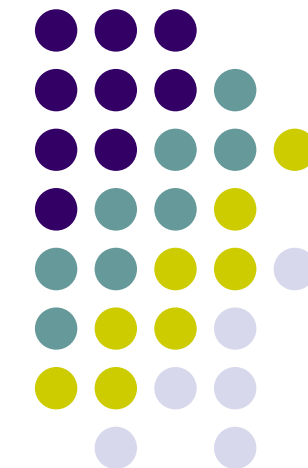


Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο



Φαινόμενα Κατευθυντικότητας -
Σύγχρονες Αντιλήψεις

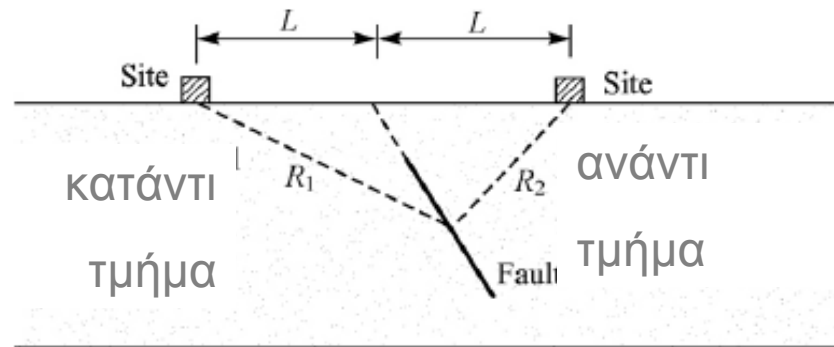
Κ. Σπυράκος





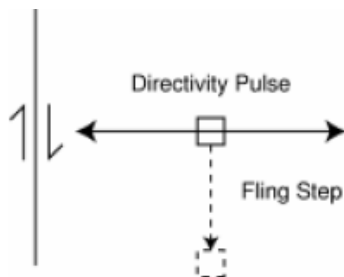
Φαινόμενα Κοντινού Πεδίου

- Επίδραση Ανάντι Τμήματος Ρήγματος (*Hanging wall effect*)



- Φαινόμενο Μόνιμης Παραμόρφωσης (*Fling-step effect*)

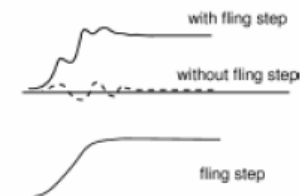
οριζόντια διάρρηξη



κάθετα - παλμός
Component



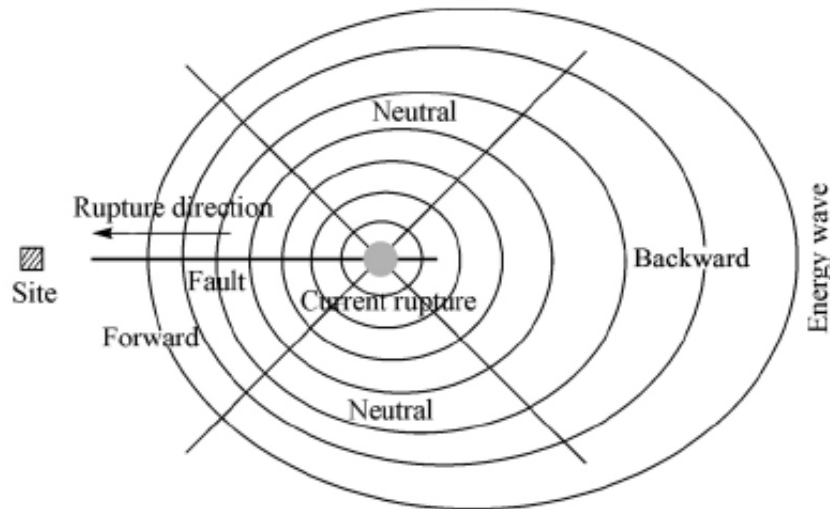
παράλληλα –
παραμένουσα μετακίνηση
Component



Φαινόμενα Κοντινού Πεδίου



- Φαινόμενο της Ενισχυμένης Κατακόρυφης Επιτάχυνσης (*Vertical effect*): ($a_v/a_h > 2/3$)
- Φαινόμενο Κατευθυντικότητας (*Directivity effect*)





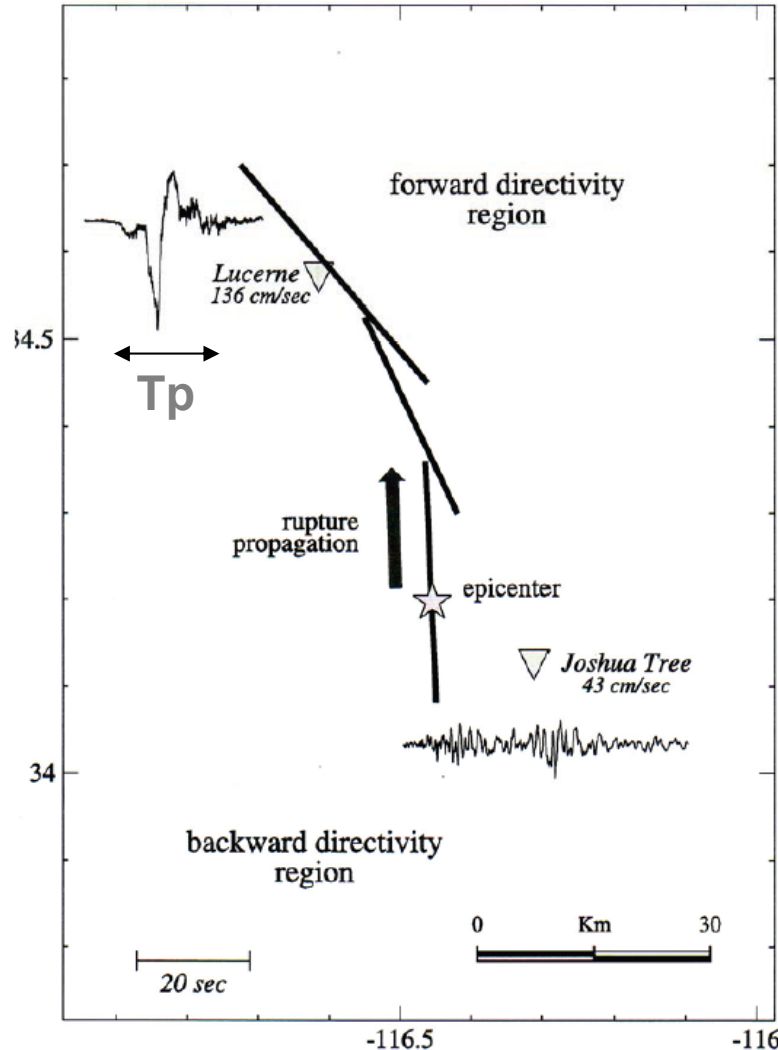
Φαινόμενο Κατευθυντικότητας

πρόσω κατευθυντικότητα:

- παλμοί μικρής διάρκειας και μεγάλου εύρους

- αυξημένοι λόγοι v_{PG}/a_{PG}

$T_p =$ δεσπόζουσα περίοδος παλμού



οπίσω κατευθυντικότητα:

μεγάλη διάρκεια – μικρό εύρος



- **Ισχυροί Σεισμοί – Επικρατούσα Αντίληψη**

Northridge, CA, USA - 1994 (M_w 6.8)

Hanshin (Kobe), Japan - 1995 (M_w 6.9)

Chi-Chi, Taiwan - 1999 (M_w 7.8)

Izmit, Turkey - 1999 (M_w 7.1)

- **Μικροί και Μεσαίου Μεγέθους – Ισχυρές Ενδείξεις**

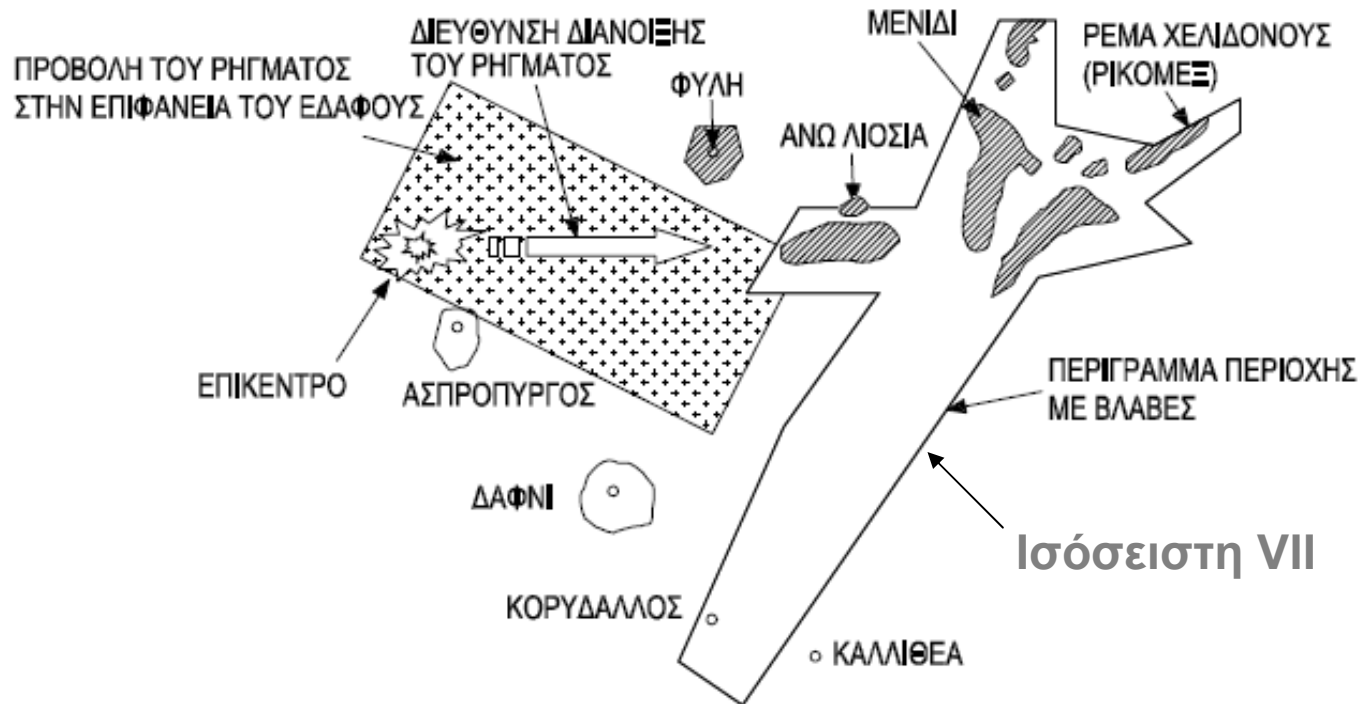
Port Hueneme - 1957 (M_L 4.7)

San Salvador - 1986 (M_S 5.4)

Aegion - 1995 (M_w 6.4)

Athens - 1999 (M_S 5.9)

Σεισμός Αθηνών 1999



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΛΑΒΩΝ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΣΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΩΝ ΑΘΗΝΩΝ (1999)

- Απουσία καταγραφών στο εγγύς πεδίο.
- Διαπίστωση φαινομένων εγγύς-πεδίου σε επιστημονικές εργασίες [Tselentis and Zahradnik, 2000]

Ορισμοί Κοντινού Πεδίου

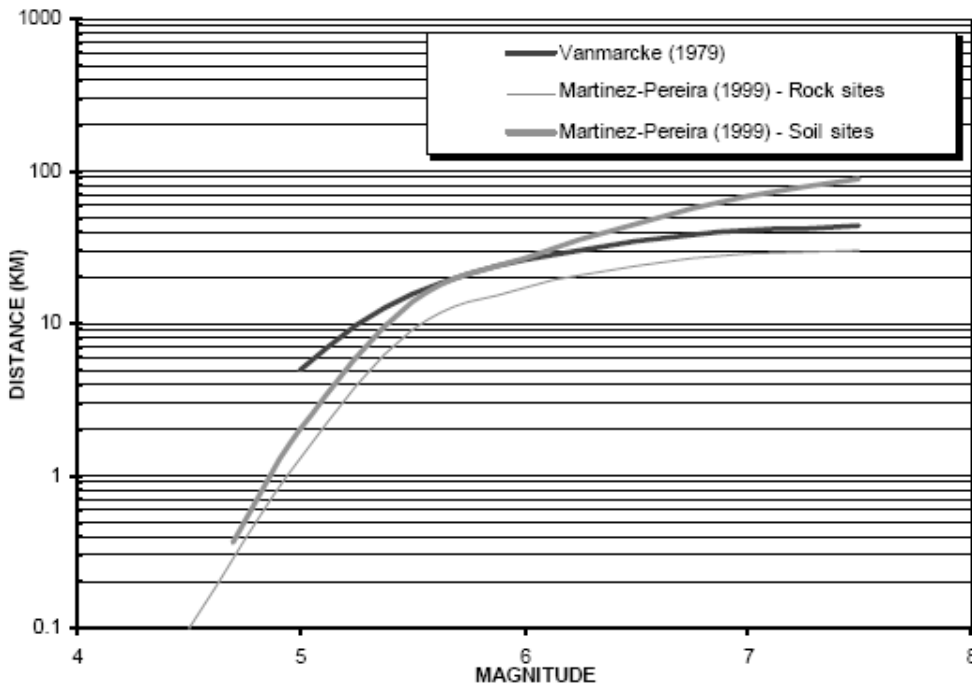


- «ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ» – ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΙΔΙΑΙΤΕΡΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ
- «ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ» – ΒΛΑΒΕΣ ΣΤΟ ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

MMI ✧ VIII

- ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΩΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ: ΧΡΗΣΗ ΟΡΙΑΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Παράμετροι Προσδιορισμού Κοντινού Πεδίου (Bommer et al 2001)



Ταυτόχρονη
Ικανοποίηση των
κριτηρίων (MMI \geq VIII):

$$PGA \geq 0.2g$$

$$PGV \geq 20 \text{ cm/sec}$$

$$F_I(Fajfar) \geq 25 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-0.75}$$

Σχέσεις απόστασης R και
Μεγέθους M

ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΣΕΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΕΠΙΡΡΟΗ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ



- *Vanmarcke* [1979]: ακτίνα 5 km για μέγεθος M 5.
- *EPRI* [1989]: ορίζει το μέγεθος M 5.0 ως το κάτω όριο πέραν του οποίου δεν υπάρχουν επιπτώσεις λόγω φαινομένων κοντινού πεδίου.
- *Ambraseys and Menu* [1988]: η περιοχή ποικίλει ανάλογα με τις διαστάσεις του ρήγματος.

Κανονισμοί και Κοντινό Πεδίο (Σχεδιασμός Κοντά σε Ενεργό Ρήγμα)



- Αμερικανικός Κανονισμός Uniform Building Code UBC 1997
- Ευρωκώδικας 8 [CEN 2004]:
 - Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια
 - Μέρος 2: Γέφυρες
 - Μέρος 5: Θεμελιώσεις, φορείς αντιστήριξης και γεωτεχνικά θέματα
- Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός ΕΑΚ 2000 [ΟΑΣΠ 2000]

Κανονισμοί και Κοντινό Πεδίο

(Σχεδιασμός Κοντά σε Ενεργό Ρήγμα)



- Αντίστοιχα με τον Αμερικανικό Κανονισμό, η Ιαπωνία και η Ταϊβάν αναθεώρησαν τους εθνικούς αντισεισμικούς κανονισμούς σχεδιασμού ώστε να αυξάνουν τη θωράκιση των δομημάτων στην περιοχή κοντινού πεδίου, μετά από τα καταστροφικά αποτελέσματα των σεισμών στο Kobe το 1995 και στο Chi-Chi το 1999, αντίστοιχα.
- Στην Κίνα ορίστηκε απόσταση ασφαλείας από ρήγμα για την προστασία των κατασκευών στα πλαίσια του κανονισμού «Code for Seismic Design of Buildings GB50011-2001» [Ministry of Construction 2001]

Uniform Building Code UBC 1997



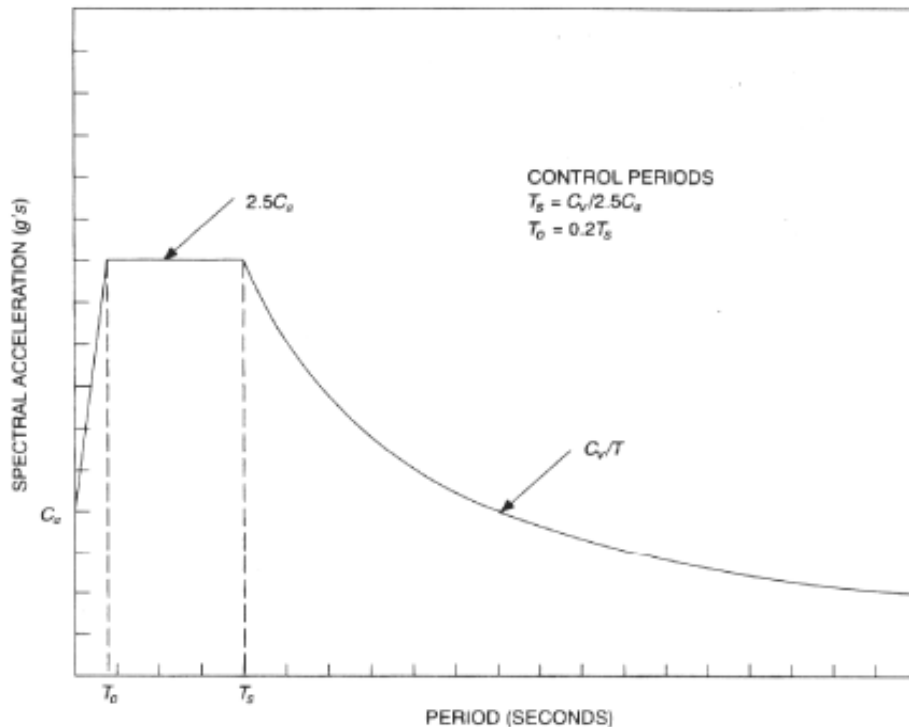
Ο πρώτος κανονισμός ο οποίος έλαβε υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εδαφικής κίνησης στο κοντινό πεδίο.

Εισήγαγε δύο συντελεστές:

- το συντελεστή N_a εφαρμόζεται στις επιταχύνσεις και
- το συντελεστή N_v εφαρμόζεται στις ταχύτητες

Σκοπός: η αύξηση των φασματικών τιμών για περιοχές που γειτνιάζουν με ενεργό ρήγμα ικανό να δώσει σεισμούς μεγάλου μεγέθους σε απόσταση όχι μεγαλύτερη από 15 km και σε Σεισμική Ζώνη 4.

Uniform Building Code UBC 1997 (συνέχεια)



Ελαστικό Φάσμα
Επιταχύνσεων UBC97

Το ελαστικό φάσμα του UBC97, καθορίζεται από τις παραμέτρους C_a και C_v στην περιοχή μικρών και μεγάλων περιόδων.

- Για Σεισμική Ζώνη 4,
 - Απόσταση μικρότερη από 15 km από ρήγμα ικανό να προκαλέσει
 - Σεισμό μεγέθους $M \approx 6.5$
- Οι συντελεστές C_a και C_v αντικαθίστανται από

$$N_a \cdot C_a$$

$$N_v \cdot C_v$$

Uniform Building Code UBC 1997 (συνέχεια)



Οι συντελεστές N_a και N_v
εξαρτώνται από την
απόσταση από το ρήγμα και
από τον τύπο του ρήγματος.

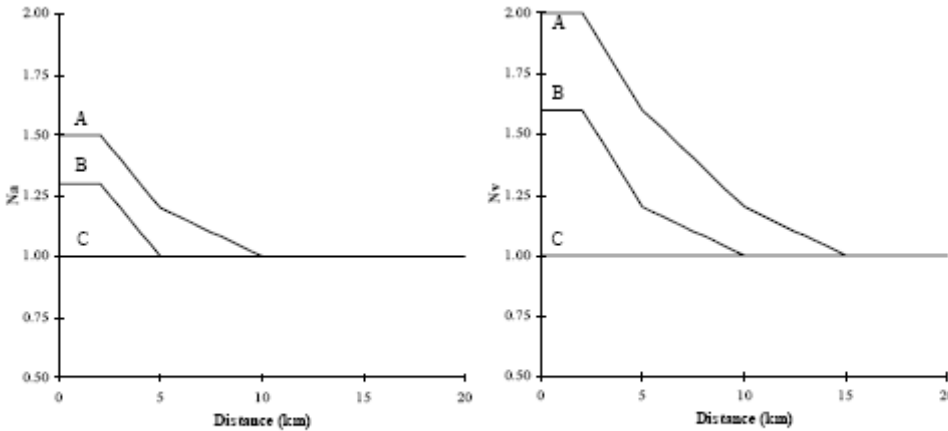


Fig. 4. Near-source correction factors N_a (left) and N_v (right) from UBC97 for different fault classes.

Table 1. Classification of fault activity from UBC97.

Seismic Source Type	Seismic Source Description	Seismic Source Definition	
		Max. Moment Magnitude, M	Slip Rate, SR (mm/year)
A	Faults that are capable of producing large magnitude events and that have a high rate of seismic activity	$M \geq 7.0$	$SR \geq 5$
B	All Faults other than Types A and C	$M \geq 7.0$ $M < 7.0$ $M \geq 6.5$	$SR < 5$ $SR > 2$ $SR < 2$
C	Faults that are not capable of producing large magnitude earthquakes and that have a relatively low rate of seismic activity	$M < 6.5$	$SR \leq 2$

Τύποι Ρηγμάτων κατά
UBC97

Ευρωκώδικας 8 [CEN 2004]: Μέρος 1 - Κτίρια



Παράγραφος §10.6(3):

Ορίζεται ότι στην περίπτωση κτιρίων σπουδαιότητας IV σε απόσταση μικρότερη από 15 km από το πλησιέστερο πιθανό ενεργό ρήγμα το οποίο μπορεί να δώσει σεισμικό γεγονός μεγέθους $M_s \geq 6,5$ θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ειδικά τοπικά φάσματα τα οποία θα λαμβάνουν υπόψη τις ιδιαιτερότητες της σεισμικής διέγερσης. Τα φάσματα αυτά δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερα από τα κανονιστικά φάσματα στην εν λόγω θέση ενδιαφέροντος.

Παράγραφος § 10.9.3.(3)α:

Ορίζεται ως προϋπόθεση εφαρμογής της απλοποιημένης μεθόδου σε συστήματα μόνωσης με ισοδύναμη γραμμική αποσβενόμενη συμπεριφορά η απόσταση από το πλησιέστερο πιθανό ενεργό ρήγμα μεγέθους $M_s \geq 6,5$ να είναι μεγαλύτερη από 15 km.

Ευρωκώδικας 8 [CEN 2004]: Μέρος 2 - Γέφυρες



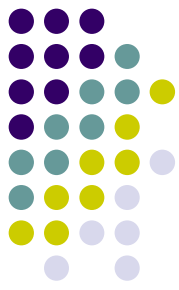
Παράγραφος §2.4.(10):

Αναφέρεται ότι «στην περίπτωση γεφυρών που διασχίζουν πιθανά ενεργά τεκτονικά ρήγματα, η πιθανή ασυνέχεια της μετακίνησης εδάφους πρέπει να εκτιμάται και να αντιμετωπίζεται είτε με πρόβλεψη επαρκούς ευκαμψίας του φορέα είτε με πρόβλεψη κατάλληλων αρμών».

Παράγραφος §3.1.1.(2):

Αναφέρεται ότι «Οι σεισμοί όμως μπορούν να προκαλέσουν και μόνιμες εδαφικές μετακινήσεις που προκύπτουν από εδαφική αστοχία ή ρήξη ρήγματος που μπορεί να οδηγήσουν σε επιβεβλημένες παραμορφώσεις με σοβαρές συνέπειες για τις γέφυρες. Τέτοιοι κίνδυνοι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη με ειδικές μελέτες και οι συνέπειές τους να ελαχιστοποιούνται με κατάλληλη επιλογή στατικού συστήματος».

Ευρωκώδικας 8 [CEN 2004]: Μέρος 2 – Γέφυρες (συνέχεια)



Παράγραφος §3.2.2.3(1):

Όταν το έργο βρίσκεται σε οριζόντια απόσταση μικρότερη από 10 km από γνωστό ενεργό σεισμοτεκτονικό ρήγμα που ενδέχεται να παράγει ένα γεγονός Μεγέθους Ροπής υψηλότερο του 6,5 Θα χρησιμοποιούνται ειδικά τοπικά φάσματα που λαμβάνουν υπόψη τις συνέπειες της εγγύτητας του σεισμογόνου ρήγματος.

Ένα σεισμοτεκτονικό ρήγμα συνιστάται να θεωρείται ενεργό όταν εμφανίζει μέσο ιστορικό ρυθμό ολίσθησης τουλάχιστον 1 mm/έτος και υφιστάμενες τοπογραφικές μαρτυρίες σεισμογόνου δραστηριότητας εντός της Ολόκαινης Περιόδου (στα τελευταία 11000 χρόνια).

Ευρωκώδικας 8 [CEN 2004]: Μέρος 2 - Γέφυρες (συνέχεια)



Παράγραφος §4.1.7(1):

Επισημαίνεται και η ανάγκη να ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα της *κατακόρυφης σεισμικής συνιστώσας* στα βάθρα σε ζώνες υψηλής σεισμικότητας μόνο όταν τα βάθρα υπόκεινται σε ισχυρή καμπτική ένταση λόγω κατακόρυφων μονίμων δράσεων του καταστρώματος, ή όταν η θέση της γέφυρας είναι εντός 5 km από ενεργό σεισμοτεκτονικό ρήγμα. Διαφορετικά σε περιοχές χαμηλής και μέτριας σεισμικότητας επιτρέπεται κατά κανόνα να αγνοηθούν.

Ευρωκώδικας 8 [CEN 2004]: Μέρος 2 - Γέφυρες (συνέχεια)



Παράγραφος §6.6.4(3):

Ορίζεται ότι σε περίπτωση όπου η απόσταση της γέφυρας είναι μικρότερη από 5 km από ένα γνωστό σεισμικά ενεργό ρήγμα, ικανό να παράγει σεισμικό γεγονός μεγέθους $M \geq 6.5$ θα πρέπει να διπλασιάζεται η ενεργός μετακίνηση σε ακραία στήριξη ακρόβαθρου λόγω της χωρικής μεταβολής της σεισμικής μετακίνησης εδάφους, εκτός εάν είναι διαθέσιμη εξειδικευμένη σεισμολογική έρευνα.

Παράγραφος §7.5.3(1)α:

Ορίζεται ως προϋπόθεση για την εφαρμογή της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος η απόσταση μεταξύ της θέσης της γέφυρας και του πλησιέστερου γνωστού ενεργού σεισμογόνου ρήγματος, να υπερβαίνει τα 15 km.

Ευρωκώδικας 8 [CEN 2004]: Μέρος 5 - Γεωτεχνικά θέματα



Παράγραφος §4.1.2:

«Κτίρια των κατηγοριών σπουδαιότητας II, III, IV όπως καθορίζονται στο EN 1998-1:2004, 4.2.5, δεν θα κατασκευάζονται σε περιοχές άμεσα γειτνιάζουσες με τεκτονικά ρήγματα που χαρακτηρίζονται σαν σεισμικά ενεργά σε επίσημα έγγραφα που δημοσιεύονται από τις αρμόδιες εθνικές αρχές».

Ορίζεται να διεξάγονται Ειδικές γεωλογικές έρευνες για σημαντικούς φορείς που κατασκευάζονται κοντά στα ενδεχομένως ενεργά ρήγματα σε περιοχές υψηλής σεισμικότητας, προκειμένου να καθορισθεί η διακινδύνευση.

Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός ΕΑΚ 2000



Ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός ΕΑΚ 2000 [ΟΑΣΠ 2000] στον Πίνακα 2.5 χαρακτηρίζει ως κατηγορία Χ Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα.

Παράγραφος § 2.3.6[2]:

Αναφέρεται ότι η δόμηση μόνιμων έργων σε έδαφος κατηγορίας Χ επιτρέπεται μόνο ύστερα από «λεπτομερείς έρευνες και μελέτες, εφόσον ληφθούν κατάλληλα μέτρα βελτίωσης των ιδιοτήτων του εδάφους, και αντιμετωπιστούν με ειδικό τρόπο τα προβλήματα που υπάρχουν». Για τον λόγο αυτό δεν ορίζεται φάσμα σχεδιασμού σε έδαφος κατηγορίας Χ.

Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός ΕΑΚ 2000 (συνέχεια)



Παράγραφος §5.1.2:

Αναφέρεται ότι εν γένει δεν επιτρέπεται η δόμηση κτισμάτων σπουδαιότητας Σ2, Σ3 και Σ4 στην άμεση γειτονιά ενεργών σεισμοτεκτονικών ρηγμάτων.

Ο χαρακτηρισμός των ρηγμάτων ως σεισμικά ενεργών γίνεται με βάση σειсмоϊστορικά και σεισμοτεκτονικά δεδομένα και οφείλει να γίνεται με ειδική μελέτη.

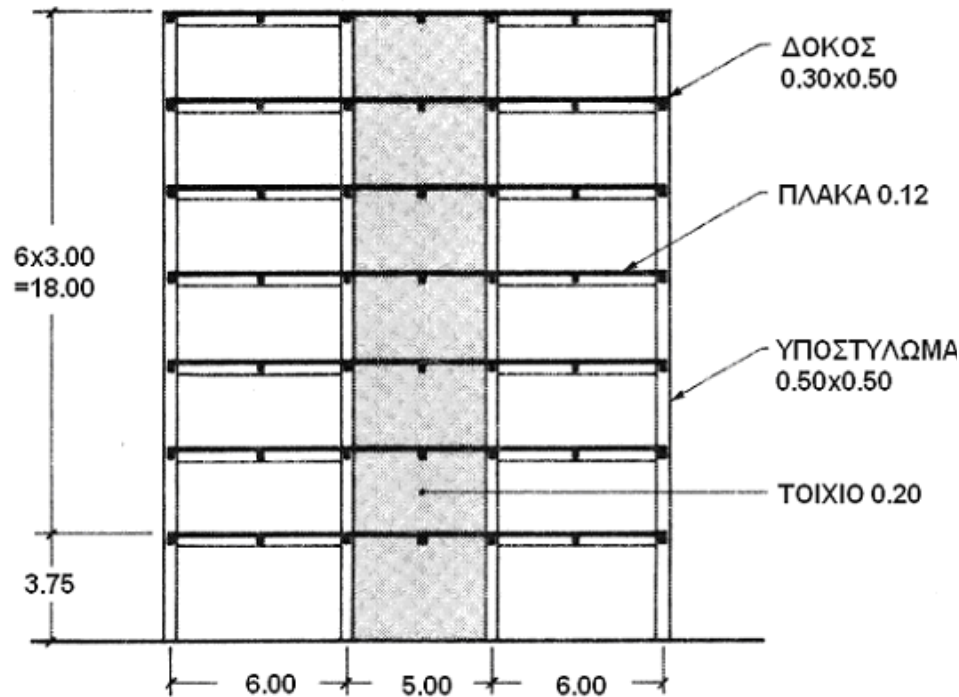
Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες συντρέχουν ειδικοί λόγοι δόμησης στην άμεση γειτονιά σεισμοτεκτονικών ρηγμάτων που θεωρούνται ενεργά, ο ΕΑΚ 2000 ορίζει ότι η δόμηση θα γίνεται μόνο ύστερα από ειδική σεισμική-γεωλογική-γεωτεχνική-στατική μελέτη και η σεισμική δράση σχεδιασμού θα λαμβάνεται αυξημένη τουλάχιστον κατά 25%.



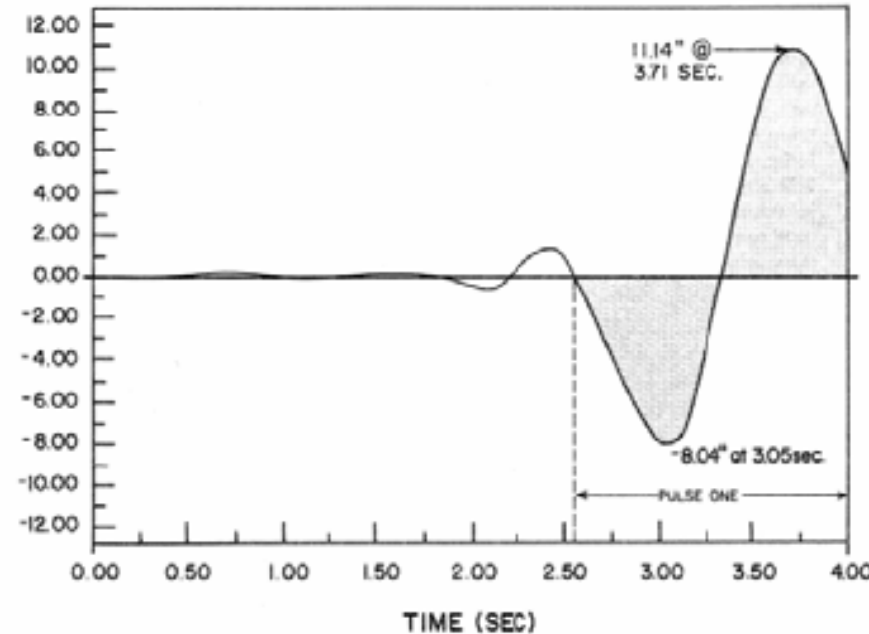
Ενδεικτικά πειράματα με σεισμούς κοντινού πεδίου - Charney & Bertero [1982]

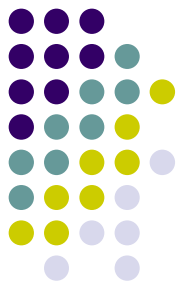
US - Japan cooperative research program

- 7-ώροφο πλαίσιο ΩΣ με μικτό σύστημα τοιχώματος - πλαισίου
- Καταγραφή Pacoima Dam Station κατά το σεισμό San Fernando 1971



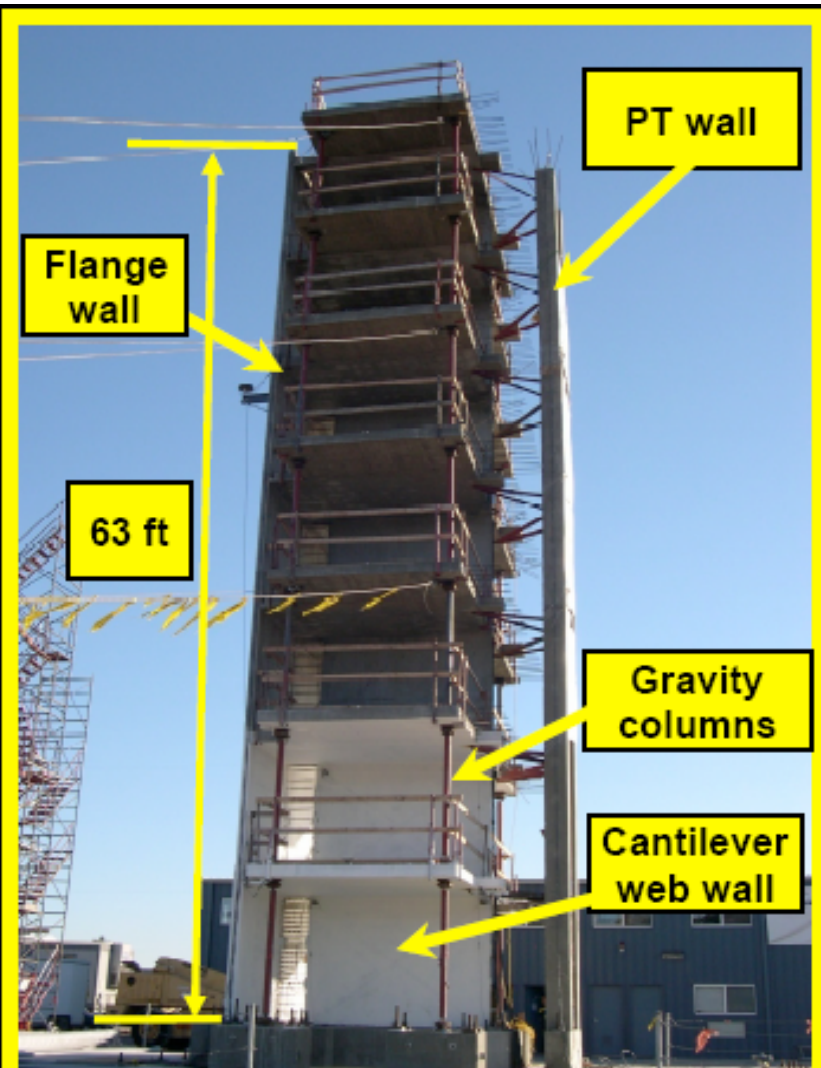
DISPLACEMENT (IN)



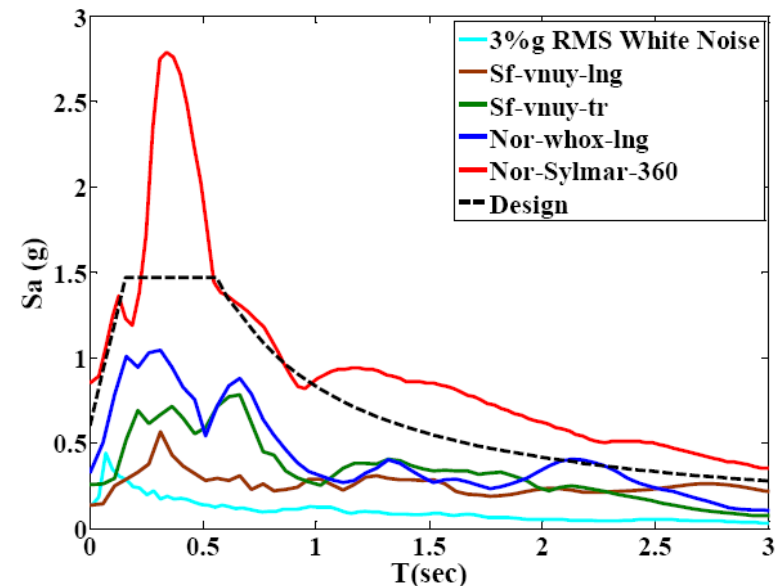


Ενδεικτικά πειράματα με σεισμούς κοντινού πεδίου - Panagiotou *et al* [2007]

UCSD Shear Wall Experiment San Diego



- 7-ώροφο τοίχωμα κτιρίου (21 m)
- Φάση 1η: Ορθογωνικό τοίχωμα
- Φάση 2η: Τοίχωμα σχήματος T
- Καταγραφή Sylmar από σεισμό Northridge



Γιατί πρέπει να δοθεί έμφαση στη διερεύνηση των φαινομένων εγγύς-πεδίου για σεισμούς μικρού και μεσαίου μεγέθους



1. Η αυξημένη αστικοποίηση οδηγεί στην κατασκευή δομημάτων κοντά σε ενεργά ρήγματα με αποτέλεσμα να αυξάνεται η διακινδύνευση λόγω φαινομένων εγγύς-πεδίου.

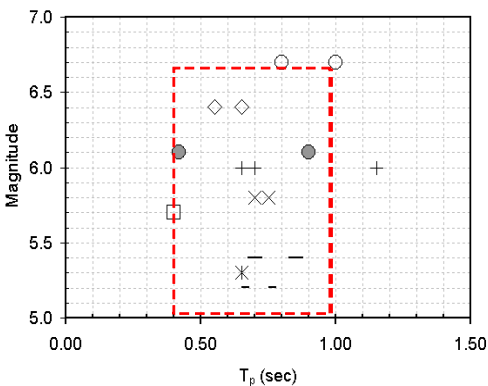
Γιατί πρέπει να δοθεί έμφαση στη διερεύνηση των φαινομένων εγγύς-πεδίου για σεισμούς μικρού και μεσαίου μεγέθους



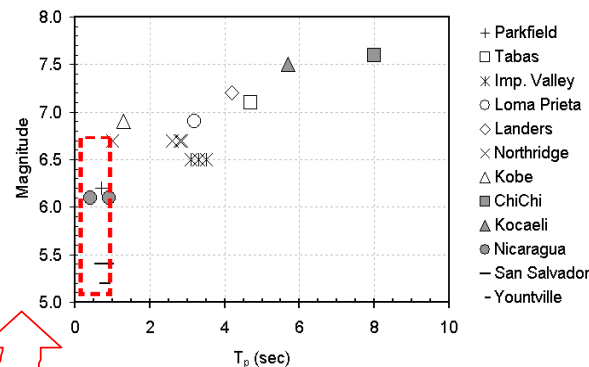
2. Οι σεισμοί μικρού και μεσαίου μεγέθους επηρεάζουν κτίσματα μικρής-μεσαίας ιδιοπεριόδου: Μεγάλο ποσοστό κατασκευών στην Ελλάδα. (Δεσπόζουσα περίοδο παλμού T_p)

Spyrakos et al [2008]

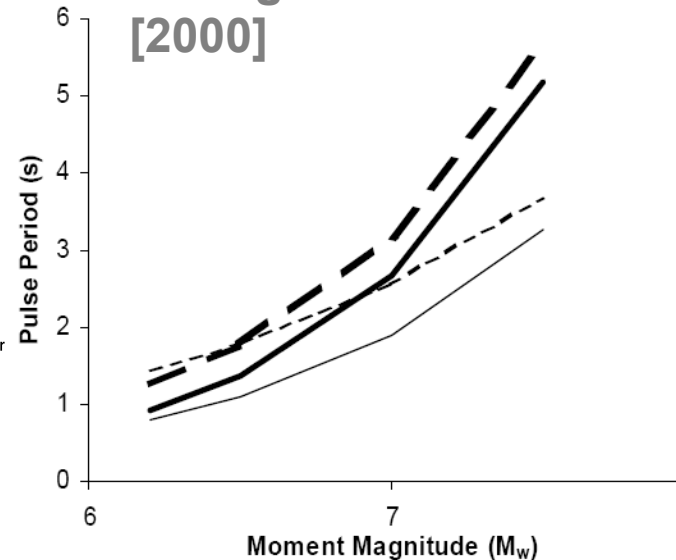
Rodriguez- Marek [2000]



Greek records



International records



Γιατί πρέπει να δοθεί έμφαση στη διερεύνηση των φαινομένων εγγύς-πεδίου για σεισμούς μικρού και μεσαίου μεγέθους



3. Η ανελαστική συμπεριφορά κατασκευών σε διεγέρσεις κοντινού πεδίου επηρεάζεται ιδιαίτερα από τη δεσπόμενη περίοδο του παλμού.

Σχετικές Δημοσιεύσεις ΕΑΤ-ΕΜΠ (2005~2009)



1. Ταφλαμπάς Ι. «Αξιολόγηση της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης στην Τεχνική Σεισμολογία και στην Τρωτότητα των Κατασκευών», Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ (2009).
2. Taflambas, I. M., Spyrakos, C. C. and Koutromanos, I. A., A New Definition of Strong Duration and Related Parameters Affecting the Response of Medium-Long Period Structures, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.29, pp. 752-763, (2009).
3. Raftoyiannis, I. and Spyrakos, C. C., A study of suspended roofs for near-source seismic motions, Computers and Structures, Vol. 86, pp. 1633-1642 , (2008).
4. Spyrakos, C. C., Maniatakis, Ch. A. and Taflambas, J., Evaluation of Near-Source Seismic Records Based on Damage Potential Parameters. Case Study: Greece, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 28 ,pp. 738-753, (2008).
5. Σπυράκος Κ., Τουλιάτος Π., Πατσιλίβας Δ., Πελέκης Γ., Χαμπέσης Α. και Μανιατάκης Χ.Α., Ανάλυση Κτιρίου από Φέρουσα Τοιχοποιία για Σεισμό Εγγύς-Πεδίου και Προτάσεις Επεμβάσεων, Τεχνικά Χρονικά (Επιστημονική Έκδοση Τ.Ε.Ε. τεύχος 3), (2006).

Σχετικές Δημοσιεύσεις ΕΑΤ-ΕΜΠ (2005~2009)



6. Spyrakos, C. C., Maniatakis, Ch. A. and Taflampas, J. (2009), "Near-Source Directivity Effects on Medium-long Period Structures", Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering COMPDYN 2009, Rhodes, Greece, 22–24 June 2009, CD 701.
7. Maniatakis, Ch. A., Spyrakos C.C., Taflambas I.M., Kourtis A. (2009) "Seismic Response of a Prototype RC Frame-Wall Structure Under Near-source Seismic Excitations", VSU Conference, Sofia, 2009.
8. Spyrakos, C. C., Maniatakis, Ch. A. and Taflampas, J. (2008), "Assessment of seismic risk for museum artefacts", 14th World Conference in Earthquake Engineering, Beijing, China, Oct. 12-17, No. 10-0070.
9. Taflampas, J. and Psycharis I.N. (2008) "Investigation of the Effect of the Ground Motion Characteristics on the R_y - μ Relation for the Inelastic Response of SDOF Structures", 14th World Conference in Earthquake Engineering, Beijing, China, Oct. 12-17, No. S28-004
10. Maniatakis, Ch.A., Taflampas, J., and Spyrakos, C.C. (2008), "Identification of near-fault earthquake record characteristics", 14th World Conference in Earthquake Engineering, Beijing, China, Oct. 12-17, No. S28-004.
11. Taflampas, J., Maniatakis, Ch.A., and Spyrakos, C.C. (2008), "Estimation of input seismic energy by means of a new definition of strong motion duration", 14th World Conference in Earthquake Engineering, Beijing, China, Oct. 12-17, No. S10-065.

Σχετικές Δημοσιεύσεις ΕΑΤ-ΕΜΠ (2005~2009)

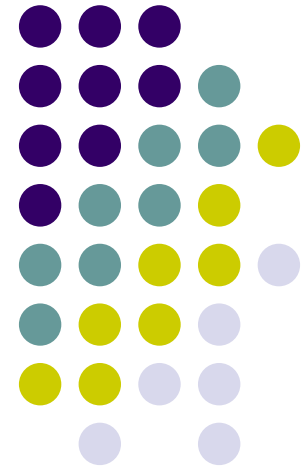


12. Taflampas, J., Spyrakos, C.C., and Maniatakis, Ch.A. (2008), "A new definition of strong motion duration and related parameters affecting the response of medium-long period structures", 14th World Conference in Earthquake Engineering, Beijing, China, Oct. 12-17, No. 03-01-0057.
13. Spyrakos C.C. and Maniatakis Ch.A. (2006) "Retrofitting of a Historic Masonry Building", 10th National and 4th International scientific meeting on Planning, Design, Construction and Renewal in the construction industry (iNDiS 2006), Novi Sad, November 22-24, 535-544 (invited).
14. Spyrakos C.C., Touliafos P., Patsilivas D., Pelekis G., Xampesis A. and Maniatakis Ch.A. (2005) "Seismic Analysis and Retrofit of a Historic Masonry Building", Earthquake Resistant Engineering Structures V, (ERES 2005), Skiathos, May 2005, 523-531 (invited).
15. Spyrakos C.C., Maniatakis Ch.A. and Taflabas J. (2005) "Critical Evaluation of Near-Field Seismic Records in Greece", Earthquake Resistant Engineering Structures V,³⁰ (ERES 2005), Skiathos, May 2005, 53-62 (invited).

Φαινόμενα Κατευθυντικότητας - Σύγχρονες Αντιλήψεις



Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο



•