

Η Σεισμική Απόκριση του Δομημένου Περιβάλλοντος των Κυθήρων κατά το Σεισμό ($M_w=6.9$) της 8^{ης}.01.2006 The Seismic Response of the Structural Environment by Kythira Earthquake on 08 January 2006

Τριαντάφυλλος ΜΑΚΑΡΙΟΣ¹, Χρήστος ΚΑΡΑΚΩΣΤΑΣ², Θωμάς ΣΑΛΟΝΙΚΙΟΣ³,
Βασίλης ΛΕΚΙΔΗΣ⁴, Ισάμ ΣΟΥΣ⁵

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Στις 8 Ιανουαρίου 2006 και τοπική ώρα 13:34, ένας ισχυρός σεισμός μεγέθους $M_w=6.9$ έλαβε χώρα στον υποθαλάσσιο χώρο ανατολικά της νήσου των Κυθήρων. Το δίκτυο επιταχυνσιογράφων του Ινστιτούτου Τεχνικής Σεισμολογίας & Αντισεισμικών Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ) κατέγραψε την ισχυρή εδαφική σεισμική κίνηση, ενώ κλιμάκιο από ερευνητές του ΙΤΣΑΚ μετέβη στο νησί των Κυθήρων για τη συστηματικότερη αξιολόγηση των επιπτώσεων του σεισμού στο δομημένο περιβάλλον του νησιού. Παρουσιάζονται τα φάσματα απόκρισης επιταχύνσεων του σεισμού, καθώς και η σεισμική απόκριση του δομημένου περιβάλλοντος σε σχέση με τις σχετικές διατάξεις των αντισεισμικών κατασκευών, με στόχο την ερμηνεία των βλαβών που παρατηρήθηκαν στις κατασκευές. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ελέγχων που διεξήχθησαν σε όλο το νησί, και περιγράφονται οι βλάβες στις κατασκευές ανάλογα με το δομικό τους τύπο, με αναφορά στις βλάβες σε μνημεία, όπως αυτές καταγράφηκαν και αξιολογήθηκαν από το κλιμάκιο των ερευνητών του ΙΤΣΑΚ που επισκέφθηκε το νησί. Τέλος, παρατίθενται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από το σεισμό των Κυθήρων της 8^{ης} Ιανουαρίου 2006.

ABSTRACT : On January 8, 2006 at 11:34 GMT, a strong earthquake of magnitude $M_w=6.9$ took place in the sea area to east of the island of Kythira. The strong motion network operated by the Institute of Engineering Seismology and Earthquake Engineering (ITSAK) recorded the event, and a team of ITSAK engineers visited Kythira in order to assess the damage on the built environment. Response spectra of the earthquake are compared with Greek Seismic Code provisions in order to explain the observed structural response. The observed damage to various structural types met on the island is discussed in detail, and the conclusions drawn about the earthquake effects on the island's buildings are presented.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τη σεισμική απόκριση του δομημένου περιβάλλοντος των Κυθήρων εξαιτίας του ισχυρού σεισμού, μεγέθους $M_w=6.9$, της 8^{ης} Ιανουαρίου 2006. Από το σύνολο των καταγραφών της ισχυρής κίνησης του σεισμού των Κυθήρων 2006 που καταγράφηκαν από το δίκτυο επιταχυνσιογράφων που συντηρεί το Ινστιτούτο Τεχνικής

¹ Εντετ. Ερευνητής Ινστ. Τεχν. Σεισμ.& Αντισεισμ. Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ), Θεσ/νίκη, email: makarios@itsak.gr

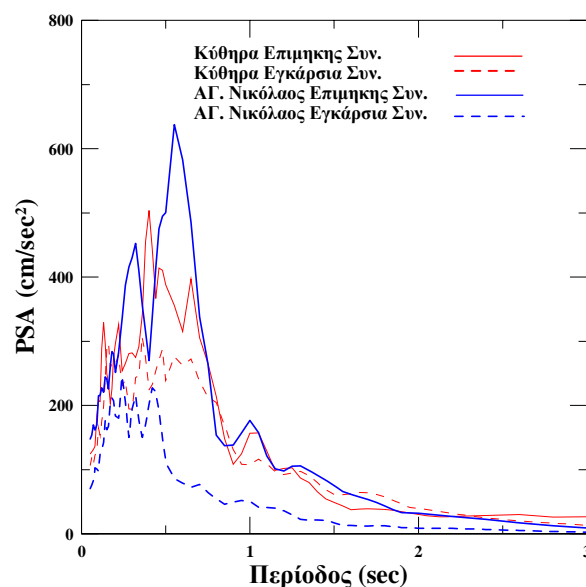
² Δ/ντής Ερευνών Ινστ. Τεχν. Σεισμ.& Αντισεισμ. Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ), Θεσ/νίκη, email: christos@itsak.gr

³ Κύριος Ερευνητής Ινστ. Τεχν. Σεισμ.& Αντισεισμ. Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ), Θεσ/νίκη, email: salonikios@itsak.gr

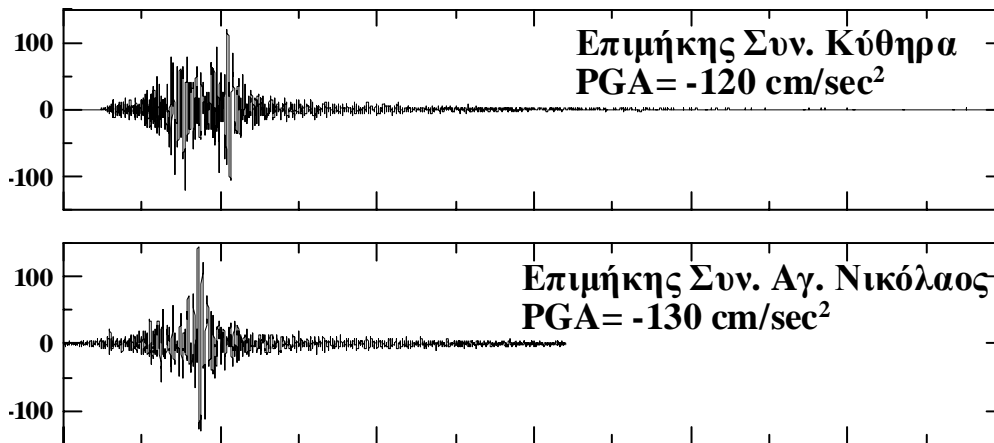
⁴ Δ/ντής Ερευνών Ινστ. Τεχν. Σεισμ.& Αντισεισμ. Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ), Θεσ/νίκη, email: lekidis@itsak.gr

⁵ Επικ. Καθηγητής ΤΕΙ Σερρών, email: sous@teis.gr

Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ), οι δυσμενέστερες ήταν αυτή στον οικισμό Αγ. Νικόλαο Λακωνίας (εκτός της Νήσου των Κυθήρων) και η καταγραφή στον οικισμό Ποταμό των Κυθήρων. Στο σχήμα (1) παρουσιάζονται τα σχετικά φάσματα απόκρισης επιτάχυνσης των οριζοντίων συνιστωσών των δύο κύριων επιταχυνσιογραμμάτων για συντελεστή ισοδύναμης ιξώδους απόσβεσης $\zeta=5\%$ επί της κρίσιμης. Παρατηρούμε ότι οι φασματικές τιμές παρουσιάζουν μέγιστα ακρότατα στην ενδιάμεση περιοχή ιδιοπεριόδων ($T=0.4-0.8\text{sec}$) και αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι ο σεισμός ήταν ενδιάμεσου βάθους (περί τα 66 Km), ενώ η επιμήκης συνιστώσα της καταγραφής του Αγ. Νικολάου Λακωνίας παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές επιτάχυνσης, για φασματικές τιμές βλ. (σχ.1) και για εδαφικές τιμές (τιμές για Αγ.Νικόλαο) βλ. (σχ.2), παρά το γεγονός ότι βρίσκεται εκτός της Νήσου των Κυθήρων [Ι.Τ.Σ.Α.Κ. (2006), Karakostas et al (2006)]. Σημειώνεται βέβαια ότι τόσο ο Άγ. Νικόλαος Λακωνίας όσο και τα Κύθηρα απέχουν περίπου ίση απόσταση (41 km έναντι 38km αντίστοιχα) από το επίκεντρο του σεισμού, με αποτέλεσμα η υποκεντρική απόσταση (η κεκλιμένη απόσταση από την εστία του σεισμού μέχρι το επιφανειακό σημείο καταγραφής της επιτάχυνσης) να είναι πρακτικώς η ίδια και άρα να μην είναι προφανές σε ποια περιοχή θα αναπτυχθεί η μεγαλύτερη επιτάχυνση. Επιπρόσθετα, το θέμα αυτό περιπλέκεται τόσο από την επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών που κυριαρχούν σε κάθε περιοχή όσο και από την κατευθυντικότητα του σεισμού ή ακόμα και του τρόπου ακτινοβολίας των κυμάτων μέσα στο έδαφος, ενώ περισσότερες σεισμολογικές πληροφορίες δίνονται στα άρθρα των Boor et al (2008) και Σκαρλατούδης & Μάργαρης (2008). Στον οικισμό Ποταμό των Κυθήρων, η καταγραφείσα εδαφική κίνηση είχε μέγιστες τιμές εδαφικής επιτάχυνσης που δεν ξεπερνούσαν τα 0.13g και 0.11g στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις και το 0.07g στην κατακόρυφη διεύθυνση.



Σχήμα 1. Φάσματα απόκρισης επιταχύνσεων ($\zeta=5\%$) των δύο οριζόντιων συνιστωσών των καταγραφών ισχυρής κίνησης στις θέσεις Αγ. Νικόλαο Λακωνίας και Ποταμού Κυθήρων.



Σχήμα 2. Οριζόντιες σεισμικές συνιστώσες καταγραφών ισχυρής κίνησης με $PGA \geq 0.10g$ του κύριου σεισμού των Κυθήρων (8/1/2006).

Σημειώνεται ότι ο σεισμός της 08/01/2006 προκάλεσε περιορισμένες και μεμονωμένες βλάβες γεωτεχνικού χαρακτήρα, σε λίγα φυσικά πρανή, με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα την κατολίσθηση στην πλατεία του οικισμού Μητάτα, όπου τμήματα του πρανούς που εδραζόταν η πλατεία αποκολλήθηκαν και κατέπεσαν στην υποκείμενη οδική αρτηρία που ενώνει τους οικισμούς Μητάτα και Βιαράδικα, προκαλώντας πλήρη αποκοπή του οδικού δικτύου και καταστροφή του δρόμου. Επίσης, σημειώθηκαν ιδιαίτερα περιορισμένες βλάβες σε τεχνητά επιχώματα οδοποιίας. Στο κύριο λιμάνι (στο Διακόφτι) της Νήσου των Κυθήρων διευρύνθηκε ένας προϋπάρχων αρμός στην προβλήτα όπου γίνεται η προσάραξη των πλοίων λόγω των διαφορικών μετακινήσεων που προκλήθηκαν στην έδραση της αποβάθρας. Μικρά προβλήματα, παρατηρήθηκαν στο δίκτυο ύδρευσης του οικισμού Μητάτα και οι ανάγκες σε νερό των κατοίκων καλυπτόταν από ιδιόκτητες υπόγειες δεξαμενές (στέρνες) συγκέντρωσης όμβριων υδάτων που διατηρούνται ακόμα ενεργές από τους κατοίκους για ειδικές περιπτώσεις. Δεν διαπιστώθηκαν προβλήματα στην ηλεκτροδότηση ή στις τηλεπικοινωνίες εξαιτίας του σεισμού. Στη συνέχεια θα αναφερθούμε εκτενέστερα στις βλάβες που παρατηρήθηκαν στις κατασκευές.

ΒΛΑΒΕΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ

Γενικά

Τα Κύθηρα και τα Αντικύθηρα ανήκουν διοικητικώς στο Νομό Αττικής και ειδικότερα στην Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Πειραιά, ενώ μαζί αποτελούν Επαρχία που διοικείται από Έπαρχο και Επαρχιακό Συμβούλιο. Σύμφωνα με την απογραφή του 2001 το νησί των Κυθήρων έχει συνολικό μόνιμο πληθυσμό 3532 κατοίκους, ενώ ο συνολικός αριθμός των κτιρίων ανέρχεται σε 4518. Από το σύνολο των κτιρίων του νησιού, τα 2852 (ποσοστό 63.12%) κατασκευάστηκαν πριν την εφαρμογή του πρώτου Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΑΚ/1959), τα 962 (ποσοστό 21.29%) σύμφωνα με τις διατάξεις του ΑΚ/1959, τα 439 (ποσοστό 9.72%) σύμφωνα με τον αναθεωρημένο Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό ΑΚ/1959(αναθ.1984), και τα 265 (ποσοστό 5.87%) σύμφωνα με τους σύγχρονους Ελληνικούς Κανονισμούς (NEAK/1995 και ΕΑΚ/2000). Πρωτεύουσα του νησιού είναι τα Κύθηρα (ή Χώρα) στο οποίο ξεχωριστή θέση κατέχει το Κάστρο που χτίστηκε το 1503 μ.Χ. Οι περισσότερες βλάβες κτιρίων από τον σεισμό της 8^{ης} Ιανουαρίου 2006 εμφανίστηκαν στον

οικισμό Μητάτα, στο κέντρο του νησιού. Έχει μόνιμο πληθυσμό 103 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2001 και περί τα 180 κτίρια, πολλά από αυτά εγκαταλειμμένα.

Βλάβες και Τύποι Κατασκευών στο νησί των Κυθήρων

Η πλειονότητα των κατασκευών που συναντώνται στα Κύθηρα είναι δυνατό να ταξινομηθεί σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με το σύστημα ανάληψης των σεισμικών φορτίων:

- *Κατηγορία Α. Μονώροφα ή διώροφα παραδοσιακά κτίρια με φέρουσα λιθοδομή:* Στα κτίρια αυτά ανήκουν τα παλαιά κτίρια κατοικιών ή επαγγελματικών ή αποθηκευτικών χώρων. Η τοιχοποιία είναι κατασκευασμένη από λιθοδομή με συνδετικό υλικό από ασβέστη ή, πιο σπάνια, τσιμέντο ή λάσπη. Ένα μικρό ποσοστό από τις κατασκευές αυτές μπορεί να έχει «σενάζ» από ξύλο (διαζώματα) ή σκυρόδεμα ή ξύλινα διαγώνια δεσίματα. Στην πλειονότητα τους, τα κτίρια αυτά δεν έχουν μελετηθεί σύμφωνα με κάποιο αντισεισμικό κανονισμό και διαθέτουν έναν, δύο και σπανιότερα μέχρι τρεις ορόφους. Αποτελούν ένα μεγάλο ποσοστό του δομικού πλούτου του νησιού. Βλάβες (ρηγματώσεις και τοπικές καταρρεύσεις των λιθοδομών και ξερολιθιών) σε κτίρια αυτού του τύπου (σχ.4) αποδίδονται κυρίως σε ελλιπή ή και ανύπαρκτα μέτρα σεισμικής προστασίας, καθώς και στην ήδη κακή κατάσταση τους πριν από τον σεισμό (λόγω μεγάλης ηλικίας και ανεπαρκούς συντήρησης, σχ.5). Όπως προαναφέρθηκε, οι περισσότερες βλάβες σε λιθόκτιστα κτίρια παρατηρήθηκαν στον οικισμό Μητάτα, και ιδιαίτερα σε παλαιά και ήδη σε όχι καλή κατάσταση κτίρια στην περιοχή Σκλαβιάνικα, ενώ σε πρόσφατα ανακαινισμένα κτίρια της περιοχής δεν παρουσιάστηκαν βλάβες.
- *Κατηγορία Β. Κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα:* Στην πλειονότητα τους κτίρια κατοικιών, γραφείων ή ξενοδοχείων με φέροντα οργανισμό από επιτόπου εγχυόμενο οπλισμένο σκυρόδεμα και τοιχοποιίες πλήρωσης από διάτρητα τούβλα. Στην πλειονότητα τους είναι μικρού ύψους (μέχρι τριών ορόφων και συνηθέστερα δύο ορόφων). Τα περισσότερα κτίρια είναι σχεδιασμένα σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959, ένα σημαντικό ποσοστό έχει σχεδιασθεί με τον κανονισμό του 1984, ενώ τα υπόλοιπα που απομένουν είναι λίγα και είναι χτισμένα με τους κανονισμούς ΕΑΚ-2000 και ΕΚΩΣ-2000. Σε κτίρια αυτού του τύπου δεν αναφέρθηκαν βλάβες στον φέροντα οργανισμό, ενώ μερικά από αυτά έχουν υποστεί μικρορηγματώσεις στους τοίχους πλήρωσης.
- *Κατηγορία Γ. Μεσαιωνικά και μεταγενέστερα Μνημεία:* Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται κατασκευές με σημαντική πολιτιστική κληρονομιά όπως Μεσαιωνικά και μεταγενέστερα Μνημεία (Ι. Ναοί, Κάστρα και ο Φάρος στα βόρεια του νησιού των Κυθήρων), στα οποία όμως δεν έχουν υλοποιηθεί αντισεισμικά μέτρα. Οι σοβαρότερες και εκτενέστερες βλάβες παρατηρήθηκαν σε λιθόκτιστους Ιερούς Ναούς, με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα του Ι.Ν. Αγ.Τριάδος Μητάτων (σχ.6-9). Επίσης, ο Ι.Ν. Αγ. Γεωργίου Μητάτων παρουσίασε επίσης σημαντικές βλάβες (σχ.10,11). Στον οικισμό Λιβιάδι, ο ιστορικός Ι.Ν. του Αγ. Ανδρέα ηλικίας άνω των 1000 ετών, με σπάνιες τοιχογραφίες του 12^{ου} αιώνας, παρουσίασε ρηγματώσεις σε διάφορα σημεία μεταξύ των οποίων και στον θόλο του (σχ.12,13). Σημειώνεται ότι η πλειονότητα των Ιερών Ναών στα Κύθηρα διαθέτει λιθόκτιστη περιμετρική τοιχοποιία

με ορθογωνική κάτοψη, ενώ βλάβες (ρηγματώσεις) παρατηρήθηκαν στους περιμετρικούς τοίχους, καθώς επίσης και στις γωνίες συμβολής δύο εγκάρσιων τοίχων και στις κόγχες των Ιερών Ναών (σχ.14). Σε μερικές περιπτώσεις ναών, προϋπάρχουσες ρηγματώσεις λιθοδομών επιδεινώθηκαν με αφορμή το σεισμικό συμβάν. Τα περισσότερα κωδωνοστάσια είναι επίσης λιθόκτιστα και αρκετά έπαθαν εκτεταμένες βλάβες (σχ.15).

- *Κατηγορία Δ. Γέφυρες κατά μήκος του οδικού δικτύου:* Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται οι γέφυρες είτε από σιδηροπαγές σκυρόδεμα είτε λιθόκτιστες που βρίσκονται κατά μήκος του οδικού δικτύου. Από τον έλεγχο που έγινε στα Κύθηρα δεν διαπιστώθηκαν βλάβες στις γέφυρες του νησιού.

Σημειώνεται ότι πολλές λιθοδομές βαρύτητας (ξερολιθιές), που αναδεικνύουν τον τοπικό πολιτιστικό χαρακτήρα του νησιού, είχαν υποστεί τμηματικές καταρρεύσεις, είτε κατά μήκος του οδικού δικτύου είτε εντός των οικισμών (π.χ. Μητάτα). Είναι φανερό ότι σε τέτοιες περιπτώσεις, η επιδιόρθωση τέτοιων ξερολιθιών πρέπει να γίνεται με τρόπο που να παράγει το ίδιο αισθητικό/πολιτιστικό αποτέλεσμα με τις υπόλοιπες ξερολιθιές του νησιού, διατηρώντας έτσι την ειδική φυσιογνωμία και το χρώμα του νησιού. Επίσης, σύμφωνα με μαρτυρίες κατοίκων κατά τη διάρκεια τους σεισμού παρατηρήθηκαν μικρές μετακινήσεις αντικειμένων, επίπλων κατοικιών, λοιπού οικιακού εξοπλισμού και πτώσεις αντικειμένων από τα ράφια εμπορικών καταστημάτων.

Αποτελέσματα Πρωτοβάθμιων Ελέγχων

Από τους πρωτοβάθμιους ελέγχους που έγιναν στα Κύθηρα και Αντικύθηρα, 162 χαρακτηρίστηκαν «κίτρινα» και 53 «κόκκινα». Στα Αντικύθηρα τα «κίτρινα» κτίρια ανερχόταν σε δύο (2) ενώ δεν χαρακτηρίστηκε κάποιο ως «κόκκινο». Συνεπώς, στο νησί Κύθηρα συνολικά, τα «κόκκινα» κτίρια αντιστοιχούν σε ποσοστό 1.2% του συνόλου των υφιστάμενων κτιρίων και τα «κίτρινα» κτίρια αντιστοιχούν σε ποσοστό 3.6% αυτών.

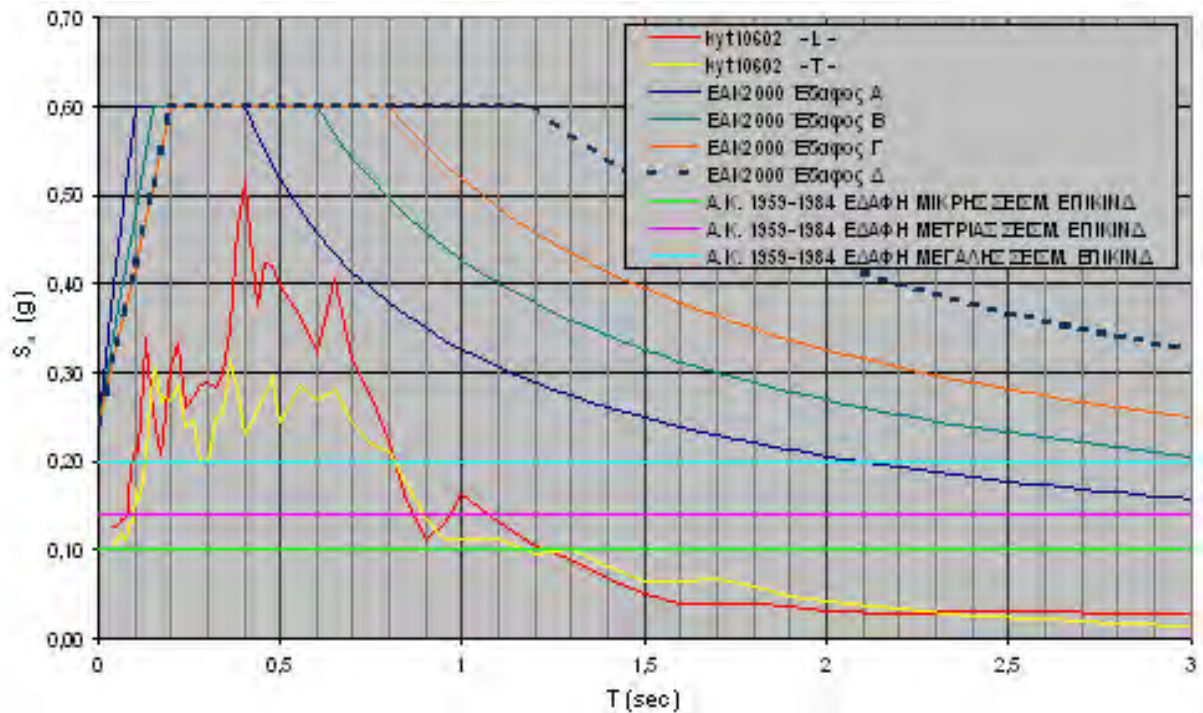
Οι Ελληνικοί Αντισεισμικοί Κανονισμοί συγκριτικά με τον Σεισμό της 08.01.2006

Ο πρώτος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΑΚ/1959) για τη διαστασιολόγηση συνδυαζόταν με τον κανονισμό του οπλισμένου σκυροδέματος (Β.Δ.1954) βάσει της μεθόδου των «επιτρεπόμενων τάσεων». Ο κανονισμός αυτός αναθεωρήθηκε το 1984 χωρίς όμως να μεταβάλει τις σεισμικές δράσεις σχεδιασμού των συνήθων κατασκευών στην περιοχή των Κυθήρων. Το 1992 τέθηκε σε προαιρετική ισχύ ο Νεώτερος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΝΕΑΚ/92) που μετέβαλε τη φιλοσοφία (εισαγωγή φασμάτων απόκρισης) των σεισμικών δράσεων σχεδιασμού και ο οποίος συνδυαζόταν για τη διαστασιολόγηση με τον κανονισμό του οπλισμένου σκυροδέματος βάσει της μεθόδου των «οριακών καταστάσεων». Το 1995 έγινε εκ νέου περιορισμένη τροποποίηση του ΝΕΑΚ και τέθηκε σε υποχρεωτική ισχύ. Το 2000 αναθεωρήθηκε εκ νέου και εκτενώς ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ/2000) και ακολούθησαν δύο ακόμα ελάσσονες αναθεωρήσεις το 2003 (ΕΑΚ/2003). Όμως, παρά τις παραπάνω συνεχείς αναθεωρήσεις που έλαβαν χώρα από το 1992 και εντεύθεν, οι σεισμικές δράσεις σχεδιασμού για τις νέες κατασκευές στην περιοχή των Κυθήρων δεν μεταβλήθηκαν θεωρώντας ότι η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού είναι $A=0.24g$ ενισχυμένη κατά 2.50 για να ληφθεί η ελαστική φασματική τιμή σχεδιασμού για την ενδιάμεση περιοχή ιδιοπεριόδων. Σύμφωνα με τον

AK/1959 (και της τροποποίησης του 1984), ο σεισμικός συντελεστής (δηλ. η φασματική τιμή σχεδιασμού) για τα Κύθηρα ήταν $\varepsilon=0.06$, 0.08 και 0.12, για εδάφη μικρής, μέτριας και μεγάλης σεισμικής επικινδυνότητας αντίστοιχα, και είχε σταθερή τιμή για όλες τις ιδιοπεριόδους των κατασκευών. Ανάγοντας κατάλληλα τις τιμές του συντελεστή ε ώστε να είναι αντιστοιχούν στη μέθοδο διαστασιολόγησης βάσει των «οριακών καταστάσεων», οι διορθωμένες τιμές ε' του σεισμικού συντελεστή προκύπτουν 0.10, 0.14 και 0.20 αντίστοιχα (πολλαπλασιασμός επί τον μέσο συντελεστή ασφάλειας του χάλυβα 1.70 που χρησιμοποιούνταν στις επιτρεπόμενες τάσεις). Στο σχ.(3) παρουσιάζονται τα ελαστικά φάσματα απόκρισης (για συντελεστή ισοδύναμης ιξώδους απόσβεσης $\zeta=5\%$) των δύο οριζόντιων σεισμικών συνιστωσών του κυρίως σεισμού, όπως αυτός καταγράφηκε από το σταθμό του ΙΤΣΑΚ στον οικισμό Ποταμός του νησιού. Στο ίδιο σχήμα παρουσιάζεται το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού του ΕΑΚ/2003, για διάφορες εδαφικές συνθήκες, καθώς και οι τιμές των αντίστοιχων ανοιγμένων συντελεστών σεισμικής επιβάρυνσης των προ του 1992 αντισεισμικών κανονισμών.

Από το σχ.(3) καθίσταται προφανές ότι για τα νεώτερα κτίρια των Κυθήρων που κατασκευάστηκαν σύμφωνα με τους νεώτερους κανονισμούς (NEAK/1992 και μετέπειτα), η σεισμική επιβάρυνση υπερκαλύπτεται από τις δράσεις σχεδιασμού που προβλέπονται από τους Κανονισμούς, σε όλη την περιοχή των περιόδων και για κάθε τύπου εδαφική συνθήκη. Συνεπώς για τα νεώτερα αυτά κτίρια δεν αναμενόταν καταρρεύσεις, πιθανόν όμως να εμφανιζόταν βλάβες, αναλόγως του συντελεστή συμπεριφοράς q που χρησιμοποιήθηκε κατά περίπτωση, που θα ήταν όμως επιδιορθώσιμες. Τα παλαιότερα κτίρια (που χτίστηκαν σύμφωνα με τους κανονισμούς 1959, 1984 ή χωρίς κανονισμούς), είναι στην πλειονότητα τους χαμηλού ύψους (μέχρι 2 ορόφων), ενώ σημαντικός αριθμός από αυτά είναι λιθόκτιστα και έχουν, γενικά, μικρή θεμελιώδη ιδιοπερίοδο ($T<0.15\text{sec}$).

Συμπερασματικά λοιπόν, μπορούμε να πούμε ότι, με εξαίρεση τις περιοχές όπου οι τοπικές εδαφικές συνθήκες έπαιξαν ιδιαίτερο ρόλο όπως στον οικισμό των Μητάτων, η πλειονότητα των κατασκευών του νησιού συμπεριφέρθηκε αρκετά ικανοποιητικά στο υπόψη σεισμό. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει, ότι πολλά από τα υφιστάμενα κτίρια ο/σ διαθέτουν επιπλέον, των αναλυτικά υπολογιζόμενων, αποθέματα αντοχής που οφείλονται κυρίως στην υπερστατικότητα των κατασκευών, στην υπεραντοχή των επιμέρους δομικών στοιχείων και στην ύπαρξη φερόντων πλινθόκτιστων τοιχοποιιών που μπορεί μεν να χρησιμοποιήθηκαν στην αρχή ως τοίχοι πλήρωσης αλλά με την πάροδο του χρόνου μετατράπηκαν σε «φέροντες» τοίχους λόγω ανάπτυξης ερπυστικών φαινομένων που είχαν ως αποτέλεσμα την υψηλή «σφήνωση» των στο περιβάλλον πλαίσιο ο/σ και άρα την μετατροπή τους σε «σεισμικά φέροντες» τοίχους. Όλα αυτά είναι παράγοντες που συνεισφέρουν στην αύξηση της αντισεισμικότητας των κτιρίων και δεν θα πρέπει να αγνοούνται όταν εκπονούνται προχωρημένες μελέτες αποτίμησης της φέρουσας αντισεισμικής ικανότητας των κτιρίων ο/σ χρησιμοποιώντας την ανελαστική δυναμική μέθοδο.



Σχήμα 3. Σύγκριση ελαστικών φασμάτων απόκρισης του σεισμού της 8/01/2006 στον οικισμό Ποταμό Κυθήρων με τα φάσματα σχεδιασμού του ΕΑΚ/2003 ($\zeta=5\%$) και τους αντίστοιχους συντελεστές των προ του 1992 αντισεισμικών κανονισμών.

Εικόνες Βλαβών στις Κατασκευές.

Στη συνέχεια, παρατίθενται ενδεικτικά εικόνες βλαβών στις κατασκευές από την επίσκεψη του κλιμακίου του ΙΤΣΑΚ στη σεισμόπληκτη περιοχή των Κυθήρων.



Σχήμα 4. Ρηγματώσεις σε διώροφο λιθόκτιστο κτίριο στον οικισμό Ποταμό.



Σχήμα 5. Αστοχία λιθόκτιστης τοιχοποιίας παλιού κτιρίου με ανεπαρκή συντήρηση στα Μητάτα.



Σχήμα 6. Αστοχία Ι.Ν. Αγ. Τριάδος των Μητάτων.



Σχήμα 7. Αστοχία μεταλλικού ελκυστήρα στον Ι.Ν. Αγ. Τριάδος στα Μητάτα.



Σχήμα 8. Εκτεταμένες βλάβες στο σταυροθόλιο και στα τόξα στον Ι.Ν. Αγ. Τριάδος στα Μητάτα.



Σχήμα 9. Αστοχία του τέπλου του Ι.Ν. Αγ. Τριάδος στα Μητάτα.



Σχήμα 10. Αστοχία του τύμπανου του λιθόκτιστου Ι.Ν. Αγ.Γεωργίου στα Μητάτα. Η ιστορική κατακόμβη του ναού δεν παρουσίασε βλάβες.



Σχήμα 11. Αστοχία μεταλλικού ελκυστήρα και ανάπτυξη έντονων ρηγματώσεων του Ι.Ν. Αγ. Γεωργίου Μητάτων.



Σχήμα 12. Ο άνω των 1000 ετών Ι.Ν. Αγ. Ανδρέα στον οικισμό Λιβιάδι.



Σχήμα 13. Ανάπτυξη ρηγματώσεων στον θόλο του Ι.Ν. Αγ. Ανδρέα στον οικισμό Λιβιάδι.



Σχήμα 14. Ρωγή στην ανατολική κόγχη στον Ι.Ν. Αγ. Αναργύρων στον οικισμό Ποταμό



Σχήμα 15. Βλάβες στο λιθόκτιστο κωδωνοστάσιο του Ι.Ν. Αγ. Αναργύρων στον οικισμό Ποταμό

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο σεισμός των Κυθήρων είναι ο πρώτος ισχυρός σεισμός ενδιάμεσου βάθους στην Ελλάδα για τον οποίο καταγράφηκαν επιταχυνσιογράμματα. Επιπρόσθετες μελλοντικές καταγραφές ισχυρής κίνησης και αντίστοιχα φάσματα απόκρισης από σεισμούς ενδιάμεσου βάθους στον Ελληνικό χώρο αναμένεται να δώσουν χρήσιμες πρόσθετες πληροφορίες στον τεχνικό κόσμο της χώρας. Οι γεωτεχνικού χαρακτήρα επιπτώσεις του σεισμού στη νήσο των Κυθήρων ήταν σχετικά περιορισμένες, με κυριότερη την κατολίσθηση φυσικού πρानούς στην πλατεία του οικισμού Μητάτα, η οποία και απέκοψε τον υποκείμενο δρόμο μεταξύ των οικισμών Μητάτα-Βιαράδικα. Οι βλάβες στις κατασκευές από τον ισχυρό σεισμό της 8^{ης} Ιανουαρίου 2006 στα Κύθηρα δεν ήταν εκτενείς, παρά το μεγάλο μέγεθος του σεισμού και τη σχετική παλαιότητα της πλειονότητας των κτιρίων του νησιού (63.12% των κτιρίων κατασκευάστηκε πριν το 1959 χωρίς αντισεισμικό κανονισμό, 21.29% κατασκευάστηκε σύμφωνα με τον ΑΚ/1959 και μόνο 15.59% έχει χτιστεί με τον ΑΚ/1984 και

μετέπειτα, δηλ. με σχετικά αυξημένα μέτρα αντισεισμικής προστασίας). Η έλλειψη εκτεταμένων βλαβών μπορεί να αποδοθεί σε διάφορους παράγοντες, από τους οποίους οι σημαντικότεροι είναι οι εξής:

1. Λόγω του εστιακού βάθους (66 km) και της αντίστοιχης σχετικά μεγάλης υποκεντρικής απόστασης του σεισμού η μέγιστη εδαφική οριζόντια σεισμική επιτάχυνση στα Κύθηρα ήταν σχετικά χαμηλή, παρά το μεγάλο μέγεθος του σεισμού (οι δύο μέγιστες οριζόντιες εδαφικές επιταχύνσεις ήταν 0.12g και 0.11g αντίστοιχα, ενώ η κατακόρυφη ήταν 0.07g).
2. Τα κτίρια των Κυθήρων έχουν στην πλειονότητα τους χαμηλή θεμελιώδη ιδιοπερίοδο ($T < 0.15 \text{sec}$) και βρίσκονται εκτός της περιοχής των ιδιοπεριόδων όπου παρατηρείται σημαντική ενίσχυση του ελαστικού φάσματος απόκρισης του σεισμού, με αποτέλεσμα να μην επιβαρυνθούν ιδιαίτερα με πρόσθετες αδρανειακές σεισμικές δυνάμεις.
3. Οι διάφορες βλάβες που παρατηρήθηκαν σε κτίρια από λιθοδομή μπορεί να αποδοθούν σε πολλές περιπτώσεις στην παλαιότητα, χαμηλή ποιότητα των υλικών δόμησης και την ανεπαρκή συντήρηση των κτιρίων αυτών. Σημειώνεται επίσης ότι σε αρκετούς Ιερούς Ναούς δημιουργήθηκαν ρηγματώσεις στους λιθόκτιστους «φέροντες» τοίχους, με αποτέλεσμα οι Ναοί να τεθούν εκτός λειτουργίας μέχρι να ληφθούν επισκευαστικά μέτρα.
4. Οι εκτεταμένες βλάβες που παρατηρήθηκαν κυρίως στον οικισμό των Μητάτων και ιδιαίτερα στην περιοχή Σκλαβιάνικα, οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στην επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών και την εδαφική μορφολογία της περιοχής. Το συμπέρασμα ενισχύεται και από το γεγονός ότι στους υπόλοιπους οικισμούς των Κυθήρων, όπου η ποιότητα των κατασκευών δεν διαφέρει στατιστικά από αυτή των Μητάτων, οι βλάβες ήταν πολύ πιο περιορισμένες.

Επιπλέον, τονίζεται ότι ο ορθολογικός αντισεισμικός σχεδιασμός ξεκινάει από το στάδιο της Μελέτης του κτιρίου επιλέγοντας ορθή αντισεισμική διάταξη του δομικού συστήματος για την ανάληψη των σεισμικών φορτίων. Ακολουθεί η πλήρης αντισεισμική μελέτη και η σχολαστική εφαρμογή της με προσοχή στην λεπτομέρεια, η χρήση καλής ποιότητας υλικών δόμησης και η υψηλή ποιότητα κατασκευής προκειμένου να φτάσουμε στο τελικό επιθυμητό προϊόν.

Τέλος σημειώνεται ότι τα κτίρια ο/σ δύναται να διαθέτουν εν γένει και πρόσθετα αποθέματα αντοχής που κυρίως οφείλονται:

- στην υπερστατικότητα των κατασκευών η οποία σε συνδυασμό (1) με την κατάλληλη αντισεισμική όπλιση των κρίσιμων διατομών ο/σ (που έχει στόχο την αύξηση της πλαστιμότητας καμπυλοτήτων των κρίσιμων διατομών και την εμφάνιση, σε κάθε περίπτωση, πλαστιμής καμπτικής αστοχίας αυτών έναντι της ψαθυρής διαμητικής αστοχίας) και (2) με τη διενέργεια των απαραίτητων ικανοτικών ελέγχων, οδηγεί σε εκτενέστερη ανακατανομή της έντασης των κατασκευών,
- στην υπεραντοχή των επιμέρους δομικών στοιχείων,
- στην ύπαρξη των πλινθόκτιστων τοιχοποιιών, οι οποίες που μπορεί μεν στην αρχή να είχαν κατασκευαστεί ως τοίχοι πλήρωσης, αλλά με την πάροδο του χρόνου μετατρέπονται σε «σεισμικά φέροντες» τοίχους. Αυτό συμβαίνει λόγω ανάπτυξης ερπυστικών φαινομένων στα στοιχεία ο/σ που έχει ως αποτέλεσμα την υψηλή «σφήνωση» των τοιχοπληρώσεων στο περιβάλλον πλαίσιο ο/σ.

Τα παραπάνω, είναι παράγοντες που συνεισφέρουν στην αύξηση της αντισεισμικότητας των κτιρίων και σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να αγνοούνται, ιδιαίτερα όταν εκπονούνται προχωρημένες μελέτες αποτίμησης της φέρουσας αντισεισμικής ικανότητας των κτιρίων ο/σ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Boor D., Σκαρλατούδης Α., Βεντούζη Χ., Παπαζάχος Κ. και Μάργαρης Β. (2008), “Εμπειρικές σχέσεις απόσβεσης των φασματικών τιμών της εδαφικής επιτάχυνσης και ταχύτητας ενδιάμεσου βάθους σεισμικών κινήσεων του Ν. Αγαίου”. Πρακτικά 3^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας (άρθρο 1835), 5-7 Νοεμβρίου, 2008, ΑΘΗΝΑ.
- Ι.Τ.Σ.Α.Κ., (2006), “Ο ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΥΘΗΡΩΝ ($M_w=6.9$), 8^{ης} Ιανουαρίου 2006. Ισχυρή Εδαφική Κίνηση – Συνέπειες του Σεισμού στο Δομημένο και Φυσικό Περιβάλλον. *Ειδική βιβλιοδετημένη έκδοση του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (ΤΕΕ)*.
- Karakostas Ch., Makarios T., Lekidis V., Salonikios T., Sous I., Makra K., Anastasiadis A., Klimis N., Dimitriou P., Margaris B., Papaioannou Ch., Theodulidis N. and Savvaidis A. (2006). The Kythira (Greece) Earthquake of January 8, 2006: Preliminary Report on Strong Motion Data, Geotechnical and Structural Damage. *EERI Learning from Earthquakes report*, at: http://www.eeri.org/lfe/greece_kythira_island.html
- Σκαρλατούδης Α. και Μάργαρης Β. (2008). “Ο σεισμός των Κυθήρων 08/01/2006: Επεξεργασία καταγραφών διάφορων ψηφιακών καταγραφέων και επίδραση των υψηλοπερατών φίλτρων στην προσομοίωση των ιδιοτήτων της σεισμικής πηγής.”, Πρακτικά 3^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας (άρθρο 1790), 5-7 Νοεμβρίου, 2008, ΑΘΗΝΑ.