

# Ο Σεισμός της Λευκάδας της 14<sup>ης</sup> Αυγούστου του 2003 ( $M_w=6.2$ ). Η Απόκριση των Κατασκευών και οι Επιπτώσεις του στο Νησί της Λευκάδας

## The Lefkas Earthquake on 14<sup>th</sup> August 2003 ( $M_w=6.2$ ). Response of the Structures and the Effects on Lefkas Island

†Πέτρος ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ<sup>1</sup>, Αναστάσιος ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΗΣ<sup>2</sup>, Μίλτων ΔΗΜΟΣΘΕΝΟΥΣ<sup>3</sup>,  
Νίκος ΘΕΟΔΟΥΛΙΔΗΣ<sup>4</sup>, Χρήστος ΚΑΡΑΚΩΣΤΑΣ<sup>5</sup>, Νίκος ΚΛΗΜΗΣ<sup>6</sup>,  
Βασίλης ΛΕΚΙΔΗΣ<sup>7</sup>, Τριαντάφυλλος ΜΑΚΑΡΙΟΣ<sup>8</sup>, Κωνσταντία ΜΑΚΡΑ<sup>9</sup>,  
Βασίλης ΜΑΡΓΑΡΗΣ<sup>10</sup>, Χρήστος ΠΑΠΑΪΩΑΝΝΟΥ<sup>11</sup>, Αλέξανδρος ΣΑΒΒΑΪΔΗΣ<sup>12</sup>,  
Θωμάς ΣΑΛΟΝΙΚΙΟΣ<sup>13</sup>, Ισάμ ΣΟΥΣ<sup>14</sup>

Η εργασία αυτή αφιερώνεται στη μνήμη του συναδέλφου Ερευνητή του ΙΤΣΑΚ Δημητρίου Πέτρου, ως ελάχιστος φόρος τιμής στην ανεκτίμητη προσφορά του τόσο στο ΙΤΣΑΚ όσο και στην Επιστήμη που με συνέπεια υπηρέτησε.

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Στις 14 Αυγούστου 2003 και τοπική ώρα 08:15, ένας ισχυρός σεισμός μεγέθους  $M_w=6.2$ , με γεωγραφικό μήκος  $\lambda=20.5998^\circ\text{E}$  και γεωγραφικό πλάτος  $\varphi=38.7612^\circ\text{N}$ , έλαβε χώρα στη Λευκάδα. Το δίκτυο επιταχυνσιογράφων του Ινστιτούτου Τεχνικής Σεισμολογίας & Αντισεισμικών Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ) κατέγραψε την ισχυρή εδαφική σεισμική κίνηση, ενώ κλιμάκια από ερευνητές του ΙΤΣΑΚ μετέβησαν στο νησί της Λευκάδος για τη συστηματικότερη αξιολόγηση των επιπτώσεων του σεισμού στο νησί και για πύκνωση του δικτύου επιταχυνσιογράφων στη Λευκάδα προς διερεύνηση της επιρροής στη σεισμική κίνηση των τοπικών εδαφικών χαρακτηριστικών της πόλης της Λευκάδας. 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. Επίσης, 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

<sup>1</sup> Κύριος Ερευνητής Ινστ. Τεχν. Σεισμ.& Αντισεισμ. Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ), Θεσ/νίκη

<sup>2</sup> Λέκτορας Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ, Θεσ/νίκη, email: [anas@civil.auth.gr](mailto:anas@civil.auth.gr)

<sup>3</sup> Κύριος Ερευνητής Ινστ. Τεχν. Σεισμ.& Αντισεισμ. Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ), Θεσ/νίκη, email: [demilton@itsak.gr](mailto:demilton@itsak.gr)

<sup>4</sup> Δ/ντής Ερευνών Ινστ. Τεχν. Σεισμ.& Αντισεισμ. Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ), Θεσ/νίκη, email: [ntheo@itsak.gr](mailto:ntheo@itsak.gr)

<sup>5</sup> Δ/ντής Ερευνών Ινστ. Τεχν. Σεισμ.& Αντισεισμ. Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ), Θεσ/νίκη, email: [christos@itsak.gr](mailto:christos@itsak.gr)

<sup>6</sup> Κύριος Ερευνητής Ινστ. Τεχν. Σεισμ.& Αντισεισμ. Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ), Θεσ/νίκη, email: [klimis@itsak.gr](mailto:klimis@itsak.gr)

<sup>7</sup> Δ/ντής Ερευνών Ινστ. Τεχν. Σεισμ.& Αντισεισμ. Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ), Θεσ/νίκη, email: [lekidis@itsak.gr](mailto:lekidis@itsak.gr)

<sup>8</sup> Εντετ. Ερευνητής Ινστ. Τεχν. Σεισμ.& Αντισεισμ. Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ), Θεσ/νίκη, email: [makarios@itsak.gr](mailto:makarios@itsak.gr)

<sup>9</sup> Εντετ. Ερευνητής Ινστ. Τεχν. Σεισμ.& Αντισεισμ. Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ), Θεσ/νίκη, email: [makra@itsak.gr](mailto:makra@itsak.gr)

<sup>10</sup> Δ/ντής Ερευνών Ινστ. Τεχν. Σεισμ.& Αντισεισμ. Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ), Θεσ/νίκη, email: [margaris@itsak.gr](mailto:margaris@itsak.gr)

<sup>11</sup> Κύριος Ερευνητής Ινστ. Τεχν. Σεισμ.& Αντισεισμ. Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ), Θεσ/νίκη, email: [chpapai@itsak.gr](mailto:chpapai@itsak.gr)

<sup>12</sup> Εντετ. Ερευνητής Ινστ. Τεχν. Σεισμ.& Αντισεισμ. Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ), Θεσ/νίκη, email: [alekos@itsak.gr](mailto:alekos@itsak.gr)

<sup>13</sup> Κύριος Ερευνητής Ινστ. Τεχν. Σεισμ.& Αντισεισμ. Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ), Θεσ/νίκη, email: [salonikios@itsak.gr](mailto:salonikios@itsak.gr)

<sup>14</sup> Επικ. Καθηγητής ΤΕΙ Σεργρών, email: [sous@teiser.gr](mailto:sous@teiser.gr)

βλάβες σε μνημεία και παρατίθενται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τον υπόψη σεισμό της Λευκάδας.

**ABSTRACT** : The present article refers to the strong seismic ground motion that took place at the Lefkas island in western Greece on August 14, 2003 due to M=6.2 Earthquake. The seismic response of the buildings, as established by numerous in-situ investigations by the research team, is presented. For an integrated presentation, first some basic seismological issues are given, as well as a short description of failures of geotechnical nature. Buildings in the area are classified according to their structural system, and the response and damage observed in each structural category is presented. The response spectra of the strong ground motion are compared with both contemporary and past Greek seismic code provisions, and their effect on damage observed is discussed. However, despite the strong ground motion was high, damages of the buildings were limited, while a documented suitable explanation is given for it.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις 14 Αυγούστου 2003 και ώρα Ελλάδος 08:15 έγινε ένας ισχυρός σεισμός μεγέθους M=6.2 στη Λευκάδα, το επίκεντρο του οποίου εντοπίζεται στη περιοχή με συντεταγμένες  $\varphi=38.76N^\circ$  και  $\lambda=20.60E^\circ$ . Σύμφωνα με τις προκαταρκτικές αναλύσεις διεθνών σεισμολογικών κέντρων (Harvard, 2003; USGS, 2003) αλλά και από σχετικές εργασίες (Karakostas et al., 2004; Benetatos et al. 2005) φαίνεται ότι ο συγκεκριμένος σεισμός προκλήθηκε από ένα σεισμογόνο ρήγμα το οποίο έχει προκαλέσει επανειλημμένα ισχυρούς σεισμούς στην περιοχή της Λευκάδας. Ο πλέον πρόσφατος ισχυρός σεισμός με σημαντικές ζημιές έγινε το 1948 και είχε μέγεθος M=6.4 (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003). Στην περιοχή επικρατούν διαρρήξεις παράταξης και σε τέτοια διάρρηξη οφείλεται και ο σεισμός της 14<sup>ης</sup> Αυγούστου 2003 (Παπαζάχος και συν. 2001; Harvard, 2003; USGS, 2003). Η ισχυρή δόνηση του κύριου σεισμού έγινε αισθητή σε μεγάλη έκταση τόσο κατά μήκος του Ελληνικού τόξου όσο και στην ηπειρωτική Ελλάδα. Τον κύριο σεισμό ακολούθησαν ισχυροί μετασεισμοί. Ο κύριος σεισμός καταγράφηκε από το δίκτυο επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ καλύπτοντας χωρικά μία εκτεταμένη έκταση τόσο κατά μήκος του Ελληνικού τόξου όσο και της Δυτικής Ελλάδας. Από το ίδιο δίκτυο επιταχυνσιογράφων, καταγράφηκαν και οι ισχυρότεροι μετασεισμοί της σεισμικής ακολουθίας.

Στην εργασία αυτή δίνονται πληροφορίες για την κατανομή και τα χαρακτηριστικά της ισχυρής σεισμικής κίνησης του σεισμού της 14<sup>ης</sup> Αυγούστου 2003 και την απόκριση του φυσικού και δομημένου περιβάλλοντος της Λευκάδας εξαιτίας του σεισμού αυτού. Οι παράμετροι εστίας του σεισμού αυτού και η μετασεισμική ακολουθία έχουν παρουσιαστεί σε προηγούμενες εργασίες (Margaris et al. 2003; Karakostas et al., 2004; Benetatos et al. 2005; 2007).

## ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΗΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Η ισχυρή σεισμική δόνηση μεγέθους M=6.2, που συνέβη στο ΒΔ τμήμα της Λευκάδας έγινε επίσης ιδιαίτερα αισθητή και στους Νομούς Πρεβέζης, Αιτωλοακαρνανίας, Κεφαλληνίας Ιθάκης και Άρτας. Η ισχυρή εδαφική κίνηση του σεισμού καταγράφηκε από το μόνιμο δίκτυο επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ. Τα όργανα καταγραφής ισχυρής κίνησης που διεγέρθηκαν

από το σεισμό βρίσκονται εγκατεστημένα στις πόλεις, Λευκάδα (LEF1), Πρέβεζα (PRE1), Αμφιλοχία (AML1), Αγρίνιο (AGR1), Αργοστόλι (ARG1), Ζάκυνθο (ZAK1) και Βαρθολομιό (VAR1) η γεωγραφική κατανομή των οποίων δίνεται στο σχήμα (1). Τα παραπάνω όργανα τα οποία κατέγραψαν την ισχυρή κίνηση είναι ψηφιακού τύπου QDR της εταιρείας KINEMETRICS εκτός από το όργανο στο Βαρθολομιό που είναι τύπου ETNA της ίδιας εταιρείας.

Την ίδια μέρα με το χρόνο γένεσης του σεισμού, κλιμάκιο του ΙΤΣΑΚ μετέβη στη Λευκάδα και εγκατέστησε προσωρινό δίκτυο επιταχυνσιογράφων. Η εγκατάσταση των οργάνων είχε ως στόχο την παρακολούθηση της σεισμικής κίνησης κυρίως σε θέσεις όπου παρατηρήθηκαν βλάβες και σε διάφορες εδαφικές συνθήκες. Συνολικά εγκαταστάθηκαν 6 (έξι) επιταχυνσιογράφοι τύπου CMG5TD της εταιρείας Guralp. Τα ονόματα των σταθμών του μόνιμου και του προσωρινού δικτύου που εγκαταστάθηκαν στη Ν. Λευκάδας καθώς επίσης και οι θέσεις τους δίνονται στον Πίνακα (1).

**Πίνακας 1.** Στοιχεία μόνιμου και προσωρινού δικτύου επιταχυνσιογράφων στη Νήσο της Λευκάδας.

Όνομα	Τύπος	Πόλη/Χωριό	Θέση	Φορέας	Τύπος Δικτύου
LEF1	QDR	ΛΕΥΚΑΔΑ	Νοσοκομείο	ΙΤΣΑΚ	Μόνιμο
VAS1	QDR	ΒΑΣΙΛΙΚΗ	Αστυνομία	ΙΤΣΑΚ	Μόνιμο
LEF2	GURALP	ΛΕΥΚΑΔΑ	Δημαρχείο	ΙΤΣΑΚ	Προσωρινό
LEF3	GURALP	ΛΕΥΚΑΔΑ	Μαρίνα Λευκάς	ΙΤΣΑΚ	Προσωρινό
LEF4	GURALP	ΛΕΥΚΑΔΑ	Δ/ση Δασών	ΙΤΣΑΚ	Προσωρινό
LEFH	GURALP	ΛΕΥΚΑΔΑ	Νοσοκομείο	ΑΠΘ	Προσωρινό
LEF5	GURALP	ΦΡΥΝΗ	Μ.Φανερωμένης	ΙΤΣΑΚ	Προσωρινό
LEFZ	GURALP	ΛΑΖΑΡΑΤΕΣ	Δημαρχείο	ΑΠΘ	Προσωρινό

Στο σχήμα (2) παρουσιάζονται οι θέσεις των επιταχυνσιογράφων του προσωρινού δικτύου που εγκαταστάθηκε στη Νήσο της Λευκάδας. Στη μεγέθυνση στο άνω αριστερά τμήμα του σχήματος δίνονται τα όργανα που είναι εγκατεστημένα στην πόλη της Λευκάδας. Στη θέση του Νοσοκομείου της Λευκάδας (κόκκινος κύκλος) υπάρχει εκτός από το όργανο του προσωρινού δικτύου (LEFH) και όργανο του μόνιμου δικτύου επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ (LEF1).

Τα επιταχυνσιογράμματα του κύριου σεισμού είναι δυνατό να μας δώσουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά της ισχυρής σεισμικής κίνησης όπως οι μέγιστες εδαφικές τιμές της επιτάχυνσης,  $rga$ , ταχύτητας,  $rgv$ , μετάθεσης,  $rgd$ , καθώς και οι φασματικές τιμές των. Τα χαρακτηριστικά αυτά υπολογίζονται με βάση τις διορθωμένες καταγραφές ισχυρής κίνησης. Όλες οι καταγραφές από τον κύριο σεισμό επεξεργάστηκαν και διορθώθηκαν με βάση την πάγια διαδικασία η οποία εφαρμόζεται στο ΙΤΣΑΚ. Ο καθορισμός των ψηφιακών φίλτρων της διόρθωσης εκτιμήθηκε με βάση τη διαδικασία σήματος προς θόρυβο προκειμένου οι καταγραφές κυρίως των απομακρυσμένων σταθμών

των οποίων το συχνοτικό περιεχόμενό τους βρίσκεται στο όριο του θορύβου να απομονώσουν το συχνοτικό περιεχόμενο του σήματος σε σχέση με αυτό του θορύβου. Οι μέγιστες εδαφικές τιμές των παραμέτρων ισχυρής κίνησης δίνονται στον Πίνακα (2).

Στο σχήμα (3) δίνονται οι διορθωμένες συνιστώσες των επιταχυνσιογραμμάτων του κύριου σεισμού με τις υψηλότερες τιμές για τη Λευκάδα και την Πρέβεζα. Χαρακτηριστικό των καταγραφών του σχήματος (3) είναι η μεγάλη διάρκεια της ισχυρής κίνησης η οποία για τη καταγραφή της Λευκάδας ήταν 18sec. Τα φάσματα απόκρισης επιτάχυνσης των καταγραφών για τις δύο αυτές θέσεις φαίνονται στο σχήμα (4) για ποσοστό ισοδύναμης ιξώδους απόσβεσης  $\zeta=5\%$  επί της κρίσιμης.

**Πίνακας 2.** Μέγιστες εδαφικές τιμές επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μεταθέσεων του σεισμού της 14<sup>ης</sup> Αυγούστου 2003.

A/A	Θέση	Κωδικός	ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ (cm/sec <sup>2</sup> )			ΤΑΧΥΤΗΤΑ (cm/sec)			ΜΕΤΑΘΕΣΗ (cm)		
			L*	V*	T*	L	V	T	L	V	T
1	Λευκάδα	<b>LEF10302</b>	333.4	185.6	408.6	29.7	9.9	31.7	4.3	2.3	4.6
2	Πρέβεζα	<b>PRE10301</b>	153.3	57.9	141.9	15.1	3.3	13.8	1.5	0.6	1.8
3	Αμφιλοχία	<b>AMF10301</b>	28.6	17.5	28.7	1.4	0.5	0.9	0.08	0.03	0.07
4	Αργοστόλι	<b>ARG10301</b>	81.6	30.0	50.7	3.4	1.3	3.1	0.24	0.15	0.25
5	Αγρίνιο	<b>AGR10301</b>	28.6	12.7	30.4	2.3	0.8	2.1	0.24	0.09	0.21
6	Ζάκυνθος	<b>ZAK10201</b>	23.2	11.7	28.2	2.6	0.9	2.3	0.37	0.14	0.36
7	Βαρθο/μιο	<b>VAR10317</b>	18.7	7.4	19.5	2.0	0.7	2.3	0.38	0.14	0.35

**L\*:** Επιμήκης Συνιστώσα    **V\*:** Κατακόρυφη Συνιστώσα    **T\*:** Εγκάρσια Συνιστώσα

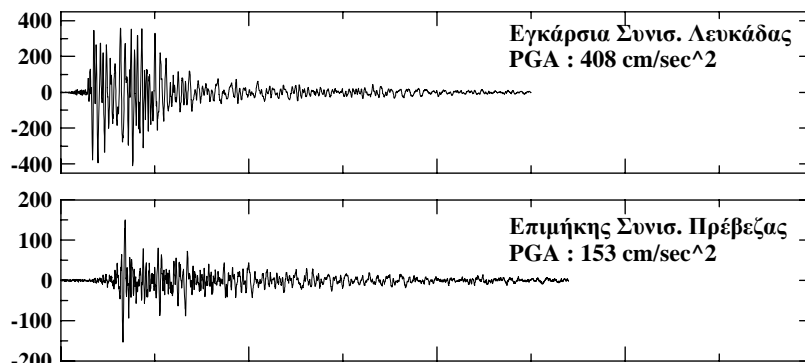
Γεωλογικά, η περιοχή της πόλης Λευκάδας δομείται από σύγχρονες αλλουβιακές προσχώσεις, ήτοι παράκτιους αμμώδεις σχηματισμούς, και λιμνοθαλάσσιες ιλυώδεις αποθέσεις, πλευρικές αποθέσεις που επικάθονται του μαργαϊκού υποβάθρου. Σ' ολόκληρο το μήκος του 'ζωστήρα' η ακτή συνίσταται από συμπαγές παράκτιο ψηφιδωπαγές, ενώ το εσωτερικό αποτελείται από αμμοίλυδεις σχηματισμούς. Στο βόρειο τμήμα της Λευκάδας υπάρχουν τεχνητές επιχώσεις και έχουν αναφερθεί καθιζήσεις στην περιοχή του ιστορικού κέντρου και της προκουμιάς. Σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ/2000), το υπέδαφος στην πόλη της Λευκάδας κατατάσσεται στην κατηγορία εδάφους Γ, ενώ σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 (CEN/TC250/SC8/N317, 2002) κατατάσσεται στην κατηγορία εδάφους C ή στην κατηγορία E στην περίπτωση που ο υποκείμενος εδαφικός σχηματισμός (αργιλική μάργα) χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλές τιμές της ταχύτητας διάδοσης των διατμητικών κυμάτων ( $V_{s,30}>800\text{m/sec}$ ).



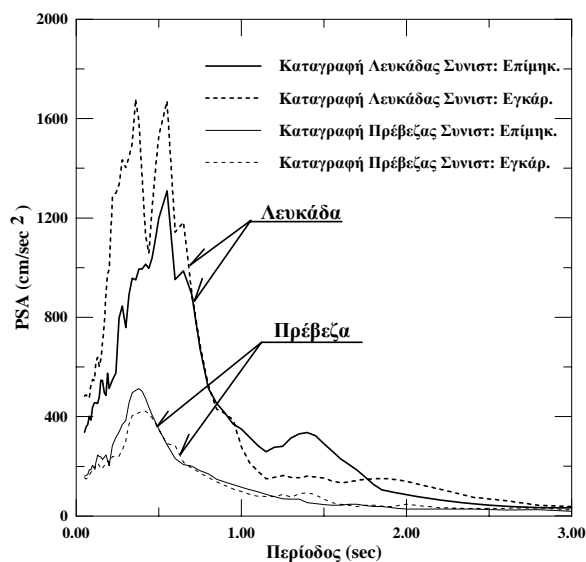
Σχήμα 1. Σταθμοί επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ στην ευρύτερη περιοχή.



Σχήμα 2. Μετασεισμικό δίκτυο επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ



Σχήμα 3. Οριζόντιες σεισμικές συνιστώσες καταγραφών ισχυρής κίνησης στην Λευκάδα και στην Πρέβεζα του κύριου σεισμού της Λευκάδας (14/08/2003).



Σχήμα 4. Φάσματα απόκρισης επιταχύνσεων ( $\zeta=5\%$ ) των δύο οριζόντιων συνιστωσών των καταγραφών ισχυρής κίνησης στις θέσεις της Λευκάδας και της Πρέβεζας.

## ΒΛΑΒΕΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑ

Κατά το σεισμό της Λευκάδας της 14ης/08/2003 ο ρόλος του εδάφους ήταν σημαντικός με αποτέλεσμα να εμφανισθούν ποικιλόμορφες βλάβες ανάλογα με τις κρατούσες γεωτεχνικές-γεωλογικές και γεωμορφολογικές συνθήκες. Εμφανίσθηκαν έντονες εδαφικές αστοχίες σε μη δομημένες περιοχές. Στην παραλιακή ζώνη της Λευκάδας και στο ιστορικό κέντρο της πόλης, αναπτύχθηκαν φαινόμενα ρευστοποίησης καθότι πολλά υπόγεια κατοικιών πλημμύρησαν με λάσπη από λεπτόκοκκο υλικό που ανάβλυσε ως παχύρρευστο υγρό. Σε αρκετά από τα λιμάνια και τις μαρίνες του νησιού διαπιστώθηκαν μέτριες έως σοβαρής μορφής βλάβες σε αποβάθρες, κρηπιδότοιχους, λιμενοβραχίονες και στην επίχωση όπισθεν των ανωτέρω έργων. Πιο συγκεκριμένα, στη Λευκάδα επί των οδών Γκολέμη (σχ.5,6) και Σικελιανού (σχ.7), στην περιοχή της Μαρίνας καθώς επίσης και στο διάυλο (σχ.8,9) που οδηγεί στη Λευκάδα διαπιστώθηκαν οριζόντιες μετακινήσεις και στροφές κρηπιδοτοίχων, τμήματα των οποίων ανατράπηκαν κατά περίπτωση, καθιζήσεις-συνιζήσεις επιχώσεων όπισθεν των κρηπιδοτοίχων και ανάδυση λεπτόκοκκου εδαφικού υλικού. Στην προβλήτα του οικισμού Βασιλική παρατηρήθηκε ομοιόμορφη αποκόλληση του κρηπιδότοιχου οριζόντιας μετακίνησης περίπου 15cm. Παρόμοια προβλήματα ακόμα υπήρξαν και στην περιοχή της επέκτασης του παλαιού λιμανιού της Βασιλικής, σε αντίθεση με το παλαιό λιμάνι το οποίο δεν παρουσίασε βλάβες. Επίσης, στο λιμάνι του οικισμού Λυγιά ανατράπηκαν τμήματα κρηπιδοτοίχων, ενώ στο λιμένα του οικισμού Νυδρί παρουσιάσθηκε και εκεί το φαινόμενο της ρευστοποίησης του εδάφους (σχ.10). Αστοχίες φυσικών πρανών, ορυγμάτων και επιχωμάτων οδοποιίας εμφανίσθηκαν τόσο κατά μήκος κυρίως του δυτικού άξονα που διατρέχει το νησί (Λευκάδα-Καλαμίτσι σχ.11) Αγ. Νικήτας-Πόρτο Κασιόκι) όσο και στους δευτερεύοντες δρόμους που οδηγούν στις απόκρημνες δυτικές παραλίες του νησιού. Μετά τον κύριο σεισμό της 14<sup>ης</sup> Αυγούστου 2003, παρατηρήθηκε προσωρινή τετράωρη διακοπή στο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με αποτέλεσμα τη διακοπή λειτουργίας του κεντρικού αντλιοστασίου και του δικτύου ύδρευσης στην πόλη της Λευκάδας. Δεν διαπιστώθηκαν σημαντικές βλάβες στα δίκτυα τηλεπικοινωνίας. Αντίθετα, το δίκτυο αποχέτευσης της Λευκάδας παρουσίασε βλάβες με σημαντικότερη αυτήν επί της συμβολής των οδών Αναπαύσεως και 8<sup>ης</sup> Μεραρχίας, με αποτέλεσμα την προσωρινή διακοπή της επεξεργασίας των λυμάτων της κεντρικής περιοχής της πόλης της Λευκάδας στην τοπική μονάδα βιολογικού καθαρισμού. Επίσης, υπήρξαν τοπικές βλάβες στο δίκτυο υδροδότησης, ειδικά στα σημεία σύνδεσης του δικτύου με τα κτίρια καθώς επίσης και με το δίκτυο πυρόσβεσης της πόλης (σχ.12).



**Σχήμα 5.** Λευκάδα – Οδ. Γκολέμη: Βυθίσεις επίχωσης όπισθεν κρηπιδότοιχου



**Σχήμα 6.** Λευκάδα – Οδ. Γκολέμη: Ρευστοποίηση εδάφους με ανάδυση λεπτόκοκκου υλικού.



**Σχήμα 7.** Λευκάδα – Οδ. Σικελιανού: Οριζόντια μετακίνηση 10 όπισθεν του κρηπιδοτόιχου  
**Σχήμα 8.** Λευκάδα – Δίαυλος εισόδου: Καθιζήσεις επιχώματος κρηπιδοτόιχου



**Σχήμα 9.** Λευκάδα – Είσοδος (βορείως της πλωτής γέφυρας): Αστοχία κρηπιδώματος.  
**Σχήμα 10.** Νυδρί – Λιμένας: Ρευστοποίηση εδάφους με ανάδυση λεπτόκοκκου υλικού



**Σχήμα 11.** Καλαμίτσι: Αστοχία οδοστρώματος από κατολίσθηση επί του οδικού άξονα  
**Σχήμα 12.** Λευκάδα – Μαρίνα. Μετακίνηση και στροφή του πυροσβεστικού κρουνού

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΟΜΗΜΕΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

### Γενικά

Η πόλη της Λευκάδας συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ποσοστό του οικιστικού πλούτου του νησιού. Αποτελείται από το ιστορικό κέντρο όπου οικιστικά κυριαρχούν τα παλαιότερα και παραδοσιακά κτίρια χτισμένα σε μάλλον χαμηλής ποιότητας μαλακά εδάφη, ενώ ο υπόγειος υδάτινος ορίζοντας βρίσκεται υψηλά, σε βάθος μικρότερο των δύο μέτρων. Το ιστορικό κέντρο της πόλης περιβάλλεται από τις νεώτερες οικιστικές περιοχές Μπέη και Νεάπολη, όπου εκεί κυριαρχούν κτίρια από Ο/Σ, ενώ τα εδάφη είναι καλύτερης ποιότητας (συνεκτικότερα ή πυκνότερα). Η πόλη της Λευκάδας διαθέτει περί τα 2100 κτίρια, και η ένταση του κυρίως σεισμού στο ιστορικό κέντρο, ως ένας μακροσκοπικός δείκτης βλαβών, εκτιμήθηκε μεταξύ VII και VIII της τροποποιημένης κλίμακας Mercalli (MM).

### Βλάβες και Τύποι Κατασκευών στο νησί της Λευκάδας

Η πλειονότητα των κατασκευών που συναντώνται στο νησί της Λευκάδας 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 φέρουσα 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 δεσμάτα. 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 μικρό ποσοστό του δομικού πλούτου του νησιού και συναντώνται κυρίως στα χωριά. Στην πόλη της Λευκάδας αποτελούν περίπου το 6% του συνόλου των κτιρίων. Βλάβες (ρηγματώσεις και τοπικές καταρρεύσεις των λιθοδομών) σε κτίρια αυτού του τύπου παρατηρήθηκαν κυρίως σε οικισμούς στο δυτικό τμήμα του νησιού. Οι αστοχίες μπορεί να αποδοθούν κυρίως σε ελλιπή ή και σε ανύπαρκτα μέτρα σεισμικής προστασίας (σχεδόν όλα κτίστηκαν χωρίς τη συμμόρφωση σε κάποιον αντισεισμικό κανονισμό), καθώς και στην ήδη κακή κατάσταση τους πριν από το σεισμό (λόγω μεγάλης ηλικίας και ανεπαρκούς συντήρησης).
- *Κατηγορία Β. Παραδοσιακά κτίρια με αμιγή ξύλινο φέροντα σκελετό:* Πρόκειται για μία παραδοσιακή, ιδιαίτερα ελαφρά καθότι διαθέτουν μικρή μάζα, Λευκαδίτικη τυπολογία με αμιγή ξύλινο δομικό σύστημα ανάληψης των φορτίων, με ή χωρίς τοιχοπλήρωση από πλίνθους. Κτίρια αυτού του τύπου υπάρχουν μέχρι τριώροφα και λειτουργούν είτε ως κατοικίες, είτε ως επαγγελματικοί χώροι, ενώ πολλά εξ' αυτών είναι ηλικίας άνω των 100 ετών. Αποτελούν το 15% του συνόλου των κτιρίων της πόλης της Λευκάδας και απαντώνται σπάνια στους λοιπούς οικισμούς της Λευκάδας. Τα φατνώματα των ξύλινων πλαισίων έχουν διαγώνιες ράβδους για την παραλαβή των εγκαρσίων δυνάμεων. Στα κτίρια αυτά δεν παρουσιάστηκε βλάβη στο φέροντα ξύλινο σκελετό, πλην λίγων περιπτώσεων όπου είχε προηγηθεί αυθαίρετη αφαίρεση των ενισχυτικών



ξύλινων κομβογωνιών ή κάποιων διαγωνίων ράβδων από τους σημερινούς ιδιοκτήτες των κτιρίων, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη μεγάλων οριζόντιων μετατοπίσεων των ορόφων στις περιοχές αυτές.

- *Κατηγορία Γ. Παραδοσιακά κτίρια με διπλό δομικό σύστημα ανάληψης φορτίων από φέρουσα λιθοδομή και ξύλινο σκελετό:* Πρόκειται για μία παλιά Λευκαδίτικη τυπολογία με διπλό δομικό σύστημα ανάληψης σεισμικών φορτίων, το οποίο αποτελείται από φέρουσα λιθοδομή στο ισόγειο, στατικά συνεργαζόμενη με παράλληλο τρισδιάστατο ξύλινο πλαίσιο (σχ.14,15). Στους ορόφους που βρίσκονται άνω του ισογείου, ο ξύλινος τρισδιάστατος σκελετός συνεχίζεται, με ή χωρίς τοιχοπλήρωση από πλίνθους χτισμένους με ασβεστοκονίαμα. Κτίρια αυτού του τύπου υπάρχουν μέχρι τριώροφα και λειτουργούν είτε ως κατοικίες, είτε ως επαγγελματικοί χώροι, είτε ακόμα και για τη στέγαση διαφόρων Δημόσιων Υπηρεσιών, ενώ αποτελούν το 34% του συνόλου των κτιρίων της πόλης της Λευκάδας. Τα κτίρια αυτά συμπεριφέρθηκαν ικανοποιητικά παρά την παλαιότητά τους (που σε κάποιες περιπτώσεις ξεπερνά τα 150 έτη περίπου) και παρά την υψηλή αναπτυσσόμενη σεισμική εδαφική επιτάχυνση. Οι ξύλινοι σκελετοί των ανωτέρω ορόφων δεν παρουσίασαν βλάβες, αλλά παρατηρήθηκαν ρηγματώσεις στις πλινθοδομές πλήρωσης οι οποίες όμως ήταν ορατές μόνο από το εσωτερικό των σπιτιών, καθότι εξωτερικά τα κτίρια αυτά είναι καλυμμένα με λαμαρίνα έναντι προστασίας από τα όμβρια ύδατα. Λόγω της χρήσης της τρίστρωτης ξύλινης εσχάρας από οριζόντιες ξύλινες δοκούς κάτω από τα θεμέλια των λιθοδομών του ισογείου δεν παρατηρήθηκαν διαφορικές καθιζήσεις των θεμελίων, παρά την κακή ποιότητα των εδαφικών συνθηκών στο ιστορικό κέντρο της πόλης. Οι θέσεις εμφάνισης των βλαβών συμφωνούν και με τα αποτελέσματα σχετικών αριθμητικών αναλύσεων της δυναμικής συμπεριφοράς κτιρίων του τύπου αυτού που διεξήχθησαν στο ΙΤΣΑΚ (Μακάριος & Δημοσθένους (2004), Karakostas C. et al. (2005), Makarios & Demosthenous (2006)). Οι σοβαρές και εκτενείς βλάβες που παρατηρήθηκαν σε μερικά από τα κτίρια αυτού του τύπου, μπορούν να αποδοθούν στη μεγάλη τους ηλικία και την ελλιπή συντήρηση, με τη σεισμική διέγερση να επιβαρύνει την ήδη κακή τους κατάσταση. Σε κάθε περίπτωση, τα κτίρια αυτού του δομικού τύπου παρουσιάζουν ενδιαφέρον καθότι ενσωματώνουν, μέσα από παραδοσιακές κατασκευαστικές τεχνικές που είχαν αναπτυχθεί από τους κατοίκους της Λευκάδας πριν το 1800μ.χ., τη φιλοσοφία της ύπαρξης πολλαπλών γραμμών αντισεισμικής άμυνας σε μία κατασκευή (δύο κύρια διακριτά δομικά συστήματα συνεργαζόμενα μεταξύ τους, μέτρα περιορισμού των διαφορικών καθιζήσεων με ξύλινη υποθεμελίωση, ελαφρές κατασκευές στους πλέον του ισογείου ανώτερους ορόφους).
- *Κατηγορία Δ. Κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα (ο/σ):* Στην πλειονότητα τους είναι κτίρια κατοικιών, γραφείων ή ξενοδοχείων με φέροντα οργανισμό από επιτόπου εγχυνόμενο οπλισμένο σκυρόδεμα και τοιχοποιίες πλήρωσης από διάτρητα τούβλα με μέγιστο αριθμό ορόφων τέσσερα (και σε ελάχιστες περιπτώσεις υπάρχει πατάρι προσαυξάνοντας έμμεσα τον αριθμό ορόφων σε πέντε). Αποτελούν το 45% του συνόλου των κτιρίων της πόλης της Λευκάδας. 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. Μερικά από αυτά τα κτίρια έχουν υποστεί σημαντικές βλάβες στο φέροντα οργανισμό και στους τοίχους πλήρωσης, οι οποίες επεκτείνονται και στους ανώτερους ορόφους. Δυτικά του ιστορικού κέντρου αναπτύσσεται η περιοχή «Νεάπολη» και νότια η περιοχή «Μπέη», όπου η πλειονότητα των κτιρίων είναι από Ο/Σ, μέχρι 4 ορόφων, σε μερικά από αυτά επισημάνθηκαν επίσης περιπτώσεις με βλάβες στο φέροντα οργανισμό. Η μοναδική περίπτωση κατάρρευσης κτιρίου από Ο/Σ παρουσιάστηκε στην περιοχή «Νεάπολη», επί της οδού Δ. Ζαμπέλη. Πρόκειται για τριώροφο κτίριο με ισχυρή μπατική τοιχοποιία στο πίσω τμήμα του ισόγειου, ενώ στην πρόσοψη υπήρχαν μεγάλα ανοίγματα, δημιουργώντας έτσι φαινόμενα στρέψης. Επιπρόσθετα, στην πρόσοψη είχαν δημιουργηθεί «θέσει» κοντά υποστυλώματα, ενώ σημειώνεται ότι η κατασκευή του κτιρίου υπήρξε τμηματική (ισόγειο το 1969, πρώτος όροφος το 1975, δεύτερος το 1985 και προσθήκη ξύλινης σοφίτας αργότερα). Η κατάρρευση του κτιρίου αυτού αποδίδεται σε ειδικούς λόγους, που συνέτρεχαν μόνο στο υπόψη κτίριο. Ειδική μνεία φρονούμε ότι πρέπει να γίνει για το νέο Δημοτικό Θέατρο της Λευκάδας (το 2003 ήταν σε φάση κατασκευής), δίπλα στο νέο Δημαρχιακό Μέγαρο της πόλης, το οποίο αποτελούνταν από εύκαμπτο σκελετό ο/σ που περιβλήθηκε εξωτερικά από πλινθόκτιστη τοιχοποιία έξω από το πλαίσιο οπλισμένου σκυροδέματος (σχ.16-19). Στο κτίριο αυτό οι τοιχοποιίες αστόχησαν πλήρως διότι ήταν αδύνατο η ψαθυρή τοιχοποιία να παρακολουθήσει τις μεγαλύτερες ελαστικές μετατοπίσεις του εύκαμπτου σκελετού από ο/σ. Από την άλλη μεριά, πρέπει να τονισθεί ιδιαίτερα ότι η συντριπτική πλειονότητα των κτιρίων από ο/σ της πόλης της Λευκάδας συμπεριφέρθηκε πολύ καλά παρά τις υψηλές τιμές των μέγιστων εδαφικών επιταχύνσεων που αναπτύχθηκαν και αυτό οφείλεται στην εκτεταμένη χρήση των τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος σε συνδυασμό με την υψηλή ποιότητα δόμησης (Φωτ.20-33).

*Κατηγορία Ε. Μεσαιωνικά και μεταγενέστερα Μνημεία:* Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται κατασκευές με σημαντική πολιτιστική κληρονομιά όπως Μεσαιωνικά και μεταγενέστερα μνημεία (Ι. Ναοί, κάστρα), συνήθως χωρίς την ύπαρξη ιδιαίτερων αντισεισμικών μέτρων. Οι Ιεροί Ναοί υπέστησαν τις σοβαρότερες και εκτενέστερες βλάβες. Περισσότεροι από σαράντα Ιεροί Ναοί σε ολόκληρο το νησί (με την πλειονότητα αυτών στην πόλη της Λευκάδας), τέθηκαν εκτός λειτουργίας μέχρι να επισκευαστούν. Οι Ναοί στην Λευκάδα είναι κατασκευασμένοι από λιθόκτιστη περιμετρική τοιχοποιία, έχουν ορθογωνική κάτοψη και ξύλινη στέγη. Οι σοβαρότερες βλάβες (ρηγματώσεις) παρατηρήθηκαν στους περιμετρικούς τοίχους, καθώς επίσης και στις γωνίες συμβολής δύο εγκάρσιων τοίχων. Μερικοί από αυτούς έχρηζαν άμεσης τοπικής υποστύλωσης και υποστήριξης για αποτροπή περαιτέρω εκδήλωσης βλαβών με πιθανές καταρρεύσεις.

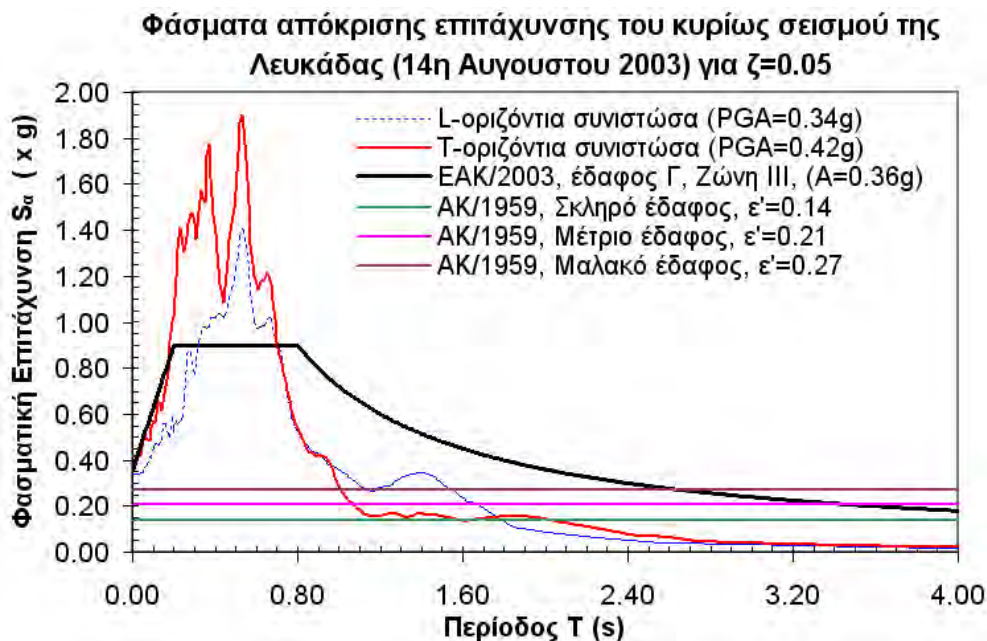
### **Αποτελέσματα Πρωτοβάθμιων Ελέγχων**

Με βάση στοιχεία που διατέθηκαν από το ΤΑΣ Λευκάδας υπολογίζεται ότι από το σύνολο των 2100 κτιρίων της πόλης της Λευκάδας, το 68.34% δεν εμφάνισε βλάβες, το 15.02% παρουσίασε ασήμαντες ή μικρές βλάβες κυρίως στα μη φέροντα στοιχεία, το 16.02% παρουσίασε σοβαρότερες αλλά επιδιορθώσιμες βλάβες στα φέροντα στοιχεία δυσκαμψίας και μόνο 13 κτίρια, ποσοστό 0.62%, εμφάνισαν σημαντικές βλάβες στο δομικό τους

σύστημα. Για ολόκληρο το νησί υποβλήθηκαν 3165 αιτήσεις για έλεγχο κτιρίων και από αυτά, τα 1544 χαρακτηρίστηκαν «πράσινα», 1495 «κίτρινα» και 126 «κόκκινα».

### Οι Ελληνικοί Αντισεισμικοί Κανονισμοί συγκριτικά με τον Σεισμό της 14.08.2003

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 της Λευκάδας. 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 της Λευκάδας δεν μεταβλήθηκαν θεωρώντας ότι η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού είναι  $A=0.36g$  ενισχυμένη κατά 2.50 για να ληφθεί η ελαστική φασματική τιμή σχεδιασμού για την ενδιάμεση περιοχή ιδιοπεριόδων. Σύμφωνα με τον ΑΚ/1959 ο σεισμικός συντελεστής (δηλ. η φασματική τιμή σχεδιασμού) για την Λευκάδα ήταν  $\varepsilon=0.08$ ,  $0.12$  και  $0.16$ , για εδάφη μικρής, μέτριας και μεγάλης σεισμικής επικινδυνότητας αντίστοιχα, και είχε σταθερή τιμή για όλες τις ιδιοπεριόδους των κατασκευών. Ανάγοντας κατάλληλα τις τιμές του σεισμικού συντελεστή  $\varepsilon$  ώστε να αντιστοιχούν στη μέθοδο διαστασιολόγησης βάσει των «οριακών καταστάσεων», οι διορθωμένες τιμές  $\varepsilon'$  του σεισμικού συντελεστή προκύπτουν  $0.14$ ,  $0.21$  και  $0.27$  αντίστοιχα (πολλαπλασιασμός επί τον μέσο συντελεστή ασφάλειας του χάλυβα  $1.70$  που χρησιμοποιούνταν στις επιτρεπόμενες τάσεις).



**Σχήμα 13.** Σύγκριση ελαστικών φασμάτων απόκρισης του σεισμού της 14/8/2003 με τα φάσματα σχεδιασμού του ΕΑΚ-2000 ( $\zeta=5\%$ ) και τους αντίστοιχους συντελεστές των προ του 1992 Ελληνικών Αντισεισμικών Κανονισμών. Η δεσπίζουσα περιοχή περιόδων είναι 0.3-0.7s.

Στο σχ.(13) 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 στην Λευκάδα. Η μέγιστη φασματική τιμή επιτάχυνσης της δυσμενέστερης οριζόντιας σεισμικής συνιστώσας της καταγραφής της Λευκάδας έφτασε στο 1.9g για ιδιοπερίοδο 0.53 sec. 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 σχήμα 13 καθίσταται προφανές ότι τα χαμηλού ύψους κτίρια ο/σ, με σχετικά μικρή μάζα και χαμηλή δεσπόζουσα θεμελιώδη ιδιοπερίοδο ( $T<0.15\div 0.20$  sec), τα οποία αποτελούν την πλειονότητα του δομικού πλούτου της Λευκάδας, δεν επιβαρύνθηκαν ιδιαίτερα, λόγω της μορφής του φάσματος απόκρισης του κύριου σεισμού.

### **Εικόνες Κατασκευών μετά το σεισμό.**

Στη συνέχεια, παρατίθενται ενδεικτικά εικόνες κατασκευών μετά το σεισμό από την επίσκεψη του κλιμακίου του ΙΤΣΑΚ στη σεισμόπληκτη περιοχή της Λευκάδας με κατάλληλα σχόλια για κάθε φωτογραφία.



**Σχήμα 14.** Παραδοσιακό κτίριο της Λευκάδας με το διπλό δομικό σύστημα (λιθόκτιστο ισόγειο και πολυώροφος τριδιάστατος ξύλινος σκελετός κατάλληλα συνεργαζόμενος με το λιθόκτιστο ισόγειο).



**Σχήμα 15.** Φάση κατασκευής του ξύλινου σκελετού σε ανακατασκευή παραδοσιακού κτιρίου με το διπλό δομικό σύστημα.



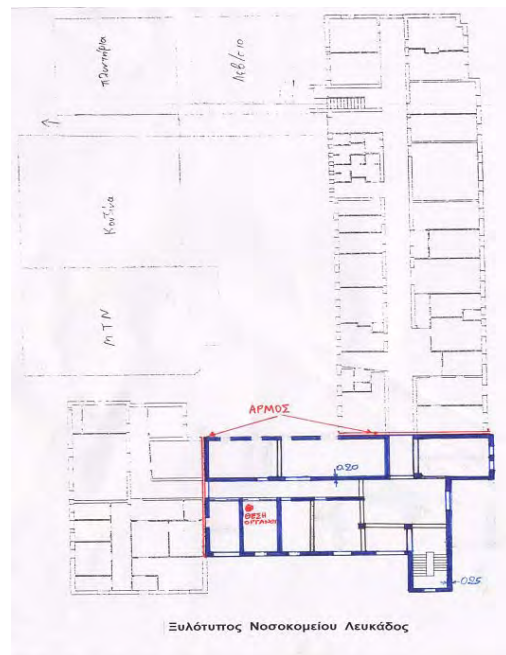
**Σχήμα 16.** Το 2003 ήταν υπό ανέγερση το νέο Δημοτικό Θέατρο της Λευκάδας.

**Σχήμα 17.** Η πλινθόκτιστη τοιχοποιία ήταν κατασκευασμένη εκτός πλαισίου ο/σ και αστόχησε. Η ψαθυρή τοιχοποιία δεν μπόρεσε να παρακολουθήσει ελαστικά τις μεγάλες σεισμικές μετακινήσεις του εύκαμπτου πλαισίου (σχ.19) από σπλισμένο σκυρόδεμα και αστόχησε.



**Σχήμα 18.** Η εσωτερική τοιχοποιία αστόχησε ύστερα από έντονη ταλάντωση εκτός επιπέδου.

**Σχήμα 19.** Μετά την καθαίρεση της τοιχοποιίας αποκαλύφθηκε ο εύκαμπος σκελετός ο/σ.



**Σχήμα 20.** Το Γενικό Νοσοκομείο της Λευκάδας (Γ.Ν.Λ.) δεν εμφάνισε βλάβη στο δομικό του σύστημα.

**Σχήμα 21.** Το Γ.Ν.Λ. κατασκευασμένο από το 1964 από τοιχώματα ο/σ πάχους 20cm και αρμούς.



**Σχήμα 22,23.** Εσωτερικό της πωλητής του σχ.24 όπου φαίνεται η εκτεταμένη χρήση τοιχωμάτων ο/σ.



**Σχήμα 24.** 4-ώροφο (1984) με πωλητή δεν εμφανίσε βλάβη λόγω εκτεταμένης χρήσης τοιχωμάτων.  
**Σχήμα 25.** Νεόκτιστο 3-ώροφο (2003), δεν εμφανίσε βλάβη λόγω εκτεταμένης χρήσης τοιχωμάτων.



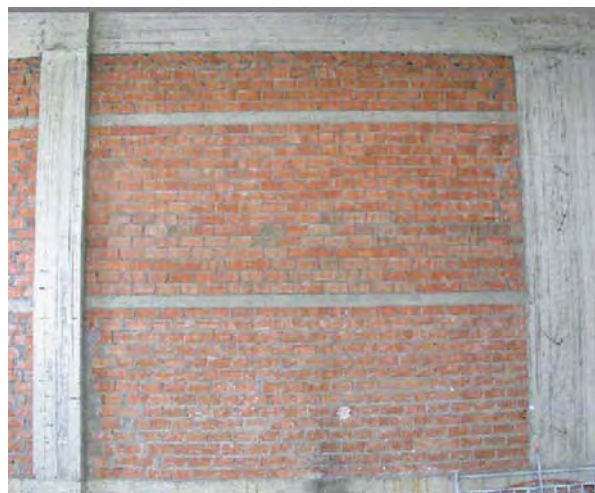
**Σχήμα 26, 27.** Εσωτερικό του κτιρίου του σχ.25, όπου φαίνεται η εκτεταμένη χρήση τοιχωμάτων ο/σ.



**Σχήμα 28, 29.** Κτίριο που το 2003 ήταν υπό κατασκευή. Φαίνεται η χρήση δύσκαμπτου σκελετού που συνδυάζεται με πολύ καλή πλινθόκτιστη τοιχοποιία μέσα σε περιβάλλον πλαίσιο ο/σ. Εδώ έχουμε συνδυασμό δύσκαμπτου σκελετού ο/σ με καλά δομημένη τοιχοποιία εντός του περιβάλλον πλαισίου (το ακριβώς αντίθετο από τις φωτογραφίες των σχ.16-19).



**Σχήμα 30, 31.** Χρήση δύσκαμπτου σκελετού με εκτεταμένη χρήση τοιχωμάτων ο/σ (βλ. σχ.28-29).



**Σχήμα 32, 33.** Υψηλή ποιότητα δόμησης τοιχοποιίας πλήρωσης στην Λευκάδα (κατασκ. 2003). Η υψηλή ποιότητα δόμησης δείχνει το υψηλό αίσθημα ευθύνης που διακατέχει τους εργατοτεχνίτες χτίστες της Λευκάδος (βλ. σχ.28-29).

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παρουσίαση και αξιολόγηση των στοιχείων που καταγράφηκαν ή συλλέχθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, προκύπτουν ορισμένα συμπεράσματα, τα οποία συνοψίζονται ως εξής:

1. Οι καταγραφές ισχυρής κίνησης οι οποίες συλλέχθηκαν από το σεισμό της Λευκάδας είναι από τις ισχυρότερες που έχουν παρατηρηθεί στον Ελληνικό χώρο τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο των συχνοτήτων. Το επιταχυνσιόγραμμα του κύριου σεισμού στην πόλη της Λευκάδας αποτελεί μία χαρακτηριστική καταγραφή ισχυρής κίνησης κοντινού πεδίου. Η ολοκλήρωση της ανάλυσης των καταγραφών του κύριου σεισμού αλλά κυρίως των σεισμικών διεγέρσεων της μετασεισμικής ακολουθίας από το ΙΤΣΑΚ, έχει δημιουργήσει μία πολύτιμη βάση δεδομένων ισχυρής κίνησης στο ΙΤΣΑΚ, που είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για περαιτέρω έρευνα σε θέματα αντισεισμικής τεχνολογίας και τεχνικής σεισμολογίας.
2. Ο σεισμός της 14<sup>ης</sup> Αυγούστου 2003 ανέδειξε και τον ιδιαίτερο και πολύπλευρο ρόλο του εδάφους, στη διαμόρφωση της ισχυρής σεισμικής κίνησης. Τούτο έγινε αντιληπτό από την ενίσχυση της σεισμικής δόνησης στην πόλη της Λευκάδας λόγω ύπαρξης ιδιαίτερων τοπικών εδαφικών συνθηκών, από την εμφάνιση έντονων πλευρικών εδαφικών μετατοπίσεων, καθιζήσεων και ρευστοποίησης του εδάφους και από τις αστοχίες φυσικών πρανών, τεχνητών πρανών ορυγμάτων και επιχωμάτων οδοποιίας που παρατηρήθηκαν.
3. Παρά τη σφοδρότητα της σεισμικής δόνησης, και τις προβληματικές εδαφικές συνθήκες της πόλης της Λευκάδας, οι βλάβες στα κτίρια ήταν περιορισμένες και αυτό οφειλόταν στους εξής λόγους:
  - Στο φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων όπου οι μέγιστες φασματικές τιμές επιτάχυνσης ήταν σε ιδιοπερίοδοι μεταξύ 0.20 έως 0.60sec και άρα τα κτίρια της Λευκάδος δεν καταπονήθηκαν με τις μέγιστες δυνατές φασματικές επιταχύνσεις διότι έχουν θεμελιώδη ιδιοπερίοδο κάτω από 0.20-0.25 sec.
  - Λόγω της συχνότητας των σεισμικών συμβάντων, οι κάτοικοι και οι τεχνίτες του νησιού έχουν αναπτυσσόμενη αντισεισμική συνείδηση δίνοντας ιδιαίτερη σημασία στην ποιότητα κατασκευής των κτιρίων. Έτσι εξηγείται η ανάπτυξη των παραδοσιακών αντισεισμικών κτιρίων με το διπλό δομικό σύστημα που είναι μία ντόπια εφεύρεση των κατοίκων της Λευκάδας. Ακόμη και τα σύγχρονα κτίρια από ο/σ έχουν υψηλή ποιότητα μελέτης & κατασκευής και εκτεταμένη χρήση των τοιχωμάτων ο/σ με τη δημιουργία δύσκαμπτων πλαισίων ο/σ που συνεργάζονται άριστα με τις επίσης υψηλής ποιότητας τοιχοπληρώσεις και εκεί αποδίδονται οι όντως περιορισμένες βλάβες στις κατασκευές αυτές.
4. Οι διάφορες βλάβες που παρατηρήθηκαν σε κτίρια ο/σ (κατάρρευση ενός κτιρίου και τοπικές αστοχίες στο φέροντα οργανισμό σε άλλες περιπτώσεις), αποδίδονται σε ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ανεπαρκούς σχεδιασμού που είχαν τα κτίρια και όχι τόσο στην υψηλή σεισμική διέγερση. Οι τοπικές βλάβες που παρατηρήθηκαν στα παραδοσιακά κτίρια (από λιθοδομή ή με διπλό φέροντα οργανισμό) αποδίδονται κυρίως στη μεγάλη ηλικία που έχουν και στην προϋπάρχουσα ανεπαρκή κατάσταση λόγω ελλιπούς συντήρησης. Σε πολλές περιπτώσεις οι αστοχίες περιορίστηκαν σε μη φέροντα



στοιχεία, όπως σε τοιχοποιίες πλήρωσης σε φέροντες οργανισμούς από ο/σ ή ξύλινους. Τέλος, σημειώνεται ότι σε πολλούς Ιερούς Ναούς αναπτύχθηκαν ρηγματώσεις στους φέροντες τοίχους από λιθοδομή, κυρίως στα σημεία εκείνα όπου είχαν βλαφτεί από προηγούμενους ισχυρούς σεισμούς του παρελθόντος χωρίς να επισκευαστούν επαρκώς με αποτέλεσμα να τεθούν εκτός λειτουργίας μέχρι να ληφθούν επισκευαστικά μέτρα.

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, πρώτον 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, πλαστικής καμπτικής αστοχίας αυτών έναντι της ψαθυρής διατμητικής αστοχίας) και δεύτερον 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 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 και κατά συνέπεια τη δραστική αλλαγή του προσομοιώματος, καθότι το προσομοίωμα του «γυμνού» πλαισίου δεν αποδίδει πλέον την πραγματικότητα και απαιτείται κατάλληλη μοντελοποίηση των σεισμικά φερόντων τοιχοποιιών.

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**

- Benetatos, Ch., Kiratzi, A., Roumelioti, Z., Stavrakakis, G., Drakatos, G. and I. Latoussakis (2005), "The 14 August 2003 Lefkada Island (Greece) earthquake: focal mechanisms of the mainshock and of the aftershock sequence". *J. Seismology*, 9, pp.171 - 190.
- Benetatos, C., Dreger, D. and A. Kiratzi (2007), "Complex and segmented rupture associated with the 14 August 2003 (Mw 6.2) Lefkada (Ionian Islands) earthquake". *Bull. Seism. Soc. Am.*, 97, pp. 35–51.
- Ι.Τ.Σ.Α.Κ: Αναστασιάδης Α, Δημητρίου Π, Δημοσθένους Μ, Θεοδουλίδης Ν, Καρακώστας Χ, Κλήμης Ν, Λεκίδης Β, Μακάριος Τ, Μάκρας Κ, Μάργαρης Β, Παπαϊωάννου Χ, Σαββαΐδης Α, Σαλονικιός Θ, Σους Ι., (2004), "Ο ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΛΕΥΚΑΔΑΣ (M=6.2), 14 Αυγούστου 2003, Ισχυρή Εδαφική Δόνηση - Συνέπειες του Σεισμού στο Δομημένο και Φυσικό

- Περιβάλλον". Ειδική βιβλιοδετημένη έκδοση ΤΕΕ, Επιστημονικές Εκδόσεις Τ.Ε.Ε., ISBN:960-8369-07-X.
- Karakostas Ch, Lekidis V, Makarios T, Salonikios Th, Sous I, Demosthenous M., (2005), "Seismic response of structures and infrastructure facilities during the Lefkada, Greece Earthquake of 14/8/2003". *Engineering Structures Journal*, 27, pp.213-227.
- Karakostas VG, Papadimitriou EE, Papazaxos BC, (2004), "Properties of the 2003 Lefkada, Ionian Islands, Greece, Earthquake Seismic Sequence and Seismicity Triggering". *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94 (5).
- Μακάριος Τ., Δημοσθένους Μ., (2004), "Σεισμική συμπεριφορά παραδοσιακών κτιρίων της Λευκάδας". *Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Εθνικού Συνεδρίου «Ήπιες επεμβάσεις για την προστασία ιστορικών κατασκευών»*, τόμος 2<sup>ος</sup>, Οκτώβριος, Θεσσαλονίκη, σελ.26-35.
- Makarios T, Demosthenous M. (2006). Seismic Response of Traditional Buildings of Lefkas Island, Greece. *Engineering Structures Journal*, v.28, 2, January, pp.264-278.
- Margaris B, Papaioannou Ch, Theodulidis N, Savaidis A, Anastasiadis A, Klimis N, Makra K, Demosthenous M, Karakostas Ch, Lekidis V, Makarios T, Salonikios T, Sous I., (2003), "The Lefkas (Greece) Earthquake of August 14, 2003: Preliminary Report on Strong Motion Data, Geotechnical and Structural Damage". *The 1<sup>st</sup> International Workshop on Earthquake Prediction, European Seismological Commission EPPO*, 6-7 November, Cultural Center of the Municipality of Athens, Athens, Greece.