $S_d(T)$ ως εξής:

$$V_{el} = C_m \cdot S_d(T) \cdot \frac{W}{g} \quad (5.6\alpha)$$

όπου :

C_m : Συντελεστής δρώσας μάζας, ο οποίος λαμβάνεται ίσος με:

1.0 για μονώροφα και διώροφα κτίρια,

0.8 για τρεις ή παραπάνω ορόφους.

$S_d(T)$: Η φασματική ολική επιτάχυνση που αντιστοιχεί στη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο T , όπως προκύπτει από το τροποποιημένο φάσμα σχεδιασμού

W/g : η μάζα του δομήματος (συνολικό βάρος του κτιρίου ανηγμένο προς την επιτάχυνση της βαρύτητας)

B. Εφαρμογή της μεθόδου με κριτήριο ελέγχου τις παραμορφώσεις

Η ελαστική τιμή της σεισμικής τέμνουσας βάσης θα υπολογίζεται ως εξής:

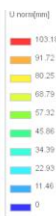
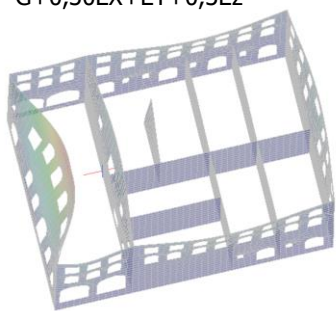
$$V_{el} = C_m \cdot S_e(T) \cdot \frac{W}{g} \quad (5.6\beta)$$

2. ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ (ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ)

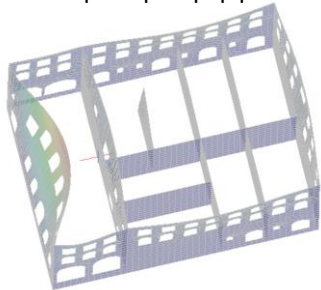
- Για την εφαρμογή της μεθόδου θα λαμβάνεται υπόψη η απόκριση όλων των ιδιομορφών ταλάντωσης που συμβάλλουν σημαντικά στη συνολική απόκριση.
- Οι απαιτήσεις της ανωτέρω παραγράφου θεωρείται ότι ικανοποιούνται εάν μπορεί να αποδειχθεί οποιοδήποτε από τα ακόλουθα:
 - i) το άθροισμα των δρῶσών ιδιομορφικών μαζών για τις ιδιομορφές που λαμβάνονται υπόψη είναι τουλάχιστον το 75% της συνολικής μάζας του φορέα.
 - ii) λαμβάνονται υπόψη όλες οι ιδιομορφές με δρώσες ιδιομορφικές μάζες μεγαλύτερες από το 5% της συνολικής μάζας.

Φ. Καραντώνη

G+0,30EX+EY+0,3Ez

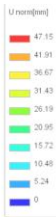
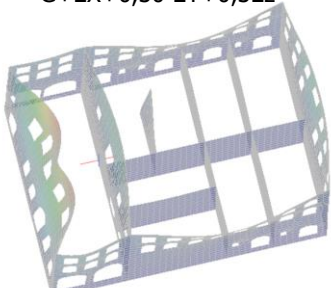


Υπέρθεση ιδιομορφών στην Y

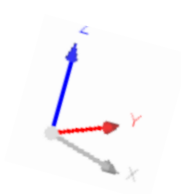
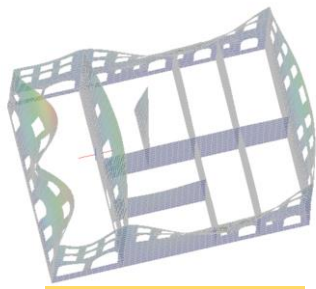


50 ιδιομορφές (ποσοστό ταλαντούμενης μάζας 40%)

G+EX+0,30 EY+0,3Ez



Υπέρθεση ιδιομορφών στην X



Ισοδύναμη Στατική

ιδιομορφική

συνδυασμός ιδιομορφικών αποκρίσεων

□ ΓΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Οι αποκρίσεις σε δύο ιδιομορφές ταλάντωσης i και j (που περιλαμβάνουν και μεταφορικές και στρεπτικές ιδιομορφές) είναι ανεξάρτητες ή μη συσχετισμένες εφόσον οι περίοδοι τους T_i και T_j ικανοποιούν (με $T_j \leq T_i$) τη συνθήκη:

$$T_j \leq 0,9 \cdot T_i \quad (5.7)$$

Όταν όλες οι σχετικές ιδιομορφικές αποκρίσεις μπορούν να θεωρηθούν αμοιβαία μη συσχετισμένες, η μέγιστη τιμή E_E ενός εντατικού σεισμικού μεγέθους ή μετακίνησης μπορεί να ληφθεί ως:

$$E_E = \sqrt{\sum E_{Ei}^2} \quad (5.8) \quad \text{Μέθοδος SRSS}$$

όπου

E_E είναι το σεισμικό μέγεθος που εξετάζεται (δύναμη, μετακίνηση, κλπ)

E_{Ei} είναι η τιμή του ίδιου σεισμικού μεγέθους λόγω της ιδιομορφής ταλάντωσης i .

Εάν οι ιδιομορφικές αποκρίσεις δεν είναι ανεξάρτητες απαιτούνται ακριβέστερες μέθοδοι συνδυασμού τους. Μία τέτοια μέθοδος, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στην πράξη, είναι ο πλήρης τετραγωνικός συνδυασμός Complete Quadratic Combination., CQC

Φ. Καραντώνη

συνδυασμός ιδιομορφικών αποκρίσεων

□ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Για κάθε ιδιομορφή Φ_j εκτιμάται η ιδιομορφική μετακίνηση της $Y_j(t)$.

Η χρονοϊστορία της απόκρισης ενός οποιουδήποτε σεισμικού μεγέθους, $E_k(t)$, στην j -στη ιδιομορφή, λαμβάνεται από το γινόμενο:

$$E_{k,j}(t) = E_{k,j0} \times Y_j(t)$$

$E_{k,j0}$ είναι η τιμή του σεισμικού μεγέθους στην j -οστή ιδιομορφή.

Η μέγιστη τιμή $E_{E,k}$ του υπό μελέτη σεισμικού μεγέθους μπορεί να ληφθεί ως:

$$E_{E,k} = \max_{\text{στο } t} \left[\sum_{j=1}^n E_{k,j}(t) \right]$$

$E_{E,k}$ είναι το σεισμικό μέγεθος που εξετάζεται (δύναμη, μετακίνηση, κλπ)

$E_{k,j}$ είναι η τιμή του ίδιου σεισμικού μεγέθους λόγω της ιδιομορφής ταλάντωσης j .

n ο συνολικός αριθμός ιδιομορφών που συμπεριλαμβάνονται στην ανάλυση.

Φ. Καραντώνη

Από τις δύο εναλλακτικές λύσεις της γραμμικής ελαστικής ανάλυσης, σαφώς η επιλογή της ανάλυσης χρονοιστορίας και της υπέρθεσης σε πραγματικό χρόνο των ιδιομορφών που συνεισφέρουν είναι η μόνη ακριβής επιλογή.

Παρ' όλα αυτά, τα περισσότερα εμπορικά δημοφιλή λογισμικά που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση των κατασκευών URM προσφέρουν μόνο τη δυνατότητα συνδυασμού των μέγιστων ιδιομορφικών μετακινήσεων είτε μέσω του Complete Quadratic Combination (CQC) είτε μέσω του Square - Root - of Sum-of - Squares (SRSS). Αυτές οι προσεγγίσεις συνδυάζουν τις μέγιστες αποκρίσεις των διαφορετικών ιδιομορφών οι οποίες, στις καταγραφές της χρονοιστορίας δεν είναι ταυτόχρονες.

Φ. Καραντώνη

49

Ο κίνδυνος από αυτές τις προσεγγίσεις είναι ότι μπορούν να προκύψουν υπερβολικά συντηρητικές εκτιμήσεις, αφού σε μία ελαστική ιδιομορφική ανάλυση πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλές ιδιομορφές μέχρι να θεωρηθεί ότι ενεργοποιείται το 70% της συνολικής μάζας των κτιρίων επειδή ελλείπει διαφραγμάτων, σε τέτοια υπολογιστικά μοντέλα διεγείρονται αρκετές εκατοντάδες δευτερεύουσες ιδιομορφές με ελάχιστη συμμετοχή ταλαντούμενης μάζας.

Αυτές οι λειτουργίες είναι περιστασιακά ψευδείς και δεν έχουν καμία σχέση με την πραγματική συμπεριφορά. Υπερβολικά συντηρητικές εκτιμήσεις της απόκρισης που προέρχονται από το SRSS μπορεί να οδηγήσουν σε υπερβολικά επεμβατικές (μη αναστρέψιμες) επεμβάσεις σε κτίρια URM κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης και ως εκ τούτου θα πρέπει πάντα να αντιμετωπίζονται με ιδιαίτερη προσοχή.

Φ. Καραντώνη

50

3. ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Συνιστάται να διασφαλίζεται τουλάχιστον «Ικανοποιητική» ΣΑΔ.

Ο λόγος της αναμενόμενης μέγιστης ανελαστικής μετακίνησης προς την αντίστοιχη που υπολογίζεται από την γραμμική ελαστική ανάλυση, d_{inel}/d_{el} μπορεί να λαμβάνεται από τις σχέσεις (βλ. Σχ. Σ 5.11 & 12):

$$\frac{d_{inel}}{d_{el}} = 1 \quad \text{για } T \geq T_c \quad (\Sigma 5.3)$$

και

$$\frac{d_{inel}}{d_{el}} = \frac{1.0 + (R-1) \frac{T_c}{T}}{R} \geq 1 \quad \text{για } T < T_c \quad (\Sigma 5.4)$$

και $R = V_{el}/V_y$

ο λόγος της ελαστικής απαίτησης V_{el} προς την τέμνουσα που αντιστοιχεί στην οιονεί διαρροή του φορέα, V_p όπως υπολογίζεται από το **Κεφ. 7 και εξαρτάται από τον τύπο αστοχίας**

$$V_{el} = C_m \cdot S_e(T) \cdot \frac{W}{g}$$

Φ. Καραντώνη

51

Μπορεί να χρησιμοποιούνται:

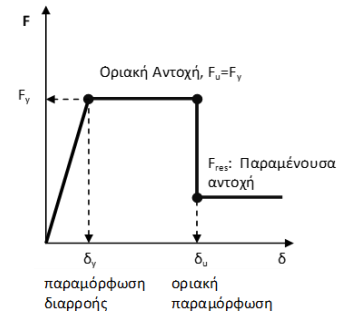
- πεπερασμένα στοιχεία κελύφους ή όγκου με μη-γραμμικούς καταστατικούς νόμους.
- Προσομοιώματα ισοδύναμου πλαισίου όπου η ανελαστική συμπεριφορά των περιγράφεται από καμπύλες αντίστασης σε όρους ροπής-στροφής ή δύναμης-μετακίνησης.
- επίπεδα ελαστικά μακροστοιχεία όπου η ανελαστικότητα εκφράζεται στις σχέσεις δύναμης-παραμόρφωσης των ελατηριακών συνδέσμων που συνδέουν τα μακροστοιχεία μεταξύ τους.
- Σε κτίρια με απαραμόρφωτα διαφράγματα, ο κόμβος ελέγχου είναι το κέντρο βάρους των πλακών στην ανώτερη στάθμη των τοίχων π.χ. τελευταία πλάκα
- Σε κτίρια με εύκαμπτα ή ευπαραμόρφωτα διαφράγματα, ο κόμβος ελέγχου είναι το σημείο στη στέψη των τοίχων του οποίου η μετακίνηση έχει χρησιμοποιηθεί για την αναγωγή του μεταφορικού σχήματος του κτιρίου, Φ (δηλαδή, η συνάρτηση σχήματος έχει μοναδιαία τιμή στην θέση του κόμβου ελέγχου). Το σχήμα αυτό χρησιμοποιείται κατά τον υπολογισμό του συντελεστή συμμετοχής Γ και του συντελεστή δρώσας μάζας, C_m .
- Σημειώνεται ότι αν υπάρχουν αετώματα ή ξύλινες προεξοχές (έρκερ), ο κόμβος ελέγχου δεν θα ανήκει στο αέτωμα ή στο έρκερ.

Φ. Καραντώνη

52

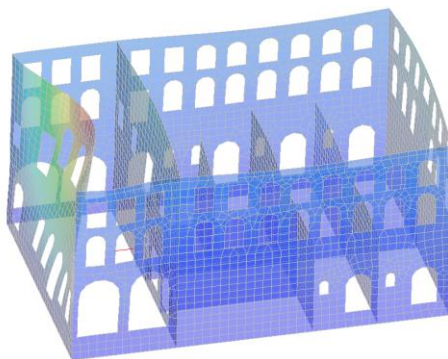
Η μετατροπή του συνεχούς δομικού συστήματος σε ισοδύναμο Σύστημα Μίας Ελευθερίας Κίνησης (ΣΜΕΚ) μπορεί να γίνει κατά τον ΕΚ 8-1

- Για τις ανάγκες της ανάλυσης χρησιμοποιούνται οι μέσες τιμές των ιδιοτήτων των υλικών
- Τα διαγράμματα αντίστασης – παραμόρφωσης θα αναπτυχθούν από την κ. Πανταζοπούλου στην μεθεπόμενη ενότητα που σχετίζεται με το Κεφάλαιο 7 του ΚΑΔΕΤ



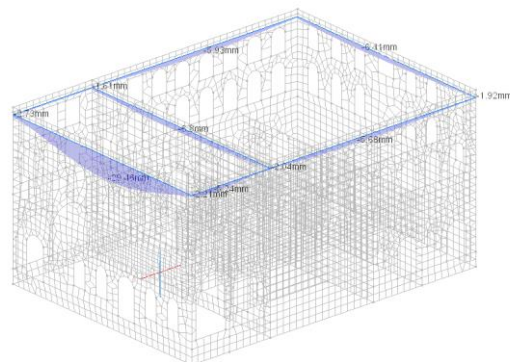
Φ. Καραντώνη

53



Κατανομή ελαστικών μετακινήσεων στο κτήριο

Κατανομή ελαστικών μετακινήσεων στη στέψη των τοίχων και μέγιστες τιμές



54

4. ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΑΣ)

- Η σεισμική απαίτηση, προς σύγκριση με την διαθέσιμη ικανότητα, εκτιμάται σε όρους μετακίνησης στη στέψη (δηλ. την κορυφή) των φερόντων τοίχων, η οποία αντιστοιχεί στην μετακίνηση-στόχο για την υπό εξέταση σεισμική δράση

Δεδομένου ότι μία τέτοια ανάλυση σε μη πλασειωτές κατασκευές παρουσιάζει μεγάλη πολυπλοκότητα δεν συνιστάται παρά μόνον για εξαιρετικά σημαντικές μνημειακές κατασκευές και εφόσον το επιλέξει ο μελετητής.

Για την εφαρμογή της μεθόδου ισχύουν οι προϋποθέσεις και κριτήρια που προβλέπει η § 5.8 του ΚΑΝΕΠΕ.

Φ. Καραντώνη

55

Προσεγγιστική μέθοδος

- Βασική προϋπόθεση η ύπαρξη διαφραγμάτων και οριζοντίου διαζώματος γιατί η βασική υπόθεση είναι οι ίσες μετακινήσεις στις στάθμες των δαπέδων και στο ανώτερο ύψος των πεσσών.
- Εφαρμόζεται όταν :
 - α) Ο αριθμός των ορόφων (εκτός του υπογείου) να είναι μέχρι 2
 - β) Η κάτοψη να είναι περίπου ορθογώνια,
 - γ) Ο λόγος του μήκους της μεγάλης πλευράς προς το μήκος της μικρής πλευράς, σε κάτοψη, είναι μικρότερος του 4.0.
 - δ) Η επιφάνεια της προβολής των εσοχών από το ορθογώνιο σχήμα δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 15% της συνολικής επιφάνειας του δαπέδου πάνω από την υπό εξέταση στάθμη.
 - (ε) Οι τοίχοι του κτηρίου θα πρέπει να είναι διατεταγμένοι σχεδόν συμμετρικά σε κάτοψη σε δύο ορθογωνικές κατευθύνσεις,

Φ. Καραντώνη

56

ζ) Θα πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον δύο παράλληλοι τοίχοι σε δύο ορθογωνικές κατευθύνσεις, με το μήκος του κάθε τοίχου να είναι μεγαλύτερο από το 30% του μήκους του κτηρίου στην κατεύθυνση του υπό εξέταση τοίχου,

η) Σε ό,τι αφορά τους τοίχους που βρίσκονται σε μία κατεύθυνση, η απόσταση μεταξύ των τοίχων αυτών θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 75% του μήκους του κτηρίου στην άλλη κατεύθυνση,

θ) Τουλάχιστον το 75 % των κατακόρυφων φορτίων θα πρέπει να φέρεται από τους τοίχους

ι) οι τοίχοι θα πρέπει να είναι συνεχείς από την κορυφή μέχρι τη βάση του κτηρίου.

ια) Η διαφορά στη μάζα, Δm , και στην οριζόντια διατομή τοίχων, ΔA , κάθε ορόφου και των προσκείμενων σε αυτόν ορόφων, θα πρέπει να περιορίζεται σε μία μέγιστη τιμή Δm_{max} και ΔA_{max} αντιστοίχως, για αμφότερες τις ορθογωνικές οριζόντιες κατευθύνσεις

ιβ) Οι τοίχοι σε μία κατεύθυνση θα πρέπει να είναι συνδεδεμένοι με τοίχους στην άλλη ορθογωνική κατεύθυνση ανά μέγιστη απόσταση 7.00 m.

Φ. Καραντώνη

57

- Ουσιαστικά πρόκειται για **ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΤΟΙΧΩΝ Φ.Τ.** ώστε να γίνει η κατανομή της σεισμικής δύναμης **παράλληλα στους τοίχους** και εν συνεχεία έλεγχος σε συνεπίπεδη φόρτιση κατά τα γνωστά

Φ. Καραντώνη

58

ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΙΑ ΦΟΡΤΙΑ ΕΚΤΟΣ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΤΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΕΥΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΑ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΑ

- αγνοείται η συμβολή των διαφραγμάτων,
- το ελεύθερο ύψος των τοίχων εκτείνεται από την στάθμη της θεμελίωσης μέχρι τη στέψη των τοίχων, εξαιρουμένων τυχόν αετωμάτων.
- Η σεισμική τέμνουσα κατανέμεται στους τοίχους που βρίσκονται παράλληλα προς την εξεταζόμενη διεύθυνση της σεισμικής δράσης

• Οι εγκάρσιοι τοίχοι ελέγχονται σε εκτός επιπέδου κάμψη υπό ομοιόμορφα κατανεμημένο οριζόντιο φορτίο w_{Ed} :

$$w_{Ed} = S_e(T_c) \cdot B \cdot C_m / g \quad (5.13\alpha)$$

όπου,

$S_e(T_c)$ = η φασματική επιτάχυνση (από την Παρ. 3.2.2.2 του EC8-1 (2004))

B = το ίδιο βάρος ανά μονάδα επιφάνειας του τοίχου (σε kN/m^2).

Ο συντελεστής δρώσας μάζας, C_m , ορίζεται στην Παρ. 5.4.4.

Εάν η αντοχή των εγκάρσιων τοίχων σε εκτός επιπέδου κάμψη επαρκεί για την ανάληψη μικρότερου φορτίου $w_u < w_{Ed}$ τότε η φέρουσα ικανότητα του δομήματος δεν μπορεί να ληφθεί μεγαλύτερη από το γινόμενο της σεισμικής τέμνουσας βάσης του κτιρίου πολλαπλασιασμένης με τον λόγο w_u/w_{Ed}

Φ. Καραντώνη

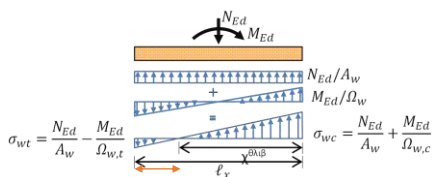
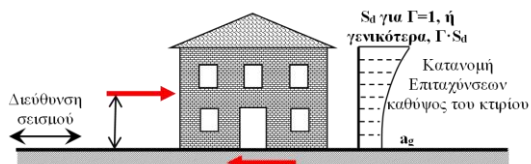
59

- Η επίλυση των εγκάρσιων τοίχων έναντι του εγκάρσιου φορτίου w_{Ed} και F_{Ed} μπορεί να γίνεται με την μέθοδο των λωρίδων.
- Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθούν άλλες μέθοδοι προερχόμενες από την θεωρία πλακών, όπως η θεωρία των γραμμών διαρροής, είτε σύμφωνα με τους πίνακες του EC6 – Παράρτημα 5-Γ εφόσον τα τυχόν ανοίγματα έχουν επιφάνεια μικρότερη από 10% της επιφάνειας της όψης και το συνολικό μήκος των ανοιγμάτων, σε κάθε στάθμη, δεν υπερβαίνει το 25% της αντίστοιχης διάστασης του τοίχου.
- Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται οι τιμές των πινάκων του EC6, οι ροπές θα αυξάνονται κατόπιν διαίρεσης της τιμής με τον λόγο :
 - του συνολικού μήκους των πεσσών $\Sigma \ell_{pi}$ προς το συνολικό μήκος ℓ του τοίχου αν η διεύθυνση του διανύσματος της καμπτικής ροπής είναι παράλληλη στο μήκος, ή
 - του συνολικού ύψους των πεσσών Σh_i στην τομή ελέγχου προς το συνολικό ύψος H του τοίχου αν η διεύθυνση του διανύσματος της καμπτικής ροπής είναι παράλληλη στο ύψος

Φ. Καραντώνη

60

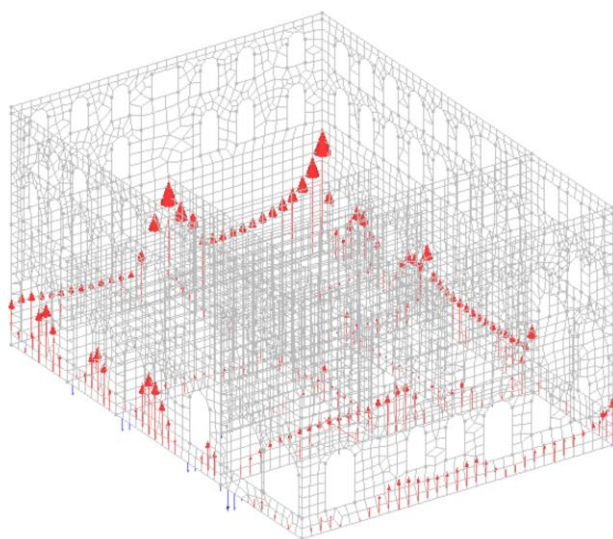
Έλεγχος ανατροπής



Μήκος αδρανούς περιοχής

Κατανομή των τάσεων στην κάτοψη του κτηρίου και υπολογισμός αδρανούς περιοχής

Φ. Καραντώνη



Κατανομή αντιδράσεων υπό σεισμικό συνδυασμό, διακρίνονται ελάχιστες αδρανείς περιοχές (με μπλε δυνάμεις)

Φ. Καραντώνη