

Στα όσα έως σήμερα μελετούν οι ειδικοί περί την αντισεισμική τεχνολογία, έρχεται να προστεθεί και μια άλλη παράμετρος: η κατευθυντικότητα.

Το ζήτημα «έθεσαν όλοι οι ισχυροί σεισμοί που σημειώθηκαν στην Ελλάδα μετά το 1995, με τις καταστροφές που προκάλεσαν ακόμη και σε καλά δομημένες κατασκευές, οι οποίες, ωστόσο, βρίσκονταν κοντά σε ρήγματα.

Τίθεται και δημόσια σήμερα από τις στήλες του ΕΔ, με αφορμή και τον τελευταίο σεισμό στη βορειοδυτική Πελοπόννησο.

του Κώστα ΣΠΥΡΑΚΟΥ*

*Καθηγητής ΕΜΠ
και δ/ντς
του Εργαστηρίου
Αντισεισμικής Τεχνολογίας

O μολογουμένως, έχουν πραγματοποιηθεί άλματα στο χώρο της κατανόησης της σεισμικής συμπεριφοράς των κατασκευών τα τελευταία 30 χρόνια. Στην πρόσδοτο για την κατανόηση των φαινομένων έχει συμβάλει η ραγδαία εξέλιξη των οργάνων, των υπολογιστικών μεθόδων και ιδιαίτερα η διενέργεια πειραμάτων με σεισμικούς προσομοιωτήρες. Πρόσφατα, γνωστό αμερικανικό πανεπιστήμιο απήγινε πρόσκληση στη διεθνή επιστημονική κοινότητα των μηχανικών που ασχολείται με τη μελέτη των κατασκευών έναντι σεισμού, να υπολογίσει, με όποιο υπολογιστικό εργαλείο ήθελε, την απόκριση ενός εξαώροφου πλαισίου σε φυσική

σε συνδυασμό με το πείραμα και την ανάλυση, βοηθούν στην κατανόηση της σύνθετης σεισμικής συμπεριφοράς των κατασκευών και οδηγούν στην ανάπτυξη τεχνολογίας. Για το λόγο αυτό οι περισσότεροι οργανισμοί ενθαρρύνουν την έρευνα η οποία συνδυάζει το πείραμα με την ανάλυση.

Θα ήθελα να εστιάσω σε τέσσερα θέματα τα οποία θεωρώ από τα πλέον σημαντικά στο χώρο μας:

- Τα φαινόμενα κατευθυντικότητας και τη μελέτη της συμπεριφοράς των κατασκευών όταν επηρεάζεται από τα φαινόμενα αυτά.

- Τις εφαρμογές νέων τεχνολογιών και τις δυσκολίες για σχετικά άμεση εφαρμογή τους στην πράξη.

Είναι της τάξης των 10 έως 50 χιλιομέτρων περί το επίκεντρο. Σ' αυτές τις περιοχές κυριαρχούν φαινόμενα κατευθυντικότητας, τα οποία έως πρότιος δεν λαμβάναμε υπόψη μας στο σχεδιασμό των κατασκευών. Τα φαινόμενα αυτά, με την ιδιαίτερη καταστρεπτικότά τους, αποτελούν μια από τις κύριες αιτίες ιδιαίτερα μεγάλων βλαβών, ακόμη και σε καλά δομημένες κατασκευές που βρίσκονται κοντά στα ρήγματα.

Έχει πλέον αποδειχθεί ότι βλάβες σε κτίρια κατά τους πρόσφατους σεισμούς στη χώρα μας, όπως ο σεισμός του Αιγίου του 1995, των Αθηνών του 1999, της Λευκάδας του 2003, αποδίδονται σε μεγάλο βαθμό σε φαινόμενα κατευθυντικότητας. Η ιδιαίτεροτη-

Ο σεισμός υπό δοκιμασία

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

κλίμακα, ενός κτιρίου με πάρα πολύ απλή γεωμετρία και με μικρό αριθμό φερόντων στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα, το οποίο έπρεπε να δονηθεί σε σεισμικό προσομοιωτήρα με καταγραφή που χαρακτηρίζεται από κατευθυντικότητα. Το πείραμα έδειξε την αδυναμία της πλειοψηφίας της επιστημονικής κοινότητας να υπολογίσει με ακρίβεια την απόκριση του φορέα υπ' αυτή την παράμετρο: ένα ακόμη παράδειγμα που αποδεικνύει αφενός την ανάγκη στενής συνεργασίας πειράματος και ανάλυσης, αφετέρου την ανάγκη περαιτέρω ανάπτυξης των προσομοιωμάτων και των μεθόδων ανάλυσης των φορέων, αλλά και την έλλειψη γνώσης μας για τη συμπεριφορά των κατασκευών λόγω των φαινομένων αυτών.

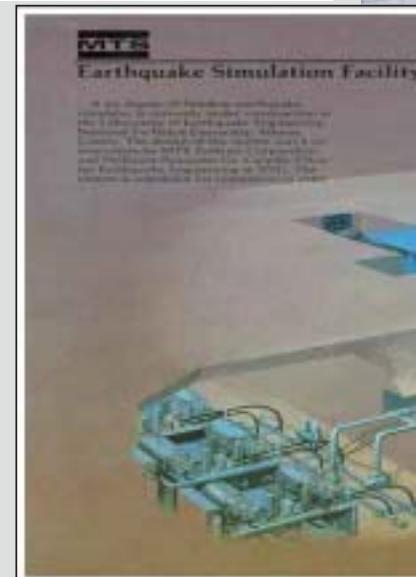
Είναι πλέον σήμερα γνωστό, από την εμπειρία μας, ότι οι σημαντικότερες καταστροφές παρατηρούνται στην πλειονότητά τους σε μια σχετικά περιορισμένη σε έκταση περιοχή κοντά στο ρήγμα. Για σεισμούς της τάξης των 5,0 έως 6,5 Ρίχτερ, που έναινται συνήθεις στη χώρα μας, οι περιοχές αυτές

- Την έρευνα για την προστασία ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων των οποίων απαιτείται η απρόσκοπη λειτουργία, τόσο κατά τη διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά το σεισμό.

- Την τεχνολογία αποθήκευσης και έκθεσης αγαθών μεγάλης οικονομικής αξίας, λ.χ. εκθέματα σε μουσεία, όπως και την έρευνα που αφορά στις ιστορικές κατασκευές και στα αρχαία μνημεία.

Ας εξετάσουμε καταρχήν τα φαινόμενα κατευθυντικότητας και τη μελέτη της συμπεριφοράς των κατασκευών λόγω των φαινομένων αυτών.

Είναι πλέον σήμερα γνωστό, από την εμπειρία μας, ότι οι σημαντικότερες καταστροφές παρατηρούνται στην πλειονότητά τους σε μια σχετικά περιορισμένη σε έκταση περιοχή κοντά στο ρήγμα. Για σεισμούς της τάξης των 5,0 έως 6,5 Ρίχτερ, που έναινται συνήθεις στη χώρα μας, οι περιοχές αυτές



τα αυτών των φαινομένων είναι ότι προκαλούν βλάβες σε ευρείας κατηγορίας κατασκευές, ανεξαρτήτως της ποιότητας του εδάφους.

Ιδιαίτερα σημαντικό επίσης είναι το τεκμηριωμένο -και βιβλιογραφικά- γεγονός ότι τέτοια φαι-

νόμενα με δυσμενή δράση στις κατασκευές δεν προκαλούνται μόνο από μεγάλους σεισμούς, με μέγεθος μεγαλύτερο των 6,5 Ρίχτερ, αλλά και από σεισμούς με-

νωση, δημιουργώντας προκλήσεις τις οποίες καλούμεθα να αντιμετωπίσουμε.

Με τις ήδη γνωστές καταγραφές ισχυρών σεισμών στο διεθνή χώρο σε περιοχές με έντονη κατευθυντικότητα, δοκιμάζεται επίσης η δυνατότητα των σεισμικών προσομοιωτήρων να επαναλάβουν εδαφικές σεισμικές μετακινήσεις της τάξης των 50 cm και ταχύτητες της τάξης των 60-100 cm/sec, τιμές οι οποίες έχουν καταγραφεί σε περιοχές που πιλήτωνται συχνά από μεγάλους σεισμούς. Ελάχιστοι σεισμικοί προσομοιωτήρες παγκοσμίως έχουν σήμερα τη δυνατότητα τέτοιων μετακινήσεων και ταχυτήτων.

Το Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας έχει από καιρό ασχοληθεί με τα φαινόμενα κατευθυντικότητας και ήδη τού έχει ανατεθεί, σε συνεργασία με το Εργαστήριο Στατικής και Αντισεισμικών Ερευνών του ΕΜΠ, η οργάνωση ειδικής συνεδρίας για την επίδραση των φαινομένων κατευ-

νέων τεχνολογιών και τις δυσκολίες για άμεση χρήση τους στην πράξη.

Σήμερα, η τεχνολογία για τη βελτίωση της ανθεκτικότητας των κατασκευών στο χρόνο και επομένως και σε ενδεχόμενο σεισμό, παρουσιάζει μια μικρή επανάσταση. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ανάπτυξη και διάθεση νέων υλικών, αποτέλεσμα έρευνας και προόδου της χημείας και της επιστήμης των χημικών μηχανικών.

Νέα τεχνολογία επίσης αναπύσσεται για τον έλεγχο της υφιστάμενης κατάστασης των κατασκευών με μη καταστρεπτικές μεθόδους. Η εφαρμογή των μεθόδων αυτών, η οποία βελτιώνει την αξιοποιεία τής ανάλυσης και του σχεδιασμού των επεμβάσεων σε υφιστάμενες κατασκευές, αναπύσσεται μεν με γοργούς ρυθμούς, δεν έχει φτάσει όμως ακόμη σε επίπεδο να αντικαταστήσει πλήρως τις ημικαταστρεπτικές μεθόδους.

Νέες τεχνολογίες, ιδίως με τη χρήση ινοπλισμένων πολυμερών, καθώς και ινοπλισμένων σκυροδεμάτων, παρέχουν εναλλακτικές μεθόδους επέμβασης σε υφιστάμενες κατασκευές. Η επιστημονική έρευνα για τη χρήση αυτών των υλικών στο χώρο των επισκευών και των ενισχύσεων έχει γνωρίσει ιδιαίτερη άνθιση την τελευταία δεκαετία. Έχει δώσει λύσεις, έχει όμως ακόμη αφήσει αρκετά ερωτήματα και θέματα τα οποία πρέπει να απαντηθούν και να ερευνηθούν περισσότερο, κυρίως πειραματικά.

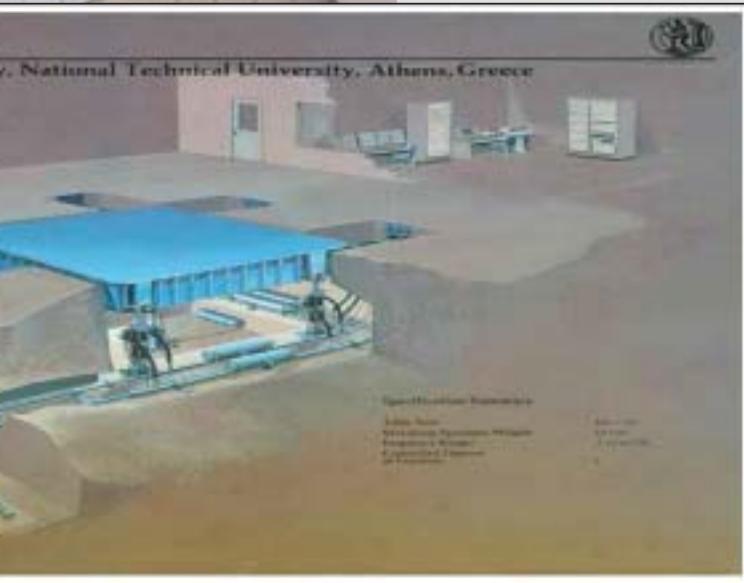
Ιδιαίτερη πρόκληση, κατά τη γνώμη μου, θεωρώ ότι αποτελεί η δυνατότητα εκμετάλλευσης της νέας τεχνολογίας και γνώσης, η οποία, ενώ είναι ωριμή για να εφαρμοστεί στην πράξη, δεν έχει ακόμη περάσει από τις ομολογουμένων χρονοβόρες, αλλά χωρίς αμφιβολία απαραίτητες, διαδικασίες για να ενσωματωθεί σε κανονιστικά κείμενα. Ίσως η ανάπτυξη και η υιοθέτηση της διαδικασίας του

«design by testing», δηλαδή του σχεδιασμού με βάση πειραματικά αποτελέσματα, να αποτελέσει διέξοδο σ' αυτό το θέμα.

Ακολούθως θα ήθελα να αναφερθώ στην έρευνα για την προστασία ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων των οποίων απαιτείται η απρόσκοπη λειτουργία, τόσο κατά τη διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά το σεισμό, καθώς και της τεχνολογίας αποθήκευσης αγαθών μεγάλης οικονομικής αξίας, όπως και των εκθεμάτων σε Μουσεία. Σήμερα, διεθνώς, δίνεται μεγαλύτερη έμφαση σε θέματα στα οποία στο παρελθόν δίναμε μικρότερη βαρύτητα, όπως η συμπεριφορά των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων σε κατασκευές Σ4 κατά ΕΑΚ. Δεν είναι τυχαίο ότι πρόσφατα το ευρείας κλίμακας ερευνητικό πρόγραμμα «Grand Challenge Award», δόθηκε από τη NSF (Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών των ΗΠΑ) για την έρευνα στην αντισεισμική προστασία ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων.

Η σεισμική συμπεριφορά εκθεμάτων σε μουσεία και η προστασία τους αποτελεί ένα αντικείμενο για το οποίο χρειάζεται περαιτέρω έρευνα, ανάπτυξη και χρήση νέας τεχνολογίας, ιδιαίτερα στη χώρα μας, με την υψηλότερη σεισμικότητα στην Ευρώπη και την αξιοζήλευτη πολιτιστική κληρονομιά. Είναι γνωστές οι καταστροφές και οι ανεπανόρθωτες βλάβες πολύτιμων εκθεμάτων σε Μουσεία παγκοσμίως.

Με θέμα την προστασία των εκθεμάτων σε μουσεία, το εργαστήριο ανέλαβε τη συνδιοργάνωση διημερίδας, με συμμετοχή και διαπρεπών ερευνητών από όλο τον κόσμο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η κατανόηση της συμπεριφοράς ιστορικών κατασκευών και αρχαίων μνημείων, προϋποθέτει τη διεξαγωγή πειραμάτων με το σεισμικό προσομοιωτήρα σε συνδιασμό με την ανάπτυξη κατάλληλου λογισμικού.



σαίου μεγέθους, λ.χ. της τάξης των 5,0 Ρίχτερ.

Οι σεισμικές δράσεις κοντά σε ενεργά ρήγματα δοκιμάζουν, όχι μόνο τις ήδη γνωστές και παραδοσιακές τεχνολογίες αντιμετώπισης του σεισμού, αλλά και νέες τεχνολογίες, όπως τη σεισμική μό-

θυντικότητας στις κατασκευές, στο 14ο Παγκόσμιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής, που θα γίνει στο Πεκίνο. Στη συνέδρια αυτή θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της ερευνητικής του προσπάθειας.

Συνεχίζουμε με τις εφαρμογές

Στο τραπέζι της προσομοίωσης

Το Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας που ανήκει στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, ιδρύθηκε το 1981 προκειμένου να μελετηθούν οι επιπτώσεις των σεισμών και των δονήσεων στις κατασκευές. Σ' αυτό βρίσκεται και ο σεισμικός προσομοιωτήρας, μια εγκατάσταση που θεωρήθηκε από τις σπουδαιότερες στον κόσμο λόγω των δυνατοτήτων του.

Ο σεισμικός προσομοιωτήρας, που τέθηκε σε λειτουργία στις αρχές του 1987, αποτελείται από μια άκαμπτη τραπέζα διαστάσεων 4X4 m² που μπορεί να κινείται κατά τις έξι διευθύνσεις (τρεις μεταθέσεις, τρεις περιστροφές) και από το σύστημα ελέγχου της κίνησης και καταγραφής της συμπεριφοράς της τραπέζας και των δοκιμών που ελέγχονται επάνω σ' αυτή. Από το 1993 το Εργαστήριο αποτελεί μια «Μεγάλη Ευρωπαϊκή Εγκαστάσταση». Το 2000 πιστοποιήθηκε για τις παρεχόμενες υπηρεσίες Δυναμικών Σεισμικών Δοκιμών για τη χρήση του σεισμικού προσομοιωτήρα κατά ISO-9002/1994 από την TUV CERT (TUV Austria Hellas). Σήμερα βρίσκεται σε εξέλιξη η διαδικασία πιστοποιήσης σύμφωνα με το ISO 9001/2000.

Στο Εργαστήριο υπάρχει εγκατεστημένος και Τοίχος Αντιδρασης για την εκτέλεση στατικών δοκιμών διάτμησης, κυρίως ανακυκλίζομενης, Υπάρχει, επίσης, πλήρης εξοπλισμός και ειδικά εκπαιδευμένο προσωπικό προκειμένου να πραγματοποιήθουν δυναμικές μετρήσεις πεδίου.

Κύριες δραστηριότητες του Εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας, εκτός βέβαια από τη διδασκαλία μαθημάτων Αντισεισμικής Τεχνολογίας σε προπτυχιακό και μεταπτυχιακό επίπεδο, είναι οι εξής:

- Διεξαγωγή πειραμάτων για τη διερεύνηση της συμπεριφοράς κατασκευών σε δυναμική καταπόνηση. Έλεγχος συστημάτων συσκευασίας, οχημάτων, αναρτήσεων, στρογγεών, σεισμικής μόνωσης κτιρίων, βάσεων εκθεμάτων σε Μουσεία.
- Αξιολόγηση συμπεριφοράς ηλε-

κτρολογικού και μηχανολογικού εξοπλισμού σε δονήσεις.

- Έρευνα και μελέτη της συμπεριφοράς κατασκευών σε σεισμούς, με τη βοήθεια μαθηματικών προσσομοιωμάτων, αναλυτικών μεθόδων και προγραμμάτων Η/Υ, με χρήση των αποτελεσμάτων των δοκιμών.

- Υποστήριξη βιομηχανίας με τον έλεγχο νέων υλικών κατάλληλων για την αντισεισμική προστασία των κατασκευών.

- Αντισεισμικές διατάξεις για τη στήριξη εκθεμάτων ή εμπορευμάτων (σεισμική μόνωση).

- Μετρήσεις επιπόπου ισχυρών δονήσεων ή μικροδονήσεων σε κατασκευές και μηχανήματα, με αξιολόγηση.

- Εγκατάσταση δικτύων για την ενόργανη παρακολούθηση σεισμών στο έδαφος και σε κατασκευές.

- Έκδοση πιστοποιητικών δυναμικών σεισμικών δοκιμών σύμφωνα με διεθνή πρότυπα.

- Μαθήματα προστασίας, έναντι σεισμού σε μαθητές Πρωτοβάθμιας και Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, καθώς και σε ομάδες εθελοντών του ΟΑΣΠ, του Ερυθρού Σταυρού, του ΥΠΕΠΘ, στο Πυροσβεστικό Σώμα, στην Τοπική Αυτοδιοίκηση, κλπ.

Το Εργαστήριο συνεργάζεται με διάφορους φορείς, όπως είναι το ΥΠΕΧΩΔΕ, ο ΟΑΣΠ, το Υπουργείο Πολιτισμού, ο ΟΣΕ, ο ΟΣΚ, η ΔΕΗ, ο Δήμος Αθηναίων, κ.ά., και με πολλές ελληνικές κατασκευαστικές εταιρείες και βιομηχανίες και μεγάλες εταιρείες του εξωτερικού όπως είναι η «ABB-Sweden», «Siemens», «ALSTOM», «FIP», «ITALCEMENTI», «ACAI-ITALIA», κά.

]
Αναλυτική παρουσίαση των δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου υπάρχει στην ιστοσελίδα:
www.civil.ntua.gr/earthquake. Περισσότερες πληροφορίες και στο 210-7721.180 ή στα e-mail: gmkelis@central.ntua.gr και fyroum@central.ntua.gr



Δείγματα δοκιμών

Σεισμική συμπεριφορά προκατασκευασμένων στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα, 2007.

Σεισμική συμπεριφορά φέρουσας τοιχοποιίας από οπόπλινθους σε περιοχές χαμηλής σεισμικότητας, 2006

Σεισμική δοκιμή υδρραυλικού αντισεισμικού ανελκυστήρα, 2007

Σεισμική συμπεριφορά ανηρτημένων υαλοπετασμάτων, 2006

Διερεύνηση της σεισμικής συμπεριφοράς πλινθοπερίκλειστης βυζαντινής τοιχοποιίας για το καθολικό της Ι.Μ. Δαφνίου, 2006