



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων

Εργαστήριο Πετρολογίας & Οικονομικής Γεωλογίας



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

“Προσδιορισμός των φυσικοχημικών και μηχανικών ιδιοτήτων κονιαμάτων και λίθων δόμησης τμήματος του Μεσαιωνικού τείχους της Θήβας”

Τριμελής εξεταστική επιτροπή

Γεώργιος Χρηστίδης, Καθηγητής (Επιβλέπων)

Πλάτων Γκαμαλέτσος, Επίκουρος καθηγητής

Γεώργιος Τριανταφύλλου, Δρ. Μηχανικός Ορυκτών Πόρων, ΕΔΙΠ

ΦΡΑΓΚΙΑ ΝΤΙΑΝΑ ΜΑΡΙΑ

Χανιά Αύγουστος 2022

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο “Εργαστηριακός χαρακτηρισμός των φυσικοχημικών και μηχανικών ιδιοτήτων των κονιαμάτων και των λίθων δόμησης τμήματος του Μεσαιωνικού τείχους της Θήβας” πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια μελέτης που ανατέθηκε στο Εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, από την Εφορία αρχαιοτήτων Βοιωτίας (Τμήμα Βυζαντινών και Μεταβυζαντινών αρχαιοτήτων).

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω θερμότατες ευχαριστίες στον Καθηγητή Γεώργιο Χρηστίδη για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω αυτή την εργασία, την πολύτιμη προσφορά γνώσεων, τη συνεχή καθοδήγηση και παρακολούθηση του θέματος και για τις εύστοχες παρατηρήσεις κατά τη συγγραφή της μελέτης.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Πλάτωνα Γκαμαλέτσο για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή και τη διόρθωση της διπλωματικής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμότατα το Δρ. Γεώργιο Τριανταφύλλου, ο οποίος πίστεψε στις ικανότητές μου και σε όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας με καθοδήγησε με τη μεγάλη του εμπειρία, που πρόσφερε ηθική υποστήριξη και συνέβαλε καθοριστικά στην πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ακόμη, ευχαριστώ θερμά τον Δόκτωρ Αντώνιο Στρατάκη και την κ. Παυλίνα Ροτόντο για την σημαντική βοήθεια που μου παρείχαν κατά την διάρκεια υλοποίησης μέρους των εργαστηριακών αναλύσεων. Επίσης, από τη μεριά της Εφορείας Αρχαιοτήτων Βοιωτίας την Υπεύθυνη επίβλεψης του έργου συντήρησης-αναπαλαίωσης του Μεσαιωνικού τείχους κα. Μαρία Κωστάρα και την Αρχαιολόγο Δρ. Έλλη Τζαβέλα.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου και στην οικογένειά μου και τους φίλους που με στήριξαν και ήταν δίπλα μου όχι μόνο στις δύσκολες αλλά και στις ευχάριστες στιγμές, της φοιτητικής και όχι μόνο ζωής μου.

Φραγκιά Ντιάνα Μαρία

Χανιά, 2022

***Αφιερώνεται στην μνήμη του
πολυαγαπημένου μου πατέρα***

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	1
ΠΕΡΙΛΙΨΗ.....	8
ABSTRACT.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1 Σκοπός της εργασίας.....	13
1.2 Σύντομη αναφορά στον όρο οφιολίθοι.....	17
1.3 Σύντομη αναφορά για τους Οφιολίθους στον Ελλαδικό χώρο.....	20
1.4 Γεωτεκτονικές Ζώνες της Ελλάδος, οφιολίθοι και συνοδά ιζήματα στην Πελαγονική ζώνη.....	23
1.5 Περιοχή μελέτης.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΟ ΤΕΙΧΟΣ ΘΗΒΑΣ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΤΟΙΧΟΠΟΙΩΝ	
2.1 Γενικά.....	32
2.2 Ανασκόπηση για τις ιστορικές τοιχοποιίες.....	34
2.3 Κατηγορίες τοιχοποιιών.....	36
2.4 Κονίες & Κονιάματα.....	37
2.4.1 Κονίες.....	37
2.4.2 Κονιάματα.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ	
3.1 Εισαγωγή.....	42
3.2 Εργαστηριακές μέθοδοι ανάλυσης.....	44
3.2.1 Μακροσκοπική περιγραφή λίθων και κονιαμάτων	44
3.2.2 Μέθοδος περιθλασιμετρίας ακτίνων -X (XRD).....	44
3.2.3 Μέθοδος φασματοσκοπίας φθορισμού ακτινών -X (XRF).....	48
3.2.4 Κοκκομετρικές αναλύσεις.....	50
3.2.5 Υδατοαπορροφητικότητα.....	52
3.2.6 Προσδιορισμός μηχανικής αντοχής.....	53
3.2.7 Στερεοσκοπική παρατήρηση.....	55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

4.1 Γενικά.....	57
4.2 Ορυκτά της ομάδας του σερπεντίνη και οι κύριες εξαλλοιώσεις του.....	57
4.3 Αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων των λίθων.....	58
4.3.1 Μακροσκοπική περιγραφή.....	58
4.3.2 Αποτελέσματα της μελέτης Περιθλασιμετρίας ακτινών-Χ.....	65
4.3.3 Αποτελέσματα της μελέτης Φασματοσκοπίας ακτινών-Χ, XRF.....	71
4.3.4 Αποτελέσματα της μελέτης Προσδιορισμού υδατοαπορροφητικότητας.....	72
4.3.5 Αποτελέσματα της μελέτης Προσδιορισμού της μηχανικής αντοχής.....	74
4.4 Αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων των κονιαμάτων.....	76
4.4.1 Μακροσκοπική περιγραφή.....	77
4.4.2 Αποτελέσματα της μελέτης Περιθλασιμετρίας ακτινών-Χ.....	80
4.4.3 Αποτελέσματα της μελέτης Φασματοσκοπίας ακτινών -Χ, XRF.....	88
4.4.4 Αποτελέσματα από τις κοκκομετρικές αναλύσεις των δειγμάτων.....	89
4.4.5 Αποτελέσματα από την μελέτη Υδατοαπορροφητικότητας των δειγμάτων.....	96
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	97
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	100

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Απεικόνιση του υπό μελέτη τμήματος του Μεσαιωνικού τείχους της Θήβας.....	15
Εικόνα 2. Φωτογραφίες από διαφορετικά τμήματα του Μεσαιωνικού τείχους στην περίμετρο του κεντρικού τμήματος της πόλης της Θήβας.....	16
Εικόνα 3. Στρωματογραφική στήλη μιας ιδανικής οφιολιθικής ακολουθίας (Coleman, 1977).....	19
Εικόνα 4. Χάρτης στον οποίο διακρίνονται οι κύριες οφιολιθικές εμφανίσεις στον Ελλαδικό χώρο (Πομώνης, 2003).....	21
Εικόνα 5. Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων Ζωνών.....	25
Εικόνα 6. Ι.Γ.Μ.Ε Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος - Φύλλο ΘΗΒΑΙ.....	30
Εικόνα 7. Απεικόνιση της Αρχαίας πόλης της Θήβας.....	32
Εικόνα 8. Εικόνες από την διαδικασία της δειγματοληψίας.....	43
Εικόνα 9. Σχηματική απεικόνιση της τράπεζας του XRD.....	46
Εικόνα 10. Σχηματική απεικόνιση περίθλασης μονοχρωματικής ακτινοβολίας ακτινών - Χ.....	46
Εικόνα 11. Περιθλασίμετρο ακτινών -Χ (XRD) D8-Advance. Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.....	47
Εικόνα 12. Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου Φασματοσκοπίας ακτινών -Χ φθορισμού, (XRF).....	49
Εικόνα 13. Φασματόμετρο τύπου S2 Ranger (Bruker AXS) του Εργαστηρίου Ανόργανης και Οργανικής Γεωχημείας της Σχολής Μηχ. Ορυκτών Πόρων, όπου πραγματοποιήθηκαν οι χημικές αναλύσεις.....	50
Εικόνα 14. Σειρά κοσκίνων με δονούμενη τράπεζα.....	51
Εικόνα 15. Κλίμακα ανάγνωσης της αναπήδησης στη σφύρα Schmidt.....	54
Εικόνα 16. Νομόγραμμα συσχέτισης της σκληρότητας Schmidt με την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (Deere & Miller, 1966).....	55
Εικόνα 17. Στερεοσκόπιο SFC-11A N2GG,Motic, του Εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.....	56
Εικόνα 18. Φωτογραφίες από τη μακροσκοπική παρατήρηση του Λίθου 1 (Λ1).....	59
Εικόνα 19. Εικόνες του Λίθου 1 από την παρατήρησή του στο στερεοσκόπιο.....	60
Εικόνα 20. Φωτογραφίες κόκκου αδρανούς υλικού που αποχωρίστηκε από το Λίθο 1, με κωδικό ΑΙV (παρατήρηση στο στερεοσκόπιο).....	61

Εικόνα 21. Φωτογραφίες κόκκου αδρανούς υλικού που αποχωρίστηκε από το Λίθο 1, με κωδικό AIII (παρατήρηση στο στερεοσκόπιο).....	61
Εικόνα 22. Φωτογραφίες κόκκων αδρανών που αποχωρίστηκαν από το Λίθο 1, με κωδικό α) AII και β) AI (παρατήρηση στο στερεοσκόπιο).....	61
Εικόνα 23. Φωτογραφίες κόκκου αδρανούς υλικού που αποχωρίστηκε από το Λίθο 1, με κωδικό AV (παρατήρηση στο στερεοσκόπιο).....	62
Εικόνα 24. Φωτογραφίες κόκκου αδρανούς υλικού που αποχωρίστηκε από το Λίθο 1, με κωδικό Λ1AIII (παρατήρηση στο στερεοσκόπιο).....	62
Εικόνα 25. Φωτογραφίες από την παρατήρηση του Λίθου 2 (Λ2), μακροσκοπικά και στο στερεοσκόπιο.....	63
Εικόνα 26. Φωτογραφίες από την παρατήρηση του Λίθου 3 (Λ3), μακροσκοπικά και στο στερεοσκόπιο.....	64
Εικόνα 27. Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων X (XRD), από την ορυκτολογική ανάλυση του λίθου δόμησης Λ1.....	65
Εικόνα 28. Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – X (XRD), από την ορυκτολογική ανάλυση των αδρανών με κωδικούς AIV και AIII του λίθου δόμησης Λ1.....	68
Εικόνα 29. Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – X (XRD), από την ορυκτολογική ανάλυση των αδρανών με κωδικούς AII του λίθου δόμησης Λ1.....	69
Εικόνα 30. Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – X (XRD), από την ορυκτολογική ανάλυση των αδρανών με κωδικούς AV και Λ1 AIII του λίθου δόμησης Λ1.....	69
Εικόνα 31. Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – X (XRD), από την ορυκτολογική ανάλυση των αδρανών με κωδικούς AI του λίθου δόμησης Λ1.....	70
Εικόνα 32. Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – X (XRD), από την ορυκτολογική ανάλυση του λίθου δόμησης Λ2.....	70
Εικόνα 33. Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – X (XRD), από την ορυκτολογική ανάλυση του λίθου δόμησης Λ3.....	71
Εικόνα 34. Φωτογραφίες από τη μακροσκοπική παρατήρηση του Κονιάματος 1 (K1).....	78
Εικόνα 35. Φωτογραφίες από την παρατήρηση του Κονιάματος 1 στο στερεοσκόπιο (K1).....	78
Εικόνα 36. Φωτογραφίες από τη μακροσκοπική παρατήρηση του Κονιάματος 2 (K2).....	79
Εικόνα 37. Φωτογραφίες από τη μακροσκοπική παρατήρηση του Κονιάματος 3 (K3).....	79
Εικόνα 38. Ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – X (XRD), από την ορυκτολογική ανάλυση των κονιών των δειγμάτων K1, K2 & K3.....	81

Εικόνα 39. Συσχέτιση του ακτινοδιαγράμματος του Λίθου 1 με εκείνο το Κονιάματος 3.....	39
Εικόνα 40. Ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – X (XRD) των δειγμάτων αδρανών του κονιάματος 1 με κωδική ονομασία AII, AIV και AIII.....	85
Εικόνα 41. Ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – X (XRD) των δειγμάτων του κονιάματος 1 με κωδική ονομασία K1 AI.....	85
Εικόνα 42. Ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – X (XRD) των αδρανών του κονιάματος 2 με κωδική ονομασία K2 AII και AI.....	86
Εικόνα 43. Ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – X (XRD) των δειγμάτων του κονιάματος 2 με κωδική ονομασία K2 AI και AII.....	86
Εικόνα 44. Ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – X (XRD) του αδρανούς του κονιάματος 2 με κωδική ονομασία AIV.....	87
Εικόνα 45. Κοκκομετρική καμπύλη του κονιάματος K1 (χύδην δείγμα), σύμφωνα με το ποσοστό αθροιστικά διερχόμενων κόκκων (αδρανές & κονία) μετά από τη διαδικασία ξηρής κοσκίνισης.....	93
Εικόνα 46. Κοκκομετρική κατανομή του κονιάματος K1 (χύδην δείγμα), μετά από τη διαδικασία ξηρής κοσκίνισης.....	93
Εικόνα 47. Κοκκομετρική καμπύλη των κονιαμάτων K1 & K2, σύμφωνα με το ποσοστό αθροιστικά διερχόμενων κόκκων (αδρανές & κονία) μετά από τη διαδικασία υγρής κοσκίνισης.....	94
Εικόνα 48. Κοκκομετρική κατανομή των κονιαμάτων K1 & K2, μετά από τη διαδικασία υγρής κοσκίνισης.....	94

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Χημική ανάλυση των δειγμάτων Λίθων που εξετάστηκαν.	71
Πίνακας 2. Αποτελέσματα από τη μελέτη Υδατοαπορρόφησης των δειγμάτων Λίθων της τοιχοποιίας.	72
Πίνακας 3. Χημική ανάλυση των δειγμάτων των κονιαμάτων (κλάσμα -63μm - κονία).....	88
Πίνακας 4. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα της εν ξηρώ κοκκομετρικής ανάλυσης του κονιάματος K1 (χύδην δείγμα).	90
Πίνακας 5. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα της εν ξηρώ κοκκομετρικής ανάλυσης του κονιάματος K1 (χύδην δείγμα).	91
Πίνακας 6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα της υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης του κονιάματος K2 (χύδην δείγμα).	94
Πίνακας 7. Αποτελέσματα από τη μελέτη Υδατοαπορρόφησης των δειγμάτων.....	95

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν δείγματα δομικών στοιχείων τμήματος του Μεσαιωνικού τείχους της πόλης της Θήβας. Η εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια μελέτης που ανατέθηκε από την Εφορεία Αρχαιοτήτων Βοιωτίας, Τμήμα Βυζαντινών & Μεταβυζαντινών Αρχαιοτήτων, στο Εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, με σκοπό τον χαρακτηρισμό των δομικών στοιχείων του τείχους και την αναδόμηση και συντήρηση του μνημείου. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε χαρακτηρισμός των φυσικοχημικών και μηχανικών ιδιοτήτων σε τρία δείγματα λίθων και τρία δείγματα κονιαμάτων που προέρχονται από τμήμα της τοιχοποιίας του Τείχους, που βρίσκεται μεταξύ της οδού Κάδμου και της Περιφερειακής οδού Αγίας Τριάδας στη Θήβα. Αρχικά γίνεται μια αναφορά στην γεωλογία της ευρύτερης περιοχής όπου τοποθετείται το μνημείο και παρατίθενται ιστορικά στοιχεία τόσο για την πόλη της Θήβας όσο και για τα είδη τοιχοποιιών των μνημειακών κατασκευών. Επιπλέον, περιγράφονται οι εργαστηριακές δοκιμές και αναλύσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τον χαρακτηρισμό των δειγμάτων. Οι μέθοδοι αυτές περιλαμβάνουν αρχικά την μακροσκοπική περιγραφή των δειγμάτων λίθων και κονιαμάτων.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μελέτη υδατοαπορροφητικότητας και υγρή κοκκομετρική ανάλυση στα δείγματα κονιαμάτων για τον αποχωρισμό της κόνιας από τα αδρανή υλικά και τον υπολογισμό της ποσοστιαίας αναλογίας συμμετοχής τους στην κύρια μάζα των κονιαμάτων. Στα δείγματα λίθων της τοιχοποιίας πραγματοποιήθηκε επιπλέον εργαστηριακός έλεγχος προσδιορισμού των μηχανικών τους αντοχών. Αναγνωρίστηκαν διαφορετικοί τύποι κόκκων αδρανών υλικών στα κονιάματα και στο ένα δείγμα από τους δομικούς λίθους, οι οποίοι αφού αρχικά αποχωρίστηκαν από την κύρια μάζα τους, ομαδοποιήθηκαν με κριτήριο στοιχεία της μορφολογίας τους. Σημαντικά στοιχεία στη μελέτη των δομικών στοιχείων του Μεσαιωνικού τείχους, συνεισέφερε η ορυκτολογική και χημική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των μεθόδων της περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων-Χ (XRD) και της φασματοσκοπίας φθορισμού ακτίνων-Χ (XRF), αντίστοιχα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων, προέκυψε πως οι κύριοι λιθότυποι που δομούν την τοιχοποιία του μνημείου αποτελούνται από λίθους ασβεστολιθικής και δολομιτικής σύστασης και ποτάμιες αποθέσεις με έντονη την παρουσία κροκαλοπαγών στην κύρια μάζα τους. Τα δείγματα λίθων εμφανίζουν διαφορετικά φυσικοχημικά και μηχανικά χαρακτηριστικά, που συνδέονται άμεσα με το

βαθμό αποσάθρωσης που παρουσιάζουν, ο οποίος αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη στατική επάρκεια της τοιχοποιίας. Η ποικιλομορφία των αδρανών υλικών που χαρακτηρίζουν τη σύσταση των κονιαμάτων και μέρους των λίθων και τα αποτελέσματα των ορυκτολογικών αναλύσεων που έγιναν σε αυτούς, αποτυπώνουν με χαρακτηριστικό τρόπο τη γεωλογία της ευρύτερης περιοχής και πιο συγκεκριμένα των σχηματισμών που βρίσκονται κυρίως Βορειότερα της πόλης της Θήβας. Κυριαρχούν τεμάχια από την Οφιολιθική ακολουθία πετρωμάτων, που είναι έντονα εξαλλοιωμένα και με κυρίαρχο ορυκτολογικό συστατικό το σερπεντίνη. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων θα χρησιμοποιηθούν για τις εργασίες συντήρησης – αναπαλαίωσης του τείχους, ώστε να επιλεγούν υλικά δόμησης (κονιάματα και λίθοι) συμβατά με τα προϋπάρχοντα, προκειμένου να μην αλλοιωθεί η φύση του μνημείου και να ενισχυθεί η στατική του επάρκεια.

ABSTRACT

In the present thesis specimens of the building stones and mortars of the Medieval Wall of Thebes were studied at the laboratory as a part of a study assigned to the Laboratory of Petrology and Economic Geology of the Mineral Resources Engineering School by the Ephorate of Antiquities of Boeotia, Department of Byzantine & Post-Byzantine Antiquities. The purpose of this assignment was the characterization of the building components of the ancient Wall as part of a research program aimed at the reconstruction and maintenance of the Monument. Specifically, the characterizations that took place concerning the physicochemical and mechanical aspects of three specimens from the building stones and three from the mortar from part of the Wall's masonry which is located between Kadmou Street and Agia Triada Regional Street in Thebes. Firstly, a reference is made to the geology of the wider area where the monument is located and historical data listed for both the city of Thebes and the types of masonry of the monumental structures. Furthermore, there is a detailed description of the laboratory tests and technics that were used for the characterization of the specimens. These methods include the macroscopic description of the specimens of both the building stones and the mortar.

A water absorption study and liquid granulometric analysis were carried out on the mortar samples to separate the mortar from the inert materials and calculate their percentage participation in the main mass of the mortars. In the building stones samples an additional laboratory test was carried out on to determine their mechanical strength. Different types of aggregate grains were recognized in the mortars and in one sample of the building stones, which, after initially being separated from their main mass, were categorized according to their morphology criteria. Important results in the study of the structural elements of the Medieval wall were contributed to the mineralogical and chemical analysis carried out using the methods of X-ray powder diffraction (XRD) and X-ray fluorescence spectroscopy (XRF). According to the results of the laboratory analyses, it emerged that the main lithotypes that structure the masonry of the monument consist of limestone and dolomite stones and also river deposits with a strong presence of cobbles in their main mass. Rock samples exhibit different physicochemical and mechanical characteristics, which are directly related to the degree of disintegration that they present, which is an important factor for the static adequacy of the masonry. The diversity of the aggregates that characterize the composition of the mortars, the stones and the results of the mineralogical analyses, reflect in a characteristic way the geology of the wider area and more specifically of the formations that are located mainly in the Northern part of the city of Thebes. Pieces from the Ophiolitic sequence of rocks dominate, which are strongly weathered

and with serpentine as the dominant mineralogical component. The results of the laboratory analyses will be used for the maintenance-restoration works of the wall, in order to select building materials (mortar and stones) compatible to with the pre-existing ones, to avoid the alteration of the nature of the monument and to strengthen its static adequacy.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Σκοπός της εργασίας

Η διαφύλαξη και η συντήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι θέμα ζωτικής σημασίας, καθώς αποτελεί την εθνική ταυτότητα κάθε λαού. Η αποκατάσταση και η συντήρηση των ιστορικών μνημείων είναι θέμα μείζονος σημασίας για τη διατήρηση της ταυτότητας των μνημείων στην πάροδο του χρόνου. Εξωτερικοί παράγοντες όπως τα καιρικά φαινόμενα, που χρόνο με το χρόνο είναι και όλο και πιο επιθετικά, η φθορά του χρόνου, οι σεισμοί, αλλά και η ελλιπής ή ανεπαρκής συντήρηση των κατασκευών, προκαλούν σημαντικές βλάβες στην συνάφεια μεταξύ των δομικών στοιχείων, ρωγματώσεις και προβλήματα στατικότητας.

Η ορθή επιλογή των υλικών και των μεθόδων αποκατάστασης, είναι ιδιαίτερα δύσκολη εξ' αιτίας της ταχύτατης εξέλιξης της τεχνολογίας και της πληθώρας των νέων υλικών που χρησιμοποιούνται στις επισκευές. Γενικά θεωρείται ότι ο βέλτιστος τρόπος για την επίτευξη της ζητούμενης συμβατότητας και ανθεκτικότητας, είναι η χρήση «παραδοσιακών» υλικών και αναστρέψιμων μεθόδων επέμβασης, στο μέτρο του δυνατού. Σε κάθε περίπτωση, σε εργασίες συντήρησης – αποκατάστασης, είναι απαραίτητη η ακριβής εκτίμηση των παλαιών υλικών και των παραγόντων που συνετέλεσαν στην αλλοίωσή τους.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εργαστηριακή μελέτη λίθων και κονιαμάτων τμήματος του Μεσαιωνικού τείχους της Θήβας (Εικόνα 1) που θα συμβάλει στον ακριβή προσδιορισμό αφενός, του είδους των λίθων που απαρτίζουν το Μεσαιωνικό Τείχος και την πιστοποίηση / τεκμηρίωση της προέλευσής τους (ώστε να υποδειχθούν πιθανοί χώροι στην ευρύτερη περιοχή με πετρώματα ανάλογης σύστασης με τα προϋπάρχοντα) και αφετέρου της φύσης και του είδους των κονιαμάτων που βρίσκονται στην τοιχοποιία του Μνημείου με σκοπό τη χρήση υλικών συμβατών που θα χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή επισκευαστικών κονιαμάτων ή/και ενεμάτων στις απαραίτητες εργασίες που θα λάβουν χώρα για τη συντήρηση και την ενίσχυση της στατικής επάρκειάς του.

Η αντικατάσταση των λίθων της τοιχοποιίας που έχουν υποστεί σημαντική φθορά, θα συμβάλει εν τέλει στην εξυγίανση της λιθοδομής. Το ίδιο σημαντική είναι για τη στατική επάρκεια της κατασκευής η εφαρμογή κατάλληλων επισκευαστικών κονιαμάτων συμβατά με τους λίθους και με τα προϋπάρχοντα κονιάματα. Η ορθή επιλογή των υλικών και των μεθόδων αποκατάστασης είναι επίπονη καθώς υπάρχει πληθώρα νέων υλικών που χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες κατασκευές.

Ο βέλτιστος τρόπος για να επιτευχθεί η συμβατότητα και να αντιμετωπιστούν προβλήματα όπως σπηλαιώσεις, ρωγματώσεις και αστοχίες στις επισκευαστικές εργασίες, είναι η χρήση «παραδοσιακών» υλικών και αναστρέψιμων μεθόδων επέμβασης. Στις εργασίες συντήρησης-αποκατάστασης πρέπει να υπάρχει ακριβής εκτίμηση των παλαιών υλικών όπως και των παραγόντων που συντέλεσαν στην αλλοίωσή τους. Γι' αυτό το λόγο στην παρούσα εργασία δόθηκε μεγάλη έμφαση στην λεπτομερή ανάλυση των κονιαμάτων και των λίθων δόμησης από τμήματα της τοιχοποιίας του μνημείου, έτσι ώστε να προταθούν συμβατές συνθέσεις κονιαμάτων και να αποφευχθεί η χρήση του κοινού τσιμέντου Portland ως επισκευαστική κονία, που αποτελεί επιλογή η οποία έχει αποδειχθεί επιζήμια τόσο για την αισθητική, όσο και για τη δομική ακεραιότητα των μνημείων. Οι λίθοι που θα χρησιμοποιηθούν στις εργασίες συντήρησης, πρέπει να προέρχονται από ομοιόμορφα και υγιή πετρώματα, να διαθέτουν τις απαραίτητες αντοχές, να είναι ομοιογενείς και να έχουν τις κατάλληλες διαστάσεις.



Εικόνα 16. Απεικόνιση του υπό μελέτη τμήματος του Μεσαιωνικού τείχους της Θήβας.



Εικόνα 17. Φωτογραφίες από διαφορετικά τμήματα του Μεσαιωνικού τείχους στην περίμετρο του κεντρικού τμήματος της πόλης της Θήβας.

1.2 Σύντομη αναφορά στον όρο οφιολίθιοι

Η διαδικασία γένεσης όσο και ο τρόπος δομής των οφιολιθικών συμπλεγμάτων, έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης για πολλούς ερευνητές στη Γεωλογική κοινότητα. Ο όρος αυτός δε πρέπει να χρησιμοποιείται για την ονομασία ενός είδους πετρώματος ή μιας μεμονωμένης λιθολογικής μονάδας, αλλά για ένα σύμπλεγμα πετρωμάτων

Ο όρος “οφιολίθος” προέρχεται από τις Ελληνικές ρίζες “’’όφης” και “λίθος” υποδηλώνοντας την ομοιότητα των πετρωμάτων αυτών με το δέρμα του φιδιού. Πρώτος που χρησιμοποίησε τον όρο ήταν ο Γάλλος ορυκτολόγος Brongniart (1813), για να περιγράψει σερπεντινίτες που εμφανίζονταν μέσα σε μίγματα διαφόρων ετερογενών πετρωμάτων (*mélanges*). Το 1827 ο ίδιος διευκρίνισε ότι οι οφιολίθιοι είναι μια σύνθετη ακολουθία πετρωμάτων η οποία αποτελείται από μαγματικά και ηφαιστειακά πετρώματα.

Για έναν αιώνα υπήρξε μια σύγχυση σε σχέση με τον όρο την οποία ξεκαθάρισε ο Γερμανός Γεωλόγος Gustav Steinmann (1927), που υποστήριξε την συνύπαρξη πλουτώνιων πετρωμάτων (περιδοτίτες-σερπεντινίτες), ηφαιστειακών πετρωμάτων (διαβάσες-σπιλίτες) και ιζηματογενών πετρωμάτων βαθιάς θάλασσας (σχιστοκερατόλιθοι, πελαγικοί ασβεστόλιθοι και ραδιολαρίτες). Διατύπωσε την άποψη πως τα πετρώματα αυτά έχουν στενή σχέση μεταξύ τους και θεώρησε πως σχηματίζονται σε *in situ* διεισδύσεις πυθμένα των ωκεανών, κοντά στην αξονική ζώνη των γεωσύγκλινων. Αυτή η θεωρία επικράτησε και έμεινε γνωστή με το όνομα τριάδα του Steinmann.

Οι απόψεις του Steinmann επικράτησαν έως και την δεκαετία του 1960 όπου η θεωρία των Λιθοσφαιρικών Πλακών προσέθεσε νέα δεδομένα όσο αφορά στην προέλευση των οφιολίθων. Έτσι σύμφωνα με τον Moores (1982), δημιουργήθηκαν δύο σχολές αναφορικά με την γένεση των οφιολίθων, η Αμερικανική και η Ευρωπαϊκή.

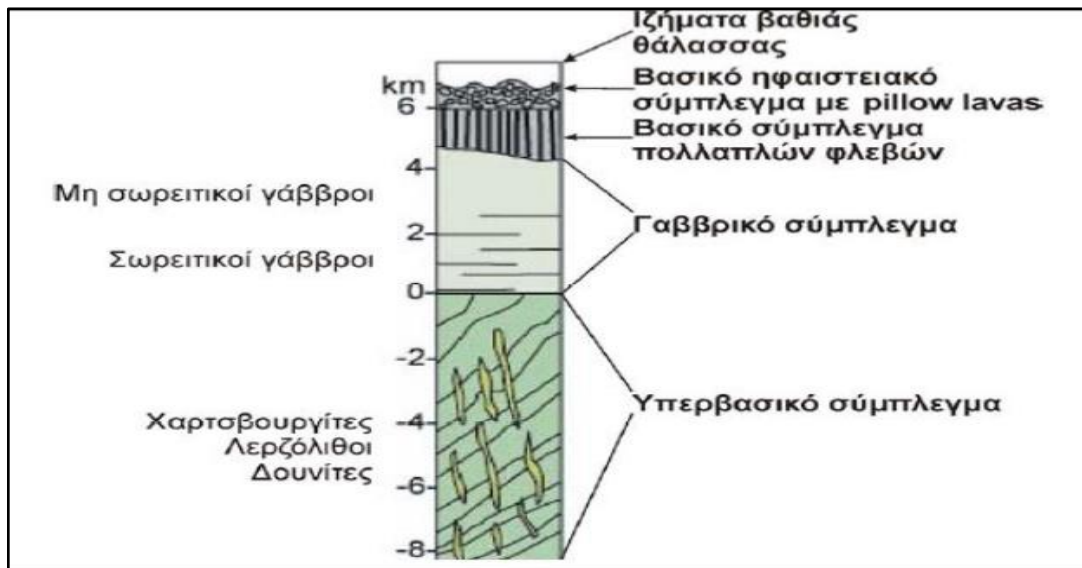
Η Αμερικανική σχολή με κύριο εκπρόσωπό της τον Harry Hammont Hess (1955), αρνήθηκε οποιαδήποτε γενετική σχέση των ηφαιστειακών πετρωμάτων με τους υποκείμενους Αλπικού τύπου περιδοτίτες και γάββρους με τα υπόλοιπα πετρώματα της τριάδας του Steinmann.

Η Ευρωπαϊκή σχολή κατά τον Jateau (1988) με κύριους εκπρόσωπους τους Γάλλους, υποστήριξε πως οι οφιολίθοι δημιουργούνται από μεγάλες υποθαλάσσιες εκχύσεις βασικού ή υπερβασικού μάγματος με την μορφή θυλάκων κατά μήκος ρηγμάτων, τα οποία βρίσκονται σε αρκετά μεγάλο βάθος κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Σύμφωνα με την θεωρία αυτή κάτω από το στρώμα των ψυχόμενων ηφαιστειακών πετρωμάτων δημιουργείται με μαγματική κρυστάλλωση η ακολουθία των περιδοτιτών και γάββρων.

Η διάρθρωση ενός πλήρους οφιολιθικού συμπλέγματος από κάτω προς τα πάνω είναι η εξής:

- ❖ Τεκτονισμένα υπερβασικά πετρώματα (δουνίτες, χαρτσβουργίτες, λερζόλιθοι).
- ❖ Σωρευτικά υπερβασικά πετρώματα.
- ❖ Γαββρικά πετρώματα, με σωρευτικά και μη σωρευτικά (ισότροπα) χαρακτηριστικά.
- ❖ Σύστημα πολλαπλών φλεβών, βασικής σύστασης.
- ❖ Ηφαιστειακές σειρές βασικής σύστασης, συχνά με μαξιλαροειδείς δομές (pillow lavas).

Ο Moores (1982) συμπλήρωσε την παραπάνω στρωματογραφική ακολουθία με την τοποθέτηση συμπλεγμάτων διάφορων λιθολογιών στην βάση της, καθώς και μεταμορφωμένων πετρωμάτων υψηλής θερμοκρασίας (αμφιβολίτες, πρασινοσχιστόλιθοι, φυλλίτες), τα οποία σχετίζονται άμεσα με τις οφιολιθικές ακολουθίες και τις συνοδεύουν αποτελώντας το υπόβαθρό τους. Οι σχηματισμοί αυτοί είναι γνωστοί ως μεταμορφικό πέλμα και οφιολιθικό μίγμα (ophiolitic mélange κατά GANSSER, 1974).



Εικόνα 18. Στρωματογραφική στήλη μιας ιδανικής οφιολιθικής ακολουθίας (Coleman, 1977).

Ο Moores (1982) πρόσθεσε ότι τα οφιολιθικά συμπλέγματα μπορεί επίσης να συνδέονται και με:

- ❖ Πελαγικούς ιζηματογενείς σχηματισμούς (κερατόλιθοι, αργιλικόι σχίστες, ασβεστόλιθοι) που τοποθετούνται πάνω από τις pillow λάβες.

Η προαναφερθείσα στρωματογραφία αφορά σε μια ιδανική διάταξη ενός οφιολιθικού συμπλέγματος, η οποία δεν παρατηρείται πάντα στην ύπαιθρο όπως έχει αναφερθεί από πολλούς ερευνητές. Τα οφιολιθικά συμπλέγματα βρίσκονται διαμελισμένα, ενώ είναι δυνατόν να απουσιάζουν εντελώς κάποια μέλη από το ιδεατό οφιολιθικό σύμπλεγµα. Οι αιτίες που προκαλούν τα φαινόμενα αυτά είναι η διάβρωση, η αποσάθρωση, οι τεκτονικές διεργασίες ή απόθεση νεότερων πετρωμάτων (Magganis, 2002). Ακόμη και στο όρος Τρόδος, που θεωρείται ότι αποτελεί την τυπική εμφάνιση του οφιολιθικού συμπλέγματος, η σειρά των πετρωμάτων εμφανίζεται ως ανεστραμμένη.

Η μελέτη οφιολιθικών πετρωμάτων αποτελεί κλειδί στην ερμηνεία των γεωτεκτονικών εξελίξεων καθώς μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες για την εξελικτική πορεία των ορογενετικών διεργασιών της εκάστοτε περιοχής. Επιπλέον, η παρουσία οικονομικά εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων, που έχει πολλές φορές παρατηρηθεί σε

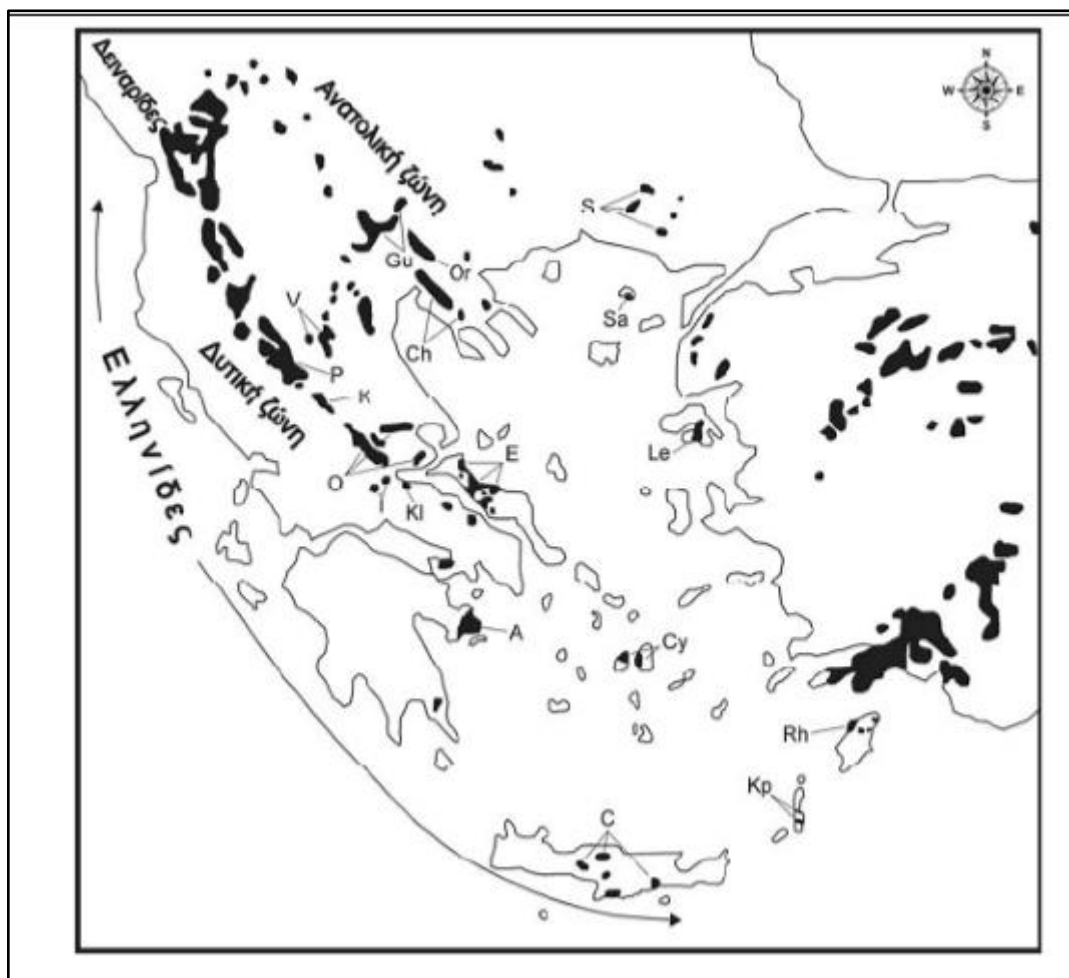
οφιολιθικά συμπλέγματα, προσδίδει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για περαιτέρω μελέτη και έρευνα (Τσιρίκου & Καράμπελας, 2017).

1.3 Σύντομη αναφορά για τους οφιολίθους στον Ελλαδικό χώρο.

Σε αντίθεση με άλλες ορογενέσεις του πλανήτη μας οι οφιολιθικές ακολουθίες του Αλπικού συστήματος και φυσικά της Ελλάδας, διατηρούνται στην θέση που τοποθετήθηκαν, έτσι, ενώ σε περιοχές όπως η Νορβηγία υπάρχει η εικόνα της σύγκλισης και σύγκρουσης ενός ωκεανού οι οφιολίθοι είναι ελάχιστοι και δυσεύρετοι (Τσιρίκου & Καράμπελας, 2017). Οι οφιολιθικές εμφανίσεις στη χώρα μας αποτελούν παράλληλα επωθημένα τμήματα ωκεάνιου φλοιού πάνω στον ηπειρωτικό φλοιό, ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης ,ενώ στρέφονται σε Α-Δ όπου υπάρχουν στην Κρήτη και τελικά στρέφονται σε ΝΔ-ΒΑ στα νησιά του ανατολικού Αιγαίου και συνεχίζουν με τον ίδιο τρόπο στις Ταυρίδες οροσειρές, στην Τουρκία (Τσιρίκου & Καράμπελας, 2017).

Οι εμφανίσεις αυτές σχηματίζουν μία ανατολική και μία δυτική ζώνη , οι οποίες χωρίζονται από την Πελαγονική ζώνη παρουσιάζοντας γεωλογικές, πετρολογικές και γεωχημικές διαφορές.

Στον Ελληνικό χώρο, οι σημαντικότερες οφιολιθικές εμφανίσεις που απαρτίζουν τη δυτική ζώνη είναι της **Πίνδου** (Capedri,1980, 1981, Kostopoulos 1989, Jones & Robertson 1991, Jones, 1991, Saccani & Photiades 2004 Pe-Piper, 2004), του **Βούρινου** (Beccaluva, 1984, Rassios & Smith 2000), της **Όθρυος** (Smith,1975, Rassios & Konstantopoulou 1993, Barth,2008) και της **Εύβοιας** (Simantov-Bertrand 1987, Robertson 1991, Danelian & Robertson 2001). Μικρότερων διαστάσεων οφιολιθικές εμφανίσεις στη δυτική ζώνη αποτελούν τα συμπλέγματα του Βερμίου (Economou 1983), της Οίτης (Καρίπη 2004, Karipi, 2006, 2007), της Αργολίδας (Hatzipanagiotou 1990, Bortolotti, 2002), του Κόζιακα (Pomonis. 2005, 2007b) και της ανατολικής Θεσσαλίας (Migiros & Economou 1988).



Εικόνα 19.Χάρτης στον οποίο διακρίνονται οι κύριες οφιολιθικές εμφανίσεις στον Ελλαδικό χώρο (Πομώνης, 2003).

Την ανατολική λωρίδα συνθέτουν οι οφιολιθικές εμφανίσεις της ενιαίας ζώνης **Αξιού-Βαρδάρη** που αποτελούνται από τις εμφανίσεις της **Γευγελής, Ωραιοκάστρου, δυτικής Χαλκιδικής, Κασσάνδρας και Σιθωνίας** (π.χ. Bebieen 1982, Haenel- Remy & Bebieen 1985, Jung & Mussallam 1991). Παρά τις ηλικιακές τους διαφορές ένα κοινό χαρακτηριστικό των εμφανίσεων αυτών είναι η σύνδεσή τους με μεγάλες, πλούσιες σε K, διεισδύσεις γρανιτικών πετρωμάτων.

Μικρότερων διαστάσεων οφιολιθικά τεμάχια έχουν εντοπιστεί σε διάφορα τμήματα της **Σερβομακεδονικής** ζώνης και της **Περιοδοπικής** ζώνης όπου βρίσκονται οι οφιολιθικές εμφανίσεις του **Έβρου** και της **Σαμοθράκης** (Tsikouras & Hatzipanagiotou 1998a,b, Magganas, 1991). Τέλος εντοπίζονται μικρές οφιολιθικές εμφανίσεις σε πολλά μικρά ελληνικά νησιά, στο κεντρικό και νότιο Αιγαίο, όπως για παράδειγμα στη **Λέσβο**, στη **Ρόδο**, στη **Κάρπαθο**, στη **Κρήτη** αλλά και την **Σκύρο**.

Οι δύο οφιολιθικές ζώνες παρουσιάζουν αρκετές διαφορές μεταξύ τους τόσο στην σύστασή τους όσο και στη δομή τους. Στους οφιόλιθους της δυτικής ζώνης επικρατούν κυρίως λερζόλιθοι, πλαγιοκλαστομιγείς χαρτσβουργίτες, γάββροι και ολιβινικοί θολεΐτες, επίσης υπάρχει η παρουσία των οφιολιθικών *mélange* (Naylor & Harle, 1976). Αντιθέτως στους οφιόλιθους της ανατολικής ζώνης κυριαρχούν χαρτσβουργίτες, δουνίτες, τροκτόλιθοι και τοναλίτες.

Όσον αφορά στην προέλευση των οφιολίθων του Ελληνικού χώρου δύο είναι οι κυριότερες θεωρίες που διατυπώθηκαν για την προέλευσή τους. Η πρώτη υπόθεση υποστηρίζει πως οι οφιόλιθοι των Ελληνίδων και Δειναρίδων προέρχονται από τον ωκεανό του Αξιού (Bernoulli & Laubsche 1972, Zimmerman 1972, Vergely 1976, 1977, Jacobshagen 1986) ο οποίος βρισκόταν ανατολικά της Πελαγονικής ζώνης και μεταφέρθηκαν στη θέση που βρίσκονται σήμερα λόγω της επίδρασης της πρώτης συμπιεστικής παραμορφωτικής φάσης του Άνω Ιουρασικού- Κάτω Κρητιδικού. Το κάλυμμα αυτό είναι γνωστό και ως “Ηωελληνικό” οφιολιθικό κάλυμμα (Πετρούνιας, 2013).

Η δεύτερη υπόθεση της οποίας πολλοί ερευνητές είναι υποστηρικτές, θεωρεί πως οι οφιολιθικές εμφανίσεις της Υποπελαγονικής ζώνης αντιπροσωπεύουν επωθημένα τμήματα του πυθμένα του ωκεανού της Πίνδου, ο οποίος κατά το Μεσοζωϊκό βρισκόταν στα δυτικά περιθώρια της Πελαγονικής. Βάση αυτού, ο ωκεανός της Πίνδου προήλθε από δημιουργία τάφρου στην κεντρική Ελλάδα κατά το τέλος του Παλαιοζωϊκού. Η φάση της συστολής διαδέχθηκε τη φάση της διαστολής με καταβύθιση που έκλινε προς τα δυτικά. Έτσι θεωρείται ότι οι οφιόλιθοι της Υποπελαγονικής δημιουργήθηκαν σε περιβάλλον με κέντρο διάνοιξης πάνω από καταβυθιζόμενη λιθόσφαιρα.

Εκτός από τις δύο υποθέσεις υπάρχει και μία τρίτη η οποία υποστηρίζει πως οι δύο οφιολιθικές λωρίδες αποτελούσαν στο παρελθόν μία ενιαία ζώνη που διαχωρίστηκε από ένα αριστερόστροφο οριζόντιο ρήγμα στο ανατολικό περιθώριο της Πελαγονικής ζώνης. Ένα τέτοιο μοντέλο όμως προϋποθέτει μία μετακίνηση των σκελών του ρήγματος κάτι που υπερβαίνει τους ρυθμούς που προκύπτουν από σύγχρονα παραδείγματα διαστροφικών ζωνών (Smith & Spray 1984).

Σήμερα, η θεωρία που τελικά έχει επικρατήσει, είναι ο σχηματισμός των ελληνικών οφιολίθων στο νότιο τμήμα της ωκεάνιας λεκάνης της Πίνδου. Η επέκταση του ωκεανού, η οποία έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια Άνω Τριαδικού-Κάτω Ιουρασικού, σε μεσοωκεάνιας ράχη αργού ρυθμού διάνοιξης (slow-spreading rifted ridge) ακολουθήθηκε από σύγκλιση και μετατροπή της μεσοωκεάνιας ράχης σε ζώνη καταβύθισης προς τα ΝΔ, με αποτέλεσμα το σχηματισμό οφιολίθων τύπου SSZ. Αυτό συνεχίστηκε μέχρις ότου η ωκεάνια λιθόσφαιρα στη ζώνη καταβύθισης συγκρούστηκε με την Πελαγονική μικροπλάκα, οπότε και τοποθετήθηκαν οι οφιολίθοι προς τα ΒΑ πάνω στην Πελαγονική, έως το Κάτω Κρητιδικό (Ρογκάλα, 2013).

1.4 Γεωτεκτονικές Ζώνες της Ελλάδος, οφιολίθοι και συνοδά ιζήματα στην Πελαγονική ζώνη

Οι Ελληνικές οροσειρές, που ανήκουν στον Δυναρικό κλάδο του Αλπικού συστήματος υποδιαιρούνται σε γεωτεκτονικές ζώνες οι οποίες συνηθίστηκε να λέγονται "Ελληνίδες Ζώνες".

Τα τεκτονικά σχήματα που είχαν προταθεί μέχρι το 1970 για την διαίρεση του Ελληνικού χώρου σε γεωτεκτονικές ζώνες στηρίχθηκαν σε μία υποθετική Αλπική παλιογεωγραφία μέσω του δυαδικού συστήματος αυλάκων-ράχων όπως διαμορφώθηκε στη θεωρία του Αλπικού γεωσύγκλινου από τον Aubouin (1965). Με βάση αυτό το σύστημα ο Ελληνικός χώρος διακρίθηκε σε ισοπικές ζώνες, η κάθε ζώνη έχει Αλπικά ιζήματα του ίδιου βάθους, δηλαδή βαθιάς θάλασσας.

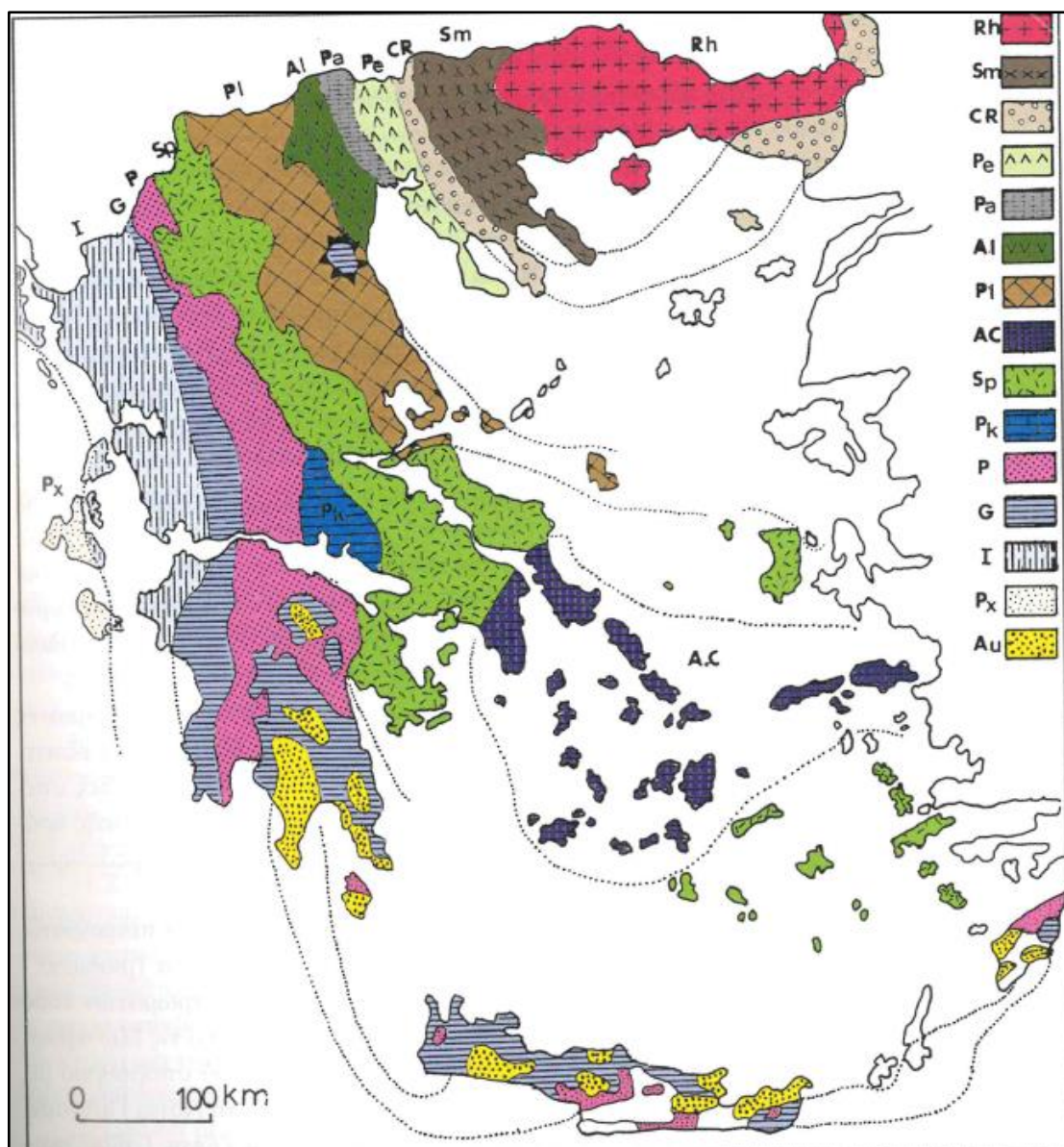
Με την ανάπτυξη της νέας Παγκόσμιας Τεκτονικής και τα μοντέλα που προτάθηκαν τις τελευταίες δεκαετίες για την γεωδυναμική εξέλιξη του Αλπικού συστήματος το θέμα της διαίρεσης σε γεωτεκτονικές ζώνες έχει πάρει άλλη διάσταση. Η διάκριση της μίας ζώνης από την άλλη στηρίζεται στον ιδιαίτερο ρόλο της κάθε μίας στο σύστημα γεωδυναμικής εξέλιξης και ο ρόλος αυτός μεταφράζεται ως ένα βαθμό σε κάποια συγκεκριμένη παλαιογεωγραφική θέση.

Έτσι σύμφωνα με τις σήμερα επικρατούσες απόψεις, κάθε γεωτεκτονική ζώνη συνίσταται από συγκεκριμένη στρωματογραφική διαδοχή των ιζημάτων της, από τους ιδιαίτερους λιθολογικούς χαρακτήρες της και από την ιδιαίτερη τεκτονική της

συμπεριφορά, στοιχεία που εξαρτώνται και από την παλαιογεωγραφική της θέσης αλλά κυρίως από την γεωτεκτονική της θέση, τις γεωδυναμικές κινήσεις και τις τεκτονικές παραμορφώσεις κάθε μίας.

Οι Ελληνικές γεωτεκτονικές ζώνες ,όπως διαμορφώθηκαν έως σήμερα ύστερα από τις παραπάνω σύγχρονες αντιλήψεις ,είναι από τα Ανατολικά στα Δυτικά οι εξής:

- 1) Η μάζα της Ροδόπης
- 2) Η Σερβομακεδονική μάζα (ή ζώνη)
- 3) Η Περιροδοπική ζώνη
- 4) Η Ζώνη Αξιού, όπου υποδιαιρείται στις υποζώνες : i) Παιονίας , ii) Πάικου και iii) Αλμωπίας
- 5) Η Πελαγονική ζώνη
- 6) Η Αττικό-Κυκλαδική ζώνη
- 7) Η Υποπελαγονική ζώνη ή ζώνη “Ανατολικής Ελλάδος”
- 8) Η ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας
- 9) Η ζώνη Ωλονού-Πίνδου
- 10) Η ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης
- 11) Η Αδριατικοϊόνιος ζώνη
- 12) Η ζώνη Παξών ή Προαπουλία



Εικόνα 20. Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων Ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοπική ζώνη, (Pe: Υποζώνη Παιονίας, Pa: Υποζώνη Πάικου, Al: Υποζώνη Αλμωπίας)= Ζώνη Αξίου, **Pl: Πελαγονική ζώνη**, Ac: Αττικό-κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκίωνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβρου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα "Πλακώδεις ασβεστόλιθοι-Ταλέα όρη" πιθανόν της Ιονίου ζώνης (Mountrakis et al., 1983).

Στην Πελαγονική ζώνη παρατηρούνται σημαντικές οφιολιθικές μάζες οι οποίες τοποθετούνται κυρίως στα δύο περιθώρια της ζώνης, ενώ μικρές εμφανίσεις βρίσκονται και στο εσωτερικό της.

Οι οφίολιθοι της Πελαγονικής ζώνης είναι αλλόχθονες και προέρχονται από τις δύο ωκεάνιες περιοχές των ζωνών Αξίου και Υποπελαγονικής που βρίσκονταν εκατέρωθεν της Πελαγονικής. Από τις δύο ωκεάνιες περιοχές οι οφίολιθοι, μαζί με τα συνοδεύοντα

αυτούς ιζήματα βαθιάς θάλασσας, επωθήθηκαν πάνω στα Τριαδικοϊουρασικά ανθρακικά καλύμματα των δύο Πελαγονικών περιθωρίων.

Υπολείμματα των επωθημένων αυτών μαζών αποτελούν και οι δύο μεγάλες περιοχές οφιολίθων και ιζημάτων βαθιάς θάλασσας, οι οποίες έχουν ονομαστεί δίαυλοι της Κοζάνης και της Εύβοιας. Στην πραγματικότητα είναι τμήματα των διπλανών ζωνών που επωθήθηκαν πάνω στην Πελαγονική.

Ο λεγόμενος “δίαυλος της Κοζάνης καταλαμβάνεται από την μεγάλη οφιολιθική μάζα του βουνού Βούρινος που βρίσκεται τεκτονικά τοποθετημένη στο δυτικό Πελαγονικό περιθώριο. Στο δυτικό περιθώριο βρίσκεται επίσης και η οφιολιθική μάζα της Καστοριάς με προέλευση επίσης από την Υποπελαγονική ζώνη. Στο Ανατολικό περιθώριο της Πελαγονικής βρίσκονται τεκτονικά τοποθετημένοι πάνω στο Τριαδικοϊουρασικό ανθρακικό κάλυμμα οι οφιολιθικές μάζες της Άρνισσας-Βεγορίτιδας και του Βέρμιου με προέλευση τη ζώνη του Αξιού (Αλμωπία).

Οι παραπάνω οφιολιθικές μάζες (ιδίως η μεγάλη εμφάνιση του Βουρινού) περιλαμβάνουν όλα τα πετρώματα της οφιολιθικής ακολουθίας, δηλαδή από σερπεντινιωμένους δουνίτες, χατσβουργίτες και άλλα υπερβασικά ηφαιστειακά και τόφφους. Τα συνοδά ιζήματα είναι ραδιολαριτικοί κερατόλιθοι, αργιλικοί σχιστόλιθοι, ασβεστιτικοί πυριτιόλιθοι, πελαγικοί ασβεστόλιθοι και κλαστικά ιζήματα με υλικά που προέρχονται από βασικά μαγματικά πετρώματα (Μουντράκης, 2010).

1.5 Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής μελέτης

Στην ευρύτερη περιοχή της πόλης των Θηβών (όπου βρίσκεται και το Μεσαιωνικό τείχος), απαντώνται γεωλογικοί σχηματισμοί Νεογενούς και Τεταρτογενούς Γεωλογικής ηλικίας. Οι σχηματισμοί αυτοί, γνωστοί και ως μετά-αλπικοί σχηματισμοί, είναι μεταγενέστεροι και ανεξάρτητοι από το κύριο Αλπικό ορογενετικό σύστημα. Τα Νεογενή ιζήματα στην περιοχή μελέτης αποτελούνται κυρίως από λιμναίες, ποτάμιες και ποταμό-χερσαίες αποθέσεις και η απόθεσή τους ξεκινά το Ανώτερο Μειόκαινο (Μέττος, 1992).

Η λεκάνη της Θήβας (Εικόνα 6), τοποθετείται μεταξύ των δυο κύριων τεκτονικών βυθισμάτων της κεντρικής Ελλάδος, του Κορινθιακού κόλπου και του Ευβοϊκού. Η λεκάνη περιέχει δυο κύρια υψώματα, την οροσειρά Κορομπιλίου- Καπαρελίου στα δυτικά και την οροσειρά Τευμησσού – Κηρύκειου στα ανατολικά. Οι σχηματισμοί που προϋπήρχαν του βυθίσματος της λεκάνης, είναι προ-αλπικοί (σχιστόλιθοι, ψαμμίτες, γραουβάκες, κροκαλοπαγή και βασικά ηφαιστειακά πετρώματα ηλικίας Ανωτέρου Παλαιοζωϊκού) και Αλπικοί σχηματισμοί (ασβεστόλιθοι και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι Μέσης και Άνω Τριαδικής ηλικίας), οι οποίοι ανήκουν στην Υποπελαγονική ζώνη των Εσωτερικών Ελληνίδων, ενώ μετά το σχηματισμό της λεκάνης, έχουμε απόθεση ιζημάτων Πλειοκαινικής ηλικίας (μάργες, αργίλους, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή), Πλειστοκαινικής ηλικίας (κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, άμμοι) και Ολοκαινικά ποτάμια ιζήματα (Tsodoulios, 2008).

Ο Δούνας (1971) χωρίζει τις Νεογενείς αποθέσεις της περιοχής των Θηβών σε δύο συστήματα το Κατώτερο και το Ανώτερο αντίστοιχα. Το Κατώτερο σύστημα, θεωρεί ότι αποτελείται από στρώματα κροκαλοπαγών, ψαμμιτών, μαργών και αργίλων τα οποία εναλλάσσονται τυχαία μεταξύ τους. Η βάση του συστήματος αυτού ταυτίζεται συνήθως με την παρουσία ενός κροκαλοπαγούς βάσεως (περιοχή Πλαταιών), με την πλειοψηφία των κροκάλων να είναι ασβεστολιθικής κυρίως σύστασης, το οποίο μεταβαίνει προς τα επάνω σε στρώματα μαργών, αργίλων, ψαμμιτών και κροκαλοπαγών που εναλλάσσονται μεταξύ τους. Αρκετά συχνά οι ενστρώσεις των κροκαλοπαγών αποτελούνται από οφιολιθικής κυρίως σύστασης κροκάλες. Το Ανώτερο σύστημα, περιλαμβάνει χερσαίας προέλευσης αποθέσεις οι οποίες αποτελούνται από ερυθρού

και καστανού χρώματος πηλούς και αργίλους, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται ενστρώσεις ψαμμιτών και κροκαλοπαγών. Ανάμεσα στους αργιλικούς σχηματισμούς είναι αρκετά συχνή η παρουσία μαργαϊκών στρωμάτων πάχους ~1 m. Οι σχηματισμοί αυτοί μεταβαίνουν προς τα στρωματογραφικά ανώτερα τμήματα του σχηματισμού σε αποθέσεις κροκαλοπαγών σημαντικού πάχους. Οι σχηματισμοί, που αποτελούν το Ανώτερο σύστημα κατά το Δούνα (1971), είναι αντίστοιχοι με τους σχηματισμούς που αποτελούν το κροκαλοπαγές των Θηβών και περιεγράφηκαν από τον Μέττο (1992). Το συνολικό πάχος και των δύο συστημάτων υπερβαίνει τα 400 m.

Τα βαθύτερα μέλη της γεωλογικής αυτής λεκάνης, είναι κυρίως λιμναία ιζήματα που αποτελούνται από μάργες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και τραβερτίνες. Τα ανώτερα τμήματα αποτελούνται κυρίως από κροκαλοπαγή, συνεκτικά και μη, και ψαμμίτες. Χαρακτηριστικό των σχηματισμών αυτών είναι οι συχνές πλευρικές μεταβάσεις που δυσχεραίνουν τον σαφή διαχωρισμό και ταξινόμηση τους. Πιο αναλυτικά ξεκινώντας την περιγραφή των Νεογενών αποθέσεων από το ανατολικό τμήμα της περιοχής διακρίνονται οι σχηματισμοί Σχηματαρίου και **Θηβών-Ερυθρών**.

Εξαιρετικά σημαντικό ως προς το βαθμό επίδρασης στη δημιουργία και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των σχηματισμών που αποτελούν τη Λεκάνη των Θηβών, είναι το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής. Η περιοχή μελέτης αποτελείται από πέντε κύριες λεκάνες απορροής και έναν υδρολογικό τομέα. Οι λεκάνες απορροής ονομάζονται με βάση το κύριο ποταμό που τις διατρέχει και είναι από δυτικά προς τα ανατολικά: η λεκάνη απορροής Λιβαδόστρα, η λεκάνη απορροής Άσκη, η λεκάνη απορροής Βαθυρέματος, η λεκάνη απορροής Καλαμίτη-Καναβάρι και η λεκάνη απορροής Ασωπού. Η μεγαλύτερη σε έκταση λεκάνη απορροής είναι αυτή του ποταμού Ασωπού (711 km²), που μαζί με εκείνη του Καλαμίτη-Καναβάρι (233 km² σε έκταση), φιλοξενούν τους σχηματισμούς που συναντώνται στην πόλη της Θήβας, αλλά και στις πλησίον σε εκείνη περιοχές. Η λεκάνη απορροής του ποταμού Καλαμίτη βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης και αποστραγγίζει ένα μέρος από το βόρειο τμήμα της Λεκάνης των Θηβών. Η λεκάνη απορροής του ποταμού Ασωπού καλύπτει κεντρικό, νότιο και νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης και αποστραγγίζει αντίστοιχα το κεντρικό, νότιο και νοτιοανατολικό τμήμα της Λεκάνης των Θηβών (Τσόδουλος, 2009).

Οι σχηματισμοί της περιοχής **Θηβών-Ερυθρών**, αναπτύσσονται κυρίως στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της Λεκάνης, που αντιστοιχεί γεωγραφικά στην περιοχή που περικλείεται από την πόλη των **Θηβών** και τις κοινότητες Ερυθρών, Πλαταιών, Καπαρελλίου και Λεονταρίου. Η περιγραφή των κύριων στρωματογραφικών ενοτήτων, από τα κατώτερα προς τα ανώτερα μέλη, είναι η ακόλουθη (Μέττος, 1992).

- Συνεκτικά κροκαλοπαγή αποτελούν τα βαθύτερα μέλη των αποθέσεων αυτών, τα οποία μεταβαίνουν προς τα επάνω σε λεπτότερες στρώσεις από εναλλαγές αργιλούχων άμμων, αργίλων και πηλών μέσα στους οποίους απαντούν αραιές στρώσεις από μη συνεκτικά και συνεκτικά κροκαλοπαγή.
- Συνεκτικά κροκαλοπαγή τα οποία εναλλάσσονται με ψαμμίτες. Οι αποθέσεις αυτές έχουν ένα χαρακτηριστικό καστανό χρώμα.
- Εναλλαγές από αργίλους, αμμούχων πηλών και πηλών. Εντός των λεπτομερών αυτών υλικών απαντούν αραιές ενστρώσεις μη συνεκτικών κροκαλοπαγών και άμμων. Το χρώμα που χαρακτηρίζει τις αποθέσεις αυτές είναι σκούρο γκρι.
- Εναλλαγές πηλών και αργίλων εντός των οποίων απαντούν αραιές ενστρώσεις από κροκάλες και άμμους. Τα παραπάνω μεταβαίνουν προς τα πάνω σε αποθέσεις αργίλων και μη συνεκτικών κροκαλοπαγών.

Η σύσταση των κροκαλοπαγών, που περιγράφηκαν στις παραπάνω αποθέσεις, είναι πολύμεικτη με το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής να έχουν οι ασβεστολιθικής σύστασης κροκάλες, ενώ μικρότερο ποσοστό καταλαμβάνουν οι οφιολιθικής και κερατολιθικής σύστασης κροκάλες.

Ειδικότερα όσο αφορά τα **κροκαλοπαγή των Θηβών**, πρόκειται για ποτάμιες αποθέσεις μεγάλου πάχους που αναγνωρίζονται κοντά στην πόλη των Θηβών. Εμφανίζουν μεγάλη πλευρική εξάπλωση και αποτελούνται κυρίως από κροκαλοπαγή τα οποία εναλλάσσονται με κόκκινου έως καστανού χρώματος αργίλους και άμμους. Τα κροκαλοπαγή αποτελούνται από οφιολιθικής ή ασβεστολιθικής σύστασης κροκάλες, ανάλογα με την περιοχή που έχουν αποθεθεί. Στο τμήμα κοντά στην πόλη των Θηβών επικρατούν οι οφιολιθικής σύστασης κροκάλες, ενώ νοτιοδυτικά επικρατούν οι ασβεστολιθικής σύστασης (Μέττος, 1992). Σύμφωνα με τον

Χριστοδούλου (1969) οι σχηματισμοί αυτοί βρίσκονται σε ασυμφωνία με τα Νεογενή ιζήματα της περιοχής. Ο Μέττος (1992), θεωρεί ότι η απόθεση των σχηματισμών αυτών είναι σε συμφωνία πάνω στα παλαιότερα ιζήματα της περιοχής, αποτελούν δηλαδή τα νεότερα μέλη των Νεογενών αποθέσεων, και ότι η απόθεση τους άρχισε στο Κατώτερο Πλειόκαινο.



Εικόνα 21. Ι.Γ.Μ.Ε Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος - Φύλλο ΘΗΒΑΙ.

Μεγάλο μέρος των ανωτέρω στοιχείων που αφορούν τους σχηματισμούς που συναντώνται στην πόλη της Θήβας αλλά και στην ευρύτερη περιοχή που οριοθετεί την Λεκάνη των Θηβών, περιλαμβάνονται στο Γεωλογικό χάρτη της περιοχής (Εικόνα 5). Πιο συγκεκριμένα, οι πιο χαρακτηριστικοί από αυτούς είναι οι ακόλουθοι:

- **Qdlc.** Χειμαρρώδεις ποτάμιες αποθέσεις του Διλουβίου, που περιλαμβάνουν κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, άμμους και ερυθρούς πηλούς, που εμφανίζουν ποικίλους βαθμούς συνεκτικότητας. Η τροφοδοσία των σχηματισμών αυτών προέρχεται από ανθρακικά πετρώματα, τη σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση που βρίσκεται βορειοανατολικά της πόλης των Θηβών και άλλους σχηματισμούς.
- **Pli.** Νεογενείς σχηματισμοί κατώτερης Πλειοκαινικής ηλικίας που περιλαμβάνουν μάργες, αργίλους, ψαμμίτες, άμμους και κροκαλοπαγή. Οι σχηματισμοί αυτοί γειτνιάζουν με τη πόλη της Θήβας προς Ανατολάς.
- **Ts-Ji & T.** Δύο σχηματισμοί Τριαδικής ηλικίας, ανατολικότερα και νοτιοανατολικά του σχηματισμού Pli, αντίστοιχα. Στην πρώτη περίπτωση (Ts-Ji), απαντώνται μελανόφαιοι μεσο-στρωματώδεις ασβεστόλιθοι και ακολουθούν στα κατώτερα στρώματα λευκότεφροι μικροκρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, ανοιχτόχρωμοι ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες με Κοράλλια. Νοτιοανατολικότερα, απαντώνται ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες, συνήθως ανοιχτόχρωες, ενίοτε σκοτεινόχρωες, μικροκρυσταλλικοί και μέσο έως παχυστρωματώδεις.
- **Ts-I9.** Δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες του Ανωτέρου Τριαδικού. Συνεχίζουν με λευκότεφρους μικροκρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, που υπόκεινται συμφώνως του ορίζοντος δ.
- **I6-11?.** Σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση: σύμπλεγμα κερατολίθων – οφιολίθων, μετά σχιστόλιθων, ασβεστολιθικών ενστρώσεων ή φακών κ.α. Ως επί το πλείστον σερπεντινιωμένοι οφιοίλιθοι. Οι κερατόλιθοι αναπτύσσονται καλώς μόνο σε ορισμένες θέσεις, ενώ στους ασβεστολιθικούς φακούς ή ενστρώσεις παρατηρούνται βολβοί, ψηφίδες ή στρωματίδια κερατολίθων.

2. Μεσαιωνικό Τείχος Θήβας και μορφολογία ιστοριών τοιχοποιιών

2.1 Γενικά

Η γεωγραφική θέση της Θήβας υπήρξε ανέκαθεν στρατηγικής σημασίας, καθώς βρίσκεται σε σταυροδρόμι χερσαίων και θαλάσσιων επικοινωνιών. Η αρχαία Θήβα ήταν μια από τις πιο σημαντικές και πιο ισχυρές αρχαίες ελληνικές πόλεις που κυριαρχούσε στον ελλαδικό χώρο για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα κατά τον 4^ο αιώνα π.Χ. Η επικράτεια της αρχαίας Θήβας περιλάμβανε την πεδιάδα της Θήβας και τις περιοχές ανατολικότερα, τις περιοχές γύρω από την λίμνη Υλίκη έως και τις ακτές του Βόρειου Ευβοϊκού κόλπου.



Εικόνα 22. Απεικόνιση της Αρχαίας πόλης της Θήβας.

Η ακρόπολη της αρχαίας Θήβας ονομαζόταν Καδμεία και ήταν χτισμένη πάνω σε επτά λόφους. Την αρχαία πόλη Καδμεία την περιέβαλε ένα τείχος οχύρωσης, στο οποίο υπήρχαν επτά πύλες, οι Ηλέκτρες, οι Ομολοΐδες, οι Προιτίδες, οι Ωγύγιες ή Βοραίες, οι Νήιστες, οι Ύψιστες και οι Ογκαίες.

Πέρα από την μεγαλειώδη ιστορία της Θήβας κατά την κλασική αρχαιότητα, η πόλη συνέχισε να υπάρχει και κατά την ρωμαϊκή και την Βυζαντινή περίοδο. Στα τέλη του 6^{ου} αιώνα έως και τις αρχές του 8^{ου} η πόλη πέρασε μια σκοτεινή περίοδο ύστερα όμως η Θήβα αναπτύχθηκε και μέσα στους επόμενους αιώνες αναδείχθηκε μια από τις σημαντικότερες μεσαιωνικές πόλεις στον Ελλαδικό χώρο.

Η Θήβα κατά τους Μεσοβυζαντινούς χρόνους γνώρισε μεγάλη οικονομική άνθηση. Επιβίωσε από δύο μεγάλες λεηλασίες (το 1040 λεηλατείται από τους Βουλγάρους και το 1147 από τους Νορμανδούς της Σικελίας), από τις οποίες όμως υπέστη μεγάλες υλικές καταστροφές. Ανάμεσα στα 1230 και 1240 η πόλη περιήλθε στη φλαμανδική οικογένεια των Σεντ Ομέρ. Ένας από αυτούς ο Νικόλαος Β΄, έχτισε περίπου το 1287 στην Καδμεία ισχυρό φρούριο, τμήμα του οποίου αποτελεί ο γνωστός ως Πύργος του Σανταμέρη, που βρίσκεται στο χώρο του Αρχαιολογικού Μουσείου. Το παλάτι του, μεγάλο και πλούσια διακοσμημένο με τοιχογραφίες που παρίσταναν την κατάληψη των Αγίων Τόπων από τους σταυροφόρους, καταστράφηκε αργότερα το 1331 από τους Καταλανούς, όταν κατέλαβαν τη Θήβα. Τα κατάλοιπά του αναγνωρίζονται σήμερα, χάρη στο μέγεθος και στη θέση του στο κέντρο της Θήβας, στο χώρο ακριβώς του μυκηναϊκού ανακτόρου (Κοιλάκου, 2011). Στην πόλη της Θήβας εκτός από τον πύργο του Σαιν Ομέρ, πλέον δεν είναι ορατά πολλά σημεία από την μεσαιωνική οχύρωση. Θεωρείται πως καταστράφηκαν αρχικά από την λεηλασία των Νορμανδών το 1146 και οριστικά από τους Καταλανούς το 1331. Εάν και δυσδιάκριτα, σώζονται μερικά τμήματα των μεσαιωνικών τειχών τόσο στην περιοχή της ακρόπολης (Δέδες, 2020), όσο και στην περίμετρο του υπερυψωμένου κεντρικού τμήματος της σημερινής πόλης της Θήβας (Εικόνα 2).

Η τοιχοποιία του Μεσαιωνικού τείχους της Θήβας χαρακτηρίζεται από την παρουσία ημίξεστων λίθων (αρκετά μεγάλων διαστάσεων σε πολλά σημεία της λιθοδομής), οι περισσότεροι από τους οποίους είναι ορθογώνιοι. Το συνδετικό κονίαμα που είχε χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του τείχους, σε πολλά σημεία απουσιάζει (ύπαρξη κενών στους αρμούς της τοιχοποιίας του μνημείου) και στα σημεία αυτά παρατηρείται η τοποθέτηση (πιθανότερα σε μεταγενέστερους χρόνους της αρχικής κατασκευής) οπτόπλινθων ή μικρότερων τεμαχίων από τους λίθους για την κάλυψη των κενών.

2.2 Ανασκόπηση για τις ιστορικές τοιχοποιίες

Υποστηρίζεται από πολλούς πως η ιστορία του ανθρώπου είναι και η ιστορία της αρχιτεκτονικής, η οποία συμβαδίζει με την ιστορία της τοιχοποιίας. Η τοιχοποιία είναι η τέχνη της κατασκευής με πέτρα, πηλό, τούβλο ή τσιμεντόλιθο.

Οι πρώτες μορφές της τοιχοποιίας (1500 π.Χ.) αποτελούνταν από πλέγμα κλαδιών και από λεπτούς κορμούς δέντρων τα κενά των οποίων γεμίζονταν με λάσπη, σε πιο εξελιγμένη μορφή οι τοιχοποιίες αυτές υπήρχαν και ως τις αρχές του 20^{ου} αιώνα και χρησίμευαν ως εσωτερικοί τοίχοι οι οποίοι ονομάζονταν τσατμάδες (ή μπαγδατί).

Οι πρώτοι χτιστοί τοίχοι (1000 π.Χ.), ήταν πέτρινοι χωρίς όμως να επιδεικνύουν κάποια ιδιαίτερη τεχνική στην επεξεργασία και την δόμηση της πέτρας. Πρέπει να σημειωθεί πως σε μνημεία ανεπτυγμένων πολιτισμών (3000 π.Χ.), όπως η Αρχαία Ελλάδα και Αίγυπτος, συναντώνται λιθοδομές με έντεχνο και απόλυτα ακριβείς αρμολόγημα χωρίς να απαιτείται κάποιο είδος κονιάματος (όπως λάσπη) στους αρμούς.

Η επιλογή των υλικών τοιχοποιίας επηρεαζόταν από τους επικρατούντες γεωλογικούς σχηματισμούς και συνθήκες σε μια δεδομένη περιοχή. Οι Αιγυπτιακοί ναοί, για παράδειγμα, κατασκευάστηκαν από ασβεστόλιθο, ψαμμίτη, αλάβαστρο, γρανίτη και βασάλτη από λατομεία στους λόφους κατά μήκος του ποταμού Νείλου. Ένα άλλο αρχαίο κέντρο πολιτισμού, η περιοχή της Δυτικής Ασίας μεταξύ του Τίγρη και του Ευφράτη, δεν είχε πέτρες, αλλά ήταν πλούσια σε αποθέσεις αργίλου. Ως αποτέλεσμα, οι δομές τοιχοποιίας των Ασσυρίων και των περσικών αυτοκρατοριών να κατασκευαστούν από αποξηραμένα στον ήλιο τούβλα (Πολυχρονίου, 2011).

Η δυσκολία εύρεσης και εξόρυξης της πέτρας είχε ως αποτέλεσμα την ανακάλυψη των πρώτων πλίνθων. Η άργιλος ήταν ιδανικό υλικό καθώς η επεξεργασία της είναι πολύ εύκολη. Η πλίνθος είναι το αρχαιότερο δομικό στοιχείο που κατασκευάστηκε πριν 10.000 χρόνια. Σε ανασκαφές που έγιναν στην Αρχαία Ιερική βρέθηκαν πλίνθοι που έμοιαζαν σε σχήμα και μέγεθος με μακρόστενο ψωμί. Τα τούβλα αυτά πλάθονταν με το χέρι και ξεραίνονταν στον ήλιο.

Αρχικά οι πλίνθοι ήταν χειροποίητοι και προέρχονταν από άψητη άργιλο. Με την πάροδο των χρόνων (4000 π.Χ.) οι πλίνθοι άρχισαν να επιδέχονται επεξεργασία. Η

αντοχή, η σκληρότητα και η απλότητα στην κατασκευή οδήγησαν στην εκτεταμένη χρήση τους στην κατασκευή κατοικιών. Γύρω στο 3000 π.Χ. άρχισαν να χρησιμοποιούνται φούρνοι για την ξήρανση των τούβλων αυτών. Η δημιουργία πλίνθων με τη χρήση της τεχνικής του ψησίματος της αργίλου χρησιμοποιήθηκε συστηματικά και κατέληξε την εποχή των Ρωμαίων σε κατασκευές όπως το Κολοσσαίο.) Από την εποχή εκείνη ξεκίνησε και η τυποποίηση των διαστάσεων με πολύ απλά καλούπια, τα οποία ήταν σαν κουτιά χωρίς πυθμένα, τα οποία τοποθετούνταν σε μια οριζόντια επιφάνεια, γεμίζονταν με πηλό αναμειγμένο με άχυρα και μικρά κλαδιά, και αφού ξεραινότουσαν από την ήλιο αποτελούσαν τους ωμόπλινθους. Τα πρώτα ευρήματα προέρχονται από την Μεσοποταμία, την Αίγυπτο την Μικρά Ασία και την Ελλάδα.

Μια σημαντική εξέλιξη στην κατασκευή τοιχοποιίας στην αρχαιότητα ήταν η εφεύρεση του σκυροδέματος από τους Ρωμαίους, οι οποίοι αναγνώρισαν την αξία του τσιμέντου, το οποίο έφτιαχναν από ποζολανικούς τόφφους, μια ηφαιστειακή τέφρα την οποία αναμείγνυαν με νερό, ασβέστη και θραύσματα από λίθους. Το τσιμέντο εξελίχθηκε σε σκυρόδεμα. Οι τοίχοι αυτού του σκυροδέματος, με διάφορα υλικά από πέτρα ή πηλό, ήταν πιο οικονομικοί και μπορούσαν να ανεγερθούν πιο γρήγορα από τους τοίχους από πέτρινα μπλοκ.

Κατά την Βυζαντινή περίοδο αναπτύχθηκε η τεχνική της τοιχοποιίας με κονίαμα τον πηλό, από χώμα και άμμο, και κονία την άσβεστο. Στην Ρωμαϊκή και τη Βυζαντινή περίοδο τα τούβλα διακρίνονται για την υψηλού βαθμού προτυποποίησή τους στην αντοχή, την σταθερότητα στις διαστάσεις και στις φυσικές τους ιδιότητες, κυρίως όμως για την αντοχή τους.

Η τεχνικές της τοιχοποιίας εξελίσσονται κατά τα επόμενα χρόνια μέχρι την Αναγέννηση κατά την οποία υπήρξε μία χαρακτηριστική στασιμότητα. Κατά το 1920 στην Ινδία ξεκίνησε μια συστηματική έρευνα σχετικά με τις ιδιότητες της οπλισμένης τοιχοποιίας, τα αποτελέσματα της οποίας εμπλούτισαν τις έως τότε γνώσεις για την στατική συμπεριφορά της τοιχοποιίας. Λίγα χρόνια αργότερα, το 1940, στην Ευρώπη από μελέτες για της φέρουσας τοιχοποιίας, καθιερώθηκε η εφαρμογή οικονομικών ορθολογικών υπολογισμών για κατασκευές από τοιχοποιίες.

Κατά την τελευταία εικοσαετία η ανάπτυξη της έρευνας για την τοιχοποιία ήταν πολύ σημαντική, κυρίως στις Η.Π.Α. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη σύγχρονων προτύπων και κανόνων. Στην Ευρώπη από το 1989 ισχύει το νομοθετικό πλαίσιο του Ευρωκώδικα 6 (EC6), το οποίο καθορίζει τις αρχές υπολογισμού των τοιχοποιιών ως δομικών στοιχείων, όχι μόνο πλήρωσης, αλλά και του φέροντα οργανισμού των κτιρίων. (Μπαβέλας & Μπούζουκου, 2005).

2.3 Κατηγορίες τοιχοποιιών

Η κατάταξη των τοιχοποιιών βασίζεται σε διάφορα κριτήρια όπως το υλικό δόμησής τους, τον σκοπό τους, τον τρόπο δόμησής τους, την θέση τους κ.α. Οι κυριότερες κατηγορίες είναι οι εξής (Κορομπίλιας, 2015):

❖ Ανάλογα με το υλικό δόμησης:

• Λιθοδομές :

- Ξηρολιθοδομές (ή ξηρολιθιές), που αποτελούνται από ακατέργαστους φυσικούς λίθους, χωρίς τη χρήση συνδετικού κονιάματος.
- Αργολιξηρολιθοδομές, που αποτελούνται από τελείως ακατέργαστους ή ελαφρά κατεργασμένους φυσικούς λίθους, χωρίς τη χρήση συνδετικού κονιάματος.
- Ημιλαξευτές ξηρολιθοδομές, που κατασκευάζονται με φυσικούς λίθους που έχουν υποστεί επεξεργασία στις έδρες και το πρόσωπο, ώστε να έχουν κανονικό σχήμα και διαστάσεις, χωρίς τη χρήση συνδετικού κονιάματος.
- Ημιλαξευτή λιθοδομή, όπου οι λίθοι είναι ημίξεστοι (ημιλαξευτοί) και απαιτείται συνδετικό κονίαμα για τη δόμησή τους.
- Λαξευτές ξηρολιθοδομές, που κατασκευάζονται από πλήρως κατεργασμένους φυσικούς λίθους.
- Αργολιθοδομές, που αποτελούνται από ακατέργαστους λίθους, με τη χρήση συνδετικού κονιάματος.

- **Πλινθοδομές:**

- Ωμοπλινθοδομές, αν το υλικό είναι ωμόπλινθοι, δηλαδή άψητες χωματόπλιθες.
- Οπτοπλινθοδομές, όταν αποτελούνται από ψημένες (οπτές) πλίνθους.
- Συμπαγείς , με ή χωρίς σκάφη
- Διάτρητες , με κατακόρυφες οπές ή διάκενα
- Διάτρητες , με οριζόντιες οπές ή διάκενα
- Τσιμεντοπλινθοδομές – Γυψοπλινθοδομές, όταν τα λιθοσώματα είναι τσιμεντόλιθοι (τσιμεντόπλιθες) ή πλίθες από γύψο, αντίστοιχα.
- Μικτές τοιχοποιίες, που αποτελούνται από λιθοσώματα με διαφορετικές ιδιότητες:
 - Λιθοπλινθοδομές
 - Ξυλόπηκτες τοιχοποιίες
 - Σύνθετες τοιχοποιίες

❖ **Ανάλογα με τη θέση τους στο κτίριο:**

- Τοιχοποιίες εξωτερικές.
- Τοιχοποιίες εσωτερικές (διαχωριστικές)

Τέλος, σύμφωνα με την λειτουργία τους στο δόμημα, διακρίνονται σε:

- Φέρουσες, μεταφέρουν κατακόρυφα και οριζόντια φορτία στο έδαφος.
- Πλήρωσης, δεν είναι υπολογισμένες να μεταφέρουν και κατασκευάζονται μετά την ολοκλήρωση του φέροντα οργανισμού.
- Αντιστήριξης, συγκρατούν γαιώδη πρηνή.
- Επένδυσης, είναι εκείνες για διακοσμητικό σκοπό.

2.4 Κονίες & Κονιάματα

2.4.1 Κονίες

Κονία ή συνδετική ύλη καλείται κάθε υλικό που με κατάλληλη προεργασία μπορεί να γίνει πλαστικό, να παρουσιάσει συγκολλητικές ιδιότητες και να στερεοποιηθεί σταδιακά, ώσπου να σχηματιστεί μια σκληρή και συμπαγής μάζα. Η πήξη της κονίας, που συνίσταται στη μεταβολή του ιξώδους της και στη μετάπτωση από μια ημίρρευστη κατάσταση σε κατάσταση αναλλοίωτου σχήματος, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των

μηχανικών αντοχών, η οποία ολοκληρώνεται με την πάροδο του χρόνου και την επίδραση διαφόρων φυσικοχημικών φαινομένων. Οι κονίες δεν συνδέονται μόνο μεταξύ τους αλλά και με κόκκους άλλων υλικών, τα οποία δεν συμμετέχουν στην διεργασία της συγκόλλησης, γι' αυτό και ονομάζονται αδρανή υλικά. Οι κονίες ανάλογα με την προέλευσή τους διακρίνονται σε :

- ❖ Φυσικές κονίες: οι οποίες βρίσκονται ελεύθερες στη φύση και μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς κάποια επεξεργασία (πηλοκονίες και ποζολάνες).
- ❖ Τεχνητές κονίες: οι οποίες παρασκευάζονται με κατάλληλες χημικές και φυσικές διεργασίες. Τέτοιου είδους κονίες είναι η άσβεστος, η υδράσβεστος, το τσιμέντο κ.α.

Ένας άλλος τρόπος κατηγοριοποίησης των κονιών είναι με βάση τον τρόπο σκλήρυνσής τους σε :

- ❖ Αερικές κονίες: οι οποίες υφίστανται πήξη και σκλήρυνση με την παρουσία του ατμοσφαιρικού αέρα. Τέτοιες κονίες είναι οι πηλοί, η άσβεστος, η γύψος, η μαγνησιακή κονία κ.α.
- ❖ Υδραυλικές κονίες: οι οποίες υφίστανται πήξη και σκλήρυνση μόνο με την παρουσία υγρού μέσου (νερού). Τέτοιες κονίες είναι η υδραυλική άσβεστος, η ρωμαϊκή κονία, το φυσικό τσιμέντο, η τεχνητή κονία Portland, τα ποζολανικά τσιμέντα , η θηραϊκή γη κ.α.

2.4.2 Κονιάματα

Κονιάματα είναι μείγματα ενός ή περισσότερων συνδετικών υλικών (πηλός, γύψος, άσβεστος τσιμέντο κλπ.), λεπτόκοκκων ανόργανων υλικών πλήρωσης (φυσικά ή τεχνητά αδρανή με μέγεθος μικρότερο των 4mm), νερού και κάποιες φορές ειδικών προσθέτων. Η βασική ιδιότητά τους είναι η σκλήρυνσή τους με τον χρόνο, ενώ κατά την διάρκεια της δόμησής τους έχουν ρευστή μορφή. Οι ιδιότητες του νωπού και του σκληρυμένου κονιάματος εξαρτώνται από το είδος και τις αναλογίες των πρώτων υλών κατασκευής τους αλλά και από τον τρόπο ανάμιξης και μορφοποίησής τους ,όπως επίσης και από τις συνθήκες που επικρατούν κατά την διάρκεια της σκλήρυνσης.

Τα κονιάματα μπορούν να ταξινομηθούν κατά διάφορους τρόπους , όπως:

❖ Ανάλογα με τον τρόπο πήξης και σκλήρυνσης, αλλά και με την χρησιμοποιούμενη κονία σε :

- Αερικά κονιάματα
- Υδραυλικά κονιάματα
- Οργανικά κονιάματα
- Ειδικά κονιάματα

❖ Ανάλογα με το φαινόμενο βάρος τους σε:

- Ελαφριά ($<1500 \text{ Kg/m}^3$)
- Βαριά ($>1500 \text{ Kg/m}^3$)

❖ Ανάλογα με την μηχανική τους αντοχή:

- Χαμηλής αντοχής, όπως πηλοκονιάματα, ασβεστοκονιάματα χωρίς κάποια απαίτηση αντοχής.
- Μέσης αντοχής, δηλαδή κονιάματα με αντοχή περίπου 25 Kg/cm^2 , όπως ασβεστοτσιμεντοκονιάματα.
- Υψηλής αντοχής, δηλαδή κονιάματα με αντοχή περίπου 100 Kg/cm^2 , όπως τσιμεντοκονιάματα, οργανικό κονίαμα κ.λπ..

❖ Ανάλογα με το είδος της κονίας ή των αδρανών σε :

- Τσιμεντοκονιάματα (συνθετική ύλη το τσιμέντο)
- Ασβεστοκονιάματα (συνθετική ύλη τον πολτό της ασβέστου ή την κονιοποιημένη υδράσβεστο)
- Ποζολανικά κονιάματα (συνδετική ύλη άσβεστο και ποζολάνη)
- Μαρμαροκονιάματα, με κύριο αδρανές την μαρμαρόσκονη αντί της άμμου (συνδετική ύλη ασβέστη ή τσιμέντο)
- Γυψοκονιάματα (συνδετικό υλικό η γύψος)

❖ Ανάλογα με την χρήση τους χωρίζονται σε :

- Κονιάματα δόμησης
- Κονιάματα τοιχοποιίας
- Κονιάματα επιχρισμάτων
- Ισοπεδωτικά ή κονιάματα εξίσωσης δαπέδων

- Επισκευαστικά κονιάματα

Βασικοί παράγοντες της ποιότητας του κονιάματος είναι η κοκκομετρική διαβάθμιση της άμμου (ώστε να επιτυγχάνεται ο μικρότερος όγκος κενών), η κατάλληλη αναλογία κονίας προς την άμμο, η μορφή των κόκκων της άμμου όπως και το ποσοστό του νερού της επεξεργασίας. Ο έλεγχος καταλληλότητας ενός κονιάματος αφορά την αντοχή σε θλίψη και εφελκυσμό, την εργασιμότητά του, την ικανότητα συγκράτησης του νερού, της επεξεργασίας και τις αναλογίες σύνθεσης. Η βελτίωση των ιδιοτήτων των κονιαμάτων επιτυγχάνεται με πρόσθετα υλικά. Τα συνηθέστερα κονιάματα που χρησιμοποιούνται στο χτίσιμο είναι τα ασβεστοκονιάματα, τα τσιμεντοκονιάματα, τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα και τα μαρμαροκονιάματα (Μπαβέλας & Μπούζουκου, 2005).

Τα κονιάματα τοιχοδομών κατά τον Wenderhorst διαχωρίζονται σε 3 ομάδες:

- Ομάδα κονιαμάτων I : καμία απαίτηση αντοχής
- Ομάδα κονιαμάτων II : απαιτείται αντοχή 25 kpc/cm^2 (κατά μέσο όρο)
- Ομάδα κονιαμάτων III : απαιτείται αντοχή 100 kpc/cm^2 (κατά μέσο όρο)

Τα κονιάματα έχουν πολλαπλές επιδράσεις στην τοιχοποιία, τόσο στην διεξαγωγή όσο και στην αποτελεσματικότητα των εργασιών γι' αυτό τον λόγο και αυτά τα κονιάματα πρέπει να είναι καλά εργάσιμα διότι μόνο τότε μπορεί να πληρωθούν όλες οι ανωμαλίες και τα κενά των λίθων και να επιτευχθούν στεγανοί αρμοί. Πρέπει επίσης να συγκρατούν το νερό με το οποίο αναμιγνύονται (να εμφανίζουν καλή ικανότητα συγκράτησης του νερού).

Γενικά ένα καλής ποιότητας κονίαμα διευκολύνει την δόμηση και μειώνει τον χρόνο κατασκευής. Η ποιότητα δε ενός κονιάματος επηρεάζει άμεσα την ποιότητα της τοιχοποιίας, τόσο σε θέμα αντοχής αλλά και σε θέμα ρωγματώσεων. Ένα κονίαμα με πολύ υψηλή αντοχή μπορεί να προκαλέσει ρωγματώσεις λόγω συστολής, ενώ ένα πολύ μαλακό κονίαμα λόγω της μεγαλύτερης ευκαμψία του μπορεί να παρουσιάσει τριχοειδείς ρωγμές.

Η άμμος που βρίσκεται στο κονίαμα μπορεί να προκαλέσει εξανθήματα, λόγω των αδιάλυτων αλάτων, για το λόγο αυτό και δεν πρέπει να χρησιμοποιείται θαλάσσια άμμος. Τα κονιάματα επίσης επηρεάζουν σημαντικά το τελικό χρώμα της τοιχοποιίας. Οι μεταβολές του όγκου ενός κονιάματος, που μπορεί να προκύψουν από την διαδικασία ύγρανσης-ξηράνσης επηρεάζουν επίσης σημαντικά την ποιότητα και την αντοχή της τοιχοποιίας, καθώς μπορεί να προκληθούν κενά μεταξύ των δομικών στοιχείων. Το πιο σημαντικό όμως χαρακτηριστικό των κονιαμάτων, ακόμα και από την αντοχή, είναι η συνάφεια. Η τάση και η επέκταση της συνάφειας εξαρτώνται από τα υλικά και τον τρόπο σύνδεσής τους.

3 Μεθοδολογία Εργαστηριακών Αναλύσεων

3.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια μελέτης με τίτλο **“Προσδιορισμός των φυσικοχημικών και μηχανικών ιδιοτήτων κονιαμάτων και λίθων δόμησης τμήματος του Μεσαιωνικού τείχους της Θήβας”**, η οποία ανατέθηκε από την Εφορεία Αρχαιοτήτων Βοιωτίας στο Εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου της Κρήτης, πραγματοποιήθηκε εργαστηριακή ανάλυση δειγμάτων κονιαμάτων και λίθων από διαφορετικά τμήματα της λιθοδομής του τείχους. Μελετήθηκαν και αναλύθηκαν εργαστηριακά με διαφορετικές μεθόδους ανάλυσης, τρία δείγματα λίθων και τρία δείγματα κονιαμάτων αρμολόγησης του τείχους.

Το τμήμα του τείχους το οποίο μελετήθηκε τοποθετείται μεταξύ της οδού Κάδμου και της Περιφερειακής οδού Αγίας Τριάδας στη Θήβα και το κύριο είδος τοιχοδομίας που διακρίνεται σε αυτό είναι λιθοδομή αποτελούμενη κατά κύριο λόγο από λαξευτούς λίθους σε ορθογώνια κυρίως μορφή (εμφανίζονται και μερικοί που παραπέμπουν σε μορφή κυβόλιθου), των οποίων οι διαστάσεις και το ύψος των στρώσεων τους ποικίλουν. Σε κάποια σημεία παρατηρούνται και ημιλαξευτοί λίθοι, που φαίνεται να διαφοροποιούνται ως προς τη σύστασή τους σε σχέση με εκείνους που εμφανίζουν πλήρη επεξεργασία.

Οι αρμοί της λιθοδομής λόγω της επίδρασης διάφορων φθοροποιών παραγόντων έχουν χάσει σε πολλά σημεία της τοιχοποιίας το αρχικό συνδετικό κονίαμα, ενώ σε αρκετά σημεία εκτός από το κονίαμα της αρμολόγησης εντοπίζεται στους αρμούς, η παρουσία οπτόπλινθων και άλλων κεραμικών τεμαχίων.

Η δειγματοληπτική διαδικασία πραγματοποιήθηκε έπειτα από συνεννόηση με τους επιβλέποντες μηχανικούς του έργου, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του προτύπου EN 1015-2 (1998), με τρόπο που να εξασφαλίζει τόσο τη λήψη ικανών και αντιπροσωπευτικών δειγμάτων κονιαμάτων και λίθων, όσο και την διατήρηση αναλλοίωτης της φυσιογνωμίας του μνημείου. Οι βασικές αυτές αρχές δειγματοληπτικού ελέγχου, αλλά και στοιχεία που προέκυψαν από την επί τόπου

αυτοψία του προσωπικού της Εφορείας Αρχαιοτήτων με κυριότερα την κατάρρευση λίθων σε αρκετά σημεία και την ύπαρξη έντονης βλάστησης ριζωμένης στους αρμούς της τοιχοποιίας, δεν επέτρεψαν τη λήψη και αποστολή δειγμάτων πολύ μεγάλου μεγέθους δειγμάτων (ειδικά όσο αφορά τα κονιάματα και σε μορφή πυρήνων για τους λίθους).



Εικόνα 23. Εικόνες από την διαδικασία της δειγματοληψίας.

Για τον λόγο αυτό, για τον υπολογισμό της υγείας και των μηχανικών αντοχών των δομικών λίθων χρησιμοποιήθηκαν έμμεσοι μέθοδοι προσδιορισμού. Όσο αφορά τους δομικούς λίθους οι εργαστηριακές αναλύσεις περιλαμβάνουν επιπρόσθετα, μακροσκοπική παρατήρηση, χημική και ορυκτολογική ανάλυση και προσδιορισμού της υδατοαπορροφητικότητας και του πορώδους. Στα δείγματα κονιαμάτων οι αναλύσεις επικεντρώνονται κυρίως στη χημική και ορυκτολογική ανάλυση του μέρους της κονίας και των αδρανών που προκύπτουν έπειτα από διαδικασία υγρής κοκκομετρικής

ανάλυσης, με την οποία υπολογίζεται η επί μέρους αναλογία συμμετοχής των συστατικών αυτών στο κονίαμα της αρμολόγησης της τοιχοποιίας. Όλες οι αναλύσεις πραγματοποιούνται βάση των προδιαγραφών που ορίζουν τα σχετικά EN πρότυπα.

3.2 Εργαστηριακές Μέθοδοι Ανάλυσης

Οι εργαστηριακές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των λίθων και των κονιαμάτων, με βάση τα Ευρωπαϊκά πρότυπα είναι οι εξής :

- Μακροσκοπική παρατήρηση των δειγμάτων που απεστάλησαν, σε διοφθάλμιο στερεοσκόπιο τύπου **MZ-143-N2GG** της εταιρίας **Motic**.
- Περιθλασιμετρία κόνεως ακτινών-Χ, (XRD)
- Φασματοσκοπία φθορισμού ακτινών-Χ, (XRF)
- Υγρή & ξηρή κοκκομετρική ανάλυση
- Προσδιορισμός υδατοαπορροφητικότητας
- Προσδιορισμός μηχανικών αντοχών των λίθων με δοκιμή σκληρότητας αναπήδησης (σφύρα Schmidt).

3.2.1 Μακροσκοπική περιγραφή λίθων και κονιαμάτων

Η μακροσκοπική περιγραφή είναι η πρώτη επαφή με τα δείγματα και η αρχική καταγραφή των εμφανών χαρακτηριστικών τους. Στη φάση αυτή γίνονται οι πρώτες εκτιμήσεις και η κατά προσέγγιση ταυτοποίησή τους με βάση στοιχεία που αφορούν το μέγεθος των κόκκων (εφόσον είναι ορατό μακροσκοπικά), το χρώμα, την υφή, την σύνθεσή τους, την συνεκτικότητά τους κ.α.

3.2.2 Μέθοδος περιθλασιμετρίας ακτίνων -X (XRD)

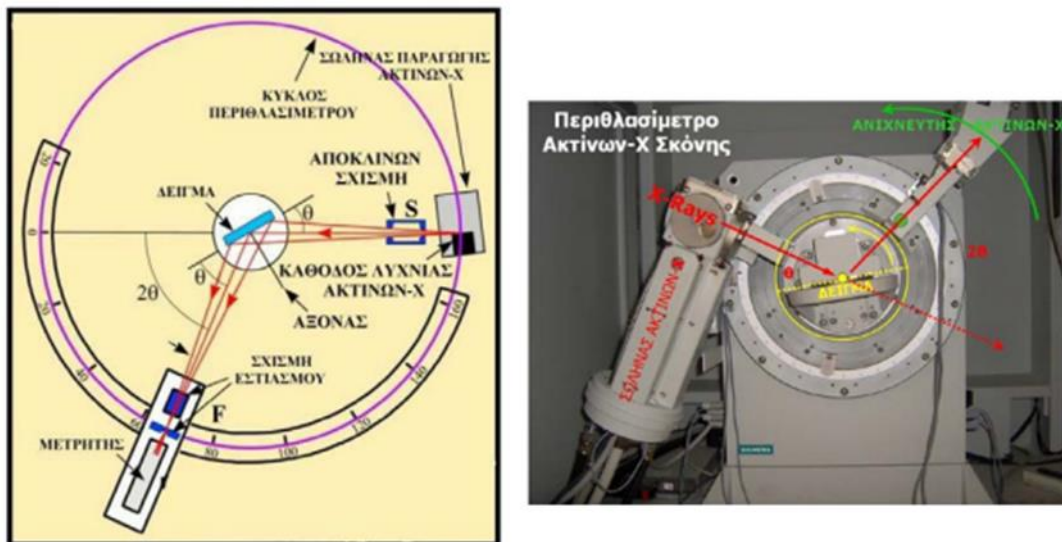
Η ανάλυση γεωλογικών δειγμάτων με περιθλασιμετρία ακτινών-Χ (X-Ray Diffraction, XRD) είναι μια κλασική μέθοδος ανάλυσης, που χρησιμοποιείται για τη μελέτη της κρυσταλλικής δομής ενός ορυκτού ή/ και για τον προσδιορισμό των κύριων ορυκτών φάσεων ενός πετρώματος (ποιοτική και ποσοτική ανάλυση). Η συγκεκριμένη μέθοδος ανάλυσης δεν χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό ορυκτών φάσεων που συμμετέχουν με μικρό ποσοστό. Η μέθοδος στηρίζεται στην περίθλαση μονοχρωματικής ακτινοβολίας ακτινών Χ γνωστού μήκους κύματος (λ) πάνω στα

πλεγματικά επίπεδα των ορυκτών των εξεταζόμενων δειγμάτων και στην συνέχεια στον προσδιορισμό των εσωτερικών διαστημάτων d των επιπέδων του κρυσταλλικού πλέγματος, που είναι μοναδικά για κάθε ένα προσδιοριζόμενο ορυκτό. Συνήθως, η ακτινογραφική μελέτη γεωλογικών δειγμάτων πραγματοποιείται εισάγοντας το δείγμα σε κονιοποιημένη μορφή σε ειδικούς υποδοχείς, η ίδια τεχνική ακολουθήθηκε και στην συγκεκριμένη εργασία. Με συγκεκριμένα περιθλασίμετρα ακτίνων-Χ, π.χ. XRD, μπορούμε να εκτελέσουμε ανάλυση και σε επίπεδες επιφάνειες π.χ. απευθείας σε μεταλλογραφικά παρασκευάσματα. Ο προσδιορισμός των ορυκτών φάσεων που προκύπτουν από το ακτινοδιάγραμμα (στάδιο αποτίμησης), πραγματοποιείται με αναζήτηση σε έντυπους καταλόγους/καρτέλες που υπάρχουν για κάθε πρότυπο ορυκτό ή μέσω σύγχρονων λογισμικών (Software, π.χ. EVA), που ανατρέχουν σε ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων (Λεωνιδάκη, 2012).

Το φαινόμενο της περίθλασης των ακτίνων-Χ πάνω στους κρυστάλλους οφείλεται στην αλληλεπίδρασή τους με τα ηλεκτρόνια των ατόμων των κρυστάλλων και έχει ως αποτέλεσμα την σκέδαση των ακτίνων-Χ. Η ικανότητα ενός ατόμου να σκεδάζει ακτίνες-Χ είναι ανάλογη του αριθμού των ηλεκτρονίων του.

Οι βασικές μονάδες από τις οποίες αποτελείται ένα σύγχρονο περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ είναι:

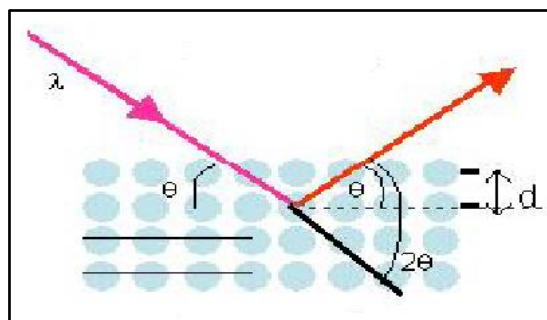
1. Μονάδα παραγωγής υψηλής τάσης
2. Λυχνία ακτίνων-Χ
3. Γωνιόμετρο
4. Απαριθμητής ακτίνων-Χ
5. Ηλεκτρική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής κρούσεων
6. Μονάδα μικροϋπολογιστή καθοδήγησης του συστήματος και αξιολόγησης δεδομένων.



Εικόνα 24. Σχηματική απεικόνιση της τράπεζας του XRD.

Οι προσπίπτουσες ακτίνες-Χ διαπερνούν ένα μεγάλο αριθμό πλεγματικών επιπέδων και με αυτόν τον τρόπο λαμβάνεται ένας αριθμός πολλών και παράλληλων ανακλώμενων ακτίνων. Η απόσταση μεταξύ των ανακλώμενων αυτών ακτίνων είναι ανάλογη της απόστασης d μεταξύ των πλεγματικών επιπέδων του κρυστάλλου και της γωνίας ανάκλασης θ . Αν λ είναι το μήκος κύματος των ακτίνων-Χ, τότε για κάθε ορυκτό ισχύει η εξίσωση του Bragg.

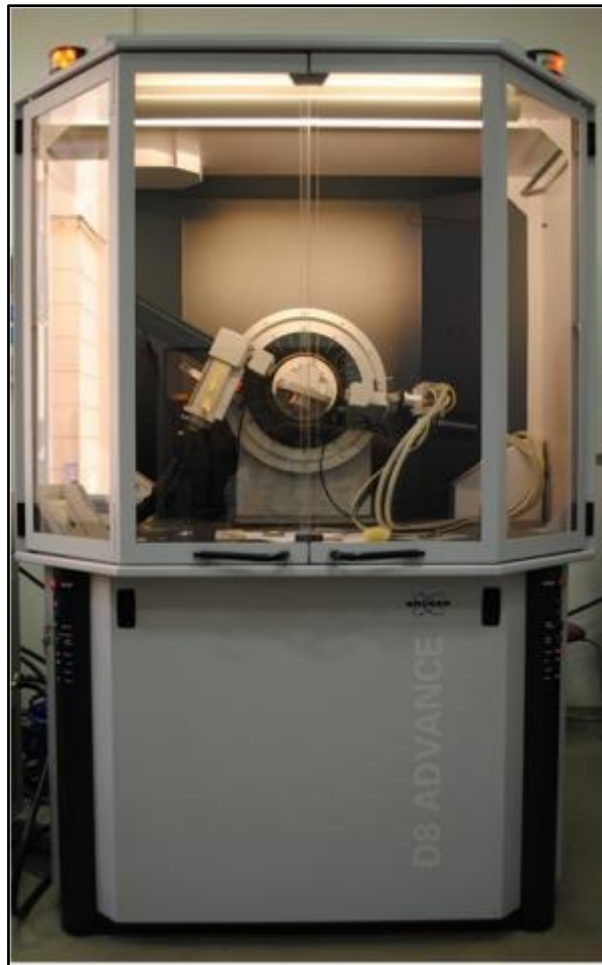
$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \eta\mu\theta$$



Εικόνα 25. Σχηματική απεικόνιση περίθλασης μονοχρωματικής ακτινοβολίας ακτίνων -Χ (Κανελλόπουλος, 2017).

όπου n είναι ακέραιος θετικός αριθμός, λ το μήκος κύματος ($\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$ (για Cu K α)), θ η γωνία σκέδασης και d η πλεγματική απόσταση των επιπέδων σκέδασης του κρυστάλλου (Κανελλόπουλος, 2017).

Η ορυκτολογική ανάλυση των φάσεων των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με το περιθλασίμετρο ακτινών Χ τύπο D8-Advance της Bruker AXS του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολ. Κρήτης.



Εικόνα 26. Περιθλασίμετρο ακτινών -Χ (XRD) D8-Advance. Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.

Τα δείγματα τοποθετήθηκαν στο δειγματοφορέα του γωνιόμετρου του περιθλασίμετρου ο οποίος βρίσκεται πάντα στο κέντρο του κύκλου που σχηματίζει ο απαριθμητής των ακτινών Χ. Ο απαριθμητής περιστρέφεται με γωνιακή ταχύτητα $2\theta/m$, ταυτόχρονα το επίπεδο του δείγματος περιστρέφεται με ταχύτητα θ/m . Με την σύγχρονη περιστροφή του απαριθμητή και του δείγματος επιτυγχάνετε ο σχηματισμός της ίδιας γωνίας μεταξύ του απαριθμητή και του επιπέδου του δείγματος, όπως επίσης και με το σημείο εξόδου των ακτινών Χ της λυχνίας. Για την πραγματοποίηση των αναλύσεων χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο τύπου **AXS D8 ADVANCE** της εταιρείας **Bruker**. Ο ποιοτικός προσδιορισμός των ορυκτών φάσεων έγινε με τη χρήση του λογισμικού **DiffraCt Plus (Bruker AXS)** και τη βάση δεδομένων PDF. Για την ακριβέστερη

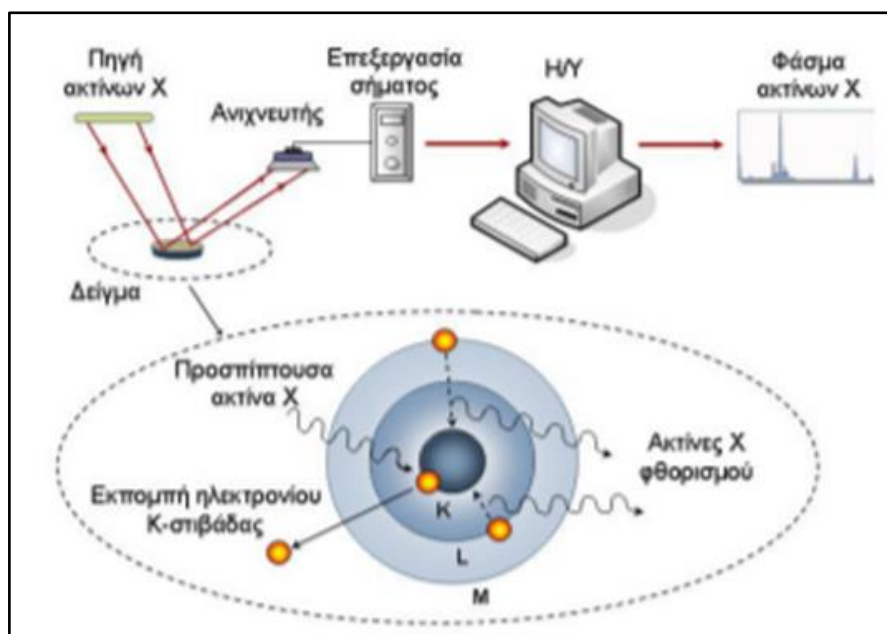
ανάλυση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν ειδικές συνθήκες ακτινοσκόπησης που περιλάμβαναν: χρήση λυχνίας Cu, μονοχρωμάτορα με φίλτρο Ni, τάση λυχνίας $U=35\text{kV}$ και ένταση ρεύματος $I=35\text{mA}$ στην περιοχή των γωνιών 2θ μεταξύ $4 - 70^\circ$, με βήμα 0.05° και χρόνο 198.8 s/ανά βήμα .

Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται στην κονιοποίηση του δείγματος, καθώς η μη καλή κονιοποίηση οδηγεί σε κακής ποιότητας ακτινοδιαγράμματα (υψηλός θόρυβος κτλ). Η επιθυμητή κοκκομετρία είναι $1-5\text{ }\mu\text{m}$, αν πρόκειται να πραγματοποιηθεί ποσοτικός προσδιορισμός, καθώς, μικρότερη κοκκομετρία συνεπάγεται συμμετοχή μεγαλύτερου πλήθους κόκκων και άρα καλύτερης αντιπροσωπευτικότητας.

3.2.3 Μέθοδος φασματοσκοπίας φθορισμού ακτίνων -X (XRF)

Η μέθοδος της φασματοσκοπίας φθορισμού ακτίνων-X (X-Ray Fluorescence Spectroscopy, XRF) αποτελεί μια σημαντική μέθοδο ενόργανης ανάλυσης η οποία χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης των δειγμάτων και βασίζεται στη μέτρηση της εκλυόμενης ακτινοβολίας ακτίνων-X κατά το «βομβαρδισμό» του δείγματος με ακτίνες-X. Η μέθοδος XRF βασίζεται στη δημιουργία μιας στενής δέσμης ακτίνων X, η οποία προσπίπτει πάνω στο δείγμα και προκαλεί την εκπομπή δευτερογενούς ακτινοβολίας X. Η ανάπτυξη της μεθόδου στηρίχτηκε στην οπτική των ακτίνων X, που επιτρέπει την αποτελεσματική διέγερση μικρής περιοχής δείγματος, αποδίδοντας μια σημαντική ένταση φθορισμού.

Το σύστημα φασματομετρίας ακτίνων-X φθορισμού αποτελείται από τη λυχνία παραγωγής πρωτογενούς ακτινοβολίας X (X-ray tube), τον δειγματοφορέα, το φίλτρο πρωτογενούς ακτινοβολίας, τον ευθυγραμμιστή, τον ανιχνευτή, τον πολυδιάυλο αναλυτή και το ηλεκτρονικό σύστημα καταγραφής. Το φασματόμετρο XRF έχει ως αρχή λειτουργίας τις πρωτογενείς ακτίνες X_1 που εκπέμπονται από την πηγή προκαλώντας εκπομπή χαρακτηριστικών δευτερογενών ακτίνων X από το δείγμα (φθορισμός), των οποίων οι ενέργειες είναι μικρότερες από την ενέργεια των πρωτογενών ακτίνων X_1 , εξαρτώνται όμως από τα στοιχεία που περιέχει το δείγμα. Το φάσμα το οποίο αναλύεται είναι των δευτερογενών ακτίνων X.



Εικόνα 27. Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου Φασματοσκοπίας ακτίνων -Χ φθορισμού, (XRF).

Για την ανάλυση των δειγμάτων παρασκευάστηκαν γυάλινα δισκία με σύντηξη πολύ καλά λειοτριβημένου δείγματος, από το υπό μελέτη δείγμα, και τετραβορικού λιθίου σε αναλογία 1,5 g λειοτριβημένου δείγματος προς 7,5 g συντηκτικού τετραβορικού λιθίου. Μετά την ανάμειξη το μείγμα τοποθετήθηκε σε χωνευτήριο πλατίνας, στο οποίο προστέθηκαν τρεις σταγόνες βρωμιούχου λιθίου, προκειμένου το μείγμα να είναι πιο ρευστό.

Τα γυάλινα δισκία τα οποία κατασκευάστηκαν τοποθετήθηκαν στην συσκευή τύπου S2 Ranger (Bruker AXS) στην οποία και πραγματοποιήθηκε η χημική ανάλυσή τους. Το Φασματόμετρο S2 Ranger της Bruker AXS ανήκει στο Εργαστήριο Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του τομέα Ανίχνευσης και Εντοπισμού Ορυκτών του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η λυχνία που χρησιμοποιήθηκε ήταν λυχνία Παλλαδίου (Pd) και ο προσδιορισμός έγινε με τ σύστημα διαχωρισμού ενέργειας, EDS.



Εικόνα 28. Φασματόμετρο τύπου S2 Ranger (Bruker AXS) του Εργαστηρίου Ανόργανης και Οργανικής Γεωχημείας της Σχολής Μηχ. Ορυκτών Πόρων, όπου πραγματοποιήθηκαν οι χημικές αναλύσεις.

3.2.4 Κοκκομετρικές αναλύσεις

Η δοκιμή της κοκκομετρικής ανάλυσης είναι η πιο διαδεδομένη και η πιο συχνά διενεργούμενη δοκιμή για τα αδρανή υλικά και τα εδαφικά υλικά. Με την κοκκομετρία μπορεί να υπολογιστεί η κατανομή του μεγέθους των κόκκων ενός υλικού και μέσω αυτής να προκύψουν πολύτιμα συμπεράσματα. Η κατανομή του μεγέθους των κόκκων ενός αδρανούς υλικού επηρεάζει άμεσα όλες τις ιδιότητες του. Τα αποτελέσματα της κοκκομετρίας αποδίδουν πολύτιμα δεδομένα για τις ιδιότητες του πορώδους των αδρανών υλικών στις κατασκευές. Ομοίως για τα εδαφικά υλικά, γνωρίζοντας την κοκκομετρική τους διαβάθμιση είναι δυνατόν να εξαχθούν πολλά συμπεράσματα που σχετίζονται με τη συμπεριφορά των υλικών και κατ' επέκταση και των κατασκευών (Μαρκόπουλος, 2012).

Η εν ξηρώ κοκκομετρική ανάλυση στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε για να διαχωριστούν τα χύδην δείγματα των κονιαμάτων που απεστάλησαν προς μελέτη, προκειμένου να ταξινομηθούν και να ομαδοποιηθούν οι κόκκοι των αδρανών υλικών, ανάλογα με το μέγεθός τους, το σχήμα τους και το και το χρώμα τους. Η υγρή κοκκομετρική ανάλυση πραγματοποιείται σε όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικό μέρος του εκάστοτε δείγματος με σκοπό:

- να είναι δυνατός ο ασφαλέστερος διαχωρισμός των συστατικών τους μερών (αδρανές και συνδετική κονία)
- να προκύψει με ακρίβεια η κοκκομετρική τους διαβάθμιση, δηλαδή η αρχική αναλογία ανάμιξης άμμου και σκύρων με τη συνδετική κονία και
- να είναι δυνατή η επιμέρους μελέτη και ταυτοποίηση των διαχωρισθέντων κλασμάτων

Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων ακολουθήθηκε το πρότυπο EN 933-1. Ως αδρανές λαμβάνεται το κλάσμα με μέγεθος κόκκου ≥ 0.125 mm και ως συνδετική κονία το κλάσμα με μέγεθος κόκκου ≤ 0.063 mm. Ο λόγος αυτών μας δίνει την αναλογία αδρανούς – κονίας και κατ' επέκταση αποτελεί μία ένδειξη για την αναλογία ανάμιξης των πρώτων υλών κατά την παραγωγή των κονιαμάτων (Λεωνιδάκη, 2012).



Εικόνα 29. Σειρά κοσκίνων με δονούμενη τράπεζα.

3.2.5 Υδατοαπορροφητικότητα

Η ιδιότητα των υλικών να απορροφούν και να συγκρατούν το νερό, εξαρτάται από την πυκνότητα των υλικών καθώς επίσης και από την μορφή κι το σχήμα των πόρων.. Μέσω της υδατοαπορροφητικότητας μπορούμε να κάνουμε μια έμμεση εκτίμηση για το ενεργό πορώδες.

Ένα σώμα που χαρακτηρίζεται από μεγάλη πυκνότητα, άρα με λίγα κενά, απορροφά κατά κανόνα λίγο νερό και δεν επιτρέπει τη δίοδο του νερού μέσω της μάζας τους. Γενικά, οι μεγάλοι και ευθύγραμμοι πόροι, ανεξάρτητα από την πυκνότητα, διευκολύνουν τη δίοδο του ρευστού, σε αντίθεση με τους μικρούς πόρους που δεν έχουν συγκεκριμένη δομή δυσκολεύουν ή καθιστούν αδύνατη τη ροή του ρευστού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η κίσσηρη (ελαφρόπετρα), η οποία αν και έχει πολύ μικρή πυκνότητα, εμφανίζει πολύ μικρότερη υδατοαπορροφητικότητα σε σύγκριση με άλλα πιο συμπαγή υλικά, λόγω της μορφής που έχουν οι πόροι της (Λεωνιδάκη,2012).

Ο προσδιορισμός της υδατοαπορροφητικότητας των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε βάσει του δείκτη απορρόφησης νερού (EN 13755). Η υδατοαπορροφητικότητα μετριέται με το βάρος του νερού που απορροφά η μονάδα βάρους του υλικού και εκφράζεται με το λόγο του βάρους του απορροφημένου νερού προς το βάρος του υλικού επί τοις εκατό. Πειραματικά έχει αποδειχθεί ότι κατά τον ελεύθερο κορεσμό το νερό απορροφάται από το πέτρωμα κυρίως κατά τις πρώτες ώρες, κατά το μεγαλύτερο ποσοστό του. Η διαδικασία που ακολουθείται για τον προσδιορισμό αυτού του μεγέθους είναι η εξής:

Τμήματα από τους υπό μελέτη λίθους και κονιάματα τοποθετήθηκαν στον φούρνο σε σταθερή θερμοκρασία 100 °C, προκειμένου να απομακρυνθεί η οποιαδήποτε υγρασία την οποία μπορεί να περιείχαν, και στην συνέχεια ζυγίστηκαν. Τα δείγματα εμβαπτίστηκαν μέσα σε απιονισμένο νερό, για 24 ώρες και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (περίπου 20 °C). Στην συνέχεια τα δείγματα απομακρύνθηκαν από το νερό, σκουπίστηκαν και τοποθετήθηκαν σε απορροφητικό χαρτί έτσι ώστε να απομακρυνθεί η περίσσεια νερού. Μετά το πέρας λίγων λεπτών που τα δείγματα είναι πλέον εξωτερικά ξερό, ζυγίζεται ξανά. Το βάρος του νερού που απορροφάται είναι ίσο

με την διαφορά μεταξύ του τελικού και του αρχικού βάρους του κάθε δείγματος. Η υδατοαπορροφητικότητα υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$Y = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100$$

Όπου το γ αντιστοιχεί στο ποσοστό της υδατοαπορροφητικότητας του δείγματος , το m_1 αντιστοιχεί στο βάρος του δείγματος όταν είναι ξηρό και το m_2 στο βάρος του δείγματος όταν είναι κορεσμένο με νερό.

3.2.6 Προσδιορισμός μηχανικής αντοχής

Η δοκιμή μονοαξονικής θλίψης (uniaxial compression test), στην οποία ένας ορθός κυκλικός κύλινδρος πετρώματος συμπιέζεται μεταξύ δυο παράλληλων χαλύβδινων πλακών, είναι η παλαιότερη και συνηθέστερα εκτελούμενη εργαστηριακή δομική στα πετρώματα. Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της μονοαξονικής ή ανεμπόδιστης θλιπτικής αντοχής (uniaxial compressive strength, UCS), του μέτρου ελαστικότητας και άλλων μηχανικών παραμέτρων. Σε περιπτώσεις όμως όπου είτε ο απαιτούμενος εξοπλισμός για τη διαμόρφωση και προετοιμασία δοκιμών δεν είναι διαθέσιμος, είτε ο αριθμός των απαιτούμενων δοκιμών για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των πετρωμάτων γίνεται απαγορευτικός, μπορούν να χρησιμοποιηθούν δείκτες χαρακτηρισμού του πετρώματος, οι οποίοι προκύπτουν από απλούστερες δοκιμές και χρησιμεύουν για την έμμεση εκτίμηση της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη (Αγιουτάντης, 2002).

Για τον προσδιορισμό των μηχανικών αντοχών στα δείγματα των λίθων της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιήθηκε η δοκιμή σκληρότητας αναπήδησης με σφύρα Schmidt (Schmidt hammer rebound hardness, SH), γνωστή και ως μέθοδος του κρουσιμέτρου αναπήδησης με την οποία εκτιμάται η επιφανειακή σκληρότητα του πετρώματος, η οποία και μπορεί να συσχετισθεί με την αντοχή του. Η ένδειξη σκληρότητας διαβάζεται στη βαθμονομημένη κλίμακα που υπάρχει στο κυρίως σώμα του σφυριού (Εικόνα. 15).



Εικόνα 30. Κλίμακα ανάγνωσης της αναπήδησης στη σφύρα Schmidt.

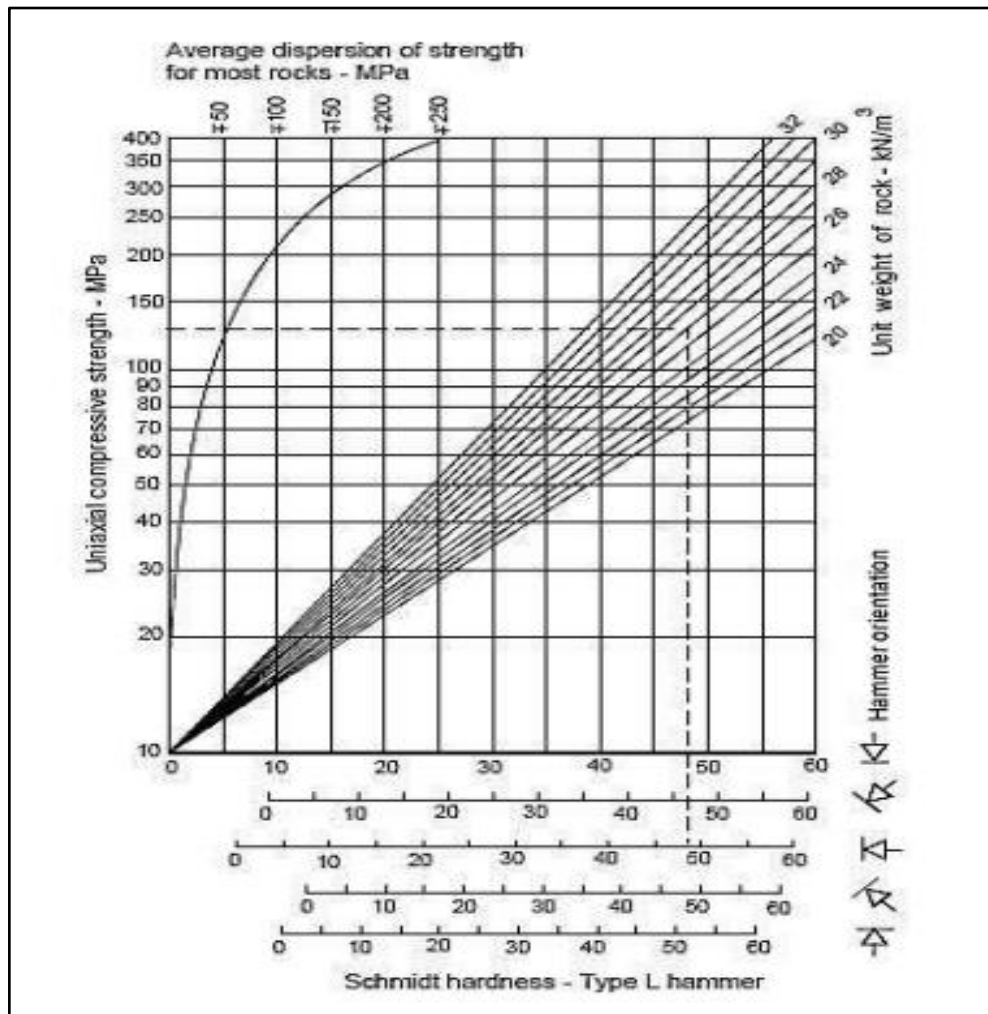
Ο δείκτης σκληρότητας αναπήδησης (R), χρησιμοποιείται συχνά στην πράξη για την εκτίμηση της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη των πετρωμάτων, τόσο στο εργαστήριο, όσο και επιτόπου. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τα όσα αναφέρονται στην Ελληνική τεχνική προδιαγραφή Ε103-84 και την προτεινόμενη μέθοδο εκτέλεσης της δοκιμής που δίδεται από την ISRM (International Society for Rock Mechanics, 1979), για τον προσδιορισμό της σκληρότητας δειγμάτων πετρώματος με τη χρήση σφύρας Schmidt. Κατά την τεχνική προδιαγραφή Ε103-84, πριν την εκτέλεση της δοκιμής πραγματοποιείται βαθμονόμηση της συσκευής με ένα πρότυπο δείγμα (χρησιμοποιήθηκε για το λόγο αυτό ένας ασβεστόλιθος με τιμή αντοχής σε μονοαξονική θλίψη ίση με 50 MPa), υπολογίζοντας το μέσο όρο δέκα μετρήσεων. Στις εργαστηριακές δοκιμές που έγιναν, χρησιμοποιήθηκε κρουσίμετρο σκυροδέματος τύπου N με νομογράφημα ($10 - 70 \text{ Nt/mm}^2$). Κατά την ISRM, η σφύρα τύπου N είναι λιγότερο ευαίσθητη σε ανωμαλίες της επιφάνειας του προς μελέτη πετρώματος και πρέπει να προτιμάται σε επιτόπου εφαρμογές (Aydin, 2009). Πραγματοποιήθηκαν είκοσι μετρήσεις σε κάθε δείγμα, ενώ κάθε κρούση που επέφερε τυχόν θραύση των λίθων απορριπτόταν.

Για τον υπολογισμό της σκληρότητας αναπήδησης, αρχικά υπολογίζεται ο συντελεστής διόρθωσης από τη σχέση:

$$C = \frac{K}{K_{10}}$$

όπου C είναι ο συντελεστής διόρθωσης, K η σταθερή τιμή σκληρότητας του προτύπου δείγματος και K_{10} η μέση τιμή 10 μετρήσεων κατά τη βαθμονόμηση της συσκευής. Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε κάθε δείγμα λίθου, οι μισές με τις μικρότερες

τιμές απορρίφθηκαν και από τις υπόλοιπες υπολογίστηκε ο μέσος όρος. Ο μέσος όρος πολλαπλασιαζόμενος με το συντελεστή διορθώσεως δίνει την αντιπροσωπευτική σκληρότητα του δείγματος.



Εικόνα 16. Νομόγραμμα συσχέτισης της σκληρότητας Schmidt με την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (Deere & Miller, 1966).

3.2.7 Στερεοσκοπική παρατήρηση.

Η στερεογραφική παρατήρηση μας δίνει πληροφορίες για την μορφολογία των δειγμάτων. Το στερεοσκόπιο μπορεί να φθάσει σε μεγεθύνσεις έως x300 φορές. Σκοπός της στερεοσκοπικής εξέτασης είναι η λεπτομερής παρατήρηση των δειγμάτων προκειμένου να ταυτοποιηθούν τα σημεία ιδιαίτερου ενδιαφέροντος που χρίζουν περεταίρω μελέτης. Η εικόνα που παρέχεται από το στερεοσκόπιο είναι αποτέλεσμα

ενός ζεύγους αντικειμενικών φακών φωτίζοντας σωστά το σημείο ενδιαφέροντος πάνω στο δείγμα.

Οι παρατηρήσεις έγιναν στο στερεοσκόπιο του Εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης, συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το στερεοσκόπιο SFC-11A N2GG της εταιρίας Motic.



Εικόνα 17. Στερεοσκόπιο SFC-11A N2GG, Motic, του Εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Τα δείγματα των λίθων και των κονιαμάτων παρατηρήθηκαν και φωτογραφήθηκαν. Τέλος, τα αδρανή τα οποία διαχωρίστηκαν από τα κονιάματα μέσω της ξηρής ή/και υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης και εκείνα από το ένα δείγμα Λίθου μελετήθηκαν στο στερεοσκόπιο, αφού αρχικά διαχωρίστηκαν και ομαδοποιήθηκαν με βάση το σχήμα, τη μορφή τους, το χρώμα τους και άλλα κοινά χαρακτηριστικά, ώστε να καταστεί δυνατή η ανάλυση όσο δυνατόν μεγαλύτερου και αντιπροσωπευτικότερου αριθμού αδρανών υλικών με τις μεθόδους ορυκτολογικής και χημικής ανάλυσης και να εξαχθούν ακριβή συμπεράσματα για το είδος και την προέλευσή τους.

4. Αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων

4.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα από τις εργαστηριακές αναλύσεις των λίθων και των κονιαμάτων του Μεσαιωνικού τείχους της Θήβας. Πριν γίνει η αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων είναι σημαντικό να αναφερθούν κάποιες βασικές πληροφορίες σχετικά με τα ορυκτά της ομάδας του σερπεντίνη, που αποτελούν συνήθη ορυκτά που απαντώνται ως προϊόντα της εξαλλοίωσης (σερπεντινίωσης) βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων όπως οι περιδοτίτες, οι δουνίτες και οι πυροξενίτες.

4.2 Ορυκτά της ομάδας του σερπεντίνη

Ο σερπεντίνης $[Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8]$ ανήκει στην κατηγορία των φυλλοπυριτικών ορυκτών και αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα δευτερογενή ορυκτά στην φύση. Είναι το προϊόν της υδροθερμικής εξαλλοίωσης μαγνησιούχων πυριτικών ορυκτών (υπερβασικών πετρωμάτων) και ιδιαίτερα του ολιβίνη. Εντοπίζεται σε πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα (Χατζόπουλος, 2020).

Η ονομασία σερπεντίνης προέρχεται από το λατινικό *serpens* το οποίο σημαίνει ερπετό, λόγω της στικτής του εμφάνισης, η οποία προσομοιάζεται με το δέρμα του φιδιού. Εμφανίζεται κυρίως ως πράσινος σκούρος, πρασινόμαυρος, κυανοπράσινος και φαιός. Έχει σκληρότητα 3 ως 4 και παρουσιάζει τέλειο σχισμό (001). Το ειδικό του βάρος είναι 2,45. Συνήθως εμφανίζεται υπό την μορφή συμπαγών συσσωματωμάτων, σε μικροσκοπική κλίμακα φυλλαδίων ή ινωδών, που σχηματίζουν μεγάλες συμπαγείς μάζες πετρωμάτων, τους σερπεντινίτες, έως λεπτές φλέβες (Κωστάκης, 2005).

Τα ορυκτά της ομάδας του σερπεντίνη απαρτίζουν τα τρία πολύμορφα του και συγκεκριμένα, ο χρυσοτίλης $(Mg_3Si_2O_5(OH)_4)$, ο λιζαρδίτης $(Mg_3Si_2O_5(OH)_4)$ και ο αντιγορίτης $((Mg,Fe)_3Si_2O_5(OH)_4)$. Ο αμιάντος $(Mg_3Si_2O_5(OH)_4)$ αποτελεί παραλλαγή του χρυσοτίλη. Ο χρυσοτίλης και ο λιζαρδίτης σχηματίζονται σε θερμοκρασίες μικρότερες των 350°C, ενώ από την άλλη μεριά ο αντιγορίτης σχηματίζεται σε θερμοκρασίες λίγο ανώτερες των 500°C. Με την ταυτοποίηση των ορυκτών του σερπεντίνη που βρίσκονται

σε κάποιο πέτρωμα είναι εφικτό να προκύψει συμπέρασμα για τις συνθήκες σχηματισμού αυτού του πετρώματος. Τα ορυκτά αυτά που με τη μετασωμάτωσή τους μετατρέπονται στα ορυκτά της ομάδας του σερπεντίνη είναι ο ολιβίνης και ο πυρόξενος, στους οποίους όμως η διαδικασία της σερπεντινίωσης λαμβάνει χώρα με διαφορετικό τρόπο.

4.3 Αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων των λίθων του Τείχους

4.3.1 Μακροσκοπική περιγραφή

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι μακροσκοπικές εικόνες καθώς και οι εικόνες από τη στερεοσκοπική παρατήρηση των δειγμάτων των λίθων τα οποία μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Το δείγμα με κωδική ονομασία Λ1 (Εικόνα 18), μακροσκοπικά παρουσιάζει την εικόνα ενός λίθου προερχόμενου από μια ποτάμια απόθεση, που χαρακτηρίζεται από την πολυάριθμη παρουσία κόκκων από κροκαλοπαγή διαφορετικής σύστασης και μεγέθους στην κύρια μάζα του. Η συνεκτικότητα του λίθου, που έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με το σχηματισμό πάνω στον οποίο εδράζεται κατά τόπους ένα μεγάλο τμήμα του τείχους (Εικόνες 1 & 8), είναι μέτρια προς χαμηλή και κατά θέσεις τα δείγματα που απεστάλησαν για ανάλυση εμφανίζονται ελαφρώς αποσαθρωμένα.



Εικόνα 18. Φωτογραφίες από τη μακροσκοπική παρατήρηση του Λίθου 1 (Λ1).

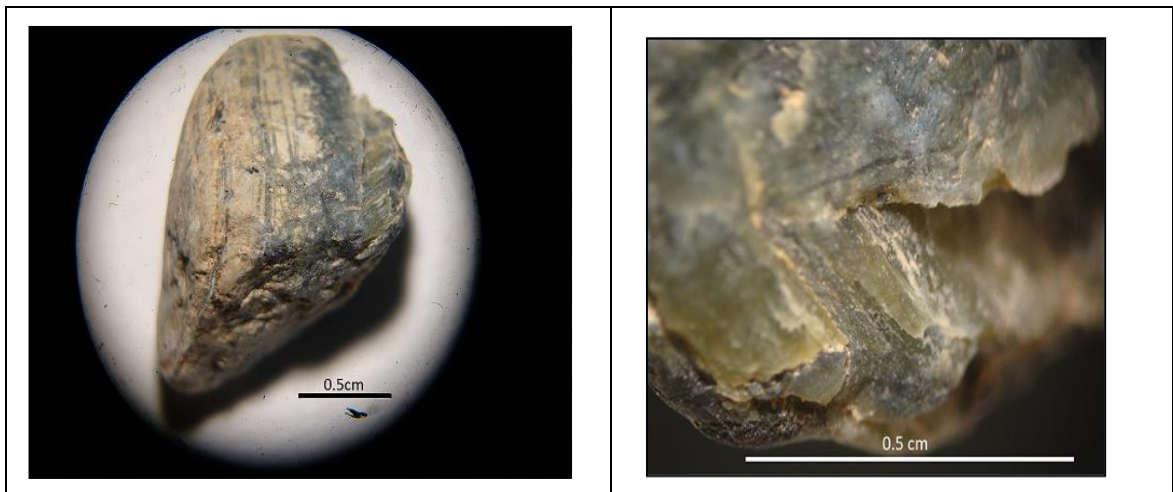
Η κύρια μάζα του λίθου έχει μια ανοιχτή ροζ απόχρωση, ενώ κατά θέσεις είναι εμφανή σημεία όπου παρατηρείται αποχρωματισμός της κύριας επιφάνειας του λίθου στο χρώμα της ώχρας (Εικόνα 19). Πρόκειται για τεμάχια ελαφρά κατεργασμένων λίθων (ανάλογα με εκείνα που συναντώνται σε αργιλοξηρολιθοδομές), στους οποίους έχει πραγματοποιηθεί κάποια κατεργασία μόνο στις επιφάνειες που τοποθετούνται στην όψη των διαφόρων τμημάτων της τοιχοποιίας του μνημείου.

Οι κόκκοι των αδρανών που βρίσκονται στη μάζα του είναι κυρίως έλαιο-πράσινοι, ανοικτότεφοι έως τεφρόμαυροι, ανοιχτής καφέ αλλά και ερυθράς απόχρωσης (Εικόνα 19). Η αποστρογγυλεμένη μορφή τους, υποδηλώνει στάδιο μεταφοράς και απόθεσης των υλικών από άλλες περιοχές στο σημείο που βρίσκεται το τείχος.



Εικόνα 19. Εικόνες του Λίθου 1 από την παρατήρησή του στο στερεοσκόπιο.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται φωτογραφίες από αντιπροσωπευτικούς κόκκους αδρανών που αποχωρίστηκαν από την κύρια μάζα του Λίθου 1, έπειτα από την παρατήρηση στο στερεοσκόπιο. Ακολούθησε ομαδοποίηση των κροκαλοπαγών αυτών συστατικών με βάση το σχήμα, τη μορφή τους, τη χρωματική τους απόχρωση και άλλα χαρακτηριστικά που αναγνωρίστηκαν κατά την διάρκεια της μακροσκοπικής και στερεοσκοπικής του παρατήρησης. Οι κόκκοι αυτοί μελετήθηκαν ως προς την ορυκτολογική τους σύσταση με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD).



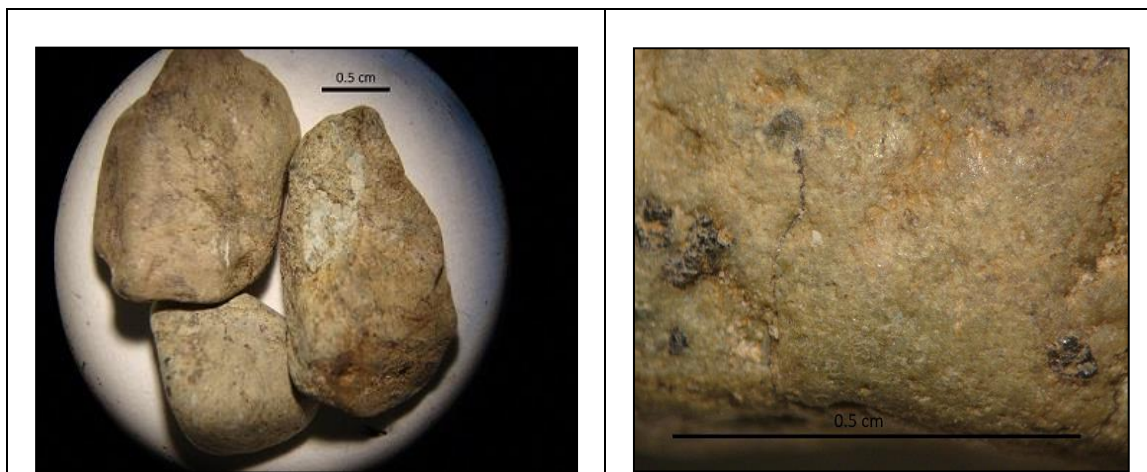
Εικόνα 20. Φωτογραφίες κόκκου αδρανούς υλικού που αποχωρίστηκε από το Λίθο 1, με κωδικό AIV (παρατήρηση στο στερεοσκόπιο).



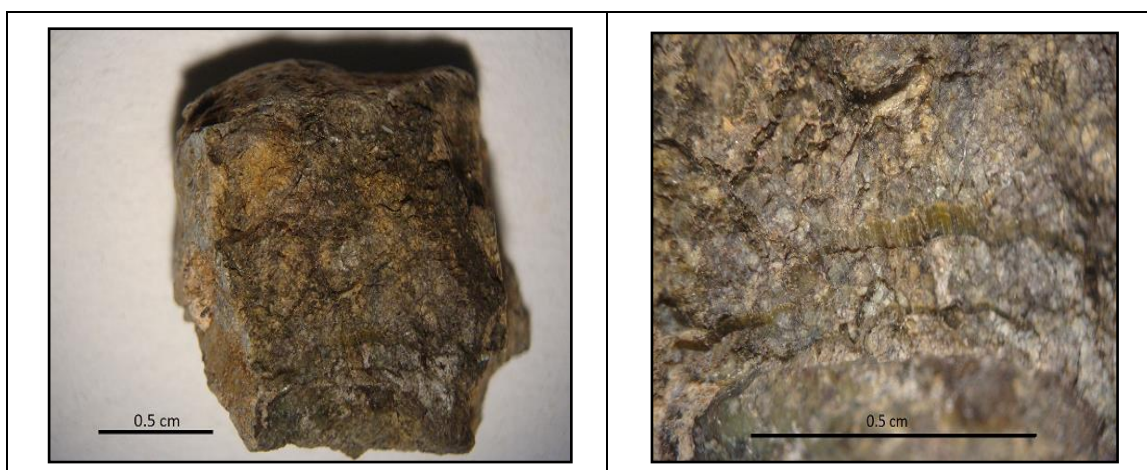
Εικόνα 21. Φωτογραφίες κόκκου αδρανούς υλικού που αποχωρίστηκε από το Λίθο 1, με κωδικό AIII (παρατήρηση στο στερεοσκόπιο).



Εικόνα 22. Φωτογραφίες κόκκων αδρανών που αποχωρίστηκαν από το Λίθο 1, με κωδικό α) AII και β) AI (παρατήρηση στο στερεοσκόπιο).



Εικόνα 23. Φωτογραφίες κόκκου αδρανούς υλικού που αποχωρίστηκε από το Λίθο 1, με κωδικό AV (παρατήρηση στο στερεοσκόπιο).



Εικόνα 24. Φωτογραφίες κόκκου αδρανούς υλικού που αποχωρίστηκε από το Λίθο 1, με κωδικό Λ1AIII (παρατήρηση στο στερεοσκόπιο).

Το δεύτερο δείγμα λίθου το οποίο μελετήθηκε είναι ο Λίθος 2, που παρουσιάζεται στις εικόνες που ακολουθούν (Εικόνα 25). Ο λίθος αυτός είναι ομοιογενής, αρκετά συμπαγής και η υφή του είναι μικρο-κρυσταλλική και χαρακτηρίζεται από την παρουσία διάσπαρτων μικρών πόρων στην κύρια μάζα του, οι οποίοι όμως δεν είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους.

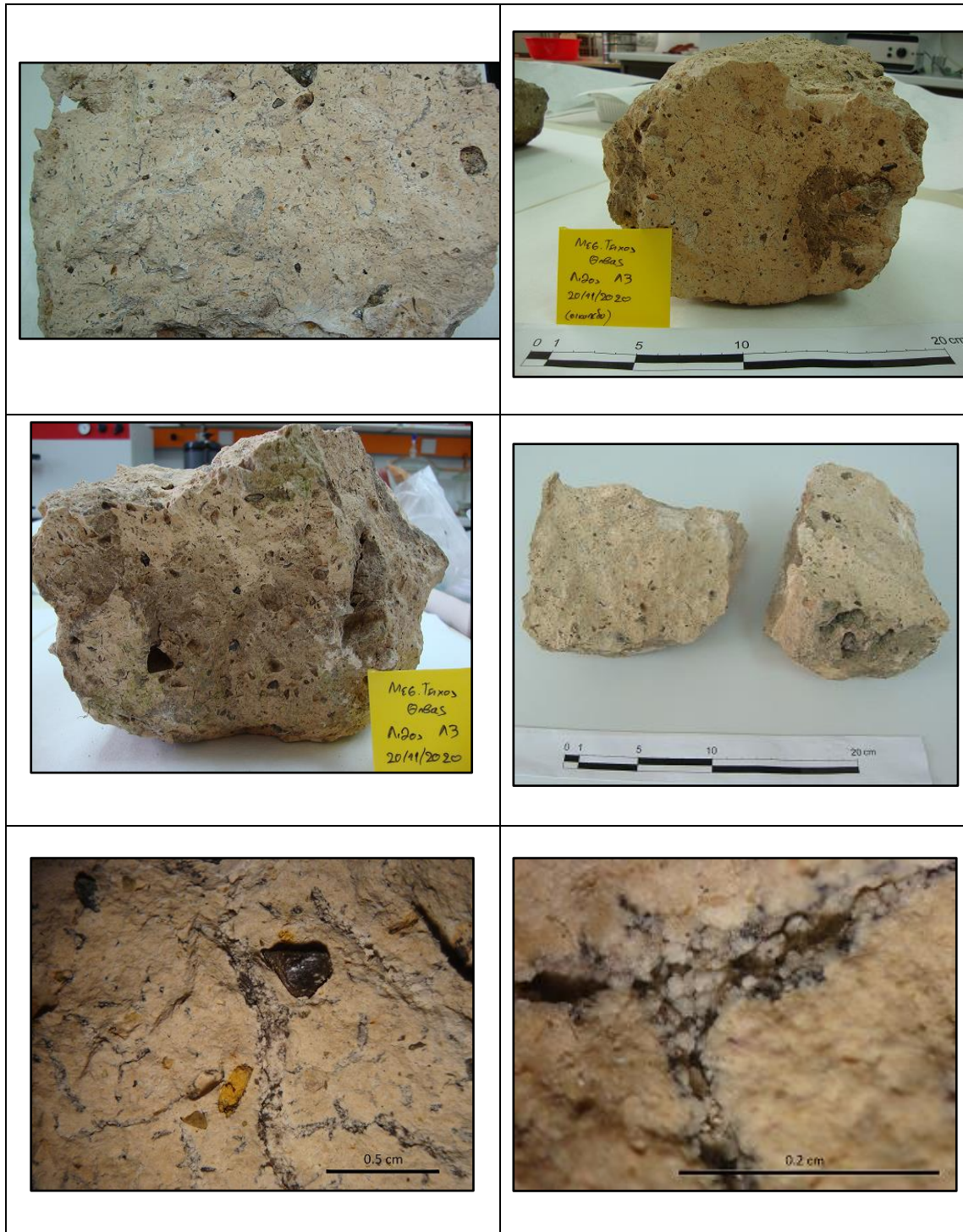
Πρόκειται για ένα ημιλαξευτό λίθο διαστάσεων 10X10X5, το χρώμα του οποίου είναι λευκό με την παρουσία μιας γκρίζας απόχρωσης κρούστας στις έδρες οι οποίες βρίσκονταν εκτεθειμένες στις ατμοσφαιρικές συνθήκες και ως εκ τούτου υπέστησαν φαινόμενα βιολογικής ή/και χημικής φθοράς.



Εικόνα 25. Φωτογραφίες από την παρατήρηση του Λίθου 2 (Λ2), μακροσκοπικά και στο στερεοσκόπιο.

Το τρίτο δείγμα λίθου που εξετάστηκε είναι ο Λίθος 3, ο οποίος παρουσιάζει επίσης συμπαγή υφή και δεν εμφανίζει κάποιο ορατό σημάδι αποσάθρωσης στην κύρια μάζας του (Εικόνα 26). Το χρώμα του είναι ανάλογο με εκείνο του συγκολλητικού υλικού των κροκαλοπαγών που απαρτίζουν το Λίθο 1, δηλαδή επιφάνεια με ανοιχτή ροζ προς ερυθρή απόχρωση.

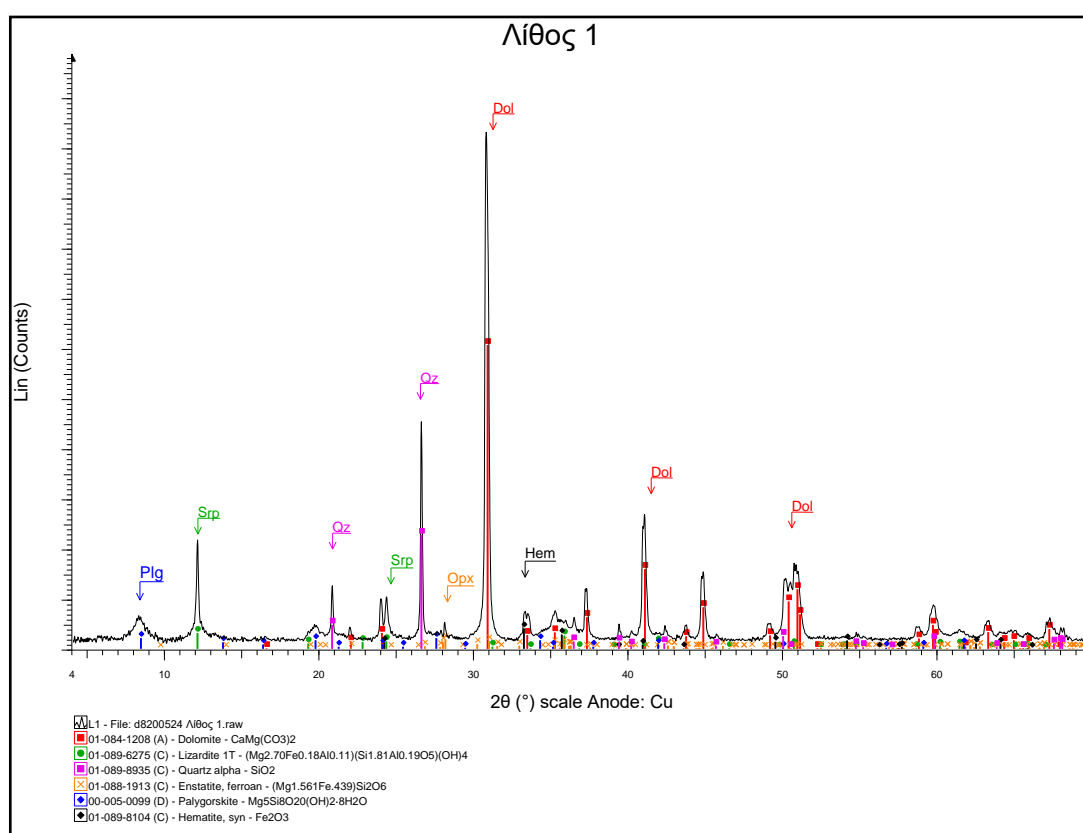
Είναι εμφανής η παρουσία μεμονωμένων κόκκων από τεμάχια αδρανών μικρού μεγέθους στην κύρια μάζα του. Η υφή του είναι μικρο-κρυσταλλική και η παρατήρηση στο στερεοσκόπιο φανέρωσε την παρουσία διάσπαρτων μικρού μεγέθους φλεβιδίων (μικρορωγματώσεις) στην κύρια μάζα του, τα οποία στο εσωτερικό τους είναι πληρωμένα σε ένα ποσοστό από μικρούς κόκκους λευκής απόχρωσης.



Εικόνα 26. Φωτογραφίες από την παρατήρηση του Λίθου 3 (Λ3), μακροσκοπικά και στο στερεοσκόπιο.

4.3.2 Αποτελέσματα της μελέτης Περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD) στα δείγματα των Λίθων

Ο προσδιορισμός των ορυκτολογικών φάσεων των υπό μελέτη δειγμάτων, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της μεθόδου περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD). Η ανάλυση έγινε σε αντιπροσωπευτικό ολικό δείγμα των λίθων και στα μεμονωμένα τεμάχια αδρανών υλικών (τεμάχια κροκαλοπαγών) που διαχωρίστηκαν από το Λίθο 1. Στην παράγραφο αυτή παρατίθενται τα ακτινοδιαγράμματα που προέκυψαν από την ανάλυση των δειγμάτων αυτών, στα οποία διακρίνονται και οι ορυκτολογικές φάσεις που αναγνωρίστηκαν (ποιοτική ορυκτολογική ανάλυση).



Εικόνα 27.Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων Χ (XRD), από την ορυκτολογική ανάλυση του λίθου δόμησης Λ1. *Dol*: δολομίτης, *Srp*: σερπεντίνης, *Qz*: χαλαζίας, *Opx*: ορθοπυρόξενος, *Plg*: παλυγορσκήτης, *Hem*: αιματίτης.

Στις Εικόνες 27, 32 & 33, παρουσιάζονται τα ακτινοδιαγράμματα που προέκυψαν από την ορυκτολογική ανάλυση των Λίθων 1, 2 & 3, αντίστοιχα. Η κύρια ορυκτολογική φάση που είναι παρούσα στο Λίθο 1 είναι ο δολομίτης, ενώ στη σύστασή του συμμετέχουν σε μικρότερα ποσοστά ορυκτά όπως χαλαζίας, σερπεντίνης, ορθοπυρόξενος (ενστατίτης), αιματίτης και η φάση του παλυγορσκήτη.

Τα δευτερεύοντα αυτά ορυκτολογικά συστατικά προέρχονται από κόκκους αδρανών μικρότερου μεγέθους, που βρίσκονται διάσπαρτοι στην κύρια μάζα του λίθου, μέρος των οποίων πέρασε στο κλάσμα της ποσότητας του υλικού που ακτινογραφήθηκε, κατά το στάδιο του διαχωρισμού των ευμεγεθών κροκαλοπαγών τεμαχίων από την κύρια μάζα του λίθου. Για την παρουσία της φάσης του παλυγορσκίτη στο δείγμα γίνεται πιο εκτενής αναφορά στη συνέχεια του κειμένου (παράγραφος 4.4.2).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης και των παρατηρήσεων που έγιναν στην προηγούμενη παράγραφο συμπεραίνουμε πως ο Λίθος 1 αποτελεί, ένα κροκαλοπαγές πέτρωμα (ποικίλου βαθμού συνεκτικότητας), το συνδετικό υλικό του οποίου έχει δολομιτική σύσταση. Τα αποστρογγυλεμένα τεμάχια διαφόρων μεγεθών και χρωμάτων που διαχωρίστηκαν και η ορυκτολογική ανάλυση των οποίων παρουσιάζεται αναλυτικά στη συνέχεια της παραγράφου, αποτελούν θραύσματα πετρωμάτων τα οποία λιθοποιήθηκαν παρουσία της κύριας δολομιτικής θεμελιώδους μάζας στο σχηματισμό που παρατηρείται στη βάση θεμελίωσης του τείχους, τμήματα του οποίου χρησιμοποιήθηκαν και ως δομικοί λίθοι σε μέρος της τοιχοποιίας.

Στον Λίθο 2 κυριαρχεί ο ασβεστίτης ενώ αντίθετα στον Λίθο 3 ο δολομίτης. Στο πρώτο δείγμα ανιχνεύτηκε και μικρή ποσότητα χαλαζία, ενώ στη σύσταση του Λίθου 3 αναγνωρίστηκαν δευτερευόντως ανακλάσεις φάσεων σερπεντίνη και παλυγορσκίτη. Η παρουσία του παλυγορσκίτη σχετίζεται με τις λευκής απόχρωσης αποθέσεις που αναγνωρίστηκαν εντός των μικρορωγμάτων, που υπάρχουν διάσπαρτες στην κύρια μάζα του συγκεκριμένου λίθου. Συνεπώς, οι δυο λίθοι που μελετήθηκαν ανήκουν σε ασβεστόλιθο και δολομίτη αντίστοιχα.

Πετρώματα ανάλογης σύστασης δεν υπάρχουν πλησίον της περιοχής που τοποθετείται το μνημείο. Ωστόσο, σύμφωνα με τη μελέτη της γεωλογίας της ευρύτερης περιοχής που προηγήθηκε (βλ. παράγραφος 1.5), σχηματισμοί που φιλοξενούν λευκότεφρους μικροκρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, δολομιτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες βρίσκονται σε μεγάλες εμφανίσεις ανατολικά της Θήβας.

Στις Εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα ακτινογραφήματα της ορυκτολογικής ανάλυσης σε επιλεγμένα τεμάχια αδρανών υλικών που διαχωρίστηκαν από τη κύρια μάζα του Λίθου 1, αντιπροσωπευτικά του συνόλου των κροκαλοπαγών συστατικών που

αναγνωρίστηκαν σε αυτόν. Στην πλειονότητα των αδρανών (εκτός από εκείνο με κωδικό AI, Εικόνα 31), κυριαρχεί η φάση του σερπεντίνη (Srp) με τις χαρακτηριστικές ανακλάσεις σε d 7,32, 3,65, 4,61 και 1,54 Å, να παραπέμπουν στην παρουσία του πολύμορφου λιζαρδίτη.

Ο βαθμός σερπεντινίωσης των συγκεκριμένων αδρανών θεωρείται υψηλός. Την παραγένεση των δευτερογενών ορυκτολογικών συστατικών που ανιχνεύτηκαν στα τεμάχια με κωδικούς AIV & AII (Εικόνα 28, ελαιοπράσινοι κόκκοι) συμπληρώνουν ορυκτά όπως AI και Cr-σπινέλιος (κύρια ανάκλαση σε d 2,45 και 2,53 Å, αντίστοιχα) και μικρή ποσότητα ασβεστίτη (μόνο στο δείγμα AIV).

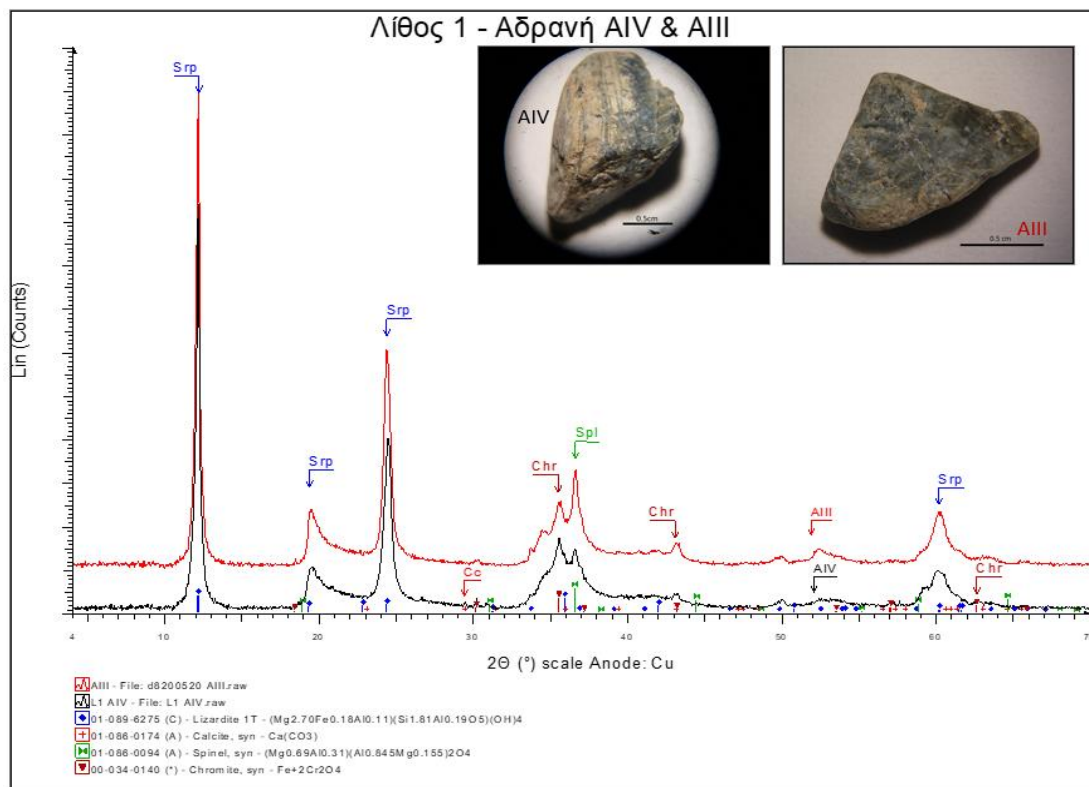
Τα αδρανή με κωδικούς AV & A1AIII (Εικόνα 30), τα οποία και διαφοροποιούνται στα μακροσκοπικά τους χαρακτηριστικά εν συγκρίσει με τα προηγούμενα, εμφανίζουν τις ίδιες ισχυρές εντάσεις ανακλάσεων για την κύρια ορυκτολογική φάση του σερπεντίνη, αλλά διαφοροποιούνται στο ποσοστό των δευτερογενών ορυκτολογικών συστατικών που περιέχουν. Πιο συγκεκριμένα, έχουμε μειωμένες τις κύριες ανακλάσεις των φάσεων των σπινελίων που ανιχνεύτηκαν στα δείγματα αυτά, ενώ στην ορυκτολογική τους σύσταση υπάρχει και η παρουσία χλωρίτη (d 14,32 Å).

Διαφοροποιήσεις στην ορυκτολογική σύσταση παρατηρούνται και στα τεμάχια του αδρανούς με κωδικό AII. Πέραν του σερπεντίνη και του σπινελίου, ανιχνεύτηκαν επιπρόσθετα υπολειμματικές ορυκτολογικές φάσεις ορθοπυροξένων (φεροσιλίτης με κύρια ανάκλαση σε d 3,17 Å) και αμφιβόλων (ακτινόλιθος με κύρια ανάκλαση σε d 8,42 Å), που παραπέμπουν σε προέλευση των υλικών αυτών από αρχικά πετρώματα περισσότερο βασικής σύστασης.

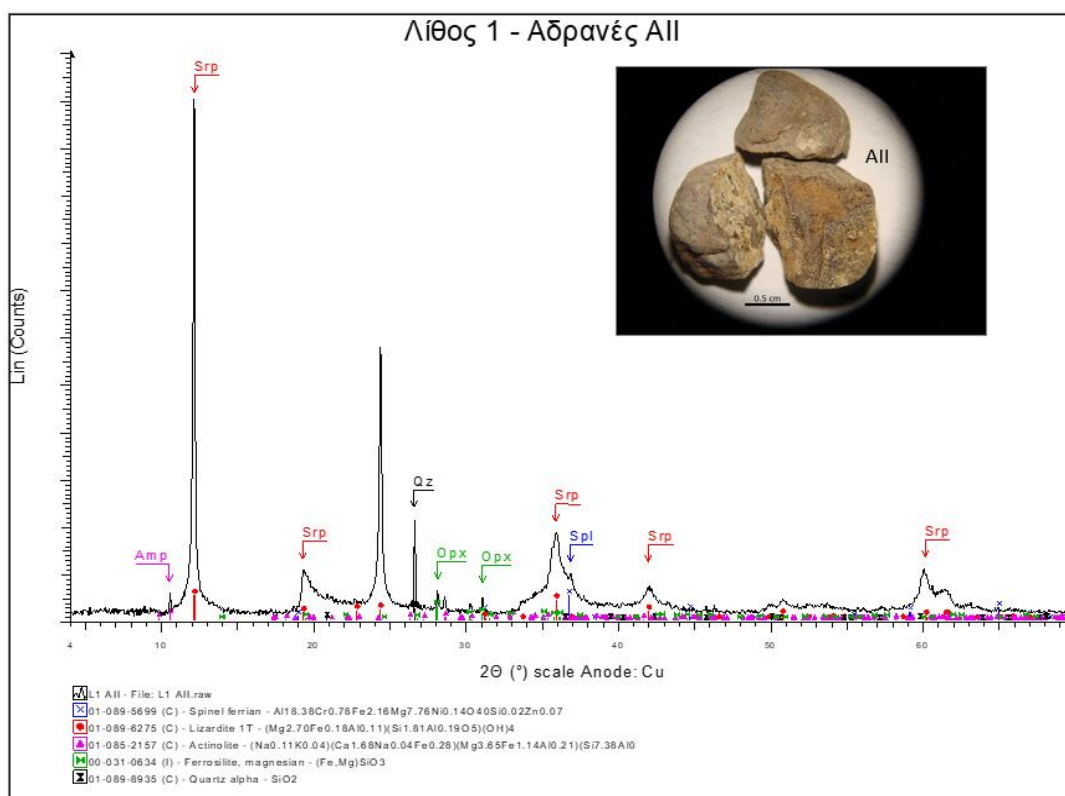
Τέλος, στα τεμάχια των αδρανών που διαχωρίστηκαν συμμετέχουν και κόκκοι κερατολίθων ερυθράς απόχρωσης που αποτελούνται κατά κύριο λόγο από χαλαζία, ενώ περιέχουν σε μικρότερες αναλογίες προσμίξεις όπως αιματίτης, δολομίτης, χλωρίτης και μοσχοβίτης.

Η επίδραση της σερπεντινίωσης που εμφανίζουν τα υπερβασικά πετρώματα είναι πολύ σημαντική για τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά. Παρατηρείται μείωση της σκληρότητας, με την αύξηση του βαθμού σερπεντινίωσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο ολιβίνης και οι πυρόξεντοι σε δεύτερο βαθμό που προϋπήρχαν πριν την έναρξη της

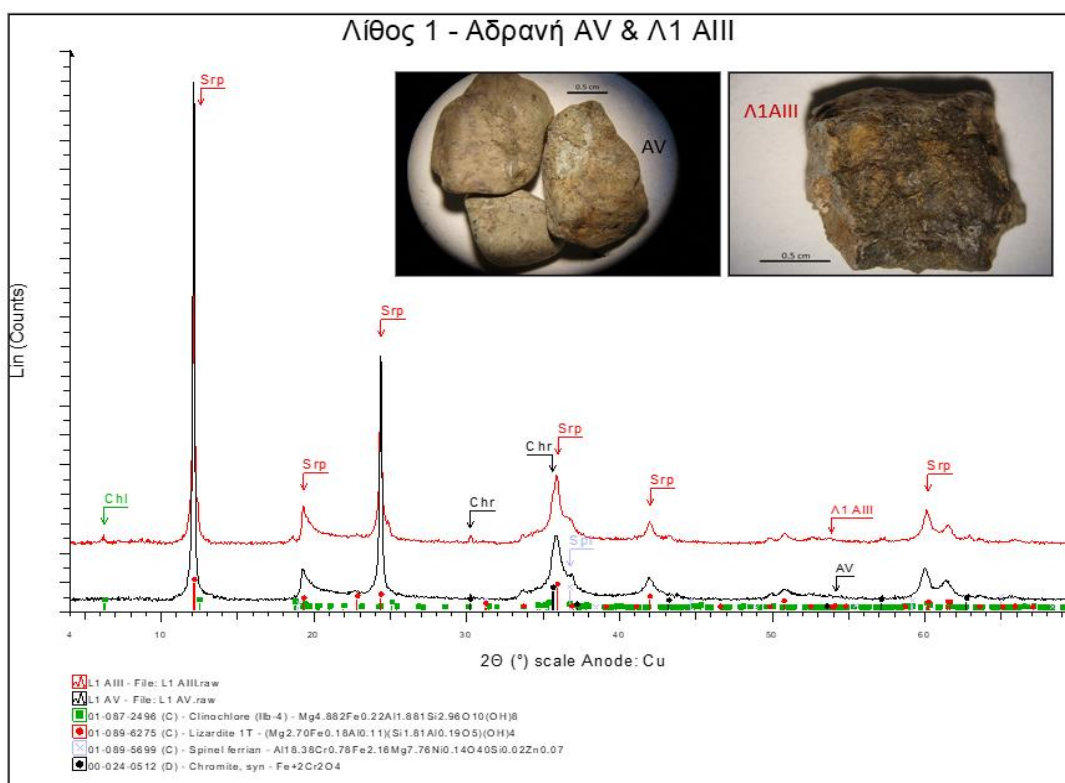
διαδικασίας εξαλλοίωσης του αρχικού πετρώματος, παρουσιάζουν μεγαλύτερη σκληρότητα από εκείνη του σερπεντίνη. Συνεπώς, η αντοχή των υπερβασικών πετρωμάτων μειώνεται, καθώς αυξάνεται η σερπεντινίωση. Η παρουσία νέων φάσεων και πόρων στα όρια των κόκκων του ολιβίνη εξαιτίας της σερπεντινίωσης, οδηγεί στη μείωση της συνεκτικής δύναμης στο στερεό πλαίσιο του πετρώματος (Ρηγόπουλος, 2009). Συνεπώς, η ορυκτολογική σύσταση των αδρανών που απαρτίζουν τη κύρια μάζα του Λίθου 1, αναμένεται να επηρεάζει σημαντικά και τα μηχανικά του χαρακτηριστικά.



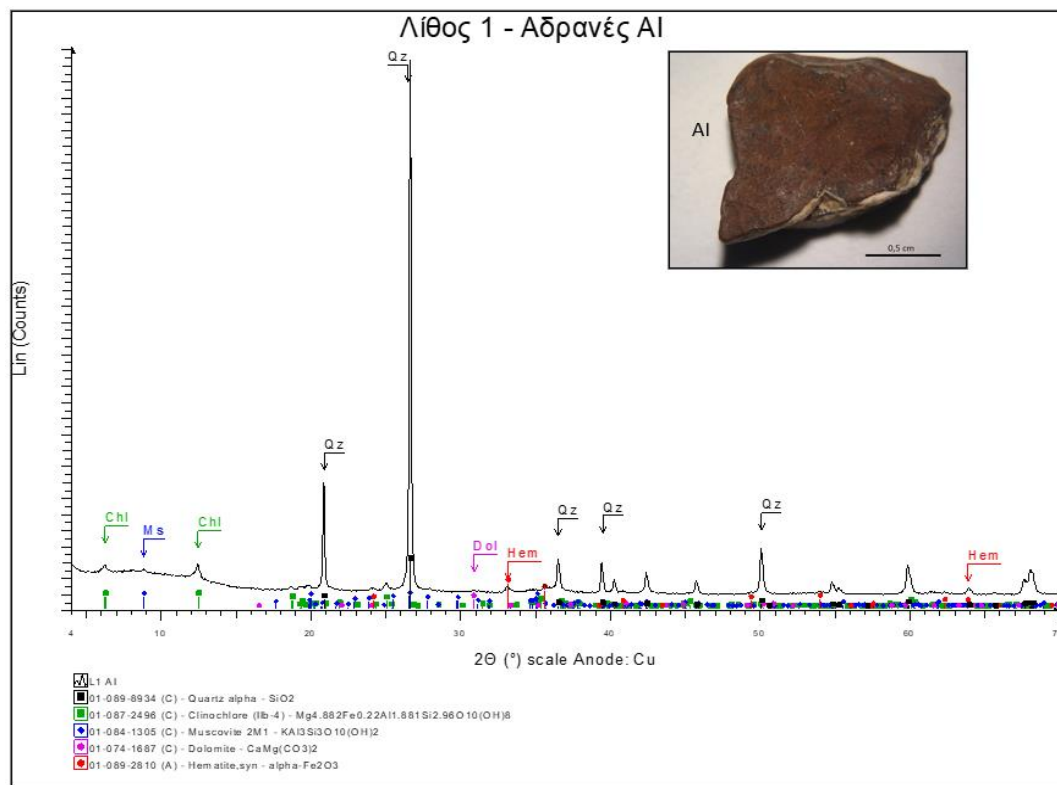
Εικόνα 28. Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – Χ (XRD), από την ορυκτολογική ανάλυση των αδρανών με κωδικούς AIV και AIII του λίθου δόμησης Λ1. *Srp*: σερπεντίνης, *Cc*: ασβεστίτης, *Spl*: σπινέλιος, *Chr*: χρωμίτης.



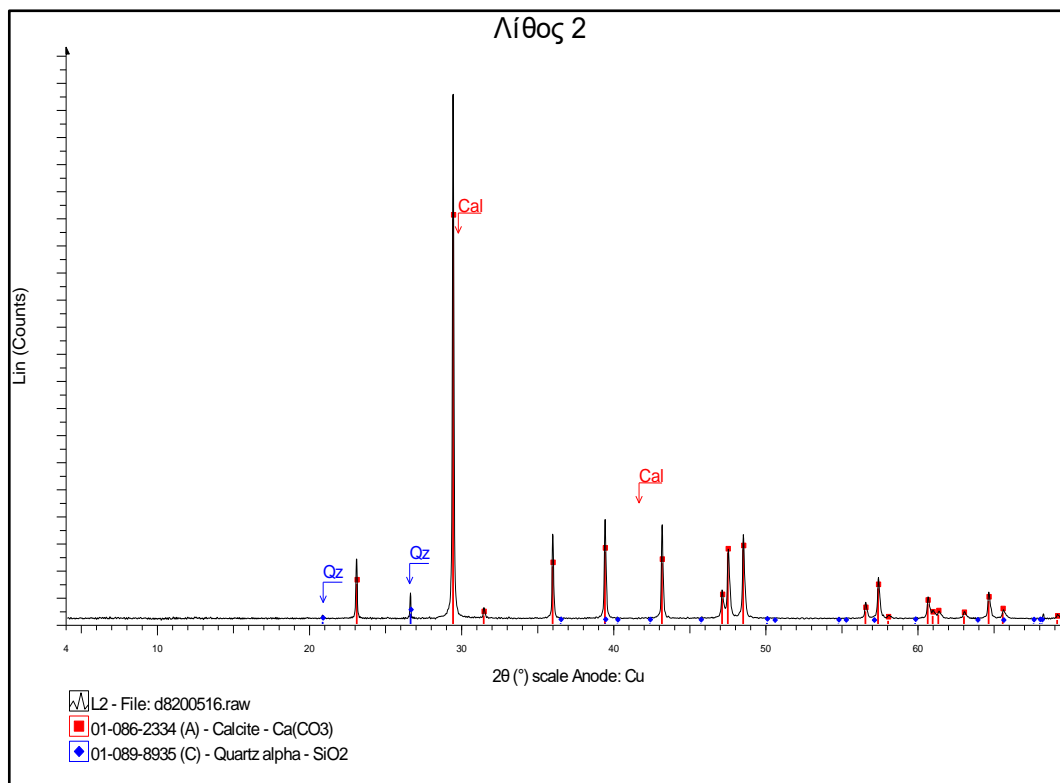
Εικόνα 29. Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – X (XRD), από την ορυκτολογική ανάλυση των αδρανών με κωδικούς AII του λίθου δόμησης Λ1. *Spl*: σπινέλιος, *Srp*: σερπεντίνης, *Amp*: αμφίβολος, *Ορπ*: ορθοπυρόξενος, *Qz*: χαλαζιάς.



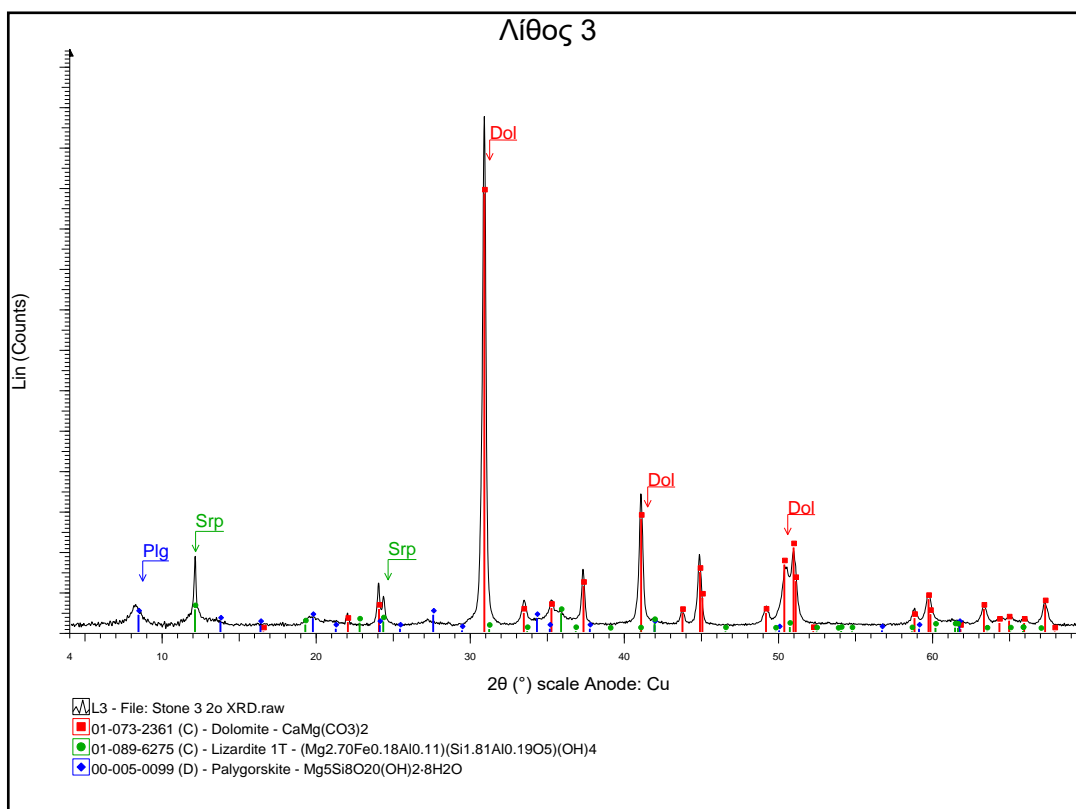
Εικόνα 30. Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – X (XRD), από την ορυκτολογική ανάλυση των αδρανών με κωδικούς AV και Λ1 AIII του λίθου δόμησης Λ1. *Srp*: σερπεντίνης, *Chr*: χρωμίτης, *Spl*: σπινέλιος, *Chl*: χλωρίτης.



Εικόνα 31. Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – Χ (XRD), από την ορυκτολογική ανάλυση των αδρανών με κωδικούς ΑΙ του λίθου δόμησης Λ1. Qz: χαλαζίας, Chl: χλωρίτης, Ms: μοσχοβίτης, Dol: δολομίτης, Hem: αιματίτης.



Εικόνα 32. Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – Χ (XRD), από την ορυκτολογική ανάλυση του λίθου δόμησης Λ2. Cal: ασβεστίτης, Qz: χαλαζίας.



Εικόνα 33. Ακτινοδιάγραμμα περιθλασίμετρίας κόνεως ακτίνων – Χ (XRD), από την ορυκτολογική ανάλυση του λίθου δόμησης Λ3. *Dol*: δολομίτης, *Srp*: σερπεντίνης, *Plg*: παλυγορσκήτης.

4.3.3 Αποτελέσματα της μελέτης Φασματοσκοπίας ακτίνων-Χ φθορισμού, (XRF)

Οι χημικές αναλύσεις των δειγμάτων των Λίθων παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 1 που ακολουθεί. Οι περιεκτικότητες των δειγμάτων σε διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) κυμαίνονται από 1,61% (Λίθος 2) έως και 24,53% (Λίθος 1). Τα υψηλότερα ποσοστά που ανιχνεύθηκαν στα δείγματα των Λίθων 1 & 3, οφείλονται στην παρουσία του σερπεντίνης σε διαφορετικά ποσοστά στη σύστασή τους. Επιπρόσθετα, στην περίπτωση του Λίθου 1 σημαντική υπήρξε και η παρουσία χαλαζία στο δείγμα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης. Χαλαζίας σε μικρό ποσοστό ανιχνεύτηκε και στην περίπτωση του Λίθου 2, δικαιολογώντας το μικρό ποσοστό σε SiO_2 που περιέχεται στο δείγμα.

Όσον αφορά τις περιεκτικότητες των δειγμάτων σε οξειδίου του ασβεστίου (CaO) και οξείδιο του μαγνησίου (MgO) και αυτές σχετίζονται άμεσα με την ορυκτολογία των

λίθων. Ο ασβεστόλιθος (Λ2) έχει υψηλή περιεκτικότητα σε CaO (54,37%), ενώ τα υπόλοιπα δυο δείγματα υψηλά ποσοστά σε MgO (19,79% ο Λίθος 1 και 24,50% ο Λίθος 3, αντίστοιχα), δεδομένης της παρουσίας στη σύστασή τους ορυκτών πλούσιων σε οξείδιο του μαγνησίου όπως ο σερπεντίνης, οι φάσεις πυροξένων αλλά και ο παλυγορσκήτης. Στα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης των Λίθων 1 & 3, σημειώνεται η παρουσία μικρών ποσοστών σε NiO και Cr₂O₃, οξείδια που απαντώνται συχνά στη σύσταση πετρωμάτων βασικής και υπερβασικής σύστασης. Συνεπώς, τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης των Λίθων παρουσιάζουν πολύ καλή συνάφεια με εκείνα της ορυκτολογικής ανάλυσης των δειγμάτων που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

Πίνακας 8. Χημική ανάλυση των δειγμάτων Λίθων που εξετάστηκαν.

Δείγματα	Κύρια στοιχεία (% κ.β.)														
	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂	NiO	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	Απώλεια πύρωσης	Σύνολο
Λίθος 1	24,53	20,67	19,79	1,9	0,8	0,38	0,34	0,08	0,1	0,12	0,70	0,16	-	32,19	101,76
Λίθος 2	1,61	54,37	0,52	0,22	1,08	0,12	0,08	0,01	-	-	-	-	-	42,01	100,02
Λίθος 3	11,60	23,22	24,50	1,33	1,43	0,07	0,03	0,04	-	0,09	0,06	-	-	38,66	101,03

4.3.4 Αποτελέσματα της μελέτης προσδιορισμού υδατοαπορροφητικότητας

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη μελέτη προσδιορισμού της υδατοαπορροφητικότητας των λίθων. Ο Λίθος 1 έχει τη μεγαλύτερη τιμή υδατοαπορροφητικότητας από τα εξεταζόμενα δείγματα (8,31 % κ.β.). Η παρατήρηση αυτή βρίσκεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της μακροσκοπικής περιγραφής του δείγματος καθώς η δομή του λίθου χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη πόρων και κενών ανάμεσα στα ευμεγέθη αδρανή που παρουσιάζονται στην κύρια μάζα του. Το πορώδες των λίθων αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει άμεσα τις τιμές της υδατοαπορροφητικότητας μιας και όσο πιο μεγάλο πορώδες έχει ο λίθος, τόσο πιο μεγάλη απορροφητικότητα παρουσιάζει (Χρηστάρας, 2003).

Πίνακας 9. Αποτελέσματα από τη μελέτη Υδατοαπορρόφησης των δειγμάτων Λίθων της τοιχοποιίας.

Δείγματα	Υδατοαπορροφητικότητα (% κ.β.)			
	Αρχικό βάρος (γρ.)	Τελικό βάρος (γρ.)	Υδατοαπορροφητικότητα	Μ.Ο.
Λίθος 1 Ι	653	708	8,42	8,31
Λίθος 1 ΙΙ	353	382	8,21	
Λίθος 2 Ι	273	286	4,76	4,87
Λίθος 2 ΙΙ	1945	2042	4,98	
Λίθος 3 Ι	647	687	6,18	6,30
Λίθος 3 ΙΙ	289	298	6,42	

Αντίθετα, ο Λίθος 2 ενώ μακροσκοπικά παρουσιάζει κυψελώδη μορφή, το ενεργό πορώδες του δεν είναι μεγάλο. Οι πόροι στην κύρια μάζα του είναι πολυπληθείς, αλλά κλειστοί καθώς δεν έχουν καμία μεταξύ τους σύνδεση, δεν είναι εύκολα διαπερατοί από κάποιο ρευστό και ως εκ τούτου ο Λίθος 2 παρουσιάζει την μικρότερη συγκριτικά όπως αναμενόταν τιμή υδατοαπορροφητικότητας ως προς τα υπόλοιπα δείγματα (4,87 % κ.β.). Τέλος ο Λίθος 3 παρουσιάζει μια ενδιαμέση τιμή υδατοαπορροφητικότητας (6,30 % κ.β.), η οποία είναι και αναμενόμενη καθώς ο συγκεκριμένος λίθος ενώ είναι αρκετά συμπαγής και με υφή στην οποία απουσιάζουν οι ευμεγέθεις κόκκοι ή πόροι, παρουσιάζει αρκετές ρηγματώσεις στην μάζα του.

Λίθοι οι οποίοι παρουσιάζουν μικρές τιμές υδατοαπορροφητικότητας, παρουσιάζουν και μεγαλύτερη αντοχή στη διαβρωτική δράση του νερού. Αυτό παρατηρείται και στην περίπτωση των λίθων της τοιχοποιίας του Μεσαιωνικού τείχους, όπου είναι φανερό πως η επίδραση φαινομένων φθοράς που σχετίζονται με την έκθεση του μνημείου σε ατμοσφαιρικούς παράγοντες όπως η βροχή, είναι σαφώς περισσότερο ορατή σε σημεία που φιλοξενούν λίθους παρόμοιους με το Λίθο 1, ενώ στους Λίθους 2 & 3 παρουσιάζονται σε μεμονωμένα σημεία, κυρίως εξωτερικές φθορές που σχετίζονται κυρίως με βιολογικές επικαθίσεις στην επιφάνεια των λίθων (άλγη, μύκητες κ.α.).

4.3.5 Αποτελέσματα της μελέτης Προσδιορισμού της μηχανικής αντοχής των Λίθων

Παράμετροι που επηρεάζουν σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων αποτελούν: α) η υφή ενός πετρώματος και πιο συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με το μέγεθος των κόκκων, τη διαβάθμισή τους και τη μορφή τους, β) η ορυκτολογική του σύσταση, γ) το πορώδες, και δ) γενικά στοιχεία της μικροδομής τους (ύπαρξη ή όχι ασυνεχειών) κ.α. (Meng & Pan, 2007). Το μέγεθος των κόκκων ειδικότερα, είναι μια σημαντική παράμετρος που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη μηχανική συμπεριφορά των λιθοσωμάτων, αλλά και τις φυσικές τους ιδιότητες. Στα ιζηματογενή πετρώματα το μέγεθος των κόκκων αποτελεί θεμελιώδη ιδιότητα, που επηρεάζει τόσο τρόπο δημιουργία τους αλλά και τα γενικά τους χαρακτηριστικά (Blott & Pye, 2001).

Τα αποτελέσματα της δοκιμής σκληρότητας αναπήδησης με τη σφύρα Schmidt, έδειξαν ότι ο μέσος όρος τιμών αντοχών των τριών λίθων είναι **12 MPa** για τον **Λίθο 1**, **55 MPa** για τον **Λίθο 2** και **52 MPa** για τον **Λίθο 3**, αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές δείχνουν να βρίσκονται σε καλή συσχέτιση με τα γενικά χαρακτηριστικά των τριών λίθων που εξετάστηκαν. Πιο συγκεκριμένα, το δείγμα του ασβεστόλιθου και του δολομίτη δεν παρουσιάζουν μακροσκοπικά ορατά σημεία αποσάθρωσης ή εξαλλοίωσης και χαρακτηρίζονται “υγιή” πετρώματα. Αντίθετα ο Λίθος 1, απαρτίζεται σε μεγάλο βαθμό από κροκαλοπαγή τεμάχια η σύσταση των οποίων είναι τέτοια, που όπως αναφέρθηκε νωρίτερα στις παρατηρήσεις των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής τους ανάλυσης, επηρεάζουν σημαντικά τα μηχανικά χαρακτηριστικά του. Επίσης είναι ορατά σημάδια εξαλλοίωσης και αποχρωματισμού στην κύρια μάζα του, που σχετίζονται με την αλλοίωση της δομής των ορυκτών που περιέχονται στους μεγάλους κόκκους αδρανών που αυτό περιέχει. Συνεπώς, ο σχηματισμός αυτός χαρακτηρίζεται και εμφανίζεται ως “ελαφρώς αποσαθρωμένος” σε αρκετά σημεία, γεγονός που δικαιολογεί και την μικρότερη τιμή αντοχών που προέκυψε από τις δοκιμές. Σχετικά με τον ιστό και την υφή των λίθων, οι Λίθοι 2 & 3 έχουν μια αρκετά συμπαγή και συνεκτική δομή και μια υφή που χαρακτηρίζεται από τη λεπτόκοκκη κατανομή κόκκων ασβεστίτη και δολομίτη αντίστοιχα, στην κύρια μάζα τους. Όσον αφορά το σχετικό μέγεθος των κόκκων, η διαβάθμιση αυτών είναι εξαιρετικά ομοιόμορφη στην περίπτωση του λευκότεφρου μικροκρυσταλλικού ασβεστόλιθου και αρκετά ομοιόμορφη στην περίπτωση του λίθου δολομιτικής σύστασης, στην κύρια μάζα του οποίου παρατηρούνται επίσης

υπολειμματικοί κόκκοι από άλλα πετρώματα και διάσπαρτες μικρορωγματώσεις που δεν επηρεάζουν τη συνάφεια του λίθου, αλλά φαίνεται πως σχετίζονται με την ελαφρά μικρότερη τιμή αντοχής που προέκυψε από τη δοκιμή σκληρότητας. Στα διάφορα συστήματα ταξινόμησης της αντοχής ενός άρρηκτου πετρώματος, το πέτρωμα χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά ασθενές έως εξαιρετικά ισχυρό ανάλογα με την αντοχή του σε μονοαξονική θλίψη, η οποία είτε προσδιορίζεται άμεσα από δοκιμές μονοαξονικής θλίψης, είτε εκτιμάται από έμμεσες δοκιμές όπως αυτή που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Επίσης, μπορεί να εκτιμηθεί χονδρικά από τα χτυπήματα που απαιτούνται για τη θραύση του πετρώματος με ένα γεωλογικό σφυρί. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω αποτελέσματα και παρατηρήσεις και σύμφωνα με την ταξινόμηση της ISRM (1978) που κατατάσσει τα διάφορα πετρώματα σε επτά κατηγορίες ανάλογα με την αντοχή τους (από εξαιρετικά ασθενή R0, έως εξαιρετικά ισχυρά R6), η κατηγοριοποίηση των τριών λίθων όσον αφορά τη σκληρότητά τους είναι: α) Λίθος 1 – Μέτρια μαλακός λίθος (κατηγορία R2 κατά ISRM) και β) Λίθοι 2 & 3 – Σκληροί λίθοι (κατηγορία R4 κατά ISRM).

4.4 Αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων των κονιαμάτων

Ακολουθούν τα αποτελέσματα των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν με σκοπό τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων για τα δείγματα κονιαμάτων από τμήματα της τοιχοποιίας του Μεσαιωνικού τείχους της Θήβας. Ιστορικά κονιάματα, όπως αυτά που μελετήθηκαν και στην παρούσα εργασία, μετά την έκθεσή τους σε εξωγενείς και ενδογενείς παράγοντες εμφανίζουν ίχνη διάβρωσης. Με τον όρο “διάβρωση”, ορίζεται η σταδιακή απώλεια των φυσικοχημικών και μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού, καθώς και η αλλοίωση της ορυκτολογικής και χημικής του σύστασης. Οι παράγοντες διάβρωσης είτε προέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον του κονιάματος, δηλαδή είναι εξωγενείς, είτε είναι ενδογενείς, δηλαδή προέρχονται από το ίδιο το υλικό (Sabbioni et al., 2001).

Τα κυριότερα φαινόμενα φθοράς των ιστορικών κονιαμάτων κατατάσσονται γενικά ως ακολούθως (Μοροπούλου, 2016):

- Μηχανική φθορά: Αφορά στη μηχανική χαλάρωση των δομών του κονιάματος και το διαχωρισμό των συστατικών του υλικού,
- Χημική φθορά: Περιλαμβάνει διεργασίες που σχετίζονται με την κρυστάλλωση αλάτων, τη δημιουργία όξινης ανθρακικής και άλλους είδους κρούστας στις επιφάνειες των κονιαμάτων και άλλους είδους αντιδράσεις που συμβαίνουν στο υλικό υπό την επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων ή λόγω θερμοδυναμικής αστάθειας ορισμένων συστατικών του υλικού,
- Βιολογική φθορά: Αφορά στην επίδραση διαφόρων οργανισμών στα υλικά και σχετίζεται με τις δυο προαναφερθείσες κατηγορίες φθοράς. Η επίδραση της βιολογικής διάβρωσης προκαλεί φυσικοχημικές διεργασίες που είτε οδηγούν στην αποδόμηση του υλικού, είτε δρουν καταλυτικά στους μηχανισμούς διάβρωσης

Στην περίπτωση του Μεσαιωνικού τείχους της Θήβας, η επίδραση των ανωτέρω παραγόντων στη φθορά που έχουν υποστεί τα συνδεδετικά κονιάματα της **ημιλαξευτής λιθοδομής** στα διάφορα τμήματα της τοιχοποιίας του μνημείου είναι εμφανής (Εικόνες 1 & 2). Σε πολλά σημεία της τοιχοποιίας παρατηρείται πως στους αρμούς ανάμεσα στους δομικούς λίθους, τα συνδεδετικά κονιάματα έχουν καθαιρεθεί πλήρως.

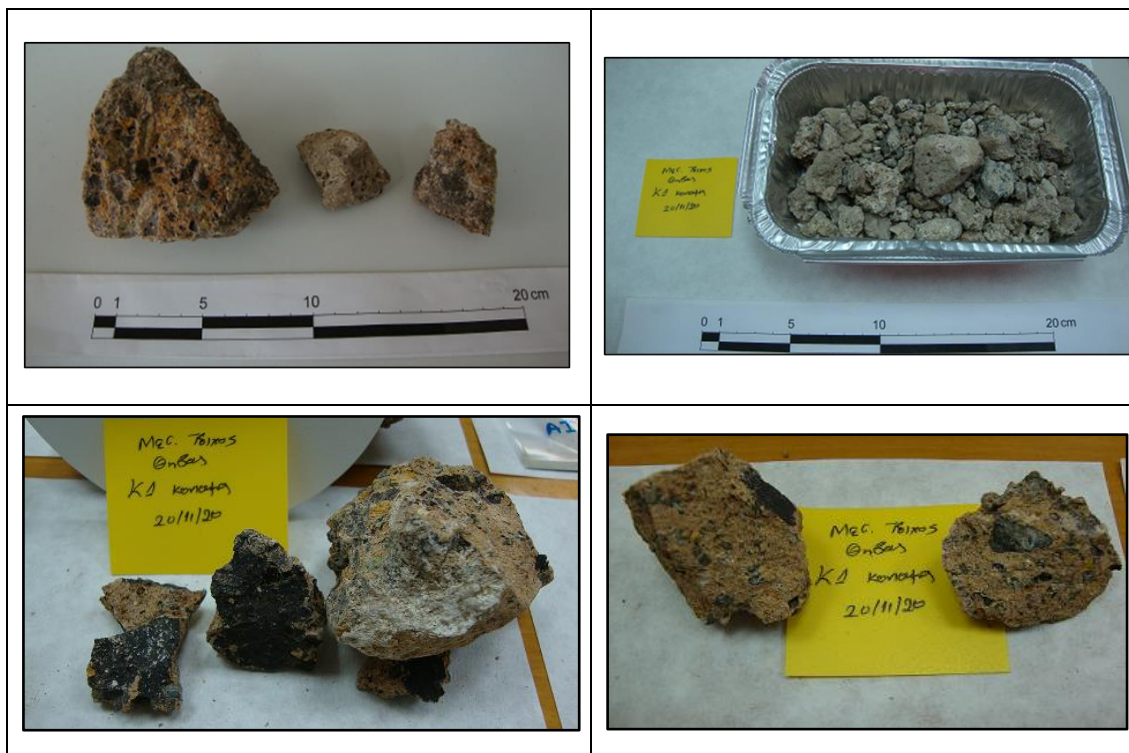
4.4.1. Μακροσκοπική περιγραφή

Στην ενότητα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα δείγματα των κονιαμάτων τα οποία μελετήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Τα κονιάματα 1 και 2 συνοδεύτηκαν και από χύδην δείγματα που συλλέχθηκαν από τα σημεία δειγματοληψίας των συγκεκριμένων κονιαμάτων.

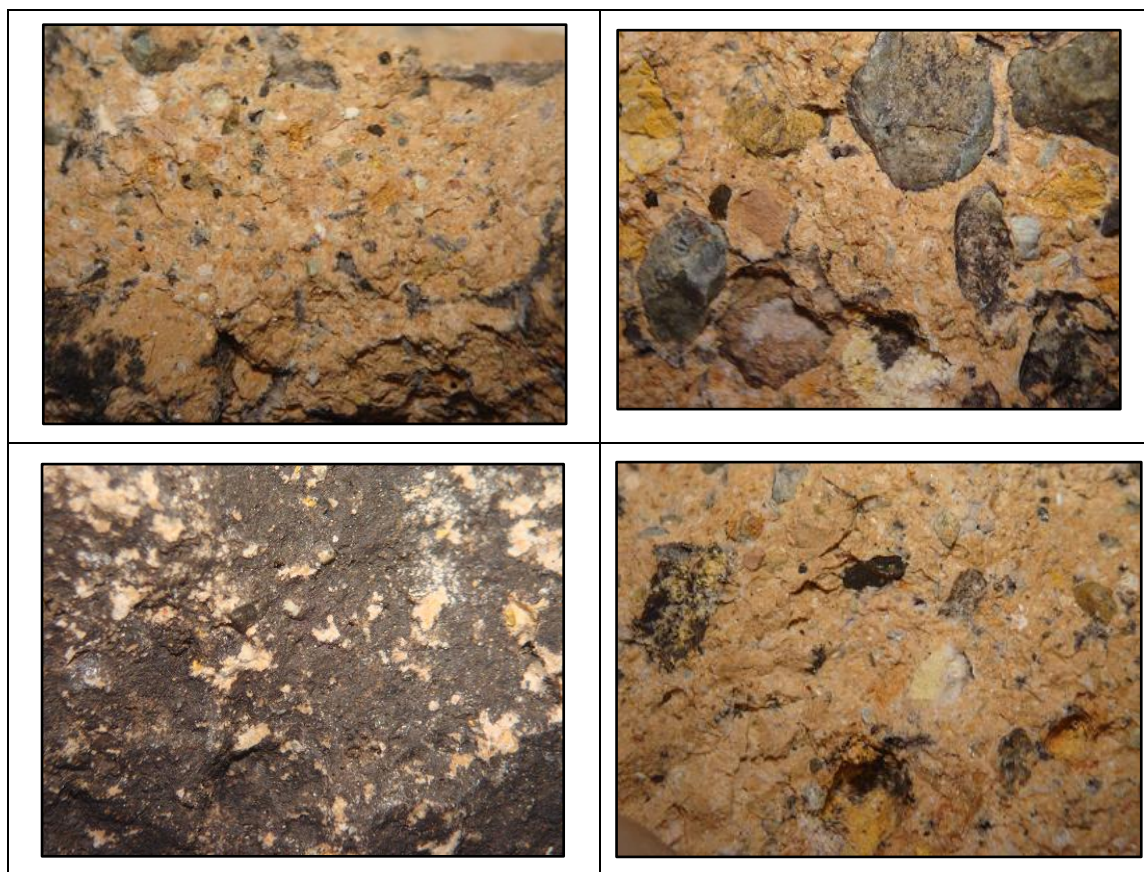
Το Κονίαμα 1 (Εικόνα 34), αποτελείται από μικρού μεγέθους στην πλειοψηφία τους κόκκων αδρανών το σχήμα των οποίων είναι κυρίως αποστρογγυλεμένο και είναι ορατοί στην μικροπορώδη δομή του δείγματος. Συγκριτικά με τα υπόλοιπα τρία δείγματα, τα αδρανή υλικά καλύπτουν το μικρότερο ποσοστό της κύριας μάζας του δείγματος, η οποία έχει μια ροδέρυθρη απόχρωση, παραπλήσια με εκείνη της συνδετικής μάζας των άλλων δυο δειγμάτων (Κ2 & 3), αλλά και εκείνης που παρατηρήθηκε στα δείγματα των Λίθων 1 & 3. Το κονίαμα παρουσιάζει μέτρια προς αρκετά καλή συνεκτικότητα, καθώς θρυμματίζεται με την άσκηση μεγαλύτερης δύναμης από εκείνη που απαιτήθηκε για το διαχωρισμό του Λίθου 1 στα επί μέρους συστατικά του. Τα αδρανή που το απαρτίζουν είναι κυρίως μαύρο-πράσινου και τεφρού χρώματος και κατά τόπους υπάρχουν επιφάνειες που παρουσιάζουν μια χροιά παραπλήσια με εκείνη που έχουν οι λειμωνιτικές ώχρες. Στην εξωτερική-εκτεθειμένη επιφάνεια του δείγματος είναι ορατή η παρουσία μιας κρούστας μαύρης απόχρωσης (Εικόνα 35). Οι κρούστες αυτές αποτελούν ένδειξη επιφανειακής φθοράς και σχετίζονται με την προσρόφηση από την επιφάνεια της περιεχόμενης αερικής κονίας στα κονιάματα, μαύρων σωματιδίων αιθάλης, H/C και άλλων σωματιδίων ατμοσφαιρικής προέλευσης, που δρουν ως ενεργοί καταλύτες μετασχηματισμού της κονίας (ασβεστιτικής ή δολομιτικής σύστασης) σε προϊόντα αντιδράσεων που παρουσιάζουν αυτή τη χαρακτηριστική μορφή.

Το Κονίαμα 2 (Εικόνα 36) αποτελείται από πληθώρα κόκκων αδρανών, οι οποίοι είναι ποικίλου μεγέθους και εμφανίζονται με αποστρογγυλεμένο αλλά και πεπλατυσμένο σχήμα. Το χρώμα της κύριας μάζας του έχει επίσης μια ροδέρυθρη απόχρωση, ενώ σε πολλά σημεία είναι ορατός ο αποχρωματισμός και οι επιφάνειες εξαλλοίωσης σε ευμεγέθεις κυρίως κόκκους από τα περιεχόμενα αδρανή υλικά (κόκκοι κατακερματισμένοι και κενά στην κύρια μάζα από την έλλειψη συνάφειας συνδετικής κονίας με τα αδρανή που παρουσιάζουν μια καφεκίτρινη απόχρωση . Χαρακτηριστικό

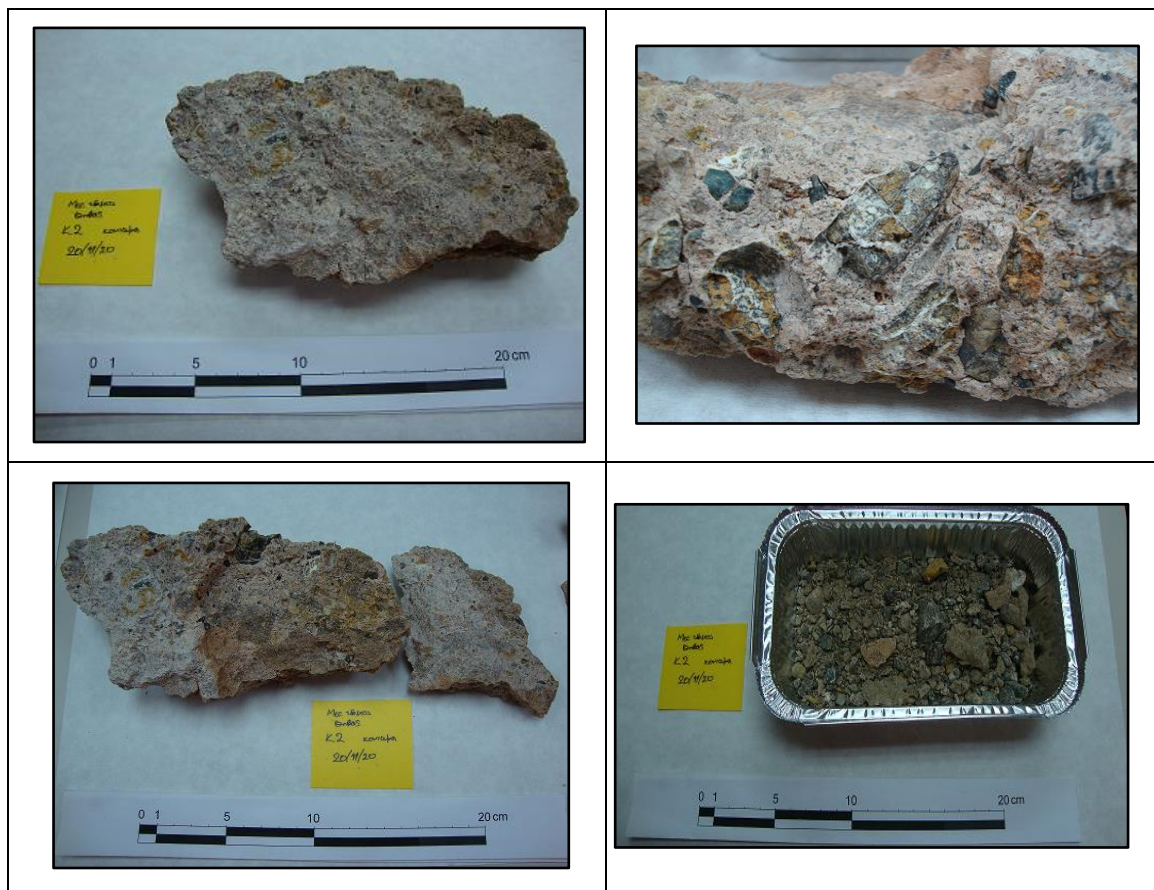
της φθοράς που παρουσιάζει το κονίαμα, είναι η αποκόλληση τμήματος του κονιάματος κατά το στάδιο της μακροσκοπικής του παρατήρησης (Εικόνα 36).



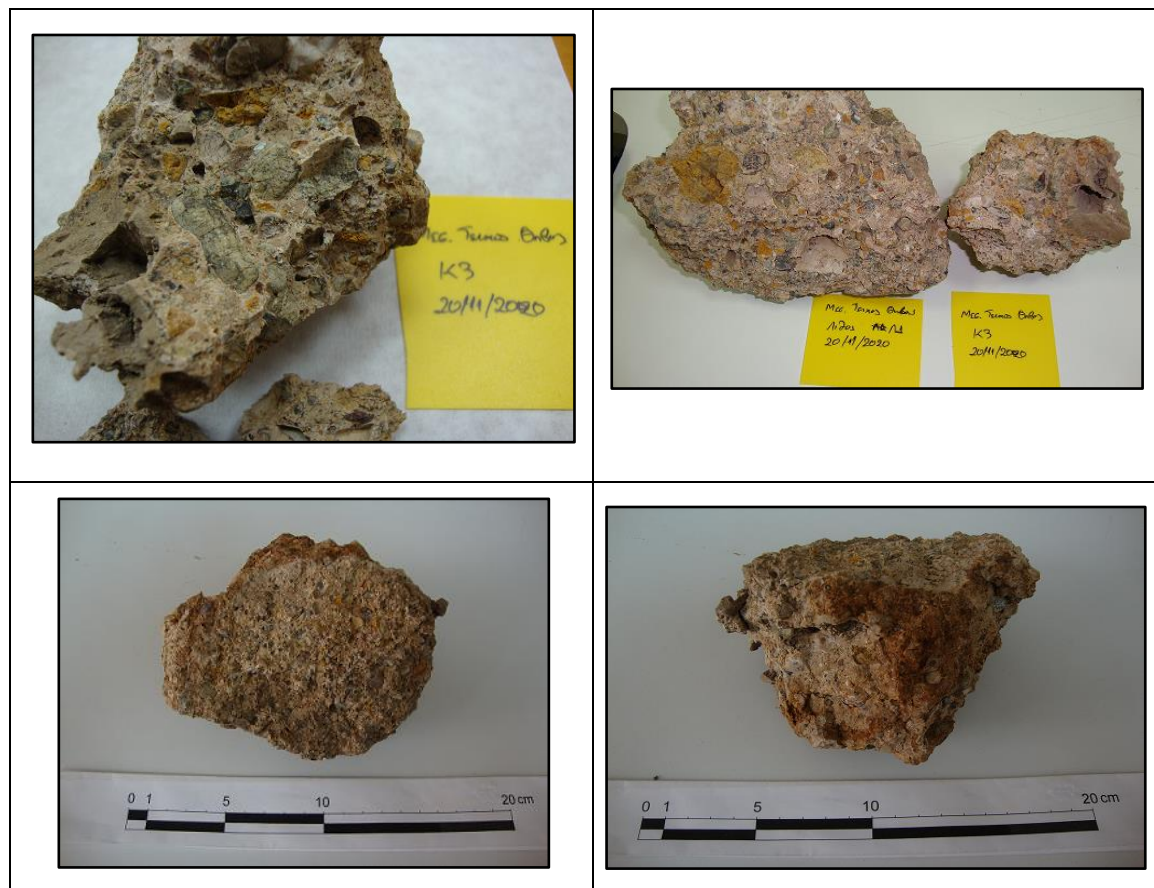
Εικόνα 34. Φωτογραφίες από τη μακροσκοπική παρατήρηση του Κονιάματος 1 (Κ1).



Εικόνα 35. Φωτογραφίες από την παρατήρηση του Κονιάματος 1 στο στερεοσκόπιο (Κ1).



Εικόνα 36. Φωτογραφίες από τη μακροσκοπική παρατήρηση του Κονιάματος 2 (K2).



Εικόνα 37. Φωτογραφίες από τη μακροσκοπική παρατήρηση του Κονιάματος 3 (K3).

Το δείγμα που απεστάλη με την κωδική ονομασία Κονίαμα 3 (Εικόνα 37), παρουσιάζει μακροσκοπικά μεγάλη ομοιότητα με το Λίθο 1. Στο δείγμα αυτό ελήφθη ποσότητα υλικού από τη συνδετική κονία με σκοπό να πραγματοποιηθούν οι ορυκτολογικές και χημικές αναλύσεις αλλά δεν πραγματοποιήθηκε κοκκομετρική ανάλυση, διότι τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών που παρουσιάζονται στη συνέχεια, εδραίωσαν το συμπέρασμα πως το υλικό αυτό αποτελεί τμήμα της χειμαρρώδεις ποτάμιας απόθεσης που υπάρχει στην ευρύτερη περιοχή η οποία αποτελείται από λίθους κροκαλοπαγών ταυτόσημων με τον Λίθο 1 (βλ. παραγράφους 1.5 & 4.3.1), το οποίο και χρησιμοποιήθηκε σε μεταγενέστερη φάση για την πλήρωση κενών τοιχοποιίας που δημιουργήθηκαν από τις φθορές που υπέστησαν τα πρωταρχικά κονιάματα δόμησης.

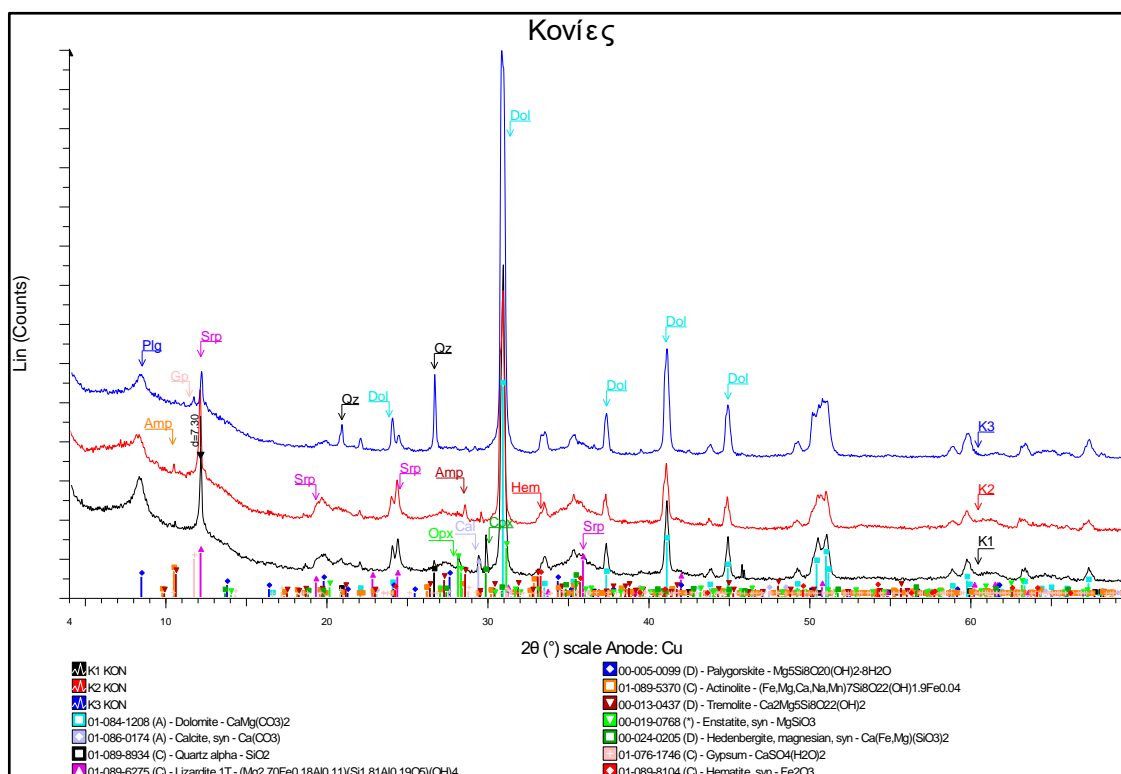
4.4.2 Αποτελέσματα της μελέτης Περιθλασιμετρίας ακτινών-X (XRD)

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται αρχικά τα αποτελέσματα από την ορυκτολογική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα κονιάματα που αφορά το κλάσμα της συνδετικής κονίας αυτών, δηλαδή εκείνο με μέγεθος μικρότερο από τα 63 μm (Εικόνα 38), όπως αυτό προέκυψε από τις κοκκομετρικές αναλύσεις των δειγμάτων τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στη συνέχεια. Για το Κονίαμα 3, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, έγινε προσεκτική λειοτρίβηση και αποχωρισμός των τεμαχίων αδρανών από την κύρια μάζα του δείγματος, και στο λεπτομερές δείγμα της συνδετικής ύλης πραγματοποιήθηκε ορυκτολογική και χημική ανάλυση (ανάλογη προετοιμασία με εκείνη που ακολουθήθηκε για την ανάλυση του Λίθου 1).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης, είναι φανερό πως η φάση του δολομίτη κυριαρχεί και στα τρία αναλυθέντα δείγματα. Άρα τα παρόντα δείγματα αποτελούν αερικά κονιάματα για την παρασκευή των οποίων χρησιμοποιήθηκε μια κονία δολομιτικής σύστασης (αερική κονία). Ανάλογου τύπου αερικά κονιάματα δε συναντώνται συχνά σε ιστορικές τοιχοποιίες. Η εξήγηση για την ανωτέρω παρατήρηση δίδεται στο γεγονός της ύπαρξης μεγάλης έκτασης σχηματισμών που φιλοξενούν ανθρακικά πετρώματα δολομιτικής σύστασης (δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες) σε περιοχές πλησίον της πόλης της Θήβας, τα οποία πρέπει να χρησιμοποιήθηκαν ως πρώτες ύλες με την έψηση των οποίων παρήχθη η κονία που

χρησιμοποιήθηκε για τη σύνθεση των κονιαμάτων που απαντώνται στους αρμούς της λιθοδομής του τείχους.

Πέραν της φάσης του δολομίτη, δευτερεύοντα ορυκτολογικά συστατικά που ανιχνεύτηκαν στα δείγματα που αναλύθηκαν περιλαμβάνουν: χαλαζία και γύψο στο δείγματα K2 & 3, ασβεστίτη και φάσεις πυροξένων στο δείγμα K3 (κλινοπυρόξενος με την κύρια ανάκλαση σε d 2,99 Å και ορθοπυρόξενος με τη χαρακτηριστική ανάκλαση σε d 3,17 Å), αιματίτη (d 2,69 Å) και κρυσταλλικές φάσεις αμφιβόλων στο K2. Όλες οι προηγούμενες φάσεις μαζί με εκείνη του σερπεντίνης που είναι παρούσα σε όλα τα ακτινογραφήματα των δειγμάτων, προέρχονται από μέρος λεπτομερούς κλάσματος των αδρανών υλικών που περιέχουν τα κονιάματα, που πέρασε στο κλάσμα της κονιάς κατά τη διάρκεια των κοκκομετρικών αναλύσεων.



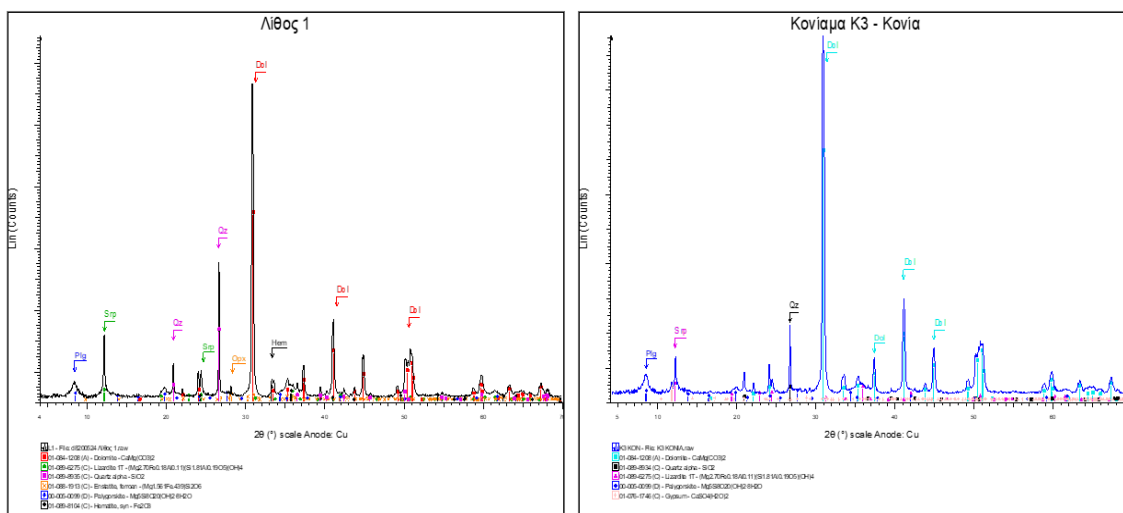
Εικόνα 38. Ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – X (XRD), από την ορυκτολογική ανάλυση των κονιών των δειγμάτων K1, K2 & K3. Dol: δολομίτης, Cal: ασβεστίτης, Qz: χαλαζίας, Srp: σερπεντίνης (λιζαρδίτης), Plg: παλυγορσκήτης, Amp: ακτινόλιθος, Amp: τρεμολίτης, Opx: ορθοπυρόξενος (ενστατίτης), Crx: κλινοπυρόξενος (εδεβεργίτης), Grp: γύψος, Hem: αιματίτης

Πρέπει επίσης να σημειωθεί πως σε όλα τα δείγματα που αναλύθηκαν ανιχνεύτηκε η ορυκτολογική φάση του παλυγορσκήτη, η χαρακτηριστική κύρια ανάκλαση σε d 10,55 Å είναι ευδιάκριτη σε όλα τα ακτινογραφήματα. Ο παλυγορσκήτης ανήκει στην κατηγορία των ένυδρων αργλικών φυλλοπυριτικών ορυκτών, πλούσιο σε μαγνήσιο. Η

παρουσία της φάσης αυτής στα συγκεκριμένα δείγματα σχετίζεται με την βασική ορυκτολογική σύσταση των κονιαμάτων τόσο στο μέρος της κονιάς (παρουσία του δολομίτη στη συνδετική κονία), όσο και εκείνη που σχετίζεται με το είδος των αδρανών υλικών που αυτά περιέχουν. Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες η διάλυση του δολομίτη αποτελεί μια εναλλακτική “διαγενετική οδό” για το σχηματισμό παλυγορσκίτη (Brooks et al., 2019). Από άλλους ερευνητές αναφέρεται πως ο παλυγορσκίτης μπορεί να προκύψει από διαδικασίες που σχετίζονται με την εξαλλοίωση ορυκτών της ομάδας του σερπεντίνη (Dhannoun & Al-Dabbagh, 1988). Πιστεύεται πως οι διεργασίες αυτές έχουν λάβει χώρα και στην περίπτωση των επί μέρους υλικών που απαρτίζουν τα κονιάματα που αναλύθηκαν εργαστηριακά (κονίες και αδρανή), οι οποίες οδήγησαν στη δημιουργία της φάσης του παλυγορσκίτη.

Η παρουσία γύψου $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ στα ακτινογραφήματα των δειγμάτων K2 & 3, σχετίζεται με την ύπαρξη μιας επιφάνειας λευκής απόχρωσης (κρούστας) που παρατηρήθηκε μακροσκοπικά στα κονιάματα αυτά (Εικόνες 36 & 37), η οποία είναι αποτέλεσμα μιας ακόμα διεργασίας που υποδηλώνει φαινόμενα φθοράς στα κονιάματα και σχετίζεται με τη γυψοποίηση των επιφανειών αυτών (διαδοχική διάλυση των ανθρακικών ορυκτών ασβεστίτη και δολομίτη από την όξινη βροχή και το μετασχηματισμό μέρους αυτών σε γύψο).

Τέλος, στην Εικόνα 39 μπορεί να γίνει μια σύγκριση των αποτελεσμάτων που έδωσε η ορυκτολογική ανάλυση για το Λίθο 1 και το λεπτομερές κλάσμα του δείγματος που απεστάλη ως Κονίαμα 3. Η ταύτιση των αποτελεσμάτων ενισχύει την παρατήρηση που έγινε και νωρίτερα πως το δείγμα αυτό δεν πρόκειται για κονίαμα αρμολόγησης, αλλά για τμήμα Λίθου που τοποθετήθηκε μεταγενέστερα για να καλύψει κενό της τοιχοποιίας.



Εικόνα 39. Συσχέτιση του ακτινοδιαγράμματος του Λίθου 1 με εκείνο το Κονιάματος 3.

Ακολουθούν τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε σε χαρακτηριστικά και αντιπροσωπευτικά τεμάχια αδρανών υλικών τα οποία διαχωρίστηκαν από την κύρια μάζα των Κονιαμάτων 1 & 2, με την υγρή κοκκομετρική ανάλυση. Στις Εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται και φωτογραφίες από τα αδρανή υλικά, μετά την παρατήρησή τους στο στερεοσκόπιο.

Στις Εικόνες 40 & 41, παρουσιάζονται τα ακτινογραφήματα των δύο κυρίαρχων τύπων αδρανών υλικών που αναγνωρίστηκαν να συμμετέχουν στη σύνθεση του Κονιάματος 1. Πρασινόμαυροι αποστρογγυλεμένοι κόκκοι και μαύρα περισσότερο γωνιώδη τεμάχια. Η φάση του σερπεντίνη που αποτελεί το κύριο ορυκτολογικό συστατικό και των δυο τύπων αδρανών, συμμετέχει με διαφορετικά ποσοστά στη σύστασή τους. Στην πρώτη περίπτωση, εκείνη των πρασινόμαυρων τεμαχίων (AII, AIV & AII) ο σερπεντίνης κυριαρχεί, ενώ την παραγένεση των δευτερογενών ορυκτών συμπληρώνουν τα ορυκτά: ΑΙ-σπινέλιος και χρωμίτης στο δείγμα AIII, ασβεστίτης στο δείγμα AIV, ενώ το αδρανές με κωδικό AII περιέχει χαλαζία, αιματίτη και διοψίδιο. Και τα τρία αυτά τεμάχια εμφανίζουν σημαντικό βαθμό σερπεντινίωσης (Εικόνα 40).

Ωστόσο, στην περίπτωση των αδρανών με κωδικό K1 AI (Εικόνα 41) ο λιζαρδίτης καταλαμβάνει σίγουρα ένα μεγάλο ποσοστό της ορυκτολογικής σύστασης του δείγματος, αλλά η παρουσία των υπολειμματικών ορυκτών και πιο συγκεκριμένα ο τάλκης (κύρια ανάκλαση σε $d\ 9,37\ \text{\AA}$) ανιχνεύτηκε μόνο σε αυτούς τους τύπους κόκκων σε σχέση με τα υπόλοιπα αδρανή που αναλύθηκαν. Οι φάσεις του χλωρίτη και των σπινελίων, καταλαμβάνουν ένα μεγάλο ποσοστό της ορυκτολογικής σύστασης του

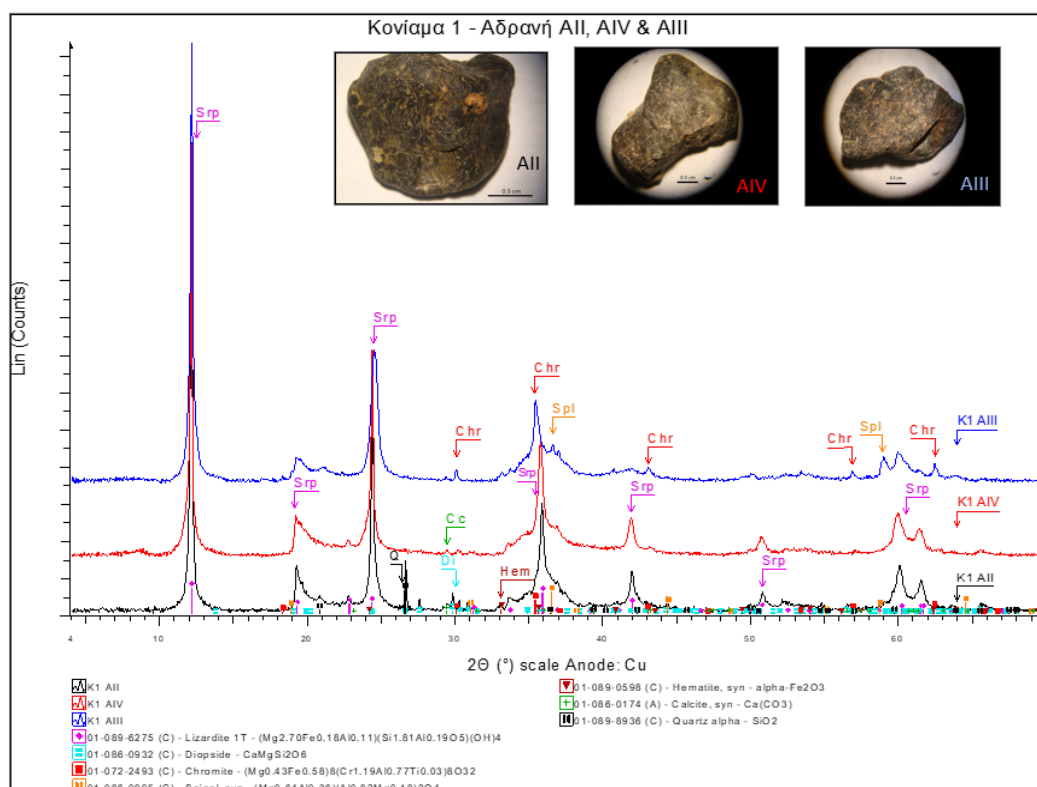
δείγματος και υποδηλώνουν ένα αρχικό πέτρωμα προέλευσης η σύσταση του οποίου είναι διαφοροποιημένη σε σχέση με εκείνα των υπόλοιπων αδρανών του Κονιάματος 1, αλλά και μικρότερο βαθμό σερπεντινίωσης.

Τα αδρανή του Κονιάματος 2 και πιο συγκεκριμένα οι πεπλατυσμένοι τεφροί κόκκοι με κωδικούς K2 AII & AI, αποτελούνται κυρίως από σερπεντίνη. Οι κόκκοι αυτοί παρουσιάζουν ως προς τα ορυκτολογικά τους συστατικά και τη συνολική εικόνα των ακτινογραφημάτων τους, παρόμοια χαρακτηριστικά με εκείνα των αδρανών υλικών που περιέχονται στο Λίθο 1 (βλ. Εικόνα 30), παρά το γεγονός πως διαφέρουν ως προς τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά.

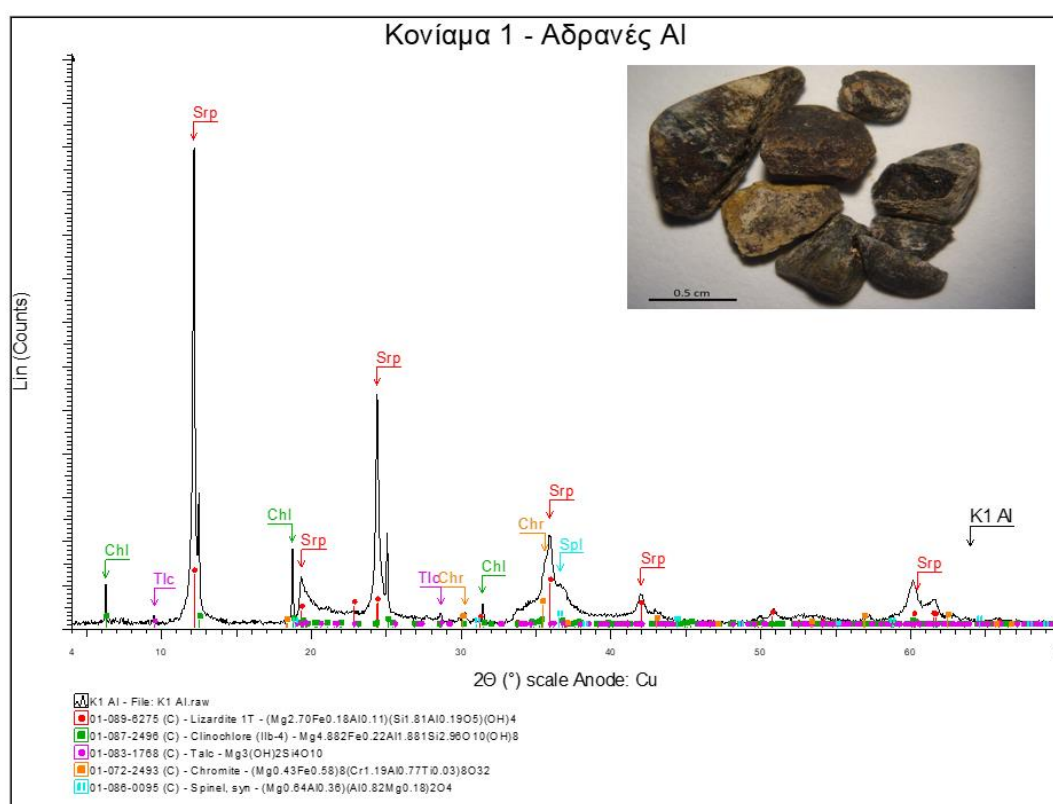
Οι ανοιχτής καφέ απόχρωσης αποστρογγυλεμένοι κόκκοι αδρανών με κωδικούς K2 AI & AII του Κονιάματος K2 (Εικόνα 43), εμφανίζουν επίσης μεγάλο βαθμό σερπεντινίωσης, περιέχουν φάσεις σπινελίων όπως ο χρωμίτης, ενώ στη σύστασή τους υπάρχει και δολομίτης.

Όσο αφορά τις ορυκτές φάσεις των σπινελίων που ανιχνεύτηκαν σε πολλά από τα αδρανή υλικά συστατικά των λίθων και των κονιαμάτων της παρούσας εργασίας, μπορούμε να αναφέρουμε πως η παρουσία τους αποτελεί ένδειξη του πρωτόλιθου τους πετρώματος (Πετρούνιας, 2013). Cr-σπινέλιοι συμμετέχουν κυρίως στην παραγένεση των χαρτσβουργιτών ενώ οι Al-σπινέλιοι στην παραγένεση των λερζολίθων. Στα υπό εξέταση δείγματα της μελέτης, κυριαρχούν οι χρωμιούχοι σπινέλιοι έναντι των αλουμινούχων.

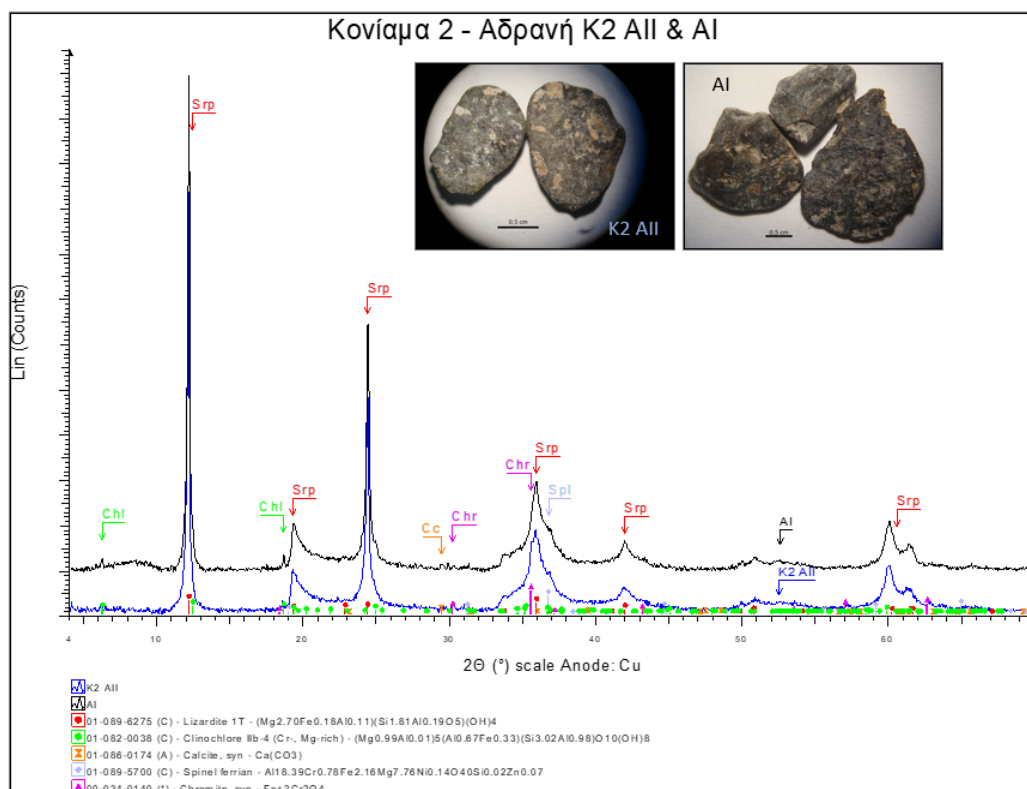
Τέλος, το αδρανές με κωδικό AIV παρουσιάζει εντελώς διαφορετική ορυκτολογική σύσταση από τους υπόλοιπους τύπους αδρανών του Κονιάματος K2 καθώς την κύρια ορυκτολογική φάση αποτελούν φάσεις πυροξένων και κυρίως ορθοπυρόξενος-ενστατίτης (χαρακτηριστικές ανακλάσεις σε d 3,15 και 2,87 Å). Μαζί με τη φάση του λιζαρδίτη στο δείγμα συμμετέχουν και χαλαζίας και γκαιτίτης.



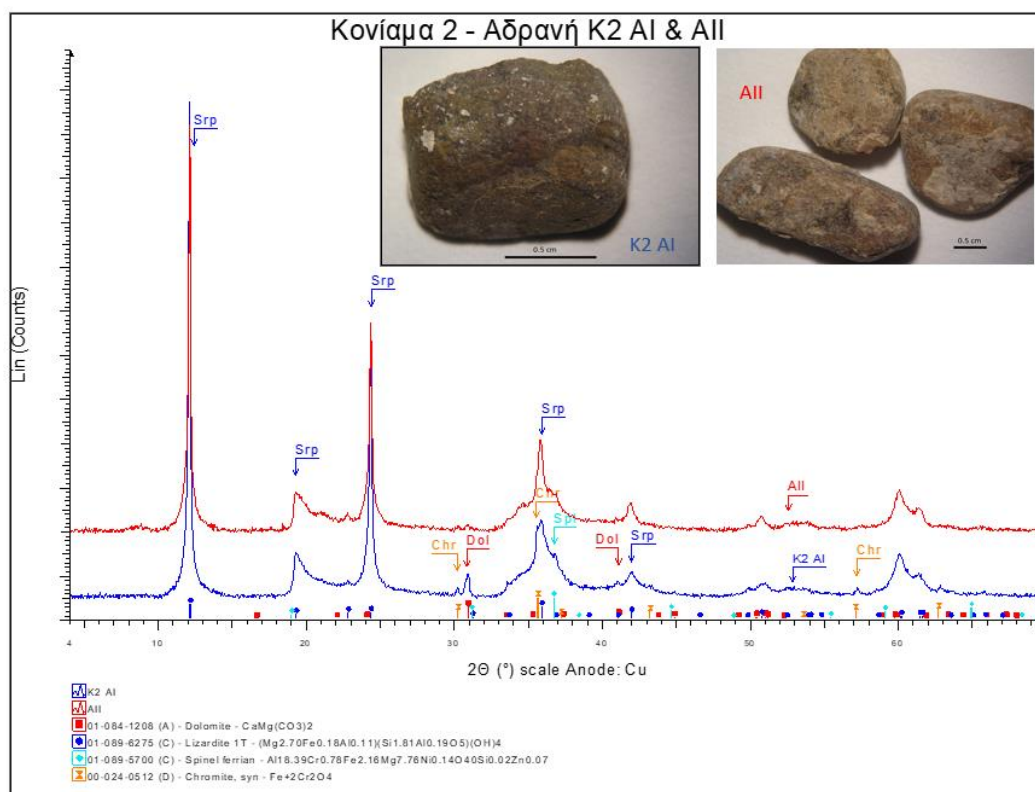
Εικόνα 40. Ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – Χ (XRD) των δειγμάτων αδρανών του κονιάματος 1 με κωδική ονομασία AII, AIV και AIII. *Srp*: σερπεντίνη, *Di*: διοψίδιος, *Chr*: χρωμίτης, *Spl*: σπινέλιος, *Hem*: αιματίτης, *Cc*: ασβεστίτης, *Qz*: χαλαζίας.



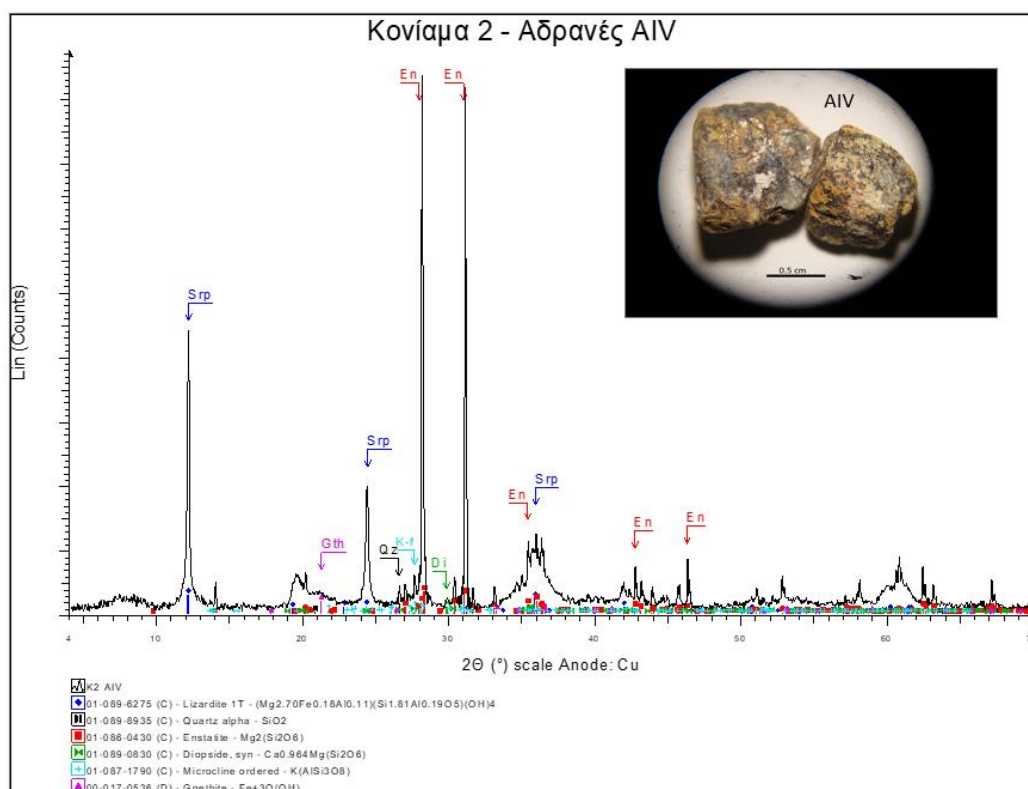
Εικόνα 41. Ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – Χ (XRD) των δειγμάτων του κονιάματος 1 με κωδική ονομασία K1 AI. *Srp*: σερπεντίνη, *Chl*: χλωρίτης, *Tlc*: τάλκης, *Chr*: χρωμίτης, *Spl*: σπινέλιος.



Εικόνα 42. Ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – X (XRD) των αδρανών του κονιάματος 2 με κωδική ονομασία K2 AlI και Al. *Srp*: σερπεντίνης, *Chl*: χλωρίτης, *Cc*: ασβεστίτης, *Spl*: σπινέλιος, *Chr*: χρωμίτης.



Εικόνα 43. Ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – X (XRD) των δειγμάτων του κονιάματος 2 με κωδική ονομασία K2 Al και AlI. *Srp*: σερπεντίνης, *Dol*: δολομίτης, *Spl*: σπινέλιος, *Chr*: χρωμίτης.



Εικόνα 44. Ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – X (XRD) του αδρανούς του κονιάματος 2 με κωδική ονομασία AIV. *Srp*: σερπεντίνη, *Qz*: χαλαζίας, *En*: ενστατίτης, *Di*: διοψίδιος, *K-f*: καλιούχος άστριος, *Gth*: γκαϊτίτης.

4.4.3 Αποτελέσματα της μελέτης Φασματοσκοπίας ακτίνων -X, XRF

Παρακάτω παρατίθεται ο Πίνακας 3 με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων του κλάσματος της κονίας των δειγμάτων των κονιαμάτων. Το οξείδιο του μαγνησίου κατέχει τα μεγαλύτερα ποσοστά και στα 3 δείγματα, συγκεκριμένα 30,13% , 29,96% και 20,78% αντίστοιχα. Η μεγάλη περιεκτικότητα των κονιών σε MgO οφείλεται στο γεγονός ότι και τα τρία δείγματα έχουν δολομιτική βάση, είναι δηλαδή όπως έχει προαναφερθεί δολομιτικά κονιάματα (βλ. παράγραφο 4.4.2). Η παρουσία των δευτερογενών ορυκτών όπως ο λιζαρδίτης, ο παλυγκοσκίτης αλλά και των πυροξένων επίσης συμβάλει στις υψηλές συγκεντρώσεις MgO. Τα υπόλοιπα χημικά στοιχεία οφείλονται κυρίως σε μέρος των αδρανών υλικών τα οποία μεταφέρθηκαν στο κλάσμα της κονίας κατά την διαδικασία των κοκκομετρικών αναλύσεων. Η χημική ανάλυση του δείγματος της κονίας του κονιάματος 3 παρουσιάζει μεγάλες ομοιότητες με αυτή του Λίθου 1, όπως η ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων αλλά και η μακροσκοπική τους παρατήρηση προδίδει την ομοιότητα τους έτσι και η χημική τους ανάλυση παρουσιάζει μεγάλες ομοιότητες. Στο κονίαμα 3 η παρουσία του διοξειδίου του πυριτίου είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή στο Λίθο 1, αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην ορυκτολογική ανάλυση των δυο δειγμάτων ο Λίθος 1 παρουσιάζει εντονότερες ανακλάσεις χαλαζία. Η παρουσία μικρών ποσοστών οξειδίων του νικελίου και του χρωμίου, όπως και στους λίθους, δικαιολογείται καθώς τα οξείδια αυτά συναντώνται συχνά σε πετρώματα βασικής και υπερβασικής σύστασης. Όπως και στους λίθους τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης παρουσιάζουν καλή συνάφεια με την ορυκτολογική τους ανάλυση.

Πίνακας 10. Χημική ανάλυση των δειγμάτων των κονιαμάτων (κλάσμα -63μm - κονία)

Δείγματα	Κύρια στοιχεία (% κ.β.)														
	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂	NiO	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	L.O.I.	Σύνολο
Κονίαμα 1	17,11	10,98	30,13	6,41	2,65	1,11	0,78	0,08	0,12	0,20	0,68	0,02	0,20	30,2	100,79
Κονίαμα 2	21,03	9,69	29,96	7,47	2,65	0,46	0,32	0,09	-	0,25	0,42	0,03	-	27,99	100,36
Κονίαμα 3	16,77	21,06	21,78	1,78	0,91	0,38	0,14	0,04	-	0,09	0,22	0,02	0,85	36,64	100,68

4.4.4 Αποτελέσματα από τις κοκκομετρικές αναλύσεις των δειγμάτων

Ακολουθούν οι Πίνακες και τα σχετικά διαγράμματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων για την κοκκομετρική ανάλυση των Κονιαμάτων 1 & 2. Στο πρώτο δείγμα πραγματοποιήθηκε και εν ξηρώ κοκκομετρική ανάλυση για ένα χύδην δείγμα που αφαιρέθηκε-συλλέχθηκε πλησίον της δειγματοληψίας του κονιάματος στην τοιχοποιία του μνημείου. Οι διαφορές στα αποτελέσματα της εν ξηρώ ανάλυσης στο χύδην δείγμα εν συγκρίσει με εκείνη της υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε σε αντιπροσωπευτικό δείγμα του κονιάματος, είναι εμφανή τόσο στις κοκκομετρικές καμπύλες των δειγμάτων (Εικόνες 45 & 47), όσο και στα αποτελέσματα της κοκκομετρικής κατανομής των υλικών αυτών (Εικόνες 46 & 48). Στο χύδην δείγμα η αναλογία κονίας προς αδρανή υλικά υπολογίστηκε σε 1:3 (τυπική αναλογία υλικών που απαντάται σε πολλά ιστορικά κονιάματα), ενώ στο Κονίαμα 1 επικρατεί η κονία με διπλάσια ποσοστιαία αναλογία σε σχέση με τα αδρανή που περιέχει (αναλογία κονίας/αδρανή ίση με 2:1). Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν πως στην πρώτη περίπτωση (που πιστεύεται πως πρόκειται για μια μετέπειτα επέμβαση που έγινε στη λιθοδομή) ακολουθήθηκαν κάποιοι κανόνες που να εξασφαλίζουν μια όσο δυνατή καλύτερη κοκκομετρική κατανομή στη τελική σύνθεση (Εικόνα 46), ενώ το καθαυτό δείγμα Κ1 αποτελεί μια σύνθεση στην οποία δε λήφθηκε ανάλογη πρόνοια. Επίσης στην περίπτωση του χύδην δείγματος, έχουμε και σημαντική παρουσία ευμεγεθών κόκκων (μεγέθη μεγαλύτερα από 3,35 και 4 mm), που απουσιάζουν από το Κονίαμα 1. Είναι χαρακτηριστική η γραφική απεικόνιση της

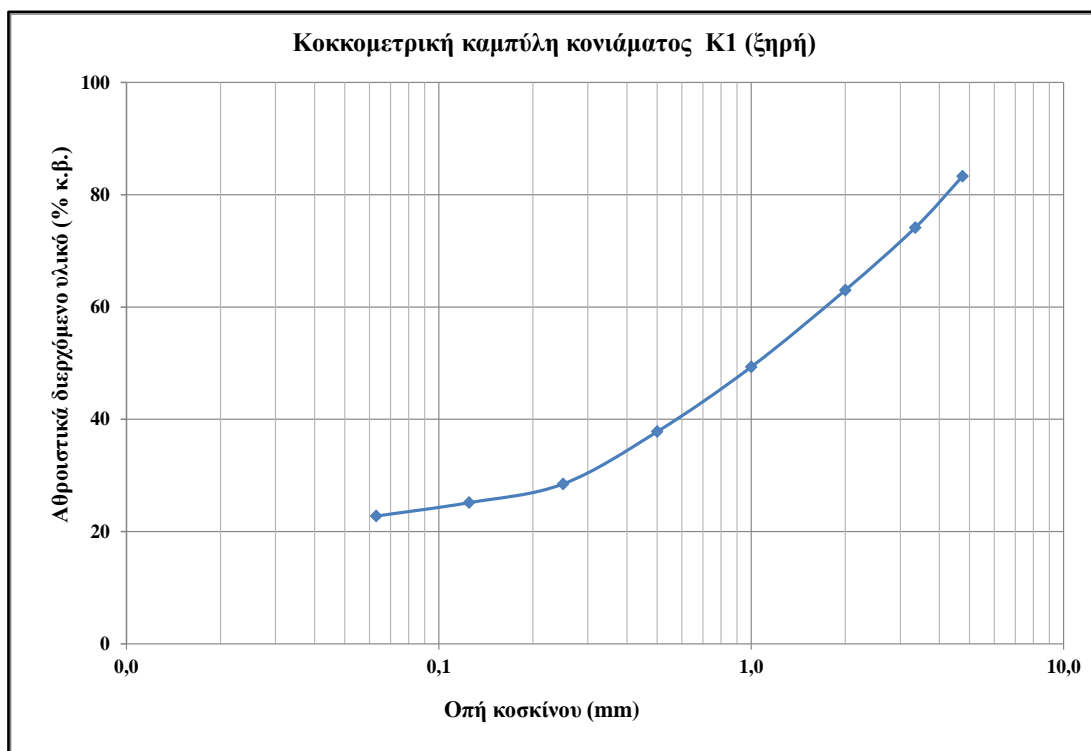
κοκκομετρικής κατανομής του Κονιάματος (Εικόνα 48), όπου πέραν του μεγάλου ποσοστού του κλάσματος της κονίας (~63% κ.β.), τα κλάσματα που αφορούν τα αδρανή υλικά δεν παρουσιάζουν κάποια κατανομή που να χαρακτηρίζεται από ομοιομορφία. Επικρατούν τα αδρόκοκκα κλάσματα με ποσοστά 8,04, 12,26 και 6,48% κ.β. στα αδρανή με μέγεθος μεγαλύτερο από 2, 1 και 0,5 mm, αντίστοιχα. Οι παρατηρήσεις αυτές οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το Κονίαμα 1, αποτελεί υλικό αρμολόγησης των λίθων που τοποθετείται χρονολογικά σε αρχικές κατασκευαστικές φάσεις του Τείχους και με χρήση αδρανών υλικών λεπτομερούς κοκκομετρίας, που παραπέμπουν σε διαφορετικό σημείο δειγματοληψίας από εκείνη του χύδην δείγματος.

Πίνακας 11.Συγκεντρωτικά αποτελέσματα της εν ξηρώ κοκκομετρικής ανάλυσης του κονιάματος Κ1 (χύδην δείγμα).

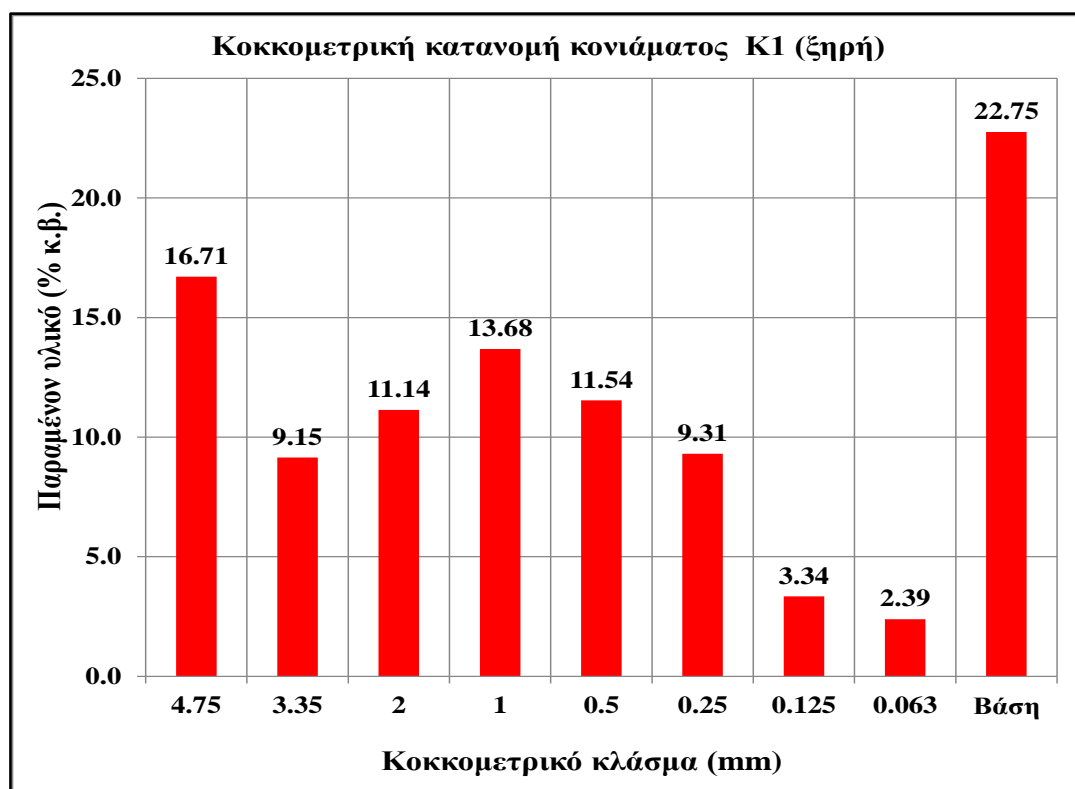
Οπή κοσκίνου (mm)	Βάρος (κοσκίνου) (γρ.)	Βάρος (κοσκίνου + συγκρ. Υλικού) (γρ.)	Βάρος συγκρατούμενου υλικού (γρ.)	Ποσοστό (% κ.β.) συγκρατούμενου υλικού	Ποσοστό (% κ.β.) διερχόμενου υλικού	Αθροιστικό ποσ. (% κ.β.) συγκρατούμενου υλικού	Αθροιστικό ποσοστό (% κ.β.) διερχόμενου υλικού
4.75	487.00	508.00	21.00	16.71	83.29	16.71	83.29
3.35	462.00	473.50	11.50	9.15	90.85	25.86	74.14
2.00	451.00	465.00	14.00	11.14	88.86	36.99	63.01
1.00	406.00	423.20	17.20	13.68	86.32	50.68	49.32
0.50	373.00	387.50	14.50	11.54	88.46	62.21	37.79
0.25	333.00	344.70	11.70	9.31	90.69	71.52	28.48
0.125	332.00	336.20	4.20	3.34	96.66	74.86	25.14
0.063	307.00	310.00	3.00	2.39	97.61	77.25	22.75
Βάση	346.00	374.60	28.60	22.75	77.25	100.00	0.00
Συνολικό βάρος αρχικού ξηρού δείγματος (γρ.)			125.70	Αναλογία κονίας:αδρανή ≈1:3			

Πίνακας 12.Συγκεντρωτικά αποτελέσματα της υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης του κονιάματος Κ1.

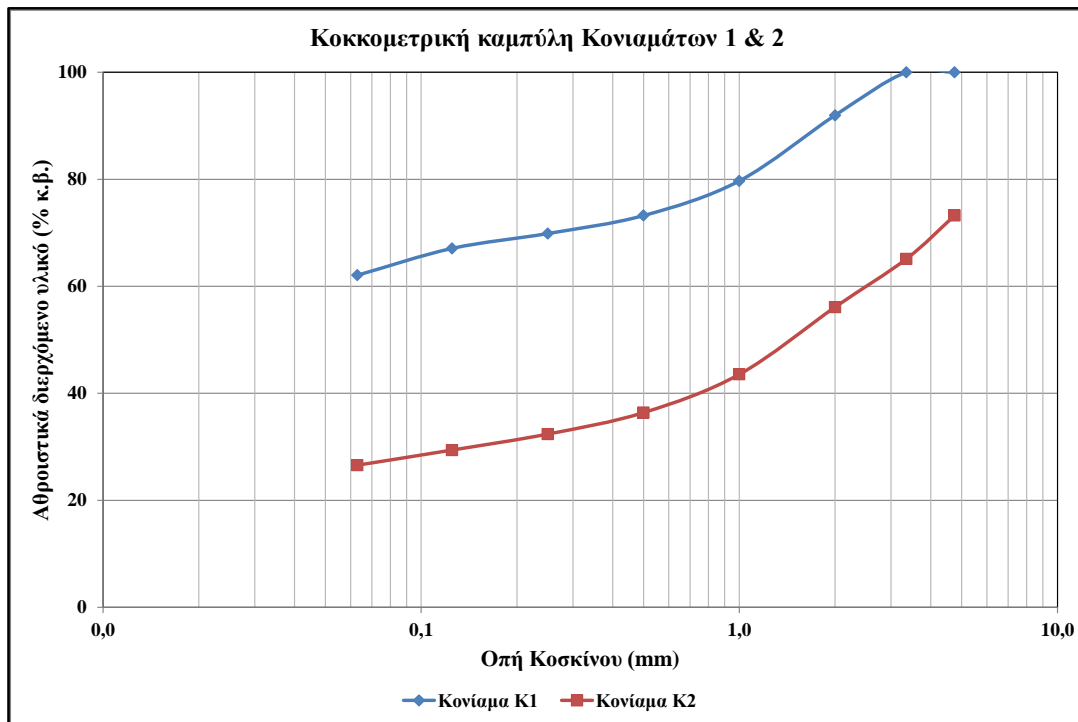
Οπή κοσκίνου (mm)	Βάρος (κοσκίνου) (γρ.)	Βάρος (κοσκίνου + συγκρατούμενου υλικού) (γρ.)	Βάρος συγκρατούμενου υλικού (γρ.)	Ποσοστό (% κ.β.) συγκρατούμενου υλικού	Ποσοστό (% κ.β.) διερχόμενου υλικού	Αθροιστικό ποσ. (% κ.β.) συγκρατούμενου υλικού	Αθροιστικό ποσοστό (% κ.β.) διερχόμενου υλικού
2.00	451.0	456.80	5.80	8.04	91.96	8.04	91.96
1.00	406.0	414.84	8.84	12.26	87.74	20.30	79.70
0.50	373.0	377.67	4.67	6.48	93.52	26.78	73.22
0.25	333.0	335.42	2.42	3.36	96.64	30.13	69.87
0.125	331.0	333.01	2.01	2.79	97.21	32.92	67.08
0.063	307.0	310.61	3.61	5.01	94.99	37.93	62.07
Βάση	346.0	390.76	44.76	62.07	37.93	100.00	0.00
Συνολικό βάρος αρχικού ξηρού δείγματος (γρ.)			72.11	Αναλογία κονιάς:αδρανή ≈2:1			



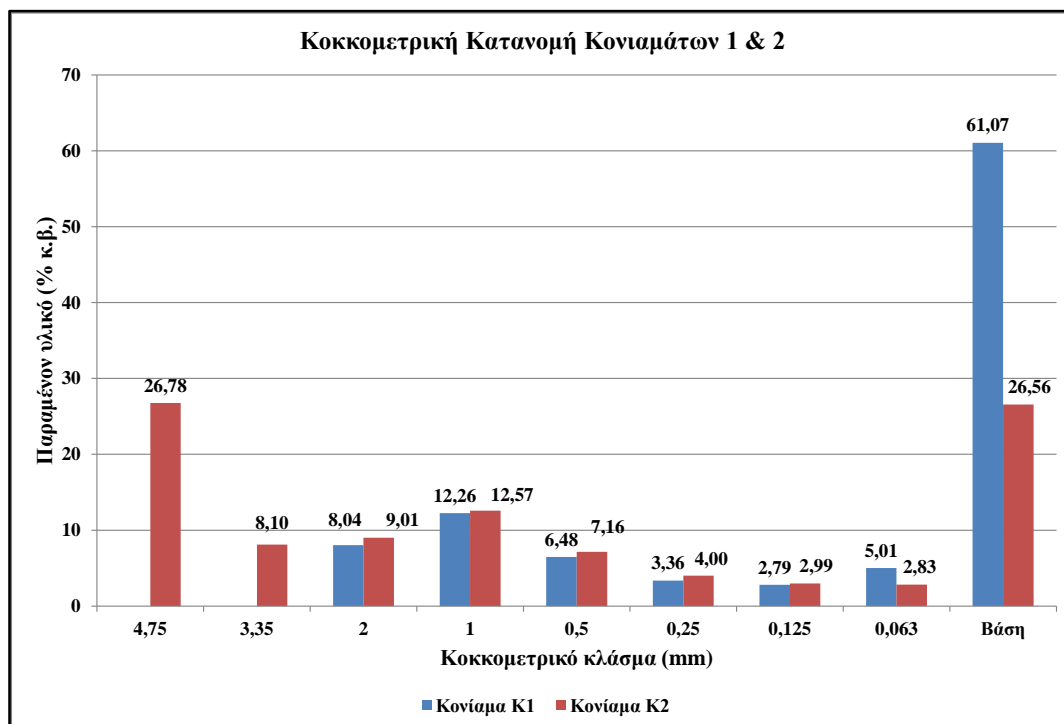
Εικόνα 45. Κοκκομετρική καμπύλη του κονιάματος K1 (χύδην δείγμα), σύμφωνα με το ποσοστό αθροιστικά διερχόμενων κόκκων (αδρανές & κονία) μετά από τη διαδικασία ξηρής κοσκίνισης.



Εικόνα 46. Κοκκομετρική κατανομή του κονιάματος K1 (χύδην δείγμα), μετά από τη διαδικασία ξηρής κοσκίνισης.



Εικόνα 47. Κοκκομετρική καμπύλη των κονιαμάτων K1 & K2, σύμφωνα με το ποσοστό αθροιστικά διερχόμενων κόκκων (αδρανές & κονία) μετά από τη διαδικασία υγρής κοσκίνισης.



Εικόνα 48. Κοκκομετρική κατανομή των κονιαμάτων K1 & K2, μετά από τη διαδικασία υγρής κοσκίνισης.

Πίνακας 13. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα της υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης του κονιάματος Κ2 (χύδην δείγμα).

Οπή κοσκίνου (mm)	Βάρος (κοσκίνου) (γρ.)	Βάρος (κοσκίνου + συγκρ. Υλικού) (γρ.)	Βάρος συγκρατούμενου υλικού (γρ.)	Ποσοστό (% κ.β.) συγκρατούμενου υλικού	Ποσοστό (% κ.β.) διερχόμενου υλικού	Αθροιστικό ποσ. (% κ.β.) συγκρατούμενου υλικού	Αθροιστικό ποσοστό (% κ.β.) διερχόμενου υλικού
4.75	487.00	692.00	205.00	26.78	73.22	26.78	73.22
3.35	462.00	524.00	62.00	8.10	91.90	34.88	65.12
2.00	451.00	520.00	69.00	9.01	90.99	43.89	56.11
1.00	406.00	502.20	96.20	12.57	87.43	56.46	43.54
0.50	373.00	427.80	54.80	7.16	92.84	63.61	36.39
0.25	333.00	363.65	30.65	4.00	96.00	67.62	32.38
0.125	332.00	354.90	22.90	2.99	97.01	70.61	29.39
0.063	307.00	328.70	21.70	2.83	97.17	73.44	26.56
Βάση	346.00	549.30	203.30	26.56	73.44	100.00	0.00
Συνολικό βάρος αρχικού ξηρού δείγματος (γρ.)			765.55	Αναλογία κονίας:αδρανή ≈1:2.4			

Όσο αφορά το Κονίαμα 2, παρουσιάζει αρκετά κοινά χαρακτηριστικά με εκείνα του χύδην δείγματος. Η αναλογία κονίας προς τα αδρανή υλικά είναι περίπου 1:2,5 και στη σύνθεσή του παρατηρείται, πλην της παρουσίας ενός σημαντικού ποσοστού αδρόκοκκου υλικού με μέγεθος μεγαλύτερο από τα 4,75 mm (26,78% κ.β.), μια σχετικά ομοιόμορφη κατανομή των υπόλοιπων κλασμάτων στη σύνθεσή του.

4.4.5 Αποτελέσματα από την μελέτη Υδατοαπορρόφησης των δειγμάτων

Στον Πίνακα 7 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την μελέτη της υδατοαπορροφητικότητας των δειγμάτων των κονιαμάτων. Με βάση αυτά παρατηρείται ότι το κονίαμα 1 παρουσιάζει την μεγαλύτερη τιμή υδατοαπορροφητικότητας (22,61%) από τα κονιάματα 2 και 3, καθώς αποτελείται από μικρού μεγέθους αδρανή και η δομή του είναι μικροπορώδης. Το κονίαμα 2 παρουσιάζει μεσαία τιμή υδατοαπορροφητικότητας, παρότι είναι αρκετά ορατός ο αποχωρισμός των τεμαχίων των αδρανών από την μάζα του, λόγω της έλλειψης συνάφειας αδρανών-κονίας. Τέλος, το κονίαμα 3 εμφανίζει παρόμοια υδατοαπορροφητικότητα με αυτή του Λίθου 1 (8,31%), καθώς όπως έχει προαναφερθεί τα δύο αυτά δείγματα προέρχονται από τμήμα της χειμαρρώδους ποτάμιας απόθεσης που υπάρχει στην ευρύτερη περιοχή της Θήβας.

Πίνακας 14. Αποτελέσματα από τη μελέτη Υδατοαπορρόφησης των δειγμάτων.

Δείγματα	Υδατοαπορροφητικότητα (% κ.β.)			
	Αρχικό βάρος (γρ.)	Τελικό βάρος (γρ.)	Υδατ/τητα.	Μ.Ο.
Κονίαμα 1 Ι	220	270	22,72	22,61
Κονίαμα 1 ΙΙ	240	294	22,50	
Κονίαμα 2 Ι	890	1056	18,65	18,51
Κονίαμα 2 ΙΙ	147	174	18,36	
Κονίαμα 3 Ι	1055	1138	8,87	7,97
Κονίαμα 3 ΙΙ	198	214	8,08	

5. Συμπεράσματα από την αξιολόγηση των εργαστηριακών αναλύσεων

Από τις εργαστηριακές αναλύσεις και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων που προέκυψαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ακολουθούν οι κυριότερες παρατηρήσεις και συμπεράσματα που αφορούν στους λίθους και τα κονιάματα που δομούν το υπό μελέτη τμήμα του μεσαιωνικού τείχους της Θήβας. Επίσης παρατίθενται προτάσεις για την χρήση των κατάλληλων υλικών για την αναστήλωση του τείχους.

Όσο αφορά στους δομικούς λίθους του τείχους παρατηρούνται τρεις διαφορετικοί λιθότυποι οι οποίοι απαντούν σε σχηματισμούς που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή της Θήβας. Τα τρία δείγματα των λίθων τα οποία μελετήθηκαν είναι χαρακτηριστικά της γεωλογίας της περιοχής. Συγκεκριμένα, ο λίθος 1 αντιστοιχεί σε κροκαλοπαγές πέτρωμα προερχόμενο από ποτάμιες αποθέσεις ποικίλου βαθμού συνεκτικότητας (Qd1c, Εικόνα 6) και εμφανίζεται ελαφρά επεξεργασμένος στο κύριο σώμα της λιθοδομής αλλά και στην βάση της σαν πρωταρχικός σχηματισμός όπου εδράζεται το μνημείο. Τα αδρανή που απαρτίζουν τον λίθο 1 εμφανίζουν μεγάλο βαθμό σερπεντινίωσης, γεγονός το οποίο επηρεάζει την μηχανική του συμπεριφορά. Ο λίθος 2 αποτελεί μια χαρακτηριστική εμφάνιση ασβεστόλιθου, είναι συνεκτικός και παρουσιάζει την μεγαλύτερη τιμή μηχανικής αντοχής σε σχέση με τα άλλα δείγματα, είναι ημιλαξευτός και έχει σαν ιδιαίτερο χαρακτηριστικό τους διάσπαρτους και πολυπληθείς πόρους στη κυρίως μάζα του. Το τρίτο δείγμα λίθου (Λ3), χαρακτηρίστηκε ως δολομίτης, είναι αρκετά συνεκτικός με καλή μηχανική συμπεριφορά. Στην μάζα του παρατηρούνται διάσπαρτοι και μικρού μεγέθους κόκκοι αδρανών όπως επίσης και αρκετές ρηγματώσεις οι οποίες πληρούνται από μικρούς λευκούς κρυστάλλους οι οποίοι με βάση την ορυκτολογική ανάλυση που έγινε παραπέμπουν στον παλιγκορσκίτη, ο οποίος σχετίζεται με την διάλυση του δολομίτη αλλά και με την εξαλλοίωση του σερπεντίνη. Σημαντικό είναι να σημειωθεί πως δεν υπάρχουν ανάλογης σύστασης πετρώματα ,με εκείνη των λίθων 2 και 3, στην περιοχή τοποθέτησης του μνημείου. Σύμφωνα όμως με την μελέτη της γεωλογίας , στην ανατολική πλευρά της Θήβας φιλοξενούνται σχηματισμοί με λευκότεφρους μικροκρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, δολομιτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες (I6-

11, Ts-I9, Εικόνα 6), που αποτελούν την πηγή δειγματοληψίας των λίθων Λ2 & 3. Τα αδρανή του Λίθου 1 αποτελούνταν από ορυκτές φάσεις οι οποίες συνδέονται άμεσα με ορυκτά που προέρχονται από εξαλλιώσεις σιδηρούχων, μαγνησιούχων και πυριτικών ορυκτών. Κύρια φάση των αδρανών αυτών αποτελεί ο σερπεντίνης ο οποίος παρουσιάζεται με το πολύμορφο του λιζαρδίτη. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί το δείγμα ΑΙ το οποίο είναι κερατολιθικής σύστασης. Η εμφάνιση πυροξένων και αμφιβόλων παραπέμπουν στην προέλευση των αρχικών πετρωμάτων βασικής σύστασης. Οι ορυκτές φάσεις του χρωμίτη και του χλωρίτη εμφανίζονται λόγω της συνύπαρξης των ορυκτών αυτών με τους πυρόξενους, όπως και αυτή του σπινέλιου, η κύρια δομή του οποίου είναι σχεδόν ίδια με αυτή του χρωμίτη.

Τα δείγματα των κονιαμάτων τα οποία μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία, λόγω της έκθεσής τους σε εξωγενείς και ενδογενείς παράγοντες, οι οποίοι αναπτύχθηκαν στην παράγραφο 4.4, εμφανίζουν σε όλη την έκταση του υπό μελέτη τμήματος του μνημείου ίχνη διάβρωσης. Σε αρκετά σημεία της λιθοδομής απουσιάζουν τα αρχικά συνδετικά κονιάματα, τα οποία έχουν αντικατασταθεί σε μεταγενέστερο χρόνο από οπτόπλινθους και κεραμικά τεμάχια. Με βάση την ορυκτολογική και την χημική ανάλυση των δειγμάτων των κονιών εξήχθη συμπέρασμα ότι οι κονίες έχουν δολομιτική σύσταση. Παρότι η χρήση δολομιτικών κονιαμάτων δεν συνηθιζόταν στις κατασκευές, η χρήση τους στη συγκεκριμένη περίπτωση δικαιολογείται καθώς στην ευρύτερη περιοχή της Θήβας κυριαρχούν γεωλογικοί σχηματισμοί που φιλοξενούν δολομίτες και δολομιτικούς ασβεστόλιθους. Τα αποτελέσματα από την ορυκτολογική και τη χημική ανάλυση ανέδειξαν ορυκτές φάσεις οι οποίες παρατηρούνται και στους λίθους. Η ποικιλομορφία των αδρανών υλικών που χαρακτηρίζουν τη σύσταση των κονιαμάτων και μέρος των λίθων αποτυπώνουν με χαρακτηριστικό τρόπο τη γεωλογία της ευρύτερης περιοχής και πιο συγκεκριμένα των σχηματισμών που βρίσκονται κυρίως Βορειότερα της πόλης της Θήβας.

Κυρίαρχη φάση σε όλους τους κόκκους των αδρανών αποτελεί ο σερπεντίνης, με εξαίρεση το δείγμα ΑΙV το οποίο διαφέρει στην σύστασή του από τα υπόλοιπα. Τα δευτερεύοντα ορυκτά τα οποία παρατηρήθηκαν είναι πυρόξενοι, αμφίβολοι, φάσεις οξειδίων σιδήρου (γκαιτίτης) και πυριτικές φάσεις (χαλαζίας, τάλκης, χλωρίτης). Η

παρουσία των φάσεων αυτών είναι δείγμα της έντονης σερπεντινίωσης των δειγμάτων. Το δείγμα K3 όπως προαναφέρθηκε, με βάση τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων και της μακροσκοπικής παρατήρησης δεν αντιστοιχεί σε κονίαμα. Η μορφή του μπορεί να παρομοιαστεί με τμήμα της χειμαρρώδους ποτάμιας απόθεσης της περιοχής που αποτελείται από κροκαλοπαγή, η μορφή του είναι ταυτόσημη με εκείνη του Λίθου 1.

Με βάση τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν αλλά και τις βασικές αρχές για τη συμβατότητα των υλικών αποκατάστασης με τα προϋπάρχοντα στοιχεία σε μια μνημειακή κατασκευή, προτείνεται η χρήση υγείων πετρωμάτων ασβεστολίθων και δολομιτών προερχόμενοι από τις περιοχές δειγματοληψίας των πρωταρχικών λίθων δόμησης (I6-11, Ts-I9, Εικόνα 6). Πρέπει συνεπώς να αναζητηθούν χώροι εκλατόμευσης από τους οποίους να εξορυχθούν λίθοι συγκεκριμένης σύστασής που θα χρησιμοποιηθούν στις εργασίες αποκατάστασης. Για τις επισκευαστικές κονίες προτείνεται η χρήση κονίας δολομιτικής σύστασης και αδρανών τα οποία υπάρχουν στο σχηματισμό της περιοχής των Θηβών (QdIc, Εικόνα 6). Δεν προτείνεται η χρήση τσιμεντοκονιαμάτων καθώς όχι μόνο διότι δεν είναι συμβατή με τα προϋπάρχοντα υλικά δόμησης του μνημείου αλλά επειδή θα αλλοιώσει την αρχική όψη του μνημείου.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. A. Brongniart, Classification et caracteres mineralogiques des roches homogenes et heterogenes. F.G. Levrault, 1827
2. B. Lotti, "Paragone fra le rocce ofiolitiche terziarie italiane e le rocce basiche pure terziarie della Scozia e dell'Irlanda, a propisito di rue recenti pubblicazioni di J.W.Judd," in Bollettino del Reale Comitato Geologico d'Italia 17, 1886, pp. 73–86.
3. E. Suess, The face of the earth, v.2, part 3, The Sea: Oxford Clarendon. 1909
4. G. Steinmann, "Geologische Beobachtungen in den Alpen, II. Die schart'sche Überfaltungstheorie und die geologischen Bedeutung der Tiefseeabsätze und der ophiolitische massengesteine," in Bericht Naturforschung Gesellschaft Freiburg 1, bd 16, 1905, pp. 44–67.
5. E. M. Moores, "Origin and empacement of ophiolites," Rev. Geoph. Sp. Phys. 20, pp. 735–760, 1982.
6. E. M. Moores, "A personal history of the ophiolite concept," Geological society of America, Special paper 373, pp. 17–29, 2003.
7. MOORES, E.M. & TWISS, R.J. (1995): Tectonics.- W.H. Freeman & Company, England, 415
8. E. . Moores, "Petrology and structure of the Vourinos ophiolite complex, Nothern Greece," Geological society of America, Special paper 118, p. 74, 1969
9. HESS, H.H. (1955): Serpentinities, orogrny and epeirogeny.- Geol. Soc. Amer. Spec. Pap., 62, 391-408.
10. T. Juteau, M. Ernewein, I. Reuber, H. Whitechurch, and R. Dahl, "Duality ofmagmatism in the plutonic sequence of the Sumail Nappe, Oman," Tectonophysics, vol. 151, no. 1–4. pp. 107–135, 1988.
11. I. G. GASS, "Is the Troodos Massif of Cyprus a Fragment of Mesozoic Ocean Floor?," Nature, vol. 220, no. 5162, pp. 39–42, Oct. 1968.
12. N. L. Bowen, "The origin of ultrabasic and related rocks," Am. J. Sci. 14, p. 89–108., 1927
13. O. E. Bowen, N.L. & Tuttle, "The system MgO-SiO₂-H₂O," Geol. Soc. Am. Bull.60, pp. 439–460, 1949
14. BRUNN, J.H. (1940): Conditions de gisement des roches basiques en Macedoine occidentale.- C.R.Acad. Sci., Paris, 210, 735
15. BRUNN, J.H. (1960): Les zones Helleniques internes et externes et leur extension. Re-flexions sur l' orogenese alpine.- Soc. Geol. France Bull., 2, 470-486.
16. BRUNN, J.H. (1961): Les sutures ophiolitiques. Contribution a l' etude des relations entre phenomenes magmatiques et orogeniques.- Rev. Georg. Phys. Geol. Dyn., 4, 89-96, 181-202.

17. WYLLIE, P.J. (ed) (1967): Ultramafic and related rocks.- New Wiley editions, 464.
18. ANONYMOUS (1972): Penrose field conference on ophiolites.- *Geotimes*, 17, 24-25.
19. F. J. Moores, E.M. & Vine, "Troodos massif, Cyprus, as deep ocean floor: preliminary structural and petrological evidence," *Transactions of the American Geophysical Union* 50, p. 333, 1969.
20. GANSSER, A. (1974): The ophiolitic mélange, a world-wide problem on Tethyan ex-amples.- *Eclog. Geol. Helv.*, 67, 479-507.
21. COLEMAN, R.G. (1977): *Ophiolites Ancient Oceanic Lithosphere ?*- Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 229
22. COLEMAN, R.G., LEE, D.E., BEATTY, L.B. & BRANNOCK, W.W. (1965): Eclogites and ec-logites: their differences and similarities.- *Bull. Geol. Soc. America*, 76, 483-508.
23. A. C. Magganis, "Constraints on the petrogenesis of Evros ophiolite extrusives, NE Greece," *Lithos*, vol. 65, no. 1, pp. 165–182, 2002.
24. A. H. F. Robertson, "Overview of the genesis and emplacement of Mesozoic ophiolites in the Eastern Mediterranean Tethyan region," *Lithos*, vol. 65, no. 1, pp.1–67, 2002.
25. A. Robertson, "Development of concepts concerning the genesis and emplacement of Tethyan ophiolites in the Eastern Mediterranean and Oman regions," *Earth-Science Rev.*, vol. 66, no. 3, pp. 331–387, 2004.
26. J. Taylor, B. & Natland, "Active Margins and Marginal Basins of the Western Pacific," in *Geophys. Monogr.*, Am. Geophys. Union 88, 1995, pp. 175–197.
27. R. J. Moores, E.M. & Twiss, *Tectonics*.- *W.H. Freeman & Company, England*. 1995.
28. J. G. Spray, "Lithosphere-asthenosphere decoupling at spreading centers and the initiation of obduction," *Nature*, vol. 304, pp. 253–255, 1983.
29. J. E. Robertson, A.H.F. & Dixon, "Introduction: aspects of the geological evolution of the Eastern Mediterranean," Dixon, J.E. & Robertson, A.H.F. (eds.), *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*, *Geol. Soc. London, Sp. Publ.* 17, pp. 1–74, 1984.
30. A. Capedri, S., Venturelli, G., Bocchi, G., Dostal, J., Garuti G. & Rossi, "The geochemistry and petrogenesis of an ophiolite sequence from Pindos, Greece," *Contrib. Miner. Pet.*, vol. 74, pp. 189–200, 1980.
31. L. Capedri, S., Venturelli, G., Bebie, J. & Toscani, "Low and high Ti ophiolites innorthern Pindos : petrological and geological constraints," *Bull*, vol. 44, pp. 439–449, 1981.
32. A. Beccaluva, L., Ohnestetter, D., Ohnestetter, M. & Paupy, "Two magmatic series with island arc affinities within the Vourinos ophiolites," *Miner. Pet.*, vol. 85, pp. 253–271, 1984
33. RASSIOS, A. & SMITH, A.G. (2000): Constraints on the formation and emplacement age of western Greek ophiolites (Vourinos, Pindos, and Orthos) inferred from deformation structures in peridotites.- *Geol. Soc. Amer. Sp. Pap.*, 349, 473-483.

34. SMITH, A.G., HYNES, A.J., MENZIES, M., NISBET, E.G., PRICE, I., WELLAND, M.J. & FERRIERE, J. (1975): The stratigraphy of the Othris Mountains, eastern central Greece: a deformed Mesozoic continental margin sequence.- *Eclog. Geol. Helv.*, 68, 463-481.
35. RASSIOS, A. & KONSTANTOPOULOU, G. (1993): Emplacement tectonism and the position of chrome ores in the Mega Isoma peridotites, SW Othris, Greece.- *Bull. Geol. Soc. Greece*, 28/2, 463-474.
36. BARTH, M.G., MASON, P.R.D., DAVIES, G.R. & DRURY, M.R. (2008): The Othris Ophiolite, Greece: A snapshot of subduction initiation at a mid-ocean ridge.- *Lithos*, 100, 234-254.
37. SIMANTOV, J. & BERTRAND, J. (1987): Major and trace element geochemistry of the central Euboea basaltic rocks (Greece). Possible geotectonic implications.- *Ophioliti*, 12, 201-218.
38. ECONOMOU, M. (1983): A short note on the evolution of the Vermion ophiolite complex (Macedonia-Greece).- *Ophioliti*, 8, 333-338.
39. ΚΑΡΙΠΗ, Σ. (2004): Οι οφιολιθικές εμφανίσεις της Οίτης και του Καλλίδρομου: γεω-λογική μελέτη – πετρογενετική εξέλιξη – γεωτεκτονική ερμηνεία.- Διδακτορική Διατριβή, Παν/μιο Πατρών, 329 σ.
40. ΚΑΡΙΠΗ, Σ. (2004): Οι οφιολιθικές εμφανίσεις της Οίτης και του Καλλίδρομου. Γεω-λογική μελέτη – Πετρογενετική εξέλιξη – Γεωτεκτονική ερμηνεία.- Διδακτορική διατριβή, Παν/μιο Πατρών, 142
41. HATZIPANAGIOTOU, K. (1990a): Petrography of the ophiolite complex in central Argolis (Peloponnessus, Greece).- *Ophioliti*, 15, 61-77.
42. POMONIS, P., TSIMOURAS, B. & HATZIPANAGIOTOU, K. (2007b): Petrogenetic evolution of the Koziakas ophiolite complex (W. Thessaly, Greece).- *Mineralogy and Petrology*, 89, 77-111
43. POMONIS, P., TSIMOURAS, B. & HATZIPANAGIOTOU, K. (2005): Geological evolution of the Koziakas ophiolitic complex (western Thessaly, Greece).- *Ophioliti*, 30 (2), 77-86.
44. MIGIROS, G. & ECONOMOU, M. (1988): Chromites in the ultrabasic rocks East Thessaly complex (central Greece).- *Ophioliti*, 7, 397-406.
45. POMONIS, P., TSIKOURAS, B. & HATZIPANAGIOTOU, K. (2002): Origin, evolution and radiometric dating of sub-ophiolitic metamorphic rocks from the Koziakas ophiolite (W. Thessaly, Greece).- *N. Jb. Miner. Abh.*, 177, 255-276.
46. HAENEL-REMY, S. & BEBIEN, J. (1985): The Oreokastro ophiolite (Greek Macedonia). An important component of the innermost Hellenic Ophiolite Belt.- *Ophioliti*, 10, 279-296.
47. Bebien. J., 1982. L' association ignee de Guevgueli (Macedonie greque), expression d' un magmatisme ophiolitique dans une déchirure continentale. These d'Etat, Uni. Nancy, 470.
48. Bebien. J., 1983. L' association ignee de Guevgueli. *Ophioliti*, 8: 293-302.

49. MUSSALLAM, K. & JUNG, D. (1986): Petrology and geotectonic significance of salic rocks preceding ophiolites in the eastern Vardar Zone, Greece. *TMPM Tschermaks Mineralogische und Petrographische Mitteilungen* 35, 217-42.
50. TSIKOURAS, B. & HATZIPANAGIOTOU, K. (1998): Two alternative solutions for the de-velopment of a marginal basin in NE Greece.- *Ofioliti*, 23/2, 83-92.
51. MAGGANAS, A., SIDERIS, C. & KOKKINAKIS, A. (1991): Marginal basin-volcanic arc origin of the metabasic rocks of the Circum-Rhodope belt, Thrace, Greece.- *Mineral. Petrol.*, 44, 235-252.
52. NAYLOR, M.A. & HARLE, T.J. (1976): Paleogeographic significance of rocks and struc-tures beneath the Vourinos ophiolite complex, Northern Greece.- *J. Geol. Soc. Lon-don*, 132, 667-675.
53. TERRY, J. & MERCIER, M. (1971): Sur l' existence d' une serie detritique berriasienne intercalee entre la nappe des ophiolites et le flysch Eocene de la nappe du Pinde (Pinde septentrional, Grece).- *C.R. Soc. Geol. France*, 2, 71-73.
54. JONES, G., ROBERTSON, A.H.F. & CANN, J.R. (1991): Genesis and Emplacement of the Supra-Subduction Zone Pindos Ophiolite, Northwestern Greece.- In: PETERS, T.J. et al. (eds.): *Ophiolite Genesis and Evolution of the Oceanic Lithosphere*, 771-799.
55. HYNES, A.J. (1972): The geology of part of western Orthis mountains, Greece.- *Ph. D. Thesis*, Univ. Cambridge.
56. CELET, P., FERRIERE, J. & WIGNIOLLE, E. (1977): Le probleme de l'origine des blocs exogenes du melange a elements ophiolitiques au Sud du Sperchios et dans le massif de l' Othrys (Grece).- *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 19, 935-942.
57. BAUMGARTNER, P.O. & BERNOULLI, D. (1976): Stratigraphy and radiolarian fauna in a Late Jurassic-Early Cretaceous section near Achladi (Evvoia, Eastern Greece).- *Eclog. Geol. Helv.*, 69, 601-626.
58. BERNULLI, D. & LAUBSCHER, H. (1972): The palinspastic problem of the Hellenides.- *Eclog. Geol. Helv.*, 65, 107-118.
59. ZIMMERMAN, J. (1972): Emplacement of the Vourinos ophiolitic complex, Northern Greece.- *Geol. Soc. Am., Memoir*, 132, 225-239.
60. VERGELY, P. (1976): Chevauchement vers l' Ouest et retrocharriage vers l' Est des ophiolites : Deux phases tectoniques au cours du Jurassique superieur-Eocretace dans les Hellenides internes.- *Soc. Geol. France Bull.*, 18, 231-244.
61. VERGELY, P. (1977): Ophiolites et phases tectoniques superposes dans les Hellenides.- *6th Colloquium on the Geology of the Aegean Region, Athens 1977*, 1293-1302.
62. JACOBSSHAGEN, V. (1986): *Geologie von Griechenland*: 363 p., Berlin (Borntraeger).
63. ΠΕΤΡΟΥΝΙΑΣ ΠΕΤΡΟΣ Ι. (2013).Υψηλής ποιότητας αδρανή υλικά από τα οφιολιθικά πετρώματα της Βέροιας-Νάουσας: Αποτίμηση των ορυκτοπετρογραφικών

και φυσικομηχανικών ιδιοτήτων και προσδιορισμός επικινδυνότητας από την παρουσία αμιαντικών ινών. , Μεταπτυχιακή Διατριβή, 23-24.

64. SMITH, A.G. & SPRAY, J.G. (1984): A half-ridge transform model for the Hellenic-Dinaric ophiolites.- In: DIXON, J.E. & ROBERTSON, A.H.F. (eds), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, Geol. Soc. London, sp. Publ., 17, 629-644.

65. ΡΟΓΚΑΛΑ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ (2013).ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΤΩΝ Ο-ΦΙΟΛΙΘΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΒΕΡΟΙΑΣ-ΝΑΟΥΣΑΣ (ΖΩΝΗ ΑΞΙΟΥ), Μεταπτυχιακή εργασία, 14-15.

66. ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ,Δ, (1983). Η γεωλογική δομή της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των εσωτερικών ελληνίδων. Πραγματεία για Υψηγεσία, Πανεπ. Θεσσαλονίκης, 289 p.

67. AUBOUIN, J. (1965). Geosynclines. Developments in Geotectonics. Vol. I. Eisevier ed., Amsterdam,335 p.

68. ΜΕΤΤΟΣ, Α., 1992. Γεωλογική και παλαιοντολογική μελέτη των ηπειρωτικών νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών ΒΑ Αττικής και ΝΑ Βοιωτίας. Διδακτορική διατριβή Παν/μιου Αθηνών.

69. ΤΣΟΔΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ Μ. (2009). Ενεργός τεκτονική της Στερεάς Ελλάδας.

70. ΔΟΥΝΑΣ Α., 1971. Η Γεωλογία της μεταξύ Μεγάρων και Ερυθρών περιοχής. Γεωλογικά και Γεωφυσικά Μελέται, Ι.Γ.Μ.Ε., 15 (2), Αθήνα.

71. Christodoulou, G.E., 1969. On the geology of the Thivai-Paralimni area. Geological and Geophysical Research. Institute for Geology and Subsurface Research, Athens, 13 (1).

72. ΔΕΔΕΣ ΙΩΑΝΝΗΣ,(2020). (<https://www.kastra.eu/castlegr.php?kastro=thiva>) .

73. ΜΠΑΒΕΛΛΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ & ΜΠΟΥΖΟΥΚΟΥ ΜΑΡΙΑΝΝΑ,(2005). ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ & ΑΝΟΡΓΑΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ. ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ.

74. ΔΡ. ΚΑΝΕΛΛΟΠΟΥΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ,(2017). *Περιθλασιμετρία ακτίνων Χ – Οδηγός εκτέλεσης και αποτίμησης ακτινοδιαγραμμάτων με χρήση του λογισμικού EVA της Bruker.*

75. Klug, H. P., Alexander, L.E., 1974. X-ray Diffraction Procedures. Wiley and Sons, Inc.

76. Cullity, B. D., 1978. Elements of X-ray Diffraction. Addison-Wesley Publishing Co., 2nd edition.

77. Brindley, G. W., Brown, G., 1980. Crystal structures of clay minerals and their identification. Mineralogical Society Monograph, n .5.

78. ΛΕΩΝΙΔΑΚΗ Α. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ (2012). Ανάλυση κονιαμάτων του Ι. Ν. Γενεσίου Θεοτόκου Κορωνησίας Ν. Άρτας με ορυκτολογικές και πετρογραφικές μεθόδους.

79. Μαρκόπουλος Θεόδωρος, Τριανταφύλλου Γεώργιος, Ροτόντο Παυλίνα, (2012), «Συντήρηση και αποκατάσταση των Ανατολικών και Δυτικών κτιρίων του οικοδομικού

συγκροτήματος της Ιεράς Μονής Βλαχέρνας Ν.Άρτας», Τεχνική έκθεση, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, (Χανιά, Ιανουάριος 2012)

80. Χατζόπουλος Νικόλαος, (2020). ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑΤΟΣ ΧΡΩΜΙΤΗ ΣΤΗΝ ΠΥΡΙΜΑΧΙΚΟΤΗΤΑ ΕΞΑΛΛΟΙΩΜΕΝΩΝ ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΥ ΜΑΓΝΗΣΙΤΗ. ΑΠΘ, Διπλωματική εργασία.

81. Κωστάκης Γ., (2006), «Γενική Ορυκτολογία», Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, (Χανιά, 2005).

82. Γκούβη Μυρτώ,(2018). ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΗΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΩΝ ΓΕΡΑΝΕΙΩΝ, ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ,ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ,ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ. (ΑΘΗΝΑ 2018), 44-46.

83. ΚΟΝΤΟΔΗΜΟΣ,2018, Υπουργείο Εργασίας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων, 2003, Liebenberg-Weyers, 2010; Kim and Hong, 2017; Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας, χ.χ.

84. Blott, S. J., & Pye, K. (2001). GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26 (11), pp. 1237-1248.

85. Αγιουτάντης, Ζ. (2002). Στοιχεία Γεωμηχανικής: Μηχανικής Πετρωμάτων. Εκδόσεις Ίων

86. ISRM (1978). "Suggested method for the quantitative description of discontinuities in rock masses". *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.* 15: pp. 319-368.

87. Meng, Z., & Pan, J. (2007). Correlation between petrographic characteristics and failure duration in clastic rocks. *Engineering Geology*, 89 (3-4), pp. 258-265.

88. Sabbioni, C., Zappia, G. Riontino C., Blanco-Varela MT., Aguilera, J., Puertas, F., (2001). Atmospheric deterioration of ancient and modern hydraulic mortars. *Atmospheric Environment*, Vol. 35, pp. 539-48.

Μοροπούλου, Α., (2016). Φθορά και προστασία υλικών. ΕΜΠ, Αθήνα.

89. Brooks, H.R., Kaczmarek, S.E., Rivers, J.M., (2019). Dolomite dissolution: An alternative diagenetic pathway for the formation of palygorskite clay. *Sedimentology* doi: 10.1111/sed.12559.

90. H.Y. Dhannoun and S.M.A. Al-Dabbagh., (1988). Origin and Chemistry of Palygorskite-Bearing Rocks (Middle Eocene) from Northeast Iraq. *Chemical Geology*, Vol. 69, pp. 95-101.

91. Πετρούνιας Π. (2013). Υψηλής ποιότητας αδρανή υλικά από τα οφιολιθικά πετρώματα της Βέροιας-Νάουσας: Αποτίμηση των ορυκτοπετρογραφικών και φυσικομηχανικών ιδιοτήτων και προσδιορισμός επικινδυνότητας από την παρουσία αμιαντικών ινών. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πάτρα 2013

92. Τσιρίκου Ν. & Καράμπελας Ν. (2017) . Γεωλογική και πετρολογική μελέτη των οφιολιθικών πετρωμάτων της περιοχής Τραγάνα Φθιώτιδας. Πτυχιακή Εργασία . Αθήνα 2017.

93. Κανελλόπουλος Χ. (2017). Περιθλασιμετρία ακτίνων Χ – Οδηγός εκτέλεσης και αποτίμησης ακτινοδιαγραμμάτων με χρήση του λογισμικού EVA της Bruker. Αθήνα 2017.