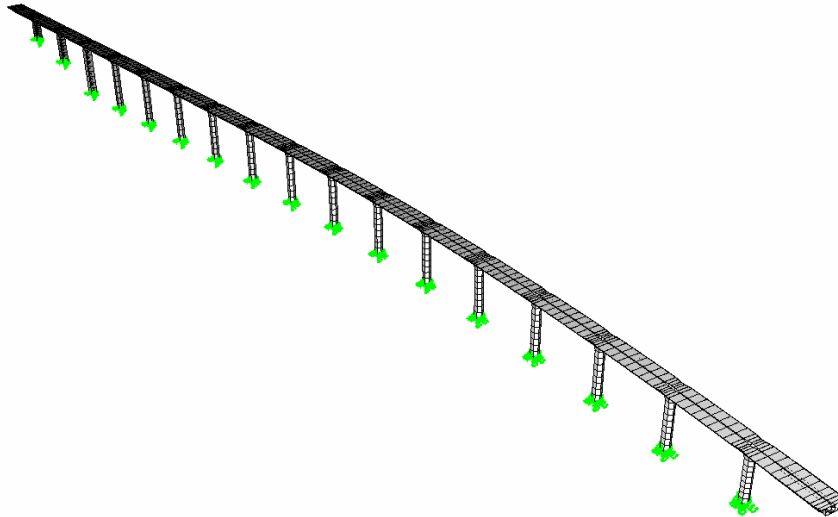


## Σιδηροδρομική Γέφυρα Ποταμού Αξιού - Τεχνικό Τ12



**Παπαδόπουλος Ηλίας**  
Πολ. Μηχανικός Α.Π.Θ. MSc

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

1

## ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ

- DS 804 → Κλάση UIC 71, ταχύτητα μελέτης  $v \leq 200 \text{ km/h}$
- Γερμανικοί Κανονισμοί DIN
  - DIN 1055 : Παραδοχές φορτίων
  - DIN 1072 : Οδογέφυρες και πεζογέφυρες. Παραδοχές φορτίων
  - DIN 1045 : Κατασκευές από απλό και οπλισμένο σκυρόδεμα
  - DIN 1075 : Γέφυρες από σκυρόδεμα
  - DIN 4227/1 : Προεντεταμένο σκυρόδεμα
  - DIN 4014 : Έγχυτοι πάσσαλοι
  - DIN 4085 : Έδαφος θεμελίωσης. Υπολογισμός ώθησης γαιών
- Ε.Α.Κ. - Εγκύκλιος 39/99
- Οδηγίες για μελέτη γεφυρών με σεισμική μόνωση
- Οδηγίες Εκπόνησης Μελετών της ΕΡΓΑ Ο.Σ.Ε. Α.Ε.

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

2

## ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ

βασισμένες σε:

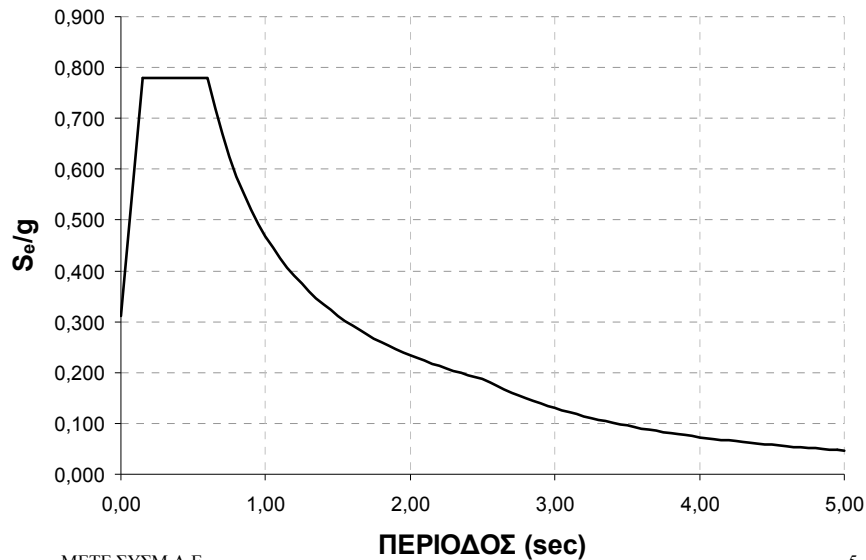
- EN 1998-2 Ευρωκώδικας 8 – Μέρος 2:  
Αντισεισμικός σχεδιασμός γεφυρών
- AASHTO Guide Specifications for Seismic  
Isolation Design

## ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ

Ε.Α.Κ. – Εγκ. 39/99 – Ο.Σ.Μ.

- Σεισμική επιτάχυνση εδάφους  $\alpha_0=0,24g$
- Συντελεστής σπουδαιότητας  $\gamma=1,3$
- Συντελεστής μετελ. συμπεριφοράς  $q=1,0$
- Συντελεστής θεμελίωσης  $\theta=1,0$
- Κατηγορία εδάφους B

## Ελαστικό φάσμα σχεδιασμού $q=1$ (ΟΣΜ)



5

## Προσομοίωση - Ανάλυση

- Συνολικό μήκος γέφυρας  $L=40+16 \times 45+40=800\mu$ .
- Διατομή μονοκυψελικού κιβωτίου πλάτους 13,9μ.
- Μεσόβαθρα κοίλης κυκλικής διατομής  $\varnothing 4,5\mu$ . με πάχος τοιχωμάτων 0,5μ. και καθαρά ύψη  $15,0 \div 36,2\mu$ .
- Προσομοίωση με γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία
- Λαμβάνονται υπόψη:
  - Η καμπυλότητα σε κάτοψη και η κατά μήκος κλίση 1,6%
  - Η ενίσχυση της διατομής στη στήριξη
  - Η τμηματική κατασκευή του έργου
  - Ακριβής γεωμετρία προέντασης
  - Ερπυσμός – συστολή ξήρανσης από  $t_0 \div t_{\infty}$

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

6

## Θεμελίωση Μεσοβάθρων (Κεφαλόδεσμοι-Πάσσαλοι)

- Προσομοίωση στο “βασικό” μοντέλο με 6 ισοδύναμα ελατήρια (3 γραμμικά και 3 στροφικά)
- Προσδιορισμός τιμών ελατηρίων με ανεξάρτητη προσομοίωση μέσω επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων (κεφαλόδεσμος) και γραμμικών με συνεχή πλευρική ελαστική έδραση (πάσσαλοι)
- Ομάδες τιμών για στατικές και σεισμικές φορτίσεις
- Χρήση προσομοιωμάτων για έλεγχο φέρουσας ικανότητας πασσάλων και διαστασιολόγηση θεμελίωσης
- Έλεγχοι με θεώρηση υποσκαφής στην ευρεία κοίτη

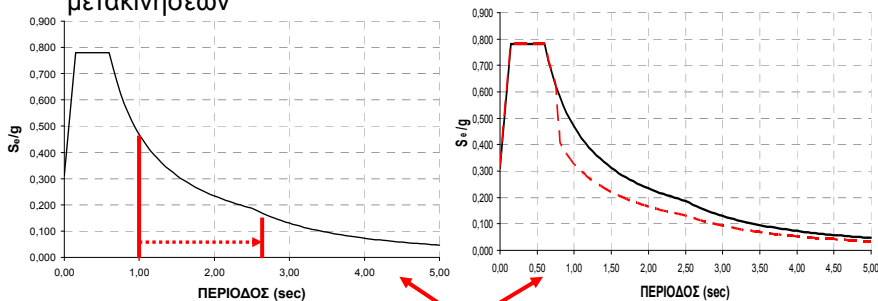
ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

7

## Σεισμική Μόνωση

Στόχος → Μείωση της σεισμικής απόκρισης  
(δυνάμεις, μετακινήσεις) με:

- Επιμήκυνση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου αλλά με αύξηση των μετακινήσεων
- Αύξηση της ικανότητας απόσβεσης (μείωση μετακινήσεων, δυνάμεων)



- Συνδυασμό των παραπάνω

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

8

Υψηλή θεμελιώδης ιδιοπερίοδος μη σεισμικά μονωμένης γέφυρας λόγω:

- Μήκους γέφυρας
- Ύψους μεσοβάθρων
- Μεγέθους μονίμων φορτίων (έρμα κ.τ.λ.)

**ΟΠΟΤΕ**

κύριος στόχος κατά το σχεδιασμό της σεισμικής μόνωσης στο συγκεκριμένο έργο

**η αύξηση της δυνατότητας απορρόφησης ενέργειας**

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

9

**Πρόσθετα δεδομένα επιλογής στοιχείων συστήματος μόνωσης:**

- Ικανότητα παραλαβής κατακόρυφων φορτίων ανωδομής
- Δυνατότητα επανακέντρωσης φορέα μετά το σεισμό
- Επαρκής δυσκαμψία υπό λειτουργικές οριζόντιες δράσεις (άνεμος, τροχοπέδηση, φυγόκεντρες δυνάμεις)
- Η κατά το δυνατόν μικρότερη εξάρτηση των μηχανικών ιδιοτήτων των μονωτήρων από παράγοντες όπως η γήρανση και η θερμοκρασία περιβάλλοντος

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

10

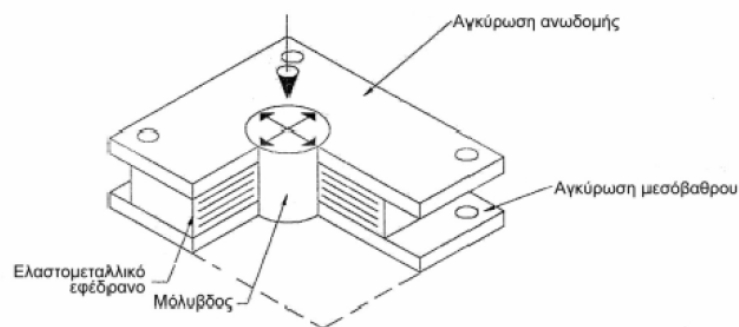
## Εφαρμογή συστήματος μόνωσης

- Έδραση φορέα ανωδομής μέσω δύο ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου (LRB) σε κάθε μεσόβαθρο σε συνδυασμό με αντισεισμικά stoppers ανενεργά κατά το σεισμό σχεδιασμού. Στα ακραία και χαμηλού ύψους M1, M2, M17 τα εφέδρανα διαμορφώνονται κινητά στη διαμήκη διεύθυνση (επίδραση ερπυσμού, συστολής, θερμοκρασίας)
- Έδραση στα ακρόβαθρα μέσω δύο εφεδράνων ολίσθησης και ενός εφεδράνου διατμητικής κλείδας κινητού στη διαμήκη διεύθυνση για την αποφυγή σχετικών μετακινήσεων επιδομής γραμμής μεταξύ επιχώματος και φορέα γέφυρας
- Τοποθέτηση υδραυλικών αποσβεστήρων ιξώδους συμπεριφοράς (viscous dampers) με λειτουργία στη διαμήκη διεύθυνση

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

11

## Εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου LRB

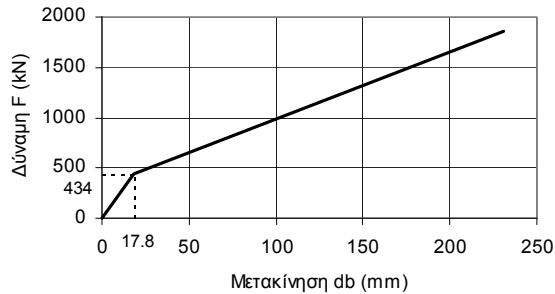


- Διαστάσεις γενικά 1200x1200/231-200 ( $t_{el}=231\text{mm}$ ,  $\varnothing_L=200\text{mm}$ ) εκτός των M3 και M16 (1200x1200/286-250)
- Φέρουσα ικανότητα σε κατακόρυφο φορτίο 22500kN
- Χρήση τιμών παραμέτρων σχεδιασμού (ΤΠΣ):
  - Μέτρο διάτμησης ελαστομερούς  $G_R=1,1\text{MPa}$
  - Μέτρο διάτμησης μολύβδου  $G_L=130\text{MPa}$
  - Τάση διαρροής μολύβδου  $f_{Ly}=10\text{MPa}$

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

12

## ΤΠΣ LRB 1200x1200/231-200



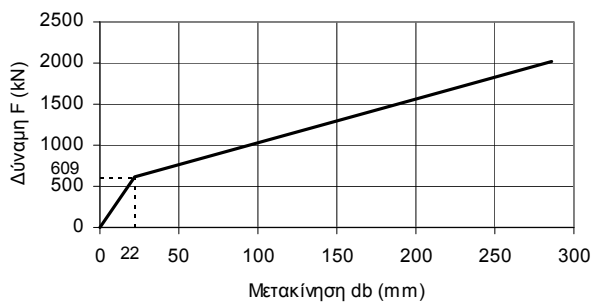
- $F_o = A_L f_{Ly}$
- $K_{pl} = G_R A_R / \Sigma t_i$
- $d_y = f_{Ly} \Sigma t_i / G_L$
- $F_y = F_o + K_{pl} d_y$

- $K_{pl}(ΑΤΠΣ) = 1,188 \times K_{pl}(ΚΤΠΣ)$
- $F_o(ΑΤΠΣ) = 1,27 \times F_o(ΚΤΠΣ)$

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

13

## ΤΠΣ LRB 1200x1200/286-250



- $F_o = A_L f_{Ly}$
- $K_{pl} = G_R A_R / \Sigma t_i$
- $d_y = f_{Ly} \Sigma t_i / G_L$
- $F_y = F_o + K_{pl} d_y$

- $K_{pl}(ΑΤΠΣ) = 1,188 \times K_{pl}(ΚΤΠΣ)$
- $F_o(ΑΤΠΣ) = 1,27 \times F_o(ΚΤΠΣ)$

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

14

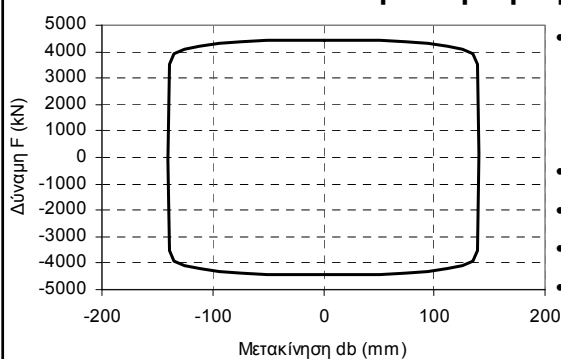
## Έδραση στα ακρόβαθρα

- Δύο σημειακά εφέδρανα ολίσθησης με δυνατότητα παραλαβής κατακόρυφου μόνο φορτίου 11000kN
- Εφέδρανο διαμητρικής κλείδας κινητό στη διαμήκη διεύθυνση με δυνατότητα παραλαβής οριζόντιου φορτίου 4000kN εγκάρσια στον άξονα της γέφυρας
- Δύο αποσβεστήρες απλής δράσης μέγιστου φορτίου 4500kN σε κάθε ακρόβαθρο

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

15

## Υδραυλικοί Αποσβεστήρες ιξώδους συμπεριφοράς



- $\alpha=0,15 \rightarrow$  η απόσβεση ξεκινά από χαμηλές ταχύτητες (μέγιστος περιορισμός σεισμικών μετακινήσεων)
- Ημιονοειδής κίνηση
- $C=5440\text{kNs/m}$
- $T_{\text{eff}}=3,4\text{s}$
- $d_p=140\text{mm}$

$$F = C v^{0,15}$$

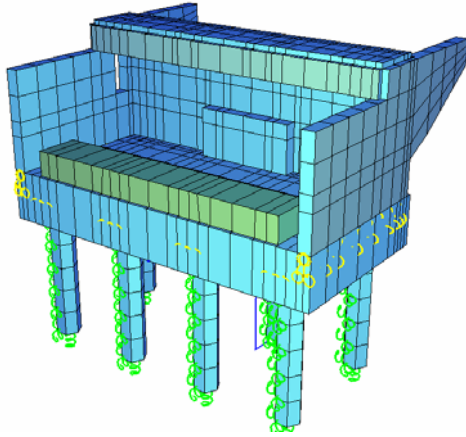
όπου F η μέγιστη αντίδραση σε kN, C η σταθερά απόσβεσης και v η ταχύτητα κίνησης του εμβόλου σε m/s

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

16



## Επίλυση ακροβάθρων



Ακρόβαθρο Α1

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

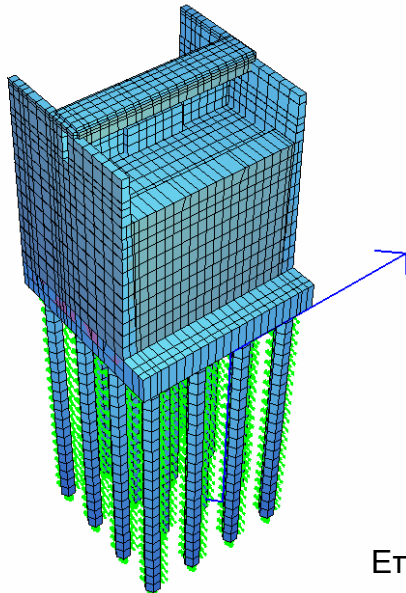
Αποτελείται από:

- Θωράκιο
- Δοκός έδρασης
- Πλευρικοί τοίχοι
- Πτερυγότοιχοι
- Άνω πλάκα
- Δοκός άνω πλάκας
- Κεφαλόδεσμος
- Πάσσαλοι

Προσομοίωση με:

Επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία  
πλην των πασσάλων

17



Ακρόβαθρο Α2

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

Αποτελείται από:

- Θωράκιο
- Δοκός έδρασης
- Πλευρικοί τοίχοι
- Πτερυγότοιχοι
- Άνω πλάκα
- Κεφαλόδεσμος
- Πάσσαλοι

Προσομοίωση με:

Επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία  
πλην των πασσάλων

18

## Απλοποιημένη ανάλυση διάταξης σεισμικής μόνωσης

- Υπολογισμός με χρήση απλών υπολογιστικών μοντέλων βασισμένων στη μέθοδο του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος (Κεφ. 5 ΟΣΜ)
- Εκτίμηση δυναμικών χαρακτηριστικών του φορέα (ενεργός δυσκαμψία, απόσβεση, θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι ταλάντωσης) και των σεισμικών δυνάμεων και μετακινήσεων ανωδομής-μονωτήρων
- Επιρροή μεταβλητότητας των παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων στη σεισμική συμπεριφορά της γέφυρας
- Αξιολόγηση παραδοχών μελέτης αναφορικά με τη δυσκαμψία του εδάφους θεμελίωσης και των στύλων των μεσοβάθρων
- Ανάλυση με χρήση υπολογιστικών φύλλων (Excel)

METE ΣΥΣΜ Α.Ε.

19

## Οριζόντια δυσκαμψία μεσοβάθρων

- Προσδιορισμός της σύνθετης δυσκαμψίας στύλου-θεμελίωσης από το “βασικό” μοντέλο
- $\rho=1,25\%$  και  $\rho=2,5\%$  και  $f_{cm}=38\text{MPa}$

“Εύκαμπτα” βάρθρα → Θεώρηση ενεργού δυσκαμψίας  $(EJ)_{\text{eff}}$  σύμφωνα με Ε39/99, Παρ. Δ, Μέθ. 1

“Δύσκαμπτα” βάρθρα → Θεώρηση ενεργού δυσκαμψίας  $(EJ)_{\text{eff}}$  ίσης με τον μέσο όρο δυσκαμψίας στη διαρροή οπλισμού και δυσκαμψίας σε στάδιο I

$$K_{\text{pier}}=40\%K_{\text{pier,el}}$$

$$K_{\text{pier}}=65\%K_{\text{pier,el}}$$

METE ΣΥΣΜ Α.Ε.

20

## Ανάλυση στη διαμήκη διεύθυνση

- Βήμα 1 → Εκτίμηση αρχικής μετακίνησης σχεδιασμού  $d_{cd}$
- Βήμα 2 → Εκτίμηση μετακίνησης σχεδιασμού μονωτήρων  $d_{bd,i}$  και υπολογισμός της ενεργού (τέμνουσας) δυσκαμψίας των εφεδράνων
 
$$F_{max,i} = F_o + K_{pi} d_{bd,i}$$

$$K_b = F_{max,i} / d_{bd,i}$$
- Βήμα 3 → Υπολογισμός σύνθετης δυσκαμψίας  $K_{eff,i}$  βάρου-εφεδράνου και επανυπολογισμός της  $d_{bd,i}$ . Αν προκύπτει διαφορά μεγαλύτερη του 5% οι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται από το βήμα 2 με τη νέα τιμή  $d_{bd,i}^n$ 

$$K_{eff,i} = K_{bi} K_{pi} / (K_{bi} + K_{pi})$$

$$d_{bd,i}^n = d_{cd} K_{eff,i} / K_{bi}$$

METE ΣΥΣΜ Α.Ε.

21

- Βήμα 4 → Υπολογισμός της ενεργού δυσκαμψίας του φορέα και της συνολικά αποσβενόμενης ενέργειας του συστήματος ανά κύκλο ταλάντωσης (εφέδρανα+αποσβεστήρες+σύστημα στύλων-θεμελίωσης). Υπολογίζεται επιπλέον η ενεργός απόσβεση  $\xi_{eff}$  του συστήματος σεισμικής μόνωσης και ο διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης.
 
$$K_{eff} = \sum K_{eff,i}$$

$$E_D = \sum E_{Db,i} + \sum E_{Dvd,i} + \sum E_{Dp,i}$$

$$E_{Db} = 4(F_y d_{bd,i} - F_{max,i} d_y)$$

$$E_{Dvd} = \lambda(\alpha) F_{max} d_b$$

$$\sum E_{Dp,i} = \sum (2\pi K_{pi} d_{pi}^2 \xi_p)$$
 με  $d_{pi} = d_{cd} - d_{bd,i}$   
 και  $\xi_p = 5\%$   

$$\xi_{eff} = E_D / (2\pi K_{eff} d_{cd}^2)$$
  

$$n_{eff} = \sqrt{[0,10 / (0,05 + \xi_{eff})]}$$
- Βήμα 5 → Υπολογισμός  $T_{eff}$ , φασματικής επιτάχυνσης  $S_e/g$ , μέγιστης σεισμικής τέμνουσας  $V_d$  και μετακίνησης σχεδιασμού  $d_{cd}$ . Αν η διαφορά με την αρχική  $d_{cd}$  είναι >5% επαναλαμβάνονται οι υπολογισμοί από το Βήμα 1 με τη νέα τιμή.
 
$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{[W_d / (g K_{eff})]}$$

$$S_e/g \text{ από το φάσμα}$$

$$V_d = W_d S_e/g$$

$$d_{cd} = V_d / K_{eff}$$

METE ΣΥΣΜ Α.Ε.

22

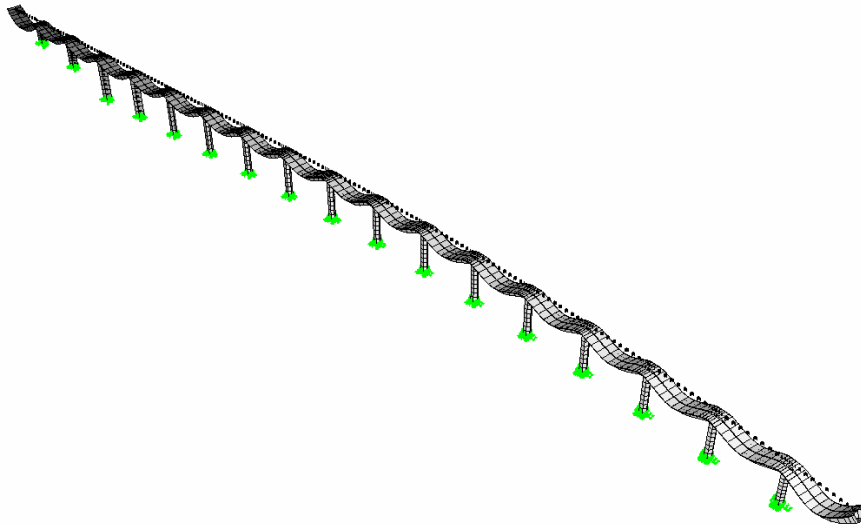
## Ανάλυση στην εγκάρσια διεύθυνση

- Ανάλογη διαδικασία με τη διαμήκη διεύθυνση
- Τροποποίηση λόγω εγκάρσιας δέσμησης στις θέσεις ακροβάθρων και ανομοιομορφίας στη δυσκαμψία συστημάτων μεσοβάθρων-μονωτήρων σε σχέση με μετατόπιση στερεού σώματος
- Χρήση απλοποιημένου επίπεδου μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων
- Συμμετοχή στην απορρόφηση ενέργειας της ελαστικής παραμόρφωσης του φορέα με  $\xi=4\%$

## Αποτελέσματα απλοποιημένης ανάλυσης

- Οι μετακινήσεις της ανωδομής που υπολογίζονται με τη χρήση ανώτερων και κατώτερων τιμών παραμέτρων σχεδιασμού διαφέρουν λιγότερο από 15% οπότε γίνεται χρήση ΚΤΠΣ στο δυναμικό αντισεισμικό υπολογισμό (φασματική ανάλυση, μη γραμμική δυναμική ανάλυση)
- Η παραδοχή των “δύσκαμπτων” βάθρων δίνει εν γένει δυσμενέστερα αποτελέσματα από την “εύκαμπτη” λύση (25% αύξηση των δυνάμεων και 20÷40% αύξηση των σχετικών μετακινήσεων εφεδράνων με ίδια πρακτικά(4% διαφορά)  $d_{cd}$ ) και υιοθετείται στους υπολογισμούς.

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ



ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

25

## Προσομοίωση στοιχείων σεισμικής μόνωσης

- Εφέδρανα LRB : 2 οριζόντια και 1 κατακόρυφο ελατήριο
  - Δυστένεια  $E_c = 6GS^2[1/(1+6GS^2/K)]$  με  $K=2000\text{MPa}$
  - Δυσμησία:
    - Σε μη σεισμικές άμεσα επιβαλλόμενες φορτίσεις λαμβάνεται η πλήρης ελαστική δυσμησία και παράλληλα  $F < F_y$
    - Σε μη σεισμικές αργά επιβαλλόμενες φορτίσεις λόγω καταναγκασμών λαμβάνεται το 50% της ελαστικής δυσμησίας κατόπιν αιτιολόγησης
    - Σε σεισμικές φορτίσεις λαμβάνεται η ενεργός (effective) δυσμησία των εφεδράνων σύμφωνα με τα διαγράμματα δύναμης-μετακίνησης και έπειτα από διαδοχικές προσεγγίσεις
  - Χρήση ΚΤΠΣ
  - Μηδενισμός των τιμών των ελατηρίων στα εφέδρανα με δυνατότητα ολίσθησης
  - Μεγάλες τιμές ελατηρίου για τη δέσμευση μετακίνησης της κλειδας

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

26

- Αποσβεστήρες

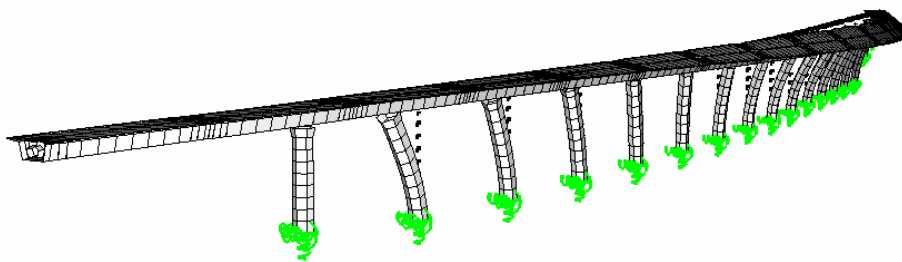
- Η επιρροή τους λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό της αποσβενόμενης ενέργειας του συστήματος ανά κύκλο ταλάντωσης και στη συνέχεια για τον προσδιορισμό της ενεργού απόσβεσης  $\xi_{eff}$  και της φασματικής επιτάχυνσης σχεδιασμού. Η συνεισφορά τους στην ενεργό δυσκαμψία του συστήματος μόνωσης δεν λαμβάνεται υπόψη

### Ισοδύναμη γραμμική δυναμική φασματική ανάλυση

- Βήμα 1 → Εκτίμηση κοινής αρχικής δυσκαμψίας των εφεδράνων  $K_{bi}$  για όλα τα βάθρα. Υπολογισμός  $T_{eff}$  σε κάθε διεύθυνση και εκτίμηση της ενεργού απόσβεσης του συστήματος  $\xi_{eff}$  και του διορθωτικού συντελεστή απόσβεσης  $n_{eff}$
- Βήμα 2 → Ιδιομορφική φασματική ανάλυση με χρήση τροποποιημένου ελαστικού φάσματος απόκρισης ( $n=n_{eff}$  για  $T>0,8T_{eff}$  αλλιώς  $n=1$  και τροποποίηση για  $T>T_D$ ). Υπολογισμός διανύσματος συνολικών μετακινήσεων  $d$  για κάθε διεύθυνση, μετακινήσεων κεφαλών στύλων  $d_p$  και μονωτήρων  $d_b$ .

- Βήμα 3 → Υπολογισμός δυσκαμψιών εφεδράνων, συνολικής αποσβενόμενης ενέργειας του φορέα και του ποσοστού απόσβεσης  $\xi_{eff}$ . Επανυπολογισμός της  $T_{eff}$ .
- Βήμα 4 → Επανεπίλυση φορέα. Οι νέες τιμές των φασματικών μετακινήσεων  $d^{(n)}$ ,  $d_p^{(n)}$  και  $d_b^{(n)}$  συγκρίνονται με τις προηγούμενες. Αν η διαφορά είναι μεγαλύτερη από 5% οι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται από το Βήμα 3 με τις νέες μετακινήσεις.

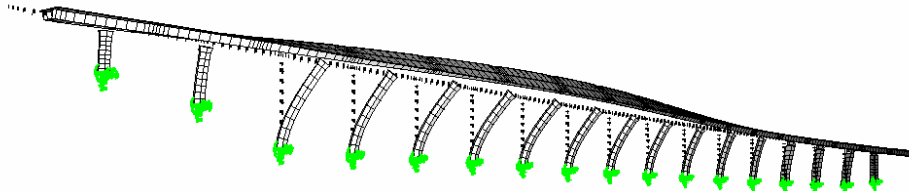
## Αποτελέσματα Ανάλυσης



Εγκάρσια διεύθυνση:

$$T_{y,eff}=3,466s, \xi_{eff}=8,1\% \text{ και } S_{e,\gamma}/g=0,085$$

## Αποτελέσματα Ανάλυσης



Διαμήκης διεύθυνση:

$$T_{x,eff}=3,447s, \xi_{eff}=39,5\%, d_{cd}=0,14\mu. \text{ και } S_{e,x}/g=0,0467$$

## ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΑΣ

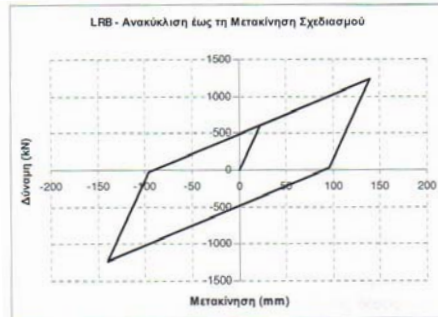
- Ανάλυση για τα σεισμικά μόνο φορτία
- Φορτία με μορφή επιταχυνσιογραφημάτων
- Μη γραμμικότητα στα εφέδρανα LRB και τους αποσβεστήρες ( $\alpha=1,0$ )
- Στόχος ανάλυσης → Επαλήθευση αποτελεσμάτων σχεδιασμού-διαστασιολόγησης σεισμικά μονωμένης γέφυρας



## Μη γραμμική συμπεριφορά LRB



LRB 1200x1200/231-200



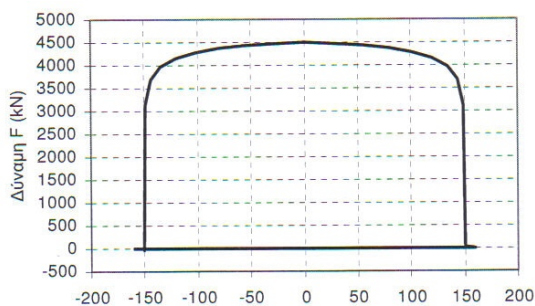
LRB 1200x1200/286-250

- Μοντελοποίηση με στοιχεία Link τύπου Rubber Isolator
- Χρήση ΚΤΠΣ

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

33

## Μη γραμμική συμπεριφορά υδραυλικών αποσβεστήρων ιξώδους συμπεριφοράς



- Αποσβεστήρες απλής δράσης
- $C=5440\text{kNs/m}$
- Σχεδίαση για  $T_{\text{eff}}=3,4\text{s}$  και  $d_b=150\text{mm}$

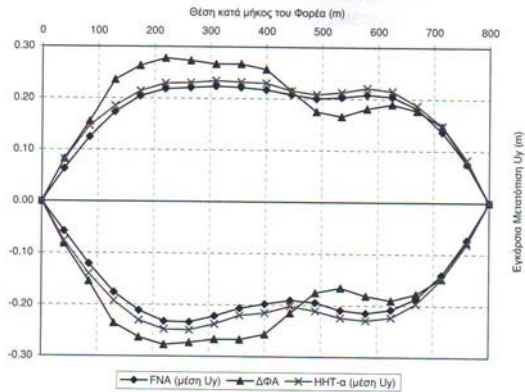
Μοντελοποίηση με στοιχείο Link τύπου Damper (μοντέλο Maxwell) με λειτουργία διπλής δράσης σε σειρά με στοιχείο Gap για την προσομοίωση της λειτουργίας απλής δράσης

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

34

## Μέθοδοι Ανάλυσης Χρονοϊστορίας

Χρήση δύο μεθόδων για σύγκριση και εκτίμηση της ευαισθησίας στη μέθοδο επίλυσης



- Fast Nonlinear Analysis (FNA) – Υπό προϋποθέσεις
- Μη γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας με άμεση ολοκλήρωση των εξισώσεων κίνησης – Γενική μέθοδος. Χρήση αλγορίθμου Hilber-Hughes-Taylor alpha (HHT- $\alpha$ ) με  $\alpha=0,30$
- Διαφορές της τάξης του 5%

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

35

## Επιταχυνσιογραφήματα

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις των ΟΣΜ απαιτούνται min 3 ζεύγη οριζοντίων συνιστωσών χρονοϊστοριών συμβατών με φάσμα σχεδιασμού

Προβλήματα:

- Αναλογικές καταγραφές
- Μειωμένη αξιοπιστία για  $T > 2s$  λόγω φίλτρων
- Μικρά μεγέθη καταγεγραμμένων σεισμών

Μέσω ΙΤΣΑΚ προέκυψαν 3 πραγματικές καταγραφές από Ελλάδα και 3 από Ιταλία

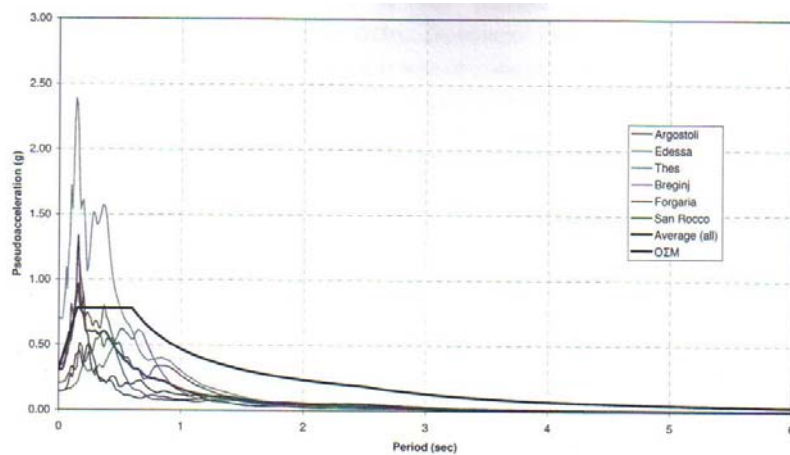
Τελικά χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω καταγραφές:

- Θεσσαλονίκη – City Hotel
- Έδεσσα
- San Rocco

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

36

## Κλιμάκωση φασμάτων



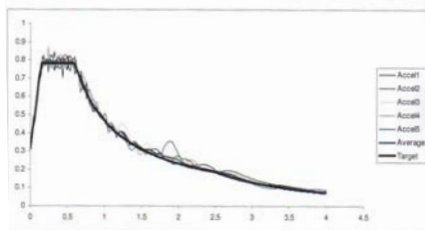
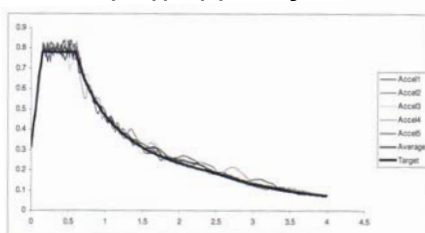
Σύμφωνα με τις απαιτήσεις των ΟΣΜ με τη λογική ίσων εμβαδών προκύπτει συντελεστής αναγωγής ίσος με 3,08

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

37

## Συνθετικά Επιταχυνσιογραφήματα

Παραγωγή συνθετικών επιταχυνσιογραφημάτων μέσω του προγράμματος ASING (Σέξτος, Πιπιλάκης, Κάππος)



Παραδοχές:

- Τραπεζοειδής συνάρτηση μορφής
- Διάρκεια ισχυρής σεισμικής κίνησης 5s
- Συνολική διάρκεια 20s
- Παρήχθησαν 10 ζεύγη εκ των οποίων χρησιμοποιήθηκαν οι 7

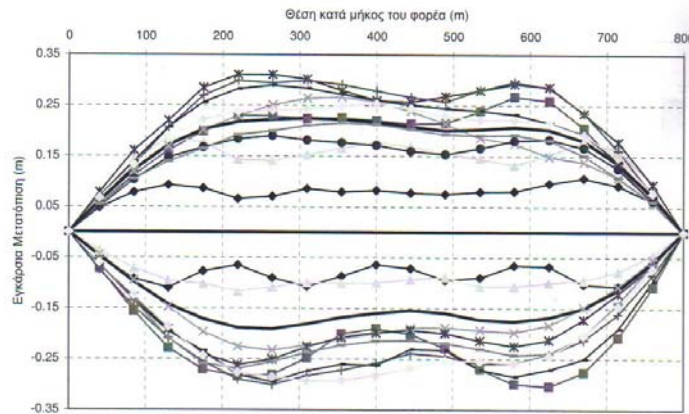
Σύγκριση φασμάτων απόκρισης

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

38

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

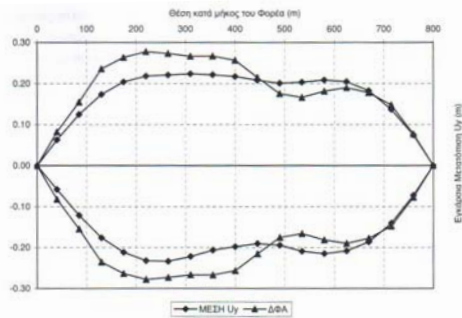
Ανάλυση για 10 ζεύγη (>7) οπότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι μέσοι όροι για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων



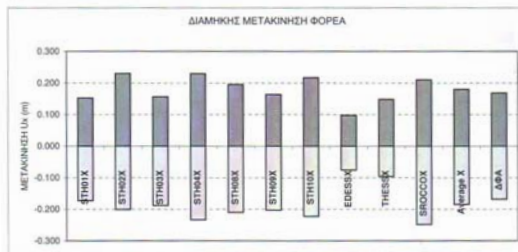
Max, min και μέσες μετακινήσεις (Υ) για όλες τις χρονοϊστορίες

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

39



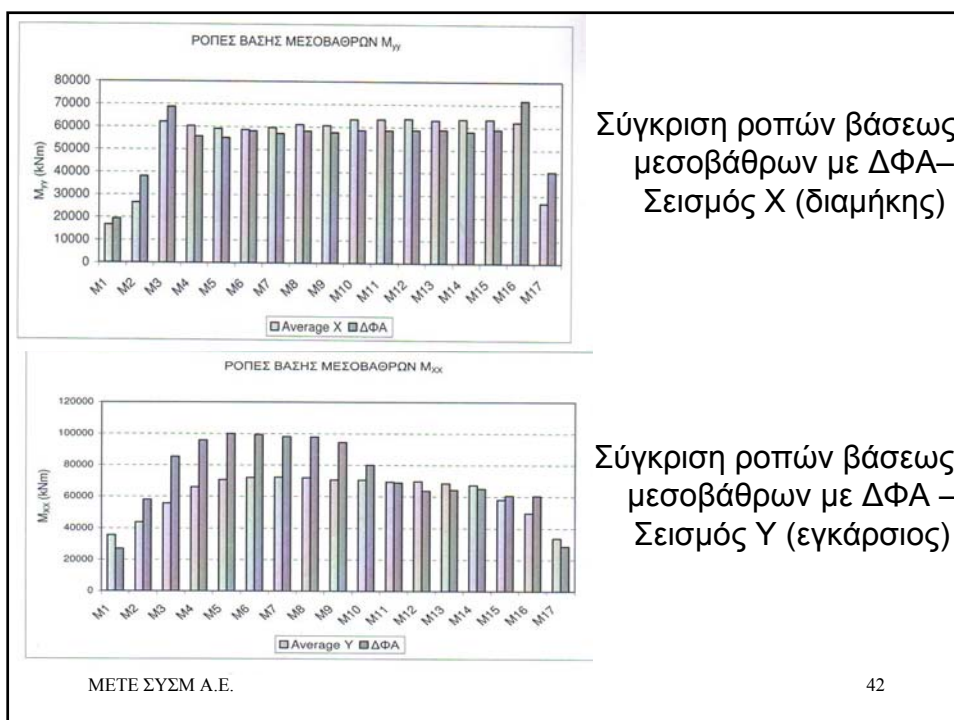
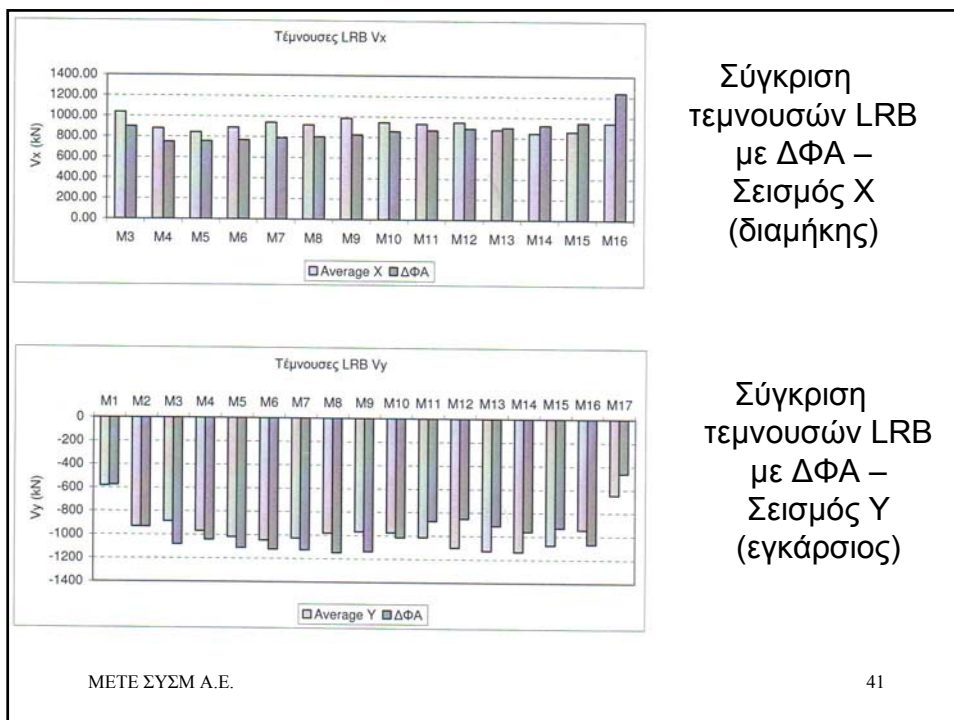
Σύγκριση εγκάρσιων μετακινήσεων με ΔΦΑ



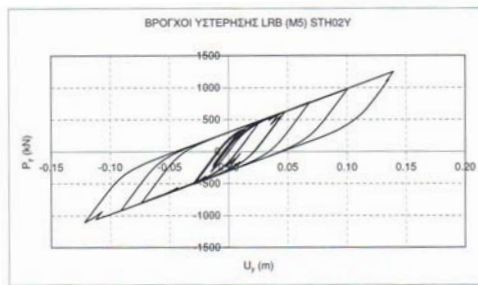
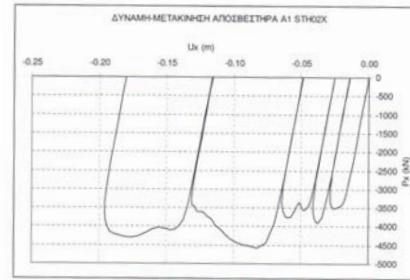
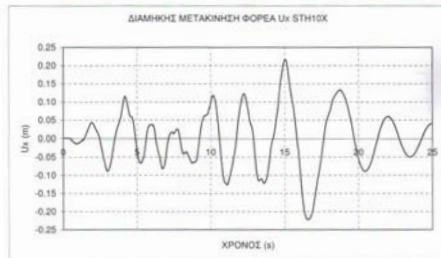
Σύγκριση διαμήκων μετακινήσεων με ΔΦΑ

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

40



## ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ



ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

43

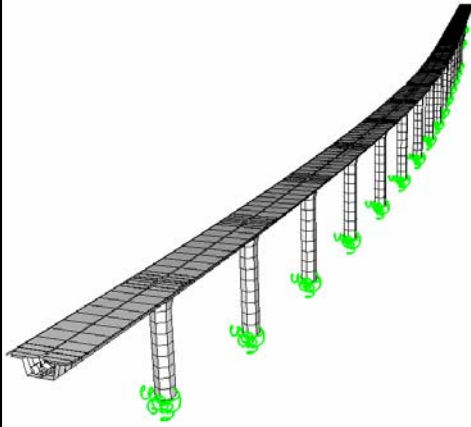
## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Επάρκεια επιλεχθέντων στοιχείων σεισμικής μόνωσης
- Ικανοποιητική συμπεριφορά φορέα σε σεισμό
- Ικανότητα απορρόφησης ενέργειας από μονωτήρες
- Συνδυασμός ιξώδους και υστερητικής απόσβεσης στη διαμήκη διεύθυνση ανταποκρίνεται σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων ταλάντωσης
- Τοπικές υπερβάσεις μετακινήσεων, δυνάμεων καλύπτονται σε κάθε περίπτωση είτε πρόκειται για τα εφέδρανα (επάρκεια γωνιακής παραμόρφωσης, τέμνουσας) είτε για τα μεσόβαθρα ( $\rho_{\min}=1,25\%$ )

ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

44

## Σιδηροδρομική Γέφυρα Ποταμού Αξιού - Τεχνικό Τ12



ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε.

45