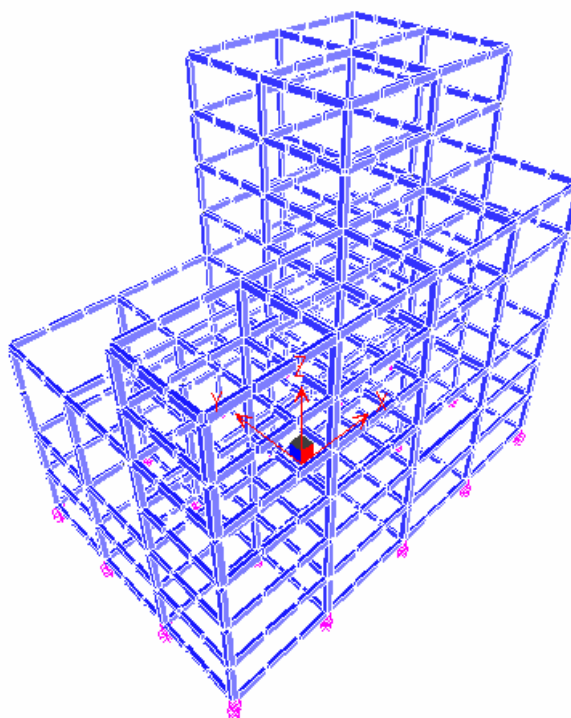


## **9. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ "SAP 2000"**

### **9.1 Οκταόροφο Κτίριο Οπλισμένου Σκυροδέματος**

#### **9.1.1 Γενικά**

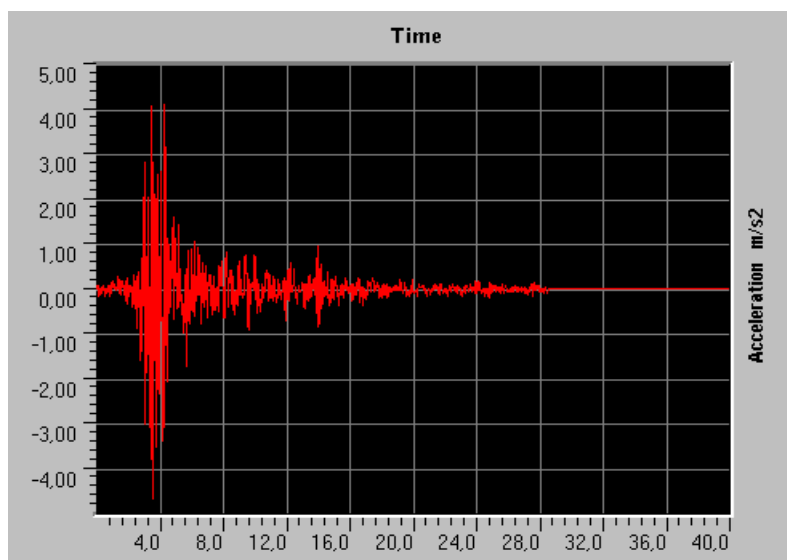
Στο παράδειγμα αυτό θα μελετήσουμε την συμπεριφορά ενός 8-όροφου κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα, χωρίς και με, σεισμική μόνωση. Η κάτοψη του κτιρίου είναι ορθογωνική διαστάσεων 18m x 28m, και το ύψος κάθε ορόφου είναι 3,3m. Οι πλάκες των ορόφων έχουν πάχος 15cm ενώ η πλάκα της βάσης, έχει πάχος 30cm. Λόγω ιδιόμορφου αρχιτεκτονικού σχεδίου το κτίριο παρουσιάζει σημαντικές εκκεντρότητες μάζας και κατά τις δύο διευθύνσεις x και y. Στην περίπτωση του μη μονωμένου κτιρίου θεωρούμε ότι η πλάκα θεμελίωσης είναι πακτωμένη στο έδαφος, ενώ στο σεισμικά μονωμένο κτίριο τοποθετούμε τους μονωτήρες μεταξύ πλάκας και εδάφους θεμελίωσης στις θέσεις των κατακόρυφων στοιχείων.



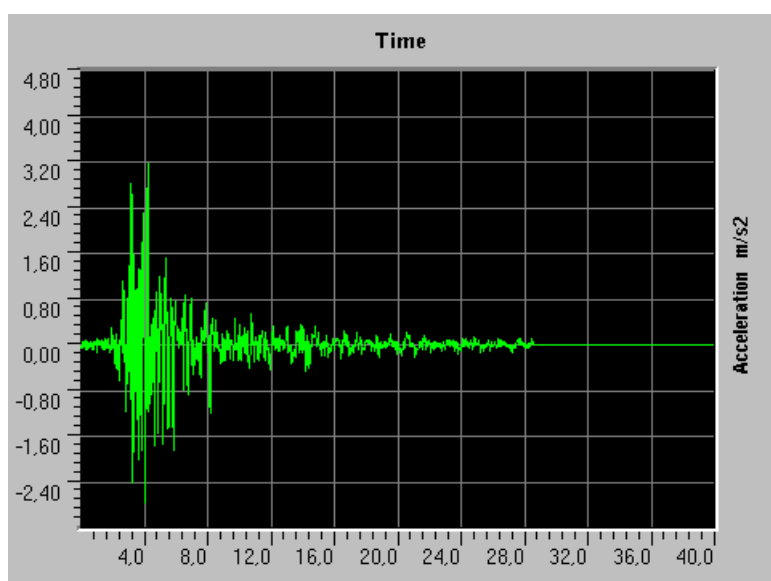
**Σχήμα 9.1 Γεωμετρία Κτιρίου**

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα στατικής και δυναμικής ανάλυσης "Sap 2000", θα πραγματοποιηθούν τα εξής:

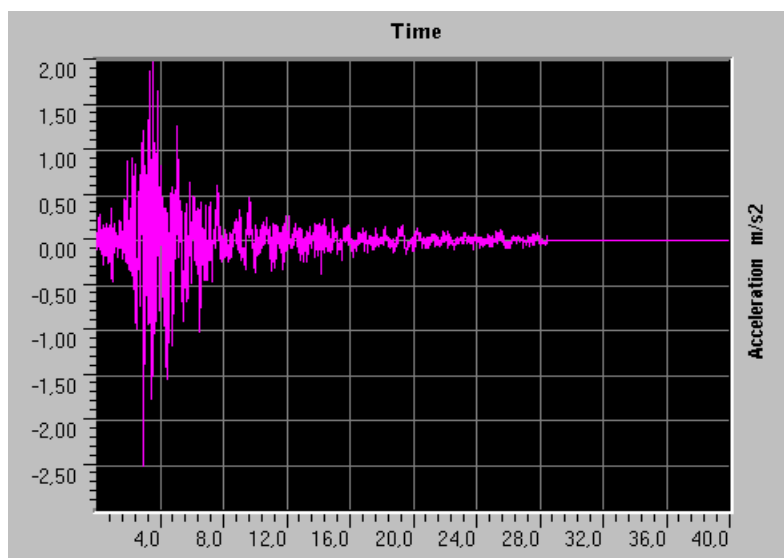
1. Αρχικά πραγματοποιείται ανάλυση του μη μονωμένου κτιρίου, με χρονική ολοκλήρωση του επιταχυνσιογραφήματος του σεισμού της Πάρνηθας (Σεπτέμβριος 1999). Οι τρεις συνιστώσες του επιταχυνσιογραφήματος του σεισμού της Πάρνηθας εικονίζονται στα Σχήματα 9.2, 9.3 και 9.4.
2. Στη συνέχεια επιβάλλεται η ίδια σεισμική διέγερση για το ίδιο χρονικό διάστημα στο σεισμικά μονωμένο κτίριο. Πραγματοποιείται ανάλυση με χρονική ολοκλήρωση του ίδιου επιταχυνσιογραφήματος, συγκρίνονται οι αποκρίσεις των δύο περιπτώσεων, και εξάγονται κάποια συμπεράσματα για την επίδραση των μονωτήρων στην σεισμική απόκριση του κτιρίου.



Σχήμα 9.2 Επιταχυνσιογράφημα Σεισμού Πάρνηθας κατά την X διεύθυνση



Σχήμα 9.3 Επιταχυνσιογράφημα Σεισμού Πάρνηθας κατά την Y διεύθυνση



**Σχήμα 9.4** Επιταχυνσιογράφημα Σεισμού Πάρνηθας κατά την Z διεύθυνση

### 9.1.2 Επιλογή Υλικών και Διατομών

Οι μονωτήρες που θα χρησιμοποιήσουμε είναι ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου, γνωστά ως L.R.B., τα οποία προσομοιώνονται στο πρόγραμμα "Sap 2000" με το στοιχείο μονωτήρα "Isolator 1", το οποίο ορίζουμε από την επιλογή του προγράμματος: "*Define NLLink Properties*". Οι τιμές των ιδιοτήτων του στοιχείου αυτού που θα χρησιμοποιήσουμε είναι: Ισοδύναμη ακαμψία κατά τις οριζόντιες διευθύνσεις x και y ίση με 500 KN/m, ισοδύναμη ακαμψία κατά την κατακόρυφη διεύθυνση  $500 \times 10^3$  KN/m, δύναμη διαρροής 5 KN, και ισοδύναμη απόσβεση 0,2. Θα χρησιμοποιήσουμε 20 μονωτήρες αυτού του είδους, τους οποίους θα τοποθετήσουμε κάτω από την πλάκα θεμελίωσης στις θέσεις των υποστυλωμάτων.

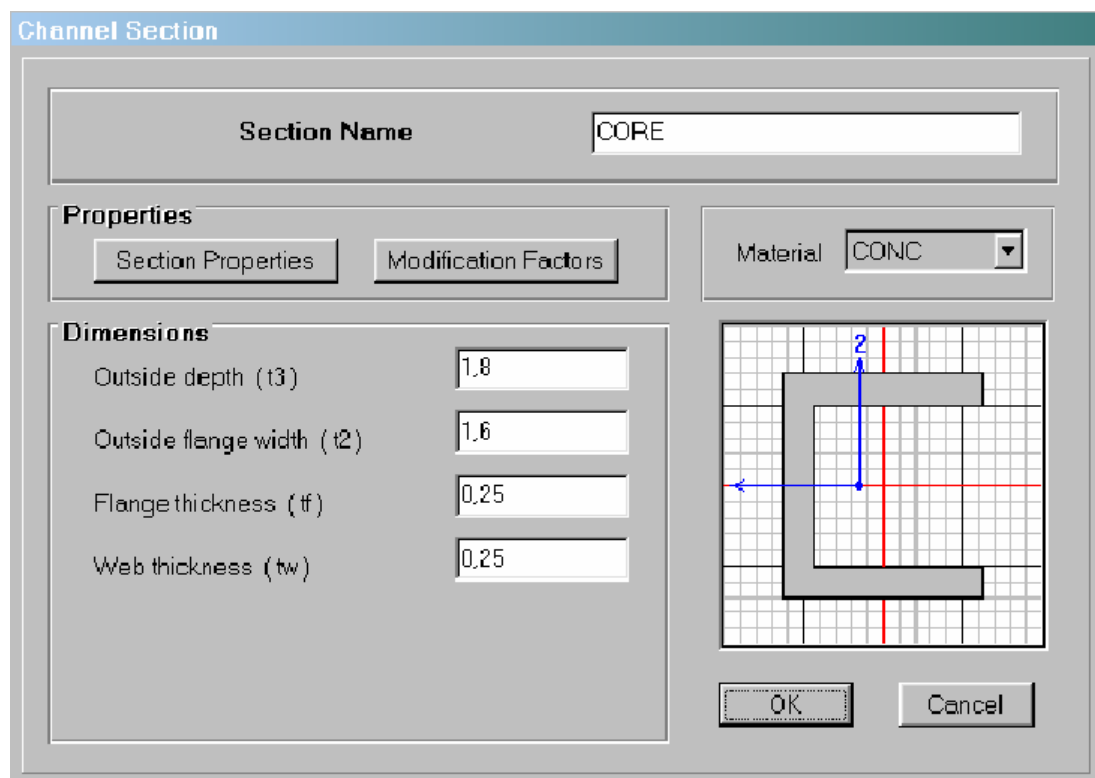
Οι διατομές των δοκών (Beam) και των υποστυλωμάτων (Column) είναι ορθογωνικές και είναι αυτές φαίνονται στα Σχήματα 9.5 και 9.6, ενώ η διατομή του τοιχίου φαίνεται στο Σχήμα 9.7. Τις διατομές ορίζουμε από την επιλογή του προγράμματος "*Define Frame sections*". (Οι μονάδες είναι σε m).

The screenshot shows the 'Rectangular Section' dialog box for a 'BEAM' section. The 'Section Name' field contains 'BEAM'. Under the 'Properties' section, there are buttons for 'Section Properties' and 'Modification Factors'. The 'Material' dropdown is set to 'CONC'. In the 'Dimensions' section, 'Depth (t3)' is 0.5 and 'Width (t2)' is 0.25. The 'Concrete' section has a 'Reinforcement' button. A graphical representation on the right shows a rectangle on a grid with a blue coordinate system (1, 2, 3) and red axes. At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Σχήμα 9.5 Διατομή Δοκών.

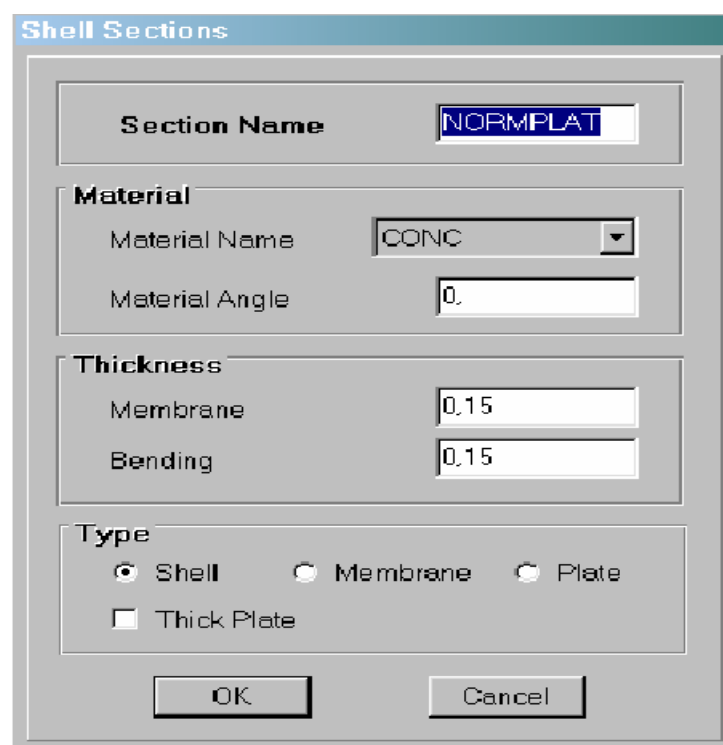
The screenshot shows the 'Rectangular Section' dialog box for a 'COLUMN' section. The 'Section Name' field contains 'COLUMN'. Under the 'Properties' section, there are buttons for 'Section Properties' and 'Modification Factors'. The 'Material' dropdown is set to 'CONC'. In the 'Dimensions' section, both 'Depth (t3)' and 'Width (t2)' are 0.4. The 'Concrete' section has a 'Reinforcement' button. A graphical representation on the right shows a square on a grid with a blue coordinate system (1, 2, 3) and red axes. Red dots representing reinforcement are visible on the square. At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Σχήμα 9.6 Διατομή Υποστυλωμάτων.



The 'Channel Section' dialog box is used to define the properties of a channel section. It includes a 'Section Name' field set to 'CORE'. Under the 'Properties' section, there are buttons for 'Section Properties' and 'Modification Factors', and a 'Material' dropdown menu set to 'CONC'. The 'Dimensions' section contains four input fields: 'Outside depth (t3)' with value 1.8, 'Outside flange width (t2)' with value 1.6, 'Flange thickness (tf)' with value 0.25, and 'Web thickness (tw)' with value 0.25. To the right is a graphical representation of the channel section on a grid, with a coordinate system showing a vertical axis labeled '2' and a horizontal axis. At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Σχήμα 9.7 Διατομή Τοιχίου



The 'Shell Sections' dialog box is used to define the properties of a shell section. It includes a 'Section Name' field set to 'NORMPLAT'. Under the 'Material' section, there is a 'Material Name' dropdown menu set to 'CONC' and a 'Material Angle' input field set to 0. The 'Thickness' section contains two input fields: 'Membrane' with value 0.15 and 'Bending' with value 0.15. The 'Type' section has three radio buttons: 'Shell' (selected), 'Membrane', and 'Plate'. There is also a checkbox for 'Thick Plate' which is unchecked. At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Σχήμα 9.8 Στοιχείο Πλάκας

### 9.1.3 Αποτελέσματα Ανάλυσης

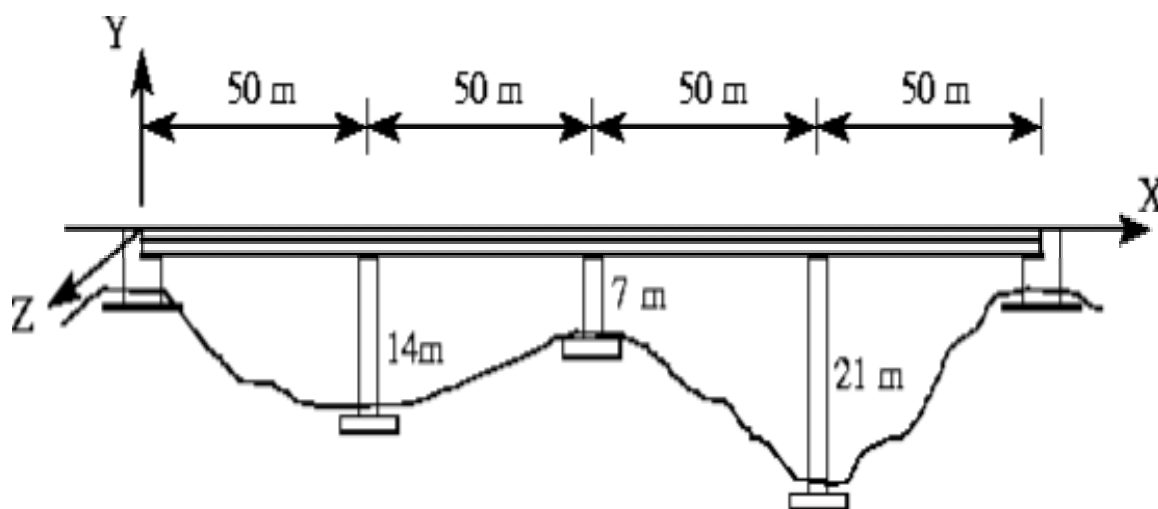
Στη συνέχεια παραθέτουμε κατά σειρά, τα προσομοιώματα του μη μονωμένου κτιρίου, του σεισμικά μονωμένου κτιρίου, και του σεισμικά μονωμένου κτιρίου με το τοιχίο. Έπειτα παρατίθενται και κάποια διαγράμματα τα οποία απεικονίζουν τα εξής μεγέθη:

1. Την χρονοϊστορία της εισαγόμενης, στην κατασκευή, σεισμικής ενέργειας (Input Energy), για το μη μονωμένο και για το σεισμικά μονωμένο κτίριο, με και χωρίς τοιχίο. Στην περίπτωση του σεισμικά μονωμένου κτιρίου, στο διάγραμμα της εισαγόμενης ενέργειας βλέπουμε ταυτόχρονα, και την ενέργεια που απορροφάται από τους μονωτήρες (NLLink Energy).
2. Την χρονοϊστορία της τέμνουσας βάσης της κατασκευής κατά τις διευθύνσεις x και y, για το μη μονωμένο και για το σεισμικά μονωμένο κτίριο, με και χωρίς τοιχώματα. (Base Shear X, Base Shear Y).
3. Την χρονοϊστορία της μετακίνησης ενός κόμβου (Joint 180) στην κορυφή του κτιρίου και ταυτόχρονα στο ίδιο διάγραμμα και ενός κόμβου στην βάση του κτιρίου (Joint 172) για το σεισμικά μονωμένο κτίριο με και χωρίς τοιχώματα, και ομοίως την χρονοϊστορία της μετακίνησης για τον αντίστοιχο κόμβο (Joint 180) του μη μονωμένου κτιρίου, κατά x και κατά y.
4. Την χρονοϊστορία της επιτάχυνσης που αναπτύσσεται σε έναν κόμβο (Joint 180) στην κορυφή του μη μονωμένου κτιρίου και επίσης την χρονοϊστορία της επιτάχυνσης που αναπτύσσεται στον αντίστοιχο κόμβο (Joint 180) του σεισμικά μονωμένου κτιρίου με και χωρίς τοιχίο, κατά x και κατά y.
5. Την σχέση Δύναμης-Μετόπισης, για έναν μονωτήρα του σεισμικά μονωμένου κτιρίου. (Force - Displacement).
6. Τέλος, παραθέτουμε τα δυναμικά χαρακτηριστικά του μη μονωμένου αλλά και του σεισμικά μονωμένου κτιρίου, δηλαδή, τις πρώτες ιδιομορφές για κάθε περίπτωση

## 9.2 Γέφυρα Τεσσάρων Ανοιγμάτων

### 9.2.1 Γενικά

Στο παράδειγμα που ακολουθεί θα μελετήσουμε την συμπεριφορά μιας γέφυρας τεσσάρων ανοιγμάτων, χωρίς και με, σεισμική μόνωση. Οι μονωτήρες θα τοποθετηθούν μεταξύ καταστρώματος και βάθρων. Η γεωμετρία της γέφυρας φαίνεται στο Σχήμα 9.9. Κατά την προσομοίωση της γέφυρας, χάριν απλότητας, θα θεωρήσουμε ότι αποτελεί ένα επίπεδο πλαίσιο, εντός του επιπέδου x-y, με δυνατότητα κίνησης και εκτός του επιπέδου αυτού. Τα τρία βάθρα της γέφυρας θεωρούμε ότι είναι πακτωμένα στο έδαφος και στις δύο περιπτώσεις, με και χωρίς σεισμική μόνωση, ενώ τα ακρόβαθρα θεωρούμε ότι είναι πακτωμένα στην περίπτωση της σεισμικά μονωμένης γέφυρας, και ότι στηρίζονται σε απλές εδράσεις, χωρίς δυνατότητα μετακίνησης όμως κατά την διεύθυνση z-z του σχήματος, στην περίπτωση της μη μονωμένης γέφυρας.



Σχήμα 9.9 Γεωμετρία Γέφυρας

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα στατικής και δυναμικής ανάλυσης "Sap 2000", θα πραγματοποιηθούν τα εξής:

1. Αρχικά πραγματοποιείται ανάλυση της μη μονωμένης γέφυρας του Σχήματος 9.9, με χρονική ολοκλήρωση του επιταχυνσιογραφήματος του σεισμού της Πάρνηθας (Σεπτέμβριος 1999). Οι τρεις συνιστώσες του



επιταχυνσιογράφηματος του σεισμού της Πάρνηθας εικονίζονται στα Σχήματα 9.2, 9.3 και 9.4.

2. Στη συνέχεια επιβάλλεται η ίδια σεισμική διέγερση για το ίδιο χρονικό διάστημα στη σεισμικά μονωμένη γέφυρα. Πραγματοποιείται ανάλυση με χρονική ολοκλήρωση του ίδιου επιταχυνσιογραφήματος, συγκρίνονται οι αποκρίσεις των δύο περιπτώσεων, και εξάγονται κάποια συμπεράσματα για την επίδραση των μονωτήρων στην σεισμική απόκριση της γέφυρας.
3. Τέλος, υπολογίζονται οι έξι πρώτες ιδιομορφές και για τις δύο περιπτώσεις, και συγκρίνονται οι τιμές των ιδιοπεριόδων τους.

### 9.2.2 Επιλογή Υλικών και Διατομών

Οι μονωτήρες που θα χρησιμοποιήσουμε είναι ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου, γνωστά ως L.R.B., τα οποία προσομοιώνονται στο πρόγραμμα "Sap 2000" με το στοιχείο μονωτήρα "Isolator 1", το οποίο ορίζουμε από την επιλογή του προγράμματος: "*Define NLLink Properties*". Οι τιμές των ιδιοτήτων κάθε στοιχείου είναι διαφορετικές για κάθε έναν από τους τέσσερις μονωτήρες και παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 9.1 Ιδιότητες Μονωτήρων Γέφυρας

	Ισοδύναμη Ακαμψία (KN/m)	Δύναμη Διαρροής (KN)	Ισοδύναμη Απόσβεση
Μονωτήρας 1 και 5	5300	2100	0,2
Μονωτήρας 2	16100	2100	0,2
Μονωτήρας 3	11500	2100	0,2
Μονωτήρας 4	47000	2100	0,2

Οι διατομές καταστρώματος (Deck) και βάθρου (Pier), είναι ορθογωνικές διατομές από οπλισμένο σκυρόδεμα, πάχους 0,27m και 0,4m αντιστοίχως. Τις διατομές αυτές ορίζουμε από την επιλογή του προγράμματος, "*Define Frame sections*", και είναι αυτές που εικονίζονται στη Σχήματα 9.10 και 9.11 (Οι μονάδες είναι σε m).

**Box/Tube Section**

**Section Name** DECK

**Properties**

Section Properties    Modification Factors

Material CONC

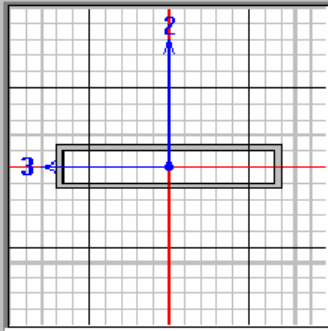
**Dimensions**

Outside depth (t3) 2.1

Outside width (t2) 11.13

Flange thickness (tf) 0.27

Web thickness (tw) 0.27



OK Cancel

Σχήμα 9.10 Διατομή Καταστώματος

**Box/Tube Section**

**Section Name** PIER

**Properties**

Section Properties    Modification Factors

Material CONC

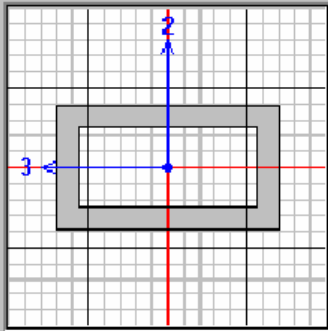
**Dimensions**

Outside depth (t3) 2.2

Outside width (t2) 4.

Flange thickness (tf) 0.4

Web thickness (tw) 0.4



OK Cancel

Σχήμα 9.11 Διατομή Βάθρου

### 9.2.3 Αποτελέσματα Ανάλυσης

Στη συνέχεια ακολουθούν, κατά σειρά, τα προσομοιώματα της μη μονωμένης και της σεισμικά μονωμένης γέφυρας, ενώ παρατίθενται και διαγράμματα τα οποία απεικονίζουν τα εξής μεγέθη:

1. Την χρονοϊστορία της εισαγόμενης, στην κατασκευή, σεισμικής ενέργειας (Input Energy), για την μη μονωμένη και για την σεισμικά μονωμένη γέφυρα. (Στην περίπτωση της σεισμικά μονωμένης γέφυρας, στο διάγραμμα της εισαγόμενης ενέργειας βλέπουμε ταυτόχρονα, και την ενέργεια που απορροφάται από τους μονωτήρες (NLLink Energy)).
2. Την χρονοϊστορία της τέμνουσας βάσης της κατασκευής, για την μη μονωμένη και για την σεισμικά μονωμένη γέφυρα, κατά τις διευθύνσεις x και y (Base Shear X, Base Shear Y).
3. Την χρονοϊστορία της μετακίνησης του κόμβου (Joint 13) στην κορυφή του πρώτου βάθρου (ύψους 14m) και ταυτόχρονα στο ίδιο διάγραμμα και του αντίστοιχου κόμβου του καταστρώματος (Joint 4) για την σεισμικά μονωμένη γέφυρα, και ομοίως την χρονοϊστορία της μετακίνησης για τον αντίστοιχο κόμβο της μη μονωμένης γέφυρας (Joint 4), αφού χωρίς τους μονωτήρες ο κόμβος 13 είναι κοινός για το κατάστρωμα και το πρώτο βάθρο.
4. Ομοίως με προηγουμένως, την χρονοϊστορία της μετακίνησης του κόμβου, πάνω και κάτω από τον μονωτήρα του δεύτερου βάθρου (ύψους 7m) (Joint 3 και Joint 11), και την χρονοϊστορία για το αντίστοιχο κόμβο (Joint 3) της μη μονωμένης γέφυρας.
5. Ομοίως και για το τρίτο βάθρο (ύψους 21m). (Joint 6 κάτω από τον μονωτήρα και Joint 1 πάνω από τον μονωτήρα, και Joint 1 για την μη μονωμένη γέφυρα).
6. Την χρονοϊστορία της επιτάχυνσης που αναπτύσσεται σε έναν κόμβο της μη μονωμένης γέφυρας (Joint 1) κατά x και κατά y, και ομοίως, στο ίδιο διάγραμμα, για τον αντίστοιχο κόμβο (Joint 1) της σεισμικά μονωμένης

γέφυρας. (Συγκεκριμένα, Joint 1 είναι ο κόμβος του καταστρώματος πάνω από το βάθρο 3, ύψους 21m).

7. Την σχέση Δύναμης-Μετατόπισης, για κάθε έναν από τους μονωτήρες της σεισμικά μονωμένης γέφυρας. (Force - Displacement).
8. Τέλος, παραθέτουμε τα δυναμικά χαρακτηριστικά της μη μονωμένης αλλά και της σεισμικά μονωμένης γέφυρας, δηλαδή, τις πρώτες έξι ιδιομορφές για κάθε περίπτωση.