

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Τομέας Δυναμικής, Τεκτονικής & Εφαρμοσμένης Γεωλογίας

ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ
Κ0103 ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕ ΘΕΜΑ

ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΣΚΟΠΕΛΟΥ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΗΣ ΜΕ
ΤΟ ΡΗΓΜΑ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ



Φοιτητής: Χριστόφορος Λ. Βασιλείου
Α.Μ.: 1114201000121
Επιβλέπων: Αναπλ. Καθηγητής Στυλιανός Λόζιος
Ακαδημαϊκό Έτος: 2018-2019

Το παρόν πόνημα αφιερώνεται στη μνήμη
της μητέρας μου Αγγελικής

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	3
Περίληψη.....	5
Abstract.....	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΗΣ ΣΚΟΠΕΛΟΥ.....	9
1.1. Η Πελαγονική Ενότητα.....	10
1.2. Η Ενότητα της Γλώσσας (το Ηωελληνικό Κάλυμμα).....	12
1.3. Η Ενότητα του Παλουκιού.....	14
1.4. Γεωμορφολογία και Τεκτονικές Δομές της Σκοπέλου.....	18
1.5. Η Σκόπελος στο Γεωλογικό Πλαίσιο των Βορείων Σποράδων – Γεωλογική Ιστορία της Σκοπέλου.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	35
3.1. Εμφάνισεις στις Θέσεις Αγία Μαρίνα – Κοτρωνάκι.....	35
3.2. Εμφάνισεις στη Θέση Ρέμα Τριπότη.....	47
3.3. Εμφάνισεις στη Θέση της Ι.Μ. Προφήτη Ηλία.....	54
3.4. Εμφάνισεις στις Παραλίες Στάφυλου – Βελανιού.....	58
3.5. Εμφάνιση Αποθέσεων Τραβερίνη στον Στάφυλο.....	128
3.5.1. Φυσικοχημικές Συνθήκες Περιβαλλόντων Απόθεσης Τραβερίνη.....	134
3.6. Εμφάνισεις στην Επαρχιακή Οδό Στάφυλου – Αγνώντα.....	137
3.7. Παρατηρήσεις και Σχόλια στα Τεκτονικά Στοιχεία της Νοτιοανατολικής Σκοπέλου.....	145
3.8. Εμφάνισεις στον Λιμένα Κυμάσι, στη Β. Εύβοια.....	147
3.9. Πετρολογία Περιοχής Μελέτης.....	150
3.9.1. Θέσεις Αγία Μαρίνα – Κοτρωνάκι.....	150
3.9.2. Θέση Ρέμα Τριπότη.....	153
3.9.3. Θέση Ι.Μ. Προφήτη Ηλία.....	162
3.9.4. Παραλίες Στάφυλου – Βελανιού.....	164
3.9.5. Αποθέσεις Τραβερίνη στον Στάφυλο.....	173
3.9.6. Γενικά Συμπεράσματα από την Πετρολογία της Περιοχής Μελέτης...191	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	192
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	205
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	207
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι. Χάρτης του ΙΓΜΕ για την Σκόπελο	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ. Χρονοστρωματογραφικός Χάρτης	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ. Φωτογραφικό Υλικό από Επισκέψεις του 2015	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV. Φωτογραφίες Δειγμάτων	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V. Φωτογραφίες από Λεπτές Τομές και διαγράμματα XRD	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI. Αποθέσεις Τραβερίνη στον Στάφυλο	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VII. Φωτογραφίες και Στοιχεία από Πτυχές και Ρήγματα	

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Δυναμικής, Τεκτονικής & Εφαρμοσμένης Γεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ, υπό την επίβλεψη του μέλους ΔΕΠ του Τομέα Αναπληρωτή Καθηγητή Στυλιανού Λόζιου, στο πλαίσιο των προπτυχιακών σπουδών μου στο ως άνω Τμήμα. Το θέμα της σχετίζεται με ένα ζήτημα σημαντικό, κατά τη γνώμη μου, ως προς το γεωτεκτονικό καθεστώς του Βορείου Αιγαίου. Αναφέρεται συγκεκριμένα στη γεωλογία της νήσου Σκοπέλου και διερευνά την πιθανή επίδραση που έχει σ' αυτήν το ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης του Βορείου Αιγαίου, με δεδομένο το γεγονός ότι στην περιοχή της Σκοπέλου βρίσκεται το δυτικό άκρο του ρήγματος αυτού. Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας, επομένως, εφόσον ενισχύουν την άποψη ότι η επίδραση του ρήγματος στη γεωλογία της νήσου είναι καθοριστική, βοηθούν στη διάγνωση του σεισμικού κινδύνου της περιοχής, πέραν του καθαρά ακαδημαϊκού ενδιαφέροντος που εμπεριέχει η μελέτη ενός εκτεταμένου ρήγματος οριζόντιας ολίσθησης, το οποίο διαμορφώνει τη γεωλογία ολόκληρου του Βορείου Αιγαίου.

Θα ήθελα και από τη θέση αυτή να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με βοήθησαν, με τον έναν ή τον άλλον τρόπο, στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Τον επιβλέποντα Αναπληρωτή Καθηγητή Στυλιανό Λόζιο, κατ' αρχάς, ο οποίος μου εμπιστεύθηκε το θέμα, κατέστρωσε με επιμέλεια το σχέδιο δραστηριοτήτων, συγκεκριμενοποίησε τους στόχους της εργασίας και με κατηύθυνε συνεχώς, από τη διενέργεια των παρατηρήσεων στο πεδίο μέχρι την τελική συγγραφή, χωρίς να φείδεται κόπου και χρόνου, ώστε να προκύψει ένα όσο το δυνατόν πιο άρτιο αποτέλεσμα.

Τον Ομότιμο Καθηγητή στο Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ Νικόλαο Σκαρπέλη, στη συνέχεια, ο οποίος με βοήθησε σε θέματα βιβλιογραφίας και με εμπύχωσε, από το 2012 που τον γνώρισα μέχρι σήμερα, ώστε να ολοκληρώσω τις προπτυχιακές μου σπουδές στη Γεωλογία.

Τον Αναπληρωτή Καθηγητή στο Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ Παναγιώτη Πομώνη, ο οποίος με τις ειδικές γνώσεις και την εμπειρία του σε θέματα ορυκτολογίας και πετρολογίας με βοήθησε να ολοκληρώσω τη μακροσκοπική και μικροσκοπική μελέτη των δειγμάτων που έφερα από το ύπαιθρο, στο εργαστήριο του Τομέα Ορυκτολογίας και Πετρολογίας, καθώς και στη συγγραφή των σχετικών εδαφίων της εργασίας.

Την Επίκουρη Καθηγήτρια στο Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ Μαριάννα Κατή για τη διαφωτιστική ενημέρωση που μου έκανε στο πολύ ειδικό θέμα των αποθέσεων τραβερτίνη, τη σχετική βιβλιογραφία που μου παρέσχε, τη βοήθειά της στη λήψη φωτογραφιών από λεπτές τομές δειγμάτων τραβερτίνη που έφερα από τον Στάφυλο της Σκοπέλου, την παραγωγή διαγραμμάτων XRD από τα ίδια δείγματα, τη βοήθειά της στη σύνταξη των εδαφίων που σχετίζονται με τις αποθέσεις τραβερτίνη και την εποικοδομητική κριτική της, η οποία συνέβαλε στη διαμόρφωση της εργασίας αυτής σε ορθολογική βάση.

Τον Διευθυντή Ερευνών στο Ινστιτούτο Γεωδυναμικής του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών Δρα Αθανάσιο Γκανά, ο οποίος ευγενώς μου παρέσχε, υπό μορφή δημοσιευμένων

και αδημοσίευτων εργασιών, δεδομένα από την έρευνα σχετικά με την επιφανειακή κίνηση του φλοιού στην περιοχή μεταξύ της Κεντρικής Ελλάδας και του Βορείου Αιγαίου, την οποία διενεργεί τα τελευταία χρόνια το Ινστιτούτο Γεωδυναμικής.

Τον Επίκουρο Καθηγητή Εμμανουήλ Σκούρτσο, ερευνητή και μέλος του ΕΔΙΠ στον Τομέα Δυναμικής, Τεκτονικής & Εφαρμοσμένης Γεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ, ο οποίος ευγενώς μου παρεχώρησε από το προσωπικό του αρχείο γεωλογικούς χάρτες που ήταν απαραίτητοι για την εργασία στο ύπαιθρο.

Τον Δρα Κωνσταντίνο Σούκη, ερευνητή επίσης και μέλος του ΕΔΙΠ στον ίδιο Τομέα, ο οποίος, με τις ειδικές γνώσεις του σε θέματα μικροτεκτονικής, με βοήθησε στην εξέταση ως προς τη διάσταση αυτή των λεπτών τομών που προέκυψαν από δείγματα ειδικού ενδιαφέροντος.

Τον Διευθυντή του Εργαστηρίου Ορυκτολογίας – Πετρογραφίας του ΙΓΜΕ Δρα Γεώργιο Οικονόμου, ο οποίος ευγενώς μου παρέσχε την άδεια να χρησιμοποιήσω την υλικοτεχνική υποδομή του Εργαστηρίου για την παρασκευή λεπτών τομών από επιλεγμένα δείγματα, καθώς και τον τεχνικό του ως άνω Εργαστηρίου Παντελή Πάτση, ο οποίος με την εμπειρία και τη δεξιοτεχνία του ολοκλήρωσε με άριστα αποτελέσματα το έργο που ανέλαβε.

Τον Σκοπελίτη επιχειρηματία Αντώνη Προβιά, για την άδεια που ευγενώς μου παραχώρησε ώστε να πραγματοποιήσω επισκέψεις, φωτογραφήσεις και δειγματοληψίες σε κτήμα ιδιοκτησίας του στον Στάφυλο, όπου υπάρχει μια ιδιαίτερου ενδιαφέροντος και μοναδική στην Ελλάδα, από όσα γνωρίζω, εμφάνιση με αποθέσεις τραβερτίνη.

Τον αείμνηστο φίλο μου από τη Σκόπελο Γιάννη Χρηστίνη, για τις ατέλειωτες πληροφορίες που μου έδινε όλα αυτά τα καλοκαίρια, από το 2015 ως το 2018, για κάθε τοποθεσία που ήθελα να επισκεφθώ προς συλλογή δεδομένων από το ύπαιθρο.

Τον ταλαντούχο συμφοιτητή μου και φίλο Γιάννη Σπίγγο, ιδιαίτερα ευχαριστώ για δύο λόγους: πρώτον, για την ψυχολογική του στήριξη τα τελευταία 8 χρόνια, που με βοήθησε να ξεπεράσω τη διαφορά ηλικίας και να ενταχθώ στο σώμα των υπόλοιπων συμφοιτητών μου εκπληρώνοντας τις υποχρεώσεις μου ως προπτυχιακού φοιτητή, και δεύτερον, για τη βοήθεια που μου παρέσχε στη μελέτη της σεισμικότητας στην περιοχή ενδιαφέροντος με τη διπλή ιδιότητά του, ως υποψήφιου Διδάκτορα Σεισμολογίας και ως μέλους της ερευνητικής ομάδας Σεισμολογίας στον Τομέα Γεωφυσικής & Γεωθερμίας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ.

Θα ήθελα, στο τέλος, να ευχαριστήσω και τα πρόσωπα του οικογενειακού μου περιβάλλοντος, τα οποία με στηρίζουν αδιάκοπα με την αγάπη τους στη διάρκεια των πολυετών σπουδών μου.

Αθήνα, Σεπτέμβριος του 2019

Χριστόφορος Λ. Βασιλείου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το νησί της Σκοπέλου ανήκει στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Βορείων Σποράδων και αποτελείται από τρεις γεωλογικές ενότητες: της Γλώσσας, την Πελαγονική και του Παλουκιού. Η γεωλογική της ιστορία άρχισε στο Μέσο Τριαδικό, με αποθέσεις ιζημάτων στον παλαιωκεανό της Τηθύος, και συνεχίστηκε στο Ιουρασικό με τη διάνοιξη και το κλείσιμο του ωκεανού του Βαρδάρη και την επακόλουθη σύγκρουση μεταξύ της Πελαγονίας και της Ροδόπης, η οποία έλαβε χώρα στο Κρητιδικό. Αποτέλεσμα των παραπάνω διεργασιών ήταν ο σχηματισμός των τριών γεωλογικών ενοτήτων που αποτελούν το νησί, η ενσωμάτωσή τους σε μια σφήνα συσσώρευσης και η υποβύθιση και ο ενταφιασμός τους, που προκάλεσαν στα πετρώματά τους παραμόρφωση και μεταμόρφωση διαφόρων βαθμών. Στη διάρκεια του Καινοζωικού έγινε εκταφισμός των ενοτήτων και επέδρασαν σε αυτές ενδογενείς και εξωγενείς δυνάμεις, οι οποίες διαμόρφωσαν τη σημερινή γεωλογική εικόνα του νησιού. Από τις παρατηρήσεις στο πεδίο, τις εργαστηριακές αναλύσεις και την επισκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας που έγιναν στο πλαίσιο της παρούσης εργασίας ενισχύεται η υπόθεση ότι το δεξιόστροφο ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης του Βορείου Αιγαίου, το οποίο περατούται στον υποθαλάσσιο χώρο μεταξύ Σκοπέλου και Αλοννήσου, έχει σημαντική επίδραση στη γεωλογία της Σκοπέλου. Η κατεύθυνση κίνησης του νοτίου τεμάχους του ρήγματος αυτού είναι από ΝΕ προς SW, ίδια με την κατεύθυνση προς την οποία φαίνεται να επωθείται η ενότητα του Παλουκιού πάνω στην Πελαγονική ενότητα, στη νοτιοανατολική περιοχή της Σκοπέλου. Αρκετές ακόμη ενδείξεις υποστηρίζουν την παραπάνω υπόθεση, όπως οι διευθετήσεις των επιφανειών τεκτονικού ενδιαφέροντος και γραμμικών στοιχείων στις εμφανίσεις πετρωμάτων που βρίσκονται στις θέσεις οι οποίες γειτνιάζουν με την τεκτονική επαφή μεταξύ των δύο ενοτήτων, η έντονη παραμόρφωση των πετρωμάτων αυτών που είναι ορατή και μακροσκοπικά και μικροσκοπικά, η μεταμόρφωσή τους σε διάφορους βαθμούς, από ανύπαρκτη μέχρι μεταμόρφωση χαμηλών θερμοκρασιών - υψηλών πιέσεων, η ύπαρξη αποθέσεων τραβερτίνη σε θέση στο νησί, η οποία βρίσκεται στη νοητή προέκταση του ίχνους του ρήγματος, πράγμα που σημαίνει ότι πιθανόν το ρήγμα να διέτρεχε το νησί στο παρελθόν, η μετρούμενη μέσω επίγειων σταθμών GPS σχετικά υψηλή ταχύτητα προσέγγισης μεταξύ της Σκοπέλου και της Β. Εύβοιας, και η υψηλή σεισμικότητα της περιοχής Σκοπέλου – Αλοννήσου.

ABSTRACT

The island of Skopelos belongs to the island complex of the Northern Sporades and consists of three geological units: Glossa, Pelagonia and Palouki. Its geological history began in the Middle Triassic, with sediment deposits in the Tethys Paleo-ocean, and continued in the Jurassic with the opening and closing of the Vardar Ocean and the ensuing conflict between Pelagonia and Rhodope, which took place in the Cretaceous. The result of the above processes was the formation of the three geological units, their integration into an accumulation wedge, and their sinking and burial, which caused various degrees of deformation and metamorphism in their rocks. During the Cenozoic, the geological units were exhumated and influenced by endogenous and extrinsic forces that shaped the present geological picture of the island. The observations in the field, the laboratory analysis and the review of the existing literature conducted in the context of the present work reinforce the hypothesis that the northwest Aegean horizontal slip fault, which terminates in the submarine space between Skopelos and Alonnisos, has significant influence on the geology of Skopelos. The direction of movement of the southern portion of this fault is from NE to SW, the same as the direction in which Palouki unit seems to be pushed over the Pelagonian unit, in the SE area of Skopelos. Several other indications support the above hypothesis, such as the arrangement of tectonic surfaces and linear elements in rock appearances at sites adjacent to the tectonic contact between the two geological units, the strong deformation of these rocks, which is visible macroscopically and microscopically, their metamorphism to varying degrees, from nonexistent to low temperatures - high pressure, the presence of travertine deposits at some location on the island, in the comprehensible extension of the fault trace, which means that the rift probably ran through the island sometime in the past, the high convergence rate between Skopelos and North Euboea, as measured by land GPS stations, and the high seismicity of the Skopelos - Alonnisos area.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Επισκέπτομαι από πολλών ετών τη Σκόπελο και πάντα με εντυπωσίαζε το έντονο ανάγλυφο του νησιού, πέραν της φυτοκάλυψης από άκρου εις άκρον. Τα τελευταία χρόνια, υπό το πρίσμα των σπουδών μου στο Τμήμα Γεωλογίας του ΕΚΠΑ, όλο αυτό το σύνολο γεωμορφών, οι οποίες εναλλάσσονται με έντονες αντιθέσεις μέσα σε μικρές αποστάσεις (ήρεμοι και αμμουδεροί δακτυλιοειδείς κολπίσκοι δίπλα σε απόκρημνες ακτές, μικρές στενόμακρες πεδιάδες ανάμεσα σε απότομες βουνοπλαγιές κλπ), έγινε αντιληπτό από μια άλλη οπτική γωνία, δυναμική και εξελικτική. Ιδιαίτερα με προβλημάτισαν οι εμφανίσεις πετρωμάτων στις παραλίες Στάφυλος και Βελανιό. Στις απότομες πλαγιές πίσω από την άμμο, διαβρωμένες από τις βροχές και τα κύματα του χειμώνα, και στις ζώνες πετρωμάτων που τη διακόπτουν διακρίνονται σε μια χαοτική αλληλουχία πυκνά στρωματωμένα και άστρωτα πετρώματα, ανορθωμένοι ογκόλιθοι με έντονες διακλάσεις, ξεκομμένοι θαρρείς από το πουθενά, αργιλικά πετρώματα πυκνά φυλλωμένα και έντονα πτυχωμένα δίπλα σε μαυριδερά πετρώματα, πότε άστρωτα και πότε φυλλωμένα και έντονα πτυχωμένα, ασβεστόλιθοι με ποικιλία χρωμάτων και φακοί εξαλλοιωμένων μεταμαγμιτών. Σε όλα αυτά τα πετρώματα κοινοί παρονομαστές είναι η μικρού μέχρι μεσαίου βαθμού μεταμόρφωση και η έντονη παραμόρφωση.

Η παρούσα διπλωματική εργασία, η οποία εκπονείται στο πλαίσιο του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ, αποτελεί μια απόπειρα να τοποθετηθεί όλο αυτό το χαοτικό σύνολο σε ένα γεωδυναμικό πλαίσιο ικανό να εξηγήσει τη γεωλογική ιστορία της περιοχής και να προβλέψει ίσως τη μελλοντική της γεωλογική εξέλιξη. Αποσκοπεί συγκεκριμένα στη συνοπτική περιγραφή της Γεωλογίας της Σκοπέλου και τη διερεύνηση των σχέσεων που ενδεχομένως έχει αυτή με το γεωδυναμικό καθεστώς της ευρύτερης περιοχής του Βορείου Αιγαίου. Το καθεστώς αυτό κυριαρχείται από ένα ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης, παράλληλο προς τη νότια πλευρά της τάφρου του Βορείου Αιγαίου, το οποίο είναι προέκταση του εκτεταμένου ρήγματος της Ανατολίας και φαίνεται να τερματίζεται κατά μίαν άποψη στον θαλάσσιο χώρο μεταξύ των βορείων ακτών της Σκοπέλου και της Αλοννήσου, ενώ κατά άλλους διατρέχει τη Σκόπελο και τερματίζεται στον μεταξύ αυτής και της Βορείου Ευβοίας υποθαλάσσιο χώρο. Αποτέλεσμα της ενεργότητας του ρήγματος αυτού είναι η έντονη σεισμική δραστηριότητα που καταγράφεται ανά διαστήματα στην ευρύτερη περιοχή του Βορείου Αιγαίου.

Στην αρχή της εργασίας παρατίθενται σε ένα κεφάλαιο πληροφορίες σχετικές με το γεωλογικό υπόβαθρο και τη γεωδυναμική της Σκοπέλου, οι οποίες αντλούνται κυρίως από τη μοναδική διδακτορική διατριβή που υπάρχει στη βιβλιογραφία με θέμα το νησί, σύμφωνα με τα δεδομένα του Εθνικού Αρχείου Διδακτορικών Διατριβών (που καλύπτουν το χρονικό διάστημα από το 1985 μέχρι τώρα). Η διατριβή αυτή εκπονήθηκε από τον τότε ερευνητή στο ΙΓΜΕ Δρα Διονύσιο Ματαράγκα (1992) ^[1], ενώ ο ίδιος ερευνητής έκανε παράλληλα και τη γεωλογική χαρτογράφηση της Σκοπέλου, ανάμεσα στα έτη 1987-1989, για λογαριασμό του ΙΓΜΕ και ο χάρτης που προέκυψε αποτελεί επίσης πηγή πληροφοριών ^[4]. Παρατίθενται επίσης στο Γενικό Μέρος και κάποιες σημαντικές πληροφορίες που αντλήσαμε από τα ελάχιστα άρθρα της σύγχρονης επιστημονικής βιβλιογραφίας σχετικά με τη Σκόπελο, οι οποίες αφορούν κυρίως τη σχέση της γεωλογίας της Σκοπέλου με τις γεωλογίες των γειτονικών της νησιών των Βορείων Σποράδων (της Σκιάθου, της Αλοννήσου και της Περιστεράς).

Στη συνέχεια υπάρχει ένα κεφάλαιο σχετικό με τη μέθοδο που χρησιμοποιήσαμε για την συλλογή των παρατηρησιακών δεδομένων και την επεξεργασία τους. Σε ένα τρίτο κεφάλαιο συμπεριλάβαμε τα αποτελέσματα των εργασιών στο πεδίο, δηλαδή προσωπικές

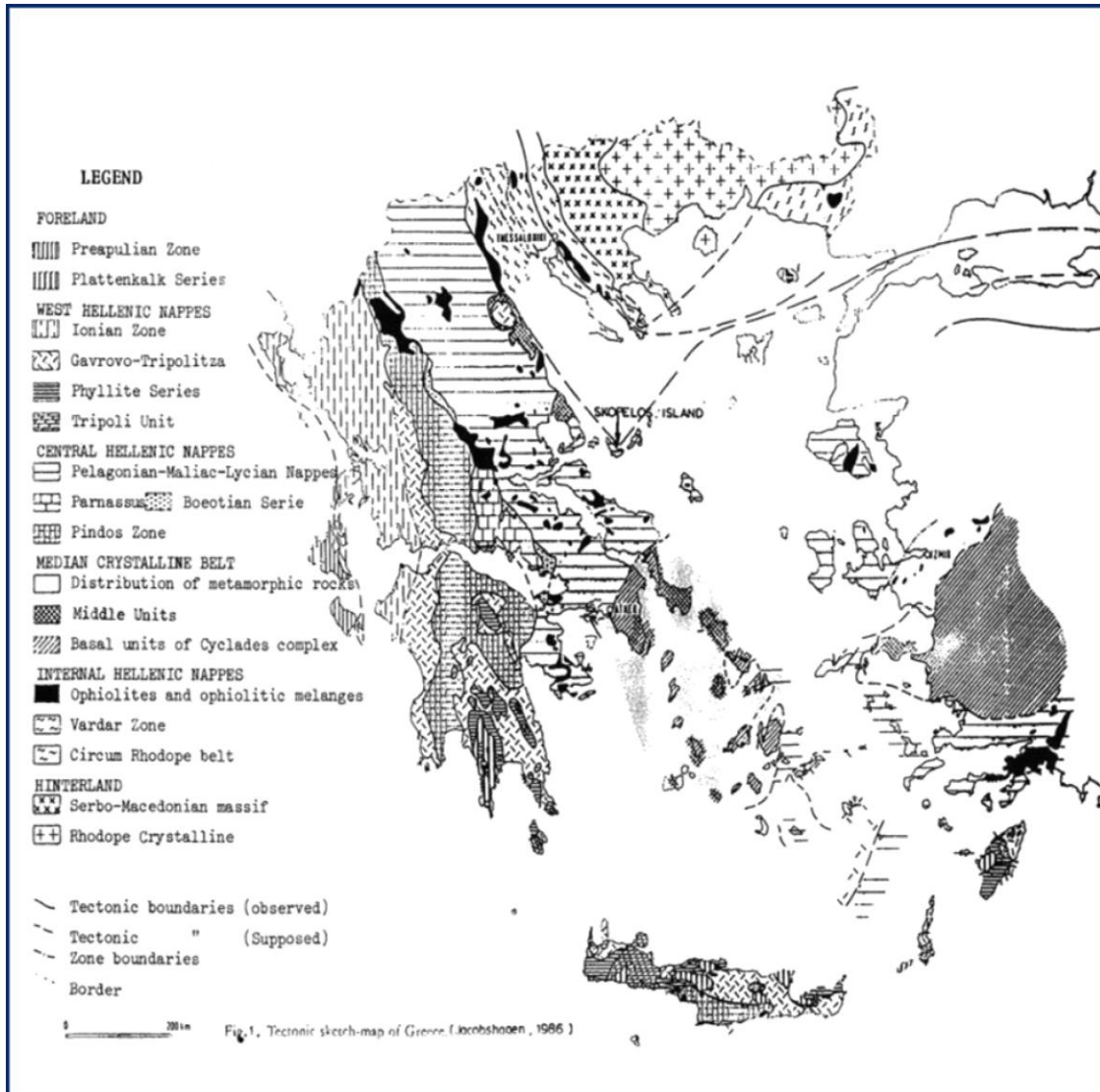
παρατηρήσεις, αριθμητικά δεδομένα από μετρήσεις διαφόρων τεκτονικών παραμέτρων και φωτογραφίες από επισκέψεις στο πεδίο τα καλοκαίρια των ετών 2015, 2016 και 2017, καθώς και τα αποτελέσματα των εργαστηριακών παρατηρήσεων σχετικά με την πετρολογία της περιοχής μελέτης.

Στα δύο τελευταία κεφάλαια γίνεται συζήτηση, προκειμένου να υπάρξει μια σύνθεση των όσων αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα, και εκτίθενται συνοπτικά τα συμπεράσματα της εργασίας.

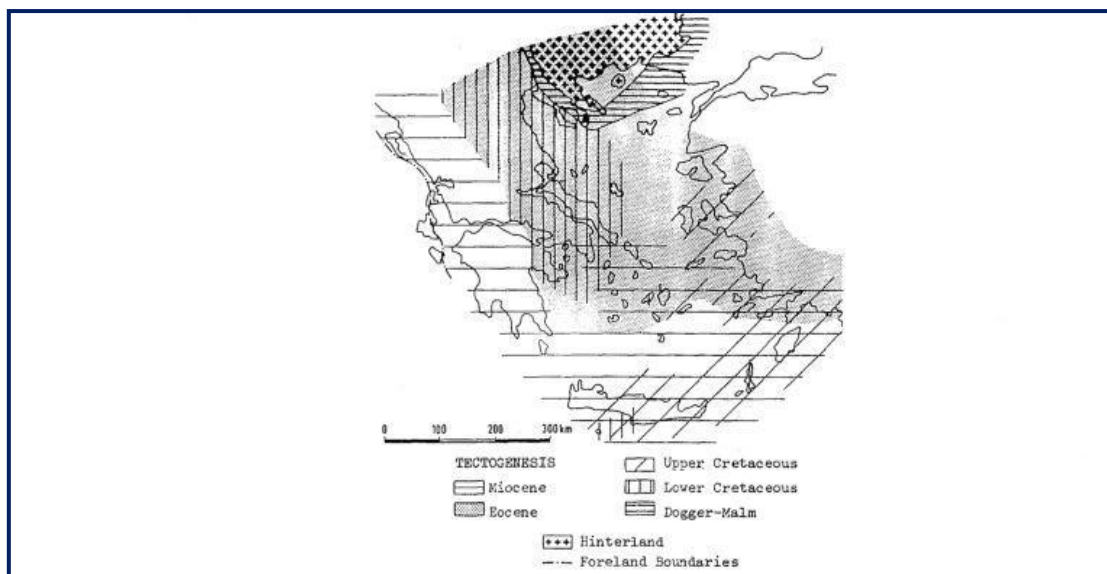
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΗΣ ΣΚΟΠΕΛΟΥ

Η νήσος Σκόπελος ανήκει στο νησιωτικό συγκρότημα των Βορείων Σποράδων, στη δυτική πλευρά του κεντρικού Αιγαίου Πελάγους (Εικ. 1). Έχει από καιρού επισημανθεί στη διεθνή βιβλιογραφία η αναγκαιότητα της διαλεύκανσης του γεωτεκτονικού καθεστώτος της, με δεδομένο το περίπλοκο σύνολο γεωλογικών ενοτήτων και δομών του νησιού.^[1, 2, 3]

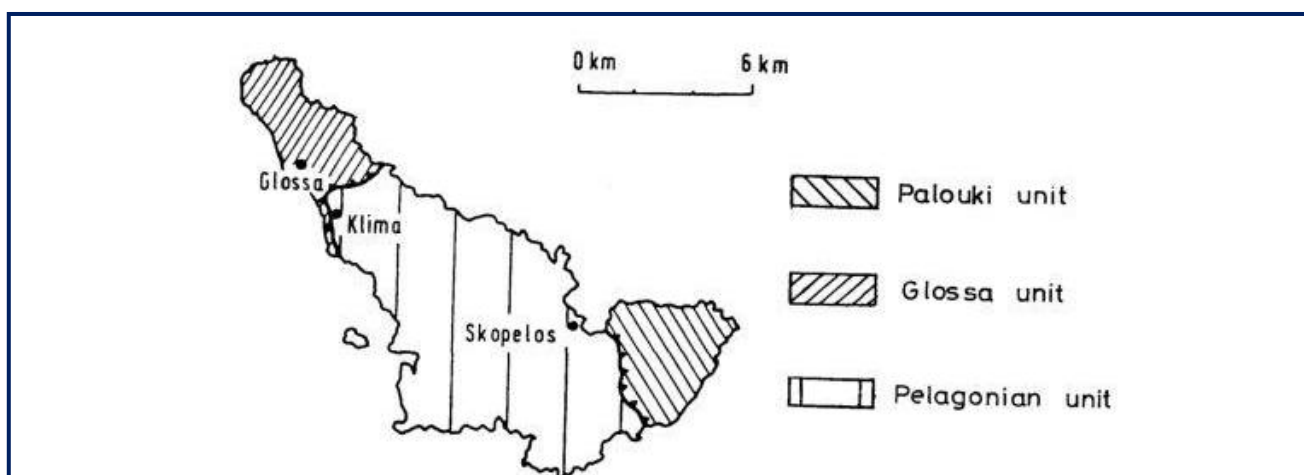
Η αλπική εξέλιξη των Ελληνίδων ξεκίνησε και κατευθύνθηκε από τη σχετική κίνηση της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας, η οποία βυθίζεται κάτω από την Ευρωπαϊκή. Στο όριο Περμιού-Τριαδικού αυτές οι πλάκες ήταν ενωμένες (Πανγαία), αλλά κατά το Τριαδικό διαχωρίστηκαν και ανάμεσά τους εκτείνονταν η βαθιά θάλασσα της Τηθύος. Σημαντικές επιδράσεις στην μετέπειτα εξέλιξη των Ελληνίδων επέφερε η τεκτονική δραστηριότητα δύο επιμέρους μικρο-πλακών, της Αδριατικής πλάκας και του τεμάχου της Ροδόπης^[1]. Στην Εικ. 2 φαίνεται η κατανομή ανά περιοχή των ορογενετικών κύκλων στο Αιγαίο, κατά τον Jacombshagen^[3].



Εικόνα 1. Η θέση της Σκοπέλου στον συνολικό γεωτεκτονικό χάρτη της Ελλάδας.
[Πηγή: Jacombshagen V., 1986]



Εικόνα 2. Η κατανομή ανά περιοχή των ορογενετικών κύκλων στο Αιγαίο. [Πηγή: Jacombshagen V., 1986]



Εικόνα 3. Οι γεωλογικές ενότητες που εμφανίζονται στη νήσο Σκόπελο. [Πηγή: Matarangas D., 1992]

Σύμφωνα με τα βιβλιογραφικά δεδομένα που υπήρχαν διαθέσιμα στον Μатарάγκα ^[1], συνεπικουρούμενα και από τα πορίσματα της δικής του εργασίας, τρεις γεωλογικές ενότητες εμφανίζονται στη νήσο Σκόπελο (Εικ. 3): μια κεντρική ενότητα Πελαγονικού χαρακτήρα, η ελαφρά μεταμορφωτική ενότητα της Γλώσσας προς τα ΒΔ και η ενότητα του Παλουκιού προς τα ΝΑ. Συνοπτικά, αυτές οι γεωλογικές ενότητες αποτελούνται από επιμέρους ακολουθίες πετρωμάτων που έχουν ως εξής, σε σειρά ηλικίας από τα αρχαιότερα προς τα νεότερα:

1.1. Η Πελαγονική Ενότητα ^[1, 4]

Η Πελαγονική ενότητα στη Σκόπελο περιλαμβάνει Πελαγονικά (κατώτερα) και Μεσοαυτόχθονα (ανώτερα) πετρώματα.

Α. Η Πελαγονική Ακολουθία

α. Η Σειρά της Σκιάθου: αποτελείται από μετακλαστικά πετρώματα που περιέχουν χλωριτικούς και ασβεστιτικούς σχιστόλιθους, φυλλίτες και μεταψαμμίτες, με παρεμβολές από ανακρυσταλλωμένες ασβεστολιθικές ενστρώσεις πολύ μικρού πάχους. Οι χλωριτικοί σχιστόλιθοι έχουν χρώμα πρασινωπό και είναι μικροκρυσταλλικοί. Η ορυκτολογική τους παραγένεση είναι: χλωρίτης + χαλαζίας + μοσχοβίτης + σερικίτης + αλβίτης + λευκόξενος. Οι ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι περιέχουν κρυστάλλους ασβεστίτη, μικρούς κόκκους χαλαζία και είναι πλούσιοι σε οργανική ύλη. Οι φυλλίτες έχουν ιστό μικρολεπιδοκοκκοβλαστικό, με

προσανατολισμένη υφή και ορυκτολογική σύσταση σερικήτη + μοσχοβίτη + χαλαζία + χλωρίτη + αλβίτη + ασβεσίτη. Σε μικρή αναλογία υπάρχουν τουρμαλίνης, λευκόξενος και ιδιόμορφοι κρύσταλλοι αιματίτη. Οι μεταψαμμίτες που επικρατούν στα ανώτερα μέλη των μετακλαστικών πετρωμάτων, πλησίον των υπερκειμένων δολομιτών, αποτελούνται από μικρούς κόκκους χαλαζία, αστρίων, φυλλάρια μοσχοβίτη και λιγότερο βιοτίτη, καθώς και κρυστάλλους ανθρακικού ορυκτού. Η ηλικία των ανώτερων μελών της σειράς αυτής προσδιορίστηκε στο Λαδίνιο (Α. Παλαιοζωικό) – Κάρνιο (Κ. Τριαδικό). Αν και στην ευρύτερη περιοχή της Πελαγονικής ζώνης το πάχος των μετακλαστικών πετρωμάτων υπερβαίνει τα 800 m, στη Σκόπελο είναι ορατά μόνο τα ανώτερα 100 m.

β. Οι Πελαγονικοί Δολομίτες του Α. Τριαδικού: αναπτύσσονται κανονικά πάνω στους μετακλαστικούς σχηματισμούς της σειράς της Σκιάθου. Τα ανώτερα μέλη είναι σχεδόν άστρωτα και έχουν χρώμα λευκωπό έως τεφρόλευκο, ενώ τα κατώτερα εμφανίζουν στρωσιγενή υφή και κυκλικές εναλλαγές λευκωπών, βαθύτεφρων και μαύρων ταινιών, κυμαινόμενου πάχους. Είναι ισχυρά τεκτονισμένοι, πτυχωμένοι με πτυχές μεγάλης ακτίνας καμπυλότητας, καρστικοποιημένοι και σε πολλές θέσεις παρουσιάζουν σακχαρώδη υφή. Προσδιορίστηκαν 6 μικροφάσεις, οι οποίες δείχνουν περιβάλλον απόθεσης περιπαλιρροϊκής ανθρακικής πλατφόρμας με μικρότερα υποπεριβάλλοντα, από πολύ αβαθούς περιορισμένης λιμνοθάλασσας έως παλιρροϊκού πεδίου. Υπάρχουν εναλλαγές υποπαλιρροϊκών και μεσο-υπερπαλιρροϊκών δολομιτών, με κυκλικότητα απόθεσης. Επικρατούν οι στρωματολιθικές λοφεριτικές μορφές δολομιτών μεσο-υπερπαλιρροϊκών αποθέσεων, με λεπτοταινωτή δομή και παραθυροειδείς κοιλότητες με ενδοϊζημα. Η δολομιτίωση έλαβε χώρα σε πολύ πρώιμο διαγενετικό στάδιο και ακολούθησε ανακρυστάλλωση. Ηλικία: Α. Κάρνιο; - Νόριο – Ραίτιο. Το ορατό πάχος των στρωμάτων αυτών υπερβαίνει τα 500 m.

Β. Οι Μεσοαυτόχθονες Σειρές

Σύμφωνα με τον Jacobshagen (1986) ^[3], οι Μεσοαυτόχθονες σειρές αναπαριστούν τόσο τα κλιματικά γεγονότα, τα οποία έλαβαν χώρα μετά την επώθηση του Ηωελληνικού καλύμματος, όσο και την ιζηματογενή ακολουθία της περιόδου Κρητιδικού – Παλαιογενούς. Οι πιο σύγχρονοι ερευνητές θεωρούν τις Μεσοαυτόχθονες σειρές ως ξεχωριστή ενότητα, τη Μεσοαυτόχθονη ενότητα, ενώ την Πελαγονική Ακολουθία ονομάζουν Πελαγονική ενότητα (πχ Porkoliab *et al.* ^[10]). Αυτές οι σειρές πετρωμάτων είναι οι εξής:

α. Οι Λατερίτες – Βωξίτες με Fe - Ni: υπέρκεινται των δολομιτών και υπόκεινται των ανωκρητιδικών ασβεστολίθων. Σε πολλές θέσεις συνοδεύονται από μεταψαμμίτες, σχιστόλιθους (αργιλικούς, σερικιτικούς και ασβεστιτικούς) και τοφφίτες. Έχουν ποικιλία χρωμάτων: από πράσινο, ερυθρό έως λευκό. Οι βωξίτες είναι διασπορικοί πηλολιθικής υφής, με διάσπορο, χλωριτοειδή, χλωρίτη, ρουτίλιο, πυροφυλλίτη και σπανιότερα ζιρκόνιο και ιδιόμορφους κρυστάλλους αιματίτη. Παρατηρήθηκε επίσης Fe-καρφόλιθος. Γενικά παρουσιάζουν μέτρια περιεκτικότητα σε Al_2O_3 και υψηλή σε SiO_2 και Fe_2O_3 . Υπάρχουν επίσης αλκάλια, Cr_2O_3 και NiO. Οι βωξίτες έχουν υποστεί χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση, στην πρασινοσχιστολιθική φάση. Πιθανώς οι βωξίτες να προήλθαν από τους μεταβασάλτες γιατί έχουν άμεση σχέση με αυτούς και τα άλλα συνοδά πετρώματα. Η ηλικία τους προσδιορίστηκε στο Κ. Κρητιδικό.

β. Τα Κροκαλολατυποπαγή της Κρητιδικής Επίκλυσης: αποτελούνται από δολομιτικές κροκάλες και λατύπες ποικίλων διαστάσεων, με διάμετρο από λίγα μέχρι και 40 cm. Είναι αδιαβάθμητα, συνεκτικά, με συνδετική ύλη κυρίως ασβεστιτική και κατά θέσεις λατεριτική. Το πάχος τους ποικίλλει από 1 μέχρι και 100 m. Έχουν αποθεθεί πάνω σε ένα έντονα διαβρωμένο δολομιτικό υπόβαθρο είτε πάνω στους λατερίτες-βωξίτες. Στο εσωτερικό τους παρατηρούνται μικρών διαστάσεων σώματα βωξιτών. Ηλικία: Άλβιο (Βρακόνιο). Μέγιστο ορατό πάχος: 100 m.

γ. Οι Ασβεστόλιθοι του Α. Κρητιδικού: είναι λεπτοστρωματώδεις έως άστρωτοι, έντονα πτυχωμένοι, ποικίλου χρώματος, ανακρυσταλλωμένοι, πλούσιοι σε μικρο και μακροπανίδα με κυμαινόμενο πάχος από λίγα έως 200 m. Αναπτύσσονται είτε κανονικά πάνω στο κροκαλοπαγές της επίκλυσης είτε ασύμφωνα πάνω στους δολομίτες. Στα κατώτερα μέλη τους είναι συνήθως λεπτοστρωματώδεις, προς τα πάνω μεταβαίνουν βαθμιαία σε παχυστρωματώδεις έως άστρωτους και στη συνέχεια γίνονται λεπτοστρωματώδεις. Χαρακτηρίζονται από μεγάλη ποικιλία φάσεων με μεταβολές αυτών τόσο στην οριζόντια εξάπλωση όσο και στην κατακόρυφη εξέλιξή τους. Οι κατώτεροι λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι είναι ερυθροϊώδους χρώματος και αποτέθηκαν σε αβαθές θαλάσσιο περιβάλλον (λιμνοθάλασσα). Στις ανατολικές ακτές της Σκοπέλου, στο ύψωμα Χλιά, οι ασβεστόλιθοι είναι δολομιτωμένοι και το περιβάλλον απόθεσης χαρακτηρίζεται ως υφάλμυρο. Οι παχυστρωματώδεις και οι άστρωτοι ασβεστόλιθοι βαθύτεφρου έως ανοικτού χρώματος είναι πλούσιοι σε ρουδιστές και αποτέθηκαν σε αβαθές έως υφαλώδες θαλάσσιο περιβάλλον. Οι ανώτεροι λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι, βαθύτεφρου χρώματος, αποτέθηκαν σε βαθύτερο θαλάσσιο περιβάλλον, πιθανόν στο βαθύτερο τμήμα της υφαλοκρηπίδας. Ηλικία: Κενομάνιο – Τουρώνιο. Ορατό πάχος: 200 m περίπου.

δ. Ο Φλύσχος: αποτελείται από εναλλαγές μεταπηλιτών, μεταψαμμιτών, ασβεστολίθων και κροκαλοπαγών. Κατά θέσεις παρατηρούνται χαλαζίτες και ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι. Οι μεταπηλίτες είναι διαφόρων πετρογραφικών τύπων, ανάλογα με το ποσοστό συμμετοχής των ορυκτολογικών συστατικών. Η κύρια ορυκτολογική παραγένεση είναι: χαλαζίας + χλωριτοειδές + σερικήτης + χλωρίτης + πυροφυλλίτης. Σπανιότερα απαντώνται νεοβλάστες τουρμαλίνη, επίσης αιματίτη, στον οποίο οφείλεται και το ερυθρό χρώμα. Οι μεταψαμμίτες είναι πρασινωπού χρώματος, μικρο- έως αδροκοκκώδεις και αποτελούνται κυρίως από κρυστάλλους χαλαζία με μικρή συμμετοχή αστρίων, μοσχοβίτη, βιοτίτη, ρουτιλίου κλπ. Οι ασβεστόλιθοι είναι βαθύχρωμοι, σε πάγκους πάχους μέχρι 10 m, και απαντώνται στα ανώτερα στρωματογραφικά μέλη του φλύσχη. Τα κροκαλοπαγή έχουν πάχος 1,5 m, παρεμβάλλονται μεταξύ των μεταψαμμιτών και αποτελούνται από ασβεστολιθικές και δολομιτικές καλά αποστρογγυλωμένες κροκάλες διαμέτρου μερικών εκατοστών. Εμφανίζονται μόνο στην περιοχή του Στάφυλου. Κατά θέσεις εμφανίζονται ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι και χαλαζίτες. Συχνή είναι η παρουσία μαρμαρυγιών και οξειδίων του σιδήρου. Ο φλύσχος έχει υποστεί χαμηλού έως πολύ χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση. Αναπτύσσεται ασύμφωνα πάνω στους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους εκτός από την περιοχή Ράχες, βόρεια της πόλης της Σκοπέλου, όπου παρατηρείται κανονική μετάβαση. Ηλικία: Μαιστρίχτιο – Παλαιογενές (;). Ορατό πάχος: 170 m περίπου.

1.2. Η Ενότητα της Γλώσσας (το Ηωελληνικό κάλυμμα) ^[1, 4]

Η ενότητα της Γλώσσας καλύπτει κυρίως το βορειοδυτικό τμήμα του νησιού, όπου βρίσκεται και το ομώνυμο χωριό, παρατηρούνται όμως μικρά υπολείμματά της στη βάση της ενότητας Παλούκι και στις ανατολικές ακτές της Σκοπέλου, κάτω από τους ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους. Το Ηωελληνικό κάλυμμα συνίσταται από οφιολιθικές ακολουθίες με μια λεπτή επίστρωση ωκεάνιων ιζημάτων. Η τοποθέτηση του καλύμματος συνέβη μετά το Κιμμερίδιο αλλά πριν το Κενομάνιο ^[9]. Ειδικότερα, το Ηωελληνικό κάλυμμα συνίσταται από εναλλαγές μεταβασαλτών, σχιστολίθων, φυλλιτών, σιπολιτών και σερπεντινών. Οι τελευταίοι παρατηρούνται κυρίως στη βάση της ενότητας Παλούκι. Η ενότητα αυτή είναι επωθημένη είτε πάνω σε μία έντονα διαβρωμένη επιφάνεια των ανωτριάδικων δολομιτών, όπως στην περιοχή του Πανόρμου, είτε πάνω στα μεσοανωτριάδικά μετακλαστικά πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης. Η ηλικία της προσδιορίζεται στο Άλβιο (Βρακόνιο). Μέγιστο ορατό πάχος: 300 m περίπου.

Η ενότητα της Γλώσσας αποτελείται από τους εξής λιθολογικούς τύπους:

α. Μεταβασάλτες. Επικρατούν μεταξύ των διαφόρων πετρωμάτων που συνιστούν την ενότητα και έχουν χρώμα υποπράσινο έως βαθυπράσινο. Είναι μικρο- έως μεσοκοκκώδεις, με συμπαγή ή προσανατολισμένη μικροπτυχωτή υφή. Χαρακτηρίζονται από έντονο τεκτονισμό, ενώ σπάνια διατηρούνται ο αρχικός ιστός και η υφή τους και σπανιότερα η αρχική ορυκτολογική τους σύσταση. Κύρια ορυκτολογικά συστατικά: άστριοι (αλβίτης + ολιγόκλαστο) + ακτινόλιθος + επίδοτο (κλινοζωΐσιτης/ζωΐσιτης + επίδοτο) + χλωρίτης + λευκός μαρμαρυγίας + χαλαζίας + τιτανίτης + λευκόξενος. Σπάνιοι υπολειμματικοί κρύσταλλοι πυρόξενου (αυγίτης) και συχνοί κρύσταλλοι αμφιβόλων. Η ορυκτολογική παραγένεσή τους (χλωρίτης + ζωΐσιτης + κλινοζωΐσιτης + ακτινόλιθος + χαλαζίας + αλβίτης) προσδιορίζει χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση (πρασινοσχιστολιθική φάση).

β. Σχιστόλιθοι-φυλλίτες. Οι μαρμαρυγιακοί – χλωριτικοί – ασβεσπιτικοί σχιστόλιθοι της ενότητας είναι πράσινοι και κατά θέσεις μαύροι, λόγω παρουσίας οργανικής ύλης, μεσοκρυσταλλικοί, συχνά τεκτονισμένοι, με προσανατολισμένη και μικροπτυχωμένη υφή και με ιστό λεπιδοκοκκοβλαστικό. Η ορυκτολογική τους σύσταση είναι μαρμαρυγίας + χλωρίτης + χαλαζίας + ανθρακικό ορυκτό + τιτανίτης + λευκόξενος. Υπάρχουν συχνά οξειδία και υδροξειδία του σιδήρου, ενώ σπανίζουν οι κρύσταλλοι αστρίων και επιδότου. Οι χλωριτικοί – μαρμαρυγιακοί – χαλαζιακοί σχιστόλιθοι της ενότητας είναι λευκόχρωμοι, με έντονη σχιστότητα και μικροπτύχωση. Αποτελούνται από εναλλαγές λεπτοστρώσεων φυλλοπυριτικών ορυκτών και μικρού μεγέθους χαλαζιακών κόκκων. Μεταξύ των φυλλοπυριτικών ορυκτών επικρατεί ο λευκός μαρμαρυγίας ενώ ο χλωρίτης απαντά σε μικρότερη αναλογία. Παρατηρούνται επίσης υπιδιόμορφοι κρύσταλλοι τιτανίτη και ιδιόμορφοι κρύσταλλοι ή σφαιρίδια από οξειδία και υδροξειδία του σιδήρου. Οι φυλλίτες της ενότητας της Γλώσσας είναι καστανοκίτρινα, μικροκρυσταλλικά πετρώματα, με ιστό λεπιδοβλαστικό και υφή έντονα προσανατολισμένη, λεπτοταινιωτή. Η ορυκτολογική τους σύσταση είναι λευκός μαρμαρυγίας (κυρίως σερικίτης) + χλωρίτης + χαλαζίας ± άστριοι (αλβίτης) ± επίδοτο ± λευκόξενος. Υπάρχουν επίσης οξειδία και υδροξειδία του σιδήρου και λίγοι κόκκοι τουρμαλίνη, απατίτη, ζirkονίου.

γ. Σιπολίτες. Είναι χλωριτικά – μαρμαρυγιακά – ασβεσπιτικά μάρμαρα, λευκοπράσινου χρώματος, σε πάγκους πάχους μέχρι και 10 m. Παρατηρούνται στα ανώτερα τμήματα του ηωελληνικού καλύμματος. Είναι μεσοκοκκώδη, συμπαγή και αποτελούνται κυρίως από μέσου μεγέθους κόκκους ασβεστίτη και σε ελάχιστη αναλογία από αλοτριόμορφους κόκκους χαλαζία και αστρίων. Το πέτρωμα αυτό χαρακτηρίζεται από λεπτές ταινίες, όχι πάντα συνεχείς, που συνίστανται από χλωρίτη, λευκό μαρμαρυγία, λευκόξενος, επίδοτο και τουρμαλίνη.

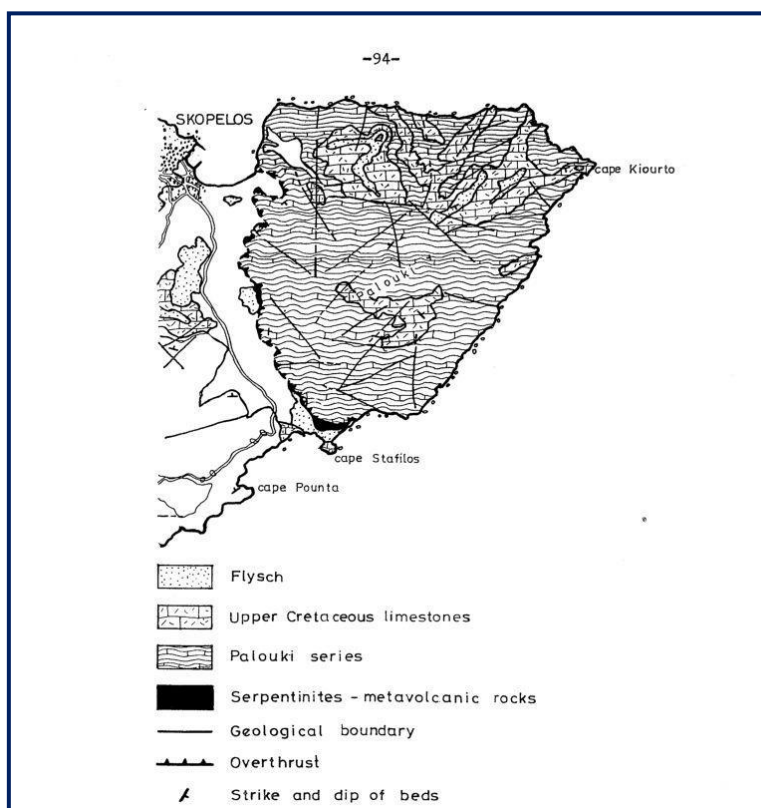
δ. Σερπεντινίτες. Παρατηρήθηκαν μόνο ελάχιστα υπολείμματα στη βάση της τεκτονικής ενότητας Παλούκι, στην περιοχή του Στάφυλου, καθώς επίσης και στις περιοχές μεταξύ των λόφων Ρεβίθι και Νησί, στις ανατολικές ακτές, κάτω από τους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους. Έχουν χρώμα βαθυπράσινο έως καστανοπράσινο και είναι μονόμικτα πετρώματα με ιστό λεπιδοβλαστικό και υφή κυψελώδη. Αποτελούνται από ορυκτά του σερπεντίνη, κυρίως αντιγορίτη. Συχνά απαντώνται υπολειμματικοί κρύσταλλοι πυροξένων, καθώς και ευμεγέθεις κόκκοι χρωμίτη και μαγνητίτη. Τα πετρώματα αυτά διασχίζονται από φλεβίδια χρυσοσίλη.

Εντός των πετρωμάτων του ηωελληνικού καλύμματος παρατηρήθηκαν σποραδικά Fe-Mn-ούχες χαλαζιτικές φακοειδείς συγκεντρώσεις με υφή συμπαγή. Στην κύρια μάζα, εκτός από τα μεταλλικά ορυκτά, παρατηρούνται και τα ορυκτά πιεμοντίτης, χλωρίτης, χαλαζίας και αλβίτης. Οι συγκεντρώσεις αυτές διασχίζονται από χαλαζιακά και ανθρακικά δευτερογενή φλεβίδια.

1.3. Η Ενότητα του Παλουκιού ^[1, 4]

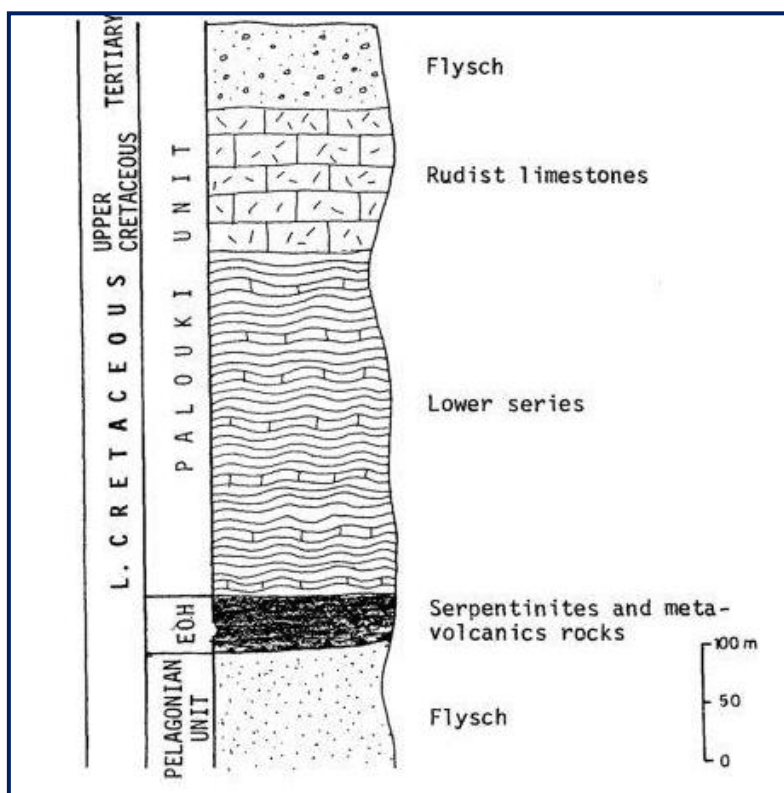
Η ενότητα του Παλουκιού καλύπτει το νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού, όπου βρίσκεται και το όρος Παλούκι, και είναι επωθημένη πάνω στον φλύσχη της Πελαγονικής ζώνης. Το μέτωπο της επώθησης εκτείνεται από τον κόλπο της Σκοπέλου, στην ανατολική ακτή, μέχρι τον κόλπο του Στάφυλου, στη νότια ακτή του νησιού, είναι όμως εμφανές σε λίγα σημεία, λόγω του ότι καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος του από κορήματα ή βλάστηση (Εικ. 4).

Λόγω του ιδιαίτερου ενδιαφέροντος που παρουσιάζει αυτή η ενότητα ως προς την ερμηνεία του γενικότερου καθεστώτος της σύγχρονης δυναμικής γεωλογίας της Σκοπέλου, ίσως και της ευρύτερης περιοχής των Σποράδων και της Ευβοίας, θέμα που θα μας απασχολήσει στο δεύτερο μέρος της εργασίας μας, θα αναφέρουμε στο σημείο αυτό περισσότερες πληροφορίες από την εργασία του Μатарάγκα (1992) ^[1]. Διάφοροι ερευνητές, προγενέστεροι του Μатарάγκα, έχουν διαπιστώσει ομοιότητες ανάμεσα στην ενότητα του Παλουκιού και τους γεωλογικούς σχηματισμούς της δυτικής Αλοννήσου [Guernet (1970, 1971), Kelepertzis (1973, 1974)] ^[5-8]. Ο Κελεπερτζής, ειδικότερα, υποθέτει ότι οι σειρές της ενότητας του Παλουκιού από τη Σκόπελο συνεχίζουν προς το δυτικό άκρο της Αλοννήσου. Την περιέγραψε ως μία ακολουθία συνεκτικών μαρμάρων εναλλασσόμενων με ασβεστιτικούς σχιστόλιθους και λεπτοστρωματώδη μάρμαρα, η οποία υπέρκειται σύμφωνα των κροκαλοπαγών της Κρητιδικής επίκλυσης. Βασιζόμενος σε απολιθώματα που βρέθηκαν μέσα σε ασβεστολίθους σε διάφορες θέσεις, χρονολόγησε τις σειρές της ενότητας στο Α. Κρητιδικό. Επομένως, η επώθηση της ενότητας πάνω στη μεσοαυτόχθονη ενότητα θα πρέπει να συσχετισθεί με τη φάση των Πυρηναίων (Ηώκαινο). Οι Jacombshagen & Wallbrecher ^[2] υποστήριξαν ότι δεν υπάρχουν άμεσες ενδείξεις για την διεύθυνση προς την οποία επωθείται η ενότητα του Παλουκιού. Αναφορικά με τον μεταμορφισμό των σειρών και τις μεγάλες ισοκλινείς πτυχές που παρατηρούνται στην περιοχή, υπέθεσαν πως οφείλονται σε ένα τεκτονικό κάλυμμα, επωθούμενο προς ΝΔ ή προς Δ, το οποίο τώρα διαβρώνεται.



Εικόνα 4. Σχεδιάγραμμα γεωλογικού χάρτη της ενότητας Παλούκι. [Πηγή: Matarangas D., 1992]

Η ενότητα του Παλουκιού αποτελείται από φλύσχη, ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους και κατωκρητιδικούς σχηματισμούς. Στη βάση της ενότητας παρατηρούνται ράκη του ηωελληνικού καλύμματος. Οι επιμέρους σειρές πετρωμάτων της ενότητας αυτής είναι, κατά σειρά ηλικίας από την αρχαιότερη προς τη νεότερη, οι εξής (βλέπε και Εικ. 5):



Εικόνα 5. Στρωματογραφική στήλη της ενότητας Παλούκι. [Πηγή: Matarangas D., 1992]

α. Σειρά από Σερπεντινίτες και Μεταβασάλτες (μεταμαγματίτες της βάσης). Η σειρά αυτών των πετρωμάτων βρίσκεται σε τεκτονική επαφή με τον φλύσχη της Πελαγονικής ενότητας και αποτελεί τη βάση της ενότητας του Παλουκιού. Η τεκτονική επαφή είναι πολύ καθαρή στο ακρωτήριο Στάφυλος και σε άλλες δύο θέσεις: στην είσοδο στη χαράδρα του Τριπότη και στο Μοναστήρι Προδρόμου. Κατά μήκος του μετώπου της επώθησης παρατηρούνται σερπεντινίτες, μεταβασάλτες και σχίστες. Στην περιοχή του Στάφυλου η σειρά αυτή εμφανίζει πάχος 50 m. Οι μεταμαγματίτες αυτοί δείχνουν τεκτονική επαφή με τα υπερκείμενα πετρώματα.

Σερπεντινίτες: βρίσκονται και στις τρεις περιοχές, όπου είναι ορατό το μέτωπο της επώθησης. Φακοί σερπεντινιτών ευμεγέθεις βρίσκονται επίσης στην περιοχή μεταξύ των λόφων Ρεβίθι και Νησί στην ανατολική ακτή, λίγο κάτω από τα Ανωκρητιδικά ανθρακικά πετρώματα. Το χρώμα τους κυμαίνεται από βαθυπράσινο μέχρι καφεπράσινο. Τα πετρώματα δείχνουν μια κυψελώδη υφή και συνίστανται από ορυκτά του σερπεντίνη, κυρίως αντιγορίτη, ενώ συχνή είναι και η παρουσία κρυστάλλων πυροξένων. Εμφανίζονται επίσης ζώνες με κόκκους χρωμίτη και μαγνητίτη.

Μεταβασάλτες: από την ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων που είχε στη διάθεσή του ο Μатарάγκας, συμπέρανε πως ο βαθμός μεταμόρφωσής τους στην ενότητα αυτή είναι χαμηλός, εντάσσοντάς τον στην πρασινοσχιστολιθική φάση.

Υπάρχουν στη σειρά αυτή των μεταμαγματιτών και μαρμαρυγιακοί – χλωριτικοί – ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι, πρασινωποί, μεσόκοκκοι με φύλλωση και μικροπτυχωσεις.

Ο Ματαράγκας διαπιστώνει πολλές ομοιότητες ανάμεσα στους μεταμιγματίτες που βρίσκουμε στην ενότητα του Παλουκιού και σ' αυτούς στην ενότητα της Γλώσσας, πράγμα που τον κάνει να υποθέσει πως αυτά τα βασικά στις αντίστοιχες ενότητες πετρώματα υπήρξαν κάποτε τμήματα του ευρύτερου Ηωελληνικού καλύμματος.

Ηλικία της σειράς των μεταμαγματιτών: Κ. Κρητιδικό – Άλβιο.

β. Σειρά από Ασβεστόλιθους, Μεταψαμμίτες και Φυλλίτες σε εναλλαγές (κατώτερες σειρές). Οι ασβεστόλιθοι της σειράς αυτής είναι λεπτοστρωματώδεις, έντονα ανακρυσταλλωμένοι, χρώματος ανοικτού τεφρού έως βαθύτεφρου με λεπτοταινωτή ή κλαστική υφή και με κονδύλους κερατολίθων ποικίλου μεγέθους. Είναι χαρακτηριστική η παρουσία σ' αυτούς κλαστών εχινόδερμων και κλαστικού υλικού, όχι ανθρακικού (κυρίως χαλαζιακής άμμου). Το πάχος των στρώσεων τους ποικίλλει από 2 cm έως και 2 m. Οι μεταψαμμίτες αποτελούνται από κόκκους χαλαζία, αστρίων και φυλλάρια λευκού μαρμαρυγία. Η κύρια μάζα τους είναι μικροκρυσταλλική, με ορυκτολογική σύσταση σερικιτική, χλωριτική και χαλαζιακή. Οι μεταψαμμίτες ελαττώνονται βαθμιαία προς τα ανώτερα μέλη και αντικαθίστανται από λεπτές στρώσεις φυλλιτών, οι οποίοι εναλλάσσονται με τους ασβεστολίθους. Οι φυλλίτες αποτελούνται από σερικίτη, χλωρίτη και χαλαζία και είναι έντονα πτυχωμένοι. Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των παραπάνω πετρωμάτων, πιθανολογείται ότι το περιβάλλον απόθεσής τους ήταν βαθιά επιηπειρωτική λεκάνη ή ηπειρωτική κατωφέρεια. Εναλλαγές της ανθρακικής και της κλαστικής ιζηματογένεσης με βαθμιαία αύξηση της πρώτης καθώς ανερχόμαστε υψομετρικά χαρακτηρίζουν τις συνθήκες απόθεσης της σειράς αυτής. Σχηματισμοί του Κ. Κρητιδικού έχουν για πρώτη φορά ανακαλυφθεί στη Σκόπελο. Η παρουσία τους εδώ είναι πολύ σημαντική για την ανασυγκρότηση της παλαιογεωγραφικής εξέλιξης όλης της περιοχής, γιατί αποδεικνύει ότι η Πελαγονική ζώνη δεν αποκαλύφθηκε σε όλη της την έκταση μετά την Ηωελληνική επώθηση, που συνέβη μεταξύ του Α. Ιουρασικού και του Κ. Κρητιδικού, αλλά κάποιες εσωτερικές περιοχές της παρέμειναν κάτω από το επίπεδο της θάλασσας μέχρι το Κατώτερο Τριτογενές.

Ηλικία της σειράς: Κ. Κρητιδικό (ίσως και Α. Ιουρασικό). Ορατό πάχος: 250 m περίπου.

γ. Σειρά από Ασβεστόλιθους του Α. Κρητιδικού. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί είναι τεφρόμαυροι έως λευκωποί, παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι και ρουδιστοφόροι. Κατά θέσεις είναι λατυποπαγείς, περιέχοντας προσανατολισμένες λατύπες με silex. Υπέρκεινται κανονικά των σχηματισμών του Κ. Κρητιδικού.

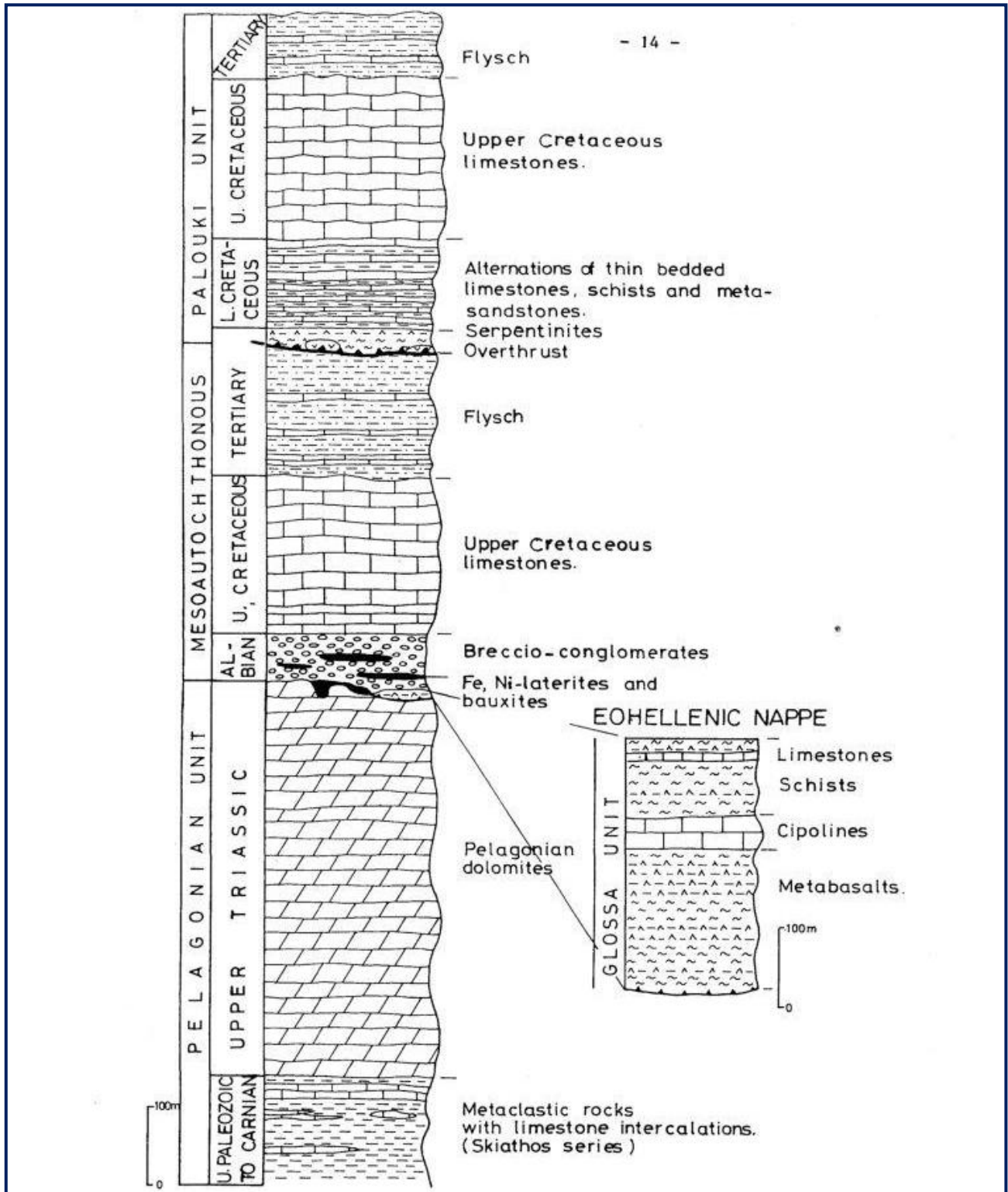
Ηλικία της σειράς: Κενομάνιο. Ορατό πάχος: 120 m περίπου.

δ. Φλύσχη. Συνίσταται από λεπτόκοκκους έως μεσόκοκκους μεταψαμμίτες (χαλαζίας, άστριοι, μαρμαρυγίας, χλωρίτης), χλωριτικούς-σερικιτικούς σχιστόλιθους (σερικίτης, χαλαζίας, χλωρίτης και ελάχιστοι άστριοι) και λεπτοπλακώδεις ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους. Ο φλύσχη αναπτύσσεται επικλυσιογενώς επί των ρουδιστοφόρων ασβεστολίθων, είναι πτυχωμένος με κλειστές πτυχές και παρουσιάζει, όπως και ο φλύσχη της πελαγονικής ζώνης, πολύ χαμηλό έως χαμηλό βαθμό μεταμόρφωσης. Η σύσταση του φλύσχη της ενότητας Παλούκι είναι ίδια με εκείνη του φλύσχη της Μεσοαυτόχθονης ενότητας που περιεγράφη προηγουμένως. Ηλικία: Μαιστρίχτιο – Παλαιογενές(;). Μέγιστο ορατό πάχος: 70 m περίπου.

Συμπερασματικά, σύμφωνα με την άποψη του Ματαράγκα, τα ιζήματα της ενότητας του Παλουκιού έχουν αποτεθεί πάνω σε σερπεντινίτες, μεταβασάλτες και σχιστόλιθους του Ηωελληνικού καλύμματος, πιθανόν σε ημιπελαγικές συνθήκες. Το σύνολο των πετρωμάτων της ενότητας έχει υποστεί μεταμόρφωση της πρασινοσχιστολιθικής φάσης και παραμορφώθηκε έντονα, με πολλές και μεγάλης κλίμακας κατακεκλιμένες πτυχές. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η ενότητα μετά την απόθεση των ιζημάτων, τη διαγένεση και

τη λιθοποίηση σκεπάστηκε από ένα σύνολο Μεσοελληνικών τεκτονικών καλυμμάτων, κατά το Ηώκαινο, τα οποία στη συνέχεια διαβρώθηκαν εντελώς.

Βάσει των προαναφερθέντων, προκύπτει και η συνθετική στρωματογραφική στήλη της Σκοπέλου (Εικ. 6).

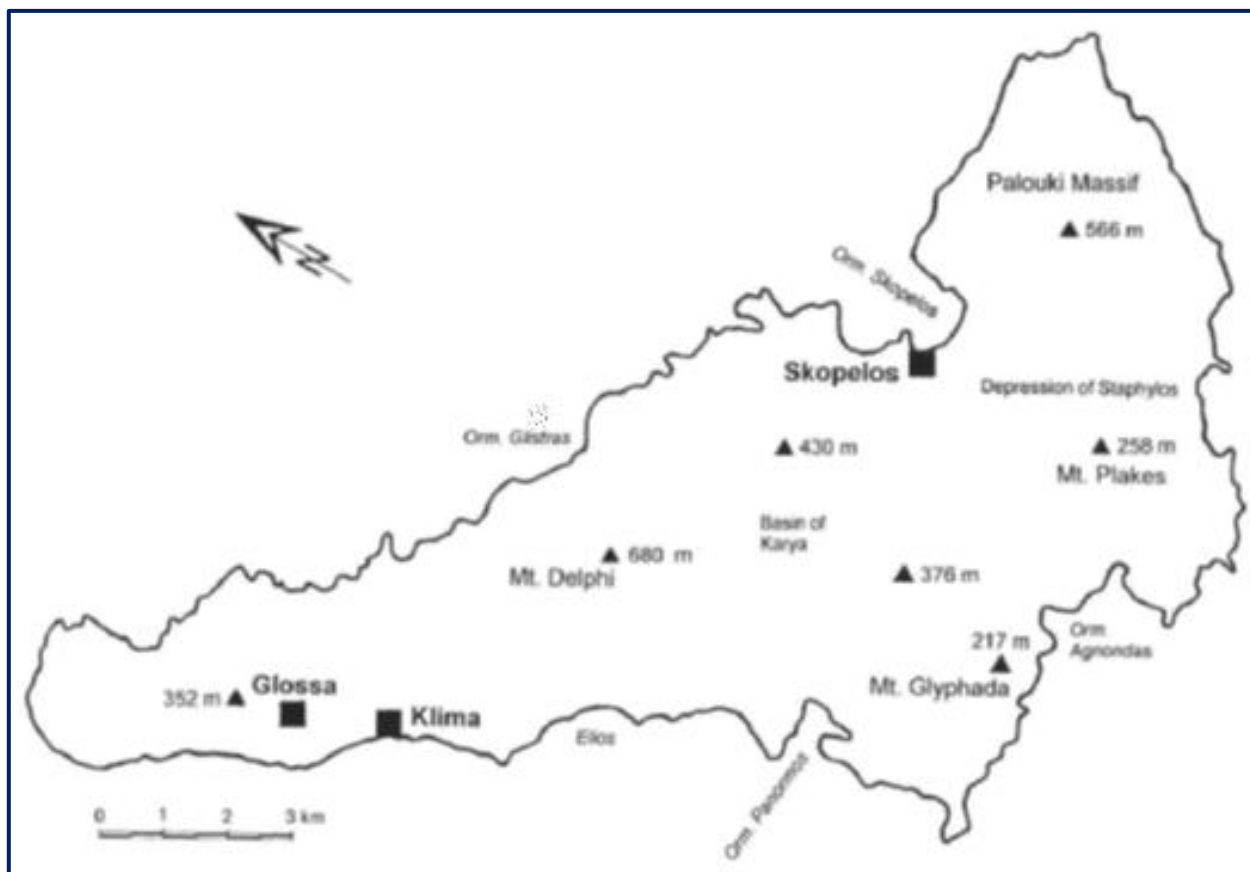


Εικόνα 6. Συνθετική στρωματογραφική στήλη της Σκοπέλου. [Πηγή: Matarangas D., 1992]

1.4. Γεωμορφολογία και Τεκτονικές Δομές της Σκοπέλου

Γεωμορφολογικά, το νησί της Σκοπέλου κυριαρχείται από διάφορους λόφους στο μεγαλύτερο μέρος του. Υπάρχουν μόνο δύο σχετικά ψηλά βουνά, η Δέλφη (662 m) και το Παλούκι (566 m). Επίπεδες εκτάσεις είναι σπάνιες και μικρές, μεγαλύτερη εκ των οποίων είναι η κοιλάδα του Στάφυλου (5,3 km²). Στο μεγαλύτερο μέρος τους οι ακτογραμμές είναι ευθύγραμμες και οι ακτές χαρακτηρίζονται από μεγάλες κλίσεις. Σχηματίζουν όμως πολλούς κόλπους, με σημαντικότερους της πόλης της Σκοπέλου και της Γλύστρας στη βορειοανατολική πλευρά και του Στάφυλου, του Αγνώντα και του Πάνορμου στη νοτιοδυτική πλευρά. [1, 4]

Η παλαιότερη γενιά γεωμορφών που υπάρχουν στο νησί της Σκοπέλου αντιπροσωπεύεται από κοιλάματα παλαιοκάρστ, τα οποία είναι πληρωμένα με βωξίτες και λατερίτες και θεωρείται ότι έχουν αναπτυχθεί στη διάρκεια της πρώτης ανάδυσης της Πελαγονικής ζώνης, δηλαδή μετά την Ηωελληνική επώθηση και πριν από την επίκλυση του Ύστερου Κρητιδικού. Επομένως, μπορούμε να υποθέσουμε για αυτό το παλαιοκάρστ μια ηλικία Πρώιμου Κρητιδικού. Αυτό έχει δημιουργηθεί πάνω στους τριαδικούς δολομίτες και υποβλήθηκε σε παραμόρφωση κατά τη Μεσοελληνική φάση. Παλαιοκάρστ σε παρόμοιες στρωματογραφικές θέσεις έχουν επίσης παρατηρηθεί στο νησί της Σκιάθου. [9]



Εικόνα 7. Χάρτης με τοπωνύμια της Σκοπέλου που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία.
[Πηγή: Hejl E. *et al.*, 1999]

Η επόμενη γενιά γεωμορφών αναπτύχθηκε προς το τέλος του Κρητιδικού και/ή στο κατώτερο Παλαιογενές. Αυτές εμφανίζονται στους ρουδιστοφόρους ασβεστολίθους του Ανώτερου Κρητιδικού και βρίσκονται ενταφιασμένες ως επί το πλείστον κάτω από ακολουθίες φλύσχη. Μερικώς εκταφισμένοι καρστικοί κώνοι και δολίνες μπορούν να παρατηρηθούν στην ενότητα του Παλουκιού και στην Καρυά (βλ. Εικ. 7). Παρόμοιες γεωμορφές έχουν

ανακαλυφθεί και σε άλλες ζώνες της Ελλάδας (Γαβρόβου-Τριπόλεως, Πίνδου, Παρνασσού κλπ).^[9]

Στη Σκόπελο συναντάμε διάφορα συστήματα επιφανειών επιπεδοποίησης (planation surfaces). Το παλαιότερο εξ αυτών (σύστημα επιπεδοποίησης Α), που βρίσκεται σε υψόμετρο 550 m, κυριαρχεί στο όρος Παλούκι και τη νοτιοδυτική κορυφογραμμή του όρους Δέλφη (βλ. Εικ. 7). Σε κάποια μέρη αυτό ανέρχεται πάνω από τα 600 m, αλλά σε περιοχές όπου η ανύψωση ήταν μικρότερη καλύπτει τα καρστικά μπλοκ των λόφων Πλάκες και Γλυφάδα, σε ένα μέσο υψόμετρο 200 m.^[9]

Το σύστημα επιπεδοποίησης Β καταλαμβάνει ένα μέσο υψόμετρο 450 m. Βρίσκεται στο όρος Παλούκι και, με τη μορφή ενός ευρέος πάγκου, εκτείνεται στους νοτιοανατολικούς πρόποδες του όρους Δέλφη. Επιπλέον, φαίνεται σαν μια επίπεδη επιφάνεια που διακλαδίζεται σε διάφορα τμήματα στη βορειοανατολική πλαγιά του όρους Δέλφη. Εκτείνεται μέχρι τη δυτική πλαγιά του και την χερσόνησο της Γλώσσας. Συνοψίζοντας, το επίπεδο Β περικυκλώνει σχεδόν από όλες τις πλευρές τα όρη Παλούκι και Δέλφη. Ανάμεσα στα δύο βουνά έχει σχηματιστεί μια κοιλάδα μέγιστου πλάτους 7 km, η οποία έχει διεύθυνση NS και εκτείνεται από την πόλη της Σκοπέλου μέχρι την περιοχή του Στάφυλου. Τέτοιες ευρείες ανοικτές κοιλάδες με ανορθωμένες πλευρές δημιουργούνται τυπικά από την έκπλυση των πετρωμάτων σε ημίυγρες τροπικές συνθήκες. Η εκτεταμένη περιοχή στην οποία εμφανίζεται το επίπεδο Β καθώς και η ανάπτυξη εκτεταμένου δαπέδου στην κοιλάδα που συνοδεύεται από ανορθωμένες πλευρές δίνουν σαφείς ενδείξεις για μια εξέλιξη του τοπίου που έλαβε χώρα σε ένα ευρύτερο ηπειρωτικό περιβάλλον με ορογραφικές συνθήκες που ήταν τελείως διαφορετικές από τη σημερινή διαμόρφωση του νησιού.^[9]

Το σύστημα επιπεδοποίησης C καταλαμβάνει ένα μέσο υψόμετρο 350 m. Παρόμοια με τα δύο παλαιότερα συστήματα, επεκτείνεται ευρέως, διασχίζοντας τις σημερινές λεκάνες απορροής. Είναι κυρίαρχο στοιχείο στη χερσόνησο της Γλώσσας, όπου έχει στρεβλωθεί σε κάθετη απόσταση 50 m. Το επίπεδο B επίσης έχει επηρεαστεί από αυτές τις νεοτεκτονικές στρεβλώσεις. Και στις δύο περιπτώσεις, οι άξονες των κάμπσεων έχουν διευθύνσεις από ENE προς WSW, σε καλή συμφωνία με όσα αναφέρονται από τον Ματαράγκα για τις διευθύνσεις των ρηγμάτων στο νησί (σελ. 20). Αυτές οι νεοτεκτονικές παραμορφώσεις δεν επηρεάζουν μορφολογικά επίπεδα κάτω από τα 350 m. Το επίπεδο C χαρακτηρίζεται από εκτεταμένες εμβολές και περάσματα, καθώς και από υπολείμματα επιφανειών που σχηματίστηκαν σε εσωτερικές λεκάνες ιζηματογένεσης. Οι εμβολές έχουν πλάτος περίπου 2 km και οφείλουν τον σχηματισμό τους στο ότι κυριάρχησαν στο γεωλογικό παρελθόν διατμητικές διαδικασίες και διάβρωση κατά βάθος στην περιοχή.^[9]

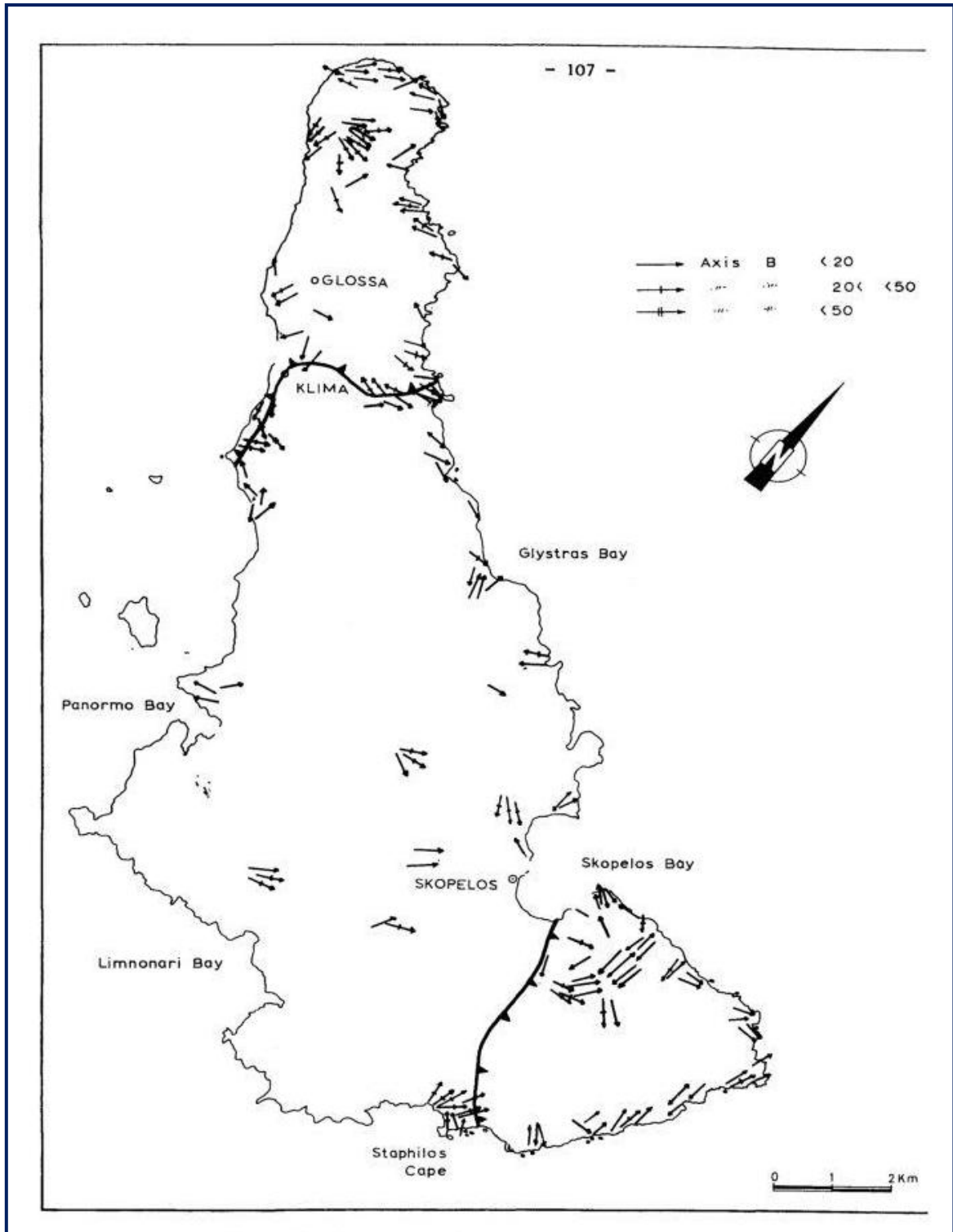
Το σύστημα επιπεδοποίησης D συναντάται σε μέσο υψόμετρο 200 m. Σε σύγκριση με τα παλαιότερα συστήματα παρατηρούμε ένα αξιοσημείωτο σπάσιμο στα μορφολογικά χαρακτηριστικά. Το επίπεδο αυτό χαρακτηρίζεται από αετώματα και κεφαλές κοιλάδας σε σχήμα λεκάνης. Όλη η πλαγιά του όρους Παλούκι έχει τροποποιηθεί με σχηματισμό αετώματος, το οποίο επεκτάθηκε μέχρι την κατάπτωση του Στάφυλου. Σχετικά γρήγορη ανύψωση *en bloc* πρέπει να έχει συμβεί μετά το σχηματισμό του επιπέδου D, όπως φαίνεται από τις τριγωνικές πλαγιές που συναντάμε στην ανατολική πλευρά του όρους Παλούκι.^[9]

Αετώματα εμφανίζονται και κατά μήκος των ακτών, χαρακτηριζόμενα από μια μέση ανύψωση της τάξεως των 120 m. Αυτά συναντώνται κυρίως στην πιο ομαλή βόρεια πλαγιά της χερσονήσου της Γλώσσας και αποτελούν την αρχική επιφάνεια για τη σημερινή ακτογραμμή των όρμων Έλιος και Πάνορμος. Τα αετώματα είναι συνδεδεμένα με ένα κανονικό μοτίβο γεωμορφών. Στην περιοχή του Στάφυλου καλύπτονται από γωνιώδεις λατύπες ανάμικτες με άργιλο και συγχωνεύονται σε λατυποπαγή πετρώματα.^[9]

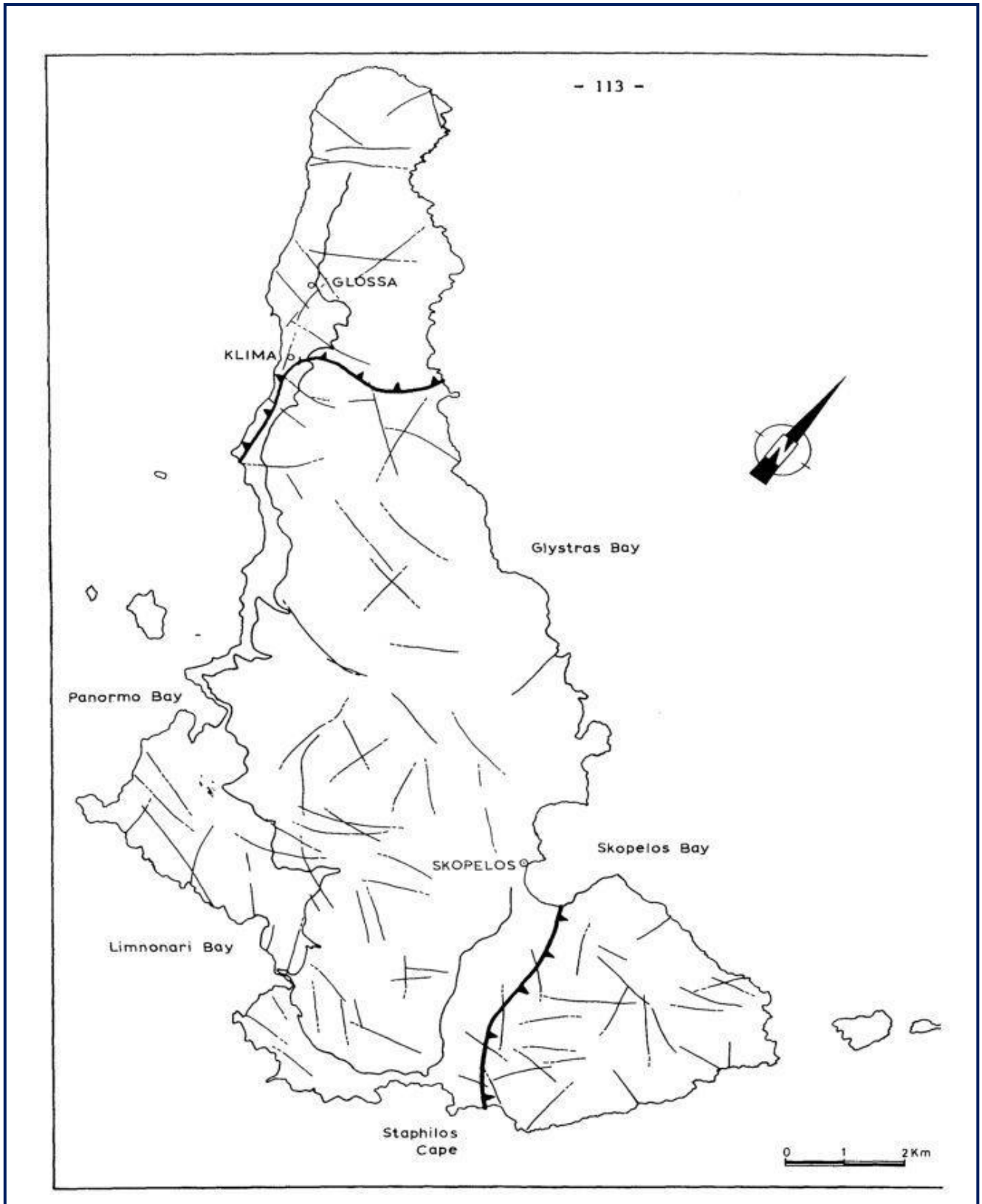
Με βάση τα προαναφερθέντα, οι Hejl *et al.* [9] συμπεραίνουν ότι τα κύρια στοιχεία της ιστορίας σχηματισμού των γεωμορφών που συναντάμε στις Βόρειες Σποράδες και τη Σκόπελο ειδικότερα μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

- Αρχικά αναπτύχθηκε ένα παλαιοκάροστ ηλικίας Κατώτερου Κρητιδικού πάνω σε Τριαδικούς δολομίτες της Πελαγονικής κρηπίδας και πληρώθηκε με βωξίτες και λατερίτες οι οποίοι προήλθαν από Ηωελληνικά πετρώματα (μεταβασάλτες, σερπεντινίτες και σχίστες).
- Μια δεύτερη γενιά παλαιοκάροστ αναπτύχθηκε πάνω σε ρουδιστοφόρους ασβεστολίθους του Ανώτερου Κρητιδικού, τα οποία ενταφιάστηκαν κάτω από αποθέσεις φλύσχη του Παλαιογενούς.
- Τρεις γενιές από επιφάνειες επιπεδοποίησης του Νεογενούς σχηματίζουν τα επίπεδα των κορυφών του νησιού της Σκοπέλου στα υψόμετρα των 550, 450 και 350 m. Στο όριο Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου, αυτές επηρεάστηκαν εν μέρει από τεκτονική παραμόρφωση που συνδέεται με την αυξανόμενη ταπείνωση του πυθμένα της τάφρου των Σποράδων. Η ηλικία αυτών των επιφανειών επιπεδοποίησης μπορεί να περιοριστεί προσεγγιστικά στο χρονικό διάστημα μεταξύ των 15 και 10 Ma BP, δηλαδή προς τα τέλη του Μειοκαίνου (Τορτώνιο και Μεσσήνιο).
- Στη Σκόπελο υπάρχουν δύο συστήματα αετωμάτων που χαρακτηρίζονται από μέσο υψόμετρο 200 και 120 m, αντίστοιχα. Αυτά πρέπει να έχουν ηλικία Πλειοκαίνου ή Τεταρτογενούς.
- Πρέπει να αποκλειστεί η ύπαρξη οποιωνδήποτε υπολειμμάτων του αναγλύφου που υπήρχε πριν το Πλειόκαινο για τη Σκιάθο και πιθανώς για τη νοτιοδυτική Αλόνησο.

Σχετικά με τις τεκτονικές δομές που υπάρχουν στο νησί, παραθέτουμε στις Εικόνες 8 και 9 δύο χάρτες με τους άξονες πτυχών και τα ρήγματα του νησιού αντίστοιχα, σύμφωνα με τον Ματαράγκα [1]. Βάσει τούτων, καθώς και άλλων δεδομένων, αυτός συμπεραίνει ότι η Πελαγονική και η Μεσοαυτόχθονη ενότητα σχηματίζουν μια αντικλινική δομή στο κεντρικό μέρος του νησιού, εμφανίζοντας εγκάρσια πτύχωση μεγάλης κλίμακας. Η ενότητα της Γλώσσας επωθήθηκε πάνω στους Πελαγονικούς δολομίτες ή απευθείας πάνω στα πετρώματα της σειράς της Σκιάθου. Η επώθηση της ενότητας του Παλουκιού ίσως ακολούθησε κατά μήκος του νησιού, από τον κόλπο της Σκοπέλου μέχρι τον κόλπο του Στάφυλου. Τα τρία κύρια συστήματα διευθύνσεων των αξόνων πτυχών είναι: NNE-SSW, WNW-ESE και ENE-WSW. Φαίνεται πως τα δύο πρώτα συστήματα ήταν το αποτέλεσμα ενός και μόνο διαστροφισμού και προκλήθηκαν από φαινόμενα ανισοτροπίας. Το τρίτο σύστημα είναι καθαρά νεότερο από τα δύο πρώτα, καθώς αυτό τα επαναπτυχώνει και τα δύο. Τα κύρια συστήματα ρηγμάτων έχουν τις εξής διευθύνσεις: NNW-SSE, NE-SW, NW-SE, ENE-WSW. Το τελευταίο από αυτά φαίνεται να είναι και το νεότερο, πράγμα που μας κάνει να υποθέσουμε ότι αυτό θα μπορούσε να σχετίζεται με το σύστημα ρηγμάτων της Βόρειας Ανατολίας και ειδικότερα με το ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης του Βορείου Αιγαίου.

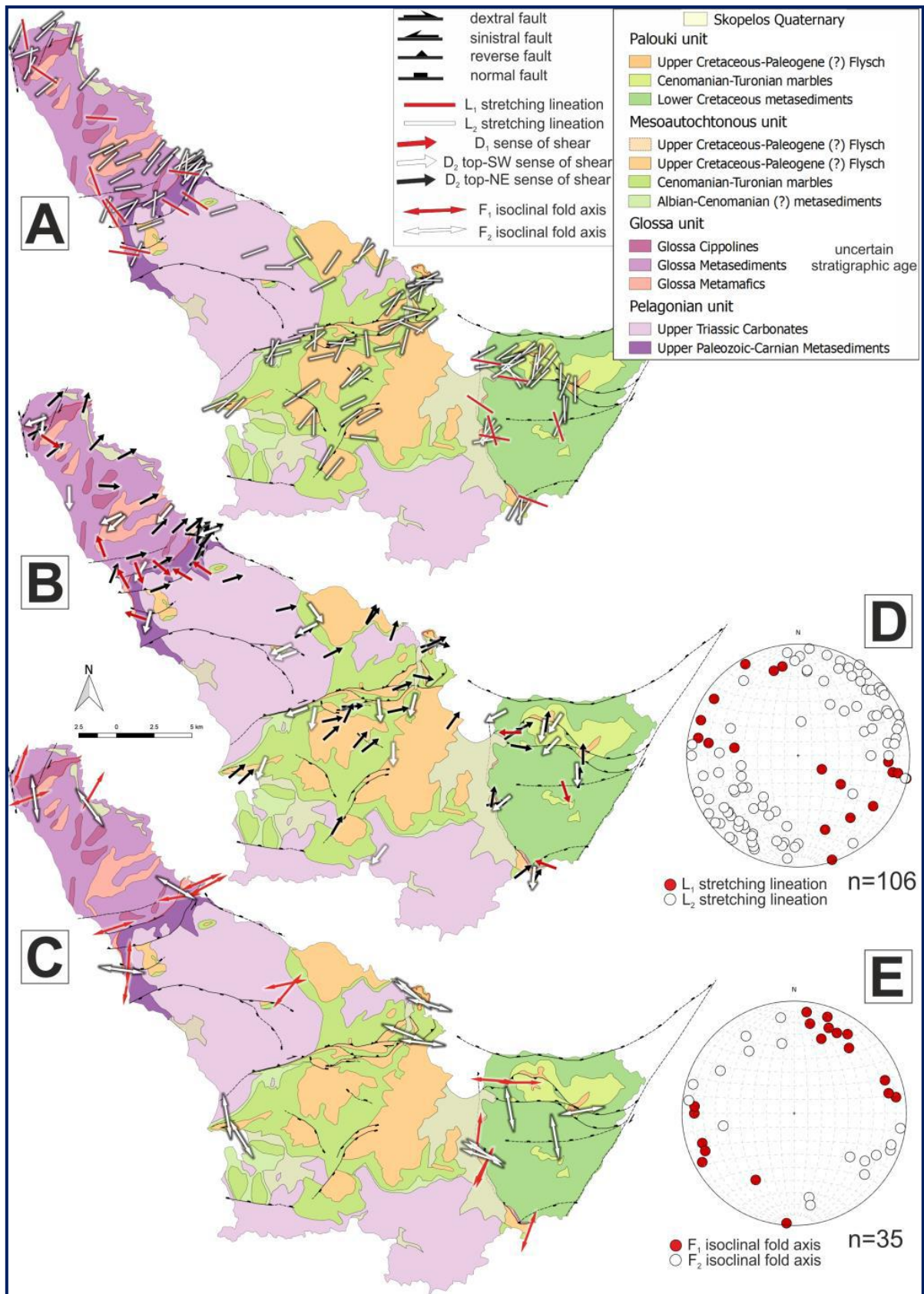


Εικόνα 8. Χάρτης με τους άξονες πτυχών της Σκοπέλου. [Πηγή: Matarangas D., 1992]



Εικόνα 9. Χάρτης με τα ρήγματα της Σκοπέλου. [Πηγή: Matarangas D., 1992]

Παραθέτουμε στη συνέχεια, στην Εικόνα 10, μια σειρά από χάρτες και στερεογραφικές προβολές που περιλαμβάνουν στοιχεία τεκτονικών δομών της Σκοπέλου και περιέχονται σε μια πρόσφατη προδημοσίευση των *Porkoláb et al.*^[10].

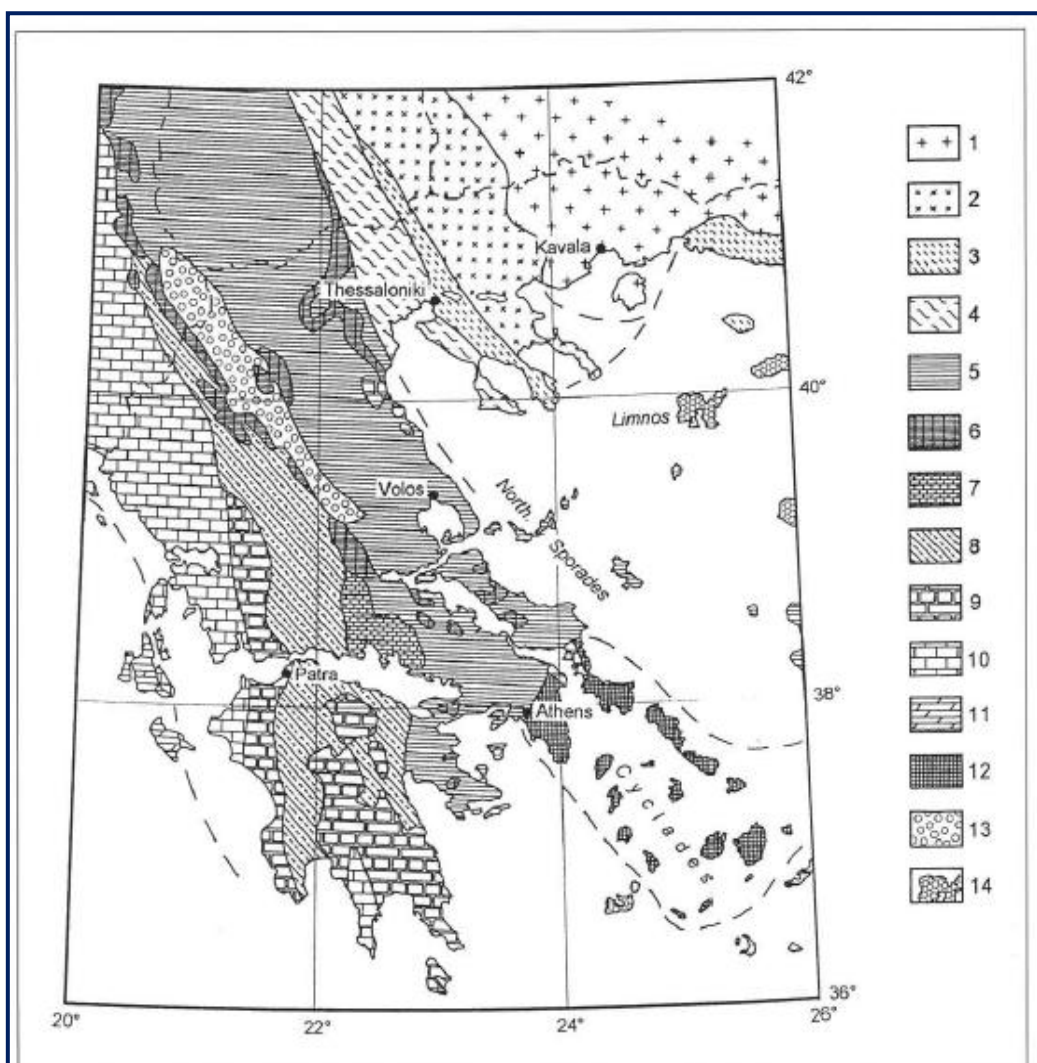


Εικόνα 10. Σχεδιαγράμματα βασικών δομικών μετρήσεων στη Σκόπελο. **A,** Χάρτης των γραμμώσεων διάτμησης. **B,** Χάρτης των γραμμώσεων διάτμησης συσχετισμένων με κινηματικούς δείκτες. **C,** Χάρτης των αξόνων ισοκλινών πτυχών. **D,** Στερεογραφική προβολή των γραμμώσεων διάτμησης. **E,** Στερεογραφική προβολή των αξόνων ισοκλινών πτυχών. [Πηγή: Porkoláb K. *et al.*, 2019]

1.5. Η Σκόπελος στο Γεωλογικό Πλαίσιο των Βορείων Σποράδων - Γεωλογική Ιστορία της Σκοπέλου

Η αλπική ορογένεση των Ελληνίδων ήταν αποτέλεσμα αλλητάλληλων κύκλων υποβύθισης τεκτονικών πλακών, πτυχώσεων και επωθήσεων καλυμμάτων, οι οποίοι έλαβαν χώρα από το Ιουρασικό μέχρι τον Καινοζωικό. Η ορογενετική ενεργότητα είχε μια κύρια διεύθυνση μετακίνησης από τις εσωτερικές προς τις εξωτερικές Ελληνίδες, ήτοι από ΝΕ προς SW, όπως συμπεραίνεται από τις ηλικίες των σύγχρονων με τις αντίστοιχες φάσεις της ορογένεσης ιζημάτων φλύσχη και από τις θέσεις των παλαιοφαιστειακών τόξων. [9]

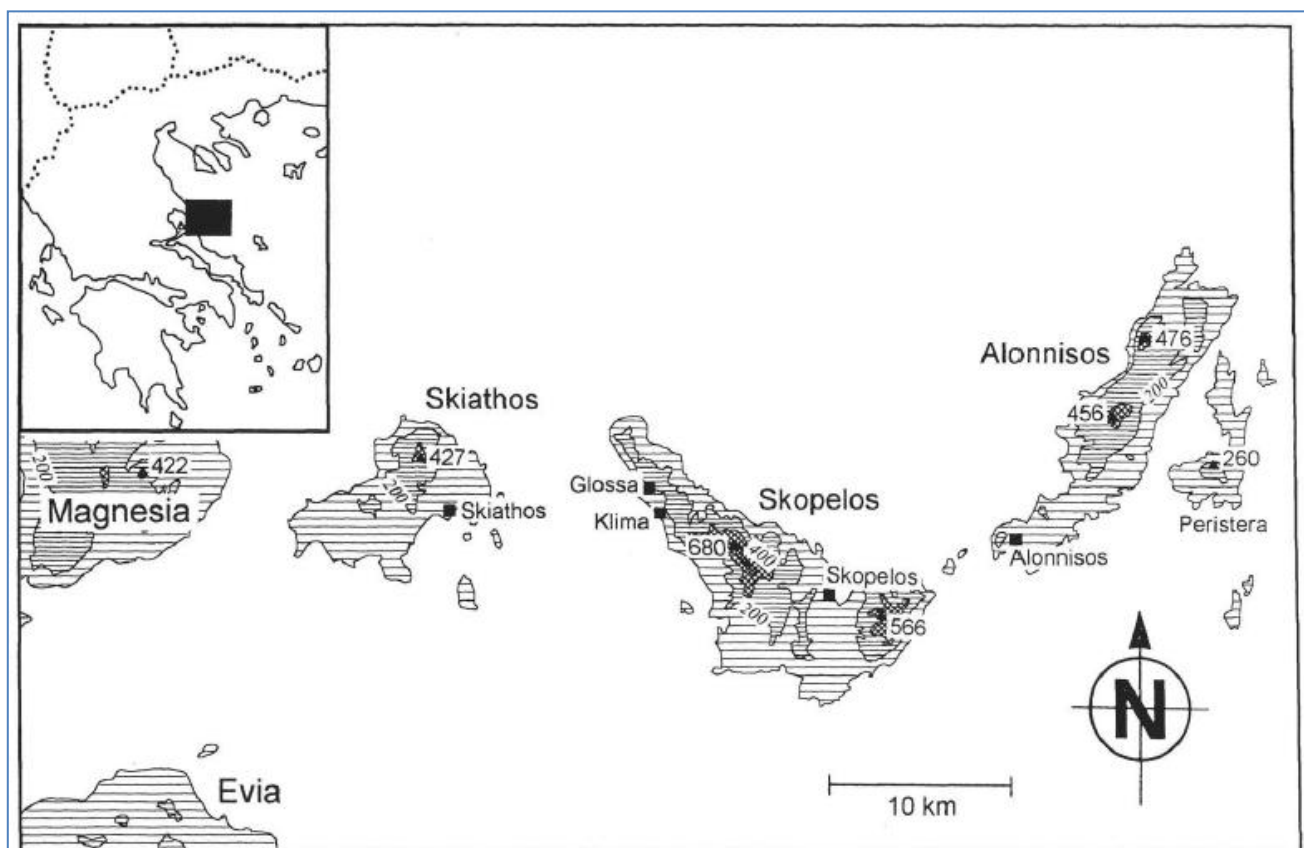
Τα νησιά των Βορείων Σποράδων Σκιάθος, Σκόπελος, Αλόνησος και Περιστέρα ανήκουν στην Πελαγονική ζώνη των Κεντρικών Ελληνίδων, οι οποίες συμπεριλαμβάνουν και τις ζώνες Πίνδου και Παρνασσού (βλ. Εικ. 11). Η Πελαγονική ζώνη δομείται από ιζήματα ανθρακικής υφαλοκρηπίδας αποθεθέντα πάνω σε ένα υποκείμενο κρυσταλλικό υπόβαθρο. Η Πελαγονική κρηπίδα αναπτύχθηκε από τον ύστερο Παλαιοζωικό μέχρι τον Ιουρασικό, με απόθεση ως επί το πλείστον νηριτικών ανθρακικών και σε μικρότερο βαθμό ιζημάτων πελαγικής λεκάνης. [9]



Εικόνα 11. Απλοποιημένος γεωτεκτονικός χάρτης της ηπειρωτικής Ελλάδας και των βορειοδυτικών νησιών του Αιγαίου. 1 = ζώνη Ρίια - Ροδόπης, 2 = Σερβομακεδονική ζώνη, 3 = ζώνη Cιρουμ – Ροδόπης, 4 = ζώνη Αξίου – Βαρδάρη, 5 = Πελαγονική ζώνη, 6 = Οφιολιθικές ακολουθίες, γενικά (εκτός από τους οφιολίθους Αξίου – Βαρδάρη), 7 = ζώνη Παρνασσού, 8 = ζώνη Πίνδου, 9 = ζώνη Γαβρόβου, 10 = Ιόνια ζώνη, 11 = ζώνη Παξών, 12 = Κυκλαδική κρυσταλλική ζώνη, 13 = Μεσοελληνική μόλασσα, 14 = Καινοζωικά ηφαιστειακά.

[Πηγή: Hejl E. et al., 1999]

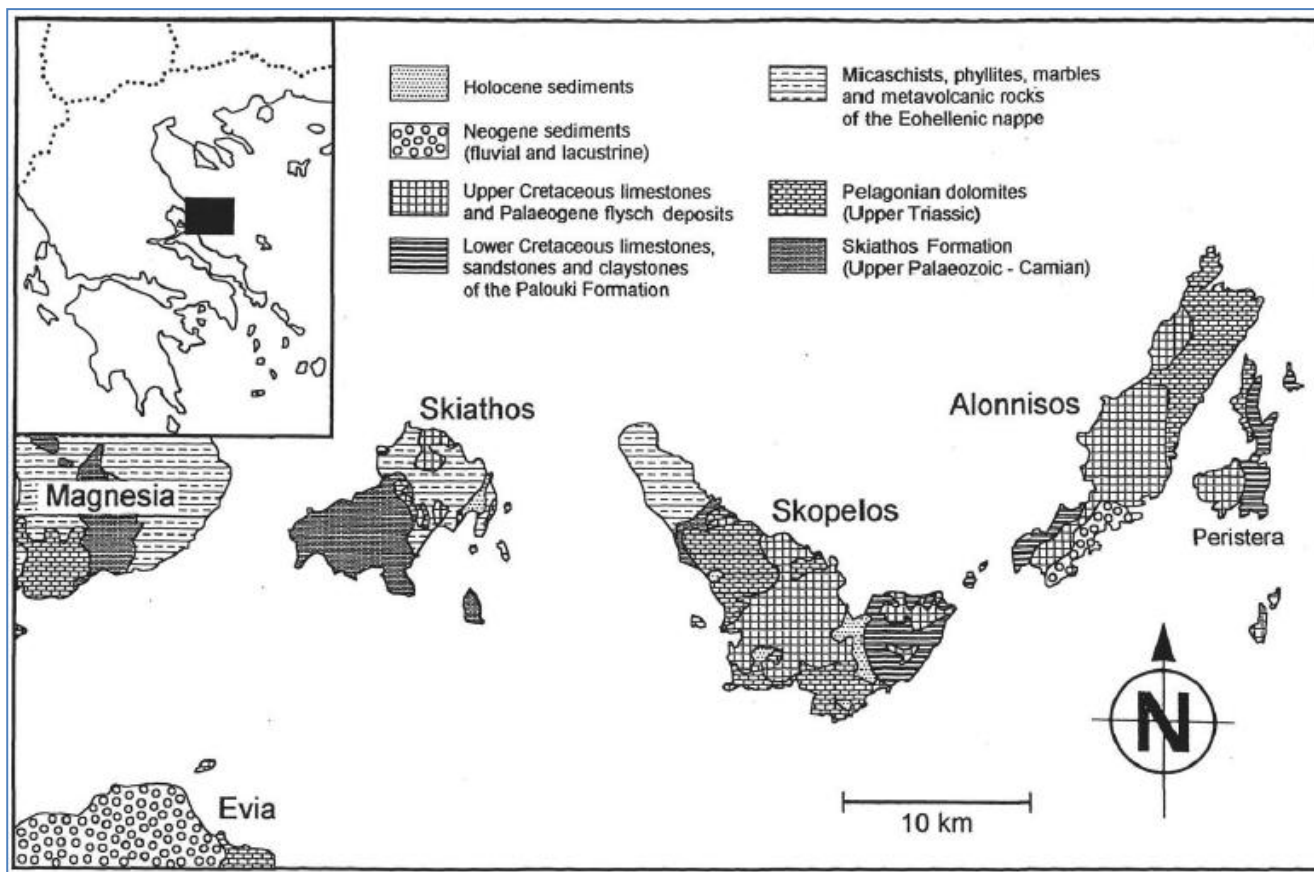
Μετά από μια περίοδο διάβρωσης, η πρώην Πελαγονική κρηπίδα και το Ηωελληνικό κάλυμμα βυθίστηκαν ξανά και σκεπάστηκαν από Ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους περιθωρίου και ιζήματα φλύσχη του Παλαιογενούς. Η προ-Κρητιδική Πελαγονική κρηπίδα και το Ηωελληνικό κάλυμμα, μαζί με το υπερκείμενό τους Μεσοαυτόχθονο ιζηματογενές στρώμα (του Ανώτερου Κρητιδικού - Παλαιογενούς) έχουν κατηγοριοποιηθεί ως «Πελαγονική ζώνη sensu lato (s.l.)», ενώ η «Πελαγονική ζώνη sensu strictu (s. str.)» περιορίζεται στο προ-αλπικό υπόβαθρο και την προ-Κρητιδική ανθρακική πλατφόρμα (ύστερο Παλαιοζωικό - Ιουρασικό). Η επώθηση του καλύμματος στην Πελαγονική ζώνη s.l. διήρκησε μέχρι το Ύστερο Ηώκαινο.^[9]



Εικόνα 12. Τοπογραφικός χάρτης των Βορείων Σποράδων. Η θέση της περιοχής υποδεικνύεται με μαύρο χρώμα στον ένθετο χάρτη της Ελλάδας. [Πηγή: Hejl E. *et al.*, 1999]

Στην περιοχή των Βορείων Σποράδων (βλ. Εικ. 13), η Πελαγονική ζώνη s.l. αντιπροσωπεύεται από τον σχηματισμό της Σκιάθου (Skiathos Formation) και από δολομίτες του Ανώτερου Τριαδικού. Ο σχηματισμός της Σκιάθου εμφανίζεται στο δυτικότερο μέρος της Σκιάθου και σχηματίζει μια μικρή ζώνη προς τα νότια της χερσονήσου της Γλώσσας, στο νησί της Σκοπέλου (βλ. Εικ. 13). Αυτός ο περίπλοκος σχηματισμός, όπως αναλυτικά προαναφέραμε, συγκροτείται από διάφορα μεταϊζηματογενή πετρώματα, μεταξύ των οποίων φυλλίτες, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και γνεύσιους. Θεωρείται, βάσει λίγων αμφίβολων απολιθωμάτων και μιας υποθεθείσης ως μολασικής εμφάνισης, ότι η ηλικία του σχηματισμού αυτού είναι του Ύστερου Παλαιοζωικού. Ο σχηματισμός της Σκιάθου στο νησί της Σκοπέλου επικαλύπτεται κανονικά από δολομίτες του Νώριου - Ραΐτιου, οι ηλικίες των οποίων είναι καλά τεκμηριωμένες από εμφανίσεις απολιθωμάτων^[1]. Επομένως, ο υποκείμενος σχηματισμός της Σκιάθου θα πρέπει να έχει αποτεθεί παλαιότερα, στο χρονικό διάστημα μεταξύ του Ύστερου Παλαιοζωικού και του Κάρνιου.

Η ανατολική Σκιάθος και η χερσόνησος της Γλώσσας, στη βορειοδυτική Σκόπελο, ανήκουν στο Ηωελληνικό κάλυμμα. Το Ηωελληνικό κάλυμμα είναι μια ενότητα που περιλαμβάνει λεπτά στρώματα σερπεντινίτη, μεταβασαλών, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και φυλλιτών, με μικρές παρεμβολές μαρμάρων. Το Ηωελληνικό κάλυμμα στη Σκιάθο και τη Σκόπελο υπέρκειται του σχηματισμού της Σκιάθου, έχοντας με αυτόν τεκτονική επαφή.^[9]



Εικόνα 13. Γεωλογικός χάρτης των Βορείων Σποράδων. [Πηγή: Hejl E. *et al.*, 1999]

Η Ανωκρητιδική επίκλυση άρχισε ύστερα από μια μακρά περίοδο αποσάθρωσης και διάβρωσης, η οποία τεκμηριώνεται από τα λατεριτικά παλαιοεδάφη και τους βωξίτες που απαντώνται στη βάση της επικλυσιογενούς ακολουθίας. Αυτοί οι λατεριτικοί σχηματισμοί γεμίζουν κοιλάτες πάνω σε μια καρστικοποιημένη παλαιοεπιφάνεια, η οποία είχε αναπτυχθεί πάνω στους Πελαγονικούς δολομίτες. Η Κρητιδική ιζηματογένεση άρχισε με απόθεση δολομιτικών κροκαλοπαγών και λατυποπαγών, στα οποία εν συνεχεία επικάθησαν ασβεστόλιθοι πάχους άνω των 200 m. Απολιθώματα ρουδιστών, εχινόδερμων και *Miliolidae* απαντώνται συχνά μέσα στις παχυστρωματώδεις και ογκώδεις ασβεστολιθικές ακολουθίες. Τα ιζήματα φλύσχη του Παλαιογενούς φθάνουν ένα μέγιστο πάχος περίπου 150 m.

Σύμφωνα με τον Ματαράγκα (1992)^[1], όπως αναφέραμε και στην ενότητα 1.4, ο σχηματισμός (ενότητα) του Παλουκιού περιλαμβάνει μια εναλλαγή από λεπτόκοκκους ασβεστολίθους, φαμμίτες και σκοτεινόχρωμους φυλλιτικούς σχίστες. Ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται στη νοτιοανατολική Σκόπελο, την Αλόνησο και την Περιστερά. Η ηλικία του, Κατώτερο Κρητιδικό, αποδεικνύεται με απολιθώματα. Μπορούμε βέβαια να υποθέσουμε ότι αυτή η ζώνη παρέμεινε συνεχώς κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας σε όλη τη διάρκεια του Κρητιδικού, ενώ επωθήθηκε πάνω στην ακολουθία φλύσχη της Μεσοαυτόχθονης σειράς προς τα τέλη του Ηωκαίνου (Μεσοελληνική ορογένεση). Σύμφωνα με τους Jacobshagen & Skala (1977)^[11], μπορεί επίσης να υποθεθεί ηλικία Ηωκαίνου και για την πρασινοσχιστολιθική μεταμόρφωση του Ηωελληνικού καλύμματος. Στη συνέχεια οι κύριες

συμπιεστικές δράσεις, πχ επώθηση και υποβύθιση καλυμμάτων, μετανάστευσαν νοτιοδυτικά προς την περιοχή των Εξωτερικών Ελληνίδων (ζώνες Γαβρόβου, Ιονίου και Παξών). Μια μολασσική λεκάνη οπισθοτόξου σχηματίστηκε στην περιοχή των Βορείων Κυκλάδων και της Δυτικής Θεσσαλίας στη διάρκεια του Πρώιμου Μειόκαινου. Την ίδια χρονική περίοδο, η ηπειρωτική Ελλάδα ήταν συνδεδεμένη με τη Μικρά Ασία μέσω μιας γέφυρας που περιελάμβανε την Αττική, τη Νότια Εύβοια, τις Βόρειες Κυκλάδες, την Ικαρία και τη Σάμο (Papanikolaou, 1993) ^[12]. Αυτή η διαμόρφωση διατηρήθηκε ουσιαστικά μέχρι το Ύστερο Μειόκαινο. Η σημερινή υποβύθιση συμβαίνει κατά μήκος του εξωτερικού περιθωρίου του Ελληνικού τόξου (Πελοπόννησος – Κρήτη - Ρόδος). Ακριβείς γεωδαιτικές μετρήσεις μέσω GPS έχουν δείξει ότι η νότια πλάκα του Αιγαίου κινείται προς τα νοτιοδυτικά με μια ταχύτητα της τάξεως των 30 mm/a, αναφορικά με τη λιθοσφαιρική πλάκα της Ευρώπης ^[13]. Η ιζηματογένεση θαλάσσιας μόλασσας συνεχίζεται ακόμη στο οπισθο-τόξο της Κρητικής Λεκάνης, ενώ η γέφυρα ξηράς του Αιγαίου προς τα βόρεια έχει καταστραφεί με έκταση και υποχώρηση. Τα Νησιά των Κυκλάδων αντιπροσωπεύουν τις κορυφές των βουνών που υπήρχαν στην προηγούμενη χερσαία περιοχή. Στη διάρκεια των τελευταίων 15 Ma έχουν συσσωρευθεί ιζήματα πάχους άνω των 6 km στην παρακείμενη τάφρο του Βορείου Αιγαίου (Lyberis, 1984) ^[14]. Η λεκάνη των Σποράδων, που εκτείνεται ανατολικά του όρους Πήλιο, είναι το δυτικότερο άκρο της τάφρου του Βορείου Αιγαίου. Το σημερινό βάθος στην τάφρο αυτή υπερβαίνει τα 1000 m.

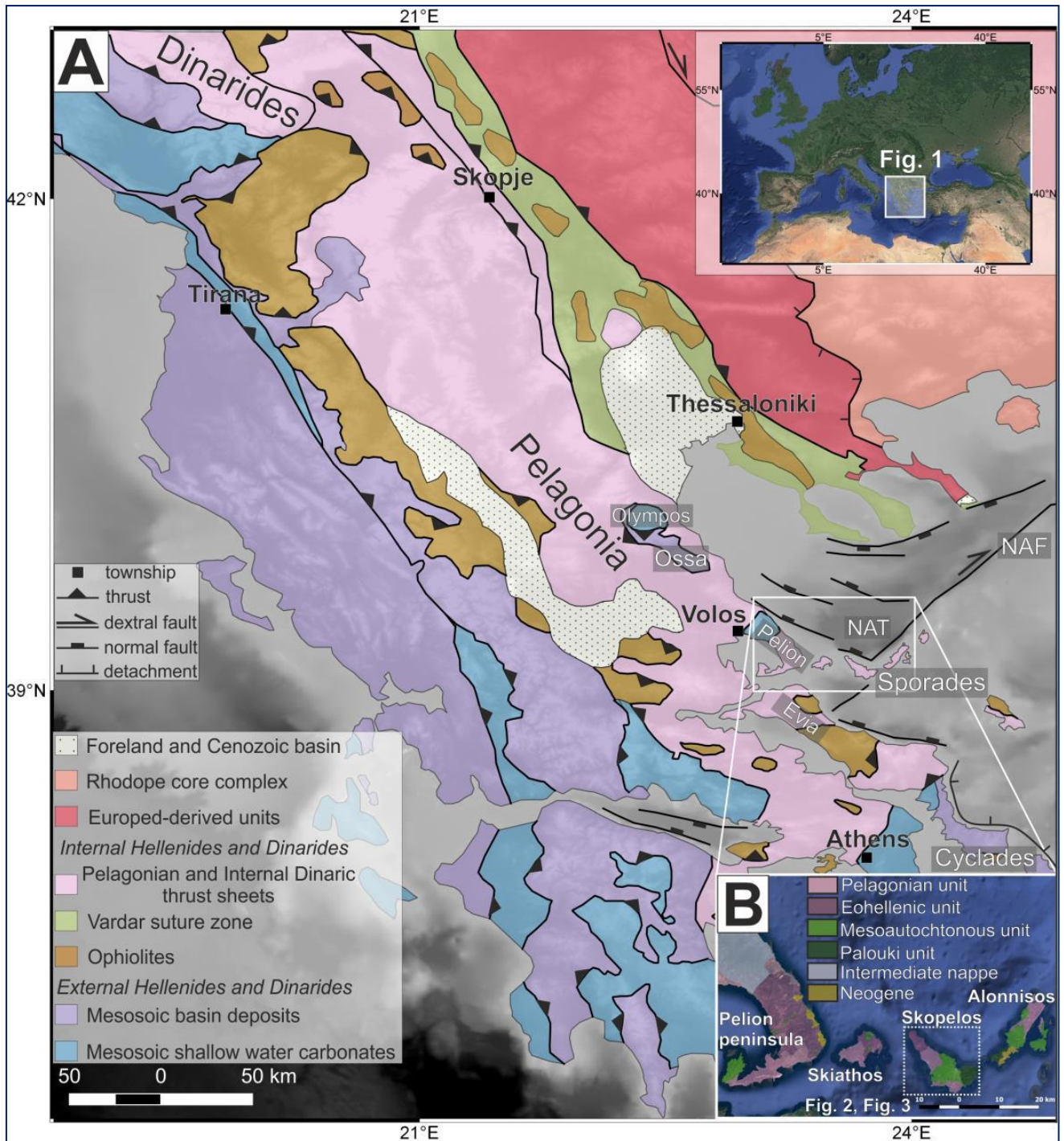
Ως προς τη γεωλογική ιστορία του νησιού της Σκοπέλου, ο Ματαράγκας δέχεται ότι πρώτα αποτέθηκαν σε ρηχό θαλάσσιο περιβάλλον τα ανώτερα τμήματα της σειράς της Σκιάθου, κατά το Λαδίνιο - Κάρνιο. Βαθμιαία έγινε η μετάβαση από τη σειρά της Σκιάθου στους Πελαγονικούς δολομίτες, στο Νόριο – Ραΐτιο. Οι δολομίτες αυτοί αποτέθηκαν σε μια πολύ ρηχή και περιορισμένη θάλασσα, σε ενδο- και υπο-παλιρροιακά περιβάλλοντα και αποτέλεσαν τμήμα της Πελαγονικής πλατφόρμας. Η ενότητα της Γλώσσας ανήκε στο Ηωελληνικό κάλυμμα. Τα μεταμορφωμένα ιζηματογενή πετρώματα της σειράς αυτής αποτέθηκαν σε ημιπελαγικό ή πελαγικό περιβάλλον. Έτσι, η ενότητα αυτή θα πρέπει να σχηματίστηκε μέσα σε μια θαλάσσια ή ακόμη και ωκεάνια λεκάνη, βορειοανατολικά της Πελαγονικής πλατφόρμας, δηλαδή μέσα στον ωκεανό της Τηθύος. Ο σχηματισμός των Μεσοαυτόχθονων σειρών άρχισε στο Κατώτερο Κρητιδικό, όταν έλαβαν χώρα ανάδυση και διάβρωση των Πελαγονικών δολομιτών, καθώς και λατεριτική εξαλλοίωση των Ηωελληνικών οφιολίθων, ενώ κατά το Άλβιο ξαναβυθίστηκαν. Η ακολουθία των ανθρακικών του Κρητιδικού σχηματίστηκε αρχικά σε συνθήκες μεταξύ λιμνοθάλασσας και ανοιχτής κρηπίδας, όπου σχηματίστηκαν οι ρουδιστοφόροι ασβεστόλιθοι, και τελικά σε ένα περιβάλλον σχετικά βαθιάς θαλάσσιας λεκάνης. Η απόθεση του φλύσχη σηματοδοτεί ένα ορογενετικό συμβάν στο χρονικό διάστημα Μαιστρίχτιου – Παλαιοκαίνου, το οποίο άρχισε στα εσωτερικά τμήματα των Ελληνίδων και εξαπλώθηκε στη συνέχεια προς τις εξωτερικές τους περιοχές. Η στρωματογραφική ακολουθία της ενότητας του Παλουκιού αποτέθηκε σύμφωνα πάνω σε κάποια υπολείμματα του Ηωελληνικού καλύμματος. Οι Κατώτερες Σειρές αποτέθηκαν σε μια επιηπειρωτική θαλάσσια λεκάνη ή πάνω σε μια ηπειρωτική κατωφέρεια. Τα ανώτερα στρώματα αποτέθηκαν στη συνέχεια μέσα σε περιβάλλον υφάλων οπότε σχηματίστηκαν οι ρουδιστοφόροι ασβεστόλιθοι, και ακολούθησε η απόθεση του φλύσχη. Η ενότητα Παλούκι άρχισε να σχηματίζεται πάνω στην ανατολική κατωφέρεια της Πελαγονικής πλατφόρμας και επομένως δεν επηρεάστηκε πολύ από την ανάδυση της Ηωελληνικής οροσειράς. ^[1, 4]

Σε μια εντελώς πρόσφατη προδημοσίευσή τους (2019) οι Porkoláb *et al.* ^[10] ασχολούνται με ενδείξεις που προκύπτουν από τη γεωλογία της Σκοπέλου, σχετικές με την τεκτονική δραστηριότητα η οποία έλαβε χώρα στην Πελαγονική ζώνη κατά τη διάρκεια του Κρητιδικού έως το Παλαιογενές. Αυτοί εξέτασαν τις διεργασίες υποβύθισης και εκταφισμού που έλαβαν χώρα στην Πελαγονική ζώνη, όπως υποτίθεται ότι συνέβησαν με βάση τα γεωλογικά

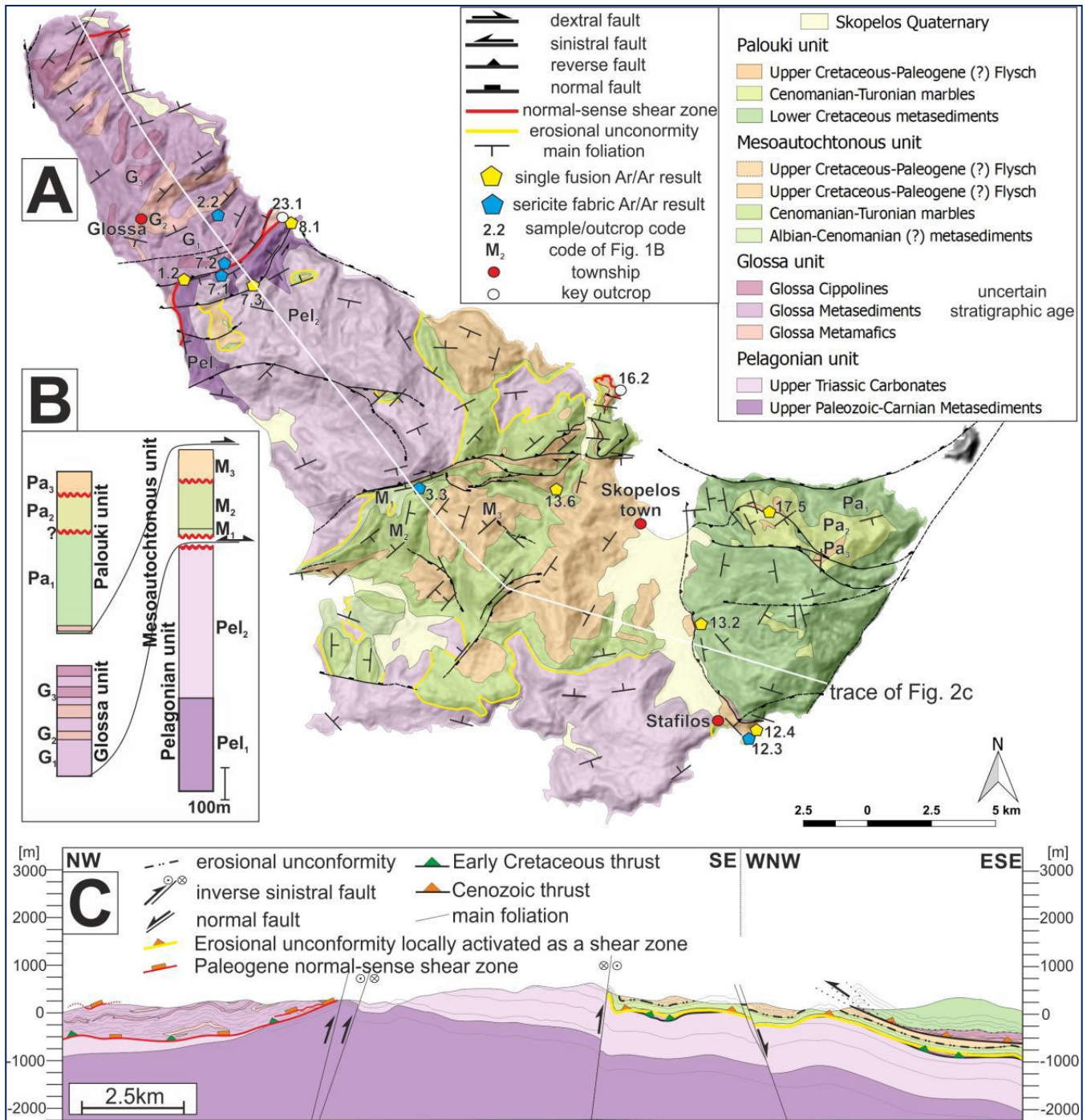
ευρήματα που εκτίθενται στα νησιά των Βορείων Σποράδων. Οι διεργασίες αυτές σχετίζονται με διαδοχικά επεισόδια συγκλίσεων μεταξύ ωκεάνιου-ηπειρωτικού και ηπειρωτικού-ηπειρωτικού φλοιού.

Οι ως άνω ερευνητές χρησιμοποίησαν στη μελέτη τους έναν συνδυασμό των τεχνικών της δομικής ανάλυσης πολλαπλής κλίμακας (multi-scale structural analysis), της μεταμορφικής πετρολογίας και της ραδιοχρονολόγησης κρυστάλλων λευκού μαρμαρυγία με τη μέθοδο $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. Σύμφωνα με αυτούς, τεκμηριώνονται δύο προοδευτικές φάσεις ολικής παραμόρφωσης, οι οποίες σχετίζονται με ξεχωριστά επεισόδια τεκτονικού ενταφιασμού και εκταφισμού του Πελαγονικού ηπειρωτικού περιθωρίου που έβλεπε προς τον ωκεανό Νεοτηθύος/Βαρδάρη(Αξιού). Μια ανασκόπηση των υπαρχόντων συνόλων δεδομένων από τις γειτονικές γεωτεκτονικές περιοχές δείχνει ότι και οι δύο αυτές φάσεις παραμόρφωσης μπορούν να συσχετισθούν κατά μήκος των ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης που προκάλεσαν μέχρι τις Δειναρίδες. Η πρώτη τεκτονική φάση ενταφιασμού και εκταφισμού (D1) χαρακτηρίζεται από τεκτονική μεταφορά NW-SE, μεταμόρφωση πρασινοσχιστολιθικής φάσης και ηλικίες Πρώιμου Κρητιδικού (~135-105 Ma). Η φάση D1 σχετίζεται με το αρχικό κλείσιμο του ωκεανού του Βαρδάρη, με επώθηση οφιολίθων προς τα βορειοδυτικά και την υποβύθιση του Πελαγονικού περιθωρίου κάτω από την ανώτερη ωκεάνια πλάκα. Την υποβύθιση ακολούθησαν ανύψωση, εκταφισμός και αποσάθρωση με διάβρωση του Πελαγονικού περιθωρίου. Ο εκταφισμός της Πελαγονικής ενότητας και της ενότητας της Γλώσσας, καθώς και του κατώτερου σχηματισμού της ενότητας του Παλουκιού, έλαβαν χώρα προς τα τέλη του Πρώιμου Κρητιδικού και στη συνέχεια καλύφθηκαν με τις νεότερες ακολουθίες ιζημάτων γύρω στα τέλη του Άλβιου και τις αρχές του Κενομάνιου (~100-95 Ma). Η δεύτερη φάση ενταφιασμού και εκταφισμού (D2) χαρακτηρίστηκε από τεκτονική μεταφορά NE-SW, μεταμόρφωση πρασινοσχιστολιθικής προς κυανοσχιστολιθική φάσης και ηλικίες Ύστερου Κρητιδικού – Πρώιμου Ηωκαίνου (~70-50 Ma). Διάτμηση με κατεύθυνση προς SW σχετίζεται με τον τεκτονικό ενταφιασμό της Πελαγονικής ζώνης κάτω από την Ευρασιατική ήπειρο (Ροδόπη), ενώ διάτμηση με κατεύθυνση προς NE οφείλεται σε εκταφισμό λόγω έκτασης που ακολούθησε. Οι αναλύσεις των ορυκτών που αντιστοιχούν στη φάση D2 καταγράφουν συνθήκες μεταμόρφωσης χαμηλού βαθμού P-T, επιτρέποντάς μας να υποθέσουμε ότι οι διασπασμένοι καλυπτήριοι σχηματισμοί που εκτίθενται σήμερα στη Σκόπελο δημιουργήθηκαν μέσα σε μια σφήνα συσσώρευσης που σχηματίστηκε πάνω από την υποβυθιζόμενη Πελαγονική λεκάνη, στη διάρκεια του Παλαιογενούς. Μια ζώνη διάτμησης μέσα σε πλούσιους σε Al μεταπηλίτες αποτελεί καταγραφή μιας σημαντικά υψηλότερης πίεσης συγκριτικά με την υπερκείμενη Μεσοαυτόχθονη και την υποκείμενη Πελαγονική ακολουθία. Κατά την άποψη των ως άνω ερευνητών, αυτή η διαφορά πίεσης θα μπορούσε να είναι ένα παράδειγμα τεκτονικής υπερπίεσης μέσα σε μια ζώνη ασθενούς διάτμησης.

Ολοκληρώνοντας το εισαγωγικό μέρος της εργασίας μας θεωρούμε χρήσιμο να παραθέσουμε τις Εικόνες 14, 15 και 16 που ακολουθούν, δανεισμένες από την προδημοσίευση των Porkoláb *et al.* ^[10], ώστε να αποκτηθεί μια συνολική εποπτεία των πιο σύγχρονων απόψεων πάνω στη γεωλογική δομή και τη γεωλογική ιστορία της Σκοπέλου.

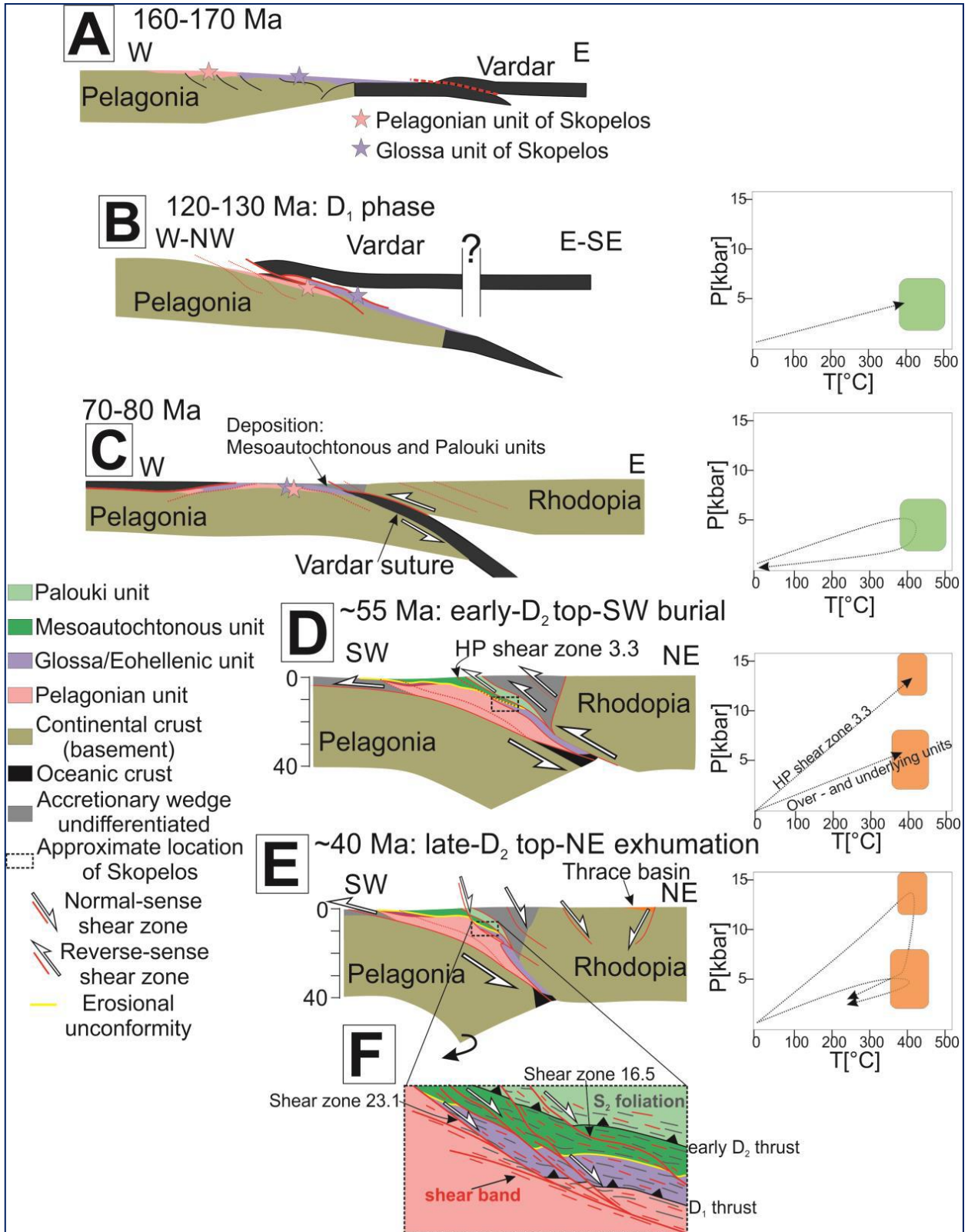


Εικόνα 14. A, Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής του Αιγαίου που δείχνει τις κύριες τεκτονικές ενότητες και τις σημαντικότερες δομές (τροποποιημένος από τη δημοσίευση του Burg, 2012^[15]). Ο υπομετρικός χάρτης υποβάθρου σε κλίμακα του γκρι είναι βασισμένος σε δεδομένα GMRT (Ryan et al., 2009^[16]). NAF = Ρήγμα της Βόρειας Ανατολίας, NAT = Τάφρος του Βόρειου Αιγαίου. Η θέση της Εικ. 14B δείχνεται μέσα στο πλαίσιο με λευκό περιγράμμα. **B**, Χάρτης που δείχνει τις κύριες γεωλογικές ενότητες των Βορείων Σποράδων και της χερσονήσου του Πηλίου, σύμφωνα με την υποδιαίρεση των Jacobshagen et al. (1978)^[17].
 [Πηγή: Porkoláb K. et al., 2019]



Εικόνα 15. **A**, Γεωλογικός χάρτης της Σκοπέλου (τροποποιημένος από την εργασία του Μатарάγκα, 1992^[1]) που δείχνει τις κύριες δομές, μετρήσεις της επικρατούσας φύλλωσης και σημαντικές γεωλογικές θέσεις στο νησί. **B**, Τεκτονοστρωματογραφική στήλη που δείχνει τα προσεγγιστικά εμφανιζόμενα πάχη των σχηματισμών. **C**, Εγκάρσια τομή κατά μήκος της νήσου Σκοπέλου. Το ίχνος της εγκάρσιας τομής δείχνεται στην Εικ. 15Α με λευκή γραμμή.

[Πηγή: Porkoláb K. et al., 2019]



Εικόνα 16. Απλοποιημένο μοντέλο πέντε βημάτων που δείχνει την εξέλιξη του Πελαγονικού περιθωρίου και των τεκτονικών ενότητων της Σκοπέλου μεταξύ των ~170 και ~40 Ma BP. Για τα βήματα **B** έως **E** τα διαγράμματα δείχνουν την εκτιμώμενη εξέλιξη θερμοκρασιών-πίεσεων της Σκοπέλου. **A**, Έναρξη της ενδο-ωκεάνιας υποβύθισης του παθητικού Πελαγονικού περιθωρίου, καθώς ο ωκεάνιος φλοιός του διανοιγόμενου ωκεανού του Βαρδάρη (Αξιού) επωθείται πάνω σε αυτό. **B**, Η υποβύθιση του Πελαγονικού περιθωρίου κάτω από τους οφιολίθους του Βαρδάρη οδηγεί σε μεταμόρφωση και παραμόρφωση (D₁ για τη Σκόπελο) των ιζημάτων του παθητικού περιθωρίου. Η ενότητα της Γλώσσας τοποθετείται πάνω από την Πελαγονική ενότητα.

C, Ανάδυση και διάβρωση του Πελαγονικού περιθωρίου και των επωθημένων πάνω του οφιολίθων. Απόθεση των ιζημάτων του Ύστερου Κρητιδικού (Μεσοαυτόχθονη ενότητα και ενότητα Παλουκιού στη Σκόπελο) πάνω στα μεταμορφωμένα πετρώματα. **D**, Ανάπτυξη μιας σφήνας συσσώρευσης στη ζώνη σύγκρουσης μεταξύ της Πελαγονίας και της Ροδόπης. Όλες οι τεκτονικές ενότητες της Σκοπέλου ενσωματώθηκαν στη σφήνα αφού μεταφέρθηκαν προς τα κάτω από το υποβυθιζόμενο Πελαγονικό υπόβαθρο. Τεκτονική μεταφορά με κατεύθυνση SW και μεταμόρφωση πρασινοσχιστολιθικής προς κυανοσχιστολιθική φάσης χαρακτήρισαν τον ενταφιασμό των ενοτήτων. **E**, Αρχικός εκταφισμός της σφήνας συσσώρευσης, λόγω εκτατικής διάτμησης με κατεύθυνση NE, ακολούθησε την έναρξη του πισωγυρίσματος της βυθιζόμενης λιθοσφαιρικής πλάκας της Πελαγονίας. **F**, Μεγέθυνση της προσεγγιστικής θέσης της Σκοπέλου στην Εικόνα 16E που δείχνει τη λεπτομερή ενσωμάτωση της παρατηρούμενης διάσπαρτης διάτμησης με κατεύθυνση NE. Οι ζώνες διάτμησης βαίνουν υπο-παράλληλες προς την κύρια φύλλωση (S₂) προκαλώντας μόνο μικρές τροποποιήσεις στη δομή του καλύμματος, πυροδοτώντας όμως την ανάπτυξη της διάσπαρτης διάτμησης με κατεύθυνση NE σε όλες τις τεκτονικές ενότητες της Σκοπέλου.

[Πηγή: Porkoláb K. *et al.*, 2019]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ως βασικά βοηθήματα στην εργασία μας χρησιμοποιήσαμε τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ για τη Σκόπελο, τον οποίο επιμελήθηκε ο ερευνητής του ΙΓΜΕ Δρ. Δ. Ματαράγκας, και την διδακτορική διατριβή του ιδίου ερευνητή. Τα κύρια στοιχεία των εργασιών αυτών που έχουν συνάφεια με το θέμα της παρούσης εργασίας έχουν ήδη εκτεθεί στο Κεφάλαιο 1.

Οι επισκέψεις μας στο πεδίο έγιναν τα καλοκαίρια των ετών 2015, 2016 και 2017. Βασικός μας στόχος ήταν να συγκεντρώσουμε παρατηρησιακά δεδομένα κατά μήκος της τεκτονικής επαφής (επώθησης) ανάμεσα στην ενότητα του Παλουκιού (υπερκείμενη) και την Πελαγονική ενότητα ή τα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος που υπόκεινται της ενότητας του Παλουκιού.

Συνοπτικά έγιναν οι εξής ενέργειες, στη διάρκεια των επισκέψεων στο πεδίο και μετά από αυτές:

- Χρησιμοποιήθηκε γεωλογική πυξίδα για τη μέτρηση των διαφόρων στοιχείων που είχαν ενδιαφέρον σε γεωλογικούς σχηματισμούς που συναντήσαμε όπως πτυχές, ρήγματα και επιφάνειες επαφής.
- Εφαρμόσαμε τις καθιερωμένες μεθόδους για τη μακροσκοπική διάκριση των διαφόρων πετρωμάτων μεταξύ τους (π.χ. επίδραση με υδροχλωρικό οξύ για τη διάκριση των ασβεστολίθων από τα πυριτικά πετρώματα και τους δολομίτες, χάραξη με σουγιαδάκι για τη διάκριση των πυριτικών από τα ανθρακικά, παρατήρηση με μεγεθυντικό φακό για την αναγνώριση ορυκτών μέσα σε πετρώματα κλπ).
- Ελήφθησαν από διάφορες θέσεις στο πεδίο πάνω από 50 δείγματα πετρωμάτων, τα οποία μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας και Πετρολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του ΕΚΠΑ για μακροσκοπική αναγνώριση.
- Κάποια από τα παραπάνω δείγματα μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Κατασκευής Λεπτών Τομών του ΙΓΜΕ, και οι λεπτές τομές που ελήφθησαν από αυτά μας έδωσαν αρκετές χρήσιμες πληροφορίες για τις συνθήκες μεταμόρφωσης και παραμόρφωσης, τις οποίες υπέστησαν στο παρελθόν τα πετρώματα από τα οποία ελήφθησαν τα δείγματα.
- Ένα επιμέρους σύνολο δειγμάτων, που ελήφθησαν το 2017 από εμφάνιση αποθέσεων τραβερτίνη στη θέση Στάφυλος, έχει χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία λεπτών τομών στο Εργαστήριο Κατασκευής Λεπτών Τομών του ΙΓΜΕ, από τις οποίες ελήφθησαν φωτογραφίες με πετρογραφικό μικροσκόπιο. Τα ίδια δείγματα χρησιμοποιήθηκαν και για την παραγωγή διαγραμμάτων XRD στο Εργαστήριο του Τομέα Ορυκτολογίας και Πετρολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του ΕΚΠΑ, με σκοπό την αναγνώριση της ορυκτολογικής τους σύστασης.
- Στο Τετράδιο Υπαίθρου μας σημειώθηκαν επιτόπου παρατηρήσεις, κάποιες εκ των οποίων βοήθησαν στην τελική εξαγωγή συμπερασμάτων.
- Φωτογραφήθηκαν πολλοί ενδιαφέροντες γεωλογικοί σχηματισμοί στις διάφορες θέσεις που επισκεφθήκαμε, ενώ παράλληλα φωτογραφήθηκαν και όλα τα δείγματα που ελήφθησαν *in situ*.
- Χρησιμοποιήθηκε δορυφορικός χάρτης της περιοχής μελέτης, πάνω στον οποίο τοποθετήσαμε τα σημαντικότερα στοιχεία των παρατηρήσεών μας στο πεδίο. Με

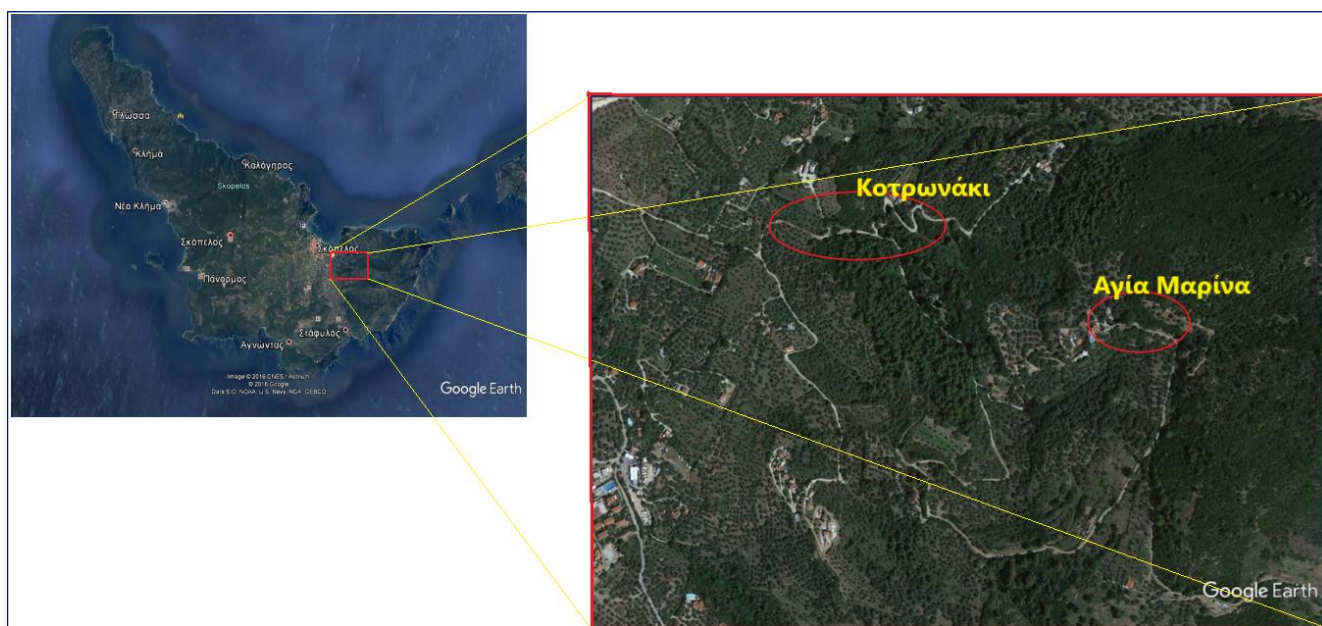
χρήση και των ορθοφωτογραφιών του Ελληνικού Κτηματολογίου της ίδιας περιοχής, υπολογίστηκαν οι αποστάσεις μεταξύ διαφόρων σημείων ενδιαφέροντος.

- Χρησιμοποιήθηκε επίσης χάρτης σεισμών της περιοχής του Βόρειου Αιγαίου, από τον οποίο εξήχθησαν χρήσιμα συμπεράσματα για τη σεισμική ενεργότητα της περιοχής μελέτης.
- Χρησιμοποιήθηκαν τα πορίσματα του Ινστιτούτου Γεωδυναμικής του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, σχετικά με την επιφανειακή κίνηση του φλοιού στην περιοχή μεταξύ της Κεντρικής Ελλάδας και του Βορείου Αιγαίου, την οποία διενεργεί τα τελευταία χρόνια το Ινστιτούτο Γεωδυναμικής, προκειμένου να συσχετισθούν κάποιες από τις δικές μας παρατηρήσεις με τα πορίσματα αυτά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ ΑΓΙΑ ΜΑΡΙΝΑ - ΚΟΤΡΩΝΑΚΙ

Οι θέσεις Αγία Μαρίνα και Κοτρωνάκι βρίσκονται στην βορειοδυτική πλευρά του όρους Παλούκι, ανατολικά από την πολίχνη της Σκοπέλου (βλ. Εικ. 17). Το Κοτρωνάκι απέχει περίπου 500 m από την επαρχιακή οδό Σκοπέλου – Αγνώντα και αποτελεί ένα ύψωμα στο ανατολικό άκρο της μικρής πεδιάδας, στις υπώρειες του Παλουκιού. Στη βάση του υψώματος είναι κτισμένη η Ι. Μονή του Αγίου Ιωάννη του Προδρόμου. Η Αγία Μαρίνα είναι μια περιοχή που βρίσκεται ανατολικότερα από το Κοτρωνάκι, στην πλαγιά του Παλουκιού, και χαρακτηρίζεται από αναβαθμίδες παλαιών ελαιοστασίων ανάμεσα σε πευκόφυτες εκτάσεις και λίγες βίλες.



Εικόνα 17. Η περιοχή των θέσεων Αγία Μαρίνα και Κοτρωνάκι, στο πλαίσιο μιας γενικότερης εικόνας της νήσου Σκοπέλου, από διαστημικές φωτογραφίες του Google Earth.

Παραθέτουμε αρχικά τα παρατηρησιακά δεδομένα μας από τη θέση Κοτρωνάκι. Το ομώνυμο ύψωμα χαρακτηρίζεται από την παρουσία ενός επιβλητικού ογκόλιθου ασβεστολιθικής σύστασης, όπως διαπιστώθηκε με τη δοκιμή σταγόνων υδροχλωρικού οξέος (αναβράζει) και την εκτίμηση της σκληρότητας (χαράσσεται με σουγιά) του πετρώματος (βλ. Εικ. 18). Οι ασβεστόλιθοι της Μεσοαυτόχθονης ενότητας και εκείνοι της ενότητας του Παλουκιού απέχουν από αυτόν πάνω από 2 km ενώ δεν υπάρχει εμφάνιση άλλων ασβεστολίθων στο μεταξύ τους διάστημα, προξενεί επομένως ερωτήματα η ύπαρξή του στη θέση αυτή. Πιθανόν να έχουμε την περίπτωση ενός ολισθόλιθου, ο οποίος μεταφέρθηκε από μεγάλη απόσταση στη σημερινή του θέση, λόγω της επώθησης της ενότητας του Παλουκιού πάνω στη Μεσοαυτόχθονη ενότητα.

Στο σημείο του δρόμου που βρίσκεται 200 m περίπου ανατολικά της Ι.Μ Αγ. Ιωάννη Προδρόμου και 100 m ανατολικά από τον ασβεστολιθικό ογκόλιθο που δεσπόζει στην περιοχή (Κοτρωνάκι) υπάρχει εμφάνιση της επαφής ανάμεσα στην Κατώτερη Σειρά της ενότητας του Παλουκιού και τα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος (Εικ. 19). Η διεύθυνση του επιπέδου της επαφής είναι εδώ NNW-SSE, ενώ η κλίση του βαίνει αυξανόμενη από 10-20 μοίρες προς τα ΕΝΕ, στα ανατολικότερα και κατώτερα σημεία της εμφάνισης, μέχρι 30-40 μοίρες περίπου στα δυτικότερα και ψηλότερα.



Εικόνα 18. Ο ασβεστολιθικός ογκόλιθος «Κοτρωνάκι» (αιχμή βέλους), όπως φαίνεται από την περιοχή της Αγίας Μαρίνας. Οι ασβεστόλιθοι της Πελαγονικής ενότητας και εκείνοι της ενότητας του Παλουκιού απέχουν από αυτόν πάνω από 2 km ενώ δεν υπάρχει εμφάνιση άλλων ασβεστολίθων στο μεταξύ τους διάστημα, προξενεί επομένως ερωτήματα η παρουσία του στη θέση αυτή. Ενδεχομένως να πρόκειται για ολισθόλιθο. Σε απόσταση λίγων δεκάδων μέτρων από τον βράχο, προς τα βορειοανατολικά, βρίσκεται η εμφάνιση των μεταβασίτων του ηωελληνικού καλύμματος (της ενότητας της Γλώσσας), που υπόκεινται της κατώτερης σειράς της ενότητας του Παλουκιού, ενώ μεταξύ τους επιφανειακά παρεμβάλλονται φλύσχης και αλλούβιες αποθέσεις. Στο βάθος φαίνεται η πολίχνη της Σκοπέλου. Η διεύθυνση της φωτογραφίας είναι WNW-ESE.



Εικόνα 19. Η επαφή ανάμεσα στην Κατώτερη Σειρά της ενότητας του Παλουκιού (πάνω δεξιά) με τους μεταμαγματίτες (ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος) (κάτω), 200 m περίπου ανατολικά της Ι.Μ. Αγ. Ιωάννη Προδρόμου και 100 m ανατολικά από τον ασβεστολιθικό ογκόλιθο (Κοτρωνάκι), σημειωμένη με κόκκινη γραμμή. Η επαφή αρχίζει στα ανατολικά της τομής με μηδενική σχεδόν κλίση και βαθμιαία αυξάνει προς τα δυτικά μέχρι τις 40° περίπου, ενώ η ΦΜΚ είναι προς τη διεύθυνση ENE. Στη θέση όπου βρίσκεται το σφυρί, στο υποκείμενο της επαφής (μεταμαγματίτες), υπάρχει ανάστροφο ρήγμα, σημειωμένο με μπλε γραμμή. Το μωβ βέλος δείχνει μια διπλή πτυχή, με αξονικά επίπεδα παράλληλα στην επιφάνεια της επαφής. Η διεύθυνση της εμφάνισης είναι W-E. Μετρήθηκαν τα στοιχεία από χαρακτηριστικές επιφάνειες σχιστότητας, και ήταν 35/065 στο υπερκείμενο (ενότητα Παλούκι) και 43/120 στο υποκείμενο (μεταμαγματίτες). Η ακριβής θέση της εμφάνισης φαίνεται στην Εικ. 30.

Μια τυπική εμφάνιση μεταμορφωμένων πυριγενών πετρωμάτων φαίνεται στις δύο φωτογραφίες που παρατίθενται στην Εικόνα 20. Βρίσκεται στη νότια πλευρά του δρόμου, απέναντι από την είσοδο της Ι. Μ. Αγ. Ιωάννη Προδρόμου, στη θέση Κοτρωνάκι. Η εκσκαφή έγινε λίγες εβδομάδες πριν τη λήψη της φωτογραφίας (καλοκαίρι του 2015) από χωματοουργικό μηχάνημα και τα πετρώματα δεν είχαν ακόμη υποστεί διεργασίες αποσάθρωσης από τα επιφανειακά ύδατα, την ηλιακή ακτινοβολία και τον ατμοσφαιρικό αέρα. Σε κανένα άλλο σημείο, από όλες τις θέσεις που επισκεφθήκαμε, δεν συναντήσαμε τόσο καλά διατηρημένους μεταμαγματίτες. Στην ίδια εμφάνιση μεταμαγματιτών υπάρχει και ένα μικρό ρήγμα με στοιχεία επιφάνειας ρήγματος 80/115 και κύρια σχιστότητα στους μεταμαγματίτες με στοιχεία 15/330.

Στη συνέχεια, στην Εικόνα 21 υπάρχει φωτογραφία από μία τομή στη νότια πλευρά αγροτικού δρόμου, 100 m περίπου νοτιοδυτικά του ογκόλιθου Κοτρωνάκι. Κάτω από τις αλούβιες αποθέσεις διακρίνεται καταπονημένο μεταβασικό πέτρωμα που χαρακτηρίζεται από σχιστότητα. Τα στοιχεία μιας τυπικής επιφάνειας σχιστότητας στο πέτρωμα είναι 70/180.



Εικόνα 20. Τυπική εμφάνιση μεταμορφωμένων πυριγενών πετρωμάτων στη φρεσκοσκαμμένη νότια πλευρά του δρόμου, απέναντι από την είσοδο της Ι. Μ. Αγ. Ιωάννη Προδρόμου, στη θέση Κοτρωνάκι (αριστερά). Στην ίδια εμφάνιση μεταμαγματιτών υπάρχει και ένα μικρό ρήγμα με στοιχεία επιφάνειας ρήγματος 80/115 και κύρια σχιστότητα στους μεταμαγματίτες με στοιχεία 15/330 (δεξιά). Η ακριβής θέση της εμφάνισης φαίνεται στην Εικόνα 30.



Εικόνα 21. Τομή στη νότια πλευρά αγροτικού δρόμου, 100 m περίπου νοτιοδυτικά του ογκόλιθου Κοτρωνάκι. Κάτω από τις αλλούβιες αποθέσεις διακρίνεται καταπονημένο μεταβασικό πέτρωμα που χαρακτηρίζεται από σχιστότητα. Τα στοιχεία μιας τυπικής επιφάνειας σχιστότητας στο πέτρωμα είναι 70/180. Η ακριβής θέση της εμφάνισης φαίνεται στην Εικ. 30.

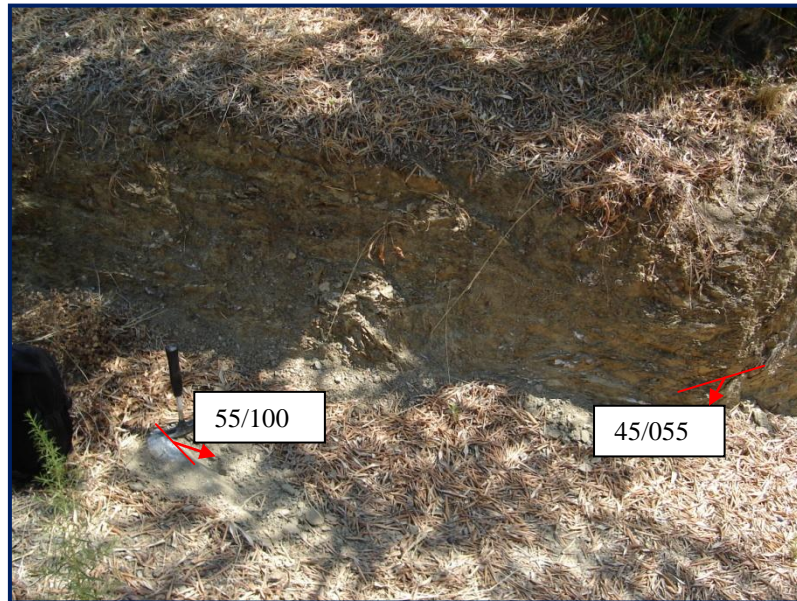
Ακολουθεί μια σειρά Εικόνων (από 22 έως 25) που μας δίνουν σημαντικές πληροφορίες για τις τεκτονικές δομές οι οποίες απαντώνται στον λόφο Κοτρωνάκι. Οι ακριβείς θέσεις των εμφανίσεων αυτών φαίνονται στην Εικ. 30.



Εικόνα 22. Ο λόφος Κοτρωνάκι από την νοτιοδυτική πλευρά του. Η κορυφή του ογκόλιθου διακρίνεται αριστερά από το κυπαρίσσι, στα ανατολικά. Στο κατώτερο όριο της θαμνώδους βλάστησης, στην κλιτύ, βρίσκεται η επαφή του ασβεστολιθικού όγκου με τα υποκείμενα αλλούβια, πάνω στα οποία πιθανόν να είναι επωθημένος με κατεύθυνση από NE προς SW. Στο όριο αυτό τα στοιχεία της επιφάνειας επαφής είχαν μέσες τιμές 45/048 (βλ. Εικόνα 23). Η διεύθυνση της φωτογραφίας είναι προσεγγιστικά NNW-SSE.



Εικόνα 23. Η επαφή του ογκόλιθου «Κοτρωνάκι» με τον υποκείμενο φλύσχη προς τη νοτιοδυτική πλευρά του. Στην αριστερή φωτογραφία η επιφάνεια επαφής έχει στοιχεία 50/045, ενώ στη δεξιά 40/050 (μέση τιμή 45/048). Στις κάτω επιφάνειες των ασβεστολίθων υπάρχουν ευδιάκριτες αύλακες (βλ. κόκκινο βέλος) οπότε είναι εύλογο να υποθέσουμε ότι αυτές αποτελούν ένα είδος γραμμών προστριβής που δημιουργήθηκαν στον ολισθόλιθο λόγω της επώθησής του πάνω σε υποκείμενα σκληρότερα πετρώματα. Με δεδομένο ότι σε πολύ κοντινή απόσταση (~ 100m) και σε ίδιο υψόμετρο με τον ασβεστολιθικό ογκόλιθο, προς τα βορειοανατολικά, έχει εντοπισθεί η επαφή της κατώτερης σειράς της Ενότητας Παλουκιού με υποκείμενα υπερβασικά πετρώματα του Ημελληνικού Καλύμματος, με κλίση προς SW, μπορούμε να υποθέσουμε ότι τα σκληρά πετρώματα πάνω στα οποία επωθήθηκε ο ολισθόλιθος «Κοτρωνάκι» ήταν αυτά τα υποκείμενα μεταβασικά πετρώματα.



Εικόνα 24. Εμφάνιση πτυχωμένου/μεταμορφωμένου φλύσχη στην δυτική κλιτύ του λόφου «Κοτρωνάκι». Τα στοιχεία σχιστότητας του φλύσχη είναι 45/055 (περίπου ίσα με τα αντίστοιχα στοιχεία της επαφής του ασβεστολιθικού ογκόλιθου με τον υποκείμενο φλύσχη). Μετρήθηκαν επίσης τα στοιχεία της επιφάνειας στον ασβεστόλιθο που είναι ενδιαστρωμένος στον φλύσχη, και είναι 55/100.



Εικόνα 25. Η επιφάνεια του ογκόλιθου Κοτρωνάκι από την ανατολική πλευρά του. Μετρήθηκαν σε δύο σημεία της τα στοιχεία επιφάνειας και βρέθηκε μέση τιμή 61/089.

Ακολουθεί μια σειρά Εικόνων (από 26 έως 29) που μας δίνουν πληροφορίες για τις τεκτονικές δομές οι οποίες απαντώνται σε εμφανίσεις που βρίσκονται στη βορειοανατολική πλευρά του αγροτικού δρόμου που οδηγεί από τη θέση Κοτρωνάκι στη θέση Αγία Μαρίνα, ο οποίος συμπίπτει με την κοίτη του τοπικού χειμάρρου. Η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι αποτελεί τη μια από τις τρεις περιοχές στο νησί της Σκοπέλου, όπου η τεκτονική επαφή μεταξύ της επωθούμενης Κατώτερης Σειράς της ενότητας του Παλουκιού και της υποκείμενης ενότητας της Γλώσσας (ράκη του Ηωελληνικού Καλύμματος) είναι ορατή, γιατί

στο μεγαλύτερο μέρος της καλύπτεται από αλλούβιες αποθέσεις ή κορήματα. Οι ακριβείς θέσεις των εμφανίσεων αυτών φαίνονται στην Εικ. 30.



Εικόνα 26. Σχιστοποιημένοι μεταβασίτες στην περιοχή των ρακών του Ηωελληνικού καλύμματος, στο δρόμο της ρεματιάς. Μετρήθηκαν σε δύο σημεία τα στοιχεία επιφανειών σχιστότητας και βρέθηκε μέση τιμή 40/048.



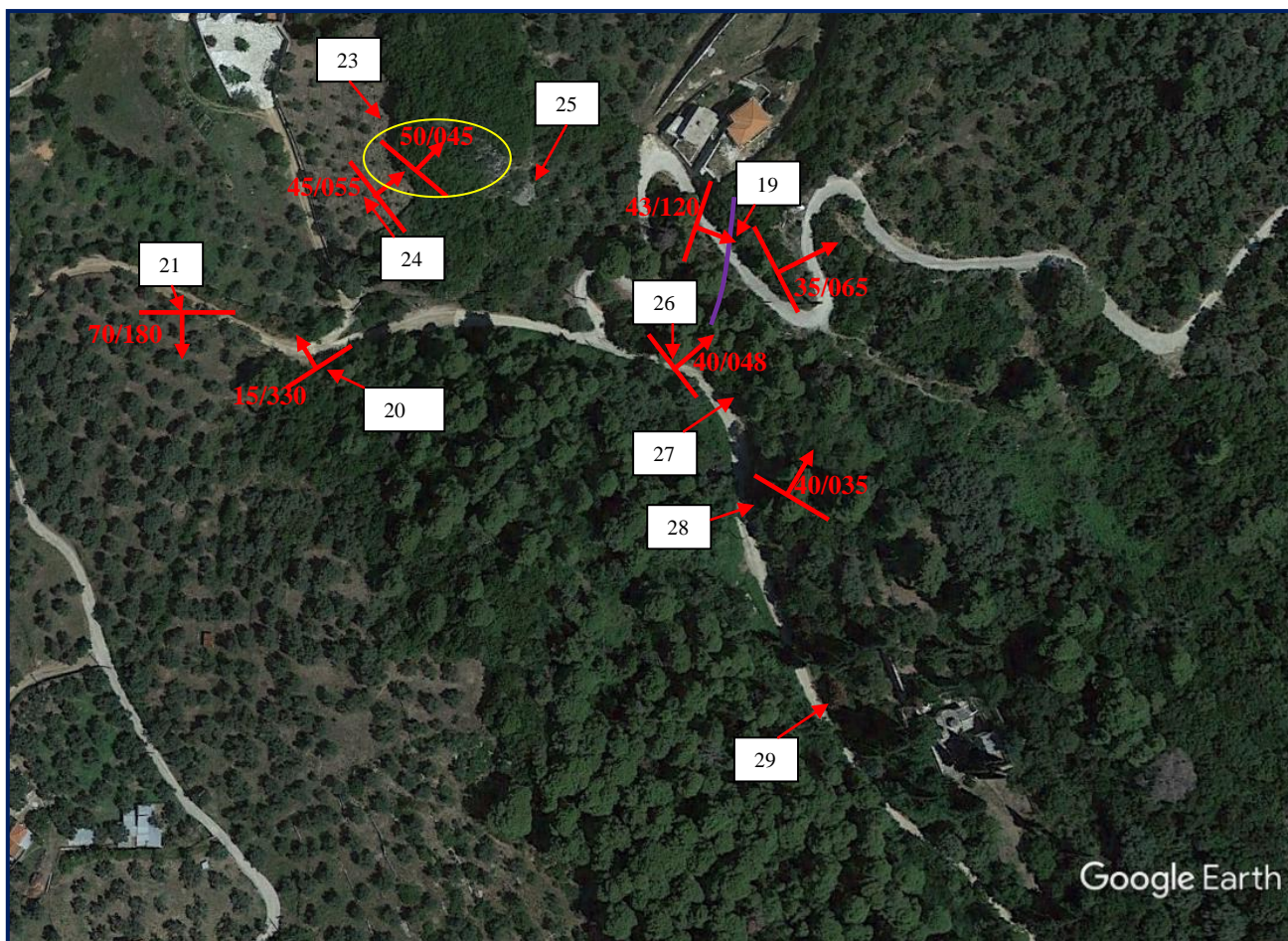
Εικόνα 27. Ανάστροφο ρήγμα στην περιοχή των μεταβασιτών. Τα στοιχεία της επιφάνειας του ρήγματος είναι 40/065.



Εικόνα 28. Χαρακτηριστικές επιφάνειες επαφής μεταξύ συμπαγών στρωμάτων στην περιοχή των μεταβασιτών. Μετρήθηκαν τα στοιχεία μιας τέτοιας επιφάνειας και είναι 40/035.



Εικόνα 29. Εμφάνιση φακού εξαλλοιωμένων υπερβασιτών στην περιοχή των ρακών του Ηωελληνικού καλύμματος.



Εικόνα 30. Η περιοχή γύρω από τον ογκόλιθο Κοτρωνάκι και στο δρόμο της ρεματιάς που οδηγεί στην Αγία Μαρίνα, όπως φαίνεται στο Google Earth. Οι αριθμοί στα λευκά ορθογώνια αντιστοιχούν στις προηγούμενες Εικόνες, όπου βρίσκονται φωτογραφίες εμφανίσεων στα σημεία που δείχνουν τα βέλη. Τοποθετήθηκαν επίσης τα στοιχεία των επιφανειών σχιστότητας, στρωμάτωσης και κυρίων διακλάσεων που υπάρχουν στις αντίστοιχες Εικόνες (κόκκινο χρώμα), καθώς και η επιφάνεια επαφής ανάμεσα στην Κατώτερη Σειρά της ενότητας του Παλουκιού με τους μεταμαγματίτες (ράχη του Ηωελληνικού καλύμματος) (μωβ γραμμή). Με την κίτρινη έλλειψη περιγράφονται τα στοιχεία της επιφάνειας επαφής του ογκόλιθου «Κοτρωνάκι» με τον υποκείμενο φλύσχη προς τη νοτιοδυτική πλευρά του. Παρατηρούμε ότι αν από τα παραπάνω στοιχεία επιφανειών εξαιρεθούν εκείνα των Εικόνων 20 και 21 (αρκετά δυτικότερα από την επαφή μεταξύ των δύο ενότητων), τα υπόλοιπα 6 έχουν μέση τιμή: 35/045 (προσεγγιστικά).

Κατά τον Ματαράγκα η Κατώτερη Σειρά Παλουκιού αποτέθηκε σύμφωνα πάνω σε ράχη του Ηωελληνικού καλύμματος. Η εικόνα όμως που παρουσιάζουν τα πετρώματα στις εμφανίσεις που περιγράψαμε προηγουμένως διαφέρει πολύ από εκείνη μιας κανονικής επαφής. Οι έντονες πτυχώσεις και τα ρήγματα μας κάνουν να υποθέσουμε πως έχει συμβεί επώθηση των στρωμάτων της Κατώτερης Σειράς του Παλουκιού πάνω στα ράχη του Ηωελληνικού καλύμματος ή/και τη Μεσοαυτόχρονη ενότητα. Αυτή η υπόθεση συμφωνεί απόλυτα με το μοντέλο των Porkoláb *et al.* ^[10] για την τεκτονική εξέλιξη της Σκοπέλου (βλ. Εικ. 16).

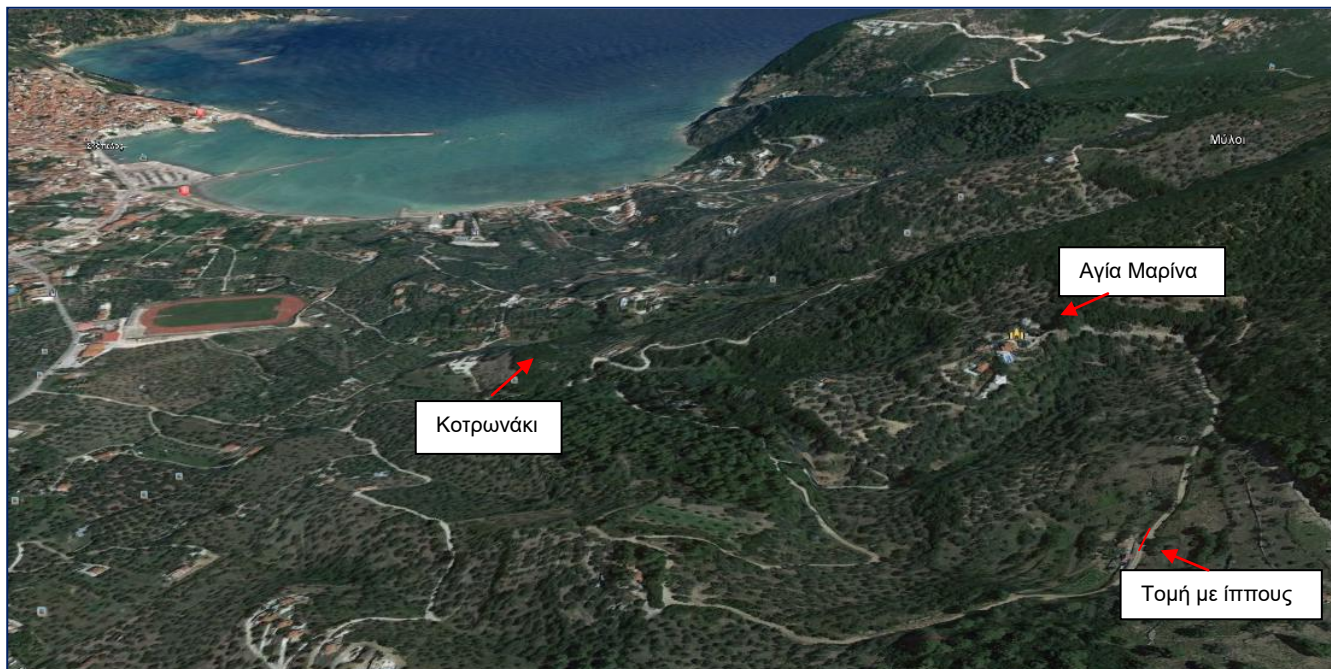
Στην Εικ. 31 που ακολουθεί παρατίθεται μια φωτογραφία τομής στη νοτιοανατολική πλευρά του χωματόδρομου που οδηγεί από το Κοτρωνάκι στην Αγία Μαρίνα, η οποία δημιουργήθηκε από χωματοουργικό μηχάνημα σε σχετικά σύντομο χρόνο πριν τη λήψη της φωτογραφίας και βρίσκεται μέσα στην Κατώτερη Σειρά της ενότητας του Παλουκιού. Η ακριβής θέση της εμφάνισης φαίνεται στην Εικ. 32. Η διεύθυνση της τομής είναι 035-215 (NNE-SSW). Στον έντονα σχιστοποιημένο φλύσχη διακρίνονται ίπποι ύψους 15 cm περίπου (μεταξύ των μπλε γραμμών), οι οποίοι μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως κινηματικοί δείκτες.

Συμπεραίνουμε έτσι ότι η προχώρα βρίσκεται προς SSW, δηλαδή τα ανώτερα στρώματα κινούνται ως προς τα κατώτερα με κατεύθυνση προς SSW.



Εικόνα 31. Τομή στη νοτιοανατολική πλευρά του χωματόδρομου που οδηγεί στην Αγία Μαρίνα, στην Κατώτερη Σειρά της ενότητας Παλούκι. Η διεύθυνση της τομής είναι 035-215 (NNE-SSW), βλ. επόμενη Εικόνα 32.

Παρατίθεται στη συνέχεια, στην Εικόνα 32, μια φωτογραφία της περιοχής ανατολικά της πόλης της Σκοπέλου, όπου φαίνονται οι θέσεις Κοτρωνάκι, Αγία Μαρίνα και το σημείο εμφάνισης της τομής με ίππους.



Εικόνα 32. Η περιοχή στα ανατολικά της πόλης της Σκοπέλου, όπως φαίνεται στο Google Earth (διεύθυνση φωτογραφίας NNE-SSW). Σημειώνονται οι θέσεις της περιοχής Κοτρωνάκι, της Αγίας Μαρίνας και της τομής στην πλευρά του χωματόδρομου όπου παρατηρούνται ίπποι, της Εικόνας 31.

Σε οδική απόσταση 1,5 χιλιομέτρου περίπου από το Κοτρωνάκι, προς τα βορειοανατολικά, είναι κτισμένο το εξωκλήσι της Αγίας Μαρίνας. Κοντά σ' αυτό εκφορτίζει μια

πηγή πόσιμου νερού, διασκευασμένη σε βρύση, της οποίας η παροχή είναι σχετικά μεγάλη ακόμη και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (περίπου 5 L/min στα τέλη Ιουλίου με αρχές Αυγούστου).



Εικόνα 33. Ζώνη λεπτοστρωματωμένων ασβεστολίθων και σχιστολίθων πάχους 6-8 m περίπου, στην Αγία Μαρίνα. Διεύθυνση εμφάνισης W-E. Διακρίνεται μία κατακεκλιμένη πτυχή κάτω-αριστερά και ένα ανάστροφο ρήγμα, με άλμα 0,5 m περίπου, άνω-δεξιά.



Εικόνα 34. Λεπτομέρεια από την εμφάνιση ζώνης λεπτοστρωματωδών ασβεστολίθων και σχιστολίθων στην Αγία Μαρίνα, της Εικόνας 33. Διακρίνεται άνω-αριστερά σύστημα τριών κατακεκλιμένων πτυχών, με τα επίπεδά τους σχεδόν οριζόντια.

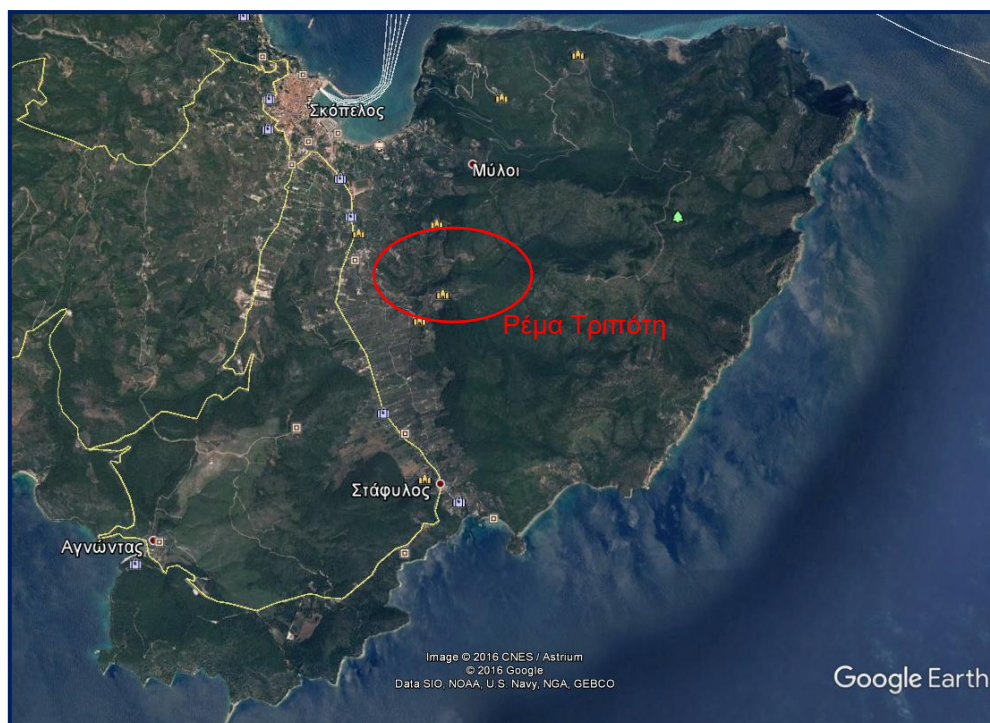


Εικόνα 35. Εμφάνιση πετρωμάτων της Κατώτερης Σειράς Παλουκιού στη βόρεια πλευρά του δρόμου, περίπου 30 m ανατολικά της θέσης όπου εντοπίστηκε η επώθηση της Κατώτερης Σειράς Παλουκιού πάνω στα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος. Πάνω από το κέντρο φαίνεται το κορυφαίο μιας μεγάλης κατακεκλιμένης πτυχής με σχεδόν οριζόντιο επίπεδο, ένδειξη των έντονων τάσεων που ασκήθηκαν κατά το παρελθόν στα πετρώματα της περιοχής.

Στη διάρκεια των επισκέψεών μας στην περιοχή της Αγίας Μαρίνας έγιναν παρατηρήσεις, φωτογραφήσεις και ελήφθησαν δείγματα πετρωμάτων κατά μήκος της διαδρομής από το εξωκλήσι της Αγίας Μαρίνας, που βρίσκεται σε υψόμετρο 300 m περίπου στη δυτική πλαγιά του όρους Καφάσι, μέσα στην Κατώτερη Σειρά πετρωμάτων της ενότητας του Παλουκιού, μέχρι την εμφάνιση μεταμαγματιτών απέναντι από την είσοδο της Ι. Μ. Αγίου Ιωάννη Προδρόμου (Κοτρωνάκι), που βρίσκεται στη θέση Κοτρωνάκι, σε υψόμετρο περίπου 80 m. Η διαδρομή αρχικά ήταν σε κατηφορικό μονοπάτι μέσα στο δάσος, για 300 m περίπου, και στη συνέχεια για άλλα 500 m σε ιδιωτικό δρόμο που οδηγεί προς την πόλη της Σκοπέλου. Οι εμφανίσεις πετρωμάτων από την Αγία Μαρίνα μέχρι ένα σημείο του δρόμου περίπου 100 m ανατολικά του ασβεστολιθικού ογκόλιθου στη θέση Κοτρωνάκι, όπου εμφανίζεται η επαφή της Κατώτερης Σειράς με τα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος, ήταν εναλλαγές άστρωτων και λεπτοστρωματωμένων ασβεστολίθων, πάχους μεταξύ 1 και 8 m, αργιλικών σχιστολίθων (φυλλιτών) μικρού μεταμορφικού βαθμού και μέτριου βαθμού παραμόρφωσης και μεταψαμμιτών (βλ. Εικόνες 33-35). Η επικρατούσα διεύθυνση των επιφανειών στρώσης και των επιπέδων των πτυχών στα διάφορα πετρώματα, όπου ήταν δυνατή η μέτρησή της, ήταν NNW-SSE, ενώ οι κλίσεις τους κυμαίνονταν από 20 έως 85 μοίρες περίπου, κυρίως προς τα ENE. Η εικόνα αυτή συμφωνεί με την περιγραφή της Κατώτερης Σειράς στην ενότητα Παλούκι από τον Δ. Ματαράγκα, που αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 1. Επίσης, η παραμόρφωση και η παραμόρφωση των πετρωμάτων είναι πολύ μικρότερου βαθμού από των αντίστοιχων πετρωμάτων στις παραλίες Στάφυλος και Βελανιό, όπως θα διαπιστώσουμε στο οικείο Κεφάλαιο 3.4.

3.2. ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΡΕΜΑ ΤΡΙΠΟΤΗ

Η περιοχή του ρέματος Τριπότη βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του όρους Παλούκι, προς τα δυτικά του (βλ. Εικ. 36). Το �έμα αυτό διατρέχει την απότομη πλαγιά του βουνού και καταλήγει στη μικρή πεδιάδα μεταφέροντας μεγάλες ποσότητες φερτών υλικών, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται αλλούβιες αποθέσεις σε μεγάλη έκταση μπροστά από την έξοδο του ρέματος από τον ορεινό όγκο προς την πεδιάδα.



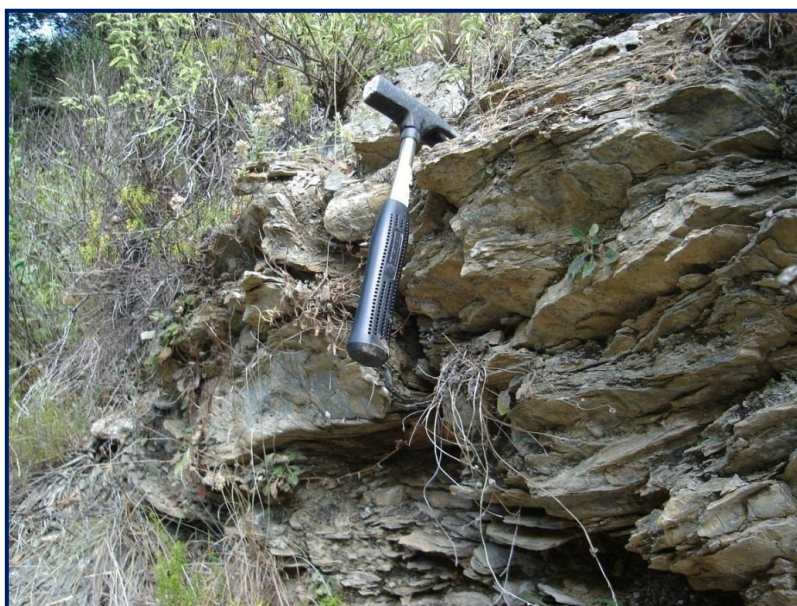
Εικόνα 36. Η περιοχή του Ρέματος Τριπότη, στο πλαίσιο μιας γενικότερης εικόνας της νοτιοανατολικής Σκοπέλου.

Επισκεφθήκαμε αυτήν την περιοχή δύο καλοκαίρια, το 2015 και το 2016. Ανάμεσα στις δύο επισκέψεις συνέβησαν οι καταστροφικές πλημμύρες του φθινοπώρου του 2015, οι οποίες μεταξύ των άλλων είχαν ως αποτέλεσμα την υπερχείλιση του συγκεκριμένου χειμάρρου και την έντονη διάβρωση στις όχθες του. Στην Εικόνα 37 φαίνεται η περιοχή της ρεματιάς πριν και μετά τις πλημμύρες.



Εικόνα 37. Η περιοχή του Ρέματος Τριπότη πριν (Αύγουστος 2015) και μετά (Αύγουστος 2016) τις καταστροφικές πλημμύρες του φθινοπώρου του 2015.

Στην περιοχή του ρέματος Τριπότη υπάρχει εμφάνιση μεταμαγματικών πετρωμάτων. Έγινε φωτογράφιση εμφανίσεων πετρωμάτων και δειγματοληψία, κατά μήκος μιας διαδρομής 1000 m περίπου με κατεύθυνση από ανατολικά προς δυτικά, από το φαράγγι που βρίσκεται μέσα στην Κατώτερη Σειρά Παλουκιού μέχρι τα ανατολικά όρια της πεδιάδας του Στάφυλου, όπου κυριαρχούν οι αλλούβιες αποθέσεις. Διαπιστώσαμε πως στη θέση αυτή υπάρχουν εμφανίσεις των χαρακτηριστικών πετρωμάτων της Κατώτερης Σειράς, τα οποία χαρακτηρίζονται από χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση και έντονη παραμόρφωση (βλ. Εικ. 38). Ο βαθμός παραμόρφωσης των πετρωμάτων της περιοχής αυτής εκτιμήθηκε ως ενδιάμεσος μεταξύ των βαθμών παραμόρφωσης στα αντίστοιχα πετρώματα της περιοχής Αγία Μαρίνα – Κοτρωνάκι και της περιοχής Στάφυλου – Βελανιού, με τον μέγιστο βαθμό παραμόρφωσης να απαντάται στην τελευταία.



Εικόνα 38. Εμφάνιση πετρωμάτων της Κατώτερης Σειράς Παλουκιού στην περιοχή του ρέματος Τριπότη. Ο μεταμορφικός τους βαθμός είναι χαμηλός, η παραμόρφωσή τους όμως έντονη.

Δεν παρατηρήθηκε σε κανένα σημείο της διαδρομής μας εμφάνιση σερπεντινιτών ή μεταβασαλιτών που να υποδεικνύει πως βρισκόμαστε στη σειρά με τα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος, την οποία έχει καταγράψει ο Ματαράγκας στην περιοχή αυτή, σαν μια πολύ στενή ζώνη ανάμεσα στην Κατώτερη Σειρά Παλουκιού και τα κορήματα της πεδιάδας. Το μόνο ίχνος αυτής της σειράς είναι κάποια μαυριδερά πετρώματα σε χαντάκια μέσα στο χωματόδρομο, πιθανόν μεταμορφωμένα πυριγενή θαμμένα κάτω από τα κορήματα του δρόμου και των γύρω χωραφιών (βλ. Εικ. 39). Μπορούμε να υποθέσουμε πως μέσα στις τρεις δεκαετίες που πέρασαν από τη χαρτογράφηση που έκανε ο Ματαράγκας στην περιοχή, η εμφάνιση της στενής ζώνης των μεταμαγματικών που παρατήρησε τότε καλύφθηκε από τις αλλούβιες αποθέσεις της πεδινής περιοχής, οι οποίες εντωμεταξύ αυξήθηκαν λόγω της συνεχούς αποσάθρωσης και διάβρωσης της Κατώτερης Σειράς που βρίσκεται σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Εξ άλλου, μέσα σε μια μόνο ετήσια περίοδο διάβρωσης, μεταξύ των καλοκαιριών του 2015 και του 2016, η εικόνα του τοπίου που παρατηρήσαμε στην περιοχή αυτή ήταν δραματικά διαφορετική, με τεράστιες ποσότητες εδάφους να έχουν απομακρυνθεί από την προηγούμενη θέση τους και να έχουν μεταφερθεί προς την πεδιάδα.



Εικόνα 39. Μικρή εμφάνιση μεταμαγματικών πετρωμάτων (βέλος) κάτω από τα κορήματα του χωματόδρομου, στην πεδινή έκταση μπροστά από το ρέμα Τριπότη. Η φωτογράφιση έγινε τον Αύγουστο του 2015.

Παραθέτουμε στη συνέχεια μια σειρά Εικόνων (40-46) με φωτογραφίες εμφανίσεων πετρωμάτων στο Ρέμα Τριπότη, που ελήφθησαν τα καλοκαίρια του 2015 και του 2016. Σε κάποιες από αυτές μετρήθηκαν και στοιχεία πτυχών, επιφανειών φύλλωσης και ρηγμάτων, που καταχωρούνται στις αντίστοιχες λεζάντες.



Εικόνα 40. Η είσοδος στο Ρέμα Τριπότη από την πεδιάδα. Φωτογράφιση του 2016. Λόγω της κατακλυσμιαίας βροχόπτωσης του Σεπτεμβρίου 2015 έχουν διαβρωθεί σε έντονο βαθμό οι πλευρές του αγροτικού δρόμου που υπήρχε εδώ παλαιότερα και συνέπιπτε με την κοίτη του χειμάρρου. Οι εμφανίσεις υπερβασιτών που φωτογραφήσαμε τον Αύγουστο του 2015 στα χαμηλότερα σημεία του τότε δρόμου έχουν τώρα καλυφθεί με μπάζα ή χαλίκι οδοποιίας. Η διεύθυνση της φωτογραφίας είναι προσεγγιστικά NE-SW.



Εικόνα 41. Στην όχθη του διανοιγμένου ρέματος υπάρχει βράχος διαστάσεων 1 m x 1.20 m x 0.50 m, στον οποίο διακρίνεται έντονη φύλλωση. Το γκρι-μαύρο χρώμα του υποδεικνύει οργανική ύλη ή υπερβασικό πρωτόλιθο που υπέστη έντονη μεταμόρφωση και παραμόρφωση. Οι λευκές φλέβες τέμνουν κάθετα τις επιφάνειες φύλλωσης και πληρούνται με ασβεστίτη. Το φυλλωμένο υλικό του είναι εύθρυπτο, ενώ μοιάζει με το υλικό πετρωμάτων που απαντώνται στο Βελανιό. Φωτογράφιση του 2016.



Εικόνα 42. Στο βάθος του ρέματος στην Εικόνα 40, στη νοτιοδυτική όχθη, υπάρχει εκτεταμένη (μήκος ~ 30 m) εμφάνιση *in situ* πετρωμάτων με έντονη παραμόρφωση που χαρακτηρίζεται από φύλλωση, πτύχωση, διακλάσεις και ρήγματα. Η φωτογραφία δείχνει ένα μικρό τμήμα αυτής της εμφάνισης. Μετρήθηκαν τα στοιχεία μιας χαρακτηριστικής επιφάνειας στρωμάτωσης (βλ. επιφάνεια στην οποία στηρίζεται το στυλό) και είναι: 25/198. Φωτογράφιση του 2016.



Εικόνα 43. Διπλή πτυχή (z-fold) στην ίδια εμφάνιση με την Εικόνα 42. Το κοινό σκέλος των δύο πτυχών έχει μήκος ~ 15 cm. Στοιχεία αξονικού επιπέδου κάθε πτυχής: 45/180. Στοιχεία άξονα κάθε πτυχής: 06/125. Στην εμφάνιση αυτή, με βάση και τα δεδομένα της προηγούμενης Εικόνας 42, προκύπτει ότι οι δύο επιφάνειες τεκτονικού ενδιαφέροντος που μελετήσαμε έχουν μέση τιμή στοιχείων 35/189.



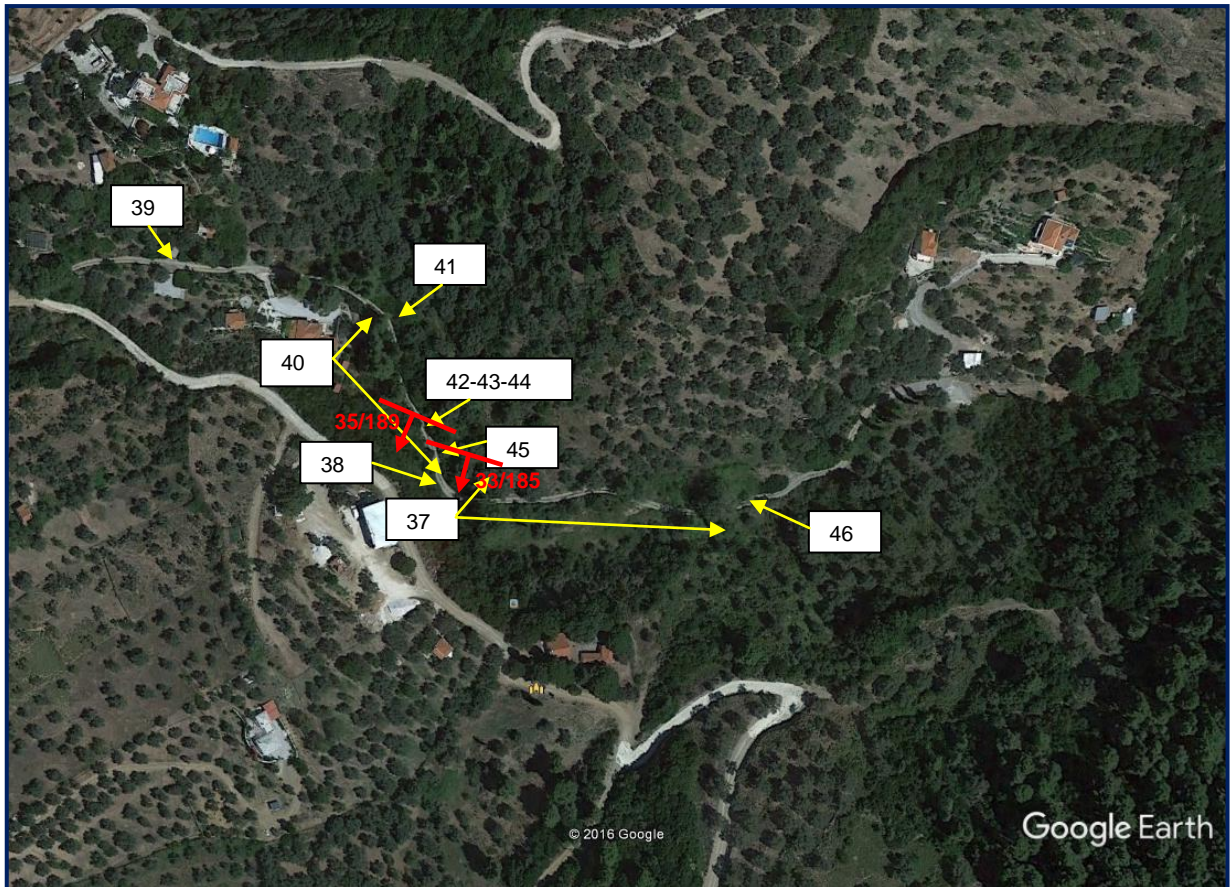
Εικόνα 44. Ρήγμα στην ίδια εμφάνιση με τις Εικόνες 42 και 43. Στοιχεία επιπέδου ρήγματος: 57/210.



Εικόνα 45. Το ανατολικό τμήμα της εμφάνισης των προηγούμενων εικόνων. Στο κέντρο και χαμηλά, δεξιά της υδρορροής, υπάρχει ανοιχτόχρωμο συνεκτικό στρώμα με πυριτικούς κονδύλους, ενώ κάτω από αυτό έντονα φυλλωμένο πέτρωμα σκούρο γκρι. Μεταξύ τους υπάρχει επιφάνεια επαφής με στοιχεία: 33/185.



Εικόνα 46. Η έντονη διάβρωση που προκλήθηκε από την νεροποντή του φθινοπώρου του 2015 στο ρέμα του Τριπότη (πάνω φωτογραφία) απεκάλυψε εντυπωσιακά μεταβασικά πετρώματα, όπως αυτό που φαίνεται στις κάτω φωτογραφίες, το οποίο βρίσκεται in situ ανάμεσα σε χειμάρριες αποθέσεις. Η εξωτερική υφή του ήταν σχεδόν μεταλλική και η συνεκτικότητά του τέτοια, ώστε στάθηκε αδύνατο να αποσπάρουμε από αυτό δείγμα με το γεωλογικό σφυρί. Παρόμοιο πέτρωμα έχει φωτογραφηθεί και στη θέση Βελανιό, επί του αιγιαλού. Φωτογράφιση του 2016.



Εικόνα 47. Η περιοχή όπου έγιναν παρατηρήσεις στο Ρέμα Τριπότη, όπως φαίνεται στο Google Earth. Οι αριθμοί αντιστοιχούν στις προηγούμενες Εικόνες, όπου βρίσκονται φωτογραφίες εμφανίσεων στα σημεία που δείχνουν τα βέλη. Τα στοιχεία των επιφανειών τεκτονικού ενδιαφέροντος που αναγράφονται εδώ προέρχονται από τα δεδομένα των Εικόνων 43 και 45. Η μέση τιμή των στοιχείων αυτών είναι 34/187.

3.3. ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ Ι.Μ. ΠΡΟΦΗΤΗ ΗΛΙΑ

Η περιοχή της Ι.Μ. Προφήτη Ηλία βρίσκεται στην κορυφή του πρώτου λόφου που συναντάμε προς τα δυτικά, όταν προχωρούμε επί της επαρχιακής οδού από την πολίχνη της Σκοπέλου προς τον Στάφυλο, περίπου 2 km προς τα νότια του νησιού (βλ. Εικ. 48).

Στον χωματόδρομο που βρίσκεται στα βόρεια του μοναστηριού, σε απόσταση περίπου 20 m από αυτό, υπάρχει ευκρινής εμφάνιση της επαφής ανάμεσα στον φλύσχη (υπερκείμενο) και τους ασβεστόλιθους του Α. Κρητιδικού της Πελαγονικής ενότητας (βλ. Εικ. 49). Η επιφάνεια της επαφής στη θέση αυτή έχει διεύθυνση WNW-ESE και κλίση 30 μοίρες προς ENE (μετρήθηκαν στοιχεία 30/050), ενώ πρόκειται για κανονική επαφή (στρωματογραφική), αν και τα πετρώματα έχουν προφανώς παραμορφωθεί και υποστεί σχετική μετατόπιση από την εποχή της αρχικής τους απόθεσης. Παρατηρούμε ότι η εμφάνιση του φλύσχη στην περιοχή αυτή, που κυριαρχείται από κοκκινωπά και γκριζόμαυρα λεπτοστρωματωμένα πετρώματα αρκετά παραμορφωμένα αλλά μάλλον χωρίς μεταμόρφωση, δεν έχει καμιά ομοιότητα με τα πετρώματα στην περιοχή του αυχένα στο ακρωτήριο Στάφυλος τα οποία ο Ματαράγκας έχει ταυτίσει με τον φλύσχη της πελαγονικής ενότητας (βλ. Κεφάλαια 3.4 και 3.5).

Από τη θέση αυτή μας δόθηκε επίσης η δυνατότητα να φωτογραφήσουμε την περιοχή του νταμαριού αδρανών υλικών που βρίσκεται βόρεια της Ι.Μ. Αγ. Ρηγίνου, μέσα στους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους της Πελαγονικής ενότητας (Εικ. 50). Διακρίνονται οι χαρακτηριστικές κοκκινωπές ενδιστρώσεις ανάμεσα στα ασβεστολιθικά στρώματα, λόγω

του αργιλικού υλικού που προσφέρονταν περιοδικά από την γύρω ξηρά στη ρηχή θαλάσσια λεκάνη ή τη λιμνοθάλασσα, όπου γίνονταν η απόθεση των ανθρακικών ιζημάτων.



Εικόνα 48. Η περιοχή του λόφου της Ι.Μ. Προφήτη Ηλία, στο πλαίσιο μιας γενικότερης εικόνας της νοτιοανατολικής Σκοπέλου.

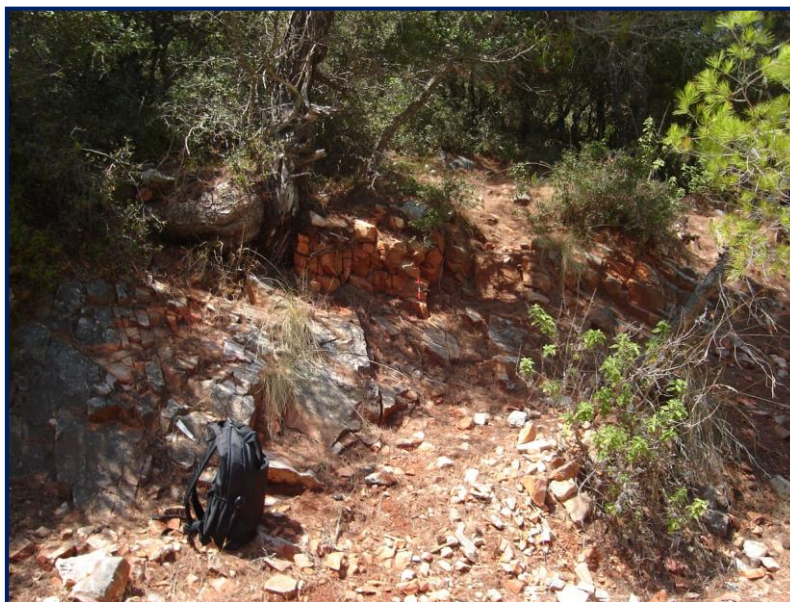


Εικόνα 49. Η επαφή του φλύσχη με τους Ανκρητιδικούς ασβεστόλιθους, πίσω από τον ναΐσκο του Προφήτη Ηλία, προς Βορρά. Ο φλύσχος (πάνω αριστερά) επωθείται στους ασβεστόλιθους (κάτω δεξιά). Έγιναν δύο μετρήσεις στοιχείων της επιφάνειας επαφής, που έδωσαν μέση τιμή 30/050. Διεύθυνση φωτογραφίας E-W.



Εικόνα 50. Το ναμάρι στην περιοχή του Αγ. Ρηγίνου, μέσα στους ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους, όπως φαίνεται από τον λόφο του Προφήτη Ηλία. Διεύθυνση φωτογραφίας N-E.

Σε απόσταση περίπου 400 m νότια του ναΐσκου του Προφ. Ηλία, στη δυτική πλευρά του αγροτικού δρόμου, υπάρχουν εμφανίσεις μεσοπλακωδών Ανωκρητιδικών ασβεστολίθων οι οποίοι έχουν υποστεί σε σημαντικό βαθμό τεκτονικές παραμορφώσεις, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται σε αυτούς πτυχές και διακλάσεις. Στις Εικόνες 51 και 52 που ακολουθούν παρατίθενται φωτογραφίες από αυτές τις εμφανίσεις και τα στοιχεία των τεκτονικών δομών που μετρήθηκαν.



Εικόνα 51. Γωνιώδης (ΟΡΘΗ) κατακόρυφη πτυχή, περίπου 400 m νότια του ναΐσκου του Προφ. Ηλία, στη δυτική πλευρά του αγροτικού δρόμου. Τα σκέλη της πτυχής αποτελούνται από μεσοπλακώδεις ασβεστολίθους. Στο βόρειο σκέλος της πτυχής υπάρχουν διακλάσεις με δύο κύρια επίπεδα που έχουν στοιχεία: 30/030 και 70/295. Στο νότιο σκέλος της πτυχής υπάρχουν διακλάσεις με δύο κύρια επίπεδα που έχουν στοιχεία: 60/080 και 85/340. Το αξονικό επίπεδο είναι προσεγγιστικά κατακόρυφο, με στοιχεία: 85/030. Για τον άξονα της πτυχής μετρήσαμε στοιχεία: 85/010. Η διασκελική γωνία είναι περίπου 45°.



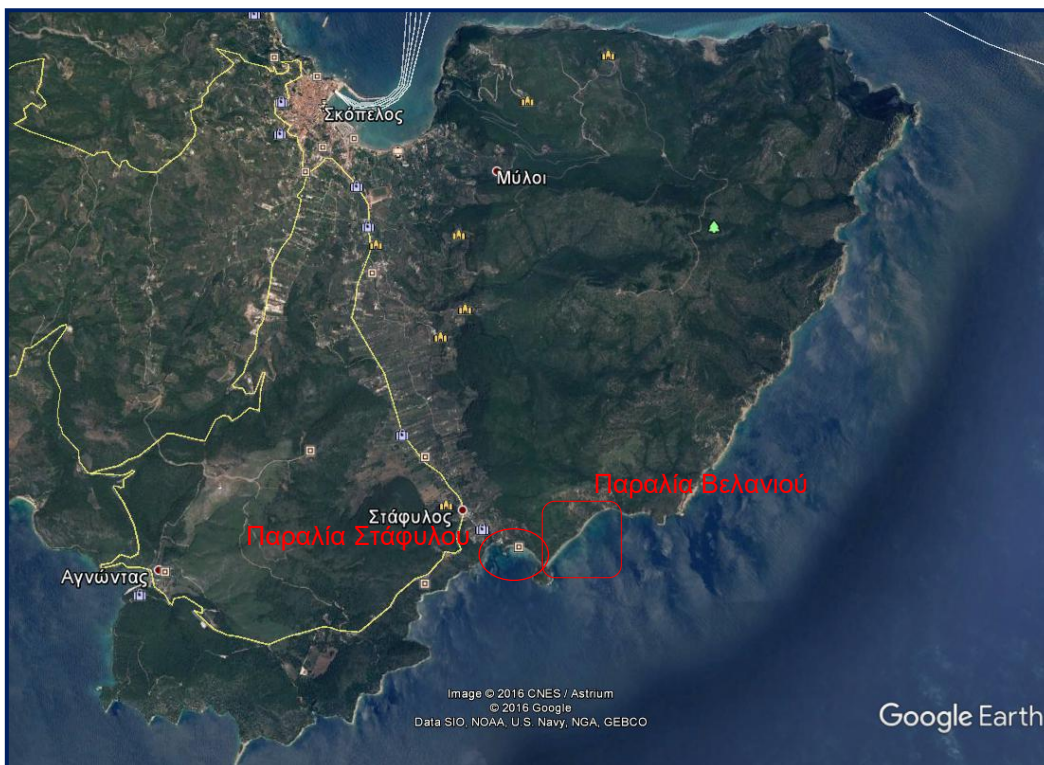
Εικόνα 52. Χαρακτηριστικές επιφάνειες κυρίων διακλάσεων στην εμφάνιση των Ανωκρητιδικών ασβεστολίθων, 10 m Νότια της Εικ. 51. Μετρήσεις των στοιχείων σε 3 τέτοιες επιφάνειες έδωσαν ως μέση τιμή: 30/030.



Εικόνα 53. Η περιοχή του λόφου του Προφήτη Ηλία, όπως φαίνεται στο Google Earth (δ/ση φωτ. W-E). Οι αριθμοί αντιστοιχούν στις προηγούμενες Εικόνες, όπου βρίσκονται φωτογραφίες εμφανίσεων στα σημεία που δείχνουν τα βέλη. Σημειώνονται επίσης τα στοιχεία της επιφάνειας επαφής της Εικόνας 49 και του αξονικού επιπέδου της πτυχής της Εικόνας 51. Η μέση τιμή των στοιχείων αυτών είναι 57/040.

3.4. ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΛΙΕΣ ΣΤΑΦΥΛΟΥ - ΒΕΛΑΝΙΟΥ

Οι παραλίες του Στάφυλου και του Βελανιού είναι οι ανατολικότερες προσβάσιμες από την ξηρά παραλίες της νότιας ακτογραμμής του νησιού της Σκοπέλου (βλ. Εικ. 54). Ανάμεσά τους υπάρχει το ακρωτήριο του Στάφυλου. Επειδή στην περιοχή αυτή συναντώνται πολλές και εντυπωσιακές εμφανίσεις πετρωμάτων του φλύσχη και των Ανωκρητιδικών ασβεστολίθων της Πελαγονικής ενότητας, των ρακών του Ηωελληνικού καλύμματος και της Κατώτερης Σειράς της ενότητας του Παλουκιού, καθώς και τεκτονικές επαφές μεταξύ τους, θα αφιερώσουμε ένα σχετικά εκτεταμένο μέρος της εργασίας μας στα δεδομένα που συγκεντρώσαμε από τις επισκέψεις στην περιοχή αυτή τα καλοκαίρια των ετών 2015 και 2016.



Εικόνα 54. Οι παραλίες του Στάφυλου και του Βελανιού, στο πλαίσιο μιας γενικότερης εικόνας της νοτιοανατολικής Σκοπέλου.

Στη διαδρομή κατά μήκος του αυτοκινητόδρομου ανάμεσα στην πόλη της Σκοπέλου (βόρεια) και τον Στάφυλο (νότια), που απέχουν περίπου 4 km, διακρίνονται δεξιά και αριστερά του δρόμου μόνο αλλούβιες αποθέσεις ή κορήματα. Στο βάθος ανατολικά διακρίνονται ανάμεσα σε πυκνή βλάστηση εμφανίσεις πετρωμάτων της Κατώτερης Σειράς της ενότητας του Παλουκιού, ενώ δυτικά διακρίνονται διαδοχικά ο φλύσχη, οι Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες της Πελαγονικής ενότητας, ανάμεσα σε κατοικημένες περιοχές, κτήματα και πευκόδασος. Η επαφή μεταξύ των δύο ενοτήτων δεν είναι ορατή σε κανένα σημείο της πεδιάδας του Στάφυλου, την οποία διατρέχει ο αυτοκινητόδρομος, καλυπτόμενη προφανώς από τις αλλούβιες αποθέσεις και τα κορήματα. Για πρώτη φορά τη συναντάμε όταν εισερχόμαστε στην παραλία του Στάφυλου από το βορειοδυτικό άκρο της, 30 m περίπου δυτικά από τα σκαλάκια της εισόδου (βλ. Εικ. 55).



Εικόνα 55. Η επαφή μεταξύ της υποκείμενης Πελαγονικής ενότητας, εκπροσωπούμενης από Ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους και υπολείμματα φλύσχη (κάτω αριστερά) και της υπερκείμενης ενότητας του Παλουκιού, που εδώ αποτελείται κυρίως από παραμορφωμένους φυλλίτες και μεταμαγματίτες (άνω δεξιά), στο βορειοδυτικό άκρο της παραλίας του Στάφυλου, πλησίον της εισόδου. Η διεύθυνση της εμφάνισης είναι SW-NE και η κλίση της επιφάνειας επαφής έχει στοιχεία: 45/060. Το στρώμα φλύσχη έχει πάχος περίπου 1-1,5 m και θυμίζει τον κοκκινωπό φλύσχη που συναντήσαμε στον Προφήτη Ηλία.

Δυτικά-βορειοδυτικά της επαφής εκτείνεται η περιοχή των ανωκρητιδικών ασβεστολίθων της Πελαγονικής ενότητας (Παράρτημα II, Εικ. 13). Ανατολικά-νοτιοανατολικά της επαφής, κατά μήκος του οπισθοαιγιαλού, εμφανίζονται σε πλήρη αταξία εξαιρετικά παραμορφωμένα πετρώματα της Κατώτερης Σειράς του Παλουκιού και μαγματίτες-σερπεντινίτες των ρακών του Ηωελληνικού καλύμματος (Παράρτημα II, Εικόνες 14-25).

Στις Εικόνες 56-59 που ακολουθούν φαίνεται η τεκτονική επαφή ανάμεσα στην ενότητα του Παλουκιού με τους ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους της Πελαγονικής ενότητας του ακρωτηρίου Στάφυλος. Σημειωτέον ότι σύμφωνα με τον Ματαράγκα η επαφή αυτή είναι στρωματογραφική, ενώ αντί της σειράς του Παλουκιού στους αντίστοιχους χάρτες και τη γεωλογική τομή του χάρτη του ΙΓΜΕ φαίνεται να βρίσκεται σε κανονική επαφή με τους ασβεστολίθους ο φλύσχος της Πελαγονικής ενότητας. Στην Εικόνα 60, τέλος, φαίνεται εποπτικά το ακρωτήριο Στάφυλος από τα ανατολικά σημεία της παραλίας του Βελανιού, δίνοντας μια αίσθηση της έντονης δυναμικής που επικρατεί στην περιοχή.



Εικόνα 56. Η επαφή μεταξύ της ενότητας του Παλουκιού και της Πελαγονικής ενότητας, στο ακρωτήριο Στάφυλος. Η φωτογραφία έχει διεύθυνση E-W, ενώ η ενότητα του Παλουκιού βρίσκεται βορειοανατολικά της επαφής και οι ασβεστόλιθοι της Πελαγονικής ενότητας νοτιοδυτικά.



Εικόνα 57. Παρατηρώντας σε διαδοχή τις 3 αυτές φωτογραφίες, μπορούμε να αποκτήσουμε μια αίσθηση των έντονων τεκτονικών δυνάμεων που ασκήθηκαν στο παρελθόν στα πετρώματα αυτά, ώστε να υποστούν αυτού του βαθμού παραμορφώσεις και ρηγματώσεις. Οι φωτογραφίες έχουν διεύθυνση NE-SW.



Εικόνα 58. Η επαφή της ενότητας Παλουκιού (βορειοανατολικά) με την Πελαγονική ενότητα (νοτιοδυτικά), όπως φαίνεται από την πλευρά της παραλίας του Βελανιού, πάνω ακριβώς στο μονοπάτι. Ο φλύσχος της πελαγονικής ενότητας έχει αφήσει κάποια υπολείμματα προς την πλευρά αυτή της επαφής (ανάμεσα στο μονοπάτι και τους ασβεστόλιθους). Το επίπεδο της επαφής και εδώ είναι κατακόρυφο, με διεύθυνση NW-SE. Η φωτογραφία έχει διεύθυνση SW-NE.



Εικόνα 59. Κοντινό πλάνο της επαφής από την πλευρά του Βελανιού. Οι σχιστόλιθοι στα NE της επαφής ορθώνονται σχεδόν κατακόρυφα, ενώ όσο προχωρούμε πιο ανατολικά στον οπισθοαιγιαλό του Βελανιού παρατηρούμε μικρότερες κλίσεις στα επίπεδα των πτυχών και των φυλλώσεων όλων των πετρωμάτων, με φορά κλίσης πάντοτε προς NE. Είναι και αυτό το γεγονός μια ένδειξη που ενισχύει την υπόθεση ότι η επαφή αυτή δεν είναι μια στρωματογραφική επαφή ανάμεσα στον υπερκείμενο φλύσχη και τους υποκείμενους ασβεστόλιθους της Πελαγονικής ενότητας, όπως προτείνει ο Ματαράγκας ([1]), αλλά μια τεκτονική επαφή ανάμεσα στην ενότητα του Παλουκιού ή τα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος και την Πελαγονική ενότητα.



Εικόνα 60. Το ακρωτήριο Στάφυλος όπως φαίνεται από την παραλία του Βελανιού, 150 m περίπου ανατολικά από την κατακόρυφη επαφή. Η δομή αντικλίνου στο ακρωτήριο Στάφυλος είναι από τη θέση αυτή εμφανής. Οι ανορθωμένοι βράχοι μοιάζουν με μια τεράστια παλάμη που σπρώχνει όλη την περιοχή μπροστά της προς τα νοτιοδυτικά. Στο βάθος, πάλι νοτιοδυτικά, διακρίνεται η Βόρεια Εύβοια.

Οι Εικόνες 56-60 περιέχουν επιλεκτικά φωτογραφικό υλικό που ελήφθη κατά τη διάρκεια των επισκέψεων πεδίου στις δύο παραλίες τον Αύγουστο του 2015. Το σύνολο αυτού του υλικού περιλαμβάνεται στο Παράρτημα II. Ακολουθεί μια σειρά Εικόνων με φωτογραφικό υλικό και αριθμητικά δεδομένα από μετρήσεις στοιχείων διαφόρων τεκτονικών δομών στις παραλίες του Βελανιού (πρώτα) και του Στάφυλου (ύστερα) που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια των επισκέψεων πεδίου στις δύο παραλίες τον Αύγουστο του 2016.



Εικόνα 61. Η παραλία Βελανιού όπως φαίνεται από το ανατολικότερο άκρο της. Η έντονη διάβρωση που έλαβε χώρα τον χειμώνα του 2015-16 απεκάλυψε στον οπισθοαιγιαλό εντυπωσιακές εμφανίσεις έντονα σχιστοποιημένων μεταβασικών πετρωμάτων ανάμεσα σε άλλα ανοιχτόχρωμα, επίσης σχιστοποιημένα, που όλα μαζί καλύπτονται από αλλούβιες αποθέσεις. Η επώθηση της κατώτερης σειράς της ενότητας του Παλουκιού πάνω στα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος τοποθετείται από τον Ματαράγκα στο βάθος του αιγιαλού, όπου βρίσκονται διάσπαρτοι στη θάλασσα πολλοί μεγάλοι βράχοι (βλ. βέλος). Στο αριστερό άκρο της φωτογραφίας διακρίνεται το ακρωτήριο Στάφυλος.



Εικόνα 62. ΑΝΑΚΕΚΛΙΜΕΝΗ (Βυθιζόμενη) πτυχή, στο ανατολικό άκρο της εμφάνισης μεταβασικών της Εικόνας 61. Το άνω σκέλος της πτυχής διατηρεί την καμπυλότητά του, ενώ το κάτω σκέλος έχει επιπεδωθεί λόγω των ισχυρών συμπιεστικών τάσεων που έχει δεχθεί. Στοιχεία αξονικού επιπέδου: 65/050. Στοιχεία άξονα πτυχής: 50/350. Το άνω σκέλος εμφανίζεται σε μήκος μεγαλύτερο των 3 m, ενώ το κάτω σκέλος σε μήκος ~ 1,5 m (το υπόλοιπο διαβρώθηκε). Τα σκέλη αποτελούνται από φυλλωμένα μεταβασικά με ασβεστολιθικές ενδιαστρώσεις. Η πτυχή είναι ένθετη σε έντονα φυλλωμένα και πτυχωμένα μεταβασικά πετρώματα, με κονδύλους ασβεστολιθικής σύστασης (ελήφθη δείγμα). Τα στοιχεία του επιπέδου σχιστότητας των μεταβασιτών είναι: 60/050.



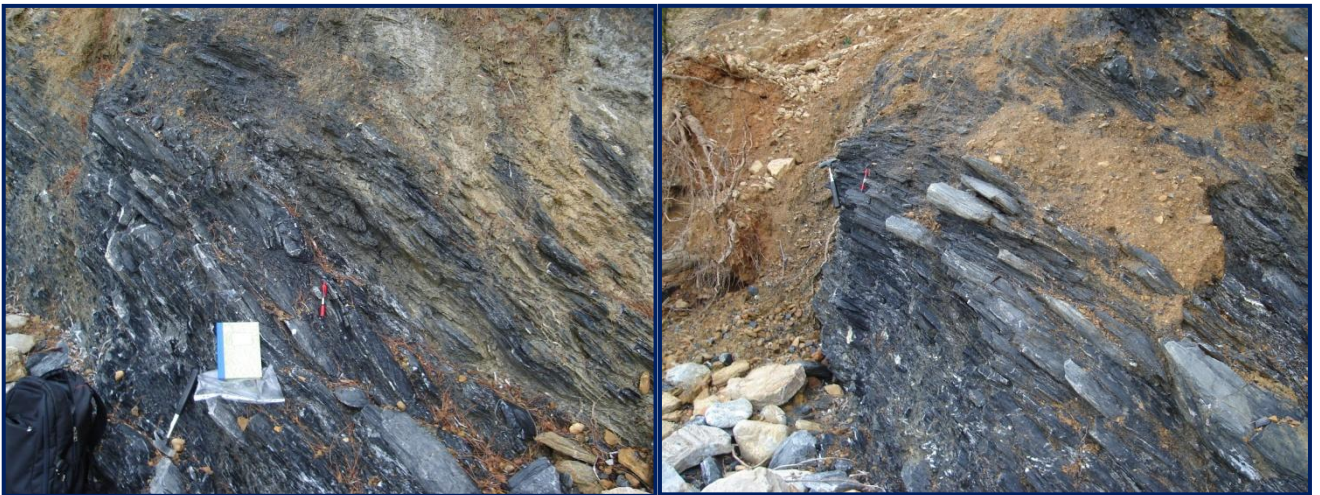
Εικόνα 63. Η πτυχή της Εικόνας 62 όπως φαίνεται από μικρή απόσταση.



Εικόνα 64. Στο δυτικότερο άκρο της ίδιας εμφάνισης μεταβασικών μετρήθηκαν τα στοιχεία χαρακτηριστικής επιφάνειας στρώσης μεταξύ ένθετων διαστρώσεων ανθρακικών (πάχους ~ 15 cm) και των περιβαλλόντων φυλλωμένων μεταβασικών. Στοιχεία επιφάνειας στρώσης: 55/040.



Εικόνα 65. Στην πορεία προς τα δυτικά του αιγιαλού, μετά από τα αλλούβια των κατολισθήσεων, συναντάμε πάλι εμφάνιση φυλλωμένων μεταβασικών.



Εικόνα 66. Τα μεταβασικά πετρώματα της Εικόνας 65 όπως φαίνονται από μικρή απόσταση. Στοιχεία χαρακτηριστικών επιφανειών σχιστότητας: 45/020 (αριστερά) και 40/010 (δεξιά). Μέση τιμή, 43/015.



Εικόνα 67. Η τεκτονική επαφή ανάμεσα στα υπερκείμενα μαύρα σχιστοποιημένα μεταβασικά της Εικόνας 65 και τον σχιστοποιημένο φλύσχη(?) της Εικόνας 68. Διακρίνονται πτυχωμένες δομές ένθεν και ένθεν της επιφάνειας επαφής (κόκκινα βέλη), με αξονικά επίπεδα παράλληλα προς τις επιφάνειες σχιστότητας που μετρήσαμε στον φλύσχη (45/070) (βλ. Εικόνα 68).



Εικόνα 68. Έντονα σχιστοποιημένος φλύσχης(?) στην περιοχή των πηγών, ~ 50 m δυτικά της προηγούμενης εμφάνισης μεταβασικών. Τα στοιχεία μιας χαρακτηριστικής επιφάνειας σχιστότητας είναι: 45/070. Το βέλος δείχνει την πτυχή της επόμενης Εικόνας 69.



Εικόνα 69. Διπλή πτυχή (s-fold?) στην εμφάνιση της Εικόνας 68. Για την πάνω πτυχή (κάτω από το στυλό) μετρήθηκαν τα εξής στοιχεία: Αξονικό επίπεδο, 50/345. Άξονας πτυχής, 35/030.



Εικόνα 70. Στις πηγές συναντάμε έντονα πτυχωμένα, σχιστοποιημένα και φυλλωμένα πετρώματα. Τα στοιχεία μιας χαρακτηριστικής επιφάνειας σχιστότητας είναι: 40/055.



Εικόνα 71. Εμφάνιση μαύρων αργιλικών έντονα θρυμματισμένων (βρίσκουμε κατακλασίτες διαφόρων μεγεθών). Δεν υπάρχει κάποια χαρακτηριστική επιφάνεια στρώσης ή σχιστότητας.



Εικόνα 72. Τα μαύρα αργιλικά της Εικόνας 71 όπως φαίνονται από μικρή απόσταση.



Εικόνα 73. Συνεκτικό τεμάχιο από τα μεταβασικά πετρώματα που έπεσαν λόγω των κατολισθήσεων στην παραλία. Είναι παρόμοιο με το πέτρωμα της Εικόνας 46, που βρίσκεται στο Ρέμα Τριπότη.



Εικόνα 74. Στο δυτικό άκρο της προηγούμενης εμφάνισης μαύρων αργιλικών (μήκους ~ 40 m), αυτά έρχονται σε τεκτονική επαφή με μεταμορφωμένα και εξαλλοιωμένα υπερβασικά πετρώματα που χαρακτηρίζονται από γκρι-πράσινο χρώμα και έντονη κατάκλαση. Μετρήθηκαν σε δύο χαρακτηριστικά σημεία τα στοιχεία της επιφάνειας επαφής: 70/000 και 55/355. Μέση τιμή, 63/358.



Εικόνα 75. Τα μεταμορφωμένα υπερβασικά πετρώματα της Εικόνας 74 όπως φαίνονται από μικρή απόσταση (από εδώ ελήφθη το Δείγμα 2). Τα στοιχεία μιας χαρακτηριστικής επιφάνειας διάκλασης είναι: 55/055.



Εικόνα 76. Περίπου 15 m δυτικά της Εικόνας 75, στην ίδια εμφάνιση μεταμορφωμένων υπερβασικών, υπάρχουν πτυχές και διακλάσεις που δείχνουν έντονη καταπόνηση του πετρώματος.



Εικόνα 77. Κοντινό πλάνο από την εμφάνιση υπερβασιτών, που δείχνει την έντονη καταπόνηση στην οποία έχει υποβληθεί το πέτρωμα. Είναι αδύνατο να διακρίνουμε εδώ πτυχές και χαρακτηριστικές επιφάνειες σχιστότητας ή διακλάσεων.



Εικόνα 78. Στο δυτικό άκρο της προηγούμενης εμφάνισης των πρασινο-γκρί μεταμορφωμένων και εξαλλοιωμένων υπερβασικών πετρωμάτων (συνολικού μήκους ~ 50 m), αυτά έρχονται εκ νέου σε επαφή με μαύρα σχιστοποιημένα μεταβασικά, παρόμοιας υφής με εκείνα που συναντήσαμε ανατολικά των πηγών. Τα στοιχεία της επιφάνειας επαφής είναι: 45/035.



Εικόνα 79. Συνολική άποψη της επαφής μεταμορφωμένων υπερβασικών (άνω δεξιά) με τα μαύρα σχιστοποιημένα μεταβασικά (κάτω αριστερά), τμήμα της οποίας αποτελεί η Εικόνα 78.



Εικόνα 80. Η νέα εμφάνιση μαύρων σχιστοποιημένων μεταβασικών συνεχίζει προς τα δυτικά σε μήκος ~ 30 m. Στο δυτικό άκρο τους τα πετρώματα αυτά έρχονται ως υπερκείμενα σε τεκτονική επαφή με συνεκτικά πετρώματα χρώματος ανοιχτού γκρι, έντονα καταπονημένα, τα οποία στην παραλία βρίσκονται πάνω από έντονα πτυχωμένα πετρώματα ίδιου χρώματος. Μετρήθηκαν τα στοιχεία της επιφάνειας επαφής σε δύο σημεία ήταν: 30/010 και 40/070, μέση τιμή 35/040. Μια χαρακτηριστική επιφάνεια διάκλασης στα καταπονημένα γκρι πετρώματα έχει στοιχεία: 65/040.



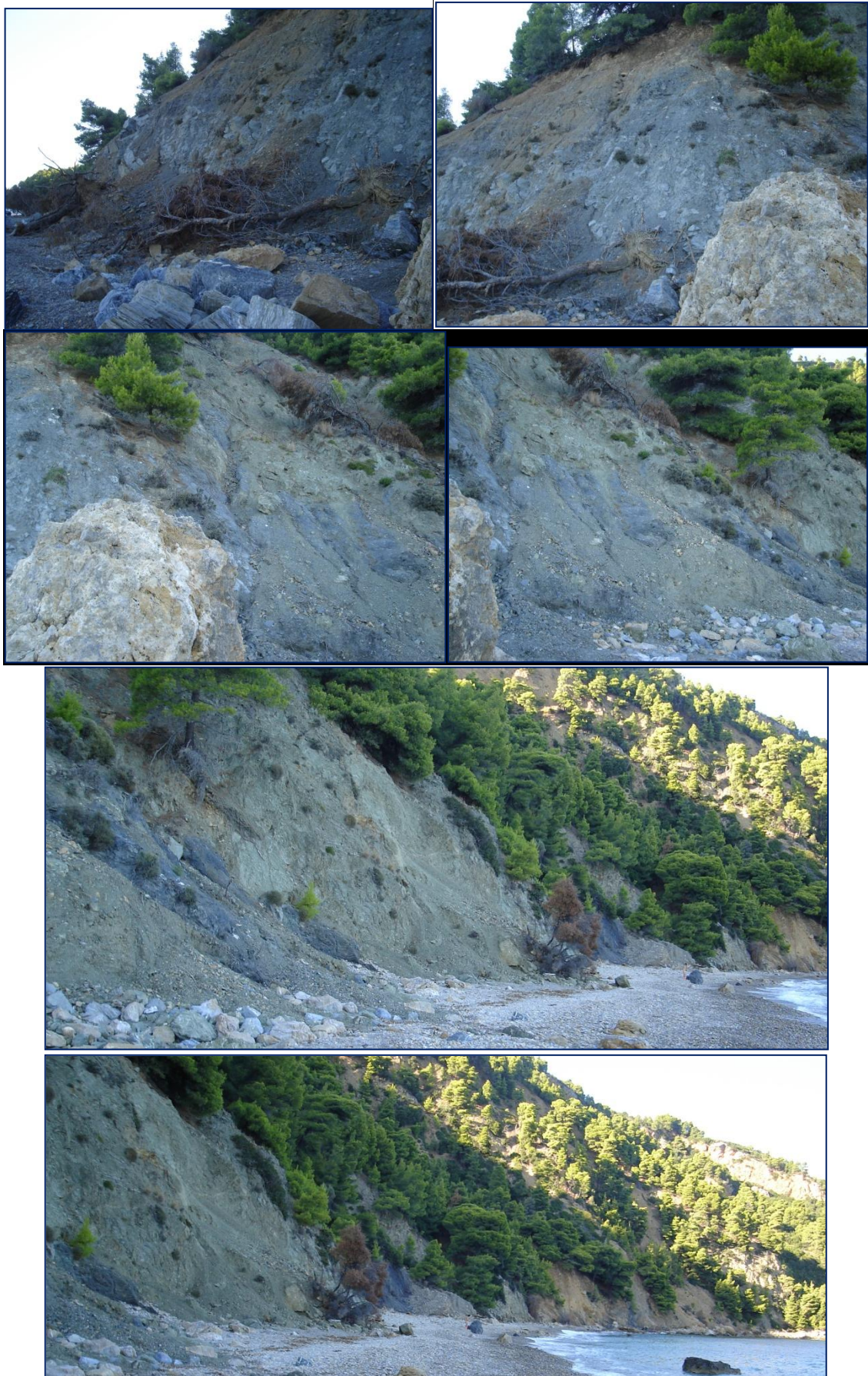
Εικόνα 81. Η εμφάνιση των ανοιχτόχρωμων γκρι συνεκτικών πετρωμάτων δυτικά των μαύρων μεταβασικών.



Εικόνα 82. Τα υπολείμματα μιας διαβρωμένης πτυχής σαν βράχος πλάι στο κύμα, στην ανατολική παραλία του Βελανιού.



Εικόνα 83. Βράχοι σκορπισμένοι στη θάλασσα, μπροστά από την θέση όπου ο Ματαράγκας τοποθετεί την επώθηση της κατώτερης σειράς της ενότητας Παλούκι πάνω στα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος στην περιοχή του Βελανιού.



Εικόνα 84. Οι εμφανίσεις πετρωμάτων στην ανατολική παραλία του Βελανιού, από τα δυτικά προς τα ανατολικά.



Εικόνα 85. Χαρακτηριστική εμφάνιση βράχων πάνω στον αιγιαλό, στη θέση όπου ο Ματαράγκας τοποθετεί την επώθηση της κατώτερης σειράς της ενότητας του Παλουκιού πάνω στα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος, στο κέντρο της παραλίας του Βελανιού. Είναι εμφανής η έντονη μεταμόρφωση και τεκτονική παραμόρφωση που έχουν υποστεί, με αποτέλεσμα την χαοτική ανάπτυξη σχιστότητας και πτυχών. Στις τελευταίες δύο φωτογραφίες τα πετρώματα είναι πολύ συνεκτικά και φαίνεται ότι έχουν υποστεί μεταμόρφωση σε υψηλές θερμοκρασίες, πιθανόν να πρόκειται για γνεύσιους.



Εικόνα 86. Στο δυτικό άκρο της εμφάνισης των ανοιχτόχρωμων γκρι συνεκτικών πετρωμάτων, αυτά έρχονται σε τεκτονική επαφή με σκουρόχρωμο γκρι, έντονα πτυχωμένο, ρηγματωμένο και σχιστοποιημένο πέτρωμα. Εδώ τοποθετεί ο Ματαράγκας την επώθηση της κατώτερης σειράς της ενότητας του Παλουκιού πάνω στα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος (μωβ γραμμή). Τα στοιχεία μιας χαρακτηριστικής επιφάνειας διάκλασης στο υποκείμενο πέτρωμα (πάνω από το σφυρί) είναι: 30/045.



Εικόνα 87. Κοντινό πλάνο του σημείου όπου μετρήθηκαν τα στοιχεία της επιφάνειας της Εικόνας 86.



Εικόνα 88. Κεκλιμένη μεγάλη πτυχή, κάτω από την επαφή των συνεκτικών ανοιχτόχρωμων γκρι με τα σχιστοποιημένα, πτυχωμένα και σκουρόχρωμα γκρι πετρώματα (επώθηση?). Το κάτω σκέλος της έχει εξαφανισθεί σε μεγάλο βαθμό, λόγω της προστριβής του στο ρήγμα που υπάρχει κάτω από την πτυχή. Το άνω σκέλος υπερβαίνει σε μήκος τα 3 m, ενώ το πάχος του είναι ~ 1,2 m. Τα στοιχεία του άξονα της πτυχής ήταν αδύνατο να μετρηθούν, ενώ για το αξονικό επίπεδο της μετρήθηκαν τα στοιχεία: 40/055. Η επιφάνεια του ρήγματος κάτω από την πτυχή έχει στοιχεία: 50/020.



Εικόνα 89. Πτυχή ένθετη στο κάτω σκέλος της μεγαλύτερης πτυχής της Εικόνας 88. Το αξονικό της επίπεδο είναι κεκαμμένο, με στοιχεία: 80/245 (άνωτερο τμήμα) και 60/245 (κατώτερο τμήμα). Το πάχος των σκελών της είναι ~ 50 cm.



Εικόνα 90. Ρήγμα (μωβ γραμμή) και ορθή πτυχή (κόκκινο βέλος), στην εμφάνιση των σκουρόχρωμων γκρι πετρωμάτων. Η διεύθυνση της φωτογραφίας είναι W-E.



Εικόνα 91. Κοντινό πλάνο της πτυχής της Εικόνας 90.



Εικόνα 92. Περίπου 20 m δυτικά της πτυχής της Εικόνας 89, συναντάμε μια επαφή με υπερκείμενα τα σκουρόχρωμα γκρι σχιστοποιημένα και πτυχωμένα πετρώματα, που εδώ είναι αρκετά σκληρά (αργιλικά με ενδιστρώσεις ασβεστολίθων πάχους 0,5-3 cm). Υποκείμενο είναι ένα μαύρο σχιστοποιημένο/φυλλωμένο και σχετικά εύθρυπτο πέτρωμα (μεταβασικό?), το οποίο εμφανίζεται και σε άλλες θέσεις δυτικότερα, προς την πλευρά του ακρωτηρίου Στάφυλος. Η επιφάνεια επαφής έχει στοιχεία: 60/050. Στο υποκείμενο μαύρο πέτρωμα μετρήθηκαν τα εξής στοιχεία μιας χαρακτηριστικής επιφάνειας σχιστότητας: 35/020.



Εικόνα 93. Μια άλλη άποψη της θέσης στην οποία ο Ματαράγκας τοποθετεί την επώθηση της κατώτερης σειράς της ενότητας του Παλουκιού πάνω στα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος. Το βέλος δείχνει τα υπολείμματα μιας κατεστραμμένης από τις συμπιεστικές τάσεις πτυχής.



Εικόνα 94. Τέμαχος από το σκουρόχρωμο γκρι φυλλωμένο πέτρωμα που αποσπάστηκε από το μητρικό του πέτρωμα με τις κατολισθήσεις του περασμένου χειμώνα. Κάπως έτσι ίσως ήρθαν σε παλαιότερους γεωλογικούς χρόνους στην παραλία και οι βράχοι που σήμερα βρίσκονται διάσπαρτοι στη θάλασσα, μπροστά από τη θέση της επώθησης (βλ. Εικόνα 83). Η διάβρωση από τα κύματα που ακολούθησε είχε σαν αποτέλεσμα την υποχώρηση της τότε ακτογραμμής προς τη σημερινή της θέση, οπότε τα ανθεκτικά στη διάβρωση τεμάχια του συνεκτικού πετρώματος απέμειναν στην αρχική θέση τους, σαν μεγάλοι βράχοι μέσα στη θάλασσα.



Εικόνα 95. Περίπου 20 m δυτικά της θέσης της Εικόνας 93, όπου βρίσκεται κατά τον Μатарάγκα η επώθηση, συναντάμε μια τεκτονική επαφή με υπερκείμενα τα μαύρα φυλλωμένα μεταβασικά πετρώματα και υποκείμενα άστρωτα συνεκτικά πετρώματα χρώματος ανοιχτόχρωμου γκρι. Ελήφθησαν δύο μετρήσεις των στοιχείων της επιφάνειας επαφής, που έδωσαν μέση τιμή: 55/015.



Εικόνα 96. Στα υποκείμενα άστρωτα συνεκτικά πετρώματα χρώματος ανοιχτόχρωμου γκρι της Εικόνας 95 μετρήθηκαν τα εξής στοιχεία χαρακτηριστικών επιφανειών διάκλασης: 55/010 και 55/015. Μέση τιμή, 55/013.



Εικόνα 97. Εμφάνιση μαύρου σχιστοποιημένου/φυλλωμένου πετρώματος στη βάση του οπισθοαιγιαλού, ~30 m δυτικά της Εικόνας 96. Μετρήθηκαν τα στοιχεία σε 3 χαρακτηριστικές επιφάνειες σχιστότητας και έδωσαν μέση τιμή: 60/002.



Εικόνα 98. Οι ογκόλιθοι αυτοί, ασβεστολιθικής σύστασης, δεσπόζουν στο κέντρο της δυτικής παραλίας του Βελανιού και αποτελούνται από σκληρό πέτρωμα, συνεκτικό αλλά με πολλές διακλάσεις. Μια χαρακτηριστική επιφάνεια διάκλασης (πάνω από το στυλό) έχει στοιχεία: 45/020.



Εικόνα 99. Σκουρόχρωμο γκρι πέτρωμα, χωρίς ανεπτυγμένη σχιστότητα αλλά με πολλές διακλάσεις (αριστερά) και ανοιχτόχρωμο άμορφο πέτρωμα, με έντονη φύλλωση και πτύχωση (δεξιά), περίπου 15m δυτικά των ογκόλιθων της Εικόνας 98. Στο σημείο του στυλό μετρήθηκαν στοιχεία επιφάνειας: 55/015. Διεύθυνση φωτογραφίας S-N.



Εικόνα 100. Λεπτομέρεια από τη συνέχεια της προηγούμενης εμφάνισης προς τη θάλασσα. Η κύρια επιφάνεια διάκλασης του πετρώματος δίπλα στο στυλό έχει στοιχεία: 60/345.



Εικόνα 101. Το νότιο άκρο της εμφάνισης της Εικόνας 99. Στοιχεία κύριας επιφάνειας διακλάσεων: 55/040. Στο βάθος αριστερά διακρίνεται ο «λαιμός» του ακρωτηρίου Στάφυλος, όπου βρίσκεται και η τεκτονική επαφή των ρακών της Ηωελληνικής ενότητας με τους Ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους (βλ. μωβ γραμμή).



Εικόνα 102. Περίπου 15 m ανατολικά της προηγούμενης εμφάνισης πετρωμάτων, νέα εμφάνιση έντονα καταπονημένων, σχιστοποιημένων και πτυχωμένων σκληρών πετρωμάτων (η πάνω φωτογραφία εκ δυσμών, η κάτω εξ ανατολών). Χαρακτηριστικές επιφάνειες σχιστότητας έχουν στοιχεία (μ. τ. δύο μετρήσεων): 50/010.



Εικόνα 103. Βράχια διάσπαρτα στην αμμουδιά, μπροστά από την εμφάνιση της Εικόνας 102, προς τον «λαιμό» του ακρωτηρίου.



Εικόνα 104. Εμφάνιση in situ φυλλωμένων σκουρόχρωμων γκρι αργιλικών, με ανθρακικούς και πυριτικούς κονδύλους, ανάμεσα στα βράχια της Εικόνας 103. Χαρακτηριστική επιφάνεια σχιστότητας: 55/045.



Εικόνα 105. Εντυπωσιακή κεκλιμένη-βυθιζόμενη πτυχή, ~ 50 m ανατολικά της επαφής ανάμεσα στα ράκη του ηωελληνικού καλύμματος και τους ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους, στον «λαιμό» του ακρωτηρίου Στάφυλος. Μετρήθηκαν τα εξής στοιχεία: Αξονικό επίπεδο πτυχής, 50/045. Άξονας πτυχής, 050/020. Μόνο το κάτω σκέλος δεν έχει διαβρωθεί σε μεγάλη έκταση. Στον οπισθοαιγιαλό μπροστά από την πτυχή, προς δυσμάς, εμφανίζονται έντονα καταπονημένα πετρώματα, με επιφάνειες επαφής μεταξύ τους προσεγγιστικά παράλληλες με την άνω επιφάνεια της πτυχής. Η πάνω φωτογραφία ελήφθη εκ δυσμών και η κάτω εξ ανατολών.



Εικόνα 106. Η άνω επιφάνεια της πτυχής (διαβρωμένο σκέλος) έχει στοιχεία: 55/005. Τα στοιχεία αυτά ταυτίζονται με την πλειονότητα των αντίστοιχων στοιχείων για τις επιφάνειες σχιστότητας στις εμφανίσεις μεταξύ της πτυχής και της επαφής ανάμεσα στα ράκη του ηωελληνικού καλύμματος και τους ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους. Το αζιμούθιο όμως διαφέρει σημαντικά από το αζιμούθιο του αξονικού επιπέδου της πτυχής. Μια εξήγηση για αυτό το γεγονός είναι ότι η πτυχή σχηματίστηκε σε προγενέστερο χρόνο από την εγκατάσταση του πεδίου συμπιεστικών τάσεων ανάμεσα στην ενότητα Παλούκι και τους ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους. Η διάβρωση του ανώτερου σκέλους της πτυχής ενδεχομένως οφείλεται σε δυνάμεις τριβής από τα υπερκείμενα πετρώματα που ολίσθησαν πάνω της, μετά τον σχηματισμό της και την απώλεια της πλαστικότητας του πετρώματος από το οποίο αποτελείται (βλ. και Εικόνα 105). Οι αύλακες που παρατηρούμε ίσως αντιστοιχούν σε γραμμές προστριβής που δημιούργησαν τα υπερκείμενα στρώματα.



Εικόνα 107. Η πτυχή των προηγούμενων Εικόνων 105 και 106 εκ των άνω. Το ορατό μήκος του μη διαβρωμένου σκέλους είναι ~ 1,5 m. Στα σκέλη διακρίνονται πτυχές 2^{ης} τάξης. Διασκελική γωνία, ~ 70°. Η απώλεια σχεδόν του 50% του αρχικού της υλικού είναι μάλλον απίθανο να οφείλεται στη διάβρωση λόγω των καιρικών φαινομένων. Η επιπεδότητα της διαβρωμένης επιφάνειας συνηγορεί στην επίδραση τριβών από υπερκείμενα ολισθαίνοντα σκληρά πετρώματα.



Εικόνα 108. Εμφάνιση φυλλωμένων ανοιχτόχρωμων αργιλικών, περίπου 10 m δυτικά της πτυχής των προηγούμενων Εικόνων, στον οπισθοαιγιαλό (βλ. και Εικόνα 110). Η κατάκλαση που έχει υποστεί το πέτρωμα είναι πολύ έντονη. Στοιχεία επιφάνειας σχιστότητας: 65/005.



Εικόνα 109. Εμφάνιση φυλλωμένων σκουρόχρωμων γκρι αργιλικών, in situ πάνω στον αιγιαλό, ~ 15 m δυτικά της προηγούμενης εμφάνισης και ~ 25 m ανατολικά από την επαφή ανάμεσα στα ράκη του ηωελληνικού καλύμματος και τους ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους (βλ. και Εικόνα 111). Επιφάνεια σχιστότητας: 50/005.



Εικόνα 110. Εμφάνιση έντονα φυλλωμένων ανοιχτόχρωμων αργιλικών, ~ 2 m δυτικά της εμφάνισης της προηγούμενης Εικόνας. Στοιχεία επιφάνειας σχιστότητας (μέση τιμή δύο μετρήσεων): 58/003.



Εικόνα 111. Η περιοχή δυτικά της πτυχής των Εικόνων 105–107, λίγο πριν την επαφή ανάμεσα στα ράκη του ηωελληνικού καλύμματος και τους ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους. Οι αριθμοί αντιστοιχούν στις εμφανίσεις προηγούμενων Εικόνων.



Εικόνα 112. Η επαφή ανάμεσα στα ράκη του ηωελληνικού καλύμματος και τους ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους (μωβ γραμμή), όπως φαίνεται από την παραλία του Βελανιού. Η διεύθυνση της φωτογραφίας είναι S-N.



Εικόνα 113. Εμφάνιση έντονα φυλλωμένων ανοιχτόχρωμων αργιλικών, ανατολικά από το μονοπάτι που βρίσκεται πάνω στην επαφή των δύο ενοτήτων. Η διεύθυνση της φωτογραφίας είναι W-E.



Εικόνα 114. Στη θέση όπου βρίσκεται η εμφάνιση της Εικόνας 113, στο δυτικότερο άκρο της, μετρήθηκαν τα στοιχεία επιφάνειας σχιστότητας του αργιλικού πετρώματος της φωτογραφίας: 85/010. Η απόσταση του σημείου αυτού από την επαφή των δύο ενοτήτων είναι περίπου 10 m.



Εικόνα 115. Άποψη της παραλίας του Βελανιού από τη θέση της επαφής ανάμεσα στα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος και τους Ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους. Η διεύθυνση της φωτογραφίας είναι NNE-SSW.



Εικόνα 116. Εντύπωση προκαλεί αυτή η εικόνα των «ουλών» στην επιφάνεια των ανωκρητιδικών ασβεστολίθων, ακριβώς δίπλα στην επαφή των δύο ενοτήτων. Αν αποκλειστεί η ανθρώπινη παρέμβαση (π.χ. ηλώσεις στα βράχια για κάποιον λόγο), καθαρά γεωλογικές ερμηνείες για την ύπαρξή τους είναι δύσκολο να διατυπωθούν.



Εικόνα 117. Η επιφάνεια επαφής των δύο ενοτήτων, μετρημένη πάνω στους ασβεστολίθους, έχει στο σημείο αυτό στοιχεία: 80/310. Η ΦΜΚ είναι κατά προσέγγιση ίδια με τη ΦΜΚ της επιφάνειας σχιστότητας των φυλλωμένων αργιλικών που βρίσκονται περίπου 5 m ανατολικά (βλ. Εικόνα 113), το αζιμούθιο όμως διαφέρει σημαντικά (πάνω από 60°).



Εικόνα 118. Η επαφή ανάμεσα στα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος (βόρεια) και τους Ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους (νότια), όπως εμφανίζεται στον αυχένα του «λαιμού» του ακρωτηρίου Στάφυλος. Η διεύθυνση της φωτογραφίας είναι SW-NE.



Εικόνα 119. Η επαφή ανάμεσα στα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος (βόρεια) και τους Ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους (νότια), όπως φαίνεται από την πλευρά της παραλίας του Βελανιού, πάνω ακριβώς στο μονοπάτι. Ο φλύσχος της πελαγονικής ενότητας έχει αφήσει κάποια υπολείμματα προς την πλευρά αυτή της επαφής (ανάμεσα στο μονοπάτι και τους ασβεστόλιθους). Η φωτογραφία έχει διεύθυνση SSW-NNE.



Εικόνα 120. Οι Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι δίπλα στην επαφή, όπως φαίνονται από την παραλία του Βελανιού. Η ακτινωτή διάταξη των διακλάσεων στους ασβεστολίθους μας προσφέρει μια πιθανή εξήγηση για την προέλευση των συμπιεστικών τάσεων που τις προκάλεσαν: η προέλαση από τα βορειοανατολικά της ενότητας του Παλουκιού θα μπορούσε να έχει αποσπάσει στο παρελθόν αυτό το τμήμα της πελαγονικής ενότητας από την αρχική του θέση, χιλιόμετρα ίσως βορειοανατολικότερα, και να το έχει μετατοπίσει στη σημερινή του θέση, προκαλώντας έτσι τις διακλάσεις, τα ρήγματα και τις πτυχές που βλέπουμε σήμερα.



Εικόνα 121. Συνέχεια της προηγούμενης Εικόνας.



Εικόνα 122. Συνέχεια της προηγούμενης Εικόνας.



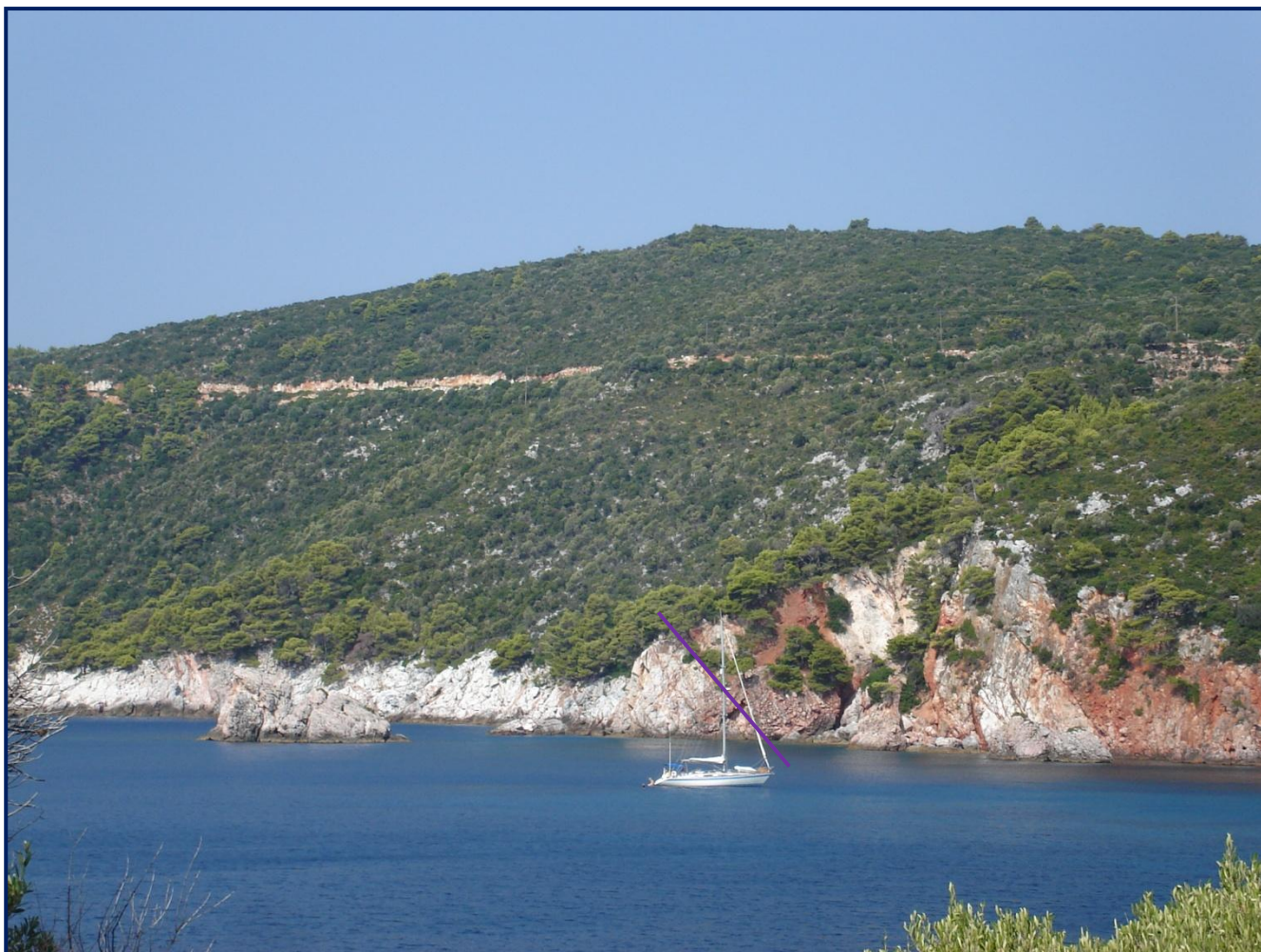
Εικόνα 123. Συνέχεια της προηγούμενης Εικόνας. Στον ορίζοντα διακρίνεται η Βόρεια Εύβοια.



Εικόνα 124. Το σπήλαιο που δημιουργήθηκε στους ασβεστολίθους από τη διάβρωση των κυμάτων έχει στην οροφή του συνεκτικά λατυποπαγή/κροκαλοπαγή, τα οποία υποδηλώνουν περιβάλλον απόθεσης ρηχής λιμνοθάλασσας που γειτόνευε με εκβολές χειμάρρων. Η αφιδωτή διάταξη των άστρωτων ασβεστολίθων μας επιτρέπει να υποθέσουμε πως ολόκληρο το ακρωτήριο αποτελεί μια μεγάλης κλίμακας ανορθωμένη πτυχή, με επίπεδο παράλληλο εκείνου της επαφής, δηλαδή κατακόρυφου και με διεύθυνση WSW-ENE.



Εικόνα 125. Λεπτομέρεια από τα λατυποπαγή/κροκαλοπαγή της προηγούμενης Εικόνας.



Εικόνα 126. Η στρωματογραφική επαφή των υποκείμενων δολομιτών της πελαγονικής ενότητας (νοτιοδυτικά) με τους υπερκείμενους ασβεστόλιθους (βορειοανατολικά), όπως φαίνεται από το ακρωτήριο Στάφυλος. Η θέση της επαφής εκτιμάται ότι βρίσκεται πίσω από το ιστιοφόρο, οπότε από τις κλίσεις των επιφανειών των διακλάσεων στους ασβεστολίθους εκεί μπορούμε να προσδιορίσουμε μια μέγιστη κλίση περίπου 60° και φορά μέγιστης κλίσης NE. Η φωτογραφία έχει διεύθυνση SSW-NNE.



Εικόνα 127. Άποψη της επαφής ανάμεσα στα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος (βορειοανατολικά) και τους Ανκρητιδικούς ασβεστολίθους (νοτιοδυτικά), από την παραλία του Στάφυλου, στο ύψος της εμφάνισης των εξαλλοιωμένων οφιολιθικών. Το ίχνος της επιφάνειας επαφής σημειώνεται με μωβ γραμμή. Με κόκκινη γραμμή σημειώνεται το κανονικό ρήγμα που περιγράφεται στην Εικόνα 130 (το υπερκείμενο τμήμαος βρίσκεται προς τα νοτιοδυτικά). Διεύθυνση φωτογραφίας: NNE- SSW.



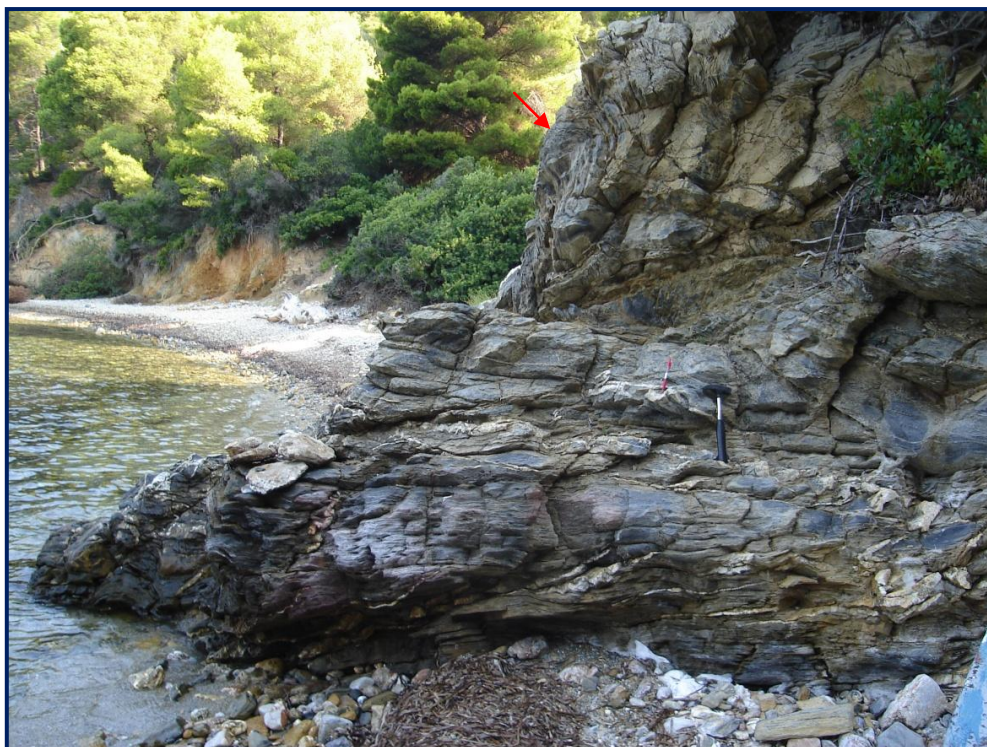
Εικόνα 128. Η επαφή ανάμεσα στα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος (βορειοανατολικά) και τους Ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους (νοτιοδυτικά), όπως φαίνεται σε κοντινό πλάνο από την πλευρά της παραλίας του Στάφυλου. Ο φλύσχος της πελαγονικής ενότητας έχει σχεδόν εξαφανιστεί. Η επιφάνεια της επαφής εδώ έχει στοιχεία: 60/345. Επομένως, αφού στην Εικ. 117 μετρήθηκαν για την ίδια επιφάνεια στοιχεία 80/310, η μέση τιμή των στοιχείων της επιφάνειας επαφής είναι προσεγγιστικά 70/330. Διεύθυνση φωτογραφίας: NNE- SSW.



Εικόνα 129. Κοντινό πλάνο της επαφής, στο σημείο όπου μετρήθηκαν τα στοιχεία της επιφάνειάς της (60/345). Παρατηρούμε έντονη κατάκλαση των πετρωμάτων εκατέρωθεν.



Εικόνα 130. Παρατηρώντας σε διαδοχή τις 3 αυτές φωτογραφίες, που σαρώνουν την περιοχή της επαφής από NE προς SW, μπορούμε να αντιληφθούμε τις έντονες τεκτονικές δυνάμεις που ασκήθηκαν στο παρελθόν στα πετρώματα αυτά, ώστε να υποστούν παραμορφώσεις και ρηγματώσεις σε τέτοιο βαθμό. Στο κανονικό ρήγμα που διατρέχει διαγώνια την κάτω φωτογραφία, έγιναν οι εξής μετρήσεις: Επιφάνεια ρήγματος, 75/265. Άλμα ρήγματος, 1,20 m.



Εικόνα 131. Έντονα παραμορφωμένα πετρώματα περίπου 10 m βόρεια της επαφής. Το επίπεδο της πτυχής (βλ. βέλος) έχει στοιχεία: 80/010.



Εικόνα 132. Η εμφάνιση των ρακών του Ηωελληνικού καλύμματος λίγα μέτρα βόρεια της επιφάνειας επαφής με τους Ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους. Διακρίνουμε στα πετρώματα αυτά έντονη σχιστότητα, κατάκλαση και πτύχωση. Ελήφθησαν 4 μετρήσεις στοιχείων επιπέδων σχιστότητας: 30/350, 55/040, 55/005 και 60/355. Μέση τιμή: 50/010. Το βέλος δείχνει την πτυχή της Εικόνας 133. Διεύθυνση φωτογραφίας: NNE-SSW.



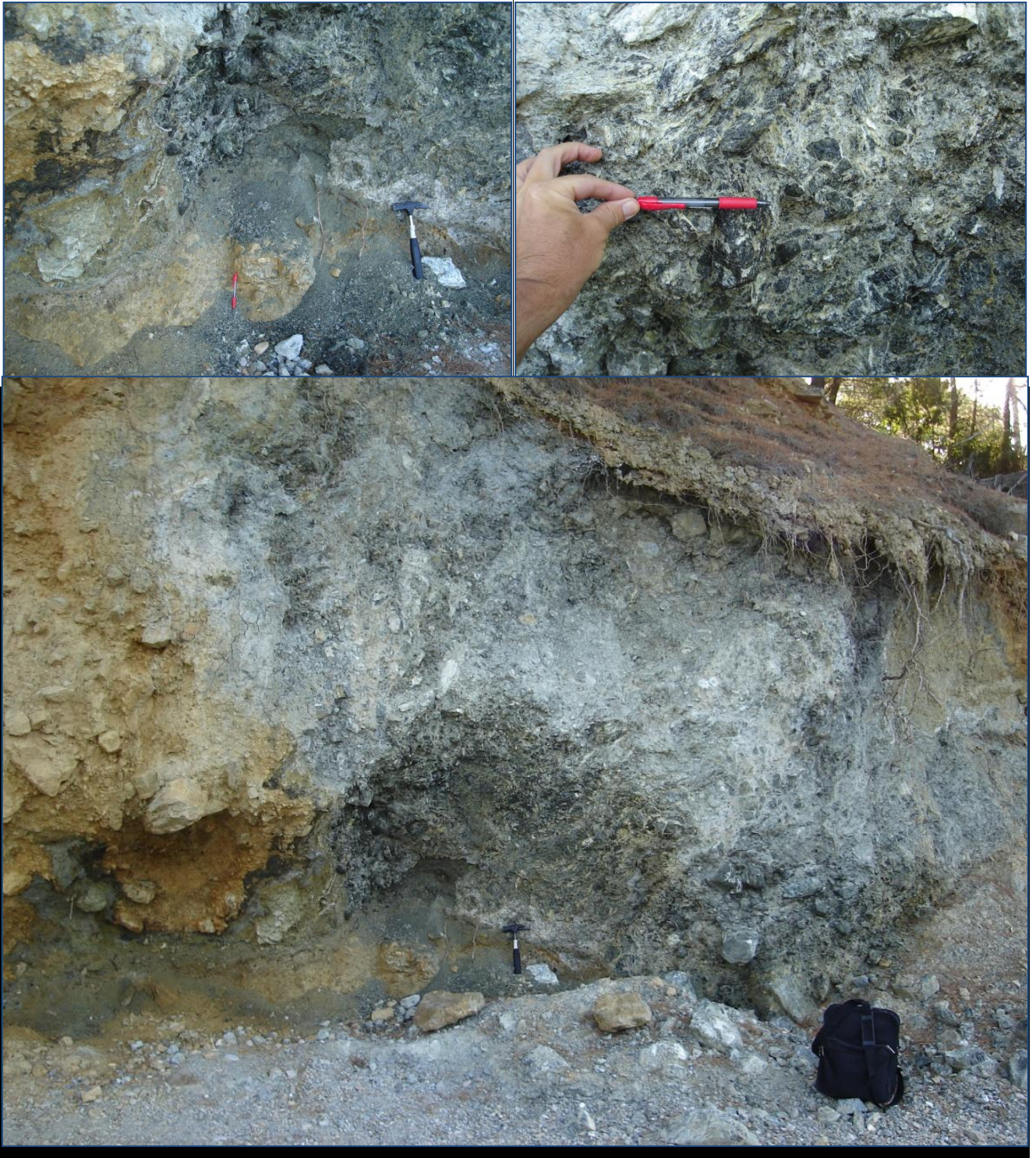
Εικόνα 133. Λεπτομέρεια της εμφάνισης στην Εικόνα 132. Πτυχή ορθή βυθιζόμενη που έχει παραμορφωθεί σε μεγάλο βαθμό. Στοιχεία αξονικού επιπέδου πτυχής: 70/350. Στοιχεία άξονα πτυχής: 75/120. Διεύθυνση φωτογραφίας: NNE-SSW.



Εικόνα 134. Περίπου 5 m βόρεια της επαφής, εμφάνιση αργιλικών φυλλιών με ασβεστολιθικές ενδιαστρώσεις. Στοιχεία επιφάνειας σχιστότητας: 45/040. Διεύθυνση φωτογραφίας: NNE-SSW.



Εικόνα 135. Περίπου 10 m βόρεια της επαφής, εμφάνιση σκουρόχρωμων έως μαύρων αργιλικών φυλλιτών με ασβεστολιθικές ενδιαστρώσεις, πολύ σκληρών και συνεκτικών. Στοιχεία επιφάνειας σχιστότητας: 45/010. Διεύθυνση φωτογραφίας: NE-SW.



Εικόνα 136. Εμφάνιση εξαλλοιωμένων οφιολιθικών στον οπισθοαιγιαλό της παραλίας του Στάφυλου, περίπου 60 m βορειοδυτικά της επαφής στον «λαιμό» του ακρωτηρίου. Οι φωτογραφίες ελήφθησαν το καλοκαίρι του 2015 (το 2016 η εμφάνιση αυτή είχε καλυφθεί από τις προσχώσεις των κατολισθήσεων). Διεύθυνση φωτογραφίας: NE-SW.



Εικόνα 137. Έντονα φυλλωμένο και πτυχωμένο, σκληρό πέτρωμα, που έχει μάλλον έρθει από κατολίσθηση στον αιγιαλό της παραλίας του Στάφυλου, μπροστά από την εμφάνιση της επόμενης Εικόνας 138. Η υφή και η συνεκτικότητά του δείχνουν μεταμόρφωση αρκετά υψηλών θερμοκρασιών.



Εικόνα 138. Περίπου 150 m βορειοδυτικά της επαφής στον «λαιμό» του ακρωτηρίου, στην παραλία του Στάφυλος. Εμφάνιση in situ, ανάμεσα σε μεταφερμένες πέτρες, ενός σκούρου γκρι φυλλωμένου αργιλικού πετρώματος, με παχιές ασβεστολιθικές ενδιάστρωσεις. Στοιχεία επιφάνειας σχιστότητας, 40/320. Διεύθυνση φωτογραφίας, NE-SW..



Εικόνα 139. Περίπου 250 m βορειοδυτικά της επαφής, στην παραλία Στάφυλος. Εμφάνιση in situ στην παραλία ενός γκρι φυλλωμένου αργιλικού πετρώματος με ασβεστολιθική ενδιάστρωση που σχηματίζει κεκλιμένη βυθιζόμενη πτυχή. Στοιχεία αξονικής επιφάνειας πτυχής: 50/150. Διεύθυνση φωτογραφίας: NW-SE.



Εικόνα 140. Η εμφάνιση της Εικόνας 139 από τη δυτική της πλευρά (δίπλα στην καντίνα). Στο σημείο του σφυριού μετρήθηκαν τα στοιχεία της επιφάνειας διάκλασης: 70/310.



Εικόνα 141. Περίπου 30 m δυτικά της εμφάνισης της Εικόνας 140 και 100 m ανατολικά της επαφής μεταξύ φλύσχη και ασβεστολίθων της πελαγονικής ενότητας, στο δυτικό άκρο της παραλίας του Στάφυλου. Τα πετρώματα είναι έντονα πτυχωμένα και μεταμορφωμένα αργίλικα με ασβεστολιθικές ενδαστρώσεις. Διεύθυνση φωτογραφίας: NW-SE.



Εικόνα 142. Λεπτομέρεια από την εμφάνιση της Εικόνας 141. Η πτυχή κάτω από το στυλό έχει αξονικό επίπεδο με στοιχεία: 40/340.



Εικόνα 143. Περίπου 5 m δυτικά της εμφάνισης της Εικόνας 141. Έντονα φυλλωμένα/σχιστοποιημένα και συνεκτικά αργιλικά πετρώματα, με πτυχωμένες ασβεστολιθικές ενδιαστρώσεις. Τα στοιχεία μιας χαρακτηριστικής επιφάνειας σχιστότητας είναι: 55/350.



Εικόνα 144. Η προηγούμενη εμφάνιση από άλλη οπτική γωνία. Στο βάθος φαίνεται η εμφάνιση της Εικόνας 141. Διεύθυνση φωτογραφίας: WNW-ESE.



Εικόνα 145. Περίπου 10 m δυτικά της προηγούμενης εμφάνισης. Διεύθυνση φωτογραφίας: WNW-ESE.



Εικόνα 146. Περίπου 50 m δυτικά της προηγούμενης εμφάνισης, υπάρχει στον οπισθοαιγιαλό ένα φυλλωμένο/σχιστοποιημένο αργιλικό πέτρωμα. Στοιχεία χαρακτηριστικής επιφάνειας σχιστότητας: 50/345.



Εικόνα 147. Πλησίον της προηγούμενης εμφάνισης, προς τα δυτικά, συναντάμε αυτή την πτυχή. Για το αξονικό της επίπεδο μετρήθηκαν τα στοιχεία: 55/320.



Εικόνα 148. Λίγα μέτρα δυτικά της προηγούμενης εμφάνισης, παρατηρούμε στον οπισθοαιγιαλό διαδοχικές πτυχές που χωρίζονται από μικρής έκτασης διάρρηξη. Το επίπεδο της διάρρηξης (όπου βρίσκεται το σφυρί) έχει στοιχεία: 60/330.



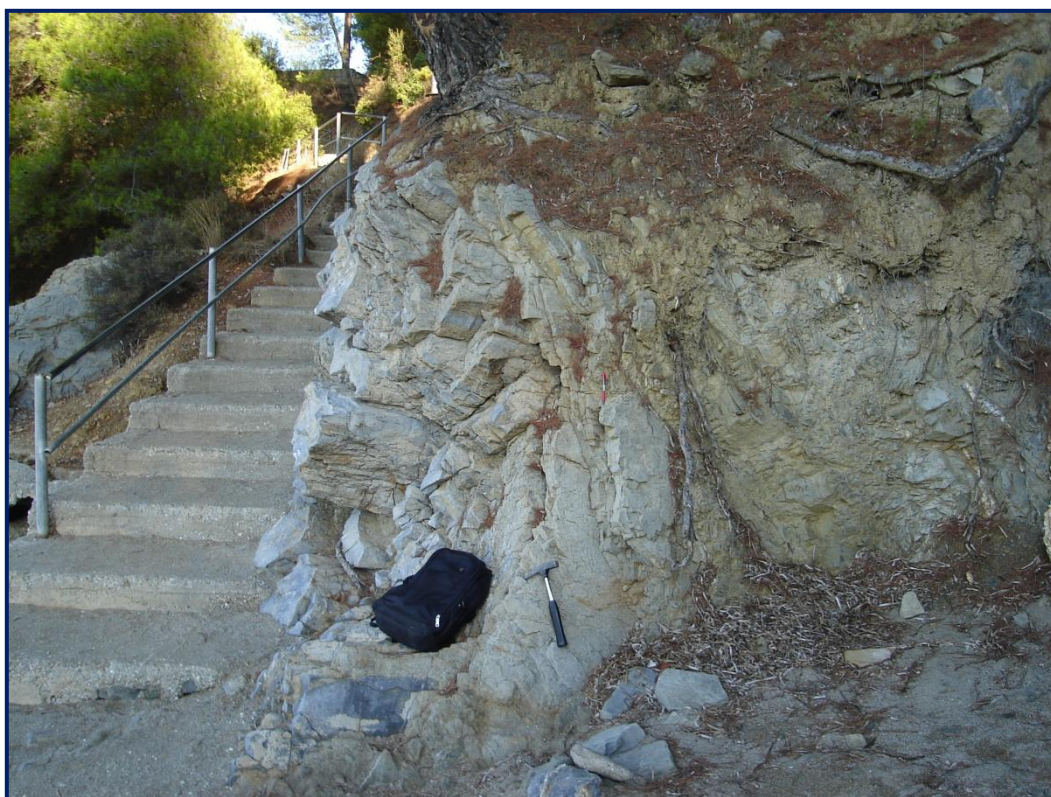
Εικόνα 149. Περίπου 50 m ανατολικά της εισόδου στην παραλία, εμφάνιση διαδοχικών πτυχών (z-folds?) σε φυλλωμένο αργιλικό πέτρωμα με παχιές ασβεστολιθικές ενδιαστρώσεις. Στη θέση του σφυριού, μετρήθηκαν τα στοιχεία του αξονικού επιπέδου της πτυχής: 55/020. Στοιχεία του άξονα της πτυχής: 50/030. Διασκελική γωνία: 70°. Το μήκος του κοινού σκέλους μεταξύ των πτυχών είναι ~ 80 cm. Διεύθυνση φωτογραφίας: WNW-ESE.



Εικόνα 150. Περίπου 10 m δυτικά της προηγούμενης εμφάνισης, παρατηρείται στον οπισθοαιγιαλό συνεκτικό αργιλικό πέτρωμα με πολλές ασβεστολιθικές ενδιαστρώσεις που σχηματίζουν πτυχές και μικροπτυχές. Για μια από τις μικροπτυχές μετρήθηκαν τα εξής στοιχεία: Αξονικό επίπεδο, 60/310. Άξονας πτυχής, 45/000. Πάχη σκελών, ~ 3 cm. Απόσταση με γειτονικά αξονικά επίπεδα, ~ 5 cm. Διεύθυνση φωτογραφίας: WNW-ESE.



Εικόνα 151. Μπροστά από την εμφάνιση της Εικόνας 150, in situ στον αιγιαλό, βρίσκουμε σχιστοποιημένο σκληρό αργιλικό πέτρωμα. Στοιχεία ενός χαρακτηριστικού επιπέδου σχιστότητας: 60/310.



Εικόνα 152. Δίπλα στην είσοδο της παραλίας του Στάφυλου, στην ανατολική της πλευρά, υπάρχει αυτή η εμφάνιση σχιστοποιημένων πετρωμάτων, αργιλικών και φαμμιτικών, με ασβεστολιθικές ενδιαστρώσεις. Στοιχεία ενός χαρακτηριστικού επιπέδου σχιστότητας: 60/070. Διεύθυνση φωτογραφίας: W-E.



Εικόνα 153. Περίπου 5 m δυτικά της εισόδου, εμφάνιση σκληρού σχιστοποιημένου αργιλικού πετρώματος. Στοιχεία ενός χαρακτηριστικού επιπέδου σχιστότητας: 60/115. Διεύθυνση φωτογραφίας: NW-SE.



Εικόνα 154. Περίπου 3 m δυτικά της προηγούμενης εμφάνισης, στον οπισθοαιγιαλό παρατηρούμε σχιστοποιημένο και πτυχωμένο εύθρυπτο αργιλικό πέτρωμα. Στοιχεία ενός χαρακτηριστικού επιπέδου σχιστότητας: 60/015. Διεύθυνση φωτογραφίας: N-S.



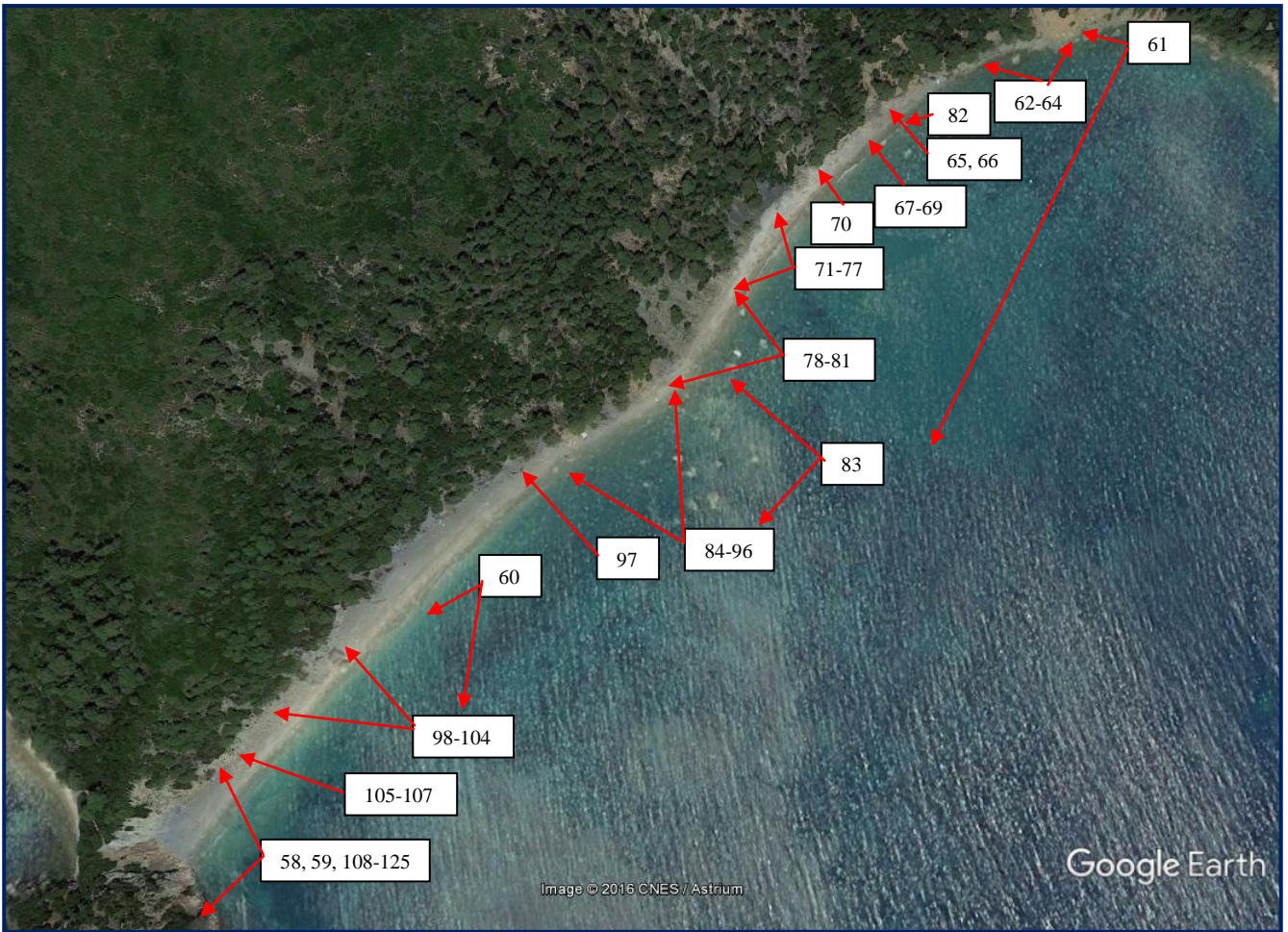
Εικόνα 155. Περίπου 2 m δυτικά της προηγούμενης εμφάνισης και 10 m ανατολικά της επαφής των ανωκρητιδικών ασβεστολίθων με τον φλύσχη της πελαγονικής ενότητας. Στοιχεία ενός χαρακτηριστικού επιπέδου σχιστότητας: 75/305.



Εικόνα 156. Η εμφάνιση της επαφής των ανωκρητιδικών ασβεστολίθων με τον φλύσχη της πελαγονικής ενότητας, στο δυτικό άκρο της παραλίας του Στάφυλου.



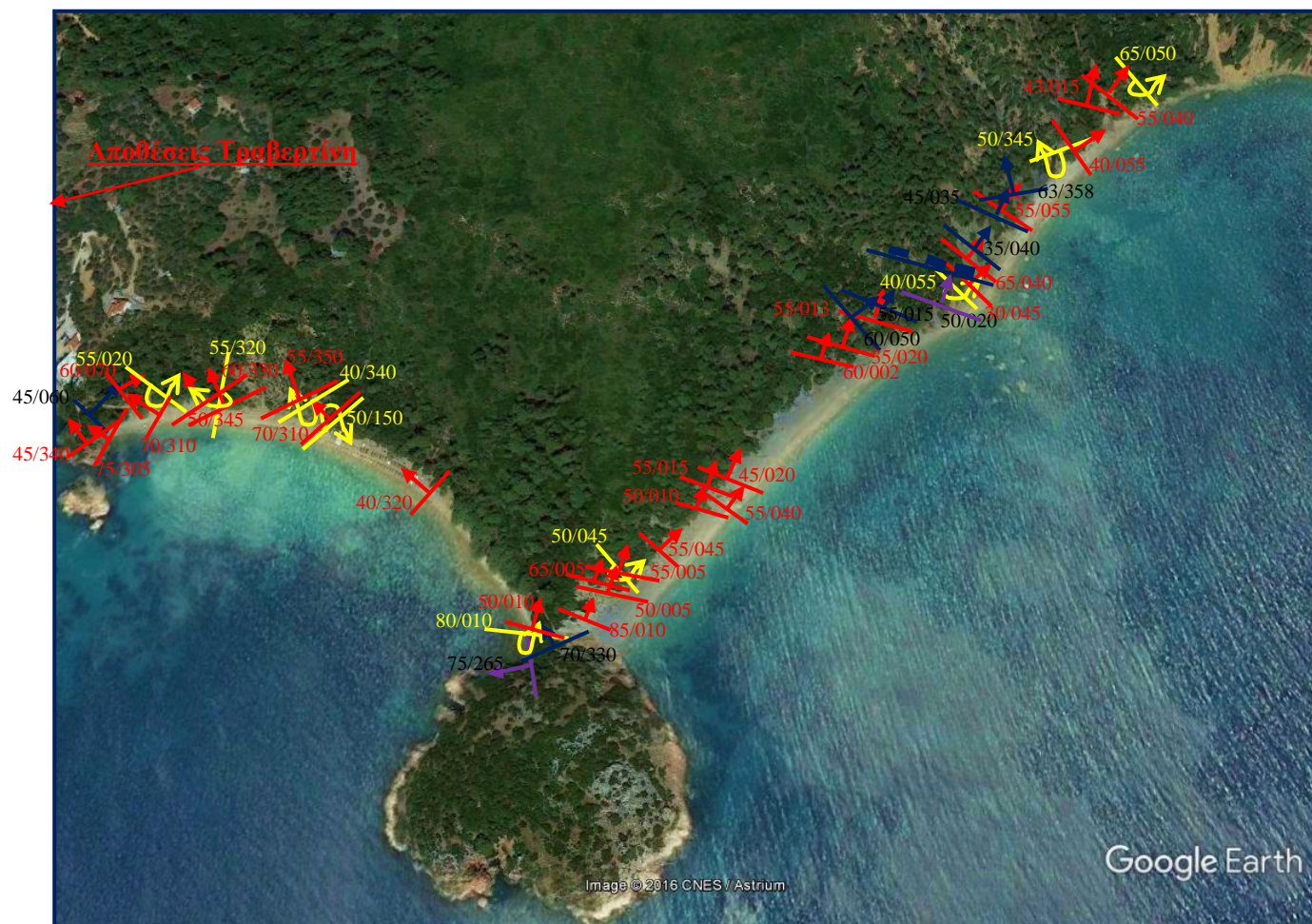
Εικόνα 157. Η εμφάνιση της επαφής που υπάρχει στην Εικ. 156 από κοντά. Τα στοιχεία μιας χαρακτηριστικής κατακλαστικής επιφάνειας (μωβ γραμμή) είναι: 45/340.



Εικόνα 158. Η περιοχή της παραλίας του Βελανιού, όπως φαίνεται στο Google Earth. Οι αριθμοί αντιστοιχούν στις προηγούμενες Εικόνες, όπου βρίσκονται φωτογραφίες εμφανίσεων στα σημεία που δείχνουν τα βέλη.



Εικόνα 159. Η περιοχή της παραλίας του Στάφυλου, όπως φαίνεται στο Google Earth. Οι αριθμοί αντιστοιχούν στις προηγούμενες Εικόνες, όπου βρίσκονται φωτογραφίες εμφανίσεων στα σημεία που δείχνουν τα βέλη.



Εικόνα 160. Γενικότερη άποψη της περιοχής των παραλιών του Στάφυλου και του Βελανιού, όπως φαίνεται στο Google Earth. Έχουν τοποθετηθεί σε διάφορα σημεία τα στοιχεία χαρακτηριστικών επιφανειών επαφής (μπλε χρώμα), ρηγμάτων (μωβ χρώμα), σχιστότητας, στρώσεων και κυρίων διακλάσεων (κόκκινο χρώμα) και αξονικών επιπέδων πτυχών (κίτρινο χρώμα), σύμφωνα με τα δεδομένα που παρατίθενται αναλυτικά στις αντίστοιχες Εικόνες του Κεφαλαίου 3.4. Υπάρχει επίσης ένδειξη της θέσης του κήματος όπου βρίσκεται η εμφάνιση με τις αποθέσεις τραβερίνη, οι οποίες αποτελούν αντικείμενο μελέτης του επόμενου Κεφαλαίου 3.5.

Τα δεδομένα που αφορούν τα στοιχεία επιφανειών σχιστότητας, στρώσεων και κυρίων διακλάσεων για τα πετρώματα των δύο παραλιών καταχωρούνται συγκεντρωτικά στους επόμενους Πίνακες 1 και 2. Στην πρώτη στήλη κάθε Πίνακα καταχωρείται η προσεγγιστική απόσταση του σημείου στο οποίο έγινε η μέτρηση των στοιχείων της κάθε επιφάνειας από την επαφή μεταξύ των ρακών του Ηωελληνικού καλύμματος και των Ανωκρητιδικών ασβεστολίθων, στον «λαιμό» του ακρωτηρίου. Ο υπολογισμός των αποστάσεων αυτών έγινε με χρήση των ορθοφωτογραφιών της περιοχής μελέτης και τα ηλεκτρονικά εργαλεία μέτρησης αποστάσεων που είναι διαθέσιμα στο διαδίκτυο από το Ελληνικό Κτηματολόγιο, στην οικεία ιστοσελίδα του ^[18].

Πίνακας 1. Τα στοιχεία επιφανειών σχιστότητας, στρώσεων και κυρίων διακλάσεων στην παραλία του Βελανιού

Απόσταση από την Επαφή (m).	Μέγιστη Κλίση (°)	Φορά Μέγιστης Κλίσης (°)
10	85	010
45	50	005
50	65	005
65	55	005
85	55	045
150	50	010
155	55	040
160	55	015
170	45	020
320	60	002
335	35	020
370	55	013
425	20	045
435	65	040
505	55	055
590	40	055
640	43	015
650	55	040

Πίνακας 2. Τα στοιχεία επιφανειών σχιστότητας, στρώσεων και κυρίων διακλάσεων στην παραλία του Στάφυλου

Απόσταση από την Επαφή (m).	Μέγιστη Κλίση (°)	Φορά Μέγιστης Κλίσης (°)
10	50	010
150	40	320
250	70	310
280	55	350
305	50	345
315	60	330
340	70	310
350	60	070
365	75	305
375	45	340

Από τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων των Πινάκων 1 και 2 έχουμε τα εξής συγκεντρωτικά αποτελέσματα:

α) Για την περιοχή της παραλίας του Βελανιού:

- Η μέγιστη κλίση σε όλα τα υπόλοιπα σημεία, εκτός από το πλησιέστερο προς την επαφή των ρακών του Ηωελληνικού καλύμματος με τους Ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους, δηλαδή σε 17 σημεία συνολικά, έχει μέση τιμή $(50,47 \pm 11,24)^\circ$, με εύρος τιμών μεταξύ των 20 και 65 μοιρών. Η μέγιστη κλίση στο πλησιέστερο σημείο (απόσταση από την επαφή ~ 10 m) ανέρχεται στις 85° , δηλαδή η αντίστοιχη επιφάνεια σχιστότητας είναι σχεδόν κατακόρυφη.
- Η φορά μέγιστης κλίσης έχει μέση τιμή $(024,44 \pm 18,54)^\circ$ στα 18 σημεία όπου έχει μετρηθεί, με εύρος τιμών μεταξύ των 002 και 055 μοιρών.

β) Για την περιοχή της παραλίας του Στάφυλου:

- Η μέγιστη κλίση στα 10 σημεία όπου έχει μετρηθεί έχει μέση τιμή $(57,5 \pm 11,61)^\circ$, με εύρος τιμών μεταξύ των 40 και 75 μοιρών.
- Η φορά μέγιστης κλίσης στα 8 σημεία που απομένουν, αν εξαιρέσουμε αυτά που αντιστοιχούν στην πρώτη και την όγδοη γραμμή του Πίνακα 2 και αποτελούν ιδιάζουσες περιπτώσεις, έχει μέση τιμή $(326,25 \pm 17,47)^\circ$, με εύρος τιμών μεταξύ των 305 και 350 μοιρών.

Στην επόμενη Εικόνα 161 τοποθετούνται στρογγυλοποιημένες οι παραπάνω μέσες τιμές σε διαστημική φωτογραφία των θέσεων Στάφυλου και Βελανιού από το Google Earth.



Εικόνα 161. Η θέσεις του Στάφυλου και του Βελανιού, με τοποθετημένα σε αυτές τα στοιχεία της επιφάνειας επαφής στον «λαιμό» του ακρωτηρίου (μπλε χρώμα), των επιφανειών σχιστότητας στις δύο πλησιέστερες προς αυτή την επαφή εμφανίσεων και τις μέσες τιμές των στοιχείων των επιφανειών σχιστότητας, στρωμάτωσης και κυρίων διακλάσεων στις δύο περιοχές (κόκκινο χρώμα). Στην παραλία Στάφυλου η μέση τιμή των στοιχείων αυτών είναι 57/326 ενώ στην παραλία Βελανιού είναι 50/025. Η επιφάνεια επαφής των δύο ενότητων έχει στοιχεία 70/330, ενώ οι δύο πλησιέστερες εμφανίσεις στην επιφάνεια επαφής έχουν επιφάνειες σχιστότητας 50/010 (στην πλευρά του Στάφυλου) και 85/010 (στην πλευρά του Βελανιού). Με διακεκομμένη γραμμή υποδεικνύεται μια πιθανή διασύνδεση μεταξύ των τεκτονικών καθεστώτων στις δύο περιοχές.

3.5. ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗ ΣΤΟΝ ΣΤΑΦΥΛΟ

Οι στυλοειδείς σχηματισμοί της εμφάνισης των επόμενων Εικόνων 162-166 είναι αποθέσεις τραβερτίνη, όπως αποδεικνύεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3.8 που ακολουθεί και πραγματεύεται την πετρολογία των διαφόρων θέσεων όπου εστίασαμε τη μελέτη μας.

Η εμφάνιση αυτή βρίσκεται στον Στάφυλο, περίπου 200 m βορειοδυτικά από τα σκαλιά της εισόδου στην ομώνυμη παραλία, μέσα σε περιφραγμένο κτήμα. Οι συντεταγμένες θέσης της εμφάνισης είναι: Γεωγρ. πλάτος $39^{\circ} 5' 13.72''$ N, Γεωγρ. μήκος $23^{\circ} 44' 47.41''$ E (σύμφωνα με τους χάρτες που είναι διαθέσιμοι από την ιστοσελίδα του Google Earth).



Εικόνα 162. Συνολική άποψη της εμφάνισης αποθέσεων τραβερτίνη στον Στάφυλο. Είναι εμφανής η κλίση που έχει ως προς την κατακόρυφη διεύθυνση στην περιοχή η εμφάνιση των στυλοειδών αποθέσεων τραβερτίνη. Στη διάρκεια του σχηματισμού της απόθεσης, προφανώς, η διεύθυνση ανάπτυξης των στυλοειδών αποθέσεων ταυτίζονταν με την κατακόρυφη διεύθυνση στην περιοχή. Διεύθυνση φωτογραφίας NW-SE.



Εικόνα 163. Η εμφάνιση αποθέσεων τραβερτίνη στον Στάφυλο σε κοντινότερο πλάνο. Διεύθυνση φωτογραφίας NW-SE.



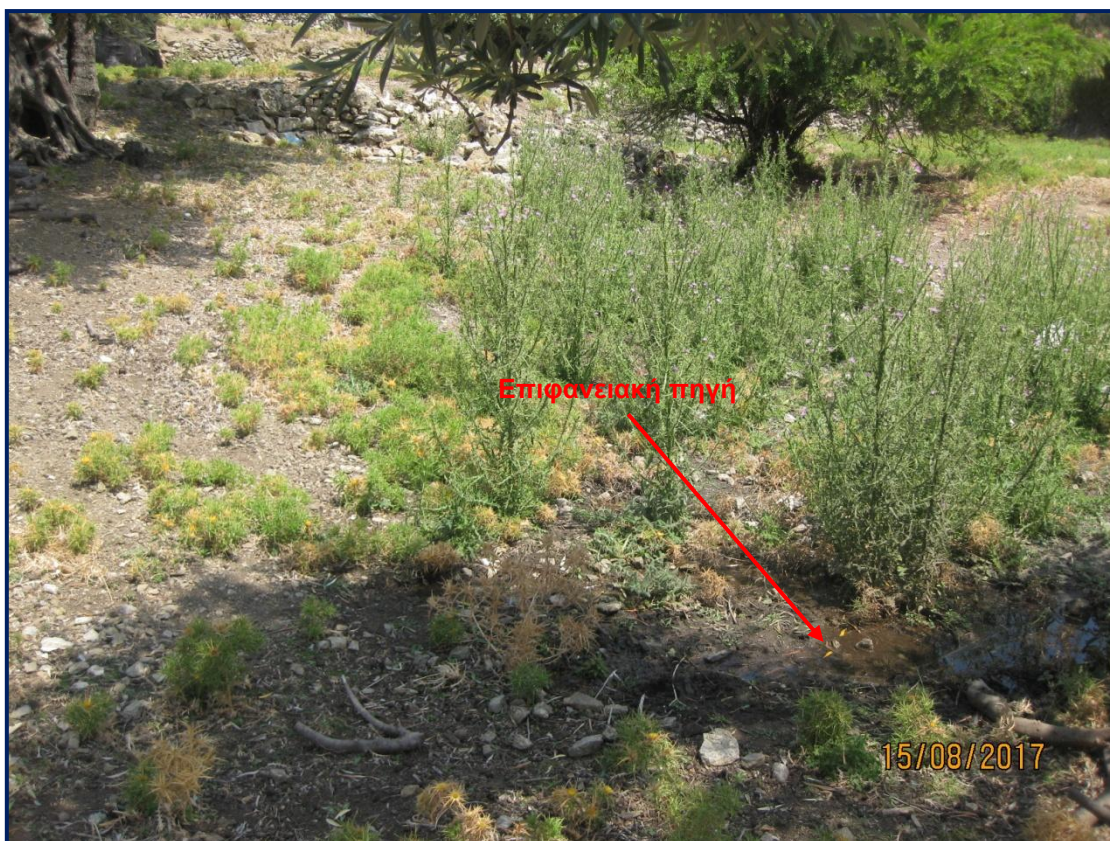
Εικόνα 164. Η εμφάνιση αποθέσεων τραβερτίνη στον Στάφυλο από διαφορετική οπτική γωνία. Στα αριστερά του κύριου σχηματισμού στυλοειδών αποθέσεων, που χαρακτηρίζονται από λευκοκίτρινες στήλες τραβερτίνη σχεδόν παράλληλες μεταξύ τους, διακρίνεται ένας δευτερεύων σχηματισμός με όχι τόσο ευδιάκριτες στήλες γκριζωπού χρώματος και μεγαλύτερης απόκλισης από την κατακόρυφο (βέλος). Διεύθυνση φωτογραφίας N-S.



Εικόνα 165. Η εμφάνιση αποθέσεων τραβερτίνη στον Στάφυλο σε κοντινότερο πλάνο.



Εικόνα 166. Η εμφάνιση αποθέσεων τραβερτίνη στον Στάφυλο σε πολύ κοντινά πλάνα.



Εικόνα 167. Οι επιφανειακές πηγές κοντά στην εμφάνιση αποθέσεων τραβερίνη ,στον Στάφυλο.

Στην ίδια περιοχή, σε απόσταση περίπου 50 m ανατολικά από την θέση της εμφάνισης των αποθέσεων τραβερίνη, και σήμερα υπάρχουν πηγές που εκφορτίζουν νερό με θερμοκρασία περιβάλλοντος (Εικ. 167). Υπήρχε μάλιστα μια χαμηλή ροή ακόμη και στις 15

Αυγούστου που έγινε η επίσκεψη στον χώρο, αν και είχε να βρέξει από τον Ιούνιο. Την ίδια εποχή λίγο ψηλότερα, στην πλαγιά του βουνού, και πιο χαμηλά, ακριβώς πριν τα σκαλάκια της εισόδου στην παραλία του Στάφυλου και στο ανατολικό άκρο της παραλίας του Βελανιού, εκφορτίζουν πηγές γλυκού νερού με αξιοσημείωτη παροχή, της τάξεως των 10 L/min. Επομένως τα υπόγεια αποθέματα νερού στην περιοχή που περιβάλλει την εμφάνιση των αποθέσεων τραβερτίνη είναι ακόμη και σήμερα αρκετά σημαντικά.



Εικόνα 168. Οι σύγχρονες αποθέσεις τραβερτίνη στο Εθνικό Πάρκο Yellowstone των ΗΠΑ, στη θέση Mammoth Hot Springs (πάνω, [Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/Travertine>]) και στο Pamukkale της Τουρκίας (κάτω, [Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/Pamukkale>]), όπου εκφορτίζουν σε μεγάλη έκταση θερμές πηγές. Η ομοιότητα με τις αποθέσεις τραβερτίνη στον Στάφυλο είναι μεγάλη.

Οι παρατηρήσεις που έγιναν *in situ* στην εμφάνιση των αποθέσεων τραβερτίνη στον Στάφυλο μας έδωσαν τα εξής αποτελέσματα:

- Τα κεκλιμένα επίπεδα από τα οποία ξεκινούν οι στυλοειδείς σχηματισμοί, έχουν κατά μ.ο. στοιχεία: 30/120.
- Οι στυλοειδείς σχηματισμοί είναι εν γένει κάθετοι στα παραπάνω επίπεδα, επομένως οι άξονες ανάπτυξής τους σχηματίζουν κατά μ.ο. γωνίες της τάξεως των 30° με την κατακόρυφο, στο κύριο τμήμα της εμφάνισης. Στο δευτερεύον τμήμα της εμφάνισης, όπου υπάρχουν όχι καλά διατηρημένοι γκριζωποί στυλοειδείς σχηματισμοί, οι γωνίες αυτές είναι ακόμη μεγαλύτερες.
- Η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της βάσης και της κορυφής του ογκόλιθου ισούται προσεγγιστικά με 4,3 m, ενώ το μέγιστο ορατό πλάτος του είναι 2,4 m.
- Οι περισσότεροι καλά αναπτυγμένοι στυλοειδείς σχηματισμοί έχουν μήκη μεταξύ 20 και 30 cm και πάχη 1 – 5 cm.
- Το φέρον πέτρωμα, πάνω στο οποίο έχουν αναπτυχθεί οι αποθέσεις τραβερτίνη, είναι ασβεστολιθικής φύσεως, όπως προέκυψε από επί τόπου δοκιμές και πετρογραφική εξέταση δείγματος στο εργαστήριο.

Στην Εικόνα 168 παρατίθενται φωτογραφίες από τις σύγχρονες αποθέσεις τραβερτίνη στο Εθνικό Πάρκο Yellowstone των ΗΠΑ, στη θέση Mammoth Hot Springs, και στο Pamukkale της Τουρκίας ^[19, 20]. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις σύγχρονων αποθέσεων τραβερτίνη, πάνω στο φέρον πέτρωμα εκφορτίζουν σε μεγάλη έκταση θερμές πηγές, τα ύδατα των οποίων περιέχουν σε διάλυση υψηλές συγκεντρώσεις ανθρακικών αλάτων, κυρίως ανθρακικού ασβεστίου και όξινου ανθρακικού ασβεστίου. Χρονολόγηση με τη μέθοδο ισοτόπων U/Th έδειξε ότι στο Pamukkale οι αποθέσεις τύπου «σχισμογενών ράχων» (βλ. παρακάτω) είναι ενεργές τα τελευταία 54.700 ± 5600 χρόνια, ενώ οι παλαιότερες αποθέσεις έχουν ηλικία άνω των 400.000 ετών ^[22].

Αντιπαραβολή της Εικόνας 168 με τις εικόνες από την εμφάνιση αποθέσεων τραβερτίνη στον Στάφυλο που προηγήθηκαν, μας κάνει να υποθέσουμε πως και στην περιοχή του Στάφυλου λειτουργούσαν στο γεωλογικό παρελθόν πηγές, τα νερά των οποίων χαρακτηρίζονταν από υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένων ανθρακικών αλάτων. Αυτές οι πηγές είχαν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία των αποθέσεων τραβερτίνη, που αρχικά ήταν στυλοειδείς σχηματισμοί σε κατακόρυφη διεύθυνση, παρόμοιοι με αυτούς των σύγχρονων αποθέσεων. Στη συνέχεια οι θερμές πηγές έπαψαν να λειτουργούν, οπότε η ανάπτυξη των στυλοειδών σχηματισμών τερματίστηκε. Μπορούμε ακόμη να υποθέσουμε ότι σε μεταγενέστερες εποχές η περιοχή υπέστη περιστροφή, λόγω της δράσης ενδογενών δυνάμεων, με αποτέλεσμα την παρατηρούμενη σήμερα εικόνα των στυλοειδών σχηματισμών σε μεγάλη απόκλιση από την κατακόρυφη διεύθυνση. Το βάθος χρόνου, στο οποίο συνέβησαν οι διαδικασίες απόθεσης, δεν έχει εκτιμηθεί στην παρούσα εργασία. Ίσως ακόμη και σήμερα να συνεχίζεται αυτή η δράση ενδογενών δυνάμεων και η περιστροφή, σύμφωνα με τις ενδείξεις που μας παρέχουν σύγχρονες μέθοδοι τηλεπισκόπησης (GPS) για τις σχετικές μετατοπίσεις επιφανειακών σημείων μεταξύ της Σκοπέλου και της Βόρειας Εύβοιας (βλ. Κεφάλαιο 4).

3.5.1. Φυσικοχημικές Συνθήκες Περιβαλλόντων Απόθεσης Τραβερτίνη

Προκειμένου να αποκτηθεί μια εικόνα του παλαιοπεριβάλλοντος στην περιοχή του Στάφυλου, όταν σχηματίστηκε η εμφάνιση των αποθέσεων τραβερτίνη που μελετάμε, θα παρεμβάλλουμε στο σημείο αυτό μια σύντομη ανασκόπηση της σύγχρονης επιστημονικής βιβλιογραφίας, σχετικά με τις φυσικοχημικές συνθήκες που επικρατούν στα χερσαία

περιβάλλοντα απόθεσης ανθρακικών πετρωμάτων και κυρίως τραβερτίνη. Η παρεμβολή αυτή ενός θεωρητικού μέρους μέσα στην έκθεση των αποτελεσμάτων της εργασίας μας στο ύπαιθρο κρίνουμε ότι είναι απαραίτητη, γιατί η εμφάνιση αποθέσεων τραβερτίνη στον Στάφυλο δεν αναφέρεται σε καμία από τις μέχρι τώρα δημοσιευθείσες εργασίες για τη Σκόπελο και θεωρούμε ότι έχει ιδιαίτερη σημασία για τη σκιαγράφηση του τεκτονικού καθεστώτος της περιοχής στον σχετικά πρόσφατο γεωλογικό χρόνο.

Ο τραβερτίνης αποτελεί ένα σκληρό ηπειρωτικής προέλευσης ιζηματογενές πέτρωμα, ένα είδος ασβεστολίθου, το οποίο σχηματίζεται από την καθίζηση ανθρακικών ορυκτών που βρίσκονται διαλυμένα σε υπόγεια ή επιφανειακά νερά, ή/και σε γεωθερμικής προέλευσης νερά θερμών πηγών. Συνήθως έχει μια ινώδη ή ομοκεντρική ανάπτυξη και απαντάται σε διάφορες αποχρώσεις, κυρίως λευκές, σκουρόχρωμες, κρεμώδεις, ακόμη και σκωριώδεις. Σχηματίζεται με μια διαδικασία ταχείας καθίζησης ανθρακικού ασβεστίου, συνήθως στο στόμιο μιας θερμής πηγής ή μέσα σε ένα ασβεστολιθικό σπήλαιο. Στην τελευταία περίπτωση μπορεί να σχηματισθούν σταλακτίτες, σταλαγμίτες ή και άλλες μορφές σπηλαιοαποθέσεων. Χρησιμοποιείται συχνά ως δομικό υλικό, στην Ιταλία και αλλού.^[19]

Παρόμοιες με τους τραβερτίνες αποθέσεις, πιο μαλακές όμως και ακραία πορώδεις, σχηματίζονται από καθίζηση ανθρακικών ορυκτών τα οποία βρίσκονται διαλυμένα σε γλυκά νερά με θερμοκρασία περιβάλλοντος και είναι γνωστές ως ασβεστιτικοί τόφφοι (ή τούφες) (tufas).^[19]

Οι σύγχρονες αποθέσεις τραβερτίνη σχηματίζονται από υπέρκορα υπόγεια νερά, υψηλών σχετικά θερμοκρασιών, μέσω της γεωθερμίας. Αυτά τα υπόγεια νερά χαρακτηρίζονται από αυξημένη pCO_2 (μερική πίεση διαλυμένου CO_2), επομένως έχουν όξινο χαρακτήρα και μπορούν να διαλύσουν εύκολα τα ανθρακικά πετρώματα μέσα από τα οποία διέρχονται κατά την ανοδική τους πορεία. Κατά την εκφόρτισή τους, τα νερά απελευθερώνουν CO_2 λόγω της χαμηλότερης ατμοσφαιρικής pCO_2 , με αποτέλεσμα μια αύξηση στο pH τους. Επειδή η διαλυτότητα των ανθρακικών αλάτων μειώνεται με την αύξηση του pH, η καθίζησή τους στην περίπτωση αυτή επάγεται. Η καθίζηση ανθρακικών μπορεί επίσης να αυξηθεί μέσω κάθε παράγοντα που οδηγεί σε πτώση της pCO_2 , πχ με τη φωτοσύνθεση σε υδάτινα οικοσυστήματα ή την έντονη εξάτμιση.^[19]

Από ορυκτολογικής απόψεως, στους τραβερτίνες των θερμών πηγών συναντάμε κυρίως ασβεστίτη και αραγωνίτη. Ο αραγωνίτης καθιζάνει κατά προτίμηση σε υψηλές θερμοκρασίες, ενώ ο ασβεστίτης επικρατεί σε ψυχρότερα περιβάλλοντα. Όταν ο τραβερτίνης είναι καθαρός έχει λευκό χρώμα, αλλά συχνά είναι καφέ προς κίτρινος λόγω παρουσίας προσμίξεων (κυρίως ανθρακικών αλάτων του σιδήρου). Ο τραβερτίνης μπορεί να αποτεθεί απευθείας πάνω σε βράχους και άλλα αδρανή υλικά, όπως συμβαίνει στις περιπτώσεις των Mammoth Hot Springs και Pamukkale (βλ Εικ. 168).^[19]

Οι αποθέσεις τραβερτίνη κάποιες φορές βρίσκονται σε ενεργές τεκτονικά περιοχές, όπου αναβλύζουν υδροθερμικά νερά από την κυκλοφορία τους στα βαθύτερα στρώματα του φλοιού. Με ελάχιστες εξαιρέσεις (πχ σε λεκάνες με υψηλούς ρυθμούς ιζηματογένεσης ή σε ξηρές κλιματικές ζώνες), αυτά τα ανθρακικά πετρώματα γλυκών υδάτων είναι επιρρεπή στη διάβρωση από τη συνεχιζόμενη ροή του ποταμού και συνεπώς δεν μπορούν να διατηρηθούν στο γεωλογικό αρχείο. Μια μερική καταγραφή των ανθρακικών πετρωμάτων που έχουν προέλθει από ποταμούς ή πηγές διατηρείται συνήθως σε αποθέσεις του Τεταρτογενούς, όμως η καταγραφή σε παλαιότερες αποθέσεις είναι στις περισσότερες περιπτώσεις αποσπασματική και συχνά τροποποιημένη λόγω διαγένεσης. Αφ' ότου γίνει κατανοητή η μοναδική αρχιτεκτονική τους (και η εξειδικευμένη ονοματολογία), αυτά τα ανθρακικά πετρώματα παρέχουν ένα σημαντικό ιστορικό των προηγούμενων ιζηματολογικών κύκλων και έχουν μεγάλη αξία στη μοντελοποίηση του τοπίου του παλαιότερου περιβάλλοντος.^[21]

Η σύγχρονη έρευνα σχετικά με τις αποθέσεις ανθρακικών σε ηπειρωτικά περιβάλλοντα εστιάζει στην απόκτηση πληροφοριών που ερμηνεύουν τον τρόπο λειτουργίας των ενεργών συστημάτων. Από την άποψη αυτή, οι ασβεστιτικοί τόφφοι αποκαλύπτουν σε μεγάλο βαθμό τον τρόπο με τον οποίο η καθίζηση των ανθρακικών αλάτων είναι ένα κοινό προϊόν φυσικοχημικών και μικροβιολογικών διεργασιών ιζηματογένεσης. Ομοίως, οι τραβερτίνες δεν παρουσιάζουν μόνο στενή συσχέτιση με τον ενεργό τεκτονισμό, αλλά παρέχουν επίσης μεγάλες δυνατότητες στη σχετική με τα παλαιοπεριβάλλοντα έρευνα, ως μέσα εκτίμησης της έντασης ηφαιστειακών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα του παρελθόντος. Επιπλέον, και οι τόφφοι και οι τραβερτίνες περιέχουν παλυνολογικές καταγραφές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αντιπροσωπευτικοί δείκτες της κλιματικής αλλαγής. Ίσως κανένας άλλος τομέας της ιζηματολογίας δεν έχει επιδείξει περισσότερες εξελίξεις και εφαρμογές σε μια τόσο σύντομη περίοδο μελέτης, όσο αυτός των αποθέσεων ανθρακικών σε χερσαία περιβάλλοντα τα τελευταία χρόνια. ^[21]

Οι τραβερτίνες παρουσιάζουν μικρότερη ποικιλομορφία μακροφάσεων συγκριτικά με τα συστήματα τόφφων, λαμβανομένων υπόψιν της σχετικά περιορισμένης πλευρικής εξάπλωσής τους και του μικρότερου περιεχομένου τους σε απολιθώματα. Εμφανίζουν, ωστόσο, μια αρκετά σύνθετη σειρά μικρολιθότυπων που σχετίζονται με βακτηριακή και φυσικοχημική καθίζηση. Καθώς η θερμοκρασία του νερού πέφτει προς το όριο της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, οργανισμοί εξελικτικά ανωτέρων τάξεων είναι ικανοί να δημιουργήσουν αποικίες και το σύστημα βαθμιαία μεταπίπτει σε κατάσταση αποθέσεων τόφφου. Όμως, τα θερμά νερά συχνά περιέχουν και κάποιες τοξικές ουσίες, πχ σουλφίδια και άλλα μεταλλικά άλατα, τα οποία επηρεάζουν δυσμενώς τις διαδικασίες δημιουργίας αποικιών από θερμόφιλα βακτήρια και ενδέχεται να αποτρέψουν την ανάπτυξη της βιοκοινότητας έως το επίπεδο της κλίμακας. ^[22]

Διακρίνονται γενικά δύο κύρια συστήματα αποθέσεων τραβερτίνη:

A) Σχισμογενείς Ράχες (Fissure ridges)

Σε περιοχές που είναι επιρρεπείς σε ρηγματώσεις, υδροθερμικά θερμά νερά (και αέρια) συχνά αναδύονται κατά μήκος σχισμών που επαναλαμβάνονται. Το μεγαλύτερο ποσοστό των κρυσταλλικών ανθρακικών κατακρημνίζεται στην άμεση γειτονία των σχισμών προκύπτουν ράχες στενές και ψηλές, που αποτελούνται από μεγάλες ποσότητες τραβερτίνη. Κάποιες αποθέσεις αυτού του τύπου αναπτύσσονται μια χαρακτηριστική διακεκομμένη ενδιάμεση κοιλάδα ή μια ελλειπτική κατάπτωση πάνω από την ανάδυση και αυτό μπορεί στη συνέχεια να εξελιχθεί σε μια πισίνα θερμού νερού. Επίσης, δομές μορφής πυργίσκου αναπτύσσονται από την εκφόρτιση σημειακών πηγών ύδατος. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων απόθεσης τραβερτίνη έχουμε στο Pamukkale της Τουρκίας και στο Rapolano Terme της κεντρικής Ιταλίας, καθώς και σε πλείστες άλλες περιοχές με θερμές πηγές. ^[22]

B) Αναβαθμίδες (Terraces)

Σύνθετες αποθέσεις τραβερτίνη, που μοιάζουν με αναβαθμίδες, αναπτύσσονται σαν λοβοειδή επίπεδα φύλλα σε μian απόσταση από αναδύσεις θερμών υδάτων. Γενικά, είναι πιο απότομες προς το μπροστινό τους μέρος, όπου συχνά συνδέονται με υδρορροές, μικρούς καταράκτες και φθίνουσες σειρές ρηχών τοξοειδών δεξαμενών. Όπως και στον προηγούμενο τύπο αποθέσεων, δομές μορφής πυργίσκου αναπτύσσονται από την εκφόρτιση σημειακών πηγών ύδατος. Οι αποθέσεις αυτές είναι πολύ καλά λιθοποιημένες, έχοντας μορφή φύλλων με λείες κορυφές. Μια παραλλαγή αυτών είναι τα φύλλα πρόσοψης που αναπτύσσονται ως ευρεία επίπεδη εξάπλωση προς τα κάτω, στις πλευρές των αποθέσεων από θερμικές σχισμές. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων απόθεσης έχουμε εν μέρει στο Pamukkale της Τουρκίας, στο Mammoth Hot Springs (Yellowstone, USA) κλπ. ^[22]

3.6. ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΠΑΡΧΙΑΚΗ ΟΔΟ ΣΤΑΦΥΛΟΥ – ΑΓΝΩΝΤΑ

Στην επαρχιακή οδό που συνδέει τον Στάφυλο με τον Αγνώντα παρατηρήσαμε τα πετρώματα που εμφανίζονται στην πλευρά της οδού που βρίσκεται προς την ενδοχώρα, σε ένα τμήμα της μήκους περίπου 1500 m από τη διασταύρωση του Στάφυλου (βλ. Εικόνα 169).



Εικόνα 169. Η περιοχή όπου έγιναν παρατηρήσεις εμφανίσεων στην επαρχιακή οδό που συνδέει τον Στάφυλο με τον Αγνώντα, στο πλαίσιο μιας γενικότερης εικόνας της νοτιοανατολικής Σκοπέλου.

Ξεκινώντας από τον Στάφυλο και προχωρώντας προς τα νοτιοδυτικά συναντήσαμε αρχικά εμφανίσεις Ανωκρητιδικών ασβεστολίθων και στη συνέχεια περάσαμε στην περιοχή των Τριαδικών δολομιτών, όπως διαπιστώσαμε εφαρμόζοντας το κριτήριο του υδροχλωρικού οξέος (οι ασβεστόλιθοι ανέβραζαν, όταν ρίχναμε πάνω τους σταγόνες HCl, ενώ οι δολομίτες όχι). Εντοπίσαμε έτσι τη θέση της στρωματογραφικής επαφής μεταξύ των ασβεστολίθων (υπερκείμενοι) και των δολομιτών (υποκείμενοι), η οποία φαίνεται στις φωτογραφίες που παρατίθενται στις Εικόνες 174, 175. Καταγράψαμε επίσης τα στοιχεία τόσο της ως άνω επιφάνειας επαφής όσο και άλλων χαρακτηριστικών τεκτονικών παραμέτρων, όπως άξονες πτυχών και επίπεδα πτυχών, ρηγμάτων και κυρίων διακλάσεων. Οι σχετικές φωτογραφίες και τα στοιχεία που καταγράψαμε παρατίθενται στις επόμενες Εικόνες 170-177.



Εικόνα 170. Πτυχή κεκλιμένη βυθιζόμενη, ~ 100 m νοτιοδυτικά της διασταύρωσης Στάφυλου. Στοιχεία αξονικού επιπέδου πτυχής (μωβ γραμμή): 60/030. Βύθιση άξονα πτυχής: 45/120.



Εικόνα 171. Γενικότερη άποψη της τομής δίπλα στην επαρχιακή οδό, όπου εμφανίζεται η πτυχή της Εικ. 170.



Εικόνα 172. Ρήγμα ανάστροφο, ~ 350 m νότια της διασταύρωσης Στάφυλου. Στοιχεία επιπέδου ρήγματος (μωβ γραμμή): 50/290.



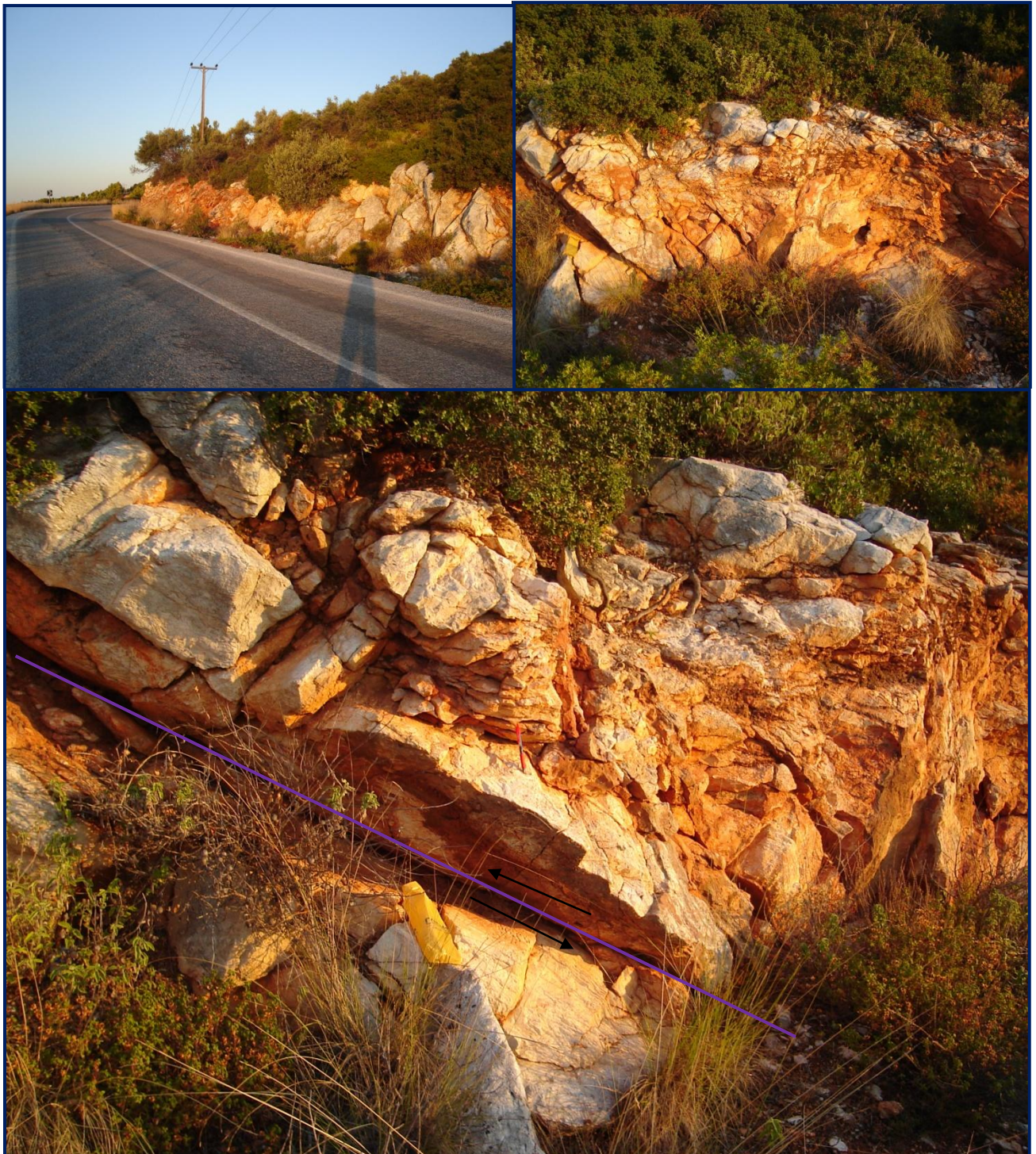
Εικόνα 173. Εμφάνιση Ανκρητιδικών ασβεστολίθων στην τομή του δρόμου, σε ακτινική απόσταση 470 m νοτιοδυτικά από τη διασταύρωση Στάφυλου. Μετρήσεις στοιχείων σε χαρακτηριστικές κύριες επιφάνειες διάκλασης έδωσαν μέση τιμή: 42/040.



Εικόνα 174. Η θέση στην οποία εντοπίσαμε τη μετάβαση από τους Ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους (βορειοανατολικά) στους Τριαδικούς δολομίτες της πελαγονικής ενότητας (νοτιοδυτικά), σε ακτινική απόσταση 540 m νοτιοδυτικά από τη διασταύρωση Στάφυλου. Είναι χαρακτηριστική η συχνή εμφάνιση κοκκινόχρωμων πηλιτικών ενδιαστρώσεων στην περιοχή των ασβεστολίθων, οι οποίες σπανίζουν στην περιοχή των δολομιτών. Στην τρίτη κατά σειρά φωτογραφία σημειώνεται με μωβ γραμμή η επιφάνεια την οποία θεωρήσαμε ως επιφάνεια επαφής μεταξύ των δύο σχηματισμών. Μέτρηση σε δύο σημεία των στοιχείων της έδωσε μέση τιμή: 50/010.



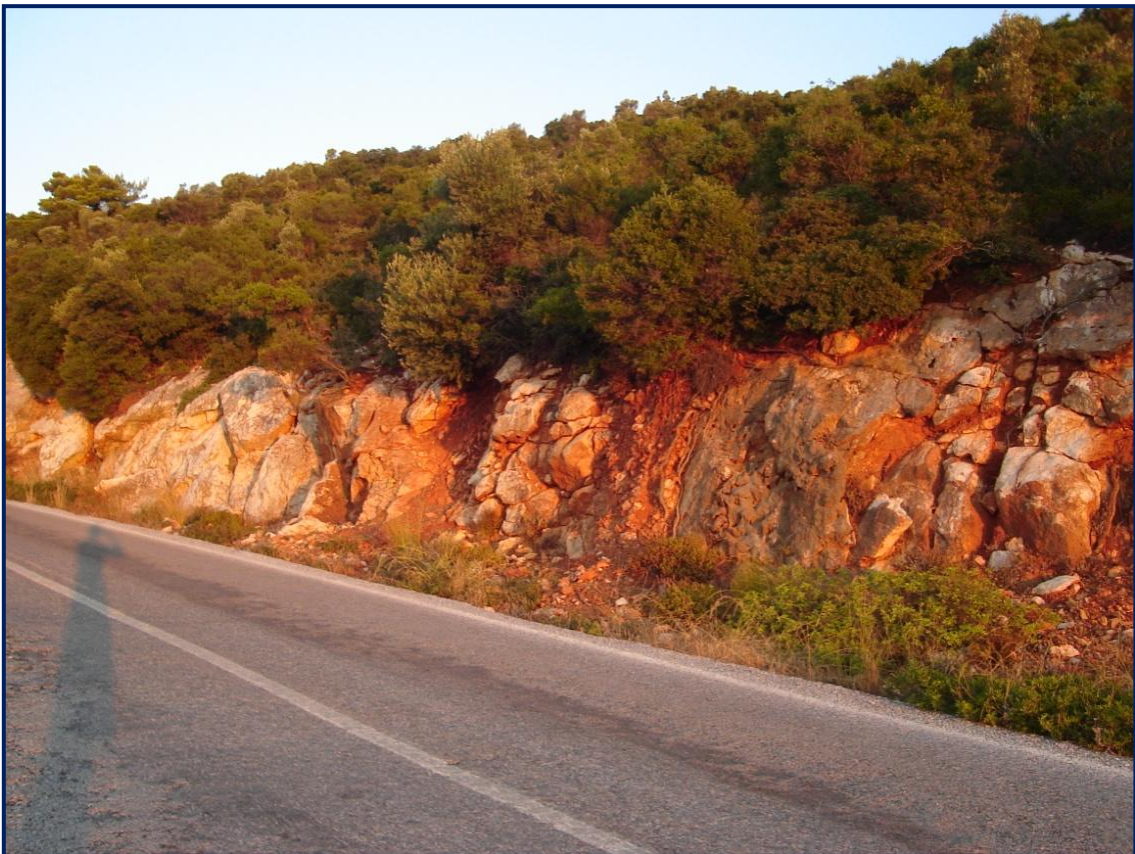
Εικόνα 175. Η στρωματογραφική επαφή των υποκείμενων δολομιτών της πελαγονικής ενότητας (νοτιοδυτικά) με τους υπερκείμενους ασβεστόλιθους (βορειοανατολικά), όπως φαίνεται από το ακρωτήριο Στάφυλος. Η θέση της επαφής εκτιμάται ότι βρίσκεται πίσω από το ιστιοφόρο (μωβ γραμμή), οπότε από τις κλίσεις των επιφανειών των διακλάσεων στους ασβεστολίθους εκεί μπορούμε να προσδιορίσουμε για αυτή μια κλίση περίπου 60° και φορά μέγιστης κλίσης NNE. Η φωτογραφία έχει διεύθυνση SSW-NNE. (Βλ. σχετικά και Εικόνα 174, με φωτογραφίες από τη θέση που δείχνει το βέλος, όπου μετρήθηκαν τα στοιχεία της επιφάνειας επαφής: 50/010).



Εικόνα 175. Ανάστροφο ρήγμα στην περιοχή των δολομιτών, σε ακτινική απόσταση ~700 m νοτιοδυτικά από τη διασταύρωση Στάφυλου. Στοιχεία επιφάνειας ρήγματος: 45/090.



Εικόνα 176. Εμφάνιση στην περιοχή των δολομιτών, σε ακτινική απόσταση ~900 m νοτιοδυτικά από τη διασταύρωση Στάφυλου. Στοιχεία χαρακτηριστικής επιφάνειας διάκλασης: 30/055.



Εικόνα 177. Εμφάνιση στην περιοχή των δολομιτών, σε ακτινική απόσταση ~1.100 m νοτιοδυτικά από τη διασταύρωση Στάφυλου. Στοιχεία χαρακτηριστικής επιφάνειας διάκλασης: 40/075.



Εικόνα 178. Η περιοχή της επαρχιακής οδού που συνδέει τον Στάφυλο με τον Αγνώντα, όπου έγιναν παρατηρήσεις εμφανίσεων, όπως φαίνεται στο Google Earth. Οι αριθμοί αντιστοιχούν στις προηγούμενες Εικόνες, όπου βρίσκονται φωτογραφίες εμφανίσεων στα σημεία που δείχνουν τα βέλη. Έχουν τοποθετηθεί σε διάφορα σημεία τα στοιχεία χαρακτηριστικών επιφανειών επαφής, ρηγμάτων, διάκλασης και αξονικών επιπέδων πτυχών, σύμφωνα με τα δεδομένα που παρατίθενται αναλυτικά στις λεζάντες των προηγούμενων Εικόνων του Κεφαλαίου 3.6. Η μέση τιμή των στοιχείων αυτών είναι 35/042.

Τα δεδομένα που αφορούν τα στοιχεία των επιφανειών κυρίων διακλάσεων, της επιφάνειας επαφής ασβεστολίθων/δολομιτών και του αξονικού επιπέδου πτυχής που μετρήσαμε στην περιοχή αυτή της επαρχιακής οδού Στάφυλου - Αγνώντα καταχωρούνται συγκεντρωτικά στον επόμενο Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Τα στοιχεία των επιφανειών κυρίων διακλάσεων, της επιφάνειας επαφής ασβεστολίθων/δολομιτών και του αξονικού επιπέδου πτυχής που μετρήθηκαν στην επαρχιακή οδό Στάφυλου – Αγνώντα.

Απόσταση από την Διασταύρωση (m).	Μέγιστη Κλίση (°)	Φορά Μέγιστης Κλίσης (°)
100	60	030
470	42	040
540	50	010
900	30	055
1100	40	075

Από τα δεδομένα του Πίνακα 3 προκύπτει ότι η μέση τιμή των στοιχείων χαρακτηριστικών επιφανειών τεκτονικού ενδιαφέροντος (εκτός των ρηγμάτων) για την περιοχή αυτή είναι (προσεγγιστικά) 35/042.

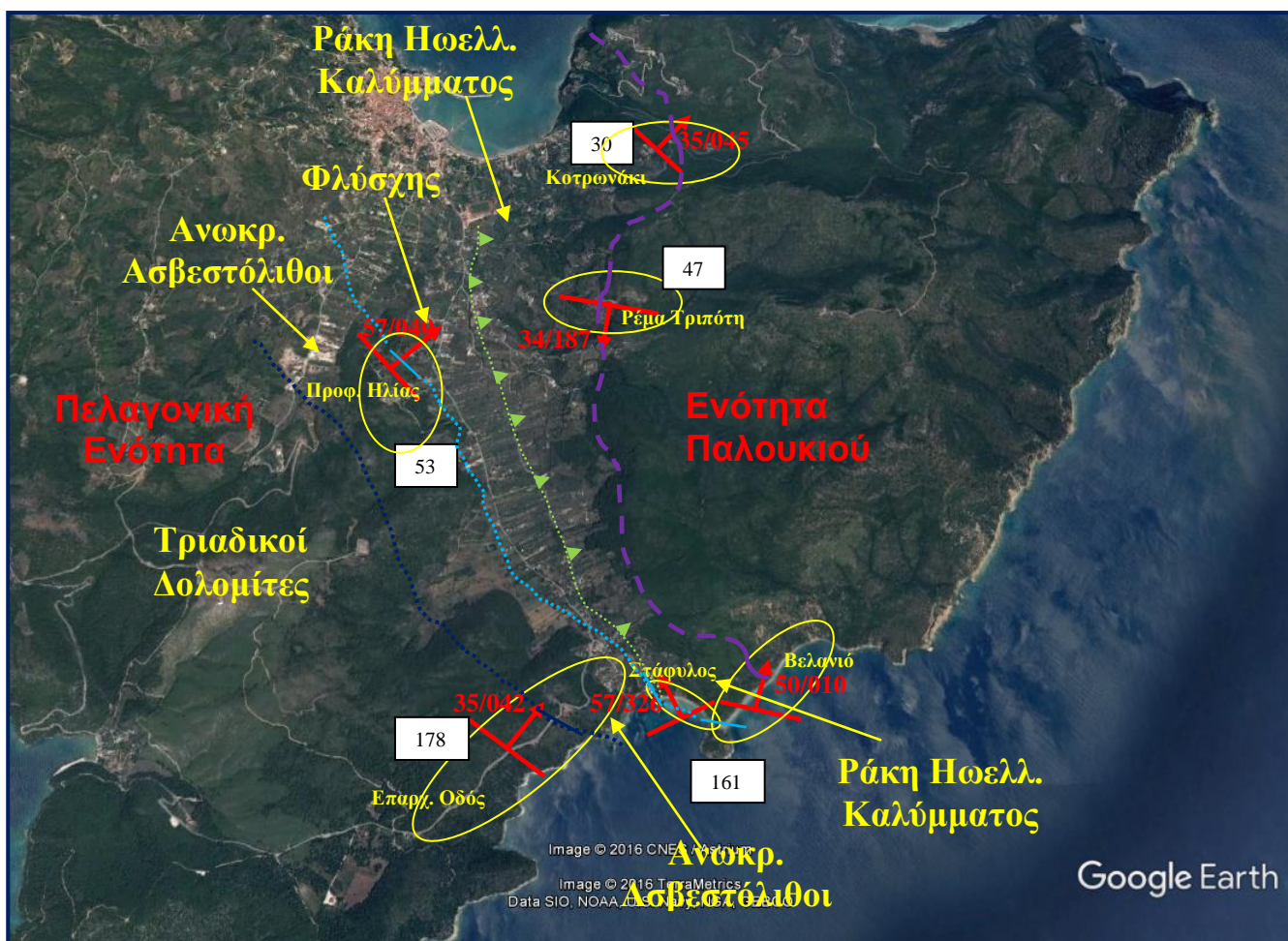
3.7. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ ΣΤΑ ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΣΚΟΠΕΛΟΥ

Στο σημείο αυτό μπορούμε να κάνουμε μια συνολική αποτίμηση της μέχρις εδώ εργασίας μας στο πεδίο, όσον αφορά τα στοιχεία χαρακτηριστικών επιφανειών τεκτονικού ενδιαφέροντος στις περιοχές που ήδη μελετήσαμε στο νοτιοανατολικό τμήμα της Σκοπέλου, καταχωρώντας τις μέσες τιμές των στοιχείων αυτών στον Πίνακα 4 που ακολουθεί, με βάση τις πληροφορίες που υπάρχουν στις Εικόνες 30, 47, 53, 178 και 161.

Πίνακας 4. Οι μέσες τιμές των στοιχείων χαρακτηριστικών επιφανειών τεκτονικού ενδιαφέροντος στις περιοχές μελέτης μας στη νοτιοανατολική Σκόπελο.

Περιοχή Μελέτης	Μέγιστη Κλίση (°)	Φορά Μέγιστης Κλίσης (°)
Κοτρωνάκι	35	045
Ρέμα Τριπότη	34	187
Λόφου Προφήτη Ηλία	57	040
Επαρχιακή Οδός Στάφυλου-Αγνώντα	35	042
Παραλία Στάφυλου	57	326
Παραλία Βελανιού	50	010

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα ως προς τα στοιχεία επιφανειών τεκτονικού ενδιαφέροντος που περιέχονται στον Πίνακα 4 μπορούμε να απεικονίσουμε σε δορυφορική φωτογραφία ολόκληρης της νοτιοδυτικής Σκοπέλου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 179. Σημειώνονται επίσης στην ίδια Εικόνα και τα ίχνη των επιφανειών επαφής μεταξύ των διαφόρων λιθολογικών ενοτήτων που εντοπίσαμε, καθώς και της επώθησης της ενότητας του Παλουκιού πάνω στα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος. Τα πορίσματα που προκύπτουν από τη συμπυκνωμένη πληροφορία της Εικόνας 179 αναπτύσσονται διεξοδικά στο Κεφ. 6, όπου γίνεται η συζήτηση πάνω στα αποτελέσματα της εργασίας μας στο πεδίο.



Εικόνα 179. Η νοτιοανατολική περιοχή της Σκοπέλου, όπου έγιναν οι παρατηρήσεις πεδίου που περιέχονται στο Κεφάλαιο 3, με τοποθετημένες στις διάφορες θέσεις που επισκεφθήκαμε τις μέσες τιμές των στοιχείων χαρακτηριστικών επιφανειών τεκτονικού ενδιαφέροντος (πλην ρηγμάτων). Στα λευκά ορθογώνια αναγράφονται οι αριθμοί των προηγούμενων Εικόνων, στις οποίες αναφέρονται αυτές οι μέσες τιμές. Σημειώνονται επίσης τα ίχνη των επιφανειών επαφής μεταξύ των διαφόρων λιθολογικών ενότητων που εντοπίσαμε, καθώς και της επώθησης της ενότητας του Παλουκιού πάνω στα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος. Τα ίχνη αυτά συμβολίζονται με συνεχείς γραμμές στις θέσεις όπου έγιναν παρατηρήσεις από εμάς και με διακεκομμένες στις υπόλοιπες περιοχές, σύμφωνα με τα αναφερόμενα από άλλους ερευνητές (Κεφ. 1.4). Σημειωτέον ότι η επαφή μεταξύ του φλύσγη της Πελαγονικής ενότητας και των ρακών του Ηωελληνικού καλύμματος δεν είναι ορατή σε κανένα σημείο γιατί καλύπτεται από αλούβιες αποθέσεις του τεταρτογενούς, υποθέτουμε όμως ότι διατρέχει την κοιλάδα του Στάφυλου. Επίσης και οι υπόλοιπες επαφές, τεκτονικές και στρωματογραφικές, είναι καλυμμένες από αλούβιες αποθέσεις στη μεγαλύτερη έκτασή τους. Η κάθετη διάσταση της φωτογραφίας από το Google Earth έχει μήκος 6.200 m.

3.8. ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΛΙΜΕΝΑ ΚΥΜΑΣΙ, ΣΤΗ Β. ΕΥΒΟΙΑ

Δεδομένου ότι κατά τη διάρκεια του ταξιδιού μας προς και από τη Σκόπελο περάσαμε και από τον λιμένα Κυμάσι, κοντά στο Μαντούδι της Βόρειας Εύβοιας, όπου από τον περασμένο αιώνα υπάρχουν ορυχεία και εγκαταστάσεις επεξεργασίας λευκόλιθου (μαγνησίτη), αφιερώνουμε το κεφάλαιο αυτό στις παρατηρήσεις που κάναμε εκεί, σε εντυπωσιακές εμφανίσεις μεταμορφωμένων πετρωμάτων που διατρέχονται από φλέβες μαγνησίτη. Φωτογραφίες που ελήφθησαν και αριθμητικά δεδομένα από μετρήσεις στοιχείων επιφανειών διάκλασης και ρηγμάτων που αποκτήσαμε παρατίθενται στις Εικόνες 180-184 που ακολουθούν. Η περιοχή σήμερα είναι ιδιοκτησία της εταιρείας ΤΕΡΝΑ ΛΕΥΚΟΛΙΘΟΙ και εξορύσσεται σ' αυτήν λευκόλιθος ο οποίος χρησιμοποιείται για την κατασκευή πυρίμαχων, στη φαρμακοβιομηχανία, στη γεωργία, σε περιβαλλοντικές εφαρμογές κ.λπ.



Εικόνα 180. Εμφάνιση μεταμορφωμένων πετρωμάτων με έντονη παραμόρφωση στην τομή ανατολικά του λιμενοβραχίονα, στον λιμένα Κυμάσι, κοντά στο Μαντούδι της Βόρειας Εύβοιας. Η διεύθυνση της φωτογραφίας είναι προσεγγιστικά ENE-WSW.



Εικόνα 181. Στην αρχή του λιμενοβραχίονα που φαίνεται στην προηγούμενη εικόνα υπάρχει αυτή η τομή, που δημιουργήθηκε κατά την εκσκαφή για την κατασκευή του λιμένα Κυμασίου. Το λευκωπό συστατικό των πετρωμάτων είναι λευκόλιθος (μαγνησίτης). Στη θέση αυτή η διεύθυνση των επιφανειών των κυρίων διακλάσεων, όπως αυτή στη βάση της οποίας βρίσκεται το τετράδιο υπαίθρου, κάτω αριστερά, είναι N-S κατά κανόνα. Ελήφθησαν μετρήσεις στοιχείων σε 5 διαφορετικές τέτοιες επιφάνειες. Η μέση τιμή στοιχείων που προέκυψε για τις επιφάνειες κυρίων διακλάσεων ήταν 36/272. Η διεύθυνση της φωτογραφίας είναι προσεγγιστικά ESE-WNW.



Εικόνα 182. Η συνέχεια της τομής στον λιμένα Κυμάσι προς τα δυτικά. Εμφανίζονται ρήγματα με επιφάνειες παρόμοιων στοιχείων με αυτά των κυρίων διακλάσεων που προαναφέρθηκαν. Η διεύθυνση της φωτογραφίας είναι προσεγγιστικά NE-SW.



Εικόνα 183. Τομή στο δυτικό άκρο του λιμένα Κυμάσι. Οι λευκές φλέβες που διασχίζουν τα σκουρόχρωμα πετρώματα είναι λευκόλιθος, ο οποίος εξορύσσεται από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα στην περιοχή. Η διεύθυνση της φωτογραφίας είναι προσεγγιστικά SSE-NNW.



Εικόνα 184. Κοντινό πλάνο από την εμφάνιση πετρωμάτων της Εικόνας 183.

3.9. ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στη διάρκεια των επισκέψεών μας στο πεδίο συλλέξαμε περίπου 80 δείγματα πετρωμάτων από τις διάφορες θέσεις όπου εστιάσαμε την έρευνά μας, τα οποία μεταφέραμε στο Εργαστήριο Πετρολογίας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ, όπου τα μελετήσαμε με διάφορες τεχνικές. Φωτογραφίες των δειγμάτων αυτών έχουμε καταχωρήσει στο Παράρτημα III, ταξινομημένες σε επιμέρους παραγράφους ανά θέση όπου αυτά ελήφθησαν. Κάποια από τα δείγματα συνοδεύονται και από φωτογραφίες των εμφανίσεων πετρωμάτων, από τις οποίες ελήφθησαν. Στο Παράρτημα IV επίσης έχουμε καταχωρήσει φωτογραφίες από λεπτές τομές και διαγράμματα XRD αρκετών επιλεγμένων δειγμάτων.

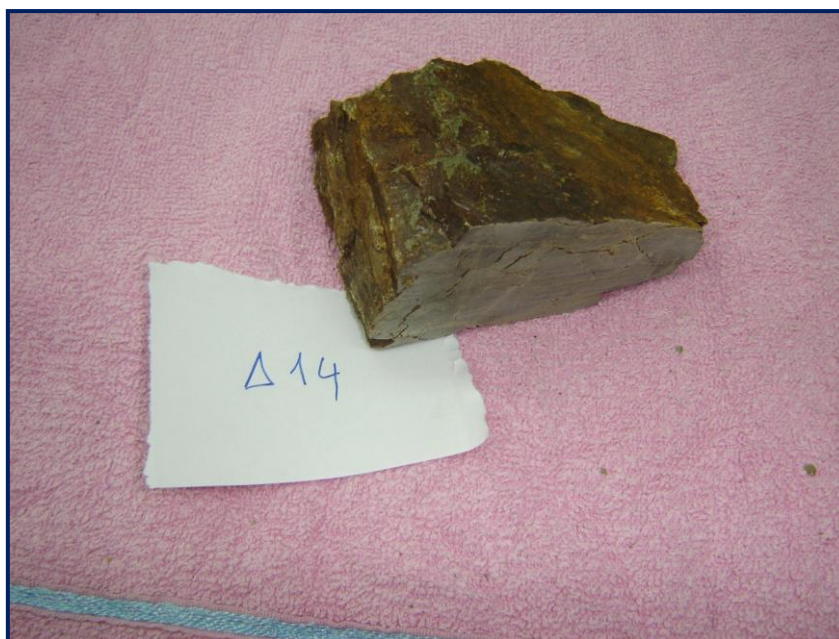
Τα αποτελέσματα των μελετών μας αυτών, ως προς την πετρολογία της περιοχής μελέτης μας, συνοψίζουμε στις επόμενες παραγράφους.

3.9.1. Θέσεις Αγία Μαρίνα – Κοτρωνάκι

Στις θέσεις Αγία Μαρίνα – Κοτρωνάκι συλλέξαμε τα δείγματα με αριθμούς Δ1 έως και Δ14 (βλ Παράρτημα III, ενότητα 1). Από αυτά, ύστερα από μακροσκοπική εξέτασή τους στο εργαστήριο, χαρακτηρίστηκαν ως εξής:

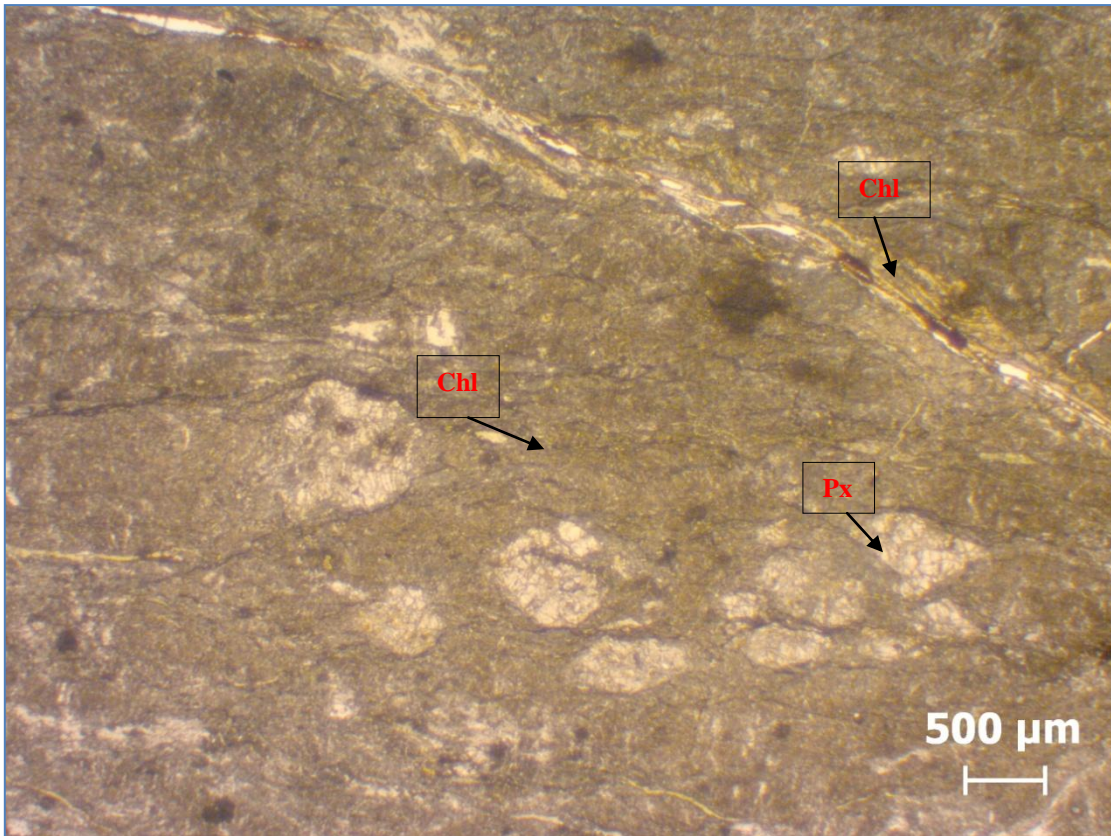
- τα Δ1, Δ4, Δ5, Δ6, Δ7, Δ8, Δ9, Δ10 και Δ11 ως λεπτοκρυσταλλικό ακάθαρτο μάρμαρο,
- το Δ2 ως ασβεσπιτικός σχιστόλιθος,
- το Δ3 ως σιπολινομάρμαρο (σχιστόλιθος σε εναλλαγές με κρυσταλλικό ασβεστίτη),
- το Δ12 ως λεπτοκρυσταλλικό ακάθαρτο μάρμαρο, με περισσότερα οξείδια των Mn και Fe από τα προαναφερθέντα δείγματα και
- τα Δ13 και Δ14 ως υπερβασικά - μεταβασικά.

Ειδικά το Δ14, που χαρακτηρίστηκε ως μεταβασικό, μελετήθηκε λεπτομερέστερα. Παρασκευάστηκε από αυτό λεπτή τομή, η οποία παρατηρήθηκε και φωτογραφήθηκε υπό μεγέθυνση στο πετρογραφικό μικροσκόπιο, με παράλληλα και κάθετα διαφράγματα Nicols. Τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων αυτών παρατίθενται στη συνέχεια.

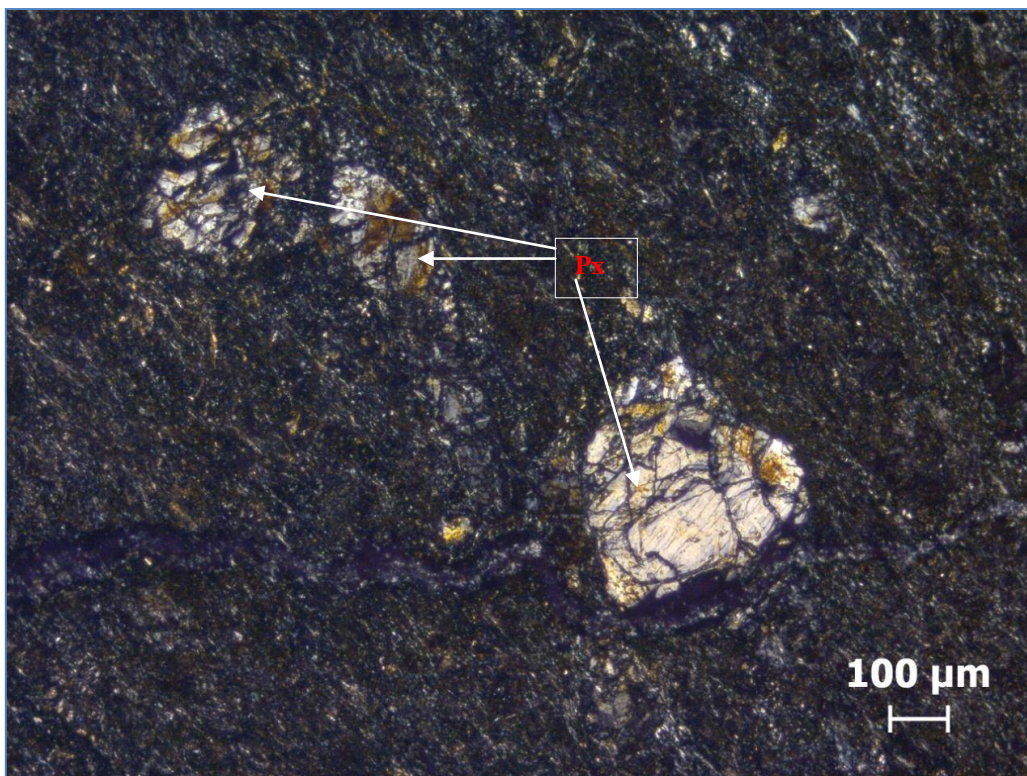


Εικόνα 185. Το Δείγμα 14 (πάνω) και η εμφάνιση των μεταβασίτων στο Κοτρωνάκι, από την οποία ελήφθη (κάτω).

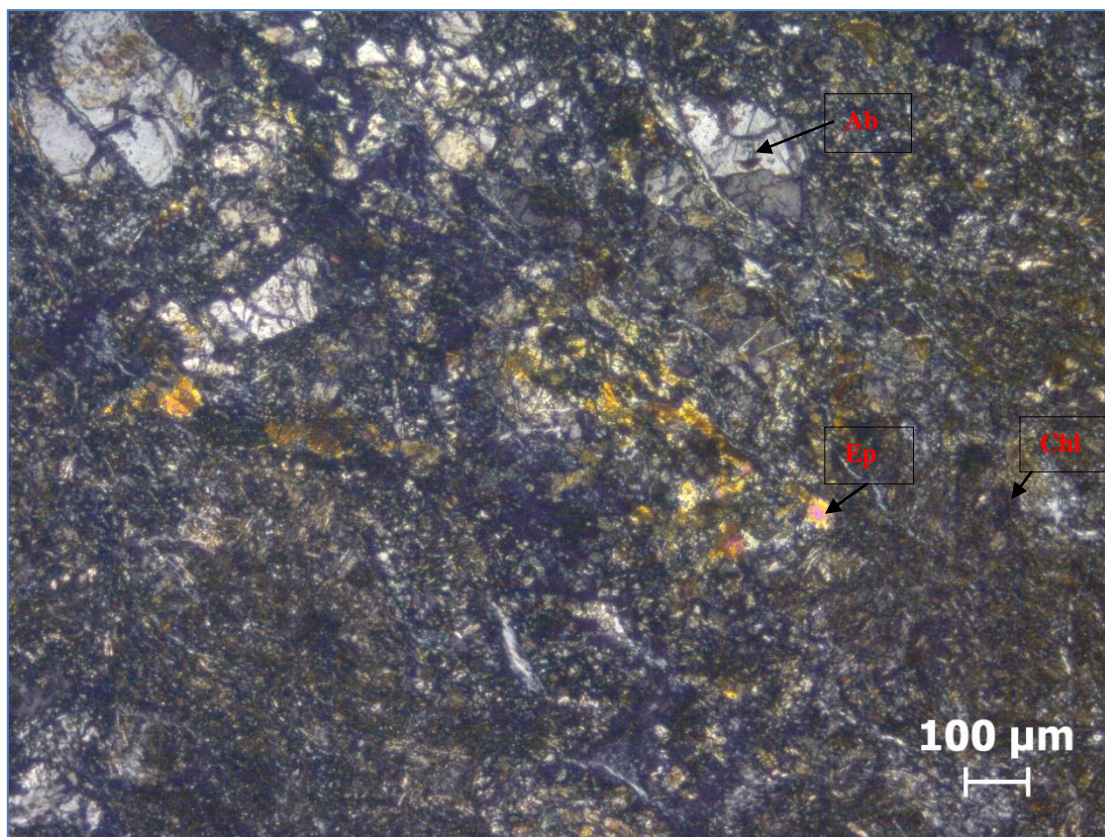
Το Δ14 εμφανίζει έντονη κατακλαστική δομή. Δεν παρατηρείται υπολειμματικός ιστός, ενώ υπάρχουν φλεβίδια γεμάτα με οξειδία του σιδήρου. Στην ορυκτολογική παραγένεση του πετρώματος περιλαμβάνονται τα εξής ορυκτά: επίδοτο (με έντονα κίτρινα, πορτοκαλόχρωμα, πράσινα, κυανά χρώματα πόλωσης 2ης και 3ης τάξης) + ζοϊσίτης (γκρι-πορτοκαλί) (από αντικατάσταση πλαγιόκλαστου) + χλωρίτης (πρασινωπά στα //) + λίγοι αλβίτες και δευτερογενείς ινώδεις αμφίβολοι (ακτινολίθος + τρεμολίτης) + υπολειμματικοί πυρόξενοι. Από απόψεως μικροτεκτονικής, εμφανίζει έντονη κατακλαστική παραμόρφωση, με δύο κύριες επιφάνειες κατάκλασης.



Εικόνα 186. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 14, σε παράλληλα Nicols.



Εικόνα 187. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 14, σε κάθετα Nicols.



Εικόνα 188. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 14, σε κάθετα Nicols.

3.9.2. Θέση Ρέμα Τριπότη

Στη θέση Ρέμα Τριπότη συλλέξαμε τα δείγματα με αριθμούς Δ15 έως και Δ27 (βλ Παράρτημα III, ενότητα 2). Αυτά, ύστερα από μακροσκοπική εξέτασή τους στο εργαστήριο, χαρακτηρίστηκαν ως εξής:

- τα Δ15, Δ16 ως πλακώδεις ασβεστόλιθοι με διακλάσεις,
- το Δ18, Δ41 ως σιπολινομάρμαρα (εναλλαγές μαρμαρυγιακού σχιστόλιθου με μάρμαρα),
- τα Δ19 και Δ20, ως μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι,
- τα Δ21, Δ25 και Δ27 ως μάρμαρα,
- το Δ22 ως πρασινοσχιστόλιθος και
- το Δ26 ως σχιστόλιθος.

Ειδικά τα Δ17, Δ23 και Δ24 μελετήθηκαν λεπτομερέστερα. Παρασκευάστηκαν από αυτά λεπτές τομές, οι οποίες παρατηρήθηκαν και φωτογραφήθηκαν υπό μεγέθυνση στο πετρογραφικό μικροσκόπιο, σε παράλληλα και κάθετα διαφράγματα Nicols. Τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων αυτών παρατίθενται στη συνέχεια.



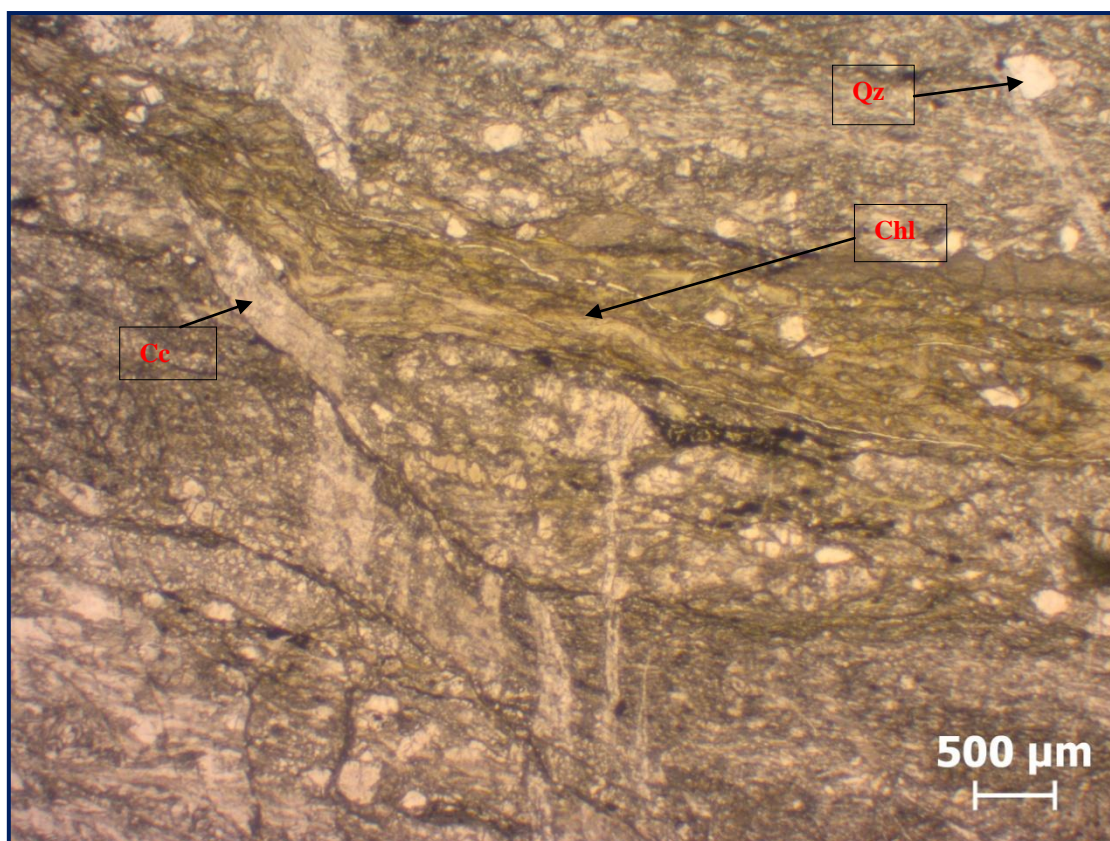
Εικόνα 189. Το Δείγμα 17 (πάνω) και η εμφάνιση σωρού από πέτρες στο Ρέμα Τριπότη, από όπου ελήφθη (κάτω).

Το Δείγμα 17 είναι ασβεστιτικός σχιστόλιθος. Μοιάζει με το Δ23, αλλά έχει περισσότερον ασβεστίτη από αυτό και είναι πιο παραμορφωμένο. Περιέχει επιπλέον μαρμαρυγίες (βιοτίτη - μωσχοβίτη).

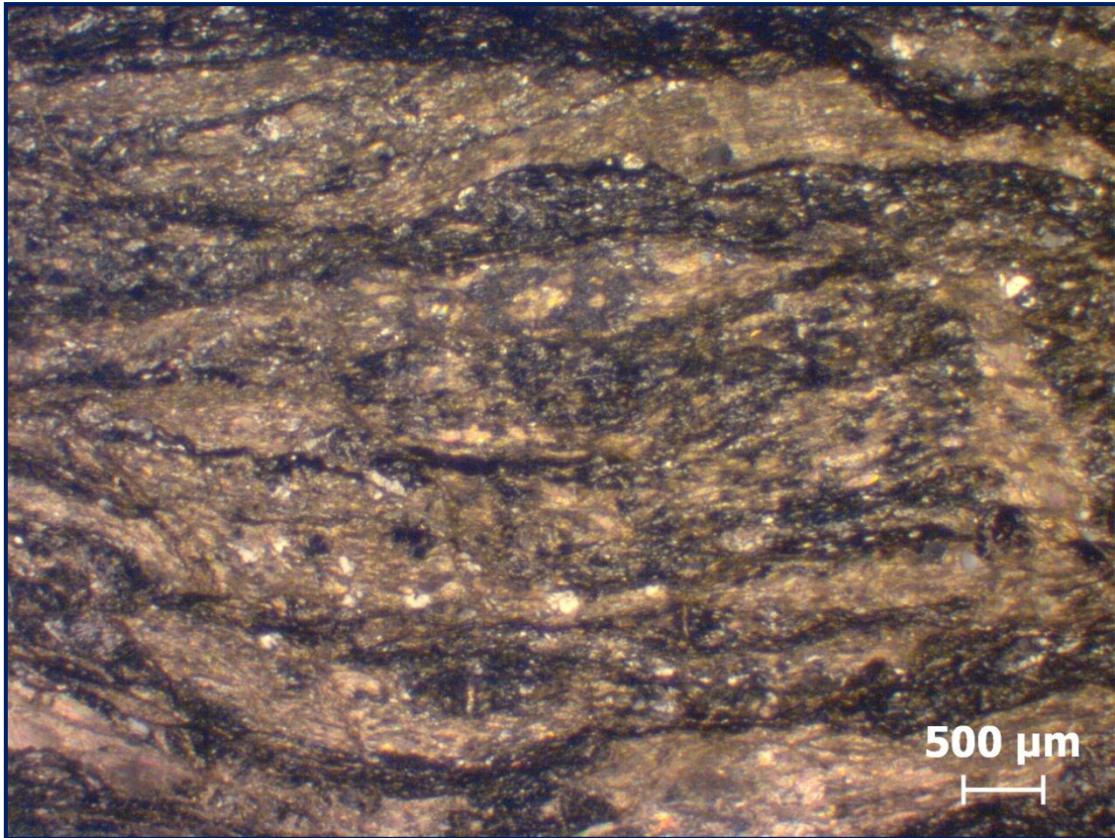
Πρόκειται για ένα μεταμορφωμένο πέτρωμα με έντονη φολίωση. Ο ιστός του είναι νηματοβλαστικός και τοπικά μυλονιτικός.

Η ορυκτολογική του σύσταση περιλαμβάνει ασβεστίτη, λευκούς μαρμαρυγίες, βιοτίτη, χλωρίτη και χαλαζία

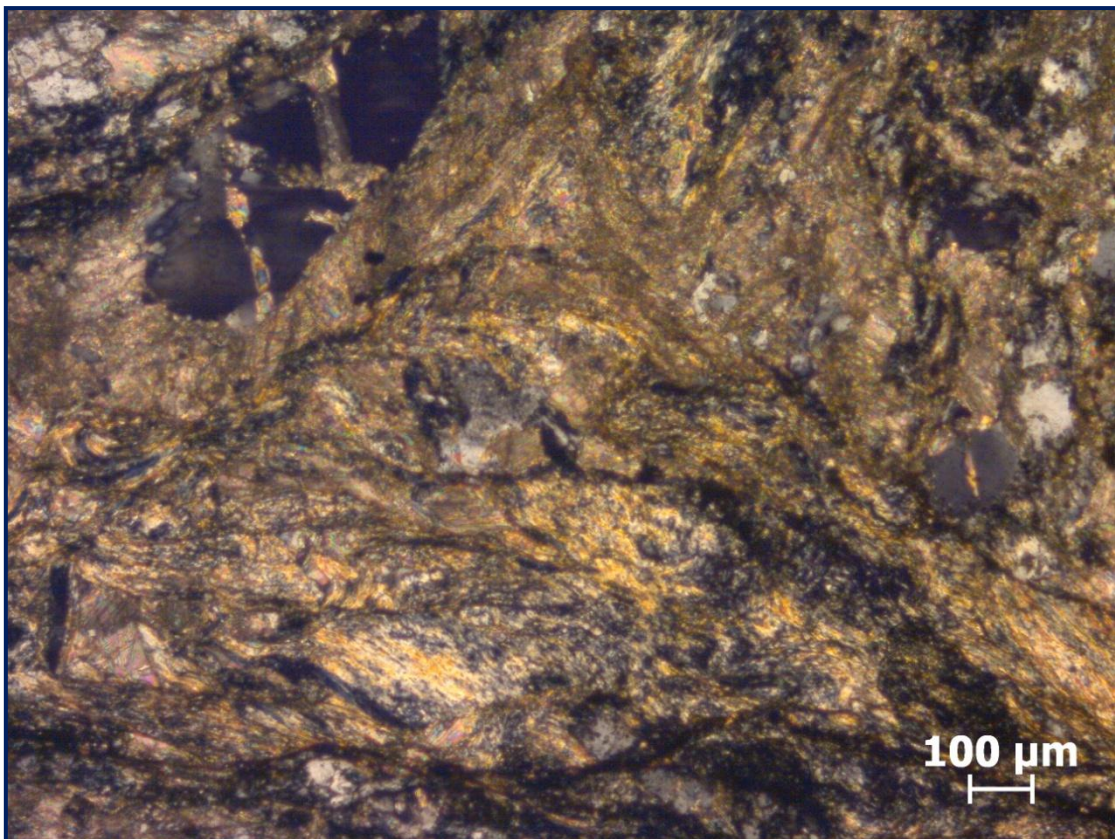
Από απόψεως μικροτεκτονικής, εμφανίζει ανθρακική σύσταση με μικρής έκτασης ανακρυστάλλωση. Παρουσιάζει δευτερογενή φύλλωση και πτυχώνεται με ισοκλινείς πτυχές, ενώ φαίνεται να υπάρχει και δομή 3^{ης} τάξεως. Έχει περάσει από την πρασινοσχιστολιθική φάση μεταμόρφωσης, ίσως έφτασε και σε θερμοκρασία 250 °C.



Εικόνα 190. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 17, σε παράλληλα Nicols.



Εικόνα 191. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 17, σε κάθετα Nicols.



Εικόνα 192. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 17, σε κάθετα Nicols.



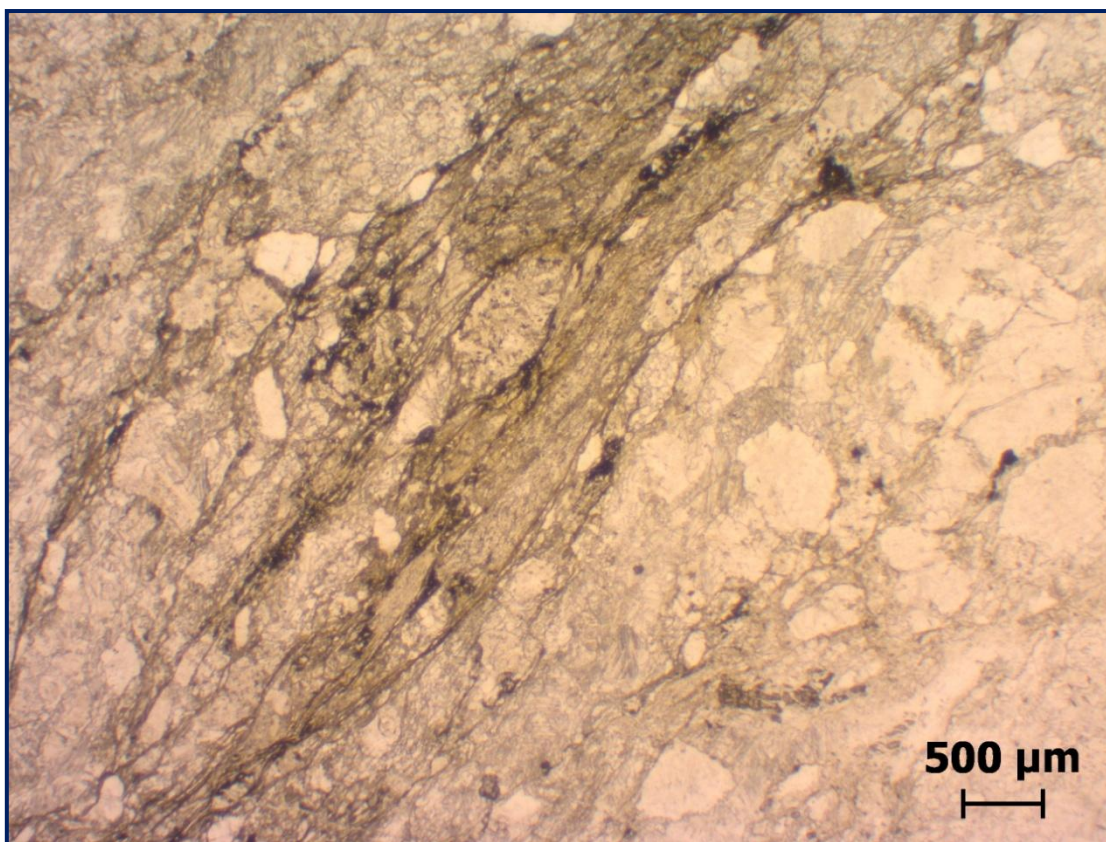
Εικόνα 193. Τα Δείγματα 23 και 24 (πάνω) και η εμφάνιση στο Ρέμα Τριπότη, από την οποία ελήφθησαν (κάτω).

Το Δείγμα 23 είναι ασβεστιτικός σχιστόλιθος (με επιφυλάξεις).

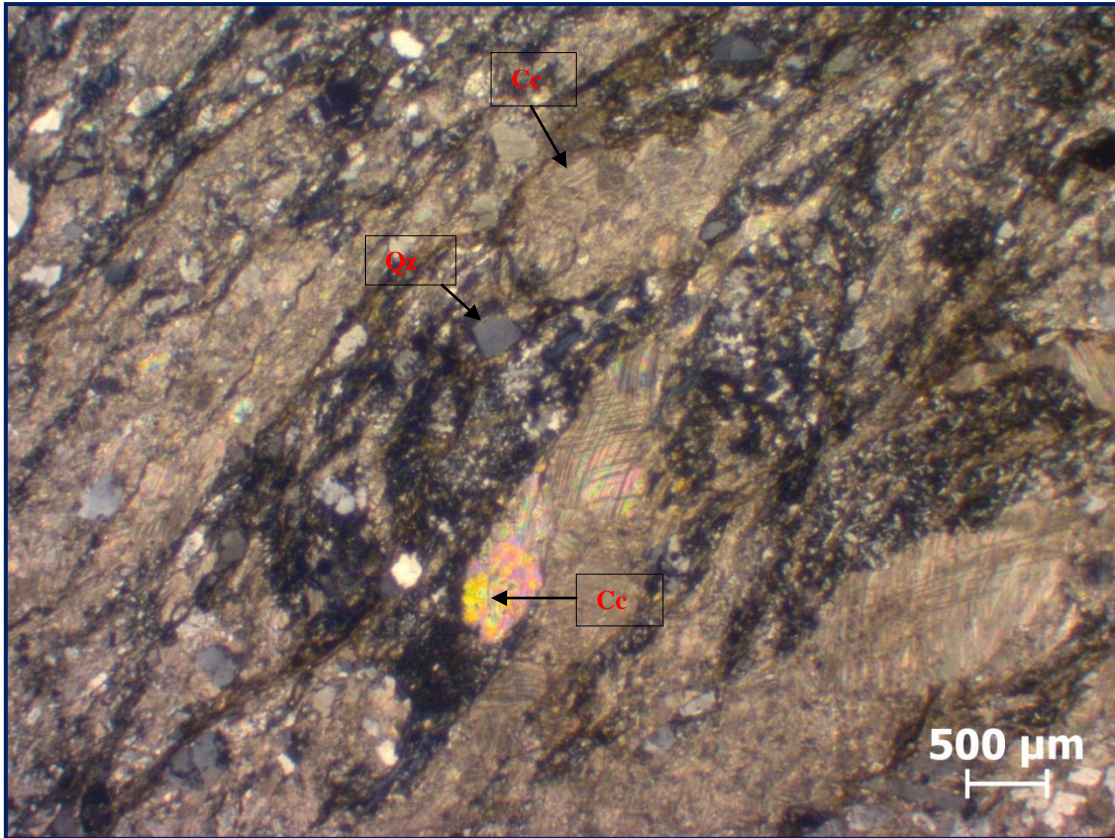
Όπως προαναφέραμε μοιάζει με το Δ17, αλλά έχει λιγότερον ασβεστίτη από αυτό, είναι λιγότερο παραμορφωμένο και δεν περιέχει μαρμαρυγίες. Περιέχει κυρίως ασβεστίτη και δολομίτη.

Είναι σχιστοποιημένο, με κλάστες χαλαζία και λίγο βιοτίτη. Ο ιστός είναι νηματοβλαστικός, τοπικά μυλονιτικός.

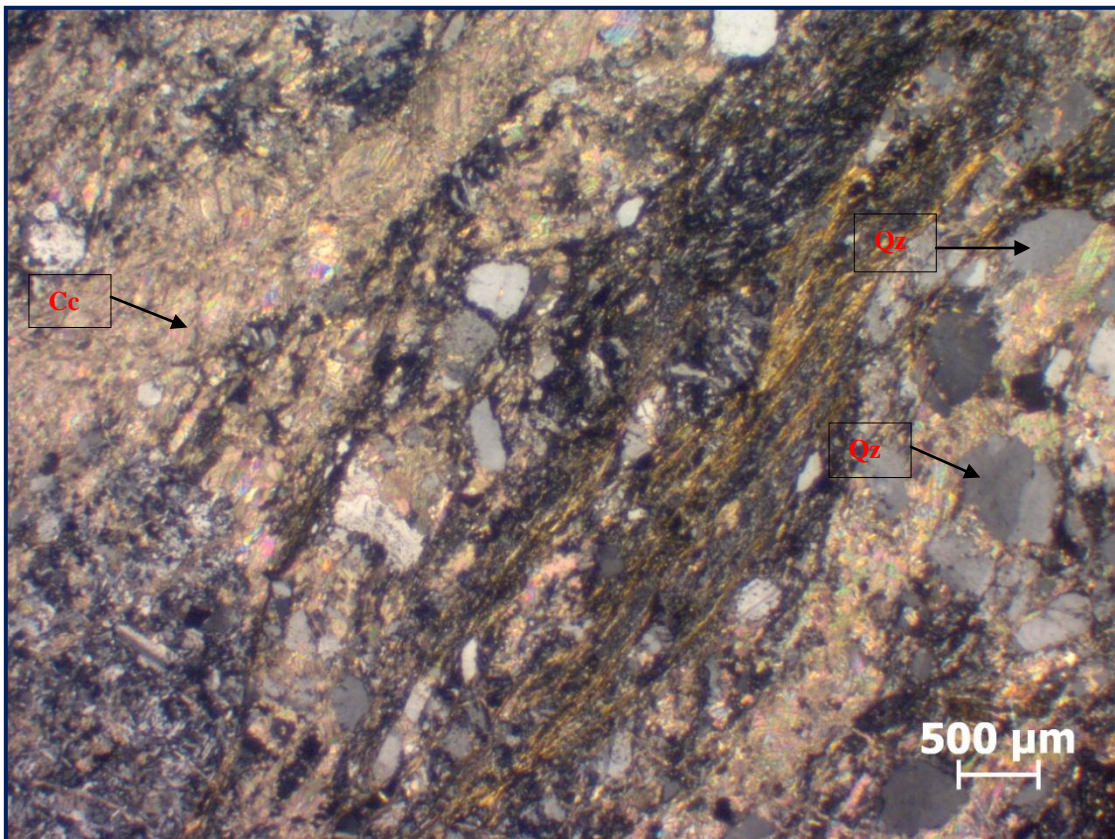
Από απόψεως μικροτεκτονικής, εμφανίζεται ως κλαστικό πέτρωμα με ασβεστιτικό συνδετικό υλικό. Υπάρχουν πολλοί κλάστες από αστρίους και χαλαζία. Παρουσιάζει μόνο θραυσιγενή παραμόρφωση, και μέσα στις ρωγμές που προκλήθηκαν από αυτήν έχει ανακρυσταλλωθεί ο ασβεστίτης. Έχει περάσει από την πρασινοσχιστολιθική φάση μεταμόρφωσης, ίσως έφτασε και στους 200-250 °C.



Εικόνα 194. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 23, σε παράλληλα Nicols.



Εικόνα 195. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 23, σε κάθετα Nicols.



Εικόνα 196. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 23, σε κάθετα Nicols.

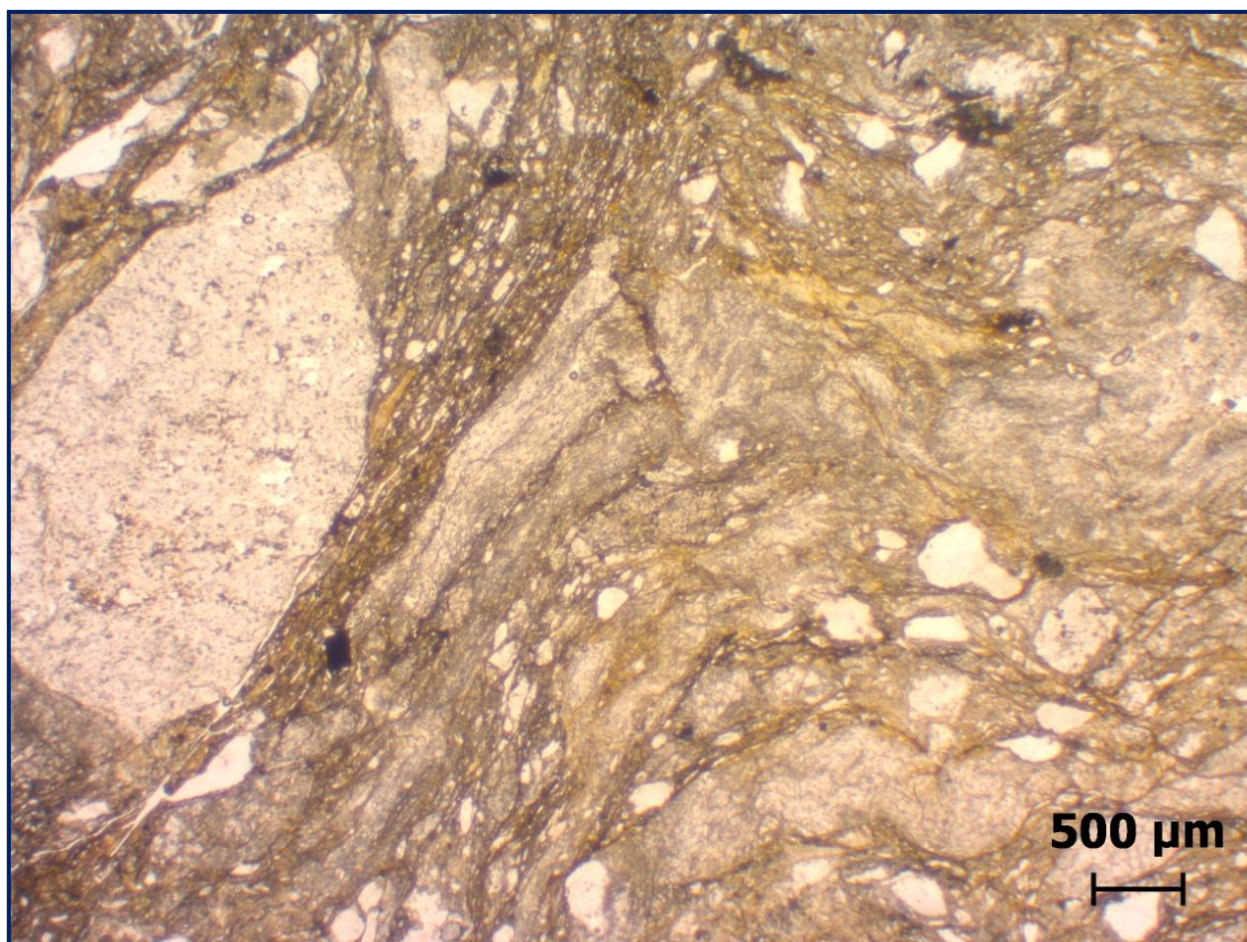
Το Δείγμα 24 είναι τεκτονισμένο λατυποκροκαλοπαγές (ή σχιστόλιθος, με επιφυλάξεις).

Περιέχει κρυστάλλους χαλαζία + πλαγιόκλαστα + λιθοκλάστες. Επίσης δευτερογενή μικροκρυσταλλικό χαλαζία.

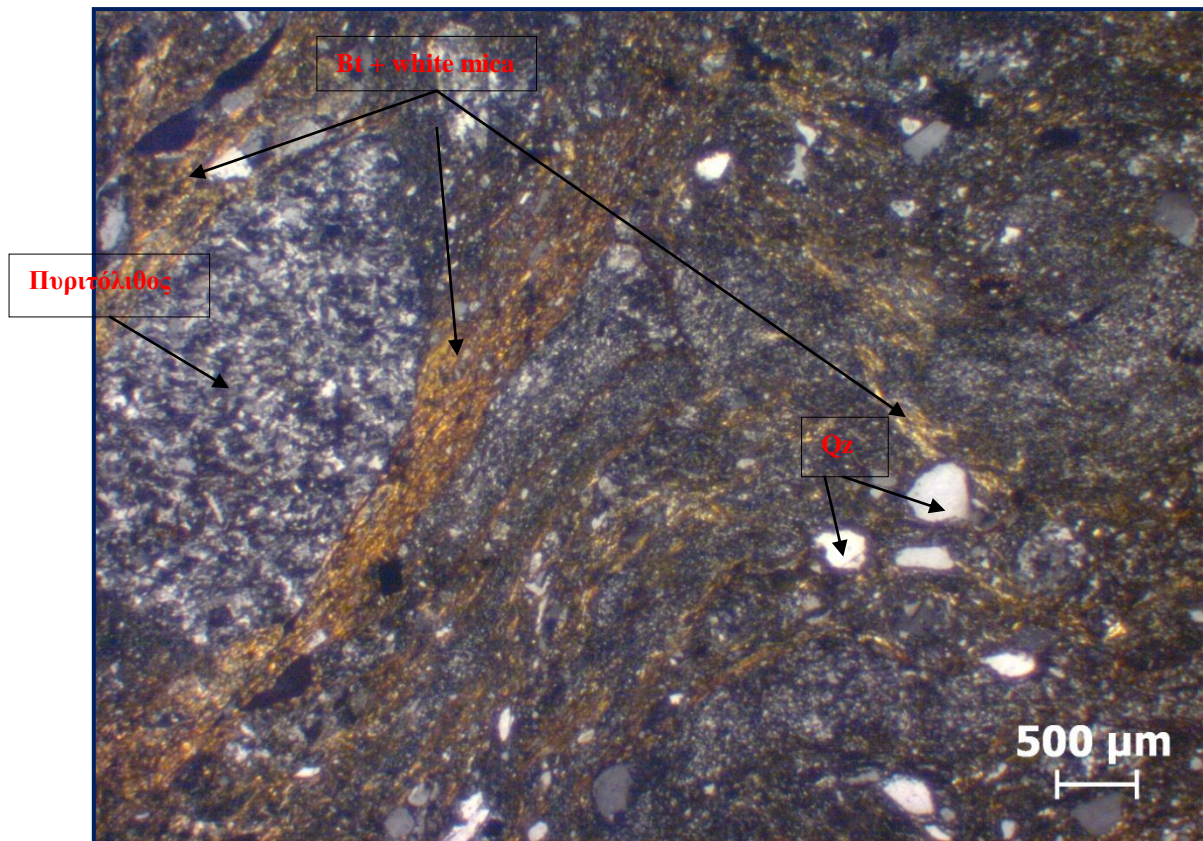
Ο ιστός του πετρώματος είναι νηματοβλαστικός έως μυλονιτικός.

Η ορυκτολογική του σύσταση περιλαμβάνει κυρίως χαλαζία, λευκούς μαρμαρυγίτες, βιοτίτη, χλωρίτη και αλβίτη. Στη δομή του πετρώματος συμμετέχουν και κλάστες άλλων γειτονικών πετρωμάτων (π.χ. χαλαζίτες, πυριτόλιθοι κλπ) με γωνιώδη κυρίως θραύσματα λόγω της έντονης παραμόρφωσης.

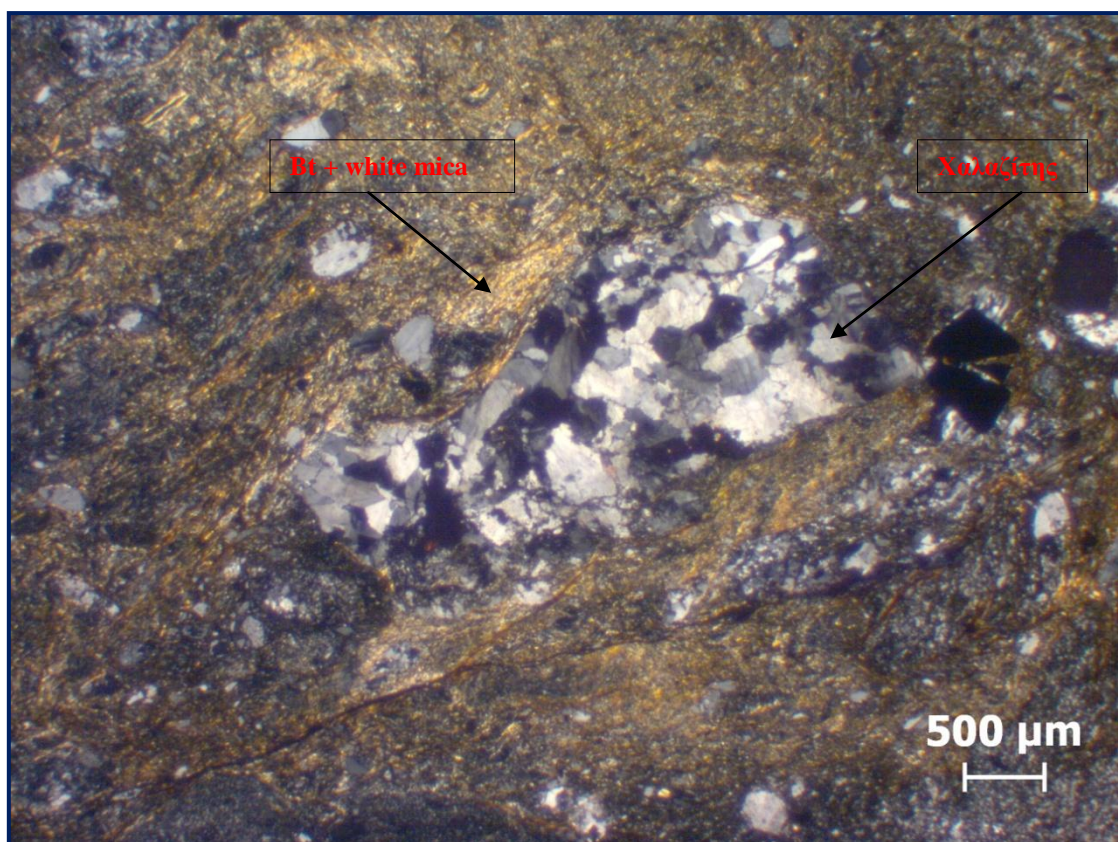
Από απόψεως μικροτεκτονικής, εμφανίζεται ως πτυχωμένο λατυποκροκαλοπαγές με ενδείξεις διάλυσης. Υπάρχουν δευτερογενείς φυλλώσεις λεπτόκοκκες, πτυχωμένες έντονα και δημιουργείται φύλλωση κατ' αξονικό επίπεδο (πτυχωμένος σχισμός υποπαράλληλος με τη στρώση που ξαναπτυχώνεται).



Εικόνα 197α. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 24, σε παράλληλα Nicols.



Εικόνα 197β. Φωτογραφία της προηγούμενης λεπτής τομής, σε κάθετα Nicols.



Εικόνα 198. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 24, σε κάθετα Nicols.

3.9.3. Θέση Ι. Μ. Προφήτη Ηλία

Στη θέση της Ι. Μ. Προφήτη Ηλία συλλέξαμε τα δείγματα με αριθμούς Δ28 και Δ29 (βλ Παράρτημα ΙΙΙ, ενότητα 3). Αυτά, ύστερα από μακροσκοπική εξέτασή τους στο εργαστήριο, χαρακτηρίστηκαν ως εξής:

- το Δ28 ως σχιστόλιθος,
- το Δ29, ως μάρμαρο.

Φωτογραφίες αυτών των δειγμάτων και των εμφανίσεων από όπου συνελέγησαν παραθέτουμε στη συνέχεια.



Εικόνα 199. Το Δείγμα 28 (πάνω) και η εμφάνιση του φλύσχη στην Ι. Μ. Προφήτη Ηλία, από την οποία ελήφθη (κάτω).



Εικόνα 200. Το Δείγμα 29 (πάνω) και η εμφάνιση των ανωκρητιδικών ασβεστολίθων στην Ι. Μ. Προφήτη Ηλία, από την οποία ελήφθη (κάτω).

3.9.4. Παραλίες Στάφυλου – Βελανιού

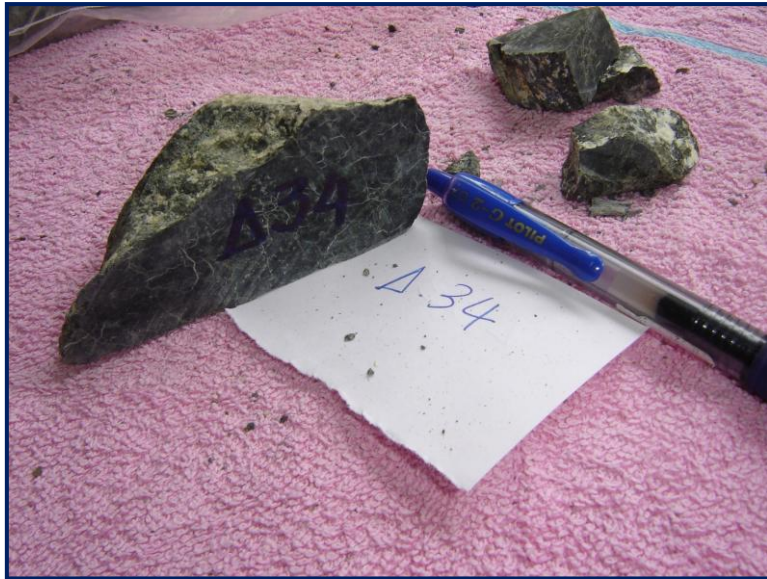
Στις παραλίες Στάφυλου και Βελανιού συλλέξαμε τα δείγματα με αριθμούς Δ30 έως και Δ47 (βλ Παράρτημα ΙΙΙ, ενότητα 4). Αυτά, ύστερα από μακροσκοπική εξέτασή τους στο εργαστήριο, χαρακτηρίστηκαν ως εξής:

- τα Δ30 και Δ31 ως ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή, έντονα καταπνημένα από κατακλαστική ζώνη,
- τα Δ32, Δ33, Δ42, Δ43, Δ43α, Δ44 και Δ45 ως μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι,
- τα Δ34, Δ35 και Δ47 ως σερπεντινίτες,
- το Δ37 ως κροκαλοπαγές – ασβεστολιθικό,
- το Δ38 ως σχιστόλιθος – σιπολινομάρμαρο με μπουντινάζες,
- το Δ40 ως ασβεστόλιθος,
- το Δ41 ως σιπολινομάρμαρο (εναλλαγές μαρμαρυγικού σχιστόλιθου με μάρμαρα),

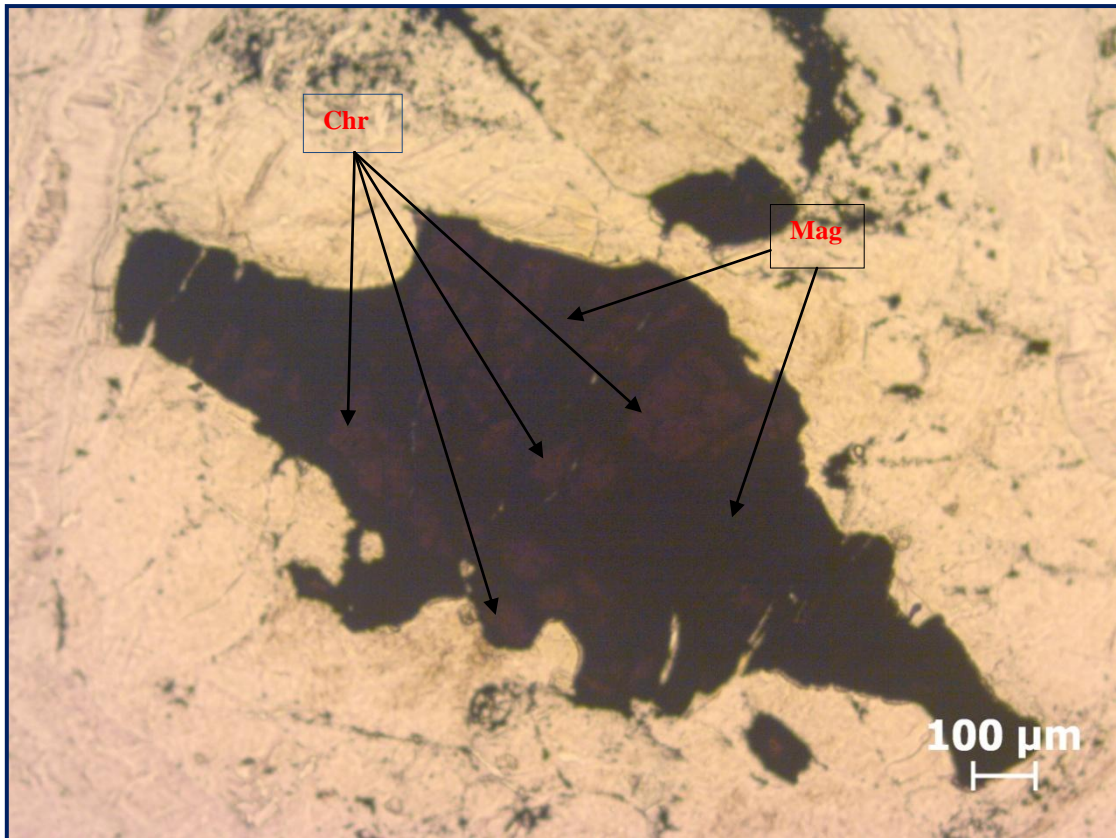
Ειδικά τα Δ34, Δ43α και Δ46 μελετήθηκαν λεπτομερέστερα. Παρασκευάστηκαν από αυτά λεπτές τομές, οι οποίες παρατηρήθηκαν και φωτογραφήθηκαν υπό μεγέθυνση στο πετρογραφικό μικροσκόπιο, σε παράλληλα και κάθετα διαφράγματα Nicols. Τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων αυτών παρατίθενται στη συνέχεια.

Το Δείγμα 34 είναι σερπεντινίτης (Εικ. 203-205). Ο ιστός του πετρώματος του δείγματος αυτού είναι κυψελώδης (λόγω αντικατάστασης του κοκκώδους ολιβίνη από ινώδεις σερπεντινίτες).

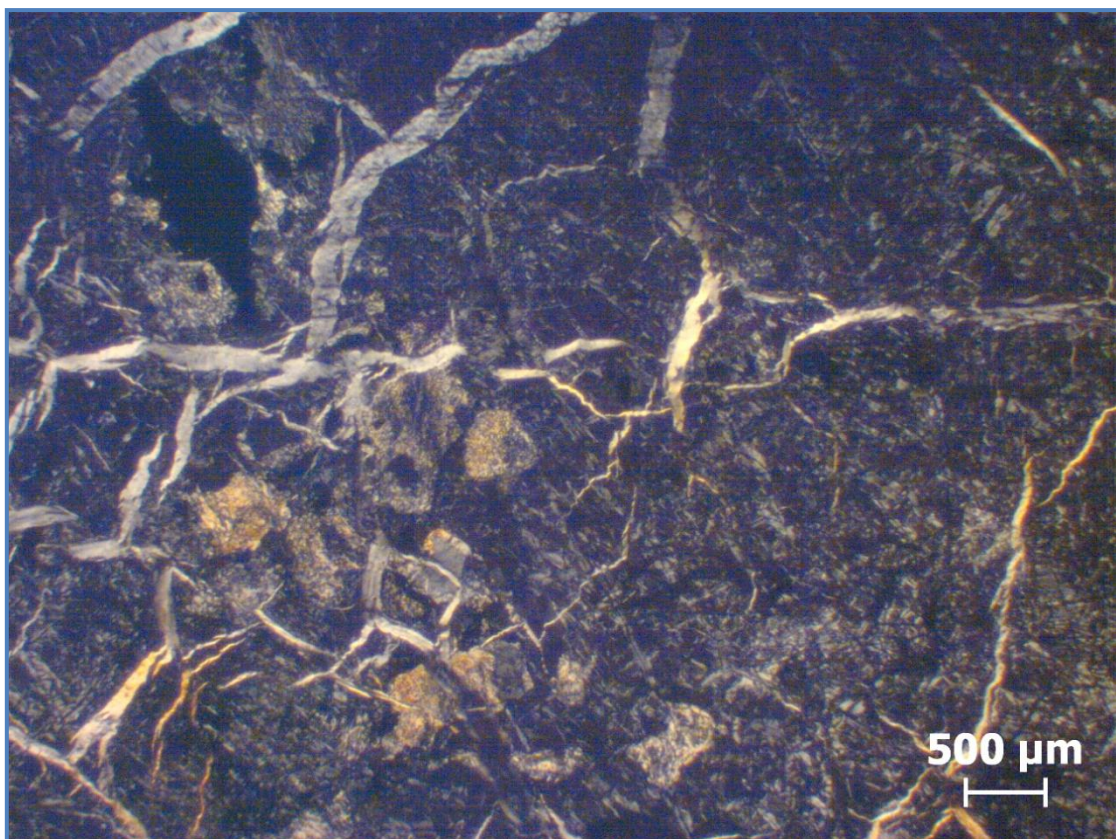
Η ορυκτολογική του σύσταση περιλαμβάνει ως κυρίαρχα τα ορυκτά της ομάδας των σερπεντινών (χρυσοτίλης-αντιγορίτης-λιζαρδίτης). Φαίνεται ο διάσπαρτος χρωμίτης με σκούρο καστανό χρώμα. Στο περιθώριο του χρωμίτη υπάρχει μαγνητίτης, ο οποίος είναι δευτερογενής από αντικατάσταση του σπινέλλιου (χρωμίτη). Υπάρχουν επίσης και κάποιοι βασίτες και ανθοφυλλίτες, με αχνά μπεζ-πορτοκαλί χρώματα πόλωσης. Υπάρχει και μαγνησιούχος χλωρίτης. Πιθανόν ο πρωτόλιθος του δείγματος αυτού να ήταν χαρτσβουργίτης, λόγω της παρουσίας του υπολειμματικού σπινέλλιου με σκούρα καστανά χρώματα, που υποδηλώνουν σύσταση πλούσια σε Mg.



Εικόνα 201. Το Δείγμα 34 (πάνω) και η εμφάνιση εξαλλοιωμένων υπερβασικών στην παραλία του Στάφυλου, από όπου ελήφθη (κάτω).



Εικόνα 202. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 34, σε παράλληλα Nicols.



Εικόνα 203. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 34, σε κάθετα Nicols.

Το Δείγμα 43a είναι φυλλίτης (Εικ. 204-208).

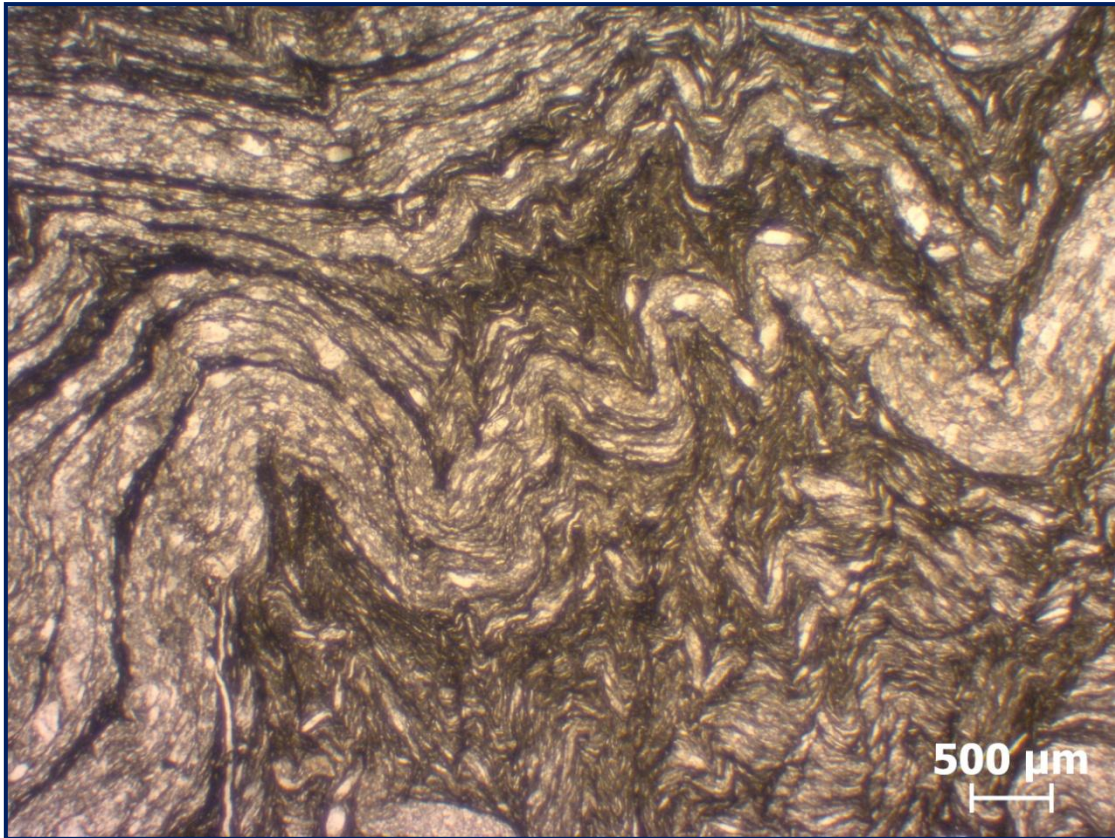
Πρόκειται για λεπτοκρυσταλλικό πέτρωμα με μικροπτυχωμένη δομή. Ο ιστός του είναι νηματοβλαστικός.

Αποτελείται από εναλλαγές οριζόντων πλούσιων σε χαλαζία, ασβεσίτη και μαρμαρυγίες (λευκούς μαρμαρυγίες και βιοτίτη). Οι λευκοί μαρμαρυγίες εμφανίζουν έντονα χρώματα πόλωσης δεύτερης τάξης.

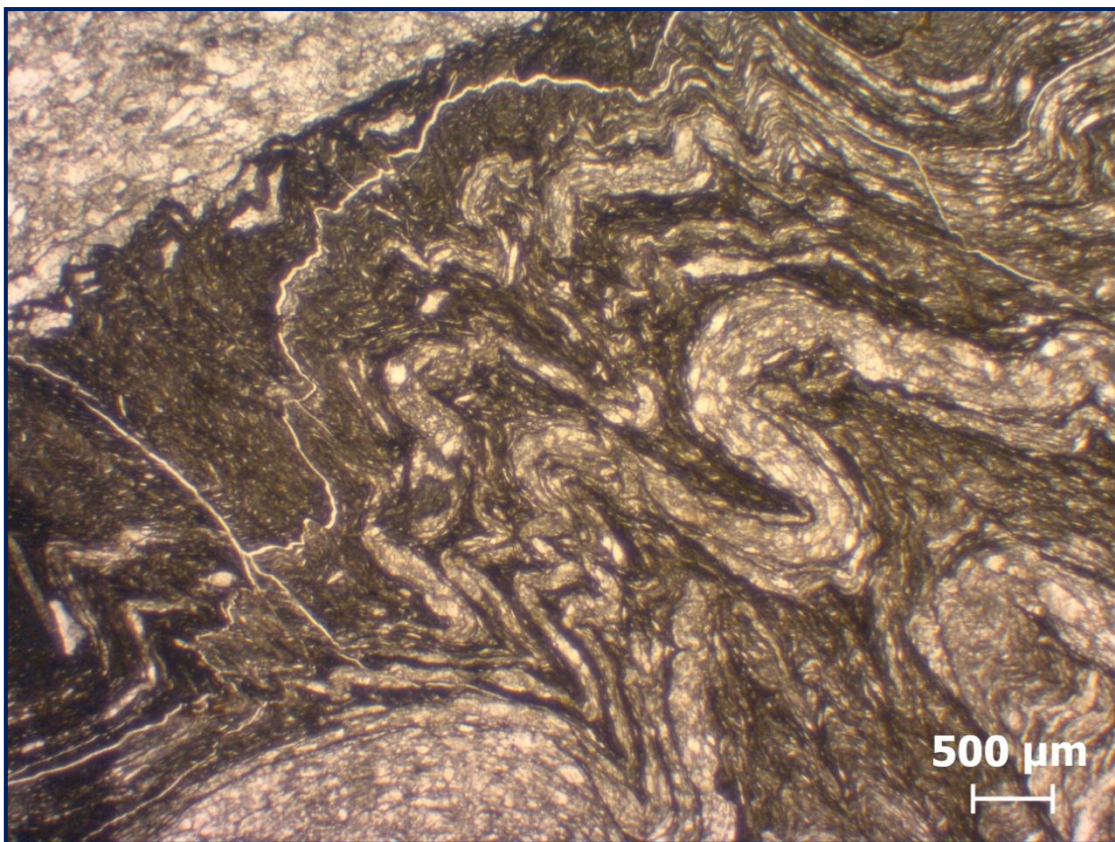
Από απόψεως μικροτεκτονικής, εμφανίζει 3 φυλλώσεις: S_0 , S_n (slaty cleavage) και S_{n+1} . Η στρωμάτωση, που ταυτίζεται με το slaty cleavage, αποτελείται από αργιλικά στοιχεία που σχηματίζουν πτυχές. Χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση, ίσως στα πρώτα στάδια της πρασινισχιστολιθικής φάσης (~200 °C).



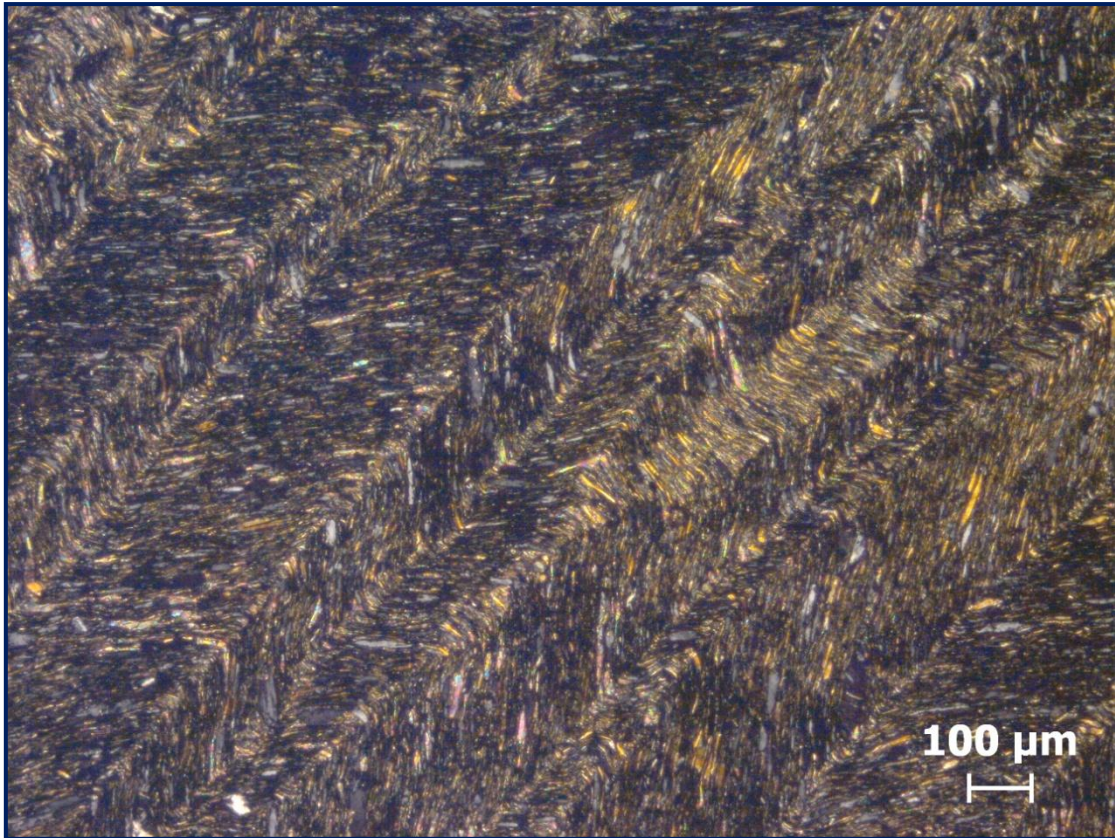
Εικόνα 204. Το Δείγμα 43a (πάνω) και η εμφάνιση φυλλιτών στην παραλία του Βελανιού, από όπου ελήφθη (κάτω).



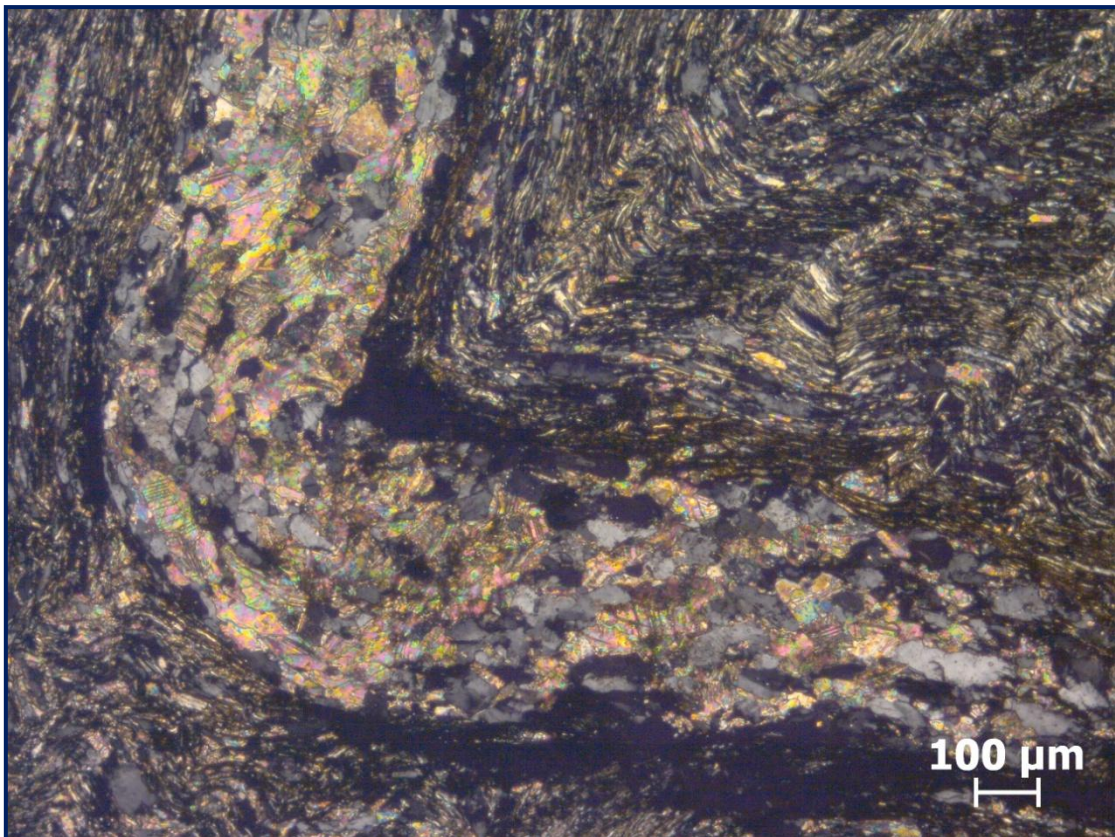
Εικόνα 205. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 43α, σε παράλληλα Nicols.



Εικόνα 206. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 43α, σε παράλληλα Nicols.



Εικόνα 207. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 43α, σε κάθετα Nicols.



Εικόνα 208. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 43α, σε κάθετα Nicols.

Το Δείγμα 46 είναι σερπεντινίτης (Εικ. 209-213).

Η μικροσκοπική εικόνα του δείγματος αυτού είναι παρόμοια με του Δ34.

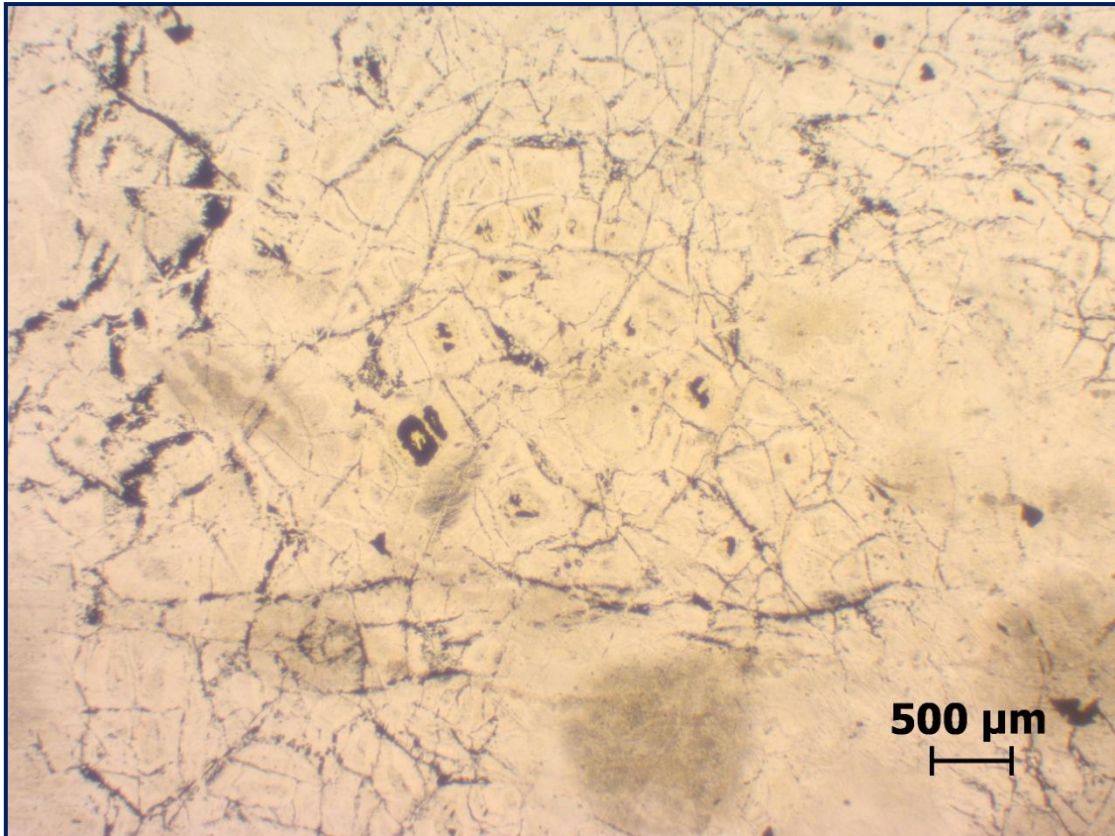
Ο ιστός του πετρώματος είναι κυψελώδης (λόγω αντικατάστασης του κοκκώδους ολιβίνη από ινώδεις σερπεντίνες).

Η ορυκτολογική του σύσταση περιλαμβάνει ως κυρίαρχα τα ορυκτά της ομάδας των σερπεντινών (χρυσοσίλης-αντιγορίτης-λιζαρδίτης). Υπάρχουν και μεγαλύτερα ορυκτά, βασίτες (που προέρχονται από ψευδομόρφωση πορφυροκλαστών ορθοπυροξένων που έγιναν σερπεντίνης). Υπάρχουν κρύσταλλοι χρωμίτη, που στα παράλληλα Nicols φαίνονται καστανόμαυροι. Στα όριά τους υπάρχουν μαύρες ζωνώδεις περιοχές, που περιλαμβάνουν κρυστάλλους μαγνητίτη προερχόμενους από εξαλλοιωμένους κρυστάλλους χρωμίτη.

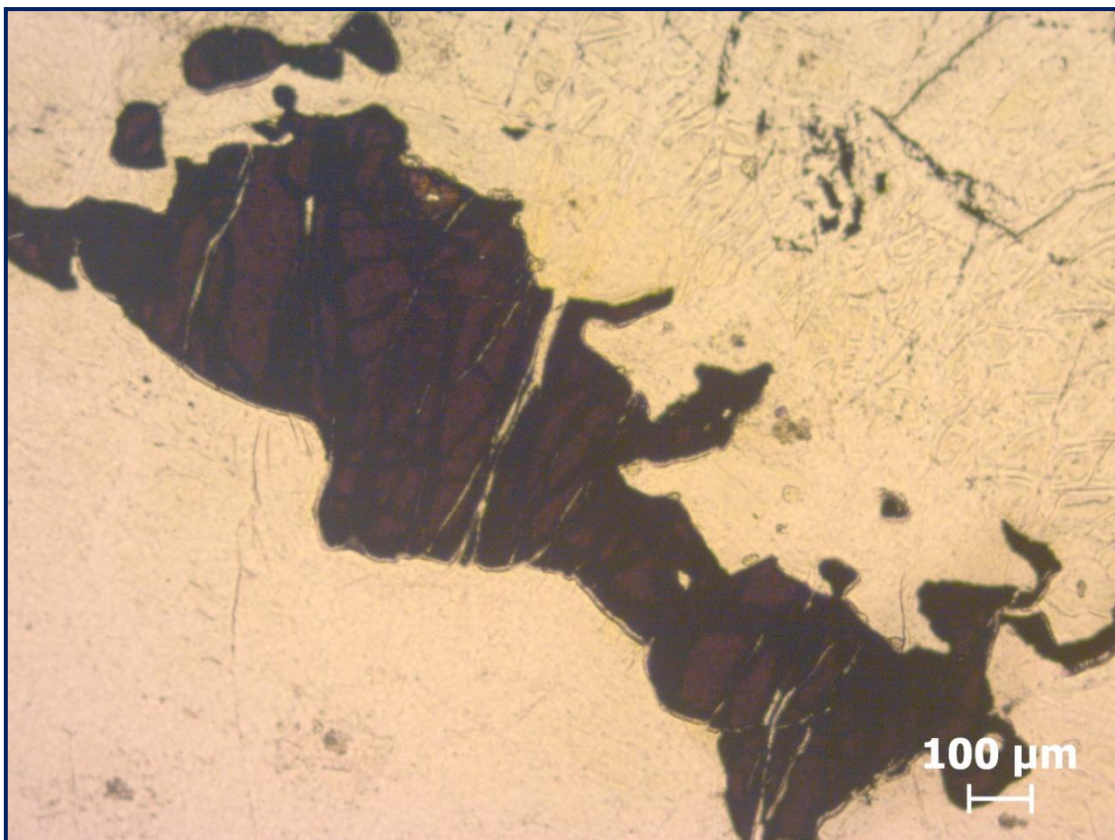
Από απόψεως μικροτεκτονικής, δεν εμφανίζεται κάποια κυρίαρχη διεύθυνση παραμόρφωσης.



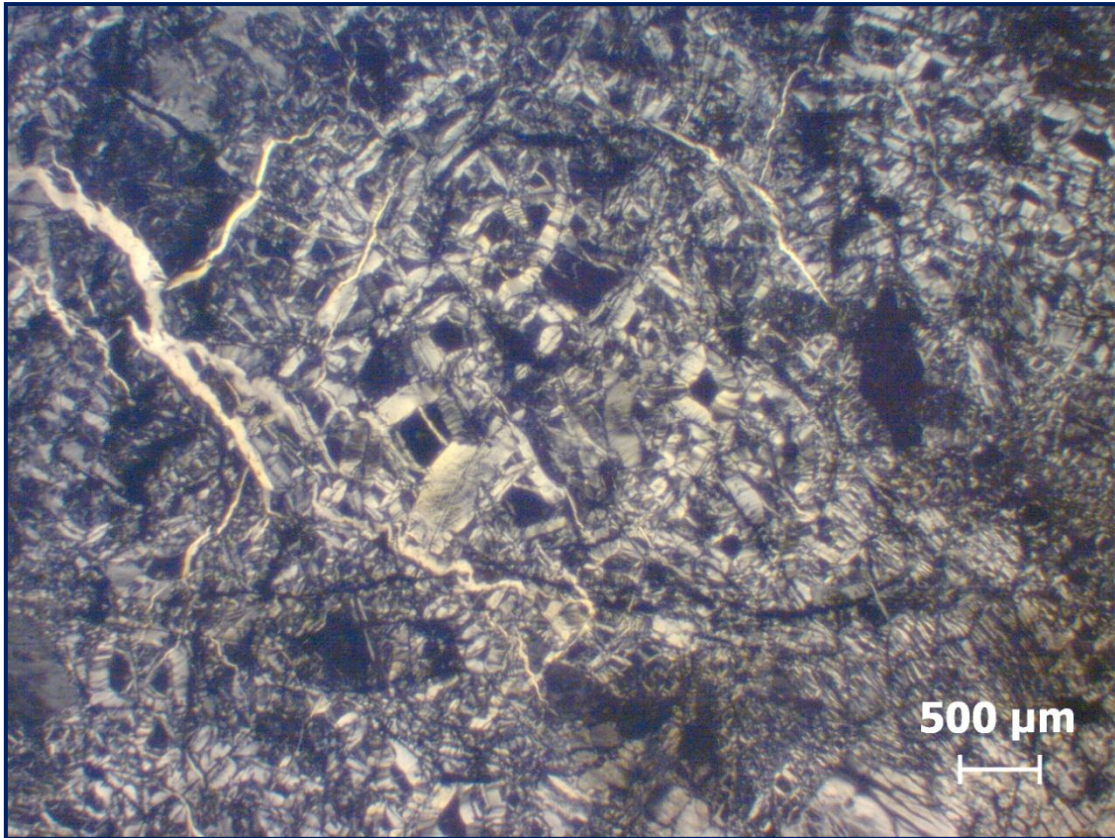
Εικόνα 209. Το Δείγμα 46 (πάνω) και η εμφάνιση εξαλλοιωμένων υπερβασικών στην παραλία του Βελανιού, από όπου ελήφθη (κάτω).



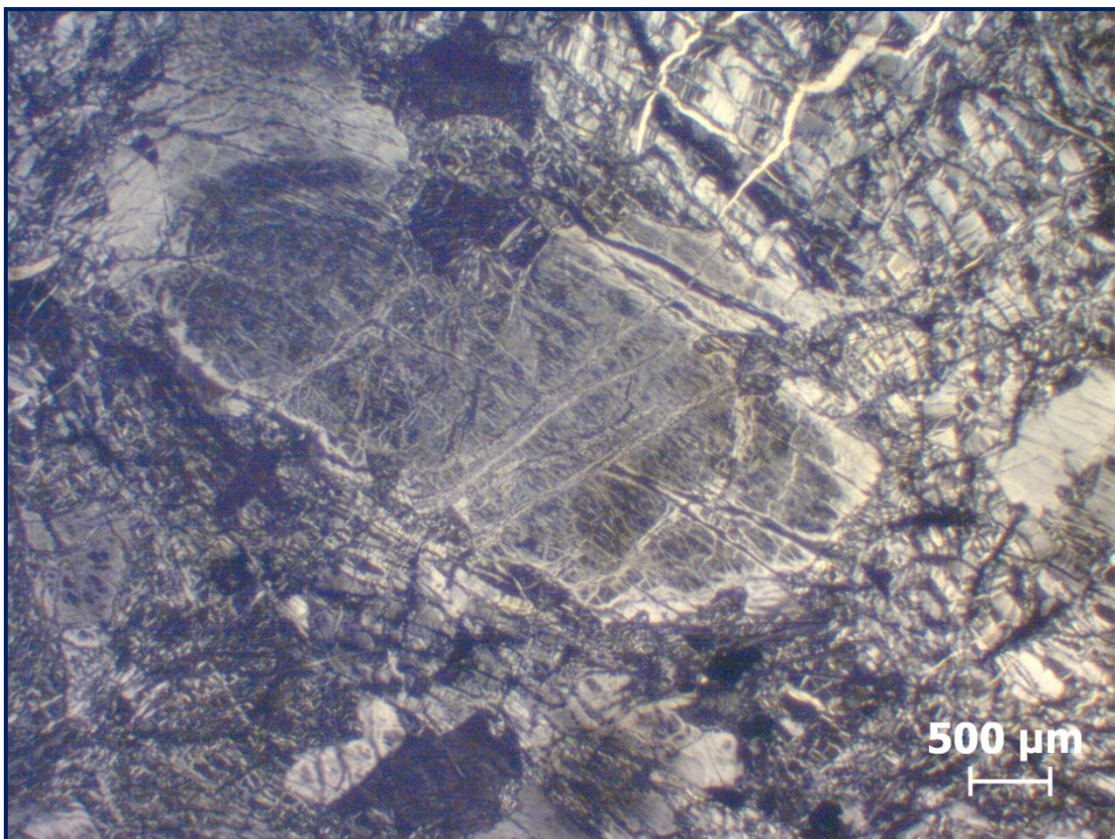
Εικόνα 210. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 46, σε παράλληλα Nicols.



Εικόνα 211. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 46, σε παράλληλα Nicols.



Εικόνα 212. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 46, σε κάθετα Nicols.



Εικόνα 213. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 46, σε κάθετα Nicols.

3.9.5. Αποθέσεις Τραβερίνη στον Στάφυλο

Στη θέση όπου υπάρχει η εμφάνιση αποθέσεων τραβερίνη στον Στάφυλο (βλ. ενότητα 3.5), συλλέξαμε τα δείγματα με αριθμούς Δ71 έως και Δ77 (βλ Παράρτημα ΙΙΙ, ενότητα 5). Για να μην καταστρέψουμε αυτήν τη σπάνια, όπως πιστεύουμε, εμφάνιση, αποφύγαμε εδώ τη χρήση γεωλογικού σφυριού και όλα τα δείγματα που πήραμε από το πεδίο ήταν ήδη σπασμένα από φυσικές αιτίες. Αυτά, ύστερα από μακροσκοπική εξέτασή τους στο εργαστήριο, χαρακτηρίστηκαν:

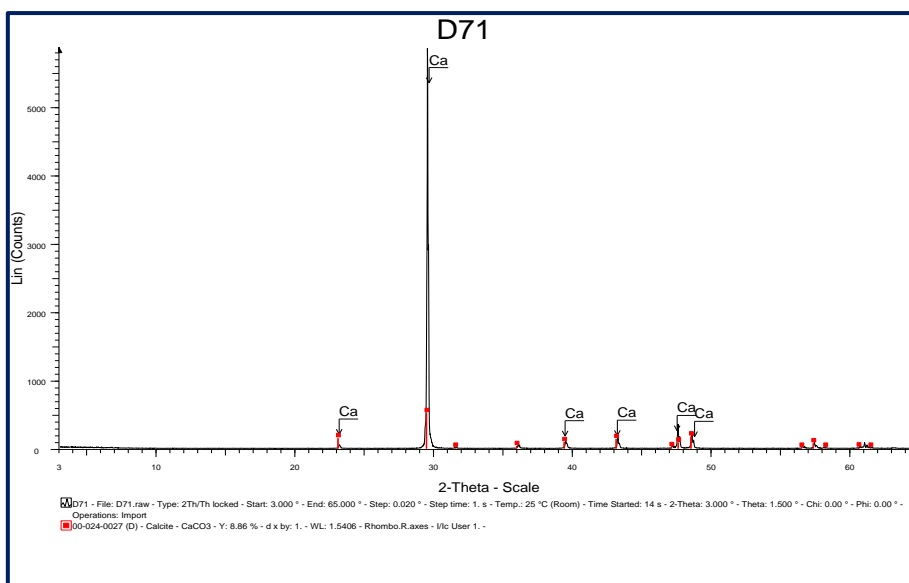
- τα Δ71, Δ72, Δ73, Δ75, και Δ76 ως τραβερίνες, και
- το Δ77 ως ασβεστόλιθος.

Όλα αυτά τα δείγματα μελετήθηκαν και λεπτομερέστερα. Παρασκευάστηκαν από αυτά λεπτές τομές, οι οποίες παρατηρήθηκαν και φωτογραφήθηκαν υπό μεγέθυνση στο πετρογραφικό μικροσκόπιο, σε παράλληλα και κάθετα διαφράγματα Nicols. Τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων αυτών παρατίθενται στη συνέχεια.

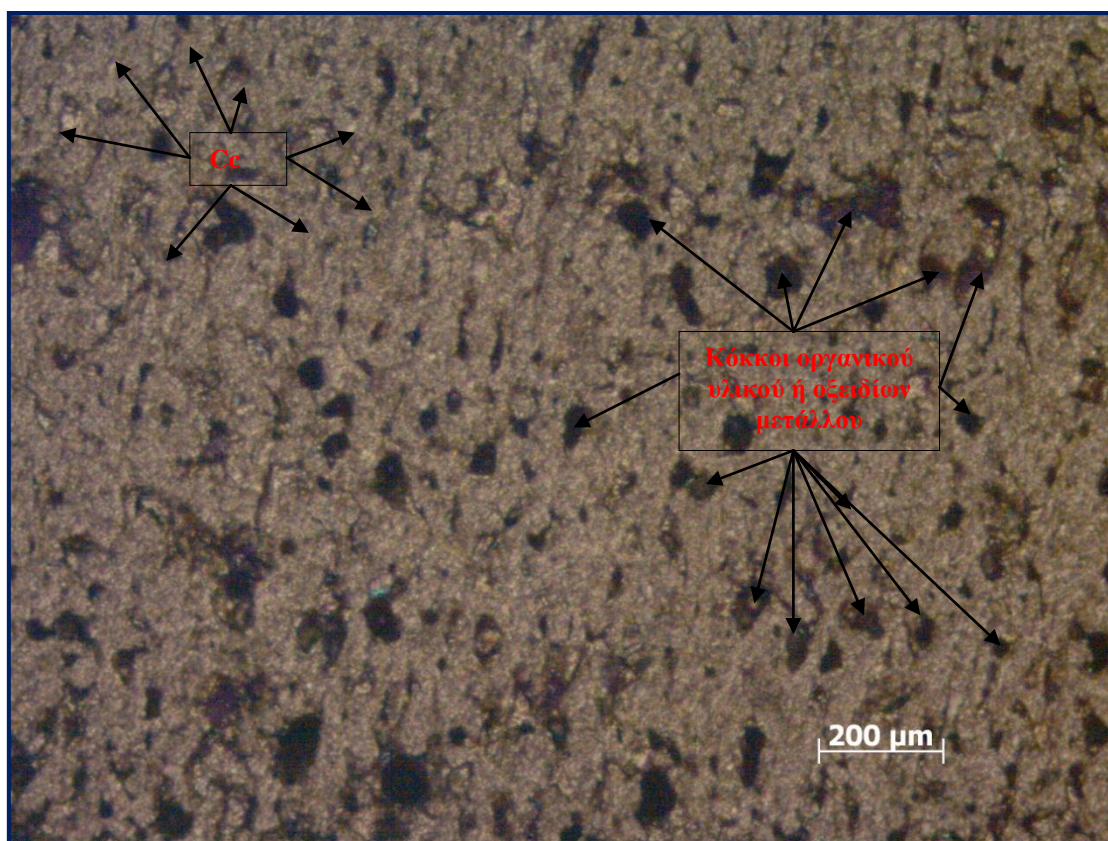
Το Δείγμα 71 είναι τραβερίνης (Εικόνες 214-219). Η ορυκτολογική σύστασή του δείγματος είναι κυρίως ασβεσίτης (όπως προκύπτει από το αντίστοιχο διάγραμμα XRD) + σκοτεινοί κόκκοι (όπως φαίνονται στις φωτογραφίες των λεπτών τομών σε μεγέθυνση) που μπορεί να είναι οργανικό υλικό ή οξειδία μετάλλων. Σχετικά με τις μορφές των κρυστάλλων, κυριαρχεί η μικριτική (μικροκρυσταλλική), ενώ τοπικά γίνεται σπαριτική (λεπτο- έως μεσοκρυσταλλική).



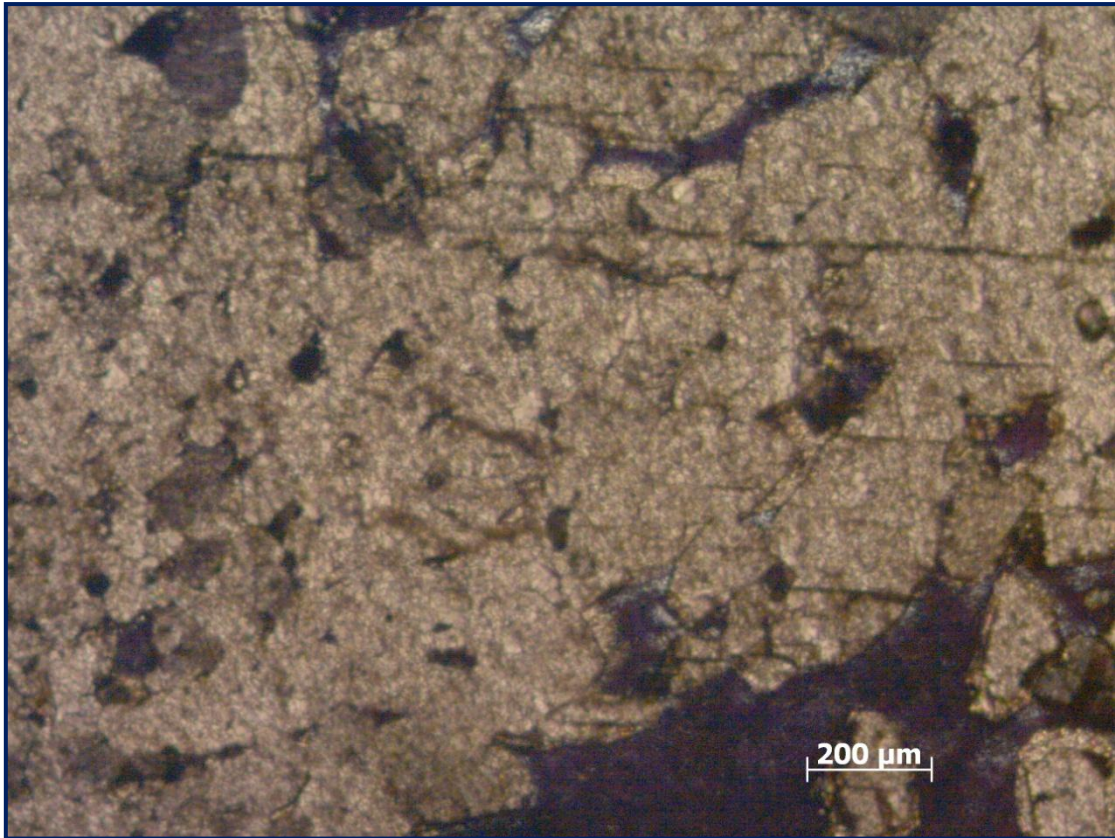
Εικόνα 214. Το Δείγμα 71 (πάνω) και η ακριβής θέση του στην εμφάνιση αποθέσεων τραβερίνη από όπου ελήφθη (κάτω).



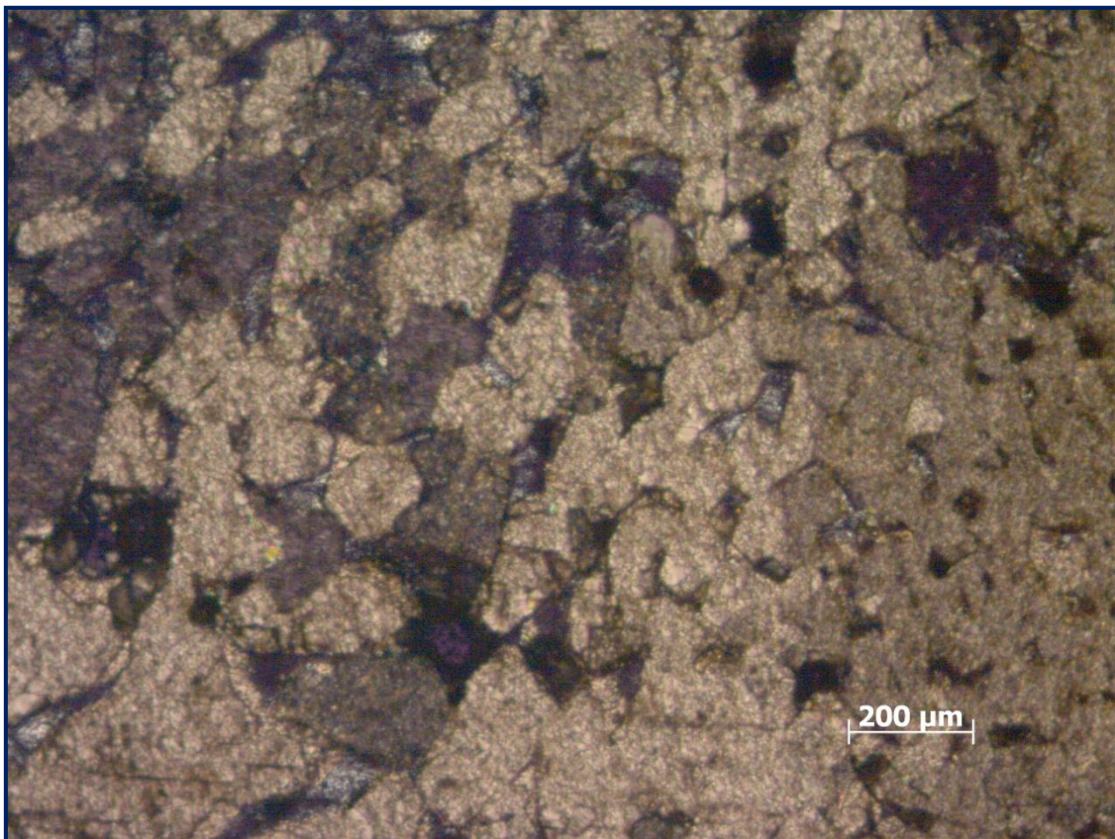
Εικόνα 215. Διάγραμμα XRD από σκόνη του Δείγματος 71. Το ορυκτό που κυριαρχεί είναι ο ασβεστίτης (Ca).



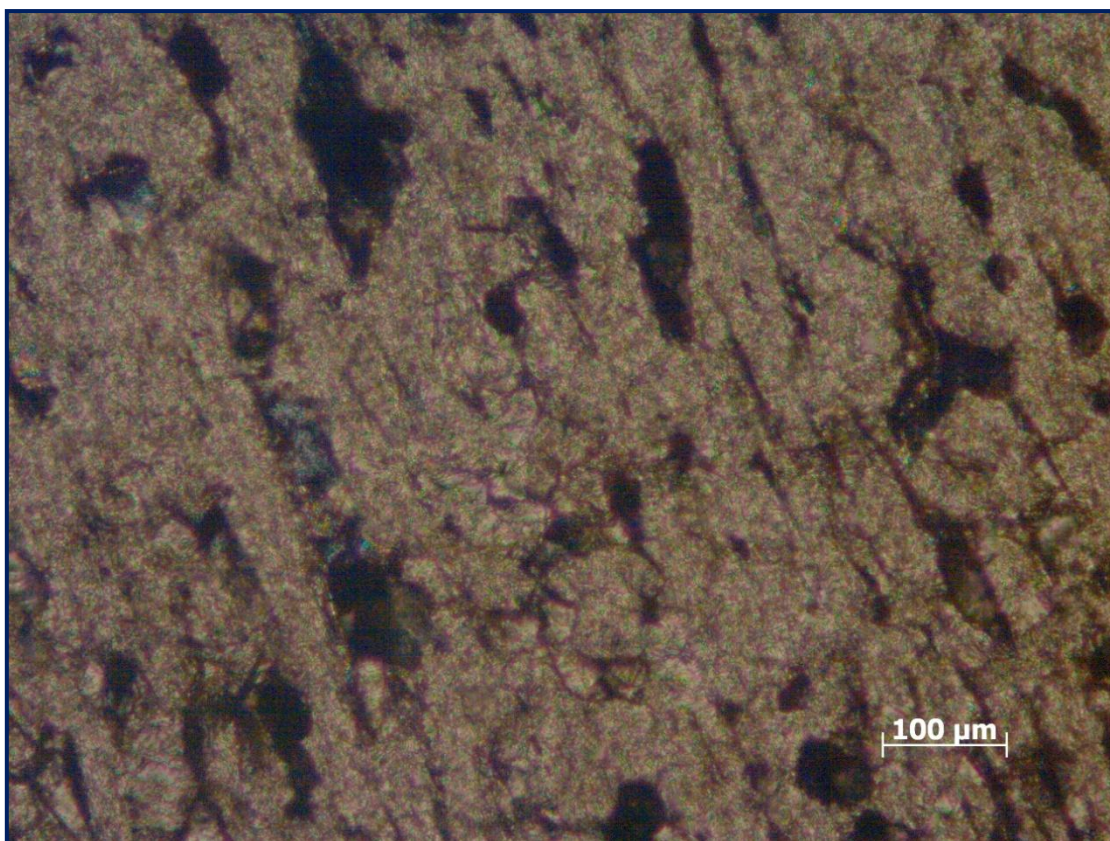
Εικόνα 216. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 71, σε παράλληλα Νicols. Διακρίνονται σε όλη την έκταση μικροκρύσταλλοι ασβεστίτη (Cc) και διάσπαρτοι ανάμεσά τους σκοτεινοί κόκκοι, οι οποίοι μπορεί να αποτελούνται από οργανικό υλικό ή μεταλλικά οξειδία.



Εικόνα 217. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 71, σε παράλληλα Nicols. Διακρίνονται στοιχεία τεκτονικής καταπόνησης.



Εικόνα 218. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 71, σε παράλληλα Nicols. Ακόμη πιο αδροκρυσταλλική δομή από των προηγούμενων Εικόνων, υπιδιόμορφη έως αλοτριόμορφη.

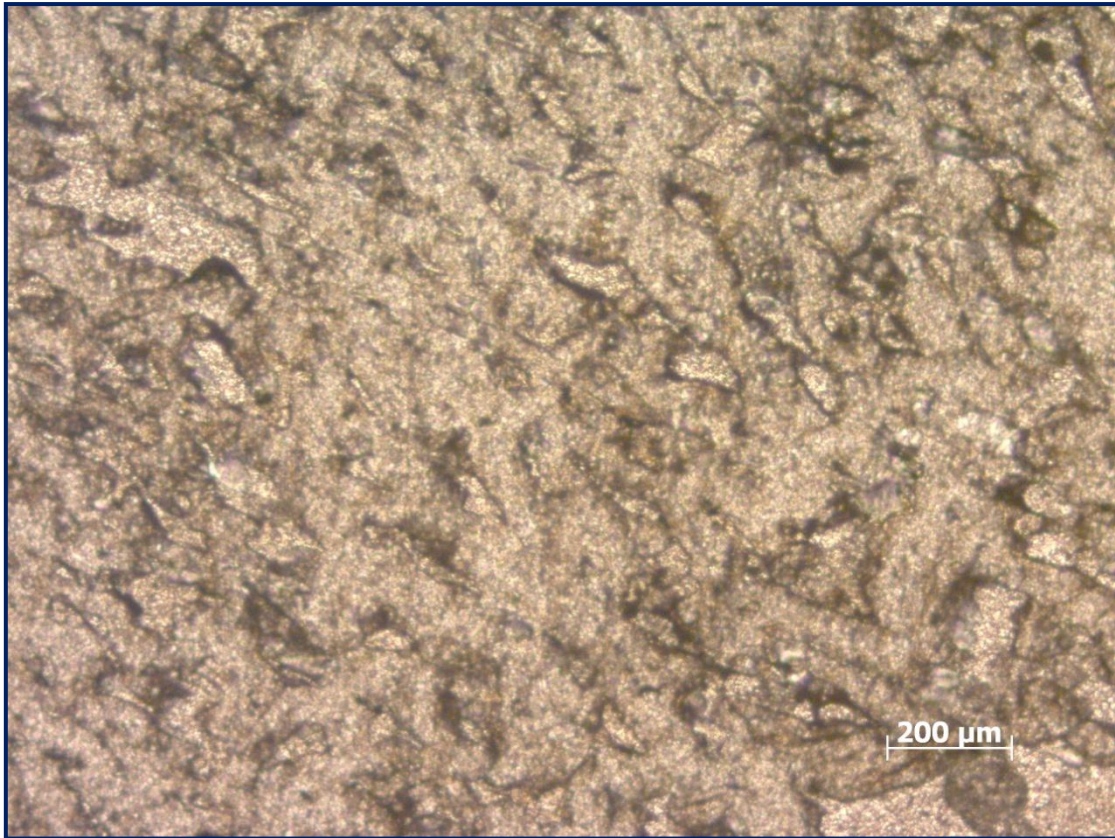


Εικόνα 219. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 71, σε παράλληλα Nicols. Η μεγέθυνση εδώ είναι διπλάσια από των προηγούμενων Εικόνων.

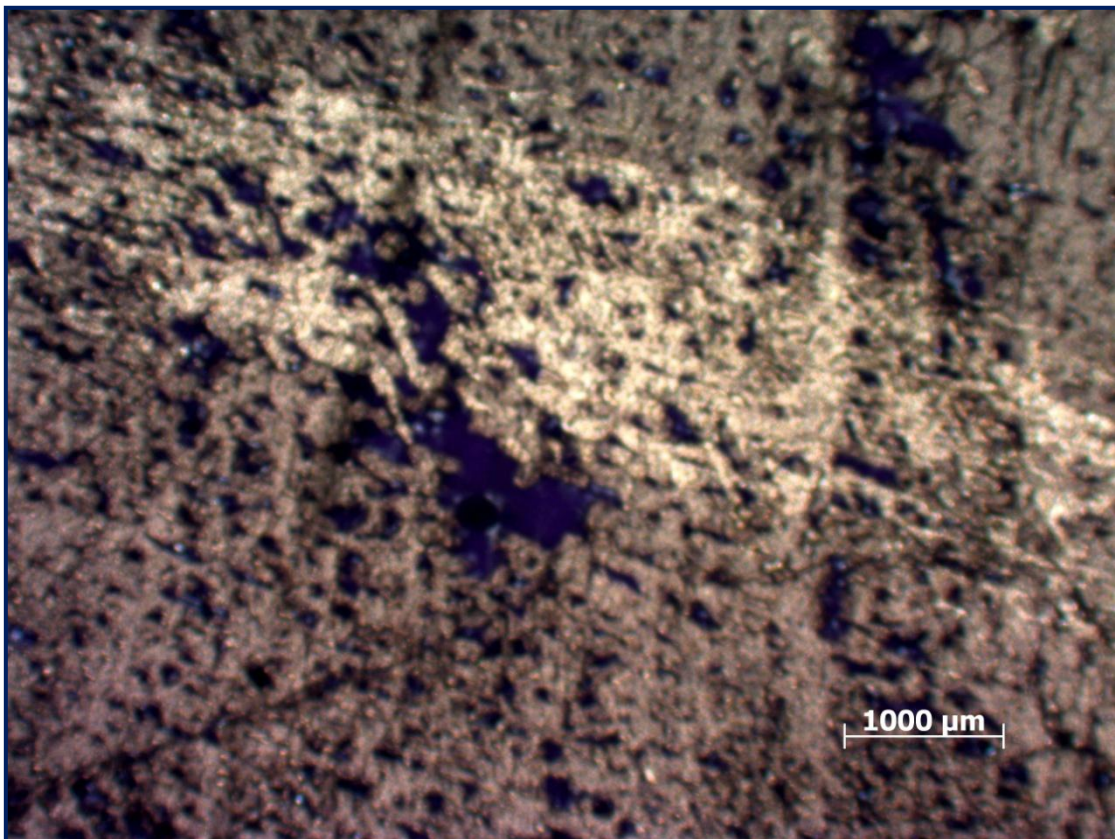
Το Δείγμα 72 είναι τραβερτίνης (Εικόνες 220-222). Η ορυκτολογική σύσταση του δείγματος είναι κυρίως ασβεστίτης. Στο δείγμα χειρός από τη λεπτή τομή του Δείγματος 72 φαίνεται μακροσκοπικά μια ζώνωση ομοκεντρικής ακτινωτής ανάπτυξης και κάποιες επιφάνειες κάθετες σε αυτή τη ζώνωση. Στην Εικόνα 221 (παράλληλα Nicols) υπάρχει μια φωτογραφία σε μεγέθυνση λεπτής τομής του Δ72 στην οποία φαίνεται αμυδρά αυτή η ζωνώδης δομή. Στην Εικόνα 222 (κάθετα Nicols) διακρίνεται καθαρά η κυρίαρχη παράλληλη ομόκεντρη διάταξη, ενώ κάθετα σε αυτήν υπάρχουν διάχυτες λευκές ζώνες ακτινωτής ανάπτυξης που οφείλονται ενδεχομένως στη δημιουργία ρωγμών κάθετα στην αρχική ζώνωση και εν συνεχεία πλήρωσή της από νέους κρυστάλλους ασβεστίτη, οι οποίοι σχηματίστηκαν λόγω νέας διέλευσης ρευστού.



Εικόνα 220. Μακροσκοπική εικόνα του Δείγματος 72.



Εικόνα 221. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 72, σε παράλληλα Nicols. Διακρίνεται αμυδρά η ζωνώδης δομή.



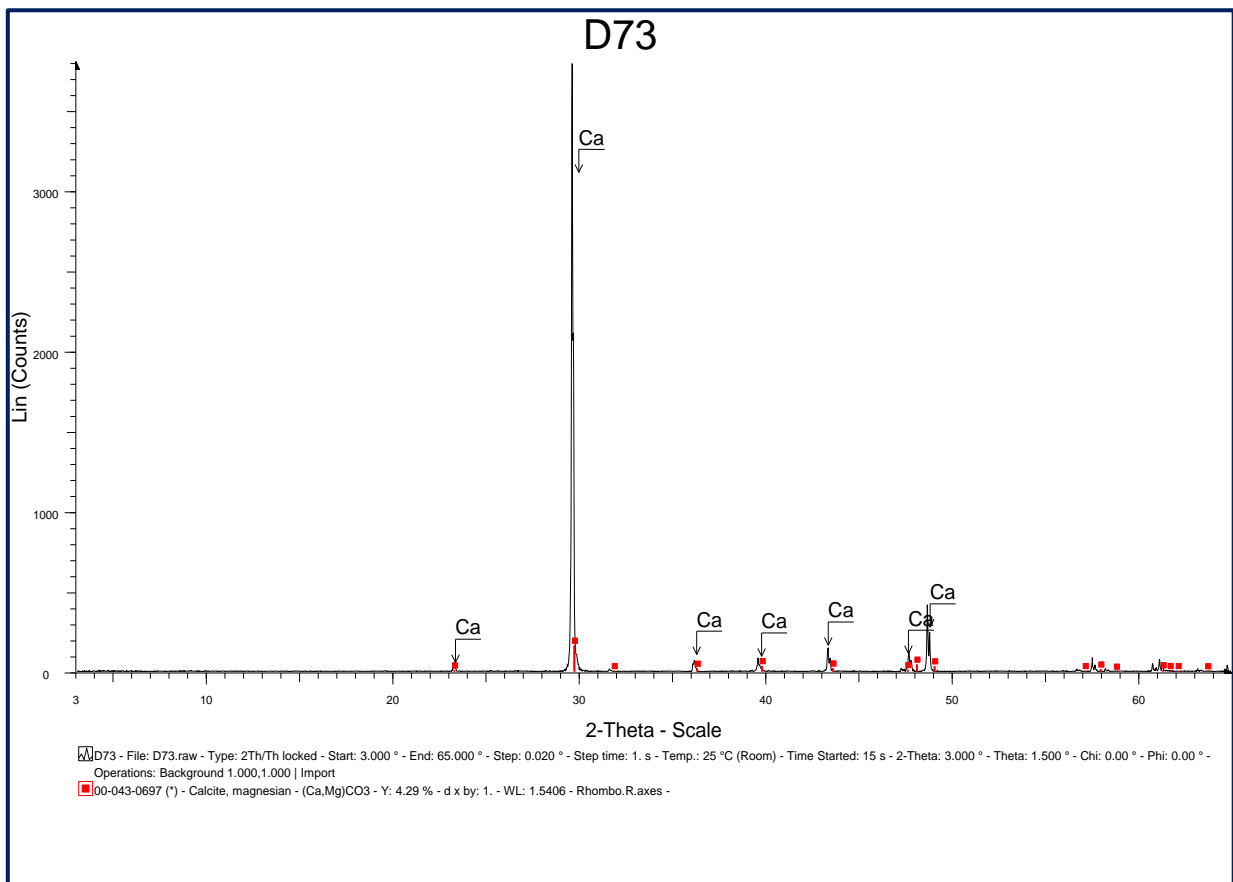
Εικόνα 222. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 72, σε κάθετα Nicols. Διακρίνεται η κυρίαρχη παράλληλη ομόκεντρη διάταξη και κάθετα σε αυτήν μια διάχυτη λευκή ζώνη ακτινωτής ανάπτυξης.

Το Δείγμα 73 είναι τραβερτίνης (Εικόνες 223-226).

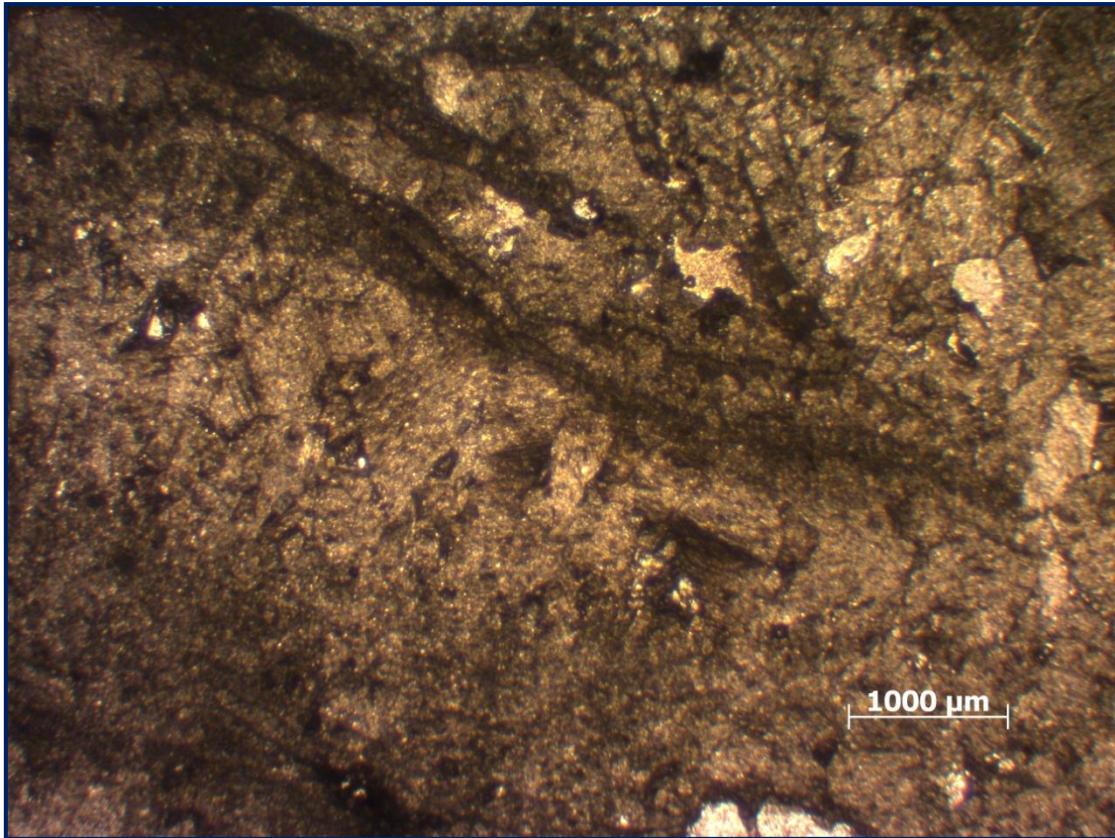


Εικόνα 223. Μακροσκοπική εικόνα του Δείγματος 73.

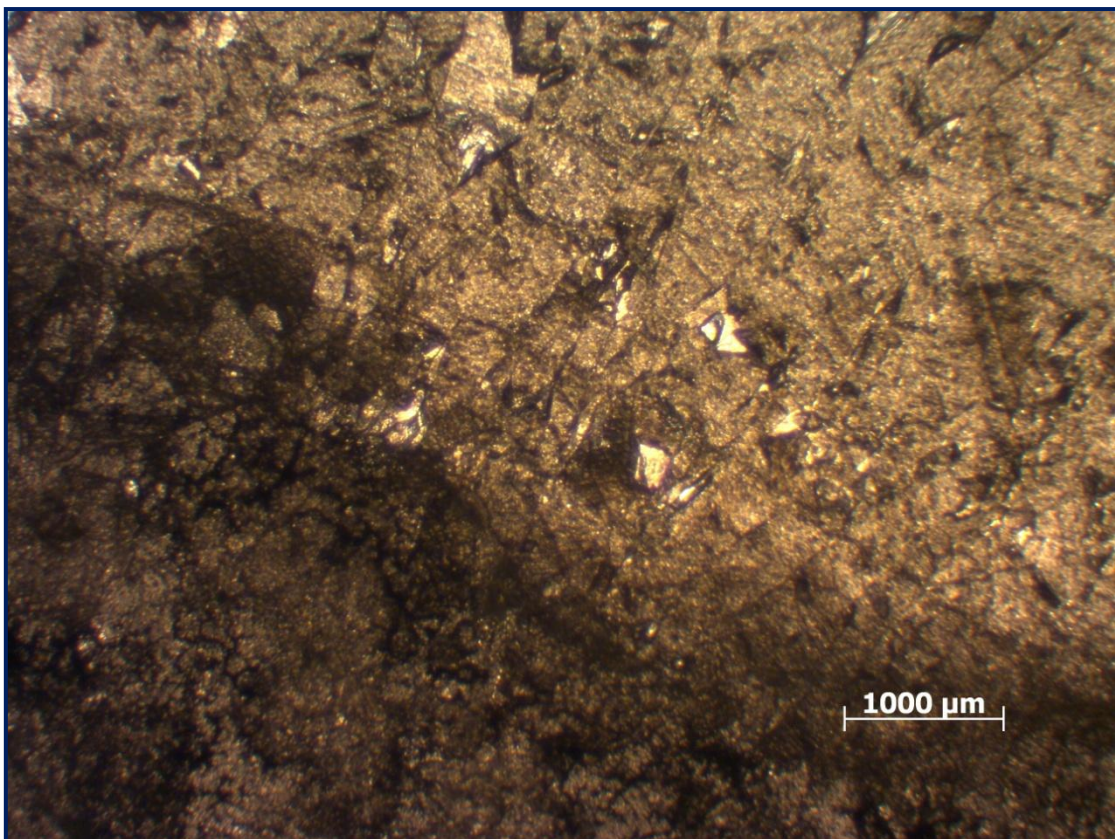
Η ορυκτολογική σύσταση του δείγματος είναι μόνο ασβεστίτης, σύμφωνα με το αντίστοιχο διάγραμμα XRD (Εικ. 226). Συνδυάζοντας τη μακροσκοπική παρατήρηση του δείγματος με τη μικροσκοπική του, μέσω των λεπτών τομών (Εικόνες 225, 226), συμπεραίνουμε ότι χαρακτηρίζεται από μια ζώνωση. Στη βάση του αποτελείται από ένα στρώμα αδροκρυσταλλικό – κοκκώδες, πιο πάνω από ένα άλλο στρώμα μικροκρυσταλλικό με επίστρωση οργανικού υλικού μικροβιακής προέλευσης και στην κορυφή του υπάρχει ένας φλοιός με κρυστάλλους ασβεστίτη αδροκρυσταλλικής μορφής, οι οποίοι σχηματίζουν στυλοειδείς δομές.



Εικόνα 224. Διάγραμμα XRD από σκόνη του Δείγματος 73. Το ορυκτό που κυριαρχεί είναι ο ασβεστίτης (Ca).



Εικόνα 225. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 73, σε παράλληλα Nicols.



Εικόνα 226. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 73, σε παράλληλα Nicols.

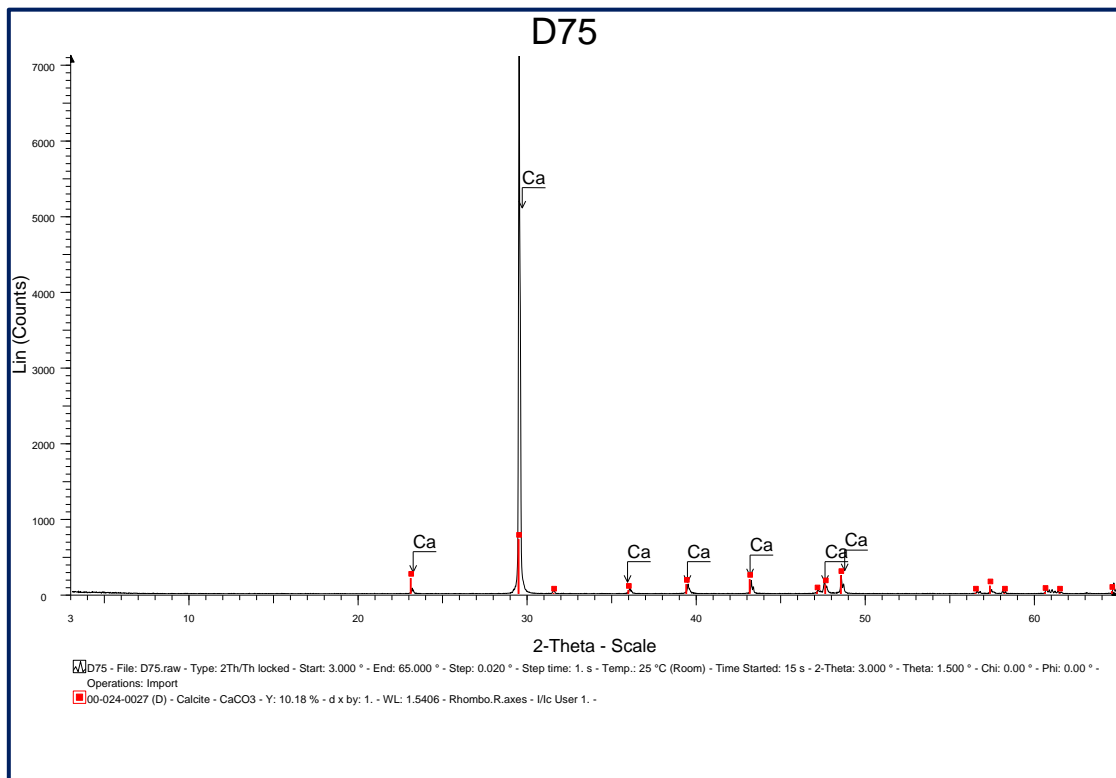
Το Δείγμα 75 είναι τραβερτίνης (Εικόνες 227-232).



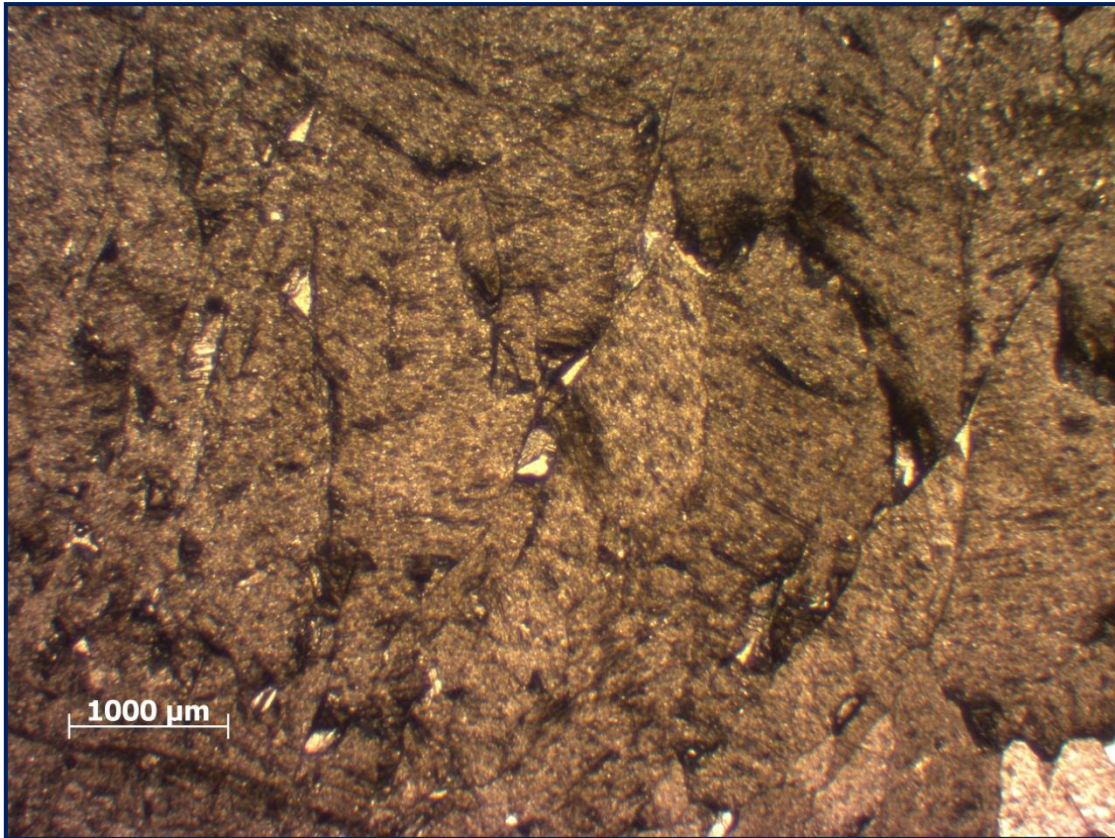
Εικόνα 227. Το Δείγμα 75 (πάνω) και η ακριβής θέση του στην εμφάνιση αποθέσεων τραβερτίνη από όπου ελήφθη (κάτω).

Η ορυκτολογική σύσταση του δείγματος είναι μόνο ασβεστίτης, σύμφωνα με το αντίστοιχο διάγραμμα XRD (Εικ. 228). Συνδυάζοντας τη μικροσκοπική παρατήρηση της λεπτής τομής (Εικόνες 229-232) με τη μακροσκοπική του αντιδείγματος, συμπεραίνουμε ότι χαρακτηρίζεται από μια ακτινωτή δομή, από τη βάση του προς την κορυφή, θυσανοειδή, η οποία κυριαρχείται από στυλοειδείς αδροκρυστάλλους ασβεστίτη.

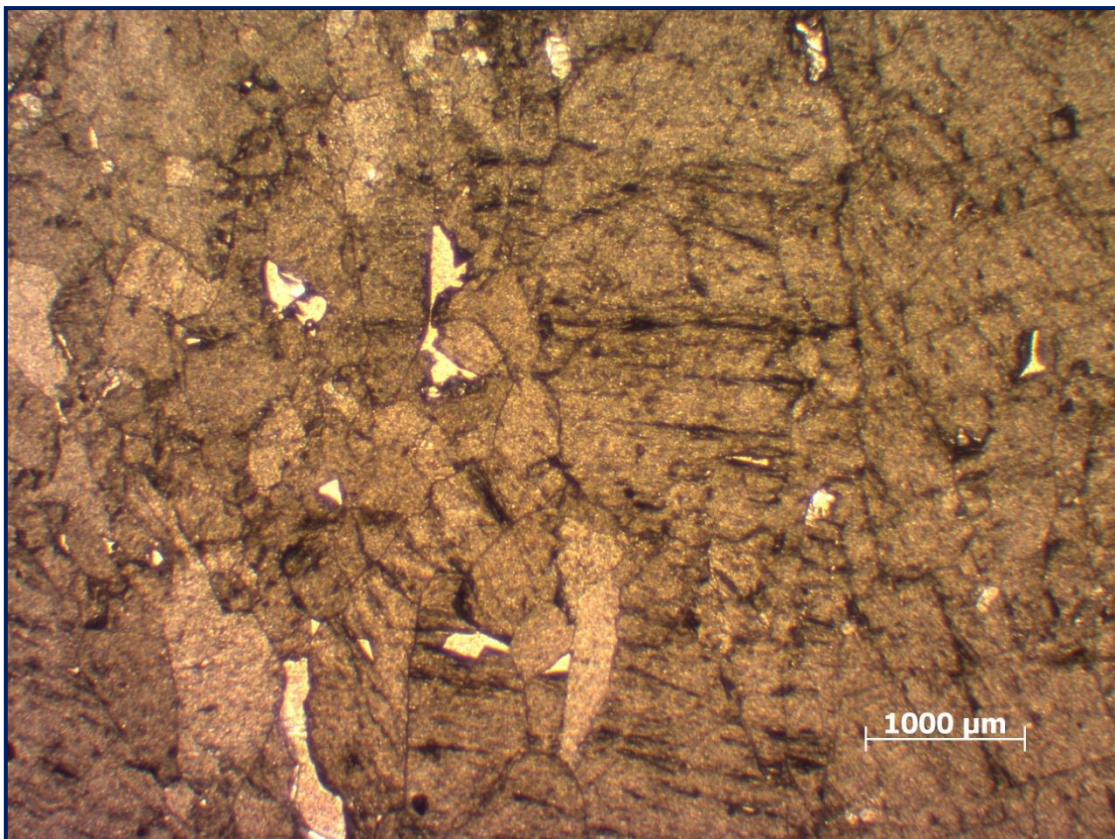
Καθώς μεταβαίνουμε από τη βάση προς την κορυφή του αντιδείγματος, διακρίνουμε 3 διαφορετικές μορφές κρυστάλλων ασβεστίτη. Στη βάση, αυτοί είναι αδροκρυσταλλικοί-ισοδιαμετρικοί. Ενδιάμεσα οι κρύσταλλοι είναι μεγαλύτερων διαστάσεων και πιο επιμήκεις. Στην κορυφή υπάρχουν πολύ μεγάλοι κρύσταλλοι, με ορατή καταπόνηση στα επίπεδα σχισμού του ασβεστίτη. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένδειξη πως η επιφάνεια του σχηματισμού των αποθέσεων τραβερτίνη έχει υποστεί την επίδραση ισχυρών τάσεων στο παρελθόν, πιθανόν λόγω ενταφιασμού του ή επαφής του με υπερκείμενα στρώματα που επωθούνταν πάνω του και στη συνέχεια απομακρύνθηκαν με αποσάθρωση και διάβρωση.



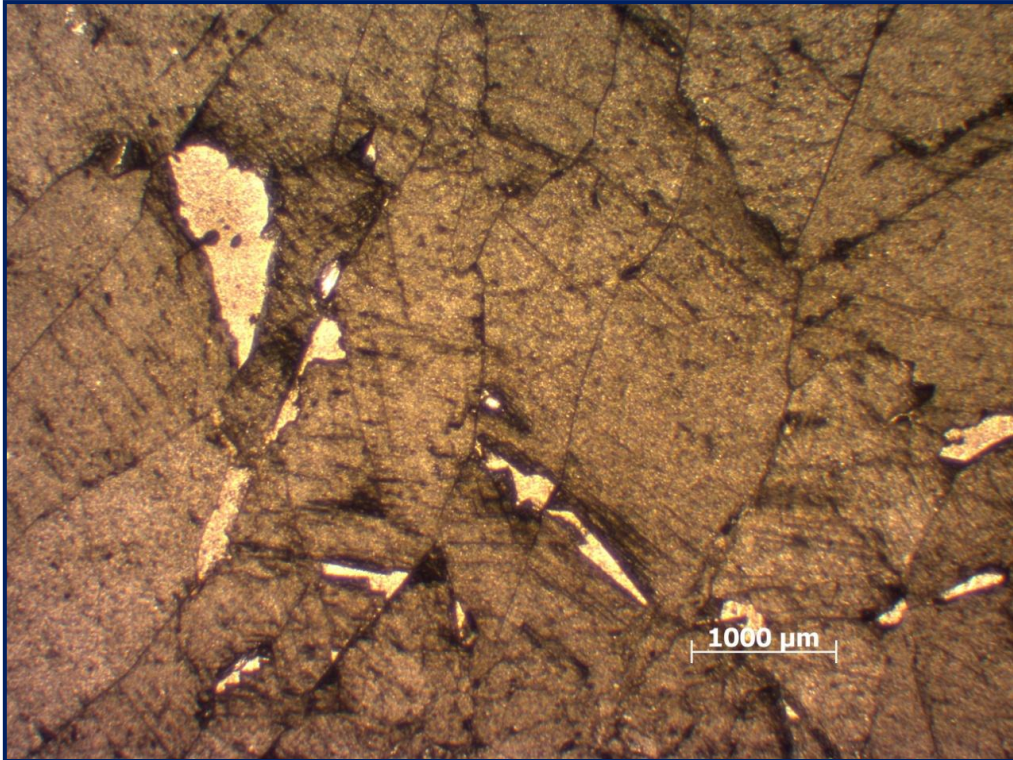
Εικόνα 228. Διάγραμμα XRD από σκόνη του Δείγματος 75. Το ορυκτό που κυριαρχεί είναι ο ασβεστίτης (Ca).



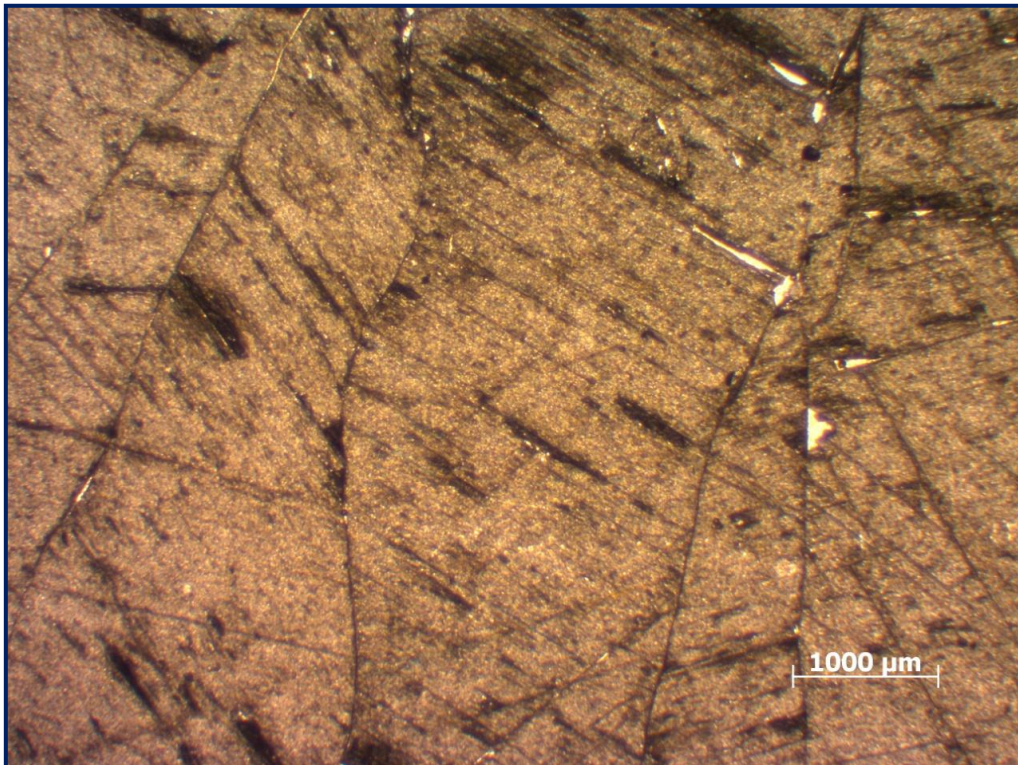
Εικόνα 229. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 75, σε παράλληλα Nicols.



Εικόνα 230. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 75, σε παράλληλα Nicols. Βρισκόμαστε στη βάση του δείγματος, όπου κυριαρχούν αδροκρυσταλλικοί ισοδιαμετρικοί κρύσταλλοι ασβεσίτη.



Εικόνα 231. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 75, σε παράλληλα Nicols. Βρισκόμαστε στην ενδιάμεση περιοχή του δείγματος, όπου κυριαρχούν μεγαλύτερων διαστάσεων από της βάσης κρύσταλλοι, πιο επιμήκεις.



Εικόνα 232. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 75, σε παράλληλα Nicols. Βρισκόμαστε στην κορυφαία περιοχή του δείγματος, όπου κυριαρχούν πολύ μεγάλων διαστάσεων κρύσταλλοι, επιμήκεις, με ορατή καταπόνηση στα επίπεδα σχισμού του ασβεστίτη.

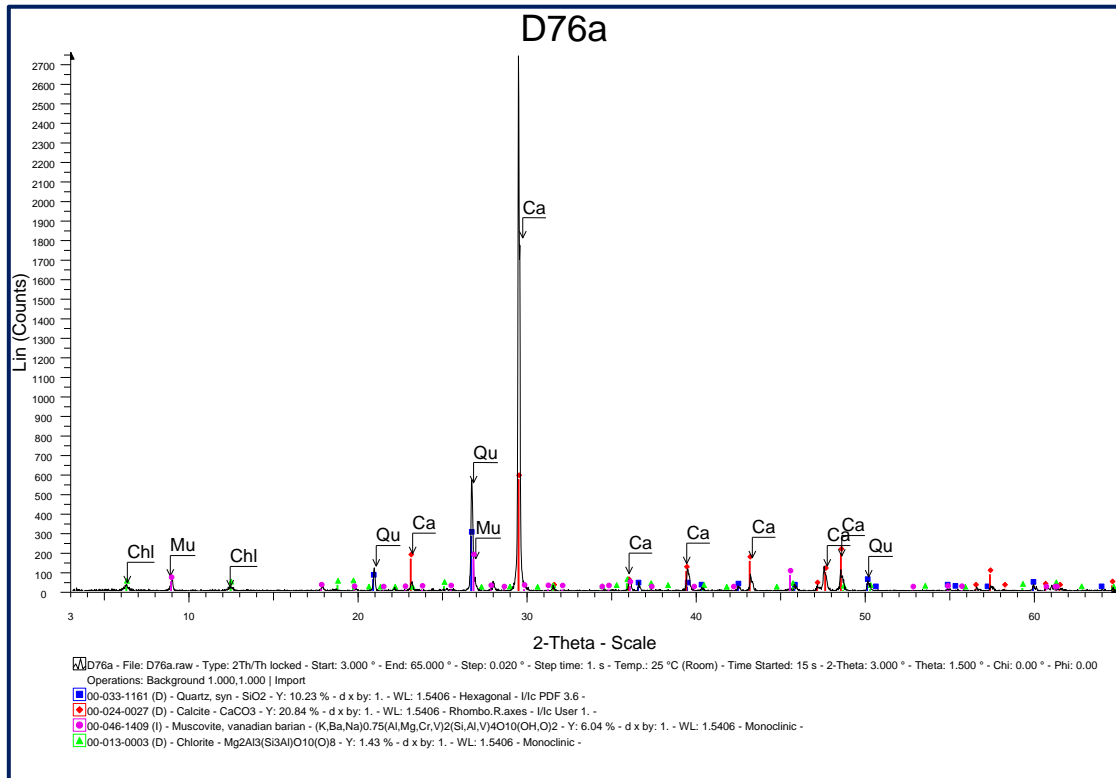
Το Δείγμα 76 είναι τραβερτίνης (Εικόνες 233-238).



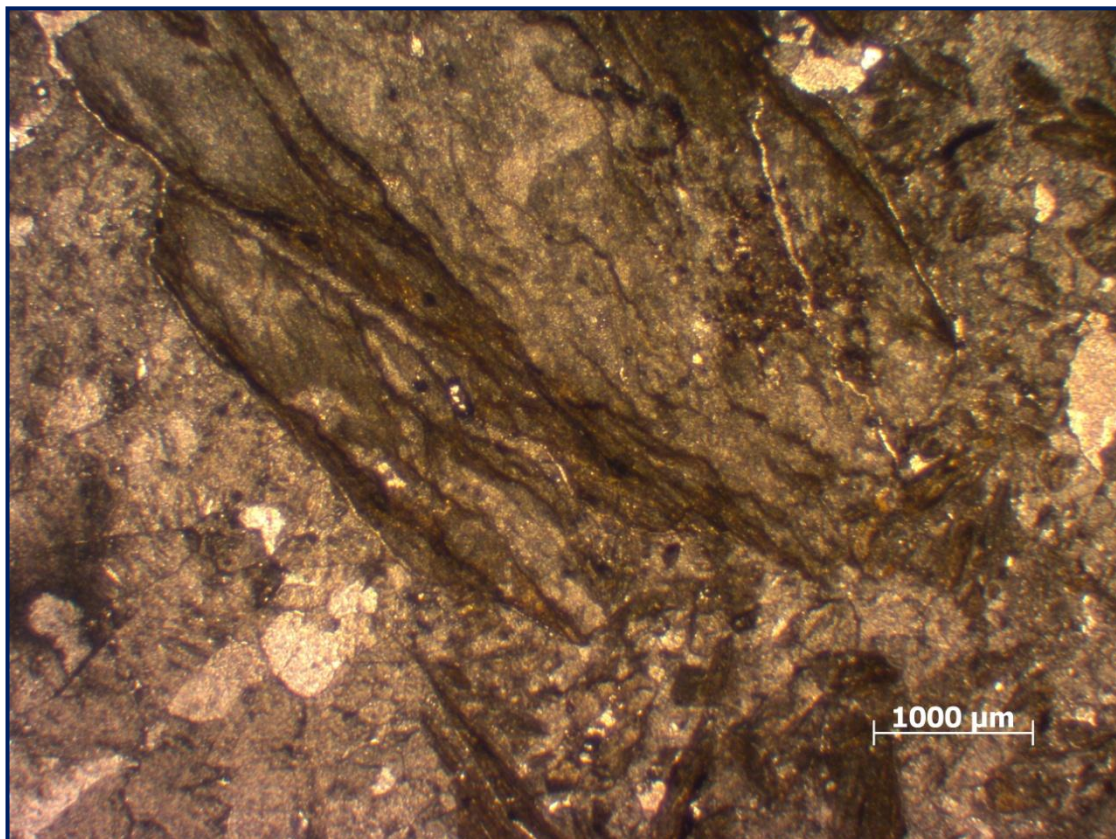
Εικόνα 233. Το Δείγμα 76 (πάνω) και η ακριβής θέση του στην εμφάνιση αποθέσεων τραβερτίνη από όπου ελήφθη (κάτω).

Η ορυκτολογική σύστασή του είναι κυρίως ασβεστίτης, συμμετέχουν όμως σε μικρότερο βαθμό χαλαζίας, μοσχοβίτης και χλωρίτης, σύμφωνα με το αντίστοιχο διάγραμμα XRD (Εικ. 234). Από τη μικροσκοπική παρατήρηση της λεπτής τομής (Εικόνες 235-238), συμπεραίνουμε ότι οι περισσότεροι κρύσταλλοι ασβεστίτη εμφανίζουν μια στυλοειδή ανάπτυξη και οι λιγότεροι ισοδιαμετρική. Παρεμβάλλονται σε αυτούς μεταφερμένοι κλάστες γωνιώδεις έως υπογωνιώδεις, υποστρογγυλεμένοι. Οι κλάστες αυτοί προέρχονται από την αποσάθρωση-διάβρωση γειτονικών σχιστολίθων, με δεδομένη τη διατήρηση της γωνιώδους

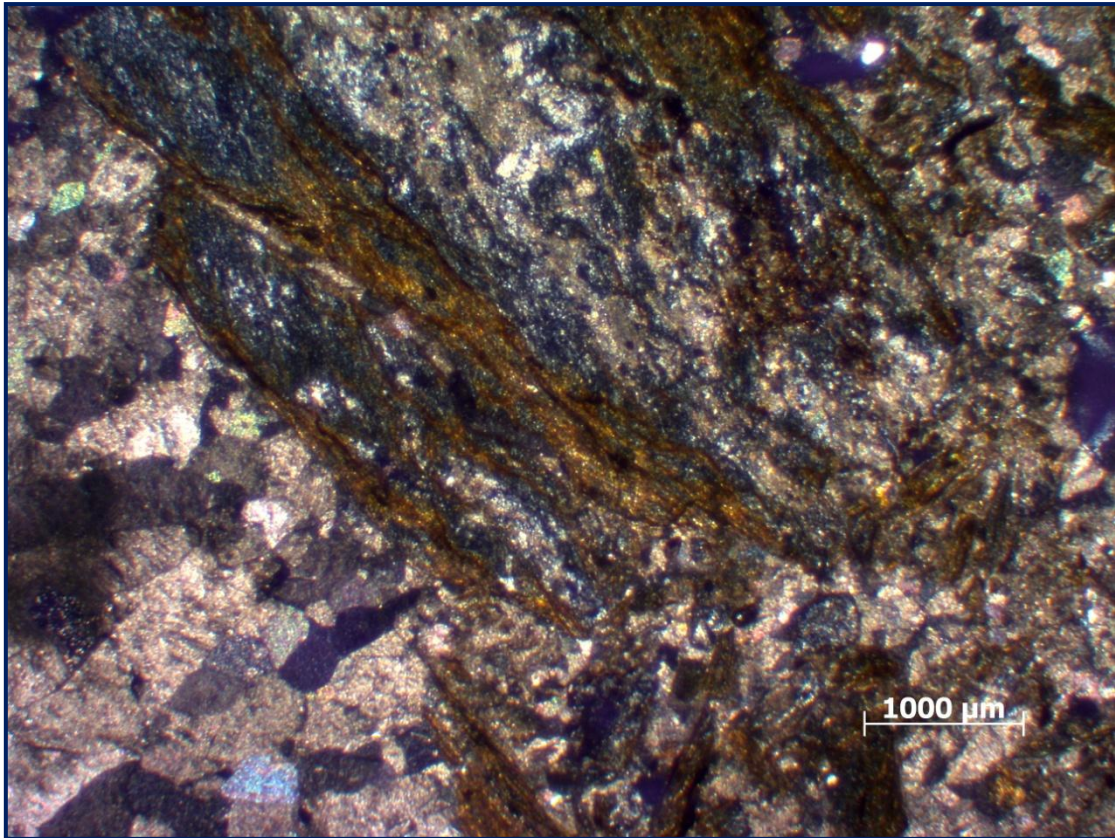
έως υπογωνιώδους μορφής τους, πράγμα που δηλώνει ότι έχουν διανύσει μικρή απόσταση μεταφερόμενοι από ρεύματα.



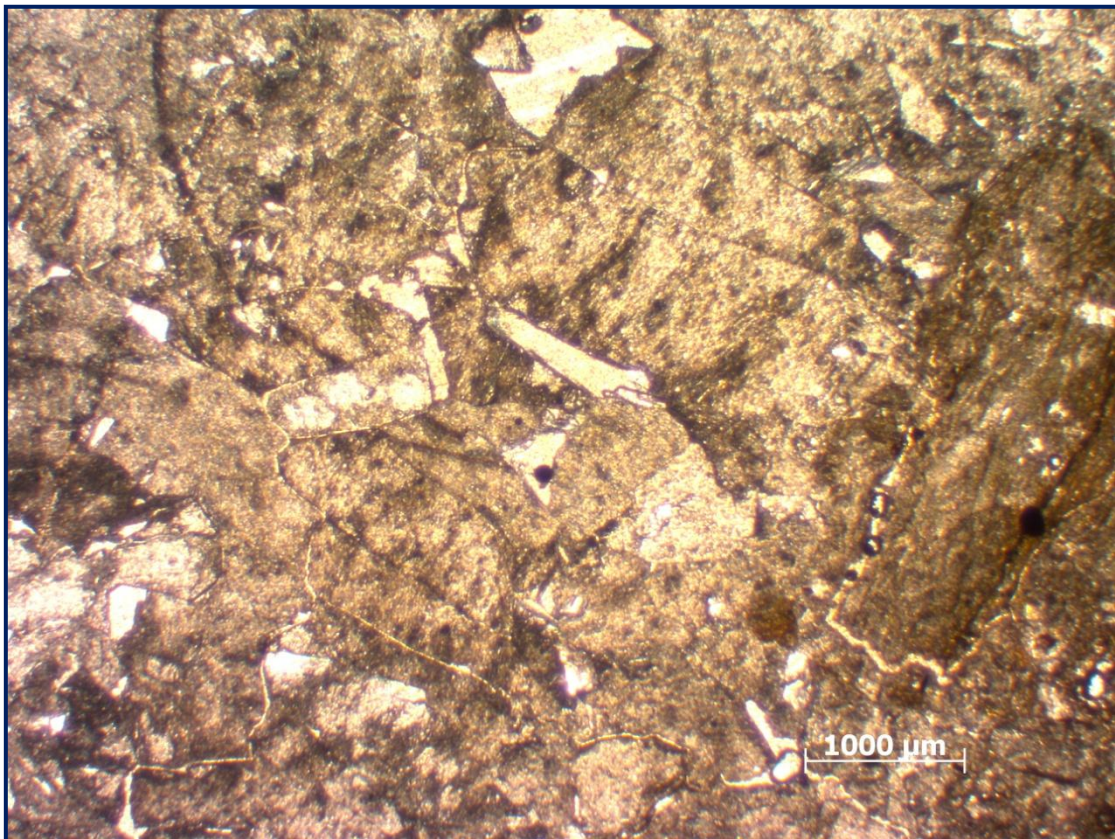
Εικόνα 234. Διάγραμμα XRD από σκόνη του Δείγματος 76. Το ορυκτό που κυριαρχεί είναι ο ασβεστίτης (Ca), συμμετέχουν όμως σε μικρότερο βαθμό χαλαζίας (Qu), μοσχοβίτης (Mu) και χλωρίτης(Chl).



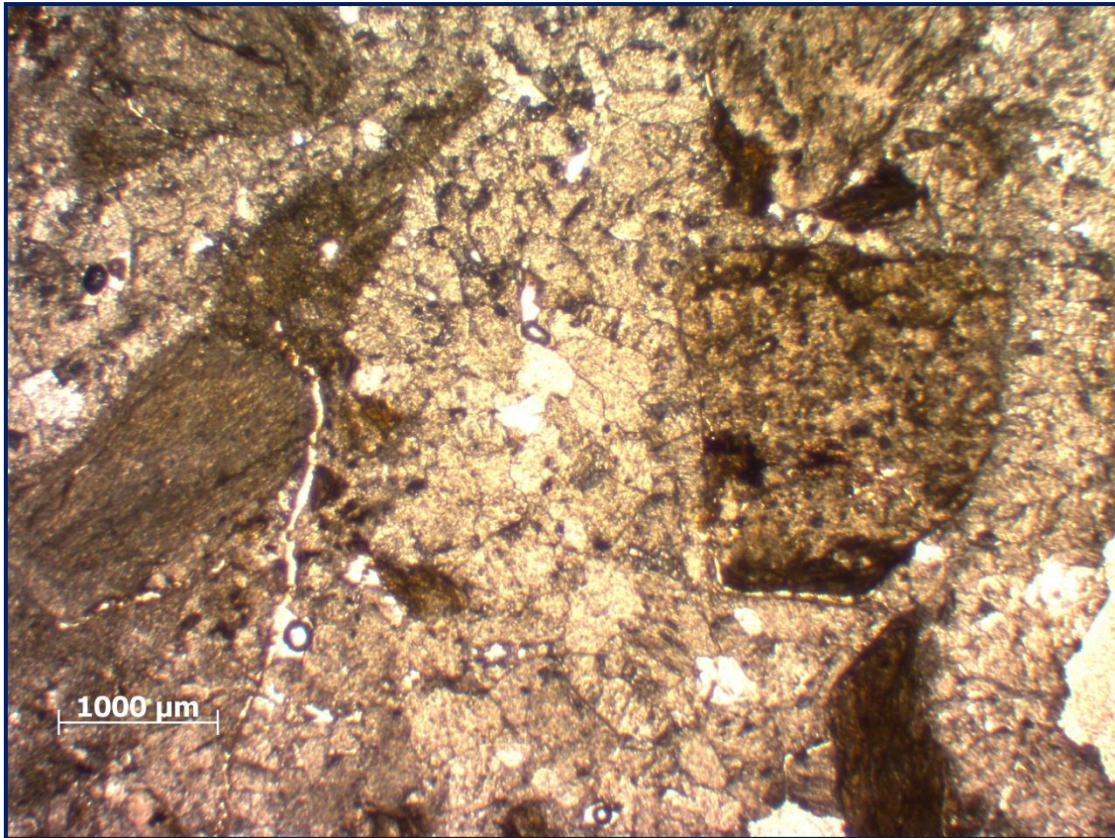
Εικόνα 235α. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 76, σε παράλληλα Nicols.



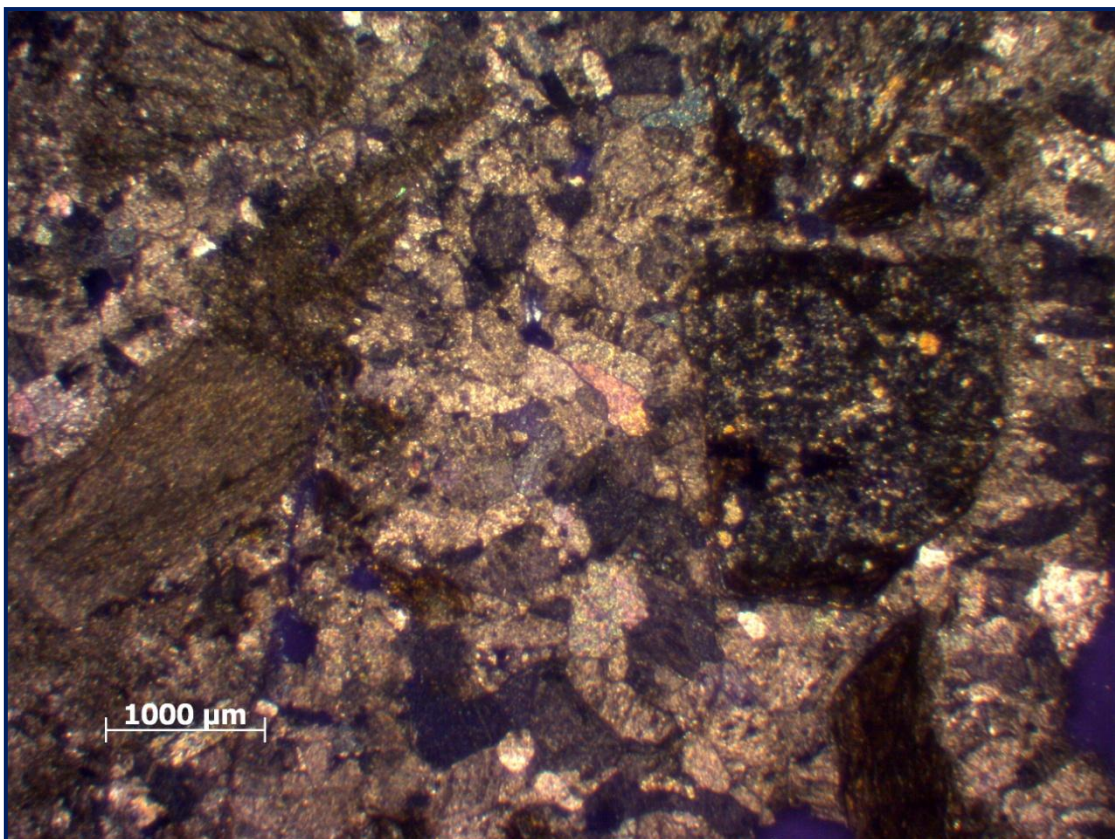
Εικόνα 235β. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 76, σε κάθετα Nicols, στην ίδια περιοχή με της Εικόνας 235α.



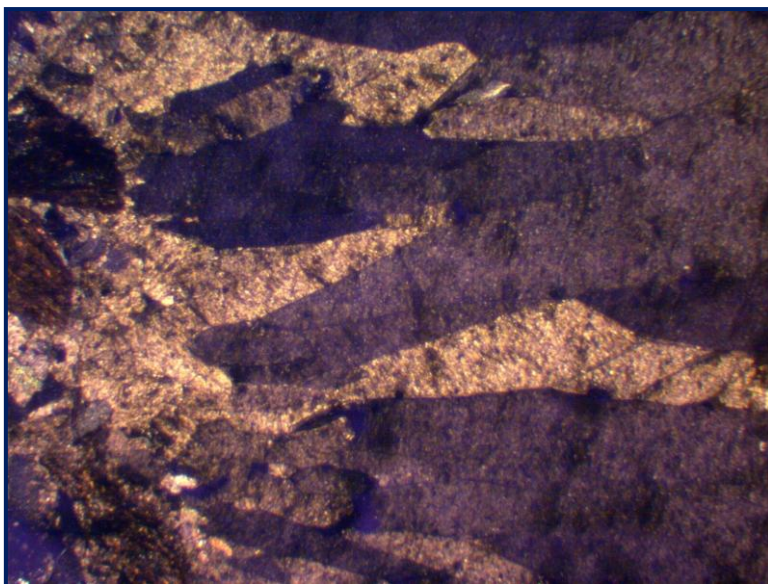
Εικόνα 236. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 76, σε παράλληλα Nicols.



Εικόνα 237α. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 76, σε παράλληλα Nicols.



Εικόνα 237β. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 76, σε κάθετα Nicols, στην ίδια περιοχή με της Εικόνας 237α.



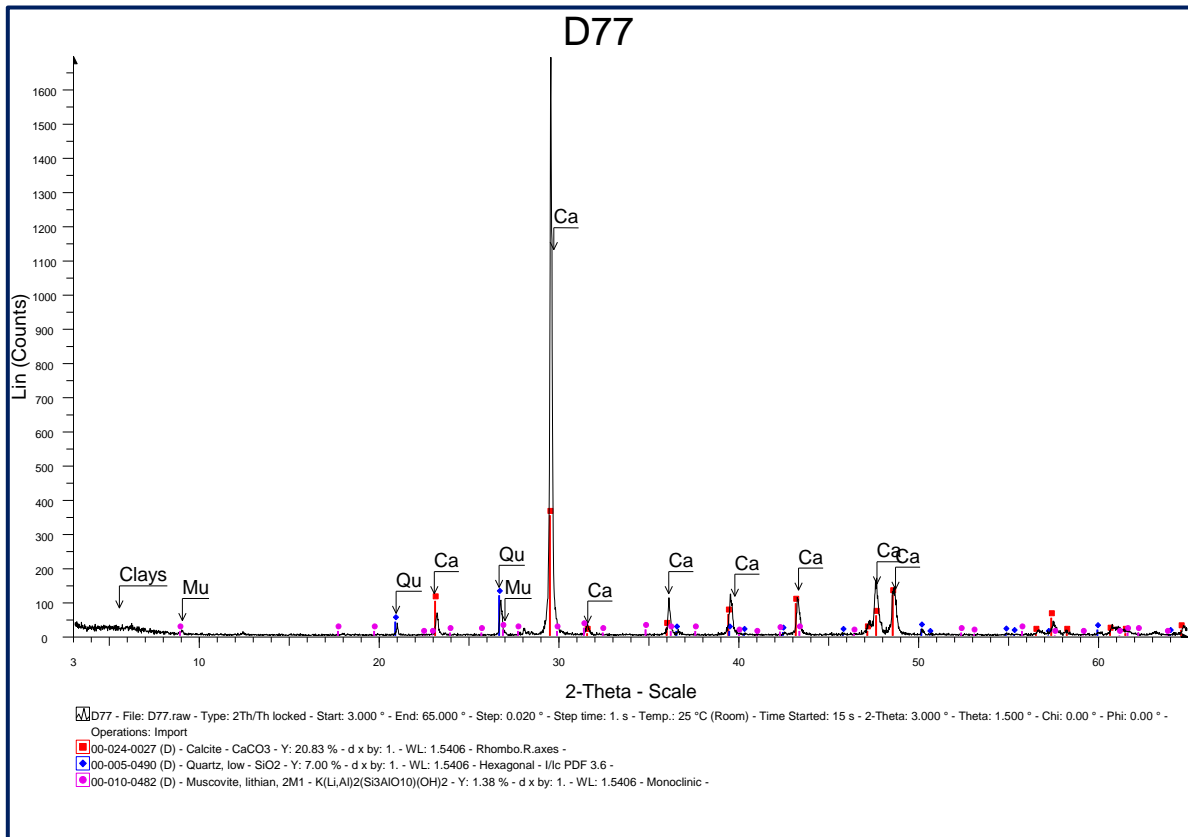
Εικόνα 238. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 76, σε κάθετα Nicols

Το Δείγμα 77 είναι ασβεστόλιθος (Εικόνες 239-242).



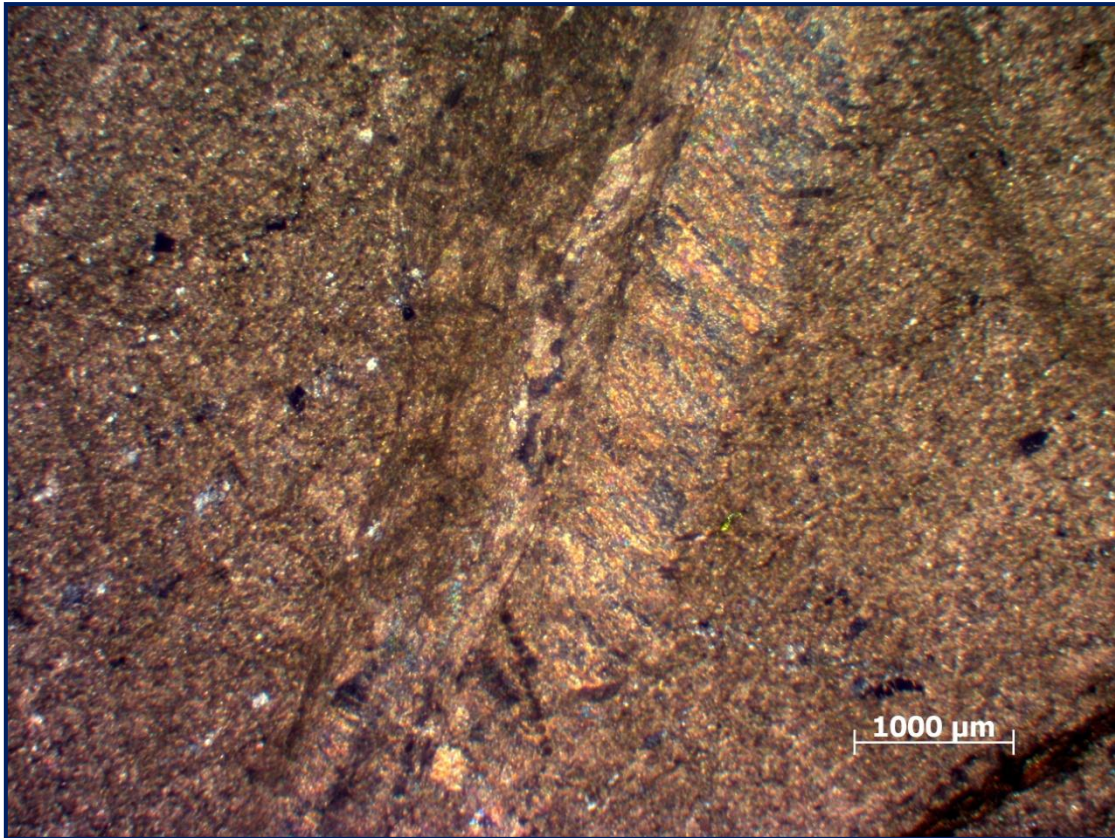
Εικόνα 239. Το Δείγμα 77 (πάνω) και η ακριβής θέση του, σε απόσταση λίγων μέτρων από την κύρια εμφάνιση αποθέσεων τραβερτίνη, από όπου ελήφθη (κάτω).

Σύμφωνα με το διάγραμμα XRD της Εικόνας 240, στην ορυκτολογική σύσταση του δείγματος κυριαρχεί ο ασβεστίτης, ενώ συμμετέχουν σε μικρότερο βαθμό ο χαλαζίας, ο μωσχοβίτης και αργιλικά ορυκτά (Clays).

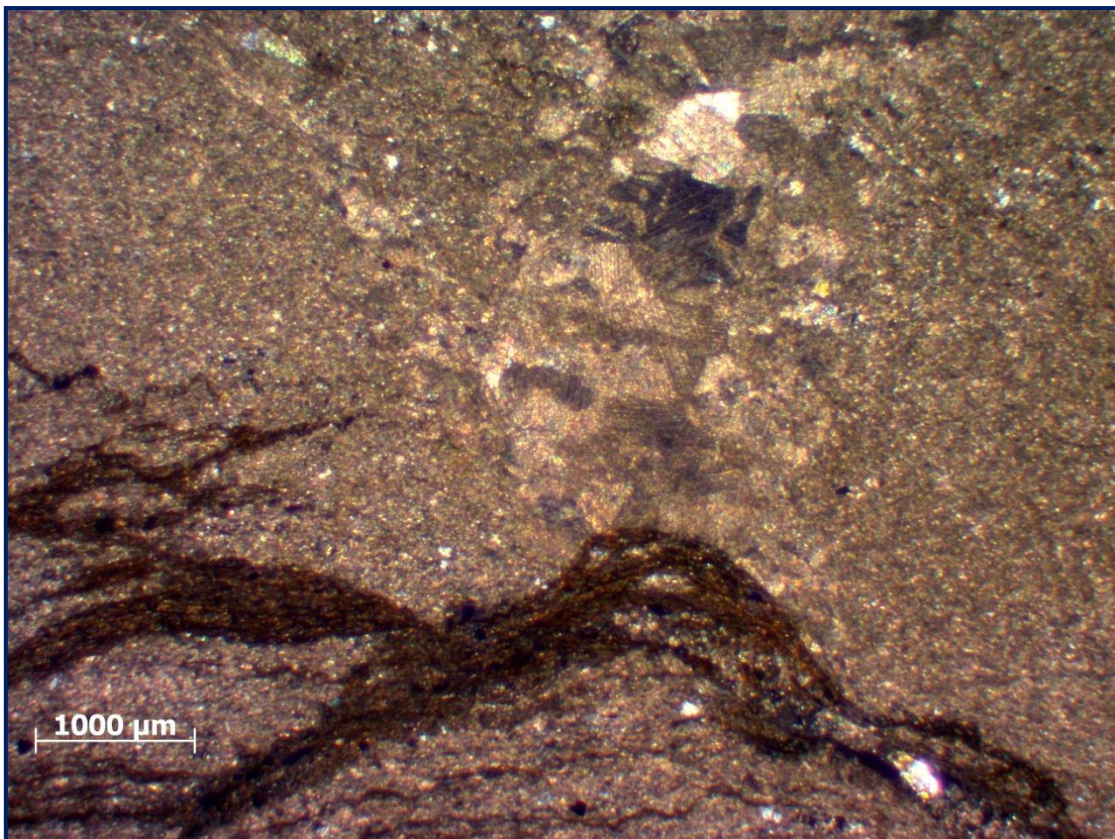


Εικόνα 240. Διάγραμμα XRD από σκόνη του Δείγματος 77. Το ορυκτό που κυριαρχεί είναι ο ασβεστίτης (Ca), συμμετέχουν όμως σε μικρότερο βαθμό χαλαζίας (Qu), μωσχοβίτης (Mu) και αργιλικά ορυκτά (Clays).

Το δείγμα αυτό έχει ληφθεί σε σημείο που υποδηλώνει ότι πρόκειται για πέτρωμα του υποβάθρου, πάνω στο οποίο απετέθη ο τραβερτίνης (Εικόνα 239). Είναι ένας μικροκρυσταλλικός ασβεστόλιθος, με ζώνες τεκτονικής παραμόρφωσης και στυλόλιθους, οι οποίοι επίσης αποτελούν ένδειξη εφαρμογής συμπιεστικών τάσεων κάθετα στις επιφάνειες στρώσης (Εικόνες 241, 242). Όπως διακρίνεται στη φωτογραφία της λεπτής τομής στην Εικόνα 242, πάνω από τον στυλόλιθο υπάρχει μια ρωγμή που έχει γεμίσει με αδροκρυσταλλικό ασβεστίτη, λόγω μεταγενέστερων ροών.



Εικόνα 241. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 77, σε παράλληλα Nicols.



Εικόνα 242. Φωτογραφία λεπτής τομής του Δείγματος 77, σε παράλληλα Nicols. Στο κάτω μέρος της φωτογραφίας διακρίνεται καθαρά ο στυλόλιθος, ενώ κάθετα σε αυτόν έχει αναπτυχθεί μια ρωγμή, η οποία μεταγενέστερα πληρώθηκε με αδροκρυσταλλικό ασβεσίτη.

3.9.6. Γενικά Συμπεράσματα από την Πετρολογία της Περιοχής Μελέτης

Από τη μακροσκοπική εξέταση των δειγμάτων που ελήφθησαν από τις διάφορες θέσεις που επισκεφθήκαμε, προέκυψε ότι στην περιοχή μελέτης υπάρχει μια ευρεία ποικιλία πετρωμάτων: ασβεστόλιθοι διαφόρων τύπων, δολομίτες, σιπολινομάρμαρα, μάρμαρα, σχιστόλιθοι διαφόρων τύπων, πρασινοσχιστόλιθοι, ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή, μεταβασικά, σερπεντινίτες κλπ. Τα πετρώματα αυτά χαρακτηρίζονται από διάφορους βαθμούς μεταμόρφωσης, από πολύ χαμηλών θερμοκρασιών και πιέσεων μέχρι μέτριων θερμοκρασιών και υψηλών πιέσεων. Όλα όμως χαρακτηρίζονται από παραμόρφωση, η οποία κυμαίνεται από μέτρια έως πολύ έντονη.

Στα πιο σχιστοποιημένα δείγματα, ο ιστός είναι ινοβλαστικός – λεπιδοβλαστικός. Στα υπόλοιπα, όπου υπάρχει κατάκλαση ο ιστός είναι κατακλαστικός, ενώ στα οφιολιθικά (σερπεντινίτες) ο ιστός είναι κυψελώδης.

Από απόψεως μικροτεκτονικής, έχουμε δευτερογενείς φυλλώσεις χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης (πρασινοσχιστολιθική φάση), εκτός από τα εξαλλοιωμένα υπερβασικά και το δείγμα μεταβασίτη. Τα υπόλοιπα είναι κλαστικά, με ποικίλο ποσοστό ασβεστιτικών και πυριτικών στα διάκενα μεταξύ των κλαστών. Η παραμόρφωση είναι συμβατή με πολύ χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση. Υπάρχουν λεπτόκοκκες φυλλώσεις ή στρωματώσεις ιζηματογενούς προέλευσης. Όλες οι εμφανιζόμενες παραμορφώσεις είναι δευτερογενείς.

Τόσο από τη μακροσκοπική όσο και από τη μικροσκοπική πετρογραφική εξέταση, προκύπτει ότι η περιοχή μελέτης αποτελείται κυρίως από μεταμορφωμένα πετρώματα, βασικής και υπερβασικής σύστασης, τα οποία πιθανότατα συνιστούν μια διαμελισμένη οφιολιθική εμφάνιση. Τα πετρώματα αυτά έχουν υποστεί χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση, όπως προκύπτει από τα ορυκτολογικά και ιστολογικά χαρακτηριστικά. Η παρουσία ζωισίτη – κλινοζωισίτη, χλωρίτη, χαλαζία, αλβίτη και ινωδών αμφιβόλων (τρεμολίτης, ακτινόλιθος, ανθοφυλλίτης) υποδηλώνει σχετικά χαμηλό βαθμό μεταμόρφωσης (πρασινοσχιστολιθική φάση).

Ωστόσο, η έντονη τεκτονική παραμόρφωση έχει επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό το μέγεθος και τον τρόπο σύνδεσης των ορυκτολογικών συστατικών των πετρωμάτων που μελετήθηκαν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να γίνεται δύσκολη η πετρογραφική εξέταση σε πολωτικό μικροσκόπιο διερχομένου φωτός και η εξαγωγή βέβαιων συμπερασμάτων ως προς την λιθολογία της περιοχής μελέτης.

Στα 5 από τα 6 δείγματα που ελήφθησαν από την εμφάνιση αποθέσεων τραβερίνη έχουμε ως πέτρωμα τραβερίνη, ενώ στο τελευταίο δείγμα που αντιστοιχεί στο υπόβαθρο, πάνω στο οποίο αποτέθηκε ο τραβερίνης, έχουμε μικροκρυσταλλικό ασβεστόλιθο. Κύριο ορυκτό σε όλα αυτά τα δείγματα είναι ο ασβεστίτης. Συμμετέχουν επίσης σε κάποια δείγματα χαλαζίας, μοσχοβίτης, χλωρίτης, αργιλικά ορυκτά, οργανική ύλη και μεταλλικά οξείδια. Σε κάποια δείγματα επίσης υπάρχουν γωνιώδεις έως υπογωνιώδεις και υποστρογγυλεμένοι κλάστες, που προέρχονται από γειτονικούς σχιστόλιθους και μεταφέρθηκαν στο παρελθόν μέσω ρευστών στην επιφάνεια απόθεσης του τραβερίνη, όπου και εγκλωβίστηκαν μέσα στο αποτιθέμενο ίζημα. Η τεκτονική καταπόνηση που φαίνεται να έχουν υποστεί οι κρύσταλλοι ασβεστίτη σε όλα τα δείγματα ίσως οφείλεται σε ενταφιασμό, το πιθανότερο όμως είναι να έχει προκληθεί από την επώθηση άλλων πετρωμάτων πάνω από τον σχηματισμό του τραβερίνη και την εν συνεχεία αποσάθρωση και διάβρωσή τους, υπό την επίδραση εξωγενών παραγόντων. Είναι ορατές επίσης στυλοειδείς μορφές ανάπτυξης του αδροκρυσταλλικού ασβεστίτη με ακτινωτή διάταξη σε κάποια δείγματα τραβερίνη, γεγονός που ενδεχομένως δείχνει περιβάλλον απόθεσης θερμών πηγών με σταθερές συνθήκες ροής για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από όσα εκτέθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, αναδεικνύεται νομίζουμε σαφώς η σχέση μεταξύ του πολύπλοκου γεωλογικού υποβάθρου της Σκοπέλου και των έντονων τεκτονικών διεργασιών, οι οποίες έλαβαν χώρα στην περιοχή των σημερινών Βορείων Σποράδων τόσο στο απώτερο γεωλογικό παρελθόν, όσο και σε πιο πρόσφατες περιόδους.

Οι εργασίες των παλαιότερων ερευνητών που ασχολήθηκαν με τη γεωλογία της Σκοπέλου (Jacobshagen, Skala, Guernet κ.λπ.), με αποκορύφωση τις εργασίες του Ματαράγκα, έχουν περιγράψει επαρκώς τις τρεις γεωλογικές ενότητες που συγκροτούν το νησί: την Πελαγονική ενότητα, την ενότητα της Γλώσσας (Ηωελληνικό κάλυμμα) και την ενότητα του Παλουκιού. Δεν μπόρεσαν όμως να δώσουν ένα πειστικό σενάριο σχετικά με τη γεωλογική ιστορία της περιοχής. Το τελευταίο φαίνεται να έχουν επιτύχει οι ερευνητές που ασχολούνται τα τελευταία χρόνια με τη γεωλογία της Σκοπέλου, όπως η ερευνητική ομάδα των Porkoláb *et al.*, των οποίων η πιο πρόσφατη δημοσίευση (2019) περιέχει ένα μοντέλο πέντε βημάτων που δείχνει την εξέλιξη του Πελαγονικού περιθωρίου και των τεκτονικών ενοτήτων της Σκοπέλου μεταξύ των ~170 και ~40 Ma BP. (Σημειωτέον ότι οι Porkoláb *et al.* αναβαθμίζουν τις Μεσοαυτόχθονες σειρές, τις οποίες ο Jacobshagen και ο Ματαράγκας περιλαμβάνουν στην Πελαγονική ενότητα, σε Μεσοαυτόχθονη ενότητα.)

Η παρούσα διπλωματική εργασία, εκτός από την επισκόπηση των μέχρι σήμερα δημοσιευμένων εργασιών σχετικά με τη Γεωλογία των Βορείων Σποράδων και της Σκοπέλου ειδικότερα, περιέχει παρατηρήσεις στο ύπαιθρο και δεδομένα εργαστηριακών αναλύσεων δειγμάτων από τη Νοτιοανατολική Σκόπελο, ειδικότερα από την περιοχή όπου εκτιμήσαμε ότι έρχονται σε επαφή η ενότητα του Παλουκιού (με τα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος που υπάρχουν στη βάση της) και η Πελαγονική ενότητα. Σύμφωνα με τους Hejl *et al.*, η γεωμορφολογία της περιοχής αυτής έχει διαμορφωθεί από το Μειόκαινο έως τις μέρες μας, δηλαδή τα τελευταία 25 Ma περίπου. Επομένως, η δράση των ενδογενών δυνάμεων που ευθύνονται για τη δημιουργία του σημερινού αναγλύφου της περιοχής, σε συνδυασμό με τις εξωγενείς δυνάμεις (αποσάθρωση-διάβρωση), θα πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον αυτή τη χρονική περίοδο των τελευταίων 25 Ma.

Όπως αναφέραμε στο εδάφιο 3.9.6, τα ποικίλα πετρώματα που υπάρχουν στην περιοχή μελέτης χαρακτηρίζονται από μεταμόρφωση που κυμαίνεται από πολύ χαμηλών θερμοκρασιών και πιέσεων μέχρι μέτριων θερμοκρασιών και υψηλών πιέσεων. Επίσης, όλα τους χαρακτηρίζονται από παραμόρφωση, η οποία κυμαίνεται από μέτρια έως πολύ έντονη. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τα πορίσματα των Porkoláb *et al.*, οι οποίοι αποδίδουν τη μεταμόρφωση μέτριων θερμοκρασιών και υψηλών πιέσεων (πρασινοσχιστολιθικής προς κυανοσχιστολιθική φάση) στο ότι κατά την ανάπτυξη μιας σφήνας συσσώρευσης στη ζώνη σύγκρουσης μεταξύ της Πελαγονίας και της Ροδόπης, πριν από ~ 55 Ma, όλες οι τεκτονικές ενότητες της Σκοπέλου ενσωματώθηκαν στη σφήνα, αφού μεταφέρθηκαν προς τα κάτω από το υποβυθιζόμενο Πελαγονικό υπόβαθρο.

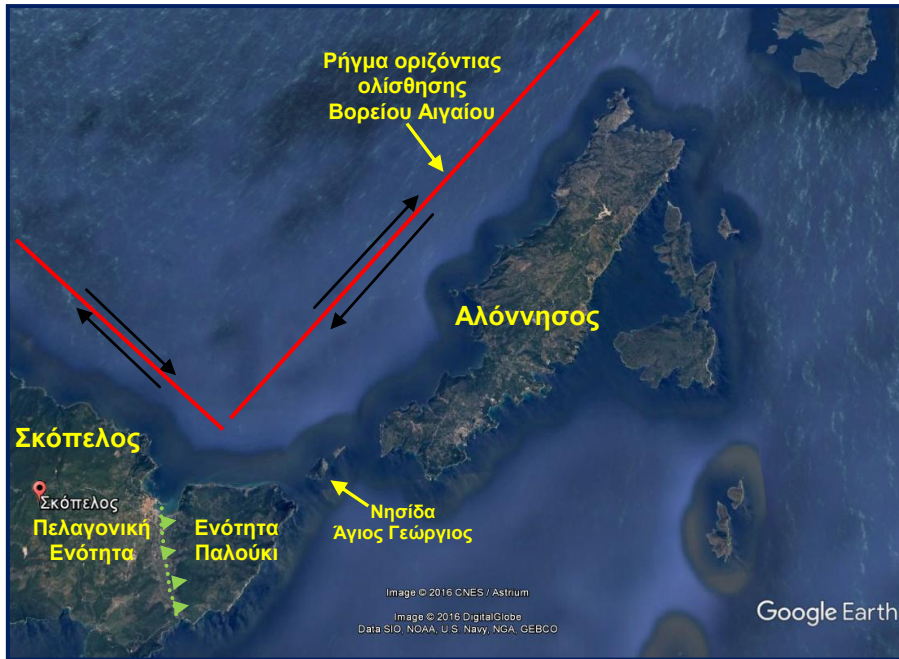
Η παρουσία του ρήγματος οριζόντιας ολίσθησης του Βορείου Αιγαίου στην περιοχή των Βορείων Σποράδων (βλ. Εικόνες 243, 244) φαίνεται ότι έχει σημαντική επίδραση στη διαμόρφωση της σημερινής γεωμορφολογίας της Σκοπέλου, ιδιαίτερα στη Νοτιοανατολική περιοχή της. Η υπόθεση αυτή ενισχύεται με αρκετά επιχειρήματα, τα οποία θα εκτεθούν στη συνέχεια.

Κατ' αρχάς, μια απλή αντιπαραβολή της Εικόνας 244, στην οποία σημειώνεται το ρήγμα του Βορείου Αιγαίου σε δορυφορική φωτογραφία της ΝΑ Σκοπέλου και της Αλοννήσου, με την Εικόνα 179 της εργασίας μας, όπου περιέχονται τα σημαντικότερα αποτελέσματα των παρατηρήσεών μας στο πεδίο αποτυπωμένα σε δορυφορική φωτογραφία της ΝΑ Σκοπέλου,

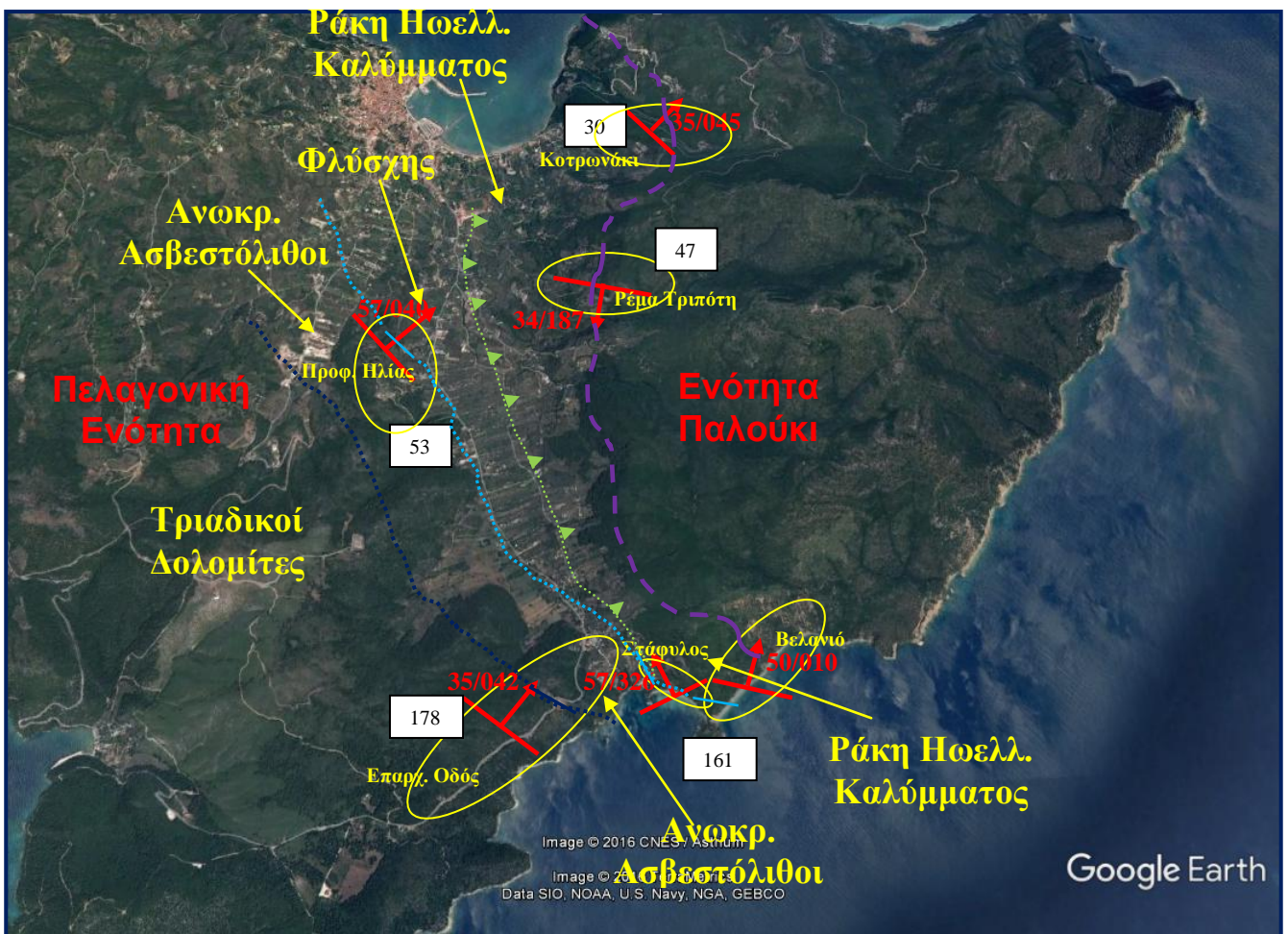
αρκεί για να μας πείσει ότι μια διασύνδεση μεταξύ της κίνησης του νοτίου τεμάχου του ρήγματος και των χαρακτηριστικών επιφανειών τεκτονικού ενδιαφέροντος στη ΝΑ Σκόπελο δεν είναι απίθανη. Συγκεκριμένα, με δεδομένο το τεράστιο ποσό κινητικής ενέργειας που έχει το κινούμενο προς τα νοτιοδυτικά νότιο τέμαχος του ρήγματος, λόγω της έκτασης που αυτό καταλαμβάνει, αφού ουσιαστικά αποτελεί προέκταση της μικροπλάκας της Μικράς Ασίας, είναι αναμενόμενο να αποθέτει ένα μέρος αυτής της ενέργειας στη ΝΑ περιοχή της Σκοπέλου, όπου φαίνεται πως η κίνησή του τερματίζεται, αφού λίγα χιλιόμετρα βορειότερα εξαφανίζεται και το ρήγμα, σύμφωνα με την καθιερωμένη βιβλιογραφία [πχ Chousianitis *et al.* (2013)].



Εικόνα 243. Γεωμορφολογικός χάρτης της Ελλάδας, στον οποίο έχουν σημειωθεί η επώθηση της Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας πάνω στην Αφρικανική και τα δύο σκέλη του ρήγματος οριζόντιας ολίσθησης του Βορείου Αιγαίου, που είναι συνιστώσες του ρήγματος της Ανατολίας. Σημειώνεται επίσης ένα μικρότερο ρήγμα στο βορειοδυτικό Αιγαίο με διεύθυνση κάθετη στο βόρειο σκέλος του ρήγματος μετασχηματισμού.
[Πηγή: Ινστιτούτο Γεωδυναμικής του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών].



Εικόνα 244. Η νοτιοανατολική περιοχή της Σκοπέλου με την Αλόνησσο, όπως φαίνονται στο Google Earth. Στο βόρειο τμήμα της εικόνας διακρίνεται η τάφρος του Β. Αιγαίου. Σημειώνονται και τα δύο υποθαλάσσια ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης της περιοχής, το ένα εκ των οποίων είναι το ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης του Βορείου Αιγαίου (βόρειο σκέλος). Η κάθετη διάσταση της φωτογραφίας έχει μήκος περίπου 30.500 m.



Εικόνα 179. Η νοτιοανατολική περιοχή της Σκοπέλου, με τις μέσες τιμές των στοιχείων χαρακτηριστικών επιφανειών τεκτονικού ενδιαφέροντος (πλην ρηγμάτων).

Η επώθηση της ενότητας του Παλουκιού πάνω στην Πελαγονική ενότητα, έχοντας ανάμεσά τους και τα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος, μπορεί να εξηγηθεί με βάση τον προτεινόμενο μηχανισμό πολύ εύκολα. Παρατηρούμε ότι στην ενότητα του Παλουκιού, μεταξύ των περιοχών Κοτρωνάκι/Αγία Μαρίνα και Ρέμα Τριπότη, υπάρχει ένα μεγάλο αντίκλινο, με τα δύο σκέλη του να χαρακτηρίζονται από σχεδόν ίσες τιμές μέγιστης κλίσης (34° και 35°) και προσεγγιστικά αντίθετες φορές μέγιστης κλίσης, σε διεύθυνση NE-SW. Δεδομένου ότι και το ρήγμα έχει διεύθυνση προσεγγιστικά NE-SW, είναι εύλογο να υποθέσουμε ότι η δυναμική ενέργεια παραμόρφωσης που έχει αποδοθεί για τον σχηματισμό του αντικλίνου, με πτύχωση προϋπαρχόντων οριζόντιων στρωμάτων, προέρχεται από την κινητική ενέργεια του νοτίου τεμάχους του ρήγματος, το οποίο κινείται προς τη ΝΑ Σκόπελο και υφίσταται πέδηση λόγω σύγκρουσής του με υποκείμενους γεωλογικούς σχηματισμούς.

Ένα άλλο σημαντικό πόρισμα που προκύπτει από την Εικόνα 179 είναι ότι στις 3 από τις 6 θέσεις όπου κάναμε μετρήσεις οι μέσες τιμές των στοιχείων επιφανειών τεκτονικού ενδιαφέροντος είναι τέτοιες ώστε οι φορές μέγιστης κλίσης να συγκεντρώνονται στο στενό περιθώριο μεταξύ των 40° και 45° , ταυτίζονται δηλαδή οι διευθύνσεις τους με τη διεύθυνση του ρήγματος. Άλλες δύο θέσεις χαρακτηρίζονται από μέσες τιμές φοράς μέγιστης κλίσης 10° και 187° , σε διεύθυνση δηλαδή NNE-SSW. Στη θέση της παραλίας του Στάφυλου, όπου η φορά μέγιστης κλίσης αποκλίνει σημαντικά από τη διεύθυνση NE-SW, υπάρχει ένα ειδικό τεκτονικό καθεστώς, το οποίο περιγράψαμε στην Εικόνα 161. Η διαφοροποίηση στις μέσες τιμές που παρουσιάζει η φορά μέγιστης κλίσης των επιφανειών τεκτονικού ενδιαφέροντος ανάμεσα στις παραλίες του Βελανιού και του Στάφυλου ενδεχομένως οφείλεται στην ύπαρξη ενός υποθαλάσσιου γεωλογικού σχηματισμού νότια από το ακρωτήριο Στάφυλος ή/και κάτω από την επωθούμενη ενότητα Παλούκι, ο οποίος λειτουργεί ως εμπόδιο στην προέλαση του νοτίου τεμάχους του ρήγματος και προκαλεί τη διάσπασή του σε δύο συνιστώσες με διαφορετικές κλίσεις επιφανειών, όπως αυτές που καταγράψαμε στις δύο παραλίες (βλ. και Εικόνα 252 στη συνέχεια).

Τα παραπάνω βρίσκονται σε καλή συμφωνία με όσα αναφέρθηκαν στη σελίδα 20 της εργασίας μας, σχετικά με τα κύρια συστήματα διευθύνσεων των αξόνων πτυχών και των ρηγμάτων που κατέγραψε ο Ματαράγκας στη Σκόπελο. Συγκεκριμένα, τα νεότερα από αυτά τα σύστημα που βρίσκονται στη ΝΑ Σκόπελο χαρακτηρίζονται από επικρατούσα διεύθυνση ENE-WSW, η οποία προσεγγίζει τη διεύθυνση NE-SW του ρήγματος του Βορείου Αιγαίου. Η Εικόνα 15 Α επίσης, δανεισμένη από τις εργασίες των Porkoláb *et al.*, περιέχει μετρήσεις της επικρατούσας φύλλωσης (και) στις θέσεις που επισκεφθήκαμε, οι οποίες προσεγγιστικά δείχνουν μια προτιμώμενη διεύθυνση NE-SW για τις φορές μέγιστης κλίσης τους.

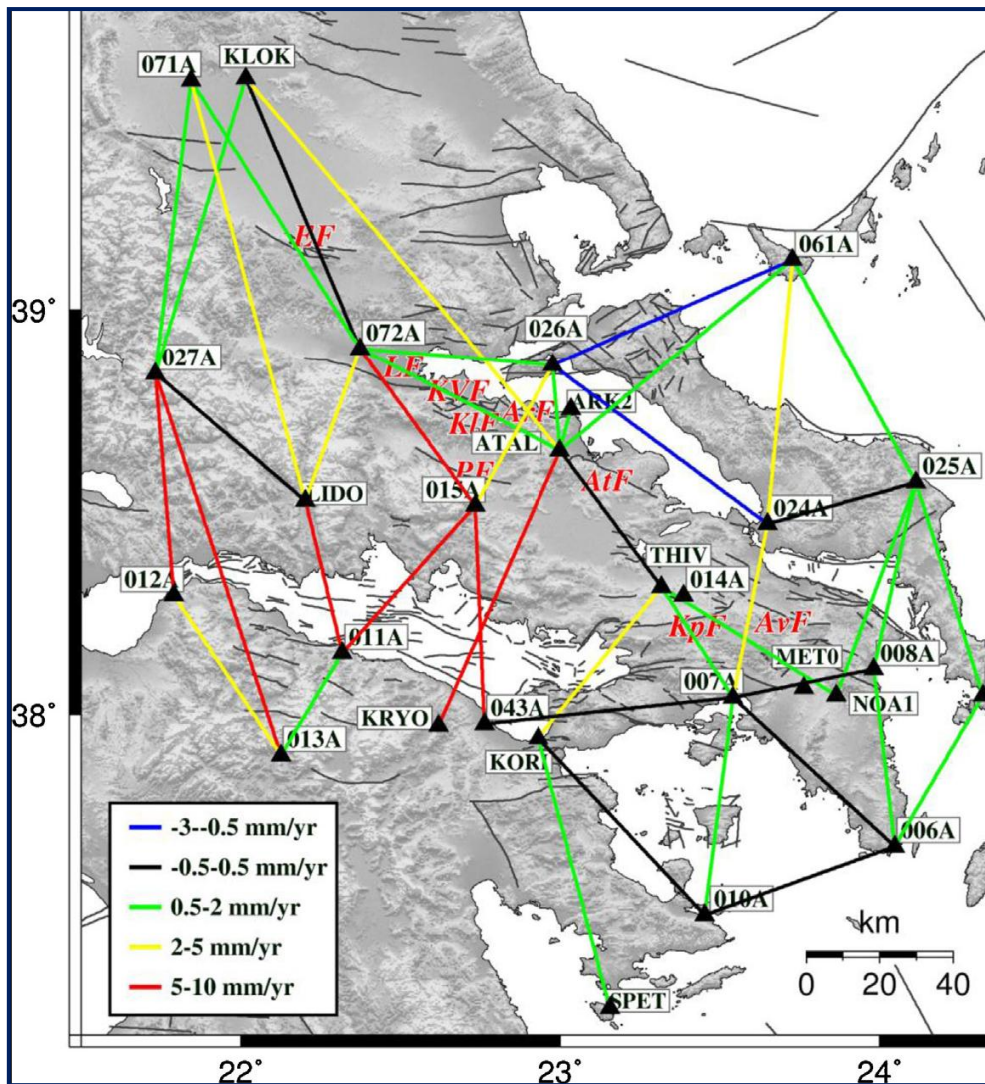
Στην επαφή μεταξύ της ενότητας του Παλουκιού και της Πελαγονικής ενότητας, στην οποία σε κάποιες θέσεις παρεμβάλλονται και τα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος (ενότητα Γλώσσας), φαίνεται να συσσωρεύονται αυξημένες τάσεις, συμπιεστικές και εφελκυστικές. Η επαφή ανάμεσα στις ενότητες είναι ευκρινής σε λίγα σημεία, ιδιαίτερα στις παραλίες του Στάφυλου και του Βελανιού. Οι επιφάνειες τεκτονικού ενδιαφέροντος στις παραλίες αυτές εμφανίζουν μέγιστες κλίσεις μεταξύ των 45° και 60° μοιρών εν γένει, όμως αυτές γίνονται σχεδόν κατακόρυφες στον «λαιμό» του ακρωτηρίου του Στάφυλου. Η επικρατούσα κατεύθυνση των ΦΜΚ είναι από βορειοανατολικά προς νοτιοδυτικά, ίδια δηλαδή με την κατεύθυνση της σχετικής κίνησης του νοτίου τεμάχους του ρήγματος οριζόντιας ολίσθησης ως προς το βόρειο τέμαχος. Επίσης, οι ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι της ενότητας του Παλουκιού εμφανίζονται τοπογραφικά ανυψωμένοι κατά 300 m περίπου, συγκριτικά με τους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους της κεντρικής Σκοπέλου. Για να συμβεί μια τόσο σημαντική ανύψωση ενός τόσο μεγάλου όγκου στρωμάτων θα πρέπει να υπάρχει στην περιοχή ένα τεράστιο τεκτονικό δυναμικό, που λογικό είναι να το συνδέσουμε με την κινητική ενέργεια που εμπεριέχει η επελαύνουσα από τη Μικρά Ασία ζώνη μεταξύ των δύο σκελών του ρήγματος

της Ανατολίας. Οι επιφανειακές εμφανίσεις των μεταμαγματικών πετρωμάτων εξάλλου στη βάση της ενότητας του Παλουκιού, σε έναν χαοτικό συνδυασμό με παραμορφωμένα και μεταμορφωμένα αργιλικά και ανθρακικά φυλλωμένα πετρώματα, καθώς και η παρουσία του ογκόλιθου Κοτρωνάκι ελάχιστα μέτρα μπροστά από την επώθηση του Παλουκιού πάνω στο Ηωελληνικό κάλυμμα, μας δίνουν ενδείξεις πως όλα αυτά έχουν μεταφερθεί από πολύ μακριά και έχουν αναδυθεί από μεγάλα βάθη, υπό την επίδραση πολύ ισχυρών ενδογενών δυνάμεων.

Επιβεβαιωτική των προαναφερθέντων είναι και η εικόνα που εμφανίζεται στην περιοχή της επαφής στο ακρωτήριο του Στάφυλου, όπως και το ίδιο το ακρωτήριο που αποτελεί μια μεγάλη ανορθωμένη πτυχή των ανωκρητιδικών ασβεστολίθων της αυτόχθονης ενότητας. Εδώ ίσως θα έπρεπε να γίνει και μια διόρθωση στον επίσημο χάρτη του ΙΓΜΕ για την περιοχή του Στάφυλου, αφού δεν είναι κανονική η επαφή στον «λαιμό» του ακρωτηρίου, όπως αναφέρεται στη σχετική γεωλογική τομή του χάρτη, αλλά τεκτονική. Επίσης, δεν υπάρχει ανωκρητιδικός φλύσχος βορειοανατολικά των ασβεστολίθων αλλά τα ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος (ενότητα της Γλώσσας) και η κατώτερη σειρά της ενότητας του Παλουκιού.

Άλλες ισχυρές ενδείξεις που υποστηρίζουν την υπόθεση ότι το σημερινό γεωτεκτονικό καθεστώς στη ΝΑ Σκόπελο καθορίζεται σε σημαντικό βαθμό από την ύπαρξη του ρήγματος οριζόντιας ολίσθησης του Βορείου Αιγαίου έρχονται από τα σύγχρονα συστήματα τηλεπισκόπησης (GPS). Το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών έχει εγκαταστήσει από το 2003 μέχρι σήμερα στον Ελληνικό χώρο ένα δίκτυο σταθμών GPS που γίνεται όλο και πιο πυκνό, προκειμένου να μετρηθούν οι σχετικές και οι απόλυτες ταχύτητες μετατόπισης και περιστροφής των σημείων του επιφανειακού φλοιού στην περιοχή. Το 2014 υπήρχαν συνολικά 99 θέσεις όπου είχαν εγκατασταθεί τέτοιοι σταθμοί, εκ των οποίων οι 33 στην Κεντρική Ελλάδα. Οι αποστάσεις μεταξύ των σταθμών στην Κεντρική Ελλάδα κυμαίνονταν από 11 έως 132 km, ενώ εμφανίσθηκαν ρυθμοί μεταβολής των αποστάσεων μεταξύ των τιμών -1,95 mm/yr (το αρνητικό πρόσημο σημαίνει προσέγγιση) και 14,44 mm/yr (απομάκρυνση), με εκτιμηθείσα αβεβαιότητα μεταξύ 0,3 και 0,8 mm/yr. Η λειτουργία τους ήταν συνεχής, με περίοδο εκπομπής σήματος τα 30 s. ^[23]

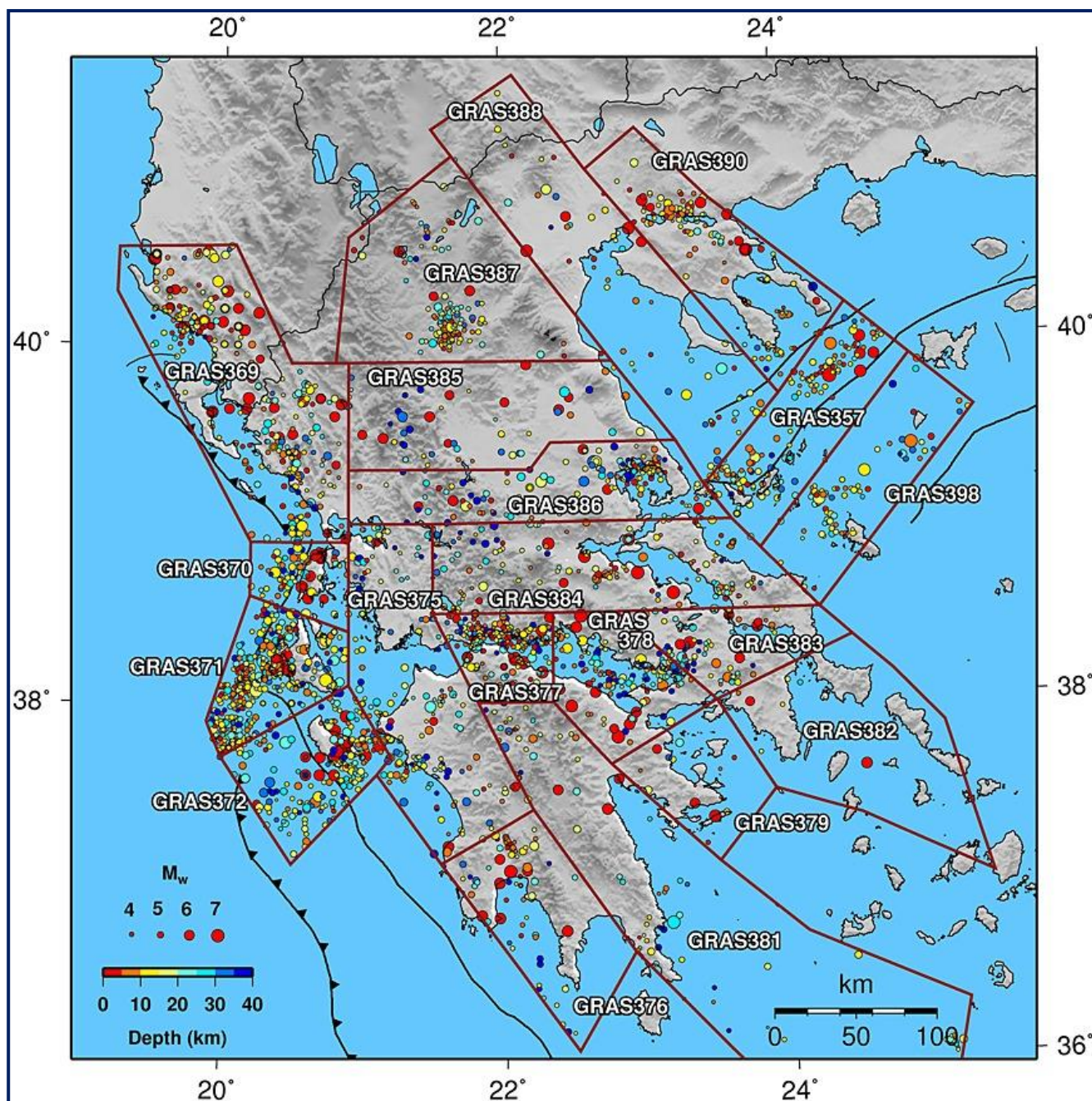
Στην Εικόνα 245 που ακολουθεί παρατίθεται ένας χάρτης που δείχνει τους ρυθμούς μεταβολής των αποστάσεων μεταξύ των προαναφερθέντων σταθμών GPS, με βάση τα σχετικά αριθμητικά δεδομένα από τις καταγραφές τους. Ο σταθμός της Σκοπέλου φαίνεται να πλησιάζει προς τον σταθμό της Βόρειας Εύβοιας με ταχύτητα μεταξύ 0,5-3 mm/yr, ενώ απομακρύνεται από τους σταθμούς της Αταλάντης, της Χαλκίδας και της Κύμης (Κεντρική Εύβοια). Ταχύτητες προσέγγισης τόσο μεγάλες μεταξύ δύο σταθμών υπάρχουν μόνο σε μία άλλη περίπτωση, συγκεκριμένα μεταξύ Βόρειας Εύβοιας και Χαλκίδας, ενώ στις υπόλοιπες 36 περιπτώσεις έχουμε είτε περίπου μηδενικές ταχύτητες, σε 9 περιπτώσεις (-0,5 έως +0,5 mm/yr), είτε απομάκρυνση των σταθμών με ταχύτητες μεταξύ 0,5-10 mm/yr, σε 27 περιπτώσεις. ^[23]



Εικόνα 245. Χάρτης που δείχνει τους ρυθμούς μεταβολής των αποστάσεων μεταξύ των σταθμών GPS του δικτύου που εγκατέστησε το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Αστεροσκοπείου Αθηνών στην Κεντρική Ελλάδα. Ο σταθμός της Σκοπέλου πλησιάζει προς τον σταθμό της Βόρειας Εύβοιας με ταχύτητα 0,5-3 mm/yr, ενώ απομακρύνεται από τους σταθμούς της Αταλάντης, της Χαλκίδας και της Κύμης (Κεντρική Εύβοια).
[Πηγή: Chousianitis K. *et al.*, 2013]

Παραθέτουμε επίσης και δύο χάρτες που δείχνουν την κατανομή της σεισμικότητας και των σεισμογενών ζωνών στον Ελληνικό χώρο (Εικόνες 246-247) ^[24]. Καθίσταται από αυτούς εμφανής η σχετικά έντονη σεισμικότητα στην περιοχή των Βορείων Σποράδων, καθώς επίσης και μεταξύ των δύο ρηγμάτων που περικλείουν από βόρεια και νότια την τάφρο του Βορείου Αιγαίου, νοτιοανατολικά της Χαλκιδικής.

Συγκεκριμένα, από τον πρώτο χάρτη προκύπτει ότι η περιοχή που περιβάλλει το ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης του Βορείου Αιγαίου καταλαμβάνει την τρίτη θέση, σε φθίνουσα σειρά, ανάμεσα στις πιο ενεργές σεισμικά περιοχές της Ελλάδας, μετά το Ιόνιο και τον Κορινθιακό Κόλπο.

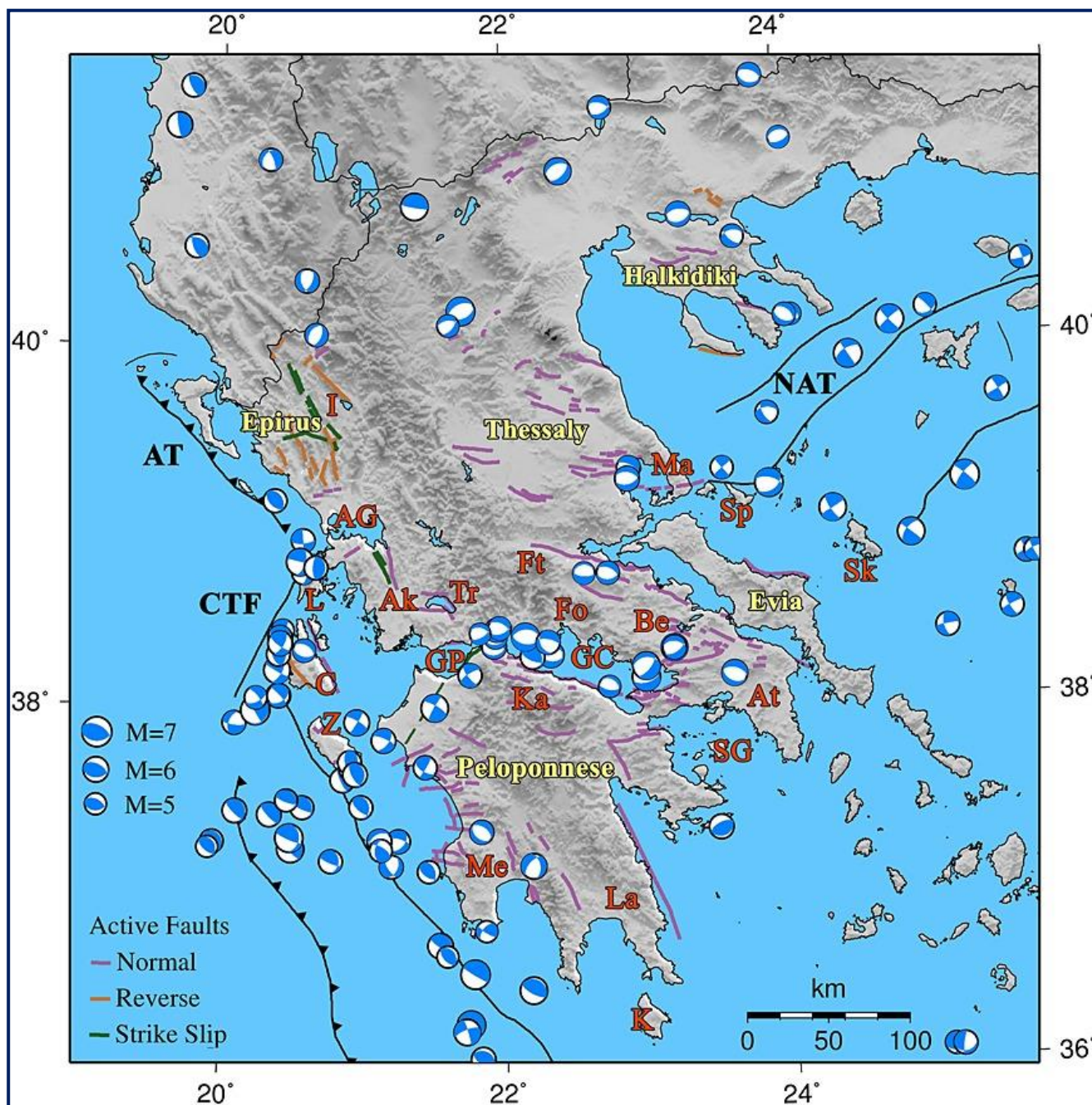


Εικόνα 246. Χάρτης που δείχνει την κατανομή σεισμικότητας και σεισμογενών ζωνών στον Ελληνικό χώρο, με βάση δεδομένα του καταλόγου SHARE. Απεικονίζονται σεισμοί με υποκεντρικά βάθη ≤ 40 km. Η περιοχή που περιβάλλει το ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης του Βορείου Αιγαίου καταλαμβάνει την τρίτη θέση, σε φθίνουσα σειρά, ανάμεσα στις πιο ενεργές σεισμικά περιοχές της Ελλάδας, μετά το Ιόνιο και τον Κορινθιακό Κόλπο. [Πηγή: Chousianitis K. *et al.*, 2015]

Στον δεύτερο χάρτη (βλ. Εικ. 247), που περιλαμβάνει ρήγματα και σεισμούς μεγέθους άνω των 5 Ρίχτερ που έγιναν στην Ελλάδα την περίοδο 1976-2014, βλέπουμε ότι στην περιοχή των Βορείων Σποράδων, κοντά στο σημείο όπου φαίνεται να τερματίζεται το ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης του Βορείου Αιγαίου, έχει καταγραφεί σεισμική δόνηση μεγέθους $M_w \sim 7$, από τα μεγαλύτερα μεγέθη που καταγράφονται στον Ελληνικό χώρο.

Εξ άλλου, έχει συμβεί τον Μάρτιο του 1965 ένας ισχυρός σεισμός στην περιοχή των Βορείων Σποράδων με το επίκεντρό του στην Αλόνησο. Ο σεισμός εκείνος προκάλεσε τεράστιες καταστροφές στην Αλόνησο και αρκετά σημαντικές στη Σκόπελο (βλ. Εικ. 248). Άφησε άστεγους όλους τους κατοίκους της Αλοννήσου ενώ επηρέασε πολύ σημαντικά και τη

ζωή των κατοίκων της Σκοπέλου, στην οποία υπήρξαν σημαντικές ζημιές σε αρκετά ιστορικά κτήρια και μετακινήσεις κατοίκων απο το Παλιό Κλήμα στο Νέο Κλήμα. [25, 26]



Εικόνα 247. Η κατανομή των ενεργών ρηγμάτων και οι μηχανισμοί σεισμών με μεγέθη $M_w > 5$, για την περίοδο 1976-2014, στον Ελληνικό χώρο. Στην περιοχή των Βορείων Σποράδων, κοντά στο σημείο όπου φαίνεται να τερματίζεται το ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης του Βορείου Αιγαίου, έχει καταγραφεί σεισμική δόνηση μεγέθους $M_w \sim 7$, από τα μεγαλύτερα μεγέθη που καταγράφονται στον Ελληνικό χώρο. [Πηγή: Chousianitis K. *et al.*, 2015]

Αξιόπιστες πληροφορίες για τον σεισμό του 1965 μας παρέχονται από του Β. Παπαζάχου και Κ. Παπαζάχου [27]. Σύμφωνα με αυτούς, η κύρια σεισμική δόνηση έγινε στις 9 Μαρτίου 1965, ώρα 17:57:54, είχε επίκεντρο με γεωγραφικές συντεταγμένες $39,16^{\circ}N - 23,89^{\circ}E$ (στην Αλόνησσο), μέγεθος $M = 6,1$ και απροσδιόριστο εστιακό βάθος. Στην Αλόνησσο καταστράφηκαν ή έπαθαν μη επισκευάσιμες βλάβες 455 σπίτια και έπαθαν ελαφρές ζημιές 106 σπίτια, ενώ στη Σκόπελο σωριάστηκαν στο έδαφος ή έπαθαν μη επισκευάσιμες βλάβες 1.486 σπίτια και 900 έπαθαν ελαφρές ζημιές. Σκοτώθηκαν 2 άνθρωποι και άλλοι 2

τραυματίστηκαν. Οι μεγαλύτερες εντάσεις από τον σεισμό αυτό παρατηρήθηκαν στο Πατητήρι της Αλοννήσου (IX+), στην πόλη της Σκοπέλου και στη Χώρα της Αλοννήσου (VIII) και στη Γλώσσα της Σκοπέλου. Ακολούθησαν μετασεισμοί, ο μεγαλύτερος από τους οποίους έγινε 2 λεπτά μετά την κύρια δόνηση (17:59, M = 5,7).



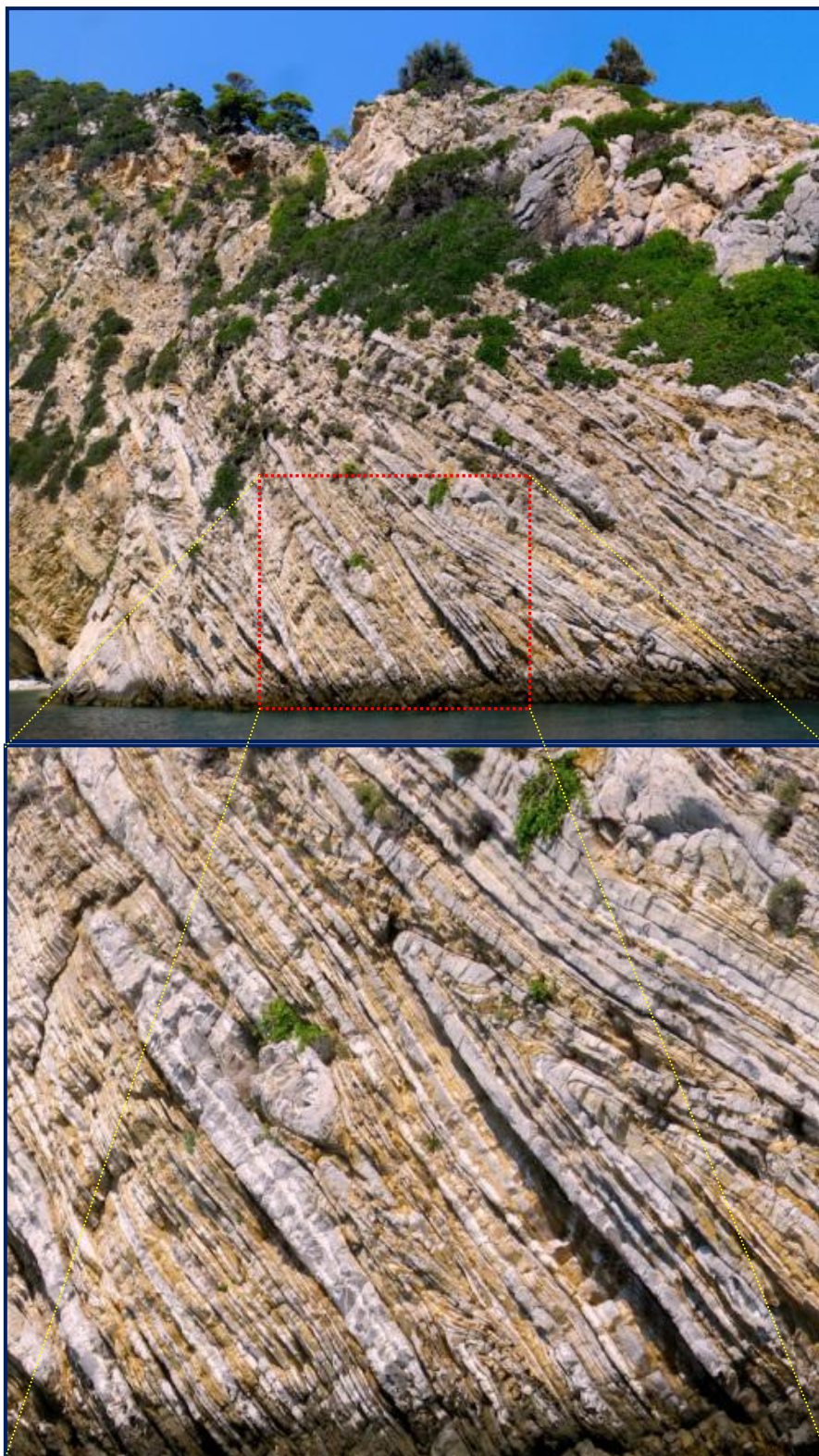
Εικόνα 248. Σε απόκομμα εφημερίδας της εποχής βρίσκουμε την είδηση για τον καταστροφικό σεισμό του 1965, με επίκεντρο στην Αλόνησο. Στο σχετικό σχόλιο του ιστοτόπου, όπου υπάρχει το απόκομμα αυτό, διαβάζουμε: «Στις 15 Μαρτίου του 1965, η Αλόνησος και η Σκόπελος, μετρούν τις πληγές τους από τον καταστροφικό σεισμό των 6,1 ρίχτερ που έγινε στις 9 του ίδιου μήνα, όμως τα χειρότερα δεν είχαν έρθει ακόμα. Τα μεγάλα προβλήματα που εντοπιζόνταν στη Χώρα και στο Πατητήρι της Αλοννήσου, γιγαντώθηκαν από νέο ισχυρό σεισμό, ο οποίος χωρίς υπερβολή, ισοπέδωσε το νησί. Στην Χώρα κατέρρευσαν ή εβλάβησαν βαρέως το 70% των σπιτιών, ενώ στο Πατητήρι το 90%! Δύο ηλικιωμένες κυρίες ήταν τα ανθρώπινα θύματα του σεισμού, ενώ σημαντικές ζημιές σημειώθηκαν και στην Σκόπελο...».

[Πηγή: <https://www.viannitika.gr/el/1965-seismos-isopedwnei-thn-alonnhso>]

Αξίζει να παραθέσουμε στο σημείο αυτό και κάποιες φωτογραφίες από τη νησίδα Άγιος Γεώργιος, η οποία βρίσκεται μεταξύ της Σκοπέλου και της Αλοννήσου, τις οποίες ανασύραμε από το διαδίκτυο (βλ. Εικόνες 249, 250). Σε αυτές αποτυπώνεται ανάγλυφα η ένταση των τεκτονικών δυνάμεων που ασκούνται στα πετρώματα της περιοχής, μέσω της παραμόρφωσής τους.



Εικόνα 249. Η νησίδα Άγιος Γεώργιος, ανάμεσα στη Σκόπελο και την Αλόνησο, από τη νότια πλευρά της. Διεύθυνση φωτογραφίας WNW-ESE. Στο βάθος δεξιά διακρίνεται η Αλόνησος (NE της νησίδας). Είναι εμφανής, από τις επιφάνειες διάβρωσης των πετρωμάτων που διακρίνονται στη φωτογραφία, η διεύθυνση των στρωμάτων σε όλη την έκτασή τους έτσι ώστε οι μέγιστες κλίσεις τους να κατευθύνονται προς την Αλόνησο, δηλαδή προς NE, σχεδόν παράλληλα με τη διεύθυνση του ρήγματος Βορείου Αιγαίου. [Πηγή: Google Maps]



Εικόνα 250. Εμφάνιση έντονα πτυχωμένων παράκτιων στρωμάτων στη νησίδα Άγιος Γεώργιος, στο νοτιοανατολικό της άκρο (μέσα στο ορθογώνιο περίγραμμα της Εικόνας 249) [Πηγή: <https://skopelosnews.wordpress.com/2014/08/13/calling-all-geologists>]. Είναι προφανής η έντονη παραμόρφωση των πετρωμάτων στη θέση αυτή, με τον σχηματισμό πτυχών σε μεγάλη έκταση χαρακτηριζόμενων από πολύ μικρές διασκελικές γωνίες. Μπορούμε να εκτιμήσουμε ότι οι κλίσεις των ιχνών των επιπέδων των πτυχών πάνω στην τομή της εμφάνισης είναι κατά μέσον όρο γύρω στις 60° , δεν μπορούμε όμως να υπολογίσουμε από τις φωτογραφίες αυτές τις ΦΜΚ τους. Είναι πιθανόν αυτά τα επίπεδα πτυχών να διευθετούνται παράλληλα με τις επιφάνειες των στρωμάτων που είναι ορατές στην περιοχή λόγω διάβρωσης, οι

οποίες, όπως προαναφέραμε, είναι διευθετημένες έτσι ώστε οι μέγιστες κλίσεις τους να κατευθύνονται προς ΝΕ, σχεδόν παράλληλα με τη διεύθυνση του ρήγματος Βορείου Αιγαίου.

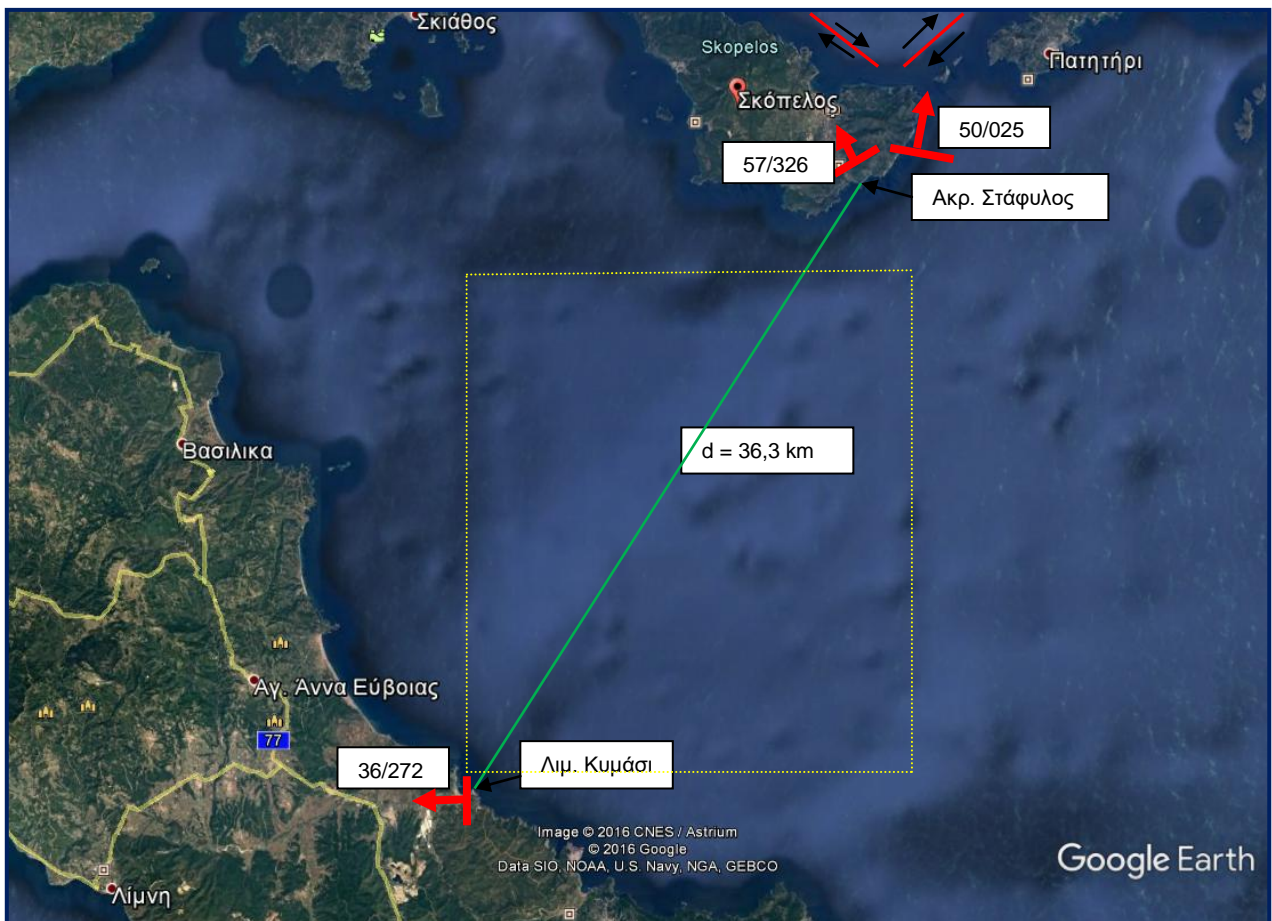
Από τις Εικόνες 249 και 250 έχουμε επιπλέον ενδείξεις για την επίδραση του ρήγματος του Βορείου Αιγαίου στη γεωλογία της Σκοπέλου, αφού η νησίδα του Αγίου Γεωργίου αποτελεί μια «γέφυρα» ανάμεσα στη Σκόπελο και την Αλόνησο. Στη διάρκεια μάλιστα της τελευταίας παγετώδους περιόδου, που τελείωσε πριν 10.000 χρόνια, όταν η στάθμη της θάλασσας ήταν περίπου 100 m χαμηλότερα από τη σημερινή, όλες οι Βόρειες Σποράδες αποτελούσαν μια ενιαία χερσόνησο, προέκταση της χερσονήσου του Πηλίου ^[28]. Ο Κελεπερτζής (1973), εξάλλου, έχει διαπιστώσει και λιθολογική συγγένεια ανάμεσα στην ενότητα του Παλουκιού και τη Δυτική Αλόνησο. Μπορούμε, έτσι, να συνδυάσουμε τα αποτελέσματά μας σχετικά με τις κλίσεις των επιφανειών στη ΝΑ Σκόπελο, που περιλαμβάνονται στην Εικόνα 179, με όσα προκύπτουν από τις Εικόνες 249 και 250, οπότε επεκτείνεται ακόμη πιο πολύ το πεδίο όπου διαπιστώνεται η τάση διευθέτησης των κλίσεων των στρωμάτων και των επιφανειών γεωλογικού ενδιαφέροντος παράλληλα με το ρήγμα του Βορείου Αιγαίου, από τις παραλίες του Βελανιού και του Στάφυλου μέχρι τη νησίδα του Αγίου Γεωργίου.

Ένα άλλο σημαντικό εύρημα της εργασίας μας στο ύπαιθρο είναι και η εμφάνιση αποθέσεων τραβερτίνη στον Στάφυλο. Εκτός από τη «γεωλογική γοητεία» που προσφέρει η θέα της εμφάνισης αυτής, μας δίνει και μιαν άμεση απόδειξη για τη δράση των ενδογενών δυνάμεων στην περιοχή, αφού η περιστροφή των γεωλογικών στρωμάτων λόγω αυτής της δράσης καθίσταται εύκολα αντιληπτή από την κλίση των στυλοειδών σχηματισμών τραβερτίνη ως προς την κατακόρυφο, κατά 30° περίπου. Αν μάλιστα καταστεί δυνατή και η χρονολόγηση των δειγμάτων που φέραμε στο εργαστήριο από την εν λόγω εμφάνιση, θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε και έναν προσεγγιστικό μέσο ρυθμό περιστροφής της περιοχής στη διάρκεια της πιο πρόσφατης γεωλογικής περιόδου.

Μια επιπλέον χρήσιμη πληροφορία που μας δίνει η εμφάνιση αποθέσεων τραβερτίνη στην περιοχή μελέτης σχετίζεται με την αναπαράσταση του γεωλογικού περιβάλλοντος της περιοχής, στην περίοδο που σχηματίζονταν αυτές οι αποθέσεις. Όπως αναπτύξαμε εκτενέστερα στην ενότητα 3.5.1, οι σύγχρονες αποθέσεις τραβερτίνη που μοιάζουν με τις αποθέσεις τραβερτίνη στον Στάφυλο απαντώνται σε χερσαίες περιοχές όπου αποφορτίζουν πηγές γλυκών υδάτων, συνήθως θερμών, κατά κανόνα σε ζώνες ενεργών ρηγμάτων. Επομένως, είναι εύλογο να υποθέσουμε ότι η θέση στον Στάφυλο που φιλοξενεί τη συγκεκριμένη εμφάνιση αποθέσεων τραβερτίνη, για κάποια περίοδο στο γεωλογικό παρελθόν χαρακτηρίζονταν από την παρουσία παρόμοιου ενεργού ρήγματος, το οποίο σήμερα φαίνεται να έχει απενεργοποιηθεί. Δεδομένου ότι το ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης του Βορείου Αιγαίου τερματίζεται, σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, περίπου δέκα χιλιόμετρα βορειοανατολικά από τη θέση της εμφάνισης, ενώ το συνολικό του μήκος εκτείνεται σε εκατοντάδες χιλιόμετρα προς την ίδια κατεύθυνση, θεωρούμε ότι πιθανόν στην χρονική περίοδο σχηματισμού των αποθέσεων το ρήγμα αυτό να διέσχιζε τη ΝΑ Σκόπελο και να τερματίζονταν στη θαλάσσια περιοχή μεταξύ Σκοπέλου και Βορείου Ευβοίας.

Τελειώνουμε αυτό το κεφάλαιο με μια ακόμη υπόθεση, η οποία θα μπορούσε να χαρακτηριστεί και ως «λογικό άλμα». Με δεδομένη την επικρατούσα στην περιοχή της επαφής στον Στάφυλο κατεύθυνση των τάσεων που υποθέτουμε πως ευθύνονται για το τεκτονικό καθεστώς της περιοχής, δηλαδή από ΝΕ προς SW, θα μπορούσαμε να μεταφερθούμε στην υποθαλάσσια περιοχή μεταξύ της Σκοπέλου και της Βόρειας Εύβοιας και να αναζητήσουμε κάποιο «εμπόδιο», πάνω στο οποίο να αποφορτίζεται η δυναμική και η κινητική ενέργεια που έχει αποκτήσει η Σκόπελος λόγω του ρήγματος. Συνήγορος στην υπόθεση αυτή είναι και ο χάρτης της Εικ. 245 από το δίκτυο σταθμών GPS του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου, ο οποίος μας δείχνει ότι ανάμεσα στη Σκόπελο και τη Βόρεια

Εύβοια υπάρχει προσέγγιση, σε αντίθεση με ό,τι συμβαίνει ανάμεσα στα περισσότερα άλλα σημεία του χάρτη. Η υπόθεση αυτή ενισχύεται επίσης και από όσα αναφέραμε στο εδάφιο 3.8 για τις εμφανίσεις στον λιμένα Κυμάσι της Βόρειας Εύβοιας, ειδικά στα σχόλια της Εικ. 181. Συγκεκριμένα, υπάρχουν εκεί εκτεταμένες εγκάρσιες τομές στα πρηνή των λόφων, στις οποίες είναι εμφανής μια επικρατούσα διευθέτηση των επιφανειών ρηγμάτων, πτυχών και διακλάσεων με φορά κλίσεων προς τα δυτικά (μέση τιμή στοιχείων επιφανειών κυρίων διακλάσεων 36/272). Παρατηρούμε ότι αυτή η διευθέτηση είναι σχεδόν διαμετρική με την επικρατούσα φορά κλίσεων στην περιοχή της ενότητας του Παλουκιού στη Σκόπελο, η οποία όπως διαπιστώσαμε προηγουμένως είναι προς ΝΕ. Επομένως, μπορούμε να υποθέσουμε την ύπαρξη στον υποθαλάσσιο χώρο μεταξύ Βόρειας Εύβοιας και Σκοπέλου ενός υπολείμματος κάποιας στρωματογραφικής ενότητας, πάνω στην οποία προσκρούει ανυψούμενη η Σκόπελος ωθώντας την κάτω από τις εμφανιζόμενες στη Βόρεια Εύβοια στρωματογραφικές ενότητες, οι οποίες τελικά ανυψώνονται στην ίδια διεύθυνση με τον κύριο άξονα τάσεων στην περιοχή αυτή (NE-SW) αλλά με σχεδόν αντίθετη φορά κλίσης, τουλάχιστον στα ανατολικά παράλια της Βόρειας Εύβοιας. Με βάση τα προαναφερθέντα, στην Εικόνα 251 που ακολουθεί επιχειρούμε μια υποθετική διασύνδεση μεταξύ των τεκτονικών καθεστώτων της Σκοπέλου και της Βόρειας Εύβοιας.



Εικόνα 251. Τα στοιχεία επιφανειών των κυρίων διακλάσεων των πετρωμάτων της εμφάνισης στη θέση Κυμάσι Μαντουδίου της Β. Εύβοιας, τοποθετημένα σε χάρτη από το Google Earth. Η μέση τιμή από 5 μετρήσεις των στοιχείων επιφανειών στη θέση Κυμάσι ήταν 36/272. Στο βορειοανατολικό μέρος του χάρτη σημειώνεται η θέση του Ακρωτηρίου Στάφυλος, στη Σκόπελο, σε απόσταση 36,3 km περίπου, καθώς και τα ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης βορειοανατολικά της Σκοπέλου. Σημειώνονται επίσης και οι μέσες τιμές των στοιχείων επιφανειών σχιστότητας, στρωμάτωσης και κυρίων διακλάσεων στο Βελανίο (57/326) και τον Στάφυλο (50/025), όπως αυτές αναγράφονται στην Εικόνα 161.

Εντύπωση προκαλεί στην Εικόνα 251 η ύπαρξη μιας σχετικής ταπείνωσης στο ανάγλυφο του πυθμένα μεταξύ των δύο απέναντι ακτών, με ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο να σχηματίζεται από το περίγραμμά της. Αν υποθέσουμε ότι το υπόστρωμα του πυθμένα αποτελείται στο ορθογώνιο αυτό από ένα ανθεκτικό στη συμπίεση πέτρωμα, θα μπορούσαμε να συνδέσουμε την τεκτονική αυτών των δύο σχετικά απομακρυσμένων περιοχών, της Βόρειας Εύβοιας και της Σκοπέλου, λαμβάνοντας υπόψιν και την κίνηση του νοτίου τεμάχου του ρήγματος πλαγίας ολίσθησης του Βορείου Αιγαίου με κατεύθυνση από NE προς SW. Παραθέτουμε στην Εικόνα 252 μια υποθετική γεωλογική τομή μεγάλης κλίμακας ανάμεσα στις περιοχές του Στάφυλου και του Μαντουδίου, στην οποία αποτυπώνεται το προτεινόμενο μοντέλο.



Εικόνα 252. Υποθετική γεωλογική τομή μεγάλης κλίμακας ανάμεσα στην περιοχή του Στάφυλου, στη Σκόπελο, και την περιοχή Μαντουδίου, στη Βόρεια Εύβοια, με βάση τα στοιχεία επιφανειών των κυρίων διακλάσεων των πετρωμάτων στις δύο περιοχές που παρατίθενται στην Εικ. 185. Αν και οι δύο περιοχές κινούνται προς τα νοτιοδυτικά, όπως προκύπτει από μελέτες τηλεπισκόπησης (Κεφ. 4), η ταχύτητα με την οποία κινείται η Σκόπελος είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα της Β. Εύβοιας, οπότε η μεταξύ τους σχετική κίνηση είναι προσεγγιστική, με αποτέλεσμα τη δημιουργία τεκτονικών επιφανειών με αντίρροπες, περίπου, φορές μέγιστης κλίσης στο Μαντούδι και τον Στάφυλο. Τα παραπάνω βρίσκονται σε συμφωνία με το προτεινόμενο μοντέλο για την επίδραση της κίνησης του νοτίου τεμάχου του ρήγματος οριζόντιας ολίσθησης του Βορείου Αιγαίου στη γεωλογική δομή και τη γεωμορφολογία της Σκοπέλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση όσα εκτενώς αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, προκύπτουν αρκετά συμπεράσματα αναφορικά με τη γεωλογία της Σκοπέλου και την πιθανή σχέση της με το ρήγμα του Βορείου Αιγαίου.

Οι εργασίες των παλαιότερων ερευνητών που ασχολήθηκαν στο παρελθόν με τη Σκόπελο συντείνουν στο ότι το νησί αυτό αποτελείται από τρεις γεωλογικές ενότητες: την Πελαγονική ενότητα, την ενότητα της Γλώσσας (Ηωελληνικό κάλυμμα) και την ενότητα του Παλουκιού. Νεώτεροι όμως ερευνητές αναβαθμίζουν τις Μεσοαυτόχθονες σειρές, τις οποίες προηγούμενοι ερευνητές περιλαμβάνουν στην Πελαγονική ενότητα, σε Μεσοαυτόχθονη ενότητα. Από τις παραπάνω εργασίες μπορούμε να αναπαραστήσουμε τη γεωλογική ιστορία της Σκοπέλου στη διάρκεια των τελευταίων 240 εκατομμυρίων ετών περίπου, από το Λαδίνιο-Κάρνιο μέχρι σήμερα. Κεντρικό ρόλο στην ιστορία αυτή έπαιξαν η διάνοιξη και το κλείσιμο του ωκεανού του Βαρδάρη (Αξιού), που έλαβαν χώρα μεταξύ των 170 και 100 Ma BP περίπου, καθώς και η σύγκρουση των ενοτήτων της Ροδόπης και της Πελαγονίας που ακολούθησε το κλείσιμο του ωκεανού και διήρκεσε μέχρι τα 40 Ma BP. Αποτέλεσμα των παραπάνω διεργασιών ήταν ο σχηματισμός των τριών γεωλογικών ενοτήτων που αποτελούν το νησί, η ενσωμάτωσή τους σε μια σφήνα συσσώρευσης και η υποβύθιση και ο ενταφιασμός τους, που προκάλεσαν στα πετρώματά τους παραμόρφωση και μεταμόρφωση διαφόρων βαθμών. Στη διάρκεια του Καινοζωικού έγινε εκταφισμός των ενοτήτων και η επίδραση σε αυτές ενδογενών και εξωγενών δυνάμεων που διαμόρφωσαν τη σημερινή γεωλογική εικόνα του νησιού.

Το νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού της Σκοπέλου συγκροτείται κυρίως από την ενότητα του Παλουκιού και ένα μικρό μέρος της Πελαγονικής ενότητας. Η ενότητα του Παλουκιού επωθείται πάνω στην Πελαγονική ενότητα, έχοντας σε κάποιες θέσεις ανάμεσά τους και υπολείμματα της ενότητας της Γλώσσας («ράκη του Ηωελληνικού καλύμματος»). Στο μεγαλύτερο μήκος της αυτή η τεκτονική επαφή μεταξύ των δύο ενοτήτων είναι θαμμένη κάτω από νεογενείς αποθέσεις, οι οποίες σχηματίζουν τη στενή πεδιάδα που εκτείνεται από τον Στάφυλο μέχρι την πολίχνη της Σκοπέλου. Ορατά τμήματά της όμως συναντάμε σε κάποιες θέσεις, όπως στο Κοτρωνάκι, το Ρέμα Τριπότη και τις παραλίες του Στάφυλου και του Βελανιού.

Οι *in situ* παρατηρήσεις στις παραπάνω θέσεις και η πετρολογική μελέτη δειγμάτων από αυτές που μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, μας βεβαιώνουν ότι στον χώρο όπου εκτείνεται η τεκτονική επαφή μεταξύ των δύο ενοτήτων βρίσκονται αναμεμιγμένα σε μια χασοτική ακολουθία ανισομεγέθη τεμάχια πετρωμάτων πολύ διαφορετικών προελεύσεων: ανθρακικά (ασβεστόλιθοι και μάρμαρα), αργιλικά με διάφορους βαθμούς μεταμόρφωσης (από μηδενική μέχρι χαμηλών θερμοκρασιών και υψηλών πιέσεων), ηφαιστειακά, μαγματικά και μεταμαγματικά, εξαλλοιωμένα μεταβασικά κλπ. Επίσης, η ύπαρξη του ανθρακικής σύστασης ογκόλιθου Κοτρωνάκι σε μεγάλη απόσταση από παρόμοιας σύστασης πετρώματα, λίγες δεκάδες μέτρα μπροστά από το ίχνος της επαφής των δύο ενοτήτων, αποτελεί ένδειξη μεταφοράς του από μεγάλη απόσταση. Ιδιαίτερη σημασία έχει και η εμφάνιση αποθέσεων τραβερτίνη στον Στάφυλο, οι στυλοειδείς σχηματισμοί της οποίας χαρακτηρίζονται από κλίση 30° περίπου ως προς την κατακόρυφο, υποδεικνύοντας περιστροφή της περιοχής στο πρόσφατο (τουλάχιστον) γεωλογικό παρελθόν. Όλα τα παραπάνω συντείνουν στο ότι η επώθηση της ενότητας του Παλουκιού πάνω στην Πελαγονική ενότητα έχει επιδράσει για μεγάλο χρονικό διάστημα στην περιοχή και διαμόρφωσε καθοριστικά τη γεωμορφολογία της.

Οι μετρήσεις των στοιχείων επιφανειών τεκτονικού ενδιαφέροντος που κάναμε σε διάφορα σημεία στο πεδίο μας έδωσαν πολύ ενδιαφέροντα αριθμητικά αποτελέσματα.

Προέκυψε έτσι ότι σε όλες τις θέσεις της νοτιοανατολικής Σκοπέλου όπου διενεργήσαμε μετρήσεις υπάρχει μια «προτιμητέα» κατεύθυνση για τις ΦΜΚ των επιφανειών αυτών, από SW προς NE. Η κατεύθυνση αυτή είναι αντίθετη από την κατεύθυνση προς την οποία κινείται το νότιο τέμαχος του δεξιόστροφου ρήγματος οριζόντιας ολίσθησης του Βορείου Αιγαίου (από NE προς SW). Μπορούμε, επομένως, να υποθέσουμε μια σχέση αιτίου και αιτιατού μεταξύ της ύπαρξης του ως άνω ρήγματος και της γεωλογικής εικόνας που παρουσιάζει σήμερα η νοτιοανατολική Σκόπελος. Την υπόθεση αυτή υποστηρίζουν και πολλά άλλα ευρήματα της έρευνάς μας στο πεδίο, το εργαστήριο και τη βιβλιογραφία, όπως:

- η εμφάνιση αποθέσεων τραβερτίνη στον Στάφυλο, στην προέκταση του ρήγματος και σε απόσταση περίπου 10 km από το χαρτογραφημένο πέρασ του, που δείχνει ότι στο γεωλογικό παρελθόν το ρήγμα ήταν ενεργό και στην ενδοχώρα της Σκοπέλου,
- η ύπαρξη μικροπτυχώσεων και μικροδιακλάσεων σε όλες τις λεπτές τομές από δείγματα που φωτογραφήσαμε στο πετρογραφικό μικροσκόπιο,
- η παρουσία του ογκόλιθου Κοτρωνάκι στην ομώνυμη θέση, μπροστά από την τεκτονική επαφή, στον οποίο οι χαρακτηριστικές επιφάνειες (ΦΜΚ) και οι γραμμές προστριβής έχουν κατεύθυνση προς NE,
- η ύπαρξη στη νησίδα Άγιος Γεώργιος, μεταξύ των νησιών της Σκοπέλου και της Αλοννήσου, εντυπωσιακών πτυχών με επίπεδα που χαρακτηρίζονται από ΦΜΚ προς NE,
- η ύπαρξη του ακρωτηρίου του Σταφύλου, το οποίο είναι μια τεράστια ανορθωμένη πτυχή με αξονικό επίπεδο σχεδόν κάθετο στη διεύθυνση NE – SW, όπως και οι επιφάνειες ρηγμάτων που εντοπίσαμε σε αυτό,
- η εμφάνιση πετρωμάτων στον λιμένα Κυμάσι της Β. Εύβοιας, στα οποία οι επιφάνειες κυρίων διακλάσεων χαρακτηρίζονται από μια «προτιμητέα» κατεύθυνση από NE προς SW (ίδια με την κατεύθυνση κίνησης του νοτίου τεμάχους του ρήγματος),
- η καταγραφή από επίγειους σταθμούς GPS μιας αρκετά ταχείας προσεγγιστικής κίνησης μεταξύ της Σκοπέλου και της Β. Εύβοιας, σε αντίθεση με ό,τι επικρατεί μεταξύ εδαφικών σημείων στις περισσότερες περιοχές της κύριας Ελλάδας, και
- η έντονη σεισμική δραστηριότητα που εκδηλώνεται στην περιοχή της Σκοπέλου και της Αλοννήσου, στη γειτονιά του υποθαλάσσιου σημείου όπου φαίνεται ότι περατούται το ρήγμα του Βορείου Αιγαίου.

Όλα αυτά φυσικά αποτελούν ενδείξεις, ισχυρές ή ασθενείς, και όχι αποδείξεις για την επαλήθευση του προτεινόμενου με την εργασία μας μοντέλου. Θα ήταν ίσως ωφέλιμη η περαιτέρω ενασχόληση με το θέμα αυτό μελών της κοινότητας των γεωλόγων, προκειμένου να διαπιστωθεί η έκταση της επίδρασης του ρήγματος του Βορείου Αιγαίου στη γεωλογία των Βορείων Σποράδων γενικότερα.

Θα ήταν επίσης ευχής έργον και η εγκατάσταση σειсмоγράφου στην περιοχή από κάποιον επίσημο επιστημονικό φορέα (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο ή Τμήμα Γεωλογίας), πράγμα που από όσα γνωρίζουμε δεν συμβαίνει μέχρι σήμερα. Το τελευταίο νομίζουμε πως δεν αποτελεί πολυτέλεια για μια περιοχή στην οποία βρίσκονται δημοφιλείς τουριστικοί πόλοι, όπως η Σκιάθος, η Σκόπελος και η Αλόνησος, ενώ ταυτόχρονα καταλαμβάνει την τρίτη θέση από πλευράς σεισμικότητας στην Ελλάδα, που είναι μια από τις πιο σεισμόπληκτες χώρες του πλανήτη.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- (1) Matarangas D., (1992): *Geological Investigation of Skopelos Island (North Sporades, Greece)*. Doctoral Thesis.
- (2) Jacombshagen V. and Wallbrecher E., (1985): *Pre-Neogene nappe structure and metamorphism of the North Sporades and the southern Pelion peninsula*. – In: J.E. DIXON & A.H.F. ROBERTSON (eds.): *The geological evolution of the Eastern Mediterranean*. – Geol. Soc. Spec. Publ., **17**: 591-602, Oxford e.t.c. (Blackwell).
- (3) Jacombshagen V., (1986): *Geologie von Griechenland*. – **363** S. Berlin – Stutgard (Borntraeger).
- (4) ΙΓΜΕ. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ σε κλίμακα 1:50.000. ΝΗΣΟΣ ΣΚΟΠΕΛΟΣ.
- (5) Guernet C., (1970): *Sur l' existence d' un chevauchement dans le Sporades (ile de Skopelos, Grece)*. – C. R. Acad. Sci. Paris, (D), **270**: 1764-1765, Paris.
- (6) Guernet C., (1971): *Edute geologique en l' Eudee et dans les regions voisines (Grece)*. – These d' Etat Univ. Paris, **395** S., Paris.
- (7) Kelepertzis A.E., (1973): *The geology of the islands of Alonnisos and Peristera*. – Ph. D. Thesis Univ. Patras, **115** S., Patras.
- (8) Kelepertzis A.E., (1974): *Geological structures of Alonnisos and Peristera islands*. – Z. dt. geol. Ges., **125**: 225-236, Hannover.
- (9) Hejl E., Riedl H. and Weingartner H., (1999): *Cretaceous Palaeokarst and Cenozoic Erosion of the North Sporades (Greece): Results from Geomorphological Studies and Fission-Track Analysis*. Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr, **90**, 67-82.
- (10) Porkoláb K., Willingshofer E., Sokoutis D., Creton I., Kostopoulos D., Wijbrans J., (2019): *Cretaceous-Paleogene tectonics of the Pelagonian zone: inferences from Skopelos island (Greece)*. American Geophysical Union (Accepted Article).
- (11) Jacobshagen, V. & Skala, W., (1977): *Geologie der Nord-Sporaden und die Strukturprägung auf der mittelägäischen Inselbrücke*. Ann. Geol. Pays Hell., **28**, 233-274.
- (12) Papanicolaou, D., (1993): *Geotectonic evolution of the Aegean*. Bull. Geol. Soc. Greece XXVIII/1, 33-48.
- (13) Le Pichon, X., Chamot-Rooke, N., Lallemand, S., Noomen, R. & Veis, G., (1995): *Geodetic determination of the kinematics of central Greece with respect to Europe: Implications for eastern Mediterranean tectonics*. J. Geophys. Res., 100/B7, 12675-12690.
- (14) Lyberis, N., (1984): *Tectonic evolution of the North Aegean trough*. In: Dixon, J. E. & Robertson, A. H. F (eds.): *The geological evolution of the Eastern Mediterranean* (Geol. Soc. Spec. Publ. No. 17): 709725, Oxford.
- (15) Burg, J.-P. (2012): *Rhodope: From Mesozoic convergence to Cenozoic extension*. Journal of the Virtual Explorer, **42**, 1.
- (16) Ryan, W. B., S. M. Carbotte, J. O. Coplan, S. O'Hara, A. Melkonian, R. Arko, R. A. Weissel, V. Ferrini, A. Goodwillie, and F. Nitsche (2009): *Global multi-resolution topography synthesis*. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, **10**(3).

- (17) Jacobshagen V., Skala W. & Wallbrecher E. (1978): *Alpine structure and development of the southern Pelion peninsula and the North Sporades*. Alps, Apennines, Hellenides Sci Report, **38**, 484-488.
- (18) <http://gis.ktimanet.gr/wms/ktbasemap/default.aspx>
- (19) <https://en.wikipedia.org/wiki/Travertine>
- (20) <https://en.wikipedia.org/wiki/Pamukkale>
- (21) Capezzuoli E., Gandin A. & Pedley M. (2014): *Decoding tufa and travertine (fresh water carbonates) in the sedimentary record: The state of the art*. Sedimentology, 61, 1–21. doi: 10.1111/sed.12075.
- (22) Ford T.D., Pedley H.M. (1996): *A review of tufa and travertine deposits of the world*. Earth-Science Reviews **41**, 117-175.
- (23) Chousianitis K., Ganas A. and Gianniou M. (2013): *Kinematic interpretation of present-day crustal deformation in central Greece from continuous GPS measurements*. Journal of Geodynamics 71 (2013) 1–13.
- (24) Chousianitis, K., A. Ganas, and C. P. Evangelidis (2015): *Strain and rotation rate patterns of mainland Greece from continuous GPS data and comparison between seismic and geodetic moment release*. J. Geophys. Res. Solid Earth, 120, 3909–3931, doi: 10.1002/2014JB011762.
- (25) <https://www.viannitika.gr/el/1965-seismos-isopedwnei-thn-alonnhso>
- (26) https://skopelosweb.gr/skopelos/article/recent_years_history
- (27) Παπαζάχος Β., Παπαζάχου Κ., (2003): *Οι σεισμοί της Ελλάδας*. 3^η έκδοση. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- (28) <https://skopelosnews.wordpress.com/2014/08/13/calling-all-geologists/>