

Σκοπός της εφαρμογής **ABEL** είναι η κατανόηση της επιρροής της επιλεγόμενης σεισμικής δράσης (πραγματικό επιταχυνσιογράφημα ή φάσμα κανονισμού) στη σεισμική καταπόνηση μιας κατασκευής καθώς και της προσομοίωσης των συνθηκών στήριξης της κατασκευής (πλήρης πάκτωση ή ελαστική έδραση). Υπολογίζοντας τη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο και τη συνεπαγόμενη τέμνουσα βάση, είτε στο πλήρως πακτωμένο μοντέλο είτε στο αντίστοιχο ελαστικά εδραζόμενο σύστημα, αναδεικνύεται η επίδραση του φαινομένου της αλληλεπίδρασης του εδάφους με την κατασκευή στη σεισμική επιφόρτιση και συνεπώς στην απόκριση της κατασκευής. Ταυτόχρονα, συνεκτιμώντας τη σεισμική δράση για τον προσδιορισμό των δύο ανωτέρω παραμέτρων είτε με τη μορφή του κανονιστικού φάσματος είτε μέσω της χρήσης πραγματικών σεισμικών καταγραφών, αποδίδεται η σχέση της εισαγόμενης φόρτισης με την πραγματική καταπόνηση της κατασκευής.

Η παρούσα εφαρμογή διακρίνεται σε δύο μέρη. Το πρώτο σχετίζεται με τον προσδιορισμό της απαιτούμενης σεισμικής δράσης ενώ το δεύτερο εστιάζει στην κατασκευή και τα χαρακτηριστικά της, αποσκοπώντας στον υπολογισμό των τελικών ζητούμενων του προβλήματος (θεμελιώδης ιδιοπερίοδος και τέμνουσα βάση).

Σεισμική φόρτιση (1^ο Μέρος)

Στο πρώτο μέρος της εφαρμογής υπολογίζεται και σχεδιάζεται είτε το ελαστικό φάσμα απόκρισης μιας τυχούσας σεισμικής καταγραφής, ύστερα από κατάλληλη επιλογή του χρήστη, είτε το φάσμα σχεδιασμού, όπως προδιαγράφεται από την παράγραφο §3.2.2.8 του Ευρωκώδικα 8 [1]. Να σημειωθεί ότι καθώς τα πραγματικά επιταχυνσιογραφήματα δεν μπορούν να περιγράψουν από γνωστή μαθηματική έκφραση, ο υπολογισμός του φάσματος απόκρισης με εφαρμογή του ολοκληρώματος του Duhamel πραγματοποιείται με τη χρήση του τύπου του Simpson [2].

Συγκεκριμένα, ο χρήστης καλείται να επιλέξει τον τύπο της φόρτισης που επιθυμεί ως σεισμική δράση: α) το φάσμα σχεδιασμού του EC8 [1] ή β) κάποια πραγματική σεισμική καταγραφή επιταχύνσεων. Στην πρώτη περίπτωση, είναι απαραίτητη η εισαγωγή δεδομένων σχετικών με τις παραμέτρους που προσδιορίζουν το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού κατά EC8 [1] ενώ στη δεύτερη περίπτωση, ο χρήστης πρέπει να επιλέξει την καταγραφή που επιθυμεί ως σεισμική φόρτιση και ακολούθως να παράσχει ορισμένες πληροφορίες που αφορούν στην καταγραφή και το υπολογιζόμενο φάσμα απόκρισης.

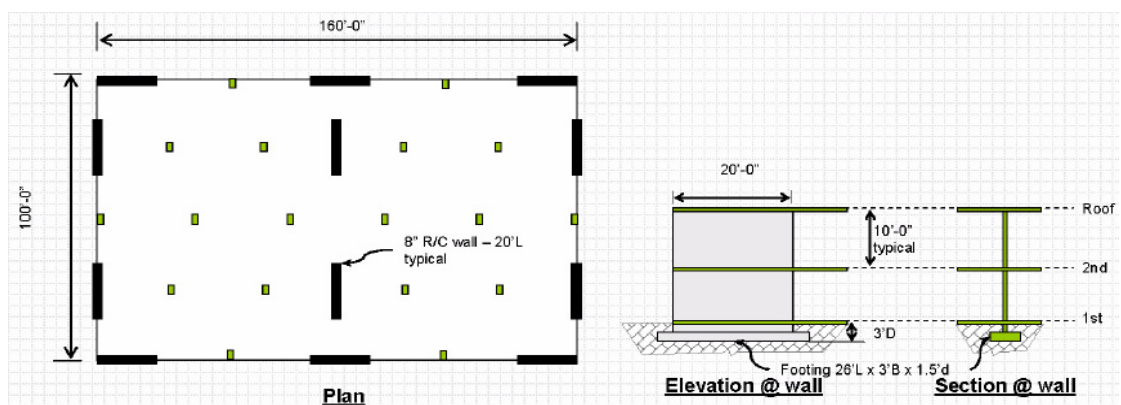
Σεισμική φόρτιση	
1 ^η επιλογή: Εισαγωγή επιταχυνσιογραφήματος	Βήμα επιταχυνσιογραφήματος dt Ποσοστό απόσβεσης ζ (%) Πρώτη γραμμή καταγραφής Αριθμός στηλών καταγραφής Μονάδες επιτάχυνσης ($g - m/s^2 - cm/s^2$)
2 ^η επιλογή: Φάσμα σχεδιασμού EC8	Τύπος φάσματος (1 ή 2) Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (0.16g – 0.24g – 0.36g) Κατηγορία εδάφους (Α – Β – Γ – Δ – Ε) Συντελεστής συμπεριφοράς q

Πίνακας 1 : Απαραίτητα δεδομένα για τον υπολογισμό των φασμάτων

Το πρώτο μέρος της εφαρμογής μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ανεξάρτητα, καθώς δεν αξιοποιεί δεδομένα από το επόμενο, ενώ αντίθετα το δεύτερο μέρος είναι άμεσα εξαρτώμενο από το πρώτο, χωρίς την εκτέλεση του οποίου δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός των τιμών της ιδιοπεριόδου και τέμνουσα βάσης.

Στοιχεία κατασκευής (2^ο Μέρος)

Στο δεύτερο μέρος της εφαρμογής υπολογίζεται βάσει πρότυπου παραδείγματος της FEMA 440 [3, 4] η ιδιοπερίοδος και η τέμνουσα βάσης μιας κατασκευής, η θεμελίωση της οποίας προσομοιώνεται είτε με ελαστικά χαρακτηριστικά είτε ως πλήρης πάκτωση. Να σημειωθεί ότι η παρούσα εφαρμογή αναφέρεται μόνο σε κτιριακές κατασκευές, στις οποίες το σύνολο των οριζόντιων σεισμικών δυνάμεων θεωρείται ότι παραλαμβάνεται αποκλειστικά από τοιχώματα τα οποία λειτουργούν σε κάθε διεύθυνση της κατασκευής και είναι θεμελιωμένα με επιφανειακές θεμελιώσεις (πέδιλα θεμελίωσης).




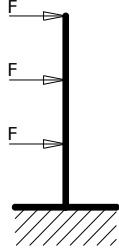
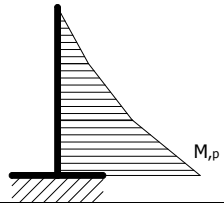
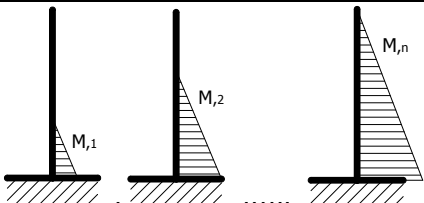
Σχήμα 1 : Κάτοψη και τομές χαρακτηριστικού διώροφου κτιρίου από το πρότυπο παράδειγμα της FEMA 440 [3]

Μεταβαίνοντας από το πρώτο στο δεύτερο μέρος της εφαρμογής, ο χρήστης καλείται να παράσχει δεδομένα σχετικά με την κατασκευή. Ειδικότερα, απαιτούνται στοιχεία αναφορικά με τον αριθμό των ορόφων, την ποιότητα του χρησιμοποιούμενου σκυροδέματος, τη γεωμετρία και τη φόρτιση του τυπικού ορόφου, πληροφορίες εδαφοτεχνικού χαρακτήρα, όπως τον τύπο του εδάφους (κατά EC8), την ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων και το λόγο Poisson καθώς και δεδομένα σχετικά με το πλήθος και τη γεωμετρία των τοιχωμάτων και των υποκείμενων πέλδων θεμελίωσης (ο χρήστης εισάγει αναλυτικά στοιχεία της γεωμετρίας των τοιχωμάτων και των αντίστοιχων πεδίων για κάθε ένα από τα τοιχώματα που δηλώνει στο σύστημα).

Στοιχεία κατασκευής			
Γενικά χαρακτηριστικά	Αριθμός ορόφων Ποιότητα σκυροδέματος Μήκος τυπικού ορόφου (m) Πλάτος τυπικού ορόφου (m) Ύψος τυπικού ορόφου (m) Φορτίο τυπικού ορόφου (kN/m ²)		
Εδαφοτεχνικά χαρακτηριστικά	Τύπος εδάφους (κατά EC8) Ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων Vs (m/s) Λόγος Poisson ν		
Στοιχεία τοιχωμάτων και υποκείμενων πέλδων (ανά κύρια διεύθυνση)	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">Για κάθε τοίχωμα</td> <td> Πλήθος τοιχωμάτων Μήκος τοιχώματος (m) Πλάτος τοιχώματος (m) Μήκος πέλδου (m) Πλάτος πέλδου (m) Ύψος πέλδου (m) Βάθος εγκιβωτισμού (m) </td> </tr> </table>	Για κάθε τοίχωμα	Πλήθος τοιχωμάτων Μήκος τοιχώματος (m) Πλάτος τοιχώματος (m) Μήκος πέλδου (m) Πλάτος πέλδου (m) Ύψος πέλδου (m) Βάθος εγκιβωτισμού (m)
Για κάθε τοίχωμα	Πλήθος τοιχωμάτων Μήκος τοιχώματος (m) Πλάτος τοιχώματος (m) Μήκος πέλδου (m) Πλάτος πέλδου (m) Ύψος πέλδου (m) Βάθος εγκιβωτισμού (m)		

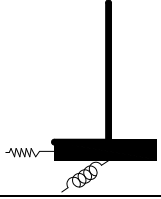
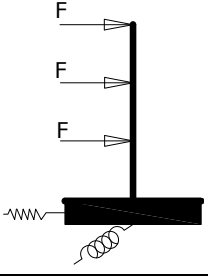
Πίνακας 2 : Απαραίτητα δεδομένα για τον υπολογισμό των ιδιοπεριόδων και τεμνουσών δυνάμεων κατά FEMA 440 [3]

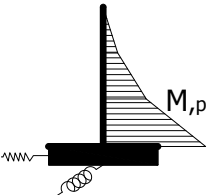
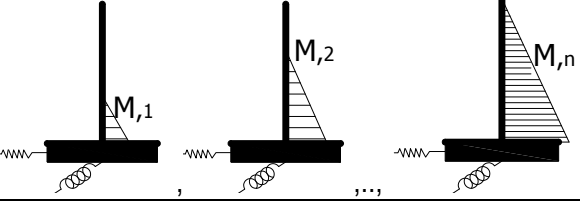
Εισάγοντας τα απαραίτητα δεδομένα και επιλέγοντας το κουμπί «FEMA 440», υπολογίζονται και εξάγονται σε χαρακτηριστικά πεδία αποτελεσμάτων οι ζητούμενες τιμές της ιδιοπεριόδου και της τέμνουσας βάσης για το πλήρως πακτωμένο μοντέλο και το αντίστοιχο ελαστικά εδραζόμενο, καθώς επίσης αντιπροσωπευτικές τιμές αποτελεσμάτων (ελαστικά χαρακτηριστικά θεμελίωσης, απόλυτες και σχετικές μετακινήσεις στις στάθμες των ορόφων λόγω όλων των αιτιών φόρτισης), όπως προκύπτουν από τη διαδικασία επίλυσης του προβλήματος.

Υπολογισμός της ιδιοπεριόδου στο πακτωμένο μοντέλο	
<p>Βήμα 1: Προσομοίωση του κτιρίου με κατακόρυφο πρόβολο, πλήρως πακτωμένο, με ύψος ίσο με το συνολικό ύψος του κτιρίου</p>	
<p>Βήμα 2: Υπολογισμός των οριζοντίων σεισμικών δυνάμεων των ορόφων (κοινές για κάθε όροφο)</p>	$W = (b \cdot l \cdot q)$ <p>l : μήκος τυπ. ορόφου, b : μήκος τυπ. ορόφου, q : φορτίο τυπ. ορόφου</p>
<p>Βήμα 3: Εφαρμογή στις στάθμες των ορόφων των οριζόντιων σεισμικών δυνάμεων</p>	
<p>Βήμα 4: Υπολογισμός συνολικής ροπής αδράνειας</p>	$I = \sum_{i=1}^N \left(\frac{l_{w,i}^3 \cdot t}{12} \right)$ <p>l_w : μήκος τοιχώματος, t : πλάτος τοιχώματος, N : αριθμός τοιχωμάτων</p>
<p>Βήμα 5: Προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος</p>	<p>Υπολογίζεται από τη σχέση του Ε.Κ.Ω.Σ.</p> $E_{cm} = 9.5(f_{ck} + 8)^{(1/3)}$ <p>(§2.5.2, Σ.2.3)</p>
<p>Βήμα 6: Υπολογισμός του διαγράμματος ροπών του φορέα λόγω των οριζόντιων σεισμικών φορτίων</p>	
<p>Βήμα 7: Υπολογισμός των διαγραμμάτων ροπών του φορέα λόγω των μοναδιαίων φορτίων στις στάθμες των ορόφων</p>	
<p>Βήμα 8: Υπολογισμός των μετακινήσεων στις στάθμες των ορόφων λόγω των οριζόντιων σεισμικών φορτίων</p>	$\delta_{i,p} = \int_0^l \frac{M_{i,p} \cdot M_{i,1}}{EI} dx, \text{ για κάθε όροφο}$ <p>Συνολικά προκύπτει: $\delta = \begin{Bmatrix} \delta_{Nop.} \\ \dots \\ \delta_{1op.} \end{Bmatrix}$</p>

<p>Βήμα 9: Κανονικοποίηση των μετακινήσεων στις στάθμες των ορόφων ως προς τη μετακίνηση του τελευταίου ορόφου:</p>	$\bar{\Phi} = \begin{Bmatrix} \varphi_{Nop.} \\ \dots \\ \varphi_{1op.} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} (\delta_{Nop.} / \delta_{Nop.}) \\ \dots \\ (\delta_{1op.} / \delta_{Nop.}) \end{Bmatrix}$
<p>Βήμα 10: Υπολογισμός του συντελεστή συμμετοχής της πρώτης ιδιομορφής: (ATC 40, εξ. 8-20)</p>	$PF = \frac{\sum_{i=1}^N (w_i \cdot \varphi_i) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \cdot \varphi_i^2) / g}$
<p>Βήμα 11: Υπολογισμός των ιδιομορφικών σεισμικών δυνάμεων για Sa=1 (ATC 40, εξ. 8-23)</p>	$F_i = PF \cdot \varphi_i \cdot S_a \cdot w_i$
<p>Βήμα 12: Υπολογισμός της ιδιοπεριόδου: (ATC 40, εξ. 8-27)</p>	$T_{fix} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot \delta_i^2}{g \cdot \sum_{i=1}^N F_i \cdot \delta_i}}$
<p>Βήμα 13: Υπολογισμός της τέμνουσας βάσης</p>	$V = Sd(T_{fix}) \cdot (W/g \cdot n)$ <p>Sd(T_{fix}): φασματική επιτάχυνση, W: βάρος ορόφου, n: αριθμός ορόφων</p>

Πίνακας 3 : Αναλυτικός υπολογισμός κατά FEMA 440 των τιμών της ιδιοπεριόδου και της τέμνουσας βάσης στο πλήρως πακτωμένο σύστημα

<p>Υπολογισμός της ιδιοπεριόδου στο ελαστικά εδραζόμενο μοντέλο</p>	
<p>Βήμα 1: Προσομοίωση του κτιρίου με κατακόρυφο πρόβολο, ελαστικά εδραζόμενο, με ύψος ίσο με το συνολικό ύψος του κτιρίου</p>	
<p>Βήμα 2: Υπολογισμός των οριζοντίων σεισμικών δυνάμεων των ορόφων (κοινές για κάθε όροφο)</p>	$W = (b \cdot l \cdot q)$ <p>l : μήκος τυπ. ορόφου, b : μήκος τυπ. ορόφου, q : φορτίο τυπ. ορόφου</p>
<p>Βήμα 3: Εφαρμογή στις στάθμες των ορόφων των οριζόντιων σεισμικών δυνάμεων</p>	
<p>Βήμα 4: Υπολογισμός συνολικής ροπής αδράνειας</p>	$I = \sum_{i=1}^N \left(\frac{I_{w,i} \cdot t}{12} \right)$ <p>I_w: μήκος τοιχώματος, t: πλάτος τοιχώματος, N: αριθμός τοιχωμάτων</p>

<p>Βήμα 5: Προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος</p>	<p>Υπολογίζεται από τη σχέση του Ε.Κ.Ω.Σ. $E_{cm} = 9.5(f_{ck}+8)^{(1/3)}$ (§2.5.2, Σ.2.3)</p>
<p>Βήμα 6: Υπολογισμός μεταφορικής δυσκαμψίας της θεμελίωσης κάθε τοιχώματος (FEMA 356, Σχ. 4.4 / ATC 40, Πίν. 10.2&3)</p>	$K_{\theta} = \sum_{i=1}^N \left(\frac{G \cdot B_i}{2 - \nu} \cdot (3.4 \cdot \left(\frac{L_i}{B_i}\right)^{0.65} + 1.2) \right) \cdot \left((1 + 0.21 \sqrt{\frac{D_i}{B_i}}) \cdot (1 + 1.6 \cdot \left(\frac{D_i \cdot d_i \cdot (B_i + L_i)}{B_i \cdot L_i^2}\right)) \right)$ <p>G: μέτρο διάτμησης, ν: λόγος Poisson, B: μήκος πέδιλου, L: πλάτος πέδιλου, di: ύψος πέδιλου, Di: βάθος εγκιβωτισμού πέδιλου, N: αριθμός τοιχωμάτων (άρα και πέδιλων)</p>
<p>Βήμα 7: Υπολογισμός λικνιστικής δυσκαμψίας της θεμελίωσης κάθε τοιχώματος (FEMA 356, Σχ. 4.4 / ATC 40, Πίν. 10.2&3)</p>	$K_x = \sum_{i=1}^N \left(\frac{G \cdot B_i^3}{1 - \nu} \cdot (0.47 \cdot \left(\frac{L_i}{B_i}\right)^{2.4} + 0.034) \right) \cdot \left((1 + 1.4 \cdot \left(\frac{d_i}{L_i}\right)^{0.6} \cdot (1.5 + 3.7 \cdot \left(\frac{d_i}{L_i}\right)^{1.9} \cdot \left(\frac{d_i}{D_i}\right)^{-0.6})) \right)$ <p>G: μέτρο διάτμησης, ν: λόγος Poisson, B: μήκος πέδιλου, L: πλάτος πέδιλου, di: ύψος πέδιλου, Di: βάθος εγκιβωτισμού πέδιλου, N: αριθμός τοιχωμάτων (άρα και πέδιλων)</p>
<p>Βήμα 8: Υπολογισμός του διαγράμματος ροπών του φορέα λόγω των οριζόντιων σεισμικών φορτίων</p>	
<p>Βήμα 9: Υπολογισμός των διαγραμμάτων ροπών του φορέα λόγω μοναδιαίων φορτίων στις στάθμες των ορόφων</p>	
<p>Βήμα 10: Υπολογισμός των μετακινήσεων στις στάθμες των ορόφων λόγω των οριζόντιων σεισμικών φορτίων</p>	$\delta_{i,p} = \int_0^l \frac{M_p \cdot M_{i,1}}{EI} dx, \text{ για κάθε όροφο}$ <p>Συνολικά προκύπτει: $\delta = \left\{ \begin{array}{l} \delta_{Nop.} \\ \dots \\ \delta_{1op.} \end{array} \right\}$</p>

<p>Βήμα 11: Υπολογισμός των μετακινήσεων στις στάθμες των ορόφων λόγω της στροφικής ενδοσιμότητας της θεμελίωσης</p>	$\varphi = \frac{M_{\text{βάσης}}}{K_{\theta}}, \text{Συνολικά προκύπτει: } \delta_{,\varphi} = \begin{Bmatrix} \varphi \cdot h_{\text{Nop.}} \\ \dots \\ \varphi \cdot h_{\text{1op.}} \end{Bmatrix}$
<p>Βήμα 12: Υπολογισμός των μετακινήσεων στις στάθμες των ορόφων λόγω της μεταφορικής ενδοσιμότητας της θεμελίωσης</p>	$x_0 = \frac{V_{\text{βάσης}}}{K_x}, \text{Συνολικά προκύπτει: } \delta_{,x} = \begin{Bmatrix} x_0 \\ \dots \\ x_0 \end{Bmatrix}$
<p>Βήμα 13: Υπολογισμός των συνολικών μετακινήσεων στις στάθμες των ορόφων</p>	$\delta = \delta_{,p} + \delta_{,\varphi} + \delta_{,x} = \begin{Bmatrix} \delta_{\text{Nop.}} \\ \dots \\ \delta_{\text{1op.}} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \varphi \cdot h_{\text{Nop.}} \\ \dots \\ \varphi \cdot h_{\text{1op.}} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} x_0 \\ \dots \\ x_0 \end{Bmatrix}$
<p>Βήμα 14: Κανονικοποίηση των συνολικών μετακινήσεων στις στάθμες των ορόφων ως προς τη μετακίνηση του τελευταίου ορόφου</p>	$\bar{\Phi} = \begin{Bmatrix} \varphi_{\text{Nop.}} \\ \dots \\ \varphi_{\text{1op.}} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} (\delta_{\text{Nop.}} / \delta_{\text{Nop.}}) \\ \dots \\ (\delta_{\text{1op.}} / \delta_{\text{Nop.}}) \end{Bmatrix}$
<p>Βήμα 15: Υπολογισμός του συντελεστή συμμετοχής της πρώτης ιδιομορφής (ATC 40, εξ. 8-20)</p>	$PF = \frac{\sum_{i=1}^N (w_i \cdot \varphi_i) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \cdot \varphi_i^2) / g}$
<p>Βήμα 16: Υπολογισμός των ιδιομορφικών σεισμικών δυνάμεων για Sa=1 (ATC 40, εξ. 8-23)</p>	$F_i = PF \cdot \varphi_i \cdot S_a \cdot w_i$
<p>Βήμα 17: Υπολογισμός της ιδιοπεριόδου (ATC 40, εξ. 8-27)</p>	$T_{ei} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot \delta_i^2}{(g \cdot \sum_{i=1}^N F_i \cdot \delta_i)}}$
<p>Βήμα 18: Υπολογισμός της τέμνουσας βάσης</p>	$V = Sd(T_{ei}) \cdot (W/g) \cdot n$ <p>Sd(T_{ei}): φασματική επιτάχυνση, W: βάρος ορόφου, n: αριθμός ορόφων</p>

Πίνακας 4 : Αναλυτικός υπολογισμός κατά FEMA 440 των τιμών της ιδιοπεριόδου και της τέμνουσας βάσης στο ελαστικά εδραζόμενο σύστημα

Επιπρόσθετα, στο γράφημα του πρώτου μέρους, όπου αποτυπώνεται το υπολογιζόμενο φάσμα, σχεδιάζονται χαρακτηριστικές γραμμές με τις οποίες επισημαίνονται οι θέσεις των δύο τιμών της ιδιοπεριόδου και οι αντίστοιχες τιμές της φασματικής επιτάχυνσης, καταδεικνύοντας τη μεταβολή της ιδιοπεριόδου και συνεπώς της σεισμικής επιφόρτισης λόγω της θεωρούμενης ενδοσιμότητας της θεμελίωσης.

Βιβλιογραφία

[1] CEN. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. Final Draft prEN 1998. European Committee for Standardization. Brussels, 2003.

[2] Αναστασιάδης Κ. Δυναμική των Κατασκευών. Τόμος Ι: Διακριτά Συστήματα. Θεσσαλονίκη. Εκδόσεις Ζήτη. 1999.

[3] FEMA 440. Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures. ATC – 55 project, Redwood City, California, 2005.

[4] Sextos AG, Katsanos EI. Knowledge-based expert system for considering soil- structure interaction effects in the design for R/C buildings. In: Proceedings of the 1st International Conference of Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering. Rethymnon, Greece, 2007.