

Ο ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΛΕΥΚΑΔΑΣ (M=6.2, 14 ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ 2003)

ΙΣΧΥΡΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΣΤΟ ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΗΣ, Α., ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ, Π., ΔΗΜΟΣΘΕΝΟΥΣ, Μ., ΘΕΟΔΟΥΛΙΔΗΣ, Ν., ΚΑΡΑΚΩΣΤΑΣ, Χ., ΚΛΗΜΗΣ, Ν., ΛΕΚΙΔΗΣ, Β., ΜΑΚΑΡΙΟΣ, Τ., ΜΑΚΡΑ, Κ., ΜΑΡΓΑΡΗΣ, Β., ΠΑΠΑΪΩΑΝΝΟΥ, Χ., ΣΑΒΒΑΪΔΗΣ, Α., ΣΑΛΟΝΙΚΙΟΣ, Θ., ΣΟΥΣ, Ι.

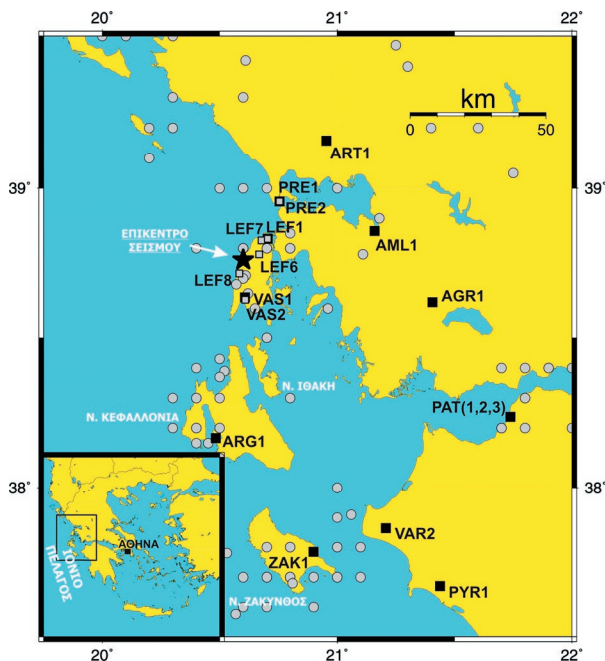
Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ)

1. ΕΝΟΡΓΑΝΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

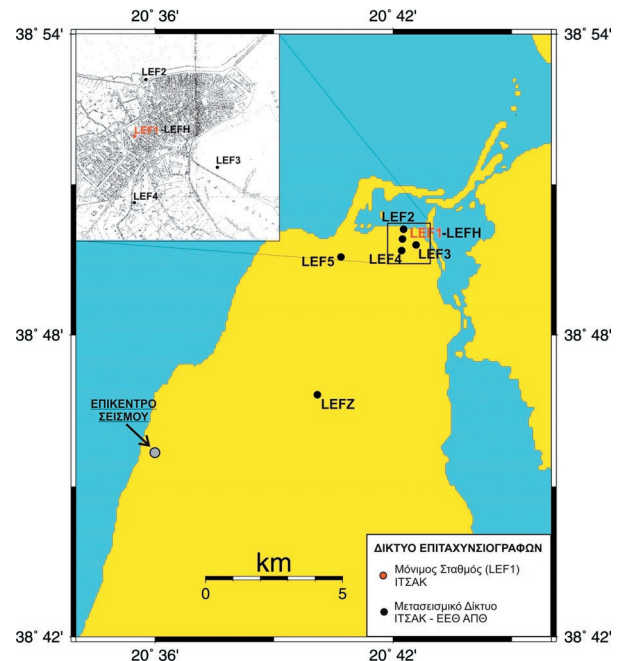
Η ισχυρή σεισμική δόνηση μεγέθους $M=6.2$, με γεωγραφικό μήκος $\lambda=20.5998^{\circ}E$ και γεωγραφικό πλάτος $\varphi=38.7612^{\circ}N$, καταγράφηκε από το μόνιμο δίκτυο επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ. Η δόνηση έγινε ιδιαίτερα αισθητή εκτός από το νησί της Λευκάδας και στους Νομούς Πρεβέζης, Αιτωλοακαρνανίας, Κεφαλληνίας και Άρτας. Τα όργανα καταγραφής ισχυρής κίνησης που διεγέρθηκαν από το σεισμό βρίσκονται στις πόλεις, Λευκάδα (LEF1), Πρέβεζα (PRE1), Αμφιλοχία (AML1), Αγρίνιο (AGR1), Αργοστόλι (ARG1) Ζάκυνθο (ZAK1) και Βαρθολομιό (VAR1). Στο σχήμα 1 παρουσιάζονται οι σταθμοί του μόνιμου δικτύου του ΙΤΣΑΚ, οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με ψηφιακούς επιταχυνσιογράφους QDR, εκτός από το σταθμό στο Βαρθολομιό, όπου είναι εγκατεστημένος ένας επιταχυνσιογράφος ETNA καθώς και τα επίκεντρα (με γκρι κύκλο) των ιστορικών σεισμών με $M \geq 6$. Πληροφορίες για τους σταθμούς του μόνιμου και του προσωρινού δικτύου δίνονται στο σχήμα 2, καθώς και η γεωγραφική τους κατανομή. Στο ένθετο δίνονται τα όργανα που είναι εγκατεστημένα στην πόλη της Λευκάδας.

Τα όργανα καταγραφής ισχυρής κίνησης που διεγέρθηκαν από τον κύριο σεισμό βρίσκονται στις πόλεις της Λευκάδας, Πρέβεζας, Αργοστολίου, Ζακύνθου, Αμφιλοχίας, Αγρινίου, και Βαρθολομιού. Τα επιταχυνσιο-γράμματα του κύριου σεισμού δίνουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τις παραμέτρους της ισχυρής σεισμικής κίνησης, όπως οι μέγιστες εδαφικές τιμές της επιτάχυνσης, PGA, ταχύτητας, PGV, μετάθεσης, PGD, καθώς

και τις φασματικές τιμές τους.



Σχήμα 1: Σταθμοί μόνιμου δικτύου ΙΤΣΑΚ. Με μαύρο αστέρι δίνεται το επίκεντρο του σεισμού της 14^{ης} Αυγούστου 2003 μεγέθους $M=6.2$.



Σχήμα 2: Θέσεις επιταχυνσιογράφων του προσωρινού που εγκαταστάθηκε στο νησί της Λευκάδας.

2. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑ

2.1. Επιρροή Τοπικών Εδαφικών Συνθηκών στην Πόλη της Λευκάδας

Με βάση τα διαθέσιμα γεωτεχνικά δεδομένα, το υπέδαφος στην πόλη της Λευκάδας κατατάσσεται σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000 στην κατηγορία Γ', εκτός των περιπτώσεων όπου εμφανίζονται χαλαρές λεπτόκοκκες, αμμοϊλυώδεις στρώσεις με μεγάλη επικινδυνότητα σε ρευστοποίηση, όταν βρίσκονται κάτω από τον υδάτινο ορίζοντα ή σε συνίζηση στην περίπτωση που είναι ακόρεστες, όπου κατατάσσονται στην κατηγορία Χ.

Στην πόλη της Λευκάδας, δεν παρατηρήθηκαν περιοχές συγκέντρωσης βλαβών που να μπορούν άμεσα να αποδοθούν στην επιρροή των τοπικών εδαφικών συνθηκών της περιοχής. Ωστόσο, υπήρξαν περιοχές κυρίως παραθαλάσσιες, όπου παρατηρήθηκαν δυναμικές καθιζήσεις, έντονες πλευρικές μετατοπίσεις και φαινόμενα ρευστοποίησης.

2.2. Φαινόμενα Ρευστοποίησης

Ρευστοποίηση, εδαφικές καθιζήσεις και έντονες πλευρικές μετατοπίσεις, μεμονωμένα ή σε συνδυασμό, αποτελούν τις σοβαρότερες αιτίες πρόκλησης βλαβών σε παραλιακές

θέσεις στην πόλη της Λευκάδας, στην ευρύτερη περιοχή του κάστρου της Λευκάδας, στο Νυδρί και αλλού.

Στην πόλη της Λευκάδας, οι ζημιές λόγω των φαινομένων αυτών περιλαμβάνουν ανύψωση ή βύθιση ή διάρρηξη πλακών πεζοδρόμησης από σκυρόδεμα και διατάραξη των πλακοστρώσεων των πεζοδρομίων. Οι παρατηρηθείσες εδαφικές διαρρήξεις και πλευρικές μετακινήσεις όπως επίσης και η ανάδυση λεπτόκοκκου αμμοϊλυώδους υλικού στη Λευκάδα και στο Νυδρί ήταν άμεσες επιφανειακές αποδείξεις εμφάνισης φαινομένων ρευστοποίησης υποδηλώνοντας την ανάπτυξη υψηλών υπερπίεσεων νερού των πόρων κατά τη διάρκεια του σεισμού.

Εδαφικές καθιζήσεις και έντονες πλευρικές μετακινήσεις προκλήθηκαν και εξαιτίας συνίζησης (πυκνοποίησης) των χαλαρών επιφανειακών εδαφικών στρώσεων και των ανεπαρκώς συμπυκνωμένων τεχνητών επιχωματώσεων πίσω από τους κρηπιδότοιχους. Οι εδαφικές καθιζήσεις και οι πλευρικές μετακινήσεις είχαν σημαντικές επιπτώσεις σε λιμενικές κατασκευές (προκυμαίες, κρηπιδότοιχους, λιμενοβραχίονες, στη Λευκάδα, στη Λυγιά, στο Νυδρί και στη Βασιλική. Μέρος του κρηπιδότοιχου μετακινήθηκε πλευρικά και ανατράπηκε στο λιμανάκι της Λυγιάς και στο δίαυλο εισόδου στην πόλη της Λευκάδας.

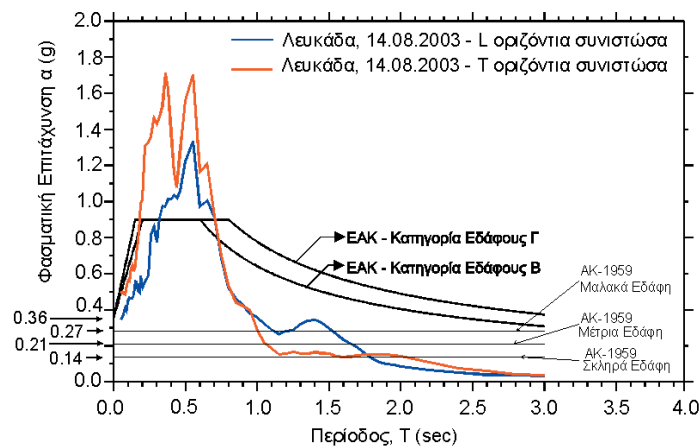
2.3. Κατολισθήσεις & Καταπτώσεις βράχων

Σημαντικός αριθμός κατολισθήσεων και καταπτώσεων κυρίως σε ορύγματα και επιχώματα οδοποιίας παρατηρήθηκαν κατά μήκος κυρίως του δυτικού άξονα που διατρέχει το νησί (Λευκάδα – Πόρτο Κατσίκι). Η πλειοψηφία των κατολισθητικών φαινομένων ανήκουν στις κατηγορίες καταπτώσεων βράχων, επίπεδων και σφηνοειδών ολισθήσεων βραχωδών τεμαχών και εδαφικών ολισθήσεων με δημιουργία κώνων κορημάτων ή βραχωδών τεμαχών διαστάσεων λίγων κυβικών εκατοστών έως αρκετά (5-10) κυβικά μέτρα, συσσωρευμένων στον πόδα πρανών. Οι μεγαλύτερης κλίμακας κατολισθήσεις και καταπτώσεις βράχων εντοπίζονται σε απότομα ορύγματα (ύψος:βάση \approx 2:1 έως 3:1 και ύψος πρανούς 20 έως 50m, και σε ορισμένες περιπτώσεις ύψος μεγαλύτερο των 60 έως 70m) ασβεστολιθικών σχηματισμών οι οποίοι είναι λεπτοπλακώδεις, εντονότατα κερματισμένοι και κατά περίπτωση διαθέτουν και λεπτές ενστρώσεις σχιστολίθων μαργαϊκής σύστασης, χωρίς κανένα μέτρο προστασίας.

3. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

3.1. Ισχυρή εδαφική κίνηση σε σχέση με τους σεισμικούς συντελεστές των Κανονισμών

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959 (και της τροποποίησης του 1984), ο συντελεστής σεισμικής επιβάρυνσης για τις περιοχές του Νομού Λευκάδας (σεισμικότητα III) ήταν $\varepsilon=0.08$, 0.12 και 0.16, για εδάφη μικρής, μέτριας και μεγάλης σεισμικής επικινδυνότητας αντίστοιχα (που αντιστοιχούν προσεγγιστικά σε σκληρά, ενδιάμεσα και μαλακά εδάφη), ενώ με τους σύγχρονους ελληνικούς αντισεισμικούς κανονισμούς (από το 1992 έως σήμερα) χρησιμοποιείται φάσμα επιταχύνσεων σχεδιασμού με σεισμική εδαφική επιτάχυνση $A=0.36g$. Στο σχήμα 3 φαίνονται και τα φάσματα απόκρισης των δύο συνιστωσών (καταγραφή κυρίου σεισμού στο Νοσοκομείο της Λευκάδας) τα οποία συγκρίνονται με τα φάσματα σχεδιασμού του ΕΑΚ-2000, καθώς και με τις αντίστοιχες διατάξεις του παλαιού κανονισμού 1959/1984. Σημειώνεται ότι, επειδή οι νέοι κανονισμοί (μετά το 1992) προβλέπουν διαστασιολόγηση με βάση τις οριακές καταστάσεις, γίνεται κατάλληλη αναγωγή των συντελεστών $\varepsilon=0.08$, 0.12 και 0.16 (που αντιστοιχούσαν σε διαστασιολόγηση με βάση τις επιτρεπόμενες τάσεις) και προκύπτουν οι συντελεστές $\varepsilon' = 0.14$, 0.21 και 0.27 αντίστοιχα.



Σχήμα 3: Ελαστικά φάσματα απόκρισης κύριου σεισμού (14/8/2003) σε σύγκριση με το φάσμα σχεδιασμού του ΕΑΚ-2000 και τον κανονισμό του 1959/1984.

3.2. Κατανομή των βλαβών στο νησί

3.2.1. Γεωγραφική κατανομή των κτιρίων με βλάβες

Ο σεισμός της 14^{ης} Αυγούστου του 2003 προκάλεσε βλάβες κυρίως στη νήσο της Λευ-

κάδας. Επίσης, βλάβες αναφέρθηκαν στους Νομούς Θεσπρωτίας και Αιτωλοακαρνανίας καθώς και στη νήσο της Κεφαλονιάς. Αρκετές βλάβες παρατηρήθηκαν σε οικισμούς του Δήμου Σφακιωτών (Λαζαράτα, Σπανοχώρι, Ασπρογερακάτα, Κάβαλλος, Πινακοχώρι και Καρυά) οι οποίες σε αρκετές περιπτώσεις είναι ίδιας έντασης με αυτές του Δήμου Λευκάδας. Βλάβες μικρότερης έκτασης και έντασης σε κτίρια παρατηρήθηκαν και σε οικισμούς των άλλων τριών δήμων του νησιού, Απολλωνίας, Καρυάς και Ελλομένου. Σε ορισμένους απ' αυτούς τους οικισμούς εντοπίζονται βλάβες σχετικά υψηλής έντασης (π.χ. οικισμός Δράγανο), κυρίως σε παλαιά λιθόκτιστα κτίρια. Μια εκτίμηση της έντασης σε κλίμακα Mercalli στο ιστορικό κέντρο της Λευκάδας είναι μεταξύ VII και VIII.

3.2.2. Αίτια βλαβών ανάλογα με το δομικό σύστημα

3.2.2.1. Λιθόκτιστα κτίρια

Πρόκειται κυρίως για παλαιά κτίρια κατοικιών ή αποθηκευτικών χώρων, ενός ή δύο ορόφων. Η εμφάνιση βλαβών σ' αυτά αποδίδεται κυρίως στην υψηλή τρωτότητα λόγω έλλειψης συντήρησης.

3.2.2.2. Παραδοσιακά κτίρια με μικτό διπλό δομικό σύστημα

Τα κτίρια αυτά αποτελούνται από 2 έως 3 ορόφους. Το πρωτεύον δομικό σύστημα στο ισόγειο είναι λιθόκτιστη τοιχοποιία, με δευτερεύον δομικό σύστημα ξύλινο σκελετό, εσωτερικά της λιθοδομής. Ο ξύλινος σκελετός (με πλήρωση από οπτοπλίνθους και εξωτερικά φύλλα από λαμαρίνα για προστασία από τη βροχή) επεκτείνεται και στους ανώτερους (έναν ή δύο) ορόφους, αποτελώντας το φέρον δομικό σύστημα για τους ορόφους αυτούς. Κάτω από τα θεμέλια της λιθόκτιστης τοιχοποιίας του ισογείου τοποθετούνται, συνήθως εντός της στάθμης του υπόγειου ύδατος, τρεις επάλληλες στρώσεις ξύλινων οριζόντιων δοκών μήκους 2.0m περίπου, προς αποφυγή διαφορικών καθιζήσεων. Στην περίπτωση ισχυρών σεισμών η τοιχοποιία του ισογείου λόγω της μεγάλης οριζόντιας δυσκαμψίας που διαθέτει αναλαμβάνει μεγάλη σεισμική τέμνουσα βάση και συνήθως αστοχεί μερικώς. Στην περίπτωση αυτή ενεργοποιείται το δευτερεύον δομικό σύστημα που είναι το ξύλινο πλαίσιο προς παραλαβή και μεταφορά των φορτίων βαρύτητας στο έδαφος, χωρίς το κτίριο να καταρρεύσει.

3.2.2.3. Κτίρια από Ο/Σ

Στο ιστορικό κέντρο της πόλης μικρό ποσοστό κτιρίων είναι κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα 2 έως 4 ορόφων. Η μοναδική περίπτωση κατάρρευσης κτιρίου από Ο/Σ επισημάνθηκε στην περιοχή «Νεάπολη», επί της οδού Δ. Ζαμπέλη. Πρόκειται για τριώροφο κτίριο με λειτουργία κοντών υποστυλωμάτων στην πρόσοψη και ισχυρή μπατική τοιχοποιία στο πίσω τμήμα (σχήμα 4).

Οι πλέον συστηματικές βλάβες σε κτίρια από Ο/Σ και τα αίτια που τις προκάλεσαν, είναι:

- Αστοχίες σε κατακόρυφα στοιχεία του ισόγειου σε κτίρια με σύστημα pilotis.
- Αστοχίες σε κατακόρυφα δομικά στοιχεία του ισόγειου λόγω έκκεντρης τοποθέτησης τοίχων πλήρωσης στο ισόγειο.
- Διατμητική αστοχία τοιχίων Ο/Σ λόγω μη επαρκούς εγκάρσιου οπλισμού.
- Καμπτοδιατμητικές αστοχίες σε υποστυλώματα λόγω μη επαρκούς διαστασιολόγησης (συνδετήρων κ.λπ.).
- Αστοχίες κοντών υποστυλωμάτων τα οποία διαμορφώνονται κυρίως λόγω της κατασκευής φεγγίτη.
- Αστοχίες σε κόμβους δοκών υποστυλωμάτων λόγω σφήνωσης των τοιχοπληρώσεων που συμβάλουν σ' αυτούς.
- Αστοχίες καμπτικού τύπου στα άκρα δοκών Ο/Σ. Οι αστοχίες αυτές έχουν σχετικά ευεργετική συνεισφορά στη συνολική συμπεριφορά του κτιρίου, διότι αποτρέπουν (μερικώς) την εμφάνιση βλαβών σε κατακόρυφα στοιχεία, οι οποίες επηρεάζουν σημαντικά την ευστάθεια του κτιρίου.
- Αστοχίες σε τοίχους πλήρωσης (διατμητικές χιαστί, αποκόλληση από το περιβάλλον πλαίσιο, μετακίνηση εκτός επιπέδου).

3.2.2.4. Μεσαιωνικά και μεταγενέστερα μνημεία

Οι περισσότερες βλάβες παρατηρήθηκαν σε εκκλησίες του νησιού, πολλές από τις οποίες (κυρίως στην πόλη της Λευκάδας) δεν λειτούργησαν μέχρι τη λήψη μέτρων αποκατάστασης των ζημιών. Οι τυπικές βλάβες αφορούσαν ρηγματώσεις στους περιμετρικούς τοίχους, καθώς και στις γωνίες συμβολής των εξωτερικών λιθοδομών.



Σχήμα 4: Το κτίριο (τριώροφο+σοφίτα) της οδού Ζαμπέλη που κατέρρευσε

4. ΩΣ ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Το παρόν κείμενο αποτελεί πρόδρομη και συνοπτική εικόνα του ολοκληρωμένου κειμένου το οποίο θα ακολουθήσει σχετικά με το σεισμό της 14^{ης} Αυγούστου 2003 στην Λευκάδα και τις επιπτώσεις του. **Το πλήρες κείμενο θα δημοσιευθεί σύντομα σε ειδική επιστημονική έκδοση του Τ.Ε.Ε., το οποίο και ευχαριστούμε θερμά για την αμέριστη υποστήριξη του έργου του ΙΤΣΑΚ και τη διάδοσή του στο ευρύτερο τεχνικό και επιστημονικό κοινό.**