

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ»

A.Σ.Τ.Ε. II

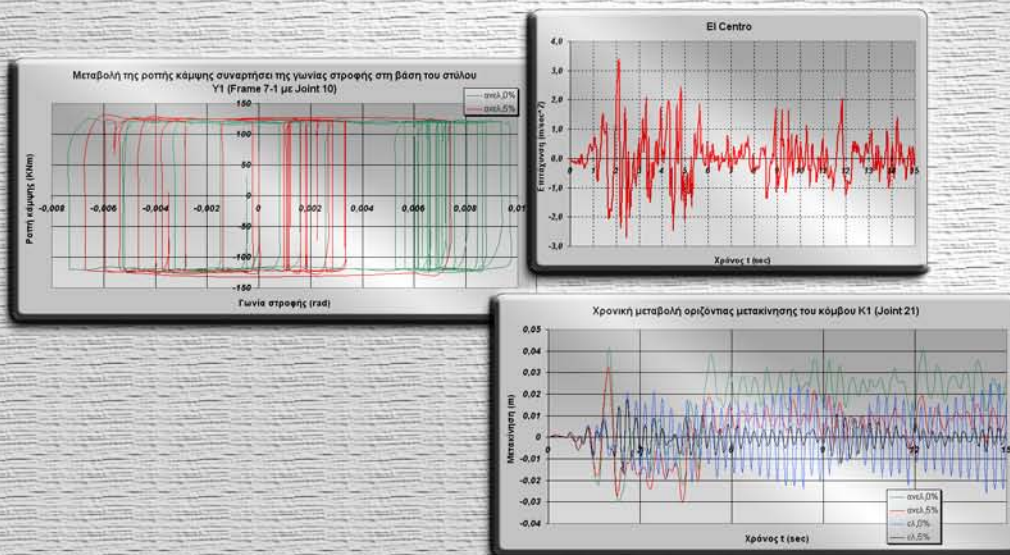
Υπολογιστική Μηχανική Αντισεισμικών Κατασκευών

Υπεύθυνοι:

Γ. Μανώλης
Ε. Μητσοπούλου
Δ. Ταλασλίδης
Ν. Χαραλαμπίδης

Εργασία:

Θέμα εξαμήνου



Όνομα φοιτητών:
Μουρελάτος Ηλίας
Οικονόμου Θεμιστοκλής

Τρίτη, 28 Ιανουαρίου 2003

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ "Α.Σ.Τ.Ε."

Μάθημα: Υπολογιστική Μηχανική Αντισεισμικών Κατασκευών
Διδακτική Ομάδα: Γ. Μανώλης, Ε. Μητσοπούλου, Δ.Ταλασλίδης, Ν. Χαραλαμπίκης

Ημερομηνία: 10/12/2002

Ονοματεπώνυμο (2):

Οικονόμου Θ.
Μουρελάτος Η.

Θέμα Εξαμήνου

Η πλαισιακή κατασκευή από Ο/Σ του σχήματος να προσομοιωθεί και να επιλυθεί με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων SAP2000. Τα δεδομένα του προβλήματος είναι τα εξής:

Διαστάσεις: $L_1 = 6$ m, $L_2 = 4$ m, $h = 3$ m

Διατομές Στύλων: 40/40 (cm)

Διατομές Δοκών: 1. 95/60 (cm), 2. 25/50 (cm)

Οπλισμένο Σκυρόδεμα: $E = 2,8 \cdot 10^7$ kN/m², $\nu = 0,25$

Μάζα συγκεντρωμένη στα κέντρα βάρους των ορόφων 1t/m²

Απόσβεση 0% και 5%.

Ροπές διαρροής για τους στύλους: 120 kNm

Ροπές διαρροής για τις δοκούς: 160, 120 kNm

Μετά τη διαρροή δεν υπάρχει κράτυνση στο νόμο ροπών - στρωφών.

- Να γίνουν οι εξής προσομοιώσεις:

1. Η κατασκευή να επιλυθεί ως δευτεροβάθμιος ταλαντωτής (κατά x και y)
2. Η κατασκευή να επιλυθεί ως χωρικό πλαίσιο θεωρώντας άπειρη ατένεια στο διάφραγμα των πλακών των ορόφων (ελαστική ανάλυση).
3. Η κατασκευή να επιλυθεί ως χωρικό πλαίσιο θεωρώντας άπειρη ατένεια στο διάφραγμα των πλακών των ορόφων και δυνατότητα δημιουργίας πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα των δομικών στοιχείων (χρήση στοιχείων NLLINK του προγράμματος SAP2000).

- Να γίνει για το πρώτο από τα μοντέλα εύρεση ιδιοσυχνοτήτων / ιδιομορφών με το «χέρι» και με τον υπολογιστή και για το δεύτερο από τα μοντέλα εύρεση ιδιοσυχνοτήτων / ιδιομορφών με τον υπολογιστή. Να γίνει σύγκριση και σχολιασμός των ιδιοπεριόδων/ιδιομορφών που δίδουν τα δύο μοντέλα (οι ιδιοπερίοδοι να παρουσιαστούν σε ενιαίο πίνακα).

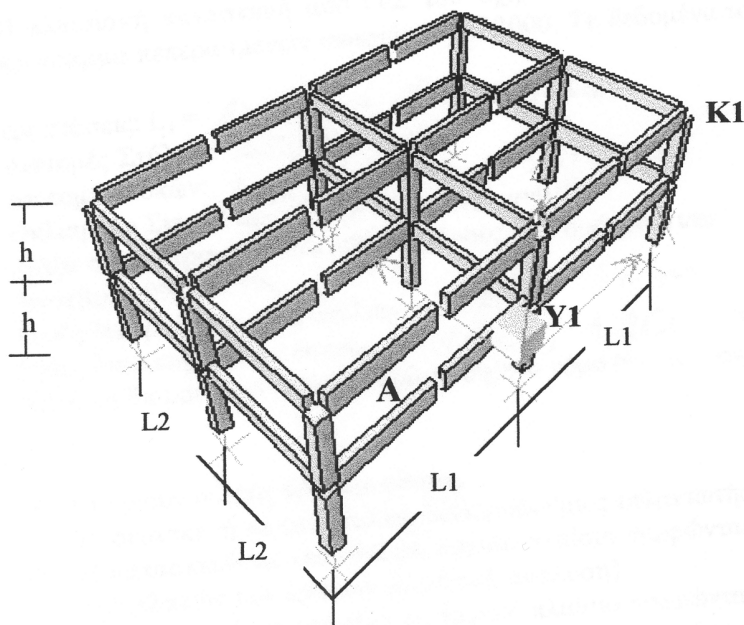
- Να γίνουν για τα μοντέλα 2 και 3:

Υπολογισμός της απόκρισης για το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού *El Centro* με διεύθυνση σεισμού την x-x.

- Ζητούνται τα εξής στοιχεία:

1. Να δωθούν σε διάγραμμα και σε πίνακα οι τιμές των μεγίστων μετακινήσεων των δύο ορόφων για όλες τις περιπτώσεις (μοντέλα 2,3 απόσβεση 0%, 5%).
2. Να δωθούν σε διάγραμμα και σε πίνακα οι τιμές των μεγίστων ροπών κάμψης των δύο ορόφων του πλαισίου Α για όλες τις περιπτώσεις.

3. Να παρουσιαστεί η χρονική μεταβολή της οριζόντιας μετακίνησης του κόμβου K1 για όλες τις περιπτώσεις.
4. Να παρουσιαστεί η χρονική μεταβολή της ροπής κάμψης στη βάση του στύλου Y1 για όλες τις περιπτώσεις.
5. Να παρουσιαστεί η χρονική μεταβολή της γωνίας στροφής στη βάση του στύλου Y1 για όλες τις περιπτώσεις.
6. Να παρουσιαστεί η μεταβολή της ροπής κάμψης συναρτήσει της γωνίας στροφής στη βάση του στύλου Y1 για όλες τις περιπτώσεις.
7. Να γίνει σύγκριση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων.



A

[1] Θέμα εξαμήνου:

Η πλαισιακή κατασκευή από Ο/Σ του σχήματος να προσομοιωθεί και να επιλυθεί με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων SAP2000. Τα δεδομένα του προβλήματος είναι τα εξής:

Διαστάσεις:	$L_1 = 6\text{m}, \quad L_2 = 4\text{m}, \quad h = 3\text{m}$
Διατομές στύλων:	40/40 cm
Διατομές Δοκών:	1 $\rightarrow$ 25/60 cm, 2 $\rightarrow$ 25/50 cm
Οπλισμένο Σκυρόδεμα:	$E = 2,8 \cdot 10^7 \text{ KN/m}^2, \quad \nu = 0,25$
Ροπές διαρροής για τους στύλους:	120 KNm
Ροπές διαρροής για τις δοκούς:	1 $\rightarrow$ 160 KNm, 2 $\rightarrow$ 120 KNm
Απόσβεση 0% και 5%	
Μετά τη διαρροή δεν υπάρχει κράτυνση στο νόμο ροπών – στροφών	
Μάζα συγκεντρωμένη στα κέντρα βάρους των ορόφων	1t/m ²

- Να γίνουν οι εξής προσομοιώσεις
 - 1) Η κατασκευή να επιλυθεί ως δευτεροβάθμιος ταλαντωτής (κατά x και y)
 - 2) Η κατασκευή να επιλυθεί ως χωρικό πλαίσιο θεωρώντας άπειρη ατένεια στο διάφραγμα των πλακών των ορόφων (ελαστική ανάλυση).
 - 3) Η κατασκευή να επιλυθεί ως χωρικό πλαίσιο θεωρώντας άπειρη ατένεια στο διάφραγμα των πλακών των ορόφων και δυνατότητα δημιουργίας πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα των δομικών στοιχείων (χρήση στοιχείων NLLINK του προγράμματος SAP2000).
- Να γίνει για το πρώτο από τα μοντέλα εύρεση ιδιοσυχνοτήτων / ιδιομορφών με το «χέρι» και με τον υπολογιστή και για το δεύτερο από τα μοντέλα εύρεση ιδιοσυχνοτήτων / ιδιομορφών που δίδουν τα δύο μοντέλα (οι ιδιοπερίοδοι να παρουσιαστούν σε ενιαίο πίνακα).
- Να γίνουν για τα μοντέλα 2 και 3:

Υπολογισμός της απόκρισης για το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού *El Centro* με διεύθυνση του σεισμού την x-x.
- Ζητούνται τα εξής στοιχεία:
 - 1) Να δοθούν σε διάγραμμα και σε πίνακα οι τιμές των μεγίστων μετακινήσεων των δύο ορόφων για όλες τις περιπτώσεις (μοντέλα 2,3 απόσβεση 0%, 5%).
 - 2) Να δοθούν σε διάγραμμα και σε πίνακα οι τιμές των μεγίστων ροπών κάμψης των δύο ορόφων του πλαισίου A για όλες τις περιπτώσεις.
 - 3) Να παρουσιαστεί η χρονική μεταβολή της οριζόντιας μετακίνησης του κόμβου K1 για όλες τις περιπτώσεις.
 - 4) Να παρουσιαστεί η χρονική μεταβολή της ροπής κάμψης στη βάση του στύλου Y1 για όλες τις περιπτώσεις.
 - 5) Να παρουσιαστεί η χρονική μεταβολή της γωνίας στροφής στη βάση του στύλου Y1 για όλες τις περιπτώσεις.
 - 6) Να παρουσιαστεί η μεταβολή της ροπής κάμψης συναρτήσει της γωνίας στροφής στη βάση του στύλου Y1 για όλες τις περιπτώσεις.
 - 7) Να γίνει σύγκριση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ / ΙΔΙΟΜΟΡΦΩΝ ΜΕ ΤΟ
«ΧΕΡΙ» ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΩΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ**

Η προσομοίωση της κατασκευής ανά διεύθυνση x και y ως δευτεροβάθμιος ταλαντωτής οδηγεί στα κάτωθι στάδια:

1.1 Στατική και αδρανειακή διακριτοποίηση.

Ο φορέας ανάγεται σε επίπεδο διώροφο πλαίσιο δύο ανοιγμάτων με δυσκαμψία ίση με τη συνολική δυσκαμψία του πλαισίου αλλά με μάζα ίση με το $1/3$ της αντίστοιχης μάζας της κατασκευής. Αυτό γίνεται λόγω της θεώρησης ότι η συνολική δυσκαμψία του φορέα ανά διεύθυνση ισούνται με το άθροισμα των δυσκαμψιών των τριών υπο-πλαισίων ξεχωριστά.

Οι διαθέσιμοι βαθμοί ελευθερίας αντιστοιχούν στη μεταφορική οριζόντια ταλάντωση της μάζας κάθε ορόφου κατά την αντίστοιχη (για καθεμία από τις δύο επιλύσεις) διεύθυνση.

Η τιμή της μάζας κάθε ορόφου για κάθε επίλυση προκύπτει από το ίδιο βάρος και κινητό φορτίο της αντίστοιχης πλάκας. Στο πρόβλημα δίνεται ότι έχουμε μάζα 1 t/m^2 , οπότε υπολογίζουμε τη συνολική:

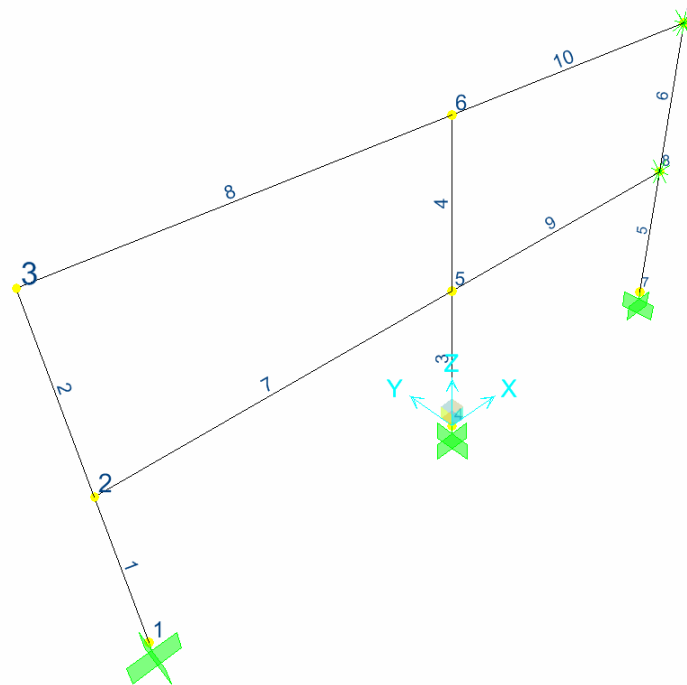
$$\begin{aligned} M_i &= (2 \times L_1) \times (2 \times L_2) \times \rho_{\text{πλάκας}} = \\ &= (2 \times 6) \times (2 \times 4) \times 1 = \\ &= 96 \text{ t} \end{aligned}$$

Επομένως, το μητρώο μάζας για κάθε ένα από τα δύο δευτεροβάθμια συστήματα θα είναι:

$$M = \begin{bmatrix} 32 & 0 \\ 0 & 32 \end{bmatrix} \text{ t}$$

1.2 Υπολογισμός θεμελιώδους ιδιοπεριόδου κατά x.

Εισάγουμε το πλαίσιο κατά x στο SAP2000:



Αυτό έγινε επειδή δεν μπορούμε να θεωρήσουμε ούτε αμφίπακτους τους στύλους, ούτε μονόπακτους, λόγω του ότι δε γνωρίζουμε το βαθμό πάκτωσης των στύλων στα ζυγώματα και έτσι δε γίνεται να υπολογίσουμε τη δυσκαμψία από τους αντίστοιχους τύπους. Με τη βοήθεια, λοιπόν, του SAP2000 υπολογίζεται το μητρώο δυσκαμψίας του πλαισίου, το οποίο, λόγω της συμπεριφοράς του ως διβάθμιου ταλαντωτή, είναι ένα μητρώο 2×2 .

Ο υπολογισμός των στοιχείων του μητρώου (K_{11} , K_{12} , K_{21} και K_{22}) γίνεται ως εξής:

Για την εύρεση των στοιχείων K_{11} και K_{21} , επιλύεται ο φορέας για μοναδιαία μετακίνηση του 1^{ου} ορόφου κατά x-x (και αντίστοιχη παγίωση του 2^{ου}) και μετρούνται οι αντιδράσεις σε κάθε όροφο.

Αντίστοιχα, για την εύρεση των K_{12} και K_{22} , επιλύεται ο ίδιος φορέας για μοναδιαία μετακίνηση του 2^{ου} ορόφου κατά x-x (και αντίστοιχη παγίωση του 1^{ου}) και μετρούνται οι αντιδράσεις στους δύο ορόφους.

Ακολουθούν τα αρχεία δεδομένων για αυτές τις δύο περιπτώσεις, καθώς και τα αρχεία αποτελεσμάτων τους:

*** ΦΟΡΕΑΣ ΚΑΤΑ x-x (μετακίνηση 1ου ορόφου → K11x) – Αρχείο δεδομένων ***

SYSTEM

DOF=UX, UZ, RY LENGTH=m FORCE=KN PAGE=SECTIONS

JOINT

1 X=-6 Y=0 Z=0
2 X=-6 Y=0 Z=3
3 X=-6 Y=0 Z=6
4 X=0 Y=0 Z=0
5 X=0 Y=0 Z=3
6 X=0 Y=0 Z=6
7 X=6 Y=0 Z=0
8 X=6 Y=0 Z=3
9 X=6 Y=0 Z=6

RESTRAINT

ADD=1 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=4 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=7 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=8 DOF=U1
ADD=9 DOF=U1

PATTERN

NAME=DEFAULT

MASS

ADD=5 U1=32
ADD=6 U1=32

MATERIAL

NAME=STEEL IDES=S M=7.8271 W=76.81955
T=0 E=1.99948E+08 U=.3 A=.0000117 FY=248211.3
NAME=CONC IDES=C
T=0 E=2.8E+07 U=.25 A=0
NAME=OTHER IDES=N M=2.40068 W=23.56161
T=0 E=2.482113E+07 U=.2 A=.0000099

FRAME SECTION

NAME=STYLOI MAT=CONC SH=R T=.4, .4 A=.16 J=3.605333E-03 I=2.133333E-03, 2.133333E-03
AS=.1333333, .1333333
NAME=DOKOI1 MAT=CONC SH=R T=.6, .25 A=.15 J=2.306748E-03 I=.0045, 7.8125E-04 AS=.125, .125
NAME=DOKOI2 MAT=CONC SH=R T=.5, .25 A=.125 J=1.788127E-03 I=2.604167E-03, 6.510417E-04
AS=.1041667, .1041667

FRAME

1 J=1,2 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
2 J=2,3 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
3 J=4,5 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
4 J=5,6 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
5 J=7,8 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
6 J=8,9 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
7 J=2,5 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
8 J=3,6 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
9 J=5,8 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
10 J=6,9 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0

LOAD

NAME=LOAD1 SW=1 CSYS=0
TYPE=RESTRAINT DISPLACEMENT
ADD=8 UX=1

OUTPUT

ELEM=JOINT TYPE=REAC LOAD=LOAD1

END

; The following data is used for graphics, design and pushover analysis.
; If changes are made to the analysis data above, then the following data
; should be checked for consistency.

SAP2000 V7.44 SUPPLEMENTAL DATA

GRID GLOBAL X "1" -6
GRID GLOBAL X "2" 0
GRID GLOBAL X "3" 6
GRID GLOBAL Y "4" 0
GRID GLOBAL Z "5" 0
GRID GLOBAL Z "6" 3

```

GRID GLOBAL Z "7" 6
MATERIAL STEEL FY 248211.3
MATERIAL CONC FYREBAR 413685.5 FYSHEAR 275790.3 FC 27579.03 FCSHEAR 27579.03
CONCRETESECTION STYLOI COLUMN COVER .05 REBAR RR-3-3
CONCRETESECTION DOKOI1 COLUMN COVER .06 REBAR RR-3-3
CONCRETESECTION DOKOI2 COLUMN COVER .04572 REBAR RR-3-3
STATICLOAD LOAD1 TYPE DEAD
END SUPPLEMENTAL DATA

```

*** ΦΟΡΕΑΣ ΚΑΤΑ x-x (μετακίνηση 1ου ορόφου → K11x) - Αρχείο αποτελεσμάτων ***

R E S T R A I N T F O R C E S (R E A C T I O N S)

JOINT	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
8	111194.033	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
9	-45650.528	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000

***** ΦΟΡΕΑΣ ΚΑΤΑ x-x (μετακίνηση 2ου ορόφου → K12x) - Αρχείο δεδομένων *****

SYSTEM

DOF=UX, UZ, RY LENGTH=m FORCE=KN PAGE=SECTIONS

JOINT

```

1 X=-6 Y=0 Z=0
2 X=-6 Y=0 Z=3
3 X=-6 Y=0 Z=6
4 X=0 Y=0 Z=0
5 X=0 Y=0 Z=3
6 X=0 Y=0 Z=6
7 X=6 Y=0 Z=0
8 X=6 Y=0 Z=3
9 X=6 Y=0 Z=6

```

RESTRAINT

```

ADD=1 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=4 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=7 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=8 DOF=U1
ADD=9 DOF=U1

```

PATTERN

NAME=DEFAULT

MASS

```

ADD=5 U1=32
ADD=6 U1=32

```

MATERIAL

```

NAME=STEEL IDES=S M=7.8271 W=76.81955
T=0 E=1.99948E+08 U=.3 A=.0000117 FY=248211.3
NAME=CONC IDES=C
T=0 E=2.8E+07 U=.25 A=0
NAME=OTHER IDES=N M=2.40068 W=23.56161
T=0 E=2.482113E+07 U=.2 A=.0000099

```

FRAME SECTION

```

NAME=STYLOI MAT=CONC SH=R T=.4, .4 A=.16 J=3.605333E-03 I=2.133333E-03, 2.133333E-03
AS=.1333333, .1333333
NAME=DOKOI1 MAT=CONC SH=R T=.6, .25 A=.15 J=2.306748E-03 I=.0045, 7.8125E-04 AS=.125, .125
NAME=DOKOI2 MAT=CONC SH=R T=.5, .25 A=.125 J=1.788127E-03 I=2.604167E-03, 6.510417E-04
AS=.1041667, .1041667

```

FRAME

```

1 J=1,2 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
2 J=2,3 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
3 J=4,5 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
4 J=5,6 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
5 J=7,8 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
6 J=8,9 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
7 J=2,5 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
8 J=3,6 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
9 J=5,8 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
10 J=6,9 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0

```

LOAD

NAME=LOAD1 SW=1 CSYS=0

TYPE=RESTRAINT DISPLACEMENT
ADD=9 UX=1

OUTPUT

ELEM=JOINT TYPE=REAC LOAD=LOAD1

END

; The following data is used for graphics, design and pushover analysis.
; If changes are made to the analysis data above, then the following data
; should be checked for consistency.

SAP2000 V7.44 SUPPLEMENTAL DATA

GRID GLOBAL X "1" -6

GRID GLOBAL X "2" 0

GRID GLOBAL X "3" 6

GRID GLOBAL Y "4" 0

GRID GLOBAL Z "5" 0

GRID GLOBAL Z "6" 3

GRID GLOBAL Z "7" 6

MATERIAL STEEL FY 248211.3

MATERIAL CONC FYREBAR 413685.5 FYSHEAR 275790.3 FC 27579.03 FCSHEAR 27579.03

CONCRETESECTION STYLOI COLUMN COVER .05 REBAR RR-3-3

CONCRETESECTION DOKOI1 COLUMN COVER .06 REBAR RR-3-3

CONCRETESECTION DOKOI2 COLUMN COVER .04572 REBAR RR-3-3

STATICLOAD LOAD1 TYPE DEAD

END SUPPLEMENTAL DATA

*** ΦΟΡΕΑΣ ΚΑΤΑ x-x (μετακίνηση 2ου ορόφου → Kι2x) – Αρχείο αποτελεσμάτων ***

R E S T R A I N T F O R C E S (R E A C T I O N S)

JOINT	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
8	-45650.528	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
9	37357.767	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000

Τελικά, μετά τις επιλύσεις κατά x-x, έχουμε:

$$k_{\text{πλαίσιο}} = \begin{bmatrix} 111194,033 & -45650,528 \\ -45650,528 & 37357,767 \end{bmatrix}, M = \begin{bmatrix} 32 & 0 \\ 0 & 32 \end{bmatrix}$$

Η ιδιομορφική ανάλυση του προσομοιώματος του φορέα κατά την διεύθυνση x έχει ως εξής:

➤ Λύνουμε την χαρακτηριστική εξίσωση: $|K_x - \omega_i^2 \times M| = 0 \xrightarrow{\omega_i^2 = \lambda} |K - \lambda \times M| = 0$. Είναι:

$$\begin{vmatrix} 111194,033 - \lambda \times 32 & -45650,528 \\ -45650,528 & 37357,767 - \lambda \times 32 \end{vmatrix} = 0$$

➤ Από την λύση του παραπάνω συστήματος δευτέρου βαθμού προκύπτουν οι κυκλικές ιδιοσυχνότητες του μοντέλου:

$$\lambda_1 = 486,420 \Rightarrow \omega_1 = 22,0549 \text{ rad/sec}$$

$$\lambda_2 = 4155,820 \Rightarrow \omega_2 = 64,4657 \text{ rad/sec}$$

➤ Επομένως, οι ιδιοπερίοδοι ταλάντωσης του μοντέλου θα είναι:

$$T_1 = 2\pi/\omega_1 = 0,2849 \text{ sec}$$

$$T_2 = 2\pi/\omega_2 = 0,0975 \text{ sec}$$

1.3 Υπολογισμός ιδιομορφών κατά x.

Η ιδιομορφή 1 υπολογίζεται από την εξίσωση που ακολουθεί, για $\phi_2^{(1)}=1$:

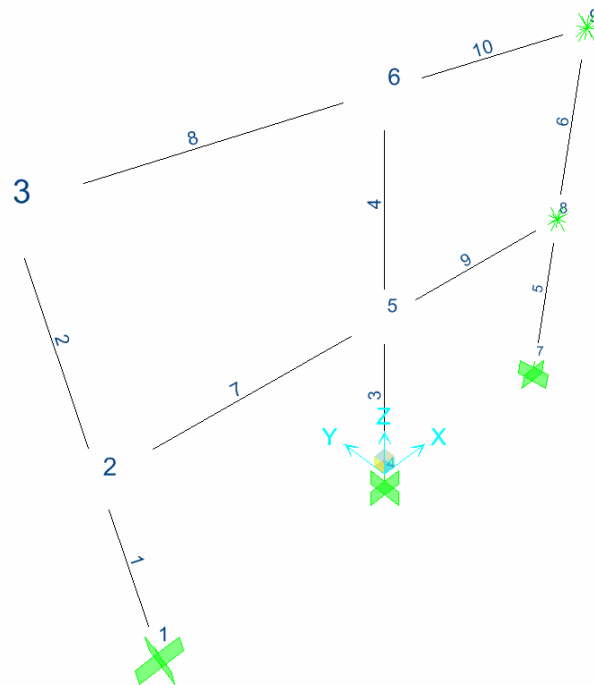
$$(K - \lambda_1 M) \begin{bmatrix} \phi_1^{(1)} \\ \phi_2^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 95628,593 & -45650,528 \\ -45650,528 & 21792,327 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1^{(1)} \\ \phi_2^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow \phi^{(1)} = \begin{bmatrix} 0,477 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Η ιδιομορφή 2 υπολογίζεται από την εξίσωση που ακολουθεί, για $\phi_1^{(2)}=1$:

$$(K - \lambda_2 M) \begin{bmatrix} \phi_1^{(2)} \\ \phi_2^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -21792,207 & -45650,528 \\ -45650,528 & -95628,473 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1^{(2)} \\ \phi_2^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow \phi^{(2)} = \begin{bmatrix} -2,095 \\ 1 \end{bmatrix}$$

1.4 Υπολογισμός θεμελιώδους ιδιοπεριόδου κατά y

Ισχύει ό,τι ακριβώς και στην παράγραφο 1.2 για το υπο-πλαίσιο κατά y:



Ακολουθούν τα αρχεία δεδομένων για αυτές τις δύο περιπτώσεις, καθώς και τα αρχεία αποτελεσμάτων τους:

*** ΦΟΡΕΑΣ ΚΑΤΑ y-y (μετακίνηση του ορόφου → Kily) - Αρχείο δεδομένων ***

SYSTEM

DOF=UX, UZ, RY LENGTH=m FORCE=KN PAGE=SECTIONS

JOINT

1 X=-4 Y=0 Z=0
2 X=-4 Y=0 Z=3
3 X=-4 Y=0 Z=6
4 X=0 Y=0 Z=0
5 X=0 Y=0 Z=3
6 X=0 Y=0 Z=6
7 X=4 Y=0 Z=0
8 X=4 Y=0 Z=3
9 X=4 Y=0 Z=6

RESTRAINT

ADD=1 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=4 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=7 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=8 DOF=U1
ADD=9 DOF=U1

PATTERN

NAME=DEFAULT

MASS

ADD=5 U1=32
ADD=6 U1=32

MATERIAL

NAME=STEEL IDES=S M=7.8271 W=76.81955
T=0 E=1.99948E+08 U=.3 A=.0000117 FY=248211.3
NAME=CONC IDES=C
T=0 E=2.8E+07 U=.25 A=0
NAME=OTHER IDES=N M=2.40068 W=23.56161
T=0 E=2.482113E+07 U=.2 A=.0000099

FRAME SECTION

NAME=STYLOI MAT=CONC SH=R T=.4, .4 A=.16 J=3.605333E-03 I=2.133333E-03, 2.133333E-03
AS=.1333333, .1333333
NAME=DOKOI1 MAT=CONC SH=R T=.6, .25 A=.15 J=2.306748E-03 I=.0045, 7.8125E-04 AS=.125, .125
NAME=DOKOI2 MAT=CONC SH=R T=.5, .25 A=.125 J=1.788127E-03 I=2.604167E-03, 6.510417E-04
AS=.1041667, .1041667

FRAME

1 J=1,2 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
2 J=2,3 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
3 J=4,5 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
4 J=5,6 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
5 J=7,8 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
6 J=8,9 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
7 J=2,5 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
8 J=3,6 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
9 J=5,8 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
10 J=6,9 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0

LOAD

NAME=LOAD1 SW=1 CSYS=0
TYPE=RESTRAINT DISPLACEMENT
ADD=8 UX=1

OUTPUT

ELEM=JOINT TYPE=REAC LOAD=LOAD1

END

; The following data is used for graphics, design and pushover analysis.
; If changes are made to the analysis data above, then the following data
; should be checked for consistency.

SAP2000 V7.44 SUPPLEMENTAL DATA

GRID GLOBAL X "1" -4
GRID GLOBAL X "2" 0
GRID GLOBAL X "3" 4
GRID GLOBAL Y "4" 0
GRID GLOBAL Z "5" 0
GRID GLOBAL Z "6" 3


```

GRID GLOBAL Z "7" 6
MATERIAL STEEL FY 248211.3
MATERIAL CONC FYREBAR 413685.5 FYSHEAR 275790.3 FC 27579.03 FCSHEAR 27579.03
CONCRETESECTION STYLOI COLUMN COVER .05 REBAR RR-3-3
CONCRETESECTION DOKOI1 COLUMN COVER .06 REBAR RR-3-3
CONCRETESECTION DOKOI2 COLUMN COVER .04572 REBAR RR-3-3
STATICLOAD LOAD1 TYPE DEAD
END SUPPLEMENTAL DATA

```

*** ΦΟΡΕΑΣ ΚΑΤΑ γ-γ (μετακίνηση 1ου ορόφου → K1γ) - Αρχείο αποτελεσμάτων ***

R E S T R A I N T F O R C E S (R E A C T I O N S)

JOINT	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
8	119279.270	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
9	-50845.797	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000

***** ΦΟΡΕΑΣ ΚΑΤΑ γ-γ (μετακίνηση 2ου ορόφου → K2γ) - Αρχείο δεδομένων *****

SYSTEM

DOF=UX, UZ, RY LENGTH=m FORCE=KN PAGE=SECTIONS

JOINT

```

1 X=-4 Y=0 Z=0
2 X=-4 Y=0 Z=3
3 X=-4 Y=0 Z=6
4 X=0 Y=0 Z=0
5 X=0 Y=0 Z=3
6 X=0 Y=0 Z=6
7 X=4 Y=0 Z=0
8 X=4 Y=0 Z=3
9 X=4 Y=0 Z=6

```

RESTRAINT

```

ADD=1 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=4 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=7 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=8 DOF=U1
ADD=9 DOF=U1

```

PATTERN

NAME=DEFAULT

MASS

```

ADD=5 U1=32
ADD=6 U1=32

```

MATERIAL

```

NAME=STEEL IDES=S M=7.8271 W=76.81955
T=0 E=1.99948E+08 U=.3 A=.0000117 FY=248211.3
NAME=CONC IDES=C
T=0 E=2.8E+07 U=.25 A=0
NAME=OTHER IDES=N M=2.40068 W=23.56161
T=0 E=2.482113E+07 U=.2 A=.0000099

```

FRAME SECTION

```

NAME=STYLOI MAT=CONC SH=R T=.4, .4 A=.16 J=3.605333E-03 I=2.133333E-03, 2.133333E-03
AS=.1333333, .1333333
NAME=DOKOI1 MAT=CONC SH=R T=.6, .25 A=.15 J=2.306748E-03 I=.0045, 7.8125E-04 AS=.125, .125
NAME=DOKOI2 MAT=CONC SH=R T=.5, .25 A=.125 J=1.788127E-03 I=2.604167E-03, 6.510417E-04
AS=.1041667, .1041667

```

FRAME

```

1 J=1,2 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
2 J=2,3 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
3 J=4,5 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
4 J=5,6 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
5 J=7,8 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
6 J=8,9 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
7 J=2,5 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
8 J=3,6 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
9 J=5,8 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
10 J=6,9 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0

```

LOAD

NAME=LOAD1 SW=1 CSYS=0

TYPE=RESTRAINT DISPLACEMENT
ADD=9 UX=1

OUTPUT

ELEM=JOINT TYPE=REAC LOAD=LOAD1

END

; The following data is used for graphics, design and pushover analysis.
; If changes are made to the analysis data above, then the following data
; should be checked for consistency.

SAP2000 V7.44 SUPPLEMENTAL DATA

GRID GLOBAL X "1" -4

GRID GLOBAL X "2" 0

GRID GLOBAL X "3" 4

GRID GLOBAL Y "4" 0

GRID GLOBAL Z "5" 0

GRID GLOBAL Z "6" 3

GRID GLOBAL Z "7" 6

MATERIAL STEEL FY 248211.3

MATERIAL CONC FYREBAR 413685.5 FYSHEAR 275790.3 FC 27579.03 FCSHEAR 27579.03

CONCRETESECTION STYLOI COLUMN COVER .05 REBAR RR-3-3

CONCRETESECTION DOKOI1 COLUMN COVER .06 REBAR RR-3-3

CONCRETESECTION DOKOI2 COLUMN COVER .04572 REBAR RR-3-3

STATICLOAD LOAD1 TYPE DEAD

END SUPPLEMENTAL DATA

*** ΦΟΡΕΑΣ ΚΑΤΑ y-y (μετακίνηση 2ου ορόφου → Ki2y) - Αρχείο αποτελεσμάτων ***

RESTRAINT FORCES (REACTIONS)

JOINT	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
8	-50845.797	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
9	43260.799	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000

Τελικά, μετά τις επιλύσεις κατά y-y, έχουμε:

$$K_{\text{πλαισίου}} = \begin{bmatrix} 119279,270 & -50845,797 \\ -50,845,797 & 43260,799 \end{bmatrix}, M = \begin{bmatrix} 32 & 0 \\ 0 & 32 \end{bmatrix}$$

Η ιδιομορφική ανάλυση του προσομοιώματος του φορέα κατά την διεύθυνση y έχει ως εξής:

➤ Λύνουμε την χαρακτηριστική εξίσωση: $|K_x - \omega_i^2 \times M| = 0 \xrightarrow{\omega_i^2 = \lambda} |K - \lambda \times M| = 0$. Είναι:

$$\begin{vmatrix} 119279,270 - \lambda \times 32 & -50845,797 \\ -50845,797 & 43260,799 - \lambda \times 32 \end{vmatrix} = 0$$

➤ Από την λύση του παραπάνω συστήματος δευτέρου βαθμού προκύπτουν οι κυκλικές ιδιοσυχνότητες του μοντέλου:

$$\lambda_1 = 555,868 \Rightarrow \omega_1 = 23,5769 \text{ rad/sec}$$

$$\lambda_2 = 4523,510 \Rightarrow \omega_2 = 67,2570 \text{ rad/sec}$$

➤ Επομένως, οι ιδιοπερίοδοι ταλάντωσης του μοντέλου θα είναι:

$$T_1 = 2\pi/\omega_1 = 0,2665 \text{ sec}$$

$$T_2 = 2\pi/\omega_2 = 0,0934 \text{ sec}$$

1.5 Υπολογισμός ιδιομορφών κατά y.

Η ιδιομορφή 1 υπολογίζεται από την εξίσωση που ακολουθεί, για $\phi_2^{(1)}=1$:

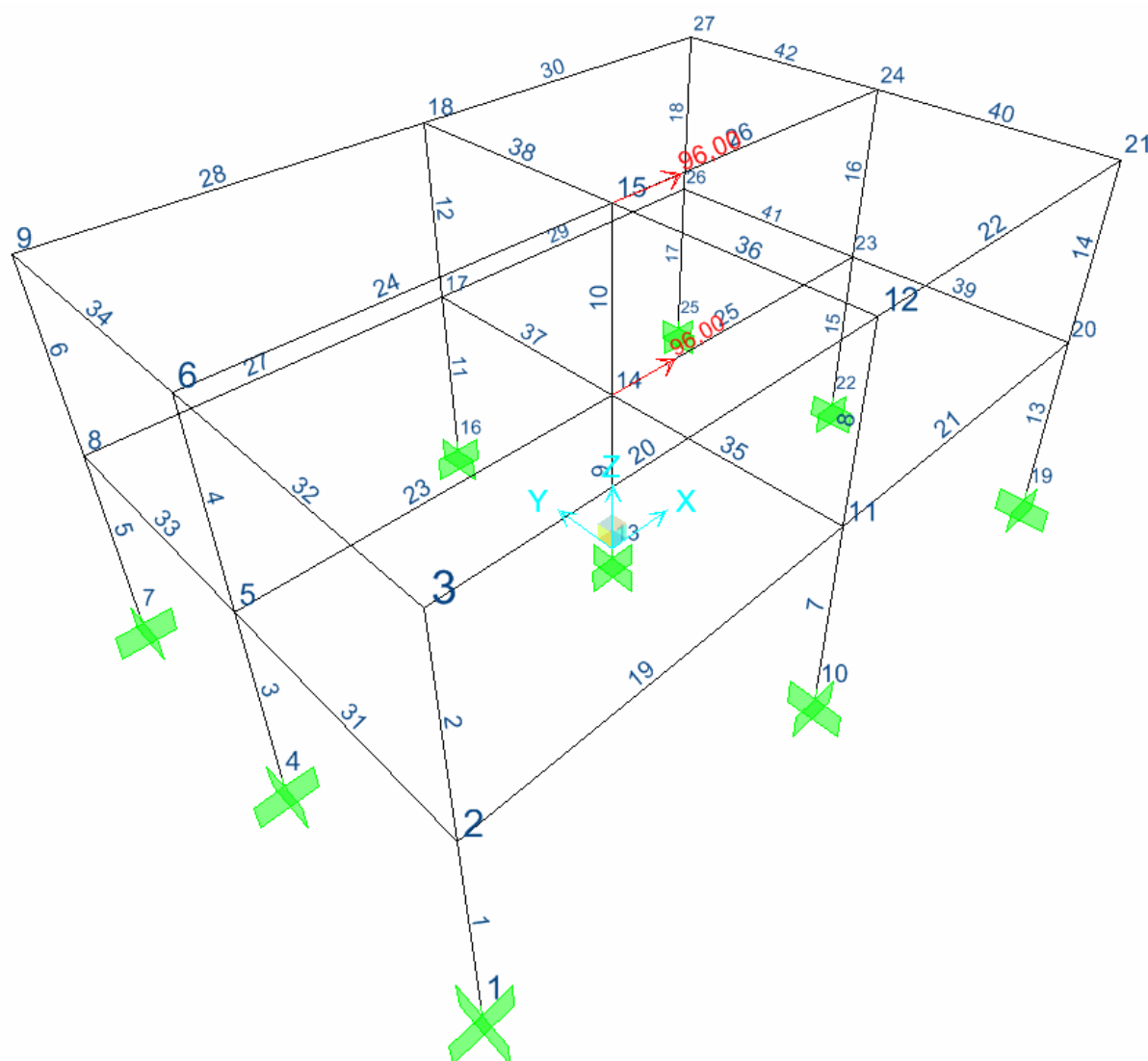
$$(K - \lambda_1 M) \begin{bmatrix} \phi_1^{(1)} \\ \phi_2^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 101491,494 & -50845,797 \\ -50845,797 & 25473,023 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1^{(1)} \\ \phi_2^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow \phi^{(1)} = \begin{bmatrix} 0,501 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Η ιδιομορφή 2 υπολογίζεται από την εξίσωση που ακολουθεί, για $\phi_1^{(2)}=1$:

$$(K - \lambda_2 M) \begin{bmatrix} \phi_1^{(2)} \\ \phi_2^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -25473,050 & -50845,797 \\ -50845,797 & -101491,521 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1^{(2)} \\ \phi_2^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow \phi^{(2)} = \begin{bmatrix} -1,996 \\ 1 \end{bmatrix}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ / ΙΔΙΟΜΟΡΦΩΝ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ ΓΙΑ ΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΟΝΤΕΛΟ****2.1 Επίλυση κατά x.**

Εφαρμόζουμε μία μεταφορική μάζα σε κάθε όροφο κατά x ίση με 96t στο Κ.Β. της κάτοψης. Επειδή η τελευταία είναι διπλά συμμετρική, δεν έχουμε στρωφικές μάζες. Ο φορέας εισάγεται προς επίλυση στο πρόγραμμα SAP 2000.



Χρησιμοποιούμε διαφραγματική λειτουργία πλακών, εισάγουμε τον σεισμό ELCENTRO (αρχείο el1.sei), και κάνουμε ιδιομορφική και ελαστική ανάλυση ritz-vector χρονοϊστορίας 750 βημάτων ανά 0,02 sec/βήμα και απόσβεση 0% και 5%.

Ακολουθεί το αρχείο δεδομένων και αποτελεσμάτων:

***** ΕΛΑΣΤΙΚΟΣ ΧΩΡΙΚΟΣ ΦΟΡΕΑΣ ΚΑΤΑ x-x - Αρχείο δεδομένων *****

SYSTEM

DOF=UX, UY, UZ, RX, RY, RZ LENGTH=m FORCE=KN PAGE=SECTIONS

JOINT

1 X=-6 Y=-4 Z=0
2 X=-6 Y=-4 Z=3
3 X=-6 Y=-4 Z=6
4 X=-6 Y=0 Z=0
5 X=-6 Y=0 Z=3
6 X=-6 Y=0 Z=6
7 X=-6 Y=4 Z=0
8 X=-6 Y=4 Z=3
9 X=-6 Y=4 Z=6
10 X=0 Y=-4 Z=0
11 X=0 Y=-4 Z=3
12 X=0 Y=-4 Z=6
13 X=0 Y=0 Z=0
14 X=0 Y=0 Z=3
15 X=0 Y=0 Z=6
16 X=0 Y=4 Z=0
17 X=0 Y=4 Z=3
18 X=0 Y=4 Z=6
19 X=6 Y=-4 Z=0
20 X=6 Y=-4 Z=3
21 X=6 Y=-4 Z=6
22 X=6 Y=0 Z=0
23 X=6 Y=0 Z=3
24 X=6 Y=0 Z=6
25 X=6 Y=4 Z=0
26 X=6 Y=4 Z=3
27 X=6 Y=4 Z=6

RESTRAINT

ADD=1 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=4 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=7 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=10 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=13 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=16 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=19 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=22 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=25 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3

CONSTRAINT

NAME=DIAPH1 TYPE=DIAPH AXIS=Z CSYS=0
ADD=2
ADD=5
ADD=8
ADD=11
ADD=14
ADD=17
ADD=20
ADD=23
ADD=26
NAME=DIAPH2 TYPE=DIAPH AXIS=Z CSYS=0
ADD=3
ADD=6
ADD=9
ADD=12
ADD=15
ADD=18
ADD=21
ADD=24
ADD=27

PATTERN

NAME=DEFAULT

MASS

ADD=14 U1=96
ADD=15 U1=96

MATERIAL

NAME=STEEL IDES=S M=7.8271 W=76.81955
T=0 E=1.99948E+08 U=.3 A=.0000117 FY=248211.3

NAME=CONC IDES=C

T=0 E=2.8E+07 U=.25 A=0

NAME=OTHER IDES=N M=2.40068 W=23.56161

T=0 E=2.482113E+07 U=.2 A=.0000099

FRAME SECTION

NAME=STYLOI MAT=CONC SH=R T=.4,.4 A=.16 J=3.605333E-03 I=2.133333E-03,2.133333E-03
AS=.1333333,.1333333

NAME=DOKOI1 MAT=CONC SH=R T=.6,.25 A=.15 J=2.306748E-03 I=.0045,7.8125E-04 AS=.125,.125

NAME=DOKOI2 MAT=CONC SH=R T=.5,.25 A=.125 J=1.788127E-03 I=2.604167E-03,6.510417E-04
AS=.1041667,.1041667

FRAME

```

1 J=1,2 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
2 J=2,3 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
3 J=4,5 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
4 J=5,6 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
5 J=7,8 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
6 J=8,9 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
7 J=10,11 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
8 J=11,12 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
9 J=13,14 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
10 J=14,15 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
11 J=16,17 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
12 J=17,18 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
13 J=19,20 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
14 J=20,21 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
15 J=22,23 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
16 J=23,24 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
17 J=25,26 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
18 J=26,27 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
19 J=2,11 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
20 J=3,12 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
21 J=11,20 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
22 J=12,21 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
23 J=5,14 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
24 J=6,15 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
25 J=14,23 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
26 J=15,24 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
27 J=8,17 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
28 J=9,18 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
29 J=17,26 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
30 J=18,27 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
31 J=2,5 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
32 J=3,6 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
33 J=5,8 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
34 J=6,9 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
35 J=11,14 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
36 J=12,15 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
37 J=14,17 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
38 J=15,18 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
39 J=20,23 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
40 J=21,24 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
41 J=23,26 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
42 J=24,27 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0

```

LOAD

NAME=LOAD1 SW=1 CSYS=0

MODE

TYPE=RITZ N=300

ACC=UX

NLLINK=*

FUNCTION

NAME=ELCENTRO DT=0 NPL=1 PRINT=Y FILE=el1.sei

HISTORY

NAME=EL0 TYPE=LIN NSTEP=750 DT=.02 DAMP=0 ENVE=Y

ACC=U1 ANG=0 FUNC=ELCENTRO SF=1 AT=0

NAME=EL05 TYPE=LIN NSTEP=750 DT=.02 DAMP=.05 ENVE=Y

ACC=U1 ANG=0 FUNC=ELCENTRO SF=1 AT=0

OUTPUT

ELEM=JOINT TYPE=DISP MODE=*

ELEM=JOINT TYPE=DISP HIST=EL0

```

ELEM=JOINT TYPE=DISP HIST=EL05
ELEM=FRAME TYPE=FORCE MODE=*
ELEM=FRAME TYPE=FORCE HIST=EL0
ELEM=FRAME TYPE=FORCE HIST=EL05

```

END

```

; The following data is used for graphics, design and pushover analysis.
; If changes are made to the analysis data above, then the following data
; should be checked for consistency.

```

SAP2000 V7.44 SUPPLEMENTAL DATA

GRID GLOBAL X "1" -6

GRID GLOBAL X "2" 0

GRID GLOBAL X "3" 6

GRID GLOBAL Y "4" -4

GRID GLOBAL Y "5" 0

GRID GLOBAL Y "6" 4

GRID GLOBAL Z "7" 0

GRID GLOBAL Z "8" 3

GRID GLOBAL Z "9" 6

MATERIAL STEEL FY 248211.3

MATERIAL CONC FYREBAR 413685.5 FYSHEAR 275790.3 FC 27579.03 FCSHEAR 27579.03

CONCRETESECTION STYLOI COLUMN COVER .05 REBAR RR-3-3

CONCRETESECTION DOKOI1 COLUMN COVER .04572 REBAR RR-3-3

CONCRETESECTION DOKOI2 COLUMN COVER .05 REBAR RR-3-3

STATICLOAD LOAD1 TYPE DEAD

END SUPPLEMENTAL DATA

***** ΕΛΑΣΤΙΚΟΣ ΧΩΡΙΚΟΣ ΦΟΡΕΑΣ ΚΑΤΑ x-x - Αρχείο αποτελεσμάτων *****

M O D A L P E R I O D S A N D F R E Q U E N C I E S

MODE	PERIOD (TIME)	FREQUENCY (CYC/TIME)	FREQUENCY (RAD/TIME)	EIGENVALUE (RAD/TIME)**2
1	0.282687	3.537487	22.226688	494.025649
2	0.092161	10.850607	68.176374	4648.018

M O D A L P A R T I C I P A T I O N F A C T O R S

FOR UNIT ACCELERATION LOADS IN GLOBAL COORDINATES

MODE	PERIOD	UX	UY	UZ
1	0.282687	-13.070829	.000000	.000000
2	0.092161	4.599285	.000000	.000000

M O D A L P A R T I C I P A T I N G M A S S R A T I O S

MODE	PERIOD	INDIVIDUAL UX	MODE (PERCENT) UY	MODE (PERCENT) UZ	CUMULATIVE UX	SUM (PERCENT) UY	SUM (PERCENT) UZ
1	0.282687	88.9826	0.0000	0.0000	88.9826	0.0000	0.0000
2	0.092161	11.0174	0.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000

J O I N T D I S P L A C E M E N T S

MODE 1 -----

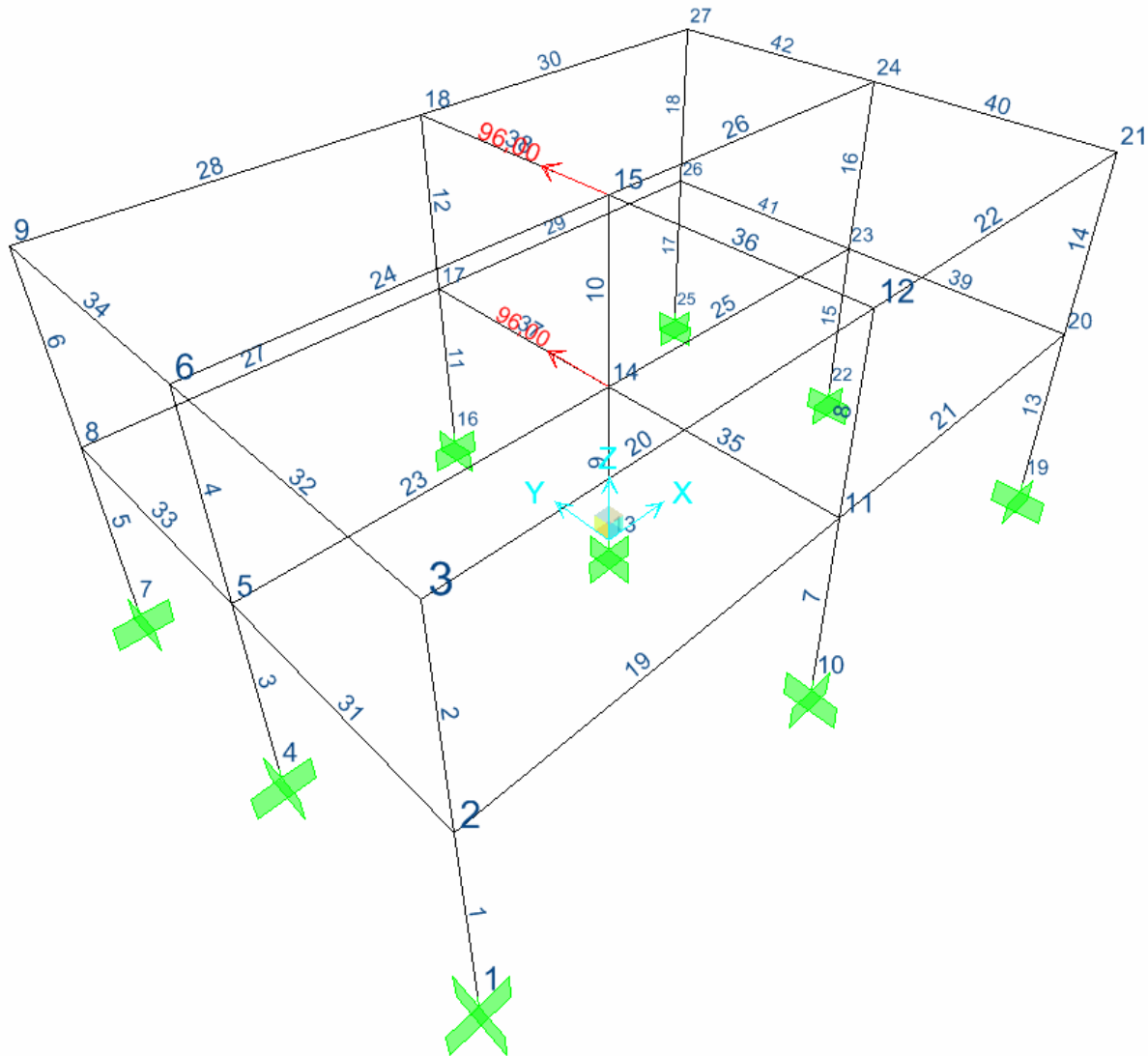
JOINT	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
2	-0.044123	7.99E-19	-0.000389	-1.96E-19	-0.012044	-1.34E-19
3	-0.092032	2.13E-18	-0.000517	-2.08E-19	-0.009838	-3.61E-19

MODE 2 -----

JOINT	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
2	0.092032	-7.07E-19	-0.000497	-2.10E-19	-0.000754	1.21E-19
3	-0.044123	2.24E-18	-0.000947	-5.78E-19	-0.037603	-3.97E-19

2.2 Επίλυση κατά y.

Εφαρμόζουμε μία μεταφορική μάζα σε κάθε όροφο κατά y ίση με 96t στο Κ.Β. της κάτοψης. Επειδή η τελευταία είναι διπλά συμμετρική, δεν έχουμε στρωφικές μάζες. Ο φορέας εισάγεται προς επίλυση στο πρόγραμμα SAP 2000.



Χρησιμοποιούμε διαφραγματική λειτουργία πλακών, εισάγουμε τον σεισμό ELCENTRO (αρχείο el1.sei), και κάνουμε ιδιομορφική και ελαστική ανάλυση ritz-vector χρονοϊστορίας 750 βημάτων ανά 0,02 sec/βήμα και απόσβεση 0% και 5%.

Ακολουθεί το αρχείο δεδομένων και αποτελεσμάτων:

***** ΕΛΑΣΤΙΚΟΣ ΧΩΡΙΚΟΣ ΦΟΡΕΑΣ ΚΑΤΑ γ-γ - Αρχείο δεδομένων *****

SYSTEM

DOF=UX, UY, UZ, RX, RY, RZ LENGTH=m FORCE=KN PAGE=SECTIONS

JOINT

1 X=-6 Y=-4 Z=0
2 X=-6 Y=-4 Z=3
3 X=-6 Y=-4 Z=6
4 X=-6 Y=0 Z=0
5 X=-6 Y=0 Z=3
6 X=-6 Y=0 Z=6
7 X=-6 Y=4 Z=0
8 X=-6 Y=4 Z=3
9 X=-6 Y=4 Z=6
10 X=0 Y=-4 Z=0
11 X=0 Y=-4 Z=3
12 X=0 Y=-4 Z=6
13 X=0 Y=0 Z=0
14 X=0 Y=0 Z=3
15 X=0 Y=0 Z=6
16 X=0 Y=4 Z=0
17 X=0 Y=4 Z=3
18 X=0 Y=4 Z=6
19 X=6 Y=-4 Z=0
20 X=6 Y=-4 Z=3
21 X=6 Y=-4 Z=6
22 X=6 Y=0 Z=0
23 X=6 Y=0 Z=3
24 X=6 Y=0 Z=6
25 X=6 Y=4 Z=0
26 X=6 Y=4 Z=3
27 X=6 Y=4 Z=6

RESTRAINT

ADD=1 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=4 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=7 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=10 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=13 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=16 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=19 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=22 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3
ADD=25 DOF=U1, U2, U3, R1, R2, R3

CONSTRAINT

NAME=DIAPH1 TYPE=DIAPH AXIS=Z CSYS=0
ADD=2
ADD=5
ADD=8
ADD=11
ADD=14
ADD=17
ADD=20
ADD=23
ADD=26
NAME=DIAPH2 TYPE=DIAPH AXIS=Z CSYS=0
ADD=3
ADD=6
ADD=9
ADD=12
ADD=15
ADD=18
ADD=21
ADD=24
ADD=27

PATTERN

NAME=DEFAULT

MASS

ADD=14 U2=96
ADD=15 U2=96

MATERIAL

NAME=STEEL IDES=S M=7.8271 W=76.81955
T=0 E=1.99948E+08 U=.3 A=.0000117 FY=248211.3

NAME=CONC IDES=C

T=0 E=2.8E+07 U=.25 A=0

NAME=OTHER IDES=N M=2.40068 W=23.56161

T=0 E=2.482113E+07 U=.2 A=.0000099

FRAME SECTION

NAME=STYLOI MAT=CONC SH=R T=.4,.4 A=.16 J=3.605333E-03 I=2.133333E-03,2.133333E-03
AS=.1333333,.1333333

NAME=DOKOI1 MAT=CONC SH=R T=.6,.25 A=.15 J=2.306748E-03 I=.0045,7.8125E-04 AS=.125,.125

NAME=DOKOI2 MAT=CONC SH=R T=.5,.25 A=.125 J=1.788127E-03 I=2.604167E-03,6.510417E-04
AS=.1041667,.1041667

FRAME

1 J=1,2 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
2 J=2,3 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
3 J=4,5 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
4 J=5,6 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
5 J=7,8 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
6 J=8,9 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
7 J=10,11 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
8 J=11,12 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
9 J=13,14 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
10 J=14,15 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
11 J=16,17 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
12 J=17,18 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
13 J=19,20 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
14 J=20,21 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
15 J=22,23 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
16 J=23,24 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
17 J=25,26 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
18 J=26,27 SEC=STYLOI NSEG=2 ANG=0
19 J=2,11 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
20 J=3,12 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
21 J=11,20 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
22 J=12,21 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
23 J=5,14 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
24 J=6,15 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
25 J=14,23 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
26 J=15,24 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
27 J=8,17 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
28 J=9,18 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
29 J=17,26 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
30 J=18,27 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
31 J=2,5 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
32 J=3,6 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
33 J=5,8 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
34 J=6,9 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
35 J=11,14 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
36 J=12,15 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
37 J=14,17 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
38 J=15,18 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
39 J=20,23 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
40 J=21,24 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0
41 J=23,26 SEC=DOKOI1 NSEG=4 ANG=0
42 J=24,27 SEC=DOKOI2 NSEG=4 ANG=0

LOAD

NAME=LOAD1 SW=1 CSYS=0

MODE

TYPE=RITZ N=300

ACC=UY

NLLINK=*

FUNCTION

NAME=ELCENTRO DT=0 NPL=1 PRINT=Y FILE=el1.sei

HISTORY

NAME=EL0 TYPE=LIN NSTEP=750 DT=.02 DAMP=0 ENVE=Y

ACC=U2 ANG=0 FUNC=ELCENTRO SF=1 AT=0

NAME=EL05 TYPE=LIN NSTEP=750 DT=.02 DAMP=.05 ENVE=Y

ACC=U2 ANG=0 FUNC=ELCENTRO SF=1 AT=0

OUTPUT

ELEM=JOINT TYPE=DISP MODE=*

ELEM=JOINT TYPE=DISP HIST=EL0

```

ELEM=JOINT TYPE=DISP HIST=EL05
ELEM=FRAME TYPE=FORCE MODE=*
ELEM=FRAME TYPE=FORCE HIST=EL0
ELEM=FRAME TYPE=FORCE HIST=EL05

```

END

```

; The following data is used for graphics, design and pushover analysis.
; If changes are made to the analysis data above, then the following data
; should be checked for consistency.

```

SAP2000 V7.44 SUPPLEMENTAL DATA

GRID GLOBAL X "1" -6

GRID GLOBAL X "2" 0

GRID GLOBAL X "3" 6

GRID GLOBAL Y "4" -4

GRID GLOBAL Y "5" 0

GRID GLOBAL Y "6" 4

GRID GLOBAL Z "7" 0

GRID GLOBAL Z "8" 3

GRID GLOBAL Z "9" 6

MATERIAL STEEL FY 248211.3

MATERIAL CONC FYREBAR 413685.5 FYSHEAR 275790.3 FC 27579.03 FCSHEAR 27579.03

CONCRETESECTION STYLOI COLUMN COVER .05 REBAR RR-3-3

CONCRETESECTION DOKOI1 COLUMN COVER .04572 REBAR RR-3-3

CONCRETESECTION DOKOI2 COLUMN COVER .05 REBAR RR-3-3

STATICLOAD LOAD1 TYPE DEAD

END SUPPLEMENTAL DATA

***** ΕΛΑΣΤΙΚΟΣ ΧΩΡΙΚΟΣ ΦΟΡΕΑΣ ΚΑΤΑ γ-γ - Αρχείο αποτελεσμάτων *****

MODAL PERIODS AND FREQUENCIES

MODE	PERIOD (TIME)	FREQUENCY (CYC/TIME)	FREQUENCY (RAD/TIME)	EIGENVALUE (RAD/TIME)**2
1	0.264947	3.774342	23.714887	562.395886
2	0.089691	11.149386	70.053657	4907.515

MODAL PARTICIPATION FACTORS

FOR UNIT ACCELERATION LOADS IN GLOBAL COORDINATES

MODE	PERIOD	UX	UY	UZ
1	0.282687	-13.070829	.000000	.000000
2	0.092161	4.599285	.000000	.000000

MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS

MODE	PERIOD	INDIVIDUAL UX	MODE (PERCENT) UY	UZ	CUMULATIVE UX	SUM (PERCENT) UY	UZ
1	0.282687	88.9826	0.0000	0.0000	88.9826	0.0000	0.0000
2	0.092161	11.0174	0.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000

MODE 1 -----

JOINT	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
2	-1.51E-19	-0.045832	-0.000678	0.010498	-1.35E-19	-3.73E-20
3	-9.51E-19	-0.091193	-0.000893	0.008119	-2.11E-20	-2.48E-19

MODE 2 -----

JOINT	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
2	-1.97E-18	0.091193	-0.000903	0.001588	-1.15E-18	-4.89E-19
3	-8.45E-18	-0.045832	-0.001687	0.031943	-1.73E-18	-2.07E-18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο**ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ 1 ΚΑΙ 2.**

	Διεύθυνση x-x		Διεύθυνση y-y	
	β' βάθμιος ταλαντωτής	ελαστικός χωρικός	β' βάθμιος ταλαντωτής	ελαστικός χωρικός
λ_1	486,420	494,025	555,868	562,396
λ_2	4155,820	4648,018	4523,510	4907,515
ω_1	22,0549	22,2267	23,5769	23,7149
ω_2	64,4657	68,1764	67,2570	70,0537
T_1	0,2849	0,2827	0,2665	0,2649
T_2	0,0975	0,0922	0,0934	0,0897
$\varphi_{1,1}$	0,477	-0,044123	0,501	-0,045832
$\varphi_{2,1}$	1	-0,092032	1	-0,091193
$\varphi_{1,2}$	-2,095	0,092032	-1,996	0,091193
$\varphi_{2,2}$	1	-0,044123	1	-0,045832
norm $\varphi_{1,1}$	0,477	0,479	0,501	0,503
norm $\varphi_{2,1}$	1	1	1	1
norm $\varphi_{1,2}$	-2,095	-2,086	-1,996	-1,990
norm $\varphi_{2,2}$	1	1	1	1

Όπως είναι φανερό, υπάρχει αρκετά ικανοποιητική σύμπτωση των αποτελεσμάτων.

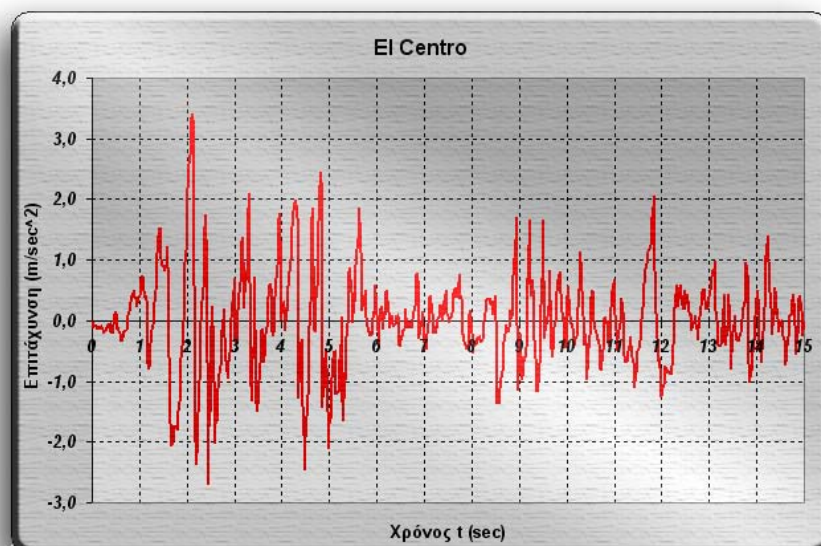
Οι διαφορές είναι της τάξης του 4~5% στις ιδιοπεριόδους (και ανάλογα στα ω και ω^2). Στις δε ιδιομορφές υπάρχει ακόμα μικρότερη διαφορά μεταξύ των διαφορετικών επιλύσεων (0,3~0,4%).

Οι όποιες διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων, οφείλονται στην ελάχιστη διαφορετική προσέγγιση του φαινομένου μεταξύ του μοντέλου του διβάθμιου ταλαντωτή και του χωρικού πλαισίου (π.χ. η ύπαρξη της διαφραγματικής λειτουργίας).

Οι ιδιοπερίοδοι στα ανωτέρω μοντέλα είναι ελαφρώς αυξημένοι σε σχέση με τον εμπειρικό κανόνα $T=0,1 \times n$, όπου n ο αριθμός των ορόφων, αλλά ανήκουν σε λογικά πλαίσια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο**ΤΙΜΕΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΡΟΠΩΝ ΚΑΜΨΗΣ
ΤΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΑΠΟ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΑΣ.**

Το πλαίσιο λύθηκε ελαστικά και ανελαστικά με τη μέθοδο της ανάλυσης χρονοϊστορίας του σεισμού του El-Centro:

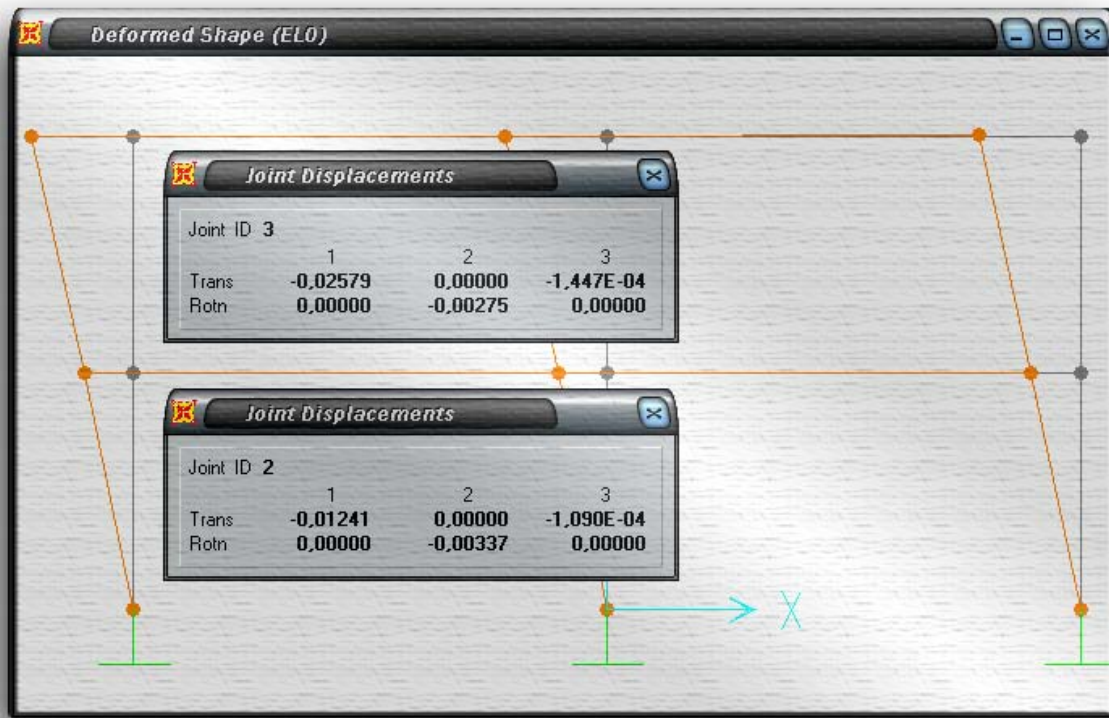


Τα αποτελέσματα των δύο αναλύσεων συνοψίζονται στον κάτωθι πίνακα:

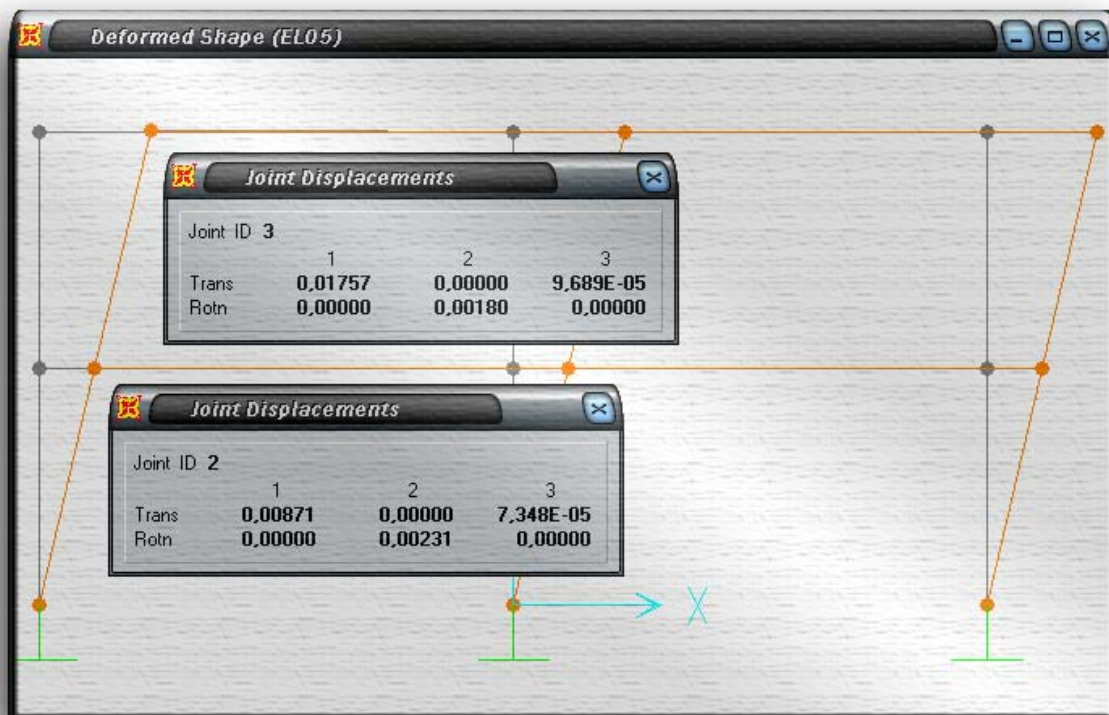
	Ελαστικό 0% απόσβεση	Ελαστικό 5% απόσβεση	Ανελαστικό 0% απόσβεση	Ανελαστικό 5% απόσβεση	Ροπές Διαρροής
$\max u_x, 1^{ou}$	0,01241	0,00871	0,03208	0,02518	
$\max u_x, 2^{ou}$	0,02579	0,01757	0,04131	0,03243	
$M_{\max,1} (\Sigma 1^{ou})$	349,82	244,04	125,41	131,86	120,00
$M_{\max,2} (\Sigma 2^{ou})$	171,96	112,44	110,77	95,84	120,00
$M_{\max,7} (\Sigma 1^{ou})$	397,51	278,30	126,69	131,85	120,00
$M_{\max,8} (\Sigma 2^{ou})$	296,46	194,54	125,31	128,36	120,00
$M_{\max,13} (\Sigma 1^{ou})$	349,82	244,04	125,12	131,85	120,00
$M_{\max,14} (\Sigma 2^{ou})$	171,96	112,44	111,05	95,74	120,00
$M_{\max,19} (\Delta 1^{ou})$	356,38	243,89	163,50	166,22	160,00
$M_{\max,20} (\Delta 2^{ou})$	171,96	112,44	109,90	96,33	120,00
$M_{\max,21} (\Delta 1^{ou})$	356,38	243,89	162,81	165,67	160,00
$M_{\max,22} (\Delta 2^{ou})$	171,96	112,44	109,69	96,23	120,00

Ακολουθούν τα διαγράμματα των μέγιστων μετακινήσεων και των ροπών κάμψης του πλαισίου Α:

Διαγράμματα μέγιστης μετακίνησης ελαστικής επίλυσης.

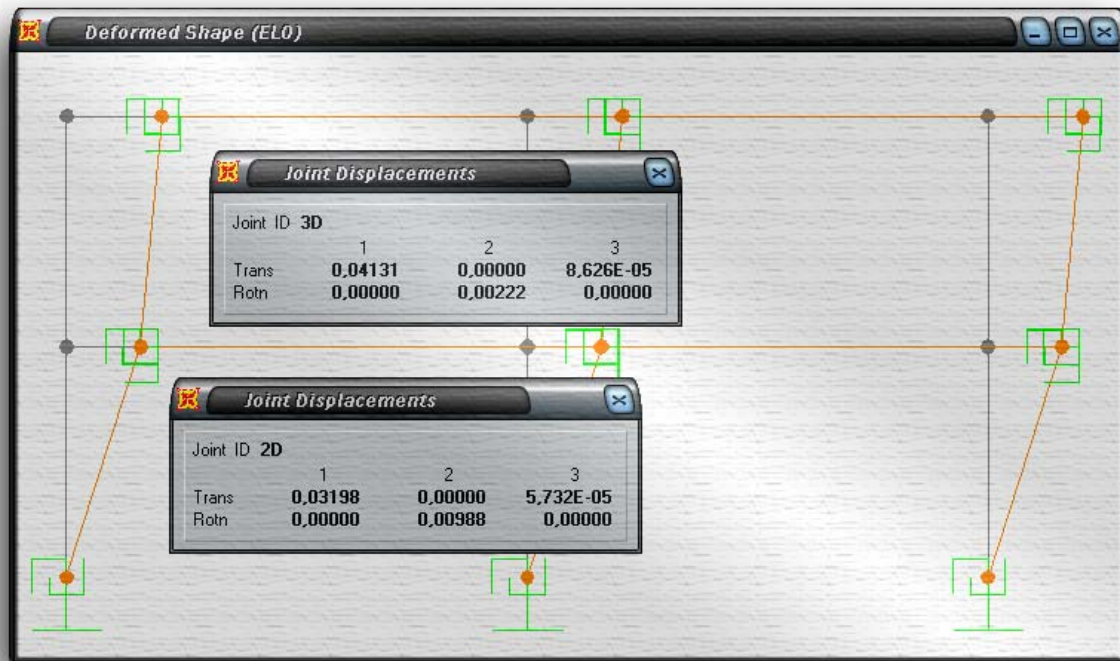


απόσβεση 0%

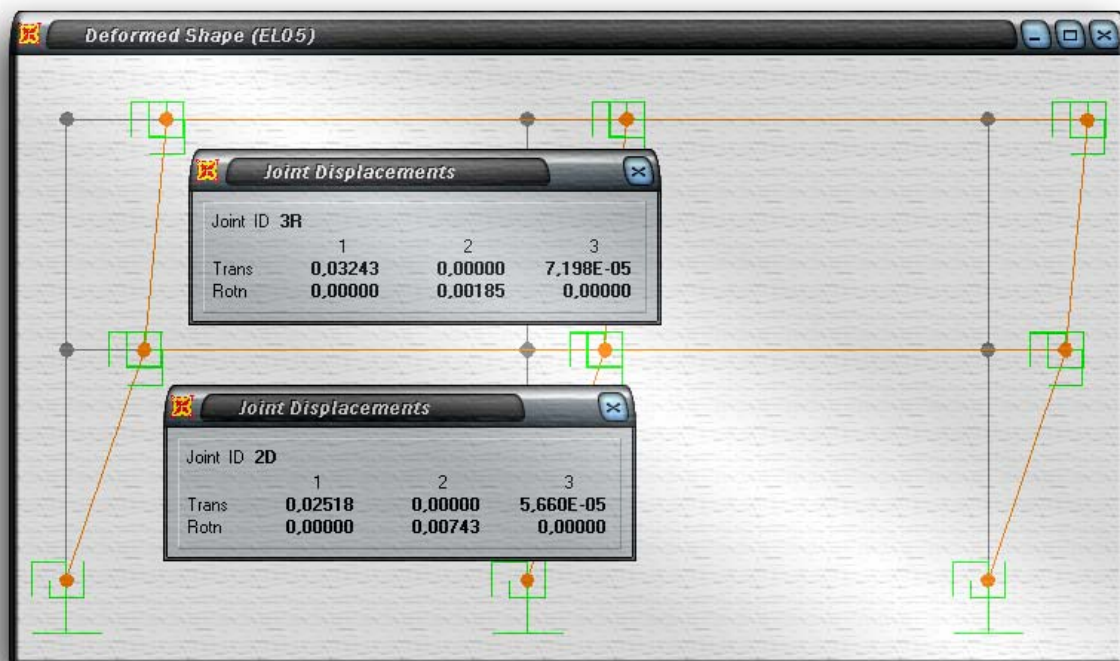


απόσβεση 5%

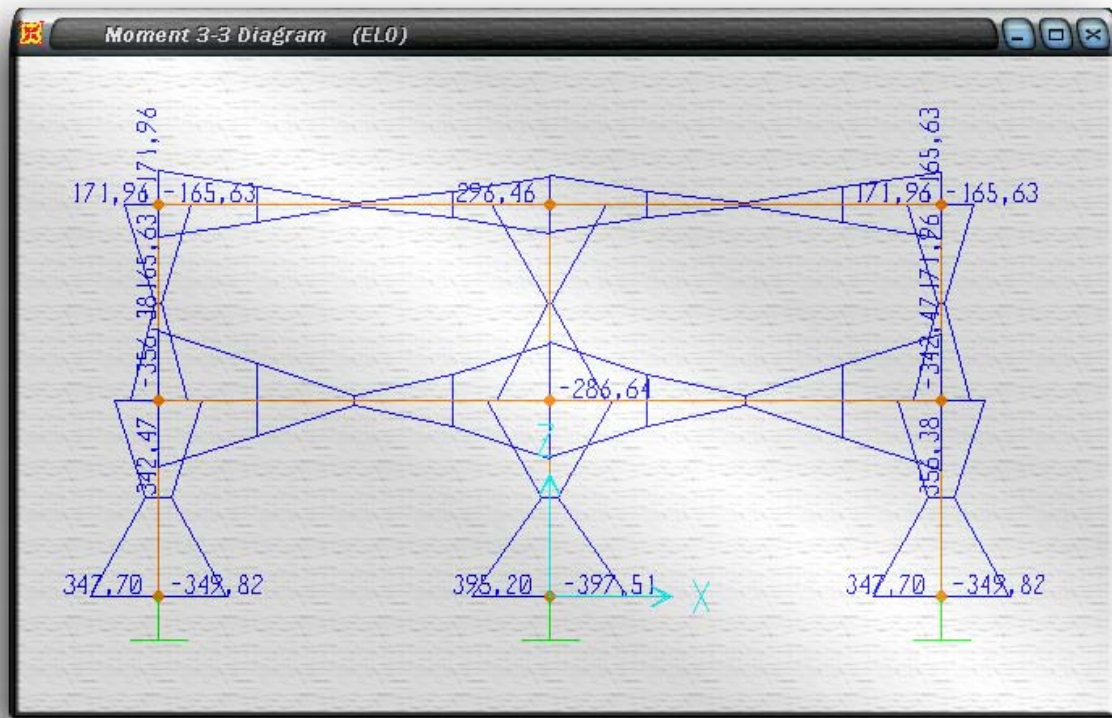
Διαγράμματα μέγιστης μετακίνησης ανελαστικής επίλυσης.



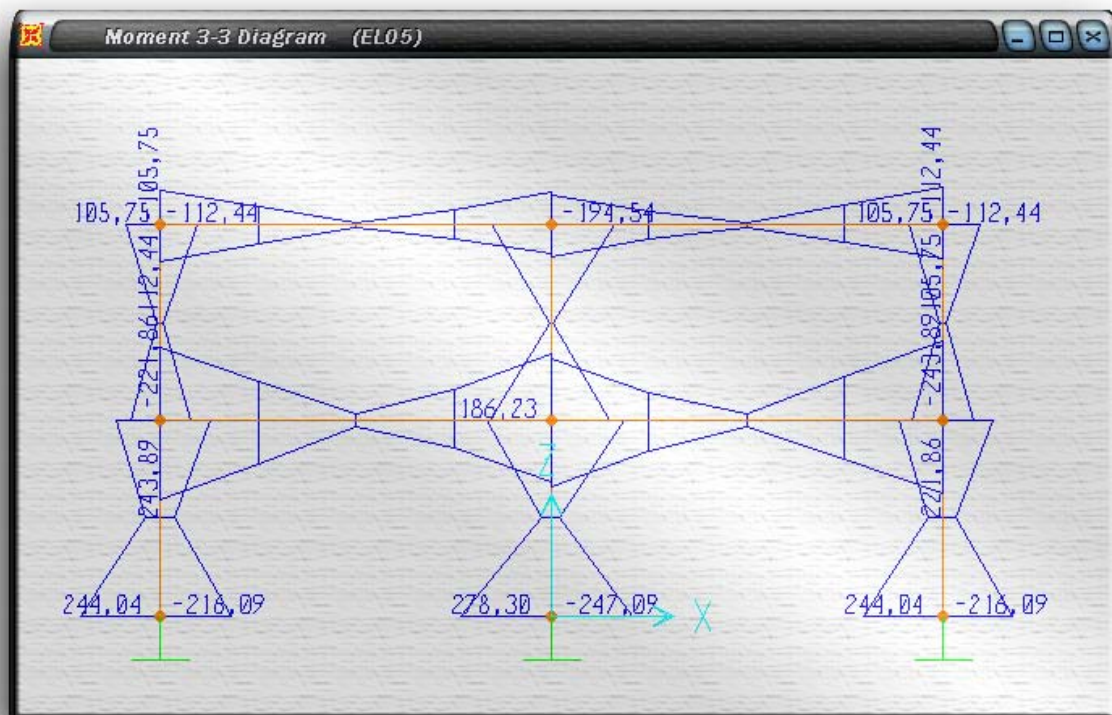
απόσβεση 0%



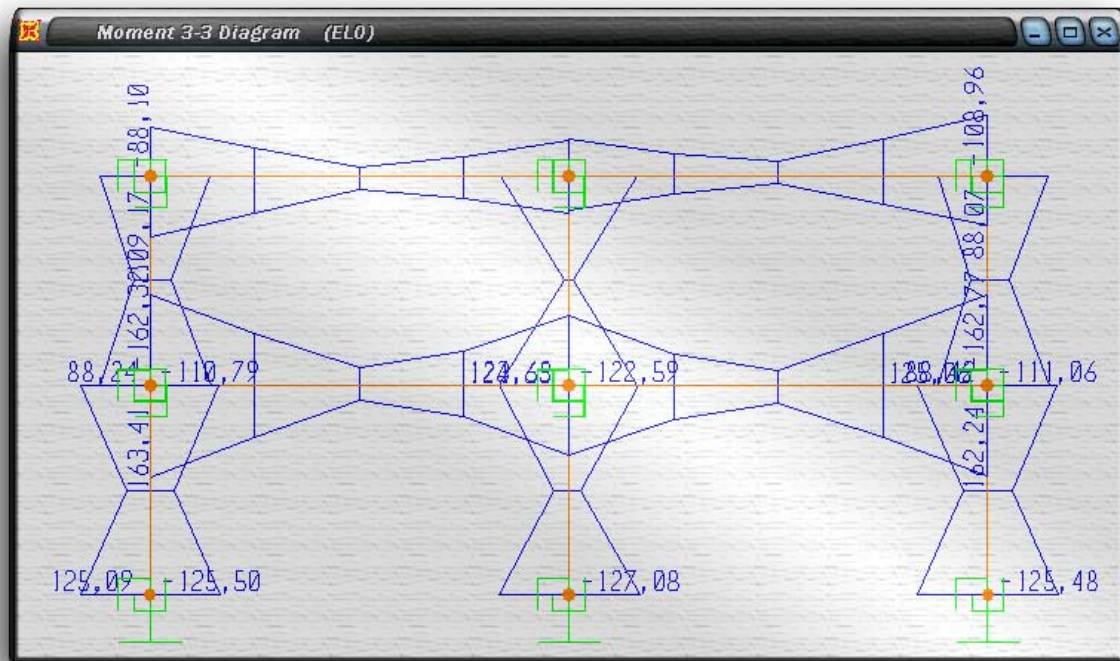
απόσβεση 5%

Διαγράμματα μέγιστων ροπών ελαστικής επίλυσης.

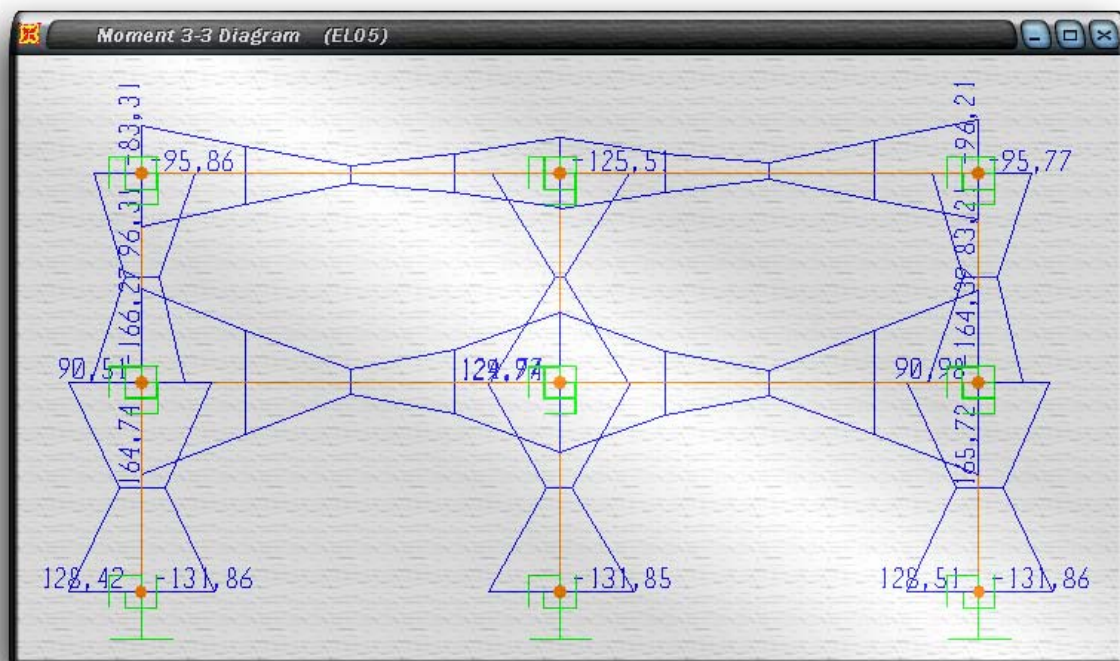
απόσβεση 0%



απόσβεση 5%

Διαγράμματα μέγιστων ροπών ανελαστικής επίλυσης.

απόσβεση 0%



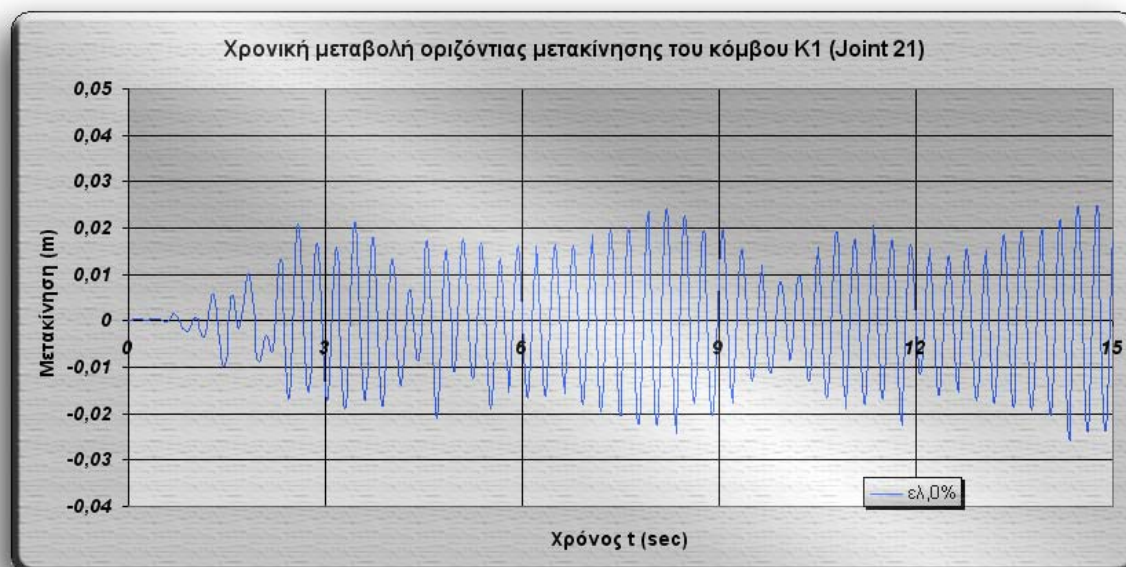
απόσβεση 5%

Σύγκριση / σχολιασμός αποτελεσμάτων.

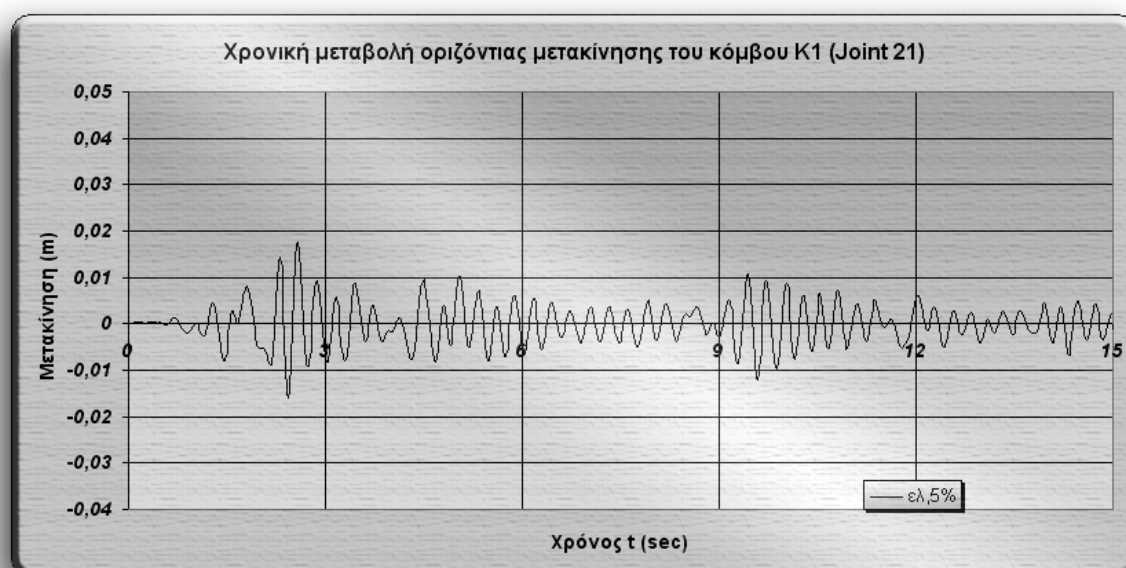
- Έχουμε μέγιστη ελαστική μετακίνηση της τάξης των 2,5 εκατοστών (απόσβεση 0%), ενώ όπως είναι φυσικό, για απόσβεση 5%, η μετακίνηση είναι μικρότερη (1,8 cm), δηλαδή μείωση της τάξης του 32%.
- Έχουμε μέγιστη ανελαστική μετακίνηση της τάξης των 4,1 εκατοστών (απόσβεση 0%), ενώ όπως είναι φυσικό, για απόσβεση 5%, η μετακίνηση είναι μικρότερη (3,2 cm), δηλαδή μείωση της τάξης του 21%.
- Η ιδιοπερίοδος σε όλες τις επιλύσεις είναι της τάξης των 0,2 sec, οπότε σύμφωνα με τη θεωρία ίσων ενεργειών για $T < 0,5$ sec, οι μετακινήσεις των ανελαστικών συστημάτων είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες των ελαστικών. Τα αποτελέσματά μας, επιβεβαιώνουν αυτή τη θεωρία.
- Το ελαστικό σύστημα αποδεικνύεται πιο ευαίσθητο από το ανελαστικό (32% έναντι 21%),
- Έντονη είναι η διαφοροποίηση μεταξύ των εντατικών μεγεθών κατά την ελαστική και ανελαστική επίλυση. Για απόσβεση 0%, μεταξύ των στοιχείων που δεν διέρρευσαν, η διαφορά είναι της τάξης του 35%. Για απόσβεση 5%, μεταξύ των στοιχείων που δεν διέρρευσαν, η διαφορά είναι της τάξης του 15%.
- Τα εντατικά μεγέθη μεταξύ 0% και 5% για την ελαστική επίλυση, όπως είναι φυσικό, υπακούουν στην αντίστοιχη μείωση των μεγεθών των μετακινήσεων που αναλύθηκε ανωτέρω.
- Τα εντατικά μεγέθη μεταξύ 0% και 5% για την ανελαστική επίλυση και για τα στοιχεία που δεν διέρρευσαν, υπακούουν και αυτά (με περίπου 13%) στην αντίστοιχη μείωση των μεγεθών των μετακινήσεων.
- Παρατηρούμε το παράδοξο ότι τα εντατικά μεγέθη στα στοιχεία που διαρρέουν κατά την ελαστοπλαστική ανάλυση με απόσβεση 5% φαίνονται μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα με απόσβεση 0%. Αυτό ίσως οφείλεται στη μέθοδο χρονικής ολοκλήρωσης που ακολουθεί το πρόγραμμα SAP 2000.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο**ΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ
ΤΟΥ ΚΟΜΒΟΥ Κ1 ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ.**

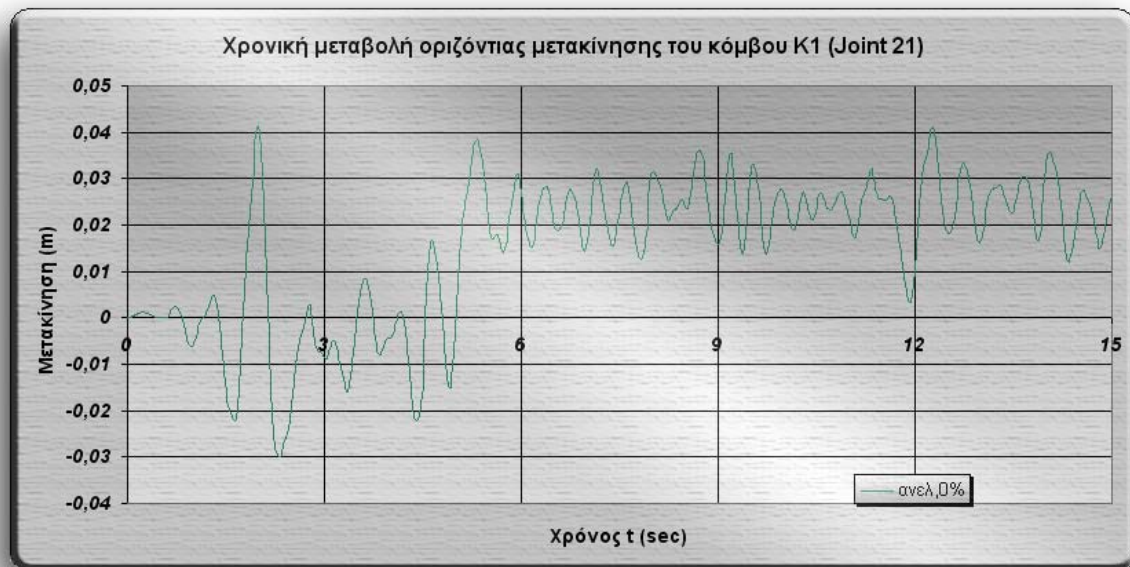
Παρατίθενται τα αντίστοιχα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια του Excel:



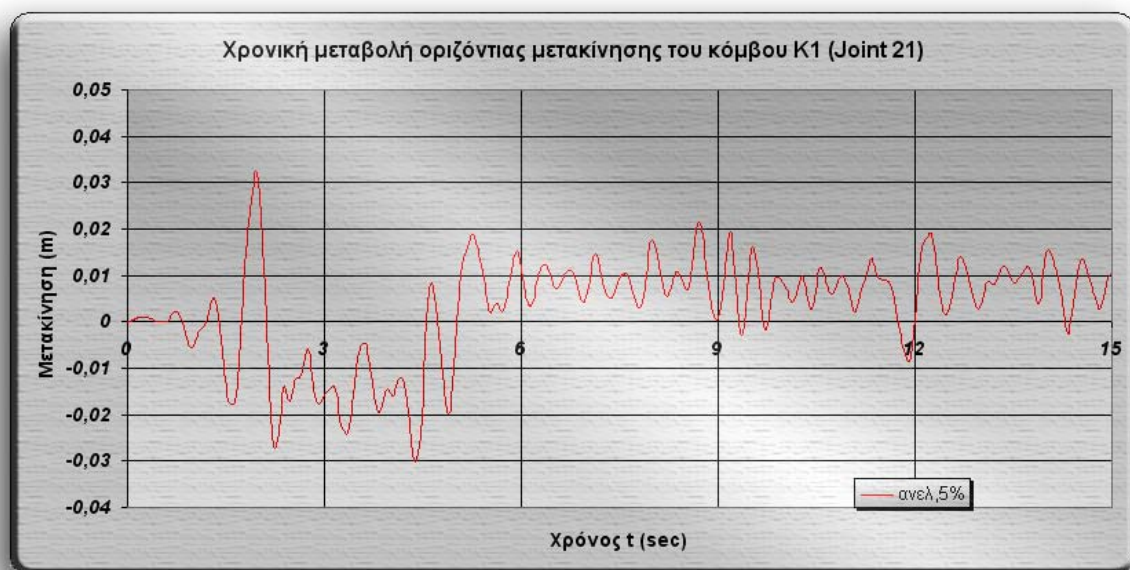
Ελαστική ανάλυση με απόσβεση 0%



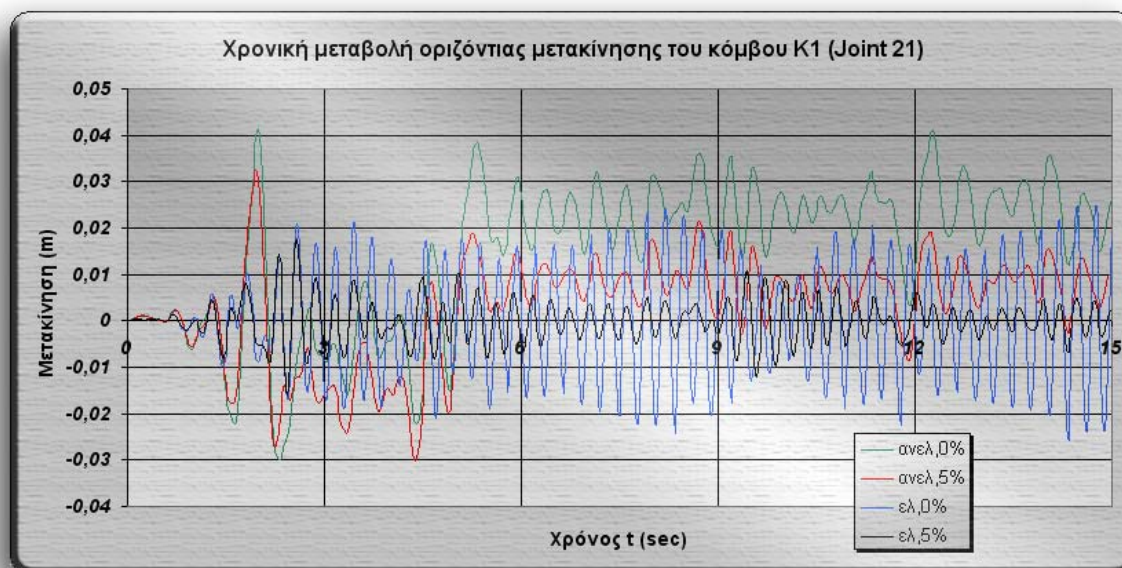
Ελαστική ανάλυση με απόσβεση 5%



Ανελαστική ανάλυση με απόσβεση 0%



Ανελαστική ανάλυση με απόσβεση 5%

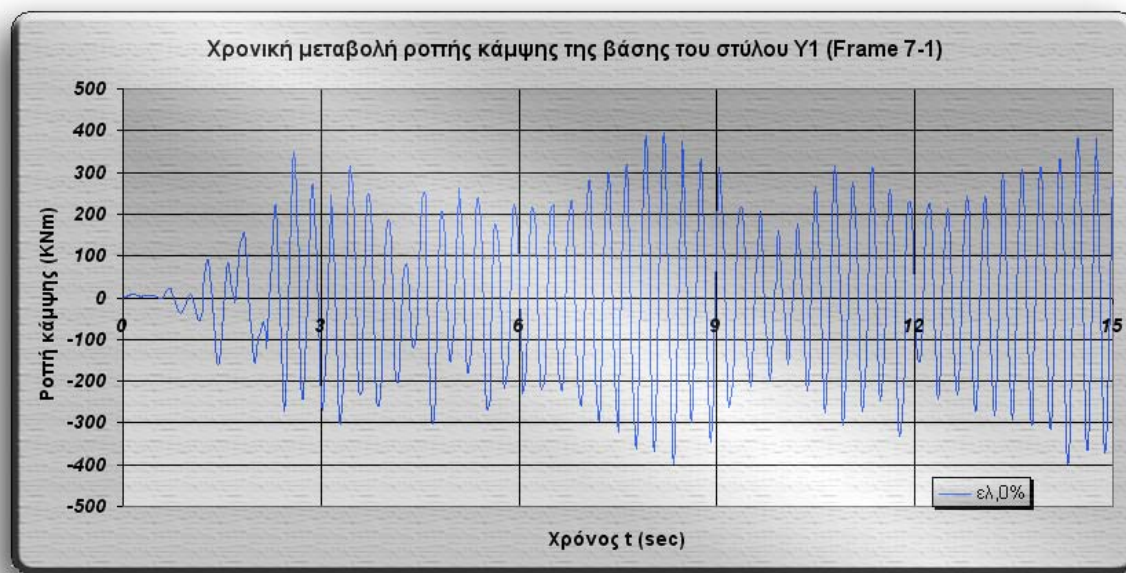


Σύγκριση / σχολιασμός αποτελεσμάτων.

- Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση των ανελαστικών αναλύσεων, τα διαγράμματα είναι ποιοτικά ίδια, δηλαδή διαφέρουν στα μέγιστα πλάτη μεταξύ τους ανάμεσα στην 0% απόσβεση και 5% απόσβεση, αντίστοιχα.
- Στα διαγράμματα της ελαστικής ανάλυσης, παρατηρείται μία ποιοτική διαφοροποίηση των διαγραμμάτων.
- Το εύρος των τιμών των αντίστοιχων μεγεθών, έχει σχολιαστεί σε προηγούμενη ενότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο**ΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΡΟΠΗΣ ΚΑΜΨΗΣ ΣΤΗ ΒΑΣΗ ΤΟΥ ΣΤΥΛΟΥ Υ1.**

Παρατίθενται τα αντίστοιχα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια του Excel:



Ελαστική ανάλυση με απόσβεση 0%



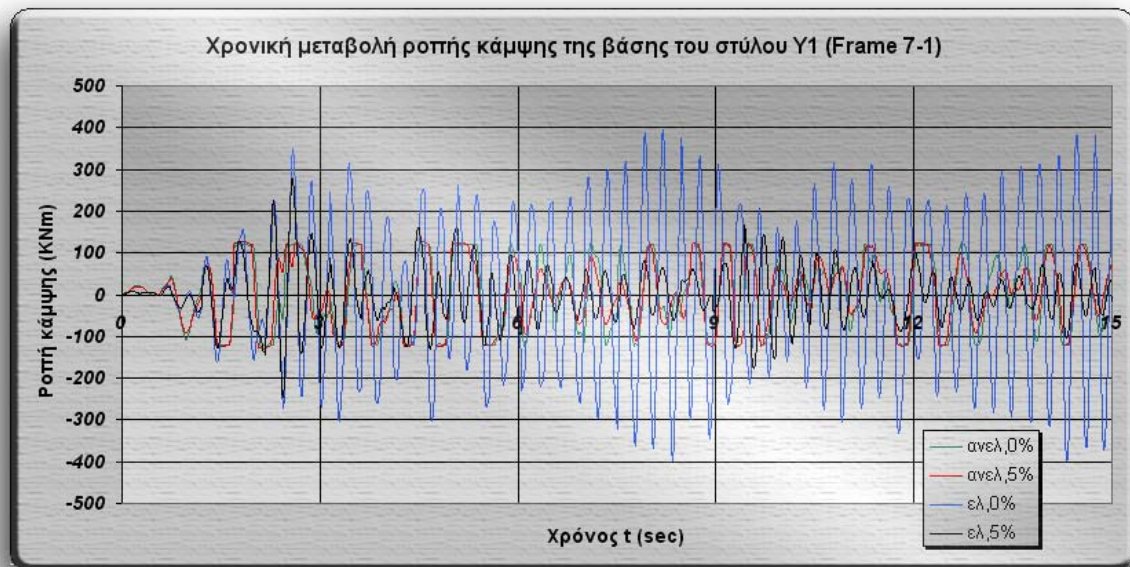
Ελαστική ανάλυση με απόσβεση 5%



Ανελαστική ανάλυση με απόσβεση 0%



Ανελαστική ανάλυση με απόσβεση 5%



Σύγκριση / σχολιασμός αποτελεσμάτων.

- Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση των ανελαστικών αναλύσεων, τα διαγράμματα είναι ποιοτικά ίδια, δηλαδή διαφέρουν στα μέγιστα πλάτη μεταξύ τους ανάμεσα στην 0% απόσβεση και 5% απόσβεση, αντίστοιχα.
- Στα διαγράμματα της ελαστικής ανάλυσης, παρατηρείται μία ποιοτική διαφοροποίηση των διαγραμμάτων.
- Το εύρος των τιμών των αντίστοιχων μεγεθών, έχει σχολιαστεί σε προηγούμενη ενότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο**ΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΣΤΡΟΦΗΣ ΣΤΗ ΒΑΣΗ ΤΟΥ ΣΤΥΛΟΥ Υ1.**

Παρατίθενται τα αντίστοιχα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια του Excel:



Ανελαστική ανάλυση με απόσβεση 0%



Ανελαστική ανάλυση με απόσβεση 5%

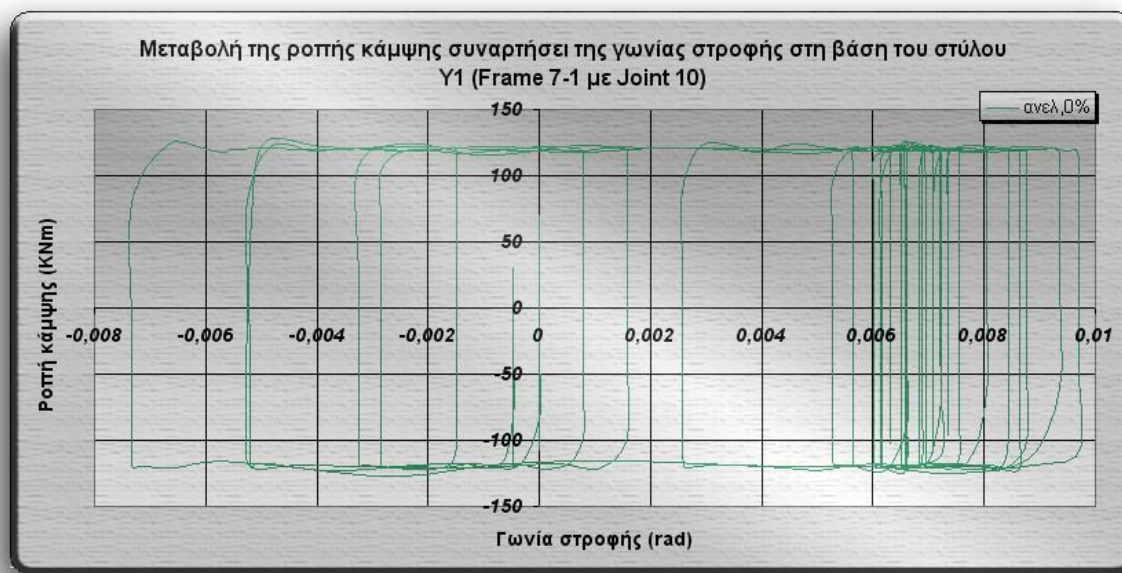


Σύγκριση / σχολιασμός αποτελεσμάτων.

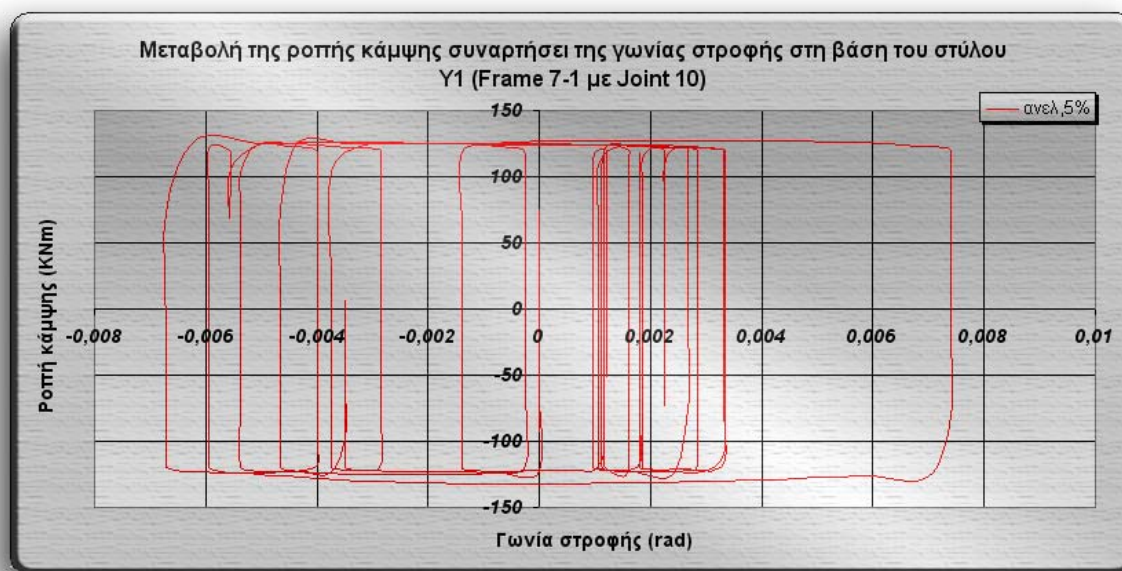
- Αρχικά φαίνεται ότι το στοιχείο NLLINK στα πρώτα 1,5 δευτερόλεπτα, έχει πολύ μικρή καταπόνηση σε στροφή (δεν έχει διαρρεύσει, αλλά μετά, οπότε και οι επιταχύνσεις του εδάφους γίνονται μεγαλύτερες, έχουμε μία απότομη στροφή της τάξης του 0,0095 rad για απόσβεση 0% (0,0078 rad για απόσβεση 5%). Στη συνέχεια, ύστερα από αλλεπάλληλη καταπόνηση δέχεται τη μέγιστη στροφή ίση με 0,00971 rad για απόσβεση 0% (η αντίστοιχη, αλλά όχι μέγιστη τιμή για απόσβεση 5% είναι 0,00732 rad). Τέλος, ηρεμεί με μία παραμένουσα στροφή της τάξης του 0,0062 rad για απόσβεση 0% (0,0013 rad για απόσβεση 5%).
- Στην περίπτωση μόνο της 5% απόσβεσης, η μέγιστη στροφή αναπτύσσεται στα 1,98 sec.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο**ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΡΟΠΗΣ ΚΑΜΨΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΣΤΡΟΦΗΣ ΣΤΗ ΒΑΣΗ ΤΟΥ ΣΤΥΛΟΥ Υ1.**

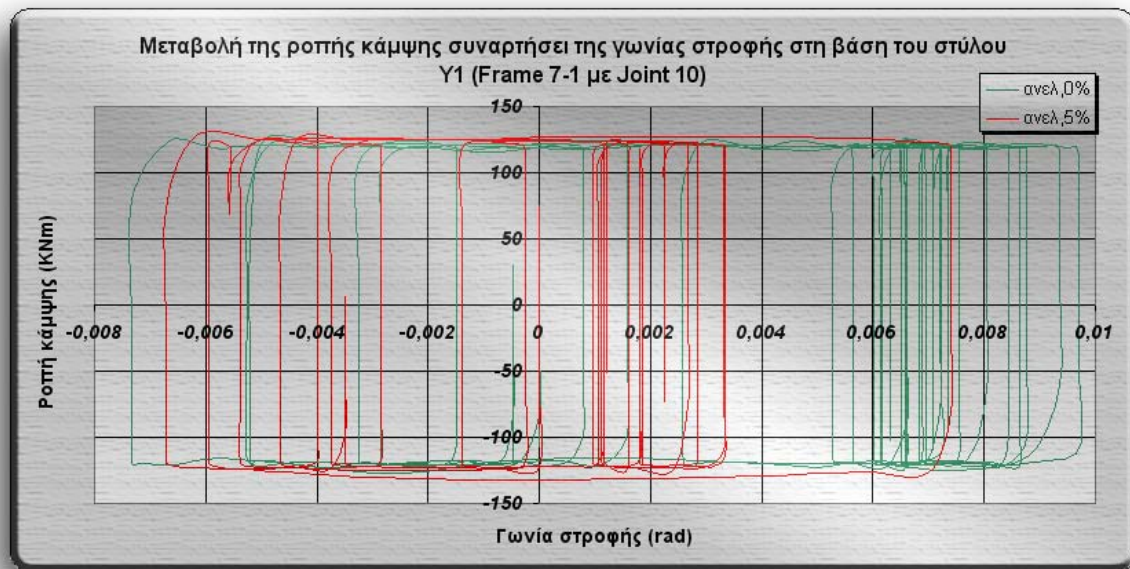
Παρατίθενται τα αντίστοιχα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια του Excel:



Ανελαστική ανάλυση με απόσβεση 0%



Ανελαστική ανάλυση με απόσβεση 5%



Σύγκριση / σχολιασμός αποτελεσμάτων.

- Στα παραπάνω σχήματα, φαίνονται οι υστερητικοί βρόγχοι υστέρησης στα στοιχεία NLLINK.
- Ως γενικό σχόλιο, αναφέρουμε ότι σε περίπτωση που κάνουμε την ανελαστική ανάλυση χρονοϊστορίας με “mass inertia” ίσο με 0,1 (αντί του 0,3 που χρησιμοποιήσαμε τελικά), τα αποτελέσματα είναι πιο ακριβή, με ιδιαίτερα αυξημένο όμως υπολογιστικό κόστος, το οποίο τελικά καθιστά τη συγκεκριμένη ανάλυση ασύμφορη.