

## Κεφάλαιο 13: Εφαρμογές και Προγράμματα Επίλυσης με H/Y

### 13.1 Η Εφαρμογή Dynasoft

Το όνομα της εφαρμογής dynasoft, προέρχεται από τη σύμπτυξη και μετέπειτα συνένωση δυο λέξεων. Η ιδέα του ονόματος βασίστηκε στην προσπάθεια απόδοσης δυο χαρακτηριστικών της παρούσας εφαρμογής, με την πρώτη ερμηνεία να προέρχεται από τις λέξεις dynamics και software, δηλαδή το λειτουργικό για τη δυναμική, ενώ η δεύτερη να αποδίδει την σημασία της απλότητας και της εκπαιδευτικής στόχευσης της εφαρμογής από την συνένωση των λέξεων dynamics και soft, που θα μπορούσε να αποδοθεί ως υποτυπώδης εφαρμογή της δυναμικής. Δεν ήταν δηλαδή στις προθέσεις των συγγραφέων αλλά και της ύλης του βιβλίου, η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου προγράμματος που να καλύπτει το σύνολο των εφαρμογών της δυναμικής των κατασκευών.

Γίνεται λοιπόν σαφής ο εκπαιδευτικός χαρακτήρας του dynasoft, αλλά και ο σκοπός και στόχος των συγγραφέων αυτού του βιβλίου. Η εφαρμογή αυτή μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από τέσσερις βασικές υπολειτουργίες, που όμως όλες μαζί διαμορφώνουν ένα εκπαιδευτικό πλαίσιο κατάλληλο στο να παίζει το ρόλο ενός ηλεκτρονικού εργαστηρίου της δυναμικής των κατασκευών.

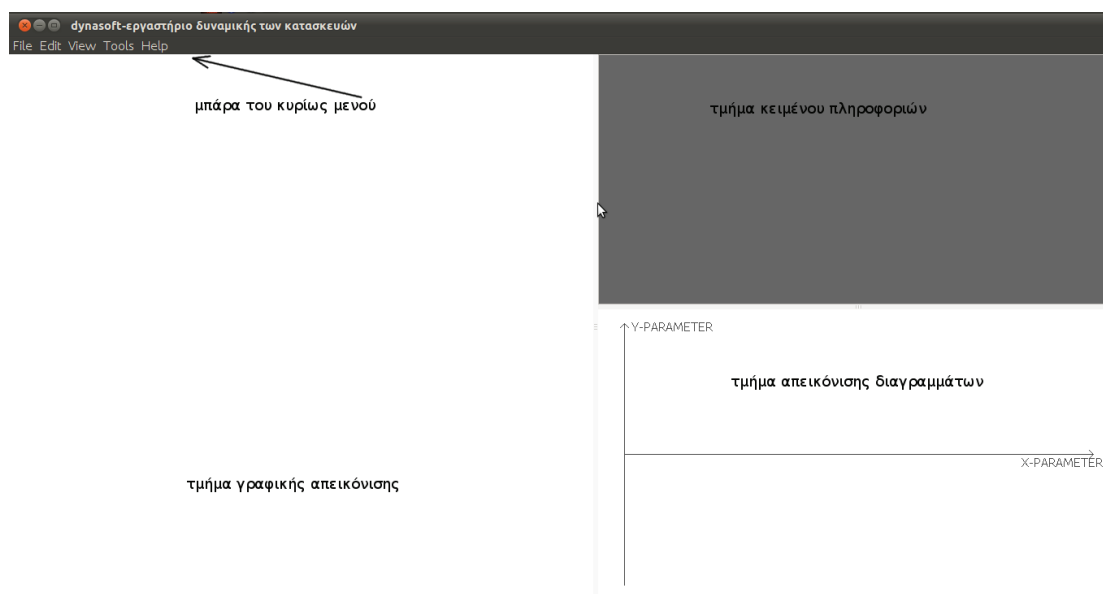
Η γλώσσα προγραμματισμού που επιλέχθηκε είναι η *java* για τρεις κυρίως λόγους. Πρώτος λόγος είναι το γεγονός ότι η *java* είναι ελεύθερα διαθέσιμη μέσω του διαδικτύου. Δεύτερος λόγος, το γεγονός ότι είναι ευρέως διαδεδομένη αφού εγκαθίσταται σε πληθώρα συσκευών και είναι ανεξάρτητη λειτουργικού συστήματος. Τέλος, τρίτο λόγο αποτελεί το γεγονός ότι η ευκολία, η ευελιξία και το εύρος των εφαρμογών που μπορεί να βρεθεί και να αναπαραχθεί, είναι τέτοια που καθιστούν την *java* ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για προγράμματα εκπαιδευτικού χαρακτήρα όπως και για πιο εξειδικευμένες εφαρμογές επιστημονικού ενδιαφέροντος. Το παραγόμενο εκπαιδευτικό λογισμικό, έχει δημιουργηθεί με τη σκέψη της διαδικτυακής λειτουργίας, αλλά και της απευθείας λειτουργίας σε προσωπικούς υπολογιστές ή άλλες συμβατές συσκευές. Το λογισμικό αυτό αποτελεί μέρος του βιβλίου και διατίθεται ελεύθερα μαζί με τον κώδικα του υπό την άδεια GPL, στην αντίστοιχη ιστοσελίδα (<http://dynasoft.civil.auth.gr/>).

Συνοπτικά, οι δυνατότητες του προγράμματος μπορούν να συγκεντρωθούν σε αυτή τη παράγραφο: (i). Εισαγωγή και ανάλυση κάποιων τυποποιημένων συστημάτων (εδώ θα αναφέρονται ως dynasoft-κατασκευές), (ii) Υπολογισμός δυναμικών και ιδιο-χαρακτηριστικών αυτών των κατασκευών, (iii) Εισαγωγή φορτίων είτε σε αναλυτική μαθηματική μορφή είτε από αρχεία καθώς και δυνατότητα εισαγωγής διέγερσης της βάσης, θεωρηση μη μηδενικών αρχικών συνθηκών, (iv) Ανάλυση σε φόρτιση εξαρτώμενη από τον χρόνο και υπολογισμός των χρονοϊστοριών της απόκρισης, (v) Εισαγωγή φάσματος και υπολογισμός των φασματικών παραμέτρων, (vi) Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής φασμάτων για συγκεκριμένο φορτίο που διαβάζεται από αρχείο και θεωρείται ως επιτάχυνση της βάσης.

### 13.2 Το Γραφικό Περιβάλλον Dynasoft

Το γραφικό περιβάλλον διάδρασης με τον χρήστη του συνοδευτικού λογισμικού dynasoft αποτελείται από τέσσερα μέρη, το καθένα με ξεχωριστή λειτουργία και σκοπό. Πιο συγκεκριμένα έχουμε το τμήμα *γραφικής απεικόνισης* του υπό μελέτη συστήματος και της κινηματικής κατάστασης αυτού (παραμόρφωση, ιδιοδιανύσματα, κίνηση στον χρόνο). Το τμήμα *κειμένου πληροφοριών* είναι αυτό στο οποίο δίνονται καταχωρημένα δεδομένα, υπολογισμένα στοιχεία της κατασκευής αλλά και αποτελέσματα απόκρισης. Το τμήμα *απεικόνισης διαγραμμάτων*, όπου σχεδιάζονται διαγράμματα της απόκρισης στον χρόνο, αλλά και αντίστοιχα διαγράμματα φασματικών μεγεθών ως συνάρτηση της ιδιοπεριόδου. Τέλος, υπάρχει και η *μπάρα του κυρίως μενού* που αποτελείται από επιμέρους επιλογές, το σύνολο των οποίων μας επιτρέπουν να εισάγουμε και να διαχειριζόμαστε κατάλληλα τα στοιχεία και τις δυνατότητες του προγράμματος. Στο Σχήμα 13.1 απεικονίζεται το γραφικό περιβάλλον του προγράμματος ενώ τα επιμέρους τμήματα στα οποία αναφερθήκαμε πιο πάνω σημειώνονται ευδιάκριτα.

Ο σχεδιασμός του λογισμικού έχει γίνει υιοθετώντας κάποιες από τις αρχές του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού (object-oriented programming), με συνέπεια να είναι προσαρμοστικό και να δέχεται εύκολα μετατροπές και προσαρτήσεις επιπλέον λειτουργιών. Τέτοια παραδείγματα θα μπορούσαν να είναι π.χ., η προσάρτηση επίλυσης που να βασίζεται σε ανάπτυξη στη βάση των ιδιοδιανυσμάτων ή και η επίλυση στον χώρο της συχνότητας με χρήση ολοκληρωτικών μετασχηματισμών (Fourier, Laplace, κ.α.), μεταξύ άλλων δυνατοτήτων.



**Σχήμα 13.1** Γραφικό περιβάλλον διάδρασης με τον χρήστη

Ακολουθεί μια πιο ενδελεχής περιγραφή των τεσσάρων επιμέρους τμημάτων του γραφικού περιβάλλοντος, ξεκινώντας από τη μπάρα του κυρίως μενού. Το πλήκτρο **File** περιεχί τα δύο επιμέρους μενού **New** και **Define**. Η επιλογή **Define** μας παρέχει τη δυνατότητα να ορίσουμε μία από τις τέσσερις κύριες οντότητες του προγράμματος. Επιγραμματικά, από εκεί μπορούμε να καθορίσουμε, τον μονοβάθμιο ταλαντωτή (οντότητα **sdof**), το μονώροφο τρισδιάστατο κτίριο (οντότητα **storey**), το επίπεδο πλαίσιο ενός ανοίγματος και έως τριών ορόφων (οντότητα **frame**), και τέλος τον υπολογιστή φασμάτων (οντότητα **specalc**). Η επιλογή καθορισμού μίας από τις πιο πάνω οντότητες απαιτεί την εισαγωγή περαιτέρω δεδομένων, τα οποία και θα δούμε σε επιμέρους ενότητες που ακολουθούν. Να ξεκαθαρίσουμε εδώ πως οι οντότητες **sdof**, **storey** και **frame**, έχουν κάποιες κοινές ιδιότητες και λειτουργίες μεταξύ τους, όπως θα φανεί και στη συνέχεια. Για τον λόγο αυτό τις προηγούμενες τρεις οντότητες θα τις ονομάζουμε και dynasoft-κατασκευές, ενώ ο υπολογιστής φασμάτων θα αποτελεί μια ξεχωριστή περίπτωση. Το μενού **Define** αναφέρεται στις dynasoft-κατασκευές και πιο συγκεκριμένα αφορά τον καθορισμό φορτίων (**loading**), αρχικών συνθηκών (**initial conditions**) ή κάποιου φάσματος από το οποίο θα εξαχθούν οι χαρακτηριστικές φασματικές τιμές της κάθε dynasoft-κατασκευής, ανάλογα και με τις υπολογιζόμενες ιδιοπεριόδους τους. Οι επιμέρους επιλογές του μενού **Define** θα είναι ανενεργές ωσότου να οριστεί κάποια dynasoft-κατασκευή. Το πλήκτρο **Edit** μας παρέχει τις εξής δύο δυνατότητες με ισάριθμες επιλογές στο μενού του. Η πρώτη δυνατότητα είναι η επιλογή καθορισμού παραμέτρων για τον αλγόριθμο χρονικής ολοκλήρωσης  $\beta$ -Newmark ( **$\beta$ -Newmark parameters**), με προκαθορισμένη επιλογή αυτή της σταθερής μέσης επιτάχυνσης, που αντιστοιχεί στις παραμέτρους  $\gamma=1/2$  και  $\beta=1/4$ . Στο ίδιο πλαίσιο διάλογου καθορίζεται και το βήμα χρονικής ολοκλήρωσης, στο οποίο έχει δοθεί μια προκαθορισμένη τιμή 0.001sec. Η δεύτερη δυνατότητα είναι η στον χρόνο ανάλυση (**transient analysis**), η οποία και παραμένει ανενεργή έως ότου να καθοριστεί κάποια dynasoft-κατασκευή και η στον χρόνο φόρτιση. Από το πλήκτρο **View** μπορούμε να επιλέγουμε αν θα απεικονίζονται στο αντίστοιχο τμήμα απεικόνισης διαγραμμάτων γραφικές παραστάσεις που αφορούν απόκριση κάποιας dynasoft-κατασκευής ή γραφήματα που αφορούν στον υπολογισμό φασμάτων από κάποια φόρτιση βάσης. Το πλήκτρο **Tools** περιέχει στην παρούσα έκδοση του προγράμματος, τη μοναδική επιλογή για τις παραμέτρους διαγράμματος (**plot parameters**), που αφορούν τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για να κατασκευαστεί και απεικονιστεί ένα διάγραμμα. Επίσης, αφορούν και την επιλογή απεικόνισης συγκεκριμένου ιδιοδιανύσματος στο τμήμα γραφικής απεικόνισης. Τέλος, εμπεριέχει και δίνει πρόσβαση σε παραμέτρους που αφορούν κάποιες υποτυπώδεις δυνατότητες κινούμενης απεικόνισης (animation). Τελευταίο πλήκτρο στο κυρίως μενού είναι το **Help**, το οποίο μας παρέχει πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικές με το λογισμικό dynasoft και τους συγγραφείς.

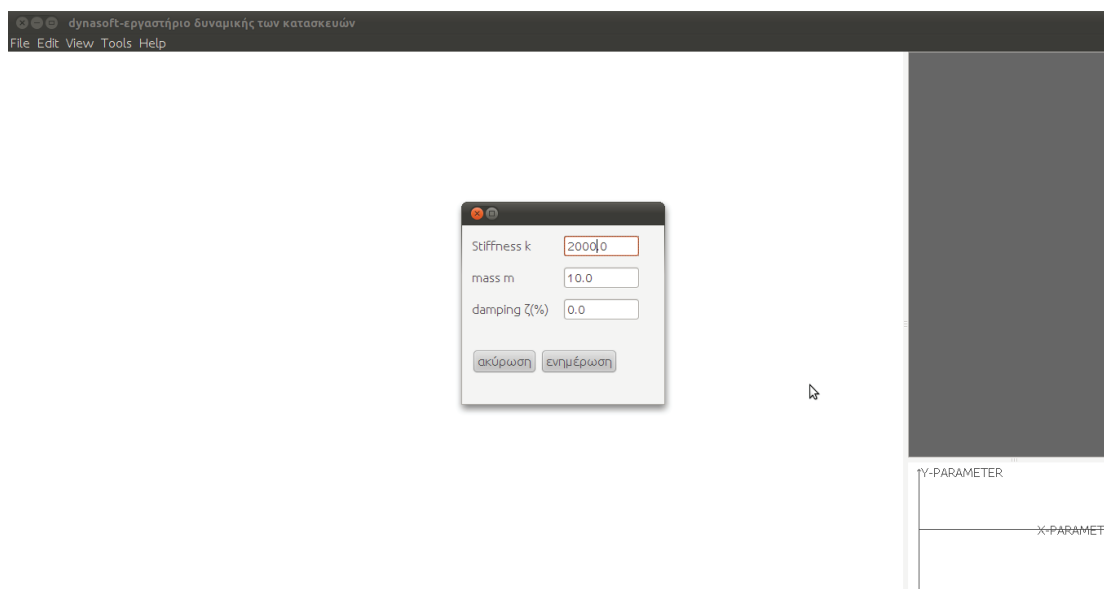
### 13.3 Οντότητα Μονοβάθμιου Ταλαντωτή sdof

Για την παρουσίαση της συγκεκριμένης οντότητας, αλλά και λειτουργιών του προγράμματος, θα ορίσουμε ένα υποθετικό πρόβλημα. Έστω ένας μονοβάθμιος ταλαντωτής δυσκαμψίας  $k=2000 \text{ kN/m}^2$  και μάζας  $m=10 \text{ tn}$ , ο οποίος βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας στον χρόνο μηδέν, ενώ υπόκειται σε εξωτερική διέγερση, η χρονική εξέλιξη της οποίας δίνεται από αναλυτική μαθηματική σχέση:

$f_{ext} = \sin(1.1 \cdot \omega_0 \cdot t) \text{ kN}$ , για χρονικό διάστημα από  $t=0$  έως  $t=10 \text{ sec}$ .

Στη σχέση του εξωτερικού φορτίου  $\omega_0$  είναι η ιδιοσυχνότητα του ταλαντωτή. Να υπολογιστούν τα δυναμικά χαρακτηριστικά του ταλαντωτή και να δοθούν τα διαγράμματα χρονικής εξέλιξης της μετακίνησης, της ταχύτητας και της επιτάχυνσης στο παραπάνω χρονικό διάστημα.

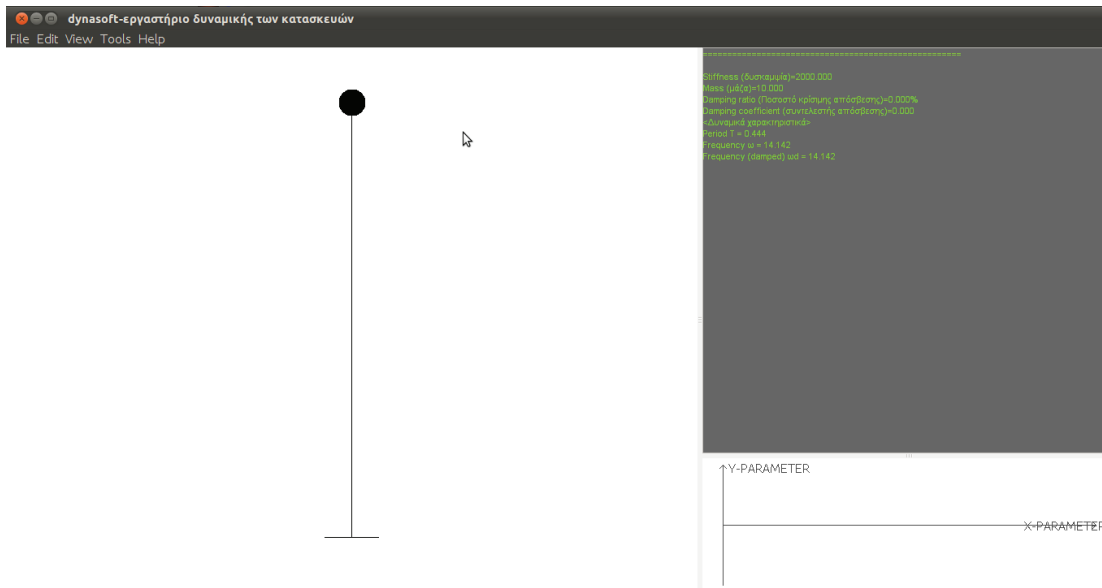
Από το κυρίως μενού του προγράμματος και το πλήκτρο New επιλέγουμε sdof και εμφανίζεται το παράθυρο εισαγωγής του μονοβάθμιου ταλαντωτή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 13.2. Για τον ορισμό του sdof απαιτούνται τρεις μεταβλητές, ο συντελεστής δυσκαμψίας, η μάζα και η απόσβεση που εδώ δίνεται ως το ποσοστό επί της κρίσιμης απόσβεσης  $\zeta$ . Το πρόγραμμα, αφού έχει υπολογίσει την ιδιοπερίοδο και την ιδιοσυχνότητα, υπολογίζει και τον συντελεστή απόσβεσης  $c$ . Η εικόνα του dynasoft θα είναι, αφού εισάγουμε τα δεδομένα και πιάσουμε ενημέρωση, παρόμοια με αυτή του Σχήματος 13.3.



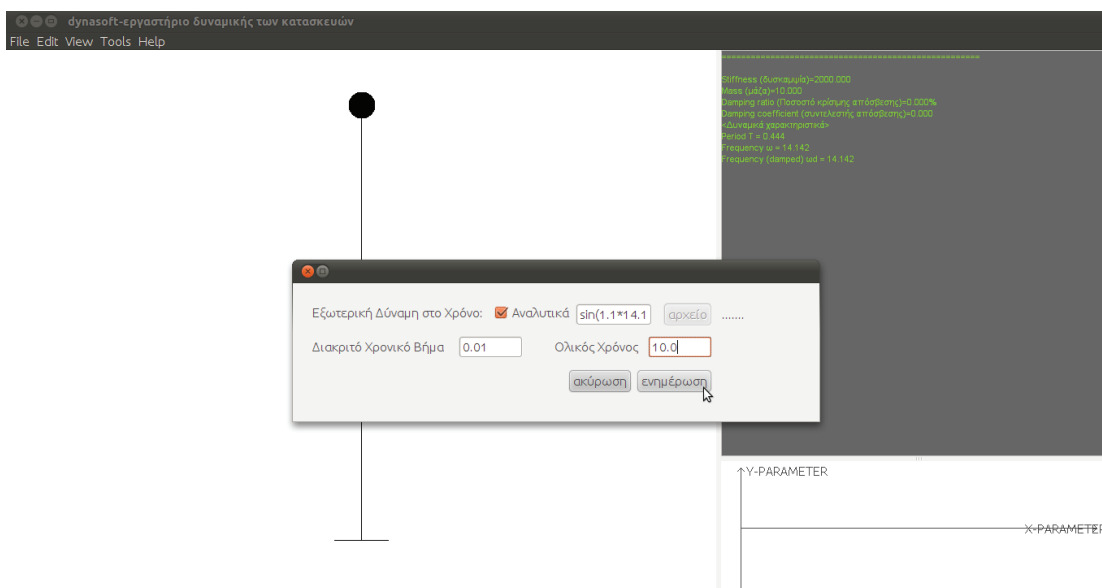
Σχήμα 13.2 Πλαίσιο διαλόγου εισαγωγής μονοβάθμιου ταλαντωτή.

Στο τμήμα γραφικής απεικόνισης έχει σχεδιασθεί ένα απλό σχηματικό ανάλογο του μονοβάθμιου ταλαντωτή ενώ ταυτόχρονα στο τμήμα *κειμένων πληροφοριών* έχουν συμπληρωθεί τα δεδομένα της δυσκαμψίας, της μάζας και του συντελεστή κρίσιμης απόσβεσης, καθώς και ο συντελεστής απόσβεσης  $c$  και τα εξής δυναμικά χαρακτηριστικά: (i) της ιδιοπεριόδου  $T=0.444 \text{ sec}$ , (ii) της ιδιοσυχνότητας  $\omega=14.142 \text{ rad/sec}$ , και (iii) της αποσβεσμένης ιδιοσυχνότητας που εδώ συμπίπτει με την αναπόσβεστη.

Ο καθορισμός του φορτίου γίνεται από *File*→*Define*→*loading*, όπου και εμφανίζεται το πλαίσιο διαλόγου της εισαγωγής της φόρτισης, το οποίο στην περίπτωση του μονοβάθμιου ταλαντωτή θα έχει μορφή παρόμοια με αυτή της εικόνας του Σχήματος 13.4. Στο συγκεκριμένο πλαίσιο διαλόγου, διακρίνουμε τα πεδία καθορισμού της φόρτισης, της τιμής του διακριτού χρονικού βήματος, καθώς και του καθορισμού τιμής συνολικού χρόνου. Προσοχή απαιτείται εδώ, καθώς αυτό είναι το χρονικό βήμα στο οποίο υπολογίζονται ή δίνονται οι τιμές της συνάρτησης εξωτερικής φόρτισης και διαφέρει από το βήμα χρονικής ολοκλήρωσης (δείτε Κεφάλαιο 8), το οποίο καθορίζεται από το *Tools*→*β-Nemark parameters*. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχουμε επιλέξει για το διακριτό χρονικό βήμα, την τιμή  $dt=0.01 \text{ sec}$  (που είναι και η προκαθορισμένη τιμή για το βήμα χρονικής ολοκλήρωσης) ενώ ο συνολικός χρόνος από τα δεδομένα του προβλήματος είναι  $T_{\omega}=10 \text{ sec}$ .



Σχήμα 13.3 Εικόνα προγράμματος αφού έχουμε εισάγει τον μονοβάθμιο ταλαντωτή.



Σχήμα 13.4 Πλαίσιο διαλόγου εισαγωγής φόρτισης για τον μονοβάθμιο ταλαντωτή.

Όσον αφορά τον καθορισμό του φορτίου, θα σταθούμε εδώ λίγο περισσότερο από ότι το απαιτεί η ανάγκη του προβλήματος, έτσι ώστε να εξηγήσουμε τις δυνατότητες που υπάρχουν. Η εισαγωγή αυτής καθ' αυτής της δύναμης μπορεί να γίνει είτε δίνοντας την αναλυτική μαθηματική έκφραση της ως συνάρτηση του χρόνου  $t$ , που εδώ θα είναι

$$f_{ext} = \sin(1.1 * \omega_0 * t) = \sin(1.1 * 14.142 * t),$$

είτε με τιμές από αρχείο. Για τη δεύτερη επιλογή θα επιλέξουμε να απελευθερώσουμε κατάλληλα το αντίστοιχο πεδίο και έπειτα, αφού ενεργοποιηθεί το πλήκτρο **αρχείο**, το πατάμε για να καθορίσουμε το ASCII αρχείο, όπου μέσα βρίσκονται εγγεγραμμένες οι τιμές του φορτίου σε μορφή μιας στήλης. Σημειώνουμε εδώ πως το διακριτό χρονικό βήμα είναι κοινό για το βήμα χρονικής ολοκλήρωσης και το βήμα που δίνονται οι τιμές στο αρχείο φόρτισης.

Ως παράδειγμα την περίπτωση που έχουμε συνολικό χρόνο 10 sec με ένα βήμα 0.01 sec, τότε περιμένουμε στο αρχείο να υπάρχουν 1000 τιμές. Σε περίπτωση που υπάρχουν περισσότερες, οι επιπλέον δεν λαμβάνονται υπόψη ενώ αν υπάρχουν λιγότερες τιμές, από εκεί και πέρα θεωρείται ότι η φόρτιση είναι μηδενική. Πατώντας ενημέρωση, η φόρτιση έχει καθοριστεί και στο τμήμα *κειμένου πληροφοριών* αναγράφεται το μήνυμα “Καθορισμένη Εξωτερική Φόρτιση στον Χρόνο”. Σε αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να αναφέρουμε κάποιες από τις συναρτήσεις που υποστηρίζονται στο πρόγραμμα.

ημίτονο	sin(t)
συνημίτονο	cos(t)
υπερβολικό ημίτονο	sinh(t)
υπερβολικό συνημίτονο	cosh(t)
φυσικός λογάριθμος	ln(t)
λογάριθμος του δέκα	log(t)
λογάριθμος του δύο	lg(x)
εκθετική	exp(t)
συναρτήσεις που μπορούν να οριστούν με συνθήκη	if (συνθήκη, ορισμός αν η συνθήκη είναι αληθής, ορισμός αν η συνθήκη δεν είναι αληθής)
απόλυτη τιμή	abs(t)
τετραγωνική ρίζα	sqrt(t)
συνάρτηση heaviside	h(t)

**Πίνακας 13.1** Αναλυτικές συναρτήσεις φόρτισης.

Πολλές φορές, οι κατασκευές δέχονται φορτία, τα οποία έχουν ορισμένη διάρκεια στον χρόνο και μετά είναι μηδενικά. Για να ορίσουμε τέτοιες συναρτήσεις στο dynasoft, μπορούμε είτε να χρησιμοποιήσουμε τη συνάρτηση υπό συνθήκες if() είτε τη συνάρτηση Heaviside . Εδώ θα χρησιμοποιήσουμε τη συνάρτηση Heaviside η οποία ορίζεται ως:

$$h(t-t_1)=1.0, \text{ για } t \geq t_1=0.0, \text{ για } t < t_1 \quad (13.1)$$

Η συνάρτηση Heaviside, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον ορισμό συναρτήσεων ορισμένου χρόνου f(t), η οποία και ενεργεί από το χρόνο  $t_1$  έως το χρόνο  $t_2$  ως εξής:

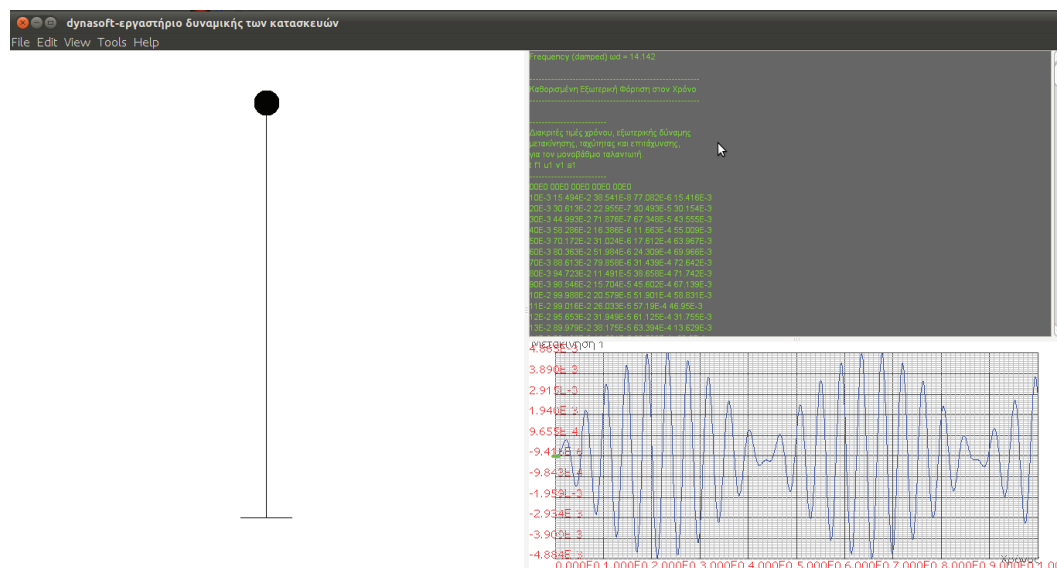
$$f(t) * (h(t-t_1) - h(t-t_2)) \quad (13.2)$$

Κάποια τέτοια παραδείγματα μπορούμε να δούμε και στον πίνακα που ακολουθεί, όπου δίνονται κάποιες συχνά εμφανιζόμενες φορτίσεις και ο τρόπος με τον οποίο ορίζονται οι συναρτήσεις τους.

σταθερή φόρτιση	$h(t-t_1)$
ορθογωνική φόρτιση	$h(t-t_1) - h(t-t_2)$
στατική φόρτιση	$((t-t_1)/(t_1-t_2))(h(t-t_1) - h(t-t_2)) + h(t-t_2)$
τριγωνική φόρτιση	$(1-(t-t_1)/(t_1-t_2))(h(t-t_1) - h(t-t_2))$
ημιτονοειδής (ορισμένης διάρκειας)	$\sin(\omega t)(h(t-t_1) - h(t-t_2))$

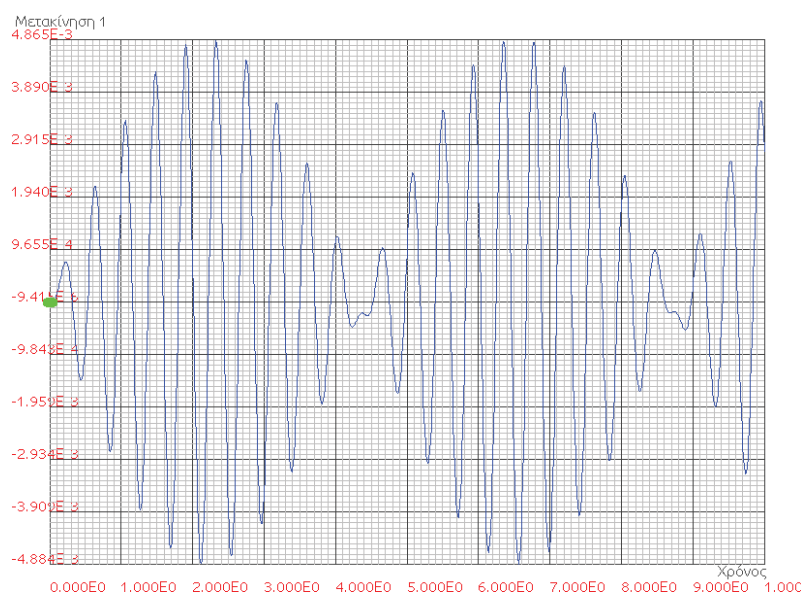
**Πίνακας 13.2** Σύνθεση συναρτήσεων φόρτισης με χρήση της συνάρτησης Heaviside.

Αφού έχουμε καθορίσει και τη φόρτιση, στο πλήκτρο Edit θα έχει πλέον ενεργοποιηθεί η επιλογή της ανάλυσης χρονοϊστορίας (transient analysis) και μπορούμε να την επιλέξουμε έτσι ώστε να προχωρήσουμε στην ανάλυση και τη δημιουργία της απόκρισης του ταλαντωτή.



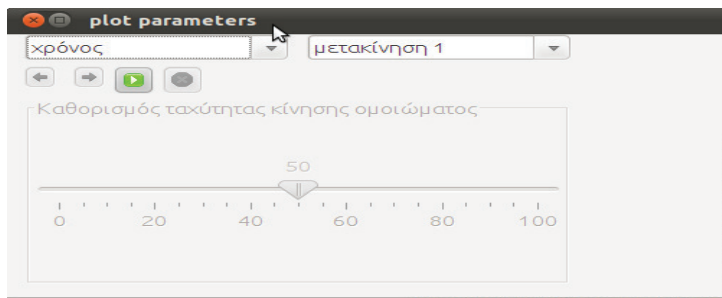
Σχήμα 13.5 Μορφή γραφικού περιβάλλοντος μετά από την ανάλυση χρονοϊστορίας.

Πριν αρχίσουμε την ανάλυση, από το πλήκτρο Edit και μέσω της επιλογής  $\beta$ -Newmark parameters, μπορούμε να αλλάξουμε τις τιμές των συντελεστών του αλγορίθμου. Μετά την ανάλυση, η εικόνα του γραφικού περιβάλλοντος του dynasoft θα είναι παρόμοια με της εικόνας του Σχήματος 13.5. Στο τμήμα *κειμένων πληροφοριών* έχουν εγγραφεί οι τιμές της απόκρισης του μονοβάθμιου ταλαντωτή (μετατόπιση, ταχύτητα και επιτάχυνση) ενώ στο τμήμα *απεικόνισης διαγραμμάτων* έχει ήδη σχεδιαστεί η μετατόπιση  $u$  στον χρόνο  $t$ , Σχήμα 13.6. Με δεξί 'κλικ' στο τμήμα *κειμένων πληροφοριών*, εμφανίζονται οι επιλογές *καθαρισμός*, για να σβήσουμε ότι έως τώρα έχει εγγραφεί και *αντιγραφή* για να γράψουμε στη μνήμη ό,τι έχουμε επιλέξει. Έχει πλέον ενεργοποιηθεί και η επιλογή *Tools*→*plot parameters*, την οποία και όταν επιλέξουμε, εμφανίζεται το αντίστοιχο πλαίσιο διαλόγου που φαίνεται στο Σχήμα 13.7.



Σχήμα 13.6 Διάγραμμα μετατόπισης στο χρόνο όπως δημιουργήθηκε από το dynasoft.



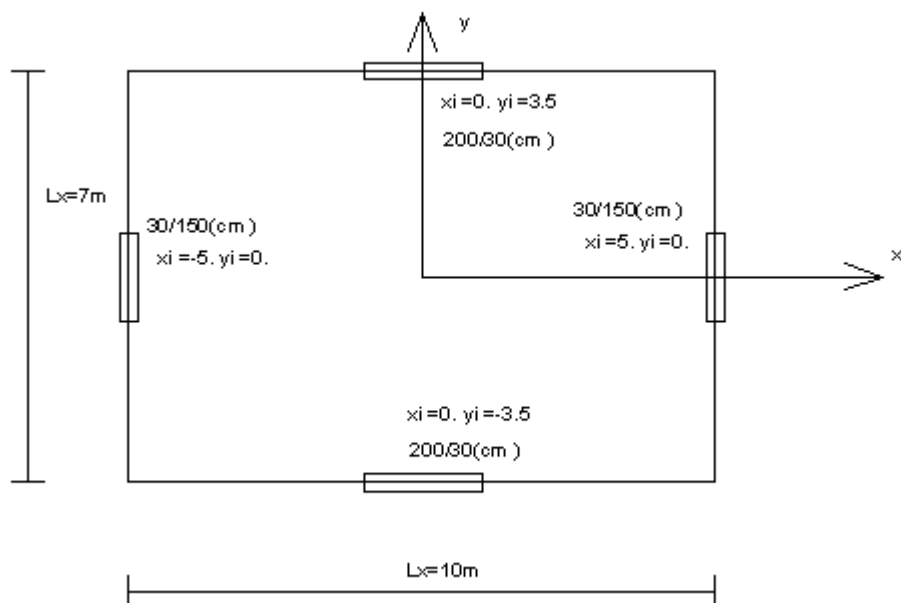


**Σχήμα 13.7** Πλαίσιο διαλόγου διαχείρισης διαγραμμάτων, παραμόρφωσης φορέα και κινούμενων απεικονίσεων.

Αντίστοιχα, με δεξί κλικ, στο τμήμα απεικόνισης διαγραμμάτων εμφανίζονται οι επιλογές αντιγραφή δεδομένων, οπότε και αντιγράφονται στη μνήμη τα δεδομένα του εκάστοτε τρέχοντος διαγράμματος και αποθήκευση διαγράμματος, με την οποία μπορούμε να αποθηκεύσουμε το τρέχων διάγραμμα σε αρχείο εικόνας png, όπως αυτό του Σχήματος 13.6. Με το κλασικό σύμβολο του play που υπάρχει στο σχετικό πλαίσιο διάλογου, ξεκινάει η κίνηση στον χρόνο στο τμήμα γραφικής απεικόνισης ενώ ταυτόχρονα στο διάγραμμα, που υπάρχει στο τμήμα απεικόνισης διαγραμμάτων, μια πράσινη κουκκίδα κινείται ταυτόχρονα πάνω στο γράφημα όπου και μας δείχνει την αντιστοιχία. Με το σύμβολο του stop η κίνηση παγώνει. Κατά τη διάρκεια της κίνησης μπορούμε να καθορίσουμε την ταχύτητα εξέλιξης με τον ρυθμιστήρα που βρίσκεται στο κάτω μέρος του πλαισίου διαλόγου. Τέλος, από τα δύο στοιχεία ελέγχου σύνθετου πλαισίου, επιλέγουμε την τετμημένη και την τεταγμένη του διαγράμματος από κάποιον αριθμό επιλογών. Αναφέρουμε εδώ πως οι επιλογές αυτές για γραφική απεικόνιση, όσον αφορά στον μονοβάθμιο ταλαντωτή, αντιστοιχούν σε αυτά που συνοδεύονται από τον αριθμό 1 (στις επιλογές όπου υπάρχει αριθμός στο τέλος).

### 13.4 Οντότητα Μονώροφου Κτιρίου storey

Το μονώροφο κτίριο αποτελείται από αυθαίρετο αριθμό κατακόρυφων στοιχείων, αξονικά απαραμόρφωτων. Επίσης η δυσστησία τους, καθώς και η δυστρεψία τους δεν λαμβάνονται υπ' όψη. Η πλάκα εντός του επιπέδου της θεωρείται πλήρως απαραμόρφωτη (διαφραγματική λειτουργία). Σχετικά με τη σύνδεση των κατακόρυφων στοιχείων με την πλάκα οροφής, το πρόγραμμα έχει δύο επιλογές: (i) αρθρωτή σύνδεση, (ii) πλήρη πάκτωση.



**Σχήμα 13.8** Κάτοψη πρώτου παραδείγματος μονώροφου κτιρίου που θα εισαχθεί στο dynasoft.

Ως παράδειγμα θα θεωρήσουμε την κάτοψη της πλάκας μονώροφου κτιρίου όπως στην εικόνα του Σχήματος 13.8. Θα υπολογιστούν τα δυναμικά χαρακτηριστικά του κτιρίου με χρήση του προγράμματος dynasoft ενώ θα γίνει η θεώρηση της πλήρως άκαμπτης, όσον αφορά τη δυσκαμψία της πλάκας κάθετα στο επίπεδό της. Το μέτρο ελαστικότητας είναι  $E=2.9E7 \text{ kN/m}^2$  ενώ η μάζα ανά τετραγωνικό μέτρο είναι  $\mu=1.0 \text{ tn/m}^2$  και το ύψος του κτιρίου είναι  $h=4.0\text{m}$ . Επιπλέον, το ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης λαμβάνεται ως  $\zeta=5\%$ . Η εισαγωγή του μονώροφου κτιρίου θα γίνει μέσω του αρχείου File→New→storey, οπότε και θα εμφανιστεί το αντίστοιχο παράθυρο διαλόγου καθορισμού, παρόμοιο με αυτό του Σχήματος 13.9.

**καθορισμός κτιρίου**

Lx (m)   
 Ly (m)   
 $\mu$  (tn/m<sup>2</sup>)   
 E (kN/m<sup>2</sup>)   
 h (m)   
 Ποσοστό απόσβεσης  $\zeta$ (%)

☐ εύκαμπτη πλάκα  
☒ δύσκαμπτη πλάκα  
☐ συμμετρία ως προς x άξονα

**πίνακας κατακόρυφων στοιχείων**

x (m)	y (m)	bx (m)	by (m)
-5.00	0.00	0.30	1.50
0.00	-3.50	2.00	0.30
5.00	3.50	0.30	0.40

**Σχήμα 13.9** Στοιχεία στο πλαίσιο διαλόγου εισαγωγής μονώροφου κτιρίου.

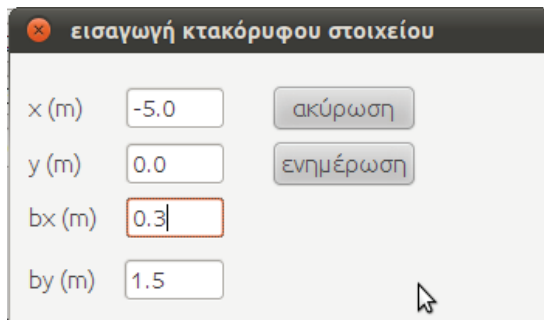
Αφού συμπληρώσουμε τα πεδία Lx, Ly,  $\mu$  (μάζα ανά τετραγωνικό μέτρο κάτοψης), E, h και μηδενική απόσβεση, επιλέγουμε δύσκαμπτη πλάκα και συνεχίζουμε με την εισαγωγή των κατακόρυφων στοιχείων. Σημειώνουμε εδώ πως τα πλήκτρα και η χρήση τους σε αυτό το παράθυρο είναι τα παρακάτω:

1. **κατακόρυφα στοιχεία από αρχείο:** εισάγουμε τα κατακόρυφα στοιχεία όπως αυτά είναι καταγεγραμμένα σε ένα ascii αρχείο. Η μορφή των δεδομένων σε αυτό το αρχείο είναι μια σειρά για κάθε στοιχείο όπου δίνονται στη σειρά και χωρισμένα με ένα κενό (space) οι συντεταγμένες του κέντρου του και τα μήκη των πλευρών του bx και by.
2. **πρόσθεσε κατακόρυφο στοιχείο:** προσθέτουμε ένα κατακόρυφο στοιχείο δίνοντας στο παράθυρο που θα εμφανιστεί, τις συντεταγμένες του κέντρου του και τα μήκη των πλευρών του bx και by. Κάθε στοιχείο που προστίθεται προσαρτείται στον πίνακα του παραθύρου.
3. **αφαίρεσε κατακόρυφο στοιχείο:** επιλέγουμε κατακόρυφα στοιχεία από τον πίνακα και με χρήση αυτού του πλήκτρου τα καταργούμε.
4. **ακύρωση:** ακυρώνει τη διαδικασία εισαγωγής και κλείνει το παράθυρο. Το πρόγραμμα θα είναι στην ίδια κατάσταση όπως ήταν πριν ανοίξουμε το παράθυρο.
5. **ενημέρωση:** με το πλήκτρο αυτό ενημερώνουμε το πρόγραμμα για το κτίριο που θέλουμε να εισάγουμε, με κατακόρυφα στοιχεία αυτά που θα είναι καταγεγραμμένα στο πίνακα του παραθύρου.

Για να εισάγουμε τα κατακόρυφα στοιχεία χρησιμοποιούμε το πλήκτρο πρόσθεσε κατακόρυφο στοιχείο. Στο παράθυρο που εμφανίζεται συμπληρώνουμε για το αριστερά στοιχείο, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα του Σχήματος 13.10, και πατάμε ενημέρωση. Ενώ παρόμοια συνεχίζουμε και για τα δύο άλλα κατακόρυφα στοιχεία του κτιρίου.

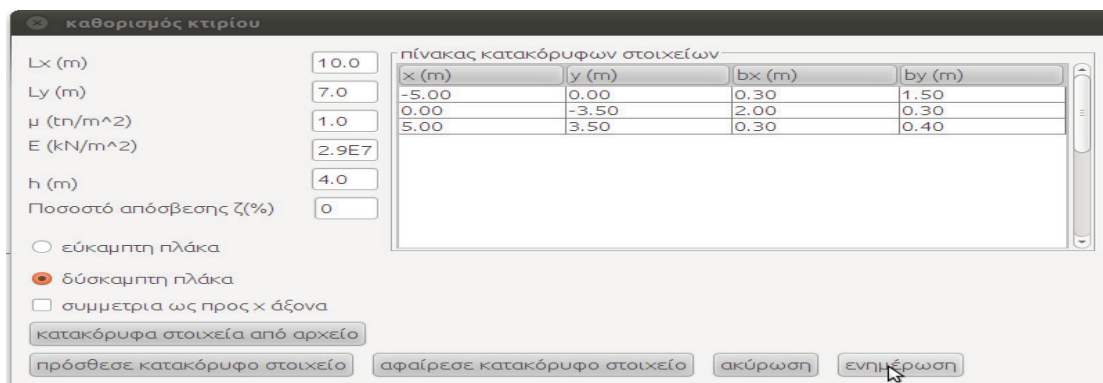
Το παράθυρο εισαγωγής θα έχει παρόμοια μορφή με αυτή της εικόνας του Σχήματος 13.11. Αφού ενημερώσουμε και έχουμε εισάγει το κτίριο, το γραφικό περιβάλλον του





Σχήμα 13.10 Εισαγωγή νέου κατακόρυφου στοιχείου.

dynasoft θα ενημερωθεί, και θα είναι παρόμοιο με αυτό του Σχήματος 13.12. Το πρόγραμμα αυτόματα έχει υπολογίσει και καταγράψει στο τμήμα *κειμένου πληροφοριών* τα μητρώα δυσκαμψίας, μάζας και απόσβεσης, τη θέση του ελαστικού κέντρου, την ακτίνα αδράνειας, τις ιδιοπεριόδους, ιδιοσυχνότητες και ασύζευκτες ιδιοσυχνότητες και τέλος τα ιδιοδιανύσματα. Στο τμήμα *γραφικής απεικόνισης* έχει σχεδιαστεί το πρώτο ιδιοδιάνυσμα, ενώ από το Tools→plot parameters, μπορούμε να επιλέξουμε, με χρήση των πλήκτρων με τα πίσω και μπροστά βέλη, ποιο από τα ιδιοδιανύσματα θέλουμε να σχεδιαστεί. Τέλος, στον Πίνακα 13.2 αναπαράγουμε τα αποτελέσματα όπως δίνονται από το *dynasoft*. Αποτελέσματα σε γραφική απεικόνιση δίδονται στα Σχήματα 13.12, 13.13 και 13.14.



Σχήμα 13.11 Στοιχεία στο πλαίσιο διαλόγου εισαγωγής μονόροφου κτιρίου.

Θα συνεχίσουμε επιπλέον, περνώντας και στην περίπτωση της χρονικά εξαρτημένης φόρτισης και υπολογισμού της απόκρισης της οντότητας storey. Ως φόρτιση θα χρησιμοποιήσουμε κάποιο επιταχυνσιογράφημα αποθηκευμένο σε αρχείο με χρονικό βήμα 0.1sec και θα θεωρήσουμε την κίνηση της βάσης υπό γωνία 30 μοιρών με τον οριζόντιο άξονα (x). Από το File→Define→loading ανοίγει το παράθυρο διαλόγου εισαγωγής δυνάμεων. Ενεργοποιούμε την επιλογή “επιτάχυνση βάσης” και παρατηρούμε πως αυτόματα η δυνατότητα προσδιορισμού εξωτερικών δυνάμεων αναλυτικά ή από αρχείο απενεργοποιείται.

<Μητρώο δυσκαμψίας>

1110745.312	0.000	3789121.875
0.000	491957.812	-2250445.312
3789121.875	-2250445.312	25069050.000

<Μητρώο μάζας>

70.000	0.000	0.000
0.000	70.000	0.000
0.000	0.000	869.167

<Μητρώο απόσβεσης>

758.737	113.911	1531.361
113.911	476.066	-1140.489
1531.361	-1140.489	13138.622

<Συντεταγμένες ελαστικού κέντρου>

K :  $x=-4.574$ ,  $y=-3.411$

<Ακτίνα αδράνειας>

r : 3.524

<Δυναμικά χαρακτηριστικά συστήματος>

ιδιοσυχνότητα  $\omega_1$ : 23.650

ιδιοσυχνότητα  $\omega_2$ : 101.971

ιδιοσυχνότητα  $\omega_3$ : 201.943

ιδιοπερίοδος T1: 0.26568

ιδιοπερίοδος T2: 0.06162

ιδιοπερίοδος T3: 0.03111

<Ασύζευκτες ιδιοσυχνότητες>

ιδιοσυχνότητα  $\omega_I$  : 125.967

ιδιοσυχνότητα  $\omega_{II}$  : 83.833

ιδιοσυχνότητα  $\omega_{III}$  : 169.831

<Ιδιοδιανύσματα>

ιδιοδιάνυσμα 1:  $\phi_{11}=0.57208$   $\phi_{21}=-0.80409$   $\phi_{31}=-0.16179$

ιδιοδιάνυσμα 2:  $\phi_{12}=-0.72462$   $\phi_{22}=-0.69847$   $\phi_{32}=0.07322$

ιδιοδιάνυσμα 3:  $\phi_{13}=1.52213$   $\phi_{23}=-0.66726$   $\phi_{33}=0.70055$

<Συντεταγμένες κέντρων ταλαντώσεως>

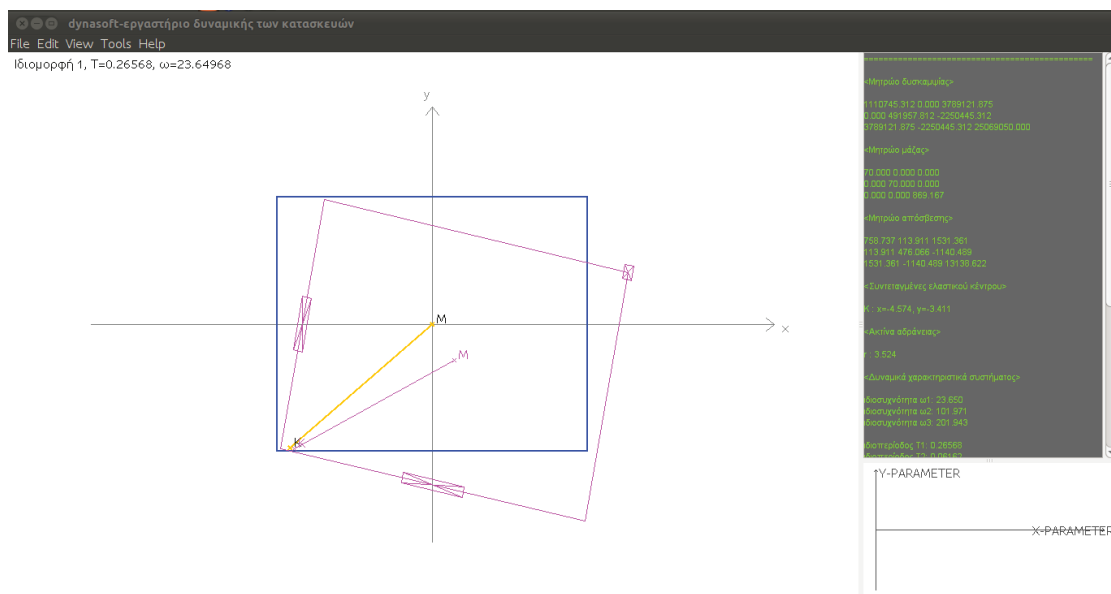
O1 :  $x=-4.97000$ ,  $y=-3.53597$

O2 :  $x=9.53932$ ,  $y=-9.89650$

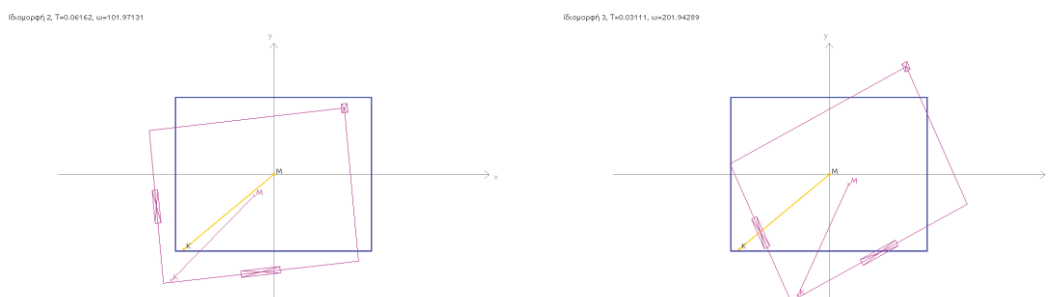
O3 :  $x=0.95249$ ,  $y=2.17276$

**Πίνακας 13.3** Αναπαγωγή στοιχείων εισαγωγής μονώροφου κτιρίου.

Να σημειώσουμε βέβαια πως θα ήταν δυνατό να έχουμε εξωτερικές δυνάμεις, ταυτόχρονα με την επιτάχυνση βάσης, η δε δράση τους να υπολογίζεται αθροιστικά. Παρά ταύτα, προτιμήθηκε να σχεδιαστεί το πρόγραμμα όπως περιγράφηκε προηγουμένως. Πατάμε συνεπώς το αντίστοιχο πλήκτρο, για να εντοπίσουμε στον υπολογιστή το αρχείο όπου εμπεριέχει τις τιμές της επιτάχυνσης βάσης.



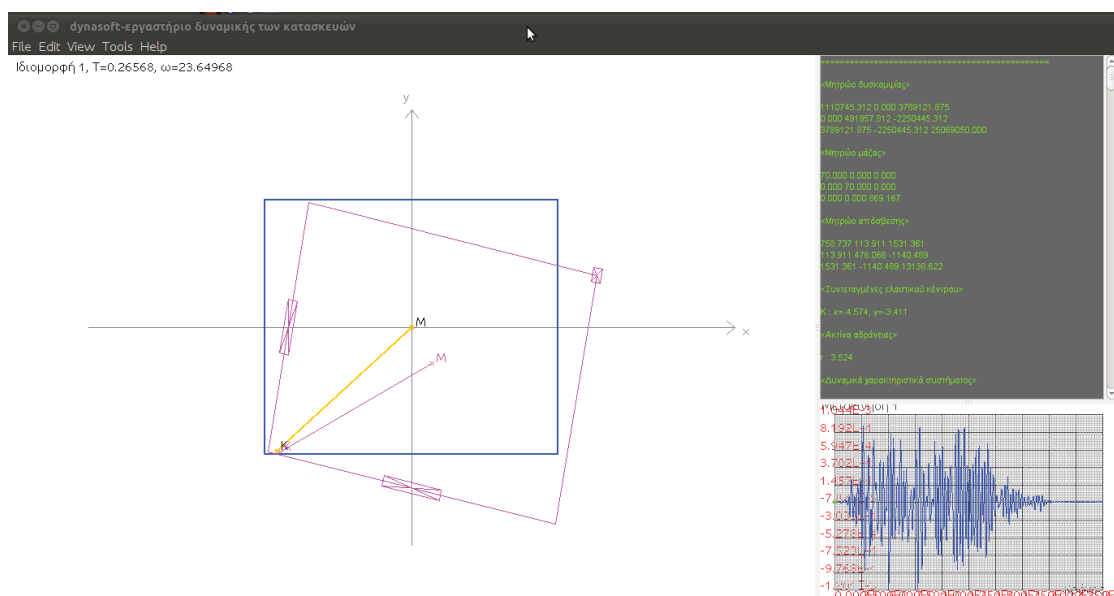
**Σχήμα 13.12** Εικόνα του γραφικού περιβάλλοντος έπειτα από την εισαγωγή της οντότητας storey του παραδείγματος και ενημέρωση.



**Σχήμα 13.13** (Αριστερά) Δεύτερο ιδιοδιάνυσμα όπως σχεδιάζεται και αποθηκεύεται από το dynasoft.

**Σχήμα 13.14** (Δεξιά) Τρίτο ιδιοδιάνυσμα όπως σχεδιάζεται και αποθηκεύεται από το dynasoft.

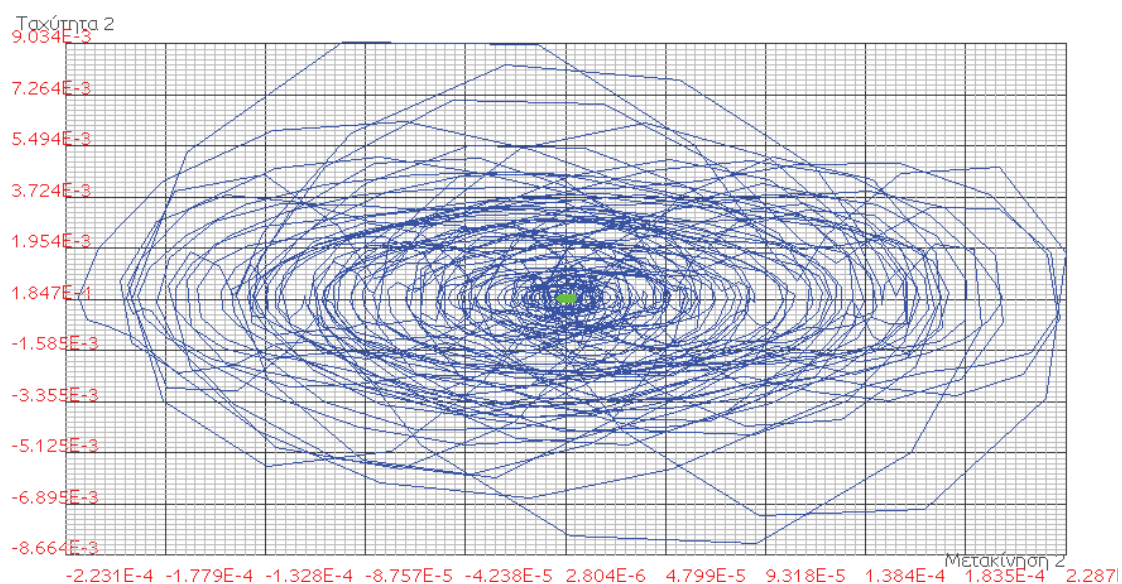
Μέ την επιλογή “επιτάχυνση βάσης”, ταυτόχρονα ενεργοποιείται και το πεδίο εισόδου γωνιάς πρόσπτωσης, με τον οριζόντιο άξονα σε μοίρες. Για αυτό το παράδειγμα συμπληρώνουμε με την τιμή των 30 μοιρών. Το πεδίο, διακριτό χρονικό βήμα, αναφέρεται στο χρονικό βήμα με το οποίο δίνονται οι τιμές στο αρχείο και εδώ αντιστοιχεί σε 0.1sec. Τέλος, ο συνολικός χρόνος, αναφέρεται στον συνολικό χρόνο που θα ληφθεί υπόψη η απόκριση και έχει αφαιρεθεί και σε αυτή την περίπτωση ελεύθερα να επιλεγεί από τον χρήστη, έτσι ώστε να μπορεί να ορίσει και διάρκεια μεγαλύτερη από τον χρόνο που διαρκεί η επιτάχυνση βάσης. Σε αυτό το παράδειγμα θα ορίσουμε συνολικό χρόνο 25 sec ενώ η διάρκεια του επιταχυνσιογραφήματος είναι 19.9 sec. Οι τιμές της επιτάχυνσης πρέπει να δίδονται σε συμβατές μονάδες (με τη δυσκαμψία, τη μάζα και τις αρχικές συνθήκες), όπου εδώ είναι το  $\text{m/sec}^2$  ενώ η μεγίστη απόλυτη τιμή του συγκεκριμένου επιταχυνσιογραφήματος, αντιστοιχεί σε περίπου 0.15g, όπου g η επιτάχυνση της βαρύτητας. Αφού συμπληρώσουμε όλα τα απαραίτητα πεδία και πατήσουμε *ενημέρωση*, μπορούμε πλέον να περάσουμε στην ανάλυση από το Edit→transient analysis οπότε και θα υπολογιστεί η απόκριση του κτιρίου. Πιο πριν, μπορούμε να ορίσουμε κατάλληλα τις παραμέτρους του αλγόριθμου β-Newmark και το βήμα χρονικής ολοκλήρωσης ή και να αφήσουμε τις προκαθορισμένες τιμές. Αφού γίνει και η ανάλυση στον χρόνο, η υπολογισμένη απόκριση του συστήματος θα γραφτεί στο τμήμα *κειμένου πληροφοριών* ανά βαθμό ελευθερίας και θα σχεδιαστεί διάγραμμα του πρώτου βαθμού ελευθερίας (μετατόπιση κατά x) με τον χρόνο, στο τμήμα *απεικόνισης διαγραμμάτων* ενώ η εικόνα του γραφικού περιβάλλοντος θα είναι παρόμοια με αυτή του Σχήματος 13.15.



Σχήμα 13.15 Μορφή εικόνας μετά την ανάλυση χρονοϊστορίας.

Μέσω του Tools→plot parameters μπορούμε να επιλέξουμε τις μεταβλητές (χρόνος, μετακίνηση, ταχύτητα, κ.λπ.) που θέλουμε να σχεδιάσουμε στο τμήμα απεικόνισης διαγραμμάτων, το οποίο και μπορούμε έπειτα να αποθηκεύσουμε ως png αρχείο, με δεξί κλικ κάπου πάνω στο διάγραμμα και επιλογή του “αποθήκευση διαγράμματος”. Έτσι, έχει προκύψει και το διάγραμμα του Σχήματος 13.16, όπου απεικονίζει την ταυτόχρονη χρονική εξέλιξη της ταχύτητας και της μετακίνησης του μεταφορικού βαθμού ελευθερίας κατά  $y$ . Όπως είδαμε και πριν, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και τις δυνατότητες κινούμενης εικόνας και σε αυτό το παράδειγμα μέσω του διαλόγου Tools→plot parameters (δείτε Σχήμα 13.7).

Θα κλείσουμε αυτό το παράδειγμα με την εισαγωγή ενός φάσματος επιταχύνσεων και τον υπολογισμό των αντίστοιχων τιμών για την υπό ανάλυση κατασκευή. Από το File→Define→Spec, ανοίγουμε το πλαίσιο διαλόγου εισαγωγής.

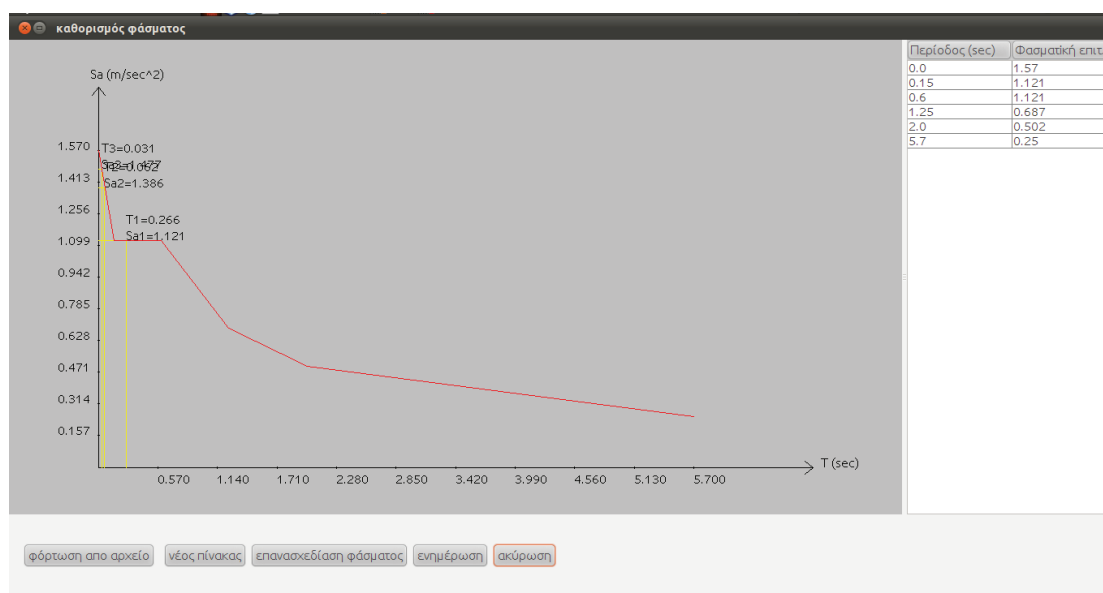


Σχήμα 13.16 Διάγραμμα ταχύτητας-μετακίνησης του δεύτερου βαθμού ελευθερίας (απόκριση κατά  $y$ ).

Το παράθυρο καθορισμού φάσματος χωρίζεται σε τρία διαφορετικά τμήματα. Το τμήμα γραφικής απεικόνισης (πάνω δεξιά), το τμήμα πίνακα φάσματος (πάνω αριστερά) και το τμήμα πλήκτρων διαχείρισης (κάτω τμήμα). Όταν ανοίγει πρώτη φορά, έχει σαν προκαθορισμένο φάσμα (σχεδιασμένο και συμπληρωμένο στον πίνακα) το φάσμα του ΕΑΚ (2003), υπολογισμένο σε 6 χαρακτηριστικά σημεία ιδιοπεριόδων, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 13.17, για κατηγορία εδάφους Β, ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ι, συντελεστή σπουδαιότητας  $\gamma_1=1.0$ , συντελεστή θεμελίωσης  $\theta=1.0$ , συντελεστή σεισμικής συμπεριφοράς  $q=3.5$ , ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης  $\zeta=5\%$  και συντελεστή φασματικής ενίσχυσης  $\beta_0=2.5$ . Τα πλήκτρα διαχείρισης καθώς και μια συνοπτική περιγραφή τους δίνονται στην λίστα που ακολουθεί.

1. **φόρτωση από αρχείο:** Δημιουργεί ένα φάσμα από κάποιο αρχείο που βρίσκεται στον υπολογιστή μας.
2. **νέος πίνακας:** Δημιουργεί ένα φάσμα από τιμές που δίνει ο χρήστης στον πίνακα φάσματος.
3. **επανασχεδίαση φάσματος:** Ενημερώνει το τμήμα γραφικής απεικόνισης για το τρέχον φάσμα και επανασχεδιάζει.
4. **ενημέρωση:** Ενημερώνει το πρόγραμμα για το φάσμα το οποίο καθορίστηκε και από το οποίο θα προκύψουν οι φασματικές τιμές για το προκαθορισμένο πλαίσιο.
5. **ακύρωση:** Ακυρώνει τη διαδικασία και κλείνει το παράθυρο καθορισμού φάσματος.

Για να εισάγουμε κάποιο άλλο φάσμα, ορίζοντας έναν νέο πίνακα και συμπληρώνοντας τον με τιμές, πιέζουμε το πλήκτρο **νέος πίνακας**. Αφού εισάγουμε τον πίνακα με τις τιμές πιέζουμε και το πλήκτρο **επανασχεδίαση φάσματος**. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα εισαγωγής φάσματος από αρχείο που θα δούμε σε επόμενη ενότητα αυτού του κεφαλαίου.



**Σχήμα 13.17** Πλαίσιο διαλόγου εισαγωγής φάσματος

Στο φάσμα της εικόνας του Σχήματος 13.17, σημειώνονται και οι ιδιοπερίοδοι της κατασκευής και οι φασματικές τιμές που τις αντιστοιχούν. Τέλος, όταν πιέσουμε ενημέρωση, στο τμήμα *κειμένου πληροφοριών* θα αναγράφονται οι φασματικές τιμές για τις μετακινήσεις, ταχύτητες και επιταχύνσεις, που αντιστοιχούν στη συγκεκριμένη dynasoft-κατασκευή, σε συμφωνία με τις υπολογισμένες ιδιοπεριόδους. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα θα έχουμε τους παρακάτω υπολογισμούς, που δίνονται στον Πίνακα 13.4.

<Φασματικά χαρακτηριστικά>

Sa1=1.121 m/sec <sup>2</sup>	Sd1=2.00E-3 m	Sv1=4.74E-2 m/sec
Sa2=1.386 m/sec <sup>2</sup>	Sd2=1.33E-4 m	Sv2=1.36E-2 m/sec
Sa3=1.477 m/sec <sup>2</sup>	Sd3=3.62E-5 m	Sv3=7.31E-3 m/sec

**Πίνακας 13.4** Αναπαραγωγή στοιχείων εισαγωγής φάσματος.

## 13.5 Οντότητα Επιπέδου Πλασίου frame

Θεωρούμε τριώροφο δίστηλο πλαίσιο, το μέτρο ελαστικότητας του υλικού είναι  $E=2.9E7 \text{ kN/m}^2$ , οι μάζες που αναλογούν σε κάθε όροφο του κτιρίου είναι  $20tn$  και το ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης είναι  $\zeta=5\%$ . Το ύψος των ορόφων, ξεκινώντας από το ισόγειο είναι  $h_1=4$ ,  $h_2=3$ ,  $h_3=3m$  ενώ οι διατομές των στύλων είναι ορθογωνικές  $40/30 \text{ (cm)}$ , με τη διάσταση  $40cm$  στο επίπεδο του πλαισίου. Οι δοκοί των ορόφων θεωρούνται άπειρης δυσκαμψίας,  $I_{δοκῶν} \rightarrow \infty$  καθώς και άπειρης δυστένειας, δηλαδή έχουμε διαφραγματική λειτουργία.

Για να εισάγουμε το πλαίσιο ανοίγουμε το αντίστοιχο πλαίσιο διαλόγου από το File→New→frame και συμπληρώνουμε, για αυτό το παράδειγμα, όπως ακριβώς στην εικόνα του Σχήματος 13.18. Όπως μπορούμε να δούμε σε αυτή την εικόνα, έχουμε επιλέξει ως τύπο κτιρίου, αυτό των άκαμπτων δοκών λόγω της άπειρης δυσκαμψίας που αναφέρθηκε πιο πάνω. Να σημειωθεί ότι το άνοιγμα  $L$  δεν επηρεάζει σε κανένα σημείο τα αποτελέσματα, παρά μόνο τη γραφική απεικόνιση του σχεδίου του κτιρίου. Τέλος, να αναφέρουμε ότι για να θεωρήσει κανείς διαδοχικά ένα κτίριο δύο ορόφων ή και ένα μονώροφο, θα πρέπει να απελευθερώσει τις αντίστοιχες επιλογές στο πλαίσιο “Γεωμετρία κτιρίου”. Τέλος, υπάρχει και η δυνατότητα θεώρησης μόνωσης της βάσης δίνοντας κατάλληλα ελαστικά, αδρανειακά και ιξωδοελαστικά χαρακτηριστικά., που εδώ όμως δεν θα χρησιμοποιηθεί.

Σχήμα 13.18 Πλαίσιο διαλόγου εισαγωγής πλαισιακής κατασκευής.

Αφού συμπληρώσουμε τα πεδία καταλλήλως, πιέζουμε το πλήκτρο *εινημέρωση*, ώστε να δημιουργηθεί από το πρόγραμμα, το ζητούμενο πλαίσιο ως μια οντότητα **frame**. Αυτόματα από το πρόγραμμα, θα κατασκευαστούν τα απαραίτητα μητρώα (δυσκαμψίας, μάζας) και θα υπολογιστούν τα δυναμικά χαρακτηριστικά (ιδιοσυχνότητες, ιδιοδιανύσματα, κτλ.) αλλά και το μητρώο απόσβεσης (αναλογικό) που αντιστοιχεί ώστε κάθε ιδιομορφή να έχει ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης ίσο με  $\zeta=5\%$ . Τα προηγούμενα γράφονται στο *κειμένου πληροφοριών*, Πίνακας 13.5.

<Μητρώο δυσκαμψίας>

58644.444	-41244.444	0.000
-41244.444	82488.889	-41244.444
0.000	-41244.444	41244.444

<Μητρώο μάζας>

20.000	0.000	0.000
--------	-------	-------



0.000	20.000	0.000
0.000	0.000	20.000

<Μητρώο απόσβεσης>

99.658	-41.066	-10.525
-41.066	112.874	-45.507
-10.525	-45.507	77.893

<Δυναμικά χαρακτηριστικά>

Ιδιομορφή 1

-----

ιδιοπερίοδος  $T=0.414$   
ιδιοσυχνότητα  $\omega=15.161$   
ιδιοδιάνυσμα:  $\phi_{11}=0.678$   $\phi_{21}=0.889$   $\phi_{31}=1.000$   
γενικευμένη μάζα  $=44.986$   
συντελεστής συμμετοχής  $\nu=1.141$   
δρώσα ιδιομορφική μάζα  $M^*=58.574$   
ποσοστό συμμετοχής  $=97.623\%$

Ιδιομορφή 2

-----

ιδιοπερίοδος  $T=0.125$   
ιδιοσυχνότητα  $\omega=50.323$   
ιδιοδιάνυσμα:  $\phi_{12}=-1.176$   $\phi_{22}=-0.228$   $\phi_{32}=1.000$   
γενικευμένη μάζα  $=48.700$   
συντελεστής συμμετοχής  $\nu=-0.166$   
δρώσα ιδιομορφική μάζα  $M^*=1.341$   
ποσοστό συμμετοχής  $=2.234\%$

Ιδιομορφή 3

-----

ιδιοπερίοδος  $T=0.079$   
ιδιοσυχνότητα  $\omega=79.729$   
ιδιοδιάνυσμα:  $\phi_{13}=1.254$   $\phi_{23}=-2.082$   $\phi_{33}=1.000$   
γενικευμένη μάζα  $=138.183$   
συντελεστής συμμετοχής  $\nu=0.025$   
δρώσα ιδιομορφική μάζα  $M^*=0.085$   
ποσοστό συμμετοχής  $=0.142\%$

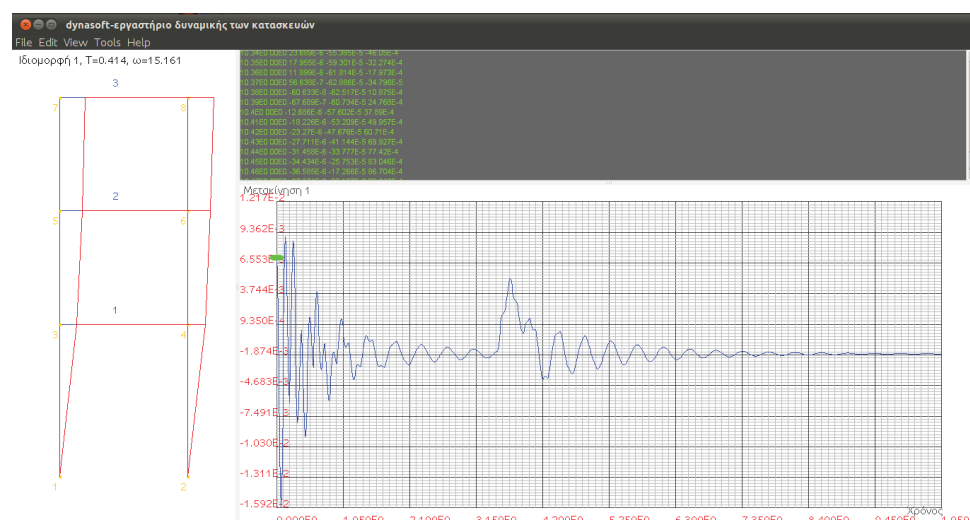
**Πίνακας 13.5** Αναπαραγωγή στοιχείων εισαγωγής τριώροφου κτιρίου.

Ταυτόχρονα στο τμήμα γραφικής απεικόνισης θα έχει σχεδιασθεί το πλαίσιο, αλλά και η πρώτη ιδιομορφή ενώ για να σχεδιάσουμε και να δούμε τις υπόλοιπες, θα πρέπει να ανοίξουμε το πλαίσιο διαλόγου από το Tools→plot parameters. Στη συνέχεια, θα υπολογίσουμε τη χρονική απόκριση του πλαισίου υπό αρχικές συνθήκες που αντιστοιχούν σε μετακίνηση για τον πρώτο όροφο  $u_1(0)=0.01\text{m}$  και αντίστοιχα για τους ανώτερους ορόφους  $u_2(0)=-0.005\text{m}$  και  $u_3(0)=-0.02\text{m}$  ενώ οι αρχικές ταχύτητες θεωρούνται μηδενικές. Ταυτόχρονα στην κατασκευή δρα φόρτιση, το διάνυσμα της οποίας αντιστοιχεί, σε φορτίο για τον πρώτο όροφο  $f_1=100\text{kN}$ , για τον δεύτερο  $f_2=-20\text{kN}$  και μηδενικό για τον τρίτο. Η χρονική εξέλιξη της φόρτισης είναι η βηματική (ορθογωνική) συνάρτηση από χρόνο έναρξης  $t_1=3.5\text{sec}$  έως χρόνο απομάκρυνσης  $t_2=4\text{sec}$  ενώ ως συνολικός χρόνος μελέτης θα θεωρηθούν τα  $10.5\text{sec}$ . Αρχικά καθορίζουμε τις παραπάνω αρχικές συνθήκες, από το File→Define→initial

conditions και έπειτα (η σειρά επιβολής φορτίου και αρχικών συνθηκών μπορεί να εναλλαχθεί) καθορίζουμε την φόρτιση από το File→Define→loading. Στο πλαίσιο διαλόγου καθορισμού της φόρτισης συμπληρώνουμε στην αναλυτική μαθηματική έκφραση (συνάρτηση) της φόρτισης του πρώτου ορόφου με  $100*(h(t-3.5)-h(t-4.0))$

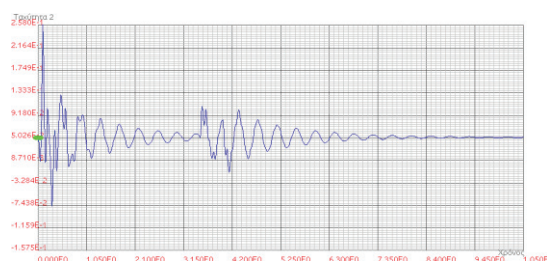
και αντίστοιχα του δεύτερου με  $-20*(h(t-3.5)-h(t-4.0))$

ενώ τέλος για τον τρίτο συμπληρώνουμε με ένα μηδενικό. Για το διακριτό χρονικό βήμα επιλέγουμε το 0.01, ώστε να συμπίπτει με το προκαθορισμένο βήμα χρονικής ολοκλήρωσης ενώ τέλος για τον ολικό χρόνο συμπληρώνουμε με 10.5 και πατάμε ενημέρωση. Σε αυτή τη φάση, η μορφή του γραφικού περιβάλλοντος θα είναι παρόμοια με το Σχήμα 13.19. Επιπλέον, μπορούμε να αποθηκεύσουμε αυτά τα διαγράμματα, όπως π.χ. τα διαγράμματα των Σχημάτων 13.20 και 13.21.

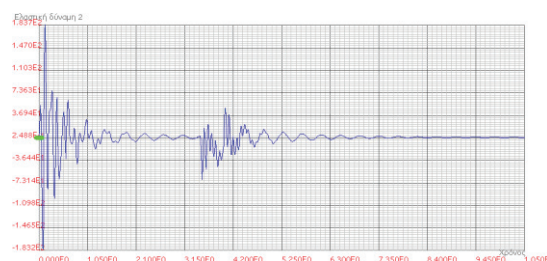


**Σχήμα 13.19** Γραφικό περιβάλλον αφού έχει εισαχθεί πλαίσιο (frame) και έχει ακολουθήσει ανάλυση στον χρόνο.

Θα κλείσουμε το παράδειγμα με την εισαγωγή κάποιου φάσματος, το οποίο έχει δημιουργηθεί με τη λειτουργία του dynasoft σύνθεσης φασμάτων **specalc** που θα περιγραφθεί στην επόμενη ενότητα. Το φάσμα επιταχύνσεων βρίσκεται αποθηκευμένο σε αρχείο υπό τη μορφή κατακόρυφα διαδοχικών γραμμών, που κάθε μία περιέχουν ζεύγη τιμών περιόδου και επιτάχυνσης, χωρισμένες με ένα κενό. Ανοίγουμε το πλαίσιο διαλόγου εισαγωγής φάσματος από το File→Define→spec, πατάμε το πλήκτρο φόρτωση από αρχείο, για να εντοπίσουμε και να επιλέξουμε μέσα στον υπολογιστή το αρχείο που εμπεριέχει το φάσμα. Η εικόνα είναι παρόμοια με την εικόνα του Σχήματος 13.22. Πιέζοντας το πλήκτρο ενημέρωση, στο τμήμα κειμένου πληροφοριών θα έχουν γραφτεί και τα φασματικά μεγέθη, όπως φαίνεται στον Πίνακα 13.6.



**Σχήμα 13.20** Ταχύτητα δεύτερου ορόφου ως προς τον χρόνο.



**Σχήμα 13.21** Ελαστική δύναμη δεύτερου ορόφου ως προς τον χρόνο.

### <Φασματικά χαρακτηριστικά>

Sa1=6.658 m/sec <sup>2</sup>	Sd1=2.90E-2 m	Sv1=4.39E-1 m/sec
Sa2=2.347 m/sec <sup>2</sup>	Sd2=9.27E-4 m	Sv2=4.66E-2 m/sec
Sa3=1.759 m/sec <sup>2</sup>	Sd3=2.77E-4 m	Sv3=2.21E-2 m/sec

**Πίνακας 13.6** Αναπαραγωγή στοιχείων εισαγωγής φάσματος.

## 13.6 Οντότητα Σύνθεσης Φασμάτων από Χρονοϊστορίες Specalc

Στην τελευταία ενότητα θα περιγράψουμε και την τελευταία λειτουργία του προγράμματος, η οποία διαφοροποιείται από τις υπόλοιπες, υπό την έννοια ότι δεν προϋποθέτει τον καθορισμό κάποιας dynasoft-κατασκευής. Πρόκειται για τη σύνθεση φασμάτων απόκρισης από χρονοϊστορίες επιταχύνσεων της κίνησης του εδάφους. Στο παράδειγμα που θα ακολουθήσει θα γίνει χρήση του συνθετικού επιταχυνσεογραφήματος που βρίσκεται αποθηκευμένο σε ASCII αρχείο. Οι τιμές των επιταχύνσεων δίνονται με ένα χρονικό βήμα των 0.1sec. Ανοίγουμε το πλαίσιο διαλόγου εισαγωγής υπολογιστή φασμάτων **specalc** από το File→New→specalc και θα εμφανιστεί το παράθυρο του Σχήματος 13.22. Συμπληρώνουμε τα πεδία όπου αναφέρονται στην αρχική περίοδο από όπου θα ξεκινάει το φάσμα, την τελική περίοδο όπου θα σταματάει το φάσμα, τον αριθμό των διακριτών τιμών περιόδων που θα περιέχει, και το ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης. Επιπλέον, θα πρέπει να εντοπίσουμε και να επιλέξουμε το αρχείο το οποίο εμπεριέχει τις τιμές του επιταχυνσεογραφήματος και να ορίσουμε το χρονικό βήμα που δίνονται οι διακριτές αυτές τιμές.

Αρχική Ιδιοπερίοδος T1= 0.0

Τελική Ιδιοπερίοδος T2= 4.5

Αριθμός διακριτών τιμών= 400

Απόσβεση ζ (%) 5.0

Αρχείο seismo1.dat

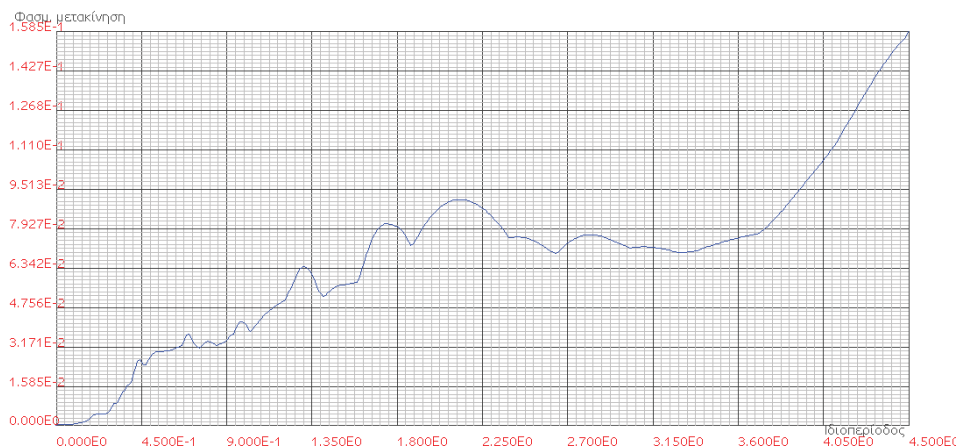
Τιμές ανα χρονικό διάστημα Δt 0.1

ακύρωση ενημέρωση

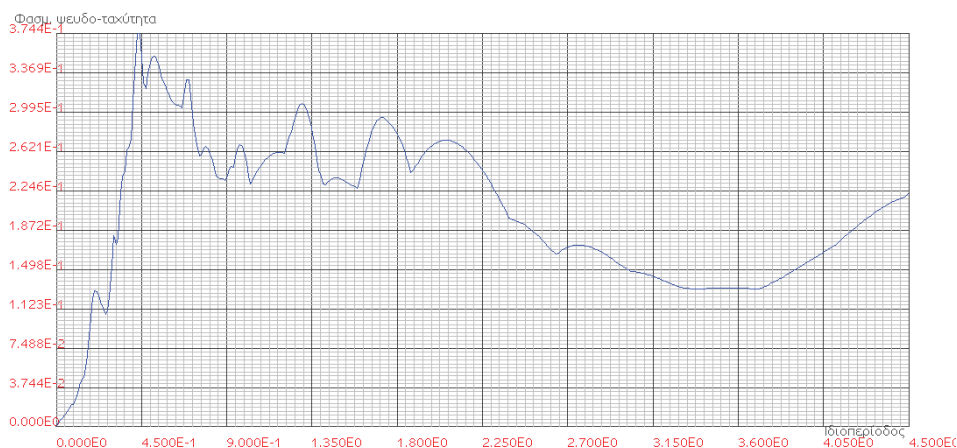
**Σχήμα 13.22** Πλαίσιο διαλόγου εισαγωγής στον υπολογιστή φασμάτων *specalc*.

Να σημειώσουμε εδώ πως για την κατασκευή του φάσματος, θα γίνουν τόσες επιλύσεις ενός μονοβάθμιου ταλαντωτή, όσες και ο αριθμός των διακριτών τιμών ιδιοπεριόδου που δόθηκε παραπάνω (στην αντίστοιχη εικόνα έχουμε 400 τιμές). Κάθε μια από αυτές τις επιλύσεις, γίνεται αριθμητικά με τη μέθοδο β-Newmark για παραμέτρους (β,γ) αλλά και βήμα χρονικής ολοκλήρωσης, που μπορούν να καθοριστούν από το Edit→β-Newmark parameters. Αν θέλουμε να μεταβάλουμε αυτές τις τιμές, για να ληφθούν υπόψη στις χρονικές αναλύσεις που θα γίνουν για τη κατασκευή του φάσματος, θα πρέπει να τις μεταβάλουμε πριν το άνοιγμα του διάλογου καθορισμού **specalc**. Πιέζοντας ενημέρωση στο πλαίσιο διαλόγου καθορισμού **specalc**, αυτόματα θα υπολογιστεί το φάσμα, θα γραφτούν στο τμήμα *κειμένων πληροφοριών* οι τιμές για φασματική μετακίνηση, ψευδο-ταχύτητα και ψευδο-επιτάχυνση, και θα σχεδιασθεί, στο τμήμα *απεικόνισης διαγραμμάτων*, η επιτάχυνση του εδάφους στον χρόνο, για την οποία υπολογίστηκε το φάσμα. Για να σχεδιάσουμε τα φάσματα και να αποθηκεύσουμε τα δεδομένα ή τα δι-

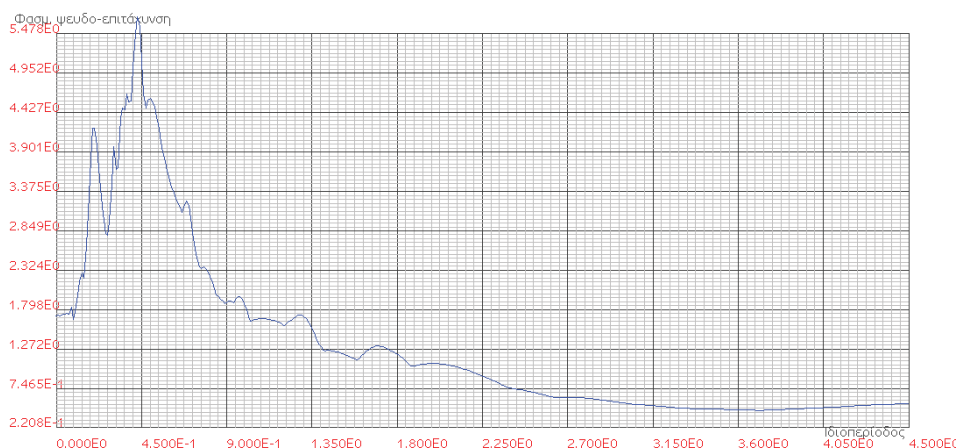
αγράμματα τους, μπορούμε να επιλέξουμε, αφού πάμε από Tools→plot parameters, τις αντίστοιχες παραμέτρους για τους άξονες των διαγραμμάτων. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα, τα φάσματα θα είναι αυτά που απεικονίζονται στα Σχήματα 13.23 έως 13.24, αντίστοιχα. Να σημειώσουμε εδώ πως αν έχει προηγουμένα οριστεί και έχει γίνει η ανάλυση για κάποια dynasoft-κατασκευή ή ακόμα και αν αυτή εισαχθεί και αναλυθεί μετά τον υπολογισμό φάσματος με τον **specalc**, μπορούμε να εναλλάσσουμε ανάμεσα σε απεικόνιση διαγραμμάτων dynasoft-κατασκευής και **specalc φασμάτων**, στο τμήμα απεικόνισης διαγραμμάτων, από το View με επιλογή είτε “Σχεδίαση Διαγραμμάτων Υπολογισμένων Φασμάτων” είτε “Σχεδίαση Διαγραμμάτων Υπολογισμένων Αποκρίσεων».



Σχήμα 13.23 Φασματικές μετακινήσεις ως προς  $T$ .



Σχήμα 13.24 Φασματικές ψευδο-ταχύτητες ως προς  $T$ .



Σχήμα 13.25 Φασματικές ψευδο-επιταχύνσεις ως προς  $T$ .