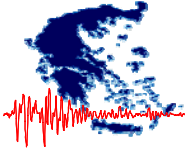


**3<sup>ο</sup>** Πανελλήνιο Συνέδριο  
Αντισεισμικής Μηχανικής  
και Τεχνικής Σεισμολογίας

*Αθήνα, 5-7 Νοεμβρίου 2008*

**3<sup>rd</sup>** Greek Conference on  
Earthquake Engineering  
and Engineering Seismology

*Athens, 5-7 November 2008*



**Ο Υπολογισμός του Ρυθμού Ολίσθησης Ρηξιτεμαχών ως  
Απαραίτητο Εργαλείο για τη Σχεδίαση Πόλεων σε Περιοχές  
με Ενεργά Ρήγματα. Εφαρμογή στην Περιοχή της  
Παράκτιας Ζώνης του Ηρακλείου Κρήτης.**  
The Calculation of Fault Slip Rate as a Necessary Tool for City  
Planning near Active Faults. A Case Study from the Coastal  
Area of Heraklion, Crete.

Δημήτριος Παπανικολάου<sup>1</sup>, Εμμανουήλ Βασιλάκης<sup>2</sup>, Αικατερίνη Βαλαδάκη<sup>3</sup>, Νικόλαος  
Ζαχαριάς<sup>4</sup>, Ιωάννης Μανιάτης<sup>5</sup>

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ :** Η επέκταση του σχεδίου πόλης του Ηρακλείου Κρήτης, στην περιοχή όπου υπήρχαν σοβαρές ενδείξεις για τη διέλευση ενεργών ρηγμάτων από εκπονηθείσα μικροζωνική μελέτη, επέβαλλε την ακριβή χωροθέτηση των ρηγμάτων και της περιόδου τελευταίας ενεργοποίησής τους. Για τους απαραίτητους προσδιορισμούς χρειάστηκε να χρησιμοποιηθούν τεχνικές παλαιο-σεισμολογίας, με τη διάνοιξη ορυγμάτων εγκάρσια σε ρήγματα που είτε έχουν δημιουργήσει μορφολογική ασυνέχεια, είτε έχουν καλυφθεί από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, καθιστώντας τα ακόμα πιο επικίνδυνα. Η διάνοιξη των ορυγμάτων, εκτός της λεπτομερούς οριοθέτησης των ρηξιτεμαχών, συνέβαλλε και στη λεπτομερή χαρτογράφηση των διερρηγμένων οριζόντων, οι οποίοι στη συνέχεια χρονολογήθηκαν με τις απόλυτες χρονολογικές τεχνικές της Οπτικής Φωταύγειας και του Ραδιοάνθρακα. Από το συνδυασμό των μεθοδολογιών χρονολόγησης προσδιορίστηκε με μεγάλη ακρίβεια ο ρυθμός ολίσθησης ενεργού ρήγματος, στο ίχνος του οποίου είχε σχεδιαστεί να κατασκευαστούν κατοικίες.

**ABSTRACT :** The city planning of Heraklion in Crete included the construction of the new Courthouse building at the eastern part of the town where several active fault have been mapped during an earlier microzonation study. The significance of the new building required detailed studies for the exact tracing of the faults and the period of their latest activation. The proposed methodology included trenching across the fault traces which are either controlling a morphological discontinuity or covered by human activities. Sampling for radiocarbon and optical luminance dating was carried out aiming for the exact age of the ruptured strata by the active faults. The combination of the described methodologies resulted the modification of the city plan, as constructions were designed to be built on the fault trace.

<sup>1</sup> Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, email: [dpapan@geol.uoa.gr](mailto:dpapan@geol.uoa.gr)

<sup>2</sup> Δρ Γεωλόγος, ΕΚΠΑ, email: [evasilak@geol.uoa.gr](mailto:evasilak@geol.uoa.gr)

<sup>3</sup> Δρ Γεωλόγος, ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα, email: [valadaki@panafonet.gr](mailto:valadaki@panafonet.gr)

<sup>4</sup> Ερευνητής Β', Εργαστήριο Αρχαιομετρίας, ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος, email: [zacharias@ims.demokritos.gr](mailto:zacharias@ims.demokritos.gr)

<sup>5</sup> Ερευνητής Β', Εργαστήριο Αρχαιομετρίας, ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος, email: [maniatis@ims.demokritos.gr](mailto:maniatis@ims.demokritos.gr)

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάγκη για ένταξη σε σχέδιο πόλης νέων περιοχών, απ' όπου διέρχονται διαπιστωμένα ενεργά ρήγματα, οδηγεί στην εφαρμογή νέων μεθοδολογιών οι οποίες μέχρι πρότινος χρησιμοποιούνταν μόνο στη βασική έρευνα. Η επέκταση του σχεδίου πόλης προς τα ανατολικά, σχεδιάστηκε σε περιοχή όπου υπήρχαν σοβαρές ενδείξεις για τη διέλευση ενεργών ρηγμάτων, τα οποία αποτελούν προέκταση των ρηξιγενών ζωνών που ελέγχουν το λόφο Γιούχτα, νότια της πόλης του Ηρακλείου. Η σεισμική επικινδυνότητα της περιοχής απαιτεί την ακριβή χωροθέτηση των ρηγμάτων, των στοιχείων τους καθώς και τον υπολογισμό του ρυθμού σχετικής ολίσθησης των ρηξιτεμαχών που οριοθετούν.

Για τους απαραίτητους προσδιορισμούς χρειάστηκε να διανοιχθούν ορύγματα εγκάρσια σε ρήγματα που είτε έχουν δημιουργήσει μορφολογική ασυνέχεια, είτε έχουν καλυφθεί από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, καθιστώντας τα ακόμα πιο επικίνδυνα. Η τεχνική της διάνοιξης ορυγμάτων, εκτός της λεπτομερούς οριοθέτησης των ρηξιτεμαχών, συμβάλλει και στη λεπτομερή αποτύπωση των διερρηγμένων οριζόντων, οι οποίοι στη συνέχεια χρονολογήθηκαν με τις απόλυτες χρονολογικές τεχνικές της Οπτικής Φωταύγειας και του Ραδιοάνθρακα. Με την μεθοδολογία αυτή και μετά από τις απαραίτητες στρωματογραφικές συσχετίσεις οριζόντων των παλαιο-εδαφών, κατέστη δυνατό να γίνει εκτίμηση του χρόνου της τελευταίας μετακίνησης και συνεπώς να υπολογιστεί ο ρυθμός ολίσθησης σε συγκεκριμένη ρηξιγενή επιφάνεια, με πολύ μεγάλη ακρίβεια.

Η συγκεκριμένη περίπτωση της μελέτης για ένταξη στο σχέδιο πόλης του Ανατολικού Πολεοδομικού Κέντρου του Ηρακλείου αποτελεί την μετάβαση σε μια εποχή όπου καθαρά ερευνητικές μέθοδοι είναι πλέον αρκετά ώριμες ώστε να είναι εφαρμόσιμες και ευρέως αποδεκτές από επίσημους φορείς και στη χώρα μας.

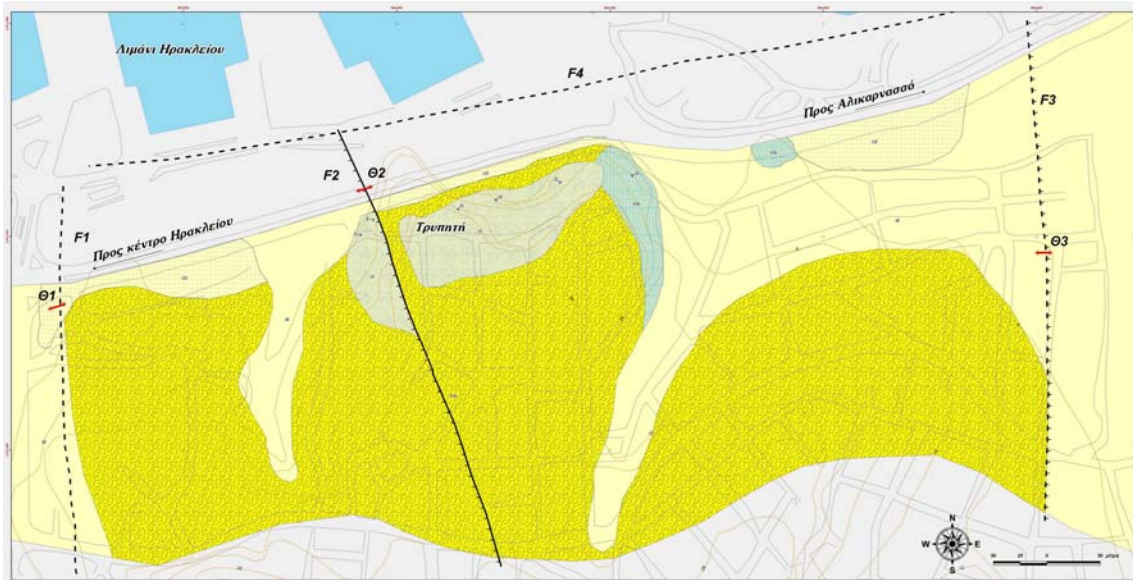
## ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

### Στρωματογραφία

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντούν στην περιοχή της σχεδιαζόμενης επέκτασης της πόλης είναι κυρίως νεότερες μεταλπικές αποθέσεις, οι οποίες χαρακτηρίζονται από οριζόντιες και κατακόρυφες μεταβάσεις, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται ποικίλες λιθολογικές φάσεις μέσα στον ίδιο σχηματισμό. Στην στενή περιοχή μελέτης (Σχήμα 1) δεν εμφανίζονται όλοι οι μεταλπικοί σχηματισμοί που απαντώνται στην ευρύτερη περιοχή. Μόνο οι πρόσφατοι σχηματισμοί του Νεογενούς εμφανίζονται σε σχετικά μεγάλη έκταση και σημαντικό πάχος στην ευρύτερη περιοχή ενώ συχνά καλύπτονται από Τεταρτογενείς αποθέσεις των οποίων το πάχος είναι πολύ μικρό. Αναλυτικά, οι σχηματισμοί που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης είναι οι ακόλουθοι:

- **Αλλουβιακές προσχώσεις (al):** Αποτελούν ποταμοχερσαίες ή λιμναίες αποθέσεις, οι οποίες προέρχονται κυρίως από τη διάβρωση των μαργών. Επικρατεί η αργιλική σύσταση, ενώ κατά θέσεις αναμένονται αμμώδεις ή αμμοχαλικώδεις ενστρώσεις μικρού πάχους. Έχουν γκριζοκόκκινο χρώμα.

- **Παράκτιες αποθέσεις (cd):** Συνιστούν αργιλοαμμώδεις αποθέσεις με ενδιαστρώσεις άμμων και κροκάλων. Πρόκειται για τις νεώτερες αποθέσεις της παραλιακής ζώνης με ηλικία μερικών χιλιάδων ετών, που είναι καλυμμένες από αλληπάλληλες τεχνητές επιχωματώσεις.
- **Ψαμμιτικές εμφανίσεις (s):** Παλιές παράκτιες αποθέσεις ακτολίθων (Beach rocks). Υπόκεινται των νεώτερων παρακτίων αποθέσεων σε σημεία όπου κατά το παρελθόν υπήρξε ανάμιξη του θαλασσινού νερού με τον φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα. Δεν εμφανίζονται στην επιφάνεια, αλλά εντοπίστηκαν σε θέσεις κατά τη διάνοιξη των ορυγμάτων.
- **Θαλάσσιες αναβαθμίδες (ct):** Πιθανόν Πλειστοκαινικής ηλικίας. Θεωρείται ότι αποτελούν παλαιές θίνες. Έχουν κοκκινωπό χρώμα και περιορισμένη εμφάνιση εκατέρωθεν του υψώματος Τρυπητή (Σχήμα 2).
- **Μαργαϊκό Λατυποπαγές (mb):** Είναι Πλειστοκαινικής ηλικίας, ανήκει στο σχηματισμό του Ηρακλείου και συνίσταται από λατύπες και σπανιότερα από μέτρια αποστρογγυλεμένες κροκάλες μάργας, μαργόλιθου ή μαργαϊκού ασβεστολίθου, μέσα σε μαργαϊκό συνδετικό υλικό. Έχει χρώμα γκριζόλευκο ή λευκό (Σχήμα 2).
- **Ασβεστολιθική Μάργα (mk):** Είναι Πλειοκαινικής ηλικίας, ανήκει στο σχηματισμό της Φοινικιάς και αποτελεί μεταβατική φάση προς τους μαργαϊκούς ασβεστολίθους. Κατά θέσεις έχει τραβερτινοειδή υφή και γκριζόλευκο χρώμα.



**Σχήμα 1.** Γεωλογικός χάρτης της περιοχής νότια του λιμένα Ηρακλείου. Διακρίνονται οι θέσεις των ορυγμάτων, τα ίχνη των ρηγμάτων καθώς και τα όρια των Αλλουβιακών προσχώσεων (al), Παράκτιων αποθέσεων (cd), Θαλάσσιων αναβαθμίδων (ct), Μαργαϊκού Λατυποπαγούς (mb) και Ασβεστολιθικών Μαργών (mk).

Στην ευρύτερη περιοχή διάνοιξης των ερευνητικών ορυγμάτων, επιφανειακά παρατηρούνται κυρίως οι Θαλάσσιες αναβαθμίδες, το Μαργαϊκό λατυποπαγές και η Ασβεστολιθική μάργα. Οι εμφανίσεις αυτές είναι ξεκάθαρες στην περιοχή της μορφολογικής έξαρσης της Τρυπητής. Σε όλη την υπόλοιπη περιοχή υπάρχει κάλυψη των ιζημάτων από τεχνητές επιχωματώσεις λόγω της κατασκευής διαφόρων έργων. Οι επιχωματώσεις αυτές έγιναν σε διάφορες χρονικές περιόδους, με διαφορετικά υλικά κάθε φορά και η διάκρισή τους έγινε σαφής μόνο μετά τη διάνοιξη των τριών ορυγμάτων. Το πάχος τους δεν ξεπερνάει τα τρία μέτρα, με μέγιστο στην περιοχή κατά μήκος της παραλιακής ζώνης και κάτω από την παραλιακή λεωφόρο.

### **Τεκτονική**

Η γεωλογική χαρτογράφηση της ευρύτερης περιοχής απεκάλυψε την ύπαρξη ρηγμάτων με διευθύνσεις παράλληλες με αυτές που γενικά παρατηρούνται στη μη πυκνοδομημένη περιοχή, νοτίως του αστικού ιστού. Τα ρήγματα διέρχονται από το συνεκτικό τμήμα της πόλης του Ηρακλείου και η προέκτασή τους τοποθετείται και στην περιοχή επέκτασης του σχεδίου πόλης προς τα ανατολικά. Από αυτά, τα ρήγματα, δύο έχουν διεύθυνση Β-Ν, δύο έχουν διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ, ενώ ένα έχει διεύθυνση Α-Δ. Με βάση τα υπάρχοντα σεισμολογικά δεδομένα κανένα από αυτά τα ρήγματα δεν είναι σεισμικά ενεργό, δηλαδή δεν συνδέεται άμεσα με γνωστή σεισμική δραστηριότητα.

Το σημαντικότερο ρήγμα (F2) διέρχεται μέσα από το συνεκτικό τμήμα του οικισμού του Ηρακλείου και καταλήγει στην περιοχή του λιμανιού, διαμορφώνοντας τη δυτική πλευρά του υψώματος της Τρυπητής (Σχήμα 2). Η μορφολογική ασυνέχεια που δημιουργεί είναι εμφανής, ενώ κόβει εγκάρσια την παραλιακή λεωφόρο. Μάλιστα στο τεχνητό πρανές που έχει δημιουργηθεί φαίνεται η ρηξιγενής επιφάνεια, η οποία μετρήθηκε να έχει κλίση  $79^{\circ}/235^{\circ}$  (Σχήμα 1). Το ανερχόμενο τέμαχος (στα ανατολικά), αποτελείται από μαργαϊκό λατυποπαγές, με ιζήματα της θαλάσσιας αναβαθμίδας να τα καλύπτουν σε απόλυτο υψόμετρο 20 μέτρα. Στο δυτικό τέμαχος βρίσκονται τα ιζήματα της θαλάσσιας αναβαθμίδας, σε απόλυτο υψόμετρο 4 μέτρα, να κοντράρουν στο κάτοπτρο του ρήματος. Μάλιστα, είναι εμφανείς οι δομές πάρελξης, αφού τα στρώματα κοντά στο ρήγμα έχουν στοιχεία  $41^{\circ}/281^{\circ}$  και μακρύτερα γίνονται πιο οριζόντια με στοιχεία  $21^{\circ}/278^{\circ}$ . Το άλμα του ρήματος σε αυτή τη θέση υπολογίζεται να είναι της τάξης των 20 μέτρων, αφού τα ιζήματα στο ανερχόμενο τέμαχος έχουν μικρή κλίση προς τα ανατολικά. Με δεδομένη την παραπάνω δράση του ρήματος κατά το Ανώτερο Πλειστόκαινο και την επίδρασή του στη σημερινή μορφολογία, θεωρείται ενεργό. Το συνολικό μήκος του ρήματος ανέρχεται στο 1,5 χλμ στην ηπειρωτική περιοχή. Ενδεχομένως, να συνεχίζεται υποθαλάσσια προς Β για ακόμα 1 χλμ. και κατά συνέπεια η δυναμικότητά του δεν είναι μεγάλη, αφού σε περίπτωση ενεργοποίησής του δε μπορεί να ξεπεράσει σεισμό μεγέθους 4,4. Το μέγεθος αυτό σχετίζεται με το μήκος που εκτιμήθηκε και στην περίπτωση που η προέκτασή του, εντός του θαλάσσιου χώρου, είναι μεγαλύτερη από 1 χλμ, τότε το μέγεθος του ενδεχόμενου σεισμού θα είναι μεγαλύτερο.

Στα ανατολικά της περιοχής διέρχεται ρήγμα (F3) με κλίση προς τα ανατολικά, το οποίο αποτελεί προέκταση ενεργού ρήματος, αφού φαίνεται να οριοθετεί σύγχρονα ιζήματα και κατά συνέπεια έχει ενεργοποιηθεί μετά την απόθεσή τους. Στη στενή περιοχή μελέτης δεν υπάρχει κάποια μορφολογική ασυνέχεια που να μαρτυράει την ύπαρξή του, αφού έχει καλυφθεί από τις πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις του χειμάρρου Κατσαμπιά. Αποτελεί

συζυγές ρήγμα μιας σημαντικότητας ρηξιγενούς ζώνης που αναπτύσσεται από την ανατολική όχθη του ρέματος, που όμως ανήκει στο Δήμο Ν. Αλικαρνασσοῦ και το οποίο είναι εμφανές στα όρια των λιμενικών εγκαταστάσεων. Το συνολικό μήκος του ρήγματος ανέρχεται στα 2 χλμ στην ηπειρωτική περιοχή.



**Σχήμα 2.** Το ρήγμα (F2) που ελέγχει το δυτικό περιθώριο της μορφολογικής έξαρσης της Τρυπητής και φέρνει σε επαφή το Μαργαϊκό Λατυποπαγές (mb) στα αριστερά, με τις Θαλάσσιες αναβαθμίδες (ct) στα δεξιά της εικόνας.

Σημειώνεται ακόμη μια ρηξιγενής ζώνη να διέρχεται από το δυτικό τμήμα της περιοχής, προέκταση αυτής που εντοπίστηκε νοτιότερα της στενής περιοχής μελέτης και θεωρήθηκε πιθανά ενεργό ρήγμα, διότι φέρνει σε επαφή το σχηματισμό των μαργών με το μαργαϊκό λατυποπαγές. Η ρηξιγενής επιφάνεια (F1) είναι καλυμμένη από νεότερες αποθέσεις (αλλουβιακές και παράκτιες).

Τέλος, το ρήγμα F4 με διεύθυνση Α-Δ και κλίση προς τα βόρεια, διέρχεται από την περιοχή του λιμένα Ηρακλείου. Θεωρείται πιθανά ενεργό, διότι διαρρηγνύει μεταλλικούς σχηματισμούς, αλλά δεν μπορεί να διερευνηθεί στο χερσαίο χώρο

Από τα ρήγματα της περιοχής σημαντικότερα και ενεργά θεωρούνται τα F2 και F3, δεδομένου ότι ελέγχουν σε μεγάλο βαθμό τη μορφολογία, είτε εντός, είτε εκτός της περιοχής όπου πρόκειται να επεκταθεί η πόλη του Ηρακλείου, προκαλούν πάρελξη στους νεότερους σχηματισμούς και είναι παράλληλα με τις γνωστές μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες της ευρύτερης

περιοχής (ρήγματα Γιούχτα, Αλικαρνασσού). Είναι χαρακτηριστικό ότι η κλίση των νεογενών σχηματισμών μεταβάλλεται σημαντικά πλησίον αυτών των ρηγμάτων. Για τους λόγους αυτούς κατασκευάστηκαν ορύγματα με σκοπό να γίνει παλαιο-σεισμολογική διερεύνηση.

## ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ

### Όρυγμα Θ1

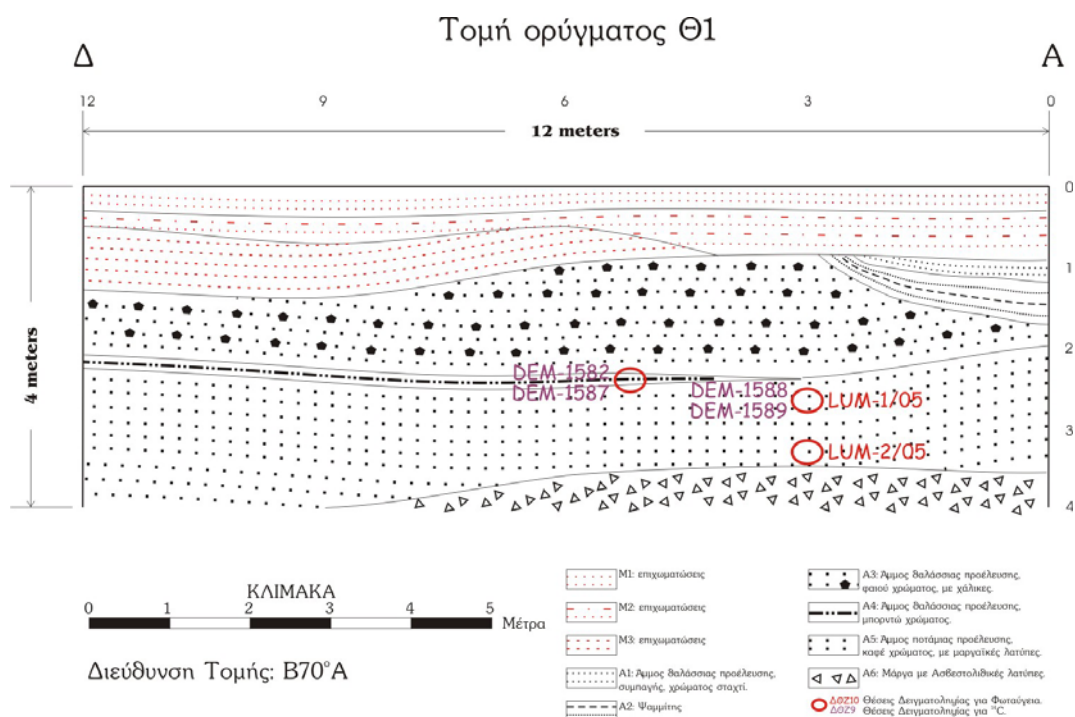
Η θέση του πρώτου ορύγματος (Θ1) ήταν στην ανατολική συμβολή των οδών Εθνικής Αντιστάσεως και Παραλιακής Λεωφόρου, απέναντι από την κύρια έξοδο του Λιμανιού. Η επιλογή της θέσης αυτής έγινε διότι από εκεί διέρχεται το ρήγμα F1, το οποίο έχει χαρακτηριστεί ως πιθανά ενεργό. Η διεύθυνσή του είναι Β-Ν και η κλίση του είναι προς τα Α. Το Θ1 διανοίχτηκε με διεύθυνση περίπου Α-Δ, το μήκος του ήταν 12 μέτρα και το βάθος του ήταν 4 μέτρα (Σχήμα 3).

Στα πρώτα 1 – 1,5 μέτρα, καθ' όλο το μήκος της τομής, απαντήθηκαν τεχνητές επιχωματώσεις διαφόρων γενεών, που ξεχωρίζουν μεταξύ τους από τα διαφορετικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν (M1, M2, M3). Στο ανατολικό άκρο της τομής και για τρία μέτρα, συναντάται ένα πακέτο σχηματισμών το οποίο είναι υπό κλίση προς τα ΒΑ και καλύπτεται από τον ορίζοντα επιχωματώσεων M2. Πρόκειται για τον ορίζοντα Α1, ο οποίος αποτελείται από άμμους θαλάσσιας προέλευσης με χρώμα σταχτί. Παρουσιάζεται αρκετά συμπαγής και το πάχος του δεν ξεπερνάει τα 30 εκατοστά. Σε συμφωνία, υπέρκειται του ορίζοντα Α2, ο οποίος αποτελείται από ψαμμίτες πάχους 60 εκατοστών. Η κλίση των δύο οριζόντων είναι παρόμοια και φαίνεται να δημιουργείται μια αποσφήνωση προς τα Δ, αφού το πάχος τους μειώνεται για τρία μέτρα, μέχρι ολοκληρωτικής τους εξαφάνισης. Κατά πάσα πιθανότητα, πρόκειται για παράκτιες ψαμμιτικές εμφανίσεις ακτολίθων (beachrocks), που οφείλουν τη δημιουργία τους στην παραθαλάσσια ανάμειξη του γλυκού νερού του φρεάτιου υδροφόρου ορίζοντα που ανάβλυζε παλαιότερα στο σημείο αυτό και του θαλάσσιου νερού, αφού εκεί βρισκόταν η ακτογραμμή. Η μετατόπιση της ακτογραμμής προς τα Β, είναι και ο λόγος που δεν έχει λιθοποιηθεί και ο ορίζοντας Α1, αλλά μόνο ο ορίζοντας Α2.

Σε όλο το μήκος του Θ1, με μέσο υψόμετρο δαπέδου του τα 2 μέτρα, βρίσκεται ο ορίζοντας Α3, ο οποίος υπόκειται των τεχνητών επιχωματώσεων και του ψαμμίτη. Πρόκειται για φαίες άμμους θαλάσσιας προέλευσης με υψηλή περιεκτικότητα σε χάλικες. Το γεγονός αυτό τις καθιστά ασταθείς σε κατακόρυφες τομές με αποτέλεσμα να γκρεμίζουν τα τοιχώματα όταν αυτά δεν έχουν υποστυλωθεί κατάλληλα. Η ανάπτυξη του ορίζοντα αυτού φαίνεται να μην έχει διαταραχθεί κατά μήκος του ορύγματος. Από τον ορίζοντα αυτό και σε βάθος 2 μέτρων, λήφθηκε δείγμα για χρονολόγηση με τη μέθοδο της Θερμοφωταύγειας (Πίνακας 1).

Σε βάθος 2 μέτρων εντοπίστηκε λεπτός ορίζοντας ομοιογενούς άμμου, χωρίς υλικά μεγαλύτερης διαμέτρου να αποσφηνώνεται προς τα Α, μέχρι της ολοκληρωτικής εξαφάνισής του. Πρόκειται για τον ορίζοντα Α4 με ένα ιδιαίτερο χρώμα, μπορντό. Υποκείμενος αυτού, βρίσκεται ο ορίζοντας Α5, ο οποίος χαρακτηρίζεται από την υψηλότερη περιεκτικότητά του σε ιλύ, γεγονός που του δίνει μια καφετί απόχρωση, αλλά και κατά θέσεις παρατηρούνται μαργαϊκές λατύπες. Η ύπαρξη των υλικών αυτών οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για ποτάμιες αποθέσεις σε χρονικές περιόδους υψηλής στερεοπαροχής από τον παρακείμενο

χείμαρρο της Χρυσοπηγής. Από τον ορίζοντα αυτόν και σε βάθος 2,5 μέτρων, λήφθηκαν δείγματα για χρονολόγηση και με τις δύο μεθόδους (Πίνακες 1 και 2).



**Σχήμα 3.** Γεωλογική τομή του ορύγματος Θ1, όπου σημειώνονται οι θέσεις δειγματοληψίας.

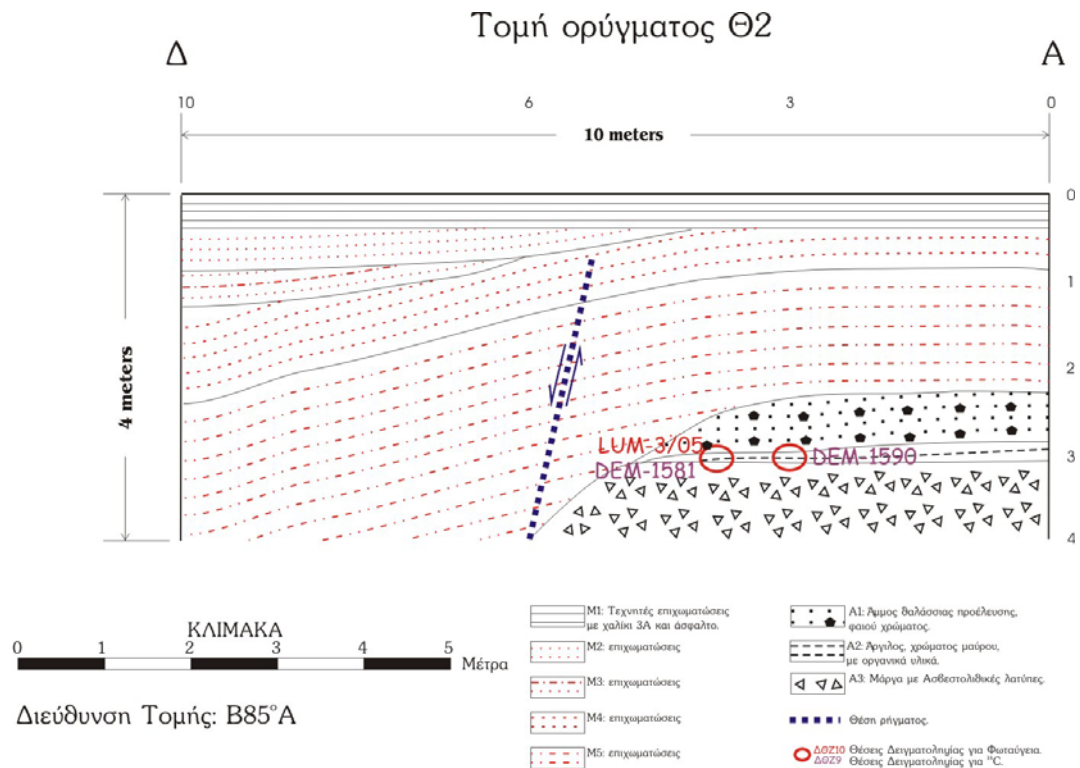
Σε βάθος 4 μέτρων, στο ανατολικό τμήμα του Θ1, βρέθηκε το βραχώδες υπόβαθρο της περιοχής. Πρόκειται για το μαργαϊκό λατυποπαγές του σχηματισμού Ηρακλείου. Η εμφάνισή του στο Θ1 έγινε με τη μορφή ανθρακικών λατυπών να είναι συγκολλημένες με μαργαϊκό υλικό. Η οροφή του δεν αποκαλύφθηκε στο δυτικό τμήμα του Θ1, προφανώς διότι πρόκειται για παλαιονάγλυφο το οποίο έχει καλυφθεί από τα νεώτερα ιζήματα.

## Όρυγμα Θ2

Η θέση του Ορύγματος Θ2 βρίσκεται στη θέση Τρυπητή, επί του οδοστρώματος της παραλιακής λεωφόρου και κατά μήκος της βορειότερης λωρίδας κυκλοφορίας. Η επιλογή της θέσης αυτής έγινε διότι από εκεί διέρχεται το ρήγμα F2, το οποίο έχει χαρακτηριστεί ως πιθανά ενεργό. Μάλιστα στο νότιο πεζοδρόμιο, είναι ορατή η επιφάνεια διάρρηξης που έχει φέρει σε επαφή τα ιζήματα της θαλάσσιας αναβαθμίδας με το μαργαϊκό λατυποπαγές (Σχήμα 1). Η διεύθυνσή του είναι B145°A και η κλίση του είναι 79° προς τα Δ. Το Θ2 διανοίχτηκε με διεύθυνση περίπου A-Δ, το μήκος του ήταν 10 μέτρα και το βάθος του ήταν 4 μέτρα (Σχήμα 4). Ο μεγαλύτερος όγκος των υλικών που μεταφέρθηκαν εκτός του ορύγματος, αφορούσε υλικά τεχνητών επιχρωματώσεων διαφόρων περιόδων. Αναλυτικά, τα πρώτα 50 εκατοστά, αποτελούνταν από υλικά που σχετίζονται με την οδοποιία της παραλιακής λεωφόρου και καλύπτουν τέσσερις οριζόντες τεχνητών επιχρωματώσεων με διαφορετικά υλικά. Ο κατώτερος αυτών (M5) έχει σχετικά μεγάλο πάχος, που φτάνει τα τρία μέτρα στο δυτικό τμήμα του Θ2.



Στο ανατολικό τμήμα του ορύγματος καλύπτει τους υποκείμενους φυσικούς οριζόντες και το βραχώδες υπόβαθρο. Συγκεκριμένα, το βραχώδες υπόβαθρο αποτελείται από μαργαϊκό λατυποπαγές (A3) το οποίο εμφανίζεται λίγα μέτρα νοτιότερα στην ελεύθερη επιφάνεια. Υπόκειται ενός λεπτού μαύρου οριζοντα με αργιλικό υλικό και οργανικά υπολείμματα (A2), από τα οποία λήφθηκαν δείγματα για χρονολόγηση και με τις δύο μεθόδους (Πίνακες 1 και 2). Ο ανώτερος οριζοντας που αποκαλύφθηκε, ήταν ένας οριζοντας άμμου φαιού χρώματος και θαλάσσιας προέλευσης, που ανήκει σε παλαιότερες παράκτιες αποθέσεις (A1).



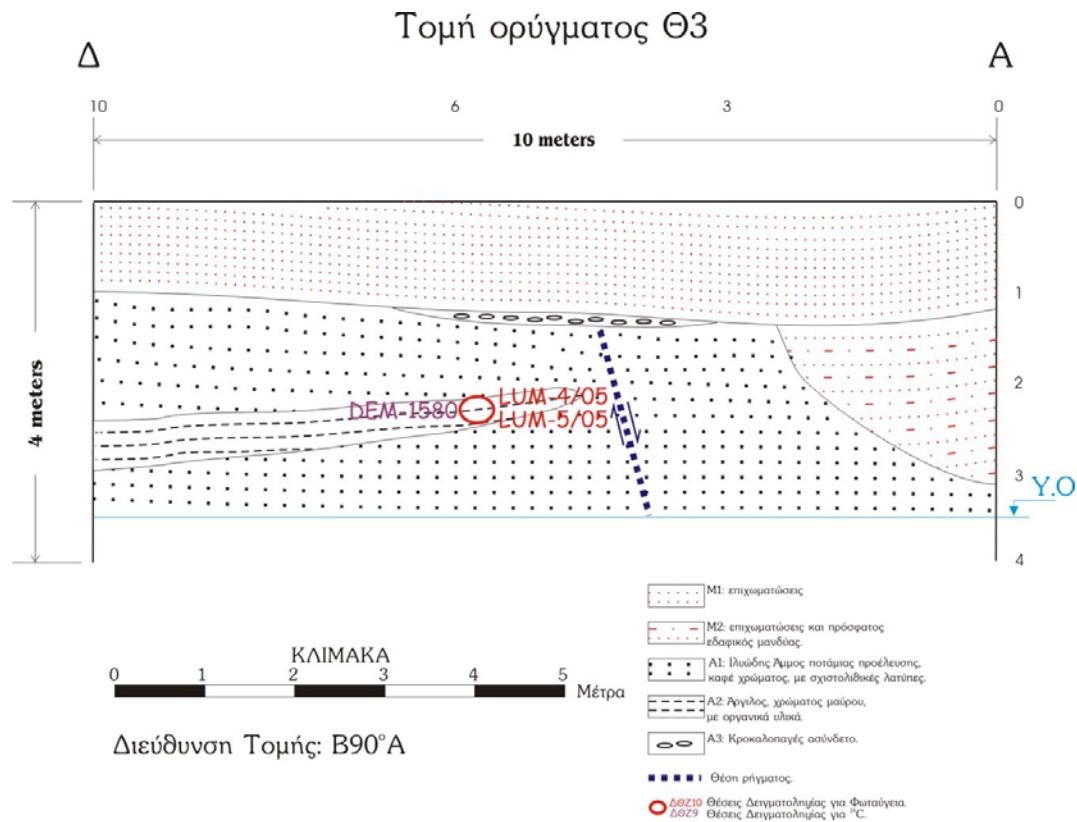
**Σχήμα 4.** Γεωλογική τομή του ορύγματος Θ2, όπου σημειώνονται οι θέσεις δειγματοληψίας.

Η απότομη διακοπή των οριζόντων A1 και A2 καθώς και η ηλικία τους όπως αυτή προσδιορίστηκε μετά από γεωχρονολόγηση, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το ρήγμα, του οποίου η ύπαρξη δεν μπορεί να αμφισβητηθεί, είναι ενεργό και έχει δράσει τουλάχιστον μία φορά τους ιστορικούς χρόνους.

### Όρυγμα Θ3

Η θέση του Ορύγματος Θ3 βρίσκεται σε έκταση εντός της κατοικημένης περιοχής. Η επιλογή της θέσης αυτής έγινε διότι από εκεί διέρχεται το ρήγμα F3, το οποίο έχει χαρακτηριστεί ως ενεργό. Η διεύθυνσή του είναι B-N και η κλίση του είναι 79° προς τα A. Το Θ3 διανοίχτηκε με διεύθυνση περίπου A-Δ, το μήκος του ήταν 10 μέτρα και το βάθος του ήταν 3,5 μέτρα, αφού σε αυτό το βάθος συναντήθηκε ο υδροφόρος οριζοντας (Σχήμα 5). Μάλιστα, η στάθμη του

ανυψώθηκε δύο ημέρες μετά την ολοκλήρωση του ορύγματος, γεγονός που δυσκόλεψε τις προσπάθειες για τη συλλογή δειγμάτων για γεωχρονολόγηση.



**Σχήμα 5.** Γεωλογική τομή του ορύγματος Θ3, όπου σημειώνονται οι θέσεις δειγματοληψίας.

Ο ανώτερος ορίζοντας έχει πάχος περίπου ένα μέτρο και αποτελείται από τεχνητές επιχρωματώσεις (M1), που καλύπτουν τους υποκείμενους φυσικούς ορίζοντες. Στο ανατολικό τμήμα οι επιχρωματώσεις συνεχίζονται σε βάθος μέχρι τα 3 μέτρα. Πρόκειται για καλυμμένο εδαφικό μανδύα παλαιοεδάφους (M2), με ανεπτυγμένο αλλά ανενεργό ριζικό σύστημα. Ο ορίζοντας αυτός περιέχει πολλά τεμάχια από μαρμαρυγιακό σχιστόλιθο που έχουν μεταφερθεί από γειτονικές περιοχές, αφού δεν εμφανίζεται η λιθολογία αυτή στην ευρύτερη περιοχή. Η κοντινότερη εμφάνιση τέτοιων πετρωμάτων είναι στην περιοχή της Αγίας Πελαγίας και ανήκουν στην ενότητα «Φυλλιτών – Χαλαζιτών» και πιθανότατα χρησιμοποιήθηκαν ως δομικά υλικά.

Το μεγαλύτερο ποσοστό της τομής αποτελείται από ιλυώδη άμμο με σχιστολιθικές λατύπες (A1), που πιθανότατα έχουν μεταφερθεί εκεί μέσω των διαδικασιών της ποτάμιας απόθεσης, αφού η περιοχή είναι παρακείμενη της κοίτης του χειμάρρου Κατσαμπά. Εντός του ορίζοντα A1 εντοπίστηκαν παρεμβολές από ορίζοντα μαύρης αργίλου με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικά υλικά (A2), ο οποίος διακόπτεται απότομα 4,5 μέτρα από την ανατολική άκρη του Θ3. Πιθανότατα, η διακοπή αυτή οφείλεται σε ενεργοποίηση του ρήγματος F3, το οποίο διέρχεται από την περιοχή. Από τον ορίζοντα αυτό, λήφθηκαν δείγματα για χρονολόγηση και με τις δύο μεθόδους, ώστε να πιστοποιηθεί η χρονική περίοδος ενεργοποίησης του ρήγματος

F3 (Πίνακες 1 και 2). Το ρήγμα καλύπτεται από ένα φακό από κροκαλοπαγές ασύνδετο, πάχους 10-20 cm (A3).

## ΓΕΩ-ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ, ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην περιοχή μελέτης και λόγω των ειδικών συνθηκών αλλοίωσης του μορφολογικού αναγλύφου από τη δόμηση και τη διάβρωση, δεν ήταν δυνατή η ακριβής αποτύπωση των ιχνών των ρηγμάτων τα οποία είχαν εντοπιστεί και χαρακτηριστεί. Έτσι, θεωρήθηκε αναγκαία η διάνοιξη τριών ορυγμάτων σε θέσεις από όπου διέρχονται τα ρήγματα που είχαν χαρακτηριστεί ως ενεργά ή πιθανά ενεργά, ώστε αφ' ενός να εντοπιστούν οι ακριβείς ζώνες τις οποίες επηρεάζουν και αφ' ετέρου να χαρακτηριστούν εκ νέου, ανάλογα με την ηλικία των σχηματισμών που διαρρηγνύουν ή καλύπτονται. Η χρονολόγηση των σχηματισμών αυτών έγινε χρησιμοποιώντας τις μεθόδους Θερμοφωταύγειας και  $^{14}\text{C}$ .

### Η μέθοδος Θερμοφωταύγειας

Η χρήση των τεχνικών της Θερμικής Φωταύγειας για την απόλυτη χρονολόγηση αρχαιολογικών και περιβαλλοντικών υλικών είναι γνωστή κυρίως από την δεκαετία του '70, με ολοένα αυξανόμενο ενδιαφέρον κατά τα τελευταία χρόνια. Η σύγχρονη έρευνα απέδωσε νέα τεχνολογικά εργαλεία και οδήγησε αφενός σε μεγαλύτερη εφαρμοσιμότητα υλικών προς χρονολόγηση και αφετέρου στην αύξηση της ακρίβειας των αποδιδόμενων ηλικιών. Η συστηματική εφαρμογή των αναφερόμενων τεχνικών μπορεί να αποδώσει την απόλυτη χρονολόγηση μιας μεγάλης ποικιλίας υλικών και ακόμη να οδηγήσει στην περιβαλλοντική ανασύνθεση της περιοχής μελέτης, με χρονολογήσιμο εύρος ηλικιών που κυμαίνεται από μερικές δεκάδες έως το ένα εκατομμύριο χρόνια.

Οι τεχνικές φωταύγειας μετρούν την συσσώρευση του φαινομένου της ραδιενέργειας, στο προς χρονολόγηση υλικό. Η ακτινοβόληση του υλικού προκαλεί απελευθέρωση ηλεκτρονίων από τις οπές τους (ζώνη σθένους) και διάχυσή τους στη ζώνη αγωγιμότητας. Ο πληθυσμός των παγιδευμένων ηλεκτρονίων είναι ανάλογος της ηλικίας του δείγματος καθώς και της έντασης με την οποία ακτινοβολούνταν από το γύρω περιβάλλον του. Τέλος, η θέρμανση (Θερμοφωταύγεια, TL), ή η οπτική διέγερση (Οπτική Φωταύγεια, OSL προκαλούν απελευθέρωση των ηλεκτρονίων, αποδίδοντας φως.

Η ηλικία προκύπτει από τη ακόλουθη απλοποιημένη σχέση:

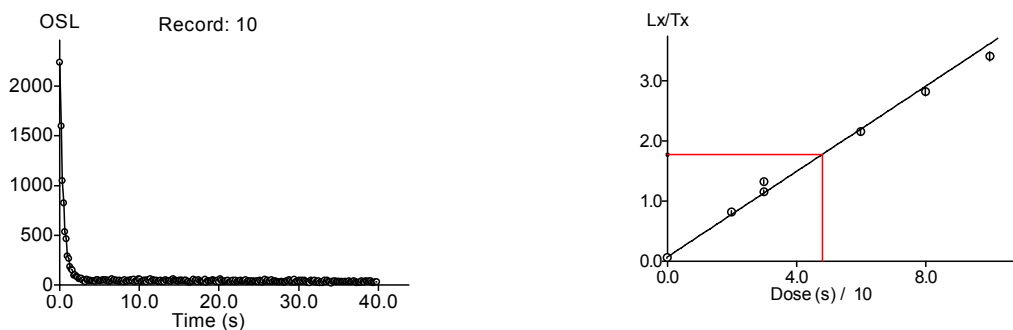
$$\text{Ηλικία (χρόνια)} = \text{Ληφθείσα Δόση (Gy)} / \text{Ρυθμό Δόσης (Gy/χρόνο)}$$

Οι τεχνικές για τον προσδιορισμό της Ληφθείσας Δόσης αντιμετωπίζουν επιτυχώς τα προβλήματα της αλλαγής της ευαισθησίας του υλικού, της γραμμικότητας των δόσεων ακτινοβόλησης και του καταγραφόμενου σήματος, των παρασιτικών σημάτων, κ.ά. Ο προσδιορισμός του ρυθμού δόσης επιτυγχάνεται με την μέτρηση του ραδιενεργού περιβάλλοντος καθώς και την εσωτερικής ακτινοβόλησης του υλικού, οφειλόμενη στις ραδιενεργές σειρές του ουρανίου και θορίου, καθώς και του ισοτόπου του καλίου  $^{40}\text{K}$ .

**Πίνακας 1.** Αποτελέσματα χρονολόγησης δειγμάτων, με τη μέθοδο της Θερμοφωταύγειας, από ορίζοντες που αποκαλύφθηκαν στα ορύγματα που διανοίχθηκαν.

| ΔΕΙΓΜΑ   | ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΗ ΔΟΣΗ (Gy) | ΡΥΘΜΟΣ ΔΟΣΗΣ (mGy/a) | ΗΛΙΚΙΑ TL/OSL (χρόνια από σήμερα) |
|----------|------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| LUM 1/05 | 1,47±0,11              | 2,18±0,25            | 1245-1425 μ.Χ. (1σ)               |
| LUM 2/05 | 1,69±0,13              | 1,79±0,24            | 910-1200 μ.Χ. (1σ)                |
| LUM 3/05 | 46,89±2,75             | 1,12±0,16            | 46360-33370 π.Χ. (1σ)             |
| LUM 4/05 | 3,50 ±0,27             | 3,80±0,23            | 1000-1170 μ.Χ. (1σ)               |
| LUM 5/05 | 5,10±0,26              | 1,15±0,17            | 3100-1760 π.Χ. (1σ)               |

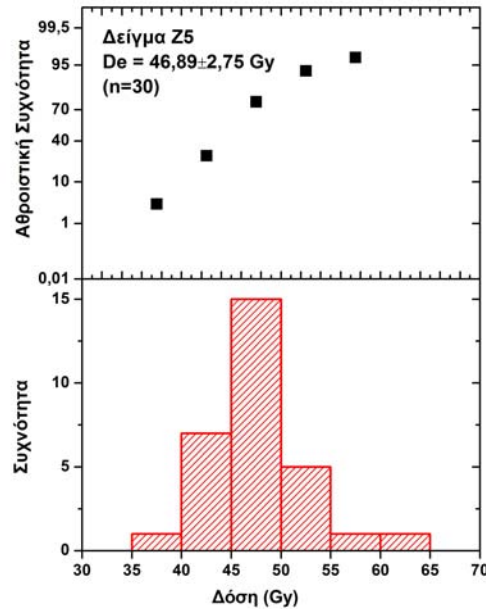
Τα δείγματα αφού μεταφερθούν στο εργαστήριο, ανοίγονται σε ειδικά διαμορφωμένο σκοτεινό θάλαμο όπου και διαχωρίζονται σε δείγματα προς χρονολόγηση, σε αντιδείγματα και σε ποσότητα υλικού για χημικές και ορυκτολογικές αναλύσεις (προσδιορισμό ετήσιας δόσης, μέτρηση ουρανίου, θορίου και καλίου). Στη συνέχεια, για τα επιλεχθέντα δείγματα προς χρονολόγηση, ακολουθείται συγκεκριμένη πορεία εργαστηριακού πρωτοκόλλου για την παραλαβή κόκκων χαλαζία και τελικά γίνεται η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων προσδιορισμού της ληφθείσας δόσης και εξάγονται τα χρονολογικά συμπεράσματα (Πίνακας 1). Η χημική προεπεξεργασία των δειγμάτων περιελάμβανε επίδραση με αραιά διαλύματα HCl οξέος και H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> και στη συνέχεια με πυκνό HF οξύ για την παραλαβή κόκκων χαλαζία. Το κλάσμα των κόκκων που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των μετρούμενων δειγμάτων ήταν διαμέτρου 90-125 μm. Οι μετρήσεις της Οπτικής φωταύγειας (ΟΦ) πραγματοποιήθηκαν με χρήση του μηχανήματος TL/OSL-DA15-20 της εταιρείας RISOE το οποίο επιτρέπει αυτοματοποιημένες μετρήσεις έως 48 δειγμάτων τη φορά. Για την διέγερση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε η ενσωματωμένη διάταξη πηγών LED με εκπομπή 470Δ30 nm παρέχοντας συνολική ισχύ 40m W/cm<sup>2</sup> σε κάθε μετρούμενο δείγμα. Η ακτινοβόληση έγινε με πηγή ακτίνων-β τύπου <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Υ.



**Σχήμα 6.** Αριστερά δίνεται η καμπύλη απόσβεσης δισκίου του δείγματος LUM 3/05 και δεξιά η προκύπτουσα αυξητική καμπύλη με χρήση του πρωτοκόλλου SAR.

Εφαρμόστηκε το πρωτόκολλο της αναγεννώμενης δόσης του ενός δείγματος (SAR) (bibl 1,2) με θερμοκρασία προ-θέρμανσης των δειγμάτων στους 260°C. Οι έλεγχοι επιμόλυνσης των δειγμάτων πιστοποίησαν την απουσία αστρίων από τα παρασκευασθέντα δείγματα. Στο

Σχήμα 6 παρατηρούμε το σήμα της ΟΦ και την προκύπτουσα αυξητική καμπύλη δισκίου από το δείγμα LUM 3/05. Ο υπολογισμός της τελικής μέσης ισοδύναμης δόσης βασίστηκε στην στατιστική επεξεργασία των αποδιδόμενων τιμών των δισκίων που μετρήθηκαν (Σχήμα 7). Για τον υπολογισμό της ετήσιας δόσης προσδιορίστηκε το περιεχόμενο σε ραδιενεργό U και Th με τη μέθοδο της καταμέτρησης της ενεργότητας των σωματίων-α (bibl 3), ενώ για το K με ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης. Η ραδιενέργεια του περιβάλλοντος των θέσεων δειγματοληψίας καταγράφηκε με τη βοήθεια φορητού σπινθηρομέτρου τύπου NaI.



**Σχήμα 7.** Ιστόγραμμα αθροιστικών συχνοτήτων για τον υπολογισμό της ισοδύναμης δόσης του δείγματος LUM 3/05 (Z5) (n ο αριθμός των δισκίων που μετρήθηκαν).

### Η μέθοδος $^{14}\text{C}$

Η μέθοδος του Ραδιοάνθρακα (Άνθρακα-14) είναι μια δοκιμασμένη μέθοδος χρονολόγησης της οποίας η συστηματική εφαρμογή σε αρχαιολογικά και περιβαλλοντικά δείγματα άλλαξε επαναστατικά τη γνώση μας για την χρονική εξέλιξη του πολιτισμού και του περιβάλλοντος. Ο άνθρακας-14 ( $^{14}\text{C}$ ) είναι ένα από τα τρία γνωστά ισότοπα του άνθρακα, ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  και  $^{14}\text{C}$ ). Έχει τις ίδιες χημικές ιδιότητες με τον κοινό άνθρακα ( $^{12}\text{C}$ ) αλλά είναι μόνο λίγο βαρύτερος από αυτόν. Το σημαντικότερο όμως χαρακτηριστικό του άνθρακα-14 είναι ότι είναι ραδιενεργός σε αντιδιαστολή με τα άλλα δύο ισότοπα τα οποία είναι σταθερά. Αυτό σημαίνει ότι σιγά-σιγά διασπάται και η διάσπαση αυτή συνοδεύεται από εκπομπή ακτινοβολίας -β, μέσω της οποίας ανιχνεύεται η παρουσία του και μετράται η συγκέντρωσή του σε ένα υλικό.

Ο  $^{14}\text{C}$  παράγεται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας μέσω των πυρηνικών αντιδράσεων που συμβαίνουν από τον συνεχή βομβαρδισμό της γης από τα κοσμικά σωματίδια και των συγκρούσεων τους με τα μόρια της ατμόσφαιρας (Aitken, 1990). Μετά την παραγωγή του στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας ο  $^{14}\text{C}$  ενώνεται με το οξυγόνο που

υπάρχει στην ατμόσφαιρα και δημιουργεί διοξείδιο του άνθρακα ( $^{14}\text{CO}_2$ ) το οποίο κατεβαίνει σταδιακά μέχρι την επιφάνεια της γης και εκεί δεσμεύεται από τα φυτά και τα δένδρα μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Με αυτή τη διαδικασία εισέρχεται ο ραδιενεργός άνθρακας σε ολόκληρη τη βιόσφαιρα, διότι μετά τα φυτά περνάει σε όλα τα έμβια όντα μέσω της τροφικής αλυσίδας. Όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί λαμβάνουν καθημερινά μια σταθερή ποσότητα  $^{14}\text{C}$  μέσω των τροφών τους. Από την άλλη μεριά μια ποσότητα  $^{14}\text{C}$  αποβάλλεται καθημερινά λόγω της ραδιενεργούς διάσπασής του. Επομένως, κάθε άτομο  $^{14}\text{C}$  που διασπάται και χάνεται από έναν οργανισμό αντικαθίσταται αμέσως με ένα καινούργιο μέσα από την τροφή. Με τον τρόπο αυτό επέρχεται μια ισορροπία και κάθε ζωντανός οργανισμός διατηρεί μια σταθερή συγκέντρωση  $^{14}\text{C}$ .

Από την στιγμή όμως που ο οργανισμός πεθαίνει, σταματά να παίρνει τροφή και τα αποθέματα του σε  $^{14}\text{C}$  δεν ανανεώνονται πλέον. Επομένως η ποσότητα του  $^{14}\text{C}$  που υπάρχει τη στιγμή του θανάτου αρχίζει να μειώνεται σταδιακά με τον χρόνο λόγω της διάσπασής του. Ο ρυθμός με τον οποίο γίνεται αυτή η διάσπαση, είναι γνωστός και σταθερός, είναι ένας φυσικός νόμος και χαρακτηρίζεται με αυτό που λέμε χρόνος ημιζωής ή χρόνος υποδιπλασιασμού που για τον  $^{14}\text{C}$  είναι περίπου 5.700 χρόνια. Αυτό σημαίνει πως αν ένα βιολογικό υλικό περιέχει 100 άτομα ραδιενεργού  $^{14}\text{C}$  τη στιγμή του θανάτου μετά από 5.700 χρόνια θα έχουν μείνει 50, δηλαδή τα μισά και μετά από άλλα 5.700 χρόνια τα μισά των μισών, δηλαδή 25 άτομα και ούτω καθ' εξής μέχρις ότου η συγκέντρωση γίνει τόσο μικρή που είναι πολύ δύσκολο πια να μετρηθεί. Αυτό συμβαίνει μετά από περίπου 50.000 χρόνια και αποτελεί το ανώτατο όριο εφαρμογής της τεχνικής. Η μέθοδος του Άνθρακα-14 μετά από σαράντα χρόνια έρευνας έχει φτάσει σε πολύ υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας και ακρίβειας που μπορεί να είναι 0.3% στη μέτρηση για ηλικίες μέχρι 6.000 χρόνια, ειδικά στα εργαστήρια τα οποία χρησιμοποιούν αναλογικούς μετρητές και μετρούν το δείγμα σε μορφή αερίου.

Σημαντικότερο όμως ρόλο στην ανάπτυξη της μεθόδου, τα τελευταία χρόνια, σε ένα απaráμιλλο εργαλείο απόλυτης χρονολόγησης είναι η συσχέτιση των μετρήσεων άνθρακα-14 με σειρά δακτυλίων δένδρων γνωστής ηλικίας η οποία έχει δημιουργηθεί από πάρα πολλά δένδρα σε Αμερική και Ευρώπη και φτάνει μέχρι 11.500 χρόνια από σήμερα. Από τη συσχέτιση αυτή παράγεται η λεγόμενη καμπύλη βαθμονόμησης (Stuiver et al 1993). Μέσω της καμπύλης αυτής μετατρέπονται οι ηλικίες που προκύπτουν από τη μέτρηση των διασπάσεων του  $^{14}\text{C}$  και ονομάζονται ηλικίες BP (Before Present) σε πραγματικές ημερολογιακές ηλικίες BC (Before Christ). Η βαθμονόμηση αυτή είναι απαραίτητη επειδή η συγκέντρωση του  $^{14}\text{C}$  στη ατμόσφαιρα μεταβάλλεται με το χρόνο λόγω της μεταβολής του μαγνητικού πεδίου της γης και της δράσης του ήλιου. Αυτά επηρεάζουν την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας και κατά συνέπεια την παραγωγή του  $^{14}\text{C}$  στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας της γης. Η καμπύλη βαθμολόγησης εκτός της συνεισφοράς της στην ακρίβεια των χρονολογήσεων με άνθρακα-14 έχει συμβάλει σημαντικά και στη κατανόηση κλιματολογικών και περιβαλλοντικών μεταβολών μεγάλης κλίμακας και στη ανίχνευση διαφόρων κοσμικών φαινομένων.

Πριν τη μέτρηση για την χρονολόγηση τα δείγματα πρέπει να περάσουν διάφορα στάδια επεξεργασίας. Αρχικά υπόκεινται σε μία εξειδικευμένη προεπεξεργασία με οξέα και βάσεις σκοπός της οποίας είναι η απομάκρυνση κάθε ξένης οργανικής ουσίας που έχει προσροφηθεί ή επικαθίσει στα δείγματα από το έδαφος κατά τη διάρκεια της ταφής και δεν

σχετίζεται με την ηλικία του δείγματος. Στη συνέχεια και κάτω από αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες το δείγμα καίγεται και μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα. Κατόπιν ακολουθούν λεπτομερέστατα στάδια καθαρισμού του αερίου δείγματος που έχουν στόχο να κατεβάσουν τις οποιεσδήποτε προσμίξεις σε συγκεντρώσεις κάτω από μερικά μέρη ανά εκατομμύριο. Με την διαδικασία αυτή παράγονται πάρα πολύ καθαρά αέρια δείγματα που επιτρέπουν χρονολογήσεις μεγάλης ακρίβειας (Πίνακας 2).

**Πίνακας 2.** Αποτελέσματα χρονολόγησης δειγμάτων, με τη μέθοδο του Ραδιοάνθρακα, από ορίζοντες που αποκαλύφθηκαν στα ορύγματα που διανοίχθηκαν.

| Δείγμα     | pmC         | Ηλικία 14C (BP)                 | δ13C (‰) | Βαθμονομημένη Ηλικία (BC/AD)              | Πιθανότητες        |
|------------|-------------|---------------------------------|----------|---|--------------------|
| DEM – 1582 | 86,3 ± 0,6  | 1185 ± 37                       | -25,00   | 780 – 890 μ.Χ.<br>710 – 970 μ.Χ.          | (68,3%)<br>(95,4%) |
| DEM – 1587 | 87,1 ± 0,6  | 1110 ± 58                       | -25,00   | 880 – 1010 μ.Χ.<br>780 – 1020 π.Χ.        | (68,3%)<br>(95,4%) |
| DEM – 1588 | 77,4 ± 0,3  | 2053 ± 31<br>1027 ± 31 (50%)    | 1,00     | 980 – 1030 π.Χ.<br>900 – 1150 π.Χ.        | (68,3%)<br>(95,4%) |
| DEM – 1589 | 68,7 ± 0,2  | 19014 ± 110<br>9508 ± 110 (50%) | 1,00     | 9130 – 8650 π.Χ.<br>9230 – 8570 π.Χ.      | (68,3%)<br>(95,4%) |
| DEM – 1581 | 122,4 ± 0,4 |                                 | -27,23   | 1959 – 1961 μ.Χ.<br>ή<br>1982 – 1984 μ.Χ. | (95,4%)<br>(95,4%) |
| DEM – 1590 | 0,8 ± 0,1   | 38825 ± 1060                    | 1,00     | 40950 – 36700 BP                          | (95,4%)            |
| DEM – 1580 | 68,5 ± 0,2  | 3043 ± 25                       | -24,20   | 1340 – 1270 π.Χ.<br>1400 – 1210 π.Χ.      | (68,3%)<br>(95,4%) |

## ΣΧΟΛΙΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η έρευνα υπαίθρου σε συνδυασμό με τις εργαστηριακές αναλύσεις για την χρονολόγηση των ανωτέρων στρωμάτων, που απαντούν κατά μήκος των χαρτογραφημένων ως ενεργών ή πιθανά ενεργών ρηγμάτων αποτελεί την ιδανικότερη και πιο αξιόπιστη λύση, όσον αφορά τον ακριβή προσδιορισμό του ρυθμού ολίσθησης ενός ρήγματος και κατ' επέκταση της επικινδυνότητας σε περίπτωση ενεργοποίησής του.

Ειδικότερα, στην περίπτωση της ανατολικής παράκτιας περιοχής του Ηρακλείου προσδιορίστηκε υψηλότερος ρυθμός ολίσθησης σε μια ενεργή ρηξιγενή επιφάνεια όπου σχεδιαζόταν να κατασκευαστούν κατοικίες. Το ρήγμα (F2) έχει χαρακτηριστική εμφάνιση εγκάρσια προς την κεντρική παραλιακή οδό. Παρατηρείται με κλίση περίπου 60° προς τα δυτικά να κόβει Άνω Πλειστοκαινικές θαλάσσιες αποθέσεις αναβαθμίδας, οι οποίες είχαν καλύψει την παράκτια ζώνη σε κάποια περίοδο υψηλής στάθμης του επιπέδου της θάλασσας λόγω κλιματικών μεταβολών. Φυσικά, η εμφάνισή των σήμερα σε υψόμετρο περίπου 20 μέτρα οφείλεται και σε ανοδικές τεκτονικές κινήσεις (δεδομένου ότι και σήμερα βρισκόμαστε σε υψηλή στάθμη θάλασσας, λόγω του ότι διανύουμε από κλιματική άποψη μία θερμή μεσοπαγετώδη περίοδο εδώ και περίπου 14000 χρόνια). Το άλμα του ρήγματος

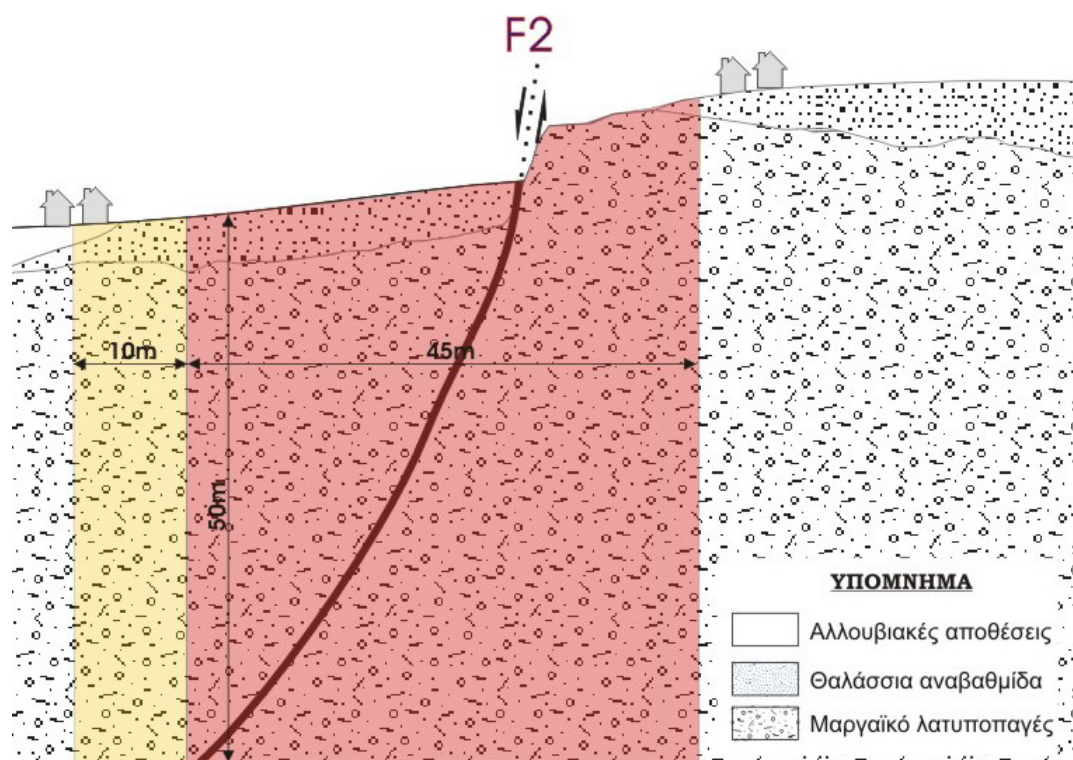
προσδιορίζεται με στρωματογραφικό ορίζοντα αναφοράς την επιφάνεια ασυμφωνίας της θαλάσσιας αναβαθμίδας πάνω στην πλειοκαινική μάργα σε περίπου 20 μέτρα. Η εκσκαφή του ορύγματος Θ2 απέναντι από την εμφάνιση του ρήγματος F2 δίπλα στον φράκτη του λιμανιού έδειξε τη θέση του ρήγματος από την διακοπή της συνέχειας των γεωλογικών σχηματισμών σε βάθος 2-4 μέτρα με αντίστοιχη αύξηση του πάχους των ανθρωπογενών αποθέσεων, στην αναμενόμενη προέκταση του ρήγματος με βάση την διεύθυνσή του. Η χρονολόγηση των σχηματισμών έδειξε ότι οι τεχνητές επιχωματώσεις έγιναν την περίοδο 1960-1980 ενώ η ηλικία των θαλάσσιων αποθέσεων που βρέθηκαν από την ανατολική πλευρά του ορύγματος με πάχος περίπου 1 μέτρο πάνω από την πλειοκαινική μάργα προσδιορίστηκε μεταξύ 35000-40000 ετών. Η ηλικία αυτή επιβεβαιώθηκε και με τις δύο μεθόδους χρονολόγησης. Με βάση την ηλικία των ιζημάτων της θαλάσσιας αναβαθμίδας και το άλμα του ρήγματος προσδιορίζεται ο ρυθμός παραμόρφωσης από την ολίσθηση εκατέρωθεν του ρήγματος σε 0.5-0.6 mm/έτος. Η τιμή αυτή είναι από τις μεγάλες τιμές ρυθμού παραμόρφωσης και συγκρίνεται με ρυθμούς ολίσθησης στα ενεργά ρήγματα του Κορινθιακού Κόλπου. Επομένως το ρήγμα F2 είναι έντονα ενεργό ρήγμα και οφείλει να υπάρξει σύμφωνα και με τον αντισεισμικό κανονισμό ζώνη προστασίας εκατέρωθεν του ίχνους του. Η ζώνη προστασίας πρέπει να είναι διπλάσια από την πλευρά του κατερχόμενου ρηξιτεμάχους, δηλαδή του δυτικού, όπου και έχει δημιουργηθεί και το μορφολογικό πραινές.

Το ρήγμα F3 βρίσκεται στο ανατολικό όριο του Δήμου Ηρακλείου και αποτελεί δευτερεύον συζυγές ρήγμα που διαμορφώνει την μικρή τεκτονική τάφρο όπου και ρέει ο χειμάρρος που τον οριοθετεί από τον Δήμο Αλικαρνασσού. Το κύριο ρήγμα της δομής αυτής βρίσκεται από την ανατολική πλευρά της κοίτης του χειμάρρου όπου και έχει χαρακτηριστική επιφανειακή εμφάνιση. Κατά την εκσκαφή εντοπίστηκε μεταβολή των επιφανειακών σχηματισμών με αύξηση των επιχωματώσεων προς τα ανατολικά, όπως αναμένεται από την όλη δομή. Η πιθανότερη θέση του ρήγματος σημειώνεται εκεί όπου διακόπτεται χαρακτηριστικός ορίζοντας μαύρης αργίλου με οργανικά υλικά σε βάθος περίπου 2.5 μέτρα (Σχήμα 4). Η χρονολόγηση των ιζημάτων έδειξε ανάμικτες ηλικίες με κύριο χρονικό ορίζοντα τον 11<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. Από τις παραπάνω παρατηρήσεις τεκμηριώνεται ένας σημαντικός βαθμός καθίζησης της περιοχής. Αυτό συνδυάζεται και με το γεγονός της υψηλής στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα στα 3.5 μέτρα.

Τα παραπάνω ρήγματα συνδέονται με το σύστημα ρηγμάτων διεύθυνσης B-N που παρατηρείται χαρακτηριστικά στην περιοχή του όρους Γιούχτα, όπου το άλμα προσδιορίζεται σε πολλές εκατοντάδες μέτρα έως και 1 χιλιόμετρο αλλά φυσικά σε πολύ μεγαλύτερο γεωλογικό χρόνο (μερικά εκατομμύρια χρόνια). Η προέκταση των ρηγμάτων του Γιούχτα προς Βορρά δείχνει ότι το ενεργό ρήγμα F2 μπορεί να αποτελεί μία επιφανειακή συνέχεια του παλαιού αυτού συστήματος ρηγμάτων. Αυτό έχει σημασία για τον προσδιορισμό του μήκους των ρηγμάτων και επομένως για τον προσδιορισμό του μεγέθους του αναμενόμενου σεισμού. Μία προσπάθεια χρονολόγησης των παλαιών σεισμών στα ρήγματα του Γιούχτα με χρονολόγηση των παλαιοεδαφών όπως έγινε στα ορύγματα της παρούσας μελέτης θα έδινε πληροφορίες για την ευρύτερη περιοχή του Ηρακλείου. Επίσης, η ύπαρξη της θάλασσας προς Βορρά δεν επιτρέπει την παρατήρηση της προέκτασης του ρήγματος στον υποθαλάσσιο χώρο. Μία λεπτομερής διερεύνηση επομένως του υποθαλάσσιου χώρου θα προσδιόριζε την θέση και το μήκος των ενεργών ρηγμάτων της περιοχής τα οποία μπορεί να αποτελούν σημαντικότερο κίνδυνο από τα χερσαία. Ειδικά για το Ηράκλειο είναι σημαντικό να



διερευνηθεί η θέση και η ιστορία του ρήγματος διεύθυνσης Α-Δ, το οποίο έχει διαμορφώσει την ακτογραμμή σε μήκος πολλών χιλιομέτρων.



**Σχήμα 8.** Γεωλογικό σκαρίφημα στην περιοχή της Τρυπητής όπου καθορίζονται οι περιοχές ακαταλληλότητας για δόμηση εκατέρωθεν ενεργού ρήγματος που μελετήθηκε στην περιοχή. Η ζώνη των 45 μέτρων χαρακτηρίζεται ως ακατάλληλη ενώ στη ζώνη 10 μέτρων στο κατερχόμενο τέμαχος χαρακτηρίζεται ως κατάλληλη υπό προϋποθέσεις (πιθανή ύπαρξη δευτερογενούς ρηξιγενούς επιφάνειας κλπ)

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν τους Δρ. Ε. Ντόσικα, Κ. Γκογκίδου και Η. Τζαβιδόπουλο για τη βοήθειά τους στη συλλογή και επεξεργασία των δειγμάτων που χρονολογήθηκαν καθώς και τις υπηρεσίες Πολεοδομίας και Τεχνικών Έργων του Δήμου Ηρακλείου για τις διευκολύνσεις που παρέιχαν στη φάση διάνοιξης των ορυγμάτων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aitken, M. J. (1990). Science-based dating in archaeology. Longman archaeology series. London: Longman.
- Hsu, K.J. et al., 1977. History of the Messinian salinity crisis. Nature, 267: 399–403.
- Kopp, K.O. & Ott, E., 1977. Spezialkartierungen im Umkreis neuer Fossilfunde in Tripali und Tripolitzakalken Westkretas. N. Jb. Geol. Palaont. Mh., 4: 217-238.

- Kopp, K.O. & Wernado, G., 1983. Über eine intra-triassische Deckenbewegung auf Kreta. *Geol. Rundsch.*, 72(3): 895-910.
- Krijgsman, W., Hilgen, F.J., Langereis, C.G. & Zachariasse, W.J., 1994. The age of the Tortonian/Messinian boundary. *Earth and Planetary Science Letters*, 121: 533-547.
- Meulenkamp, J.E. (Editor), 1979. Field guide to the Neogene of Crete. Publications of the Department of Geology & Paleontology, Series A, No 32. Univ. Athens, 32 pp.
- Meulenkamp, J.E. et al., 1979. Late Miocene-Pliocene climatic fluctuations and marine "cyclic" sedimentation. *Ann. Geol. Pays Hell.*, Tome hors serie(2): 831-842.
- Meulenkamp, J.E., van der Zwaan, G.L. & van Wamel, W.A., 1994. On late Miocene to recent vertical motions in the Cretan segment of the Hellenic Arc. *Tectonophysics*, 234: 53-72.
- Michael, C.T., Zacharias, N., (2000). A new technique for thick-source alpha counting determination of U and Th. *Nuclear Instruments and Methods*, 439, 1, 167-177.
- Monaco, C. & Tortorici, A., 2004. Faulting and effects of earthquakes on Minoan archaeological sites in Crete (Greece). *Tectonophysics*, 382: 103-116.
- Murray, A.S., Wintle, A.G., (2000). Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurements*, 32(1), 57-73.
- Papanikolaou, D. & Nomikou, P., 1998. Neotectonic blocks and planation surfaces in Iraklion basin, Crete, Greece. *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*. XXXII(1): 231-239.
- Papanikolaou, D., 1988. Introduction to the geology of Crete. IGCP No 276, Chania, 36 pp.
- Papazachos, B.C. & Papazachou, C.B., 1997. The Earthquakes of Greece. Ziti, Thessaloniki, 304 pp.
- Pirazzoli, P.A., 1996. Uplift of ancient Greek coastal sites: Study methods and results. In: S. Stiros & R.E. Jones (Editors), *Archaeoseismicity*. IGME-British School at Athens, pp. 237-245.
- Riding, R., Braga, J.C., Martin, J.M. & Sanchez-Almazo, I.M., 1998. Mediterranean Messinian salinity crisis: constraints from a coeval marginal basin, Sorbas, southeastern Spain. *Marine Geology*, 146: 1-20.
- Sannemann, W. & Seidel, E., 1976. Die Trias-schichten von Rawducha/NW-Kreta. Ihre Stellung im Kretischen Deckenbau. *N. Jb. Geol. Palaont. Mh.*, 1976(4): 221-228.
- Stiros, S., 2001. The AD 365 Crete earthquake and possible seismic clustering during the fourth to sixth centuries AD in the Eastern Mediterranean: a review of historical and archaeological data. *Journal of Structural Geology*, 23: 545-562.
- Stuiver, M. and Reimer, P. J. (1993) Extended 14C database and revised CALIB radiocarbon age calibration program. *Radiocarbon* 35, 215-230.
- ten Veen, J.H. & Postma, G., 1999. Neogene tectonics and basin fill patterns in the Hellenic outer-arc (Crete, Greece). *Basin Research*, 11: 223-241.
- Tsapanos, T.M., 2003. A seismic hazard scenario for the main cities of Crete island, Greece. *Geophys. J. Int.*, 153: 403-408.
- Wachendorf, H., Best, G. & Gwosdz, W., 1975. Geodynamische Interpretation Ostkretas. *Geol. Rundschau*, 64: 728-750.
- Wurm, A., 1950. Zur Kenntnis des Metamorphikums der Insel Kreta. *N. Jb. Geol. Palaont. Jahrg.*, 1950(7/8): 206-239.
- Zacharias, N., Mauz, B., Michael, C.T., (2002). Luminescence quartz dating of lime mortars. A first research approach. *Radiation Protection Dosimetry*, 101(1-4), 379-382.
- Αυτοματοποιημένο Γεωτεχνολογικό Πρόγραμμα Πρόληψης – Μείωσης Σεισμικού Κινδύνου Πόλεων Υψηλής Σεισμικότητας στα πλαίσια αναλυτικών μικροζωνικών μελετών, ΕΚΠΑ, 1998.
- Βιδάκης, Μ. & Meulenkamp, J.E., 1993. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας 1:50.000, Φύλλο Ηράκλειο. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθήνα.
- Γαλανόπουλος, Α. 1955. Σεισμική γεωγραφία της Ελλάδος. *Ann. Geol. Pays Hell.*, XI: 83-121.
- Γαλανόπουλος, Α. 1980. Οι βλαβεροί σεισμοί και το σεισμικό δυναμικό της Ελλάδος. *Ann. Geol. Pays Hell.*, XXX(2): 647-720.
- Δεμπιάζης, Σ. 1893. Ο μεγάλος σεισμός της Κρήτης το 1629. *Παρνασσός*, 16: 218-221.

- Δρακόπουλος, Ι., Φυτρολάκης, Ν., Δελήμπασης, Ν. & Μακρόπουλος, Κ. 1983. Ο σεισμοτεκτονικός χάρτης της Κρήτης. Τ.Ε.Ε. Αν. & Δυτ. Κρήτης, Αθήνα.
- Ξανθουλίδης, Σ. 1925. Ο σεισμός του 1856, Νέα Εφημερίς, Ηράκλειο, pp. 149-153.
- ΟΑΣΠ, 2004. Ν. Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, Αθήνα, 257 pp.
- Παπανικολάου, Δ. 1986. Γεωλογία της Ελλάδος. Εκδόσεις Επτάλοφος Α.Β.Ε.Ε. Αθήνα, 240 pp.
- Παπανικολάου, Δ. 2005. Έρευνα επισήμανσης και χαρακτηρισμού των ρηγμάτων στα πλαίσια της πολεοδόμησης του Ανατολικού Πολεοδομικού Κέντρου, Δήμου Ηρακλείου, Αθήνα, 21 pp.
- Πλατάκης, Ε. 1950. Οι σεισμοί της Κρήτης. Κρητικά Χρονικά, 4: 463-526.
- Φυτρολάκης, Ν. 1978. Συμβολή στη γεωλογική έρευνα της Κρήτης. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας. XIII(2): 101-115.