

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Αρχαιοσεισμολογία και τοπογραφία : Η περίπτωση
του αρχαίου θεάτρου Πατρών και της Αρχαίας
Κορίνθου»**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ

ΛΟΥΜΑΝΗ ΕΥΓΕΝΙΑ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΛΥΚΟΥΡΓΙΩΤΗΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2017

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.....	1
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ.....	1
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.....	1
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ.....	1
Αρχαιοσεισμολογία και τοπογραφία : Η περίπτωση του αρχαίου θεάτρου Πατρών και της Αρχαίας Κορίνθου.....	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ.....	9
1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΕΙΣΜΟΣ.....	9
1.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΕΝΕΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ.....	10
1.3 ΕΙΔΗ ΣΕΙΣΜΩΝ.....	12
1.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΣ.....	13
1.5 ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ.....	14
1.6 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ.....	15
1.7 ΡΗΓΜΑΤΑ.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΡΧΑΙΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΑΛΛΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΓΕΝΕΣΤΕΡΩΝ.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΡΧΑΙΟΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΠΟ ΑΝΑΣΚΑΦΕΣ.....	44
3.1 Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΡΗΓΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΙΣΙΑΣ, ΣΤΟΝ ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΟ ΚΟΛΠΟ, ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΡΗΓΜΑΤΟΣ. (Silke Mechernich, Ioannis D. Papanikolaou, T. J. Dunai, Klaus R. Reicherter).....	44
3.1.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΡΗΓΜΑ ΤΟΥ ΠΙΣΙΑ.....	46
3.1.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.....	47
3.1.3 ΣΥΖΗΤΗΣΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	50
3.2 ΖΗΜΙΕΣ ΣΤΟΝ ΝΑΟ ΠΡΑΜΒΑΝΑΝ ΤΟΥ 9 ^{ου} ΑΙΩΝΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΛΗΘΗΚΑΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΕΙΣΜΟ ΤΗΣ ΓΙΟΓΚΙΑΚΑΡΤΑ ΤΟ 2006 (Christoph Grutzner, Jin-Hyuck Choi, Paul Edwards, Young-Seog Kim).....	52
3.3 ΠΑΛΑΙΟΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΡΗΓΜΑΤΟΣ GELEE, LOWER RHINE GRABEN (Kris Vanneste , Koen Verbeeck, Thierry Camelbeeck).....	61
3.4. ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΘΑΜΜΕΝΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΔΟΜΩΝ ΜΕ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ, ΣΤΗΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ, ΕΛΛΑΔΑ (John Alexopoulos, Emmanuel Vassilakis, Spyridon Dilalos, Charilaos Pantelis, Taxiarchis Papadopoulos).....	67
3.5 ΑΡΧΑΙΟΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑ ΣΕ ΕΝΑΝ ΟΙΚΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΠΟΧΗΣ ΤΟΥ ΧΑΛΚΟΥ: (La Tira del Lienzo) (Totana, Ισπανία) (Marta Ferrater, María Ortuño, P.G. Silva, Miguel Angel Rodriguez-Pascua).....	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ, ΑΣΤΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ ΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΡΩΜΑΪΚΗ ΠΑΤΡΑ, ΕΛΛΑΔΑ (Alexandra-Venetia Stamati and Stathis C. Stiros, Jamie Woodward).....	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	98
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	98
5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΡΧΑΙΟΥ ΩΔΕΙΟΥ ΠΑΤΡΑΣ ΚΑΙ ΕΥΡΥΜΑΤΩΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΑΡΧΑΙΑΣ ΚΟΡΙΝΘΟΥ.....	98
5.2.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΡΩΜΑΪΚΟ ΑΡΧΑΙΟ ΩΔΕΙΟ.....	98

5.2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΩΔΕΙΟΥ.....	101
5.3. ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΡΧΑΙΑ ΚΟΡΙΝΘΟ.....	105
5.3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΑΡΧΑΙΩΝ.....	107
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	115

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη καταστροφών σε κτίρια και ναούς, που οφείλονται κυρίως σε αρχαίους, αλλά και μεταγενέστερους σεισμούς και πως συμβάλλει σε αυτό η Αρχαιοσεισμολογία.

Πιο αναλυτικά η δομή της εργασίας υποδιαιρείται σε κεφάλαια ως ακολούθως: Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά κυρίως σε ορισμούς, όπως τι είναι σεισμός, ποια η διαδικασία γένεσης αυτών, πως κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το βάθος τους, ποιες είναι οι κλίμακες μέτρησης αυτών, καθώς και πως μπορεί να γίνει πρόγνωση τους. Τέλος, δίνεται ο ορισμός των ρηγμάτων και οι τύποι τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο έχει γίνει μία παρουσίαση των κυρίως αρχαίων καταστροφικών σεισμών αλλά και κάποιων μεταγενέστερων όπως διασώθηκαν από τα κείμενα. Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι περισσότεροι από αυτούς τους σεισμούς συνέβαλαν αρκετά στη διαμόρφωση κάποιων αρχαίων πολιτισμών. Επίσης, τα κείμενα που διασώθηκαν και μας πληροφορούν για το τι συνέβη τότε και πως αντιλαμβάνονταν εκείνη την εποχή την έννοια του σεισμού είναι οι βασικές μας πηγές και θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως κειμήλια.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται εκτενώς παραδείγματα αρχαιοσεισμολογικής ανάλυσης από άλλες έρευνες. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται μία γενική αναφορά στον κάθε σεισμό, μετά γίνονται αναφορές στις ζημιές που έγιναν καθώς και αν υπήρχαν θύματα και τέλος οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν από τους ειδικούς για την ανάλυση των καταστροφών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται η πόλη της Πάτρας. Πιο συγκεκριμένα, ποιοι σεισμοί έπληξαν ανά τους αιώνες τη Ρωμαϊκή Πόλη της Πάτρας και ποιες ζημιές ήταν αποτελέσματα λεηλασιών, καθώς και πώς τα παραπάνω επηρέασαν την αστική της εξέλιξη.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο έχει γίνει μία προσωπική έρευνα και ανάλυση στο αρχαίο ωδείο της Πάτρας και στον αρχαιολογικό χώρο της Αρχαίας Κορίνθου. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται φωτογραφικό υλικό, όπου αναλύονται οι ζημιές που έχουν υποστεί οι κολώνες και άλλα αρχαία ευρήματα και γίνεται μια εκτίμηση του σε ποια κατηγορία εντάσσονται αναλόγως τη ζημιά που έχουν υποστεί.

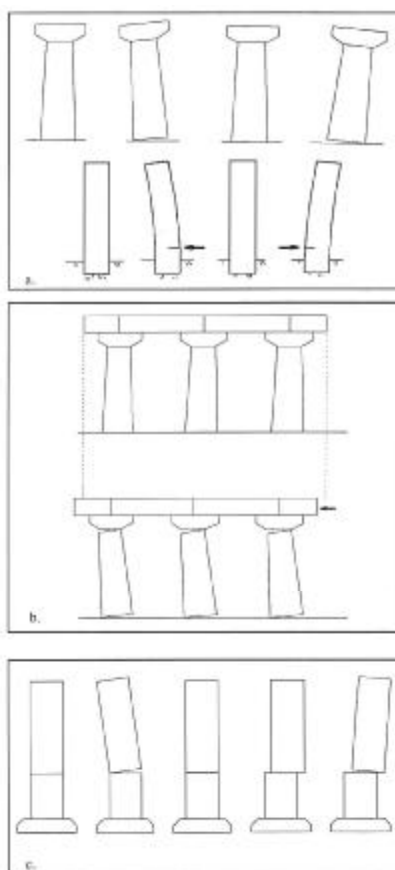
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία μελετά στο πως οι αρχαιολόγοι ξεχωρίζουν πότε οι ρωγμές και γενικότερα οι οποιεσδήποτε παραμορφώσεις σε ναούς, κολώνες, σπίτια και άλλα οικοδομήματα έχουν προέλθει από σεισμούς και πότε από φυσικές και ανθρωπογενείς συνέπειες. Επίσης, μελετά τον τρόπο με τον οποίο σκέφτονταν οι αρχιτέκτονες τα αρχαία χρόνια, καθώς και το πως οι κτίστες προσπαθούσαν να ελαχιστοποιήσουν τις «αδυναμίες» που μπορεί να επέφερε η δουλειά τους σε αυτό που είχαν αναλάβει να χτίσουν. Αξίζει να σημειωθεί, ότι υπάρχουν κάποια κριτήρια, σύμφωνα με τα οποία διάφοροι σεισμοί έχουν συνδεθεί με τις αντίστοιχες καταστροφές, κάτι που συνεισφέρει πολύ στο να αποκτήσει γερά θεμέλια η Αρχαιοσεισμολογία. Τέλος, η εξοικείωση της αρχαιολογικής κοινότητας με τους σεισμούς, η συστηματική και επιστημονική προσέγγιση σχετικά με αυτό το ζήτημα θεωρείται η αιτία της γέννησης της Αρχαιοσεισμολογίας ως διεπιστημονικής έρευνα.

Επιπροσθέτως, είναι αξιοσημείωτο ότι υπήρχαν πολλά διαφορούμενα στοιχεία σχετικά με το ότι πολλές από τις καταστροφές που είχαν υποστεί αρχαίες κατασκευές, ήταν λόγω πυρκαγιών και κατολισθήσεων, και έτσι πραγματικά η απόδοση των καταστροφών αυτών λόγω σεισμών θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως από μηχανής Θεός (Deus ex machine). Βιβλία σεισμολογίας ή γεωλογίας αναφέρουν ότι το έδαφος από το οποίο αποτελείται η γη είναι άκαμπτο, μη σταθερό και αποτελείται από «κομματάκια» στο μέγεθος μίας ηπείρου τις περισσότερες φορές. Ακόμα, τη στιγμή που γίνεται μία ρωγμή, οι πλάκες αυτές ανακτούν την αρχική τους κατάσταση, αλλά σε άλλη θέση προκαλώντας τη σεισμική δόνηση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η δόνηση να μεταδοθεί πέρα από το επίκεντρο σε μορφή κυμάτων. Οι περισσότερες παραμορφώσεις σε κατασκευές γίνονται όταν η συχνότητα των σεισμικών κυμάτων ταυτίζεται ή είναι κοντά στη φυσική συχνότητα ή ιδιοπερίοδο της ταλάντωσης της κατασκευής. Το μήκος κύματος δεν ταξιδεύει πολύ μακριά. Ένας σεισμός μπορεί να καταστρέψει μικρά κτίσματα, κυρίως αν είναι κοντά στο επίκεντρο. Σε αντίθετη περίπτωση, ένας σεισμός καταστρέφει κτίρια, τα οποία είναι πολυώροφα, χωρίς να προκαλέσει ζημιές στα διπλανά τους που δεν είναι τόσο ψηλά.

Πιο συγκεκριμένα, το μέγεθος του σεισμού βασίζεται στην ελαστική ενέργεια, η οποία απελευθερώνεται και δεύτερον στις διαστάσεις του σεισμικού σφάλματος.

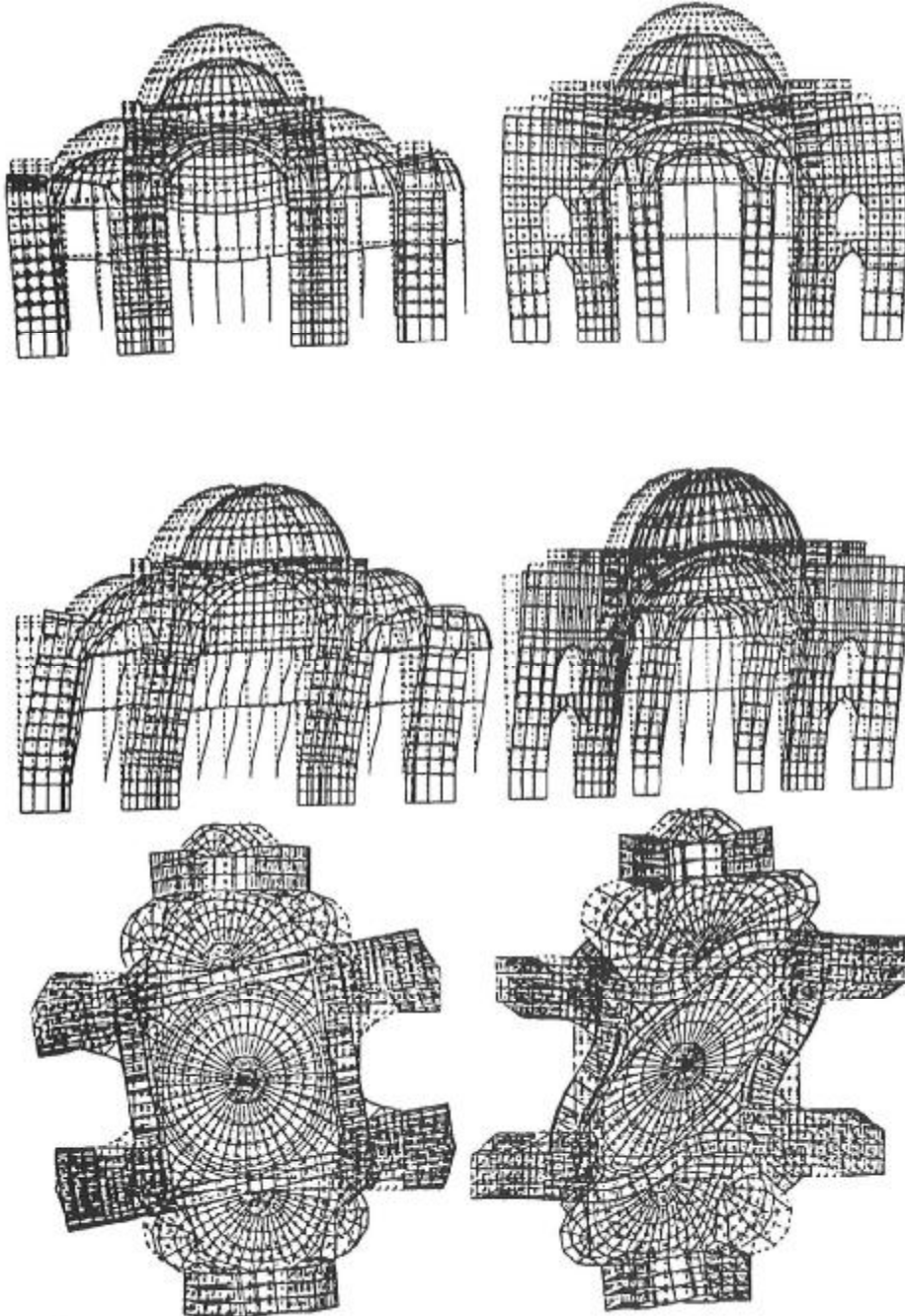
Επίσης, πολύ σημαντική είναι η ένταση του σεισμού, η οποία μετρά πόσο δονήθηκε το έδαφος ή τις ζημιές που έγιναν. Ακόμα, η ένταση του σεισμού και το βάθος εξαρτώνται από το επίκεντρο καθώς και από το γεωλογικό παρελθόν μιας περιοχής. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της κολώνας «Antonina» και της κολώνας «Traiana» στη Ρώμη. Αυτές οι δύο κολώνες είχαν μεταξύ τους μόλις 7 μέτρα, αλλά λόγω της διαφορετικής τους συντήρησης είχαν διαφορετική αντίδραση στο σεισμό.



Εικόνα 1. α). Στην πρώτη περίπτωση βλέπουμε τη σεισμική ταλάντωση που δέχεται μία λεπτή μονολιθική κολώνα, η οποία δεν έχει καμία στήριξη δεξιά και αριστερά από αυτήν και πως «χτυπά» στο έδαφος κατά την ταλάντωση. Στην δεύτερη περίπτωση βλέπουμε μία κολώνα φτιαγμένη από κονίαμα, το οποίο δεν έχει την ελαστικότητα που χρειάζεται, ώστε να αντέξει την ταλάντωση με αποτέλεσμα να απόκτα ρωγή (στο σημείο που δείχνει το βελάκι) και τέλος να καταρρέει. β). Σε αυτή την περίπτωση παρατηρούμε τρεις κολώνες ενός ναού, οι οποίες δέχονται σεισμική ταλάντωση και έχουν την τάση να πάρουν την μορφή παραλληλογράμμου. γ). Στην τρίτη και τελευταία εικόνα βλέπουμε μία κολώνα, η οποία αποτελείται από δυο τμήματα. Με τον σεισμό αυτά τα τμήματα δέχονται την ταλάντωση, με αποτέλεσμα το επάνω κομμάτι να απομακρυνθεί από το κάτω.

Σχετικά με τα παραπάνω πρέπει να αναφερθεί ότι καθώς τα κύματα μεταδίδονται εκδηλώνουν δύο δυνάμεις: μία οριζόντια, η οποία ασκείται στην

κορυφή της κατασκευής και μία κάθετη, η οποία ασκείται στα θεμέλια. Έτσι, για παράδειγμα σε μία κολώνα, οι δυνάμεις αυτές θα την κάνουν να ταλαντεύεται κάθετα. Εάν η κατασκευή αποτελείται από καλά υλικά, τότε η παραμόρφωση που δέχεται θα αρχίσει να μειώνεται γρήγορα ή θα υποστεί κάποιες μόνιμες καταστροφές.



Εικόνα 2. Βλέπουμε ένα παράδειγμα των στατικών και δυναμικών δυνάμεων. Το σχέδιο είναι της Αγίας Σοφίας στην Κωνσταντινούπολη, όπου φαίνονται τα φορτία που έχει από μόνη της η κατασκευή και τα φορτία του σεισμού, τα οποία προκάλεσαν τις παραμορφώσεις στη κατασκευή. (Πηγή: Archaeoseismology by S. Stiros και R.E. Jones)

Μερικά κτίρια καταστρέφονται μερικώς ή ολικώς χωρίς η αιτία να είναι κάποιος σεισμός, αλλά κάποια στατική αδυναμία. Σε αυτό μπορεί να ευθύνεται η κακή σχεδίαση, κάποια παραμόρφωση είτε λόγω των πολλών ετών είτε λόγω εξασθενημένων θεμελίων. Πιο συγκεκριμένα, τα μνημεία φτιάχτηκαν με την προϋπόθεση να αντέξουν «για πάντα» αν γίνεται, αλλά λόγω του ότι τα περισσότερα είναι φτιαγμένα από μάρμαρο, οι μεγάλες διαστάσεις τους έρχονται σε αντίθεση με το βάρος του υλικού και έτσι οδηγούμαστε σε ρωγμές και στατικές αστοχίες. Επιπροσθέτως, υπάρχουν και οι δυναμικές δυνάμεις, οι οποίες θα μπορούσαν αλλιώς να χαρακτηριστούν και ως εξωτερικές, εφόσον δεν σχετίζονται με τη δομή του κτίσματος. Εκτός από τους σεισμούς άλλα δυναμικά φορτία που θα μπορούσαμε να αναφέρουμε είναι οι άνεμοι, οι κατολισθήσεις εκρήξεις, οι πλημμύρες και άλλα. Παραδείγματος χάρη, η κολώνα στο ναό του Δία που έπεσε κατά τη διάρκεια καταιγίδας, έχοντας τη μορφή ντόμινο, η οποία είναι πιο συχνή σε σεισμικές καταστροφές.



Εικόνα 3. Βλέπουμε μία παράλληλη «τακτοποίηση» σε κολώνες στο ναό του Δία, στις οποίες το χαρακτηριστικό είναι η διαρρύθμιση ντόμινο, που προκλήθηκε από σεισμική δόνηση πιθανόν τη Βυζαντινή περίοδο. (Πηγή: Archaeoseismology by S. Stiros και R.E. Jones)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΕΙΣΜΟΣ

Σεισμός είναι η δόνηση ή η ξαφνική κίνηση της επιφάνειας της Γης. Ο σεισμός στις περισσότερες περιπτώσεις γίνεται αισθητός από την κίνηση του εδάφους, καθώς μέρος της ενέργειας μεταφέρεται στην επιφάνειά της Γης μέσω των σεισμικών κυμάτων. Τα κύματα αυτά διαδίδονται στο φλοιό με ταλαντώσεις των πετρωμάτων και φτάνοντας στην επιφάνεια, προκαλούν τις αναταράξεις του εδάφους που αισθανόμαστε. Άλλη μια εκδήλωση των σεισμών, που προκαλείται από τη μετακίνηση των πετρωμάτων, είναι η δημιουργία τσουνάμι στη θάλασσα, όταν ο σεισμός είναι υποθαλάσσιος, και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την κατακόρυφη ανάταξη του βυθού.

Ο σεισμός δημιουργείται συνήθως μέσα στο γήινο φλοιό. Το σημείο, στο οποίο "γεννιέται" ο σεισμός, δηλαδή ξεκινά το σπάσιμο των πετρωμάτων που προκαλεί το σεισμό, ονομάζεται **εστία ή υπόκεντρο**.

Όταν συμβεί ένας σεισμός σε μια περιοχή, όλοι μιλούν συνήθως για τρία πράγματα: το επίκεντρο, το μέγεθος και την ένταση.

Επίκεντρο είναι το σημείο που βρίσκεται στην επιφάνεια της γης, ακριβώς κατακόρυφα πάνω από την εστία.

Μέγεθος είναι η ποσότητα ενέργειας που απελευθερώνεται με ένα σεισμό. Αυτή η ποσότητα είναι συγκεκριμένη, μοναδική για κάθε σεισμό και υπολογίζεται με μαθηματικούς τύπους, χρησιμοποιώντας στοιχεία που καταγράφουν ειδικά όργανα τα οποία ονομάζονται σειсмоγράφοι. Οι μετρήσεις του μεγέθους γίνονται με βάση την κλίμακα Ρίχτερ. Σεισμοί με μέγεθος μικρότερο των 4,0 Ρίχτερ δεν προκαλούν συνήθως ζημιές, ενώ αυτοί με μέγεθος μικρότερο των 2,0 Ρίχτερ δεν γίνονται αισθητοί. Αντίθετα εκείνοι με μέγεθος μεγαλύτερο των 5,0 Ρίχτερ μπορούν να προκαλέσουν καταστροφές. Οι σεισμοί μπορούν να γίνουν αισθητοί σε ακτίνα πολλών χιλιομέτρων και έχουν διάρκεια μικρότερη του ενός λεπτού. Μέχρι σήμερα ο τόπος, ο χρόνος και το μέγεθος ενός σεισμού δεν μπορούν να προβλεφθούν.

Η ένταση μας δείχνει το πόσο καταστροφικός είναι ένας σεισμός. Η ένταση μετριέται σε βαθμούς Μερκάλλι και εξαρτάται από το εάν ένας σεισμός έχει βλάψει

μια περιοχή ή όχι. Δεν είναι δηλαδή ένας αριθμός μοναδικός, όπως το μέγεθος, και διαφέρει από μέρος σε μέρος. Σε μια τοποθεσία κοντά στο επίκεντρο, η ένταση του σεισμού μπορεί να είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι μακριά από αυτό.

1.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΕΝΕΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ

Είναι ιδιαίτερα δύσκολο να γίνει άμεση παρατήρηση της διαδικασίας γένεσης των σεισμών στα ρήγματα με όργανα μέτρησης, καθώς οι σεισμοί συμβαίνουν σε βάθη όπου δεν είναι δυνατή η εγκατάσταση οργανολογίας. Έτσι χρησιμοποιούνται έμμεσα φαινόμενα όπως η εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (ΗΜΑ) που παράγεται κατά τη θραύση των υλικών. Αυτή ενδεχομένως καταγράφεται στην επιφάνεια κατά τη διάρκεια της εκδήλωσης των διαφόρων σταδίων προετοιμασίας του σεισμού, μέχρι να γίνει τελικά η σχετική ολίσθηση των δύο πλευρών του ρήγματος, δηλαδή ο σεισμός.

Η λιθόσφαιρα της Γης αποτελείται από επτά μεγάλες πλάκες: την Ευρασιατική, την Αφρικανική, την Ινδο-Αυστραλιανή, την πλάκα του Ειρηνικού Ωκεανού, τη Βορειο-Αμερικανική, τη Νοτιο-Αμερικανική και την Ανταρκτική πλάκα. Υπάρχουν όμως και αρκετές μικρότερες. Τα βέλη δείχνουν την κίνησή τους:



Εικόνα 1.2.1. Βλέπουμε την κίνηση των επτά πλακών, από τις οποίες αποτελείται η λιθόσφαιρα της γης.

Η ΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΛΙΘΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ ΓΙΝΕΤΑΙ ΜΕ ΤΡΕΙΣ ΤΡΟΠΟΥΣ:

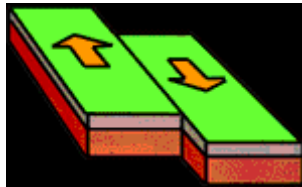
- Μερικές αποκλίνουν, δηλαδή απομακρύνονται η μία από την άλλη.



- Μερικές συγκλίνουν, δηλαδή πλησιάζουν η μία την άλλη.



- Άλλες ολισθαίνουν, δηλαδή γλιστρούν η μία δίπλα στην άλλη.

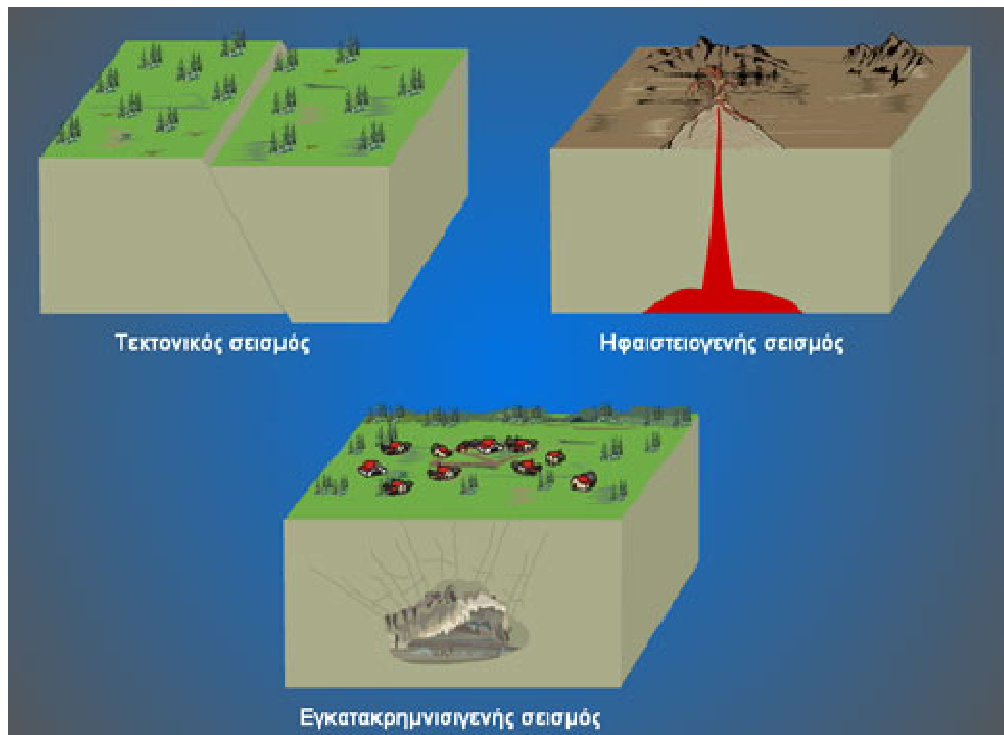


Με τον τρόπο αυτό, όμως, τα πετρώματα που βρίσκονται στα ακρότατα σημεία των λιθοσφαιρικών πλακών αρχίζουν να παραμορφώνονται. Αυτό γίνεται πολύ αργά, ωστόσο αρκεί για να συσσωρευτούν τεράστια ποσά δυναμικής ενέργειας. Από ένα όριο και μετά προκαλείται θραύση των πετρωμάτων και τα κομμάτια τους κινούνται για να ισορροπήσουν σε νέες θέσεις. Τη χρονική αυτή στιγμή γεννιέται ένας σεισμός.

1.3 ΕΙΔΗ ΣΕΙΣΜΩΝ

Οι σεισμοί κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- τους εγκατακρημισιγενείς
- τους ηφαιστειογενείς
- τους τεκτονικούς



Εικόνα 1.3.1. Τα είδη των σεισμών σε σκίτσα.

ΕΓΚΑΤΑΚΡΗΜΣΙΓΕΝΕΙΣ

Εγκατακρημισιγενείς είναι οι σεισμοί που πραγματοποιούνται από την πτώση μεγάλων πετρωμάτων πάνω στη Γη λόγω βαρύτητας. Τα πετρώματα αυτά είναι συνήθως οροφές διαφόρων σπηλαίων που πέφτουν και τους προκαλούν. Οι σεισμοί αυτοί έχουν μικρό μέγεθος και διαρκούν τόσο χρονικό διάστημα όσο απαιτείται για την πτώση των πετρωμάτων. Επιπλέον είναι τοπικοί σεισμοί και καλύπτουν το 3% περίπου των σεισμών που πραγματοποιούνται πάνω στη Γη.

ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΓΕΝΕΙΣ

Οι ηφαιστειογενείς σεισμοί προηγούνται των ηφαιστειακών εκρήξεων ή και τις συνοδεύουν. Η αιτία που τους προκαλεί πιστεύεται ότι είναι η απελευθέρωση των αερίων του μάγματος το οποίο τροφοδοτεί τα ηφαίστεια μέσα από τους πόρους ή τις ρωγμές που φτάνουν έως και την επιφάνεια της Γης. Οι ηφαιστειογενείς σεισμοί είναι και αυτοί κυρίως μικροί σεισμοί, οι οποίοι έχουν την εστία τους σε μεγάλη απόσταση από το ηφαίστριο, αλλά με την πάροδο του χρόνου πλησιάζει συνέχεια προς αυτό με όλο και μικρότερο βάθος, ενώ ταυτόχρονα γίνονται συχνότεροι. Το μέγεθός τους γενικά εξαρτάται από την αντίσταση που συναντάει το μάγμα κατά την ανύψωσή του προς την επιφάνεια της Γης. Οι ηφαιστειογενείς σεισμοί καλύπτουν το 7% περίπου του συνολικού αριθμού των σεισμών που πραγματοποιούνται στον πλανήτη μας.

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟΙ

Τέλος έχουμε τους τεκτονικούς σεισμούς που είναι και η μεγαλύτερη κατηγορία των σεισμικών δονήσεων. Οι σεισμοί αυτοί έχουν συνήθως μεγάλο μέγεθος και η εστία τους μπορεί να βρίσκεται σε βάθος 700 χιλιομέτρων από την επιφάνεια της Γης. Είναι οι μεγάλοι σεισμοί που πραγματοποιούνται στον πλανήτη μας. Καλύπτουν περίπου το 90% των σεισμικών δονήσεων σε ολόκληρο τον κόσμο. Στην χώρα μας το 90% των σεισμών είναι τεκτονικοί.

1.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΣ

Όπως ανέφερα και παραπάνω η ακριβής θέση στην οποία συμβαίνει ένας σεισμός ονομάζεται **εστία**. Αν η εστία θεωρηθεί ως σημείο, αυτό ονομάζεται **υπόκεντρο**. Ανάλογα με την απόσταση του υποκέντρου από την επιφάνεια της Γης, οι σεισμοί χαρακτηρίζονται ως:

- Επιφανειακοί ή σεισμοί μικρού βάθους (0 – 30 km)
- Σεισμοί ενδιάμεσου βάθους (30 – 70 km)
- Σεισμοί μεγάλου βάθους (άνω των 70 km)

Το εστιακό βάθος είναι σημαντικό χαρακτηριστικό ενός σεισμού, ως προς τις καταστροφές που αυτός μπορεί να επιφέρει στις ανθρώπινες κατασκευές. Π.χ. ένας επιφανειακός σεισμός μεγέθους 6,5 Ρίχτερ είναι καταστρεπτικότερος από ένα σεισμό ενδιάμεσου βάθους μεγέθους 6,9 Ρίχτερ. Αυτό συμβαίνει για δύο κυρίως λόγους:

- Όσο αυξάνεται το βάθος, αυξάνεται και η απόσταση μεταξύ εστίας και επιφανείας της Γης, επιφέροντας έτσι εξασθένηση στα σεισμικά κύματα.
- Η διασπορά (δηλαδή η μεταφορά σε διάφορα σημεία) των σεισμικών κυμάτων είναι μεγαλύτερη.

1.5 ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ

Για την μέτρηση μιας σεισμικής δόνησης χρησιμοποιούνται κυρίως δύο κλίμακες:

Κλίμακα Ρίχτερ (Richter)

Στην κλίμακα αυτή μετράται το **μέγεθος** ενός σεισμού στην εστία του. Ουσιαστικά στην κλίμακα μετράται η ενέργεια που εκλύεται στον εστιακό χώρο με τη σεισμική θραύση και την ολίσθηση των πετρωμάτων. Παρότι η κλίμακα δεν έχει ανώτατο όριο, σεισμοί μεγαλύτεροι από 9,5 Ρίχτερ δεν έχουν παρατηρηθεί στη Γη. Επίσης, στην κλίμακα μετρώνται και αρνητικές τιμές, καθώς όταν ορίστηκε δεν ήταν δυνατόν με τα όργανα της τότε εποχής να καταγραφούν μικρότερα μεγέθη σεισμών. Η κλίμακα είναι λογαριθμική και χρησιμοποιείται για σεισμούς χαμηλότερους από 5 Ρίχτερ.

Κλίμακα Μερκάλι (Mercalli)

Στην κλίμακα αυτή μετράται η **ένταση** ενός σεισμού σε μία περιοχή στην επιφάνεια του φλοιού της Γης. Η ένταση αντιστοιχεί στο μέγεθος που θα είχε ένας επιφανειακός σεισμός, με επίκεντρο την περιοχή εκείνη, ο οποίος θα είχε τα ίδια καταστροφικά αποτελέσματα. Η κλίμακα είναι εμπειρική και προσπαθεί να εκτιμήσει την ένταση του σεισμού σύμφωνα με τις επιπτώσεις του σεισμού σε κτίρια, υποδομές κλπ. Είναι δωδεκαβάθμια και προσμετρά κυρίως τις

καταστροφές που προκαλούνται σε ανθρώπινες κατασκευές. Αυτό σημαίνει ότι ένας σεισμός που πλήττει ακατοίκητη περιοχή, δεν είναι δυνατό να αξιολογηθεί επαρκώς με αυτή την κλίμακα.

Άλλες κλίμακες

Επίσης, υπάρχουν άλλες κλίμακες που χρησιμοποιούνται για διάφορους λόγους. Η κλίμακα επιφανειακού μεγέθους M_s , η κλίμακα χωρικού μεγέθους m_b , η κλίμακα μεγέθους διάρκειας M_T , και η κλίμακα μεγέθους σεισμικής ροπής M_w . Η κλίμακα επιφανειακού μεγέθους μετράει το μέγεθος που λαμβάνεται από τη μέτρηση των κυμάτων επιφανείας. Να σημειώσουμε ότι το M_s είναι μεγαλύτερο από το M_L . Για παράδειγμα, αν το μέγεθος ενός σεισμού μετρήθηκε σαν 5 βαθμοί της κλίμακας Ρίχτερ (M_L), μπορεί να μετρηθεί και ως 5.5 M_s . Το M_s είναι αξιόπιστο για επιφανειακούς (< 50 km βάθος) σεισμούς και για μεγάλες αποστάσεις από το επίκεντρο. Χρησιμοποιείται στην Ελλάδα και προτάθηκε από τον Παπαζάχο. Η ενέργεια που εκλύεται δίνεται σε erg από τον τύπο : $\log E = 12,24 + 1,40 M_s$.

Η κλίμακα χωρικού μεγέθους είναι μια επέκταση της κλίμακας Richter και έτσι εκμεταλλευόμαστε καλύτερα το δίκτυο των σειсмоγράφων. Είναι το μέγεθος που λαμβάνεται από τη μέτρηση των πρωτευόντων P κυμάτων (Compressional Body Wave Magnitude). Είναι αξιόπιστο μέγεθος σεισμών με μεγαλύτερα εστιακά βάθη και για μεγάλες αποστάσεις από το επίκεντρο.

Η κλίμακα μεγέθους σεισμικής ροπής χρησιμοποιείται για σεισμούς άνω από 5 Ρίχτερ. Όλα τα προηγούμενα μεγέθη βγαίνουν από τύπους που περιέχουν ένα συγκεκριμένο πλάτος ταλάντωσης ενός σεισμικού κύματος σε κάποια χρονική στιγμή. Το M_w , το οποίο χρησιμοποιείται για τη μέτρηση μεγάλων σεισμών, υπολογίζεται από ένα πολύπλοκο τύπο και είναι πολύ αξιόπιστο. Ανακοινώσεις για μεγάλους σεισμούς (>5) χρησιμοποιούν αυτήν την κλίμακα.

1.6 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ

Οι μεμονωμένες προσπάθειες για πρόγνωση σεισμών έχουν δώσει αποτελέσματα, δεν έχουν όμως κάποια ευρέως αποδεκτή μέθοδο πρόγνωσης. Για να

θεωρηθεί μια μέθοδος πρόγνωσης ή συνεργασία μεθόδων επιτυχημένη, θα πρέπει να εκτιμά, για σεισμούς κάποιου μεγέθους και άνω, με ακρίβεια α) τις παραμέτρους της πρόγνωσης (τόπο, χρόνο, μέγεθος) και ταυτόχρονα β) τη βεβαιότητα πως θα γίνει σεισμός. Η ακρίβεια των παραμέτρων δεν έχει σαφώς καθοριστεί. Η προσπάθεια για πρόγνωση ενδυναμώνεται με την ενοποίηση των μεθόδων και τη σύγκλιση των εκτιμήσεων που προκύπτουν από αυτές, βελτιώνοντας την ακρίβεια των παραμέτρων της πρόγνωσης και ενισχύοντας την αξιοπιστία μιας πρότασης πως ένας μεγάλος σεισμός επέρχεται.

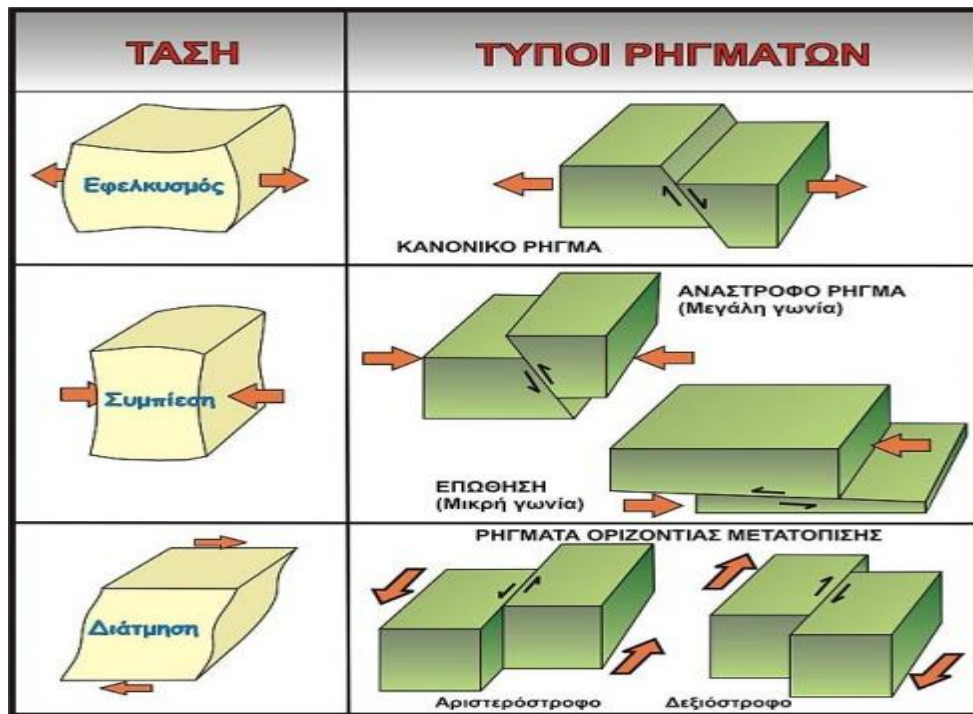
Η προειδοποίηση για σεισμούς σε πυκνοκατοικημένες περιοχές αμφισβητείται πως είναι χρήσιμο να ανακοινώνεται στο κοινό καθώς μπορεί να προκαλέσει περισσότερα θύματα από τον σεισμό αυτόν κάθε αυτόν λόγω πανικού, τροχαίων κτλ. και επειδή είναι αδύνατο να εκκενωθεί έγκαιρα και σε απόλυτο ποσοστό μια κατοικημένη περιοχή, ενώ υπάρχουν προβλήματα στην εκκένωση νοσοκομείων, γηροκομείων, χώρων που φιλοξενούν ζώα κτλ. Παρά ταύτα, εφαρμόζεται ήδη σειρά συστημάτων άμεσης προειδοποίησης για σεισμούς ανά την υφήλιο ακόμη και σε ομάδες της τάξης των εκατομμυρίων εκπαιδευμένων πολιτών.

Με σκοπό την ακόμη πιο έγκαιρη και έγκυρη προειδοποίηση γίνονται σημαντικές προσπάθειες για την πρόγνωση των σεισμών. Μία από τις μεθόδους που αναπτύχθηκαν τις τελευταίες δεκαετίες είναι η μέθοδος BAN (επινόηση των Ελλήνων Φυσικών Βαρώτσου, Αλεξόπουλου και Νομικού, απ' όπου και η ονομασία της). Ακρογωνιαίος λίθος στην έρευνα αυτή είναι οι ηλεκτρικές ώσεις που αναδύονται από τα πετρώματα όταν αυτά βρίσκονται υπό (μηχανική) τάση που υπερβαίνει ένα κρίσιμο σημείο. Τα πρόδρομα αυτά ηλεκτρικά σήματα εμφανίζονται στο δίκτυο καταγραφής ως και τρεις μήνες πριν την εκδήλωση του σεισμού και συνεκτιμώνται με άλλα δεδομένα από την ομάδα BAN όπως οι μαγνητικές διαταραχές που γεννώνται ταυτόχρονα με τις πρόδρομες ηλεκτρικές και η επιτάχυνση της σεισμικότητας. Υπάρχουν ακόμη προσπάθειες, (μία εξ' αυτών επίσης Ελληνική), που δίνουν μοντέλα για τις διαδικασίες της γένεσης του σεισμού καθώς πλησιάζει ο χρόνος της θραύσης του ρήγματος και αναλύοντας δεδομένα μετρήσεων βελτιώνουν σημαντικές παραμέτρους της πρόγνωσης και δίνουν συνθήκες βεβαιότητας για την έλευση του σεισμού. Σημαντική συνεισφορά στην πρόγνωση, εκτός από τις επίγειες μετρήσεις, έχουν ήδη - και εκτιμάται πως θα έχουν ακόμη περισσότερη - οι δορυφορικές παρατηρήσεις της Γης.

1.7 ΡΗΓΜΑΤΑ

Οι περισσότεροι από τους πιο καταστροφικούς σεισμούς σχετίζονται με τα ρήγματα. Με τον όρο ρήγμα ονομάζεται στη γεωλογία η διακοπή της συνέχειας μιας ομάδας στρωμάτων πετρωμάτων του στερεού φλοιού της Γης, η οποία συμβαίνει κατά επίπεδη επιφάνεια και σε μεγάλη έκταση. Ετυμολογικά ο όρος παράγεται από το αρχαίο ελληνικό ρήμα *ρήγνυμι*, που σημαίνει «ραγίζω», «σπάζω», «θραύω», «διασπώ».

Υπάρχουν 3 είδη ρηγμάτων: (1) κανονικά ρήγματα, (2) ανάστροφα ρήγματα και (3) ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης. Πιο συγκεκριμένα, στα κανονικά και στα ανάστροφα ρήγματα, το σπάσιμο των πετρωμάτων μετακινείται προς τα πάνω ή προς τα κάτω κατά μήκος της επιφάνειας διάρρηξης. Στο κανονικό ρήγμα, το τμήμα της ανώτερης πλευράς της διάρρηξης ολισθαίνει προς τα κάτω. Στο ανάστροφο ρήγμα, το πέτρωμα και στις δύο πλευρές του ρήματος συμπιέζεται ισχυρά. Οι συμπιεστικές δυνάμεις ωθούν το πάνω τμήμα να ολισθήσει προς τα πάνω και το κατώτερο τμήμα να κατευθυνθεί προς τα κάτω. Στο οριζόντιας μετατόπισης ρήγμα, το σπάσιμο γίνεται κατακόρυφα μέσα στο πέτρωμα και τα τεμάχια του σπασμένου πετρώματος κατά μήκος του ρήματος ολισθαίνουν το ένα ως προς το άλλο οριζόντια.



Εικόνα 1.7.1. Βλέπουμε τους τύπους των ρηγμάτων και τον τρόπο με τον οποίο μετατοπίζεται το έδαφος στην κάθε περίπτωση.

Τα ρήγματα οφείλονται κατά κύριο λόγο στις ορογενετικές δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών. Όταν λόγω των κινήσεων αυτών, οι τάσεις που αναπτύσσονται σε ένα (ή περισσότερα) στρώμα υπερβούν το όριο θραύσης του, τότε το πέτρωμα διαρρηγνύεται και αρχίζει σχετική κίνηση μεταξύ των δύο εκατέρωθεν τμημάτων.

Συνήθως τα ρήγματα εμφανίζονται πολλαπλά σε μια περιοχή, οπότε και γίνεται λόγος για «πεδίο ρηγμάτων» ή «ζώνη ρηγμάτων», ορισμένες φορές παράλληλα, άλλες τεμνόμενα κατά ορθή ή και οξεία γωνία, πάντοτε όμως κάθετα προς τη διεύθυνση της δύναμης που τα προκαλεί.

Τα δύο τμήματα εκατέρωθεν του επιπέδου του ρήγματος ονομάζονται σκέλη ή πτέρυγες του ρήγματος. Η επιφάνεια που προκύπτει από τις σχετικές μετακινήσεις των δύο σκελών ονομάζεται κάτοπτρο του ρήγματος. Στο κάτοπτρο του ρήγματος και υπό την προϋπόθεση ότι αυτό δεν έχει υποστεί έντονη διάβρωση, παρατηρούνται σχεδόν πάντα οι γραμμές ολίσθησης, οι οποίες αποτυπώνουν την κίνηση των σκελών στη ρηξιγενή επιφάνεια. Σχηματίζονται από την τριβή σκληρών υλικών (κόκκων χαλαζία, κροκαλών κ.ά), τα οποία λόγω της αντίθετης κίνησης των δυο σκελών

εκατέρωθεν του ρήγματος, σύρθηκαν πάνω στη ρηξιγενή επιφάνεια. Όπως είναι φυσικό, στο επίπεδο του ρήγματος τα πετρώματα θρυμματίζονται δημιουργώντας μια ζώνη από θραύσματα, η οποία ονομάζεται ζώνη μωλωνίτη ή μωλωνιτική ζώνη.

Τις περισσότερες φορές το ρήγμα συνοδεύεται από μετάπτωση, δηλαδή άνοδο ή κάθοδο του ενός σκέλους ως προς το άλλο. Η σχετική υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο σκελών ονομάζεται άλμα του ρήγματος.

Χαρακτηριστικό γνώρισμα του ρήγματος είναι, επίσης, η έκτασή του. Ορισμένες φορές το ρήγμα μπορεί να καταλαμβάνει τεράστια έκταση, όπως το ρήγμα του Αγίου Ανδρέα (San Andreas fault), στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ, το οποίο εκτείνεται σε μήκος περίπου 1.300 χιλιομέτρων φθάνοντας μέχρι την επιφάνεια. Δεν είναι, όμως, απαραίτητο ένα ρήγμα να φθάνει μέχρι την επιφάνεια της Γης.

Όπως είναι φυσικό, η ρήξη των πετρωμάτων και η συνακόλουθη μετάπτωση απελευθερώνουν τη συσσωρευμένη ενέργεια, η οποία εκδηλώνεται ως σεισμός. Στην περίπτωση αυτή γίνεται λόγος για σεισμογόνο ρήγμα.

Τα ρήγματα μπορεί να είναι ενεργά ή μη. Τα ενεργά ρήγματα είναι εκείνα τα οποία έχουν προκαλέσει τουλάχιστον ένα σεισμό κατά τη διάρκεια των προηγούμενων 10.000 χρόνων. Η ιστορική και η παλαιοσεισμολογική έρευνα βοηθούν στο χρονικό καθορισμό του τελευταίου μεγάλου σεισμού σε ένα ρήγμα. Στις σεισμολογικές μελέτες πολύ μεγάλο ρόλο παίζει η χαρτογράφηση των ζωνών, όπου τα ρήγματα σπάνε. Αυτές είναι οι θέσεις όπου οι μελλοντικοί μεγάλοι σεισμοί θα συμβούν. Κατά συνέπεια η χαρτογράφησή τους είναι μία εργασία πρώτης προτεραιότητας κατά τις μελέτες της σεισμικής επικινδυνότητας ενός χώρου.

Οι μεγάλοι σεισμοί λαμβάνουν μέρος σε βαθιές ζώνες διάρρηξης. Η μελέτη των ενεργών σεισμικών ρηγμάτων είναι πολύ σημαντική γιατί μας δίνουν πολύτιμες πληροφορίες για τη δυναμική τους και μας βοηθούν να εκτιμήσουμε τον σεισμικό τους κίνδυνο. Γνωρίζοντας δηλαδή ορισμένα στοιχεία για την ταυτότητα του ρήγματος, μπορούμε να προσδιορίσουμε το ανώτατο μέγεθος του σεισμού που μπορεί να προκαλέσει και την επιτάχυνση που αυτός θα έχει ή τη φορά με την οποία θα διαχυθεί η ενέργειά του. Τα ρήγματα τα συναντά κανείς είτε στην ξηρά είτε στην θάλασσα. Τα υποθαλάσσια ρήγματα με μήκος που φθάνουν έως 15 χιλιόμετρα δεν μπορούν να προκαλέσουν, σε γενικές γραμμές, σεισμό μεγαλύτερο από 6,5 Ρίχτερ. Δύσκολα συναντώνται μόνα τους, συνήθως εμφανίζονται σε ομάδες ρηγμάτων.

Ένα παράδειγμα είναι αυτό στα ανατολικά της Κρήτης, όπου υπάρχει μια ομάδα ρηγμάτων που ποτέ δεν έχει δει κανείς από κοντά και που προκάλεσε το 365

μ.Χ. σφοδρό σεισμό, ίσως τον μεγαλύτερο σεισμό που έγινε στη διάρκεια των ιστορικών χρόνων στην Ανατολική Μεσόγειο. Ο σεισμός αυτός προκάλεσε την απότομη ανύψωση της Δυτικής Κρήτης κατά 8 με 10 μέτρα.

Χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους όπως η γεωφυσική δημοσκόπηση με την οποία αποστέλλονται ηχητικά κύματα στον πυθμένα και ανακλούν το ανάγλυφο του βυθού μπορούμε να τα εξερευνήσουμε. Η ηλικία των ρηγμάτων ανέρχεται σε εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια ή και σε εκατομμύρια χρόνια. Σχηματίστηκαν δηλαδή πολύ πριν εμφανιστεί ο άνθρωπος στη Γη, από την σύγκλιση και σύγκρουση της Ευρασιατικής με την Αφρικανική πλάκα σε συνδυασμό με τη μετακίνηση της Μικράς Ασίας προς Δυτικά, δηλαδή το Αιγαίο. Κατ' αυτόν τον τρόπο, τα ρήγματα με τη συνεχή τους δράση στην πορεία του χρόνου στάθηκαν η αιτία για να αποκτήσουν τη μορφή που έχει σήμερα τόσο η θάλασσα όσο και η ξηρά στη χώρα μας.

Στον Κεραμικό όσο και στον διάυλο Κω-Νισύρου, τα ρήγματα τα οποία μας περιβάλλουν και που κινούνται κατακόρυφα (το ένα κομμάτι ανυψώνεται, το άλλο καταβυθίζεται) έχουν δημιουργήσει τον κόλπο με βάθος 750 μέτρων (από τη μία πλευρά της καταβύθισης) και ταυτόχρονα τα βουνά της Κω με ύψος που υπερβαίνει τα 840 μέτρα (από την πλευρά της ανύψωσης). Η περιοχή του Κεραμικού αποτελείται από βαθιές λεκάνες που περιβάλλονται από απότομες υποθαλάσσιες πλαγιές, που έχουν δημιουργηθεί από τη δράση των ρηγμάτων. Ένα άλλο παράδειγμα που αξίζει να αναφερθεί είναι στην Θράκη το ενεργό ρήγμα Μαρώνειας-Μάρκης οριοθετεί στην ακτογραμμή μεταξύ Αγίου Χαραλάμπους (λιμάνι Μαρώνειας) και Αλεξανδρούπολης. Στην περιοχή της Μαρμαρίτσας το ρήγμα έχει διεύθυνση 110-120° και κλίση 60-70° ΝΔ, ορατό ύψος 5μ ενώ το υπόλοιπο είναι βυθισμένο μέσα στη θάλασσα. Πολλά ρήγματα έχουν προκαλέσει συνολικές μετατοπίσεις, κατακόρυφες ή οριζόντιες, πολλών εκατοντάδων ή και χιλιάδων μέτρων. Με αυτό τον τρόπο αποτελούν τον κυριότερο παράγοντα διαμόρφωσης του ανάγλυφου του θαλάσσιου βυθού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΡΧΑΙΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΑΛΛΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΓΕΝΕΣΤΕΡΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναφορά κυρίως σε αρχαίους σεισμούς, αλλά και σε κάποιους μεταγενέστερους οι οποίοι ήταν πολύ σημαντικοί λόγω οικοδομικών καταστροφών και απωλειών ανθρώπινων ζώων. Πρέπει να σημειωθεί ότι, η εφεύρεση του σύγχρονου σειсмоγράφου και συνεπώς και η δημιουργία του παγκόσμιου δικτυακού σειсмоγραφικού κέντρου (World- Wide Seismographic Station Network) έγινε στις αρχές του 1960 και έτσι η μελέτη των σεισμών αλλά και της δομής της γης ήταν προοδευτική. Έτσι, οι σεισμοί οι οποίοι θα αναφερθούν παρακάτω χρονολογούνται πριν το 1960 και μάλιστα αρκετοί από αυτούς τοποθετούνται στην αρχαιότητα, δηλαδή προ Χριστού. Πιο συγκεκριμένα, πριν το 426 π. Χ. στοιχεία για σεισμούς στην περιοχή μας δεν έχουμε εντοπίσει. Συνοψίζοντας, παρακάτω παρουσιάζονται 11 παραδείγματα όπου έχουμε κείμενα αρχαίων φιλοσόφων, βασιλιάδων ή απλών πολιτών, τα οποία χρησιμεύουν ως «μαρτυρίες» για το πώς, κυρίως τα αρχαία χρόνια, ερμήνευαν τους σεισμούς, τις καταστροφές, τα ρήγματα, τις συμπεριφορές των ζώων πριν το σεισμό και οτιδήποτε άλλο προκαλούσε.

1. Το έτος 464 π.Χ. έγινε σεισμός στην Σπάρτη που σύμφωνα με ιστορικές πηγές προκάλεσε 20.000 θύματα, καθώς οι δονήσεις διήρκεσαν μέρες και ήταν συνεχείς και ισχυρές, όλα τα σπίτια γκρεμίστηκαν εκ θεμελίων, κατέστρεψε την πόλη-κράτος και έγινε αφορμή για εξέγερση των ειλωτών. Τα στοιχεία που έχουμε σχετικά για τον σεισμό είναι ελάχιστα. Ιδίως ο Στράβων, ο Πausanias, ο Πλούταρχος και ο Θουκυδίδης μας αναφέρουν το συμβάν αυτό. Το επίκεντρο του σεισμού δεν είναι ακριβώς γνωστό. Αν και η ένταση του σεισμού δεν είναι γνωστή, αφού η αντίστοιχη μονάδα μέτρησης είναι μεταγενέστερη ανακάλυψη, οι ιστορικοί τον περιγράφουν ως "μέτριο ως ισχυρό". Αιτία της σεισμικής δόνησης ήταν πιθανή κάθετη μετακίνηση μιας τεκτονικής πτυχής στον Ταύγετο, ο οποίος σύμφωνα με αναφορές οι κορυφές του άνοιξαν χάσματα σε διάφορα σημεία. Επίσης, αναφέρουν ότι στο Γυμνάσιο υπήρχαν έφηβοι που ασκούσαν πριν τον σεισμό και εμφανίστηκε ένας λαγός τον οποίο και στη συνέχεια τον κυνήγησαν προκειμένου να παίξουν μαζί του. Όσοι δεν το έκαναν την ώρα του σεισμού βρίσκονταν μέσα στο κτίριο με αποτέλεσμα εκεί να

γίνει ο κοινός τους τάφος και έτσι να ονομαστεί Σεισματίας. Αυτός ο καταστροφικός σεισμός θεωρήθηκε ότι οφειλόταν στην οργή του θεού Ποσειδώνα, που προκάλεσαν οι Σπαρτιάτες, γιατί είχαν αποσπάσει από τον βωμό του στο Ταίναρο και θανατώσει είλωτες καταδικασμένους σε θάνατο, που είχαν καταφύγει σ' αυτό το φημισμένο άσυλο. Τέλος, η Σπάρτη σώθηκε χάρη στην αντίδραση του βασιλιά Αρχιδάμου, που κατάφερε να συγκεντρώσει και να παρατάξει για μάχη τους Σπαρτιάτες εναντίον των ειλώτων, οι οποίοι όπως αναφέραμε παραπάνω είχαν ξεσηκωθεί, που προσπαθούσαν να βγάλουν από τα ερείπια ό, τι πολύτιμο είχαν. Το 1991 έγινε γεωλογική μελέτη με σκοπό την εξακρίβωση της τοποθεσίας του επίκεντρου και της έντασης του σεισμού. Το πόρισμα λέει, ότι αν ο σεισμός του 464 π.Χ. έγινε στο σημείο που εντόπισε η μελέτη αυτή, τότε η έντασή του θα πρέπει να ήταν περίπου 7,2 βαθμοί της κλίμακας Surface wave magnitude και χαρακτηρίζεται ως ο πιο φονικός σεισμός των αρχαίων χρόνων.



Εικόνα 2.1. Αεροφωτογραφία Σπάρτης.

2. Το έτος 426 π. Χ., ο αρχαίος κόσμος έζησε έναν από τους πιο καταστροφικούς σεισμούς που συντάραξε την **περιοχή της Φθιώτιδος**, και που έγινε αισθητός στην Αθήνα, προκαλώντας μάλιστα και μετατόπιση του νοτιοανατολικού τμήματος του Παρθενώνα που μόλις 12 χρόνια πριν είχε τελειώσει, στην Εύβοια, στη Θήβα και προ πάντων στον Βοιωτικό Ορχομενό. Η ισχύς του σεισμού αυτού ήταν 7,0 βαθμούς της κλίμακας Ρίχτερ, και είχε επίκεντρο τη Σκάρφεια. Ο Στράβων περιγράφει τις συνέπειες του φοβερού αυτού σεισμού ως εξής. Οι θερμές πηγές της Αιδηψού και των Θερμοπυλών στέρεψαν για τρεις μέρες. Στους Ωρεούς (Βόρεια Εύβοια) κατέρρευσαν επτακόσιες οικίες και το παραθαλάσσιο τείχος. Η Σκάρφεια καταστράφηκε εκ θεμελίων, χίλιοι επτακόσιοι άνθρωποι σκοτώθηκαν, ενώ στο Θρόνιον περίπου εννιακόσιοι. Καταστροφές έγιναν στον Εχίνο, στα Φάλαρα, στην Ηράκλεια, στη Λαμία και στη Λάρισα. Το τείχος της Ελάτειας ράγισε και στην Αταλάντη δημιουργήθηκε ρήγμα. Μια τριήρης τινάχτηκε από τον πολεμικό λιμένα και έπεσε πέρα από το τείχος.



Εικόνα 2.2. Θέση Σκαρφείας στο χάρτη.

3. Ο παλαιότερος καλά περιγεγραμμένος σεισμός ο οποίος συνέβη στο δυτικό μέρος του Κορινθιακού Κόλπου ήταν ο σεισμός της Ελίκης το 373 π.Χ. Αυτός ο σεισμός έχει περιγραφεί από φιλόσοφους, γεωγράφους και μαθηματικούς, μεταξύ αυτών ο Πausanias, ο Αριστοτέλης, ο Ερατοσθένης και ο Ηρακλείδης, ο Διόδωρος από τη Σικελία και ο Πλίνιος. Η Ελίκη ήταν η πρωτεύουσα της Αχαϊκής Συμπολιτείας, είχε ιδρυθεί από Ίωνες, βρισκόταν 7,3 χιλιόμετρα από το Αίγιο και 2,2 χιλιόμετρα από τη

θάλασσα. Η πόλη ως πρωτεύουσα της Ιωνικής δωδεκάπολης ήταν λατρευτικό κέντρο όλης της Αχαΐας με επίκεντρο τον ναό του Ελικώνος Ποσειδώνα. Έτσι, όταν συνέβη αυτός ο καταστροφικός σεισμός ο Πausanίας και ο Στράβωνας τον απέδωσαν στην οργή του Ποσειδώνα όταν οι κάτοικοι της Ελίκης έδιωξαν από το Ιερό του και σκότωσαν ικέτες που είχαν καταφύγει σε αυτό. Επέζησαν μόνο όσοι έλειπαν από αυτήν, ενώ μετά το σεισμό προκλήθηκε παλιρροιακό κύμα (τσουνάμι) και η πόλη θεωρήθηκε ότι καταποντίστηκε στη θάλασσα. Μέρη πριν τον φονικό σεισμό είχαν παρατηρηθεί περίεργα φαινόμενα, όπως υπερβολική ζέστη στη διάρκεια του χειμώνα, στέρεμα των πηγών, εκδηλώνονταν συνεχόμενες καταστροφικές βροχές ή μεγάλες περίοδοι ξηρασίας, περίεργη συμπεριφορά του καιρού με ζέστη μέσα στο χειμώνα, ελαφρά ομίχλη το καλοκαίρι και ασυνήθιστο κρύο, άνοιξη με μεγάλη ξηρασία, δυνατοί άνεμοι, τα ζώα να έχουν εγκαταλείψει την περιοχή και να κατευθύνονται προς το βουνό και άλλα τα οποία δεν υποψίασαν τους κατοίκους σχετικά με την επερχόμενη καταστροφή. Ο σεισμός ήταν ιδιαίτερα καταστροφικός, γιατί έγινε τη νύχτα. Τα σπίτια κατάρρευσαν στη διάρκεια του σεισμού και οι άνθρωποι, κατά τις αρχαίες πηγές, έτρεχαν έκπληκτοι μες στο σκοτάδι, και δε μπορούσαν να βρουν το δρόμο για να ξεφύγουν. Επιπλέον, οι περισσότεροι από αυτούς παγιδεύτηκαν κάτω από τα συντρίμμια των σπιτιών τους και εκεί σκοτώθηκαν. Με τον ερχομό της μέρας, φάνηκε η μεγάλη καταστροφή. Εκτός από το σεισμό, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η περιοχή είχε χτυπηθεί και από ένα μεγάλο κύμα που προκλήθηκε μετά από το σεισμό. Το γεγονός αυτό της βύθισης της αρχαίας πόλης κάτω από τη στάθμη της θάλασσας είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακό αν υπολογισθεί η αρχική απόσταση των 2,2 km της πόλης από την ακτή πριν τον σεισμό. Οι αρχαίοι συγγραφείς Πausanίας και Στράβων αναφέρουν ότι τα ερείπια της πόλης ήταν διακριτά στον πυθμένα της θάλασσας και ότι το βυθισμένο άγαλμα του Ελικώνος Ποσειδώνα, το ιερό άγαλμα της Αρχαίας Ελίκης, αποτελούσε εμπόδιο για τα δίχτυα των ψαράδων της περιοχής για πολλά χρόνια μετά τον σεισμό. Σύμφωνα με τον Στράβωνα οι Αχαιοί έστειλαν 2.000 άντρες να βοηθήσουν αλλά δεν κατάφεραν να περισυλλέξουν ούτε έναν νεκρό. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ο καταστροφικός αυτός σεισμός που τοποθετείται ανάμεσα στο Νοέμβριο του 373 π.Χ. και τον Φεβρουάριο του 372 π.Χ. δημιούργησε ένα αρχαίο ρήγμα, το οποίο εντόπισαν πριν από λίγο καιρό ερευνητές, γεωλόγοι και αρχαιολόγοι στη διάρκεια των ερευνητικών τους ανασκαφών. Το αρχαίο ρήγμα ανακαλύφθηκε σε ανασκαφική τομή που διανοίχθηκε ανατολικά του Κερυνίτη

ποταμού στην περιοχή του Ελαιώνα Αχαΐας, κοντά στις υπώρειες του βουνού της Μαμουσιάς.



Εικόνα 2.3. Θέση Ελίκης στο χάρτη.



Εικόνα 2.4. Εικόνα από δορυφόρο, όπου φαίνεται η περιοχή της αρχαίας Ελίκης που κατάδυσε από το σεισμό του 373 π.Χ. Επίσης, είναι εμφανείς και οι δύο ποταμοί που βρίσκονται ανάμεσα στην πόλη, δηλαδή ο Σελινούντας και ο Κερυνίτης (Paratheodorou et al. 2005)

4. Το έτος **347 π. Χ.**, συνέβη σεισμός με ισχύ **6.0 βαθμούς της κλίμακας Ρίχτερ με επίκεντρο τους Δελφούς**. Σύμφωνα με μαρτυρία από τον Διόδωρο, όταν ο Φάλαικος ήταν στρατηγός των Φωκέων και προετοιμάζονταν οι στρατιώτες να σκάψουν γύρω από τον τρίποδα στους Δελφούς για να βρουν τους θησαυρούς του ναού του Απόλλωνα, έγιναν μεγάλοι σεισμοί που τρομοκράτησαν τους Φωκείς. Αυτό θεωρήθηκε σαν ένα καθαρό σημάδι των Θεών ότι θα τιμωρούσαν τους ιερόσυλους. Γι' αυτό σταμάτησαν τα έργα. Ο Στράβων αναφέρει τα ίδια αλλά αποδίδει το γεγονός στην εποχή που στρατηγός των Φωκέων ήταν ο Ονόμαρχος, δηλαδή μερικά χρόνια νωρίτερα περίπου το 355 π. Χ. (Γεωργιάδης 1904, Guidoboni et al. 1994)



Εικόνα 2.5. Αρχαίο θέατρο Δελφών.

5. Το έτος 279 π. Χ., συνέβη σεισμός με ισχύ **6,4 βαθμούς της κλίμακας Ρίχτερ, με επίκεντρο τους Δελφούς**. Σύμφωνα με μαρτυρίες από τους Ιουστίνο, Πausανία και Αππιανό κατά την επιδρομή του Βρέννου και της στρατιάς των Γαλατών στην περιοχή του Παρνασσού, μέρος του βουνού σχίστηκε από σεισμό και έπεσε στο Γαλατικό στρατό. Φοβερή βροχή από κοφτερές πέτρες κατρακύλησε ανάμεσα τους προκαλώντας καταστροφές. Όλη η περιοχή που κατείχε η στρατιά των Γαλατών δονούνταν σχεδόν κατά τη διάρκεια ολόκληρης της μέρας. (Hoff 1840, Γεωργιάδης 1904, Guidoboni et al.1994).



Εικόνα 2.6. Ο ναός της Ήρας στους Δελφούς.

6. Κατά την περίοδο του 2ου Μακεδονικού πολέμου (200-197 π.Χ.), ένας ακόμη ισχυρότατος σεισμός πλήττει την Δωδεκάνησο και τις γύρω περιοχές μόλις 23-24 χρόνια μετά το μεγάλο σεισμό και το τσουνάμι που κατέστρεψε τον Κολοσσό της Ρόδου (226 π. Χ.). Ο σεισμός έγινε ιδιαίτερα αισθητός στο κεντρικό τμήμα της Ρόδου, ενώ ιστορικές μαρτυρίες αναφέρουν ότι καταστράφηκαν σχεδόν ολοκληρωτικά μερικές πόλεις του νησιού.

Το γνωστό από τον Όμηρο, λευκό εύφορο έδαφος της Καμείρου – το χαρακτηρίζει το έδαφος ως λευκό λόγω του ότι ήταν από άργιλο - δεν μπόρεσε να αντέξει τις δονήσεις του Εγκέλαδου και σύμφωνα με αρχαίες αναφορές τα τείχη της πόλης κατέρρευσαν- ίσως από ρευστοποίηση εδάφους ένα φαινόμενο που συχνά συνοδεύει τις ισχυρές σεισμικές δονήσεις. Τέτοια εδάφη στην κυριολεξία μπορούν να καταπιούν ή ακόμα και να ανατρέψουν τεράστια κτίρια. Πρόκειται για φαινόμενο που μετατρέπει το έδαφος σε ρευστό και μπορεί να είναι πιο καταστροφικό ακόμη και από το ίδιο το σεισμικό γεγονός.

Τα τείχη είχαν ανοικοδομηθεί σε ευρεία έκταση μετά το μεγάλο σεισμό και το τσουνάμι του 226 π.Χ. που κατέστρεψαν το πιο γνωστό ιστορικό μνημείο της Ρόδου 60 χρόνια μετά τα αποκαλυπτήριά του, ένα από τα 7 θαύματα του αρχαίου κόσμου, το οποίο είχε ανεγερθεί προς τιμή του Ήλιου. Στην Κάλυμνο επιγραφές από τον ναό

του Απόλλωνα αναφέρουν ότι γίνονταν συνεχώς σεισμοί. Το τεκτονικό συμβάν χτύπησε και άλλα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου, όπως την Σάμο όπου υπήρξαν αρκετοί τραυματίες. Προξένησε ζημιές σε κτίρια της αρχαίας Ιασού στις ακτές της Μικράς Ασίας, καθώς και την ευρύτερη περιοχή της Καρίας στα απέναντι μικρασιατικά παράλια.

Σύμφωνα με νέα αρχαιολογικά στοιχεία ο σεισμός ο οποίος μέχρι πρόσφατα δεν ήταν τόσο γνωστό πρέπει να έγινε μεταξύ 199-198 π.Χ, τον μήνα Αύγουστο. Η σεισμική δόνηση ήταν κατ' εκτίμηση 7.2R, με επίκεντρο τον θαλάσσιο χώρο του Αφάντου. Ίσως ήταν ενδιάμεσου βάθους και πιθανόν να προήλθε από ένα υποθαλάσσιο μη ορατό ρήγμα από την ξηρά, μήκους τουλάχιστον 90χλμ., το οποίο διασχίζει κατά μήκος την ακτή του Αφάντου- έναν από τους παλαιότερους οικισμούς της Ρόδου, το τοπωνύμιο οφείλεται στη θέση του (ανάμεσα σε λόφους) η οποία καθιστά την κωμόπολη σχεδόν άφαντη.

Το σεισμικό γεγονός, προκάλεσε τεράστιες ζημιές και στην πόλη της Κω. Μπορεί να μην ήταν ο πλέον καταστροφικός του νησιού, ωστόσο, έπληξε τα δημόσια κτίρια και τα μνημεία του νησιού, τα οποία επισκευάστηκαν αργότερα από ντόπια υλικά με την βοήθεια των Ατταλιδών μοναρχών. Επιπλέον, κατέστρεψε και τα τείχη της πρωτεύουσας της Κω, τα οποία είχαν πρόσφατα επιδιορθωθεί εν αναμονή του Κρητικού πολέμου (205-202 π.Χ.) και της επίθεσης του Φιλίππου Ε' (201-196 π.Χ.) ο οποίος έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην επικυριαρχία των Ρωμαίων στην Ελληνική Ανατολή. Αρκετά ιερά της Κω εγκαταλείφθηκαν μετά τον σεισμό όπως το Ελευσίνιο στο Κυπαρίσσι στους πρόποδες του Δίκαιου και άλλα τα οποία χρειάστηκαν σημαντικές ανακατασκευές (Ασκληπιείο της Κω, το Αφροδίσιο στη συνοικία του Λιμανιού). Μετά από αυτό τον σεισμό θα κατασκευαστούν νέα δημόσια κτίρια (στάδιο, θέατρο, γυμνάσιο, παλαίστρα, κ.ά.) και νέα ιερά στη πρωτεύουσα του νησιού.

Ο καταστροφικός σεισμός του 199-198 π.Χ. δεν ήταν ένα μεμονωμένο και τυχαίο γεγονός. Η μεγάλη σεισμικότητα της Δωδεκανήσου οφείλεται στην σύγκλιση προς βορρά της Αφρικανικής πλάκας σε σχέση με την Ευρασιατική κατά μήκος ενός πολύπλοκου ορίου τεκτονικών πλακών. Η σύγκλιση άρχισε περίπου 50 εκατομμύρια χρόνια πριν και συνδέεται με το κλείσιμο της αρχαίας θάλασσας της Τηθύος(πρώιμη Μεσόγειος). Στην κίνηση της τάξης κάποιων χιλιοστών κάθε χρόνο οφείλονται οι ισχυροί σεισμοί που σκοτώνουν και προκαλούν σοβαρότατες υλικές ζημιές σε

οικήματα και υποδομές. Η περιοχή της Δωδεκανήσου ήταν, είναι και θα είναι σεισμικά ενεργή, για όσο καιρό διαρκεί η πίεση της Αφρικανικής πλάκας.



Εικόνα 2.7. Βλέπουμε την είσοδο στο λιμάνι της Ρόδου, όπου τα αρχαία χρόνια εκεί βρισκόταν ο Κολοσσός.

7. Το έτος 226 π. Χ., έγινε **σεισμός 6.4 βαθμούς της κλίμακας Ρίχτερ, με επίκεντρο την Τιθορέα**, όπου της προκάλεσε και ρήγμα. Ο σεισμός αυτός έπληξε και το αρχαίο Κυτίνιο (σημερινό Παλαιοχώρι Δωριέων του Νομού Φθιώτιδος). Αυτό βεβαιώνεται από μια επιγραφή, που βρέθηκε στην Ξάνθο της Λυδίας, στην οποία μνημονεύεται σεισμός και ζητούν οικονομική ενίσχυση από τους εξ αίματος αδελφούς στην Ξάνθο. Γράφουν ότι εκείνο τον καιρό, που ο Αντίγονος εισέβαλε στη Φωκίδα, μέρος από τα τείχη όλων των πόλεων της περιοχής κατέρρευσαν από σεισμούς και οι νέοι άνδρες έτρεξαν για βοήθεια στο μαντείο του Απόλλωνα στους Δελφούς. Είναι πιθανόν ο σεισμός αυτός να αποτελεί μέρος της ευρύτερης έξαρσης, όπου περιλαμβάνονται οι σεισμοί που κατέστρεψαν τα τείχη της Μελιταίας (που βρισκόταν στη βόρεια πλευρά της Όθρυος) για την οποία ο βασιλιάς των Αθαμάνων έδωσε δέκα ασημένια τάλαντα για να ανοικοδομηθούν τα τείχη αυτά. Είναι επίσης πιθανόν, σεισμοί της ίδιας ευρύτερης έξαρσης να συνδέονται με μια υποχώρηση της θάλασσας στην περιοχή της Λάρυμνας. Γι' αυτήν, ο Πολύβιος αναφέρει ότι όταν ο Αντίγονος (γιος του

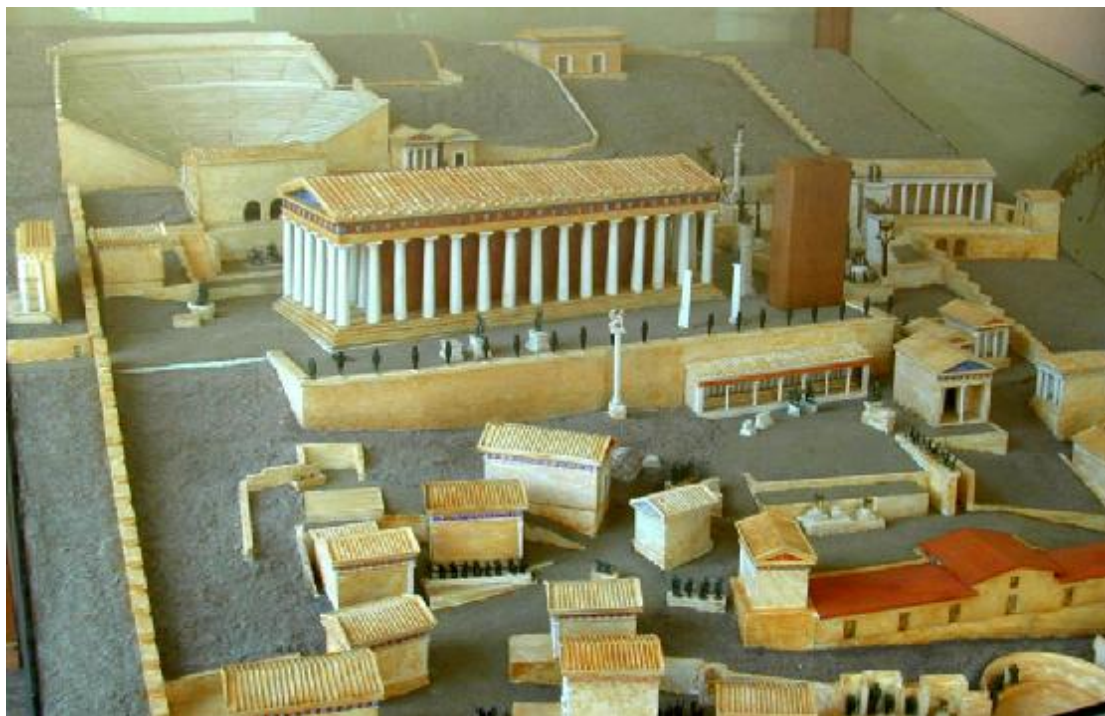
Δημητρίου) έπλεε προς τη Λάρυμνα πραγματοποιήθηκε ασυνήθιστη υποχώρηση της θάλασσας, έτσι ώστε τα πλοία του βρέθηκαν στη στεριά.



Εικόνα 2.8. Η παλιά πόλη της Τιθορέας από ψηλά.

8. Το έτος 361 μ. Χ., έγινε σεισμός **6.8 βαθμούς της κλίμακας Ρίχτερ, με επίκεντρο τους Δελφούς**. Για το σεισμό αυτό έχουμε την πληροφορία του Φιλοστόργιου, ο οποίος γράφει ότι ο Ορειβάσιος, που είχε σταλεί από τον Αυτοκράτορα Ιουλιανό στους Δελφούς για να λάβει χρησμό, αναφέρει ότι το ωραίο παλάτι καταστράφηκε. Υπάρχει μια επιγραφή από το Ναύπλιο που λέγει ότι η πόλη ξανασήκωσε κεφάλι όταν ο αυτοκράτορας εξασφάλισε την προστασία της από τους σεισμούς και τις θαλάσσιες καταστροφές στη βασιλική και τα άλλα κτίρια. Σε μια άλλη περιγραφή, από την Κόρινθο, αναφέρεται ότι εργασίες αναστήλωσης έγιναν από τον αυτοκράτορα Φλάβιο Βαλεντινιανό. Αρχαιολογικές ανασκαφές στην Κόρινθο και τη

Ναύπακτο έφεραν στο φως πρόσθετες ενδείξεις γι' αυτό το σεισμό (Guidoboni et al.1994).



Εικόνα 2.9. Βλέπουμε τη μακέτα των Δελφών. Στο βάθος βρίσκεται το αρχαίο θέατρο, ενώ μπροστά από αυτό είναι το παλάτι, το οποίο διαβάζουμε παραπάνω στις πληροφορίες ότι γκρεμίστηκε λόγω του μεγάλου σεισμού.

9. Ο σεισμός **στην Κρήτη το 365 μ.Χ.** έλαβε χώρα κατά την ανατολή του Ηλίου τις 21 Ιουλίου 365 με επίκεντρο κοντά στις ακτές της δυτικής Κρήτης. Ο σεισμός υπολογίζεται ότι είχε μέγεθος μεγαλύτερο από 8 ρίχτερ στην κλίμακα Ρίχτερ, υπολογίζεται μεταξύ 8,3 και 8,7 ρίχτερ, γεγονός που τον κατατάσσει ως τον ισχυρότερο σεισμό που έχει καταγραφεί στην Μεσόγειο. Ο σεισμός προκάλεσε εκτεταμένες καταστροφές στην κεντρική και νότια Ελλάδα, στην Λιβύη, στην Μικρά Ασία και την Αίγυπτο. Σχεδόν όλες οι πόλεις της Κρήτης καταστράφηκαν από το σεισμό. Το σεισμό ακολούθησε ένα τσουνάμι που προξένησε καταστροφές σε ολόκληρη την Ανατολική Μεσόγειο, ιδίως στο Δέλτα του Νείλου και την Αλεξάνδρεια, όπου σκότωσε χιλιάδες και έφτασε σχεδόν 3 χιλιόμετρα στην ενδοχώρα. Επίσης προκάλεσε την ανύψωση της δυτικής Κρήτης μέχρι και 9 μέτρα. Ο σεισμός είχε μεγάλο αντίτυπο στους ανθρώπους στο τέλος της αρχαιότητας και αναφέρεται από μεγάλο αριθμό έργων διαφόρων συγγραφέων.

Πιο συγκεκριμένα, η Ελλάδα είναι μια ιδιαίτερα σεισμογενής χώρα, καθώς βρίσκεται σε μία σύνθετη τεκτονική ζώνη, ανάμεσα στην Αφρικανική, στην Ευρασιατική και στην τεκτονική πλάκα της Ανατολίας, ενώ μέρος της νότιας Ελλάδας βρίσκεται στην πλάκα του Αιγαίου. Η πλάκα της Ανατολίας σπρώχνει την πλάκα του Αιγαίου προς τα νοτιοδυτικά με ταχύτητα 3 εκατοστών το χρόνο ως προς την Ευρασιατική πλάκα, ενώ η Αφρικανική πλάκα βυθίζεται κάτω από την πλάκα του Αιγαίου με ρυθμό 4 εκατοστών το χρόνο στην Ελληνική Τάφρο, νότιας της Κρήτης. Το σύνολο σχεδόν του ελλαδικού χώρου υπόκειται σε εφελκυστικές τάσεις. Ο σεισμός του 365 έλαβε χώρα στο δυτικό τμήμα της ελληνικής τάφρου. Αν ο σεισμός ήταν αποτέλεσμα της βύθισης της πλάκας της Αφρικής κάτω από την πλάκα του Αιγαίου, τότε οφείλεται σε ένα ρήγμα μήκους 160 χιλιομέτρων το οποίο ολίσθησε κατά μέσο όρο περίπου 9 μέτρα. Σύμφωνα με μια άλλη άποψη, το σεισμογόνο ρήγμα του σεισμού του 365 είναι ένα ρήγμα μήκους 100 χιλιομέτρων ανάμεσα στην Ελληνική Τάφρο και τις ακτές της Κρήτης, το οποίο ολίσθησε περίπου 20 μέτρα σχεδόν σε όλο του το μήκος. Υπολογίζεται ότι στο ρήγμα συσσωρεύεται αρκετή τάση για να δημιουργήσει ένα τέτοιο σεισμό περίπου κάθε 5.000 χρόνια, αν και κανένα άλλο γεγονός συγκρίσιμης σφοδρότητας δεν έλαβε χώρα στην ανατολική Μεσόγειο τα τελευταία 14.000 χρόνια, υποδηλώνοντας πως ο συγκεκριμένος σεισμός ήταν ασυνήθιστα σφοδρός.

Ο σεισμός προκάλεσε τσουνάμι το οποίο προξένησε πολλές καταστροφές σε όλη την ανατολική Μεσόγειο, ιδίως στην Κρήτη και το δέλτα του Νείλου. Στην νοτιοδυτική Κρήτη τα κύματα από το σεισμό υπολογίζεται ότι είχαν ύψος 12 μέτρων. Το ύψος των κυμάτων ήταν μεγάλο και στο δέλτα του Νείλου, όπου υπολογίζεται ότι στην Αλεξάνδρεια έφτασε τα 9,5 μέτρα, ενώ σε γειτονικές πόλεις επτά, ένα, τέσσερα, εννέα και δύο μέτρα. Στην Αλεξάνδρεια τα νερά αρχικά υποχώρησαν και έτσι κάτοικοι της πόλης πήγαν να μαζέψουν ψάρια και άλλα ζώα εκεί όπου πριν ήταν η θάλασσα. Τα νερά επέστρεψαν με τόσο μεγάλη ορμή ώστε μετέφεραν μεγάλα πλοία στις οροφές σπιτιών, ενώ άλλα πλοία βρέθηκαν σχεδόν τρία χιλιόμετρα στην ενδοχώρα. Ο Αμμιανός Μαρκελλίνος υπολόγισε πως περίπου 10.000 άνθρωποι πέθαναν μόνο στην Αλεξάνδρεια. Αναλυτικά ο Μαρκελλίνος αναφέρει:

Τρομερή καταστροφή ξέσπασε ξαφνικά σε ολόκληρο τον (τότε γνωστό) κόσμο, παρόμοια της οποίας δεν βρίσκει κανείς πουθενά, ούτε στους θρύλους ούτε στα αληθινά ιστορικά γεγονότα. Λίγο μετά το πρώτο φως της αυγής, αφού προηγήθηκαν βροντές και αστραπές, ολόκληρη η Γη συνταράχθηκε. Η θάλασσα

αποσύρθηκε και τα νερά της τραβήχτηκαν σε τέτοια έκταση ώστε ο βυθός της αποκαλύφθηκε. Μπορούσε, έτσι, κανείς να δει χωμένα βαθιά στη λάσπη πολλά θαλάσσια όντα και πολλές οροσειρές και κοιλάδες που, ενώ ήταν πάντοτε σκεπασμένες με νερό, έγιναν ορατές καθώς έπεφταν πάνω τους για πρώτη φορά οι ακτίνες του ήλιου. Πολλά πλοία εξόκειλαν και πολλοί άνθρωποι περιπλανούταν στα λίγα νερά που έμειναν μαζεύοντας ψάρια και άλλα θαλάσσια όντα, αλλά τα θαλάσσια κύματα επανήλθαν υπερυψωμένα και όρμησαν πάνω στα αβαθή νερά, στα νησιά και σε εκτεταμένες στεριές ισοπεδώνοντας πολλά κτίρια ή οτιδήποτε συναντούσαν στο δρόμο τους. Τεράστιες ποσότητες νερού φόνευσαν, κατά την επιστροφή τους, πολλές χιλιάδες ανθρώπων. Όταν η μανία των νερών κόπασε, φάνηκαν μερικά κατεστραμμένα πλοία και πτώματα ναυαγών. Μερικά μεγάλα πλοία είχαν εκσφενδονιστεί από το κύμα στις στέγες σπιτιών, όπως συνέβη στην Αλεξάνδρεια, και άλλα σε απόσταση μέχρι δύο μίλια μέσα στην ξηρά.

Η καταστροφή που προκλήθηκε στην Αλεξάνδρεια ήταν τέτοια ώστε η μέρα του σεισμού να εορτάζεται για περίπου 200 χρόνια ως η «ημέρα του τρόμου».

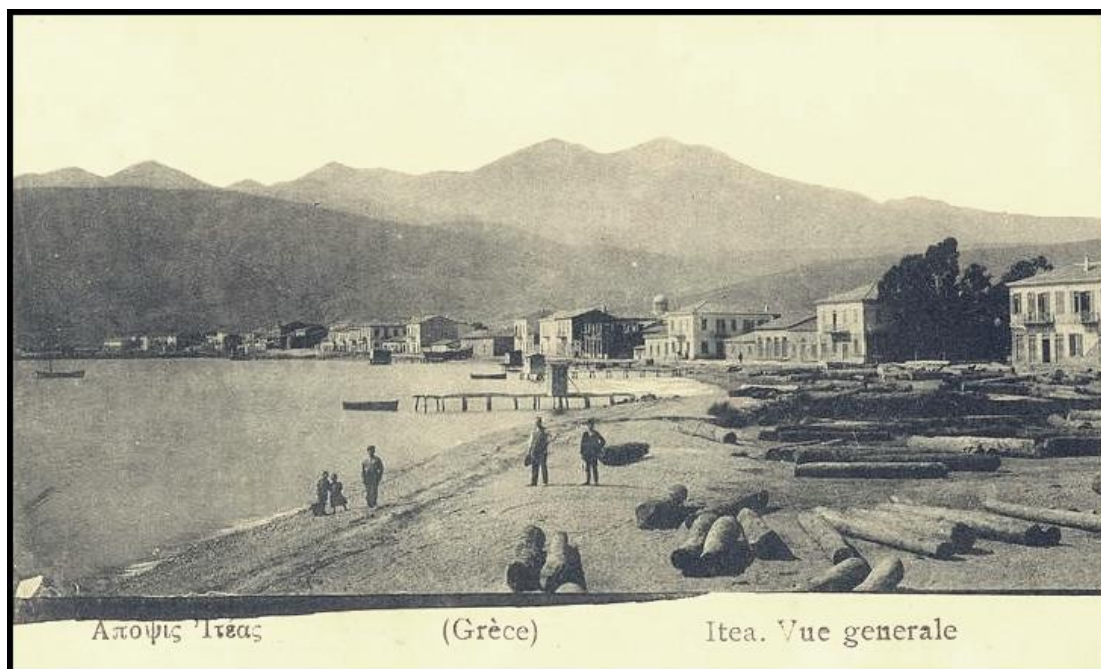


Εικόνα 2.10. Το παλάτι του Μίνωα στην αρχαία Κνωσό.

10. Το έτος 551 την 7η ή 9η Ιουλίου μ. Χ., και σύμφωνα με τον Ιούλιο Σμίτιο , έγινε φοβερός σεισμός, του οποίου οι καταστροφές υπήρξαν φρικτές ιδίως στους παρά το

Κρισαϊκό κόλπο τόπους (Κόλπο Ιτέας), καθώς και στη Βοιωτία και στις ακτές του Μαλιακού κόλπου. Από το φοβερό τούτο σεισμό καταστράφηκαν πολλά χωριά και οκτώ πόλεις, μεταξύ αυτών η Χαιρώνεια, η Πάτρα και η Ναύπακτος. Σε πολλούς τόπους έγιναν ρήγματα , άλλα δε έκλεισαν αμέσως και άλλα παρέμειναν ανοικτά δυσκολεύοντας την συγκοινωνία. Επηκολούθησαν και «Ποσειδώνιοι καταστροφαιί». Παρά τον Μαλιακό κόλπο ή θάλασσα εισήλθε σε βάθος στις παρακείμενες πόλεις του Εχίνου και της Σκάρφειας όπου και τις κατέστρεψε προκαλώντας το θάνατο σε πολλούς κατοίκους.

Παρέμεινε δε η θάλασσα επί αρκετό χρονικό διάστημα υπέρ την επιφάνεια της γης. Όταν αποχώρησε άφησε τερατόμορφα ψάρια, που όταν ερχόντουσαν σε επαφή με τη φωτιά αλλοιώνόταν το σώμα τους και έτρεχε πύον! Το γεγονός αυτό το σημειώνει και ο Προκόπιος ο Καισαρεύς. Από δε τις πληγείσες από το σεισμό πόλεις και χωριά σκοτώθηκαν πολλές χιλιάδες άνθρωποι. «Αμφί δε τα εκείνη χωρία, ου δη σχίσμα ωνόμασται και σεισμός υπερμεγέθης επιπεσών πλείω φόνον ανθρώπων ή πάση τη άλλη Ελλάδι ειργάσατο, μάλιστα επί τινά εορτήν. πανηγυρίζοντες γαρ έτυχον εκ πάσης της Ελλάδος ενταύθα τότε ένεκα συνειλεγμένοι πολλοί» (Προκ. Γοτ. Πόλ. Δ κεφ. 25 τελ. Ευαγρ. Δ' 23. Seibel de gross Past zur Zeit Justinians I, σελ. 16 και εξής). Σύμφωνα με το καθηγητή κ. Παπαζάχο η ισχύς του σεισμού αυτού ήταν 7 βαθμούς της κλίμακας Ρίχτερ.



Εικόνα 2.11. Παλιά φωτογραφία της Ιτέας.



Εικόνα 2.12. Η πόλη της Ιτέας από ψηλά.

11. Στις 29 Μαΐου του 1508 στην Κρήτη έγινε ένας από τους σφοδρότερους σεισμούς στην ιστορία, με σημαντικές καταστροφές και σεισμούς σε όλο το νησί, αλλά κυρίως στο Χάνδακα και την Ιεράπετρα. Η πόλη του νομού Λασιθίου, μάλιστα, ισοπεδώθηκε και δεν ξανακτίστηκε παρά μετά από πολλά χρόνια και, ως μια μικρή κώμη με μικρό φρούριο. Σοβαρές ζημιές υπέστη και η Σητεία, αλλά και πολλές άλλες περιοχές της ανατολικής Κρήτης. Λιγότερες ζημιές υπέστη η δυτική Κρήτη, αλλά ζημιές υπήρξαν και στο Ρέθυμνο και τα Χανιά. Στο Χάνδακα μόνο 4-5 σπίτια έμειναν κατοικήσιμα, ενώ κατάρρευσαν πολλές εκκλησίες και όλα τα καμπαναριά της πόλης. Ανάμεσα στα κτίρια που υπέστησαν μεγάλες καταστροφές ήταν ο ναός του Αγίου Τίτου (όπου βρίσκεται και ο σημερινός ναός), ο Άγιος Μάρκος, το Δουκικό Ανάκτορο (απέναντι από τη Βασιλική του Αγίου Μάρκου, επί της σημερινής πλατείας Λιονταριών), ο ναός του Αγίου Φραγκίσκου, στη θέση όπου σήμερα βρίσκεται το αρχαιολογικό μουσείο, ο ναός του Αγίου Σωτήρος.

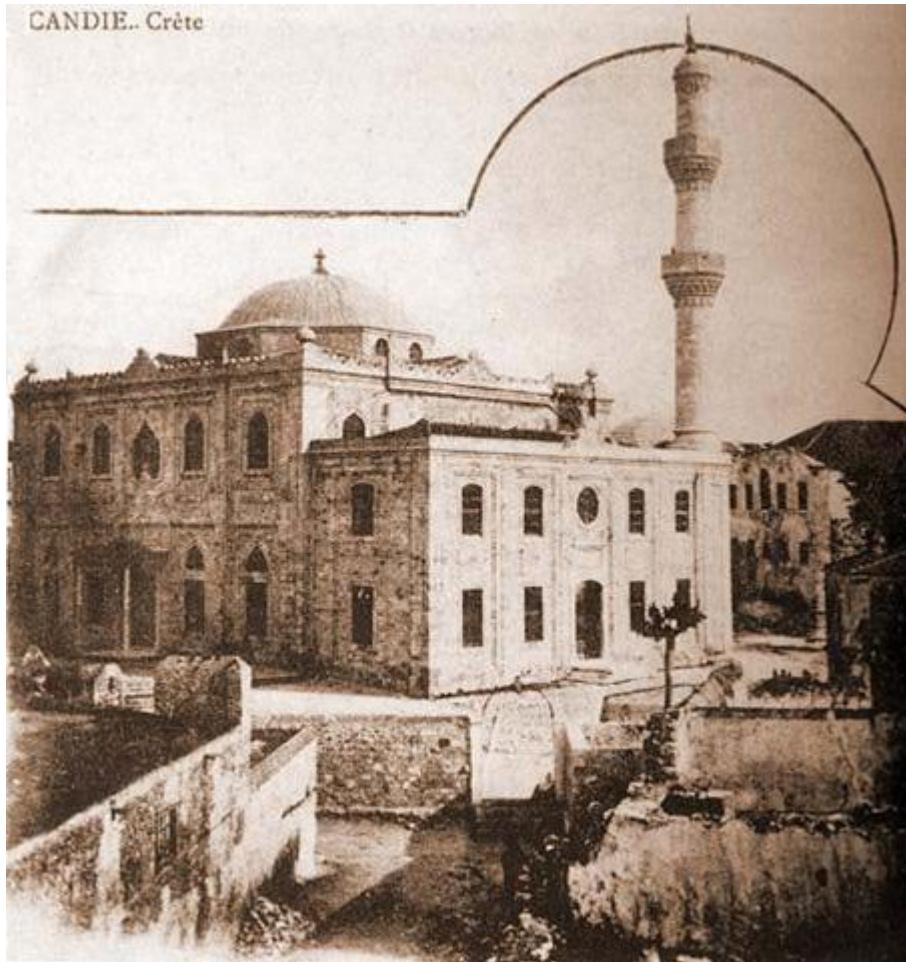
Για το συγκεκριμένο σεισμό, ο οποίος υπολογίζεται ότι διήρκεσε 15-20 δευτερόλεπτα και ήταν 7,2 Ρίχτερ, υπάρχουν αναλυτικές περιγραφές, με σημαντικότερη εκείνη του Ενετού Δούκα του νησιού Ιερώνυμου Δονάτου, ο οποίος έζησε τα γεγονότα ευρισκόμενος στο Χάνδακα. Ο Δονάτος 1,5 μήνα μετά το σεισμό,

κι ενώ ακόμη η γη κάτω από τα πόδια των κατοίκων σειόταν, έγραψε στο φίλο του Πέτρο Κονταρηνό, περιγράφοντάς του πλήρως και με συγκλονιστικό τρόπο τα γεγονότα που ζούσε. Θα ήταν, όπως θα λέγαμε σήμερα, η ολοκληρωμένη μαρτυρία ενός αυτόπτη μάρτυρα. Δίνοντας την εικόνα γι' αυτό που έζησε, γράφει στο φίλο του χαρακτηριστικά ο Δούκας ότι “ο σεισμός διήρκεσε μέχρι να πεις το πάτερ ημών γρηγορότερα!”. “Τα σπίτια”, γράφει ακόμη ο Δονάτος “κουνήθηκαν ακριβώς όπως σαλεύουν τα καράβια, όταν τα κύματα είναι ταραγμένα”.

Υπάρχουν επίσης ποιήματα που γράφθηκαν με αφορμή το συγκλονιστικό γεγονός, τα οποία μας δίνουν πληροφορίες όχι μόνο για το σεισμό, αλλά και για την πρωτεύουσα της Κρήτης στις αρχές του 16ου αιώνα, τους δρόμους και τις πλατείες της, τα κτίριά της και τις καταστροφές που επέστησαν. Το σεισμό έχουν περιγράψει επίσης περιηγητές, ενώ υπάρχουν και ενθυμήσεις, σημειώσεις, δηλαδή για τις ημέρες εκείνες σε χειρόγραφα ιδιωτικά ή δημόσια, κάτι σαν ημερολόγια, θα λέγαμε σήμερα. Πριν το σεισμό ακούστηκε θόρυβος, ενώ η δόνηση διήρκεσε αρκετή ώρα. Ολόκληρη η Κρήτη συγκλονίστηκε και οι νεκροί ξεπέρασαν τους 300, όπως αναφέρει στο ίδιο κείμενο ο Δούκας, ενώ υπάρχουν άλλα κείμενα περιηγητών που ανεβάζουν τον αριθμό των θυμάτων ακόμη και στους 30.000. Πιθανότατα, έχει δίκιο ο Δονάτος, καθώς ως ο πολιτικός υπεύθυνος του νησιού είχε και την αρμοδιότητα να καταγράψει επίσημα τον αριθμό των νεκρών.

Η πόλη της Ιεράπετρας καταστράφηκε εντελώς και δεν ξαναχτίστηκε παρά στα τέλη του 16ου αιώνα, ως μια μικρή κώμη με αντιστοίχως μικρό φρούριο. Η δόνηση έγινε αισθητή σχεδόν σε όλα τα νησιά του Αιγαίου, αλλά και στη Ζάκυνθο, την Κύπρο και τα παράλια της Μικράς Ασίας.

Αναφέρεται ότι η επικεντρική περιοχή του σεισμού θα πρέπει να τοποθετηθεί στη θάλασσα βορειοανατολικά της Κρήτης, κοντά στην Κάρπαθο.



Εικόνα 2.13. Ο ναός του Αγίου Τίτου ως Βεζίρ Τζαμί.



Εικόνα 2.14. Σπίτια στην Ιεράπετρα.

12. Το έτος 1545 μ. Χ., στις 24 Μαρτίου έγινε ισχυρότατος σεισμός εντάσεως 6,8 βαθμούς της κλίμακας Ρίχτερ με επίκεντρο τη Λαμία και είχε 4000 θύματα. Σύμφωνα με τον Ambraseys (1994) υπάρχουν δύο κείμενα, δυτικής προέλευσης, που αναφέρονται στο σεισμό αυτό και τα οποία γράφτηκαν αμέσως μετά το σεισμό. Στο πρώτο κείμενο που αποτελεί επιστολή, η οποία εστάλη από την Κέρκυρα στη Βιέννη, αναφέρεται ότι στις 23 Μαρτίου 1545, τρεις ώρες πριν τα ξημερώματα, έγινε ένας τρομερός σεισμός ο οποίος κατέστρεψε τη Λαμία, όπου περίπου τα 3700 πτώματα ανασύρθηκαν από τα ερείπια και άλλα παρέμειναν κάτω από τα συντρίμμια. Η Υπάτη βλάφτηκε λιγότερο από τη Λαμία, αλλά τα δύο τρίτα της πόλης αυτής καταστράφηκαν και σκοτώθηκαν πολλοί άνθρωποι. Εκεί άνοιξε η γη και ένα ρεύμα ύδατος ξεχύθηκε προς την περιοχή της Λαμίας. Οι κορυφές δύο βουνών κατέρρευσαν λόγω καταιγίδας και του σεισμού. Τα τείχη της Ναυπάκτου ρηγματώθηκαν σε δυο μέρη από το σεισμό. Ο σεισμός έγινε έντονα αισθητός και με διάρκεια στη Ζάκυνθο και την Κεφαλονιά και αισθητός στην Κέρκυρα.

Το δεύτερο κείμενο, του οποίου πηγή είναι ειδήσεις από εμπόρους της Ναυπάκτου, αναφέρει ότι έγιναν δύο διαδοχικοί σεισμοί, οι οποίοι κατέστρεψαν ολοκληρωτικά την Υπάτη, τη Λαμία και το Γαρδίκι (Πελασγία), όπου προκάλεσαν και πολλά ανθρώπινα θύματα.

Οι βλάβες στη Ναύπακτο ήταν ασήμαντες εκτός από την κατάρρευση τμήματος του τείχους, το οποίο ήταν ήδη ετοιμόρροπο. Στο κείμενο αυτό δεν αναφέρεται η ημερομηνία του σεισμού αλλά μόνο ότι αυτός έγινε το 1545. Σε χειρόγραφο της μονής Ολυμπιώτισσας (περιοχή Ελασσόνας) του έτους 1577 αναφέρεται ότι έγινε μεγάλος σεισμός στην Ελλάδα και κατέστρεψε τη Λαμία (Ζητούνι), την Υπάτη (Νέα Πάτρα) και τη Ναύπακτο. Από ένα άλλο χειρόγραφο που βρίσκεται στην Εθνική Βιβλιοθήκη της Αθήνας, (προέρχεται από τη μονή Προυσού και συντάχθηκε το 1592/3) προκύπτει ότι ο σεισμός κατέστρεψε το μεγαλύτερο μέρος της Λαμίας, σκοτώθηκαν πολλοί άνθρωποι, βλάφτηκε ολόκληρη η Ελλάδα και η Βλαχία και οι δονήσεις κράτησαν πολλές ημέρες (Λάμπρος 1910).

Από τα ελληνικά κείμενα δεν προκύπτει με σαφήνεια η ακριβής ημερομηνία γένεσης αυτού του σεισμού και έχει γίνει σύγχυση μεταξύ αυτού και του σεισμού της βόρειας Θεσσαλίας που έγινε στις 24 Απριλίου 1544. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αυτά τα ελληνικά κείμενα γράφτηκαν αρκετές δεκαετίες μετά το μεγάλο αυτό σεισμό

της κοιλάδας του Σπερχειού και αυτόν που έγινε περίπου ένα έτος νωρίτερα στη Θεσσαλία.

Πρόκειται, πιθανότατα, για δύο διαφορετικούς σεισμούς. Αυτό προκύπτει από τα αναφερόμενα παραπάνω, που βασίζονται σε λεπτομερείς πληροφορίες που δημοσιεύθηκαν πρόσφατα, αλλά και από σεισμοτεκτονική γνώση.



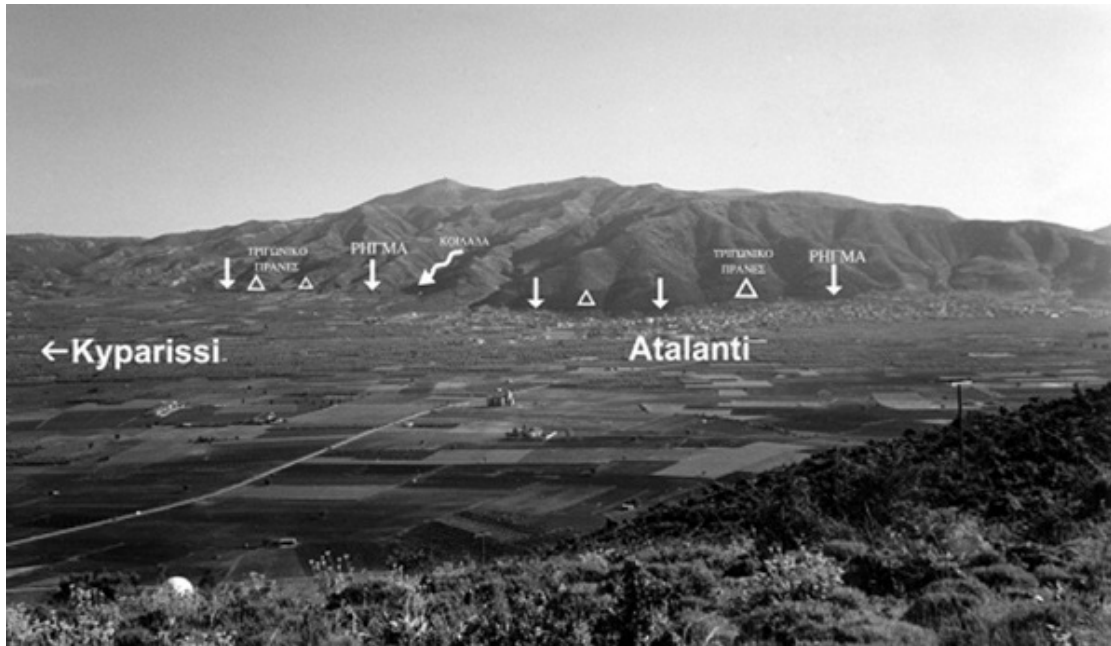
Εικόνα 2.15. Το κάστρο της Λαμίας σε αεροφωτογραφία.



Εικόνα 2.16. Βλέπουμε σπίτια στην πόλη της Λαμίας και πάνω δεξιά φαίνεται το κάστρο.

13. Το 1894 σημειώθηκαν δύο ισχυροί σεισμοί. Ο πρώτος συνέβη στις 20 Απριλίου με επίκεντρο Μαλεσίνα-Μαρτίνο και ο δεύτερος τις 27 Απριλίου με επίκεντρο τη περιοχή της Αταλάντης και προς Άγιο Κωνσταντίνο. Σύμφωνα με το σεισμολόγο καθηγητή Κ. Μητσόπουλο που έφτασε στην περιοχή αμέσως μετά, οι σεισμοί αυτοί έγιναν αισθητοί σε ολόκληρη την Ελλάδα. Ολόκληρες κατοικημένες περιοχές της Αταλάντης και του Μαρτίνου υπέστησαν σοβαρότατες ζημιές και ορισμένα σημεία τους κατεστράφησαν ολοσχερώς. Οι ανθρώπινες απώλειες έφτασαν συνολικά τα 253 θύματα. Το μέγεθος του πρώτου σεισμού, που ενδέχεται να ήταν και προσεισμός εκτιμάται από 6,4 έως 7,0 βαθμούς της κλίμακας Ρίχτερ, ενώ του δευτέρου από 7,0 έως 7,2 και έδωσε ουσιαστικά το τελειωτικό χτύπημα στην περιοχή, αν και το επίκεντρο του ήταν μάλλον πιο βορειοδυτικά προς Άγιο Κωνσταντίνο.

Ερείπια του σεισμού είναι ακόμη και σήμερα ορατά στην παραλία «Παλιομάγαζα» στο Κυπαρρίσι. Ενδεικτικό επίσης του μεγέθους του φαινομένου αποτελεί και η αναφορά του στην αγγλική εφημερίδα «The Illustrated London News» στο φύλλο του της 2ας Ιουνίου 1894. Η σημαντικότερη γεωλογική συνέπεια των σεισμών του 1894 ήταν η δημιουργία του “μεγάλου χάσματος της Λοκρίδας” που αρχικά υπολογίσθηκε στα 60 χιλιόμετρα, ενώ σήμερα ύστερα από εκτεταμένες γεωσεισμικές έρευνες, γνωρίζουμε ότι η μεγάλη αυτή διάρρηξη δεν ξεπερνά τα 35 χιλιόμετρα. Από το 1964 έως το 1999 δεν έχει καταγραφεί κανένας στην περιοχή σεισμός μεγέθους μεγαλύτερος των 5 Ρίχτερ. Αν εξαιρέσουμε την έξαρση του φαινομένου το 1894, με τις δραματικές συνέπειες του, η περιοχή θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως «μέσης σεισμικότητας», δηλαδή καταγράφονται σεισμοί μικρού βάθους με μικρά μεγέθη.



Εικόνα 2.17. Βλέπουμε τη θέση της Αταλάντης και της περιοχής Κυπαρίσσι, καθώς και το ρήγμα στο βάθος.



Εικόνα 2.18. Αεροφωτογραφία στην οποία βλέπουμε το ρήγμα της Αταλάντης.



Εικόνα 2.19. Γενικός χάρτης στον οποίο βλέπουμε τη θέση της Αταλάντης.

14. Ο μεγαλύτερος σε μέγεθος σεισμός στον ευρωπαϊκό χώρο τον 20ο αιώνα εκδηλώθηκε τα ξημερώματα της **9^{ης} Ιουλίου 1956** κι **έπληξε, κυρίως, τη Σαντορίνη.** Συνοδεύτηκε από τσουνάμι ύψους 25 μέτρων και προκάλεσε θύματα και σημαντικές καταστροφές.

Ο Εγκέλαδος προειδοποίησε το μεσημέρι της 8^{ης} Ιουλίου με μία σεισμική δόνηση της τάξης των 4,9 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ, με επίκεντρο τη θαλάσσια περιοχή νότια της Αμοργού. Δεν φαίνεται να ανησύχησε ιδιαίτερα τον πληθυσμό των Κυκλάδων, που συνέχισε τις καθημερινές του δραστηριότητες.

Τα ξημερώματα της 9ης Ιουλίου (05:11) εκδηλώθηκε ο κυρίως σεισμός από τον ίδιο εστιακό χώρο και κατέλαβε εξ απήνης τους κατοίκους των Κυκλάδων. Ήταν μεγέθους 7,5 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ και έντασης 9 βαθμών της κλίμακας Μερκάλι. Όπως έγραψαν χαρακτηριστικά οι εφημερίδες της εποχής, η σεισμική δόνηση ισοδυναμούσε με την έκρηξη 10.000 ατομικών βομβών. Ο σεισμός έπληξε κατά βάση τη Σαντορίνη, όπου καταμετρήθηκαν 53 νεκροί και καταγράφηκαν οι σοβαρότερες ζημιές. Το 35% των σπιτιών κατέρρευσαν και το 45% παρουσίασαν μεγάλες ή μικρές ζημιές. Ολοσχερώς καταστράφηκαν σχεδόν όλα τα δημόσια κτίρια. Εκτός από τη Σαντορίνη, σοβαρές βλάβες υπέστησαν τα νησιά Αμοργός, Ανάφη, Αστυπάλαια, Ίος, Πάρος, Νάξος, Κάλυμνος, Λέρος, Πάτμος και Λειψοί. Συνολικά, καταστράφηκαν 529 σπίτια, 1.482 έπαθαν σοβαρές βλάβες και 1.750 ελαφρές. Οι τραυματίες ξεπέρασαν τους 100.

Ο κύριος σεισμός συνοδεύτηκε από μεγάλο θαλάσσιο κύμα βαρύτητας (τσουνάμι), το ύψους του οποίου έφθασε τα 25 μέτρα στη νοτιοανατολική ακτή της Αμοργού, τα 20 μ. στη βορειοδυτική ακτή της Αστυπάλαιας, τα 10 μ. στη Φολέγανδρο και ήταν ασθενέστερο σε διάφορες άλλες ακτές του Νοτίου Αιγαίου μέχρι τη Σμύρνη. Από το τσουνάμι μία γυναίκα έχασε τη ζωή της στην Κάλυμνο, σύμφωνα με τα δημοσιεύματα της εποχής. Το τσουνάμι εξασθενημένο έφθασε μέχρι την Καλαμάτα και κατέστρεψε πολλές μικρές βάρκες που βρίσκονταν στο λιμάνι. Μία από τις πιο σημαντικές παρενέργειες του μεγάλου σεισμού ήταν η μεγάλη εσωτερική μετανάστευση του πληθυσμού της Σαντορίνης, κυρίως προς την Αθήνα.



Εικόνα 2.20. Η πρώτη σελίδα της εφημερίδας "Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ" δύο μέρες μετά τον μεγάλο σεισμό.

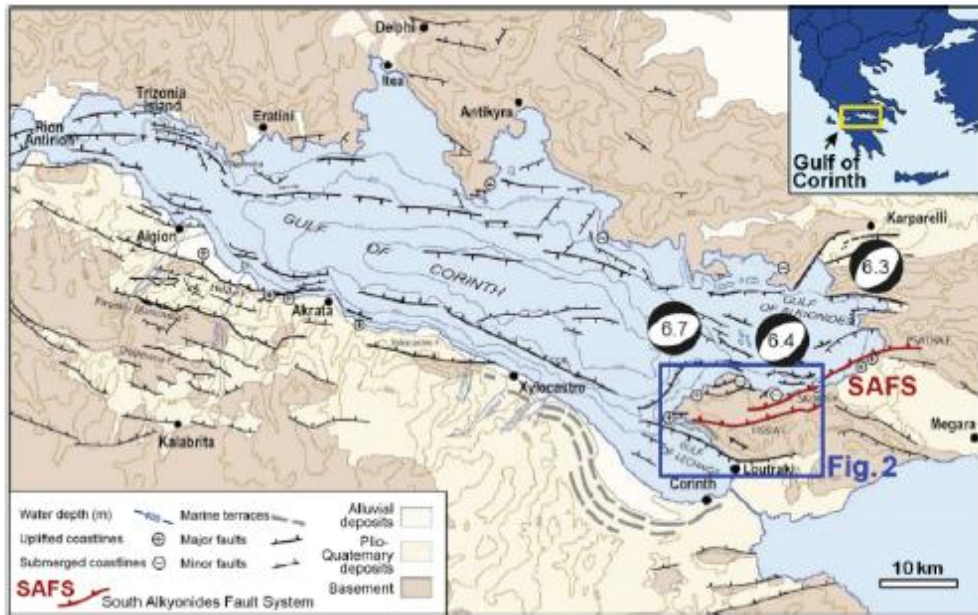
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΡΧΑΙΟΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΠΟ ΑΝΑΣΚΑΦΕΣ

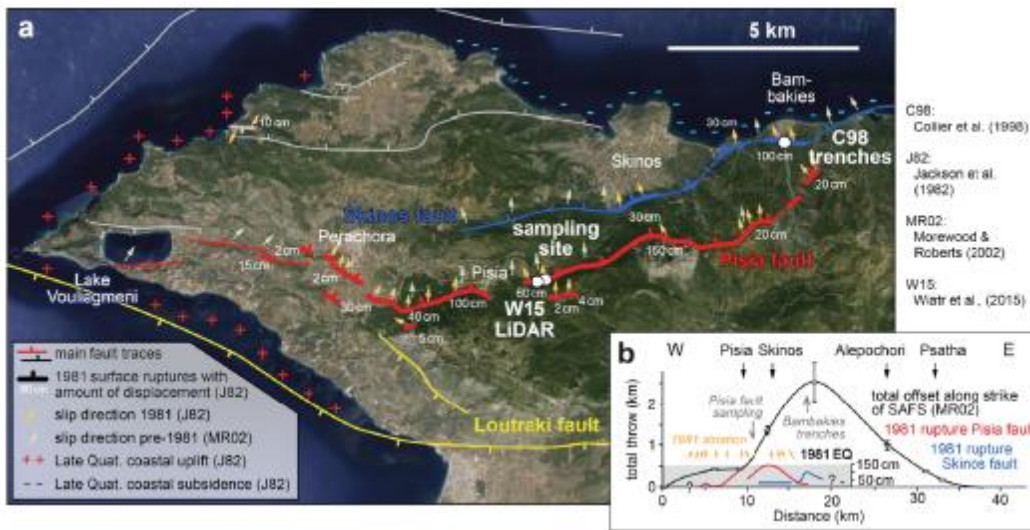
3.1 Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΡΗΓΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΙΣΙΑΣ, ΣΤΟΝ ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΟ ΚΟΛΠΟ, ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΡΗΓΜΑΤΟΣ. (Silke Mechernich, Ioannis D. Papanikolaou, T. J. Dunai, Klaus R. Reicherter)

Η παραμόρφωση του ρήγματος της Κορίνθου κατανέμεται σε πολλά κανονικά ρήγματα. Για παράδειγμα, το ρήγμα μήκους 17 χιλιομέτρων της Πισίας, το οποίο γνώρισε σεισμική μετατόπιση πάνω από 150 cm κατά την αλληλουχία σεισμών το 1981 στις Αλκωνίδες. Ερευνήσαμε μία τοποθεσία στο κεντρικό τμήμα του ρήγματος της Πισίας, το οποίο επηρεάζεται μόνο από μικρές διαδικασίες διάβρωσης και απόθεσης και όχι από μεταβολές από ανθρώπινη επίδραση. Με βάση τις διαφορές στο χρώμα εντοπίσαμε πέντε ορίζοντες σεισμών των οποίων τα ποσοστά σεισμικής ολίσθησης ήταν περίπου 110cm, 100cm, 75cm και 50cm αντίστοιχα. Προκαταρκτικά αποτελέσματα δείχνουν ότι ο βράχος είναι περίπου 14-17 χρονών, κάτι το οποίο είναι σε συμφωνία με την εποχή μετά των παγετώνων που έχει ανατεθεί σε άλλα βραχώδη ρήγματα της Μεσογείου,

Ο Κορινθιακός κόλπος, στην Ελλάδα, αποτελεί ένα ενεργό ρήγμα μήκους 100 χλμ και 30 χλμ βάθους εμφανίζοντας έντονη σεισμικότητα φιλοξενούμενη νότια και βόρεια από βαθειά κανονικά ρήγματα. Εκτείνεται περίπου 10-15 mm/yr στο κεντρικό του τμήμα και περίπου 4 mm/yr στο ανατολικό του τελείωμα. Τα περισσότερα από τα πολυάριθμα ρήγματα στη ξηρά περιλαμβάνουν βραχώδες ανθρακικό υπόστρωμα και η παλαιοσεισμική εξόρυξη δεν είναι δυνατή λόγω έλλειψης συνεχούς εναπόθεσης ιζημάτων. Σε αντίθεση με την εξόρυξη, συγκεντρώσεις ραδιονουκλειδίων πάνω στο ρήγμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανακατασκευή ιστορικού ολίσθησης σε περιβάλλοντα, όπου οι αποθέσεις κολλουβιακών είναι αραιές.



Εικόνα 3.1.2.1. Τεκτονικός χάρτης του κόλπου της περιοχή της Κορίνθου (Moretti et al., 2003).



Εικόνα 3.1.2.2. (α) Η χερσονήσου της Περαχώρας με τα κύρια ρήγματα. Το 1981 ρήξη με τα ίχνη του και τα ποσά ολίσθησης ενδείκνυται. (β) WE τομή που παριστά (i) τη μετατόπιση κατά τη διάρκεια του σεισμού το 1981 (που συγκεντρώθηκαν από Jackson et al., 1982), και (ii) τη συνολική ρήξη του νότιου τμήματος των Αλκυονίδων (σφάλμα συστήματος (SAFS) με βάση γεωλογικές διατομές.)

Οι τελευταίοι σεισμοί ρήξης επιφάνειας στον Κορινθιακό κόλπο συνέβησαν στο ανατολικό τέρμα του κατά την ακολουθία σεισμών στις Αλκυονίδες το 1981. Δύο τμήματα του συστήματος του ρήγματος των Αλκυονίδων μήκους 37χλμ

εκτοπίστηκαν έως 150 εκατοστά. Η λεπτομερής κατανομή της ολίσθησης του σεισμού του 1981 φαίνεται στο σχήμα 2. Η γεωμορφολογική επίδραση των ρηγμάτων απεικονίζεται από την παράκτια ανάταση/καθίζηση τόσο σεισμολογικά χρησιμοποιώντας άμεσες μετρήσεις, όσο και σε μεγάλα χρονοδιαγράμματα βασισμένα σε εγκοπές, θαλάσσιες αναβαθμίδες και ανορθωμένες πέτρες της θάλασσας. Μέχρι στιγμής, παλαιοσεισμολογικές έρευνες έχουν μόνο πραγματοποιηθεί στο κεντρικό τμήμα του ρήγματος του Σκίνου και τα συνδυασμένα αποτελέσματα των τριών χαρακωμάτων δείχνουν ότι ο σεισμός του 1981 και 4 παλαιοσεισμοί ίδιου μεγέθους επανεμφανίζονταν περίπου κάθε 330 χρόνια. Για το ιδιαίτερο ικανό ρήγμα του Πισίας, το διάστημα επανάληψης σεισμών σαν αυτόν του 1981 είναι άγνωστο.

3.1.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΡΗΓΜΑ ΤΟΥ ΠΙΣΙΑ

Το ρήγμα των 17 χλμ μήκους του Πισία αποτελεί το δυτικότερο ρήγμα των SAFS και είχε τις μεγαλύτερες σεισμικές μετατοπίσεις κατά την διάρκεια της ακολουθίας σεισμών του 1981. Διασχίζει μία κοιλάδα που περιέχει πολλά χωριά και αγροκτήματα και τελειώνει κοντά σε έναν αρχαιολογικό χώρο του Ηραίου. Το συνεχές ρήγμα κατά μήκος της ρήξης του 1981, υπογραμμίζει προηγούμενους σεισμούς ρήξης της επιφάνειας. Η έρευνα των βραχωδών υποστρωμάτων του ρήγματος για την ανακατασκευή της ιστορίας του Holocene σεισμού, απαιτεί μία προσεκτική επιλογή των τοποθεσιών με έμφαση στα χαρακτηριστικά διάβρωσης και απόθεσης καθώς και στην κατανομή της ολίσθησης. Το ρήγμα θα πρέπει να έχει εκταφεί από τους σεισμούς και να έχει παραμείνει εκτεθειμένο από τότε. Για το λόγο αυτό, κατάλληλες θέσεις δεν πρέπει να επηρεάζονται από διαδικασίες απογύμνωσης, διαδικασίες απόθεσης ή ανθρωπογενείς διαδικασίες. Στην περιοχή της Μεσογείου, τσιμεντένια κορηματική είναι συχνά επισυναπτόμενη στο ρήγμα, η οποία αποκλείει πολλές πιθανές τοποθεσίες δειγματοληψίας.

Επιλέξαμε μία περιοχή στο κεντρικό τμήμα του ρήγματος του Πισία. Η περιοχή βρίσκεται σε μία βόρεια πλαγιά σε ένα φυσικό δάσος χωρίς ανθρωπογενείς αλλαγές του τοπίου ή κορηματική. Η κλίση είναι 35° για την πόδα και 31° στο τοίχο που κρέμεται εκτός από τρία μέτρα στη βάση του ρήγματος που είναι πιο επίπεδα (26°) εξαιτίας των υπερβολικά κολλουβιακών καταθέσεων. Το κοντινότερο ποτάμι

βρίσκεται στα 230 μέτρα προς τα δυτικά και αποφύγαμε οποιαδήποτε περιοχή όπου μικρές ρεματιές τέμνονταν στον γκρεμό.

3.1.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

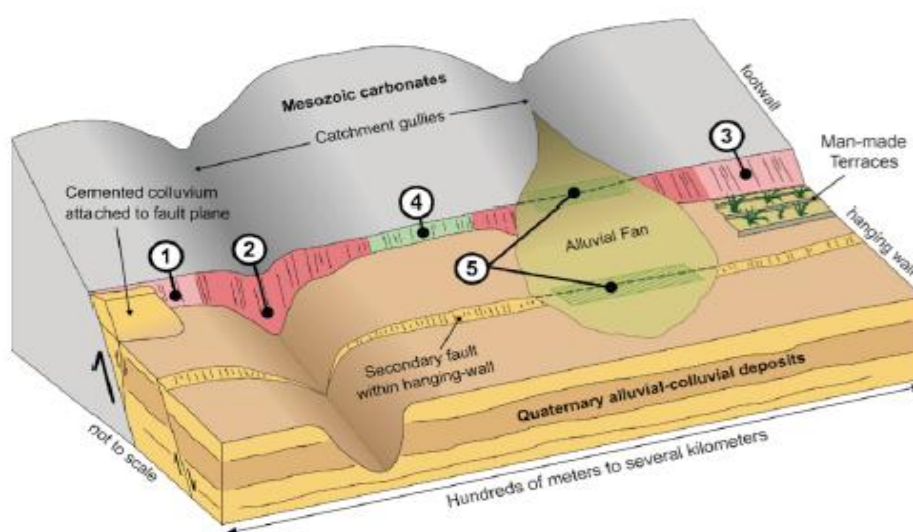
Η επαυξητική εκταφή του σεισμού εξαιτίας της σεισμικής ολίσθησης οδηγεί σε καιρικές και σχετικές μεταβολές στην επιφανειακή τραχύτητα του ρήγματος. Με αυτόν τον τρόπο, το υψηλότερο τμήμα του αποκόμματος ρήγματος εκτίθεται σε μεγαλύτερες καιρικές διεργασίες. Για να εκτιμηθεί η σχετική διάρκεια έκθεσης διαφορετικών οριζόντιων τμημάτων του αποκόμματος ρήγματος, δηλαδή για να διακρίνει μεμονωμένα συμβάντα ολίσθησης (σεισμοί), χρησιμοποιήσαμε διάφορους δείκτες, διαφορές τραχύτητας, χρωματική αντίθεση, ανάπτυξη λειχήνων και κοσμογενετικές συγκεντρώσεις ^{36}Cl . Με αυτόν τον τρόπο, εντοπίσαμε 5 πιθανά γεγονότα σεισμού στα χαμηλότερα 4,5 μέτρα του αποκόμματος του ρήγματος. Το υψηλότερο τμήμα ήταν πιο δύσκολο να αναλυθεί εξαιτίας του καιρικού διαλύματος του ρήγματος.

Στη θέση δειγματοληψίας, καθώς και 1300 μέτρα μακρύτερα ανατολικά και 100 μέτρα μακρύτερα δυτικά, τα κατώτατα $1,1 \pm 0.1$ μέτρα του αποκόμματος του ρήγματος φαίνεται ανοιχτότερο στο χρώμα. Αυτό το πιο ανοιχτό χρώμα σχετίζεται καλά με τη συνολική σεισμική μετατόπιση του 1981 που αναφέρθηκε από τον Jackson et al.(1982) και είναι πιθανόν να προκλήθηκε από κατάλοιπα μικροεδάφους και λόγω έλλειψης βλάστησης.

Τελειώνοντας, έντονα χαρακτηριστικά μπορούν να υποδείξουν την θέση αρχαίας βάσης του ρήγματος. Καμία βλάστηση δεν είναι ορατή στα χαμηλότερα 1.1 μέτρα, που έχουν εκτεθεί για τα τελευταία 33 χρόνια. Πάνω από το ύψος αυτό, η ποσότητα των διάφορων ειδών λειχήνων και τα αντίστοιχα μεγέθη τους αυξάνουν προς τα πάνω. Διάφορα είδη λειχήνων φθάνουν τα 15 εκατοστά σε διάμετρο και πάνω από 4 μέτρα ύψος αποκόμματος. Οι αναλύσεις των διαφορών στη μικροτραχύτητα της επιφάνειας του ρήγματος είναι στο στάδιο της προετοιμασίας. Για να αποκαλυφθεί η ιστορία του σεισμού του πλήρους ρήγματος των 8,4 μέτρων, καθαρίσαμε τα δείγματα από τη βρωμιά, το βρύο και τις λειχήνες δεδομένου ότι ιδίως στο άνω τμήμα του αποκόμματος, επηρεάζουν την τραχύτητα. Ωστόσο, μετά από την αφαίρεση του ζωντανού τμήματος των λειχήνων, μια οξαλική επικάλυψη πατίνας αποτελείτο κυρίως από βιογενετικά υπολείμματα οξαλικού ασβεστίου και ισοπεδώνει

την επιφάνεια του βράχου. Επιπλέον, η τραχύτητα ελέγχεται επίσης από την υφή του υποστρώματος. Η ασβεστολιθική λατυποπαγή σε αυτή την τοποθεσία έχει ένα υψηλό πορώδες και μεταβλητές ποσότητες και μεγέθη κλαστικών. Μεγάλα κλαστικά προεξέχουν έξω και το πορώδες χτίζει τρύπες στην επιφάνεια, έτσι το σήμα της τραχύτητας αυξάνει μαζί με το ποσοστό των κλαστικών και του πορώδους. Πιστεύουμε ότι η επίδραση των λειχήνων και της υφής είναι οι λόγοι για τους οποίους οι υπολογισμοί μας για τον παράγοντα ανθεκτικότητας του εδάφους προτείνει μια συνολική μείωση της τραχύτητας με το ύψος των αποκομμάτων από 0 έως 8,4 μέτρα. Η μειωμένη τραχύτητα είναι σε αντίθεση με την προσδοκία που βασίζεται στις καιρικές συνθήκες και σε αντίθεση με την ανάλυση του παράγοντα ανθεκτικότητας του εδάφους στα χαμηλότερα 2,2 μέτρα του ρήγματος του Πισία 180 μέτρα μακρύτερα δυτικά.

Για να ληφθεί μια προσέγγιση ανεξάρτητη από τον καιρό για τη διάρκεια της έκθεσης μετράμε τις *in situ* παραγόμενες συγκεντρώσεις ^{36}Cl . Κατά την προετοιμασία του δείγματος, ξεπερασμένα τμήματα και πόροι απομακρύνονται με ένα περιστροφικό εργαλείο και επιλέγουμε το κλάσμα (χωρίς τη μήτρα) για να αποφύγουμε επιπτώσεις από υψηλότερη συγκέντρωση φυσικού χλωρίου στη μήτρα. Μέχρι σήμερα, έχουμε μόνο μία συγκέντρωση ^{36}Cl , που είναι $\sim 2.9 \cdot 10^5$ at/g πέτρας σε ύψος 4,4 μέτρων. Παρά αυτά τα περιορισμένα δεδομένα, προτυποποιήσαμε διακριτούς σεισμούς στους οριζόντες βασισμένους στους αναγνωρισμένους καιρικά οριζόντες χρησιμοποιώντας τη διαδικασία Matlab.



Εικόνα 3.1.2.1. Χαρακτηριστικά ενός τυπικού, κανονικού Μεσογειακού ρήγματος. Σημεία (1) έως (3) θα πρέπει να αποφεύγονται οι

παλαιοσεισμολογικές αναλύσεις. Σφαλμένα αποκόμματα εδάφους, τα οποία θα πρέπει να αναληφθούν στο χώρο (4), και έρευνες εκσκαφής θα πρέπει να πραγματοποιούνται σε χώρο με συνεχή καθίζηση (5).



Εικόνα 3.1.2.2. Εντυπώσεις από το ρήγμα Πίσια. (a) 15 μέτρα ανατολικά της θέσης δειγματοληψίας. Να δοθεί βάση στη λωρίδα που είναι 1.1-1.2 μέτρα ύψος που δείχνει την εκταφή, λόγω του σεισμού το 1981. (b,c) Βλέπουμε τον προσδιορισμό των οριζόντιων ζημιών με βάση τα διαβρωμένα χαρακτηριστικά και την αντίθεση που κάνουν τα χρώματα και την ανάπτυξη λειχήνων. (d,e) Οι φωτογραφίες των δύο καθαρισμένων δειγμάτων, που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της τραχύτητας. Αξίζει να σημειωθεί ότι το κάτω δείγμα # 42 είναι λιγότερο τραχύ από το δείγμα # 2, λόγω της μεγαλύτερης έκθεσης του στις καιρικές συνθήκες.

Αυτοί θα πρότειναν ότι οι 5 πρόσφατοι σεισμοί παράχθηκαν στο τελευταίο $\sim 8 \pm 1$ kyr και ότι τα 8,4 μέτρα του free-face είχαν εκταφεί στα τελευταία $\sim 14-17$ kyr. Οι ηλικίες είναι προκαταρκτικές δεδομένου ότι εξαρτώνται από μία μόνο συγκέντρωση Cl και από παράγοντες που εξακολουθούν να είναι άγνωστοι. Παρ' όλα αυτά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα scarps θάφτηκαν κατά τη διάρκεια της τελευταίας εποχής παγετώνων και εκτέθηκαν με την αύξηση της θερμοκρασίας και της μείωσης των συχνοτήτων απογύμνωσης την μετά- LGM όπως ήδη προτείνεται από τους Arimijo et al.(1992).

3.1.3 ΣΥΖΗΤΗΣΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Εκτός από την επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας, ο προσδιορισμός των οριζόντων του γεγονότος αποτελεί έναν παράγοντα ελέγχου για την ερμηνεία της ιστορίας του σεισμού στα βραχώδη υποστρώματα του ρήγματος. Η ανίχνευσή τους είναι πιο ολοκληρωμένη και αξιόπιστη όταν χρησιμοποιούνται πολλαπλές μέθοδοι για την ταυτοποίησή τους. Στην τοποθεσία μας, η απόσταση μεταξύ των οριζόντων του γεγονότος υποδεικνύει 50-110 εκατοστά σεισμικής ολίσθησης κατά τη διάρκεια των τελευταίων 5 σεισμών. Σε αντίθεση, οι Wiatr et al. (2015) αποκάλυψαν 4 πιθανούς παλαιοσεισμούς 180 μέτρα δυτικά από την τοποθεσία δειγματοληψίας μας, με βολές περίπου 30-60 μέτρων αντίστοιχα. Αυτές οι χαμηλότερες σεισμικές μετατοπίσεις συγκρινόμενες με την τοποθεσία μας θα μπορούσαν να σχετίζονται με τον τερματισμό του τμήματος του ρήγματος σε 250 μέτρα μακρύτερα προς τα δυτικά. Η διάκριση πολλαπλών σεισμικών γεγονότων μικρότερου μεγέθους σε μικρές χρονικές περιόδους είναι προβληματική σε όλες τις εφαρμοζόμενες μεθόδους. Έτσι, η ποσότητα των εντοπισμένων συμβάντων αντιπροσωπεύεται το ελάχιστο ποσό των σεισμών, ενώ οι εκτιμώμενες μετατοπίσεις είναι μέγιστα όρια και για αυτό το λόγο αφορούν μέγιστα μεγέθη σεισμών. Υποθέτοντας ότι οι τιμές ολίσθησης αναπαριστούν τις μέσες μετατοπίσεις κατά μήκος του strike του ρήγματος του Πισία, τα αναμενόμενα μέγιστα μεγέθη είναι 6,7, 6,7, 6,6, 6,6, 6,5 ± 0.4 αντίστοιχα. Το μοτίβο της τραχύτητας με το ύψος του αποκόμματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις τοπικές συχνότητες ανάπτυξης των λειχήνων και της υφής του υποστρώματος. Η πιθανότητα να ανιχνευθούν οριζόντες σεισμών βασισμένοι στη μικροτραχύτητα θα εξεταστεί με μια συνεχή ανάλυση του παράγοντα ανθεκτικότητας του εδάφους σε διαστήματα 5 εκατοστών. Περαιτέρω ανάλυση ^{36}Cl θα ενημερώσει τα σεισμικά γεγονότα και θα αποκαλύψει το συνεχές ρυθμό ολίσθησης. Λόγω του χαμηλού ρυθμού παραγωγής ^{36}Cl και της μάλλον χαμηλής σεισμικής μετατόπισης στην τοποθεσία μας, μια επαλήθευση των τοποθεσιών των οριζόντων του σεισμού χρησιμοποιώντας μοντελοποίηση φύματος αποτελεί πρόκληση. Ακόμη και σε περίπτωση ελάχιστων αβεβαιοτήτων, η επανάληψη διαστήματος τουλάχιστον 2,5 kyr θα πρέπει να επιτρέπει αξιόπιστα ανιχνεύσιμα φύματα. Ωστόσο, η ηλικία των αποκομμάτων υποδηλώνει ότι πέντε σεισμοί δημιουργήθηκαν στο παρελθόν 8 ± 1 kyr, για το λόγο αυτό η επανάληψη του διαστήματος θα είναι μάλλον της τάξης του 1-2 kyr. Αυτό

υπογραμμίζει την ανάγκη για τις προαναφερθείσες αναλύσεις επιφάνειας να ανιχνεύσουν τους ορίζοντες των σεισμών εκτός από τις συγκεντρώσεις του ^{36}Cl .

3.2 ΖΗΜΙΕΣ ΣΤΟΝ ΝΑΟ PRAMBANAN ΤΟΥ 9^{ου} ΑΙΩΝΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΛΗΘΗΚΑΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΕΙΣΜΟ ΤΗΣ ΓΙΟΓΚΙΑΚΑΡΤΑ ΤΟ 2006

(Christoph Grutzner, Jin-Hyuck Choi, Paul Edwards, Young-Seog Kim)

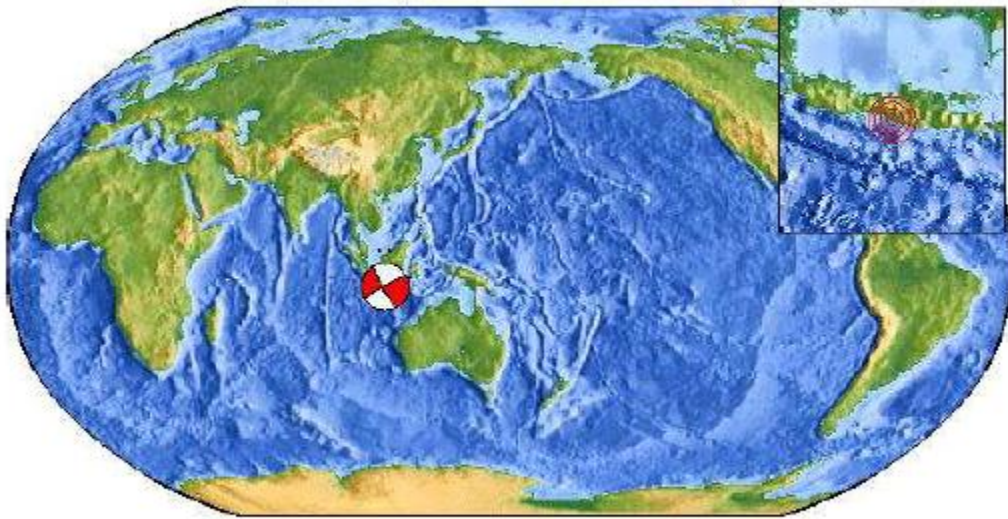
Ένας σεισμός 6,5 βαθμών έπληξε την Γιογκιακάρτα το Μάιο του 2006. Η περιοχή, που θεωρείται αντισεισμική, υπέστη μεγάλες ζημιές: 155.000 σπίτια καταστράφηκαν. Το συγκρότημα του ναού Prambanan ήταν μεταξύ των κτιρίων που υπέστησαν σοβαρές ζημιές. Η θέση και η κατεύθυνση των καταστροφών έχουν διερευνηθεί: μετατοπίσεις και πτώσεις συγκροτημάτων τοιχοποιίας ερευνήθηκαν. Εμείς ανακατασκευάσαμε την κατεύθυνση της ισχυρής κίνησης που ήταν υπεύθυνη για τις καταστροφές. Είναι παράλληλη με strike της αιτιολογικής βλάβης.

Πιο συγκεκριμένα, ένας σεισμός 6,5 βαθμών πραγματοποιήθηκε την 26^η Μαΐου του 2006 στο σουλτανάτο της Γιογκιακάρτα στο νησί Ιάβα, στην Ινδονησία. Η πόλη των 4 εκατομμυρίων κατοίκων δεν υπέστη σημαντικές ζημιές, αλλά 150.000 σπίτια κατέρρευσαν στη τριγύρω αγροτική περιοχή και 200.000 επιπλέον υπέστησαν σοβαρές ζημιές. Έξι χιλιάδες άνθρωποι πέθαναν. Ο σεισμός σημειώθηκε σε ένα τμήμα της Ιάβα που έχει θεωρηθεί αντισεισμικό. Δεν υπήρξε καμία ρήξη στην επιφάνεια και το αιτιολογικό σφάλμα δεν θα μπορούσε να προσδιοριστεί με κανένα από τα γνωστά σφάλματα. Δώδεκα προσωρινοί σεισμικοί σταθμοί λειτούργησαν για τρεις μήνες για την καταγραφή μετασεισμών. Η μηχανική γεωλογική χαρτογράφηση παρείχε επεξήγηση για τη μεγάλη ζημιά που προκάλεσε παχιά διαδοχή επαναλαμβανόμενων χειμάρρων λάσπης, lahars που προέρχονταν από το κοντινό ηφαίστειο Merapi ενίσχυσε τη δόνηση.

JAVA, INDONESIA

Mw 6.3

(USGS Rapid Moment-Tensor Solution)



Date: 26 MAY 2006
Time: 22:54:11.18 UTC
Epicenter: -8.007 110.288
Depth: 37 km

Εικόνα 3.2.1: Θέση της γένεσης του σεισμού στη Γιογκιακάρτα στις 26 Μαΐου του 2006.

Πραγματοποιήσαμε μία αρχαιοσεισμολογική έρευνα 3 χρόνια μετά το σεισμό, υποθέτοντας ότι οι Μεσαιωνικοί, Hindu ναοί στην περιοχή διατηρούσαν τις ζημιές που είχε προκαλέσει ο σεισμός. Οι μετατοπίσεις- αν προκλήθηκαν από έναν σεισμό γνωστού μηχανισμού γένεσης- θα είναι κατάλληλες για βαθμονόμηση αρχαιοσεισμολογικών μελετών, όπου ο μηχανισμός είναι άγνωστος. Το μεγαλύτερο συγκρότημα του ναού Prambanan, υπέστη σοβαρές ζημιές το 2006. Η αποκατάσταση ήταν σε εξέλιξη και είχαμε τη δυνατότητα να μελετήσουμε τα ιερά πριν οι επισκευές να καλύψουν τις ζημιές.

Πιο συγκεκριμένα, ας αναφέρουμε κάποιες πιο γενικές πληροφορίες σχετικά με το Prambanan. Το συγκρότημα ναού Loro Jonggran (αναφέρθηκε από το πιο γνωστό όνομα του χωριού Prambanan όπου βρίσκεται) χτίστηκε πιθανόν κατά το πρώτο εξάμηνο του 9^{ου} αιώνα. Η διάχυτη πολιτιστική επίδραση και κανόνας της Hindu δημιούργησαν ένα πλήθος ναών στο χρόνο αυτό, συμπεριλαμβανομένης της τοποθεσίας Borobudur 35 χλμ Βορειοδυτικά, παγκόσμιας κληρονομιάς της UNESCO. Ο Prambanan υπήρξε μια τοποθεσία για πολιτιστικό και θρησκευτικό τουρισμό από την ανακάλυψή του από τον Thomas Raffles, τον τότε Βρετανό κυβερνήτη της Ιάβα κατά τη διάρκεια των Ναπολεόντειων πολέμων. Η ανασκαφή και η έρευνα ξεκίνησαν όταν είχαν περάσει δύο αιώνες: παλιοί ναοί ανακαινίστηκαν και οι ξεχασμένοι για καιρό υπέστησαν ανασκαφή από διαδοχικά παχιά ηφαιστειο-ιζηματογενή στρώματα. Μία σύγχρονη αποκατάσταση του Prambanan, ικανοποιώντας τις ανάγκες της τουριστικής βιομηχανίας ακολούθησε τους μεγαλειώδεις στόχους που έχουν τεθεί σε κοντινή απόσταση από το Borobudur. Αυτό, που χρηματοδοτείται από την UNESCO το 1960, ήταν εντελώς αποσυναρμολογημένο και χτισμένο ξανά, υποστηριζόμενο από ενισχυμένη δομή σκυροδέματος. Ως εκ τούτου, τίποτα δεν είναι ορατό στο Borobudur που θα μπορούσε να προσφέρει οποιαδήποτε πληροφορία σχετικά με την ιστορία του 12^{ου} αιώνα στη σεισμόπληκτη Ινδονησία. Ευτυχώς, η ανακατασκευή του Prambanan σε ένα λιγότερο οικονομικά επιτυχές περιβάλλον: μόνο οι εξωτερικές, σκαλιστές πέτρες αφαιρέθηκαν, μία ενισχυμένη στρώση σκυροδέματος κατασκευάστηκε και οι λοξευτές πέτρες αντικαταστάθηκαν σε επιλεγμένες μερίδες.

Αξιοσημείωτες είναι οι τεχνικές και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν, ώστε να μελετηθούν οι ζημιές που υπέστη ο ναός. Εμφανώς πρόσφατες ζημιές σε αρκετά κτίρια του συγκροτήματος του ναού, που θεωρείται από τον K. Darmojo, τον πρωτομάστορα, ότι δημιουργήθηκαν από το σεισμό του 2006, έχουν διερευνηθεί με πυξίδα και ταινία μέτρησης και τεκμηριωθεί σε φωτογραφίες. Μελετήθηκαν έγγραφα αποκατάστασης που έχουν προετοιμαστεί σε διάφορες χρονικές στιγμές, σχολίασε ο K. Darmojo. Ένας χειρόγραφος χάρτης που κατέγραφε τις παραμορφώσεις της επιφάνειας αμέσως μετά το σεισμό του 2006, εθεάθη επίσης. Παρά το γεγονός ότι οι πεσμένοι τοίχοι έχουν ως επί το πλείστον αφαιρεθεί από τη στιγμή που επισκεφτήκαμε την περιοχή, μερικά μεγάλα κομμάτια εντοπίστηκαν και καταγράφηκε η κατεύθυνση της πτώσης τους. Τα παρατηρούμενα χαρακτηριστικά

των ζημιών ονομάζονται επίσης και σεισμικά αρχαιολογικά αποτελέσματα και συσχετίζονται με την κλίμακα της έντασης του Rodriguez-Pascua et al. (2013). Καθορίσαμε τις κατευθύνσεις των μετατοπίσεων των συγκροτημάτων των τοίχων επίσης. Τα καταγραφόμενα χαρακτηριστικά ερμηνεύτηκαν ως τμήματα ενός πεδίου ισχυρής κίνησης και οι κύριες διευθύνσεις προσδιορίστηκαν γραφικά.



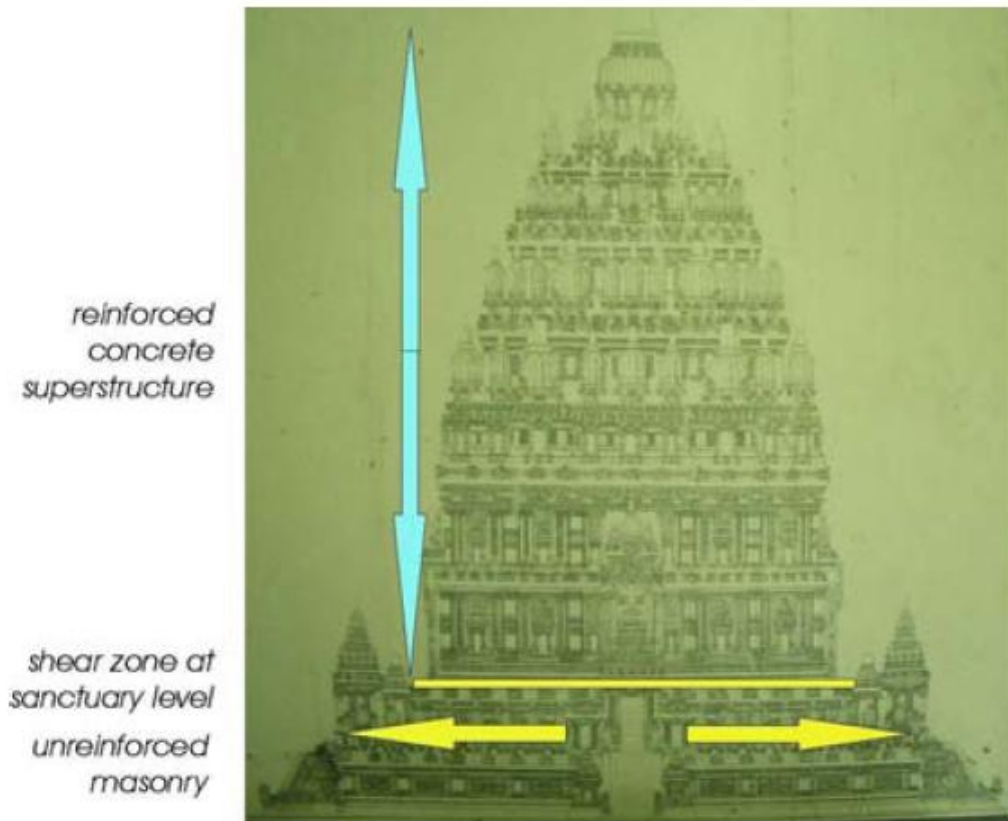
Εικόνα 3.2.2. Κομμάτι από κολώνα του ναού της Apit Utara, το οποίο έπεσε από ύψος 7,7 m και κλίση 120 °.



Εικόνα 3.2.3. Ναός Shiva: Μετατόπιση 45 χιλιοστά και στροφή 20 °.

Παρακάτω θα αναφέρουμε κάποια από τα σεισμικά αρχαιολογικά αποτελέσματα σύμφωνα με τις μελέτες που έγιναν. Το ιερό Shiva του συγκροτήματος του Prambanan έχει εξαιρετικά θεμέλια: τετράγωνα λευκής ηφαιστειακής τέφρας βάθους 8 μέτρων, κρύβονται κάτω από συμπαγή άμμο στα 14 μέτρα. Η στάθμη των υπόγειων υδάτων είναι στα 11 μέτρα βάθος. Διάφορες ζημιές διερευνήθηκαν για τον προσδιορισμό της κατεύθυνσης της ισχυρής κίνησης που ήταν υπεύθυνη για τη μετατόπιση. Η άκρη του 14 μέτρων ύψους ιερού Apit Utara υποχώρησε έναντι 120° για 7,7 μέτρα. Το μεγαλύτερο ιερό, ο ύψους 60 μέτρων ναός Shiva είχε ένα μανδύα ενισχυμένου σκυροδέματος στα μεσαία και στα ανώτερα επίπεδα, ενώ το χαμηλότερο επίπεδο δεν έχει αποκατασταθεί σε μεγάλο βαθμό. Αυτό το μη ενισχυμένο χαμηλότερο κάτω τμήμα υπέστη οριζόντια επέκταση σε κατεύθυνση 20-220°. Το κατώτερο μέρος του ναού Brahma περικλειόταν από ενισχυμένο σκυρόδεμα, ενώ τα μεσαία και ανώτερα τμήματα έμειναν ανέπαφα. Υπήρξαν μετατοπίσεις αριστερής πλευράς εκατοστιαίου μεγέθους σε αρκετές σειρές της τοιχοποιίας στο μη ενισχυμένο επίπεδο. Προτείνουμε ότι αυτές είναι χαρακτηριστικά της επιφάνειας μιας αριστεροπλευρικής ζώνης μετατόπισης, που διασχίζει διαγώνια το μνημείο.

Αξιοσημείωτη είναι μια ρωγμή, μήκους 20 μέτρων και πλάτους αρκετών εκατοστών, η οποία επεκτάθηκε σε κατεύθυνση 15-195° κοντά στο ναό Brahma. Περαιτέρω ρωγμές εδάφους χαρτογραφήθηκαν σε περιφερειακό επίπεδο από τους Pramumijoyo και Sudarno (2008). Εάν υπήρχε ένας υψηλότερος υδροφόρος ορίζοντας, αυτή η ρωγμή εδάφους θα απέφερε υγραποίηση και ηφαιστειακή άμμο.



Εικόνα 3.2.4. Ναός Shiva, όπως φαίνεται από τα δυτικά (φωτογραφία από ένα αρχιτεκτονικό σχέδιο). Ένα οριζόντιο επίπεδο διάτμησης διαμορφώθηκε ανάμεσα στο πάνω μέρος, το οποίο αποτελείται από οπλισμένο σκυρόδεμα και το κάτω μέρος από άοπλο. Τα οριζόντια βέλη δείχνουν την μετατόπιση του ναού κατά 10 εκατοστά, λόγω του σεισμού.

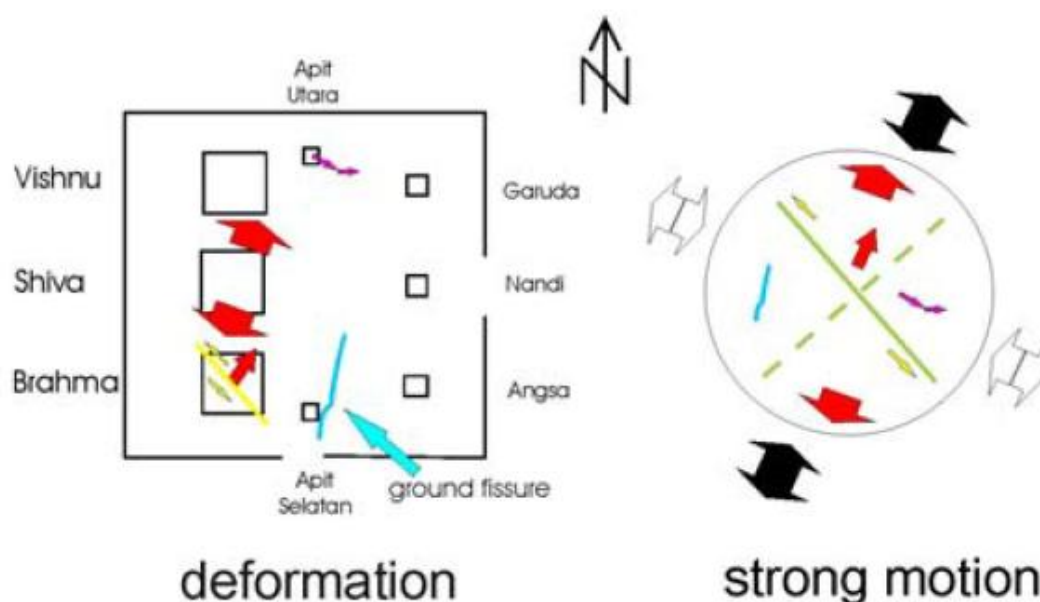


Εικόνα 3.2.5. Ναός Brahma: ένα οριζόντιο πλευρικό σφάλμα στην αριστερή Βορειοδυτική πλευρά του ναού. Το επίπεδο κάτω από αυτό τον όροφο περιβάλλεται από έναν ενισχυμένο τσιμεντένιο τοίχο. Υπέστη 4 χιλιοστά αριστερή πλευρική μετατόπιση.

Οι μετατοπίσεις απεικονίζονται σε ένα ατομικό διάγραμμα περιγράφοντας το ισχυρό πεδίο κίνησης του σεισμού του 2006. Γίνονται περιγραφές για κατευθύνσεις πτώσεων, μετατόπιση τοίχων και ρωγμών εδάφους. Οι καλύτερες περιγραφές είναι

εκείνες οι καταστροφές, όπου η κατεύθυνση μετατόπισης είναι η λιγότερο περιορισμένη από τη γεωμετρία του κτιρίου. Επιπλέον, τα στοιχεία των ζημιών που επηρεάζουν τα μεγάλα κτίρια θεωρούνται ισχυρότερα από εκείνα που επηρεάζουν τις μικρότερες κατασκευές.

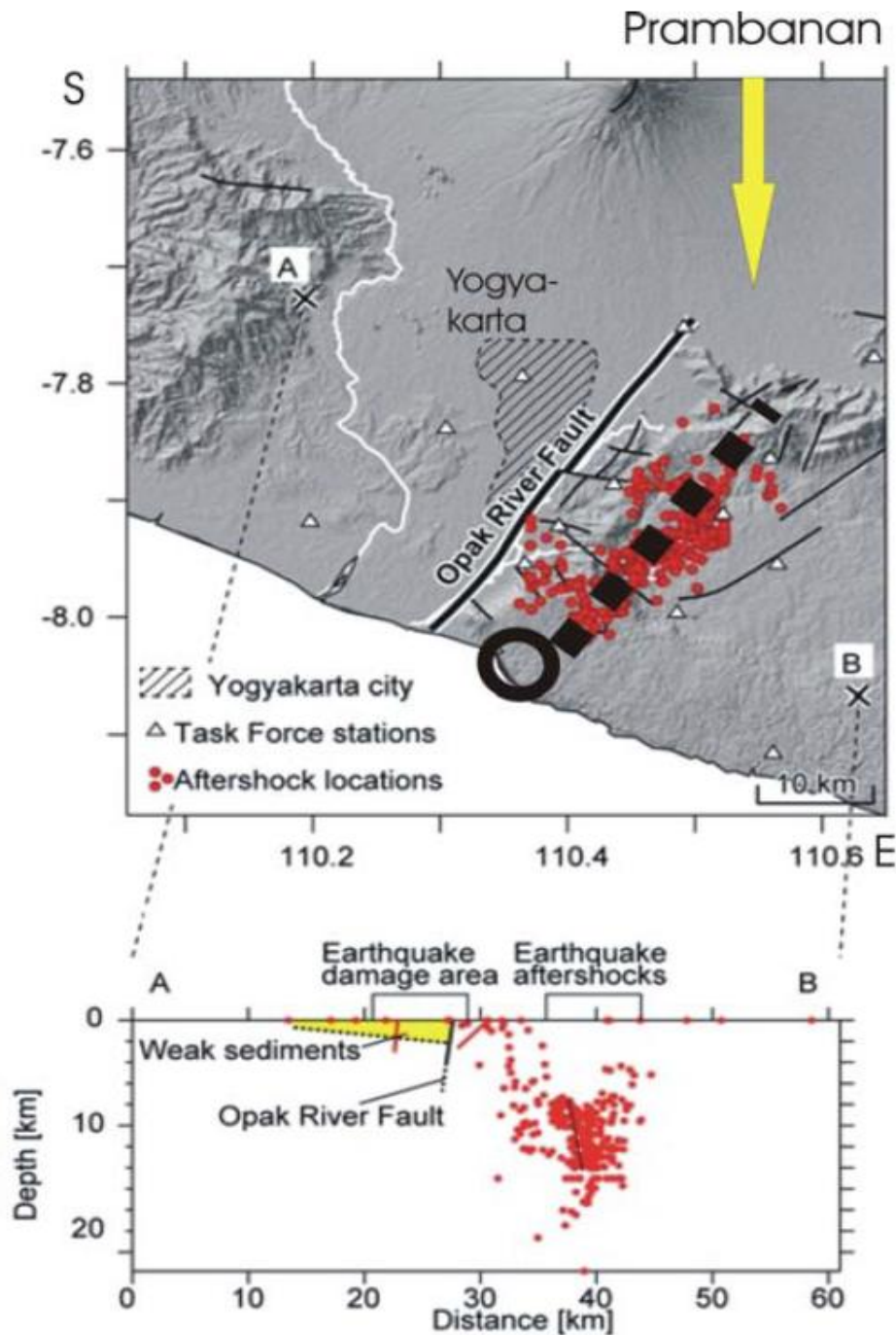
Οι λιγότερο περιορισμοί είναι εκείνοι που επηρέασαν τις κατευθύνσεις πτώσεων των κορυφών των ναών Apit Utara και Brahma, και οι δύο αυτοί ναοί είναι κοντά στο να είναι κεντρικά συμμετρικοί. Το επάνω μέρος μπορεί να πέσει προς οποιαδήποτε κατεύθυνση καθώς καθορίζεται από τη δόνηση. Οι κατευθύνσεις πτώσης τους είναι κάθετες μεταξύ τους, δηλαδή και οι δύο συνιστώσες των κατευθύνσεων της ισχυρής κίνησης μπορούν να τις επηρεάσουν.



Εικόνα 3.2.6. Τα μαύρα και τα άσπρα βέλη δείχνουν την ισχυρή κατεύθυνση της κίνησης.

Το αιτιολογικό σφάλμα του σεισμού της Yogyakarta το 2006 είναι ένα ρήγμα ολίσθησης αριστερής πλευράς. Το επίκεντρο ήταν Νοτιοδυτικά, από όπου το ρήγμα εξαπλώνεται προς τα Βορειοανατολικά, πιθανόν από όσο αποδεικνύεται από τα υπόκεντρα των μετασεισμών. Το συγκρότημα του Prambanan βρίσκεται κατά προσέγγιση στην υποθετική βορειοανατολική επέκταση του σφάλματος: αυτό εξηγεί τη μεγάλη ζημιά που υπέστη σε σύγκριση με άλλους ναούς σε κοντινή απόσταση. Ενδεχομένως, τα P-κύματα προκάλεσαν την επέκταση του μη ενισχυμένου κατώτερου επιπέδου του ναού Shiva. Τα S-κύματα προκάλεσαν την πτώση των διακοσμήσεων των εντορμιών. Η αριστεροπλευρική διάρρηξη του ναού Brahma

επίσης προκλήθηκε από P κύματα: αυτά δημιούργησαν διαγώνια ρήξη σε όλο το κτίριο σύμφωνα με τα αεροπλάνα Mohs. Η αριστεροπλευρική μετατόπιση δεν είχε ιδιαίτερη σημασία: η δόνηση σταμάτησε σε αυτή τη συγκεκριμένη στιγμή. Εάν σταματούσε μετά από 1 δευτερόλεπτο η μετατόπιση θα ήταν δεξιόπλευρη. Αυτές οι προτάσεις εξυπηρετούν μία καλύτερη κατανόηση της πληθώρας δεδομένων που καταγράφονται από αρχαιολογικά μνημεία.



Εικόνα 3.2.7. Χάρτης της μετασεισμικής δραστηριότητας μετά τον σεισμό στις 26 Μάη 2006. Ο μαύρος κύκλος δείχνει το επίκεντρο του σεισμού. Τα τρίγωνα δείχνουν τους προσωρινούς σεισμικούς

σταθμούς. Οι μικροί κύκλοι υποδηλώνουν τα επίκεντρα των μετασεισμικών δραστηριοτήτων. Α-Β προφίλ: υπόκεντρο της μετασεισμικής δραστηριότητας σε σύγκριση με την τοποθεσία που υπέστη τη μεγαλύτερη ζημιά. Ενοποιημένα ιζήματα της κοιλάδας του ποταμού Orak είναι ως επί το πλείστον από τη λάβα του ηφαιστείου Mt. Merapi.

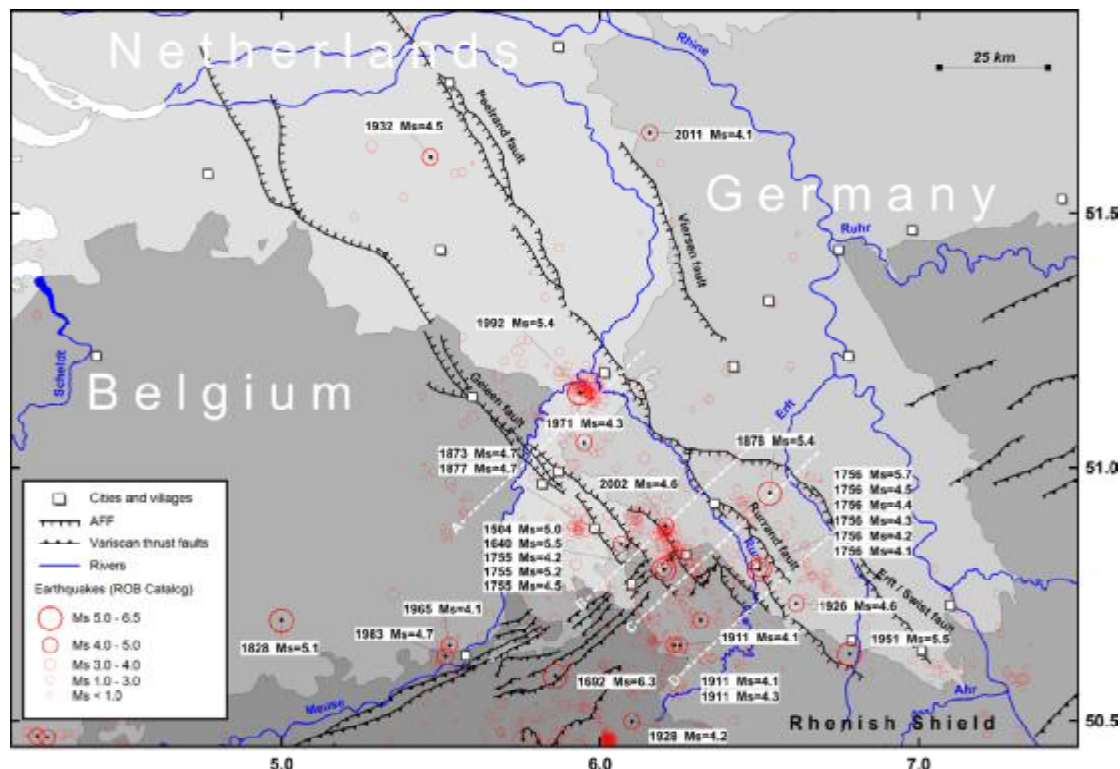
3.3 ΠΑΛΑΙΟΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΡΗΓΜΑΤΟΣ GELEE, LOWER RHINE GRABEN (Kris Vanneste , Koen Verbeeck, Thierry Camelbeeck)

Σας παρουσιάζουμε μια σύνθεση της παλαιοσεισμικής έρευνας που διεξήχθη από το Βασιλικό Αστεροσκοπείο του Βελγίου σχετικά με το ρήγμα Geleen στο Lower Rhine Graben εδώ και 10 χρόνια. Οι έρευνές μας κατά μήκος του τμήματος του ρήγματος στο Βέλγιο ήταν οι πρώτες στην σταθερή Ηπειρωτική Ευρώπη που παρείχαν αποδεικτικά στοιχεία ότι έχουν συμβεί μεγάλης επιφάνειας ρήξης σεισμοί με μεγέθη μεγαλύτερα από 6,3 κατά τη διάρκεια του Holocene και του ύστερου Pleistocene. Από το 2000, διερευνήσαμε επίσης την περιοχή νοτιοανατολικά του ρήγματος όπου το ρήγμα Geleen τέμνει πολύ νεότερες βεράντες του ποταμού Μόζα. Η ανάλυση των δύο παλαιοσεισμικών χαρακωμάτων που ανασκάφηκαν σε αυτό το τμήμα του ρήγματος έθεσε το ερώτημα κατά πόσο ή όχι το συνολικό ρήγμα Geleen ορίζει ένα μόνο τμήμα ρήξης.

Πιο συγκεκριμένα, στις περισσότερες περιοχές όπως στην βορειοδυτική Ευρώπη, η τεκτονική παραμόρφωση που σχετίζεται με την σεισμική δραστηριότητα είναι χαμηλή και δεν εκφράζεται καλά στο τοπίο, ως ένα αποτέλεσμα της οποίας πολύ λίγες γεωλογικές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι πρόσφατα για να αποδείξουν μία σχέση μεταξύ γεωλογίας και σεισμικής δραστηριότητας. Στη σταθερή ηπειρωτική Ευρώπη, οι έρευνες μας κατά μήκος του τμήματος του ρήγματος Geleen στο Βέλγιο ήταν οι πρώτες που παρείχαν αποδεικτικά στοιχεία, ότι οι μεγάλοι σεισμοί ρήξης επιφάνειας σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια του Holocene και του ύστερου Pleistocene. Ο σκοπός αυτής της συνεισφοράς είναι να παρέχει μία περίληψη της παλαιοσεισμικής έρευνας που διεξήχθη για το ρήγμα αυτό.

Παρακάτω γίνεται λόγος και τη σεισμικότητα και τα τεταρτοταγή σφάλματα στο Lower Rhine Graben. Η LRG βρίσκεται στην μεθοριακή περιοχή μεταξύ Βελγίου, Ολλανδίας και Γερμανίας και οριοθετείται από 2 ΒΒΔ-ΝΝΑ τεταρτογενή φυσιολογικά συστήματα ρηγμάτων. Το ανατολικό όριο ορίζεται από το ρήγμα Peerland, χωρίζεται στα ρήγματα Rulland και Erft. Το δυτικό σύνορο ορίζεται από τη

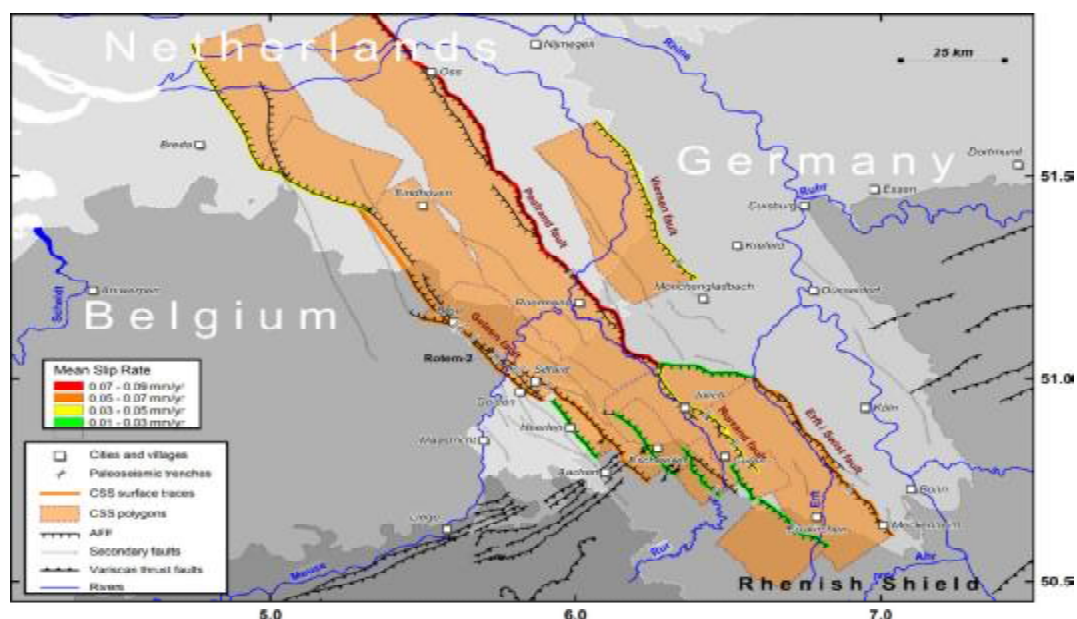
ζώνη του ρήγματος Feldbiss, που αποτελείται από μία δέσμη en echelon ρηγμάτων, μεταξύ των οποίων το ρήγμα Geelen. Αναφερθήκαμε στο ζήτημα της ικανότητας αυτών των ρηγμάτων για παραγωγή μεγάλων σεισμών αναλαμβάνοντας παλαιοσεισμικές έρευνες κατά μήκος του δυτικού συνόρου της τάφρου από το 1996.



Εικόνα 3.3.1. Τεταρτοταγούς σφάλματα, σεισμικότητα και η θέση παλαιοσεισμολογικών χαρακωμάτων στην Κάτω Ρήνου Graben. AFF: ενεργά ρήγματα, ROB: Βασιλικό Αστεροσκοπείο του Βελγίου.

Επαναξιολογημένα δεδομένα ιστορικών σεισμών και πρόσφατα σεισμολογικά δείχνουν ότι ένα μεγάλο μέρος της γνωστής σεισμικής δραστηριότητας στη βορειοδυτική Ευρώπη είναι συγκεντρωμένη στο LRG. Το LRG έχει βιώσει 7 σεισμούς μεγέθους μεταξύ 5.0 και 6.0 από το 1350. Ο ενόργανα μεγαλύτερος καταγεγραμμένος σεισμός ήταν ο σεισμός το 1992 στο Ροερμοντ μεγέθους 5,4, και ο μεγαλύτερος ιστορικός σεισμός ήταν ο σεισμός στο Ντουρεν το 1756, με εκτιμώμενο μέγεθος 5 και $\frac{3}{4}$. Εστιακοί μηχανισμοί δείχνουν κυρίως φυσιολογικές διαρρήξεις. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι οι τρεις ισχυρότεροι γνωστοί σεισμοί με εκτιμώμενο μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο του 6.0 συνέβησαν εκτός της LRG, στη βόρεια Ardennes, στη νότιο τμήμα της Βόρειας Θάλασσας και στο στενό του Ντόβερ. Πολλά ρήγματα έχουν χαρτογραφηθεί στην LRG, αλλά μέχρι στιγμής ένα μοντέλο της ιεραρχίας ή της κατάτμησης των σφαλμάτων έλειπε. Στο πλαίσιο μίας Ευρωπαϊκής βάσης δεδομένων

σεισμογενών πηγών, έχουμε επινοήσει ένα μοντέλο πηγής σεισμού για την LRG, που αποτελείται από τις λεγόμενες σύνθετες σεισμικές πηγές. Κάθε σύνθετη σεισμική πηγή πιθανό να περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα τμήματα ρηγμάτων, αλλά θεωρείται απίθανο ότι ένα τμήμα ρήγματος θα επεκταθεί σε περισσότερες από μία πηγή. Έχουμε διακρίνει 15 σεισμικές πηγές που βάση ανεπίσημες ενότητες ρήγματος, η καθεμία με ένα σχετικό ίχνος επιφάνειας. Συγκεντρώσαμε όλα τα σχετικά δεδομένα που αφορούν τις παραμέτρους της σεισμικής πηγής που απαιτούνται για τη βάση δεδομένων, βάζοντας κάτω και άνω φράγματα σε strike, dip, rake, ποσοστό ολίσθησης και βάθος, και ένα άνω φράγμα για το μέγεθος του σεισμού. Επίσης, συγκεντρώσαμε παρατηρήσεις κάθετων μετατοπίσεων επιτρέποντας μας να ορίσουμε το ελάχιστο και το μέγιστο ποσοστό παραμόρφωσης σε κάθε πηγή. Οι συχνότητες αυτές των κάθετων μετατοπίσεων κυμαίνονται κυρίως μεταξύ 0,01 και 0,09 mm/yr. Τα ρήγματα Peerland και Erft/Swist φαίνεται να είναι τα ρήγματα που ολισθαίνουν ταχύτερα, ακολουθούμενα από το ρήγμα Geleen, το οποίο έχει μια συχνότητα ολίσθησης 0,055 mm/yr.



Εικόνα 3.3.2. Ιεραρχικό μοντέλο, το οποίο μας παρουσιάζει τα σφάλματα στο Lower Rhine Graben. Τα χρωματισμένα σημεία στην επιφάνεια του χάρτη, δηλώνουν το ποσοστό ολίσθησης. CSS: Composite Πηγές Σεισμική, AFF: ενεργά ρήγματα.

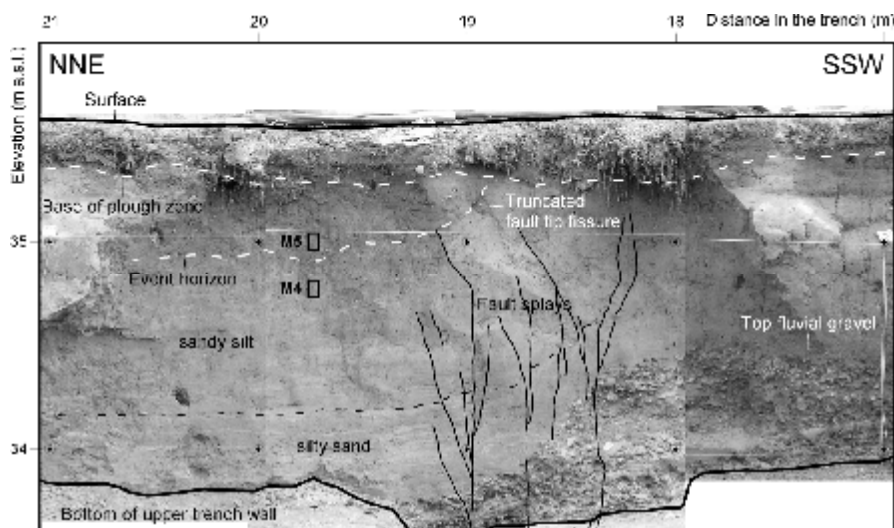
Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στο ρήγμα του Geleen, στο ρήγμα του Bree καθώς και στην κοιλάδα του ποταμού MOZ. Το ρήγμα Geleen εκτείνεται σε ΒΔ-ΝΑ σε απόσταση 27 χλμ μεταξύ των πόλεων της Bree και Geleen. Τα βόρεια και νότια τμήματα αυτού του ρήγματος εκφράζονται καλά στην τοπογραφία, σε αντίθεση με το

κεντρικό τμήμα, το οποίο διασχίζει την κοιλάδα του ποταμού Μόζα. Τα πρώτα παλαιοσεισμικά χαρακώματα ανασκάφηκαν σε όλο το βόρειο τμήμα του ρήγματος. Μεταγενέστερες μελέτες επικεντρώθηκαν στο κεντρικό τμήμα.

Το απόκομμα του ρήγματος Bree είναι ένα γραμμικό, μήκους 10 χλμ και ύψους 15-20 μέτρων, αντιπαραθέτοντας χαλίκι της κεντρικής βεράντας του μέσου Pleistocene του ποτάμι Μόζα στο οροπέδιο Campine, έναντι της άμμου του ύστερου Weichselian στο graben. Πέντε παλαιοσεισμικά χαρακώματα έχουν μελετηθεί εδώ μεταξύ 1996 και 2000. Αυτά τα χαρακώματα προσκόμισαν αποδεικτικά στοιχεία για την εμφάνιση των μεγάλων σεισμών επιφανειακής ρήξης σε αυτό το ρήγμα κατά το πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν. Σε ένα χαρακώμα, 6 παλαιοσεισμοί εντοπίστηκαν, πέντε από τους παλαιοσεισμούς θα μπορούσαν να συσχετιστούν κατά μήκος ολόκληρου του απόκομματος του ρήγματος Bree και φάνηκε να έχει μία Holocene ηλικία, πιθανότητα ακόμη και ύστερης Holocene. Η περίοδος επιστροφής βρέθηκε να κυμαίνεται μεταξύ περίπου 14 και 23 kyr. Ισχυρές ενδείξεις για τη σεισμική φύση των ρωγμών βρέθηκαν με τη μορφή κολλουβιακών σφηνών και η σύνδεση με διάφορους τύπους παραμορφώσεων μαλακών ιζημάτων. Ωστόσο, οι παλαιοσεισμικές μελέτες αντιμετώπισαν επίσης ορισμένα προβλήματα που έχουν άμεση ή έμμεση σχέση με τον αργό ρυθμό της παραμόρφωσης: απόδειξη για το MRE βρίσκεται σε μικρό βάθος και επισκιάζεται από την ανάπτυξη του εδάφους, ως αποτέλεσμα των οποίων η MRE παρέμεινε φτωχά χρονολογημένο: το τεκτονικό σήμα τυπώνεται από ένα ισχυρό κλιματικό σήμα: ψηφιακή χρονολόγηση μειώνεται γρήγορα για τις παλαιότερες εκδηλώσεις κ.α.

Στα πιο πρόσφατα χρόνια, επεκτείναμε την έρευνα στο γειτονικό τμήμα του ρήγματος Geleen στη βέλγικη κοιλάδα του ποταμού Μόζα. Τα επιφανειακά ιζήματα στη περιοχή αυτή είναι πολύ νεότερα και έτσι καταγράφουν μικρότερη αθροιστική κάθετη μετατόπιση. Κατά συνέπεια, η γεωμορφολογική έκφραση του ρήγματος είναι έντονα μειωμένη, και γενικά δεν υπερβαίνει εκείνη των άλλων γεωμορφών. Βρήκαμε στοιχεία για ένα πρόσφατο παλαιοσεισμό Holocene σε δύο χαρακώματα. Η χρονολόγηση του ραδιενεργού άνθρακα και του OSL περιορίζει την εκδήλωση μεταξύ 2,5+0,3 και 3,1+0,3 kyr BP, και μεταξύ 2790+2- και 3770+50 βαθμονομημένα χρόνια πριν το 2005 αντίστοιχα. Η ανάλυση λεπτής τομής επιβεβαίωσε την αναγνώριση μας για το προρηγματικό έδαφος και το υπερκείμενο απόκομμα, τα οποία αποτελούν πρωτογενείς σεισμικές αποδείξεις. Και στα δύο χαρακώματα, αυτό το γεγονός συνδέεται με την υγροποίηση, συμπεριλαμβανομένων

των διάφορων αμμοθύελων και ενός αναχώματος χαλικιού. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι ολοφάνερη απόδειξη για την ισχυρή συν-σεισμική δόνηση. Σε ένα χαράκωμα, εντοπίσαμε ένα δεύτερο παλαιοσεισμό οποίος ήταν από το OSL μεταξύ 15.9 ± 1.1 και 18.2 ± 1.3 kyr BP. Το διάστημα μεταξύ δύο γεγονότων έχει ένα εύρος 11.600-17.200 χρόνων.



Εικόνα 3.3.3. Παλαιοσεισμολογικές αποδείξεις που αναφέρονται στον πιο πρόσφατο σεισμό στην επιφάνεια, σε μια τάφρο κατά μήκος του ρήγματος Geleen κοντά στο Rotem. Η τοποθεσία φαίνεται στην Εικόνα 2.

Τα ευρήματα μας έρχονται σε αντίθεση με την προηγούμενη γενική συναίνεση ότι οι ρωγμές στο LRG φαίνονται σε μεγάλο βαθμό αντισεισμικά. Σε μια παλαιοσεισμική μελέτη στο νοτιανατολικό τμήμα του ρήγματος Geleen κοντά στο Born, οι Houtgast κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχουν αποδείξεις για τους μεγάλους σεισμούς επιφανειακής ρήξης. Το βασικό του επιχείρημα αφορά την παρατήρηση, σε κάποια απόσταση από το ρήγμα, ενός χαρακτηριστικού υγροποίησης το οποίο αποδίδεται σε ένα μέτριο σεισμό γύρω στο 15 kyr BP, αλλά δε φαίνεται να συνδέεται άμεσα με την μετατόπιση στο ίδιο ρήγμα. Η μετατόπιση που παρατηρούν ακολουθεί μία σύντομη περίοδο διάβρωσης, διαχωρίζοντας και τα δύο γεγονότα ταυτόχρονα. Από αυτό συνάγεται ότι αυτή η αντιστάθμιση δημιουργήθηκε από μετασεισμικό ερπυσμό χαλάρωσης ως καθυστερημένη αντίδραση στην επιφάνεια του σεισμού που προκάλεσε την υγροποίηση. Ωστόσο, οι συγγραφείς φαίνεται να έχουν αγνοήσει χαρακτηριστικά όπως τις απολήξεις του ρήγματος και μία ασυμφωνία ρήματος-ζώνης.

Επανερμηνεύοντας την καταγραφής του χαρακώματος τους, μπορούμε να δείξουμε ότι το στρωματογραφικό όριο περικόπτωντας το χαρακτηριστικό της ρευστοποίησης στον τοίχο ανταποκρίνεται σε ένα γεγονός στη ζώνη του ρήγματος και συνδέεται με ένα μικρό αλλά σημαντικό ποσοστό του offset του ρήγματος. Επίσης, δείχνουμε ότι η μεταγενέστερη μετατόπιση που ερμηνεύεται από τους Houtgast ως μετασεισμικός ερπυσμός που προκύπτει από το σεισμό που προκάλεσε την υγροποίηση, είναι στην πραγματικότητα πολύ νεότερη και ως εκ τούτου δεν έχει καμία σχέση με το γεγονός της υγροποίησης. Ο ορίζοντας του γεγονότος για το γεγονός που σχετίζεται με την υγροποίηση αντιστοιχεί σε ένα γνωστό και διαδεδομένο πεζοδρόμιο με χαλίκια, γνωστό ως ο ορίζοντας Beuningen, το οποίο είναι ο ίδιος στρωματογραφικός ορίζοντας ως τον ορίζοντας των γεγονότων για το δεύτερο συμβάν σε ένα από τα χαρακώματά μας στη κοιλάδα του ποταμού Μόζα.

Παρολ' αυτά η σύνδεση των τμημάτων του ρήγματος είναι πιθανή. Οι χρονολογίες που λαμβάνονται για τους δύο παλαιοσεισμούς στο ρήγμα Geleen στη κοιλάδα του ποταμού Μόζα είναι σε σχετικά καλή συμφωνία με εκείνες που λαμβάνονται στα χαρακώματα κατά μήκος του αποκόμματος του ρήγματος Bree. Αυτό αυξάνει την πιθανότητα ότι το ρήγμα Geleen ορίζει ένα ενιαίο τμήμα μήκους 27 χλμ, το οποίο θα είναι σε θέση να παράγει σεισμούς μεγέθους 6,7. Το τμήμα μεταξύ των δύο τμημάτων του ρήγματος είναι μικρότερο από 500 μέτρα πλάτος και πιθανόν να μην επαρκεί για να σταματήσει τη διάδοση ενός μεγάλου σεισμού. Ωστόσο, τα στοιχεία δείχνουν επίσης, ότι η στρωματογραφική και η χρονολογική ανάλυση δεν επαρκούν για να γίνει διάκριση μεταξύ αυτής της υπόθεσης και της πιθανής εμφάνισης δύο διαφορετικών μεγάλων σεισμών σε στενά χρονικά διαστήματα, για τα δύο τμήματα χωριστά. Δεν είναι πιθανόν τα πρόσθετα χαρακώματα να δώσουν οριστική απάντηση στο ερώτημα αυτό.

Οι έρευνες μας κατά μήκος του ρήγματος Geleen παρέχουν πληροφορίες για την επανεμφάνιση των μεγάλων σεισμών κατά μήκος μίας ενιαίας σεισμογενούς πηγής στην LRG. Η σύνθεση των στοιχείων που συγκεντρώνονται στα τέσσερα χαρακώματα εκσκαφής για τα αποκόμματα του ρήγματος Bree μας επιτρέπει τον υπολογισμό του ποσοστού ολίσθησης του ρήγματος και την περίοδο επιστροφής των μεγάλων σεισμών. Αν λάβουμε υπόψη του 2 πιο πρόσφατους κύκλους σεισμούς που είναι καλύτερο να περιορίζονται χρονικά και να μπορούν να συσχετιστούν σε ολόκληρα τα αποκόμματα των ρηγμάτων έχουμε αποκτήσει μία μέση περίοδο

επαναφοράς των $13, \pm 7,8$ kyr. Το μέσο ποσοστό σφάλματος ολίσθησης για το ίδιο χρονικό διάστημα, βγάζοντας το μέσο όρο των μετατοπίσεων για τα γεγονότα 1 και 3, είναι $0,050 \pm 0,036$ mm/yr. Χρησιμοποιώντας την μεγαλύτερη καταγραφή ρήγματος από το χαρακώμα του Bree, μπορούμε να κάνουμε τους ίδιους υπολογισμούς για τα τελευταία 100 kyr. Λαμβάνοντας υπόψη ότι 5 παλαιοσεισμοί καταγράφονται σε χαρακώμα από $101,4 \pm 9,6$ kyr BP, που αντιστοιχεί σε 4 ή 5 πλήρεις κύκλους σεισμών, υπολογίζουμε ένα μέσο χρονικό διάστημα επιστροφής $22,7 \pm 4,3$ kyr. Το αντίστοιχο μέσο ποσοστό ολίσθησης ρήγματος είναι $0,031 \pm 0,012$ mm/yr, που είναι σε καλή συμφωνία με τις τιμές που λαμβάνονται για τους τελευταίους δύο κύκλους σεισμών. Τα χαρακώματα στην κοιλάδα του ποταμού Μόζα επέτρεψαν τον καλύτερο περιορισμό του χρόνου του MRE, μεταξύ $2,5 \pm 0,3$ και $3,1 \pm 0,3$ kyr BP. Ωστόσο, ακόμη και σε αυτήν την περίπτωση, η πληροφορία δεν είναι αρκετές για να καθορίσουν το μήκος της ρήξης με βεβαιότητα. Η διερεύνηση άλλων τεταρτογενών ελαττωμάτων της LRG αποτελεί ως εκ τούτου μια αναγκαιότητα, αν θέλουμε να κατανοήσουμε τη μηχανική συμπεριφορά τους και τη διακύμανση του στελέχους στο χώρο και στο χρόνο.

3.4. ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΘΑΜΜΕΝΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΔΟΜΩΝ ΜΕ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ, ΣΤΗΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ, ΕΛΛΑΔΑ (John Alexopoulos, Emmanuel Vassilakis, Spyridon Dilalos, Charilaos Pantelis, Taxiarchis Papadopoulos)

Εκτεταμένες ρωγμές εδάφους εμφανίζονται συχνά στο εσωτερικό της ανατολικής λεκάνης της Θεσσαλίας, στην Κεντρική Ελλάδα και μάλιστα από το 1989. Η εργασία αυτή έχει ως στόχο να δώσει μια προκαταρκτική εξήγηση για τους λόγους δημιουργίας τους ερμηνεύοντας τα αποτελέσματα μιας πυκνής γεωφυσικής έρευνας κατά μήκος της λεκάνης. Αυτή συνδυάζεται με δεδομένα γεωτρήσεων, καθώς και εργασίες πεδίου τεκτονικών μετρήσεων, μορφοτεκτονικών αναλύσεων και ερμηνείας δεδομένων τηλεπισκόπησης σε όλες τις οριακές περιοχές της λεκάνης. Η συγκέντρωση, η ομογενοποίηση και η οργάνωση διαφορετικών τύπων γεω-δεδομένων χρησιμοποιώντας διάφορα πακέτα λογισμικού GIS οδήγησε στην

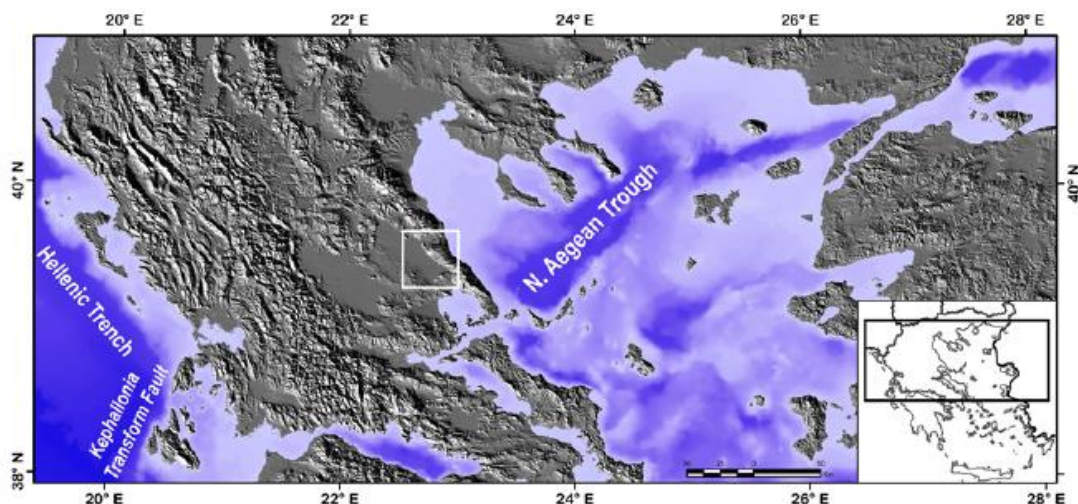
ανακάλυψη της επιφάνειας των Άλπεων, η οποία καλύπτεται από πρόσφατα ιζήματα, και πιθανών δομών που συνέβαλαν στην ανάπτυξη της λεκάνης. Η μεθοδολογία για την παραγωγή ενός 3D μοντέλου επιφάνειας υπογείου και διάφορων προφίλ λιθολογίας σε όλη τη λεκάνη, μαζί με χάρτες ιζημάτων, συνδυάζοντας την επιφάνεια με τα δεδομένα για κάτω από την επιφάνεια, περιγράφεται σε αυτή την εργασία.

Πιο συγκεκριμένα, το καταστροφικό φαινόμενο της εμφάνισης αντισεισμικών ρωγμών εδάφους προκαλεί διαφορική καθίζηση κατά μήκος του άξονα ανάπτυξης της ανατολικής λεκάνης της Θεσσαλίας και υπάρχει εδώ και πολλές δεκαετίες. Η εμφάνιση αρκετών ιστορικών και σύγχρονων σεισμικών εκδηλώσεων με επίκεντρα στην ευρύτερη περιοχή κάνει αυτή την περιοχή αρκετά ενδιαφέρουσα για την εφαρμογή τόσο κλασικών όσο και καινοτόμων τεχνικών έρευνας. Ο γενικός προσανατολισμός των ρωγμών και της κατανομής τους κατά μήκος του άξονα της λεκάνης, καθώς επίσης και η απουσία επιφάνειας δομών λόγω του μεγάλου πάχους των πρόσφατων ιζημάτων, οδήγησε σε μια συνδυασμένη μεθοδολογία συμπεριλαμβανομένων των γεωφυσικών μετρήσεων και μορφοτεκτονικών αναλύσεων. Τα αποτελέσματα παραμένουν να είναι επικυρωμένα με μετρήσεις βαρύτητας που έχουν προγραμματιστεί να αποκτηθούν κατά τη διάρκεια των επόμενων μηνών. Κάθετες ηλεκτρικές κρούσεις έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία για να διερευνηθούν γεωλογικές- τεκτονικές δομές σε άλλους τομείς και έχουν συνδυαστεί με μορφοτεκτονικές αναλύσεις.

Το τελευταίο χρησιμοποιείται κυρίως για την ανάλυση των γεωμορφολογικών δομών με βάση τα στοιχεία ανύψωσης, αλλά σε κάθε περίπτωση, όταν τα υπόγεια δεδομένα : ωστόσο, οι ίδιες γενικές τεχνικές μπορούν να εφαρμοστούν σε υπόγεια δεδομένα όταν οι υποεπιφάνειες μπορούν να ταυτοποιηθούν.

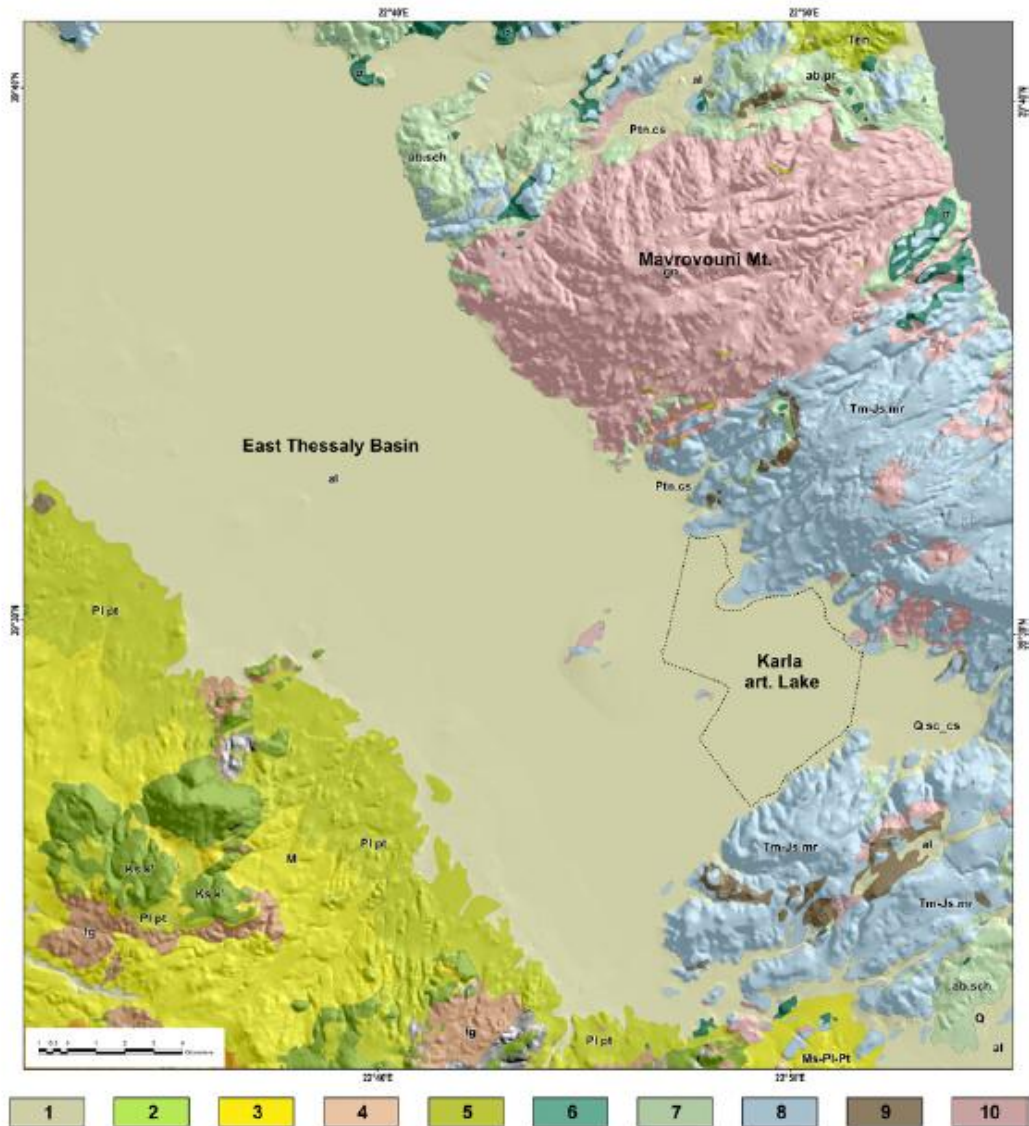
Στη συνέχεια αναφέρονται κάποια χαρακτηριστικά της περιοχής, στην οποία γίνεται η μελέτη. Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της ηπειρωτικής Ελλάδας. Είναι μια επιμήκης, επίπεδη λεκάνη ανεπτυγμένη στα δυτικά μίας σειράς που αποτελείται από τα βουνά Όσσα, Μαυροβούνι, και το Πήλιο. Περαιτέρω προς τα ανατολικά, το ρήγμα της Βόρειας Ανατολίας είναι συγχώνευσή της με γούρνα του Βορείου Αιγαίου η οποία φαίνεται να τερματίζει στην ανατολική ακτή της προαναφερθείσας οροσειράς, όπως πρώτα ισχυρίστηκαν οι Caruto και Παυλίδης. Τα υπόγεια πετρώματα των Άλπεων, τα οποία καλλιεργούνται στα ανατολικά και

νοτιοανατολικά περιθώρια της λεκάνης της Ανατολικής Θεσσαλίας, αποτελούνται από μεταμορφωμένα σώματα Γνευσίου, μάρμαρα, σχιστόλιθους, αμφιβολίτες και οφιολιθικά. Η δυτικότερη περιθωριακή περιοχή αποτελείται από Νεογενή ηπειρωτικά ιζήματα, κυρίως ομίλων, καλύπτοντας αλπικά φλύσχη και ασβεστόλιθους. Η τεκτονική επαφή μεταξύ των μεταμορφωμένων και μη πετρωμάτων βρίσκεται θαμμένη κάτω από τα τεταρτογενή ποταμίσια και λιμναία ιζήματα της λεκάνης.



Εικόνα 3.4.1. Μορφολογικό ανάγλυφο, όπου με μπλε χρώμα έχει χρωματιστεί το υποθαλάσσιο κομμάτι, ενώ με γκρι διακρίνεται η κεντρική ηπειρωτική Ελλάδα. Το άσπρο ορθογώνιο δείχνει τη θέση της περιοχής, η οποία μελετήθηκε σε αυτό το παράδειγμα (μεγεθύνεται στην εικόνα 2) και το ένθετο προς τα δεξιά δείχνει το μέρος της Ελλάδας, το οποίο είναι μεγεθυμένο σε αυτό το σχήμα.

Για πολλά χρόνια, μέχρι το 1960, μία λίμνη που ονομάζεται Κάρλα ήταν παρούσα στο νοτιοανατολικό περιθώριο της λεκάνης. Αυτή η περιοχή έχει το χαμηλότερο υψόμετρο και ως εκ τούτου όλα τα επιφανειακά ύδατα που συλλέγονται εκεί. Κατά τη διάρκεια του 1962 η αποστράγγιση της λίμνης σχεδιάστηκε και αναλήφθηκε κυρίως λόγω ιατρικών και γεωργικών λόγων. Κατά τη διάρκεια του 2000, αποφασίστηκε ότι μία νέα τεχνητή λίμνη, περισσότερο ή λιγότερο στην ίδια τοποθεσία με τη φυσική, να κατασκευαστεί κατά τη διάρκεια μιας περιβαλλοντικής ενίσχυσης της περιοχής. Μετά από αρκετά χρόνια κατασκευής ένα νέο reservoir 38 χλμ κατασκευάζεται τώρα.



Εικόνα 3.4.2.

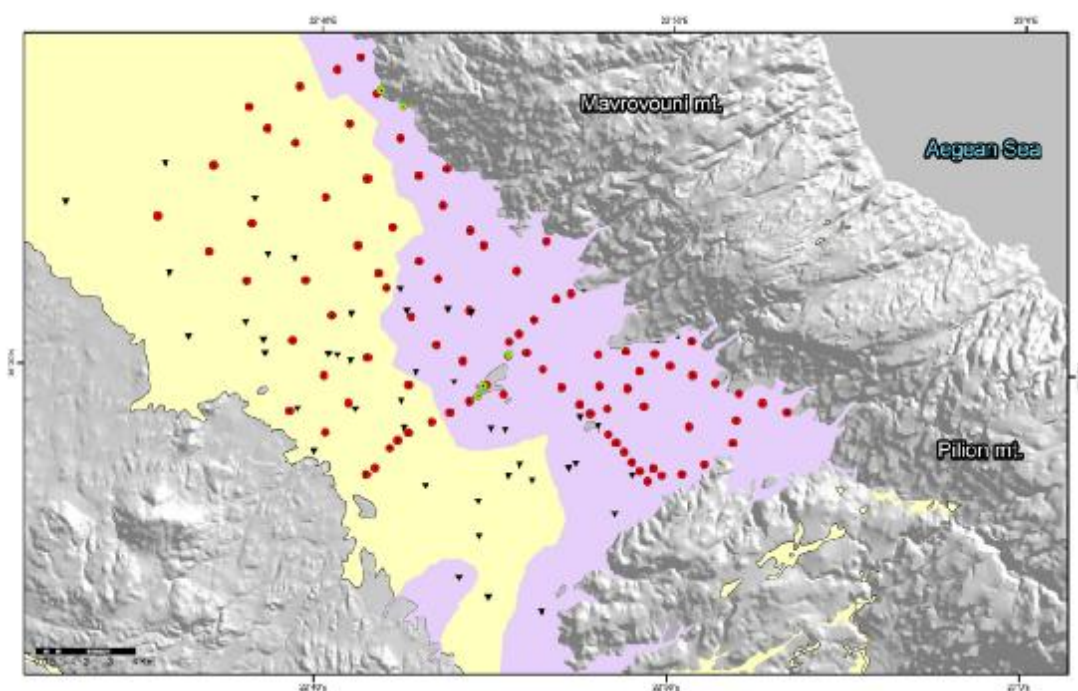
Βλέπουμε σε απλοποιημένη μορφή το γεωλογικό ανάγλυφο του χάρτη της λεκάνης και της περιθωριακής περιοχής. Με τα απαλά χρώματα συμβολίζονται τα (1) Τεταρτογενούς (2) Πλειστόκαινα, και (3) Μειόκαινα ιζήματα, ενώ με τα έντονα χρώματα τα βράχια στο αλπικό υπόγειο και πιο συγκεκριμένα (4) Φλύσχη, (5) Ασβεστόλιθοι, (6) Οφιόλιθοι, (7) Αμφιβολίτες, (8) Μάρμαρα, (9) Σχιστόλιθοι, και (10) Γνεύσιους. Το περίγραμμα με την διακεκομμένη γραμμή δείχνει τα σύνορα της πρόσφατης τεχνητής λίμνης Κάρλα, στα δυτικά της οποίας υπάρχουν αρκετά υπόγεια βράχια.

Παρακάτω γίνεται αναφορά στη μεθοδολογία που ακλούθησαν οι ερευνητές και τα αποτελέσματα που επέφερε αυτή. Ένα πυκνό πλέγμα μετρήσεων σχεδιάστηκε και διεξήχθη καλύπτοντας το σύνολο της περιοχής της λεκάνης. Ο κύριος στόχος ήταν να διερευνηθούν τα όρια μεταξύ των κύριων λιθολογιών ιζημάτων και της άνω επιφάνειας των υπόγειων βράχων των Άλπεων. Οι θέσεις των γεωηλεκτρικών μετρήσεων ήταν κατανεμημένες στην περιοχή, λαμβάνοντας υπόψη τις προεξοχές των υπόγειων βράχων που βρίσκονται στις οριακές περιοχές, καθώς και σε ορισμένες θέσεις μέσα στη λεκάνη. Η πιθανή ύπαρξη μιας θαμμένης περιθωριακής νοτιοδυτικά εμβαπτισμένης κανονικής ζώνης του ρήγματος στην ανατολικότερη περιοχή της λεκάνης, που καλύπτεται από τεταρτογενείς αποθέσεις, ήταν η πιο ρεαλιστική υπόθεση του σεναρίου για το γεωτεκτονικό καθεστώς για αυτή τη λεκάνη αλλά οι πολλές υπόγειες εμφανίσεις ειδικά στο νότιο κεντρικό τμήμα της λεκάνης αποδυνάμωσαν αυτή τη θεωρία πολύ. Ως εκ τούτου, η αρχική υπόθεση εργασίας ήταν η ύπαρξη μίας πιο περίπλοκης θαμμένης δομής, που αποτελείται από πολλά ρήγματα με διάφορους χαρακτήρες και κατευθύνσεις: όλα αυτά θαμμένα και αδύνατο να διακριθούν χωρίς πυκνή υπόγεια έρευνα.

Μία έρευνα αντίστασης επιλέχθηκε επίσης να εφαρμοστεί προκειμένου να διερευνηθεί η στρωματογραφική διάρθρωση των γεωλογικών σχηματισμών του υπεδάφους, που διέπει τη περιοχή της μελέτης. Τα γεωηλεκτρικά δεδομένα περιελάμβαναν 5 επί τόπου μετρήσεις αντίστασης στην επιφάνεια εμφάνισης των γεωλογικών σχηματισμών και 56 VES μετρήσεις. Επιπλέον, τα δεδομένα από 36 αδημοσίευτες μετρήσεις, οι οποίες διεξήχθησαν κατά τη διάρκεια της πρόωρης δεκαετίας του 1970 ερμηνεύτηκαν εκ νέου και επαναξιολογήθηκαν, αυξάνοντας την ποσότητα των δεδομένων για ερμηνεία.

Για τη βαθμονόμηση και την καλύτερη αξιολόγηση των γεωηλεκτρικών αποτελεσμάτων, τα οποία συλλέχθηκαν από την έρευνα, οι 5 επί τόπου μετρήσεις ειδικής αντίστασης πραγματοποιήθηκαν στις εμφανίσεις των υπόγειων βράχων και πιο συγκεκριμένα για γνευσίο, μάρμαρα, ασβεστόλιθους και αμφιβολίτες. Οι μετρήσεις αυτές συνέβαλαν στην καλύτερη κατανόηση των αντίστοιχων ορίων αντίστασης για κάθε υπόγειο βράχο λιθολογίας. Η ερμηνεία αυτών των αποτελεσμάτων, αποκάλυψε για τα μάρμαρα τιμές αντίστασης $>2.000 \text{ Ohm.m}$ και για το γνευσίο $300-600 \text{ Ohm.m}$. Επιπλέον, η μετρούμενη αντίσταση των σχιστόλιθων αποκάλυψε τιμές μεταξύ $150-250 \text{ Ohm.m}$. Ένας αριθμός τμημάτων τρυπάνιού που

χρησιμοποιήθηκαν επίσης για τη βαθμονόμηση των μετρήσεων της ειδικής αντίστασης με το βάθος, ιδίως όταν η επιφάνεια των υπόγειων βράχων αντιμετωπίστηκε. Ο κύριος στόχος της γεωφυσικής έρευνας ήταν να διερευνηθεί τη στρωματογραφική δομή των γεωλογικών σχηματισμών του υπεδάφους, στις οποίες βασίζεται η περιοχή μελέτης και καθορίζει το βάθος των αλπικών σχηματισμών. Τα γεωφυσικά δεδομένα υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με εφαρμογή της αυτόματης μεθόδου του Zohdy, συνθέτοντας ένα μοντέλο πολλαπλών στρώσεων. Πέρα από αυτό, το εμπορικό πακέτο λογισμικού του Interpretex, χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να επανέλθει το πολυεπίπεδο μοντέλο. Προκειμένου να διερευνηθεί η κατανομή των γεωλογικών σχηματισμών σε 2 διαστάσεις, διάφορες γεωφυσικές γεωλογικές τομές κατασκευάστηκαν με κατευθύνσεις ΝΑ-ΒΔ και ΒΑ-ΝΔ, με βάση το πλέγμα των μετρήσεων. Επιπλέον, με βάση μοντέλα γεωφυσικών στρώσεων και προκαταρκτική γεωλογική ερμηνεία, μία προσπάθεια έγινε για να προσδιοριστεί το βάθος του αλπικού υπογείου κάτω από τις τεταρτογενείς αποθέσεις. Μία έρευνα βαρύτητας προγραμματίζεται στο κοντινό μέλλον για την επικύρωση των αποτελεσμάτων μας και το συνδυασμό τους σε μία ολοκληρωμένη μελέτη.



Εικόνα 3.4.3.

Οι κόκκινες κουκκίδες στο χάρτη συμβολίζουν τις μετρήσεις VES, οι πράσινες κουκκίδες συμβολίζουν τις μετρήσεις ειδικής αντίστασης In-situ και τα τρίγωνα μας δείχνουν τις γεωτρήσεις. Μόνο τα Τεταρτογενούς ιζήματα εμφανίζονται με χρώμα στον χάρτη, ενώ τα υπόλοιπα έχουν αντικατασταθεί από ένα σκιασμένο ανάγλυφο. Το μωβ χρώμα δείχνει τις περιοχές, όπου

το αλπικό υπόγειο βρέθηκε κάτω από τα ιζήματα κατά την έρευνα.

Το γεωφυσικό μέρος της μεθοδολογίας αποκάλυψε την καλυμμένη επιφάνεια του υπόγειου βράχου από τα πρόσφατα ιζήματα της λεκάνης. Η ανάλυση οριζόντιας πυκνότητας και η κατακόρυφη ανάλυση των μετρήσεων αντίστασης ήταν απαραίτητες στη δημιουργία ενός λιθολογικού μοντέλου για ολόκληρη της περιοχή μελέτης. Επιπλέον, τα τμήματα του τρυπανιού απλοποιήθηκαν και λήφθηκαν υπόψη για τη βελτίωση του μοντέλου για τη βελτίωση του μοντέλου και την κατακόρυφη έκταση του, ειδικά σε περιοχές όπου το σήμα VES δεν διεισδύει σε συγκεκριμένους ορίζοντες. Επομένως, ένας υπόγειος χάρτης της ανώτερης επικοινωνίας του υπογείου με τα κατώτερα στρώματα των μετα-αλπικών ιζημάτων δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας πακέτα λογισμικού GIS, όπως ArcMap v.10 and ArcScene v.10. Βασισμένο σε αυτά τα δεδομένα, ένα ψηφιακό μοντέλο δημιουργήθηκε για την καλυμμένη επιφάνεια του υπογείου και συνδυάστηκε με ένα ψηφιακό μοντέλο που δημιουργήθηκε από δεδομένα για περιθωριακές περιοχές, όπου τα αλπικά πετρώματα περικλύονται. Η ενιαία ενοποιημένη μορφολογική ψευδοεπιφάνεια, η οποία συνετέθη, χρησιμοποιήθηκε για περαιτέρω μελέτη εφαρμόζοντας τεκτονικούς γεωμορφολογικούς δείκτες και αλγορίθμους, με σκοπό να καθοριστούν οι ζώνες δυναμικών τυφλών ρηγμάτων που είναι θαμμένες κάτω από το υλικό της λεκάνης.

Είναι αρκετά σαφές ότι η περιοχή όπου το αλπικό υπόγειο βρέθηκε σε σχετικά μικρά βάθη, αντιπροσωπεύει τη σταδιακή συνέχιση της υποεπιφάνειας των ανατολικών οριακών εμφανίσεων. Δύο απότομες θαμμένες πλαγιές, οι οποίες μπορούν να αποδοθούν στη νοτιοδυτική εμβάπτιση τυφλών κανονικών ρηγμάτων, θα μπορούσαν να εντοπιστούν στο σκιερό παλαιοανάγλυφο χάρτη. Αυτές φαίνονται να ανήκουν αρχικά στην ίδια ζώνη του ρήγματος, που ήταν η κύρια δομή για τη γενιά της ανατολικής λεκάνης της Θεσσαλίας. Μία Τρίτη ΒΑ-ΝΔ δομή έχει πιθανότατα ενεργοποιηθεί σε μεταγενέστερη περίοδο και έχει πλευρικά εκτοπίσει τα προαναφερθέντα οριακά ρήγματα, διαχωρίζοντας τα με έναν μηχανισμό ολίσθησης.

Η περιγραφόμενη μέθοδος έδωσε την ευκαιρία να συνδυαστούν διαφορετικές τεχνικές με στόχο να εξηγήσουν την εμφάνιση των καταστροφικών ρωγμών εδάφους σε κατοικίες και γεωργικές περιοχές κατά μήκος της ανατολικής λεκάνης της Θεσσαλίας. Η πλειοψηφία των ρωγμών εδάφους παρατηρούνται σε περιοχές όπου το

πάχος των πρόσφατων ιζημάτων είναι μεγαλύτερο από το βάθος που ερευνήθηκε και κατά συνέπεια, αυτό το καταστροφικό φαινόμενο είναι ιδιαίτερα σχετικό με τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά αυτών των λιθολογικών σχηματισμών και τη ξαφνική αλλαγή των υπόγειων ποσοτήτων νερού. Θα άξιζε να σημειωθεί ότι, τέτοια χαρακτηριστικά όπως το να γίνει το πορώδες σωρευτικό και όσο μεγαλύτερο το πάχος του σχηματισμού τόσο μεγαλύτερο το ποσό των υπόγειων υδάτων που μπορούν να αποθηκευτούν με πλήρωση κενού. Κατά συνέπεια, η υπερβολική άντληση για γεωργική χρήση συρρικνώνει τον υδροφορέα και αυξάνει το κενό κυρίως μεταξύ των λεπτόκοκκων οριζόντων. Ο συστηματικός προσανατολισμός των σχισμών του εδάφους, ακόμη και αν η κύρια αιτία φαίνεται να είναι η υπεράντληση και στη συνέχεια η συμπίεση πολλών οριζόντων λόγω της σχετικά ξαφνικής απώλειας νερού του υδροφόρου ορίζοντα, φαίνεται να σχετίζονται με τις μεγάλες τεκτονικές δομές, οι οποίες είναι θαμμένες κάτω από τους τεταρτοταγείς σχηματισμούς. Παρά το γεγονός ότι καμία σημαντική σεισμική δραστηριότητα δεν έχει παρατηρηθεί στην περιοχή της ενδο- λεκάνης, υπάρχουν αρκετές ενδείξεις υπονοώντας ότι υπάρχουν γεωδυναμικές διαδικασίες που βρίσκονται σε εξέλιξη. Με βάση την μορφοτεκτονική ανάλυση η δραστηριότητα συγκεντρώνεται περισσότερο στην κεντρική περιοχή και όχι σε μεγαλύτερα ή λιγότερο γραμμικά περιθώρια. Αυτό είναι επειδή φαίνεται να είναι μια ασύμμετρη εκτατική λεκάνη, το δραστικό περιθώριο της οποίας βυθίζεται στο ΝΔ και το δυτικό περιθώριο κλίνει προς τα πίσω προς τα ανατολικά κατά μήκος μίας μεγάλης τεκτονικής επαφής η οποία καλύπτεται από πρόσφατα ιζήματα.

Παρόλα αυτά, αρκετές δεξιόστροφες τεκτονικές δομές ολίσθησης προς ΝΔΝ-ΑΒΑ πιθανό να σχετίζονται με το βόρειο παρακλάδι της δραστικής γούρνας του Βορείου Αιγαίου, μπορούν και να προσδιορίζονται σε όλο το οριακό φάσμα παρατηρώντας τους σκιασμένους χάρτες. Η οροσειρά αυτή είναι το υψηλότερο μορφολογικό ανάγλυφο μεταξύ της λεκάνης και της γούρνας, η τεκτονική επιρροή των οποίων φαίνεται να επηρεάζει το εύρος και εξαφανίζεται πιο δυτικά στην περιοχή της ενδολεκάνης, όπως η παλαιοανακούφιση του αλπικού υπογείου εξάγεται από την επίδειξη των γεωηλεκτρικών μετρήσεων. Ο δεξιόστροφος χαρακτήρας αυτών των δομών κοπής είναι σαφής είτε εξετάζοντας τον υπόγειο χάρτη κάτω από την επιφάνεια ή παρατηρώντας το δίκτυο αποχέτευσης που αντισταθμίζεται σε κάθε πλευρά των morpho-lineaments που μπορούν να αποδοθούν στα ρήγματα ολίσθησης. Παρόλα αυτά, σχεδόν οριζόντιες ραβδώσεις σε επιφάνειες κάθετων ρηγμάτων

παρατηρήθηκαν σε μάρμαρα που βρίσκονται στην οριακή περιοχή της Ανατολικής Ευρώπης, συνοδευόμενα με κινηματικούς δείκτες συμβατούς με δεξιόστροφη κίνηση.

3.5 ΑΡΧΑΙΟΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑ ΣΕ ΕΝΑΝ ΟΙΚΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΠΟΧΗΣ ΤΟΥ

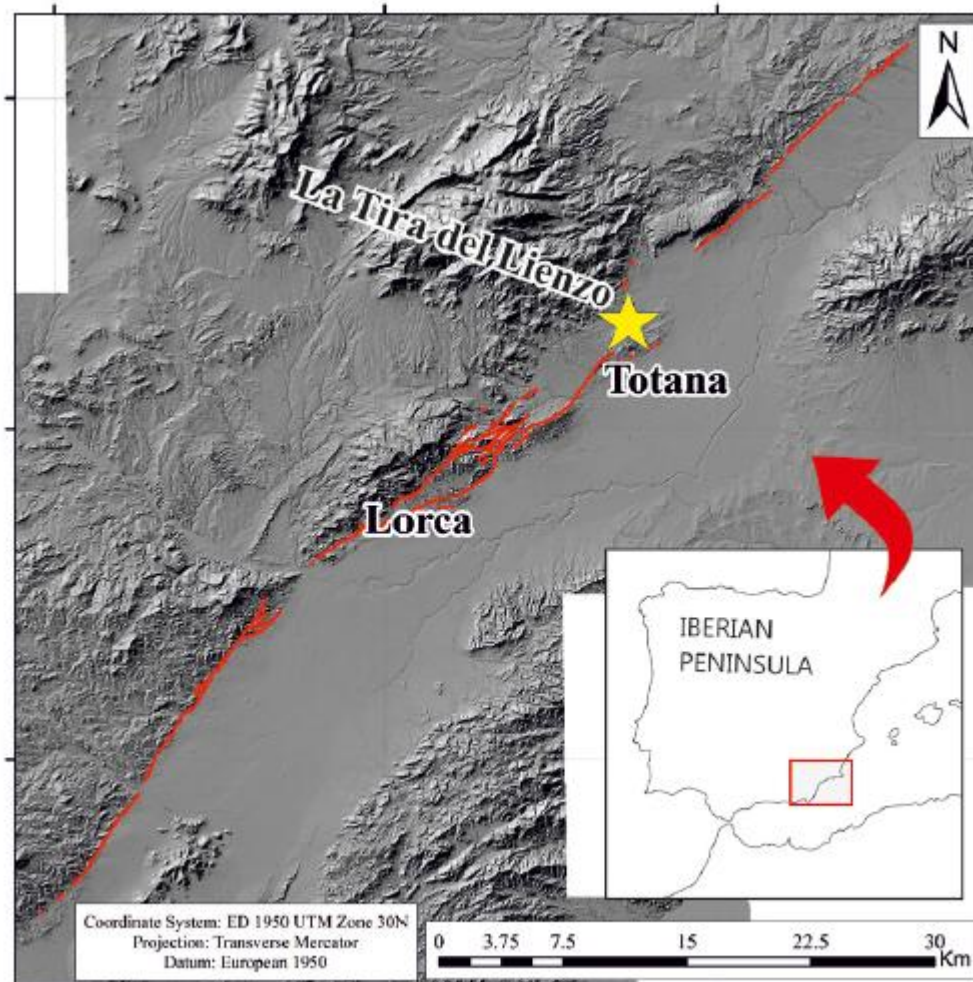
ΧΑΛΚΟΥ: La Tira del Lienzo (Totana, Ισπανία) (Marta Ferrater, María Ortuño, P.G. Silva, Miguel Angel Rodriguez-Pascua)

Σας παρουσιάζουμε μια αρχαιοσεισμολογική μελέτη στη La Tira del Lienzo (Totana, Ισπανία). Ο οικισμός ανήκει στην αρχαιολογική ομάδα Argar και έχει ανασκαφεί από μια ομάδα από το τμήμα προιστορίας στο αυτόνομο πανεπιστήμιο της Βαρκελώνης (Ισπανία). Η περιοχή βρίσκεται στη ζώνη του ρήγματος Alhama de Murcia, υπεύθυνο για τον σεισμό της Lorca την 11/05/2011 και οι τοίχοι αποτελούνται από ακανόνιστους φυσικούς ογκόλιθους. 1) κατατάσσουμε τα υπάρχοντα ΕΑΕs στην τοποθεσία και προτείνουμε νέα σύμφωνα με την εποικοδομητική τυπολογία, 2) διεξάγουμε μια δομική ανάλυση όλων των καταγμάτων που βρέθηκαν και τμήμα της ζώνης AMF κάτω από την τοποθεσία, 3) προτείνουμε ένα δυναμικό σεισμό που σημειώθηκε μεταξύ της αρχής της δεύτερης φάσης της κατοχής και του σήμερα και 4) αποκτούμε μια συχνότητα ολίσθησης 0.03 mm/y για τη ζώνη AMF με βάση τις παρατηρούμενες μετατοπίσεις στα αρχαιολογικά κατάλοιπα.

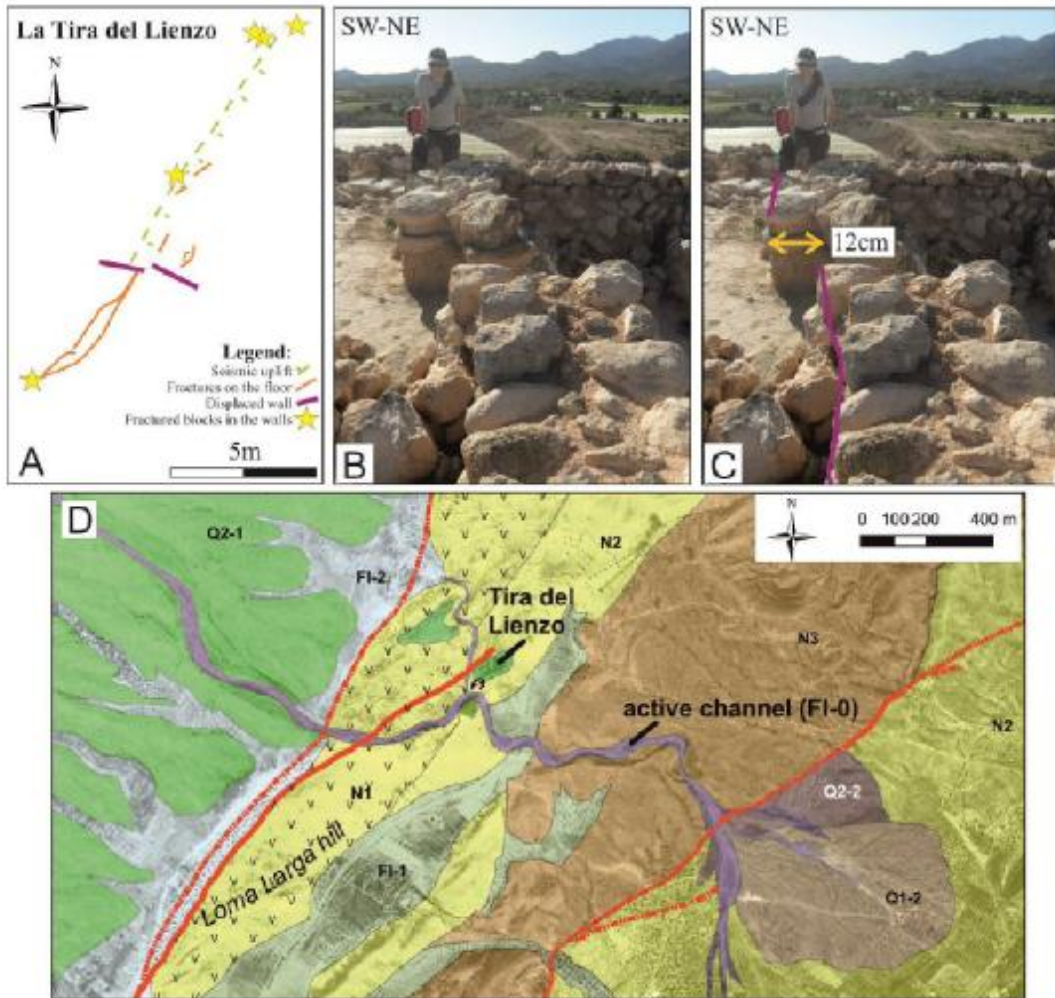
Η παλαιότερη σε όλο τον κόσμο αρχαιοσεισμολογική απόδειξη βρίσκεται στο βόρειο Ιράκ αλλά συνήθως οι αρχαιοσεισμολογικές μελέτες πάνε πίσω στην εποχή του Χαλκού. Η παλαιότερη αρχαιολογική τοποθεσία που έχει μελετηθεί στην Ιβρική Χερσόνησο είναι από τον 1^ο αιώνα μ.Χ. Το αντικείμενο της μελέτης αυτής θα καταγράψει την παλαιότερη αρχαιοσεισμολογική καταγραφή στην Ισπανία, εάν περαιτέρω αποδεικτικά στοιχεία το υποστηρίζουν. Ο τύπος της κατασκευής που χρησιμοποιήθηκε στην υπό μελέτη έρευνα (ακανόνιστα συγκροτήματα πετρών) δε εξετάζεται στην ταξινόμηση των αρχαιολογικών επιδράσεων των σεισμών που προτάθηκε από τους Rodríguez-Pascua et al. (2011), αλλά τον χρησιμοποιήσαμε ως οδηγό για να περιγράψουμε αυτά που καταγράφηκαν στην τοποθεσία. Επιπλέον, περιγράφουμε νέα είδη αρχαιολογικών επιδράσεων σεισμών. Τοποθετήσαμε την αρχαιολογική επίδραση σε ένα λεπτομερή μικροτοπογραφικό χάρτη που παρέχεται από την αρχαιολογική ερευνητική ομάδα La Bastida.

La Tira del Lienzo είναι ένας μικρός οικισμός της εποχής του χαλκού, που ανήκει στην αρχαιολογική ομάδα του Argar. Η κοινωνία αυτή αναπτύχθηκε μεταξύ

του 2200 και 1550 π.Χ. στην Ιβηρική χερσόνησο. Η πρώτη ανθρώπινη παρουσία στην περιοχή χρονολογείται το 2050 π.Χ. Η τελική εγκατάλειψη του χωριού έλαβε χώρα από το 1600/1500 π.Χ. Δύο κύριες φάσεις της κατοχής παρουσιάζονται στην τοποθεσία, αλλά επικεντρωνόμαστε στη δεύτερη φάση, στην οποία διατηρούνται τα αρχαιοσεισμολογικά αποδεικτικά στοιχεία. Τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά αποτελούνται από ορθογώνια δωμάτια με τοίχους που αποτελούνται από ακανόνιστες πέτρες. Ο La Tira del Lienzo βρίσκεται στην πόλη της Τοτανα στην Ισπανία, στο ίχνος του ρήγματος Alhama de Murcia. Η ζώνη του ρήγματος σε αυτή τη περιοχή επηρεάζει τις Μειόκαινες μάργες, τους γύψους και τα απαγχονισμένα τεταρτοταγή αλλουβιακά ριπίδια. Το ρήγμα Alhama de Murcia είναι ένα ολισθηρό ρήγμα N45°-65°E με ένα αντίστροφο συστατικό, σύμφωνο με τη ΒΔ-ΝΑ σύγκλιση μεταξύ της πλάκας της Ευρασίας και της Αφρικής. Αρκετοί ιστορικοί σεισμοί έντασης \geq VII συνέβησαν στη ζώνη πιθανό παραγόμενοι από το ρήγμα AMF. Το ισχυρότερο συμβάν που καταγράφηκε ενόργανα και συνέβη στη Lorca στις 11 Μαΐου 2011, είχε στιγμιαίο μέγεθος 5.2 και ένταση EMS VII. Παλαιοσεισμικές μελέτες στο ρήγμα αυτό έχουν χαρακτηρίσει τη δραστηριότητά του, αναφέροντας ανώτατες τιμές μεγέθους μεταξύ 6.1-7.0. Αυτές οι μελέτες καταγράφουν τουλάχιστον 6 παλαιοσεισμικά γεγονότα κατά τη διάρκεια των τελευταίων 274-174 ka. Οι εκτιμώμενες πλευρικές ταχύτητες ολίσθησης είναι από 0.21 mm/yr για τα τελευταία 130 ka. Πρόσφατες γεωδαιτικές μελέτες αποκαλύπτουν ότι η ταχύτητα ολίσθησης είναι 1.4-1.8 mm/yr.



Εικόνα 3.5.1. La Tira del Lienzo and Alhama de Murcia σφάλμα.



Εικόνα 3.5.2. La Tira del Lienzo. α) Σχηματική κάτοψη του χώρου, Περιοχή όπου καταγράφονται αρχαιολογικά αποτελέσματα β) φωτογραφία της πλευρικής μετατόπισης του τοιχώματος γ) Ερμηνεία του ποσού της εξάρθρωσης των εκτοπισμένων τοίχων δ) Γεωλογικά δεδομένα της La Tira del Lienzo.

Παρακάτω γίνεται αναφορά των αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται εδώ και είναι τα εξής: 1) η απογραφή των αρχαιολογικών επιδράσεων σεισμού που καταγράφονται στο χώρο, 2) η δομική ανάλυση τόσο των παρατηρούμενων καταγμάτων όσο και της ζώνης του ρήγματος AMF και 3) η εκτίμηση της ταχύτητας ολίσθησης του AMF με βάση τη πιο σχετική αναφερόμενη αρχαιολογική επίδραση σεισμού. Δύο από τους τύπους των αρχαιολογικών επιδράσεων που προτείνονται από τους Rodríguez-Pascua et al. (2011) καταγράφονται στην τοποθεσία: α) σεισμική ανάταση και β) μετατοπισμένοι τοίχοι. Επιπλέον, εντοπίσαμε δύο νέους τύπους εφέ παραμόρφωσης που δεν εξετάζονται από τους Rodríguez-Pascua et al. (2011), αλλά

κυρίως εξαιτίας του τύπου του υλικού του κτιρίου που χρησιμοποιείται στην περιοχή που μελετάται δεν εξετάζονται από αυτούς τους συγγραφείς. Αυτές οι νέες επιδράσεις είναι : α) κατάγματα στο βραχώδες δάπεδο και β) συγκροτήματα καταγμάτων στους τοίχους. Αυτές οι δύο νέες προτεινόμενες επιδράσεις έχουν το ισοδύναμο τους στην κατάταξη των Rodríguez-Pascua et al. (2011), αλλά επηρεάζοντας άλλα κατασκευαστικά υλικά. Κατάγματα ορόφου αντιστοιχούν σε κατάγματα και πτυχώσεις στα πεζοδρόμια, και συγκροτήματα καταγμάτων στους τοίχους θα ισοδυναμούσαν για τη διάτρηση των καταγμάτων σε συγκροτήματα τοιχοποιίας και τη σύζευξη των καταγμάτων σε τοίχους από στόκο ή τούβλο. Δομική ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε όλα τα κατάγματα που επηρεάζουν το βραχώδες δάπεδο του χώρου και οι τοίχοι αποκαλύπτουν ότι υπάρχουν δύο κύριοι κυρίαρχοι προσανατολισμοί των καταγμάτων. Ο κύριος προσανατολισμός συμπίπτει με την κατεύθυνση του ίχνους του ρήγματος του AMF που βρίσκεται ακριβώς κάτω από τα αρχαιολογικά ευρήματα. Με αυτήν την έννοια, ένα από τα κατάγματα του δαπέδου περνά μέσα από τον αρχαιολογικό χώρο στην κατεύθυνση BA-NA χωρίζοντας το κτίριο σε δύο και πλευρικά μετατοπισμένα τοιχώματα του. Αντιθέτως, τα συγκροτήματα καταγμάτων στους τοίχους μόνα τους δε μπορούν να θεωρηθούν ισχυρή απόδειξη σεισμικής παραμόρφωσης, αλλά οι προσανατολισμοί τους ταιριάζει γενικά με την κατεύθυνση του AMF. Για μία πραγματική σεισμική προέλευση θα είναι απαραίτητη η εμφάνιση αρκετών συγκροτημάτων καταγμάτων που συναρμολογούνται στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο. Εκτός από εκείνες τις περιπτώσεις όπου η θέση των συγκροτημάτων καταγμάτων συμπίπτει με την εμφάνιση του κατάγματος στο πάτωμα και την ανάταση του εδάφους, άλλα φυσικά αίτια δε μπορούν να απορριφθούν (πχ κατάρρευση του λόφου λόγω βαρύτητας ή θερμική αντίθεση).

Σύμφωνα με την παλαιοσεισμική ανάλυση και με βάση την πλευρική μετατόπιση που καταγράφεται από τον τοίχο, είναι πιθανό να εκτιμηθεί η ταχύτητα ολίσθησης για το ρήγμα AMF στην τοποθεσία. Ο τοίχος, χτισμένος μεταξύ 1900-1550 π.Χ. είναι 12 εκατοστά πλευρικά αριστερόστροφα εξαρθρωμένος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο τοίχος είναι 3912 χρονών, η ελάχιστη πλευρική μετατόπιση είναι 0.031 χιλιοστά/ έτος. Η ράβδωση στο ρήγμα καθιστά δυνατή την εκτίμηση των καθαρών ταχυτήτων ολίσθησης μεταξύ 0.031 και 0.043 mm/yr, μικρότερες από αυτές που αναφέρονται σε προηγούμενες εργασίες. Αυτό θα

μπορούσε να συμβαίνει επειδή το ίχνος του ρήγματος που επηρεάζει την τοποθεσία δεν είναι το κύριο ίχνος ρήγματος του AMF. Στην πραγματικότητα, ο μικρός λόφος πάνω στον οποίο βρίσκονται τα ερείπια που μελετώνται είναι μία κορυφογραμμή πίεσης και η παραμόρφωση διανέμεται σε μια ευρύτερη περιοχή. Σε κάθε περίπτωση, τουλάχιστον ένας σεισμός σημειώθηκε μετά από την κατασκευή της δεύτερης φάσης. Αυτό το γεγονός θα μπορούσε να συμβεί πριν ή μετά από την εγκατάλειψη της τοποθεσίας. Ένα γεγονός μέσα σε αυτό το χρονικό χάσμα θα είναι σύμφωνο με δύο γεγονότα που χρονολογούνται από εκσκαφές ρήγματος στο κεντρικό τμήμα του ρήγματος AMF.

Τα αποτελέσματα της έρευνας είναι ότι ο οικισμός της εποχής του χαλκού που μελετάται εδώ βρίσκεται στη ζώνη του ρήγματος AMF και επηρεάζεται από ένα από τα παρακλάδια του ρήγματος του. Τέσσερις αρχαιολογικές επιδράσεις σεισμού έχουν ταυτοποιηθεί υποδηλώνοντας την εμφάνιση ενός τουλάχιστον σεισμού μετά το 1900 π.Χ. Η δομική ανάλυση υποδεικνύει δύο κύριες κατευθύνσεις του κατάγματος. Η κύρια κατεύθυνση του κατάγματος συμπίπτει με την κατεύθυνση του AMF στη ζώνη. Το κύριο κάταγμα παράγει μία αριστερή πλευρική μετατόπιση πάνω στα ερείπια τοίχων υποδεικνύοντας μία μέση ταχύτητα ολίσθησης 0.03 mm/yr για το AMF.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ, ΑΣΤΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ ΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΡΩΜΑΪΚΗ ΠΑΤΡΑ, ΕΛΛΑΔΑ (Alexandra-Venetia Stamati and Stathis C. Stiros, Jamie Woodward)

Ο ρόλος της σεισμικότητας στην αστική εξέλιξη της Ρωμαϊκής Πάτρας, μίας μεγάλης πόλης στη Δυτική Ελλάδα, που βρίσκεται δίπλα σε σεισμικά ενεργές περιοχές (τόξο Αιγαίου, κόλπος της Κορίνθου), έχει αγνοηθεί μέχρι στιγμής. Έχουμε αναλύσει 1000 τυπικά σύντομες εκθέσεις των σωστικών ανασκαφών που έγιναν κατά την πρόσφατη περίοδο οικοδομικής έκρηξης στο κέντρο της Πάτρας. Ένα ελάχιστο 100 ανασκαφών που παρείχαν αποδεικτικά στοιχεία στρωμάτων καταστροφής και άτυπους τάφους, συμπεριλαμβανομένων άταφων σκελετών ενδεικτικών της κοινωνικής αποδιοργάνωσης, συνοψίστηκαν σε ένα γεωαναφερόμενο ψηφιακό αρχείο και αναλύθηκαν περαιτέρω. Λίγα από τα στοιχεία αυτά ικανοποιούν αυστηρά κριτήρια για τον προσδιορισμό των σεισμών από τα αρχαιολογικά δεδομένα, ιδίως όσο αφορά τις χρονολογίες, αλλά σε συνδυασμό με άλλες ανασκαφές με τα στρώματα καταστροφής, η σύνδεση των αποδεικτικών στοιχείων της καταστροφής με τους σεισμούς αυξάνεται και 3 καταστροφικά γεγονότα αναγνωρίστηκαν, με διάστημα επανεμφάνισης <200 χρόνια.

Δύο από αυτά συσχετίζονται με ιστορικά στοιχεία, περίπου το 61 μ.Χ και 551 μ.Χ στην κοντινή πόλη της Ναύπακτου. Συναχθέντες σεισμοί φαίνεται να έχουν επηρεάσει την αστική εξέλιξη της Πάτρας και ίσως την πτώση της από τον 4^ο αιώνα. Η αστικά προσανατολισμένη, στατιστική προσέγγιση για την ταυτοποίηση των σεισμών που προτείνεται εδώ είναι, διαφορετική από προηγούμενες αρχαιοσεισμολογικές προσεγγίσεις και μπορεί να είναι χρήσιμη για τη μελέτη πολλών αρχαίων αστικών κέντρων.

Περίπου μεταξύ του 1972 και του 2005, μία έκρηξη στην κατασκευή κτιρίου πραγματοποιήθηκε στην Πάτρα, μία μεγάλη πόλη με λιμάνι στη Δυτική Ελλάδα (Εικόνα 4.1.α). Το κεντρικό τμήμα της σύγχρονης Πάτρας καλύπτει την περιοχή που καταλαμβάνεται από μία προεξέχουσα ρωμαϊκή αποικία, η οποία ιδρύθηκε το 14 π.Χ. Τη ρωμαϊκή πόλη διαδέχθηκε μία παλιότερη ελληνική πόλη και έγινε πρωτεύουσα της επαρχίας της Αχαΐας καλύπτοντας το μεγαλύτερο μέρος της σύγχρονης

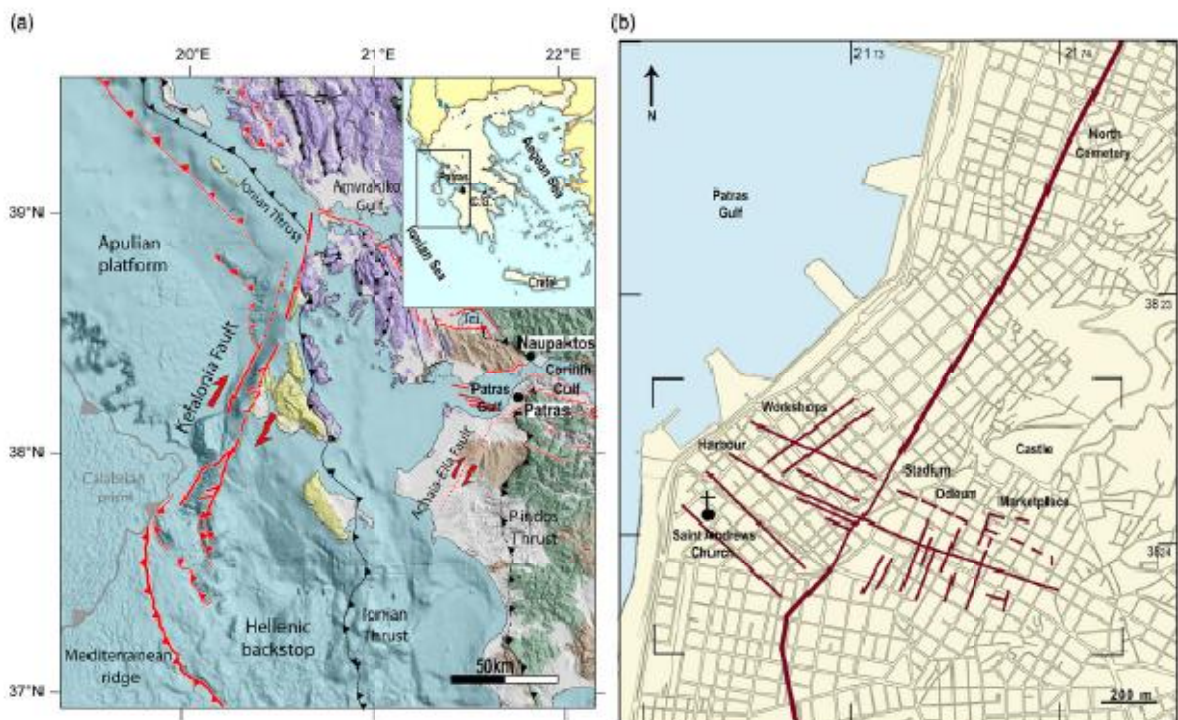
νοτιοδυτικής Ελλάδας. Πολύ λίγα από τα ερείπια της αρχαίας πόλης είναι ορατά πριν το 1970, αλλά από τότε, μία οικοδομική έκρηξη σε συνδυασμό με περισσότερες από 1000 αρχαιολογικές, περισσότερο διασωστικές ανασκαφές επέτρεψαν την αναγνώριση πολλών ερειπίων μιας ακμάζουσας ρωμαϊκής πόλης κάτω από τη σύγχρονη πόλη- η τελευταία αναπτύχθηκε κυρίως από τον 19^ο αιώνα.

Μετά τις ραγδαίες, σωστικές ανασκαφές τα περισσότερα αρχαία ερείπια παρασύρθηκαν, πολύτιμα αντικείμενα μεταφέρθηκαν στο Μουσείο, ως επί το πλείστον σε αποθήκες, και μόνο μερικά επιλεγμένα ερείπια κτιρίου διατηρήθηκαν επί τόπου. Επιπλέον, ορισμένες σύντομες εκθέσεις ανασκαφών ετοιμάστηκαν για την πλειοψηφία των ανασκαφών. Για το λόγο αυτό, παρά τη μεγάλη κλίμακα των αρχαιολογικών εργασιών, υπάρχουν μόνο αποσπασματικές πληροφορίες για τις διάφορες πτυχές της αρχαίας πόλης, καθώς και το πολεοδομικό σχέδιο της πόλης ακόμη και σήμερα δεν είναι πλήρως κατανοητό (Εικόνα 4.1.β). Οι εκθέσεις ανασκαφών παρείχαν αποδεικτικά στοιχεία από πολλά στρώματα καταστροφής σε ολόκληρη την πόλη. Ωστόσο, τα αίτια και η σημασία αυτών των στρωμάτων καταστροφής, και ιδιαίτερα του ρόλου τους στην εξέλιξη της ρωμαϊκής πόλης δεν έχουν μελετηθεί ποτέ.

Τα στρώματα καταστροφής περιοχών με υψηλή σεισμικότητα σε αρχαιολογικούς χώρους και πόλεις συνήθως αποδίδονται είτε σε σεισμούς και σε άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, είτε σε σκόπιμη καταστροφή, συνήθως κατά τη διάρκεια πολέμων και εισβολών. Αν και η Πάτρα βρίσκεται σε περιοχή υψηλής σεισμικότητας του κόλπου των Ιόνιων νήσων κατά μήκος του τόξου του Αιγαίου και του κόλπου της Κορίνθου, και αν και αναφορά στην αρχαία πόλη γίνεται πάνω από 70 αρχαίους Έλληνες και πάνω από 15 αρχαίους Ρωμαίους συγγραφείς, οι κατάλογοι σεισμών παρέχουν αποδείξεις σημαντικής σεισμικότητας για την Πάτρα μόνο για τους τρεις τελευταίους αιώνες, και αυτό έχει περιορίσει τις απόψεις των ερευνητών της ιστορίας της αρχαίας πόλης. Σε λίγες περιπτώσεις στρώματα καταστροφής έχουν εκχωρηθεί σε μη καταγεγραμμένους τοπικούς ή απομακρυσμένους σεισμούς, ενώ όλες οι μελέτες της ιστορικής εξέλιξης της Πάτρας έχουν αγνοήσει σεισμούς: ιδίως, μια παρακμή της πόλης που συμπεραίνεται από τον 4^ο αιώνα ανατέθηκε στους βανδαλισμούς των Βησιγόθων. Στην πραγματικότητα, μετά την εισβολή τους στην Πελοπόννησο το 396 μ.Χ., κυνηγημένοι από το ρωμαϊκό στρατό, οι Βησιγόθοι έσπευσαν να ξεφύγουν από την Ηπειρωτική Ελλάδα από τα στενά κοντά στην Πάτρα και ήταν, συνεπώς, κατά πάσα πιθανότητα σε θέση να προκαλέσουν τη δομική

καταστροφή μεγάλης κλίμακας που αποκαλύφθηκε από αρχαιολογικές ανασκαφές. Η επιδρομή των Βησιγόθων θα μπορούσε να συσχετισθεί μόνο με μικρές δομικές καταστροφές, λεηλασίες, πυρκαγιές ή όχι σημαντικές καταστροφές που απαιτούν πολλή ενέργεια. Η κατάσταση αυτή θυμίζει μια συζήτηση για την εξήγηση των ζημιών που παρατηρούνται σε διάφορες αρχαίες πόλεις, για παράδειγμα, στη παράκτια Λιβύη, που αποδίδονται είτε σε έναν καταστροφικό σεισμό του τέταρτου αιώνα μ.Χ. ή σε μια εισβολή των νομάδων ιππέων πάνω σε καμήλες. Ένα παρόμοιο πρόβλημα υπάρχει και για την κοντινή πόλη της Ναύπακτου, γνωστή στο παρελθόν ως Leranto και διάσημη για την μάχη του 1571. Είναι επίσης η περίπτωση για αυτή τη πόλη κυρίαρχη στην ευρύτερη περιοχή στη μεσαιωνική και μεταγενέστερη περίοδο, ότι μόνο μία αναφορά στο σεισμό του 551 μ.Χ. γίνεται σε ιστορικά αρχεία. Η ταυτοποίηση αρχαίων σεισμών είναι κρίσιμη όχι μόνο για την ανακατασκευή της ιστορίας αρχαίων τόπων και πόλεων αλλά και για την κατανόηση της σεισμικής επικινδυνότητας των ευρύτερων περιοχών. Η σιωπή των αρχαίων συγγραφέων για τους σεισμούς στην Πάτρα μπορεί να υποδηλώνει είτε μια προκατάληψη στα πολυάριθμα ιστορικά στοιχεία ή μια μακρά περίοδο σεισμικής ησυχίας ίσως 1000 ή 2000 χρόνια μακριά και η οποία έληξε περίπου 300 χρόνια πριν, όταν οι πρώτοι καταστροφικοί σεισμοί αναφέρθηκαν εκ τούτου, ένα σημαντικό ερώτημα που τίθεται είναι αν η Πάτρα πληγεί από τις συσπειρώσεις των σεισμών που χωρίζονται στις μεγάλες περιόδους της σεισμικής ησυχίας. Πρόσφατα, η μελέτη ορισμένων αρχαίων λειψάνων από τους Στύρο και Πυθαρούλη (2014) παρείχε στοιχεία της σεισμικής καταστροφής στη ρωμαϊκή Πάτρα και ως εκ τούτου αποδεικτικά στοιχεία σεισμών που δεν περιλαμβάνονται στους καταλόγους των σεισμών κατά τη διάρκεια των φαινομενικά αντισεισμικών περιόδων. Το εύρημα αυτό ενέπνευσε μια συστηματική έρευνα και ανάλυση των διαθέσιμων ανασκαφικών δεδομένων στην Πάτρα. Ο σκοπός της έρευνας αυτής ήταν πρώτα να αναζητήσει πιθανά ίχνη των σεισμών στα αρχαία αστικά κατάλοιπα, να τα αξιολογήσει και τελικά να τεκμηριώσει παλαιοσεισμικά γεγονότα και αν είναι δυνατόν να συναγάγει ορισμένα από τα κρίσιμα χαρακτηριστικά τους και δεύτερον να κατανοήσει τον πιθανό ρόλο της σεισμικότητας στην αστική ιστορία αυτής της ρωμαϊκής πόλης. Η συνολική μελέτη βασίστηκε σε μια νέα στατιστική, μια προσέγγιση προσανατολισμένη στην πόλη για τον εντοπισμό σεισμών στα αστικά κέντρα. Αυτή η προσέγγιση είναι διαφορετική από τις προσεγγίσεις που προσανατολίζονται προς την τοποθεσία ή το κτίριο και χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα και οι οποίες εστιάζουν στα αυστηρά αρχαιολογία ή

γεωλογικά κριτήρια για τον προσδιορισμό των σεισμών σε συγκεκριμένα κτίρια ή άλλες κατασκευές, ακόμη και αν μερικές φορές χαρακτηρίζονται από την κάλυψη σε ολόκληρη την πόλη. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής και η προτεινόμενη μεθοδολογία αναμένεται να είναι χρήσιμα τόσο για την κατανόηση του ρόλου των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στην εξέλιξη των διάφορων αρχαίων πόλεων, αλλά και να συμβάλλει στην κατανόηση του σεισμικού κινδύνου στην ευρύτερη περιοχή της Πάτρας.



Εικόνα 4.1. Χάρτης τοποθεσίας. (α) Θέση και τεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Πάτρας. Τα σφάλματα υποδεικνύονται με κόκκινο χρώμα (υποτίθεται ότι είναι πιο δραστήρια) και με μαύρο χρώμα. Με C.G. προσδιορίζεται ο Κορινθιακός κόλπος. (β) Με τις γκρι γραμμές διακρίνεται το σχέδιο της Πάτρας τη σύγχρονη

εποχή, ενώ με τις κόκκινες γραμμές συμβολίζεται κατά τους ρωμαϊκούς χρόνους. ρωμαϊκούς χρόνους (κόκκινες γραμμές).

ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΑ ΛΕΙΨΑΝΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΕΙΣΜΩΝ

Σεισμοί στην ανατολική Μεσόγειο είναι συχνοί, μερικές φορές καταστροφικοί και έχουν από καιρό εμπνεύσει εξέχοντες αρχαιολόγους στο να εξηγήσουν την καταστροφή των αποδεικτικών στοιχείων στη Ρώμη ή στην Κρήτη, ως συνέπεια των σεισμών, για παράδειγμα. Αυτό οδήγησε σε μία παράδοση που επηρέασε αρκετούς αρχαιολόγους και επιστήμονες της γης, και οδήγησε ακόμη και σε υποθέσεις νεοκαταστροφισμού εξηγώντας την κατάρρευση ολόκληρων πολιτισμών λόγω σεισμών ή συστάδων σεισμών. Στην πραγματικότητα, οι σεισμοί θεωρούνται, σε πολλές περιπτώσεις, ως από μηχανής θεός για να εξηγήσουν στρώματα καταστροφής, εγκατάλειψης, ή πολιτιστικές αλλαγές σε αρχαιολογικούς χώρους. Η προσέγγιση αυτή οφείλεται κυρίως στην απουσία αξιόπιστων διαγνωστικών κριτηρίων για τον προσδιορισμό των σεισμών και η πραγματική επίπτωση της είναι αυτό που μπορεί να θεωρηθεί στην επιστήμη όπως αναπάντητοι συναγερμοί ή ψευδείς συναγερμοί: ψευδείς συναγερμούς αντιπροσωπεύουν αποτελέσματα τα οποία δεν προέρχονται από σεισμούς, αλλά τα οποία έχουν λανθασμένα αποδοθεί σε σεισμούς. Αναπάντητοι συναγερμοί αντιστοιχούν σε ενέργειες που μπορεί πειστικά να συνδέονται με τους σεισμούς, αλλά κακώς αποδίδονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Τα προβλήματα αυτά οδήγησαν στην διατύπωση σαφών κριτηρίων για τον προσδιορισμό των σεισμών με βάση τα αρχαιολογικά δεδομένα του Στύρου και άλλων ερευνητών. Αυτές οι προσεγγίσεις, ακόμη και αν είναι πιο εδαφικές, παραμένουν ντετερμινιστικές και προσανατολισμένες στη δομή ή την περίπτωση. Επιπλέον, δεν καλύπτουν τις περιπτώσεις καταστροφικών στρωμάτων με έκταση σχεδόν όλη την πόλη, αλλά χωρίς ακριβή χρονολόγηση επιτρέπει την ασφαλή ταύτιση των αρχαίων σεισμών. Οι υποθέσεις αυτές καλύπτουν τα στρώματα καταστροφής και ανοικοδόμησης, αλλά δεν επιτρέπουν στους ερευνητές να διακρίνουν και να χρονολογήσουν κάθε οικοδομική φάση και να τις συσχετίσουν με οικοδομικές φάσεις σε κοντινές περιοχές. Αυτό το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα σοβαρό σε περιόδους που χαρακτηρίζονται από αργές και μικρές αλλαγές στο στύλ κατασκευής και κεραμικών συχνά στους κύριους δείκτες της πολιτιστικής εξέλιξης. Αυτό πράγματι συνέβη στα περισσότερα επαρχιακά ρωμαϊκά κέντρα. Στα τελευταία, ακριβή χρονολόγηση μπορεί να επιτευχθεί μόνο αν η ανάλυση ορισμένων σπάνιων χαρακτηριστικών αντικειμένων

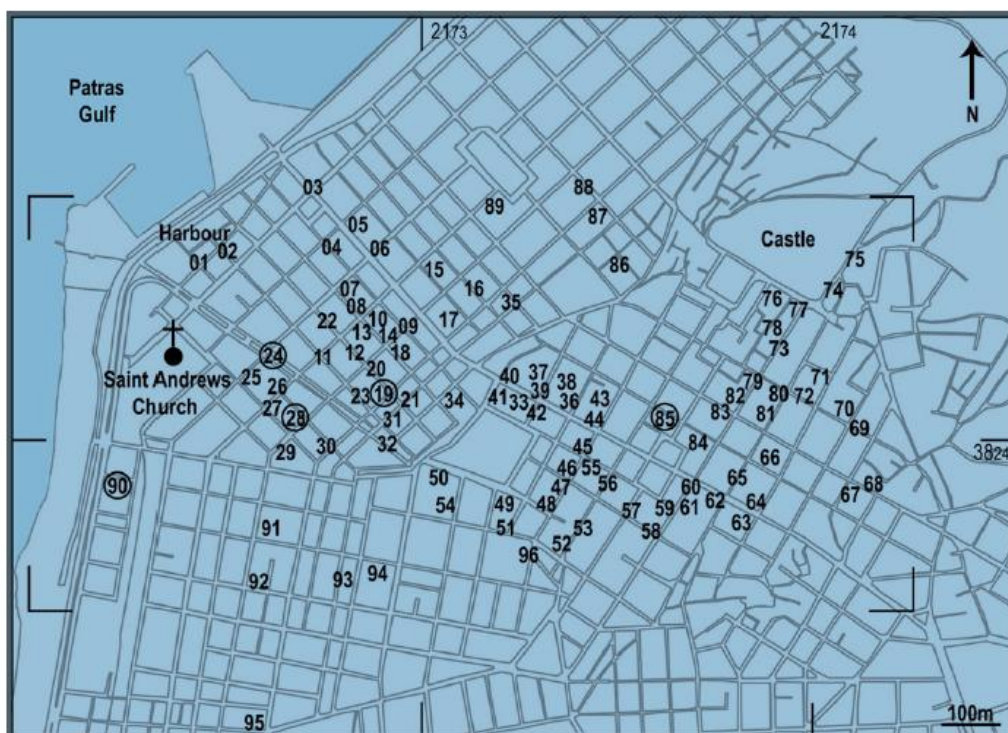
ή χαμηλής αξίας μικρών χάλκινων νομισμάτων που συχνά παράγονται και παραμένουν σε χρήση για περιορισμένο χρονικό διάστημα μόνο. Τα κέρματα αυτά, όμως, έχουν συνήθως μικρή καλλιτεχνική ή εμπορική αξία, οξειδώνονταν εύκολα και συχνά αγνοούνταν σε σωστικές ανασκαφές, και πολύ σπάνια καθαρίζονταν και υποβάλλονταν σε επεξεργασία στο εργαστήριο και θα αξιολογούνταν από ειδικούς. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται στην περίπτωση της ρωμαϊκής Πάτρας με μία νέα μέθοδο που ορίζεται παρακάτω.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού θα αναφερθούμε στη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη μελέτη. Η έρευνα μας βασίστηκε κατά κύριο λόγο στη μελέτη εκατοντάδων κυρίως σύντομων ανασκαφικών εκθέσεων των σωστικών ανασκαφών στο κεντρικό τμήμα της Πάτρας και είναι δομημένη σε τρία βήματα. Ως πρώτο βήμα, εξέτασε προσεκτικά όλες τις αρχαιολογικές εκθέσεις ανασκαφών που έχουν γίνει στην Πάτρα για να προσδιοριστούν εκείνες που αναφέρουν στρώματα καταστροφής, επισκευές, και νέες οικοδομικές φάσεις, καθώς και εξαιρετικές αλλαγές στο μοτίβο σχετικά με τις χρήσεις της γης που μπορεί να σχετίζονται με σεισμικά αποτελέσματα. Ως δεύτερο βήμα, τα πιο ελπιδοφόρα δεδομένα καταγράφονται και περιλαμβάνονται σε μία βάση δεδομένων συνοψίζοντας περίπου 100 ανασκαφές που θεωρήθηκαν και αξιολογήθηκαν ως πιθανές πηγές σεισμικών πληροφοριών. Ως τρίτο βήμα, κάθε μία από αυτές τις ανασκαφές ελέγχθηκαν με βάση τα αυστηρά κριτήρια και σε συνδυασμό με ιστορικά ή άλλα δεδομένα για να δούμε εάν αυτό οδηγεί σε αξιόπιστα αποδεικτικά στοιχεία σεισμών. Εάν το αποτέλεσμα της δοκιμής ήταν θετικό, εξήχθη το συμπέρασμα ότι η σχετικές ανασκαφές που δε πληρούν αυτά τα αυστηρά κριτήρια έχουν μεγάλη πιθανότητα να αντανakλούν επίσης την ίδια σεισμική καταστροφή και μια μεγαλύτερη κλίμακα επίδρασης: αυτή η πιθανότητα αυξάνεται με τον αριθμό των εκσκαφών.

Σύμφωνα με τις παραπάνω μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν, η έρευνα έλαβε κάποια δεδομένα τα οποία αναλύονται στη συνέχεια. Η μελέτη μας βασίστηκε στην εξέταση όλων των διαθέσιμων δημοσιευμένων ή μη εκθέσεων για την διάσωση των ανασκαφών στην Πάτρα, κυρίως αναφορές στο αρχαιολογικό δελτίων, τμήμα Β, το επίσημο περιοδικό της αρχαιολογικής υπηρεσίας στην Ελλάδα, καθώς και όλες τις άλλες σχετικές δημοσιεύσεις και αναφορές σε λίγες συστηματικές ανασκαφές. Για το λόγο αυτό, συνήθως δεν είναι διαθέσιμες λεπτομέρειες των ανασκαφών και ιδιαίτερα

ακριβής χρονολόγηση των οικοδομικών φάσεων. Τα εξεταζόμενα αρχεία καλύπτουν περισσότερες από 1000 ανασκαφές στο κεντρικό τμήμα της πόλης. Μεταξύ αυτών, εντοπίσαμε περίπου 100 ανασκαφές, παρέχοντας αποδεικτικά στοιχεία καταστροφικών στρωμάτων και καλύπτοντας την περίοδο περίπου από τον 1^ο έως τον 6^ο αιώνα μ.Χ. Μερικά τυπικά παραδείγματα συνοψίζονται στην Εικόνα 4.3. Οι 100 ανασκαφές που είναι το επίκεντρο αυτής της εργασίας είναι αντιπροσωπευτικές του συνολικού αριθμού των ανασκαφών και δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένες. Κάποιες περιοχές με καθόλου εκσκαφές αντιστοιχούν είτε σε μη κατοικημένες περιοχές ή σε περιοχές στις οποίες δεν έγιναν ανασκαφές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα ευρήματα των ανασκαφών γύρω από το ξενοδοχείο και οι συνέπειες τους αποθάρρυναν πλήρως κάθε προσπάθεια για την κατασκευή νέων κτιρίων σε γειτονικά οικόπεδα.

Από τη μελέτη των στοιχείων ήταν δυνατόν να αναγνωριστούν οι ακόλουθες βασικές τυπολογικές κατηγορίες πολεοδομικών, αρχιτεκτονικών και πολιτιστικών ασυνεχειών που μαρτυρούν την σημαντική καταστροφή και την κοινωνική αποδιοργάνωση:



Εικόνα 4.2. Αρχαιολογικές ανασκαφές στο κεντρικό τμήμα της Πάτρας που έχουν υποστεί ζημιές. (για τη θέση βλέπε ένθετο στο Σχήμα 1β).

Οι αριθμοί δείχνουν τις περίπου 100 ανασκαφές και πιο συγκεκριμένα οι αριθμοί που βρίσκονται μέσα σε κύκλο συνοψίζονται παρακάτω στην Εικόνα 3.

1. Η καταστροφή και ακόμη και η εγκατάλειψη των πολυτελών κτιρίων σε πολλές περιπτώσεις σχετίζονται με χαρακτηριστική καταστροφή όπως εγκαταλελειμμένες κολώνες επί τόπου και θαμμένες από τα συντρίμια, και από πάνω τους ένα νέο επίπεδο κατοχής. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, τα κτίρια και τα οικοδομικά υλικά επαναχρησιμοποιούνταν συστηματικά κατά την αρχαιότητα, ιδιαίτερα πολύτιμα δομικά στοιχεία όπως κολώνες καλά σκαλισμένες από εισαγόμενα μεταμορφωμένα πετρώματα. Για το λόγο αυτό, η εγκατάλειψη πολύτιμων δομικών υλικών που έχουν καταρρεύσει μαρτυρεί τα γεγονότα μεγάλης κλίμακας που σηματοδοτούν την ιστορία της πόλης. Επιπλέον, ορισμένες πεσμένες στήλες που βρίσκονται παράλληλα είναι συνήθως ενδεικτικές μίας σεισμικής κατάρρευσης. Ένα πρόβλημα ωστόσο είναι η έλλειψη ακριβούς χρονολόγησης των οικοδομικών φάσεων, που δεν επιτρέπουν τη συσχέτιση των γεγονότων καταστροφής ακόμη και σε κοντινές εκσκαφές.
2. Άτυπες ταφές, που είναι ταφές χωρίς προσφορές, μαζικές ταφές ή ειδικοί σκελετοί χωρίς ενδείξεις ταφής, καλύπτονται κατά καιρούς από τα συντρίμια κατεστραμμένων κτιρίων που δείχνουν παραβίαση των αυστηρών τελετουργικών ταφής στην αρχαιότητα. Η παραβίαση των εν λόγω τελετουργιών μπορεί να είναι ένδειξη (i) της πλήρους κοινωνικής αποδιοργάνωσης ειδικά καταστάσεων έκτακτης ανάγκης μετά από μεγάλες καταστροφές (ii) θύματα σε μία μάχη (iii) σκλάβοι που έχασαν τη ζωή τους στις σκληρές συνθήκες του λατομείου κλπ. Αυτή η τελευταία δυνατότητα μπορεί εύκολα να απορριφθεί και οι υπόλοιπες δυνατότητες καταστροφής μπορεί να οφείλονται είτε σε περιβαλλοντικές ή άλλες επιδράσεις. Ωστόσο, ο συνδυασμός των άτυπων ταφών με δομικές βλάβες είναι έντονα ενδεικτικός των σεισμών.
3. Εγκαταλελειμμένες ορδές νομισμάτων: με την απουσία τραπεζών, οι καταθέσεις κρατήθηκαν ασφαλή από τους ιδιοκτήτες τους με ταφή κάτω από το δάπεδο ή τους τοίχους των σπιτιών. Ο προσδιορισμός αρκετών

εγκαταλελειμμένων θησαυρών είναι ενδεικτικός της ξαφνικής εξαφάνισης των ιδιοκτητών τους. Χρυσά και ασημένια νομίσματα όμως χρησιμοποιήθηκαν για αιώνες και ως εκ τούτου έχουν περιορισμένη αξία για την χρονολόγηση: μπορούν να παρέχουν μόνο ένα κατώτερο όριο για την εγκατάλειψη ενός θησαυρού μόνο καθημερινής χρήσης, χαμηλής αξίας χάλκινα νομίσματα συνήθως παρέχουν ακρίβεια στην χρονολόγηση.

4. Αλλαγές στον αστικό σχεδιασμό που σχετίζονται κυρίως με την μετατροπή πρώην κατοικημένων περιοχών σε άτυπα κοιμητήρια και το κέντρο πόλης σε γενικές γραμμές, που περιστασιακά έχει συσχετισθεί με μαζικές ταφές. Σε ορισμένες περιπτώσεις, στην κατοικημένη περιοχή, τάφοι που περιέχουν αρκετούς σκελετούς κατασκευάστηκαν βιαστικά. Σε μία περίπτωση, ένα νεκροταφείο του 6^{ου} αιώνα με τάφους στο ίδιο στυλ και προσανατολισμό και μαζικούς τάφους και τάφους καλυμμένους από θραύσματα διακοσμημένων μαρμάρινων πλακών, τα περισσότερα από αυτά χρονολογούνται στον 5^ο και 6^ο αιώνα μ.Χ. Αυτή είναι μία από τις λίγες περιπτώσεις σεισμικής καταστροφής που αναγνωρίζεται από έναν εκσκαφέα. Παρά το γεγονός ότι ένα νέο νεκροταφείο με μαζικούς τάφους μπορεί να αντανakλά διάφορα εφέ, ο συνδυασμός τους με κατεστραμμένα πολύτιμα διακοσμητικά στοιχεία από τις εκκλησίες, σε μία περίοδο κατά την οποία δεν είναι γνωστές θρησκευτικές συγκρούσεις, είναι πιθανό να κατατεθεί σε έναν καταστροφικό σεισμό τον έκτο αιώνα.

Παρακάτω θα αναλύσουμε πως γίνεται η χρονολόγηση των αντικειμένων και των θησαυρών που βρέθηκαν. Λίγες ανασκαφές παρέχουν αποδεικτικά στοιχεία περισσότερων από μία φάσεις της καταστροφής. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, πάντως, συνήθως μία μόνο φάση της καταστροφής τεκμηριώνεται. Σε σπάνιες περιπτώσεις, η ζημιά της χρονολογήθηκε όχι με ακρίβεια χρησιμοποιώντας νομισματικές μαρτυρίες και τεχνοτροπικά αποδεικτικά στοιχεία: για παράδειγμα, σε ένα εργαστήριο κεραμικής δίπλα σε ένα χρησμό, η καταστροφή έχει ανατεθεί σε ένα σεισμό λίγο μετά το 300 μ.Χ., αλλά τα στοιχεία ενός σεισμού δεν είναι πειστικά και μια σκόπιμη καταστροφή ενός από τα τελευταία εργαστήρια κεραμικής παραγωγής ειδωλολατρικών θρησκευτικών αντικειμένων δεν μπορεί να αποκλειστεί. Αυτό είναι ιδιαίτερα πιθανό δεδομένου ότι ήταν μια ταραγμένη περίοδος που σημειώνεται με διαφορές μεταξύ ειδωλολατρικών και χριστιανικών ζηλωτών. Η εξέλιξη του

οικοδομικού και του κεραμικού στυλ στην επαρχιακή ρωμαϊκή Πάτρα ήταν αργή, και τα αντίστοιχα δεδομένα δεν επιτρέπουν αξιόπιστη στυλιστική χρονολόγηση καταστροφικών στρωμάτων αν και σε μερικές περιπτώσεις είναι δυνατές αξιόπιστες και λεπτομερείς χρονολογήσεις. Ακόμη και σε περιπτώσεις καλυμμένων στρωμάτων καταστροφής από παλαιοχριστιανικά ψηφιδωτά η χρονολόγηση δεν είναι πάντοτε σαφής, μία τέτοια μετάβαση παρατηρήθηκε στην Κρήτη στον απόηχο του σεισμού του 365 μ.Χ. αλλά μπορεί να έχουν συμβεί έναν αιώνα αργότερα ή νωρίτερα στην Πάτρα. Ως εκ τούτου, οι όροι «Late Roman» ή «Early Christia» μπορούν να ορίσουν με σαφήνεια ένα σχετικό χρονολογικό πλαίσιο. Οι ανασκαφές που παρέχουν κάποια μορφή προκαταρκτικής χρονολόγησης που προέρχονται από τις εκθέσεις ανασκαφών συνοψίζονται στην Εικόνα 4.4. Τα πιο αξιόπιστα δεδομένα είναι τα ακόλουθα.



Εικόνα 4.3. Στα νούμερα 19, 24, 28 και 90 βλέπουμε τις καταστροφές που βρέθηκαν σε ανασκαφές. (οι αριθμοί βρίσκονται στην κάτω αριστερή γωνία της κάθε φωτογραφίας)
Στην ανασκαφή με νούμερο 85, παρατηρούμε ότι ο τοίχος έχει ραγίσει, κάτι που αποδεικνύει την τοπική αστάθεια του εδάφους (επιφανειακή, γεωτεχνικές επιδράσεις) και όχι τον σεισμικό προβληματισμό (σεισμική-τεκτονική).

1^{0ς}-2^{0ς} ΑΙΩΝΑΣ Μ.Χ.

Χρονολογικοί περιορισμοί παρέχονται από έναν κρυμμένο θησαυρό μετά από το 96 μ.Χ κάτω από τα θεμέλια του τοίχου. Στην ανασκαφή ανακαλύφθηκαν #17 ένας θησαυρός, ένα στρώμα καταστροφής του 1^{0υ} αιώνα μ.Χ και ανακατασκευές που χρονολογούνται στον 2^ο αιώνα μ.Χ.

3^{0ς}-4^{0ς} ΑΙΩΝΑΣ

Ένα μεγάλο ποσοστό από τα στρώματα καταστροφής χρονολογήθηκαν προσωρινά από τους ανασκαφείς στον τρίτο αιώνα μ.Χ. Στο #16 και στο #15 πολλές λάμπες του 3^{0υ} αιώνα αποκαλύφθηκαν, ενώ το #1 αντιστοιχεί σε ένα εργαστήριο ο κεραμικής- η λειτουργία των οποίων διακόπτεται απότομα το 300 μ.Χ. Στο #9 στα ερείπια ενός σπιτιού βρέθηκαν νομίσματα του 3^{0υ} αιώνα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, κατεστραμμένα κτίρια εγκαταλείφθηκαν εντελώς. Η ανασκαφή #34 προσκόμισε αποδεικτικά στοιχεία τάφων του 4^{0υ} αιώνα μ.Χ. τοποθετημένα πάνω από έναν εγκαταλελειμμένο δρόμο με αρχιτεκτονικά μέλη σε δεύτερη χρήση. Τέτοια ευρήματα έχουν συνδεθεί στο παρελθόν με την εισβολή των Βησιγόθων το 396 μ.Χ., όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω, αλλά αυτή η εξήγηση είναι μάλλον απίθανη.

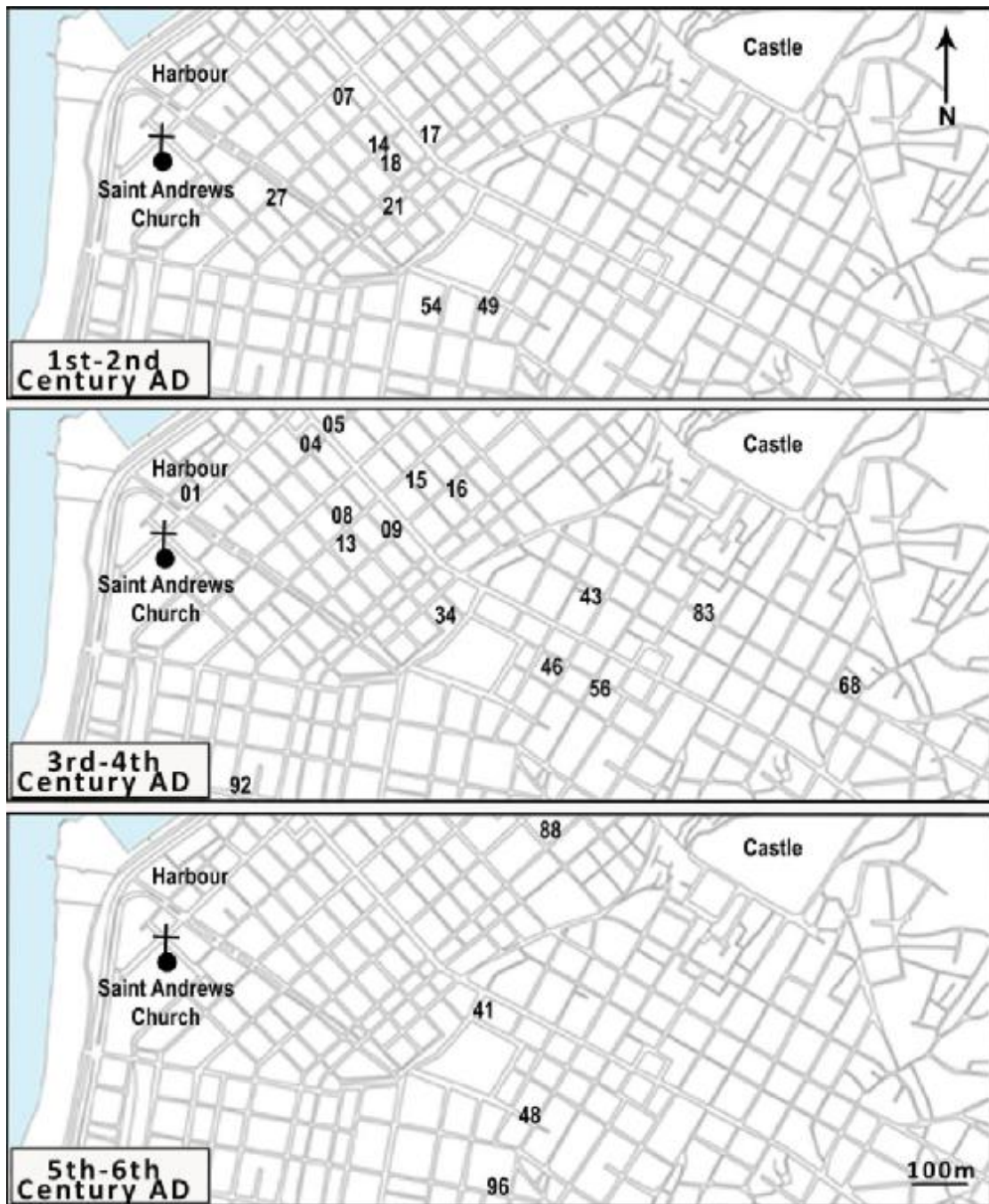
5^{0ς}-6⁰ ΑΙΩΝΑΣ

Ένα στρώμα καταστροφής σε ένα δημόσιο κτίριο στο #41 χρονολογήθηκε από τον 5^ο αιώνα με βάση τα θραύσματα των λαμπτήρων και άλλα κεραμικά βάζα χρονολογούνται όχι πριν από τον 5^ο αιώνα. Στο #88 , ένα στρώμα καταστροφής που χρονολογείται στον 5^ο αιώνα καλύφθηκε από τάφους. Μία σειρά από τάφους που καλύπτονται με σπασμένες διακοσμημένες μαρμάρινες πλάκες από εκκλησίες σε μια πρώην κατοικημένη περιοχή μαρτυρούν ένα σεισμό του 6^{0υ} αιώνα όπως έχει ήδη επισημανθεί.

Λεπτομερείς μελέτες σε επίπεδο πόλης αρχαίων σεισμών έχουν γίνει μόνο σε πολύ λίγες περιπτώσεις βασισμένες σε συγκεκριμένες δομές και σε πολύ ακριβείς πληροφορίες. Σε πολλές πόλεις, οι μελέτες των σεισμών υποστηρίζονται από ακριβή ιστορικά και αρχαιολογικά δεδομένα, όπως επιγραφές και μερικές φορές καθορίζουν τις αιτίες των παρατηρούμενων καταστροφών ή τα ευρήματα που προσφέρουν ακριβή χρονολόγηση. Στην περίπτωση της Πάτρας, ωστόσο, δεν υπάρχουν τέτοιες δυνατότητες, και μόνο αρκετές ασταθείς αρχαιολογικές πληροφορίες της σεισμικής καταστροφής ήταν διαθέσιμες. Η ανάλυση ενός αρχείου 1000 ανασκαφών στην

Πάτρα επιτρέπει μια άλλη προσέγγιση. Ψάχνοντας μέσα από αυτές τις εκθέσεις, χρησιμοποιώντας λέξεις- κλειδιά και κύρια χαρακτηριστικά φωτογραφιών που σύμφωνα με την προηγούμενη εμπειρία μας μπορεί να σχετίζεται με τους σεισμούς, μας επέτρεψε να εντοπίσουμε περίπου 100 αναφορές, το 10% του συνολικού αριθμού των αναφερόμενων ανασκαφών που αντιπροσωπεύουν πιθανές πηγές των σεισμολογικών πληροφοριών, ως επί το πλείστον στρώματα καταστροφής και ανωμαλίες στη ζωή της πόλης. Πολλές από τις υπόλοιπες 90% ανασκαφές μπορεί επίσης να περιέχουν παρόμοιες πληροφορίες, αλλά οι εκθέσεις τους είναι πολύ ασαφείς για να παρέχουν κάθε χρήσιμο αποδεικτικό στοιχείο. Αυτό είναι αναμενόμενο, διότι, στις περισσότερες σύντομες εκθέσεις ανασκαφών, τα καθημερινά ευρήματα όπως τοίχοι που έχουν καταρρεύσει σε κτίρια κατοικιών ή σκελετοί χωρίς ταφή κλπ συνήθως αγνοούνται. Αποδεικτικά στοιχεία των στρωμάτων καταστροφής προέρχονται από μερικές πιο λεπτομερείς και πλήρεις εκθέσεις, συνήθως για σημαντικά δημόσια κτίρια. Αυτή είναι μια τυπική κατάσταση για τις σωστικές ανασκαφές στην Ελλάδα, ειδικά για τις ρωμαϊκές και μεταγενέστερες περιόδους. Ο μεγάλος αριθμός των ανασκαφών που παρέχουν αποδεικτικά στοιχεία στρωμάτων καταστροφής είναι εντυπωσιακός. Ανάλογα με το ποια ήταν τα αίτια της καταστροφής, των σεισμών, άλλων περιβαλλοντικών επιπτώσεων ή σκόπιμων καταστροφών, καταστροφικά γεγονότα ανάγκασαν τους επιζώντες να επισκευάσουν ή ακόμα και να εγκαταλείψουν κατεστραμμένα κτίρια, τα επίπεδα των συντριμμιών και να ανοικοδομήσουν τουλάχιστον νέα τμήματα της πόλης πάνω από τα παλιότερα επίπεδα της πόλης μερικές φορές αγνοώντας πολύτιμα οικοδομικά υλικά. Αυτό παρέχει σαφείς ενδείξεις ασυνεχειών στην αστική εξέλιξη της πόλης αλλά δεν υπάρχει καμία απόδειξη ότι συνδυάστηκαν με σημαντικές κοινωνικές και πολιτιστικές αλλαγές: μόνο μία διαδοχή φάσεων κτιρίου συνάγεται με φτωχότερες κατασκευές, απλά αντικατοπτρίζοντας μία ανάγκη για επιβίωση. Για λόγους στατιστικών στοιχείων, αυτά τα αποδεικτικά στοιχεία είναι ισχυρά. Για λόγους ιστορίας, οι πολυάριθμες αναφορές αρχαίων συγγραφέων τείνουν να δείχνουν μια ελάχιστη συνεισφορά των ανθρωπογενών επιδράσεων στο συνολικό προϋπολογισμό των καταστροφών στην Πάτρα. Αυτό είναι σε συμφωνία με την προηγούμενη κλίμακα της καταστροφής που απαιτεί υπερβολική καταστροφική ενέργεια, πέρα από τις δυνάμεις της ανθρώπινης τεχνολογίας πριν από την έλευση των εκρηκτικών υλικών. Ως εκ τούτου, η πλειοψηφία των παρατηρούμενων καταστροφών είναι πιθανόν να συνδέονται με περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Εκτός από λίγες περιπτώσεις,

φυσικές συνθήκες στην Πάτρα και η γεωγραφική κατανομή των στρωμάτων καταστροφής μας επιτρέπουν να αποκλείσουμε αποτελέσματα, όπως η αστάθεια του εδάφους, ιδιαίτερα κατολισθήσεις, αργές τεκτονικές κινήσεις και φυσικά ηφαιστειακές δράσεις, ακόμα και ακραίες κλιματικές επιπτώσεις που είναι γνωστό ότι έχουν παίξει καταστροφικό ρόλο στην ευρύτερη περιοχή. Ως εκ τούτου, οι σεισμοί παραμένουν η πιο λογική εξήγηση για να ικανοποιήσει όλα τα στοιχεία. Φυσικά αυτό είναι μόνο μία υπόθεση, που χρειάζεται επικύρωση. Στην πραγματικότητα, η ανάλυση μας αποκάλυψε ότι μόνο ένα μέρος των αναφερόμενων στρωμάτων καταστροφής συνοψίζονται στον συμπληρωματικό πίνακα 1 μπορεί να ανατεθεί με κάποια εμπιστοσύνη στους σεισμούς, διότι δε πληρούν ειδικά διαγνωστικά κριτήρια. Ακόμα, κάθε μία από αυτές τις εκσκαφές συνδυάζεται με συστάδες άλλων εκσκαφών που παρέχουν μόνο ασθενή στοιχεία των σεισμικών καταστροφών. Τέτοιοι συνδυασμοί αυξάνουν τη συνολική εμπιστοσύνη για την υπόθεση του σεισμού, επειδή κάθε συμπληρωματική πληροφορία για ένα σεισμό, ακόμη και από μικρή πιθανότητα, τείνει να αυξήσει τη συνολική πιθανότητα ενός σεισμού από μια μικρή τιμή. Αυτό προσφέρει μία περαιτέρω ενίσχυση της υπόθεσης των σεισμών. Αυτή είναι μια νέα προσανατολισμένη στην πόλη και στατιστική προσέγγιση για τον εντοπισμό των σεισμών και είναι διαφορετική από την ντετερμινιστική προσέγγιση που βασίζεται σε έναν πλούτο των δεδομένων των Galli και Mollin για τη Ρώμη ή από διάφορες άλλες προσεγγίσεις που προτείνονται μέχρι στιγμής: γεωλογικές ενισχυμένες προσεγγίσεις, ενισχυμένες προσεγγίσεις μοντέλων ρηγμάτων, σεισμολογικές ενισχυμένες προσεγγίσεις, περιφερειακές, χαρακτηριστικά προσανατολισμένες προσεγγίσεις. Η προτεινόμενη μεθοδολογία αναμένεται να αποδειχθεί χρήσιμη σε πολλές αρχαίες πόλεις στις οποίες υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός ανασκαφών, ειδικά για περιοχές με σχετικά μεγάλα χρονικά διαστήματα επανάληψης των σεισμών.



Εικόνα 4.4. Οι ανασκαφές που επιτρέπουν την χρονολόγηση των καταστροφών και των σεισμών (από τον πρώτο έως τον έκτο αιώνα). Η θέση φαίνεται στην Εικόνα 2. Γύρω από κάθε μία από αυτές τις ανασκαφές, οι συστάδες των άλλων με αδύναμα στοιχεία για τους σεισμούς υπάρχουν, αλλά ο συνδυασμός τους αυξάνει την πιθανότητα των σεισμών.

Στη συνέχεια του 4^{ου} κεφαλαίου θα γίνουν κάποιες ιστορικές αναφορές σχετικά πάντα με τους σεισμούς. Είναι δελεαστικό να συσχετιστούν οι συναχθέντες

σεισμοί με δύο γνωστούς σεισμούς από φιλολογικές πηγές. Ο Ρωμαίος συγγραφέας Seneca αναφέρει ένα σεισμό που προκαλεί καταστροφή στην Αχαΐα. Επειδή υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα που περιβάλλει την περιοχή που καλύπτεται από την Αχαΐα στην αρχαιότητα, δεδομένου ότι η έκταση της περιοχής αυτής ήταν μεταβλητή με το χρόνο, αυτός ο σεισμός δεν έχει συσχετιστεί με οποιαδήποτε συγκεκριμένη πόλη μέχρι στιγμής. Ωστόσο, δεδομένου ότι η Πάτρα ήταν η πρωτεύουσα της Αχαΐας και η μόνη ρωμαϊκή αποικία στην ευρύτερη περιοχή, δεν είναι παράλογο να υποστηριχθεί ότι τα στρώματα καταστροφής που μπορεί να χρονολογηθούν στον 1^ο αιώνα μΧ μπορεί πράγματι να αντιστοιχούν στον σεισμό της Αχαΐας που αναφέρθηκε από τον Σενέκα. Ο σεισμός του 6^{ου} αιώνα που προέρχεται κυρίως από τα στοιχεία σε ένα κοιμητήριο μπορεί να σχετίζονται με το σεισμό του 551 μ.Χ. που αναφέρθηκαν από τον ιστορικό Προκόπιο του 6^{ου} αιώνα. Σαφώς, η έκθεση του είναι ασαφής, επειδή αναφέρει σοβαρές σεισμικές βλάβες στη Ναύπακτο και στις πόλεις της Κεντρικής Ελλάδας, περισσότερο από 100 χλμ βορειοανατολικά. Επειδή τα φασματικά χαρακτηριστικά των κτιρίων κατά την αρχαιότητα αποκλείουν τη δυνατότητα ενός ενιαίου σεισμού να είναι υπεύθυνος για την καταστροφή σε μια τέτοια ευρεία περιοχή, μπορεί να υποτεθεί ότι η έκθεση του Προκόπιου αντιπροσωπεύει μια συγχώνευση των πληροφοριών της καταστροφής από τουλάχιστον 2 διαφορετικούς σεισμούς, ένας από αυτούς στην περιοχή της Ναυπάκτου. Πράγματι, για τη Ναύπακτο υπάρχουν σαφείς αρχαιολογικές ενδείξεις της καταστροφής: λείψανα μιας μνημειακής παλαιοχριστιανικής εκκλησίας ανασκάφηκαν στο κέντρο της Ναυπάκτου, και κάτω από τα συντρίμια της βρέθηκε ο σκελετός ενός άντρα. Η καταστροφή χρονολογήθηκε στον 6^ο αιώνα και τα συνολικά ευρήματα δείχνουν σαφώς μια σημαντική σεισμική καταστροφή. Μία ένωση αυτής της καταστροφής με το σεισμό του 551 μ.Χ. είναι ως εκ τούτου λογική. Ένας από αυτούς τους συνεπαγόμενους σεισμούς φαίνεται να έχουν διευκολύνει τη μετάβαση από τη ρωμαϊκή, ειδωλολατρική κουλτούρα στον χριστιανικό πολιτισμό σε αναλογία με την Κρήτη. Εκτός από το παράδειγμα αυτό, υπάρχουν ιστορικά ή πολιτιστικά χάσματα που ακολουθούν αυτούς τους σεισμούς, αλλά η ζωή φαίνεται να συνεχίζεται αν και σε πολύ χαμηλότερο επίπεδο, τουλάχιστον σε ορισμένες περιπτώσεις και μπορεί να έχουν προκαλέσει πιθανόν μια σταδιακή παρακμή της πόλης από τον 4^ο αιώνα μ.Χ. Ο μύθος για τη μεταφορά των λειψάνων του Αγίου Ανδρέα στη Σκωτία στον 6^ο αιώνα μπορεί επίσης να σχετίζεται με τη παρακμή της Πάτρας μετά από έναν καταστροφικό σεισμό, αλλά αυτό είναι μόνο μία υπόθεση. Ένα πιο γενικό συμπέρασμα από τη

συζήτηση των ιστορικών δεδομένων σεισμικότητας είναι ότι όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή του παρόντος εγγράφου περισσότεροι από 70 αρχαίοι Έλληνες και περισσότεροι από 15 αρχαίοι Ρωμαίοι συγγραφείς αναφέρονται στην Πάτρα, αλλά για μόνο δύο από αυτούς υπάρχουν κάποιες έμμεσες αποδείξεις σεισμικής καταστροφής. Αυτό δείχνει μια προκατάληψη σε ιστορικά στοιχεία, που τείνει να αγνοήσει τους σεισμούς ή να υπερβάλλει στις επιπτώσεις τους, συνήθως λόγω θρησκευτικών επιπτώσεων.

Παρακάτω θα γίνει αναφορά στις παραμέτρους των δειγμάτων. Σε τουλάχιστον μια περίπτωση σε ρωγμές στην Πάτρα έχουν παρατηρηθεί σε ερείπια αρχαίων κτιρίων αλλά σε αντίθεση με διάφορες μελέτες που αγνοήθηκαν επειδή στις περισσότερες περιπτώσεις δείχνουν αστάθεια στα θεμέλια και επειδή ακόμη μεγαλύτερες ρήξεις στο έδαφος ήταν ένα θέμα συζήτησης. Σε μία από τις ανασκαφές παρατηρήθηκαν συμπιεσμένοι πλευρικά τάφοι με ένα μοτίβο παρόμοιο με αυτό που έχει ερμηνευθεί ως προβληματική ολίσθηση στην Κεντρική Ελλάδα. Ακόμη και σε αυτήν την περίπτωση, τα διαθέσιμα στοιχεία στις μέρες μας είναι πολύ περιορισμένα για να δικαιολογήσουν περαιτέρω τεκτονικές προτάσεις. Ένα άλλο πρόβλημα είναι η εκτίμηση των παραμέτρων που σχετίζονται με τους ίδιους τους σεισμούς, όπως η ένταση, το μέγεθος και το επίκεντρο. Ακόμη και όταν είμαστε βέβαιοι για τα στοιχεία μας για τους σεισμούς, υιοθετούμε μια πολύ συντηρητική προσέγγιση όσο αφορά τις παραμέτρους τους. Πολύ ισχυρή καταστροφή, ακόμη και σχεδόν ολοκληρωτική σύγχρονων πόλεων έχει προκληθεί από σεισμούς μετρίου μεγέθους και δεν είναι δικαιολογημένο να εκτιμηθεί το μέγεθος του σεισμού από την καταστροφή σε μια μόνο πόλη. Αντιθέτως είναι δυνατόν να τεθούν ορισμένοι περιορισμοί στην περιοχή του επίκεντρου. Ο βασικός λόγος είναι ότι η καταστροφή σχετίζεται με το φασματικό περιεχόμενο των σεισμικών κυμάτων. Ένα ή δύο κτίρια όπως αυτά στην Πάτρα ή στην Ναύπακτο είναι δύσκαμπτα, και δομές χαμηλής περιόδου και καταστρέφονται μόνο από κύματα υψηλής ενέργειας χαμηλής περιόδου. Σεισμοί μετρίου μεγέθους παράγουν μόνο κύματα μικρής περιόδου που είναι ιδιαίτερα εξασθενημένα με την απόσταση και σε αποστάσεις μερικών δεκάδων χιλιομέτρων από δική τους υπαιτιότητα δεν προκαλούν ζημιά. Σεισμοί μεγάλου μεγέθους παράγουν κύματα τόσο υψηλής όσο και χαμηλής περιόδου και είναι επιβλαβή σε μεγάλες αποστάσεις, αλλά μόνο για ψηλές και λεπτές δομές όπως πύργους και μιναρέδες. Για τους λόγους αυτών των θεμελιωδών αρχών της τεχνικής σεισμολογίας μπορούμε να συσχετίσουμε

με ασφάλεια τις σεισμικές βλάβες στην Πάτρα και στην Ναύπακτο με τους τοπικούς σεισμούς, με επίκεντρα σε μέγιστη απόσταση 15-25 χλμ από αυτές τις πόλεις. Ωστόσο, δεδομένου ότι υπάρχουν πολλά ενεργά ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή δε μπορούν να προταθούν σταθερότεροι περιορισμοί στο επίκεντρο των σεισμών και στα ρήγματα τους. Τέλος, παρά τους περιορισμούς των δεδομένων, μπορεί να υποτεθεί ότι τα διαστήματα επανάληψης των μεγάλων σεισμών στην Πάτρα κατά τη ρωμαϊκή περίοδο δεν υπερβαίνεται τα 200 έτη.

Τέλος, κλείνοντας αυτό το κεφάλαιο αξίζει να σημειωθεί ότι, η αστική ιστορία της ρωμαϊκής Πάτρας δεν είχε σχέση με τους σεισμούς και αυτό είναι περίεργο για μία πόλη στην περιοχή των μεγάλων ενεργών ρηγμάτων και με μεγάλες σεισμικές ζημιές κατά τους τελευταίους αιώνες. Μια προκαταρκτική μελέτη του αρχαιολογικού υλικού προσκόμισε αποδεικτικά στοιχεία των σεισμών κατά τη ρωμαϊκή περίοδο. Μια επακόλουθη συστηματική μελέτη των συνοπτικών εκθέσεων περίπου 1000 αρχαιολογικών ανασκαφών προσκόμισε αποδεικτικά στοιχεία των μεγάλων καταστροφικών σεισμικών γεγονότων που σημάδεψαν την ιστορία της ρωμαϊκής πόλης. Μία νέα στατιστική πιθανολογική προσέγγιση για τη συλλογή και αξιολόγηση των δεδομένων υιοθετήθηκε. Μία αναζήτηση χρησιμοποιώντας βασικούς όρους και τα βασικά χαρακτηριστικά σε φωτογραφίες μας οδήγησαν να εντοπίσουμε πιθανά αποδεικτικά στοιχεία των σεισμών σε περίπου 10% των ανασκαφών. Από την ανάλυση του συνόλου αυτού των δεδομένων με αυστηρά κριτήρια, ένας μικρός αριθμός σεισμών ήταν τεκμηριωμένες. Κάθε μία από τις ανασκαφές που παρέχουν ισχυρές ενδείξεις σεισμών σχετίζεται με τις συσπειρώσεις των άλλων ανασκαφών με πιθανά συμπτώματα των σεισμών, αλλά οι πληροφορίες αυτές ενισχύουν τη συνολική υπόθεση της σεισμικής καταστροφής από την άποψη της στατιστικής και των πιθανοτήτων. Τα αποτελέσματα μας είναι σημαντικά από μεθοδολογική άποψη, αλλά και από πρακτική, επειδή παρέχουν νέους περιορισμούς για την ιστορία της Πάτρας και για την αξιολόγηση του σεισμικού κινδύνου. Η 6^η εφορία αρχαιοτήτων στην Πάτρα και ειδικά ο διευθυντής της ευχαριστήθηκαν για την παροχή πρόσβασης στα αρχεία τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσω παλαιοσεισμολογικά δύο περιπτώσεις. Αρχικά θα αναφερθώ και θα αναλύσω το αρχαίο ωδείο της Πάτρας και στη συνέχεια τα αρχαία ευρήματα στην αρχαιολογικό χώρο της Αρχαίας Κορίνθου. Για το σκοπό αυτό, επισκέφτηκα αυτά τα δύο αρχαία μνημεία, ώστε να συλλέξω τις απαραίτητες πληροφορίες καθώς και το απαραίτητο φωτογραφικό υλικό. Με βάση τα όσα παρέθεσα στο κεφάλαιο 1 και με τα παραδείγματα των προηγούμενων κεφαλαίων έκανα και τη δική μου ανάλυση.

5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΡΧΑΙΟΥ ΩΔΕΙΟΥ ΠΑΤΡΑΣ ΚΑΙ ΕΥΡΥΜΑΤΩΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΑΡΧΑΙΑΣ ΚΟΡΙΝΘΟΥ.

5.2.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΡΩΜΑΪΚΟ ΑΡΧΑΙΟ ΩΔΕΙΟ



Το αρχαίο Ωδείο της Πάτρας μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα εντυπωσιακό μνημείο, το οποίο ορθώνεται ως και σήμερα και χρονολογείται το α' μισό του 2ου μ.Χ. αιώνα. Το Ωδείο κατασκευάστηκε πιθανότατα στα χρόνια του Αυγούστου.

Ο Πausανίας αναφέρει ότι ήταν παλιότερο από το Ωδείο Ηρώδου του Αττικού και βρισκόταν συνεχόμενο της ρωμαϊκής αγοράς της πόλης, ήταν στολισμένο λαμπρά αλλά όχι όπως το Ηρώδειο που το θεωρούσε λαμπρότερο. Ο Πausανίας στο έργο του "Ελλάδος Περιήγησις" στο έβδομο βιβλίο με τίτλο Αχαϊκά, γράφει για το Ωδείο ότι ήταν το ωραιότερο από τα άλλα ωδεία στην Ελλάδα και το μόνο, που το ξεπερνούσε σε μέγεθος ήταν το ωδείο, που χάρισε ο Ηρώδης ο Αττικός. Τα ωδεία ήταν στεγασμένα θέατρα, ωστόσο τα αρχαιολογικά κατάλοιπα δεν δίνουν καμία ένδειξη για τον τρόπο στέγασής του. Αν και πρόσφατα ο Μανώλης Κορρές έδειξε πως ήταν φτιαγμένη η στέγη του Ηρωδείου.¹

Το Ωδείο βρισκόταν για χρόνια κάτω από το λόφο Στράνη στην άνω πόλη. Πρώτη φορά είδε το μνημείο ο Γάλλος περιηγητής Πουκεβίλ το 1816, έπειτα και άλλοι περιηγητές. Η ομορφιά του τους επέτρεψε να το παρομοιάζουν με το ωδείο της βίλλας του Ανδριανού στο Τινολί. Στα χρόνια που πέρασαν το Ωδείο έπαθε ζημιές από φυσικές καταστροφές και επιδρομές και επιχωματώθηκε. Ο Φρανσουά Πουκεβίλ αναφέρει ότι στα χρόνια του σωζόταν τμήματα του στον περίβολο σπιτιών. Το 1889 αποφασίστηκε να γκρεμιστεί ο λόφος του Στράνη και τα χώματα να χρησιμοποιηθούν στην επιχωμάτωση του λιμανιού που κατασκευαζόταν τότε, κατά τις εργασίες αυτές ανακαλύφθηκε ξανά το Ωδείο.

Το Ωδείο όμως, αποκαλύφθηκε μόνο το 1889 και το 1938 έως το 1943 πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες εργασίες στερέωσης. Το 1959 δόθηκε στο μνημείο η σημερινή του μορφή με πρωτοβουλία και δαπάνες του Πατρινού αρχιτέκτονα, Ιωάννη Βασιλείου.

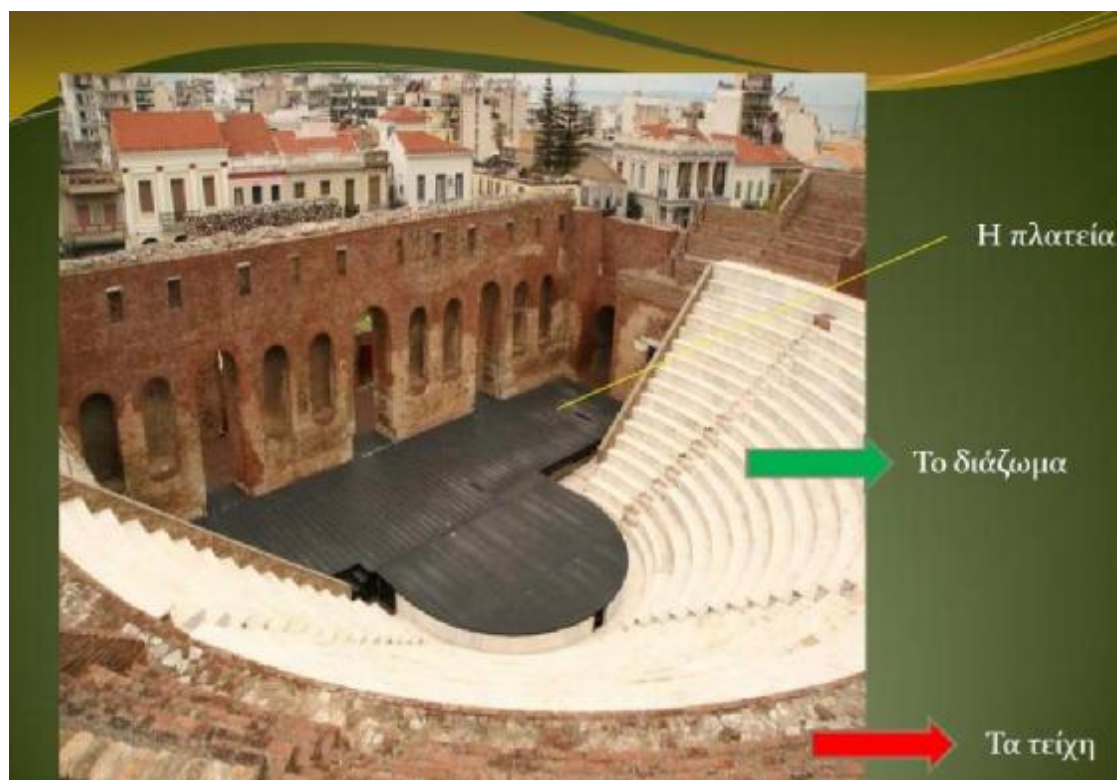
Συνέπραξε επίσης και η Αρχαιολογική Εταιρεία και οι εργασίες ολοκληρώθηκαν το 1961. Για το έργο αυτό μάλιστα ο Βασιλείου τιμήθηκε από την Ακαδημία Αθηνών και τον Δήμο Πατρέων.

Η ανασκαφή αποκάλυψε ότι είχε κτιστεί πάνω σε παλιότερα ρωμαϊκά κτίσματα, ότι υπήρχε ξύλινο δάπεδο στη σκηνή, ότι είχε πολύ καλό αποχετευτικό σύστημα, που λειτουργεί ως σήμερα, και ότι εγκαταλείφθηκε στα τέλη του 3ου αι μ.Χ. μετά από μια καταστροφική πυρκαγιά.

¹ Μανώλης Κορρές, *Η στέγη του Ηρωδείου και άλλες γιγάντιες γεφυρώσεις*, Μέλισσα, 2014

Τα θέατρα αποτελούσαν κατά τη Ρωμαϊκή εποχή τυπικό στοιχείο του αστικού τοπίου, έτσι και το Ωδείο της Πάτρας σύμφωνα με τον Πausανία συνδεόταν με την αγορά της πόλης, η οποία θα βρισκόταν στα ανατολικά του Ωδείου.

Το Ωδείο εμφανίζει όλα τα χαρακτηριστικά ενός ρωμαϊκού θεάτρου, με ημικυκλική κάτοψη, κούλο, ορχήστρα, προσκήνιο, σκηνή, παρασκήνια και στις 23 σειρές καθισμάτων του δύνανται να φιλοξενηθούν 2.900 θεατές. Επίσης, έχει στεγασμένα περάσματα προς την ορχήστρα, βαθιά χαμηλή σκηνή με κούλο. Ενώ, όσον αφορά τη διαμόρφωση του Ωδείου αποτελείται από έξι κλίμακες, που το χωρίζουν σε επτά κερκίδες.



Εικόνα 5.2.1.1 Ανάλυση των τμημάτων που αποτελούν το αρχαίο ωδείο της Πάτρας.

Για την κατασκευή χρησιμοποιήθηκε κυρίως το υλικό του πλίνθου (τούβλο). Ένα υλικό με ευρεία χρήση και από τους Ρωμαίους αλλά και τα μεταγενέστερα χρόνια, λόγω της ευτελούς αξίας του υλικού και της ευχέρειας στην εύρεση του. Η χρήση της πλίνθου γίνεται εξωτερικά. Εσωτερικά υπάρχουν λίθοι και συνδετικό υλικό μεταξύ των πλίνθων το ασβεστοκονίαμα (διαδεδομένο στα βυζαντινά χρόνια).

Η ημικυκλική ορχήστρα έχει διάμετρο 8.9μ.. Λόγω της πλήρους αναστήλωσης του μνημείου χάθηκαν κάποιες πληροφορίες ως προς τη χρήση του. Για παράδειγμα αν είχε υποστεί μετατροπές για αναπαραστάσεις ναυμαχιών ή μάχες με θηρία. Ωστόσο, κάτι τέτοιο επιδέχεται απάντηση από το πρόσφατα ανασκαμμένο αμφιθεατρικό κτήριο στα δυτικά του Ωδείου, που πιθανόν προβλεπόταν για την αναπαραγωγή τέτοιων θεαμάτων.

Συμβολίζοντας έτσι το νέο τρόπο ζωής των κατοίκων της Πάτρας, βασισμένο στα ρωμαϊκά πρότυπα, με σεβασμό στο ελληνικό παρελθόν, κυρίως των ελευθεριών, που πρεσβεύει το θέατρο. Η αλήθεια είναι ότι το ρωμαϊκό Ωδείο αποτελεί ένα μνημείο μοναδικό για την πόλη της Πάτρας. Σήμερα, στο χώρο φιλοξενούνται δράματα, κωμωδίες, συναυλίες και άλλου είδους θεατρικά έργα.

5.2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΩΔΕΙΟΥ

Παρακάτω θα αναλύσουμε κάποιες εικόνες από το εσωτερικό τμήμα του αρχαίου ωδείου, το οποίο έχει υποστεί ζημιές από σεισμούς. Ποιο συγκεκριμένα θα αναλύσουμε τη ζημιά που έχει υποστεί κάθε τμήμα σύμφωνα με το είδος του σεισμού στην κάθε περίπτωση.

Σύμφωνα με το πρώτο κεφάλαιο, στο οποίο είχε γίνει αναφορά στα είδη των ρηγμάτων, παρατηρούμε ότι το είδος του ρήγματος που έχουν υποστεί οι παρακάτω κολώνες στις φωτογραφίες που ακολουθούν, είναι ανάστροφου ρήγματος με τάση συμπιεστική. Πιο συγκεκριμένα, αυτό το καταλαβαίνουμε από το ότι στο ανάστροφο ρήγμα, το πέτρωμα και στις δύο πλευρές του ρήγματος συμπιέζεται ισχυρά. Οι συμπιεστικές δυνάμεις ωθούν το πάνω τμήμα να ολισθήσει προς τα πάνω και το κατώτερο τμήμα να κατευθυνθεί προς τα κάτω, με αποτέλεσμα να δημιουργείται μεγάλη γωνία ρήγματος. Οι ζημιές που έχουν υποστεί οι παρακάτω κολώνες είναι κατά 95% από τεκτονικό σεισμό, αλλά κάποιες από τις ρωγμές μπορεί να προέρχονται και από τους πολέμους, και έτσι κατατάσσονται στους εγκατακρημισιγενείς σεισμούς. Αυτό το συμπεραίνουμε από τις βόμβες που έσκαγαν στο έδαφος με αποτέλεσμα να δημιουργούνται αυτού του είδους οι σεισμοί.



Εικόνα 5.2.2.1. Κολώνα του Αρχαίου Ρωμαϊκού Ωδείου της Πάτρας, η οποία έχει υποστεί εφελκυστική δύναμη.



Εικόνα 5.2.2.2. Η βάση της κολώνας έχει υποστεί ανάστροφο ρήγμα.

Στις παρακάτω εικόνες (5.1.2.3.,5.1.2.4) παρατηρούμε ότι το είδος του ρήγματος που έχουν υποστεί είναι κανονικού ρήγματος με τάση εφελκυστική. Πιο συγκεκριμένα, στα κανονικά ρήγματα, το σπάσιμο των πετρωμάτων μετακινείται προς τα πάνω ή προς τα κάτω κατά μήκος της επιφάνειας διάρρηξης. Στο κανονικό ρήγμα, το τμήμα της ανώτερης πλευράς της διάρρηξης ολισθαίνει προς τα κάτω.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το ξεχωρίζουμε από το ανάστροφο ρήγμα, επειδή η γωνία του ρήγματος δεν είναι μεγάλη όπως παρατηρήσαμε στις δυο παραπάνω εικόνες.



Εικόνα 5.2.2.3. Κολώνα η οποία έχει υποστεί εφελκυστική τάση.



Εικόνα 5.2.2.4. Και αυτή η κολώνα έχει δεχτεί τάση εφελκυστική, γι αυτό το "σπάσιμό" της δεν είναι υπό μεγάλη γωνία.

5.3. ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΡΧΑΙΑ ΚΟΡΙΝΘΟ.



Τα ίχνη της ολβίας Κορίνθου είναι πολλά και ενδιαφέροντα. Σταχυολογούμε:

Ο περίφημος και επιβλητικός, ακόμη και σήμερα, αρχαϊκός ναός του Απόλλωνα, με τους μονολιθικούς δωρικούς κίονες από τους οποίους εφτά παραμένουν όρθιοι σε περίοπτη θέση πάνω από τα ερείπια της αγοράς.

Οι δωρικοί κίονες του πετρού ήταν 6 στις στενές πλευρές και 15 στις μακρές. Για τη στήριξη της οροφής υπήρχαν και εσωτερικές κιονοστοιχίες κατά μήκος του αρκετά επιμήκους σηκού, ο οποίος ήταν χωρισμένος σε δύο δωμάτια και επιπλέον σε πρόναο και οπισθόδομο που είχαν στην πρόσοψή τους ανά δύο κίονες ανάμεσα σε παραστάδες.

Ο ναός χτίστηκε περί το 530 π.Χ. Η αγορά είχε μορφή ορθογωνίου και διαστάσεις 160 μέτρα μήκος και 70 πλάτος. Τα κυριότερα κτίσματα που την περιβάλλουν είναι η νότια στοά, που σχηματίζεται από σειρά ομοιόμορφων καταστημάτων, καθένα από τα οποία ήταν χωρισμένο σε δύο δωμάτια. Μπροστά στα καταστήματα υπάρχει διπλή σειρά κιονοστοιχίας.

Η εξωτερική ήταν δωρική, ενώ η εσωτερική ιωνική. Ανάμεσα σ' αυτή τη στοά παρεμβάλλεται το βουλευτήριο.

Άλλη σειρά καταστημάτων της αγοράς είναι τα κεντρικά καταστήματα με το "βήμα του Αποστόλου Παύλου" ανάμεσά τους και μία άλλη σειρά είναι τα

βορειοδυτικά καταστήματα, που περιλαμβάνουν το χαρακτηριστικό τοξωτό οικοδόμημα ανάμεσά τους. Αφήνοντας την αγορά και κατεβαίνοντας τα μνημειακά σκαλοπάτια των προπυλαίων, προσεγγίζουμε την οδό Λεχαίου. Κοντά της βρίσκεται η Πειρήνη κρήνη με τα έξι ανοίγματα (τους χώρους που μοιάζουν σα σπηλιές), όπως μας λέει ο Πausanias. Ενδιαφέρουσα είναι και η κρήνη Γλαύκη, σκαλισμένη σε βράχο.



Εικόνα 5.3.α. Ένα από τα αρχαία καταστήματα στην αγορά.

Έξω από τον κυρίως αρχαιολογικό χώρο επισκέψιμο είναι τα εξής μνημεία: Το Ωδείο, το οποίο κατασκευάστηκε στο τέλος του 1ου αιώνα μ.Χ., ανακαινίστηκε από τον Ηρώδη τον Αττικό και δημιουργήθηκε τότε η αυλή του με στοές γύρω, η οποία έφερε το ωδείο πλησιέστερα στο θέατρο.

Αυτό βρίσκεται λίγο χαμηλότερα. Βεβαιώθηκαν ίχνη ενός παλιότερου θεάτρου του τέλους του 5ου π.Χ. αιώνα με ξύλινη σκηνή. Τον 3ο π.Χ. αιώνα το θέατρο αποκτά χτιστή σκηνή.



Εικόνα 5.3.β. Αναπαράσταση του αρχαίου θεάτρου.

Το κοίλο του (κερκίδες) υπολογίζεται πως ήταν χωρητικότητας 18.000 θεατών. Στην αρχή του 3ου μ.Χ. αιώνα η ορχήστρα μετατράπηκε σε ρωμαϊκή αρένα για θηριομαχίες. Βόρεια του θεάτρου εντοπίζονται λείψανα του γυμνασίου.

5.3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΑΡΧΑΙΩΝ

Παρακάτω θα αναλύσουμε κάποιες εικόνες από διάφορα ευρήματα στον αρχαιολογικό χώρο, τα οποία έχουν υποστεί ζημιές από σεισμούς. Ποιο συγκεκριμένα θα αναλύσουμε τη ζημιά που έχουν υποστεί σύμφωνα με το είδος του σεισμού στην κάθε περίπτωση.

Στη συνέχεια βλέπουμε δυο κολώνες Κορινθιακού ρυθμού, οι οποίες έχουν υποστεί ζημιά και συγκεκριμένα ρωγμή. Προφανώς, η ρωγμή προκλήθηκε από κάποιον αρχαίο τεκτονικό σεισμό. Πιο συγκεκριμένα, έχουν υποστεί ρήγμα κανονικού είδους με τάση εφελκυστική. Επίσης, στα κανονικά ρήγματα, το σπάσιμο των πετρωμάτων μετακινείται προς τα πάνω ή προς τα κάτω κατά μήκος της επιφάνειας διάρρηξης. Εδώ να σημειωθεί ότι στην Εικόνα 5.2.1.γ. στο κάτω μέρος της παρατηρείται ρωγμή μεγάλης γωνίας, οπότε θεωρούμε ότι το είδος που κατατάσσεται είναι το ανάστροφο. Εκτός από τη ρωγμή, παρατηρούμε και το σπάσιμο της στο επάνω μέρος, το οποίο είναι ακόμα πιο ξεκάθαρα ανάστροφου είδους, λόγω της μεγάλης γωνίας που έχει σχηματιστεί.



Εικόνα 5.3.1.α. Κολώνα Κορινθιακού ρυθμού με ρωγμή στο κάτω μέρος από σεισμό.



Εικόνα 5.3.1.β. Στην παραπάνω κολώνα παρατηρούμε πάνω από μία ρωγμές σε διάφορα σημεία της.



Εικόνα 5.3.1.γ. Και αυτή η κολώνα είναι Κορινθιακού ρυθμού και έχει υποστεί ζημιά από κάποιον αρχαίο σεισμό.

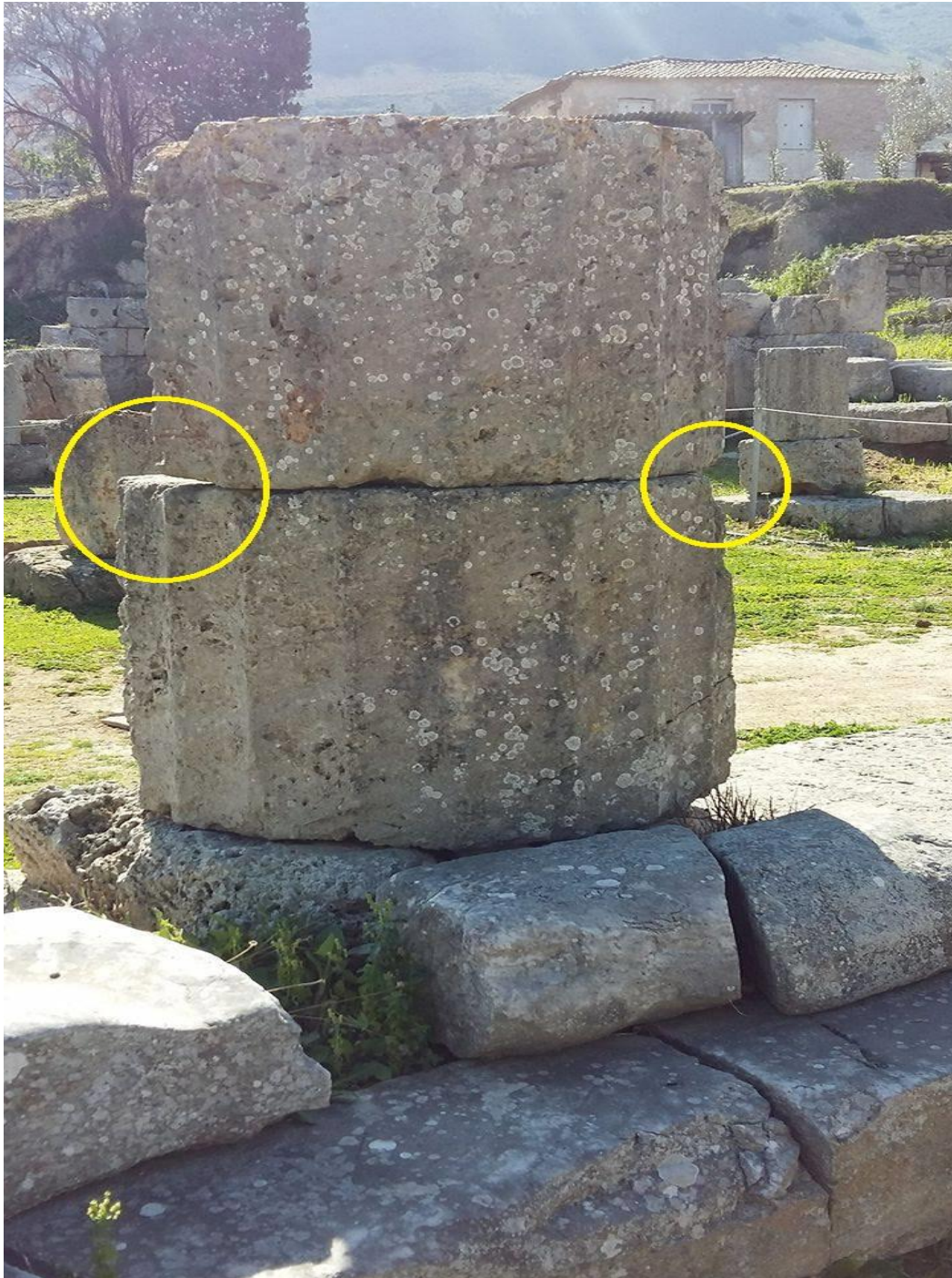
Στη συνέχεια, αναλύω άλλου είδους ρηγμάτων και ζημιών που έχουν υποστεί αρχαία ευρήματα. Πιο αναλυτικά, στην Εικόνα 5.2.1.δ παρατηρούμε μία παράλληλη “τακτοποίηση” μίας κολώνας μέσα στον αρχαιολογικό χώρο, στην οποία το

χαρακτηριστικό είναι η διαρρύθμιση «ντόμινο», που προκλήθηκε από σεισμική δόνηση πιθανόν τη Βυζαντινή περίοδο. Επίσης, στην Εικόνα 5.2.1.ε βλέπουμε ένα μέρος μιας αρχαίας κολώνας. Παρατηρούμε την μετατόπιση που έχει υποστεί το επάνω μέρος από το κάτω, λόγω της ταλάντωσης που δέχτηκε, προφανώς από κάποιον αρχαίο σεισμό. Μέσα στους κύκλους φαίνεται η μετατόπιση που έχει γίνει.



Εικόνα 5.3.1.δ.

Κολώνα με «τακτοποίηση ντόμινο».



Εικόνα 5.3.1.ε. Ένα μέρος αρχαίας κολώνας με μετατόπιση δεξιά και αριστερά.

Τέλος, στην Εικόνα 5.2.1.στ. βλέπουμε τη βάση μιας κολώνας, η οποία έχει σπάσει στη μέση και σύμφωνα με αυτό καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι, είναι αριστερόστροφη ρωγή οριζόντιας μετατόπισης. Αυτό το συμπεραίνουμε από το ότι το δεξί μέρος της βάσης έχει μετακινηθεί οριζόντια προς τα πάνω. Επιπροσθέτως, στην τελευταία εικόνα του κεφαλαίου παρατηρείται μία αρχαία κλίνη (κρεβάτι). Έχει

αρκετές ρωγμές κυρίως οριζόντια και αυτό δηλώνει ότι έχει υποστεί διάτμηση, γι' αυτό και οι ρωγμές δεν είναι υπό γωνία, αλλά κάθετες ή οριζόντιες.



Εικόνα 5.3.1.στ. Βάση αρχαίας κολώνας.



Εικόνα 5.3.1.ζ. Κλίνη (κρεβάτι) που το χρησιμοποιούσαν τα αρχαία χρόνια.

Και από τις δύο παραπάνω περιπτώσεις που αναλύθηκαν, βλέπουμε πως η προσεκτική ανάλυση των ερείπιων μας δίνει αρκετές πληροφορίες για το πώς καταστράφηκαν όλοι αυτοί οι αρχαίοι «θησαυροί». Σχεδόν όλες οι καταστροφές πηγάζουν από τους ισχυρούς σεισμούς που έγιναν ανά τους αιώνες και όπως αναλύσαμε παραπάνω ανάλογα με τις ζημιές που προκάλεσαν στα μνημεία τους χωρίζουμε σε κατηγορίες. Επίσης, οι ζημιές προέρχονται κυρίως από τεκτονικούς σεισμούς, αλλά και από εγκατακρημισιγενείς κατά τη διάρκεια των πολέμων λόγω των βομβών που έσκαγαν στο έδαφος. Στην αναγνώριση και κατηγοριοποίηση των καταστροφών συμβάλλει η Αρχαιοσεισμολογία με τις συνεχείς της έρευνες και την πρόοδό της.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας συμπεραίνονται τα παρακάτω :

- ✓ Μάθαμε πώς συμβάλλει η Αρχαιοσεισμολογία στην μελέτη των σεισμών, καθώς και πότε οι ζημιές σε κτίρια, ναούς και κολώνες είναι από σεισμό ή από λεηλασίες κατά την περίοδο των πολέμων.
- ✓ Από τη θεωρία των ρηγμάτων προκύπτει ότι ανάλογα με την τάση που δέχεται το κτίριο, χαρακτηρίζουμε το ρήγμα ως κανονικό, ανάστροφο ή οριζόντιο.
- ✓ Μάθαμε ότι τα σεισμικά κύματα καθώς μεταδίδονται εκδηλώνουν μία κάθετη δύναμη και μία οριζόντια, η οποία ασκείται στην κορυφή της κατασκευής. Έτσι, αναλόγως την κατασκευή, τα υλικά και τη συντήρηση του κτιρίου θα δεχτεί τις ανάλογες ζημιές.
- ✓ Επίσης, υπάρχουν και εξωτερικές δυνάμεις, όπως άνεμοι, κατολισθήσεις, εκρήξεις, πλημμύρες και άλλα, οι οποίες έχουν προκαλέσει καταστροφές σε αρχαία μνημεία χωρίς ο κύριος λόγος να είναι σεισμός.
- ✓ Μάθαμε τις επτά πλάκες από τις οποίες αποτελείται η λιθόσφαιρα της γης και ότι οι κινήσεις των πλακών αυτών είναι η αιτία γένεσης των σεισμών και κατ' επέκταση των ζημιών που μπορούν να προκαλέσουν. Οι κινήσεις τους μπορεί να είναι: να απομακρύνεται η μία από την άλλη, να πλησιάζει η μία την άλλη και τρίτον να ολισθαίνουν (γλιστρούν) η μία στην άλλη.
- ✓ Μέσω της χρωματικής αντίθεσης του ρήγματος, την ανάπτυξη των λειχαιών και τη διαφορά τραχύτητας στην επιφάνεια τους μπορούμε να συμπεράνουμε περίπου πόσο χρονών είναι το ρήγμα.
- ✓ Από τα παραδείγματα των αρχαίων σεισμών μάθαμε ότι τους σεισμούς τους μετέφραζαν ως οργή των Θεών. Επίσης, μάθαμε πώς αντιδρούσε η φύση και πώς προετοιμαζόταν για το σεισμό που θα ακολουθούσε. Για παράδειγμα τρεις μέρες πριν το σεισμό είχαν ισχυρές καταιγίδες και κρύο, κάτι που ήταν περίεργο για την εποχή εφόσον διένυαν την καλοκαιρινή περίοδο.
- ✓ Από την ανάλυση παραδειγμάτων σεισμών των τελευταίων δεκαετιών μάθαμε ότι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη των ζημιών που έγιναν στα κτίρια ήταν με πυξίδα και ταινία μέτρησης, καθώς και οι φωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν για να τεκμηριωθούν οι αυτές.
- ✓ Από την προσωπική μου ανάλυση μάθαμε ότι οι ζημιές που έχουν υποστεί οι κολώνες στο Αρχαίο Ωδείο της Πάτρας είναι κατά 95% από τεκτονικό σεισμό και το υπόλοιπο 5% οφείλεται σε εγκατακρημσιγενείς σεισμούς, δηλαδή από βόμβες κατά τη διάρκεια των πολέμων.
- ✓ Η ανάλυση σχετικά με την πόλη της Πάτρας, όπου διαχωρίζονται ποιοι σεισμοί ευθύνονται για τις καταστροφές που υπέστη και ποιες αποδίδονται σε λεηλασίες, καθώς και πώς τα παραπάνω επηρέασαν την αστική εξέλιξη της Ρωμαϊκής Πάτρας.
- ✓ Μάθαμε ότι όσες ρωγμές είναι υπό μεγάλη γωνία κατατάσσονται στα ανάστροφα ρήγματα με τάση συμπίεστική, εφόσον το πάνω τμήμα έχει ολισθήσει προς τα πάνω και το κατώτερο τμήμα αντίστοιχα προς τα κάτω.
- ✓ Ακόμα, μας έγινε γνωστό ότι όταν η ρωγμή δεν είναι υπό μεγάλη γωνία και το «σπάσιμο» των πετρωμάτων έχει γίνει προς τα πάνω ή κάτω κατά μήκος της επιφάνειας διάρρηξης τότε κατατάσσονται στα κανονικά ρήγματα με τάση εφελκυστική.
- ✓ Μάθαμε ότι οι κολώνες, οι οποίες αποτελούνταν από τέσσερις (4) και πάνω λίθους, κατά τις σεισμικές ταλαντώσεις που δέχονταν, η ζημιά η οποία

υπέστησαν συνήθως ήταν η παράλληλη τακτοποίησή τους σε μορφή «ντόμινο».

- ▼ Τέλος, κάτι ακόμα που μάθαμε και το συναντάμε κυρίως σε βάσεις από κολώνες είναι η αριστερόστροφη ή δεξιόστροφη ρωγμή οριζόντιας μετατόπισης, όπου το ένα από τα δύο κομμάτια από τα οποία πλέον αποτελείται το αρχαίο εύρημα έχει μετακινηθεί οριζόντια προς τα πάνω ή κάτω αντίστοιχα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. STIROS, Stathis C. Identification of earthquakes from archaeological data: methodology, criteria and limitations. *Archaeoseismology*, 1996, 7: 129-152.
2. VANNESTE, Kris; VERBEECK, Koen; CAMELBEECK, Thierry. Paleoseismology of the Geleen fault, Lower Rhine Graben.
3. MECHERNICH, Silke, et al. INQUA Focus Group on Paleoseismology and Active Tectonics.
4. ΚÁZMÉR, Miklós; HARIYADI, Agus. Damages to the 9th century Prambanan temple caused by the 2006 Yogyakarta earthquake (Java, Indonesia).
5. FERRATER, Marta, et al. Archaeoseismology in a Bronze aged settlement: La Tira del Lienzo (Totana, Spain). In: *4th International INQUA Meeting on Paleoseismology, Active Tectonics and Archeoseismology (PATA)*. 2013.
6. ALEXOPOULOS, John, et al. IDENTIFICATION OF BURIED ACTIVE STRUCTURES WITH PRELIMINARY GEOPHYSICAL AND MORPHOTECTONIC ANALYSIS, AT EASTERN THESSALY BASIN (GREECE).
7. www.sansimera.gr/articles/797#ixzz44tSK6uK0
8. Ρογκάλα, Αικατερίνη. *Συν-σεισμική παραμόρφωση στο ρήγμα της Ελίκης*. 2010. PhD Thesis.
9. Petersen, Sven. "Technology in Marine Geosciences." Springer, 2016. 825-835.
10. Παπαζάχος, Κωνσταντίνος Β., et al. "Decelerating preshock seismic deformation in fault regions during critical periods." *Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας* 36.3 (2004). 1490-1498
11. Papazachos, Vasilēs, et al. *The earthquakes of Greece*. Editions Ziti, 1997.
12. Koukouvelas, Ioannis K., et al. "A palaeoseismological and geoarchaeological investigation of the Eliki fault, Gulf of Corinth, Greece." *Journal of Structural Geology* 23.2 (2001). 531-543.
13. Guidoboni, Emanuela, and Alberto Comastri. "The large earthquake of 8 August 1303 in Crete: seismic scenario and tsunamis in the Mediterranean area." *Journal of Seismology* 1.1 (1997): 55-72.
14. Papadopoulos, Gerassimos A. "Tsunami hazard in the Eastern Mediterranean: strong earthquakes and tsunamis in the Corinth Gulf, Central Greece." *Natural Hazards* 29.3 (2003): 437-464.
15. Παπαϊωάννου, Ι., Γεράσιμος Α. Παπαδόπουλος, and Σπυρίδων Β. Παυλίδης. "The earthquake of 426 bc in N. Evoikos Gulf revisited: amalgamation of two different strong earthquake events?." *Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας* 36.3 (2004): 1477-1481.
16. Bernard, P., et al. "The $M_s = 6.2$, June 15, 1995 Aigion earthquake (Greece): evidence for low angle normal faulting in the Corinth rift." *Journal of Seismology* 1.2 (1997): 131-150.

17. Sorel, D. "A Pleistocene and still-active detachment fault and the origin of the Corinth-Patras rift, Greece." *Geology* 28.1 (2000): 83-86.
18. Γκάννας, Αθανάσιος, et al. "The Corini Active Fault in Southwestern Viotia region, central Greece: segmentation, stress analysis and extensional strain patterns." *Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας* 40.1 (2007): 297-308.
19. Wikipaideia μέσω www.google.gr