

Αξιολόγηση μεθόδων κανονικοποίησης επιταχυνσιογραφημάτων σε σχέση με τον ΕΑΚ2000

Μ. Παπαδρακάκης

Καθηγητής, Εργαστήριο Στατικής & Αντισεισμικών Ερευνών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Ν.Δ. Λαγαρός

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Εργαστήριο Στατικής & Αντισεισμικών Ερευνών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Α.Γ. Παπαχρηστίδης

Πολιτικός Μηχανικός Εργαστήριο Στατικής & Αντισεισμικών Ερευνών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

4M-VK Προγράμματα Πολιτικού Μηχανικού Ε.Π.Ε

Λέξεις κλειδιά: ΕΑΚ2000, κανονικοποίηση, επιταχυνσιογραφήματα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ2000) επιτρέπει σε ειδικές περιπτώσεις την εφαρμογή και άλλων δόκιμων μεθόδων υπολογισμού της σεισμικής απόκρισης των κατασκευών, όπως είναι η εν χρόνω ολοκλήρωση επιταχυνσιογραφημάτων. Η χρησιμοποίηση όμως πραγματικών σεισμικών καταγραφών στον σχεδιασμό μίας κατασκευής επιβάλλει την προσαρμογή αυτών στο φάσμα σχεδιασμού της περιοχής της κατασκευής. Στην εργασία αυτή γίνεται αξιολόγηση διαφόρων μεθόδων κανονικοποίησης-προσαρμογής πραγματικών επιταχυνσιογραφημάτων που έχουν παρουσιαστεί στην διεθνή βιβλιογραφία. Οι μέθοδοι αυτές δίνουν την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν στον σχεδιασμό μίας κατασκευής καταγραφές από διάφορες περιοχές του κόσμου. Η αξιολόγηση αυτών των μεθόδων γίνεται σε σχέση με την Δυναμική Φασματική Μέθοδο του ΕΑΚ2000 και της επιρροή τους στον τελικό σχεδιασμό της κατασκευής. Για την αξιολόγηση αυτή υιοθετείται ένα πολυώροφο πλαίσιο από σκυρόδεμα. Ο υπολογισμός της σεισμικής απόκρισης με την Δυναμική Φασματική Μέθοδο καθώς και με την εν χρόνω ολοκλήρωση γίνεται με το πρόγραμμα STRAD.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε διάφορες περιπτώσεις εφαρμογών, τις οποίες δεν καλύπτει ο Ελληνικός αντισεισμικός κανονισμός, είναι απαραίτητη η χρήση εν χρόνω ολοκλήρωσης για να ληφθεί υπόψη η επιρροή του σεισμικού φορτίου σε μια κατασκευή. Οπότε σύνολα πραγματικών επιταχυνσιογραφημάτων επιλέγονται βάσει διαφόρων κριτηρίων, όπως λόγου χάρη του μεγέθους, της επικεντρικής απόστασης κλπ. για να αποτελέσουν την σεισμική δράση στην υπό σχεδιασμό κατασκευή. Έχει παρατηρηθεί σε άλλες εργασίες σημαντική διαφοροποίηση της απόκρισης μίας κατασκευής όταν ως σεισμική δράση σχεδιασμού χρησιμοποιηθούν καταγραφές από περιοχές διάφορες της περιοχής ενδιαφέροντος, αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι δεν λαμβάνονται υπόψιν άλλες σημαντικές παράμετροι οι οποίες είναι χαρακτηριστικές της σεισμικής διέγερσης και της περιοχής ενδιαφέροντος. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με κατάλληλη προσαρμογή του κάθε επιταχυνσιογραφήματος στα σεισμικά χαρακτηριστικά της περιοχής για την οποία σχεδιάζεται η εν προκειμένω κατασκευή.

Η παρούσα μελέτη βασίζεται στα συμπεράσματα προηγούμενης εργασίας των Α. Κάππου και Π. Κυριακάκη [1] στην οποία παρουσιάζεται μια αξιολόγηση μεθόδων κανονικοποίησης πραγματικών καταγραφών. Καθώς επίσης και σε μια δεύτερη εργασία του Α. Κάππου [2], στην

οποία μελετάται η επίδραση της κανονικοποίησης σεισμικών καταγραφών στην ανελαστική απόκριση των πολυώροφων ενισχυμένων κτηρίων από σκυρόδεμα. Η εστίαση της παρούσας μελέτης είναι στην επιρροή της μεθόδου κανονικοποίησης στην απόκριση της κατασκευής για μία συγκεκριμένη καταγραφή σε σχέση με την απόκριση που υπολογίζεται με την Δυναμική Φασματική Μέθοδο του ΕΑΚ2000 [3].

2 ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ

2.1 Επιλογή καταγραφών

Στην παρούσα εργασία έξι καταγραφές από διάφορες περιοχές του πλανήτη χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα παραμετρική διερεύνηση. Οι Zhu et al. [4] ορίζουν τρεις κατηγορίες σεισμικών καταγραφών σύμφωνα με τον λόγο της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης προς την ταχύτητα (a/v), οι κατηγορίες αυτές είναι οι ακόλουθες:

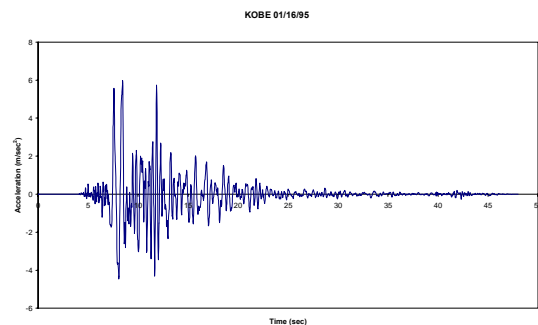
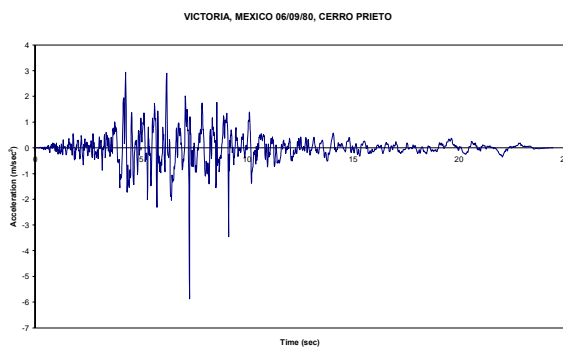
- $a/v < 0.8 \text{ g/ms}^{-1}$
- $0.8 \text{ g/ms}^{-1} \leq a/v \leq 1.2 \text{ g/ms}^{-1}$
- $1.2 \text{ g/ms}^{-1} < a/v$

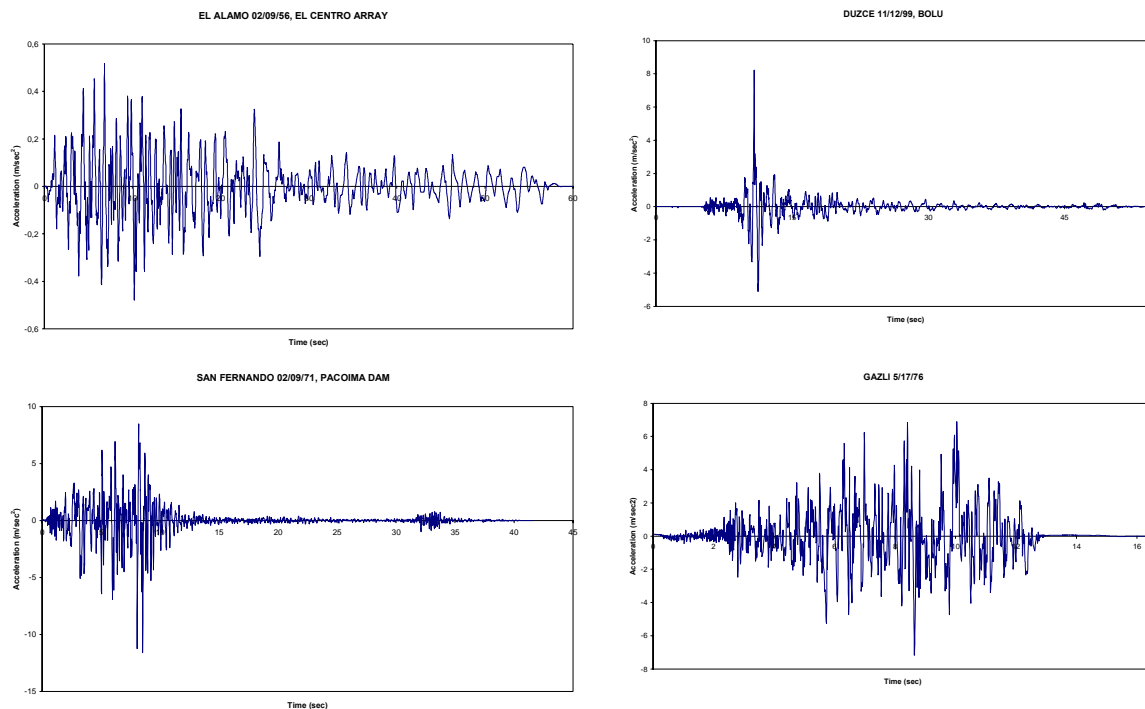
Σύμφωνα με αυτή την παραπάνω κατηγοριοποίηση επιλέχθηκαν οι ακόλουθες καταγραφές:

Πίνακας 1. Καταγραφές

Καταγραφή	M_s	a/v	Κατηγορία
1. CERRO PRIETO 06/09/80	6.49	2.90	C
2. KOBE 01/16/95	6.95	0.79	A
3. EL ALAMO 02/09/56	6.50	0.77	A
4. DUZCE 11/12/99	7.30	1.30	C
5. PACOIMA DAM 02/09/71	6.61	1.16	B
6. GAZLI 5/17/76	7.10	0.98	B

Όπου M_s είναι το μέγεθος της καταγραφής.





Σχήμα 1. Χρονοιστορίες των έξι καταγραφών

2.2 Μέθοδοι κανονικοποίησης

Συνολικά τρεις μέθοδοι κανονικοποίησης των καταγραφών εξετάστηκαν, οι μέθοδοι αυτές είναι οι ακόλουθες:

- I PGA (μέγιστη επιτάχυνση εδάφους)
- II PA(T) (μέγιστη επιτάχυνση για ιδιοπερίοδο T ίση με την ιδιοπερίοδο της 1^{ης} κανονικής μορφής της κατασκευής)
- III SI (ένταση φάσματος, δηλαδή επιφάνεια εμβαδού φάσματος ψευδο-επιταχύνσεων)

η εστίαση της παρούσας μελέτης είναι στην καταλληλότητα κάθε διαδικασίας κανονικοποίησης όσον αφορά τη μείωση της διαφοροποίησης στην απόκριση της κατασκευής για τις διάφορες καταγραφές.

3 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

3.1 Χρονική Ολοκλήρωση

Η εξίσωση κίνησης ενός συστήματος πεπερασμένων στοιχείων μπορεί να γραφτεί ως ακολούθως:

$$[M]\ddot{u}_t + [C]\dot{u}_t + [K]u_t = R_t \quad (1)$$

όπου [M], [C] και [K] είναι τα μητρώα μάζας, αποσβέσεως και δυσκαμψίας, R_t είναι το εξωτερικό φορτίο, ενώ u , \dot{u} and \ddot{u} είναι τα διανύσματα μετατόπισης, ταχύτητας και επιτάχυνσης αντίστοιχα. Το κατά Newmark σχήμα χρονικής ολοκλήρωσης υιοθετείται στην παρούσα εργασία για την επίλυση των εξισώσεων κίνησης της σχέσης (1). Σύμφωνα με το σχήμα αυτό η διαφοροποίηση των διανυσμάτων ταχύτητας και μετατόπισης υπολογίζονται ως ακολούθως:

$$\dot{u}_{t+\Delta t} = \dot{u}_t + [(1-\delta)\ddot{u}_t + \delta\ddot{u}_{t+\Delta t}]\Delta t \quad (2)$$

$$u_{t+\Delta t} = u_t + \dot{u}_t \Delta t + [(1/2 - \alpha)\ddot{u}_t + \alpha\ddot{u}_{t+\Delta t}] \Delta t^2 \quad (3)$$

όπου α και δ είναι παράμετροι που είναι δυνατό να καθορίσουν την ακρίβεια και τη σταθερότητα της μεθόδου χρονικής ολοκλήρωσης. Όταν $\delta = 1/2$ και $\alpha = 1/6$, οι σχέσεις (2) και (3) αντιστοιχούν στη γραμμική μέθοδο ταχύτητας. Από τις (2) και (3) γίνεται εύρεση των μετατοπίσεων και των ταχυτήτων κατά το χρονικό βήμα $t + \Delta t$. Οι εξισώσεις ισορροπίας (1) στο χρονικό βήμα $t + \Delta t$ γίνονται:

$$[M]\ddot{u}_{t+\Delta t} + [C]\dot{u}_{t+\Delta t} + [K]u_{t+\Delta t} = R_{t+\Delta t} \quad (4)$$

Το μητρώο απόσβεσης κατά Rayleigh λαμβάνεται αναλογικά σαν ένα ποσοστό του μητρώου ακαμψίας και του μητρώου μάζας. Δηλαδή:

$$[C] = \alpha \cdot [K] + \beta \cdot [M] \quad (5)$$

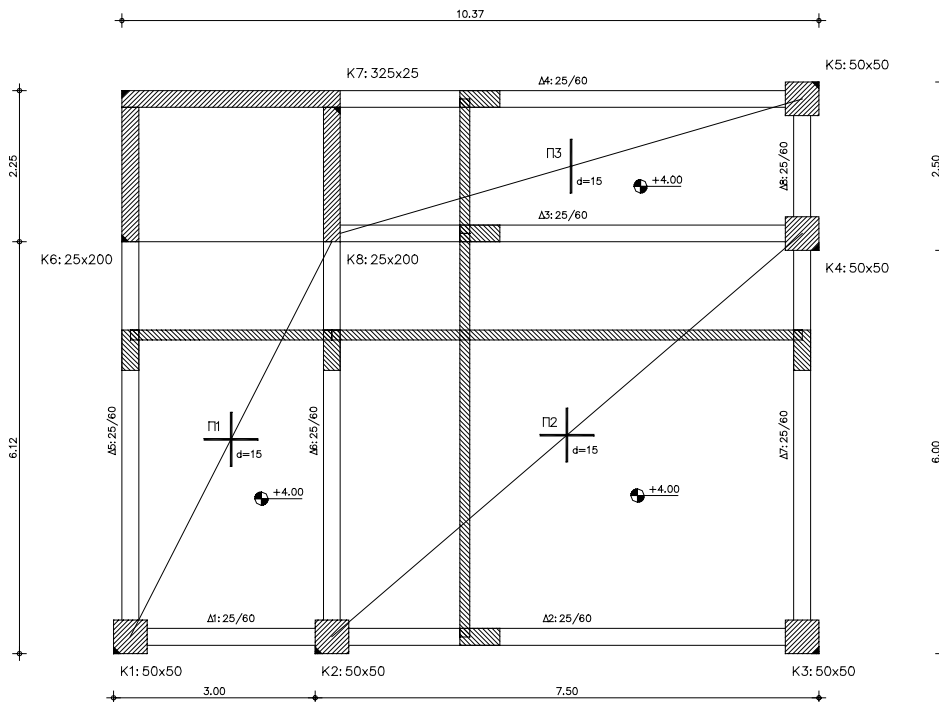
Όπου: $\xi = \frac{1}{2} \left(\alpha \cdot \omega - \frac{\beta}{\omega} \right)$, $\alpha = 2 \frac{(\xi_2 \omega_2 - \xi_1 \omega_1)}{(\omega_2^2 - \omega_1^2)}$, $\beta = 2 \omega_1 \omega_2 \frac{(\xi_1 \omega_2 - \xi_2 \omega_1)}{(\omega_2^2 - \omega_1^2)}$ και $\xi_1 = \xi_2 = 5\%$.

3.2 Δυναμική Φασματική Μέθοδος

Χρησιμοποιείτε το φάσμα του κανονισμού για ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II. Τα υπόλοιπα δεδομένα του φάσματος σχεδιασμού είναι: Κατηγορία εδάφους: A, $\theta=1$, $q=1.5$, κατηγορία σπουδαιότητας: Σ2, ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης $\zeta=5\%$.

4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Εξετάζεται η περίπτωση δόροφου φορέα με έκκεντρο πυρήνα [5]. Η κάτοψη του τυπικού ορόφου παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2: Κάτοψη τυπικού ορόφου

Η προσομοίωση και η φασματική ανάλυση γίνονται με το πρόγραμμα STRAD [6], ενώ η δυναμική ανάλυση με χρονική ολοκλήρωση γίνεται με το πρόγραμμα GT.STRU DL [7]. Εξετάζεται το τοιχείο K7 της στάθμης ισογείου στην περίπτωση σεισμού κατά X και ελέγχονται τα μεγέθη My(βάσης) [kNm], Qz [kN] και N [kN].

Πίνακας 2. Αποτελέσματα φασματικής ανάλυσης

Α/Α	Π.Φ.	N(αρχή)	Qy(αρχή)	Qz(αρχή)	Mx(αρχή)	My(αρχή)	Mz(αρχή)
		N(τελ.)	Qy(τελ.)	Qz(τελ.)	Mx(τελ.)	My(τελ.)	Mz(τελ.)
K7	3	529.13	3.98	261.62	1.05	-1197.52	-12.70
		529.13	3.98	261.62	1.05	192.26	3.35

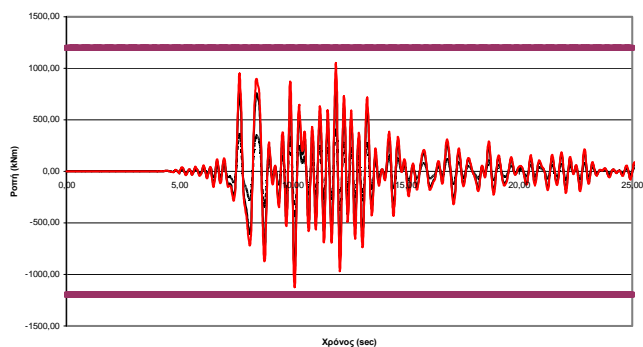
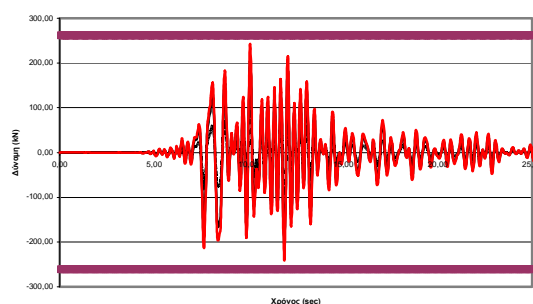
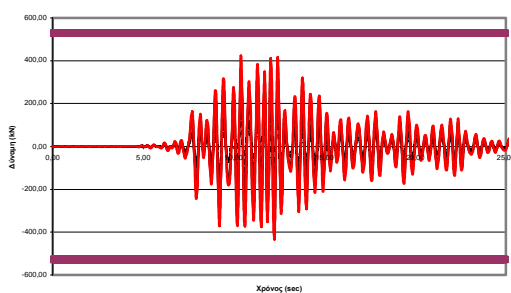
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την φασματική ανάλυση και για 15 ιδιομορφές είναι αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Αντίστοιχα τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την χρονική ολοκλήρωση είναι:

Πίνακας 3. Αποτελέσματα χρονικής ολοκλήρωσης

	N(αρχή) max	Qy(αρχή) max	Qz(αρχή) max	Mx(αρχή) max	My(αρχή) max	Mz(αρχή) max
CERRO PRIETO						
(I)	179.96	-1.32	79.68	-0.39	-364.80	-4.26
Time	4.78	4.77	7.4	6.66	7.4	4.77
(II)	308.00	-2.26	136.37	-0.67	-624.34	-7.30
Time	4.78	4.77	7.4	6.66	7.4	4.77
(III)	348.13	-2.55	154.13	-0.76	-705.67	-8.25
Time	4.78	4.77	7.4	6.66	7.4	4.77
KOBE						
(I)	-366.81	2.69	205.24	-1.16	-949.37	8.77
Time	12.24	12.24	10.08	8.82	10.08	12.24
(II)	-169.34	1.24	94.75	-0.54	-438.29	4.05
Time	12.24	12.24	10.08	8.82	10.08	12.24
(III)	-434.05	3.18	242.86	-1.38	-1123.42	10.38
Time	12.24	12.24	10.08	8.82	10.08	12.24
EL ALAMO						
(I)	-420.89	3.02	181.22	-1.27	-835.43	9.78
Time	8.97	8.965	10.285	7.32	10.295	8.965
(II)	-226.77	1.63	97.64	-0.68	-450.12	5.27
Time	8.97	8.965	10.285	7.32	10.295	8.965
(III)	-370.70	2.66	159.61	-1.12	-735.80	8.61
Time	8.97	8.965	10.285	7.32	10.295	8.965
DUZCE						
(I)	-220.87	1.65	-165.53	0.64	713.90	5.32
Time	11.15	11.15	10.85	11.67	10.85	11.15
(II)	-306.21	2.29	-229.49	0.89	989.72	7.37
Time	11.15	11.15	10.85	11.67	10.85	11.15
(III)	-386.53	2.89	-289.68	1.13	1249.32	9.31
Time	11.15	11.15	10.85	11.67	10.85	11.15

PACOIMA DAM						
(I)	274.69	-2.13	-96.28	0.33	411.05	-6.80
Time	8.37	8.37	8.23	8.01	7.86	8.37
(II)	217.86	-1.69	-76.36	0.26	326.00	-5.39
Time	8.37	8.37	8.23	8.01	7.86	8.37
(III)	293.63	-2.28	-102.92	0.35	439.39	-7.27
Time	8.37	8.37	8.23	8.01	7.86	8.37
GAZLI						
(I)	251.45	1.90	-133.80	0.49	579.45	6.00
Time	6.875	7.085	10	10.195	10.01	7.085
(II)	196.13	1.48	-104.36	0.38	451.97	4.68
Time	6.875	7.085	10	10.195	10.01	7.085
(III)	286.66	2.16	-152.53	0.56	660.57	6.84
Time	6.875	7.085	10	10.195	10.01	7.085

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των Πινάκων (2) και (3), είναι σαφής η δυσμενέστερη αντιμετώπιση των σεισμικών φορτίων από την φασματική μέθοδο του κανονισμού σε σχέση με την ακριβέστερη υπολογιστικά χρονική ολοκλήρωση. Στον Πίνακα (3) παρουσιάζεται η διαφοροποίηση των εντατικών μεγεθών για τις έξι καταγραφές του τοιχείου K7, η μέθοδος κανονικοποίησης III παρουσιάζεται πιο ευσταθής σε σχέση με τις I, II οδηγώντας σε μικρή διαφοροποίηση των τιμών των εντατικών μεγεθών από καταγραφή σε καταγραφή. Ενδεικτικά παρατίθενται οι μεταβολές των N, Qz και My για το δεύτερο επιταχυνσιογράφημα, συναρτήσει του χρόνου.



5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας είναι παρόμοια με εκείνα του Α. Κάππου [1] όπου αποδεικνύεται η ανωτερότητα της μεθόδου κανονικοποίησης III εφόσον η διαφοροποίηση των εντατικών μεγεθών είναι μικρή από καταγραφή σε καταγραφή μετά την κανονικοποίηση.

6 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. A.J. Kappos and P. Kyriakakis, A re-evaluation of scaling techniques for natural records, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 20 (2000), pp. 111-123.
2. A.J. Kappos, Sensitivity of calculated inelastic seismic response to input motion characteristics, In: *Proceedings of the 4th US National Conference on Earthquake Engineering*, Palm Springs, CA, May EERI, Vol. 2 1990. pp. 25-34.
3. T.J. Zhu, A.C. Heidebrecht and W.K. Tso, Effect of peak ground acceleration to velocity ratio on ductility demand of inelastic systems, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 16 (1988), pp. 63-79.
4. Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000
5. Πρότυπα αριθμητικά παραδείγματα για τον έλεγχο ορθής εφαρμογής των διατάξεων του ΕΑΚ/2000, Ερευνητικό πρόγραμμα ΟΑΣΠ, 2001-2002, Ι. Αβραμίδης, Κ. Αναστασιάδης.
6. STRAD 2003, Πρόγραμμα Ανάλυσης και Σχεδιασμού Φορέων Οπλισμένου Σκυροδέματος, , 4M-VK Προγράμματα Πολιτικού Μηχανικού Ε.Π.Ε.
7. GT.STRUDL, Georgia Institute of Technology, CASE Center.