



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΚΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (Ο.Α.Σ.Π.)

Μονάδα Έρευνας Ι.Τ.Σ.Α.Κ.

Οδός Δασυλίου, ΠΥΛΑΙΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

Τηλ. 2310476081-4, Fax 2310476085

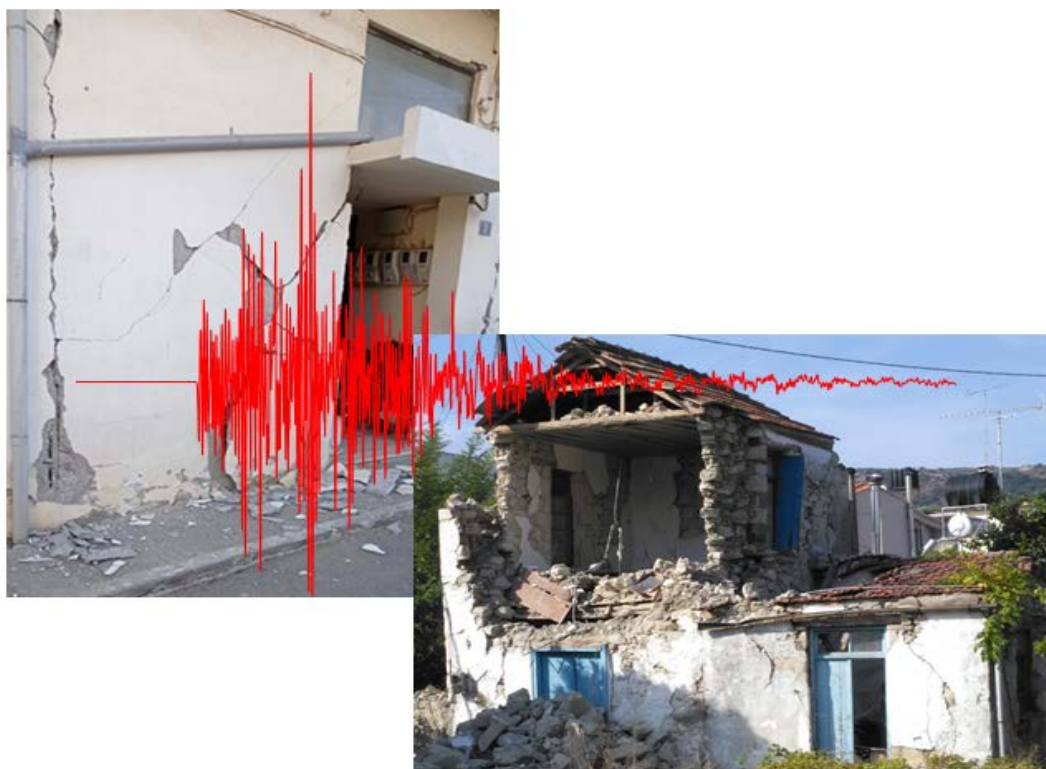
Ταχ. Διεύθυνση: Ταχ. Θυρίδα 22453 Φοίνικας, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 55102



ΣΕΙΣΜΟΙ ΑΡΚΑΛΟΧΩΡΙΟΥ

M 6.0 της 27/09/2021
&
M 5.3 της 28/09/2021

ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ
ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΩΝ ΤΟΥ ΙΤΣΑΚ
ΚΑΙ ΒΛΑΒΕΣ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΚΑΙ ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2021



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΚΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (Ο.Α.Σ.Π.)

Μονάδα Έρευνας Ι.Τ.Σ.Α.Κ.

Οδός Δασυλίου, ΠΥΛΑΙΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

Τηλ. 2310476081-4, Fax 2310476085

Ταχ. Διεύθυνση: Ταχ. Θυρίδα 22453 Φοίνικας, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 55102





ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΚΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (Ο.Α.Σ.Π.)

Μονάδα Έρευνας Ι.Τ.Σ.Α.Κ.

Οδός Δασυλίου, ΠΥΛΑΙΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

Τηλ. 2310476081-4, Fax 2310476085

Ταχ. Διεύθυνση: Ταχ. Θυρίδα 22453 Φοίνικας, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 55102



Στην έκθεση αυτή συμμετείχαν (αλφαβητικά) οι παρακάτω επιστήμονες του ΙΤΣΑΚ

Θεοδουλίδης Νικόλαος, Δρ Σεισμολόγος, Διευθυντής Ερευνών
Καρακώστας Χρήστος, Δρ Πολιτικός Μηχανικός, Διευθυντής Ερευνών
Κωνσταντινίδου Κυριακή, Πληροφορικός MSc
Λεκίδης Βασίλειος, Δρ Πολιτικός Μηχανικός, Διευθυντής Ερευνών
Μάκρας Κωνσταντία, Δρ Πολιτικός Μηχανικός, Κύρια Ερευνήτρια
Μάργαρης Βασίλειος, Δρ Σεισμολόγος, Διευθυντής Ερευνών
Μορφίδης Κωνσταντίνος, Δρ Πολιτικός Μηχανικός, Εντεταλμένος Ερευνητής
Παπαϊωάννου Χρήστος, Δρ Σεισμολόγος, Διευθυντής Ερευνών
Πεταλά Ζωή, Δρ Πολιτικός Μηχανικός
Ροβίθης Εμμανουήλ, Δρ Πολιτικός Μηχανικός, Δόκιμος Ερευνητής
Σαλονικιός Θωμάς, Δρ Πολιτικός Μηχανικός, Κύριος Ερευνητής

Η αναφορά στη χρήση του περιεχομένου αυτής της έκθεσης είναι η εξής:

ΙΤΣΑΚ (2021). ΣΕΙΣΜΟΙ ΑΡΚΑΛΟΧΩΡΙΟΥ, Μ 6.0 της 27/09/2021 & Μ 5.3 της 28/09/2021: Προκαταρκτική Έκθεση-Καταγραφές του Δικτύου Επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ και Βλάβες στο Φυσικό και Δομημένο Περιβάλλον, Μονάδα Έρευνας ΙΤΣΑΚ, Θεσσαλονίκη, σελ. 44. doi: 10.5281/zenodo.5554299

Οι απόψεις αντιπροσωπεύουν αποκλειστικά τις θέσεις των συντακτών και δεν δεσμεύουν κατ' ανάγκη την μονάδα ΙΤΣΑΚ του ΟΑΣΠ.



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΚΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (Ο.Α.Σ.Π.)

Μονάδα Έρευνας Ι.Τ.Σ.Α.Κ.

Οδός Δασυλίου, ΠΥΛΑΙΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

Τηλ. 2310476081-4, Fax 2310476085

Ταχ. Διεύθυνση: Ταχ. Θυρίδα 22453 Φοίνικας, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 55102





Περιεχόμενα

1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	1
2. ΕΞΕΛΙΞΗ ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ	3
3. ΧΑΡΤΕΣ ΑΙΣΘΗΤΟΤΗΤΑΣ ΙΤΣΑΚ	5
4. ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΣΙΟΓΡΑΦΩΝ ΤΟΥ ΙΤΣΑΚ	6
4.1 Χαρακτηριστικές παράμετροι των καταγραφών στο σταθμό ARK1	6
4.2 Φάσματα απόκρισης επιτάχυνσης των καταγραφών στο ARK1 και σύγκριση με φάσματα σχεδιασμού.	11
	13
5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑ	
5.1. Αστοχίες τοίχων αντιστήριξης	13
5.2. Καταπτώσεις βράχων	17
	18
6. ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	
6.1. Κτήρια από Φέρουσα Τοιχοποιία	20
6.1.1 Κτήρια από ακατέργαστους ή ημικατεργασμένους λίθους με συνδετικό αργιλοκονίαμα	20
6.1.2 Κτήρια από αποξηραμένους ωμόπλινθους με συνδετικό αργιλοκονίαμα	23
6.1.3 Κτήρια από ημικατεργασμένους ή κατεργασμένους λίθους με ασβεστοκονίαμα ή/και αργιλοκονίαμα	23
6.1.4. Μνημειακές κατασκευές και άλλα κτήρια πολιτιστικής κληρονομιάς από φέρουσα τοιχοποιία	26
6.2. Κτήρια από Οπλισμένο Σκυρόδεμα	31
6.3. Γέφυρες από Σκυρόδεμα	34
6.4. Βλάβες/αστοχίες σε κρίσιμες υποδομές – δίκτυα κοινής ωφέλειας	34
6.4.1 Δίκτυα Ύδρευσης	34
6.4.2 Δίκτυο Ηλεκτροδότησης	35
6.4.3 Οδικό Δίκτυο	35
6.5. Σύνοψη παρατηρήσεων	35
	36
7. ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	
Ευχαριστίες	37
Βιβλιογραφία	37



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΚΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (Ο.Α.Σ.Π.)

Μονάδα Έρευνας Ι.Τ.Σ.Α.Κ.

Οδός Δασυλίου, ΠΥΛΑΙΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

Τηλ. 2310476081-4, Fax 2310476085

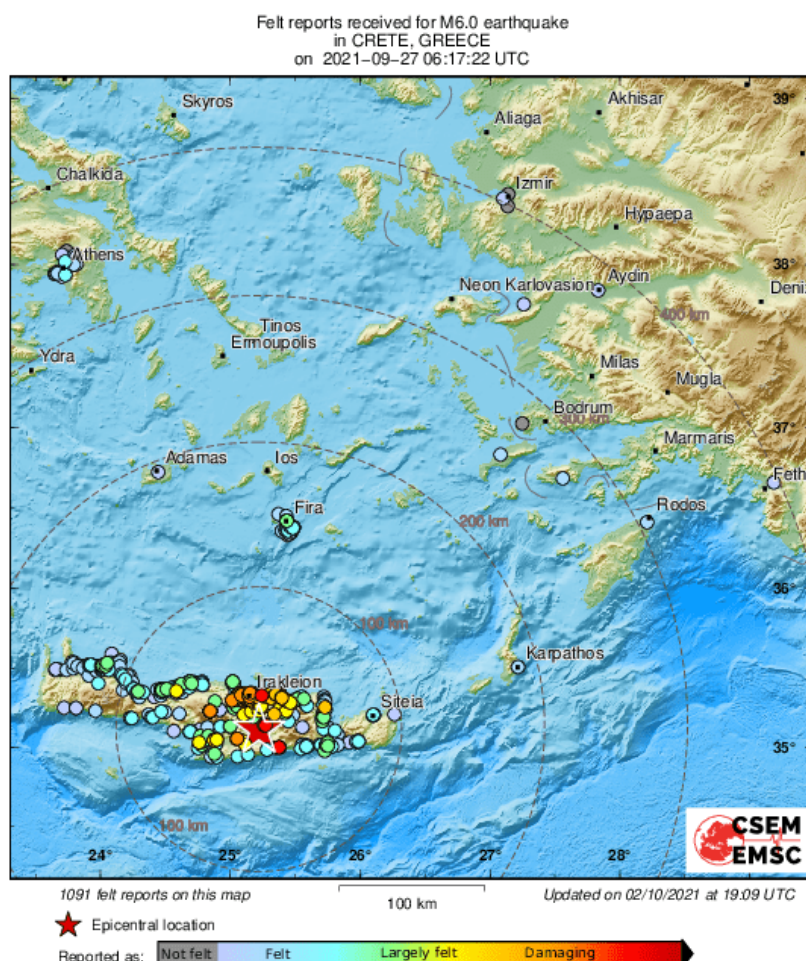
Ταχ. Διεύθυνση: Ταχ. Θυρίδα 22453 Φοίνικας, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 55102



1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Την 27^η Σεπτεμβρίου 2021 και ώρα Ελλάδας 09:17 σημειώθηκε στην περιοχή της Κεντρικής Κρήτης σφοδρή σεισμική δόνηση μεγέθους **M6.0** (USGS, GFZ). Σύμφωνα με την ανακοίνωση του Εθνικού Σεισμογραφικού Δικτύου (HUSN) επρόκειτο για επιφανειακό ($h \sim 10$ km) σεισμό με το επίκεντρο του να εντοπίζεται στο Κεντρικό τμήμα της Κρήτης στη περιοχή του Αρκαλοχωρίου. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες του επικέντρου όπως δίνονται από το HUSN, είναι 35.1242°B 25.2621°A (https://accelnet.gein.noa.gr/noa_sites/noa.shakemaps.gr/public/index/128209).

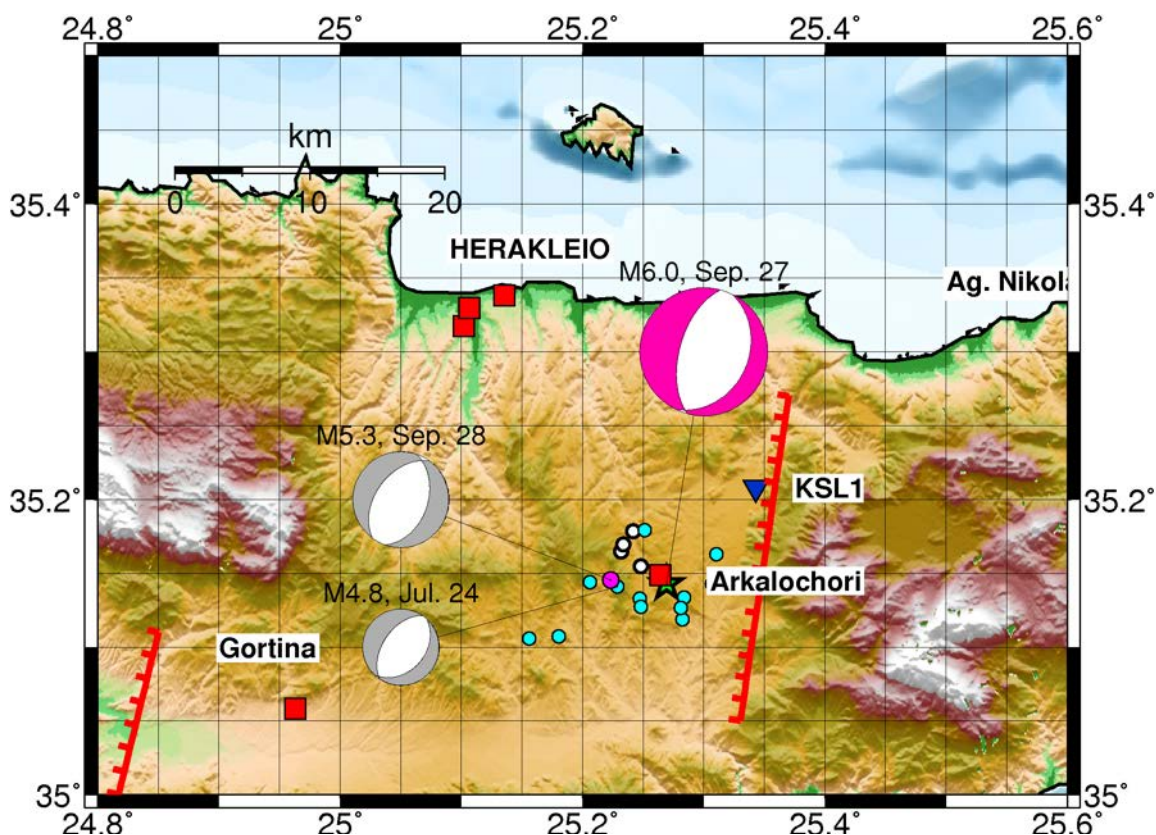
Του σεισμού της 27^{ης} Σεπτεμβρίου προηγήθηκε σεισμική ακολουθία η οποία ξεκίνησε στις αρχές Ιουλίου 2021 με τον μεγαλύτερο σεισμό μεγέθους **M4.8** να έχει γίνει στις 05:07 (ώρα Ελλάδας) της 24^{ης} Ιουλίου. Μέχρι τη στιγμή σύνταξης της έκθεσης αυτής ο ισχυρότερος μετασεισμός έγινε την 28^η Σεπτεμβρίου με μέγεθος **M5.3**.



Σχήμα 1.1 Γεωγραφική κατανομή των μακροσεισμικών εντάσεων σύμφωνα με την απόκριση των κατοίκων (Πηγή EMSC-CSEM).

Ο χάρτης του σχήματος 1.1 δίνει τη χωρική κατανομή των αποτελεσμάτων της σεισμικής κίνησης (ποιοτική εκτίμηση) σύμφωνα με την απόκριση των κατοίκων της ευρύτερης εστιακής περιοχής. Το άστρο στον χάρτη παριστάνει τη θέση του επικέντρου. Το χρώμα και το μέγεθος των κύκλων αντιστοιχούν στην τιμή της μακροσεισμικής έντασης σύμφωνα με το υπόμνημα. Η υψηλότερη Μακροσεισμική Ένταση παρατηρήθηκε στην περιοχή του κεντρικού τμήματος της περιφερειακής ενότητας Ηρακλείου, δηλαδή στη περιοχή του Δήμου Μινώα Πεδιάδας και είχε τιμή $I_{MM}=VIII$. Ο σεισμός έγινε επίσης αισθητός στα νησιά του νοτίου και ανατολικού Αιγαίου μέχρι και σε περιοχές της Αττικής.

Στο χάρτη του σχήματος 1.2 φαίνεται η χωρική κατανομή των επικέντρων των σεισμών της ακολουθίας με $M \geq 4.0$, όπως αυτά δίνονται από την ιστοσελίδα του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του ΕΑΑ (bbnet.gein.noa.gr), μέχρι την 4^η Οκτωβρίου 2021. Με άσπρους κύκλους φαίνονται τα επίκεντρα των προσεισμών ενώ με έγχρωμους κύκλους των μετασεισμών. Στον ίδιο χάρτη παρατίθενται και τα επίκεντρα και οι διαθέσιμοι μηχανισμοί γένεσης από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο (<https://bbnet.gein.noa.gr/HL/seismicity/mts/automatic-moment-tensor-gisola>) των σεισμών $M6.0$ της 27^{ης} και $M5.3$ της 28^{ης} Σεπτεμβρίου καθώς και του $M4.8$ της 24^{ης} Ιουλίου 2021.



Σχήμα 1.2. Γεωγραφική κατανομή των επικέντρων των σεισμών της ακολουθίας με $M \geq 4.0$.

Δίνονται επίσης οι μηχανισμοί γένεσης των σημαντικότερων σεισμών της ακολουθίας, η γεωμετρική απεικόνιση του ρήγματος Καστελίου (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003) και οι θέσεις



των επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ.

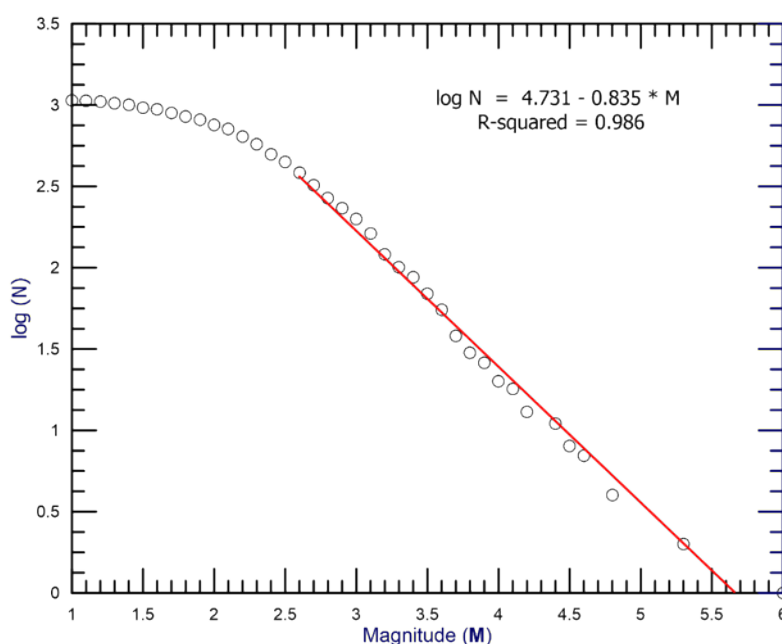
Στον πίνακα 1.1 δίνονται οι παράμετροι των μηχανισμών γένεσης που απεικονίζονται στο σχήμα 1.2. Στην τελευταία σειρά του πίνακα 1.1 δίνονται οι παράμετροι του ρήγματος Καστελίου όπως καθορίστηκαν από τους Παπαζάχο και Παπαζάχου (2003). Από τη σύγκριση των παραμέτρων των τριών σεισμών με αυτές του ρήγματος Καστελίου προκύπτει με αρκετή βεβαιότητα ότι η σεισμική ακολουθία σχετίζεται γενετικά με το ρήγμα του Καστελίου.

Πίνακας 1.1. Λύσεις των μηχανισμών γένεσης των σεισμών του σχήματος (2) και παράμετροι του ρήγματος Καστελίου (Παπαζάχος και Παπαζάχου,, 2003)

ΕΠΙΠΕΔΟ ΡΗΓΜΑΤΟΣ 1			ΕΠΙΠΕΔΟ ΡΗΓΜΑΤΟΣ 2			ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΡΟΠΗ (N)	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ
ζ°	δ°	λ°	ζ°	δ°	λ°		
43	37	-82	214	52	-95	9.116e+15	24-07-2021
25	33	-81	195	57	-95	8.663e+17	27.09.2021
5	64	-172	229	33	-51	4.635e+16	28.09.2021
193			44	-79	Ρήγμα Καστελίου		

2. ΕΞΕΛΙΞΗ ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ

Στο σχήμα 2.1 δίνεται η κατά μέγεθος κατανομή των σεισμών του καταλόγου με μέγεθος $M > 1.0$, για δεδομένα μέχρι 04.10.2021

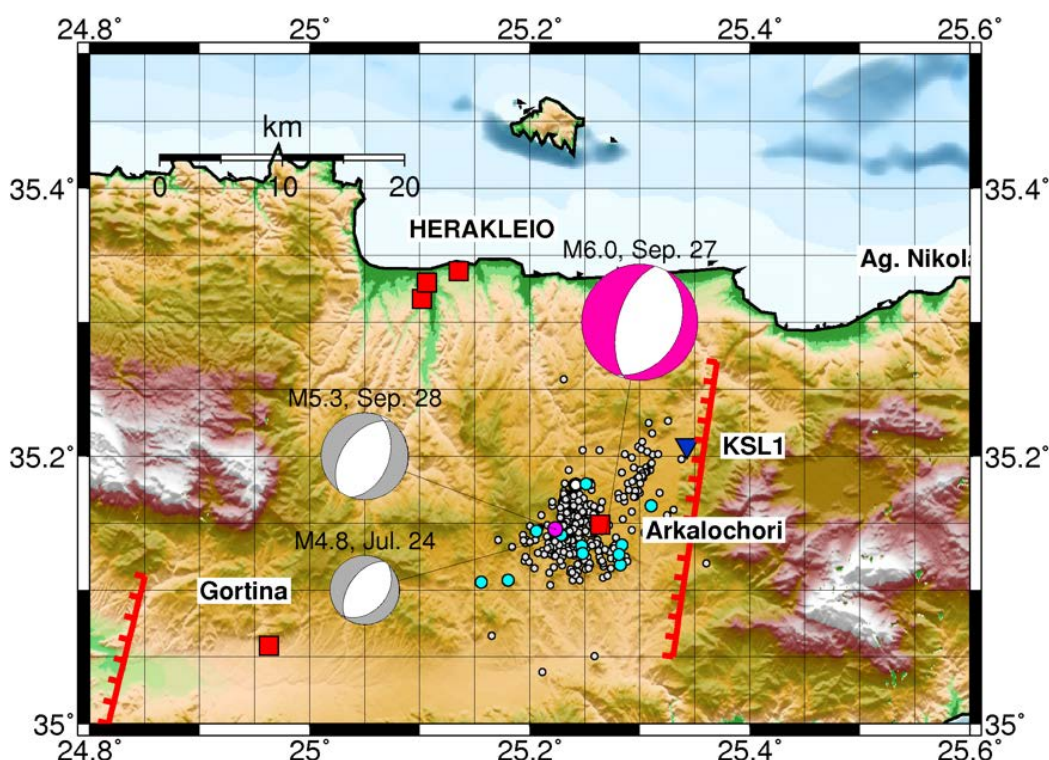


Σχήμα 2.1. Κατά μέγεθος κατανομή των σεισμών της ακολουθίας του Αρκαλοχωρίου μέχρι 04.10.2021. Η ευθεία η οποία προσεγγίζει τα πλήρη δεδομένα δίνεται με κόκκινη γραμμή.

Από το σχήμα αυτό προκύπτει ότι τα δεδομένα του καταλόγου έχουν πληρότητα για ελάχιστο μέγεθος $M \geq 2.6$. Η ευθεία η οποία προσεγγίζει τα δεδομένα έχει εξίσωση:

$$\log N = 4.731 - 0.835 \cdot M$$

Η τιμή της κλίσης 0.835 είναι κοντά στη τιμή $b=1.0$ η οποία ισχύει για την ευρύτερη περιοχή της Κρήτης (Papaioannou and Papazachos, 2000), γεγονός το οποίο μπορεί να ερμηνευτεί ότι πιθανότερα η ακολουθία παρουσιάζει χαρακτηριστικά ομαλής εξέλιξης.



Σχήμα 2.2. Γεωγραφική κατανομή των επικέντρων των σεισμών της ακολουθίας με $M \geq 2.6$. Δίνονται επίσης οι μηχανισμοί γένεσης των σημαντικότερων σεισμών της ακολουθίας, η γεωμετρική απεικόνιση του ρήγματος Καστελίου (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003) και οι θέσεις των επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ.

Η κατανομή των σεισμών με μέγεθος $M \geq 2.6$ μέχρι 04.10.2021 δίνεται στο χάρτη του σχήματος 2.2. Τα δεδομένα προέρχονται από τη ιστοσελίδα του ΓΙ του Εθνικού Αστεροσκοπείου (<http://bbnet.gein.noa.gr/HL/seismicity/catalogues/manual-alerts>). Από την κατανομή των μετασεισμών φαίνεται ότι το σεισμογόνο ρήγμα έχει διεγερθεί σε ένα μήκος περίπου 15km, μήκος το οποίο αντιστοιχεί σε σεισμό $M \sim 6.0$ (Papazachos, 1989; Papazachos et al., 2004). Επίσης, το βορειο-ανατολικό τμήμα της ζώνης διάρρηξης παρουσιάζει γένεση

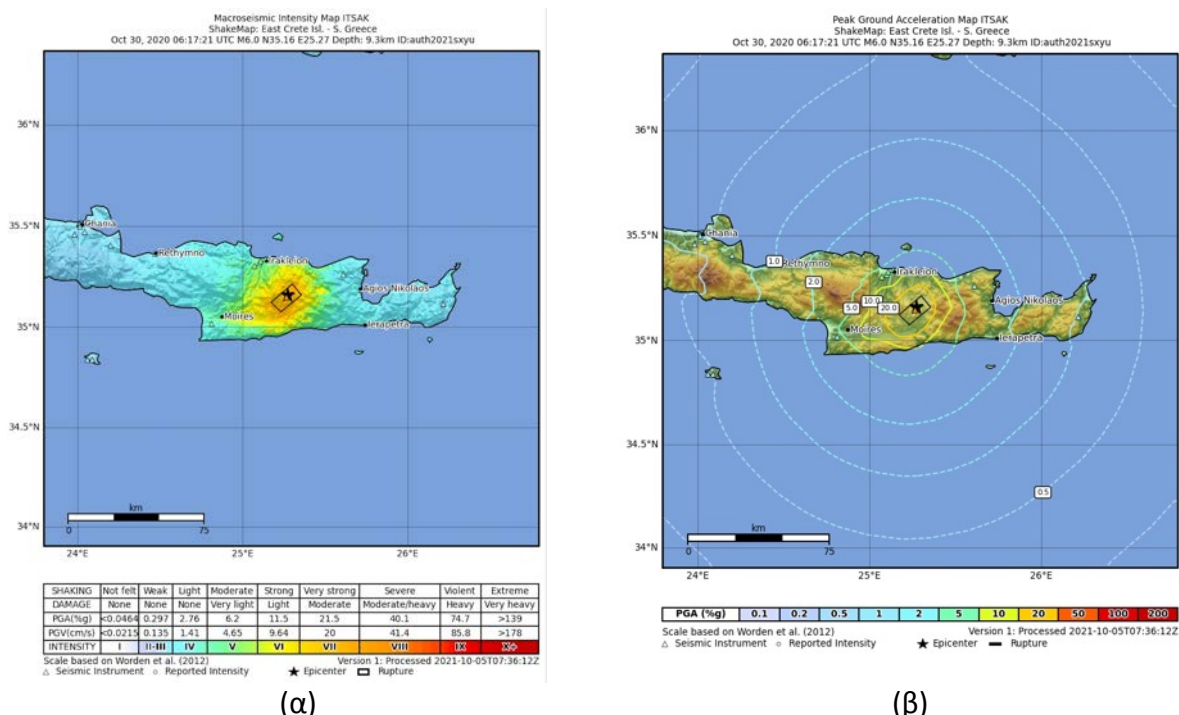


μικρού μεγέθους σεισμών σε αντίθεση με το νοτιο-δυτικό το οποίο περιλαμβάνει σεισμούς μεγαλύτερου μεγέθους.

3. ΧΑΡΤΕΣ ΑΙΣΘΗΤΟΤΗΤΑΣ ΙΤΣΑΚ

Η Μονάδα Έρευνας ΙΤΣΑΚ του ΟΑΣΠ διαθέτει ένα πυκνό δίκτυο επιταχυνσιογράφων (<https://doi.org/10.7914/SN/HI>) συνεχούς λειτουργίας με σκοπό την αδιάλειπτη 24/7 καταγραφή της σεισμικής κίνησης ανά τον ελληνικό χώρο. Οι επιταχυνσιογράφοι είναι τύπου CMG-5TDE της Guralp Systems Ltd, οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με επιταχυνσιόμετρα ευρέως φάσματος, καταγραφείς ανάλυσης 24 bits, σύστημα απόλυτου χρόνου (GPS) και μεταβιβάζουν τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο στις εγκαταστάσεις του ΙΤΣΑΚ στη Θεσσαλονίκη. Με βάση τις καταγραφές του δικτύου επιταχυνσιογράφων αλλά και σε συνδυασμό με εμπειρικές σχέσεις εκτίμησης, παράγονται **αυτόματα** και σε **σχεδόν πραγματικό χρόνο** οι χάρτες αισθητότητας (shakemaps) <http://shakemaps.itsak.gr>.

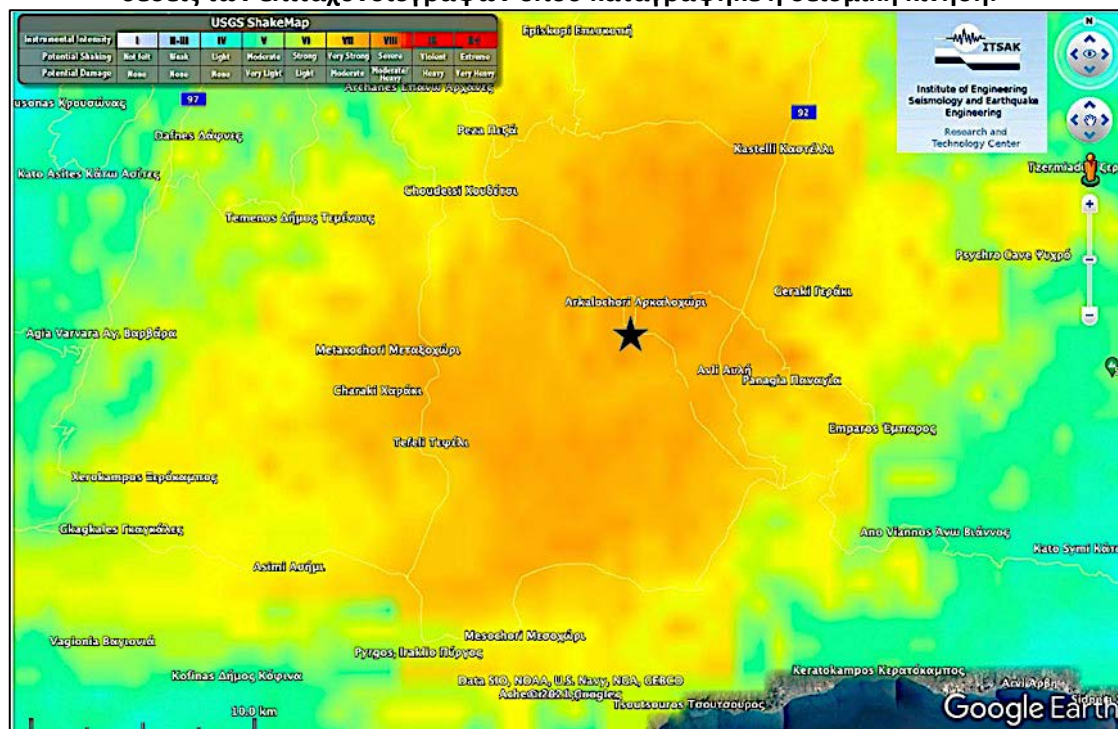
Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζονται οι χάρτες αισθητότητας οι οποίοι δημιουργήθηκαν για τον κύριο σεισμό **M6.0** της 27^{ης} Σεπτεμβρίου 2021. Στο χάρτη του σχήματος 3.2 γίνεται εστίαση του χάρτη αισθητότητας μακροσεισμικής έντασης στην πλειόσειστη περιοχή του σεισμού με τους οικισμούς γύρω από το Αρκαλοχώρι. Από τον χάρτη αυτόν, προκύπτει ότι η μακροσεισμική ένταση στην πλειόσειστη περιοχή γύρω από το Αρκαλοχώρι, κυμάνθηκε μεταξύ VII και VIII.



Σχήμα 3.1 Κατανομή (α) της Μακροσεισμικής έντασης και (β) της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης %g με βάση την επεξεργασία των καταγραφών του δικτύου επιταχυνσιογράφων ΙΤΣΑΚ σε συνδυασμό με σχέσεις πρόβλεψης της ισχυρής κίνησης (Ground Motion Model: Boore et al. 2020)



για τον κύριο σεισμό της 27/9/2021. Το άστρο δίνει το επίκεντρο του σεισμού και τα τρίγωνα τις θέσεις των επιταχυνσιογράφων όπου καταγράφηκε η σεισμική κίνηση.



Σχήμα 3.2. Κατανομή του χάρτη της μακροσεισμικής έντασης του σχήματος 3.1(α) στην πλειόσειστη περιοχή μετά τον κύριο σεισμό της 27 Σεπτ. 2021. Το άστρο δίνει το επίκεντρο του σεισμού.

4. ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΣΙΟΓΡΑΦΩΝ ΤΟΥ ΙΤΣΑΚ

Στο νησί της Κρήτης έχει αναπτυχθεί από το ΙΤΣΑΚ και το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο πυκνό δίκτυο επιταχυνσιογράφων κυρίως σε μεγάλους οικισμούς (http://www.itsak.gr/page/infrastructures/networks/acc_network & <https://accelnet.gein.noa.gr/station-information>). Στην πλειόσειστη περιοχή του σεισμού υπήρχε εγκατεστημένος επιταχυνσιογράφος ευρέως φάσματος και υψηλής ανάλυσης (CMG5T-EAM) και συγκεκριμένα σε δημόσιο κτήριο της υπηρεσίας Κοινωνικής Πολιτικής του Δήμου (Εικόνα 4.1). Στις 28 Σεπτ. 2021, ολοκληρώθηκε και η εγκατάσταση ενός επιπλέον επιταχυνσιογράφου CMG5TD-EAM στο Κέντρο Υγείας του Καστελίου (KSL1).

4.1 Χαρακτηριστικές παράμετροι των καταγραφών στο σταθμό ARK1

Οι χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετάθεσης του κύριου σεισμού (M6.0) και του μεγαλύτερου μετασεισμού (M5.3) στο Αρκαλοχώρι (ARK1) δίνονται στα σχήματα 4.1 & 4.2. Η επεξεργασία των καταγραφών έγινε με χρήση υψηλοπερατού φίλτρου $f_{hp}=0.2\text{Hz}$ και

χαμηλοπερατού $f_p=45.0\text{Hz}$.

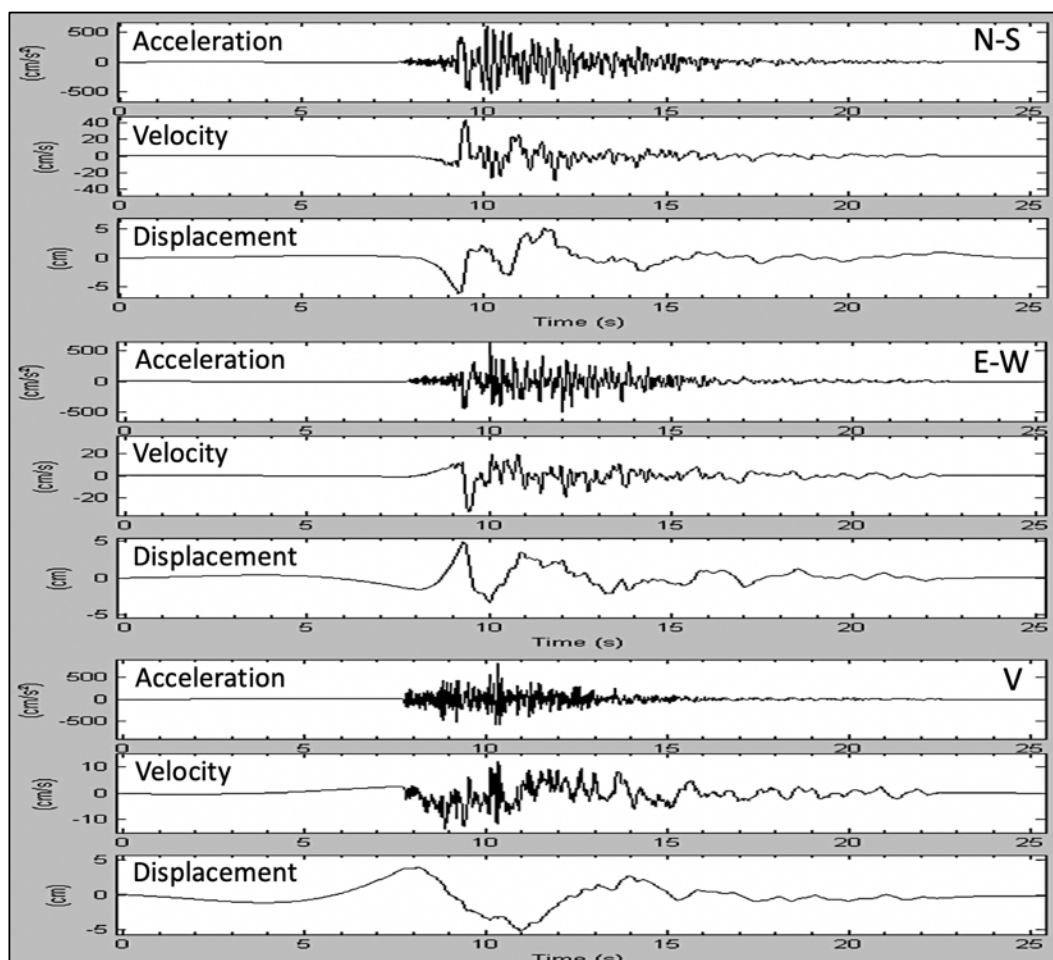


Εικόνα 4.1: Θέση επιταχυνσιογράφου στο Αρκαλοχώρι (station code: ARK1). Φωτογραφία κτιρίου κατά την επίσκεψη του κλιμακίου του ΙΤΣΑΚ στις 28/9/2021 χωρίς αξιοσημείωτες βλάβες.

Στον πίνακα 4.1, δίνονται οι μέγιστες τιμές επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μεταθέσεων στις 3 συνιστώσες των καταγραφών του κύριου σεισμού και του μετασεισμού. Η διάρκεια της ισχυρής κίνησης (περιβάλλουσα διάρκεια για επίπεδο επιτάχυνσης $>0.1g$) στην περίπτωση του κύριου σεισμού ήταν της τάξης των 6sec και για τον μετασεισμό της τάξης των 2sec.

Πίνακας 4.1: Μέγιστες τιμές εδαφικής επιτάχυνσης(PGA), ταχύτητας (PGV) και μετάθεσης (PGD), στον επιταχυνσιογράφο ARK1, για τον κύριο σεισμό και τον μετασεισμό.

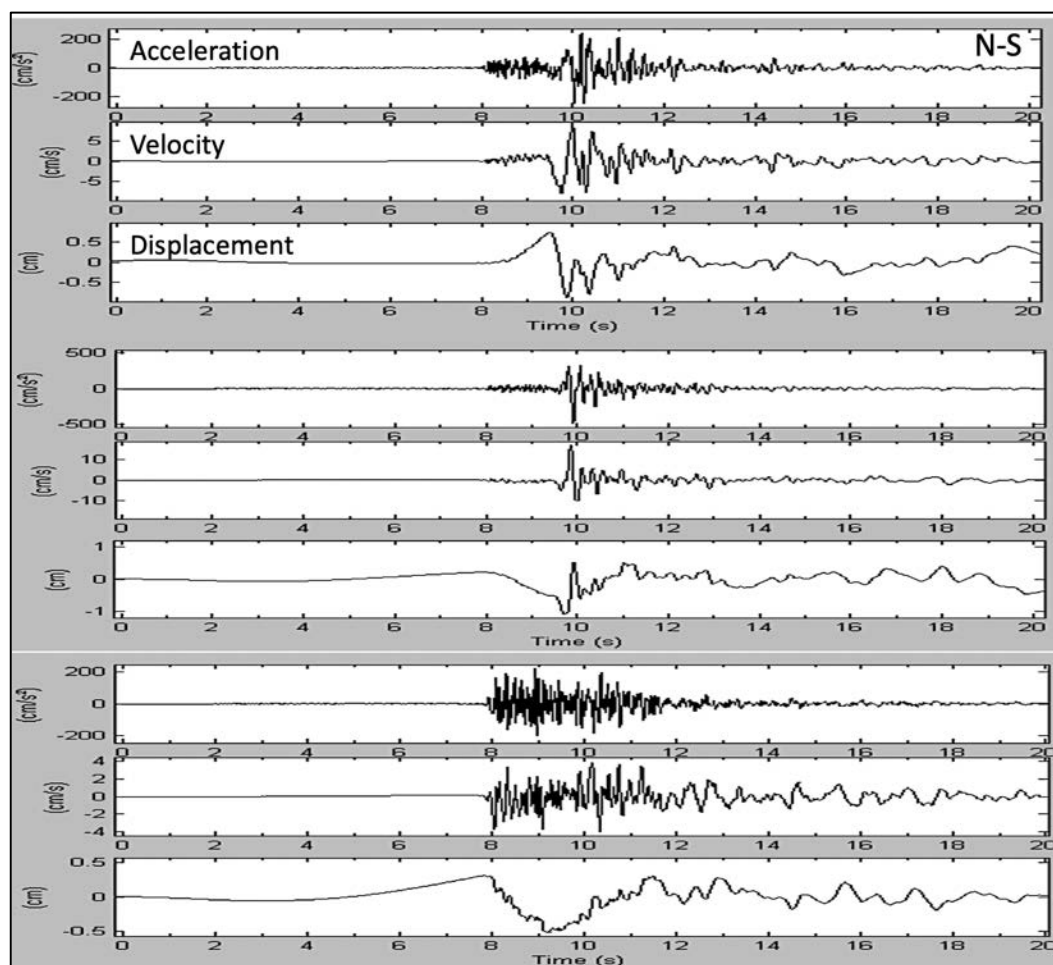
ΚΥΡΙΟΣ ΣΕΙΣΜΟΣ (M6.0)	PGA (cm/s/s)	PGV(cm/s)	PGD(cm)
E-W	585	-32.6	4.92
N-S	609	43.3	-6.2
V	806	-13.7	-5.1
ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΟΣ (M5.3)	PGA (cm/s/s)	PGV(cm/s)	PGD(cm)
E-W	490	17.1	-1.1
N-S	247	9.1	-0.9
V	222	-4.0	-0.5



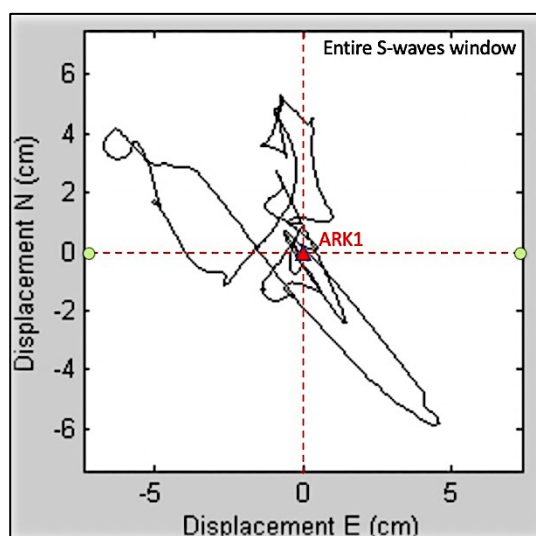
Σχήμα 4.1: Χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετάθεσης του κύριου σεισμού (M6.0) στο Αρκαλοχώρι (station code: ARK1).

Η σωματιδιακή κίνηση μετάθεσης των εγκαρσίων κυμάτων που προκύπτει από την καταγραφή του κύριου σεισμού στο Αρκαλοχώρι (ARK1), στο επίπεδο των δύο οριζόντιων συνιστωσών (NS & EW) δίνεται στο σχήμα 4.3. Παρατηρούνται δύο κύριες διευθύνσεις της σωματιδιακής κίνησης, η μια στη διεύθυνση Βορειοδυτικά-Νοτιοανατολικά της τάξης των 12cm και η άλλη στη διεύθυνση Βορρά – Νότου περί τα 5cm.

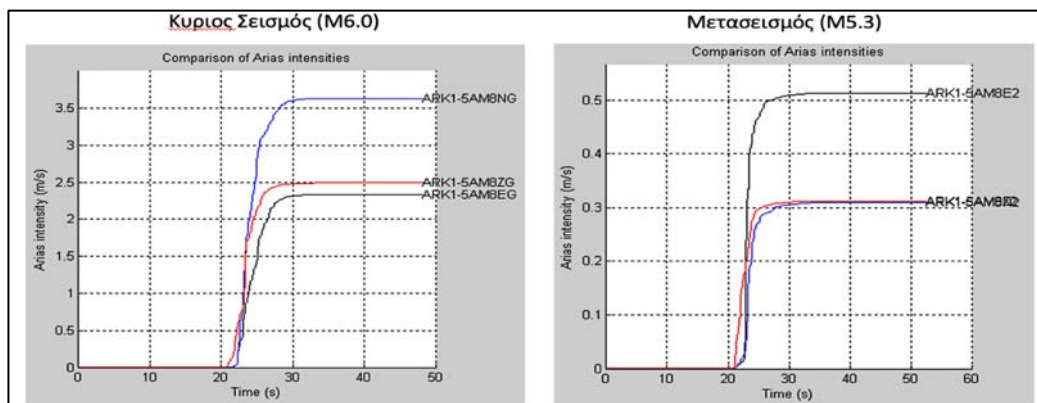
Τα ενεργειακά χαρακτηριστικά σε όρους Arias Intensity(AI), των καταγραφών του κύριου σεισμού και του μετασεισμού στο Αρκαλοχώρι φαίνονται στο Σχήμα 4.4. Στον κύριο σεισμό η AI είναι 40% υψηλότερη στη διεύθυνση Βορράς-Νότος από ότι στη διεύθυνση Ανατολή – Δύση και την κατακόρυφη ενώ στον μετασεισμό η AI στην διεύθυνση Ανατολή-Δύση είναι 70% υψηλότερη από τις δύο άλλες. Επιπλέον, η AI του κύριου σεισμού ήταν ~7 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του μετασεισμού.



Σχήμα 4.2: Χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετάθεσης του μετασεισμού (M5.3) στο Αρκαλοχώρι (station code: ARK1).



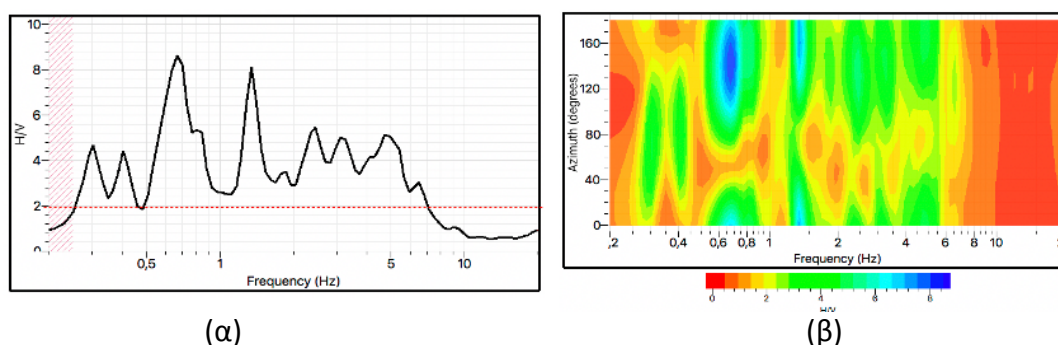
Σχήμα 4.3: Σωματιδιακή κίνηση (particle motion) της μετάθεσης των εγκάρσιων κυμάτων στο Αρκαλοχώρι (station code: ARK1).



Σχήμα 4.4: Ένταση Arias των τριών συνιστωσών του κύριου σεισμού και του μετασεισμού στο Αρκαλοχώρι (station code: ARK1).

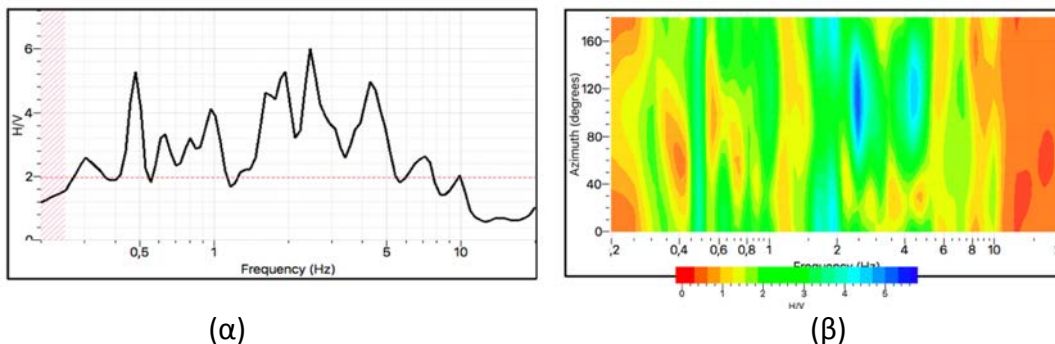
Η διερεύνηση του φασματικού λόγου της οριζόντιας προς την κατακόρυφη (H/V) συνιστώσα για την καταγραφή του κύριου σεισμού έδειξε δεσπόζουσα συχνότητα στα 0.65Hz καθώς επίσης και στα 1.4Hz με λόγο φασματικών πλατών >8 . Λόγοι πλατών με τιμές μεγαλύτερες του 4 εμφανίζονται και σε υψηλότερες συχνότητες, $2\text{Hz} < f < 5\text{Hz}$. Δραστική απομείωση του πλάτους του λόγου H/V παρατηρείται για συχνότητες $f > 5\text{Hz}$ (Σχήμα 4.5α). Η διερεύνηση του φασματικού λόγου H/V σε συνάρτηση με το αζιμούθιο (Σχήμα 4.5β) έδειξε ότι η δεσπόζουσα συχνότητα στα 0.65Hz εμφανίζεται σε αζιμούθιο μεταξύ 90 και 130 μοίρες από το Βορρά. Η διερεύνηση του φασματικού λόγου της οριζόντιας προς την κατακόρυφη (H/V) συνιστώσα για την καταγραφή του μετασεισμού (Σχήμα 4.6) έδειξε δεσπόζουσα συχνότητα στα 2.5Hz καθώς επίσης στα 0.5 και 4.5Hz με λόγο φασματικών πλατών >5 .

Η διαφοροποίηση των φασματικών λόγων H/V των καταγραφών των δύο σεισμών, υποδεικνύει ότι υπάρχει έντονη επιρροή σε αυτούς των χαρακτηριστικών κοντινού πεδίου, δηλαδή της σεισμικής εστίας. Κατά συνέπεια δεν είναι εύκολο να αναζητηθούν στους λόγους H/V χαρακτηριστικά των τοπικών εδαφικών συνθηκών. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να εκτιμηθεί είτε με καταγραφές μικρών σεισμών σε απόσταση από τη θέση του σταθμού καταγραφής είτε με μετρήσεις εδαφικού μικροθορύβου στη θέση.



Σχήμα 4.5 (α) Φασματικός λόγος οριζόντιας προς κατακόρυφη συνιστώσα (H/V) από την

καταγραφή του κύριου σεισμού στο σταθμό ARK1 και (β) αντίστοιχος λόγος σε σχέση με το αζιμούθιο.



Σχήμα 4.6: (α) Φασματικός λόγος οριζόντιας προς κατακόρυφη συνιστώσα (H/V) από την καταγραφή του μετασεισμού στο σταθμό ARK1 και (β) αντίστοιχος λόγος σε σχέση με το αζιμούθιο(δεξιά).

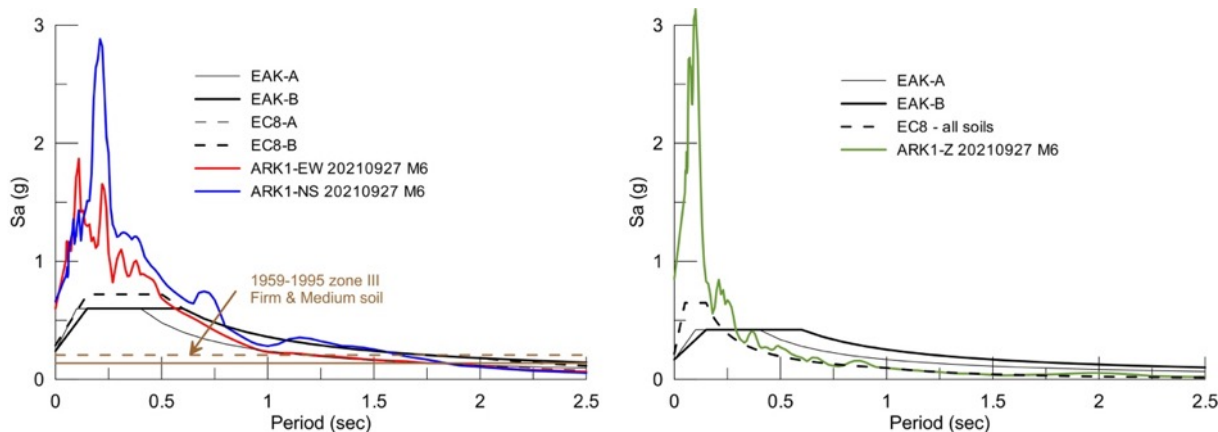
4.2 Φάσματα απόκρισης επιτάχυνσης των καταγραφών στο ARK1 και σύγκριση με φάσματα σχεδιασμού.

Στο σχήμα 4.7 συγκρίνονται τα απόλυτα φάσματα ελαστικής απόκρισης από τις καταγραφές επιτάχυνσης του σεισμού **M** 6 της 27^{ης} Σεπτεμβρίου 2021 στη θέση ARK1 με τα ελαστικά φάσματα σχεδιασμού των κανονισμών EAK και EC8 για ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II ($A=a_g=0.24g$) στην οποία ανήκει η περιοχή και εδαφικές κατηγορίες A και B που συνάδουν με τη γεωλογία στην περιοχή του σταθμού. Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (Νήσος Κρήτη, Κλ. 1:200.000), η θέση του σταθμού ARK1 τοποθετείται στο όριο μεταξύ βιοκλαστικών ασβεστόλιθων που εναλλάσσονται με φυλλώδεις ή ομοιογενείς μάργες και ποτάμιων/λιμναίων ιζημάτων που αποτελούνται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, αργίλους και λιγνίτες.

Στο ίδιο σχήμα έχουν επίσης σημειωθεί και οι (ανεξάρτητοι της περιόδου του κτιρίου) σεισμικοί συντελεστές που προέβλεπαν ο Ελληνικοί Αντισεισμικοί Κανονισμοί του 1959 και του 1985 με ισχύ μέχρι το 1995. Για ζώνη III και κατηγορία εδάφους με μικρή και μέτρια επικινδυνότητα, οι συντελεστές αυτοί ήταν αντίστοιχα $\varepsilon=0.08$ και 0.12 , και αναφέρονταν σε αντίστοιχα μειούμενη εδαφική δυσκαμψία. Στο σχήμα 4.7 οι συντελεστές αυτοί παρουσιάζονται με τις τροποποιημένες τους τιμές $\varepsilon'=0.137$ και 0.206 , με τις οποίες λαμβάνεται υπόψη ένας συντελεστής ασφαλείας 1.75 , η κατά 20% αύξηση των επιτρεπόμενων τάσεων για σεισμικές δράσεις και ένας συντελεστής 0.85 για να ληφθεί υπόψη η επιρροή του πολυβάθμιου των κατασκευών (Anagnostopoulos et al., 1987).

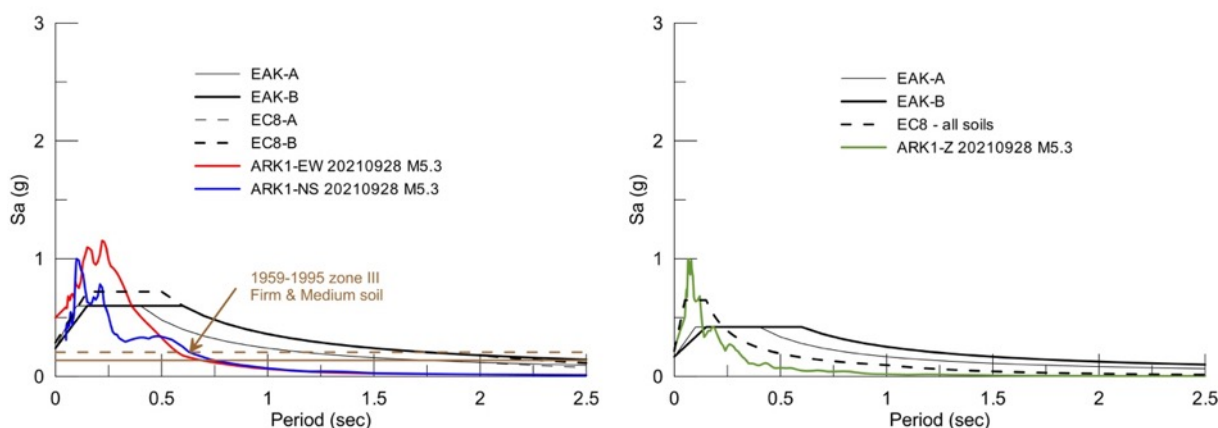
Οι απόλυτες φασματικές τιμές τόσο των οριζοντίων όσο και της κατακόρυφης συνιστώσας είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από τις κανονιστικές δράσεις τόσο του EC8 όσο και του EAK για περιόδους μικρότερες από 0.5sec για τις οριζόντιες και 0.25sec για την κατακόρυφη συνιστώσα με τη μεγαλύτερη υπέρβαση να παρατηρείται για περιόδους $0.1-0.25\text{sec}$ στις οριζόντιες και $0.05-0.15\text{sec}$ στην κατακόρυφη. Αξίζει να σημειωθεί ότι μέγιστη

φασματική επιτάχυνση της τάξης των 3g περίπου παρατηρείται τόσο στην συνιστώσα ΒΝ όσο και στην κατακόρυφη στην περίοδο των 0.21sec και 0.1sec αντίστοιχα.



Σχήμα 4.7 Σύγκριση απόλυτων φασμάτων ελαστικής απόκρισης μεταξύ καταγραφών επιτάχυνσης του σεισμού M 6 της 27ης Σεπτεμβρίου 2021 στη θέση ARK1 και κανονισμών για ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης 5%: Οριζόντιες συνιστώσες (αριστερά) και κατακόρυφη (δεξιά)

Στο σχήμα 4.8 συγκρίνονται τα απόλυτα φάσματα ελαστικής απόκρισης από τις καταγραφές επιτάχυνσης του σεισμού M 5.3 της 28^{ης} Σεπτεμβρίου 2021 στη θέση ARK1 με τις δράσεις σχεδιασμού όπως στο σχήμα 4.7. Στην περίπτωση αυτή οι φασματικές επιταχύνσεις που αναπτύχθηκαν είναι έως και 3 φορές μικρότερες από τις αντίστοιχες του κύριου σεισμού αλλά 30 έως 50% μεγαλύτερες των δράσεων σχεδιασμού κατά Ευρωκώδικα 8 στο ίδιο εύρος περιόδων (0.1-0.25sec στις οριζόντιες και 0.05-0.15sec στην κατακόρυφη διεύθυνση)



Σχήμα 4.8 Σύγκριση απόλυτων φασμάτων ελαστικής απόκρισης μεταξύ καταγραφών επιτάχυνσης του σεισμού M 5.3 της 28ης Σεπτεμβρίου 2021 στη θέση ARK1 και κανονισμών για ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης 5%: Οριζόντιες συνιστώσες (αριστερά) και κατακόρυφη (δεξιά)



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΚΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (Ο.Α.Σ.Π.)

Μονάδα Έρευνας Ι.Τ.Σ.Α.Κ.

Οδός Δασυλίου, ΠΥΛΑΙΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

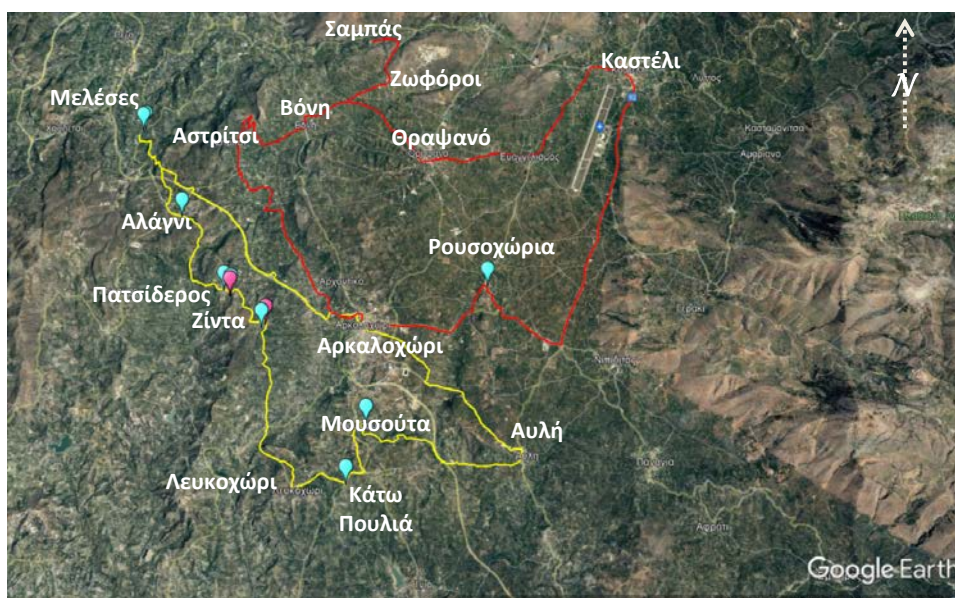
Τηλ. 2310476081-4, Fax 2310476085

Ταχ. Διεύθυνση: Ταχ. Θυρίδα 22453 Φοίνικας, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 55102



5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑ

Κατά την επιτόπου επίσκεψη ερευνητών του ΙΤΣΑΚ στην πλειόσειστη περιοχή στις 28/09/2021 και 29/09/2021 αποτυπώθηκαν και επιπτώσεις γεωτεχνικού χαρακτήρα, οι οποίες καταγράφηκαν μετά και από τους δυο σεισμούς και κατά συνέπεια η παρατηρηθείσα εικόνα θα πρέπει να ειδωθεί ως σωρευτική. Στις 28/09/2021 η αναγνώριση των επιπτώσεων του σεισμού έγινε στην πλειόσειστη περιοχή βόρεια του Αρκαλοχωρίου κατά μήκος της διαδρομής που περιελάμβανε τους οικισμούς Ρουσοχώρια - Καστέλι - Θραψανό - Ζωφόροι - Σαμπάς - Βόνη - Αστρίτσι (Εικόνα 5.1 - κόκκινο ίχνος) ενώ στις 29/09/2021 αποτυπώθηκαν οι επιπτώσεις του σεισμού κατά μήκος της διαδρομής Μελέσες - Αλάγνι - Πατσιδέρος - Ζίντα - Λευκοχώρι - Κάτω Πουλιά - Μουσούτα - Αυλή (Εικόνα 5.1 - κίτρινο ίχνος).



Εικόνα 5.1 Ίχνος αναγνώρισης επιπτώσεων σεισμού από την επιτόπου επίσκεψη ερευνητών του ΙΤΣΑΚ στις 28/09/2021 (κόκκινο ίχνος) και 29/09/2021 (κίτρινο ίχνος) και γεωγραφική κατανομή των γεωτεχνικών αστοχιών που καταγράφηκαν (Τα γαλάζια σύμβολα αντιστοιχούν σε θέσεις αστοχίας τοίχων αντιστήριξης και τα ροζ σύμβολα σε θέσεις βραχοπτώσεων).

5.1. Αστοχίες τοίχων αντιστήριξης

Για τις παραπάνω περιοχές, ο βασικός τύπος αστοχίας γεωτεχνικού ενδιαφέροντος αφορούσε σε αστοχίες τοίχων αντιστήριξης, οι οποίοι στην πλειονότητά τους ήταν λιθόκτιστοι και αντιστήριζαν φυσικά πρανή για την θεμελίωση κατασκευών. Σε κάποιες περιπτώσεις υπήρξαν αστοχίες μικρότερης έκτασης και σε τοίχους αντιστήριξης από οπλισμένο σκυρόδεμα. Πέρα από το διαφορετικό υλικό κατασκευής, καταγράφηκαν αστοχίες σε τοίχους αντιστήριξης διαφορετικών γεωμετρικών διαστάσεων ενώ διαπιστώθηκε σημαντικό εύρος αστοχιών, το οποίο περιελάμβανε ανά περίπτωση μικρή

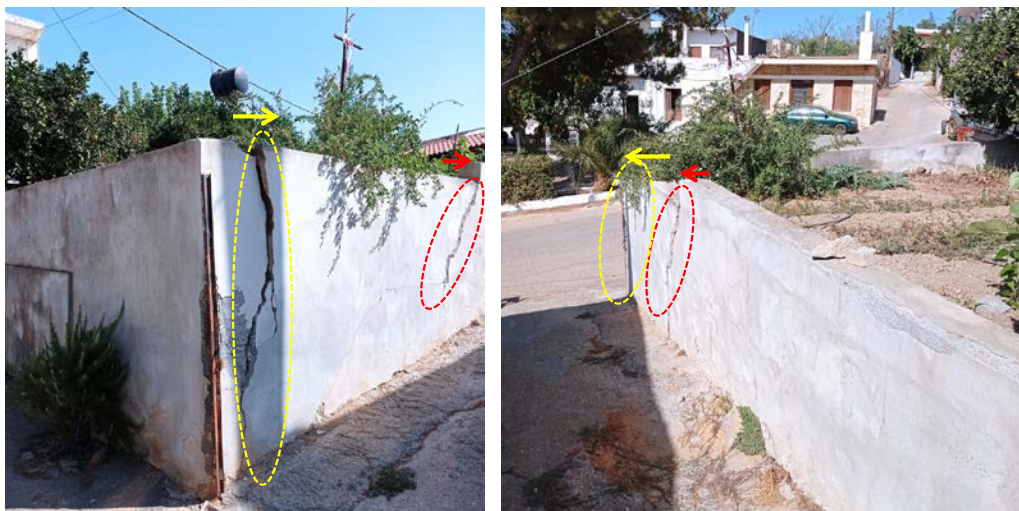


σχετικά οριζόντια μετακίνηση, αποκόλληση του τοίχου από το αντιστηριζόμενο έδαφος έως και πλήρη ανατροπή. Ωστόσο, σε αυτήν την φάση η αποτύπωση των αστοχιών έγινε μακροσκοπικά χωρίς λεπτομερή αποτύπωση των διαστάσεων των τοίχων ή μέτρηση σχετικών μεγεθών απόκρισης (οριζόντια μετακίνηση τοίχου, στροφή βάσης κτλ). Ως προς την γεωγραφική τους κατανομή, οι αστοχίες τοίχων αντιστήριξης εντοπίστηκαν σχεδόν στο σύνολό τους κατά μήκος της 2^{ης} διαδρομής αναγνώρισης (Εικόνα 5.1 – κίτρινο ίχνος) σε μια διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και το γεγονός ότι κάποια από τα συγκεκριμένα χωριά (για παράδειγμα τα χωριά Μελέσες και Πατσίδερος) είναι χτισμένα σε φυσικό πρηνές έντονης κλίσης, γεγονός το οποίο δεν διαπιστώθηκε (τουλάχιστον στον ίδιο βαθμό) για τα χωριά που βρίσκονται κατά μήκος της 1^{ης} διαδρομής αναγνώρισης (Εικόνα 5.1 – κόκκινο ίχνος).

Στην Εικόνα 5.2 αποτυπώνεται από δυο διαφορετικές γωνίες λήψης αστοχία γωνιακού τοίχου αντιστήριξης η οποία εντοπίστηκε στο χωριό Ρουσοχώρια. Ο συγκεκριμένος λιθόκτιστος τοίχος με επικάλυψη σκυροδέματος αντιστήριζε έδαφος θεμελίωσης κατοικίας. Στο χωριό Μελέσες εντοπίστηκαν συγκριτικά οι περισσότερες αστοχίες τοίχων αντιστήριξης. Δυο χαρακτηριστικές περιπτώσεις αστοχίας γωνιακών λιθόκτιστων τοίχων με συνδετικό υλικό σκυρόδεμα φαίνονται στην Εικόνα 5.3. Στην 1^η περίπτωση (Εικόνα 5.3α) ο τοίχος εμφάνισε οριζόντια μετακίνηση με αποκόλληση των δυο τμημάτων του ενώ στην 2^η περίπτωση τοίχος μικρού ύψους ανετράπη πλήρως και το αντιστηριζόμενο εδαφικό υλικό κατολίσθησε τοπικά αποκλείοντας την πρόσβαση στην κατοικία από την παρακείμενη σκάλα (Εικόνα 5.3β). Φαίνεται επίσης ο τοίχος πιθανότατα μετά την ανατροπή του να μετατέθηκε αρκετά εκατοστά ως προς την αρχική του θέση κατά την διεύθυνση που δείχνει το βέλος στην Εικόνα 5.3γ. Στην συγκεκριμένη αστοχία θα πρέπει να συνεκτιμηθεί και η ελλειψής όπως φαίνεται συναρμογή των δυο τμημάτων του τοίχου. Αντίθετα, καλή συμπεριφορά εμφάνισε γωνιακός τοίχος αντιστήριξης από οπλισμένο σκυρόδεμα σημαντικού ύψους (της τάξεως των 4-4.5m στο ψηλότερό του σημείο) συγκριτικά με τους υπόλοιπους που καταγράφηκαν στο ίδιο χωριό, στον οποίο διαπιστώθηκε τοπική μόνο αποφλέγιση του σκυροδέματος με αποκάλυψη του οπλισμού (Εικόνα 5.3δ).

Εκτεταμένες ρηγματώσεις και τοπικές αστοχίες καταγράφηκαν σε τοίχο αντιστήριξης από οπλισμένο σκυρόδεμα (πιθανόν με επικάλυψη κονιάματος ασβεστολιθικής σύστασης) στο χωριό Κάτω Πουλιά (Εικόνες 5.4α-5.4β). Αντίστοιχη εικόνα αστοχιών εμφάνισε και ο τοίχος αντιστήριξης του εδάφους θεμελίωσης της εκκλησίας στο χωριό Πατσίδερος (Εικόνα 5.4γ). Στο ίδιο χωριό καταγράφηκε και αστοχία λιθόκτιστου τοίχου χωρίς συνδετικό κονιάμα (ξεροληθιά) σε θέση έξω από το νεκροταφείο του χωριού (Εικόνα 5.5).

Στο χωριό Μουσούτα καταγράφηκε αστοχία τοίχου οπλισμένου σκυροδέματος ο οποίος αντιστήριζε εκσκαφή για την κατασκευή ανοιχτής δεξαμενής νερού (Εικόνα 5.6). Διαπιστώθηκε αστοχία του σκυροδέματος στην θέση που σημειώνεται με κάθετη γραμμή στην Εικόνα 5.6α και οριζόντια μεταθέση του τοίχου αντιστήριξης προς την δεξαμενή (Εικόνα 5.6β). Χαρακτηριστικές είναι οι επακόλουθες ρωγμές μικρού εύρους που καταγράφηκαν επί του παρακείμενου δρόμου σε διεύθυνση παράλληλη με τον τοίχο (Εικόνα 5.6α - διάστικτες μπλε γραμμές).



Εικόνα 5.2 Οριζόντια μετακίνηση και εκτεταμένη ρηγμάτωση τοίχου αντιστήριξης στο χωριό Ρουσσοχώρια



Εικόνα 5.3 Χωριό Μελέσες: (α) Οριζόντια μετακίνηση λιθόκτιστου τοίχου αντιστήριξης (β-γ) Πλήρης ανατροπή λιθόκτιστου τοίχου αντιστήριξης μικρού ύψους (δ) Τοπική αποφλείωση σκυροδέματος και αποκάλυψη οπλισμού σε γωνιακό τοίχο οπλισμένου σκυροδέματος.



Εικόνα 5.4 (α-β) Τοπικές αστοχίες και ρηγματώσεις σε τοίχο αντιστήριξης στο χωριό Κάτω Πουλιά
(γ) Εκτεταμένες ρηγματώσεις τοίχου αντιστήριξης στο χωριό Πατσίδερος.



Εικόνα 5.5 Αστοχία λιθόκτιστου τοίχου αντιστήριξης χωρίς συνδετικό κονίαμα (ξεροληθιά) έξω από το νεκροταφείο του χωριού Πατσίδερος.



Εικόνα 5.6 Αστοχία τοίχου αντιστήριξης από σπλισμένο σκυρόδεμα στο χωριό Μουσουτά και επακόλουθες ρηγματώσεις στον αντιστηριζόμενο δρόμο.

Ιδιαίτερα εκτεταμένη αστοχία καταγράφηκε σε λιθόκτιστο τοίχο αντιστήριξης φυσικού πρανούς στο χωριό Ζίντα (Εικόνα 5.7), η οποία συνοδεύτηκε από τοπικού χαρακτήρα κατολίσθηση του αντιστηριζόμενου εδαφικού υλικού συμπαρασύροντας και τα υλικά του τοίχου, με αποτέλεσμα τον μερικό αποκλεισμό της πρόσβασης από τον παρακείμενο δρόμο (Εικόνα 5.7α). Από μια πιο κοντινή λήψη της αστοχίας (Εικόνα 5.7β) φαίνεται ότι ο λιθόκτιστος τοίχος εδράζεται σε μια αρκετά πιο δύσκαμπτη βάση οπλισμένου σκυροδέματος ενώ ασύνδετες λίθοι αναγνωρίζονται μεταξύ του τοίχου και του αντιστηριζόμενου εδάφους δημιουργώντας συνθήκες μειωμένης συνάφειας στην διεπιφάνεια.

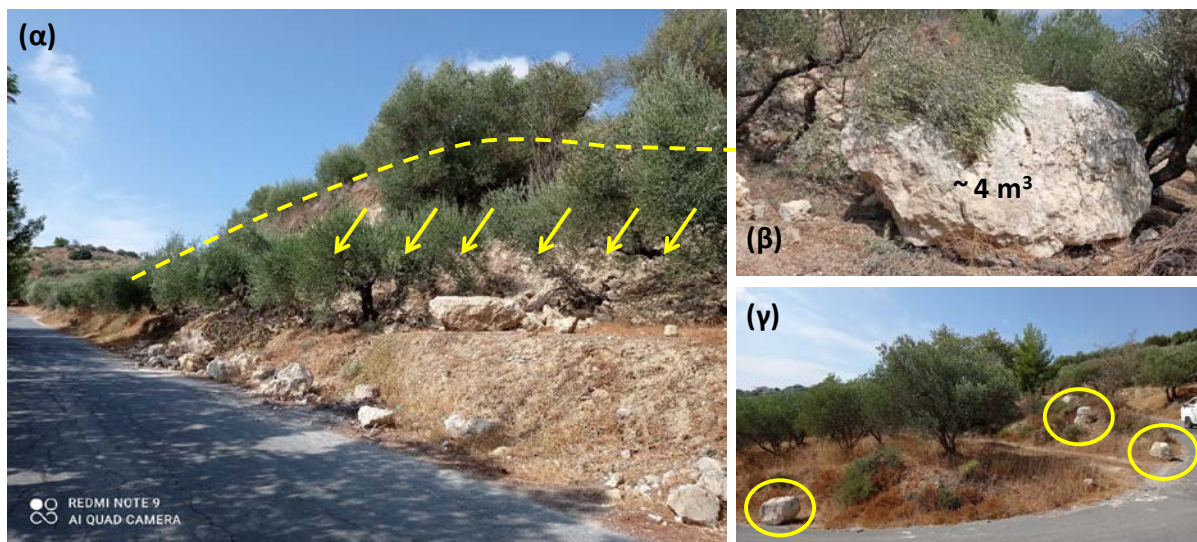


Εικόνα 5.7 Αστοχία λιθόκτιστου τοίχου αντιστήριξης στο χωριό Ζίντα και τοπική κατολίσθηση του αντιστηριζόμενου εδαφικού υλικού.

5.2 Καταπτώσεις βράχων

Κατά μήκος των δυο συγκεκριμένων διαδρομών αναγνώρισης καταγράφηκαν περιορισμένα σε αριθμό κατολισθητικά φαινόμενα τα οποία αφορούσαν κυρίως σε καταπτώσεις βραχωδών τεμάχων σημαντικού όγκου σε κάποιες περιπτώσεις. Η πιο εκτεταμένη από αυτές καταγράφηκε στην έξοδο του χωριού Ζίντα στον δρόμο προς το Λευκοχώρι (Εικόνα 5.1). Διαπιστώθηκαν βραχοπτώσεις ασβεστολιθικών τεμάχων κατα μήκος ενός εκτεταμένου μετώπου φυσικού πρανούς (Εικόνα 5.8α) με αποτέλεσμα αρκετά ογκώδη τεμάχη (Εικόνα 5.8β) να καταπέσουν στο οδικό δίκτυο (Εικόνα 5.8γ).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αντίστοιχα φαινόμενα (ενδεχομένως και μεγαλύτερης έκτασης) αναφέρθηκαν και εκτός των παραπάνω περιοχών αναγνώρισης, κατά μήκος του οδικού δικτύου κοντά σε χωριά όπως Προφήτης Ηλίας και Άγιος Σύλλας τα οποία βρίσκονται ΒΔ του Αρκαλοχωρίου σε μια απόσταση περίπου 16km.



Εικόνα 5.8 Εκτεταμένη κατάπτωση ασβεστολιθικών τεμαχίων σημαντικού όγκου από φυσικό πρανές στην έξοδο του χωριού Ζίντα στον δρόμο προς Λευκοχώρι .

6. ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Η ισχυρή σεισμική διέγερση της 27/9/2021, στο Αρκαλοχώρι του Νομού Ηρακλείου είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη βλαβών και αστοχιών σε πολλά κτήρια σε οικισμούς – χωριά στη σεισμόπληκτη περιοχή. Προκειμένου να διαπιστωθεί το μέγεθος και η γεωγραφική κατανομή τους, κλιμάκιο ερευνητών του ΙΤΣΑΚ επισκέφτηκε στις 28/9/2021 την ευρύτερη σεισμόπληκτη περιοχή. Επειδή δεν υπήρχαν ακόμη συγκεντρωτικά στοιχεία για την έκταση και την κατανομή των βλαβών στην ευρύτερη περιοχή, επιλέχθηκε η επισκόπηση της επικεντρικής περιοχής με βάση το χάρτη αισθητότητας. Η διαδικασία των επιτόπου αυτοψιών ξεκίνησε από το Αρκαλοχώρι, στη συνέχεια έγινε μετακίνηση προς τα Ανατολικά στα Ρουσοχώρια και κατόπιν Βόρεια προς Θραψανό, Ζωφόροι, Σαμπά, Βόνη και Αστρίτσι. Στη συνέχεια η μετακίνηση συνέχισε Βορειοδυτικά προς Μελέσες και Αλάγνι, Δυτικά στον Πατσιόδερο, Ζίντα, Λευκοχώρι και Νότια προς Άνω και Κάτω Πουλιές και Μουσούτα. (Εικόνα 6.1).

Σε ό,τι αφορά τις κατασκευές στόχος των επιτόπου επισκέψεων ήταν:

- Η καταγραφή των τύπων των κατασκευών με βλάβες σε κάθε περιοχή.
- Ο προσδιορισμός της σφοδρότητας των βλαβών. Επισημαίνεται ότι οι αυτοψίες ξεκίνησαν μετά το σεισμό με μέγεθος $M 5.3$ που έλαβε χώρα το πρωί της 28^{ης} Σεπτεμβρίου και η αποτύπωση των βλαβών ενδεχομένως αφορά τις αθροιστικές επιπτώσεις των δύο σεισμών στις κατασκευές.
- Η ταχεία συγκριτική εκτίμηση του πλήθους των κτηρίων που εμφάνισαν βλάβες (χαμηλός, μέσος, υψηλός) μεταξύ των οικισμών.

iv) Μία προκαταρκτική εκτίμηση της γεωγραφικής κατανομής των βλαβών.



Εικόνα 6.1. Χάρτης της ευρύτερης περιοχής όπου έπληξε η σεισμική διέγερση. Το επίκεντρο εντοπίζεται στο Αρκαλοχώρι.

Στην περιοχή που επλήγη από τους σεισμούς οι τύποι των κατασκευών που συναντούνται είναι παρόμοιοι σε κάθε οικισμό. Ταξινομούνται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

α) Κτήρια από Φέρουσα Τοιχοποιία

α1) Κτήρια από ακατέργαστους ή ημικατεργασμένους λίθους με αργιλοκονίαμα.

A2) Κτήρια από αποξηραμένους ωμόπλινθους με αργιλοκονίαμα (πολύ λίγα).

A3) Κτήρια από ημικατεργασμένους ή κατεργασμένους λίθους με αργιλοκονίαμα ή/και ασβεστοκονίαμα.

α4) Μνημειακές κατασκευές και άλλα κτήρια πολιτιστικής κληρονομιάς από φέρουσα τοιχοποιία

β) Κτήρια από Οπλισμένο Σκυρόδεμα.

Γ) Γέφυρες από Σκυρόδεμα.



Ακολούθως γίνεται περιγραφή του δομικού συστήματος και των βλαβών που παρατηρήθηκαν για κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες.

6.1. Κτήρια από Φέρουσα Τοιχοποιία

6.1.1 Κτήρια από ακατέργαστους ή ημικατεργασμένους λίθους με συνδετικό αργιλοκονίαμα

Τα κτήρια αυτής της υποκατηγορίας είναι κατά την παρούσα περίοδο, κυρίως βοηθητικής χρήσης αλλά ένας σημαντικός αριθμός από αυτά χρησιμοποιείται σαν κατοικία ή τμηματικό μέρος της κατοικίας. Είναι κυρίως μονώροφα κτήρια και στις περιπτώσεις όπου υπάρχει δεύτερος όροφος, το ισόγειο είναι βοηθητικής χρήσης με μικρά ανοίγματα και ο όροφος λειτουργεί ως κατοικία. Δεν εντοπίστηκε γενικευμένη χρήση ξύλινων σενάζ καθ' ύψος, τα οποία να δένουν τις λιθοδομές κατά το μήκος τους. Στην στέψη των λιθοδομών υπάρχει δίδυμο ξύλινο σενάζ για τη σύνδεση της στέγης με τις λιθοδομές. Το πάχος των λιθοδομών ήταν της τάξης των 40-50 εκατοστών και από τον τρόπο κατασκευής χαρακτηρίζονται ως δίστρωτες (σύμφωνα με το σχέδιο του ΚΑ.Δ.Ε.Τ.). Οι λιθοδομές δημιουργούνται από δύο κατακόρυφες στρώσεις λίθων οι οποίες μορφώνουν τις δύο παρειές τους. Οι λιθοδομές είναι δομημένες με ακατέργαστους ή ημικατεργασμένους, λίθους οι οποίοι τοποθετούνταν με την επίπεδη πλευρά προς την εξωτερική παρεία της τοιχοποιίας για τη δημιουργία επίπεδης επιφάνειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι άλλες πλευρές των λίθων οι οποίες είναι ακανόνιστες να αποτελούν τις επιφάνειες σύνδεσης μεταξύ των λίθων για την δημιουργία των τοιχοποιιών. Το συνδετικό κονίαμα που είχε χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή των λιθοδομών ήταν αργιλικής φύσης. Δεν εντοπίστηκε η ύπαρξη διατόνων λίθων οι οποίοι να συνδέουν τις δύο παρειές των λιθοδομών μεταξύ τους. Αντιθέτως σε αρκετές περιπτώσεις εντοπίστηκαν καλοδοιλεμένες λιθοδομές με συμπλεκόμενους λίθους στις θέσεις των ακμών των κτηρίων. Οι ξύλινες στέγες των εν λόγω κτηρίων ήταν κυρίως αμφικλινείς με τους αμείβοντες να φέρουν φορτία της στέγης μέσω καμπτικής λειτουργίας κυρίως και όχι μέσω λειτουργίας δικτυώματος.

Τα κτήρια αυτά δεν κατασκευάστηκαν με βάση κάποιον κανονισμό και βρίσκονται κυρίως στους οικισμούς. Ο κύριος τρόπος αστοχίας είναι η εκτός επιπέδου ανατροπή της μεγάλης συνήθως πλευράς των κτηρίων (Εικόνες 6.2-6.7). Υπήρχαν περιπτώσεις όπου είχε ανατραπεί εκτός επιπέδου η μία στρώση της δίστρωτης λιθοδομής ή και οι δύο στρώσεις. Χωρίς να υπάρχουν επαρκή στοιχεία αλλά με βάση κριτήρια μηχανικής εκτιμάται ότι οι αστοχίες των λιθοδομών εκτός επιπέδου επιδεινώθηκαν κατά την συνεχή μικροσεισμική διέγερση τους τελευταίους μήνες. Οι λιθοδομές στις εγκάρσιες πλευρές μικρότερου πάχους παρουσίαζαν ανατροπές σε μικρότερο βαθμό ενώ εμφάνιζαν κυρίως διαγώνιες ρηγματώσεις. Η σπουδαιότητά των κτηρίων αυτών κρίνεται ότι είναι κυρίως "μικρή" λόγω της βοηθητικής χρήσης τους ή της εποχιακής κατοικίας τους. Επιπλέον, ήταν μεγάλης ηλικίας και ανεπαρκώς συντηρημένα. Σε πολλές περιπτώσεις υπήρχαν καθιζήσεις και εκτός επιπέδου παραμορφώσεις λόγω παλαιότητας οι οποίες συντέλεσαν στην ανατροπή των λιθοδομών. Τονίζεται στο σημείο αυτό ότι οι αστοχίες των εν λόγω λιθοδομών δεν ήταν λόγω καθαρής ανατροπής αλλά λόγω εκτός επιπέδου φόρτισης με κάμψη στο μέσον της λιθοδομής με λειτουργία περιμετρικά πακτωμένης πλάκας με αρθρωτή στήριξη στην στέψη

της. Επίσης υπήρχαν πολλά τέτοια κτήρια τα οποία ήταν εντελώς εγκαταλελειμμένα και εμφάνισαν ρηγματώσεις ή/και μερική κατάρρευση.



Εικόνα 6.2. Κτήριο με λιθοδομή από ακατέργαστες και ημικατεργασμένες πέτρες και εκτεταμένες καταρρεύσεις.



Εικόνα 6.3. Μερική κατάρρευση λιθοδομής με ακανόνιστες πέτρες στον οικισμό Σαμπάς.



Εικόνα 6.4. Μερική κατάρρευση σε κτήριο με λιθοδομές από ακανόνιστες πέτρες.



Εικόνα 6.5. Εκτός επιπέδου κατάρρευση της εξωτερικής παρειάς των λιθοδομών σε κτήριο από φέρουσα τοιχοποιία στον Σαμπά.



Εικόνα 6.6. Μερική κατάρρευση στον όροφο διώροφου κτηρίου από φέρουσα λιθοδομή.



Εικόνα 6.7. Μερική κατάρρευση σε οίκημα από φέρουσα τοιχοποιία στο Αρκαλοχώρι.

6.1.2 Κτήρια από αποξηραμένους ωμόπλινθους με συνδετικό αργιλοκονίαμα

Ένας μικρός αριθμός από τα κτήρια, με φέρουσα τοιχοποιία, στην σεισμόπληκτη περιοχή, είναι κατασκευασμένα από ωμόπλινθους. Οι τοιχοποιίες των κτηρίων αυτών διαμορφώνονται με διαπλεκόμενους πλίνθους οι οποίοι είναι δομημένοι με αργιλικό κονίαμα. Κτήρια με τον συγκεκριμένο τρόπο δόμησης χρησιμοποιούνται κυρίως ως βοηθητικοί χώροι και είναι μονώροφα. Τα κτήρια αυτά έχουν ξύλινη στέγη η οποία εδράζεται επί των πλινθοδομών με ξύλινα στοιχεία τοποθετημένα στην εσωτερική και εξωτερική παρειά στην στέψη της λιθοδομής. Ξύλινα σενάζ εντοπίζονται κυρίως πάνω από τα ανοίγματα των θυρών και παραθύρων για την στήριξη του υπερκείμενου τοίχου.

Τα κτήρια αυτής της κατηγορίας επέδειξαν γενικώς καλή συμπεριφορά. Με τον συγκεκριμένο τρόπο κατασκευής ήταν δομημένα ορισμένα μονώροφα κτήρια. Δεν παρατηρήθηκαν καταρρεύσεις λιθοδομών από ωμόπλινθους ενώ οι ρηγματώσεις που δημιουργήθηκαν ήταν γενικά περιορισμένες ή/και επισκευάσιμες.

6.1.3 Κτήρια από ημικατεργασμένους ή κατεργασμένους λίθους με ασβεστοκονίαμα ή/και αργιλοκονίαμα

Κατά τις επιτόπου αυτοψίες που έγιναν εντοπίστηκαν κτήρια από φέρουσα τοιχοποιία με λιθοδομές από ημικατεργασμένους ή/και κατεργασμένους λίθους με συνδετικό υλικό αργιλοκονίαμα ή ασβεστοκονίαμα ή ταυτόχρονη χρήση αργιλοκονιάματος και ασβεστοκονιάματος σε διάφορες θέσεις του κτηρίου. Η λογική δόμησης των λιθοδομών σε αυτά τα κτήρια ακολουθούσε την λογική της δημιουργίας ισχυρών καλοδομημένων περιοχών στα δύο κατακόρυφα ελεύθερα άκρα του κάθε πεσσού και στο ενδιάμεσο

υπήρχε γέμισμα με λίθους και κονίαμα με χαμηλότερης επιμέλειας δόμηση. Τα κτήρια αυτά έχουν δομηθεί με παραδοσιακές τεχνικές πριν πολλά έτη και αρκετά από αυτά έχουν συνήθως δημόσια χρήση ως κοινοτικά κτήρια, σχολεία και εκκλησίες. Δεν εντοπίστηκαν κτήρια αυτής της κατηγορίας με εκτεταμένες καταρρεύσεις.

Στην πλειονότητα των ως άνω παλαιών κτηρίων από φέρουσα λιθοδομή, τα πατώματα και η οροφή του ανωτέρου ορόφου ήταν ξύλινα και δεν διασφάλιζαν διαφραγματική λειτουργία εντός του επιπέδου τους. Το γεγονός αυτό απετέλεσε σε πολλές περιπτώσεις σημαντικό επιβαρυντικό παράγοντα που οδήγησε σε μερική αστοχία και κατάρρευση των λίθινων τοίχων, ιδιαίτερα στη θέση της στέψης των λιθοδομών όπου στηρίζονταν η στέγη.

Τα κτήρια με κατεργασμένους λίθους και ασβεστοκονίαμα δεν παρουσίασαν εκτενείς καταρρεύσεις (Εικόνες 6.8 – 6.11). Αναφέρεται ότι με τον συγκεκριμένο τρόπο δόμησης είχαν κατασκευαστεί αρκετά παλαιά κτήρια τα οποία εμφάνισαν κυρίως αστοχίες στους αρμούς των κονιαμάτων δόμησης μεταξύ των λίθων. Αρκετές εκκλησίες και κοινοτικά καταστήματα τα οποία ήταν δομημένα επίσης με τον συγκεκριμένο τρόπο κατασκευής ενώ εμφάνισαν βλάβες (ρηγματώσεις) είχαν γενικά περιορισμένο βαθμό καταρρεύσεων. Η σχετικά καλή απόκριση των κτηρίων αυτών στους σεισμούς αποδίδεται στην κατεργασία των λίθων όπου λαξεύονταν όλες οι πλευρές, στην χρήση του ασβεστοκονιάματος σε ορισμένες από αυτές, στην καλή ποιότητα κατασκευής και στην τακτική συντήρηση.



Εικόνα 6.8. Κτήριο με λιθοδομή από επεξεργασμένες πέτρες και επιμελημένη δόμηση στο Αλάγνι. Παρατηρούνται ρηγματώσεις σε οριζόντιους και κατακόρυφους αρμούς μεταξύ των λίθων. Δεν δημιουργήθηκαν μερικές ή τοπικές καταρρεύσεις λιθοδομών.



Εικόνα 6.9. Δημοτικό σχολείο στο Θραψανό με καλοδομημένες λιθοδομές. Αναπτύχθηκε ρηγματώση η οποία δεν δημιούργησε καταρρεύσεις.



Εικόνα 6.10. Ρηγματώσεις σε στάθμη πλησίον του εδάφους σε κτήριο από φέρουσα λιθοδομή στον Πατσίδερο. Διακρίνονται αλληλοεμπλεκόμενες πέτρες στην ακμή του κτηρίου.



Εικόνα 6.11. Τοπική κατάρρευση μέρους λιθοδομής σε κτήριο από φέρουσα τοιχοποιία με επιμελημένη κατασκευή των λιθοδομών.

6.1.4. Μνημειακές κατασκευές και άλλα κτήρια πολιτιστικής κληρονομιάς από φέρουσα τοιχοποιία (Εικόνες 6.12 – 6.21)

Οι Ναοί και άλλα κτήρια πολιτιστικής κληρονομιάς από φέρουσα τοιχοποιία ήταν ενός ή δύο ορόφων. Υπήρχαν πολλά τέτοια κτήρια χωρίς βλάβες. Ορισμένα από αυτά εμφάνισαν βλάβες με εκτενείς ρηγματώσεις σε εξωτερικούς τοίχους. Ειδικότερα, οι Ναοί εμφάνισαν εκτεταμένες ρηγματώσεις στους περιμετρικούς τοίχους. Τα κωδωνοστάσια των ναών τα οποία κατασκευάζονται σε επαφή με τον κυρίως ναό εμφάνισαν βλάβες σε ορισμένες περιπτώσεις λόγω του διαφορετικού εύρους ταλάντωσης των δύο κατασκευών. Παρατηρήθηκαν επίσης μερικές καταρρεύσεις και ρηγματώσεις των λιθοδομών της Ανατολικής πλευράς στους Ναούς, λόγω της ευκαμψίας της, από την ύπαρξη του ανοίγματος της κόγχης του Ιερού σε σχέση με την απέναντι πλευρά όπου υπάρχει η είσοδος του Ναού καθώς επίσης και οι σχετικές κατασκευές που ορίζουν τον πρόναο.



Εικόνα 6.12. Τριχοειδείς ρηγματώσεις στην Ανατολική λιθοδομή (Ιερό) σε Ναό στο Αρκαλοχώρι.



Εικόνα 6.13. Μικρή ρηγμάτωση σε κοιμητηριακό Ναό στην περιοχή έξω από το Αρκαλοχώρι.



Εικόνα 6.14. Εκτενής ρηγμάτωση σε κοιμητηριακό Ναό στην περιοχή έξω από το Αρκαλοχώρι.



Εικόνα 6.15. Μερική κατάρρευση σε Ιερό Ναού στο Αστρίτσι.



Εικόνα 6.16. Αποκόλληση τοιχοποιίας από τόξο οπλισμένου σκυροδέματος σε Ναό στο Αστρίτσι.



Εικόνα 6.17. Εκτενής ρηγμάτωση στην Ανατολική λιθοδομή σε Ναό στις Κάτω Πουλιές.



Εικόνα 6.18. Μερική κατάρρευση με εκτός επιπέδου πτώση της εξωτερικής παρειάς δίστρωτης λιθοδομής σε Ναό στην Μουσουτά.



Εικόνα 6.19. Τοπική κατάρρευση λιθοδομής στην Ανατολική λιθοδομή σε Ναό στην Μουσούτα.



Εικόνα 6.20. Εκτενείς ρηγματώσεις σε λιθοδομές στο Ιερό Ναού στα Ρουσοχώρια.



Εικόνα 6.21. Μετακινήσεις σπονδύλων σε κωδωνοστάσιο σε Ναό στη Βόνη.

6.2. Κτήρια από Οπλισμένο Σκυρόδεμα

Τα περισσότερα κτήρια από οπλισμένο σκυρόδεμα στη σεισμόπληκτη περιοχή κατασκευάστηκαν κυρίως μετά την έκδοση των Βασιλικών Διαταγμάτων του 1954 και 1959 και τους μετέπειτα κανονισμούς. Λόγω περιορισμών στους όρους δόμησης τα κτήρια στους οικισμούς που πλήγηκαν από τους σεισμούς είναι μέχρι διώροφα. Διαπιστώθηκε σε αρκετές περιπτώσεις η χρήση τοιχωμάτων. Στις θέσεις όπου ήταν ορατοί οι οπλισμοί λόγω αποφλοιώσεως της επικάλυψης σκυροδέματος διαπιστώθηκε η χρήση λείων οπλισμών με διαμορφωμένα άγκιστρα στα άκρα τους. Οι συνδετήρες που εντοπίστηκαν ήταν λείοι χωρίς ιδιαίτερη πύκνωση στα άκρα των δομικών στοιχείων (προς την περιοχή των κόμβων). Σε αρκετές περιπτώσεις παρατηρήθηκαν έντονες αποφλοιώσεις και ρηγματώσεις σε κτήρια οπλισμένου σκυροδέματος με πυκνό διαμήκη οπλισμό και συνδετήρες. Οι οπλισμοί αυτοί λειτούργησαν ευεργετικά με αποτέλεσμα τον σημαντικό περιορισμό των βλαβών στο κτήριο.

Οι βλάβες στα κτήρια οπλισμένου σκυροδέματος ήταν περιορισμένες (Εικόνες 6.22-6.29). Εμφανίζονται κυρίως σε υποστυλώματα ή στο κάτω μέρος κόμβων δοκών – υποστυλωμάτων (Εικόνες 6.22 και 6.23). Παρατηρήθηκαν αρκετές θέσεις με τοπική αποφλοιώση σκυροδέματος σε διαμήκεις ράβδους υποστυλωμάτων (Εικόνες 6.26 και 6.27). Έχουν επίσης παρατηρηθεί αστοχίες κοντών υποστυλωμάτων σε περιπτώσεις όπου οι δημιουργούνται τέτοιες συνθήκες (Εικόνα 6.28). Ως γενική παρατήρηση αναφέρεται ότι τα κτήρια οπλισμένου σκυροδέματος συμπεριφέρθηκαν αρκετά καλά στους συγκεκριμένους σεισμούς.



Εικόνα 6.22. Ρηγματώσεις σε τοιχοποιίες πλήρωσης και στα περιβάλλοντα πλαίσια οπλισμένου σκυροδέματος σε κτήριο στο Αρκαλοχώρι.



Εικόνα 6.23. Ρηγματώσεις σε τοιχοποιίες και στοιχεία σκυροδέματος σε κτήριο στο Αρκαλοχώρι.



Εικόνα 6.24. Ρηγματώσεις σε στοιχεία σκυροδέματος σε κτήριο στο Αρκαλοχώρι.



Εικόνα 6.25. Διαγώνιες ρηγματώσεις και αποκολλήσεις σε τοιχοποιίες πλήρωσης σε κτήριο με φέροντα οργανισμό από σπλισμένο σκυρόδεμα.



Εικόνα 6.26. Τοπική αποφλοίωση της επικάλυψης σκυροδέματος σε κτήριο από οπλισμένο σκυρόδεμα.



Εικόνα 6.27. Τοπική αποφλοίωση της επικάλυψης σκυροδέματος σε κτήριο από οπλισμένο σκυρόδεμα.



Εικόνα 6.28. Λειτουργία κοντού στύλου και έντονη διαγώνια ρηγμάτωση (κατακερματισμός) του σκυροδέματος.



Εικόνα 6.29. Ρηγμάτωση στην κεφαλή υποστυλώματος σε πλαίσιο οπλισμένου σκυροδέματος.

6.3. Γέφυρες από Σκυρόδεμα

Λόγω της ύπαρξης αρκετών ρεμάτων στην περιοχή έχουν κατασκευαστεί αρκετές γέφυρες. Οι γέφυρες αυτές είναι κυρίως αμφιέριστες ενός ανοίγματος και εξυπηρετούν για αρκετά έτη το οδικό δίκτυο της περιοχής. Κατά τις αυτοψίες που έγιναν και από τις διελεύσεις στο οδικό δίκτυο της σεισμόπληκτης περιοχής δεν διαπιστώθηκαν σημεία τα οποία να δείχνουν σημαντικές καταπονήσεις των γεφυρών. Δεν διαπιστώθηκαν μετακινήσεις ακροβάρων με ρηγμάτωση στον ασφαλτοτάπητα σε διεύθυνση κάθετα με τον άξονα της γέφυρας. Εκτιμάται ότι λόγω της ισοστατικότητας των γεφυρών στο οδικό δίκτυο μεταξύ των οικισμών δεν αναπτύχθηκε σημαντική ένταση στα φέροντα στοιχεία ούτε εκδηλώθηκαν αστοχίες στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Λόγω της διέλευσης οχημάτων βαρέως τύπου για τη μεταφορά υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του παρακείμενου αεροδρομίου του Καστελίου, συστήνεται ο έλεγχος τους από τις αρμόδιες αρχές.

6.4. Βλάβες/αστοχίες σε κρίσιμες υποδομές – δίκτυα κοινής ωφέλειας

6.4.1 Δίκτυα Ύδρευσης

Στην περιοχή αρμοδιότητας του Δήμου Μινώα Πεδιάδας προκλήθηκε ζημιά στον αγωγό του Θραψανού λόγω των συνεχών διακοπών ηλεκτροδότησης. Παρουσιάστηκαν προβλήματα υδροδότησης στις περιοχές: Φορτέσα, Κορακοβούνι, Μεσαμπελιές, Νέα Αλάτσατα, Κνωσός (Αρχαιοτήτες), Ηλιούπολη και στην ευρύτερη περιοχή Κνωσού (Βλυχιά – «Μακρύ Τοίχος»). Επίσης έχουν αναφερθεί βλάβες στο δίκτυο υδροδότησης στο δήμο Αρχανών – Αστερουσίων.



6.4.2 Δίκτυο Ηλεκτροδότησης

Δεν παρουσιάστηκαν αξιοσημείωτες βλάβες στο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας παρά μόνο μικρές έκτασης ζημιές παρατηρήθηκαν στις παροχές και μετρητές οικιών. Το δίκτυο ηλεκτροδότησης αποκαταστάθηκε με την επανασύνδεση μεγάλου αριθμού παροχών και την αποκατάστασή του. Σε γενικές γραμμές το δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας συμπεριφέρθηκε υποδειγματικά σε σχέση με το μέγεθος και την ένταση του σεισμού.

6.4.3 Οδικό Δίκτυο

Το οδικό δίκτυο στην σεισμόπληκτη περιοχή κατά τις επί τόπου αυτοψίες. Όπως προέκυψε η θέση του οδικού δικτύου με βλάβες εντοπίζεται κοντά σε χωριά όπως Προφήτης Ηλίας και Άγιος Σύλλας σε απόσταση περίπου 16km από το Αρκαλοχώρι. Στο οδικό δίκτυο έξω από το χωριό Ζίντα στο δρόμο προς Λευκοχώρι διαπιστώθηκαν βραχοπτώσεις με αποτέλεσμα ογκώδη τεμάχια να κλείσουν τον οδικό δίκτυο.

6.5. Σύνοψη παρατηρήσεων

Στη συνέχεια δίνονται κάποια προκαταρκτικά συμπεράσματα για την επίδραση της σεισμικής ακολουθίας στις κατασκευές.

- Ορισμένες πλήρεις καταρρεύσεις ή τοπικές/μερικές καταρρεύσεις και βλάβες παρατηρήθηκαν κυρίως σε κτήρια από φέρουσα τοιχοποιία. Κτήρια από λιθοδομή με ασβεστοκονίαμα και σε ορισμένα κτήρια από σκυρόδεμα σχεδιασμένα με τους παλαιότερους κανονισμούς εμφανίστηκαν κυρίως ρηγματώσεις. Τα κτήρια από φέρουσα τοιχοποιία στην περιοχή γύρω από το Αρκαλοχώρι με κατεργασμένους λίθους διατεταγμένους καθ' ύψος των κατακόρυφων ελεύθερων ακμών των πεσσών είχαν πολύ καλή συμπεριφορά και εμφάνισαν ελάχιστες καταρρεύσεις. Αυτό αποδίδεται στην ικανότητα απόσβεσης, της εισερχόμενης σεισμικής ενέργειας που διαθέτουν αυτά τα κτήρια. Για την αποφυγή περαιτέρω αποσύνθεσης της τοιχοποιίας (π.χ. αγιογραφίες ναών, εκθέματα μουσείων κλπ.), θα πρέπει να ληφθούν άμεσα μέτρα προστασίας από τα νερά της βροχής.
- Σε κτήρια Ο/Σ, παρατηρήθηκαν περιπτώσεις ανάπτυξης υστερητικής απόσβεσης μέσω της ρηγμάτωσης του οπλισμένου σκυροδέματος και της ανελαστικής παραμόρφωσης του χάλυβα των οπλισμών, καθώς οι περιπτώσεις ρηγμάτωσης του φέροντα οργανισμού κτηρίων Ο/Σ ήταν αρκετές και προσδιορίστηκε πολύ καλή αντισεισμική απόκριση. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει, για μια ακόμη φορά, ότι τα υφιστάμενα κτήρια από σκυρόδεμα, διαθέτουν σημαντικά αποθέματα αντοχής. Τα αποθέματα αυτά διατίθενται από την υπερστατικότητα του φέροντος οργανισμού, την υπεραντοχή των επιμέρους δομικών τους στοιχείων, την υποβοήθηση των φερόντων στοιχείων από τις τοιχοποιίες



πλήρωσης και από αποσβέσεις της σεισμικής ενέργειας κατά την εισαγωγή της στο κτήριο από την θεμελίωση μέχρι την ανωδομή (ιξώδεις και υστερητικές αποσβέσεις και αποσβέσεις τριβής). Η συσσωρευμένη εμπειρία τόσο από τον παρόντα, όσο και από προηγούμενους σεισμούς οδηγεί σε ενδείξεις ότι η σεισμική προστασία όχι μόνο στους οικισμούς του Νομού Ηρακλείου αλλά και των άλλων Ελληνικών περιοχών ενισχύεται επιπρόσθετα και από διάφορους πρόσθετους παράγοντες όπως η ορθή διάταξη του δομικού συστήματος ανάληψης σεισμικών φορτίων, η εκτενής χρήση τοιχωμάτων, η καλή κατασκευή των τοιχοποιιών πλήρωσης με οριζόντια σενάζ από Ο/Σ, η καλή ποιότητα υλικών και κατασκευής κ.ά.

7. ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη σύγκριση των παραμέτρων των σεισμών με αυτές του ρήγματος Καστελίου προκύπτει με αρκετή βεβαιότητα ότι η σεισμική ακολουθία σχετίζεται γενετικά με τη ρηξιγενή ζώνη της περιοχής Αρκαλοχωρίου-Καστελίου. Με τα μέχρι σήμερα στοιχεία, φαίνεται ότι η ακολουθία παρουσιάζει χαρακτηριστικά ομαλής εξέλιξης.

Κατά τον κύριο σεισμό της 27ης Σεπτεμβρίου αναπτύχθηκαν κορυφαίες τιμές επιτάχυνσης από τις μεγαλύτερες που έχουν μέχρι σήμερα καταγραφεί στην Ελλάδα (της τάξης του 0.6g στις οριζόντιες και 0.8g στην κατακόρυφη διεύθυνση). Σε όρους φασμάτων ελαστικής απόκρισης επιτάχυνσης με θεώρηση 5% απόσβεση, οι απόλυτες φασματικές τιμές τόσο των οριζοντίων όσο και της κατακόρυφης συνιστώσας της σεισμικής κίνησης ήταν κατά πολύ μεγαλύτερες από τις δράσεις σχεδιασμού ακόμα και του πιο σύγχρονου κανονισμού (Ευρωκώδικας 8) για περιόδους μικρότερες από 0.5sec για τις οριζόντιες και 0.25sec για την κατακόρυφη συνιστώσα.

Ο βασικός τύπος αστοχίας γεωτεχνικού ενδιαφέροντος στην περιοχή που επισκέφτηκε κλιμάκιο ερευνητών του ΙΤΣΑΚ αφορούσε σε αστοχίες τοίχων αντιστήριξης, οι οποίοι στην πλειονότητά τους ήταν λιθόκτιστοι και αντιστήριζαν φυσικά πρανή για την θεμελίωση κατασκευών. Οι βλάβες στις κατασκευές στην ίδια περιοχή επικεντρώνονται κυρίως στα παραδοσιακά λιθόκτιστα κτήρια κατοικιών χωρίς αντισεισμικές προδιαγραφές.

Παρά το γεγονός ότι η αποτύπωση των βλαβών αφορούν το αθροιστικό αποτέλεσμα που επέφεραν οι σεισμοί **M6.0** της 27^{ης} και **M5.3** της 28^{ης} Σεπτεμβρίου και ενδεχομένως ο σεισμός **M4.8** της 24^{ης} Ιουλίου 2021, η εικόνα της κατανομής των βλαβών στους οικισμούς (πλην του Αρκαλοχωρίου) συνάδει και συσχετίζεται με την κατανομή των σεισμικών επιταχύνσεων και μακροσεισμικών εντάσεων των χαρτών αισθητότητας του σεισμού **M 6.0** της 27^{ης} Σεπτεμβρίου.

Για την εγγύς περιοχή του επικέντρου όπου βρίσκεται το Αρκαλοχώρι, η εικόνα των βλαβών ιδιαίτερα στα κτήρια οπλισμένου σκυροδέματος δεν φαίνεται να αντιστοιχεί στις ιδιαίτερα υψηλές επιταχύνσεις τόσο σε οριζόντιο άξονα όσο και σε κατακόρυφο. Τα κτήρια με παλιούς κανονισμούς υπέστησαν βλάβες όμως πολύ μικρότερες από το επίπεδο της



διέγερσης και την εικόνα βλαβών σε άλλους οικισμούς με πολύ μικρότερες επιταχύνσεις. Η συμβολή στοιχείων πλήρωσης στη συγκεκριμένη περίπτωση, τα αποθέματα αντοχής έπαιξαν ουσιαστικό ρόλο. Όμως όλα αυτά θα πρέπει να διερευνηθούν λεπτομερώς σε πραγματικές κατασκευές από την επικεντρική περιοχή (ξυλότυπους κλπ) και να διακριβωθεί η ακριβής ανελαστική συμπεριφορά χαρακτηριστικών κατασκευών στους πληγέντες οικισμούς.

Επιπροσθέτως, σε επίπεδο πρόληψης, σε αντίστοιχες περιπτώσεις όπου παρατηρείται σεισμική ενεργοποίηση όπως αυτή στην περιοχή Αρκαλοχωρίου-Καστελίου, θα ήταν εξαιρετικά χρήσιμη για την Πολιτεία η διερεύνηση σεισμικών σεναρίων με σκοπό την εκτίμηση της εδαφικής δόνησης και των συνακόλουθων δευτερογενών φαινομένων γεωκινδύνων στο εγγύς πεδίο του ρήγματος καθώς και η εκτίμηση απωλειών και βλαβών στο δομημένο περιβάλλον (κτήρια, γέφυρες, κρίσιμες υποδομές και δίκτυα κοινής ωφελείας). Τα αποτελέσματα της σχετικής εφαρμοσμένης έρευνας θα μπορούσαν να συμβάλουν στη λήψη ορθών προληπτικών μέτρων από την Πολιτεία για τη μείωση των συνεπειών ενός ενδεχόμενου ισχυρού σεισμού.

Ευχαριστίες

Το δίκτυο της Μονάδας ΙΤΣΑΚ του ΟΑΣΠ εγκαταστάθηκε και παρακολουθείται για την εξασφάλιση της εύρυθμης και αδιάλειπτης 24/7 λειτουργίας σε συνεργασία με τους κκ Στρ. Ζαχαρόπουλο, Απ. Μαρίνο και Ν. Αδάμ, μέλη του εργαστηρίου του ΙΤΣΑΚ. Ο Δρ Π. Τριανταφυλλίδης συνέβαλε στη διαμόρφωση του λογισμικού USGS Shakemap v4.0 για τον Ελλαδικό χώρο και στην παραγωγή των σχετικών χαρτών αισθητότητας..

Βιβλιογραφία

- Anagnostopoulos S.A., Rinaldis D., Lekidis V.A., Margaris V.N., and Theodoulidis N.P. (1987) The Kalamata, Greece, Earthquake of September 13, 1986, Earthquake Spectra, 1987 (DOI: 10.1193/1.1585434).
- Βασιλικό διάταγμα Β/Δ, «Περί Κανονισμών διά την μελέτην και εκτέλεσιν οικοδομικών έργων εξ ωπλισμένου σκυροδέματος», ΦΕΚ 160Α/26-6-1954.
- Βασιλικό διάταγμα Β/Δ, «Περί αντισεισμικού Κανονισμού οικοδομικών έργων», ΦΕΚ 36Α/26-2-1959.
- Βασιλικό διάταγμα Β/Δ 1959 – Πρόσθετες διατάξεις: Τροποποίηση και συμπλήρωση του Β/Δ της 19/26 Φεβρουαρίου 1959 «Περί αντισεισμικού Κανονισμού οικοδομικών έργων», ΦΕΚ239Β/16-4-1984.
- Boore D., J.P. Stewart, A. A. Skarlatoudis, E. Seyhan, B.I Margaris, N. Theodoulidis, E. Scordilis, I. Kalogeras, N. Klimis, N. S. Melis. (2020) A Ground-Motion Prediction Model



for Shallow Crustal Earthquakes in Greece. Bull. Seism. Soc. Am., 2, 111, 857–874. doi: <https://doi.org/10.1785/0120200270>

- Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ2000), ΦΕΚ 1329Β/20-12-1999, (1999).
Διορθώσεις-προσθήκες: ΦΕΚ 423Β της 12-3-2001. Τροποποιήσεις/προσθήκες: ΦΕΚ 781Β/18-6-2003, ΦΕΚ 1154Β/12-8-2003, ΦΕΚ 1153Β/12-8-2003, ΦΕΚ 270Β/16-3-2010, ΦΕΚ 350Β/17-2-2016.
- Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών – Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια, ΕΛΟΤ EN1998-1 (Ελληνικό Εθνικό Προσάρτημα, ΦΕΚ 2692/31-12-2008).
- Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΝΕΑΚ) (1992). ΦΕΚ 613Β/12-10-1992. Τροποποιήσεις/προσθήκες: ΦΕΚ 774Β/12-10-1994, ΦΕΚ 534Β/20-6-1995, ΦΕΚ 588Β/6-6-1995, ΦΕΚ 850Β/11-10-1995.
- Παραϊοαννου, Ch. A. and B.C. Papazachos (2000): Time independent and time dependent seismic hazard in Greece based on seismogenic sources. Bull. Seism. Soc. Am., 90, 22-33.
- Papazachos, B.C. (1980). Seismicity rates and long-term prediction in the Aegean area. Quat. Geod. 3, 171-19.
- Papazachos, B.C. (1989). Measures of earthquake size in Greece and surrounding areas. Proc. 1st Scient. Conf. Geophys. Soc. Greece, April 1989, Athens, 438-447.
- Παπαζάχος, Β.Κ. και Κ.Β. Παπαζάχου (2003). Σεισμοί της Ελλάδας Γ Έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη σελ. 286.
- Παπαζάχος, Β. Κ., Δ. Μ., Μουντράκης, Κ.Β. Παπαζάχος, Μ. Δ. Τρανός, Γ. Φ, Καρακαϊσης, και Α. Σ. Σαββαΐδης (2001): Τα ρήγματα που προκάλεσαν τους γνωστούς ισχυρούς σεισμούς στην Ελλάδα και τη γύρω περιοχή από τον 5ο αιώνα π.Χ. μέχρι σήμερα. 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Θεσσαλονίκη, 28-30 Νοεμβρίου 2001, Α, 17-26.
- Papazachos, B, E. Scordilis, D. Panagiotopoulos, C. Papazachos and G. Karakaisis. (2004): Global relations between seismic fault parameters and earthquakes moment, Proc. “10th International Congress of Geological Society of Greece”, Thessaloniki, 14-17 April, 2004.