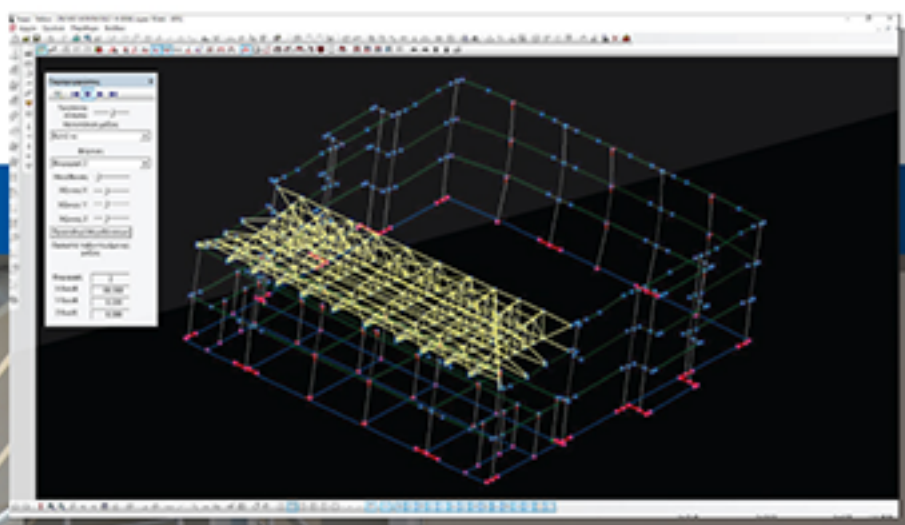


Παραδείγματα υπολογισμού προσαρτώμενων φορέων χαμηλής μάζας



Fespa C/M/R/T

For Windows

Παραδείγματα αναλύσεων κτιρίων με εύκαμπτα προσαρτήματα



Αθήνα, Ιούνιος 2022

Version 1.1.5

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή	3
1.1	Πότε τα κτίρια αντιμετωπίζουν προβλήματα στη δυναμική ανάλυση; 3	
1.2	Πως αντιμετωπίζει το πρόβλημα το Fespa	4
2	Παράδειγμα Μεταλλικού κτιρίου με δικτύωμα	7
2.1	Ο φορέας του παραδείγματος	7
2.2	Επίλυση δυναμικής ανάλυσης αρχικού φορέα.....	9
2.3	Επίλυση δυναμικής ανάλυσης με χρήση υποφορέων	12
2.4	Σύγκριση αποτελεσμάτων	18
3	Παράδειγμα κτιρίου φέρουσας τοιχοποιίας με ξύλινη στέγη	19
3.1	Ο φορέας του παραδείγματος	19
3.2	Σύγκριση ιδιομορφών.....	21
3.3	Σύγκριση αποτελεσμάτων αναλύσεων ελαστικής χρονοϊστορίας 24	

1

Εισαγωγή

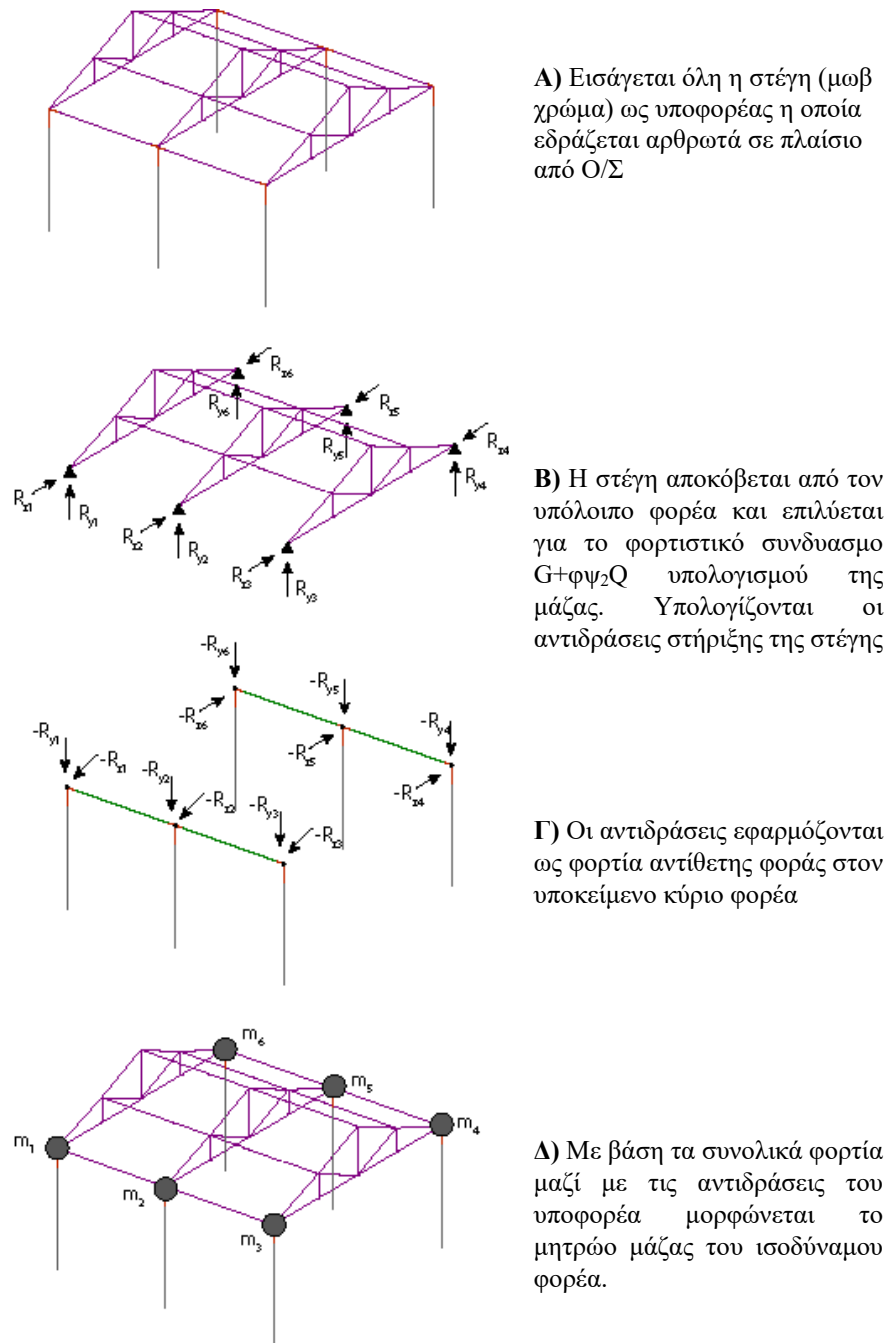
1.1 Πότε τα κτίρια αντιμετωπίζουν προβλήματα στη δυναμική ανάλυση;

Κτίρια που ενσωματώνουν εύκαμπτα προσαρτήματα που φέρουν φορτία, όπως στέγες, πέργκολες, ξύλινα δάπεδα, ενδέχεται να παρουσιάσουν μεγάλο πλήθος παρασιτικών ιδιομορφών που αναλώνονται στην ταλάντωση των τμημάτων αυτών. Με βάση τον τύπο υπολογισμού της ιδιοπεριόδου $T_i = 2\pi\sqrt{m_i/k_i}$ συμπεραίνεται, ότι με μείωση της δυσκαμψίας k και αύξηση της μάζας/ φορτίου m προκύπτει μεγαλύτερη ιδιοπερίοδος T . Σε συνδυασμό με το μεγάλο πλήθος βαθμών ελευθερίας που υπάρχουν συνήθως στα εύκαμπτα προσαρτήματα, προκύπτουν αρκετές ιδιοπερίοδοι με αυξημένη τιμή που ταξινομούνται στις πρώτες θέσεις της λίστας των ιδιομορφών. Οι ιδιομορφές αυτές όμως δεν ταλαντώνουν μέρους του κυρίου φορέα και συνεπώς δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον αντισεισμικό σχεδιασμό του. Ορισμένες μάλιστα φορές σε μεγάλα στέγαστρα, το πλήθος τους είναι τόσο μεγάλο που καθίσταται πρακτικά αδύνατο να υπολογιστούν μεταφορικές ιδιομορφές για τον κύριο φορέα που να αθροίζουν το 90% της ιδιομορφικής μάζας του κτιρίου.

1.2 Πως αντιμετωπίζει το πρόβλημα το Fespa

Το πρόβλημα της εμφάνισης πολλών ιδιομορφών με μικρή συμμετοχή μάζας σε κτίρια με εύκαμπτα προσαρτήματα, αντιμετωπίζεται από το Fespa με την εισαγωγή των υποφορέων στη μόρφωση του μητρώου μάζας της κατασκευής. Ένας υποφορέας μπορεί να είναι μία στέγη, μία πέργκολα και γενικώς οποιοδήποτε εύκαμπτο τμήμα του κτιρίου του οποίου η μάζα μπορεί να μεταφερθεί στον κύριο φορέα χωρίς να αλλοιώνεται η δυναμική του απόκριση. Έτσι, η συνολική μάζα του υποφορέα μεταφέρεται στον κύριο φορέα και συνεπώς το ιδιομορφικό σχήμα του μηδενίζεται. Δηλαδή, δεν υπάρχει πλέον μάζα στον υποφορέα που να προκαλεί ταλάντωση του ίδιου, αλλά η επιρροή της μεταφέρεται απευθείας στον κύριο φορέα. Ταυτόχρονα, η δυσκαμψία του υποφορέα δε μεταβάλλεται και συνεπώς συνεχίζει να συνεισφέρει στη δυσκαμψία της συνολικής κατασκευής, πχ τα ζευκτά μιας στέγης συνεχίζουν να συμμετέχουν στη διαφραγματική λειτουργία του κτιρίου.

Η μεθοδολογία μεταφοράς της μάζας από ένα υποφορέα (στέγη) στον κύριο φορέα αναλύεται στο **Σχήμα 1.1**



Σχήμα 1.1: Μεταφορά μάζας από τον υποφορέα στον κύριο φορέα

Σημείωση

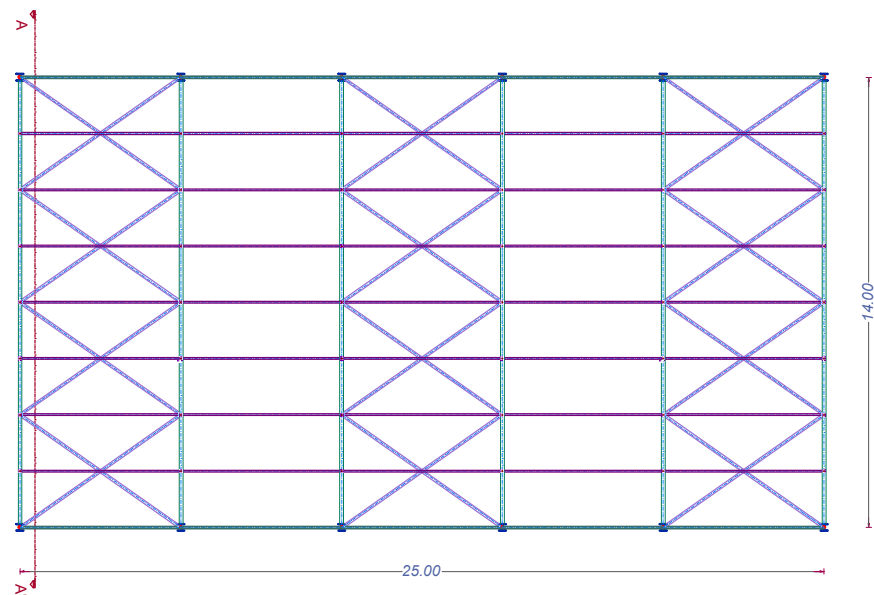
Μετά τη μεταφορά της μάζας από τη στέγη στον υποκείμενο φορέα τα ζευκτά και τα μέλη της στέγης δε δέχονται αδρανειακές δυνάμεις. Συνεπώς στην περίπτωση που οι υποφορείς φέρουν σημαντικό φορτίο – μάζα συνιστάται να υλοποιείται μία ανάλυση με υποφορείς για το υποκείμενο κτίριο και μία κλασική φασματική ανάλυση όπου θα ελεγχθούν μόνο τα μέλη του υποφορέα.

2

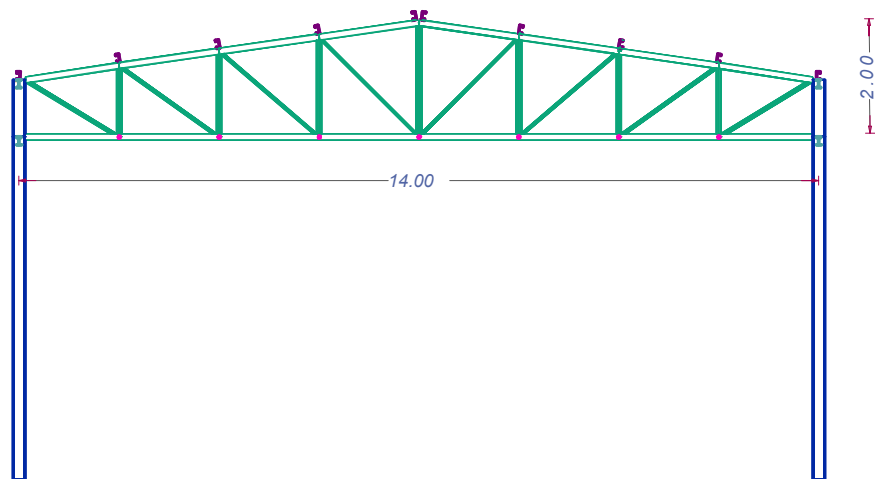
Παράδειγμα Μεταλλικού κτιρίου με δικτύωμα

2.1 Ο φορέας του παραδείγματος

Η εφαρμογή της μεθόδου πραγματοποιείται σε ένα μεταλλικό βιομηχανικό στέγαστρο διαστάσεων κάτοψης 14x25 m (Σχήμα 2.1). Αποτελείται από 6 τυπικά πλαίσια ανοίγματος 14 μέτρων τα οποία μορφώνονται με δικτύωμα (Σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.1: Κάτοψη οροφής μεταλλικού στεγάστρου



Σχήμα 2.2: Τομή A-A'

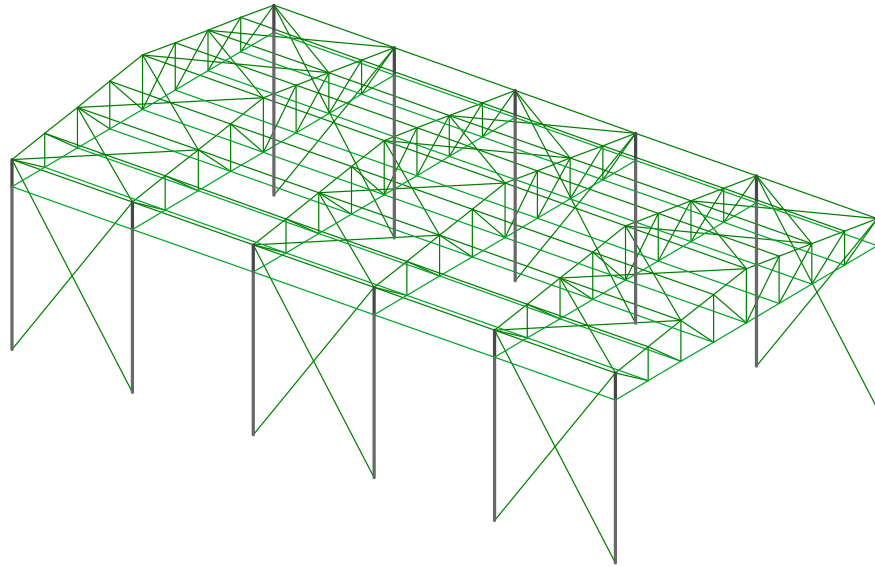
Δεδομένα Υλικών

- Κανονισμός δομικού χάλυβα: Ευρωκώδικας 3, Αντισεισμικός κανονισμός: Ευρωκώδικας 8-1
- Ποιότητα δομικού χάλυβα: S235. Τάση διαρροής: $f_{yk}=235.0$ MPa

Δεδομένα Δράσεων

- Μόνιμα φορτία στέγης:
 - Επικαλύψεις 0.3 kN/m²

Στην **Εικόνα 2.1** παρουσιάζεται το τρισδιάστατο προσομοίωμα 3dν του κτιρίου



Εικόνα 2.1: Τρισδιάστατο προσομοίωμα κτιρίου στο 3DV.

2.2 Επίλυση δυναμικής ανάλυσης αρχικού φορέα

Λόγω απουσίας διαφραγμάτων η δυναμική φασματική ανάλυση πραγματοποιείται με τη μέθοδο των στρεπτικών ζευγών και με σημαντικό πλήθος ιδιομορφών με βάση τις παρακάτω παραμέτρους:

- «Κτίριο > Αντισεισμικός > Μέθοδος επίλυσης = Δυναμική με στρεπτικά ζεύγη»
- «Κτίριο > Αντισεισμικός > Αριθμός ιδιομορφών = 40

Κτίριο

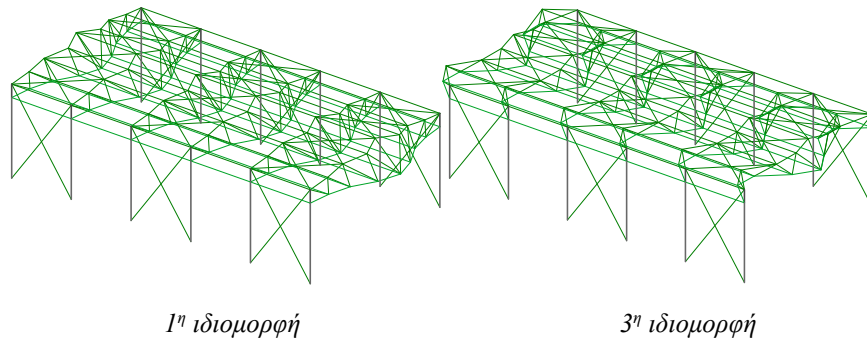
Γενικά | **Αντισεισμικός** | Φάσμα | Συντελεστής q | Σκυρόδεμα | Οπλισμός | Έδαφος | Δομικός χάλυβας | Σύμμικτα

Επίλυση με σεισμό	?	Ναι
Μέθοδος Επίλυσης	?	Δυναμική με στρεπτικά ζεύγη
Υψόμετρο εφαρμογής σεισμικών δυνάμεων [m]	?	0.00
Κατακόρυφη συνιστώσα σεισμού	?	Όχι
Ιδιομορφές		
Αριθμός ιδιομορφών	?	40
Αναζήτηση ιδιομορφών ώστε ΣMi > 90% μάζας	?	Ναι
Κέντρο δυσκαμψίας κτιρίου		
Απλοποιημένη φασματική μέθοδος		
Υποφορείς (στέγες, πέργκολες κτλ)		
Μεταφορά μαζών από υποφορείς στον κύριο φορέα	?	Ναι
Συντελεστές δυσκαμψίας		

Υπόδειγμα >> ☒ Ενότητα ☒ Όλες/Καμία

Εικόνα 2.2: Παράμετροι δυναμικής ανάλυσης

Προκύπτουν ιδιομορφές τοπικού χαρακτήρα, οι οποίες ταλαντώνουν τα δικτυώματα του στεγάστρου, χωρίς να συγκεντρώνουν το απαιτούμενο 90% της ιδιομορφικής μάζας. Ενδεικτικά στην **Εικόνα 2.3** παρουσιάζεται το ιδιομορφικό σχήμα της 1^{ης} και 3^{ης} ιδιομορφής του φορέα τα οποία απεικονίζονται σε κίνηση στο 3dv.



Εικόνα 2.3: 1^η και 3^η ιδιομορφή αρχικού φορέα

Παράλληλα, στον **Πίνακα 2.1** ο οποίος βρίσκεται στο «Τεύχος > Αποτελέσματα επίλυσης > Πίνακας μαζών 40 ιδιομορφών και αθροίσματα» παρουσιάζονται η μάζα που συγκεντρώνει κάθε μία ιδιομορφή και τα αντίστοιχα αθροίσματα στους 3 καθολικούς άξονες του κτιρίου.

Πίνακας μαζών ανά ιδιομορφή και αθροίσματα

Ιδιομορφή [/]	X-διεύθ. [%]	Y-διεύθ. [%]	Z-διεύθ. [%]	X-ολική [%]	Y-ολική [%]	Z-ολική [%]
1	22.369	0.000	0.000	22.369	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	22.369	0.000	0.000
3	12.541	0.000	0.000	34.910	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	34.910	0.000	0.000
5	3.951	0.000	0.000	38.861	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000	38.861	0.000	0.000
7	0.839	0.000	0.000	39.700	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	39.700	0.000	0.000
9	0.028	0.000	0.000	39.728	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	39.728	0.000	0.000
11	0.003	0.000	0.000	39.731	0.000	0.000
12	0.000	0.000	54.486	39.731	0.000	54.486
13	0.000	0.000	45.511	39.731	0.000	99.997
14	0.000	0.000	0.000	39.731	0.000	99.997
15	47.122	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
16	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
17	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
18	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
19	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
20	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
21	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
22	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
23	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
24	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
25	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
26	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
27	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
28	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
29	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
30	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
31	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
32	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
33	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
34	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
35	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
36	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
37	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
38	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
39	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997
40	0.000	0.000	0.000	86.853	0.000	99.997

Πίνακας 2.1: Ιδιομορφικές μάζες και αθροίσματα

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι 40 ιδιομορφές δεν καταφέρνουν να συγκεντρώσουν το απαιτούμενο από τον κανονισμό (EC8-1, §4.3.3.3.1) 90% της συνολικής μάζας του φορέα, καθώς το συνολικό άθροισμα μάζας στη διεύθυνση X είναι 86.85%.

Το αντίκτυπο της αδυναμίας συγκέντρωσης ικανοποιητικού ποσοστού μάζας αντικατοπτρίζεται στη σεισμική τέμνουσα βάσης του κτιρίου. Η τέμνουσα βάση κατά X, Z τυπώνεται στο «Τεύχος > Γενικοί έλεγχοι δομήματος > Τέμνουσα βάσης» και παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.2.

Διεύθυνση σεισμού [/]	Fb [kN]
X	11.37
Z	22.44

Πίνακας 2.2: Σεισμικές τέμνουσες βάσης ανά διεύθυνση

Όπως θα δούμε στη συνέχεια η τέμνουσα βάσης στη διεύθυνση X υποεκτιμάται αρκετά.. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται στη συνέχεια αυτόματα από το Fespa με τη μεταφορά της μάζας των δικτυωμάτων στον κύριο υποκείμενο φορέα, έτσι ώστε να καταστεί αξιόπιστη και εφαρμόσιμη η δυναμική ανάλυση στο συγκεκριμένο παράδειγμα.

Σημείωση

Μέχρι την παρούσα έκδοση 8.2.x.x η προτεινόμενη ανάλυση κτιρίων με εύκαμπτα τμήματα ήταν η απλοποιημένη φασματική μέθοδος, δηλ η ισοδύναμη στατική ανάλυση. Ωστόσο, η ανάλυση αυτή θα πρέπει να εφαρμόζεται εφόσον ικανοποιούνται οι συνθήκες της §4.3.3.2.1(2) του EC8-1. Πλέον η εισαγωγή της μεθόδου των υποφορών καθιστά δυνατή τη δυναμική ανάλυση κάθε τύπου κτιρίου με εύκαμπτα τμήματα.

2.3 Επίλυση δυναμικής ανάλυσης με χρήση υποφορέων

Οι ενεργοποίηση των υποφορέων στο πρόγραμμα Fespa πραγματοποιείται μέσω της παραμέτρου:

- «Κτίριο > Αντισεισμικός > Μεταφορά μαζών από υποφορέα στον κύριο φορέα=ΝΑΙ»

Επιπρόσθετα, ο απαιτούμενο αριθμός ιδιομορφών επανέρχεται στην αρχική (default) τιμή:

- «Κτίριο > Αντισεισμικός > Αριθμός ιδιομορφών = 9

The screenshot shows the 'Κτίριο' (Building) dialog box in the Fespa software. The 'Αντισεισμικός' (Seismic) tab is active. The 'Επίλυση με σεισμό' (Seismic solution) section has 'Μέθοδος Επίλυσης' (Solution method) set to 'Δυναμική με στρεπτικά ζεύγη' (Dynamic with moment-rotation pairs). The 'Ιδιομορφές' (Modes) section has 'Αριθμός ιδιομορφών' (Number of modes) set to 9. The 'Υποφορές (ιστίνες, πέδιλα κτλ)' (Subframes (columns, pedestals, etc.)) section has 'Μεταφορά μαζών από υποφορές στον κύριο φορέα' (Mass transfer from subframes to the main frame) set to 'Ναι' (Yes). The 'Συντελεστές δυσκαμψίας' (Stiffness coefficients) section is also visible at the bottom.

Εικόνα 2.4: Παράμετροι δυναμικής ανάλυσης με χρήση υποφορέων

Η λειτουργικότητα του ορισμού ενός μέλους αν ανήκει σε υποφορέα ή όχι ελέγχεται δοκούς και υποστυλώματα μέσω των παραμέτρων:

- «Δοκός > Στατικά > Ανήκει σε υποφορέα (στέγη)»
- «Υποστυλώματα > Στατικά > Ανήκει σε υποφορέα (στέγη)»

Παράμετρος	Τύπος	Αξία
Ελαστική άρθρωση αρχής y(2)	?	Ναι
Ελαστική άρθρωση τέλους y(2)	?	Ναι
Ελαστική άρθρωση αρχής z(3)	?	Ναι
Ελαστική άρθρωση τέλους z(3)	?	Ναι
Συντελεστής ελαστικών αρθρώσεων	?	
Συντελεστής αξονικής δυσκαμψίας	?	1.000
Άκαμπτες απολήξεις	?	
Αυτόματος υπολογισμός άκαμπτων απολήξεων	?	Όχι
Πρόβολος	?	Αυτόματο
Παραλλαγή φορτίων ανέμου (στέγη)	?	Όχι
Παραλλαγή φορτίων χιονιού (στέγη)	?	Όχι
Συντελεστής σχήματος μ	?	0.000
Ανήκει σε υποφορέα (στέγη)	?	Ναι
Εκτύπωση αποτελεσμάτων	?	Ναι
Διαστασιολόγηση, αποτίμηση	?	Ναι
Αναλυτικά αποτελέσματα	?	Όχι
Εκτύπωση αποτελεσμάτων χρονοϊστορίας	?	Όχι
ΣΠΕΜ δοκών (nb)	?	1.000

Υπόδειγμα >> ☒ Ενότητα ☒ Όλες/Καμία

Εικόνα 2.5: Παράμετροι δυναμικής ανάλυσης με χρήση υποφορέων

Παρατήρηση

Στο Fespa όλα τα μέλη έχουν αρχικές τιμές της παραμέτρου «Ανήκει σε υποφορέα (στέγη)» έτσι ώστε μέλη που χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε στέγες και λοιπά εύκαμπτα τμήματα να αναγνωρίζονται αυτόματα ως υποφορείς. Συνήθως τα μεταλλικά μέλη μορφώνουν υποφορεία. Στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 2.3**) αναγράφεται η λίστα με όλα τα μεταλλικά είδη μελών του Fespa και δίπλα, η αρχική τιμή της παραμέτρου

Είδος υλικού	Είδος μέλους	Αρχική τιμή παραμέτρου «Ανήκει σε υποφορέα (στέγη)»
Δομικός χάλυβας	Γενικό μέλος (μεταλλικό)	OXI
	Ράβδος δικτυώματος	NAI
	Ελκυστήρας	NAI
	Τεγίδα	NAI
	Προσομοίωση διαφράγματος	NAI
	Κατακόρυφος διαγώνιος σύνδεσμος	OXI
	Οριζόντιος διαγώνιος σύνδεσμος	NAI
	Σύνδεσμος τύπου V/Λ	OXI
	Σεισμ. Σύνδεσμος (Δοκός σύζευξης)	OXI
	Ζύγωμα με σύνδεσμο V/Λ	OXI
	Δεσμική χάλυβα	OXI
	Λεπτότοιχη τεγίδα ψυχρής έλασης	NAI

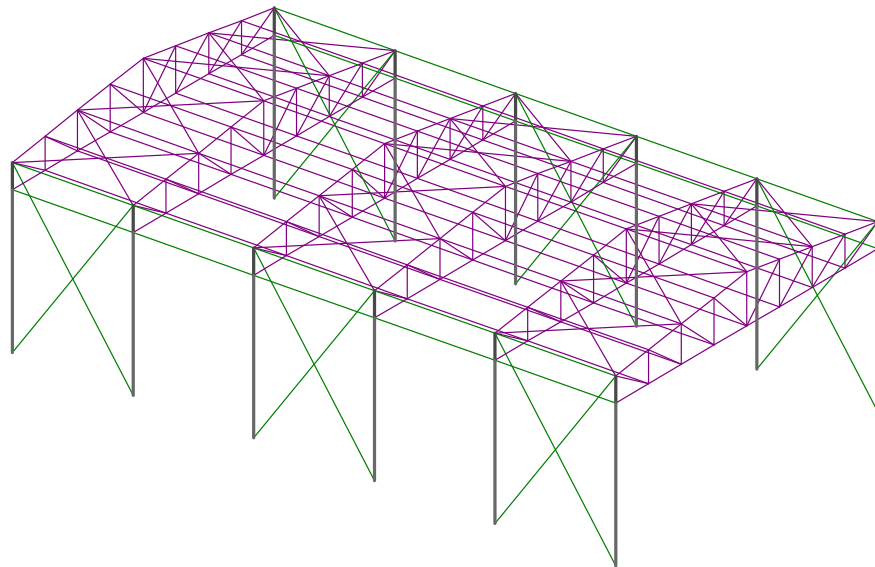
Πίνακας 2.3: Αυτόματη κατηγοριοποίηση μεταλλικών μελών ως υποφορείς

Στην περίπτωση που πρέπει να δοθούν κάποια επιπλέον μέλη (όπως γενικά μέλη ξύλινων δοκών, υποστυλώματα κ.α.) ως υποφορείς, αυτό πραγματοποιείται μέσω των αντίστοιχων παραμέτρων.

Οι υποφορείς επισημαίνονται στο 3dν μέσω της επιλογής:

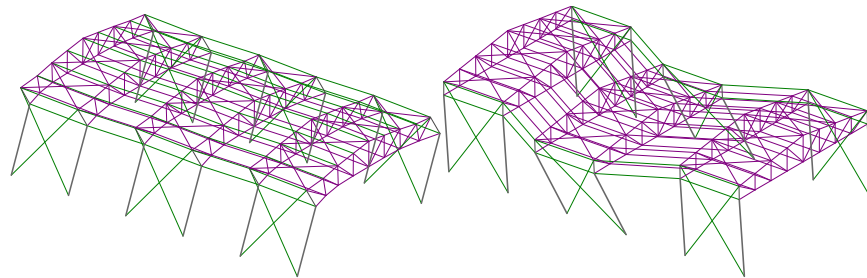


Οι υποφορείς επισημαίνονται στο 3dν μέσω του εικονιδίου.



Εικόνα 2.6: *Επισήμανση με μωβ χρώμα των υποφορέων στο 3dν.*

Στη συνέχεια επιλύεται ο φορέας σε 2 στάδια τα οποία είναι διακριτά και αναγνωρίζονται μέσω της εμφάνισης δύο φορών της εικόνας επίλυσης. Στην **Εικόνα 2.7** παρουσιάζονται τα ιδιομορφικά σχήματα της 1^{ης} κύριας ιδιομορφής κατά Z και της 1^{ης} κύριας ιδιομορφής κατά X (5^η συνολική) του κτιρίου με τη θεώρηση των υποφορέων.



1^η ιδιομορφή

5^η ιδιομορφή

Εικόνα 2.7: *1^η και 5^η ιδιομορφή έπειτα από τη μεταφορά μαζών από τη στέγη στο υποκείμενο πλαίσιο*

Παρατηρείται, ότι πλέον οι ιδιομορφές είναι μεταφορικές και συγκεντρώνουν μεγάλο ποσοστό της συνολικής μάζας σύμφωνα με τον **Πίνακας 2.4**.

Πίνακας μαζών ανά ιδιομορφή και αθροίσματα

Ιδιομορφή [/]	X-διεύθ. [%]	Y-διεύθ. [%]	Z-διεύθ. [%]	X-ολική [%]	Y-ολική [%]	Z-ολική [%]
1	0.000	0.000	55.990	0.000	0.000	55.990
2	0.000	0.000	44.006	0.000	0.000	99.996
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	99.996
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	99.996
5	89.690	0.000	0.000	89.690	0.000	99.996
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	00.000
7	10.307	0.000	0.000	99.997	0.000	99.996
8	0.000	0.000	0.000	99.997	0.000	99.996
9	0.000	0.000	0.000	99.997	0.000	99.996

Πίνακας 2.4: *Ιδιομορφικές μάζες και αθροίσματα φορέα με χρήση υποφορέων*

Αξίζει να σημειωθεί ότι πλέον απαιτούνται μόλις 7 ιδιομορφές για τη συμπλήρωση του απαιτούμενου 90% της μάζας.

Τέλος, αναγράφονται οι συνολικές τέμνουσες βάσης του φορέα οι οποίες αφορούν το σύνολο της μάζας του.

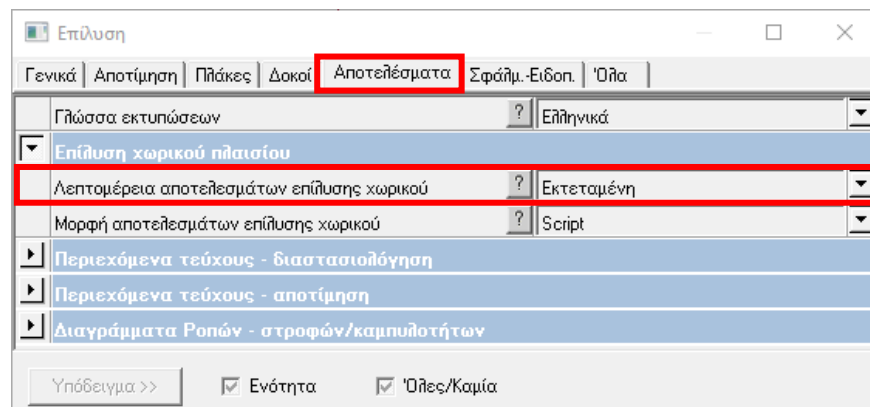
Διεύθυνση σεισμού [/]	Fb [kN]
X	22.01
Z	22.97

Πίνακας 2.5: *Σεισμικές τέμνουσες βάσης ανά διεύθυνση*

Επιπρόσθετα, ενεργοποιώντας την εκτεταμένη εκτύπωση του χωρικού πλαισίου:

- «Επίλυση > Αποτελέσματα > Λεπτομέρεια αποτελεσμάτων επίλυσης χωρικού = Εκτεταμένη»

παρέχεται η πληροφορία της κατανομή της μάζας από τον υποφορέα στον κύριο φορέα



Εικόνα 2.8: Ενεργοποίηση της εκτεταμένης εκτύπωσης στο Τεύχος

Βάρος και μάζα κτιρίου

Επίπεδο	Υψόμετρο [m]	Συνολικό βάρος υπερκείμενων επιπέδων [kN]	Μάζα επιπέδου [ton]	Μάζα υποφορέων επιπέδου [ton]
1: βάση	6.72	0.238E+03	0.200E+02	0.142E+02

EC8-1 §3.2.4:

Το βάρος προκύπτει από την φόρτιση $G+\psi_2 \cdot Q$

Η μάζα προκύπτει από την φόρτιση $G+\psi_2 \cdot Q$

Απόδοση μάζας υποφορέων

Κόμβος	Μάζα [ton]	RX [kN]	RY [kN]	RZ [kN]
1(0)	0.352E-01	0.629E-01	0.346E+00	0.129E+02
2(0)	0.352E-01	0.629E-01	0.346E+00	-0.129E+02
13(0)	0.352E-01	0.281E-01	0.346E+00	0.146E+02
14(0)	0.352E-01	0.281E-01	0.346E+00	-0.146E+02
25(0)	0.352E-01	0.210E-01	0.346E+00	0.144E+02
26(0)	0.352E-01	0.210E-01	0.346E+00	-0.144E+02
37(0)	0.352E-01	-0.210E-01	0.346E+00	0.144E+02
38(0)	0.352E-01	-0.210E-01	0.346E+00	-0.144E+02
49(0)	0.352E-01	-0.281E-01	0.346E+00	0.146E+02
50(0)	0.352E-01	-0.281E-01	0.346E+00	-0.146E+02
61(0)	0.352E-01	-0.629E-01	0.346E+00	0.129E+02
62(0)	0.352E-01	-0.629E-01	0.346E+00	-0.129E+02
3(1)	0.110E+01	0.000E+00	0.108E+02	0.000E+00
4(1)	0.110E+01	0.000E+00	0.108E+02	0.000E+00
19(1)	0.117E+01	0.000E+00	0.115E+02	0.000E+00
20(1)	0.117E+01	0.000E+00	0.115E+02	0.000E+00
35(1)	0.118E+01	0.000E+00	0.116E+02	0.000E+00
36(1)	0.118E+01	0.000E+00	0.116E+02	0.000E+00
51(1)	0.118E+01	0.000E+00	0.116E+02	0.000E+00
52(1)	0.118E+01	0.000E+00	0.116E+02	0.000E+00
67(1)	0.117E+01	0.000E+00	0.115E+02	0.000E+00
68(1)	0.117E+01	0.000E+00	0.115E+02	0.000E+00
83(1)	0.110E+01	0.000E+00	0.108E+02	0.000E+00
84(1)	0.110E+01	0.000E+00	0.108E+02	0.000E+00

Οι αντιδράσεις RX, RY, RZ προκύπτουν από επίλυση των υποφορέων ανεξάρτητα

Η μάζα προκύπτει από την αντίδραση RY

Πίνακας 2.6: Αποτελέσματα μεταφοράς μαζών από τον υποφορέα στον κύριο φορέα.

Στον Πίνακα 2.6 δίνεται η πληροφορία της συνολικής μάζας των υποφορέων του παραδείγματος η οποία είναι 12.9 ton καθώς και η μάζα που μεταφέρεται σε κάθε κόμβο ένωσης του υποφορέα με τον κύριο φορέα.

2.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Στον **Πίνακας 2.7** πραγματοποιείται η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο φορέων. Παρατηρείται σημαντική διόρθωση του υπολογισμού της τέμνουσας βάσης κατά X, καθώς χωρίς τη χρήση υποφορέων υποεκτιμάται σημαντικά κατά της ασφαλείας η σεισμική δύναμη στη διαμήκη διεύθυνση του κτιρίου.

	Αρχικός φορέας	Φορέας με υποφορείς
Αριθμός απαιτούμενων ιδιομορφών	40+	7
Σεισμική τέμνουσα βάσης κατά X	11.37	22.01
Σεισμική τέμνουσα βάσης κατά Z	22.44	22.97

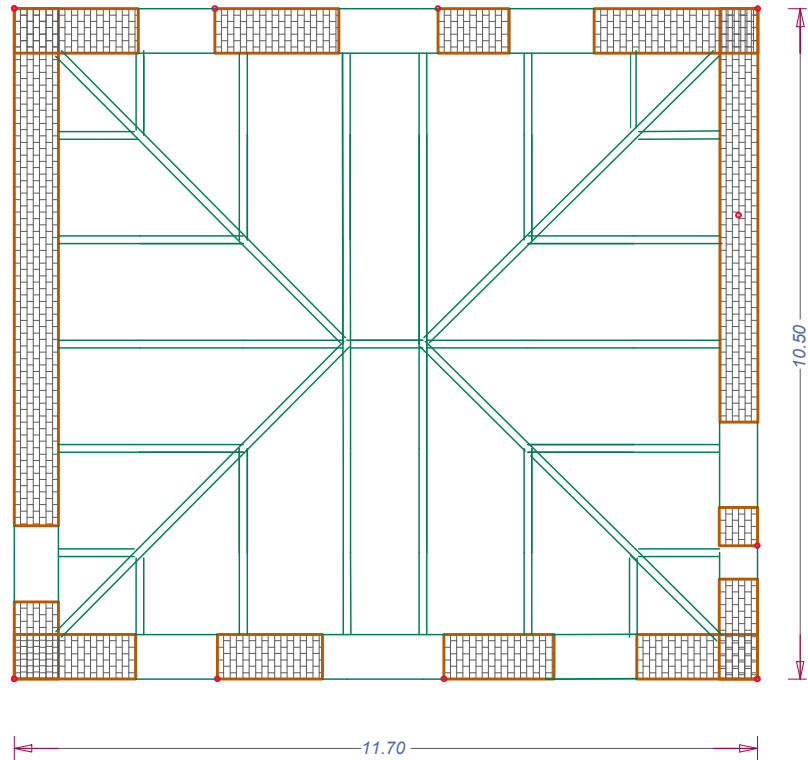
Πίνακας 2.7: Σύγκριση αποτελεσμάτων αρχικού φορέα και φορέα με υποφορείς

3

Παράδειγμα κτιρίου φέρουσας τοιχοποιίας με ξύλινη στέγη

3.1 Ο φορέας του παραδείγματος

Το 2^ο παράδειγμα αφορά υφιστάμενο τριόροφο κτίριο από φέρουσα τοιχοποιία ορθογωνικής κάτοψης 11.70 x 10.50 το οποίο φέρει ξύλινη τετράριχτη στέγη (Σχήμα 3.1). Θα πραγματοποιηθεί μελέτη στατικής επάρκειας του υφιστάμενου κτιρίου, ενώ στα επόμενα, θα παρουσιαστεί πως η μεταφορά μαζών από τη στέγη στον υποκείμενο φορέα θα διευκολύνει τις αναλύσεις.



Σχήμα 3.1: Κάτοψη τετράριχτης ξύλινης στέγης

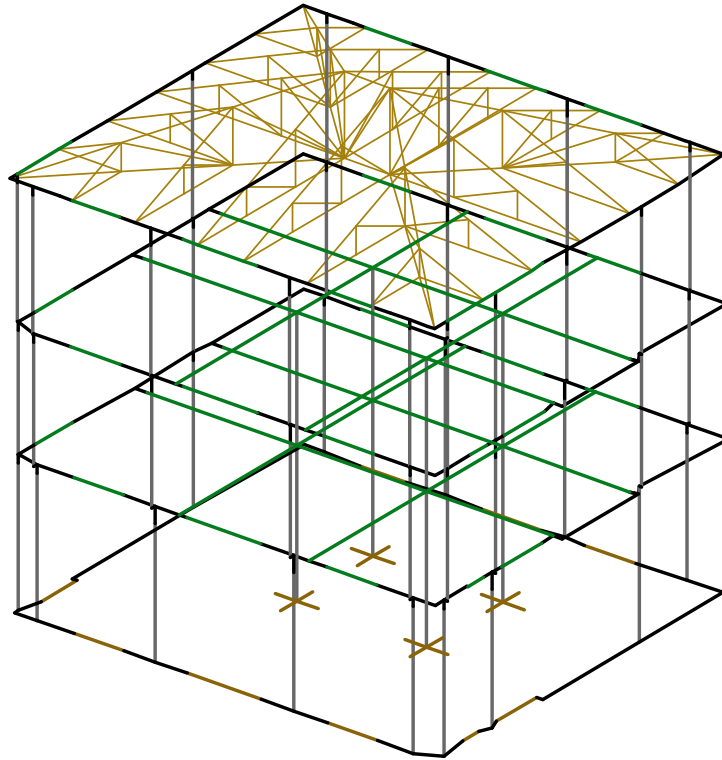
Δεδομένα Υλικών

- Κανονισμός δομικής ξυλείας: Ευρωκώδικας 5, Αντισεισμικός κανονισμός: Ευρωκώδικας 8-1, ΚΑΔΕΤ
- Είδος δομικής ξυλείας: Φυσική
- Τύπος φέρουσας τοιχοποιίας: Αργολιθοδομή

Δεδομένα Δράσεων

- Μόνιμα φορτία στέγης:
 - Κολυμβητά κεραμίδια και «πέτσωμα»: 1.0 kN/m²

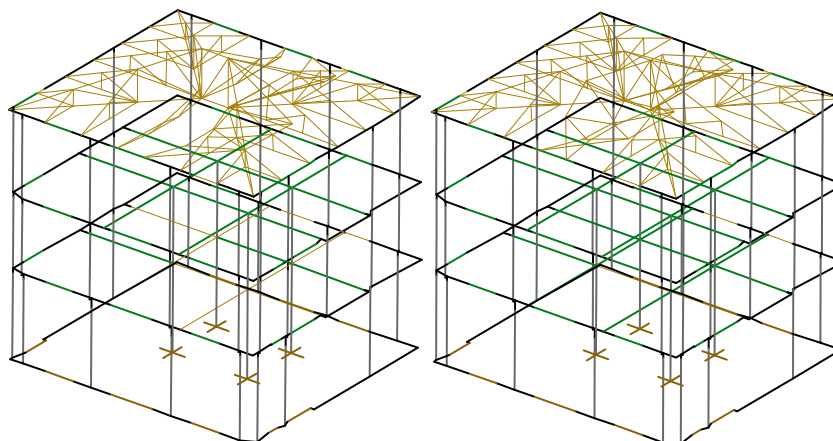
Στην **Εικόνα 3.1** παρουσιάζεται το τρισδιάστατο προσομοίωμα 3dν του κτιρίου



Εικόνα 3.1: Τρισδιάστατο προσομοίωμα κτιρίου στο 3DV.

3.2 Σύγκριση ιδιομορφών

Αρχικά υπολογίζονται οι ιδιομορφές του αρχικού φορέα και του ισοδύναμου φορέα έπειτα από τη μεταφορά μάζας από τη στέγη στον κύριο φορέα. Στην **Εικόνα 3.2** τυπώνεται το ιδιομορφικό σχήμα της 1^{ης} και 2^{ης} ιδιομορφής του αρχικού φορέα. Παρατηρείται ότι οι ιδιομορφές συγκεντρώνονται στη στέγη αφού ταλαντώνονται αποκλειστικά μέλη των ζευκτών.

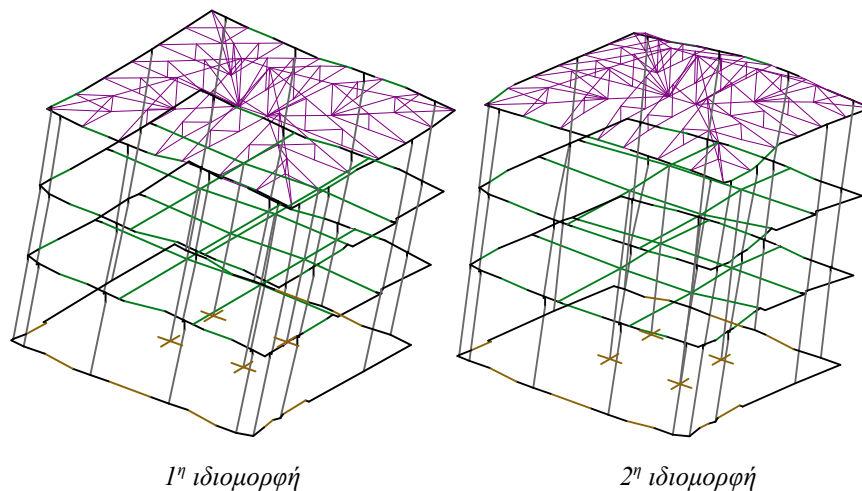
1^η ιδιομορφή2^η ιδιομορφήΕικόνα 3.2: 1^η και 2^η ιδιομορφή αρχικού φορέα

Ιδιομορφή [/]	X-διεύθ. [%]	Y-διεύθ. [%]	Z-διεύθ. [%]	X-ολική [%]	Y-ολική [%]	Z-ολική [%]
1	6.747	0.000	0.013	6.747	0.000	0.013
2	1.817	0.000	0.021	8.564	0.000	0.035
3	0.023	0.000	1.105	8.587	0.000	1.140
4	0.011	0.000	0.000	8.597	0.000	1.140
5	0.043	0.000	1.743	8.640	0.000	2.883
6	0.007	0.000	1.363	8.647	0.000	4.246
7	75.000	0.000	0.048	83.647	0.000	4.294
8	0.083	0.000	68.401	83.730	0.000	72.695
9	0.389	0.000	0.499	84.118	0.000	73.193
10	0.180	0.000	0.381	84.299	0.000	73.575
11	1.343	0.000	1.304	85.642	0.000	74.878
12	0.407	0.000	3.540	86.049	0.000	78.418
13	0.006	0.000	0.334	86.055	0.000	78.752
14	0.124	0.000	0.001	86.179	0.000	78.753
15	0.694	0.000	0.808	86.873	0.000	79.561
16	0.208	0.000	1.847	87.082	0.000	81.408
17	0.005	0.000	0.003	87.086	0.000	81.412
18	0.002	0.000	0.002	87.088	0.000	81.414
19	0.000	0.000	0.000	87.089	0.000	81.414
20	0.000	0.000	0.017	87.089	0.000	81.431
21	0.002	0.000	0.012	87.091	0.000	81.443
22	0.001	0.000	0.018	87.092	0.000	81.461
23	0.254	0.000	1.369	87.346	0.000	82.830
24	0.001	0.000	0.042	87.347	0.000	82.871
25	9.179	0.000	0.016	96.526	0.000	82.887
26	0.000	0.000	8.556	96.527	0.000	91.443
27	0.298	0.000	0.382	96.825	0.000	91.824
28	0.021	0.000	0.030	96.846	0.000	91.855
29	0.554	0.000	0.346	97.399	0.000	92.201
30	0.493	0.000	0.170	97.892	0.000	92.371
31	0.001	0.000	0.032	97.894	0.000	92.403
32	0.001	0.000	0.266	97.895	0.000	92.669

Πίνακας 3.1: Ιδιομορφικές μάζες και αθροίσματα αρχικού φορέα

Εξαιτίας της ταλάντωσης των μελών της στέγης, τα οποία εν γένει δε φέρουν σημαντική μάζα, απαιτείται μεγάλο πλήθος ιδιομορφών (26) για τη συγκέντρωση του 90% της απαιτούμενης μάζας όπως καταγράφεται στον **Πίνακας 3.1**.

Αντίθετα, μετά τη μεταφορά της μάζας από τη στέγη στην υποκείμενη φέρουσα τοιχοποιία οι δύο πρώτες ιδιομορφές γίνονται μεταφορικές (**Εικόνα 3.3**) με αποτέλεσμα να απαιτούνται μόλις 6 ιδιομορφές για την ικανοποίηση του κριτηρίου του 90% της μάζας (**Πίνακας 3.2**).



Εικόνα 3.3: 1^η και 2^η ιδιομορφή έπειτα από τη μεταφορά μαζών από τη στέγη στον υποκείμενο φορέα

Ιδιομορφή [/]	X-διεύθ. [%]	Y-διεύθ. [%]	Z-διεύθ. [%]	X-ολική [%]	Y-ολική [%]	Z-ολική [%]
1	87.322	0.000	0.080	87.322	0.000	0.080
2	0.122	0.000	82.006	87.445	0.000	82.085
3	0.311	0.000	1.965	87.756	0.000	84.051
4	0.053	0.000	0.003	87.809	0.000	84.053
5	8.678	0.000	0.001	96.487	0.000	84.054
6	0.000	0.000	6.508	96.487	0.000	90.562
7	0.151	0.000	0.158	96.638	0.000	90.720
8	0.442	0.000	0.000	97.080	0.000	90.720
9	0.758	0.000	0.110	97.838	0.000	90.830

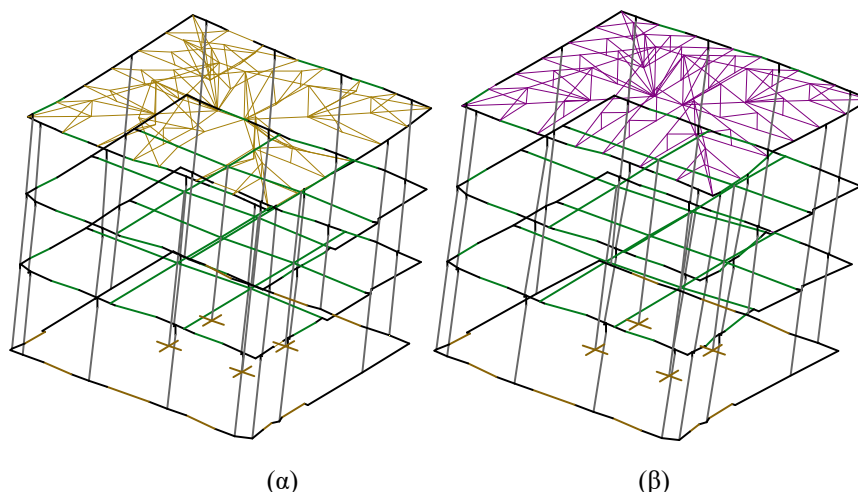
Πίνακας 3.2: Ιδιομορφικές μάζες και αθροίσματα ισοδύναμων φορέα

Παρατήρηση

Τα μέλη δομικής ξυλείας δεν αναγνωρίζονται αυτόματα ως μέλη υποφορέα. Παρ'όλα αυτά η καταχώρησή τους ως υποφορείς μπορεί να γίνει μαζικά από τον Πίνακα 405 «Στατικά – γενικά δοκών»

3.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων αναλύσεων ελαστικής χρονοϊστορίας

Στη συνέχεια πραγματοποιείται και στους δύο φορείς ελαστική ανάλυση χρονοϊστορίας με σκοπό την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας της φέρουσας τοιχοποιίας. Στην παρακάτω **Εικόνα 3.4** παρουσιάζονται οι μορφές ταλάντωσης τους αρχικού και του ισοδύναμου φορέα μετά τη μεταφορά μαζών.



Εικόνα 3.4: Παραμορφώσεις ταλάντωσης την ίδια χρονική στιγμή: α) Αρχικός φορέας, β) Ισοδύναμος φορέας

Γίνεται φανερό, ότι στην 1^η περίπτωση μεγάλο μέρος της ταλάντωσης αναλώνεται στη στέγη, ενώ στη 2^η περίπτωση η ταλάντωση αφορά κυρίως τη φέρουσα τοιχοποιία. Επίσης, τα ξύλινα μέλη της στέγης συνεχίζουν να αντιστέκονται στις μετακινήσεις του εντός του επιπέδου της οροφής, συνεισφέροντας εν μέρει στη διαφραγματική λειτουργία του κτιρίου.

Η παράλογη ταλάντωση της στέγης στην περίπτωση του αρχικού φορέα έχει ως συνέπεια την κατανάλωση σεισμικής ενέργειας σε αυτή την περιοχή, κάτι που αντικατοπτρίζεται στις μειωμένες τέμνουσες βάσης και μετακινήσεις του αρχικού φορέα. Στον **Πίνακα 3.3** τυπώνονται οι τέμνουσες βάσης και οι μετακινήσεις

των δύο φορέων «Τεύχος > Αποτελέσματα δυναμικής ανάλυσης ιστορίας > Ελαστικές Fb και d κόμβου ελέγχου»

Επιτελεστικότητα [/]	Fb κατά X [KN]	Fb κατά Z [KN]	dx κατά X [cm]	dz κατά Z [cm]
NC	2272.91	2088.94	1.0	1.0

(α)

Επιτελεστικότητα [/]	Fb κατά X [KN]	Fb κατά Z [KN]	dx κατά X [cm]	dz κατά Z [cm]
NC	3411.20	3059.43	1.5	1.4

(β)

Πίνακας 3.3: Τέμνουσες βάσης ανά διεύθυνση και μετακινήσεις: α) Αρχικός φορέας, β) Ισοδύναμος φορέας

Γίνεται φανερό ότι ο αρχικός φορέας υποεκτιμά αισθητά τόσο τη σεισμική δύναμη που αναλαμβάνει η τοιχοποιία, όσο και τη μετακίνηση κορυφής.

Η συγκεντρωτική σύγκριση των δύο φορέων παρουσιάζεται στον επόμενο **Πίνακας 3.4**

	Αρχικός φορέας	Ισοδύναμος φορέας
Αριθμός απαιτούμενων ιδιομορφών	26	6
Σεισμική τέμνουσα βάσης κατά X (kN)	2273	3411
Σεισμική τέμνουσα βάσης κατά Z (kN)	2089	3059
Μετακίνηση κορυφής κατά X (cm)	1.0	1.5
Μετακίνηση κορυφής κατά Z (cm)	1.0	1.4

Πίνακας 3.4: Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ αρχικού και ισοδύναμου φορέ

-