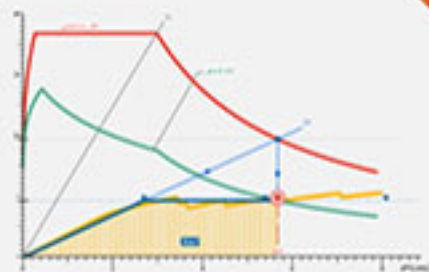
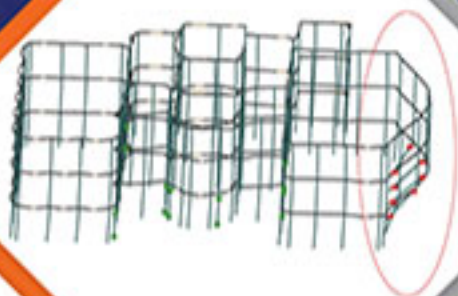
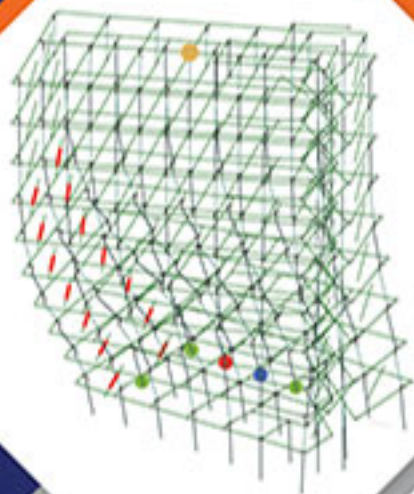


Βελτιστοποίηση των αναλύσεων Pushover & Ελαστικής Χρονοϊστορίας

Πως να επιλέξετε τις κατάλληλες παραμέτρους
ώστε να αυξήσετε την ακρίβεια
των αποτελεσμάτων



Fespa R

Fespa T

For Windows

**Βελτιστοποίηση των αναλύσεων Pushover & Ελαστικής
Χρονοϊστορίας**

Πώς να επιλέξετε τις κατάλληλες παραμέτρους επίλυσης, ώστε να
αυξήσετε την ακρίβεια των αποτελεσμάτων



Αθήνα, Σεπτέμβριος 2021

Version 1.1.10

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή	4
2	Ανάλυση Pushover	5
2.1	Πόσο μακριά πρέπει να εκτείνεται η καμπύλη αντίστασης Pushover και ποιος ο απαιτούμενος αριθμός βημάτων;	5
2.1.1	Παράδειγμα	6
2.2	Πότε πρέπει να ορίζω τον κόμβο ελέγχου χειροκίνητα;	11
2.2.1	Κόμβοι σύγκλισης:	12
2.3	Πώς διαπιστώνεται η αδυναμία σύγκλισης στην Pushover;	14
2.4	Πώς μπορώ να επέμβω μέσω των παραμέτρων του προγράμματος σε περίπτωση μη σύγκλισης της ανάλυσης Pushover;	16
2.4.1	Μεγάλη απώλεια αντοχής μέρους του κτιρίου σε ένα βήμα.	16
2.4.2	Απότομη αλλαγή της κανονικότητας του κτιρίου σε κάτοψη και επιδείνωση της ευστρεφίας	18
2.4.3	Δημιουργία τοπικού μηχανισμού αστοχίας τοίχου σε κτίρια χωρίς δύσκαμπτα διαφράγματα	22
3	Ελαστική χρονοϊστορίας	26
3.1	Πώς διαλέγω μέθοδο επίλυσης στην ελαστική χρονοϊστορία;	26
4	Βιβλιογραφία	27

1

Εισαγωγή

Το πρόγραμμα FespaR/T δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να παρέμβει με τις παραμέτρους του προγράμματος έτσι ώστε να προσαρμόσει την ανάλυση στις ανάγκες της μελέτης του και να βελτιώσει την ακρίβεια και την αξιοπιστία των παραγόμενων αποτελεσμάτων. Οι αρχικές τιμές (default) των παραμέτρων είναι προσεκτικά ρυθμισμένες έτσι ώστε να παράγουν αξιόπιστα αποτελέσματα στις περισσότερες των περιπτώσεων. Ωστόσο, η φύση της μη γραμμικής ανάλυσης είναι τέτοια, που ορισμένες φορές ο μελετητής καλείται να ρυθμίσει ο ίδιος τις παραμέτρους των αλγορίθμων επίλυσης έτσι ώστε να αυξήσει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων επίλυσης ή να αποφύγει περιπτώσεις αριθμητικής αστάθειας και πρόωρου τερματισμού της επίλυσης. Στις παρακάτω παραγράφους περιγράφονται οδηγίες για την αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων.

2

Ανάλυση Pushover

2.1 Πόσο μακριά πρέπει να εκτείνεται η καμπύλη αντίστασης Pushover και ποιος ο απαιτούμενος αριθμός βημάτων;

Η καμπύλη αντίστασης (Σχήμα 2) πρέπει να περιλαμβάνει οπωσδήποτε τη στοχευόμενη μετακίνηση και να επεκτείνεται περίπου έως το 150% αυτής (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.7.3.1). Επίσης τα βήματα της ανάλυσης θα πρέπει να έχουν τέτοιο πλήθος, ώστε να αποτυπώνονται όλοι οι πτωτικοί κλάδοι της καμπύλης αντίστασης και να επιτυγχάνεται ευστάθεια στη σύγκλιση της μεθόδου.

Οι παράμετροι που καθορίζουν την έκταση της καμπύλης αντίστασης είναι (Εικόνα 1):

- Επίλυση -> Αποτίμηση -> Ελάχιστος αριθμός βημάτων
- Επίλυση -> Αποτίμηση -> Μέγιστη μετατόπιση (% ύψος κτιρίου)

Επίλυση	
Γενικά Αποτίμηση Πλάκες Δοκοί Αποτελέσματα Σφάλμ.-Ειδον. Όλα	
Γενικά	
Κόμβος ελέγχου	
Pushover	
Πολλαπλοί κόμβοι σύγκλισης	? Όχι
Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων σε κάθε βήμα	? 100
Ελάχιστος αριθμός βημάτων	? 120
Όριο κριτηρίου σύγκλισης	? 1.00E-4
Μέγιστη μετατόπιση (% ύψους του κτιρίου)	? 3.000
Άοιπες τοικοπήρσεις ενεργές	? Ναι
Προσμοίωμα τοικοπήρσεων	? Μόνο θλιβόμενη διαγώνιος
Ρθμης πτας αντχς [% ελστικς δσκημψς] α2*ke.a2 =	? 1000.000
Χρονοϊστορία	

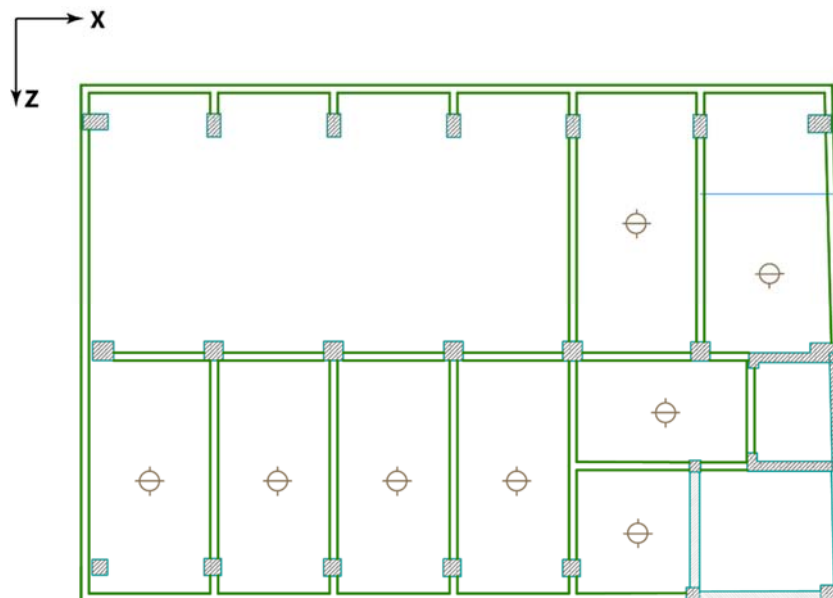
Εικόνα 1: Παράμετροι που καθορίζουν την έκταση της καμπύλης αντίστασης

Σημείωση:

Το πρόγραμμα Fespa ορίζει αυτόματα ως μέγιστη μετατόπιση κτιρίου το 3.0% του ύψους του για κτίρια από Ο/Σ και το 0.5% για κτίρια από Φέρουσα Τοιχοποιία. Οι τιμές αυτές είναι γενικής εφαρμογής ώστε να καλύψουν το μεγαλύτερο δυνατό σύνολο των φορέων, ωστόσο σε αρκετές περιπτώσεις μπορεί να κριθούν ως μεγάλες.

2.1.1 Παράδειγμα

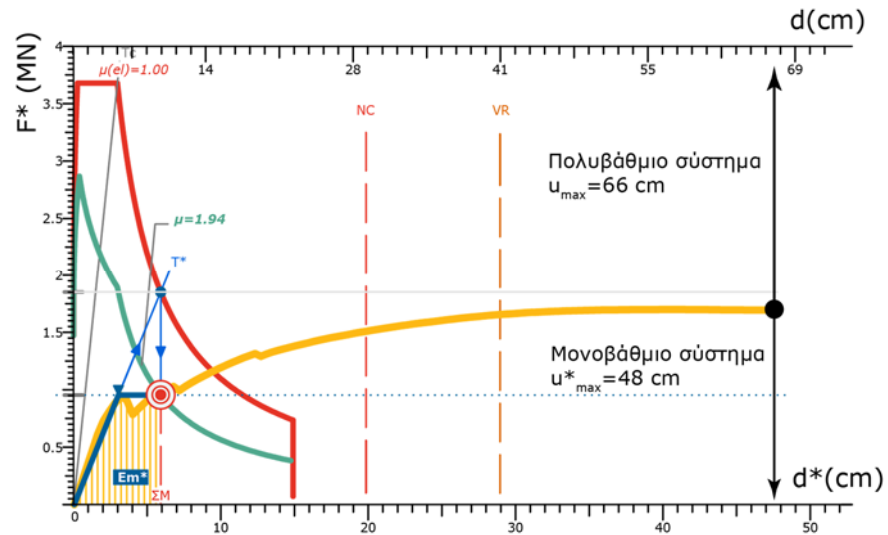
Στο παρακάτω πλαισιακό εξαώροφο κτίριο από Ο/Σ, ύψους 22 m (Σχήμα 1) πραγματοποιείται ανάλυση Pushover.



Σχήμα 1: Τυπικός ξυλότυπος 6-όροφου κτιρίου από Ο/Σ.

Για το παραπάνω κτίριο απεικονίζεται η παρακάτω καμπύλη αντίστασης (**Σχήμα 2**) για ιδιομορφική κατανομή φόρτισης στη Z διεύθυνση με τις προκαθορισμένες (default) παραμέτρους του προγράμματος.

- Επίλυση -> Αποτίμηση -> Μέγιστη μετατόπιση (% ύψος κτιρίου) = 3.00
- Επίλυση -> Αποτίμηση -> Ελάχιστος αριθμός βημάτων = 120

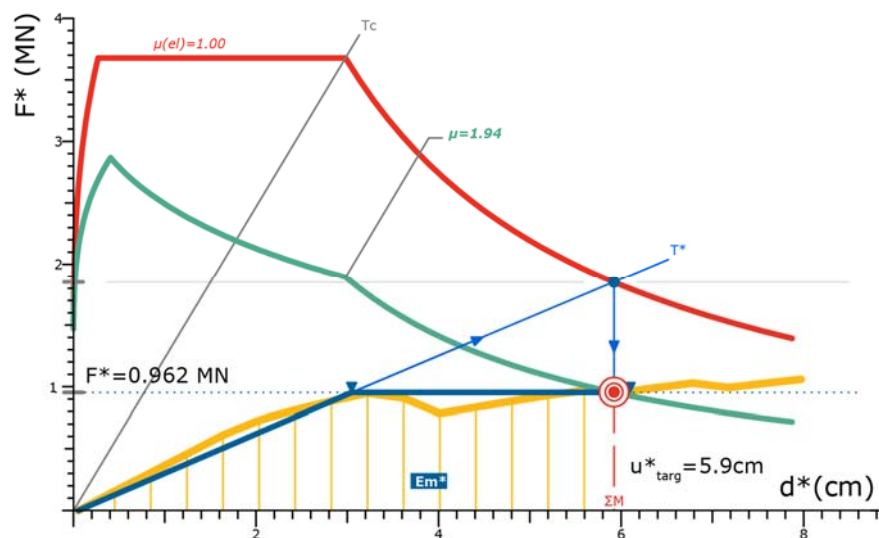


Σχήμα 2: Καμπύλη αντίστασης κτιρίου για μέγιστη μετατόπιση 3.0% και 120 βήματα

Σύμφωνα με τις παραπάνω παραμέτρους η ανάλυση θα ωθήσει το κτίριο σε μέγιστη μετατόπιση $u_{\max} = 3\% \cdot H_{\text{κτιρίου}} = 3\% \cdot 2200 = 66 \text{ cm}$ ή 48 cm έπειτα από την αναγωγή στο μονοβάθμιο σύστημα με $\Gamma = 1.375$. Όμως, παρατηρείται ότι η στοχευόμενη μετακίνηση του ισοδύναμου μονοβάθμιου ταλαντωτή προκύπτει $u^*_{\text{targ}} = 5.9 \text{ cm}$. Αυτό έχει ως συνέπεια να έχουν μεσολαβήσει μόλις 15 βήματα μέχρι τη στοχευόμενη μετακίνηση, υπολογίζοντας με τον τρόπο αυτό μία **αδρή προσέγγιση** της μη γραμμικής απόκρισης του κτιρίου (**Σχήμα 3**).

Προκύπτουν:

- Στοχευόμενη μετακίνηση: $u^*_{\text{targ}} = 5.9 \text{ cm}$
- Τέμνουσα βάσης: $F^* = 962 \text{ kN}$



Σχήμα 3: Μεγέθυνση καμπύλης αντίστασης κτιρίου (κίτρινη καμπύλη) για μέγιστη μετατόπιση 3.0% και 120 βήματα

Στη συνέχεια, αυξάνουμε την ακρίβεια της καμπύλης αντίστασης υπολογίζοντας τη **μέγιστη μετατόπιση συναρτήσει του ύψους του κτιρίου** ώστε να απέχει τουλάχιστον 150% από τη στοχευόμενη (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.7.3.1).

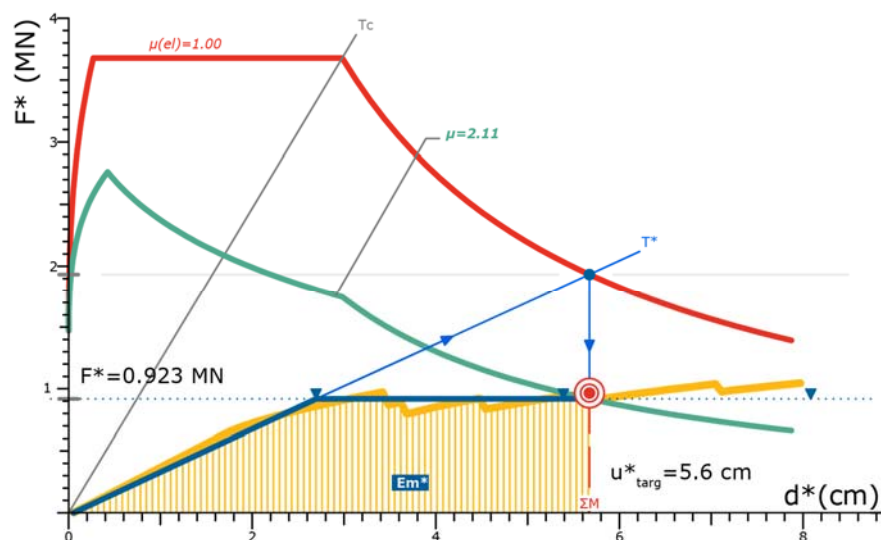
$$u_{\max} = 1.5 \cdot u_{\text{targ}} / H_{\text{κτιρίου}} = 1.5 \cdot 5.9 / 22000 = 0.40\% \approx 0.50\%$$

Επαναλαμβάνουμε την επίλυση αλλάζοντας την παράμετρο:

- Επίλυση -> Αποτίμηση -> Μέγιστη μετατόπιση (% ύψος κτιρίου) = 0.5%

Λαμβάνουμε την παρακάτω καμπύλη αντίστασης, η οποία αποτελεί μια πολύ καλή και αξιόπιστη προσέγγιση της μη γραμμικής απόκρισης του κτιρίου. Έτσι, υπολογίζονται με μεγαλύτερη ακρίβεια:

- Στοχευόμενη μετακίνηση: $u_{\text{targ}}^* = 5.6 \text{ cm}$
- Τέμνουσα βάσης: $F^* = 962 \text{ kN}$



Σχήμα 4: Καμπύλη αντίστασης κτιρίου (κίτρινη καμπύλη) για μέγιστη μετατόπιση 0.5% και 120 βήματα

Παρατήρηση 1:

Στο ίδιο συμπέρασμα θα καταλήγαμε αν αφήναμε την default μετακίνηση 3.0% με ταυτόχρονη αύξηση του αριθμού των βημάτων **από 120 σε 720**, με την ανάλογη βέβαια αύξηση του υπολογιστικού χρόνου. Θα αποκτούσαμε ωστόσο την πληροφορία της συμπεριφοράς και του μηχανισμού αστοχίας του κτιρίου σε μετακινήσεις αρκετά μεγαλύτερες από τη στοχευόμενη.

Παρατήρηση 2:

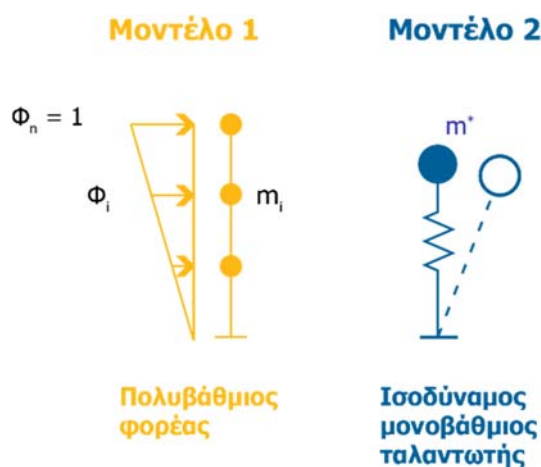
Στο Fespa ο έλεγχος εγκυρότητας των αναλύσεων Pushover θα πρέπει να πραγματοποιείται μέσα από το 3DV για όλες τις διευθύνσεις και κατανομές φόρτισης. Στο «Τεύχος -> Διαγράμματα Απαιτήσης ικανότητας -> Στάθμη DL/SD/NC» τυπώνεται η περιοχή ενδιαφέροντος κοντά στη στοχευόμενη μετακίνηση για λόγους ευκρίνειας των αποτελεσμάτων.

Προσοχή!

Στο παρόν παράδειγμα η ενσωμάτωση των τοιχοπληρώσεων είναι αναγκαία. Διαφορετικά η απόκριση του κτιρίου, λόγω της μεγάλης θεμελιώδους ιδιοπεριόδου του γυμνού πλαισίου, αντιστοιχεί σε πολύ χαμηλή περιοχή του φάσματος, υπολογίζοντας μη ρεαλιστικές μετακινήσεις. Εξάλλου ο ΚΑΝΕΠΕ (§5.9.1) επιτρέπει την αγνόηση των τοιχοπληρώσεων μόνο σε τοιχωματικά συστήματα όπου το η είναι μεγαλύτερο του 0.50.

2.2 Πότε πρέπει να ορίζω τον κόμβο ελέγχου χειροκίνητα;

Ο κόμβος ελέγχου είναι ένα σημαντικό στοιχείο της διαδικασίας μόρφωσης του μοντέλου και διενέργειας της ανάλυσης Pushover, καθώς η μετακίνησή του πρέπει να αντιπροσωπεύει και τη μετακίνηση όλου του κτιρίου, όταν εκείνο εξιδανικεύεται με ένα μονοβάθμιο ταλαντωτή (Σχήμα 5).



Σχήμα 5: Μετατροπή πολυβάθμιου συστήματος (πραγματικό κτίριο) σε ισοδύναμο μονοβάθμιο

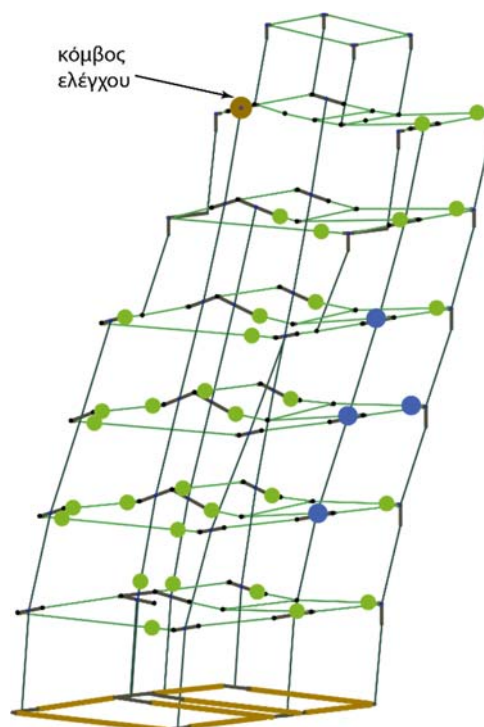
Στο πρόγραμμα FespaR/T ορίζεται και επιλέγεται αυτόματα ως Κόμβος Ελέγχου του κτιρίου, ο άνω κόμβος του υποστυλώματος, το οποίο βρίσκεται πλησιέστερα στο κέντρο μάζας του τελευταίου ορόφου. Ωστόσο, ορισμένες φορές αυτό δεν είναι επαρκές και θα πρέπει ο χρήστης να ορίσει χειροκίνητα τον κόμβο ελέγχου. Τέτοιες περιπτώσεις αφορούν κόμβους ελέγχου οι οποίοι έχουν επιλεγεί αυτόματα σε:

- υποστυλώματα της απόληξης κλιμακοστασίου.
- υποστυλώματα που ανήκουν σε εύκαμπτες κατασκευές του δώματος (πχ πέργκολες)
- υποστυλώματα ή πεσσούς τα οποία δε συνδέονται με δύσκαμπτο διάφραγμα.

Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να αναζητηθεί το κατάλληλο υποστύλωμα κοντά στο κέντρο βάρους του υποκειμένου ορόφου (**Εικόνα 2**) ή στην 3^η περίπτωση το κοντινότερο υποστύλωμα στο κέντρο βάρους που ανήκει σε διάφραγμα. Αυτό γίνεται με τη εντολή:



«καθορισμός κόμβου ελέγχου κτιρίου» στις εντολές της Επίλυση»



Εικόνα 2: Επιλογή κόμβου ελέγχου στον υποκείμενο όροφο της απόληξης κλιμακοστασίου

2.2.1 Κόμβοι σύγκλισης

Ο **κόμβος ελέγχου** αφορά την καταγραφή των αντιπροσωπευτικών μετακινήσεων για όλο το κτίριο και με βάση αυτόν **μορφώνεται η καμπύλη ικανότητας του κτιρίου**. Στο πρόγραμμα FespaR/T υπάρχει η δυνατότητα της διαφοροποίησης του **κόμβου ελέγχου** από τον **κόμβο σύγκλισης** που καθορίζει την κλιμάκωση των οριζόντιων φορτίων κατά τη διάρκεια της ανάλυσης Pushover. Ο κόμβος ελέγχου ορίζεται από τον μελετητή και παραμένει σταθερός καθ' όλη τη διάρκεια της ανάλυσης. Αντίθετα, σε κάθε βήμα της Pushover επιλέγεται αυτόματα από το πρόγραμμα ως **κόμβος σύγκλισης** εκείνος ο κόμβος ο οποίος παρουσιάζει τη μεγαλύτερη θετική μετακίνηση. Η μέθοδος αυτή διευκολύνει την ανάλυση και αυξάνει την αξιοπιστία του αποτελέσματος σε περιπτώσεις κτιρίων με πτωτικούς κλάδους (Φέρουσα Τοιχοποιία, Τοιχοπληρωμένα πλαίσια από Ο/Σ), όπου αναμένεται να εμφανιστούν κλάδοι οπισθοχώρησης μεγάλης αρνητικής

δυσκαμψίας (snapback). Η ενεργοποίηση/απενεργοποίηση του μεταβλητού κόμβου σύγκλισης πραγματοποιείται με την παράμετρο (Εικόνα 3):

- Επίλυση -> Αποτίμηση -> Πολλαπλοί κόμβοι σύγκλισης= Ναι/Όχι

Επίλυση

Γενικά | **Αποτίμηση** | Πλάκες | Δοκοί | Αποτελέσματα | Σφάλμ.-Ειδοπ. | Όλα

Γενικά

Κόμβος ελέγχου

Pushover

Πολλαπλοί κόμβοι σύγκλισης	?	Όχι
Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων σε κάθε βήμα	?	100
Ελάχιστος αριθμός βημάτων	?	120
Όριο κριτηρίου σύγκλισης	?	1.00E-4
Μέγιστη μετατόπιση (% ύψους του κτιρίου)	?	3.000
Άοιπες τοικοπληρώσεις ενεργές	?	Ναι
Προσομοίωμα τοικοπληρώσεων	?	Μόνο θλιβόμενη διαγώνιος
Ρθμις πτας αντς [% ελστικς δσκιμψς] α2*ke.a2 =	?	1000.000

Χρονοϊστορία

Υπόδειγμα >> ☒ Ενότητα ☒ Όλες/Καμία

Εικόνα 3: Παράμετρος ενεργοποίησης/απενεργοποίησης διαχωρισμού κόμβου ελέγχου – κόμβου σύγκλισης

Σημείωση

Στο 3DV, σε κάθε βήμα φωτίζεται ο κόμβος ο οποίος λειτουργεί ως κόμβος σύγκλισης για το τρέχον βήμα. Επίσης, ενδέχεται σε κάποιες περιπτώσεις ο φορέας να συγκλίνει με απενεργοποίηση των πολλαπλών κόμβων σύγκλισης. Στην περίπτωση αυτή ως κόμβος σύγκλισης χρησιμοποιείται ο κόμβος ελέγχου σε όλα τα βήματα της ανάλυσης. Οπότε είναι κάτι που προτείνεται να ελέγχεται.

2.3 Πως διαπιστώνεται πρόωρος τερματισμός της ανάλυσης Pushover;

Σε αρκετές περιπτώσεις το πρόγραμμα FespaR/T θα υπολογίσει τη μη γραμμική συμπεριφορά του κτιρίου μέχρι τη μέγιστη μετατόπιση, συναρτήσει του ύψους του κτιρίου, όπως την έχει ορίσει ο μελετητής. Σε άλλες περιπτώσεις η ανάλυση θα τερματίσει πριν τη μέγιστη μετακίνηση. Αυτό μπορεί να συμβεί επειδή το κτίριο φτάνει στο σημείο κατάρρευσης του ή λόγω αδυναμίας σύγκλισης της αριθμητικής μεθόδου. Το πρόγραμμα προειδοποιεί το χρήστη όταν η ανάλυση Pushover για μία συγκεκριμένη κατανομή και διεύθυνση φόρτισης δεν καταφέρει να ωθήσει το κτίριο μέχρι τη μετακίνηση που έχει οριστεί, τυπώνοντας το μήνυμα:

«W3013 ΟΙΚΟ : Πραγματοποιήθηκαν X επιτυχημένα βήματα, με μικρότερη μετατόπιση από τη μέγιστη. »

Μία συνηθισμένη μορφή κατάρρευσης είναι ο μηχανισμός ορόφου, ο οποίος ανιχνεύεται και αναγράφεται επίσης σε μήνυμα ως εξής:

«W3022 ΟΙΚΟ : Μηχανισμός ορόφου στο βήμα X»

Μηχανισμός ορόφου για να πραγματοποιηθεί θα πρέπει να συντρέχουν ταυτόχρονα οι εξής 2 προϋποθέσεις:

1. Να σχηματιστούν πλαστικές αρθρώσεις σε όλα τα υποστυλώματα του ορόφου
2. Η σχετική μετακίνηση του ορόφου (interstorey drift) να ξεπερνά το 6% του ύψους του ορόφου

Ο μηχανισμός ορόφου αποτελεί μία ομαλή συνθήκη τερματισμού της ανάλυσης που οφείλεται σε κατάρρευση του κτιρίου. Παρ' όλα αυτά, σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις, ενδέχεται κάποια από τις αναλύσεις Pushover να τερματίσει πρόωρα λόγω αδυναμίας σύγκλισης της αριθμητικής μεθόδου σε βήμα όπου το κτίριο δεν έχει εξαντλήσει ακόμα την ικανότητα παραμόρφωσής του.

2.4 Πώς μπορώ να επέμβω μέσω των παραμέτρων του προγράμματος σε περίπτωση μη σύγκλισης της ανάλυσης Pushover;

Πρόωρος τερματισμός λόγω αδυναμίας σύγκλισης μπορεί να συμβεί σε κτίρια με ψαθυρά δομικά μέλη όπως κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία ή τοιχοπληρωμένα πλαίσια από Ο/Σ. Κάποιες από τις περιπτώσεις αδυναμίας σύγκλισης είναι:

2.4.1 Μεγάλη απώλεια αντοχής μέρους του κτιρίου σε ένα βήμα.

Η περίπτωση αυτή αφορά κυρίως κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία που πολλά μέλη τους αστοχούν στο ίδιο βήμα, δημιουργώντας τοπικούς μηχανισμούς κόμβου. Επίσης, είναι συνηθισμένη μορφή αστοχίας σε ασθενή κτίρια στα οποία έχουν δημιουργηθεί πλαστικές αρθρώσεις κατά την εφαρμογή των οιονεί μόνιμων φορτίων του συνδυασμού $G+\psi_2Q$.

Αντιμετώπιση: Στόχος είναι να αυξήσουμε τον αριθμό βημάτων έτσι ώστε οι διάφορες πτώσεις αντοχής να κατανεμηθούν σε περισσότερα βήματα. Ελέγχουμε τη μέγιστη μετατόπιση του κτιρίου σύμφωνα με την §2.1 (βλέπε και Σχήμα 4), αυξάνοντας επίσης τον ελάχιστο αριθμό βημάτων. Επιπρόσθετα τροποποιούμε τις εξής παραμέτρους (Εικόνα 4):

- Επίλυση -> Αποτίμηση -> Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων σε κάθε βήμα = 200
- Επίλυση -> Αποτίμηση -> Όριο κριτηρίου σύγκλισης = 10^{-3}

Επίλυση

Γενικά | **Αποτίμηση** | Πλάκες | Δοκοί | Αποτελέσματα | Σφάλμ.-Είδοπ. | Όλα

Γενικά

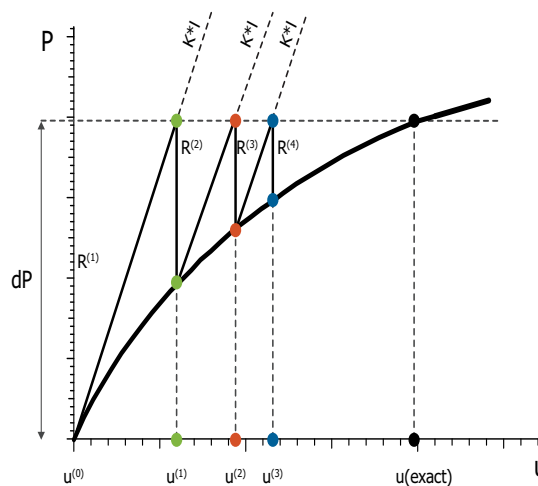
Κόμβος ελέγχου

Pushover

Πολλαπλοί κόμβοι σύγκλισης	?	Όχι
Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων σε κάθε βήμα	?	200
Ελάχιστος αριθμός βημάτων	?	120
Όριο κριτηρίου σύγκλισης	?	1.00E-3
Μέγιστη μετατόπιση (% ύψους του κτιρίου)	?	3.000
Άσπρες τοικοπληρώσεις ενεργές	?	Ναι
Προσμοίωμα τοικοπληρώσεων	?	Μόνο θηβόμενη διαγώνιος
Ρυθμός πτώσης αντοχής [% ελαστικής δυσκαμψίας] $\alpha_2^{*}k_e \cdot \alpha_2 =$	?	1000.000

Χρονοϊστορία

Εικόνα 4: Παράμετροι καθορισμού ευστάθειας σύγκλισης της μεθόδου



Σχήμα 7: Επαναληπτική διαδικασία Newton-Raphson

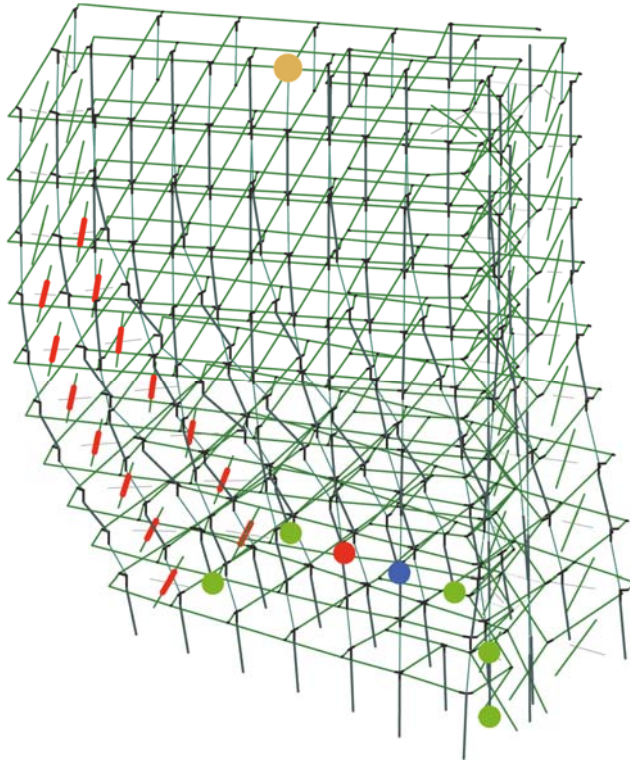
Θυμηθείτε:

Στο πρόγραμμα FespaR/T η σύγκλιση της μη γραμμικής ανάλυσης Pushover υλοποιείται μέσω της αριθμητικής διαδικασίας Newton-Raphson. Τα συνολικά πλευρικά φορτία επιμερίζονται σε βήματα και εφαρμόζονται σταδιακά στην

κατασκευή. Μέσα σε κάθε βήμα πραγματοποιούνται επαναλήψεις με σταθερή δυσκαμψία (modified Newton-Raphson method) μέχρις ότου επιτευχθεί ισορροπία μεταξύ εξωτερικών επιβαλλόμενων δυνάμεων και εσωτερικών εντατικών μεγεθών στα άκρα των μελών του φορέα. Η παράμετρος «Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων σε κάθε βήμα» ορίζει το μέγιστο πλήθος των επαναλήψεων που εκτελούνται μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία και η παράμετρος «Όριο κριτηρίου σύγκλισης» ορίζει την ανοχή που θεωρούμε στην ισορροπία. Π.χ. όριο 10^{-3} σημαίνει ότι οι δυνάμεις ισορροπούν με ακρίβεια 10^{-3} kN = 1 N και οι μετακινήσεις με ακρίβεια 10^{-3} m = 1 mm.

2.4.2 Απότομη αλλαγή της κανονικότητας του κτιρίου σε κάτοψη και επιδείνωση της ευστρεψίας

Η περίπτωση αυτή εμφανίζεται όταν αστοχούν τοιχοπληρώσεις στη μία πλευρά του κτιρίου (Εικόνα 5).



Εικόνα 5: Απότομη στρέψη κτιρίου ορθογωνικής, κανονικής κάτοψης λόγω αστοχίας τοιχοπληρώσεων στη μία πλευρά

Αντιμετώπιση: Εκτός από τις ενέργειες που περιγράφηκαν στην §2.4.1, προτείνεται να μη χρησιμοποιείται τυχατική εκκεντρότητα σε κτίρια που παρουσιάζουν στρεπτική απόκριση στην Pushover (Εικόνα 6), καθώς η τυχατική εκκεντρότητα δεν αναφέρεται ρητά στον ΚΑΝ.ΕΠΕ, παρά μόνο στον EC8-1 για νέες κατασκευές (EC8-1 §4.3.3.4.2.2(2)Α).

■ Κτίριο -> Αποτίμηση -> Τυχαματική εκκεντρότητα = ΟΧΙ

Κτίριο

Σκυρόδεμα | Οπλισμός | Έδαφος | Δομικός κάλυβας | Σύμμικτα | Τοιχοπήρωση | Υλικά - Αποτίμηση | Αποτίμηση

Γενικά

Τυχηματική εκκεντρότητα	?	Όχι
Φαινόμενα 2ας τάξης (P-Δ)	?	Ναι
Πλήθος Αξονικών (Αλληλεπίδραση N-My-Mz)	?	5
Γωνία στροφής κορδής θu για ορθογωνικές διατομές	?	Εμπειρικό μοντέλο (EC8-3 (A.1))
γελ για VR (ΚΑΝΕΠΕ ΠΑΡ. 7Γ, ή EC8 A3.3.1)	?	1.000
Επιρροή περίσφιγξης στα διαγράμματα αντοχής	?	Ναι
Γωνία στροφής κορδής BSD (ΘB) βάσει	?	EC8
Έλεγχος διάτμησης κόμβου	?	Ναι

Pushover

Μέθοδος m, q

Χρονοϊστορία

Τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα

Φυσικά επιταχυνσιογραφήματα (από αρχείο)

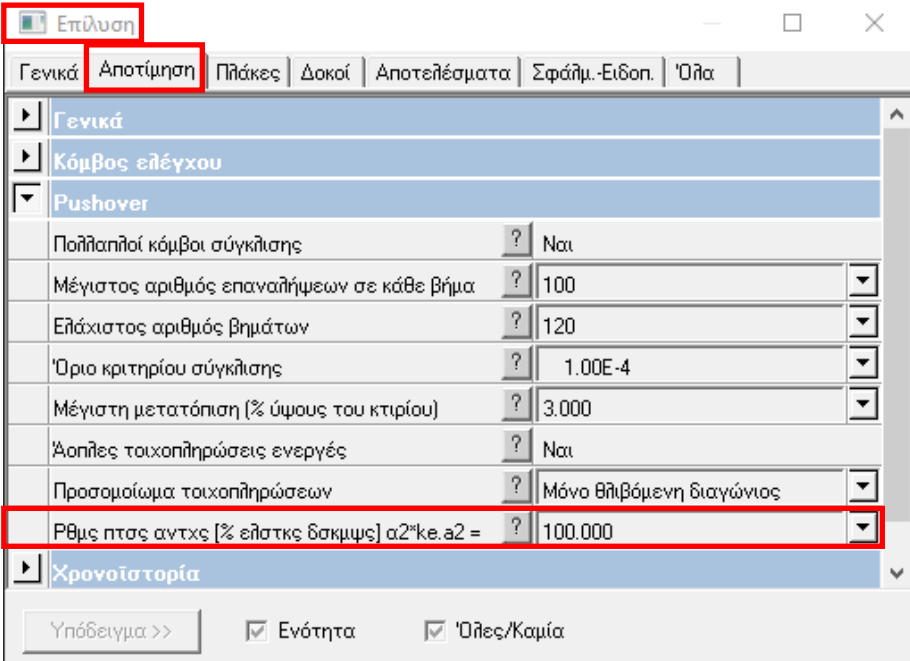
Οπλισμός δοκού

Οπλισμός υποστυλώματος

Εικόνα 6: Απενεργοποίηση τυχηματικής εκκεντρότητας

Επίσης, για λόγους εξομάλυνσης της απότομης μη γραμμικότητας, προτείνεται να μειωθεί η ρυθμός πτώσης της αντοχής από 1000% σε 100%, σύμφωνα με την παράμετρο (Εικόνα 7):

- Επίλυση -> Αποτίμηση -> Ρυθμός πτώσης αντοχής [% ελαστικής δυσκαμψίας] = 100



Επίλυση

Γενικά | **Αποτίμηση** | Πλάκες | Δοκοί | Αποτελέσματα | Σφάλμ.-Ειδοπ. | Όλα

Γενικά

Κόμβος ελέγχου

Pushover

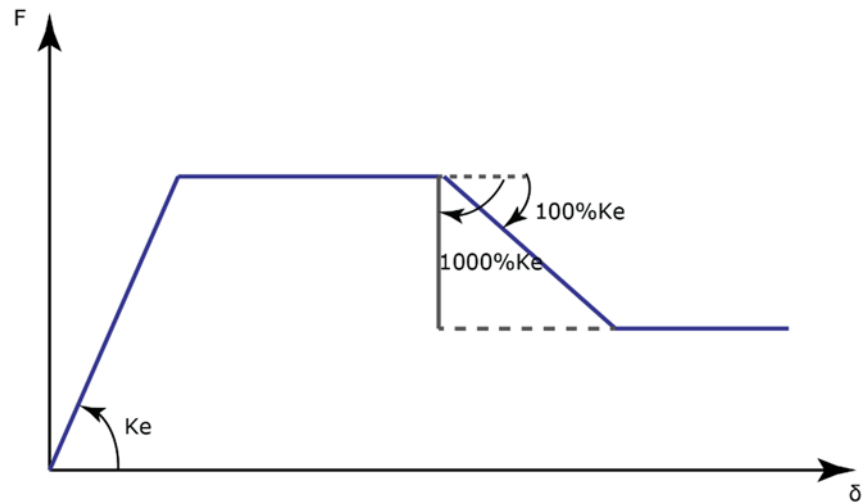
Πολλαπλαίοι κόμβοι σύγκλισης	?	Ναι
Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων σε κάθε βήμα	?	100
Ελάχιστος αριθμός βημάτων	?	120
Όριο κριτηρίου σύγκλισης	?	1.00E-4
Μέγιστη μετατόπιση (% ύψους του κτιρίου)	?	3.000
Άοπτες τοικοπληρώσεις ενεργές	?	Ναι
Προσμοίωμα τοικοπληρώσεων	?	Μόνο θλιβόμενη διαγώνιος
Ρθμός πτώσης αντξς [% ελαστικής δραστικής] α2*ke.a2 =	?	100.000

Χρονοϊστορία

Υπόδειγμα >> ☒ Ενότητα ☒ Όλες/Καμία

Εικόνα 7: Παράμετρος ρυθμού πτώσης αντοχής τοικοπλήρωσης

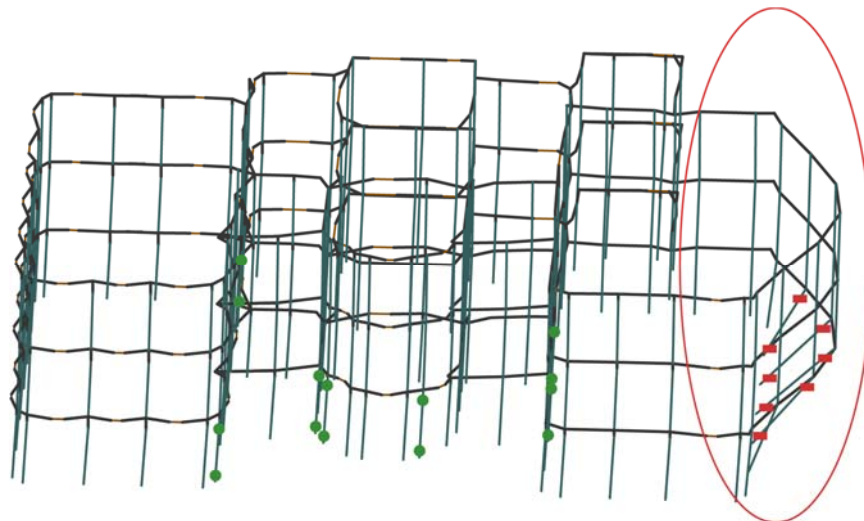
Προτείνεται, δηλαδή, ο ρυθμός πτώσης να αμβλυνθεί ώστε η αρνητική δυσκαμψία μετά την αστοχία να ισούται με την ελαστική (**Σχήμα 6**). Η default τιμή είναι η αρνητική δυσκαμψία να είναι αρκετά απότομη και να ισούται με 10 φορές την ελαστική.



Σχήμα 8: Σκελετικό διάγραμμα τοιχοπλήρωσης και ορισμός δυσκαμψίας πτωτικού κλάδου.

2.4.3 Δημιουργία τοπικού μηχανισμού αστοχίας τοίχου σε κτίρια χωρίς δύσκαμπτα διαφράγματα

Η περίπτωση αυτή συμβαίνει συνήθως σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία χωρίς διάφραγμα ή με ελαφρά ξύλινα δάπεδα (Εικόνα 8).



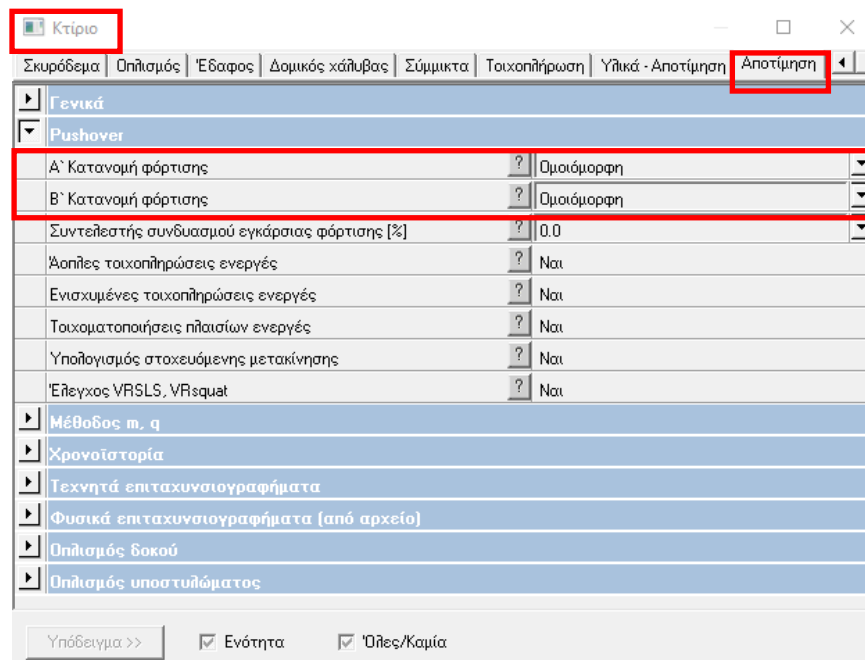
Εικόνα 8: Παράδειγμα τοπικού μηχανισμού αστοχίας εκτός επιπέδου

Το κτίριο από φέρουσα λιθοδομή (**Εικόνα 8**) αστοχεί με τοπικό μηχανισμό αστοχίας εκτός επιπέδου του τοίχου της δεξιάς όψης.

Αντιμετώπιση: Η ύπαρξη διαφραγμάτων είναι βασική προϋπόθεση εφαρμογής της ανάλυσης Pushover. Εξάλλου ο υπολογισμός της σεισμικής απαίτησης βασίζεται στη θεώρηση ότι όλο το κτίριο συμπεριφέρεται ενιαία ως μονοβάθμιος ταλαντωτής.

Θα πρέπει να ενσωματωθούν στο προσομοίωμα όλα τα στοιχεία που συνεισφέρουν στην οριζόντια δυσκαμψία, ακόμα και αν αυτά δεν είναι ισχυρά, όπως ξύλινα πατώματα, στέγες κτλ. Σε αυτή την περίπτωση η μάζα του κτιρίου θα κατανέμεται ομοιόμορφα καθ' ύψος και άρα δεν απαιτείται ιδιομορφική ή τριγωνική κατανομή, παρά μόνο ομοιόμορφη (Εικόνα 9)

- Κτίριο -> Αποτίμηση -> Α' κατανομή φόρτισης = Ομοιόμορφη
- Κτίριο -> Αποτίμηση -> Β' κατανομή φόρτισης = Ομοιόμορφη



Κτίριο

Σκυρόδεμα | Οπλισμός | Έδαφος | Δομικός χάλυβας | Σύμμικτα | Τοιχοπήρωση | Υλικά - Αποτίμηση | Αποτίμηση

Γενικά

Pushover

Α' Κατανομή φόρτισης	?	Ομοιόμορφη
Β' Κατανομή φόρτισης	?	Ομοιόμορφη
Συντελεστής συνδυασμού εγκάρσιας φόρτισης [%]	?	0.0
Άοπλες τοιχοπήρωσεις ενεργές	?	Ναι
Ενισχυμένες τοιχοπήρωσεις ενεργές	?	Ναι
Τοιχοματοποιήσεις πλαισίων ενεργές	?	Ναι
Υπολογισμός στοχευόμενης μετακίνησης	?	Ναι
Έλεγχος VRSLS, VRSquat	?	Ναι

Μέθοδος m, q

Χρονοϊστορία

Τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα

Φυσικά επιταχυνσιογραφήματα (από αρχείο)

Οπλισμός δοκού

Οπλισμός υποστυλώματος

Υπόδειγμα >>

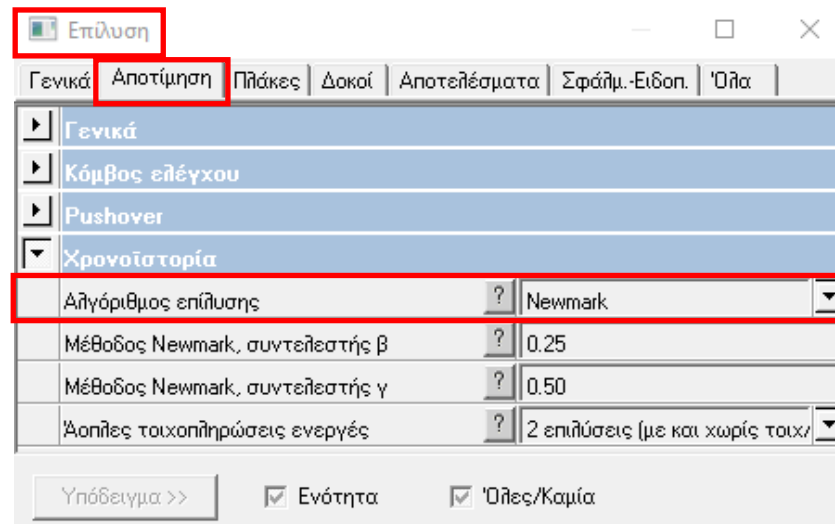
☒ Ενότητα ☒ Όλες/Καμία

Εικόνα 9: Εισαγωγή μόνο ομοιόμορφης κατανομής φόρτισης

Σε αυτή την περίπτωση το πρόγραμμα θα εκτελέσει δύο φορές την ομοιόμορφη κατανομή για λόγους γενικότητας. Συνοδευτικά θα πρέπει να γίνουν όλες οι ενέργειες που περιγράφησαν στις παραγράφους §2.4.1 & §2.4.2 με τις παραμέτρους της επίλυσης.

Σε περίπτωση που η οριζόντια δυσκαμψία του κτιρίου εξακολουθεί να είναι ασθενής, προτείνεται η διενέργεια, εναλλακτικά, ελαστικής ανάλυσης χρονοϊστορίας, με τη μέθοδο της άμεσης ολοκλήρωσης Newmark, λόγω της απαίτησης μεγάλου πλήθους ιδιομορφών σε κτίρια χωρίς διαφράγματα (Εικόνα 10).

- Επίλυση -> Αποτίμηση -> Αλγόριθμος επίλυσης= Newmark



Εικόνα 10: Επιλογή μεθόδου άμεσης ολοκλήρωσης Newmark

3

Ελαστική Χρονοϊστορία

3.1 Πώς διαλέγω μέθοδο επίλυσης στην ελαστική χρονοϊστορία;

Στο Fespa διατίθενται δύο μέθοδοι επίλυσης της ελαστικής χρονοϊστορίας:

- ▶ **Γραμμική ιδιομορφική (default):** Είναι βηματική αριθμητική μέθοδος επίλυσης της δυναμικής εξίσωσης κίνησης που βασίζεται στην ιδιομορφική δυναμική ανάλυση σε κάθε χρονικό βήμα. Υπολογίζει και ενσωματώνει μόνο τις ιδιομορφές που αντιστοιχούν στο 90% της συνολικής ιδιομορφικής μάζας. Το πλεονέκτημά της είναι ότι είναι ταχύτερη της μεθόδου Newmark.
- ▶ **Newmark:** Είναι βηματική μέθοδος αριθμητικής επίλυσης της διαφορικής δυναμικής εξίσωσης κίνησης 2ας τάξης και δεν απαιτεί υπολογισμό ιδιομορφών.

Με βάση το παραπάνω η μέθοδος Newmark προτιμάται σε περιπτώσεις κτιρίων όπου ο υπολογισμός ιδιομορφών δεν είναι αξιόπιστος. Τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να είναι:

- Εύστρεπτα κτίρια.
- Κτίρια με εύκαμπτα διαφράγματα.
- Κτίρια με μεταλλικές ή ξύλινες στέγες και εν γένει κτίρια με ελαφρά προσαρτήματα.
- Μικτά κτίρια όπου γίνεται ο έλεγχος με ΚΑΝΕΠΕ ή ΚΑΔΕΤ μόνο των μελών από Ο/Σ ή φέρουσα τοιχοποιία.

Γειτονικά τμήματα κτιρίων στα οποία δεν έχει τηρηθεί ο αντισεισμικός αρμός (πχ τμήματα κτιρίων που συνδέονται με ενιαίες πλάκες).

4

Βιβλιογραφία

- [1] **ΟΑΣΠ**, «Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ), 2^{ης} αναθεώρηση», Αθήνα, 2017.
- [2] **John F. Hall**, “On the descending branch of the pushover curve for multistory buildings”, *Earthquake Engng Struct Dyn.* 2018;47:772–783. September 2017.
- [3] **LH Logismiki**, «Fespa (10NL), Pushover θεωρητικά στοιχεία», Οκτώβριος 2013.
- [4] **LH Logismiki**, «Fespa R, Υπολογισμός στοχευόμενης μετατόπισης & μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης, θεωρία & παραδείγματα», Μάρτιος 2016.