

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

### ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΥΠΙΚΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΠΝΟΔΟΧΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ

#### Δ.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάλυση της φόρτισης του σεισμού στην καπνοδόχο των 60 μέτρων, όπως αυτή περιγράφηκε στο κεφάλαιο 7.5 έγινε με τους τρεις τρόπους που παρουσιάστηκαν:

- α) Ισοδύναμη στατική ανάλυση με βάση τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (Ε.Α.Κ.)
- β) Δυναμική ανάλυση με τον σεισμό του El Centro (1940) και τον σεισμό της Κοζάνης (1995)
- γ) Φασματική ανάλυση με φάσμα το οποίο προκύπτει με βάση τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (Ε.Α.Κ.)

#### Δ.2 ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΛΑΦΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ $\alpha=0,24$

Παρακάτω παρουσιάζονται ο υπολογισμός του σεισμικού φορτίου από τον Ε.Α.Κ. και κατά επέκταση η στατική επίλυση μέσω προγράμματος του Abaqus. Χρησιμοποιήθηκαν δύο μοντέλα, ένα δοκού (beam) και ένα κελύφους (shell).

##### Δ.2.1 Υπολογισμός του σεισμικού φορτίου από τον Ε.Α.Κ για μοντέλο κελύφους.

Από Abaqus για μοντέλο κελύφους βρίσκουμε  $f_1 = 0,9909 \text{ Hz}$ . (1<sup>η</sup> ιδιοσυχνότητα)

Άρα :  $T = 1/f_1 = 1,0092 \text{ sec}$

Από Ε.Α.Κ. επιλέγουμε κατηγορία εδάφους Β :  $T_1 = 0,15$  και  $T_2 = 0,6$

Λόγω  $T > T_2$  :  $\Phi_d(T) = \gamma_1 \cdot \alpha \cdot n \cdot \theta \cdot \beta_o / q \cdot (T_2/T)^{2/3}$

με :  $\gamma_1 = 1$

$A = \alpha \cdot g = 0,24 \cdot g$  ,  $A = \max$  επιτάχυνση του σεισμού

$n = \sqrt{7/(2+\zeta)} = 1,3228$  ( $\zeta = 2\%$ )

$\theta = 1$

$\beta_o = 2,5$

$q = 1$

Τελικά :  $\Phi_d(T) = 0,5612$

Δύναμη

$F = w \cdot \Phi_d(T) = m \cdot g \cdot \Phi_d(T) = \rho \cdot V \cdot g \cdot \Phi_d(T)$

$F = 7800 \cdot 3,3284 \cdot 9,81 \cdot \Phi_d(T) = 142,92 \text{ KN}$

Ισοδύναμη Πλευρική «Πίεση»

$q = F/A = \rho \cdot V \cdot g \cdot \Phi_d(T)/A$

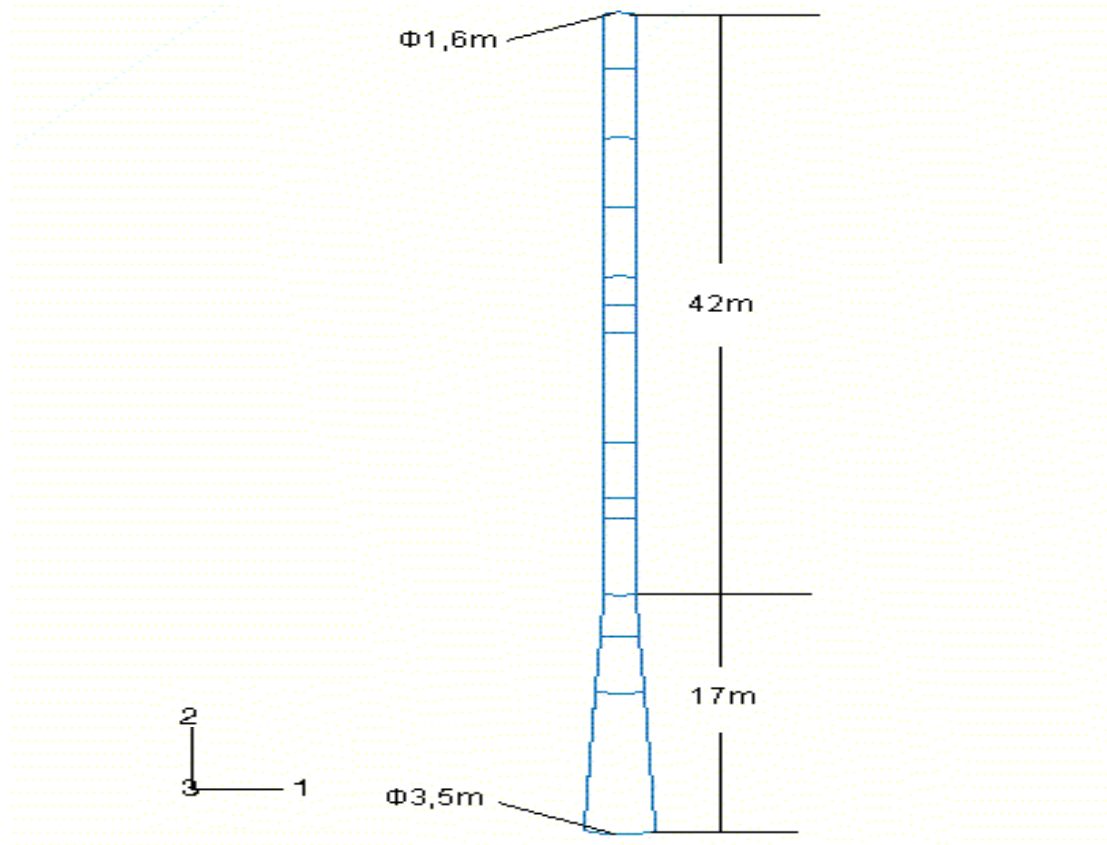
όπου ,

$A = 110,541 \text{ m}^2$  (πίνακας 15 , σελ. 62)

Τελικά :  $q = 1,293 \text{ KN/m}^2$

### Δ.2.2 Στατική επίλυση μέσω Abaqus για μοντέλο κελύφους

Για την στατική επίλυση χρησιμοποιήσαμε τριγωνικό φορτίο ισοδύναμο με τη συνολική δύναμη  
:  $F_{\text{συνολική}} = 142,92 \text{ KN}$ .



**Σχήμα Δ.1:** Βιομηχανική καπνοδόχος ύψους 60 μέτρων

Έχοντας ομοιόμορφο φορτίο η δύναμη ανά μονάδα μήκους είναι :

$$F = 142,92 / 59 = 2,4224 \text{ KN / m}$$

Για να μετατρέψουμε την ομοιόμορφη δύναμη ανά μονάδα μήκους σε τριγωνική ισχύει :  $F l = F' l / 2 \Rightarrow F' = 2 F = 4,8447 \text{ KN / m}$  , όπου  $F'$  η max δύναμη ανά μονάδα μήκους του τριγωνικού φορτίου.

Άρα η δύναμη στο ανώτερο τμήμα της καπνοδόχου είναι :  $F' = 4,8447 \cdot 5,9 = 28,584 \text{ KN}$

Το τριγωνικό φορτίο μπορεί να περιγραφεί από μια γραμμική εξίσωση :

$y = a x$  , όπου

$y$  το ύψος σε m και  $x$  η δύναμη σε KN.

Για  $y=59\text{m}$  ,  $x= 28,584 \text{ KN}$  και  $a= 59 / 28,584 = 2,064$

Έτσι τελικά :  $y=2,064x$  ή  $x = y / 2,064$

Από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει το παρακάτω τριγωνικό φορτίο :

y (m)	56,05	50,15	44,25	38,35	32,45	26,55	20,65	14,75	8,85	2,95
x(KN)	27,156	24,298	21,439	18,580	15,722	12,864	10,005	7,146	4,288	1,429

**Πίνακας Α.1. Προσδιορισμός τριγωνικού φορτίου**

Η στατική επίλυση έγινε όπως και με τον άνεμο με τα δύο μοντέλα ,του shell model και του beam model . Επίσης διαφοροποιούνται διάφορα μεγέθη γιατί στο σεισμό οι συντελεστές ασφαλείας είναι ίση με 1.

Όπως στον άνεμο έτσι και εδώ οι κρίσιμες διατομές είναι οι ίδιες και έτσι υπολογίζουμε ενδεικτικά τις παρακάτω τάσεις για τη διατομή Φ1,6m και t = 10mm στο ύψος των 24m :

$$N_{sd} = W_{s,24m} + W_{a,24m} = 96,875 + 8,75 = 105,625 \text{ KN}$$

$$n_x^N = \frac{N_{sd}}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{105,625}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,8} = 21,024 = 0,21 \text{ KN/cm}$$

$$M_g = 105,625 \cdot 0,00311 \cdot 35/2 = 5,75 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

- Για την σύγκριση των αποτελεσμάτων των τάσεων με το beam model έγινε το εξής :

$$\begin{aligned} \sigma_{x,d(\text{πραγματική})} &= \sigma_{x,d(\text{shell model})} + n_x^N \cdot a_{r\chi} / t + M_{g,a\chi} / (\pi \cdot R^2 \cdot t) = \\ &= 121 + 2,1 + 0,286 = 123,386 \text{ MPa.} \end{aligned}$$

$$\sigma_{\theta,d(\text{πραγματική})} = 1 \cdot \sigma_{\theta,d(\text{shell model})} = 34,03 \text{ MPa.}$$

$$\tau_{\chi\theta,d(\text{πραγματική})} = 1 \cdot \tau_{\chi\theta,d(\text{shell model})} = 5,917 \text{ MPa.}$$

- Για τον έλεγχο της λειτουργικότητας έχουμε :  $\delta_{\max} = 66,75 \text{ cm.}$

### Α.2.3 Υπολογισμός του σεισμικού φορτίου από τον Ε.Α.Κ για μοντέλο δοκού.

Από Abaqus για μοντέλο κελύφους βρίσκουμε  $f_1 = 0,974 \text{ Hz.}$  ( $1^{\text{η}}$  ιδιοσυχνότητα)

Άρα :  $T = 1/f_1 = 1,0267 \text{ sec}$

Από Ε.Α.Κ. επιλέγουμε κατηγορία εδάφους Β :  $T_1 = 0,15$  και  $T_2 = 0,6$

Λόγω  $T > T_2$  :  $\Phi_d(T) = \gamma_1 \cdot \alpha \cdot n \cdot \theta \cdot \beta_0 / q \cdot (T_2/T)^{2/3}$

Τελικά :  $\Phi_d(T) = 0,5548$

#### Δύναμη

$$F = w \cdot \Phi_d(T) = m \cdot g \cdot \Phi_d(T) = \rho \cdot V \cdot g \cdot \Phi_d(T)$$

$$F = 7800 \cdot 3,3284 \cdot 9,81 \cdot \Phi_d(T) = 141,3 \text{ KN}$$

### Α.2.4 Στατική επίλυση μέσω Abaqus για μοντέλο δοκού

Για την στατική επίλυση χρησιμοποιήσαμε τριγωνικό φορτίο ισοδύναμο με τη συνολική δύναμη :  $F_{\text{συνολική}} = 141,3 \text{ KN.}$

Έχοντας ομοιόμορφο φορτίο η δύναμη ανά μονάδα μήκους είναι :

$$F = 141,3 / 59 = 2,395 \text{ KN / m}$$

Για να μετατρέψουμε την ομοιόμορφη δύναμη ανά μονάδα μήκους σε τριγωνική ισχύει :  $F_1 = F' \cdot 1/2 \Rightarrow F' = 2 \cdot F = 4,79 \text{ KN / m}$  , όπου  $F'$  η max δύναμη ανά μονάδα μήκους του τριγωνικού φορτίου.

Άρα η δύναμη στο ανώτερο τμήμα της καπνοδόχου είναι :  $\tilde{F}=4,79 \cdot 5,9 = 28,26 \text{ KN}$

Το τριγωνικό φορτίο μπορεί να περιγραφεί από μια γραμμική εξίσωση :

$y = a \cdot x$  , όπου

y το ύψος σε m και x η δύναμη σε KN.

Για  $y=59\text{m}$  ,  $x= 28,26 \text{ KN}$  και  $a= 59 / 28,26 = 2,0877$

Έτσι τελικά :  $y=2,0877x$  ή  $x = y / 2,0877$

Από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει το παρακάτω τριγωνικό φορτίο :

y (m)	56,05	50,15	44,25	38,35	32,45	26,55	20,65	14,75	8,85	2,95
x(KN)	26.847	24.022	21.196	18.369	15.543	12.717	9.891	7.065	4.239	1.413

**Πίνακας Δ.2. Προσδιορισμός τριγωνικού φορτίου**

- Η επίλυση με το μοντέλο της δοκού μας δίνει μια ροπή κάμψης στη διατομή που επιλύουμε(διατομή Φ1,6m με  $t = 10\text{mm}$  στο ύψος των 24m) :

$$M_w = 2345,22 \text{ KN}\cdot\text{m} .$$

$$\begin{aligned} \text{Άρα η αξονική τάση } \sigma_{x,d(\text{beam model})} &= M_w / (\pi \cdot R^2 \cdot t) + n_x^N \cdot \sigma_{\text{αρχ.}} / t + M_{g,\text{αρχ.}} / (\pi \cdot R^2 \cdot t) = \\ &= 116,7 + 2,1 + 0,286 = 119,086 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Για τον έλεγχο της λειτουργικότητας έχουμε :  $\delta_{\max} = 67,71\text{cm}$ .

Μέχρι εδώ υπολογίσαμε τις τάσεις με στατική ανάλυση που το φορτίο προέκυψε από τον Ε.Α.Κ. Οι υπολογισμοί έγιναν ενδεικτικά για κατηγορία σεισμικότητας ΙΙΙ ( $\alpha = 0,24$ ). Επειδή η στατική επίλυση είναι μια γραμμική ανάλυση για τον υπολογισμό των τάσεων οποιουδήποτε άλλου σεισμού αρκεί να κάνουμε το εξής :

$$\tau \acute{\alpha} \sigma \eta_{\text{σεισμοϋ}} = \frac{\tau \acute{\alpha} \sigma \eta_{\text{ElCentro}} \cdot a_i}{a_{\text{ElCentro}}} ,$$

όπου  $a_i$  η επιτάχυνση του  $i$  σεισμού. Σε πίνακα που παρατίθεται παρακάτω υπολογίζουμε με αυτό τον τρόπο και τις τάσεις για κατηγορία σεισμικότητας ΙΙΙ με  $\alpha=0,24$  και ΙΙ με  $\alpha=0,16$  σύμφωνα με τον Ε.Α.Κ.

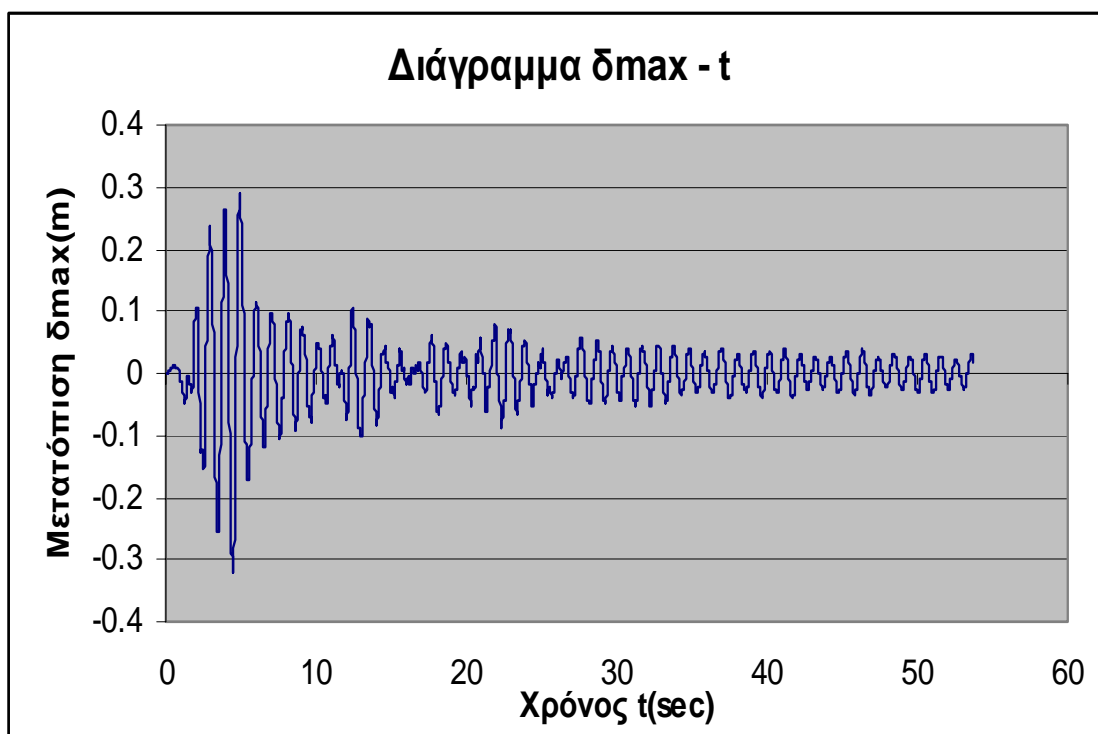
Ισοδύναμη στατική ανάλυση	beam		shell			
	$\sigma_{x,d}(\text{MPa})$	$\delta_{\max}(\text{cm})$	$\sigma_{x,d}$	$\sigma_{\theta,d}$	$\tau_{\chi\theta,d}$	$\delta_{\max}$
$\alpha=0,24$	119.08	67.71	123,38	34,03	5,917	66,75
$\alpha=0,16$	79.39	45.14	82,257	22,68	3,94	44,5

**Πίνακας Δ.3. Ισοδύναμη στατική ανάλυση.**

### Δ.3 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΣΩ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΣΕΙΣΜΟΥ EL CENTRO

Η ανάλυση έγινε μέσω επιταχυνσιογραφήματος το οποίο έχει δεδομένα επιτάχυνσης – χρόνου ανά 0,02 sec και συνολική διάρκεια σεισμού 53,76 sec με μέγιστη επιτάχυνση  $a_{\max} = 0,348g$ . Χρησιμοποιήθηκαν πάλι τα δύο μοντέλα, του shell και beam model του ABAQUS.

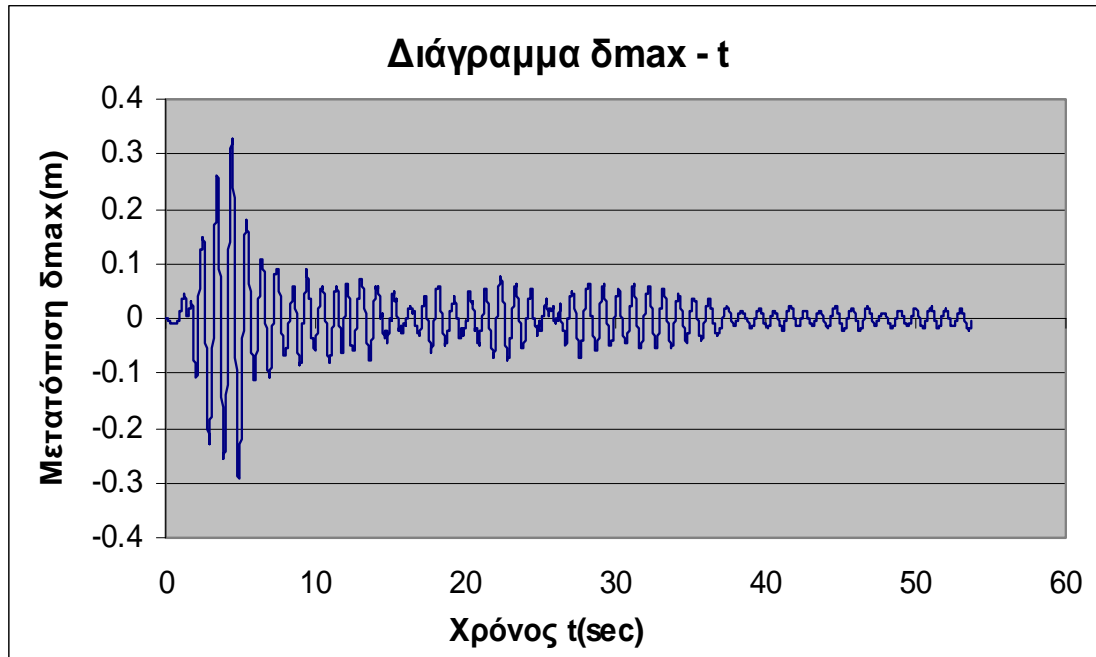
Στην δυναμική ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 1, 2, 5, 10 ιδιομορφές. Εξετάζοντας όλες τις πιθανές διατομές που θεωρείται ότι μπορεί να είναι κρίσιμες παρατηρήθηκε ότι η κρίσιμη διατομή είναι η Φ1,6m με  $t = 8,3mm$  στο ύψος των 28m. Στο πίνακα Δ.4 συνοψίζονται όλα τα αποτελέσματα.



**Σχήμα Δ.2. Διάγραμμα  $\delta_{\max}$  - t σε beam model για 5 ιδιομορφές στην κορυφή της καπνοδόχου όπου έχουμε μέγιστες τιμές.**

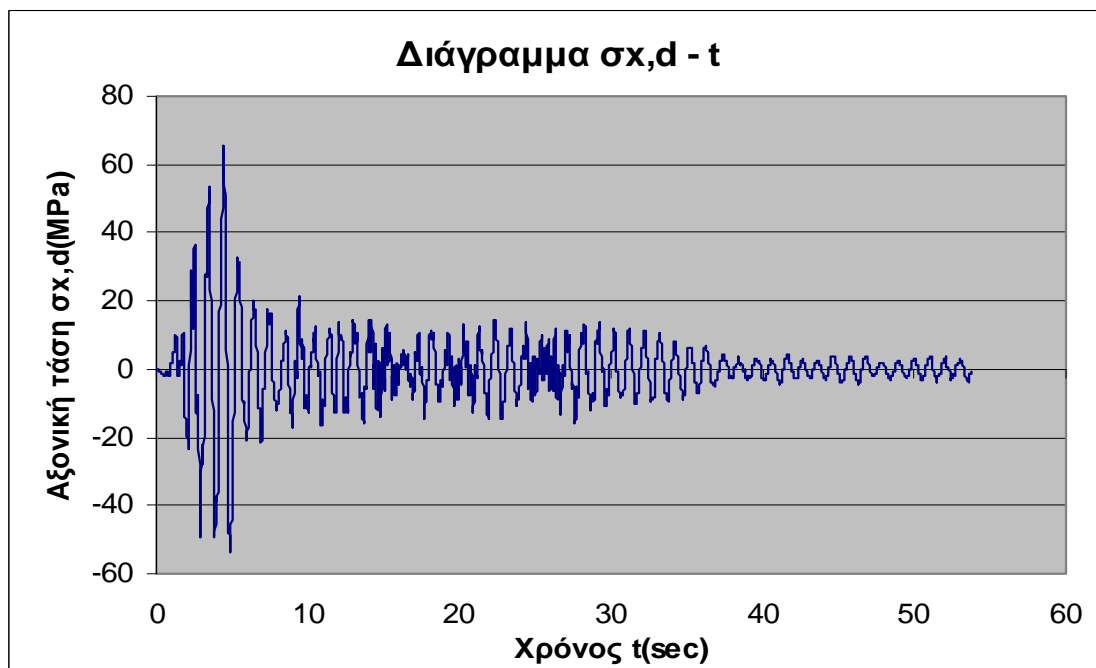
Παρουσιάζουμε ενδεικτικά μόνο για τις 5 πρώτες ιδιομορφές το διάγραμμα  $\delta_{\max}$  – χρόνου t γιατί και για τις άλλες ιδιομορφές που υπολογίσαμε τα διαγράμματα έχουν την ίδια μορφή. Επίσης τα διαγράμματα μετατοπίσεων Ροπής κάμψης  $M_w$  – χρόνου t δεν παρουσιάζονται για τον ίδιο λόγο.

Όπως στο beam model έτσι και στο shell model παρουσιάζουμε ενδεικτικά μόνο για τις 5 πρώτες ιδιομορφές το διάγραμμα  $\delta_{\max}$  – χρόνου t γιατί και για τις άλλες ιδιομορφές που υπολογίσαμε τα διαγράμματα έχουν την ίδια μορφή.

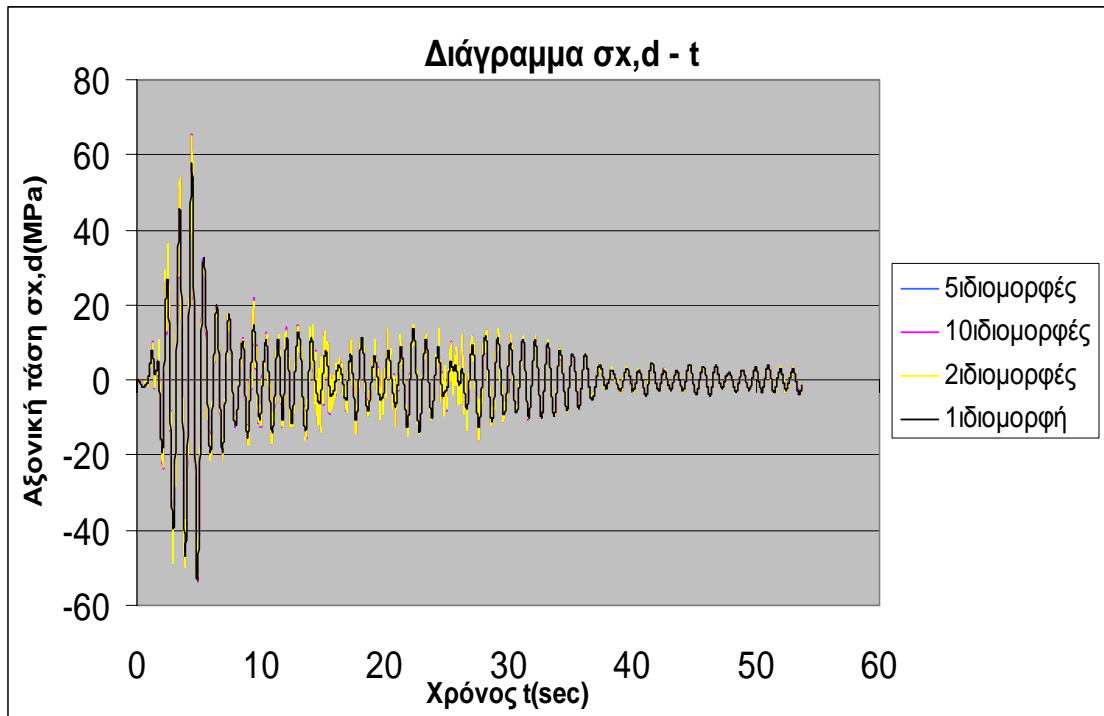


Σχήμα

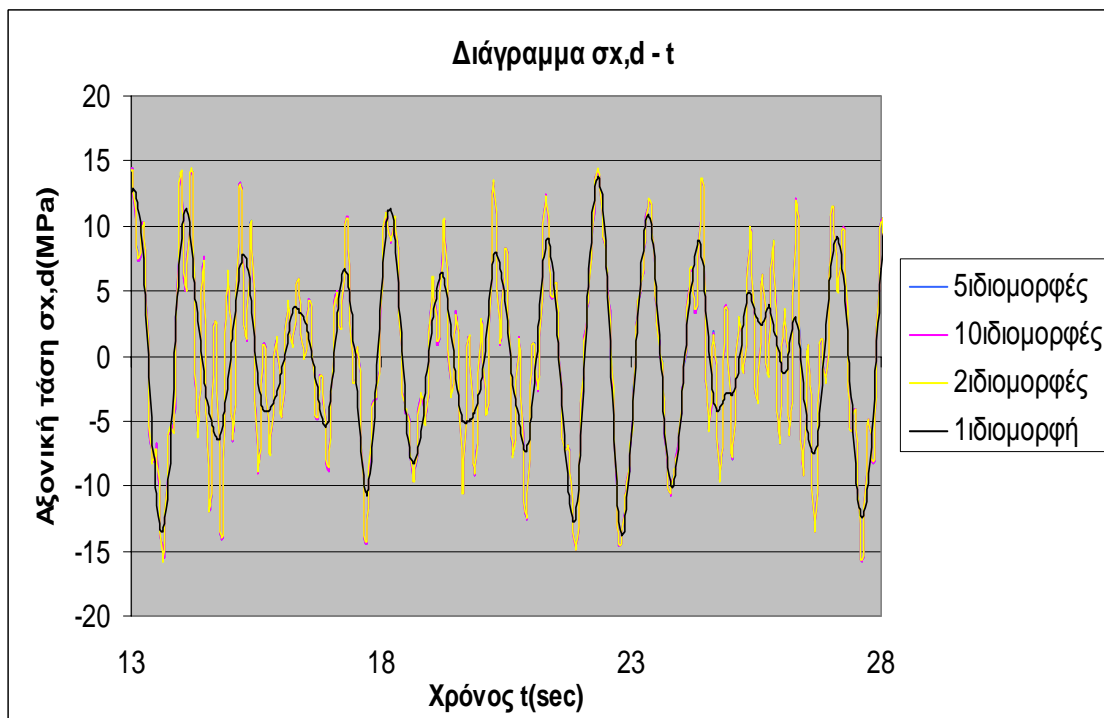
**Δ.3. Διάγραμμα μετατόπισης  $\delta_{\max}$  - χρόνου  $t$  σε shell model για 5 ιδιομορφές στην κορυφή της καπνοδόχου όπου έχουμε μέγιστες τιμές.**



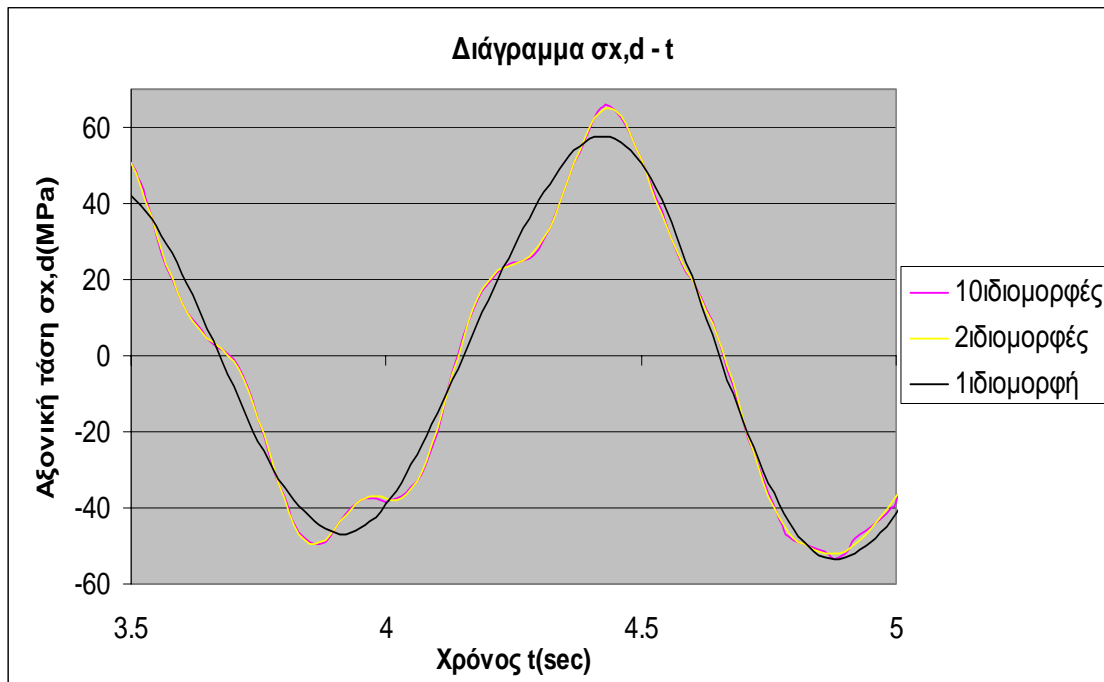
**Σχήμα Δ.4. Διάγραμμα αξονικής τάσης  $\sigma_{\chi,d}$  - χρόνου  $t$  σε shell model για 5 ιδιομορφές στην διατομή  $\Phi 1,6m$  με  $t = 8,3mm$  στο ύψος των 28m όπου έχουμε μέγιστες τιμές.**



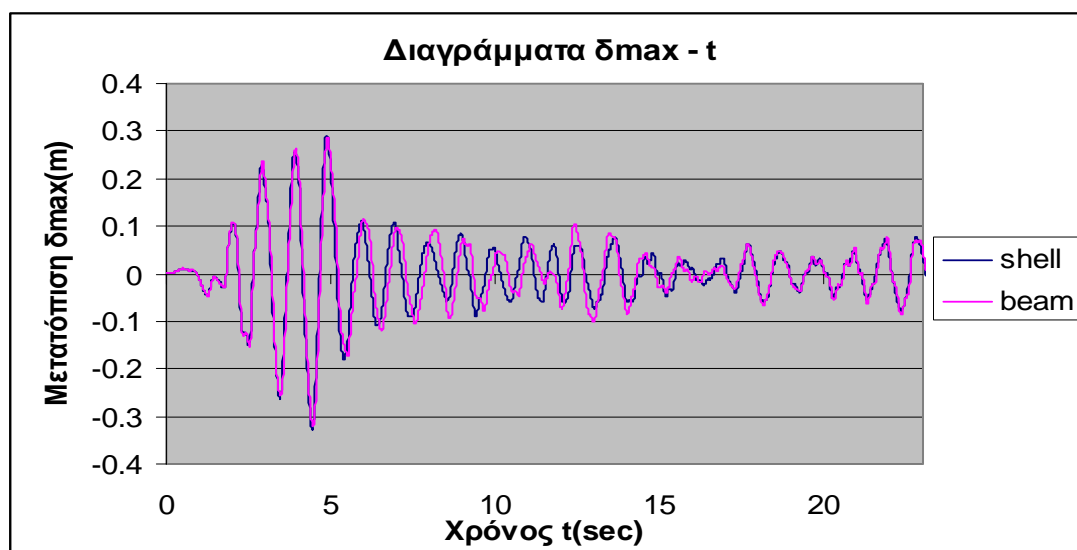
Σχήμα Δ.5. Σύγκριση διαγραμμάτων αξονικής τάσης  $\sigma_{x,d}$  - χρόνου  $t$  σε shell model για 1 , 2, 5 και για 10 ιδιομορφές διατομή  $\Phi 1,6m$  με  $t = 8,3mm$  στο ύψος των 28m όπου έχουμε μέγιστες τιμές.



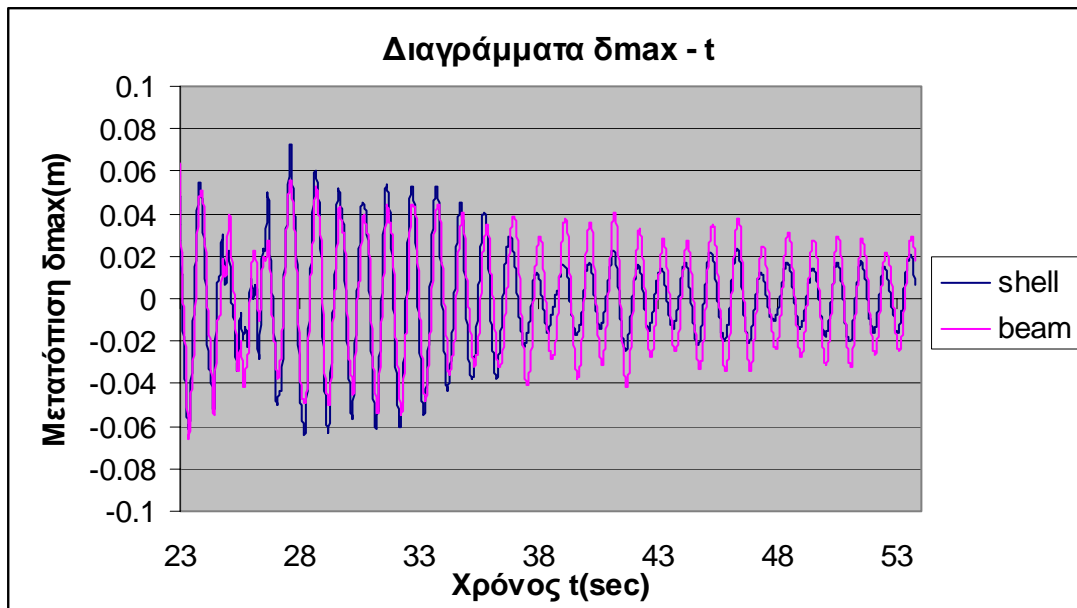
Σχήμα Δ.6. Σύγκριση διαγραμμάτων αξονικής τάσης  $\sigma_{x,d}$  - χρόνου  $t$  σε shell model για 1 , 2, 5 και για 10 ιδιομορφές διατομή  $\Phi 1,6m$  με  $t = 8,3mm$  στο ύψος των 28m όπου έχουμε μέγιστες τιμές.



Σχήμα Δ.7. Σύγκριση διαγραμμάτων αξονικής τάσης  $\sigma_{x,d}$  - χρόνου  $t$  σε shell model για 1, 2 και για 10 ιδιομορφές στη διατομή Φ1,6m με  $t = 8,3\text{mm}$  στο ύψος των 28m όπου έχουμε μέγιστες τιμές.



Σχήμα Δ.8. Σύγκριση διαγραμμάτων  $\delta_{\max} - t$  μεταξύ beam και shell model για τις 10 πρώτες ιδιομορφές



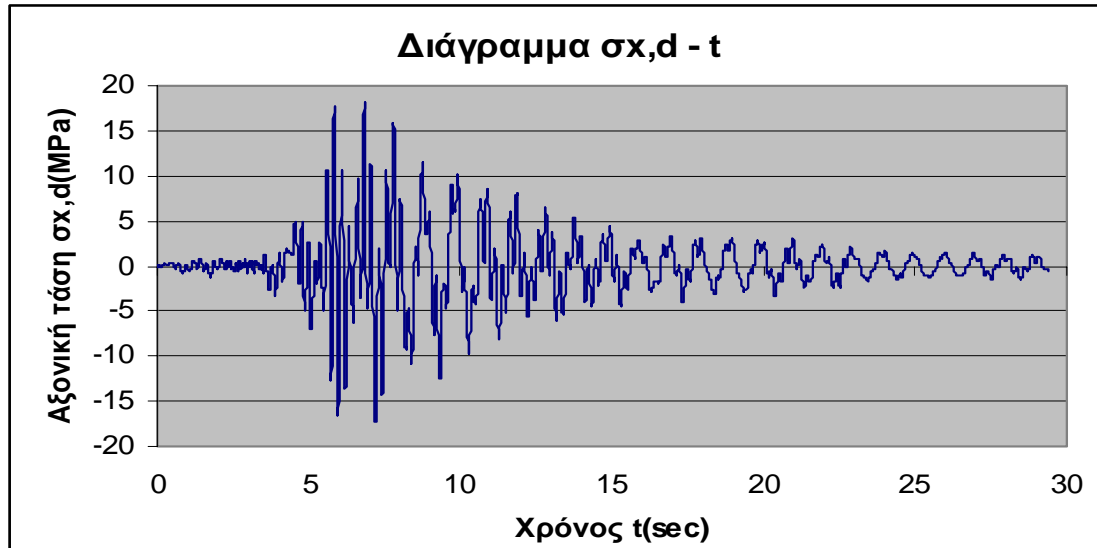
Σχήμα Δ.9. Σύγκριση διαγραμμάτων  $\delta_{\max} - t$  μεταξύ beam και shell model για τις 10 πρώτες ιδιομορφές

Η σύγκριση που γίνεται στα σχήματα Δ.8. και Δ.9. έχει σαν σκοπό ναδειχθεί η συμπεριφορά του beam και του shell model και να εντοπιστεί τυχόν διαφορά τους επιλέγοντας ενδεικτικά τις 10 πρώτες ιδιομορφές. Φαίνεται ότι δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των δύο καμπύλων. Μπορούμε να εντοπίσουμε τις περιοχές 10 – 15 sec και 23 – 28 sec στις οποίες υπάρχει σημαντική διαφορά στην συμπεριφορά των 2 μοντέλων.

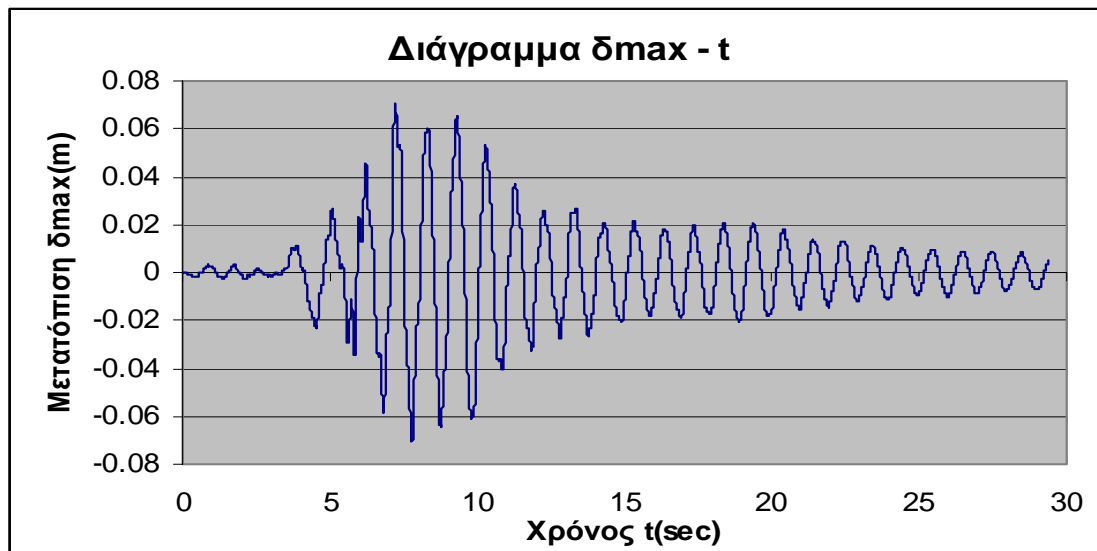
#### 6.4 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΣΩ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΣΕΙΣΜΟΥ ΚΟΖΑΝΗΣ

Η ανάλυση έγινε μέσω επιταχυνσιογραφήματος το οποίο έχει δεδομένα επιτάχυνσης ανά 0,005 sec και συνολική διάρκεια σεισμού 29,4 sec, με μέγιστη επιτάχυνση εδάφους 0.24g. Χρησιμοποιήθηκαν πάλι τα δύο μοντέλα, του shell και beam model με αρχικά και διαβρωμένα πάχη.

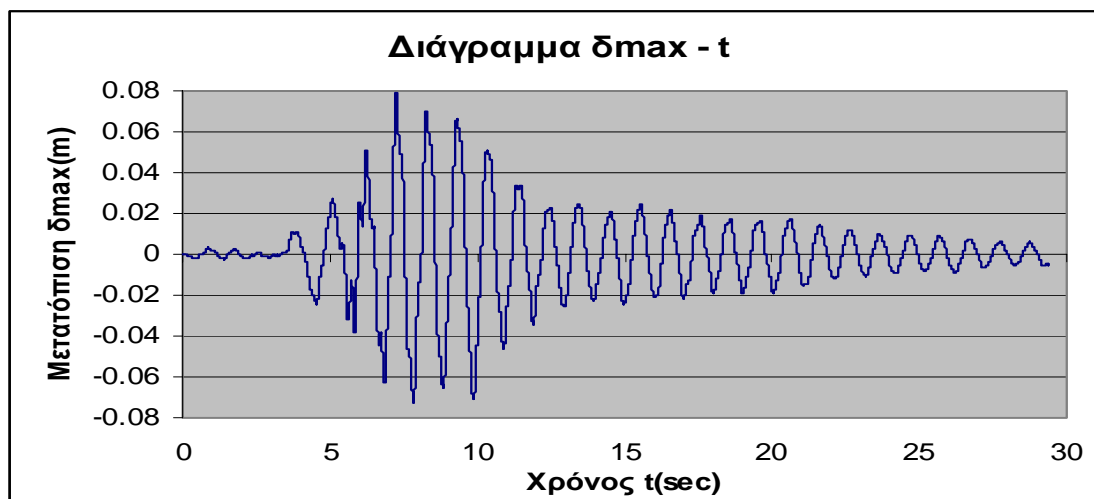
Στην δυναμική ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 1, 5 ιδιομορφές. Οι μέγιστες τάσεις εμφανίζονται και εδώ στη βάση της καπνοδόχου. Στο πίνακα 6. συνοψίζονται όλα τα αποτελέσματα



Σχήμα Δ.10. Διάγραμμα αξονικής τάσης  $\sigma_{x,d}$  -  $t$  σε shell model για 5 ιδιομορφές στη διατομή Φ1,6m με  $t = 9,8\text{mm}$  στο ύψος των 36m όπου έχουμε μέγιστες τιμές.



Σχήμα Δ.11. Διάγραμμα Μετατόπισης  $\delta_{max}$  -  $t$  σε shell model για 5 ιδιομορφές στη κορυφή όπου έχουμε μέγιστες τιμές.

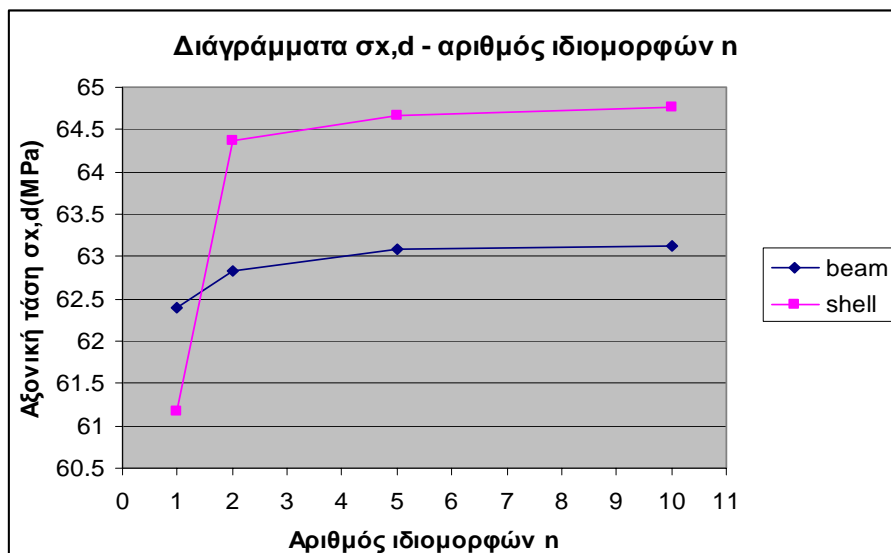


Σχήμα Δ.12. Διάγραμμα Μετατόπισης  $\delta_{\max}$  -  $t$  σε beam model για 5 ιδιομορφές στη κορυφή όπου έχουμε μέγιστες τιμές.

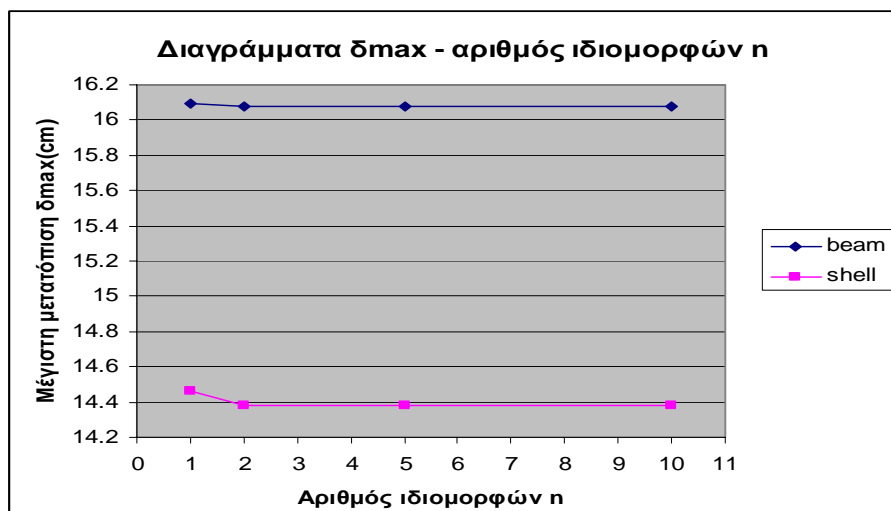
		beam		shell		
		$\sigma_{x,d}$	$\delta_{\max}(cm)$	$\sigma_{x,d}$	$\sigma_{\theta,d}$	$\delta_{\max}$
Επιταχυνσιογράφημα El Centro	1 ιδιομορφή		31,6	59,88	15,36	31,483
	2 ιδιομορφές		32,09	67,54	17,24	14,38
	5 ιδιομορφές		32,14	67,99	17,32	14,38
	10 ιδιομορφές		32,14	68	17,35	14,38
Επιταχυνσιογράφημα Κοζάνης	1 ιδιομορφή					
	5 ιδιομορφές		7,94	20,66		7,08

Πίνακας Δ.4. Αποτελέσματα τάσεων - μετατοπίσεων από τη δυναμική ανάλυση σεισμών El Centro και Κοζάνης

Από τα ανωτέρω αποτελέσματα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η συμβολή των ανωτέρω ιδιομορφών στην αύξηση των μετατοπίσεων είναι σχεδόν αμελητέα όπως και στις τάσεις.



**Σχήμα Δ.13. Σχηματική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων του πίνακα 20. του σεισμού του El Centro**



**Σχήμα Δ.14. Σχηματική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων του πίνακα 6. του σεισμού του El Centro**

Ιδιοσυχνότητες σε Hz			
Αρχικά πάχη		Διαβρωμένα	
beam	shell	beam	shell
1,4716	1,4985	1,5815	1,6067
8,1208	8,2972	8,3396	8,5043
21,037	21,574	21,19	21,685
35,668	36,323	37,217	37,888
38,72	39,944	38,915	40,076
59,806	62,158	59,93	62,186
83,177	87,33	83,319	87,348
98,955	101,06	99,944	102,05
107,72	114,67	107,85	114,69
132,24	142,85	132,2	142,52

**Πίνακας Δ.5. Οι 10 πρώτες ιδιοσυχνότητες της καπνοδόχου των 60μέτρων για κάμψη στο επίπεδό της.**

## Δ.5 ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ Ε.Α.Κ. ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΔΑΦΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ $\alpha = 0,24$ και $\alpha = 0,16$ .

Στο κεφάλαιο Δ.2 υπολογίσαμε τάσεις – μετατοπίσεις για 1 ιδιομορφή με την ισοδύναμη στατική μέθοδο. Στο κεφάλαιο αυτό με τη φασματική ανάλυση στην ουσία γίνεται το ίδιο πράγμα με τη διαφορά συμμετέχουν και οι ανώτερες ιδιομορφές.

Η φασματική ανάλυση απαιτεί τη δημιουργία ενός φάσματος σχεδιασμού το οποίο προκύπτει από τους τύπους:

$$0 \leq T \leq T_1 : \Phi_d(T) = \gamma_1 \cdot A \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_1} \left( \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} - 1 \right) \right]$$

$$T_1 \leq T \leq T_2 : \Phi_d(T) = \gamma_1 \cdot A \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q}$$

$$T_2 < T : \Phi_d(T) = \gamma_1 \cdot A \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} \cdot \left( \frac{T_2}{T} \right)^{2/3}$$

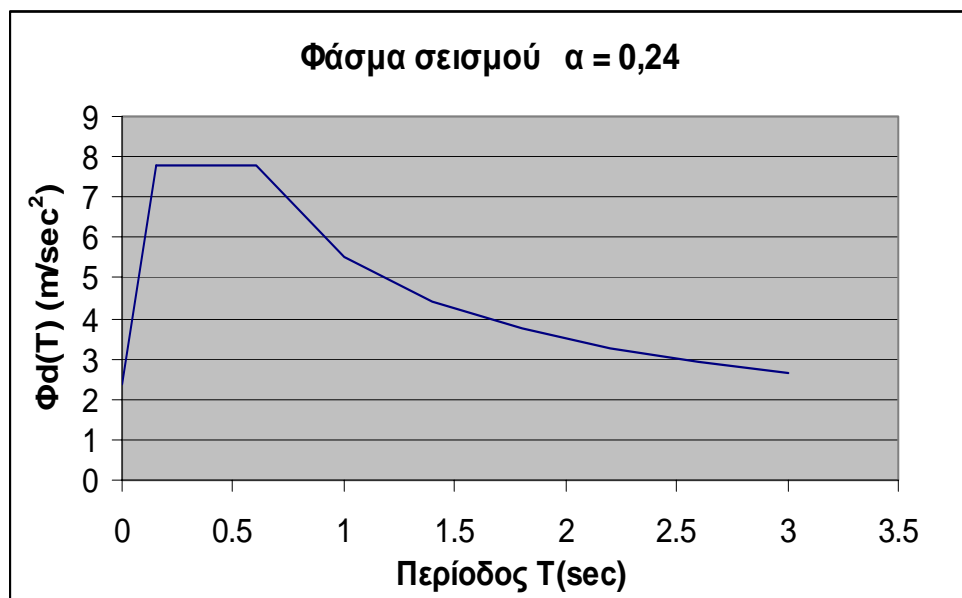
όπου ,

$A = \alpha \cdot g$	μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση του εδάφους
$g = 9,81 \text{ m/s}^2$	η επιτάχυνση της βαρύτητας
$\gamma_1$	συντελεστής σπουδαιότητας του κτιρίου
$q$	συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής
$\eta$	διορθωτικός συντελεστής για ποσοστό απόσβεσης $\neq 5\%$
$\theta$	συντελεστής επιρροής της θεμελίωσης
$T_1, T_2$	χαρακτηριστικές περίοδοι του φάσματος
$\beta_0 = 2,5$	συντελεστής φασματικής ενίσχυσης
$A, B, \Gamma, \Delta$	κατηγορία εδάφους

Με βάση τα παραπάνω δημιουργούμε ένα διάγραμμα του  $\Phi_d(T)$  συναρτήσεως του  $T$  το οποίο ονομάζεται φάσμα σεισμού. Ελήφθησαν διάφορες τιμές του  $T$  και υπολογίστηκαν τα αντίστοιχα  $\Phi_d(T)$ . Συγκεκριμένα επιλέχτηκε κατηγορία εδάφους Β ( $T_1=0,15$  ,  $T_2= 0,6$ ):

T(sec)	f(Hz)	$\Phi_d(T)$ (m/sec <sup>2</sup> )
0	$\infty$	2.3544
0.15	6.666666667	7.786
0.6	1.666666667	7.786
1	1	5.5387
1.4	0.714285714	4.4258
1.8	0.555555556	3.743
2.2	0.454545455	3.2744
2.6	0.384615385	2.9292
3	0.333333333	2.6627
$\infty$	0	0.5886

**Πίνακας Δ.6.** Δεδομένα T- $\Phi_d(T)$  που χρησιμοποιήθηκε για φασματική ανάλυση.



**Σχήμα Δ.15.** Φάσμα σεισμού με βάση Ε.Α.Κ. για  $\alpha = 0,24$ , κατηγορία εδάφους Β.

Στην επίλυση που κάναμε με πρόγραμμα σε Abaqus το φάσμα το μετατρέψαμε συναρτήσει της ιδιοσυχνότητας  $f$  αντί για περίοδο  $T$ . Πάλι η επίλυση έγινε με shell και beam model για αρχικά και διαβρωμένα πάχη. Στους πίνακες Δ.7 και Δ.8 παρατίθενται όλα τα αποτελέσματα:

Φασματική ανάλυση			shell			beam	
			$\sigma_{x,d}$	$\sigma_{\theta,d}$	$\delta_{max}$	$\sigma_{x,d}$	$\delta_{max}$
$\alpha=0,24$	1 ιδιομορφή	Αρχικά πάχη	<b>55.52</b>	<b>14.77</b>	<b>13.07</b>	<b>52.21</b>	<b>13.35</b>
	2 ιδιομορφές	Αρχικά πάχη	<b>55.92</b>	<b>14.88</b>	<b>13.07</b>	<b>52.61</b>	<b>13.36</b>
	3 ιδιομορφές	Αρχικά πάχη	<b>55.92</b>	<b>14.88</b>	<b>13.07</b>	<b>52.61</b>	<b>13.36</b>
	4 ιδιομορφές	Αρχικά πάχη	<b>55.92</b>	<b>14.88</b>	<b>13.07</b>	<b>52.61</b>	<b>13.36</b>
	5 ιδιομορφές	Αρχικά πάχη	<b>55.92</b>	<b>14.88</b>	<b>13.07</b>	<b>52.61</b>	<b>13.36</b>
		Διαβρωμένα	<b>46.81</b>	<b>12.39</b>	<b>12.06</b>	<b>44.42</b>	<b>12.28</b>
	30 ιδιομορφές	Αρχικά πάχη	<b>55.92</b>	<b>14.88</b>	<b>13.07</b>	<b>52.61</b>	<b>13.36</b>

**Πίνακας Δ.7. Αποτελέσματα για κατηγορία σεισμικότητας ΙΙΙ με  $\alpha = 0,24$**

Φασματική ανάλυση			shell			beam	
			$\sigma_{x,d}$	$\sigma_{\theta,d}$	$\delta_{max}$	$\sigma_{x,d}$	$\delta_{max}$
$\alpha=0,16$	1 ιδιομορφή	Αρχικά πάχη	37.01	9.84	8.71	34.81	8.9
	2 ιδιομορφές	Αρχικά πάχη	37.28	9.92	8.71	35.07	8.91
	3 ιδιομορφές	Αρχικά πάχη	37.28	9.92	8.71	35.07	8.91
	4 ιδιομορφές	Αρχικά πάχη	37.28	9.92	8.71	35.07	8.91
	5 ιδιομορφές	Αρχικά πάχη	37.28	9.92	8.71	35.07	8.91
		Διαβρωμένα	31.20	8.26	8.04	29.6	8.19
	30 ιδιομορφές	Αρχικά πάχη	37.28	9.92	8.71	35.07	8.91

**Πίνακας Δ.8. Αποτελέσματα για κατηγορία σεισμικότητας ΙΙ με  $\alpha = 0,16$**