



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***«Διερεύνηση των ορυκτολογικών και
πετρογραφικών χαρακτηριστικών οπτοπλίνθων
δόμησης από το Μεσαιωνικό Κάστρο της Άρτας»***

ΛΑΜΠΡΟΠΟΥΛΟΥ Α. ΕΛΕΝΗ

Τριμελής εξεταστική επιτροπή

Θεόδωρος Μαρκόπουλος, Καθηγητής (Επιβλέπων)

Γεώργιος Αλεβίζος, Επίκουρος Καθηγητής

Ρεπούσκου Ευτυχία, Δρ. Γεωλόγος

Χανιά, Οκτώβριος 2013

Στην Καίτη και στον Γιώργο

ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος του Εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών πόρων, Πολυτεχνείου Κρήτης σε συνεργασία με την 18^η Εφορεία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων. Ο τίτλος του έργου είναι “Διερεύνηση των ορυκτολογικών και πετρογραφικών χαρακτηριστικών οπτοπλίνθων δόμησης από το Μεσαιωνικό Κάστρο της Άρτας” και αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η εργαστηριακή ανάλυση δειγμάτων οπτοπλίνθων του Κάστρου με ορυκτολογικές, πετρογραφικές κ.α. μεθόδους, για την μελέτη αυτών.

Ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Θεόδωρο Μαρκόπουλο, επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα καθώς και για το ενδιαφέρον και τη βοήθεια που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Αλεβίζο και την Δρ. Γεωλόγο κα. Ρεπούσκου Ευτυχία για τη συμμετοχής τους στην εξεταστική επιτροπή και για το χρόνο που διέθεσαν στη διόρθωση αυτής της εργασίας. Ευχαριστώ θερμά τον Δρ. Γεώργιο Τριανταφύλλου, για τη συνεργασία, την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος με στόχο τη μελέτη δειγμάτων οπτοπλίνθων του Μεσαιωνικού Κάστρου της Άρτας, που αποτελεί σημαντικό μνημείο της βυζαντινής περιόδου. Η κατασκευή του Κάστρου έχει διανύσει τρεις περιόδους: 5^ο αι., 13^ο αι., (Βυζαντινή εποχή) και 18^{ος} αι. (Οθωμανική περίοδος). Σκοπός της μελέτης είναι η συλλογή στοιχείων, για την τεχνολογία παρασκευής τους, όπως θερμοκρασίες και συνθήκες όπτησης, η οποία υποβοηθά και στην ιστορική διερεύνηση κατασκευής του Κάστρου καθώς και στην αποκατάστασή του. Πραγματοποιήθηκε εργαστηριακή ανάλυση των δειγμάτων οπτοπλίνθων με ορυκτολογικές, πετρογραφικές κ.α. μεθόδους, που ελήφθησαν από τις τοιχοποιίες του Κάστρου. Τα πειράματα και οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας.

Αρχικά, γίνεται μία εισαγωγή στα ιστορικά πλαίσια της Άρτας και του Κάστρου και δίνονται επίσης έννοιες και ορισμοί απαραίτητοι για την κατανόηση και την ομαλή ανάγνωση της εργασίας.

Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στην ευρύτερη περιοχή της Άρτας (γεωλογικά στοιχεία), στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του Κάστρου (εσωτερική-εξωτερική περιγραφή, επεμβάσεις) και του οπτόπλινθου ως βασικό υλικό δόμησης της Βυζαντινής αρχιτεκτονικής.

Επιπλέον, περιγράφονται οι εργαστηριακές δοκιμές και αναλύσεις δώδεκα (12) δειγμάτων οπτοπλίνθων από το μνημείο, που διενεργήθηκαν βάσει των ευρωπαϊκών προτύπων EN, και περιελάμβαναν:

- Μικροσκοπική εξέταση σιλικών και λεπτών τομών
- Ορυκτολογική ανάλυση με τη χρήση μεθόδου (XRD)

- Χημική ανάλυση με τη χρήση μεθόδου XRF
- Προσδιορισμός της απώλειας πύρωσης
- Προσδιορισμός του αδιάλυτου υπολείμματος
- Προσδιορισμό της υδατοαπορροφητικότητας

Τέλος, παρουσιάζονται η επεξεργασία των αποτελεσμάτων της παραπάνω σειράς μεθόδων, τα συμπεράσματα που διεξάχθηκαν, καθώς και οι αντίστοιχες προτάσεις για περισσότερα στοιχεία της τεχνολογίας κατασκευής οπτοπλίνθων καθώς και ιστορικής διερεύνησης των κατασκευαστικών φάσεων του Κάστρου.

Τα κυριότερα συμπεράσματα είναι:

- Προσδιορίστηκαν πρωτογενή ορυκτά, όπως χαλαζίας, άστριοι και ασβεστίτης και δευτερογενή ορυκτά, όπως αιματίτης, ακερμανίτης και διοψίδιος αλλά και δευτερογενής ασβεστίτης, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την κατηγοριοποίηση των δειγμάτων σε υλικά δόμησης που προήλθαν από έψηση πρώτων υλών σε θερμοκρασίες από 750 έως 950°C.
- Βάση των παραπάνω προκύπτει πως οι οπτόπλινθοι που μελετήθηκαν στη παρούσα εργασία σχετίζονται με διαφορετικές φάσεις δόμησης των τοιχοποιιών του Μεσαιωνικού Κάστρου της Άρτας.

Προτείνεται ανάλυση περισσότερων δειγμάτων οπτοπλίνθων και κονιαμάτων από το Μεσαιωνικό Κάστρο της Άρτας και εφαρμογή πρόσθετων εργαστηριακών μεθόδων, όπως παρατήρηση στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	1
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΚΑΙ ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΡΤΑΣ	1
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΚΑΣΤΡΟΥ.....	8
1.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΑΣΤΡΟΥ	11
1.4 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΙ	19
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	19
2.2 ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΥ.....	22
2.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΥ	23
2.4 ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΥ	25
2.4.1 Εξόρυξη και αποθήκευση πρώτων υλών.....	27
2.4.2 Προετοιμασία και ζύμωση πρώτων υλών.....	27
2.4.3 Ξήρανση.....	28
2.4.4 Έψηση οπτόπλινθων.....	29
2.4.5 Συσκευασία και αποθήκευση	30
2.5 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΒΥΖΑΝΤΙΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	31
2.6 Ο ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ ΩΣ ΒΑΣΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΔΟΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΒΥΖΑΝΤΙΝΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ & ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ .	37
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	37
3.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ.....	37
3.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	43
3.3.1 Μικροσκοπική εξέταση	43
3.3.2 Ορυκτολογική ανάλυση – XRD	45
3.3.3 Χημική ανάλυση – XRF.....	49
3.3.4 Προσδιορισμός της απώλειας πύρωσης	50
3.3.5 Προσδιορισμός αδιάλυτου υπολείμματος.....	51
3.3.6 Υδατοαπορροφητικότητα.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ	54
4.1 ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ (ΣΤΙΛΠΝΩΝ ΚΑΙ ΛΕΠΤΩΝ ΤΟΜΩΝ)	54
4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ XRD.....	65
4.2.1 Εκτιμώμενη θερμοκρασία όπτησης έως τους 750 °C.....	70
4.2.2 Εκτιμώμενη θερμοκρασία όπτησης από 800°C έως 850°C.....	72
4.2.3 Εκτιμώμενο θερμοκρασιακό εύρος όπτησης στους 900 °C.....	74
4.2.4 Εκτιμώμενη θερμοκρασία όπτησης μεγαλύτερη από 900°C.....	76
4.2.5 Εκτιμώμενο θερμοκρασιακό εύρος όπτησης στους 950°C	78
4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΟΥ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΟΣ.....	80
4.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	91
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	93

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΚΑΙ ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΡΤΑΣ

Στην Ήπειρο «την καταντικρύ, την κατά Κέρκυρα ήπειρο» κατά το Θουκυδίδη ή «την Αρχαία Ελλάδα» κατά τον Αριστοτέλη.

Στην Ήπειρο, την «Αρχέγονη Ελλάδα» την πατρίδα της Ευρώπης – συζύγου του Δωδωναίου Δία αλλά και του Αχιλλέα, βρίσκεται η Άρτα, χτισμένη στην ίδια θέση που κατά την αρχαιότητα υπήρχε μια από τις σημαντικότερες πόλεις της Ελλάδας, η Αμβρακία.

Η Αμβρακία πήρε το όνομά της από τον Άμβρακα, γιο του Θεσπρωτού, ενώ μία άλλη εκδοχή τη συνδέει με την Αμβρακία, κόρη του Μελανέα. Ετοιμολογικά η λέξη **Αμβρακία=Αμπρακία**, προέρχεται από το αμπί=αμφί και ρακία =ραχία=βραχώδη ακτή, πετρώδης γιαλός, το χτύπημα που προκαλεί το νερό στα βράχια. Από το ρήμα ράπτω ή αράπτω=χτυπώ με δύναμη και τη ρίζα ρακ, προήλθε το τοπωνύμιο Αμπ-ρακ-ία και το υδρωνύμιο Α-ραχ-θος, δηλαδή η πετρώδης ακτή που χτυπιέται, αμπί=από εδώ και από εκεί.

Το **620 π.Χ.** η Αμβρακία ιδρύθηκε από το Γόργο, νόθο γιο του Κυψέλου, του τυράννου της Κορίνθου, σε περιοχή που ανήκε στους Δρύοπες.

Ως πρώτοι κάτοικοί της αναφέρονται οι Δρύοπες. Στα τέλη του 7ου-αρχές του 6ου αι. π.Χ., στα χρόνια των Κυψελιδών, την αποίκισαν οι Κορίνθιοι. Έλαβε μέρος στους Περσικούς Πολέμους και συντάχθηκε με τη Σπάρτη στον Πελοποννησιακό Πόλεμο και διέθεσε επτά πλοία στη ναυμαχία της Σαλαμίνας και πεντακόσιους οπλίτες στη μάχη των Πλαταιών. Αυτή την εποχή κατασκευάστηκε το δημόσιο Πολυάνδριο κενοτάφιο, για να τιμήσει η πόλη τους νεκρούς που χάθηκαν σε ναυμαχία. Σε επίγραμμα του Πολυανδρίου υπάρχει η παλαιότερη μαρτυρία του ονόματος της πόλεως “Ανπρακία”.

Το **379-316π.Χ.** στην Αμβρακία έζησε η Ολυμπιάδα, κόρη του βασιλέως των Μολοσσών Νεοπτόλεμου, σύζυγος του Φιλίππου Β΄ της Μακεδονίας και μητέρα του Μεγάλου Αλεξάνδρου.

Το **320-272 π.Χ.** καταλήφθηκε από το βασιλιά των Μολοσσών, Πύρρο, δημιούργησε τη<<Μεγάλη Ηπειρο>> και κατέστησε τη Αμβρακία πρωτεύουσα του βασιλείου του το **295 π.Χ.** Ο Πύρρος έδωσε διεθνή αίγλη στην πόλη, όπως άλλωστε σε ολόκληρη την Ήπειρο και κόσμησε την Αμβρακία με σημαντικά οικοδομήματα. Κτίστηκε η αρχική μορφή του γεφυριού του Αράχθου, το Μικρό Θέατρο (κοντά στον Άγιο Κωνσταντίνο), το Μεγάλο Θέατρο (κοντά στον Ναό του Απόλλωνος), και το Πρυτανείο (δίπλα στο Ναό Απόλλωνος).

Αποτέλεσε μέλος της Αιτωλικής Συμπολιτείας και δέχθηκε καταστροφικά πλήγματα από τους Ρωμαίους το **189 π.Χ.** και το **168 π.Χ.** δυστυχώς πολλοί καλλιτεχνικοί θησαυροί της Αμβρακίας μεταφέρθηκαν στη Ρώμη με διαταγή του υπάτου Marcus Fulvius Nobilior, μετά την πολιορκία της πόλης. Οι κάτοικοι που είχαν απομείνει κατέφυγαν στη Νικόπολη, που ιδρύθηκε από τον αυτοκράτορα Οκταβιανό Αύγουστο μετά τη ναυμαχία του Ακτίου, το 31 π.Χ. Στην Αμβρακία έμεινε μικρός πληθυσμός κατοίκων.

Η ερειπωμένη και αραιοκατοικημένη Άρτα, μετά το **31 π.Χ.** ακολούθησε την πορεία της γειτονικής μεγάλης πόλης Νικόπολη. Με την ίδρυση του Βυζαντίου επίσης ακολούθησε την πορεία του "Θέματος Νικόπολης" (Βυζαντινή διοικητική περιφέρεια).

Το έτος **1000 μ.Χ.** εμφανίζεται το όνομα Άρτα, από το λατινικό **artus, arta, artum** = στενός, στενή, στενό. Κατ' άλλη άποψη του Σεραφείμ Ξενόπουλου του Βυζαντίου το όνομα προήλθε από το **αρτίζομαι**, και τη φράση «**Άρτα αρτυμή του κόσμου**» λόγω της παραγωγής σιτηρών που τάιζε τον κόσμο.

Το **1204 μ.Χ.** μετά την τέταρτη Σταυροφορία, το μισό τμήμα του Βυζαντίου εδραιώθηκε στη Νίκαια της Μ. Ασίας, και το υπόλοιπο ήρθε

στην Άρτα. Το **1205 μ.Χ.** ήρθε στην Άρτα ο Μιχαήλ Α΄ Κομνηνός Δούκας ή Μιχαήλ Άγγελος και υπήρξε ο ιδρυτής και ο πρώτος Δεσπότης του Δεσποτάτου της Ηπείρου, με πρωτεύουσα την Άρτα (**1205-1215**).

Το Δεσποτάτο της Ηπείρου ήταν ένα από τα κράτη που προέκυψαν από την κατάλυση της Βυζαντινής Αυτοκρατορίας μετά την Τέταρτη Σταυροφορία το 1204 μ.Χ. Τα χρόνια αυτά οικοδομήθηκαν σπουδαία μνημεία όπως το Κάστρο της Άρτας.

Το Δεσποτάτο της Ηπείρου γεωγραφικά εκτεινόταν νότια από την Πάτρα έως και τη μισή περίπου σημερινή Αλβανία μέχρι το Δυρράχιο και δυτικά από την Πρέβεζα έως τη Θεσσαλία και τις λίμνες Πρέσπες.

Το έτος **1210 μ.Χ.** ο Μιχαήλ Α Κομνηνός Δούκας, συμμάχησε με τη Βενετία και επιτέθηκε στη Θεσσαλονίκη. Έχει υποστηριχθεί από ιστορικούς ότι ο ίδιος υπήρξε ιδιαίτερα σκληρός με τους αιχμαλώτους του, σταυρώνοντας Λατίνους ιερείς. Αυτό οδήγησε στον αφορισμό του από τον Πάπα. Τελικά με ενισχύσεις από το Λατίνο Αυτοκράτορα προς τους πολιορκημένους, η Θεσσαλονίκη δεν καταλήφθηκε. Ο Μιχαήλ Α΄ Κομνηνός Δούκας κατέλαβε μία σειρά από πόλεις επεκτείνοντας τα όρια του Δεσποτάτου: Λάρισα (1212), Δυρράχιο (1214), Κέρκυρα (1214). Επίσης κατέλαβε την παραλιακή ζώνη του Κορινθιακού κόλπου. Ήρθε σε σύγκρουση με τους Σέρβους και τους Βούλγαρους. Δολοφονήθηκε το έτος 1215 από κάποιον υπηρέτη του και τον διαδέχτηκε ο ετεροθαλής αδελφός του Θεόδωρος Κομνηνός Δούκας, ως επίτροπος του ανήλικου διάδοχου γιο του Μιχαήλ, ο Μιχαήλ Β΄ Κομνηνός Δούκας.

Το **1230μ.Χ.** μετά την ήττα και την αιχμαλωσία του Θεόδωρου Κομνηνού Δούκα από το βούλγαρο Ιωάννη Β΄ Ασέν στη μάχη της Κλοκοτνίτσας επέστρεψε στην Ήπειρο ο Μιχαήλ Β΄ Κομνηνός Δούκας και στέφθηκε Δεσπότης της Ηπείρου από το **1231μ.Χ.** έως τον θάνατό του 1271. Από το 1231 άρχισε μια νέα δημιουργική περίοδος για το Δεσποτάτο

της Ηπείρου, όπως μαρτυρούν τα αξιόλογα μνημεία. Πάνω στα θεμέλια και σε τμήμα της ανωδομής του αρχαίου τείχους της Αμβρακίας υψώθηκε και το νεότερο κάστρο.

Σε επίπεδο στρατηγικής ήταν μια περίοδος ταραχώδης. Ο Μιχαήλ με το γάμο του με την Θεοδώρα Πετραλίφαινα, απέκτησε την υποστήριξη των τοπικών αρχόντων και στενές σχέσεις με την αυτοκρατορία της Νίκαιας. Στρατηγικό λάθος του Μιχαήλ Β΄ θεωρείται η ρήξη του με τον Αυτοκράτορα της Νίκαιας Ιωάννη Γ΄ Βατάτζη, γεγονός που του στοίχησε σημαντικά εδάφη της επικράτειάς του όπως το Δυρράχιο και τα Σέρβια το **1256μ.Χ.** Στα δυτικά επίσης έχασε την Κέρκυρα και την Αυλώνα από τον βασιλιά δύο Σικελιών Κάρολο τον Ανδεγαυικό και το Δεσποτάτο συρρικνώθηκε ακόμη περισσότερο.

Το **1259**, συγκρούστηκαν οι στρατοί της Ηπείρου με την Νίκαια και ο μετέπειτα Αυτοκράτορας Μιχαήλ Η΄ Παλαιολόγος που ήταν επικεφαλής των στρατευμάτων της Νίκαιας, κατέλαβε προσωρινά την Ήπειρο ενώ ο Μιχαήλ Β΄ βρήκε καταφύγιο στο Ιόνιο. Όμως Αυτοκράτορας Μιχαήλ Η΄ Παλαιολόγος αντιμετώπισε τέτοια αντίσταση στη γη της Ηπείρου που τα στρατεύματά του τελικά αποσύρθηκαν και ο Μιχαήλ Β΄ επανήλθε στην Ήπειρο με τη βοήθεια του Μανφρέδου (βασιλιά της Σικελίας).

Το **1264** οι Βυζαντινοί πέτυχαν άλλοι μια νίκη εναντίον του και έτσι αναγκάστηκε να αναγνωρίσει την υποτέλεια του στο Βυζαντινό Αυτοκράτορα πλέον (η Κωνσταντινούπολη μόλις επανακαταλήφθηκε από την Αυτοκρατορία της Νίκαιας) Μιχαήλ Η΄ Παλαιολόγου.

Το **1271** όταν ο Μιχαήλ Β΄ πέθανε, τα εδάφη του Δεσποτάτου μοιράστηκαν μεταξύ του γιου του Νικηφόρου Α΄ Κομνηνού Δούκα που ανέλαβε την Ήπειρο και την Αιτωλοακαρνανία και του Ιωάννη Α΄ Δούκα με την Θεσσαλία και Α.Στερεά Ελλάδα. Το **1296** μετά το

θάνατο του Νικηφόρου Α΄, τον διαδέχθηκε ο ανήλικος γιός του Θωμάς που τον επιτρόπευε η μητέρα του Άννα Παλαιολογίνα Καντακουζηνή η οποία έπαιξε κυρίαρχο ρόλο στις υποθέσεις του Δεσποτάτου μέχρι το 1318.

Την περίοδο εκείνη **1318-1337** εγκαταστάθηκε στην Άρτα η ιταλική οικογένεια Orsini (Νικόλαος και Ιωάννης) και ο Νικόλαο Orsini πήρε και το θρόνο αφού είχε δολοφονήσει το Θωμά το 1318.

Ακολουθεί περίοδος συνεχούς εναλλαγής ξένων ηγεμόνων που ωστόσο σεβάστηκαν τα δικαιώματα και τις παραδόσεις των υπηκόων τους.

1338 μ.Χ. διορίστηκε κυβερνήτης ο Θεόδωρος Συναδηνός.

1340 μ.Χ. διορίστηκε ο Ιωάννης Άγγελος ο Πιγκέρνης.

1349 μ.Χ. Σερβική κατοχή της Άρτας από τον Στέφανο Δουσάν.

1356-1359 μ.Χ. Νικηφόρος Β΄ Ορσίνι(γιος του Ιωάννη Ορσίνι)

1359-1416 μ.Χ. Αλβανική κατοχή από τους Λόσα και Σπάτα.

1416 μ.Χ. Ο Ιταλός Δούκας Τόκκος Κάρολος ήρθε στην Άρτα.

Το **1449 μ.Χ.** στις 24 Μαρτίου, η Άρτα καταλήφθηκε από τους Τούρκους που σήμανε το τέλος της πολυκύμαντης ιστορίας του ιδιότυπου όσο και ισχυρού Δεσποτάτου της Ηπείρου.

Το **1470 μ.Χ.** γεννήθηκε στην Άρτα ο Μάξιμος Γραικός, σπουδαίος λογοτέχνης με 365 έργα και σημαντική προσφορά στο Ρωσικό πολιτισμό.

Στα έτη **1602-1606 μ.Χ.** χτίζεται στην Άρτα το διάσημο πέτρινο Γεφύρι της Άρτας.

Το έτος **1650 μ.Χ.** χτίστηκε το πρωτοποριακό Οθωμανικό ρολόι-Πύργος της Άρτας. Το μοναδικό ρολόι με δίσκο σε όλη την αχανή Οθωμανική Αυτοκρατορία και ήταν διακοσμημένο με σμάλτο.

Το **1779 μ.Χ.** γεννήθηκε στο Καμπότι της Άρτας ο πρωτεργάτης της Φιλικής Εταιρίας , Νικόλαος Σκουφάς. Στην Άρτα, στο σπίτι του

άρχοντα Αθ.Λιδωρίκη έζησε αρκετά χρόνια ο Μακρυγιάννης, ο στρατηγός της επανάστασης του 1821.

Το **1780 μ.Χ.** γεννήθηκε στη Σκουληκαριά της Άρτας ο Γεώργιος Καραϊσκάκης, ο οποίος έπεσε ηρωικώς μαχόμενος στη μάχη των Αθηνών το 1827.

Το **1788 μ.Χ.** η Άρτα περιήλθε στην εξουσία του Αλή Πασά Τεπελενλή και τερματίστηκε με τον αποκεφαλισμό του το 1822.

Το **1816μ.Χ.** εξαπλώθηκε επιδημία πανώλης (πανούκλας) στην Άρτα και την Πρέβεζα. Υπολογίζεται ότι η θνητότητα ήταν 30%.

Η Επανάσταση του 1821 έχει να επιδείξει πολλές ιστορικές μάχες στην περιοχή της Αρτας και στα γύρω χωριά.Στις 15 Νοεμβρίου του 1821 έγινε η ομώνυμη Μάχη της Άρτας.Μετά τις νικηφόρες μάχες του Σουλιώτη Γώγου Μπακόλα στη Λαγκάδα, στο Πέτα, στην Πλάκα, στα Άγναντα και στο Σταυρό Θεοδώριανων, επιτίθεται και κλείνει τις πύλες επικοινωνίας στο όρος Μακρυνόρος, μεταξύ Αμφιλοχίας και Άρτας. Έτσι οι Οθωμανοί πανικοβάλλονται και εγκλωβίζονται και ξεσπούν σε αντίποινα στους άμαχους της πόλης και στους αιχμαλώτους στο κάστρο της πόλης, με αποτέλεσμα στις 2 Δεκεμβρίου 1821 να γίνει η εγκατάλειψη της Άρτας από αγωνιστές και Αρτινούς, ύστερα από εντολή του Καραϊσκάκη.

Κατά την διάρκεια της Οθωμανικής περιόδου, στις **4 Ιουλίου του 1822** γίνεται η άτυχη Μάχη του Πέτα με τη θυσία πολλών φιλελλήνων, με αποτέλεσμα η Άρτα να μην εμπεριέχεται στα εδάφη του νέου κράτους "Βασίλειον της Ελλάδος".

Η πολυπόθητη μέρα για την Άρτα έφτασε στις **24 Ιουνίου 1881** με την απελευθέρωσή της ύστερα από την τελική Συμφωνία της Κωνσταντινούπολης στις 28 Μαρτίου 1881 δια κυβέρνησης Κουμουνδούρου.

Μετά την απελευθέρωσή της, το τμήμα αυτό της Ηπείρου μέχρι τον Άραχθο ποταμόαποτελέσε το Νομό Άρτας. Σήμερα, η πόλη Άρτα είναι η πρωτεύουσα του Νομού Άρτας και του Δήμου Αρταίων, καθώς και η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Ηπείρου, μετά τα Γιάννενα, με πληθυσμό 24.427 (καταγραφή του 2011). Είναι κτισμένη στην αριστερή όχθη του ποταμού Αράχθου και απλώνεται αμφιθεατρικά στους πρόποδες του λόφου της Περάνθης. Η προνομιούχος θέση της, η ευφορία του εδάφους της και το κλίμα ήταν οι κυριότεροι λόγοι που έδωσαν στην πόλη μια συνεχή ζωή, από τον 9ο αι. π.Χ. έως σήμερα. (Γιαννέλος 2001 και Κώστας Τραχανάς).



Εικόνα 1.1 Κάτοψη της Άρτας και του Κάστρου.

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΚΑΣΤΡΟΥ

« Έχουμε το προνόμιο να ζούμε σε μια χώρα που κάθε σπιθαμή του εδάφους της μαρτυρεί πολιτισμό και ιστορία. Εκτός από τους ιστορικούς τόπους με παγκόσμια ακτινοβολία - Αθήνα, Δελφοί, Ολυμπία και πολλοί άλλοι - μνημεία υπάρχουν παντού: αρχαία ιερά και εξωκλήσια σε σχεδόν απάτητες βουνοκορφές, και στο βυθό των θαλασσών μας, καταποντισμένα λιμάνια, πλοία, έργα τέχνης, απλοί αμφορείς και τόσα άλλα, σε μεγάλο πλήθος. Είναι ένα προνόμιο μοναδικό, το οποίο, όμως δημιουργεί και τη σοβαρή υποχρέωση της προστασίας αυτής της κληρονομιάς ».

Τα παραπάνω λόγια της Μελίνας Μερκούρη, τονίζουν τη σημασία της πολιτιστικής κληρονομιάς αυτού του τόπου και το χρέος των Ελλήνων απέναντι σε αυτήν. Δυστυχώς, η σημασία των λόγων αυτών στις περισσότερες περιπτώσεις έχει αγνοηθεί από τους αρμόδιους φορείς, με αποτέλεσμα πολλά από τα μνημεία του ελλαδικού χώρου να μην τυγχάνουν της απαραίτητης φροντίδας και προσοχής.

Η Άρτα αξίζει να είναι ένα κόσμημα, γιατί ανήκει στις ελάχιστες πόλεις που βαδίζουν στο μέλλον με τόση βαριά κληρονομιά: κλασσική, βυζαντινή και νεότερη.

Το Κάστρο της Άρτας, είναι ένα από τα πιο σημαντικά ιστορικά μνημεία που την κοσμούν. Ο σχηματισμός του, έχει βαδίσει σε τρεις περιόδους: πάνω στα απομεινάρια του τείχους της αρχαίας Αμβρακίας (5ος-4ος αιώνας π.Χ.), την βυζαντινή εποχή (13ος αιώνας) όπου χτίστηκε το νεότερο κάστρο, και τέλος την Οθωμανική περίοδο (18^{ος} αι.) όπου και τελειοποιήθηκε.

Η ιστορία του λοιπόν, ξεκινάει από την Κλασσική εποχή, όταν τον 6ο αιώνα, οι Κορίνθιοι εγκαταστάθηκαν στην Αμβρακία και η πόλη

γνώρισε μεγάλη οικονομική ακμή και στρατιωτικοναυτική ισχύ όπως προκύπτει από τα αρχαία ευρήματα. Έτσι, η άνθιση και η ανάπτυξη της πόλης, ώθησε τους κατοίκους στην οχύρωση για την προστασία της. Χρονολογείται ότι η κατασκευή του τείχους ξεκίνησε τον 6ο αιώνα π.Χ. με ένα απλό σχέδιο ενώ στα μέσα του 4ου αιώνα π.Χ. χτίστηκε νέος οχυρωματικός περίβολος μνημιακής κατασκευής.

Τα τμήματα του αρχαίου τείχους, που διασώθηκαν, δείχνουν πως το τείχος ήταν επιβλητικό και επιμελημένης κατασκευής. Λίγα μόνο τμήματα από το τείχος που περιέβαλε την πόλη της αρχαίας Αμβρακίας ακολουθώντας σε μεγάλο τμήμα το ρου του ποταμού Αράχθου, είναι σήμερα ορατά. Το τείχος αποτελείται από δύο παρειές με γέμισμα ανάμεσά τους. Η εξωτερική παρειά είναι ιδιαίτερα επιμελημένης κατασκευής με εντυπωσιακό μέγεθος λαξευτών λίθων ύψους έως 1,5 μέτρο. Η ανωδομή ήταν κατασκευασμένη από ωμόπλινθους. Το κάτω μέρος αυτού του τείχους σώζεται στην ανατολική και βόρεια πλευρά του κάστρου.



Εικόνα 1.1 Τείχος της Αρχαίας Αμβρακίας, με χαρακτηριστικό τους λαξευτούς ογκόλιθους.

Πάνω στα θεμέλια και σε τμήματα της ανωδομής αυτού του αρχαίου τείχους της Αμβρακίας υψώθηκε το νεότερο κάστρο, την υστεροβυζαντινή περίοδο, στα χρόνια του Δεσποτάτου της Ηπείρου και συγκεκριμένα επί δεσποτείας Μιχαήλ Β΄ Κομνηνού Δούκα. Δηλαδή μετά το 1231.

Στον προσδιορισμό του χρόνου κατασκευής του βοηθούν τόσο οι γραπτές πηγές όσο και η τεχνική της κατασκευής του. Πρόσθετη μαρτυρία για την ίδρυση του κάστρου την βυζαντινή περίοδο αποτελεί χαρακτό μονόγραμμα επιγράμματος που υπάρχει εντοιχισμένο στη μέση του τρίτου νότιου πύργου (δεξιά της κύριας πύλης) και φέρει τα γράμματα Μ.Α.Δ.Κ. υποδηλώνοντας τον κτήτορα του κάστρου.

Έναν αιώνα αργότερα, το 1357 μ.Χ. ο Νικηφόρος Β΄ Ορσίνι κάνει σημαντικές επισκευές στο κάστρο, για να αντιμετωπίσει αποτελεσματικότερα τις επιδρομές των Σέρβων. Κατά την διάρκεια της Οθωμανικής περιόδου, το έτος 1788 (18ος αι.) όταν η Άρτα περιήλθε στην εξουσία του Αλή Πασά Τεπελενλή, έγιναν περιορισμένης έκτασης αλλαγές κυρίως στις επάλξεις, στο εσωτερικό "Καστράκι" και στους πύργους, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της τότε πολεμικής τεχνικής.

Ήταν πολύ ισχυρό κάστρο και χρησιμοποιήθηκε από τους επαναστατήσαντες κατά της Βυζαντινής επικυριαρχίας. Κατά το 1204, όταν κατελήφθη η Πόλη από τους σταυροφόρους, εδώ βρήκαν καταφύγιο οι Άρχοντες Άγγελοι Κομνηνοί και ίδρυσαν το Δεσποτάτο της Ηπείρου. Στα χρόνια του Αλή πασά Τεπελενλή, στο εσωτερικό του κάστρου λειτούργησαν φυλακές όπου φυλακίστηκε ο αγωνιστής του 1821 Ιωάννης Μακρυγιάννης. Σήμερα στο εσωτερικό του κάστρου στεγάζεται το Δημοτικό Θέατρο της πόλης της Άρτας.

Το 1987 αυτός ο μοναδικός στο είδος του χώρος, αξιοποιημένος από το Δήμο Αρταίων, δόθηκε στο κοινό της πόλης για τις πολιτιστικές του εκδηλώσεις. Σήμερα αποτελεί αντιπροσωπευτικό δείγμα της κοσμικής αρχιτεκτονικής των βυζαντινών χρόνων και ένα από τα σημαντικότερα αξιοθέατα της περιοχή.



Εικόνα 1.2.Το κάστρο της Άρτας

1.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΑΣΤΡΟΥ

Η σημερινή μορφή του είναι αποτέλεσμα πολλών επεμβάσεων, προσθηκών και επισκευών, οι οποίες δεν αλλοίωσαν το αρχικό του σχήμα. Το μνημείο αποτελείται από 3 μέρη :

- 1)** το κυρίως φρούριο
- 2)** δύο μικρά εξωτερικά περιτειχίσματα χτισμένα σε χαμηλότερο επίπεδο- από τα οποία το δυτικό είναι ενισχυτικό του κυρίως φρουρίου και εκτείνεται από την κεντρική πύλη ως τον πύργο του ρολογιού, ενώ το βόρειο, πνιγμένο σήμερα από τα σπίτια της συνοικίας των Ταμπακιάδων, προστάτευε την κρυφή βόρεια πύλη του κάστρου, και
- 3)** το εσωτερικό οχυρό ή Ακρόπολη που βρίσκεται στα αριστερά της κεντρικής πύλης.

Το σχήμα του κάστρου είναι ακανόνιστο πολύγωνο (μέγιστου μήκους 280 μ. και πλάτους 175μ.) το οποίο διακόπτεται ανά 25μ. από ημικυκλικούς, τριγωνικούς ή πολυγωνικούς πύργους. Μόνο στο ανατολικό τμήμα που στηρίζεται πάνω στο αρχαίο τείχος, δεν υπάρχουν πύργοι. Από αυτούς, μερικοί στη δυτική και νότια πλευρά δεν είναι βυζαντινοί αλλά μεταγενέστεροι, όπως δείχνει η τεχνική κατασκευής τους. Δηλαδή είναι κατασκευασμένοι με διαφορετικά υλικά, έχουν σχήμα τριγωνικό ή πολυγωνικό, λείπουν παντελώς οι πλίνθοι και έχουν στο πάνω μέρος μεγάλα παραθυροειδή ανοίγματα που προορίζονταν για την τοποθέτηση τηλεβόλων. Τέτοια τεχνική συναντάμε σε ενετικά κάστρα, γιαυτό θεωρείται πιθανότατο οι Τούρκοι να κάλεσαν Ενετούς μηχανικούς για την ενίσχυση του φρουρίου.

Το πάχος του τείχους είναι 2,5 μέτρα και το ύψος 10 μέτρα και στέφεται από επάλξεις, πίσω από τις οποίες υπάρχει ο περίδρομος για τους πολεμιστές. Η τοιχοδομή του είναι απλή, με ακανόνιστα λαξευμένες μικρές πέτρες και παρεμβολή πλίνθων, αόρατων στο μεγαλύτερο μέρος του τείχους, επειδή καλύφθηκαν από μεταγενέστερο κονίαμα. Ιδιαίτερα καλή ισόδομη πλινθοπερίβλητη βυζαντινή τοιχοποιία εμφανίζεται στο πάνω τμήμα της δυτικής πλευράς του κάστρου καθώς και στην ανατολική πλευρά του εσωτερικού οχυρού, όπου υπάρχει και πλίνθινη διακόσμηση.

Σε πύργο της βόρειας πλευράς του κάστρου υπάρχει μικρή πύλη που προστατεύεται από εξωτερικό περιτείχισμα. Η πύλη αυτή χρησίμευε για την ασφαλή ύδρευση από το ποτάμι σε περίπτωση μακρόχρονης πολιορκίας. Ίχνη πύλης διακρίνονται και στο αρχαίο τείχος της Αμβρακίας, στην ανατολική πλευρά του κάστρου. Στο κέντρο του λοφίσκου, σώζονται λείψανα μεγάλου οικοδομήματος, χτισμένο με ακανόνιστη βυζαντινή τοιχοποιία από μεγάλους λίθους μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται πλίνθοι. Στη νότια πλευρά του κτίσματος αυτού είναι προσκολλημένος βυζαντινός ναός, που απ' ό,τι δείχνουν

τα απομεινάρια των τείχων του, κατέληγε σε ημιεξάγωγη κόγχη. Θεωρείται βέβαιο ότι πρόκειται για τα ανάκτορα των Κομνηνών και το βασιλικό παρεκκλήσι, τα οποία καταστράφηκαν κατά την εισβολή των Σέρβων του Στέφανου Δουσάν ή από την μεγάλη πυρκαγιά του 1361, οπότε θα έγινε και μεταφορά των ανακτόρων στο εσωτερικό οχυρό (Ουτς-Καλέ) για μεγαλύτερη ασφάλεια.

Σύμφωνα με τις περιγραφές περιηγητών, έξω από το κάστρο, στο χώρο που απλώνεται μπροστά από την κύρια είσοδό του, υπήρχε από τα βυζαντινά χρόνια και εξακολουθούσε να λειτουργεί στα χρόνια της τουρκοκρατίας αγορά- το “Εμπόριο” κατά το χρονικό των Τοσσογιάυτο και η περιοχή προσέλκυσε από νωρίς Εβραίους, οι οποίοι εγκαταστάθηκαν εκεί, έδωσαν το όνομα στη συνοικία “Εβραϊκά” και η συναγωγή τους υπήρχε και λειτουργούσε στο χώρο αυτό ως τον τελευταίο παγκόσμιο πόλεμο.

Στη νοτιοδυτική γωνία του κάστρου και αριστερά της κεντρικής πύλης, υπάρχει εσωτερικό ακανόνιστου σχήματος τείχος με βυζαντινή τοιχοποιία και τοξωτά παράθυρα που αποκόβει μια εξοχή του χώρου, δημιουργώντας έτσι ένα εσωτερικό οχυρό-το “Ουτς Καλέ” των Τούρκων ή το “Καστράκι” των σημερινών Αρτινών- το οποίο θα αποτελούσε και το έσχατο καταφύγιο, αν κρίνουμε από το πολύπλοκο σύστημα εισόδου σε αυτού, τις κρύπτες και τις θολωτές κλειστές αίθουσες που υπάρχουν μέσα. Το εσωτερικό τείχος που περικλείει το οχυρό, εκτός από την πλίνθινη διακόσμηση έφερε και εξώστες τοξοβολιτούς (από τους οποίους σήμερα σώζονται μόνο οι λίθινοι κιλλίβαντες), στοιχείο που ενισχύει την άποψη ότι σε αυτό το οχυρό μεταφέρθηκαν τα μη σωσμένα ανάκτορα των Κομνηνών για προστασία από τους επιδρομείς. Η μεταφορά αυτή των ανακτόρων θα πρέπει να έγινε στα χρόνια της δεύτερης δεσποτείας του Νικηφόρου Β΄, όταν το 1356 ανακατέλαβε την Άρτα από τους Σέρβους. Αφού πέρασαν από εκεί Αλβανοί, Λατίνοι, και Τούρκοι ηγέμονες, τα κτίσματα του

εσωτερικού φρουρίου γνώρισαν τόσες μεταβολές, ανακατασκευές και αλλοιώσεις, ώστε τα σημερινά απομεινάρια να μη θυμίζουν καθόλου τα αρχικά κτίσματα. Μόνο οι τείχοι του εσωτερικού αυτού φρουρίου διατήρησαν τη βυζαντινή φυσιογνωμία τους.

Η είσοδος στο Καστράκι, γίνεται με χαμηλή πυλή της οποίας το επισύλιο και οι κιονοειδείς ορθοστάτες είναι απομεινάρια κτίσματος της αρχαίας Αμβρακίας. Πάνω από την πύλη στην εσωτερική πλευρά υπάρχει εξώστης σκεπασμένος με καμάρα που τη στηρίζουν δύο κολώνες, η δε βάση του φέρει ανοίγματα μέσα από τα οποία έριχναν καυτό λάδι ή λυωμένο μολύβι στον εχθρό που θα επιχειρούσε να μπει. Η όλη όψη του εξώστη δίνει την εντύπωση θρόνου, στοιχείο που συνηγορεί στην άποψη ότι ο χώρος του εσωτερικού κάστρου ήταν κατ'εξοχήν βασιλικός.

Στη βόρεια πλευρά του "καταφυγίου" υπάρχει μεγάλη αίθουσα με καμάρες και θόλους, η οποία σήμερα κατάλληλα διαμορφωμένη χρησιμοποιείται ως χώρος θεατρικών παρασκηνίων. Η αίθουσα αυτή – όπως δείχνουν οι ακρινές ραφές του τείχους της πρόσοψης- είναι μεταγενέστερη κατασκευή και χρησιμοποιήθηκε από τους Τούρκους ως πυριτιδαποθήκη. Λίγο πάνω από την τοξωτή θύρα αυτής της αίθουσας υπάρχει εντειχισμένη τετράγωνη μαρμάρινη πλάκα – άγνωστης προέλευσης- με ανάγλυφη παράσταση λιονταριού, την οποία ο Ορλανδός –κρίνοντας με βάση τα στοιχεία τεχνοτροπίας- θεωρεί ως βυζαντινή κατασκευή. Στο χώρο του εσωτερικού φρουρίου υπήρχαν λείψανα βυζαντινού ναΐσκου και δίπλα πηγάδι με τετράγωνο λαξευτό στόμιο. Σήμερα στη θέση του παλαιού αυτού ναού, ακριβώς απέναντι από την είσοδο του καταφυγίου, υπάρχει τετράγωνος οικίσκος –τούρκικη κατασκευή άγνωστης χρήσης- πάνω από την τοξωτή είσοδο του οποίου είναι εντειχισμένη λίθινη πλάκα με ανάγλυφη παράσταση ανεστραμμένης άγκυρας. Το στόμιο του πηγαδιού σώζεται και φέρει σε μία από τις πλευρές του ανάγλυφη

παράσταση οικόσημου με ποικίλα διακοσμητικά θέματα, μεταξύ των οποίων ξεχωρίζει ο δικέφαλος αετός (έμβλημα των βυζαντινών). Το πηγάδι είναι έργο του Ορσίνι, οι οποίοι έκαναν έμβλημά τους τον δικέφαλο αετό για να φαντάζουν ως γνήσιοι συνεχιστές των βυζαντινών προκατόχων τους.

Τέλος, στο εσωτερικό φρούριο και δεξιά της εισόδου του, υπάρχει μεγάλη κλειστή θολωτή αίθουσα στην οποία μπαίνει κάνεις περνώντας επάλλης τοξωτές θύρες, στοιχείο που βοηθάει να εικάσουμε ότι πρόκειται για το κυρίως καταφύγιο ή για κρύπτη ή για φυλακές (Γιαννέλος Κ., 2001).

1.4 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Ο Αμβρακικός κόλπος είναι αποτέλεσμα της έντονης τεκτονικής δραστηριότητας που ξεκίνησε εδώ και 2 εκατομμύρια χρόνια. Είναι ένα τεκτονικό βύθισμα το οποίο άρχισε να γεμίζει με τις αποθέσεις των δύο ποταμών, Άραχθου και Λούρου. Η βαθμιαία ανίψωση της θάλασσας τα τελευταία 10.000 χρόνια είχε ως αποτέλεσμα να εισχωρήσει το Ιόνιο πέλαγος ανάμεσα από το Άκτιο και την Πρέβεζα και να πλημμυρίσει τον κόλπο δίνοντάς του την σημερινή μορφή(Πετράκη και Τζιωρτιώτη,2010). Στον Αμβρακικό περιλαμβάνονται 20 τουλάχιστον ακέραιες λιμνοθάλασσες, αριθμός που δεν συναντάται σε κανένα άλλο μέρος της Ελλάδας, που η συνολική τους έκταση ξεπερνάει τα 70 τετραγωνικά χιλιόμετρα.

Η περιοχή αποτελεί τμήμα κυρίως της Αδριατικοϊονίου ζώνης αλλά και των ζωνών Πίνδου και Γαβρόβου-Τριπόλεως. Η λεκάνη απορροής του ποταμού Λούρου είναι εξ'ολοκλήρου εντός της Αδριατικοϊονίου ζώνης, ενώ η λεκάνη του ποταμού Αράχθου επεκτείνεται και στις ζώνες Γαβρόβου-Τριπόλεως και Πίνδου. Το γεγονός αυτό διαφοροποιεί και τη σύνθεση των υλικών αποσάθρωσης που μεταφέρουν τα νερά του Αράχθου σε σχέση με αυτά του Λούρου, με σημαντικότερη

διαφοροποίηση την παρουσία υλικών αποσάθρωσης του οφιολιθικού συμπλέγματος στα νερά του ποταμού Αράχθου.

Ο ποταμός Λούρος διασχίζει ασβεστολιθικά κυρίως πετρώματα, χωρίς να μεταφέρει υλικά αποσάθρωσης υπερβασικών πετρωμάτων και είναι πολύ μικρότερης δυναμικότητας σε παροχές νερού και μεταφοράς στερεών υλικών, σε σχέση με τον Άραχθο. Η προσχωματική ικανότητα του Αράχθου είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του Λούρου, καθώς η λεκάνη απορροής του είναι μεγαλύτερη και αποτελείται σχεδόν στο σύνολό της από φλύσχη αδιαπέρατο από τα νερά της βροχής, ενώ αυτή του Λούρου είναι ασβεστολιθική.

Ο ποταμός Άραχθος πηγάζει από την οροσειρά της Πίνδου κοντά στο Μέτσοβο, ρέει με γενική κατεύθυνση Β-Ν και εκβάλλει στον Αμβρακικό κόλπο. Το μήκος του ποταμού είναι περίπου 110 χμλ και η λεκάνη απορροής του φτάνει τα 1850km²(Καψιμάλης Β., Τζιαβός Χρ., Λιβανός Ι., Αναγνώστου Χρ.). Τα πετρώματα που διαβρέχει ο ποταμός είναι κυρίως φλύσχης και σε μικρή έκταση ασβεστόλιθος. Τα ύδατα του Άραχθου προέρχονται κυρίως από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και από διάφορες πηγές που ανήκουν σε δύο σημαντικά κραστικά συστήματα: το αντίκλινο του Άραχθου (ανατολικές πλαγιές των βουνών Μιτσικέλι και Ξεροβούνι) και των Τζουμέρκων. Ο Άραχθος προσφέρει χονδρόκοκκο υλικό, κατά κύριο λόγο χαλαζιακό αλλά και σημαντικές ποσότητες λεπτόκοκκου υλικού ιλύος, που εν μέρει προέρχεται, εκτός του φλύσχη, από υπερβασικά πετρώματα που βρίσκονται στον άνω ρου της λεκάνης του ποταμού.

Ο Λούρος αντίθετα προσφέρει μικρές ποσότητες λεπτόκοκκου υλικού αλλά και κροκάλες και χαλίκια ασβεστολιθικής προέλευσης, αφού τροφοδοτείται από τα νερά καρστικών πηγών του ασβεστολίθου. Οι κοιλάδες απορροής των δύο ποταμών εκτός των άλλων διαφορών που τις χαρακτηρίζουν (μέγεθος, θέση, λιθολογικό υπόβαθρο),

διαφοροποιούνται και από το γεγονός ότι μόνο η κοιλάδα του Αράχθου φτάνει μέχρι τη ζώνη της Πίνδου βορειοανατολικά, με τους επικαθήμενους από επώθηση οφιολοθικούς σχηματισμούς (Νικολάου Ε., 2005).

Γενικά, η γεωλογική δομή της Ηπείρου παρουσιάζει το χαρακτηριστικό της επαλληλίας μεγάλων ανθρακικών αντικλίνων και φλυσχικών συγκλίνων με γενική διεύθυνση του άξονα ΒΔ-ΝΑ που είναι και η τυπική διεύθυνση της οροσειράς της Πίνδου.

Οι γεωτεκτονικές ζώνες που συμμετέχουν στη γεωλογική δομή της Ηπείρου, τμήμα της οποίας αποτελεί και η περιοχή του Αμβρακικού κόλπου, είναι:

1. Η Ιόνιος ζώνη που καταλαμβάνει και το μεγαλύτερο τμήμα της Ηπείρου, ανατολικά από τον ποταμό Άραχθο και το όρος Τύμφη έως και τις ακτές του Ιονίου από τα δυτικά.
2. Η ζώνη Ωλονού-Πίνδου, η οποία εμφανίζεται στα Αθαμάνια όρη (Τζουμέρκα) όπου και είναι επωημένη επί του φλυσχικού συγκλίνου του Αράχθου της Ιόνιας ζώνης.
3. Η ζώνη Γαβρόβου Τριπόλεως που εμφανίζεται σε περιορισμένη έκταση στα όρια των νομών Άρτας-Αιτωλοακαρνανίας.
4. Η Πελαγονική και υποπελαγονική ζώνη.

Οι σχηματισμοί αυτών των ζωνών συναντούνται υπό μορφή τεκτονικών καλυμμάτων επί των σχηματισμών της Πίνδου και κυρίως εμφανίζονται στη περιοχή Μετσόβου-Κατάρας στο Σμόλικα και στον Γράμμο. Το μεγαλύτερο τμήμα της Ηπείρου καλύπτεται από σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης που ακολουθούν την παρακάτω λιθοστρωματική σειρά (από τους παλαιότερους προς τους νεότερους σχηματισμούς):

1. Εβαποριτική σειρά και τριαδικά λατυτοπαγή (περμο-Τριαδικό)
2. Ανθρακική σειρά (ανώτερο Τριαδικό-ανώτερο Ηώκαινο)

3. Φλύσχης αδιαίρετος (ανώτερο Ηώκαινο-Ακουϊτάνιο)
(Νικολάου Ε., 2005).

Η ζώνη Πίνδου παρουσιάζεται με ένα ευρύ φάσμα λιθολογικών σχηματισμών κυρίως ανθρακικής και σχιστοκερατολιθικής φάσης. Στα τεκτονικά καλύμματα της Πελαγονικής συμμετέχουν τα βασικά και υπερβασικά πετρώματα (οφιολοθικό σύμπλεγμα). Τις λιθοστρωματογραφικές ακολουθίες συμπληρώνουν τα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα που καλύπτουν σημαντικές εκτάσεις στο πεδινό τμήμα Άρτας-Πρέβεζας αλλά και στο λεκανοπέδιο Ιωαννίνων.

Σημειώνεται ότι εντός των ασβεστολιθικών σχηματισμών παρεμβάλλονται συχνά διαστρώσεις πυριτολίθων σε διάφορα μεγέθη και μορφές. Στη δυτική Ήπειρο ο κύριος όγκος των πυριτολιθικών πηγών εμφανίζεται σε εναστρώσεις λεπτών διαθλαστικών πλακών. Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις, τα δίκτυα των εσωτερικών διαρρήξεων διατρέχουν κάθετη διαδρομή προς τα εξωτερικά καλύμματα της πυριτικής μάζας. Οι όγκοι των πυριτολιθικών αποθεμάτων, αναλύονται μικροσκοπικά σε διάφορες ποικιλίες χαλκιδονίου με διαβαθμιζόμενη συμμετοχή οπάλιου και χαλαζία, ενώ ως προς τη χημική σύσταση η μάζα τους συνίσταται από SiO_2 σε αναλογία έως και 98%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΙ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την εμφάνιση του ανθρώπου στη γη γεννήθηκε και η ανάγκη για τη στέγασή του. Οι σπηλιές ήταν η πρώτη κατοικία και του την προσέφερε η φύση. Όταν αυτές έπαψαν να εξυπηρετούν τις ανάγκες του, ο άνθρωπος αναγκάστηκε να κατασκευάσει ο ίδιος την κατοικία του. Η πρώτη αυτή κατοικία κατασκευάστηκε από κορμούς δέντρων και κλαδιά πλεγμένα μεταξύ τους και έκανε την εμφάνισή της στην Παλαιολιθική εποχή. Αργότερα έφτιαξε λάσπη και κάλυψε τα κλαδιά δημιουργώντας την πρώτη μόνωση.

Από τότε κύλησε πολύ νερό στο αυλάκι της Ιστορίας και εξελισσόμενος ο άνθρωπος, άρχισε να κτίζει. Το μόνο υλικό που υπήρχε στη φύση και μπορούσε να κτιστεί ήταν η φυσική πέτρα(λιθοδομές). Στην ελληνική παραδοσιακή αρχιτεκτονική η δόμηση με φυσικούς λίθους είναι η συνηθέστερη. Στην αρχή την έκτισε τοποθετώντας τα κομμάτια της χωρίς κονίαμα(ξηρολιθοδομή) και στη συνέχεια τα συνέδεσε με λάσπη και έκανε την τοιχοποιία πιο γερή(αργολιθοδομή). Αργότερα μορφοποίησε τους φυσικούς λίθους και έτσι οι λιθοδομές διαχωρίστηκαν σε λαξευτές και ημιλαξευτές.

Σε πολλές περιοχές όμως η πέτρα ήταν δυσεύρετη, η δε επεξεργασία της απαιτούσε επίμοχθη εργασία. Αντίθετα η άργιλος προσφέρεται στο εύκολο πλάσιμο. Με την πάροδο του χρόνου κατασκεύασε πλίνθους από πηλό (άργιλος) και νερό(πλινθοδομές). Τα πρώτα τεχνητά λιθοσώματα ήταν οι ωμόπλινθοι με κύριο χαρακτηριστικό ότι ξεραίνονταν στον ήλιο. Οι προσπάθειές του να σταθεροποιήσει τη μορφή των σκευών που κατασκεύαζε από πηλό συνδέονται με την πυροτεχνολογία, το ψήσιμο δηλαδή στη φωτιά, είναι μακροχρόνιες και ευοδώνονται στη διάρκεια της Νεολιθικής εποχής (3000 π.Χ.). Αρχικά τους κατασκεύασε χειροποίητους και μετά με τη χρήση απλών

καλουπιών αλλά λόγω της χαμηλής αντοχής τους η χρήση τους εγκαταλήφθηκε. Μετά έψησε τους πλίνθους για να τους κάνει πιο ανθεκτικούς στα καιρικά φαινόμενα και έτσι δημιούργησαν τους οπτόπλινθους. Οι οπτόπλινθοι διακρίνονται σε συμπαγείς με ή χωρίς σκαφή, διάτρητοι (με οριζόντιες οπές) και διάκενοι(με κατακόρυφες οπές ή διάκενα).

Ήδη στην αρχαιότητα άρχισε η παραγωγή οπτόπλινθων. Σε όλο τον κόσμο σώζονται πλήθος αρχαίων και μεσαιωνικών κατασκευών από συμπαγείς οπτόπλινθους σε αντίθεση με τις νεότερες κατασκευές που χρησιμοποιούνται διάτρητοι οπτόπλινθοι. Στο παρελθόν η χρήση του περιοριζόταν στη κατασκευή τοιχοποιίας αλλά σήμερα αποτελεί όχι μόνο δομικό αλλά και διακοσμητικό στοιχείο των σύγχρονων κατασκευών (e-oikodomos.gr).



Εικόνα 2.1:Πύργος Shebeli (Ιράν): κατασκευή του 12^{ου} αιώνα.
Αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα οπτοπλινθοδομής.



Εικόνα 2.2: Το Μοναστήρι Jetavana (Σρι Λάνκα): κατασκευή από συμπαγείς οπτόπλινθους το 300 μ.Χ.



Εικόνα 2.3: Chogha Zanbil (Ιράν): Ναός του 1250 π.Χ κατασκευασμένο από συμπαγείς οπτόπλινθους.

2.2 ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΥ

Οι οπτόπλινθοι παράγονται με την ανάμιξη αργιλοαμμώδους χώματος και νερού. Όπως κυκλοφορούν στο εμπόριο, έχουν χρώμα βαθύ κόκκινο αλλά γενικότερα αυτό εξαρτάται από την χημική σύσταση της αργίλου και την περιεκτικότητά της σε οξείδια. Το εύπλαστο μίγμα μορφοποιείται σε συγκεκριμένους τύπους και τοποθετείται σε ειδικά ξηραντήρια. Από γεωλογικής άποψης η άργιλος είναι μαλακό πέτρωμα που έχει προέλθει από μακροχρόνια χημική ή και μηχανική αποσύνθεση επιφανειακών πετρωμάτων. Για την παρασκευή των οπτοπλίνθων η αργιλομάζα που χρησιμοποιείται αποτελείται από ορυκτά τα οποία περιέχουν κυρίως οξείδια του σιδήρου, πυριτίου και αργιλίου και σε μικρότερες ποσότητες οξείδια ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου, νατρίου καθώς και οργανικές ενώσεις.

Η κοκκομετρία της άμμου που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι λεπτή ενώ η σύστασή της, πυριτική και απαλλαγμένη από ασβεστούχους κόκκους για να αποφευχθεί η ρηγμάτωση των τούβλων, κατά τη διαδικασία όπτησης, λόγω ασβεστοποίησης των σβόλων.

Το νερό της άμμου που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι καθαρό και να μην περιέχει επιβλαβείς προσμίξεις όπως οξέα, θειικά και χλωριούχα άλατα. Το θαλασσινό νερό καλό είναι να αποφεύγεται (Μπαβέλλας – Μπουζούκου, 2005).

Η πηλοκονία η οποία ανήκει στις φυσικές αερικές κονίες, μαζί με αδρανή υλικά διαφορετικής σύστασης, αποτελούν το μίγμα για την παρασκευή οπτόπλινθων. Η ορυκτολογική σύστασή της, χαρακτηρίζεται κυρίως από ενώσεις πυριτίου και αργιλίου. Όταν ξηρανθεί η πηλοκονία, τα μόρια των αδρανών υλικών συγκολλώνται μεταξύ τους και με τους κόκκους της κονίας. Βάση αυτής της ιδιότητας κατασκευάζονται και οι ωμόπλινθοι. Εάν όμως μετά την ξήρανσή τους διαποτιστεί με νερό, τότε η κονία αποκτά και πάλι τις πλαστικές της

ιδιότητες. Γι'αυτό το λόγο πραγματοποιείται όπτηση, δηλαδή ψήσιμο του ωμόπλινθου. Κατά την όπτηση η πηλοκονία χάνει το χημικά αναμιγμένο με αυτή νερό και μετατρέπεται τελικά σε σταθερή μάζα. Επιτυγχάνεται λοιπόν η κατασκευή τούβλων, κεραμικών, πηλοσωλήνων κλπ (Γερογιάννης, 2003).

2.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΥ

Ο οπτόπλινθος έχει αναγνωριστεί ως ένα από τα ισχυρότερα και μεγαλύτερης διάρκειας ζωής δομικό υλικό. Ικανοποιεί μια σειρά από βασικές ιδιότητες και λειτουργικές απαιτήσεις, όπως υψηλές μηχανικές αντοχές, μικρή υδροαπορρόφηση και υδατοπερατότητα, καλή θερμομονωτική και ηχομονωτική συμπεριφορά, μικρές μεταβολές όγκου λόγω μεταβολής της υγρασίας και θερμοκρασίας, αντοχή στον παγετό και στη διάβρωση, ικανή αντίσταση στη φωτιά, ανθεκτικότητα στη χρήση και στο χρόνο και εμφάνιση (χρώμα, επιφανειακή υφή).

Πιο συγκεκριμένα τα χαρακτηριστικά που το καθιστούν τόσο διαχρονικό είναι :

- Η δημιουργία μικροκλίματος: Έχει άριστη θερμική συμπεριφορά, αφού εξασφαλίζει ζέστη το χειμώνα και δροσιά το καλοκαίρι. Ο οπτόπλινθος επίσης έχει την ικανότητα να ρυθμίζει την υγρασία, απορροφώντας την από τον αέρα όταν υπάρχει σε μεγαλύτερο βαθμό του κανονικού και επιστρέφοντάς την, όταν υπάρχει ξηρότητα.
- Η αντισεισμικότητα: παρουσιάζει μεγάλη αντοχή σε θλίψη και μάλιστα υψηλότερη από το απαιτούμενο όριο σε τοιχοποιία. Έχει μεγάλη μηχανική αντοχή και στερεότητα ενισχύοντας τον σκελετό της οικοδομής και αυξάνοντας την ασφάλεια της κατασκευής.
- Η θερμική μόνωση: ο οπτόπλινθος προσφέρει θερμική μόνωση στον χώρο και ελαχιστοποιεί τις απώλειες ενέργειας. Λειτουργεί ως αποθηκευτικής θερμικής ενέργειας και υγρασίας αποδίδοντας τις όταν απαιτείται, ώστε να έχουμε ισορροπία στο χώρο.

- Η ασφάλεια από την υγρασία: η υγρασία που μπορεί να προκληθεί από καιρικά φαινόμενα δεν βλάπτει τον οπτόπλινθο.
- Η ηχομόνωση: μια τοιχοδομή από οπτόπλινθο προσφέρει καλύτερες ηχομονωτικές ιδιότητες σε σχέση με μία τοιχοδομή από ελαφρά υλικά. Έτσι το τούβλο εμποδίζει τον εξωτερικό ήχο να εισέλθει και τον εσωτερικό να διαφύγει.
- Η εύκολη μεταβλητότητα κατασκευής: μία τοιχοποιία από οπτόπλινθο μπορεί εύκολα να τροποποιηθεί κατά τη φάση της κατασκευής της και κατά τη διάρκεια ζωής της.
- Η οικονομικότητα του υλικού: ο οπτόπλινθος ως δομικό υλικό αποτελεί οικονομικά συμφέρουσα επιλογή αφού απαιτεί σχετικά χαμηλές δαπάνες και προσφέρει υψηλή ποιότητα. Η διάρκεια ζωής του μπορεί να ξεπεράσει τα 100 χρόνια.
- Η φιλικότητα ως προς το περιβάλλον: ο οπτόπλινθος παράγεται από καθαρά φυσικές πρώτες ύλες, αργιλόχωμα και νερό. Η παραγωγή του δεν δημιουργεί απόβλητα που ρυπαίνουν το περιβάλλον. Τα μόνα απορρίματα που δημιουργούνται είναι τα υπολείμματα των υλικών συσκευασίας που χρησιμοποιούνται, τα οποία ανακυκλώνονται. Λόγω του μεγάλου κύκλου ζωή του, η επιβάρυνση του περιβάλλοντος γίνεται μόνο κατά την παραγωγή του (buildnet.gr, akek.gr).

Όλες οι ιδιότητες του οπτόπλινθου επηρεάζονται από τη σύνθεση των πρώτων υλών και την παραγωγική διαδικασία. Οι περισσότεροι κατασκευαστές αναμιγνύουν πολλές αργίλους για να επιτύχουν τις επιθυμητές ιδιότητες των πρώτων υλών και συνεπώς του τελικού προϊόντος. Για τον έλεγχο ποιότητας, ο κατασκευαστής έχει τη δυνατότητα παραλλαγών, κατά τη διάρκεια παραγωγής, για πιο ομοιογενές προϊόν.

Είναι πολύ σημαντικό να αναφερθεί το χρώμα του οπτόπλινθου. Το χρώμα του ψημένου πηλού, δηλαδή της ψημένης αργίλου, εξαρτάται

από την χημική της σύσταση, την θερμοκρασία έψησης και την μέθοδο ελέγχου έψησης. Από όλα τα οξειδία που βρίσκονται συνήθως στις αργίλους, ο σίδηρος έχει πιθανώς τη μεγαλύτερη επίδραση στο χρώμα. Ανεξάρτητα από το φυσικό της χρώμα, περιέχοντας σίδηρο, εμφανίζει μια απόχρωση του κόκκινου όταν εκτίθενται σε οξειδωτικό περιβάλλον, λόγω του σχηματισμού των τριοξειδίων του σιδήρου. Όταν ψήνεται σε αναγωγική ατμόσφαιρα -απουσία οξυγόνου- η ίδια η άργιλος αποκτά μαύρη απόχρωση. Τα πιο σκούρα χρώματα συνδέονται με υψηλότερες θερμοκρασίες όπτησης, χαμηλότερη απορροφητικότητα των προϊόντων και υψηλότερη αντοχή σε θλίψη.

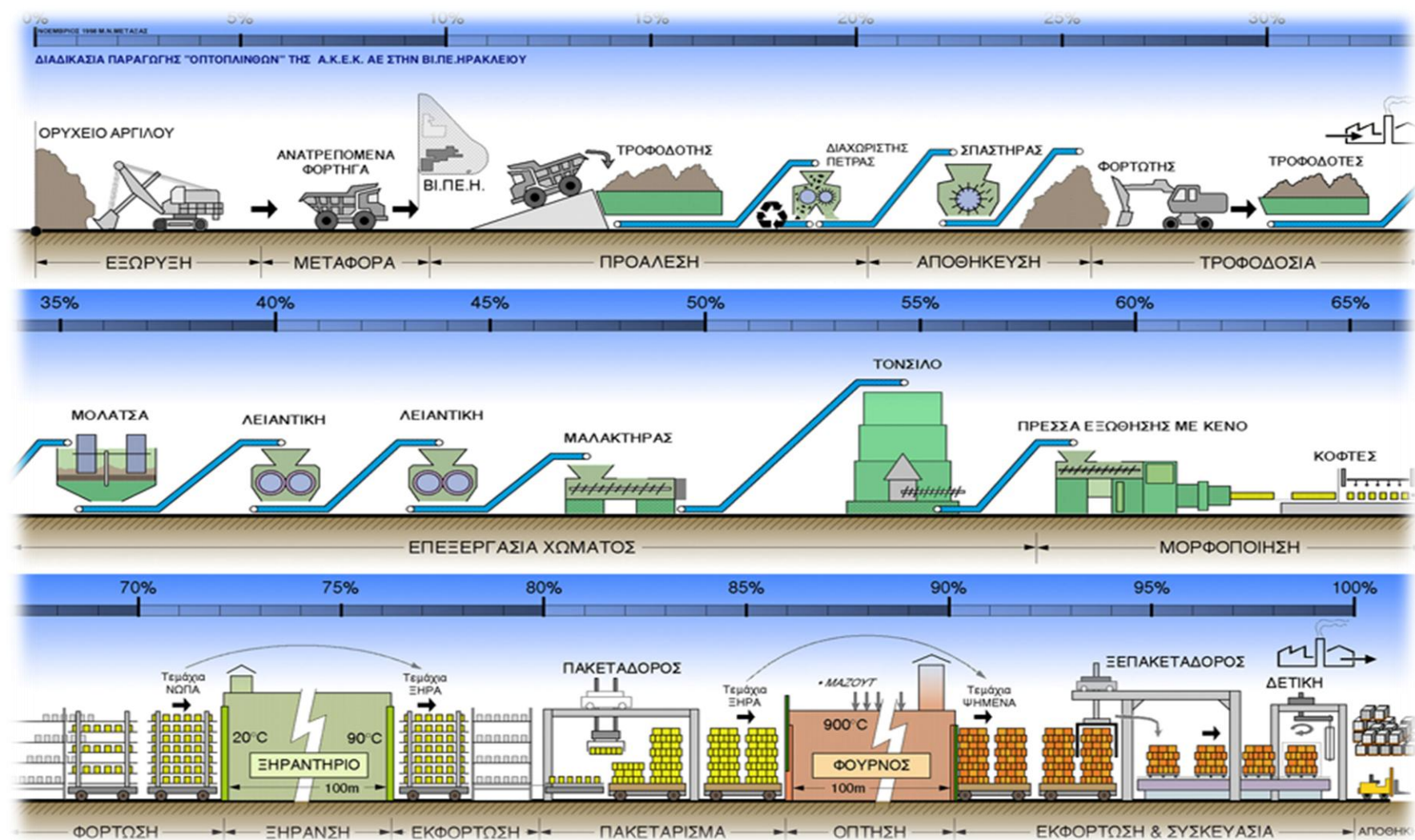
2.4 ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΥ

Στα επόμενα κεφάλαια αναλύονται τα βασικά στάδια παραγωγής οπτοπλίνθων με σύγχρονη τεχνολογία, του κεραμείου Κακογιάννη της Κύπρου.

Για την παραγωγή οπτόπλινθων ακολουθούνται κάποια γενικά στάδια παρασκευής:

- Εξόρυξη της πρώτης ύλης
- Επεξεργασία της πρώτης ύλης και μορφοποίηση του πλίνθου
- Ξήρανση των πλίνθων
- Όπτηση (ψήσιμο) των πλίνθων, στους 800-1000°C)
- Συσκευασία και αποθήκευση

Στα στάδια αυτά δημιουργείται η εκπομπή ρύπων προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Το στάδιο με τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές συνέπειες είναι η έψηση των τούβλων, αφού γίνεται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες που απαιτούν την καύση μεγάλης ποσότητας καυσίμων.



Εικόνα 2.4 Παραγωγική διαδικασία και στάδια κατασκευής από την κεραμουργία Μεταξά Ηρακλείου(akek.gr).

2.4.1 Εξόρυξη και αποθήκευση πρώτων υλών

Αρχικά γίνεται η εξόρυξη των πρώτων υλών από ανοιχτούς λάκκους με δυναμικό εξοπλισμό και στη συνέχεια μεταφέρονται σε αποθηκευτικό χώρο. Η συνεχής παραγωγή οπτοπλίνθων, ανεξαρτήτως από τις καιρικές συνθήκες, εξασφαλίζεται από την αποθήκευση επαρκών ποσοτήτων πρώτων υλών για πολλές μέρες στις εγκαταστάσεις λειτουργίας. Οι αποθηκευτικοί χώροι χρησιμοποιούνται για την ανάμιξη των αργίλων. Η ανάμιξη παράγει μεγαλύτερη ομοιομορφία στις πρώτες ύλες εξασφαλίζοντας την καλύτερη κατασκευή του οπτόπλινθου.



Εικόνα 2.5: Χώρος αποθήκευσης πρώτης ύλης.

2.4.2 Προετοιμασία και ζύμωση πρώτων υλών

Η κατάλληλη προετοιμασία επιτυγχάνει τη βέλτιστη ποιότητα και κατεργασιμότητα των προϊόντων. Οι πρώτες ύλες μεταφέρονται με φορτωτή στους αντίστοιχους τροφοδότες και στη συνέχεια μεταφέρονται μέσω κοινού μηχανικού ιμάντα στο βιομηχανικό μύλο άλεσης, ούτως ώστε να γίνει η αρχική λείανση σε μια κοκκομετρία της τάξης των 12 mm. Συγχρόνως γίνεται προσθήκη νερού για μια πρώτη ομογενοποίηση του μίγματος. Στη συνέχεια το μείγμα πηλού που έχει δημιουργηθεί περνάει από 3 λειαντικές μηχανές και η κοκκομετρία φτάνει το 1mm. Στη συνέχεια

το λεπτόκοκκο υλικό μεταφέρεται μέσω μηχανικού ιμάντα σε σιλό αποθήκευσης για την «ξήρανση» του πηλού.

Ακολουθώντας, μέσω μηχανικού ιμάντα μεταφέρεται το μείγμα στο κάθετο ζυμωτήριο, όπου επιπρόσθετες ποσότητες νερού προστίθενται αυτόματα με ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου υγρασίας ανάλογα με τις ανάγκες της διεργασίας ζύμωσης του υλικού. Σημειώνεται ότι, οι αναλογίες ανάμιξης των πρώτων υλών καθορίζονται ανάλογα με το είδος και την ποιοτική σύσταση του κάθε προϊόντος.



Εικόνα 2.6:Επεξεργασία πρώτης ύλης.

2.4.3 Ξήρανση

Το στάδιο της ξήρανσης είναι ένα από τα πιο σημαντικά και χρονοβόρα στάδια παραγωγικής διαδικασίας. Ακατάλληλη ξήρανση είναι δυνατόν να δημιουργήσει ρωγμές ή σπάσιμο του τελικού σώματος. Κύριες παράμετροι που επηρεάζουν το στάδιο αυτό είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, η πίεση του αέρα και ο χρόνος ξήρανσης. Η διεργασία αυτή γίνεται αυτόματα από ηλεκτρονικούς υπολογιστές που ελέγχονται οι παραπάνω παράμετροι και οι παράμετροι έψησης. Η θερμότητα παρέχεται από καυστήρες και όταν είναι απαραίτητο προστίθενται θερμός αέρας στο ξηραντήριο από το φούρνο

έψησης, ενώ η περίσσεια υγρασίας μεταφέρεται εκτός ξηραντηρίου μέσω αγωγών.



Εικόνα 2.7: Ξηραντήριο πλινθών.

2.4.4 Έψηση οπτόπλινθων

Μετά τη διεργασία της ξήρανσης, τα προϊόντα τοποθετούνται με τη βοήθεια ειδικών μηχανημάτων σε βαγόνια και μεταφέρονται στο φούρνο για τη διεργασία έψησης. Οι οπτόπλινθοι ψήνονται μεταξύ 10 και 40 ωρών αναλόγως τον τύπο του καμινιού και άλλων μεταβλητών. Ο πιο κοινός τύπος κλιβάνου είναι σαν τούνελ, πολλών μέτρων και χωρίζεται νοητά σε τρεις ζώνες: Ζώνη I(προθέρμανσης), Ζώνη II(φωτιάς), Ζώνη III(κρυώματος). Η έψηση πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες περίπου 800°C -1000°C. Κατά το στάδιο αυτό, οι κρύσταλλοι του υλικού ενώνονται μεταξύ τους. Τα καυσαέρια που παράγονται στη ζώνη φωτιάς ανακυκλώνονται στη ζώνη προθέρμανσης δίνοντας έτσι στους οπτόπλινθους σχετική θερμοκρασία γύρω στους 300°C πρώτου εισέλθουν στη ζώνη φωτιάς, εξοικονομώντας με αυτό το τρόπο ενέργεια. Τα καυσαέρια που εξέρχονται από το φουγάρο της εν λόγω διεργασίας έχουν θερμοκρασία 90°C -100°C περίπου.

Οι ψημένοι οπτόπλινθοι κρυώνουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μέσα στον κλίβανο στην αντίστοιχη ζώνη. Αναλόγως τον κλίβανο, η ψύξη κρατάει από 10 μέχρι 24 ώρες. Είναι πολύ βασικό στάδιο στη κατασκευή οπτόπλινθων γιατί ο ρυθμός ψύξης έχει άμεση επίδραση στο χρώμα.



Εικόνα 2.8: Φούρνος έψησης οπτόπλινθου.

2.4.5 Συσκευασία και αποθήκευση

Τα τελικά προϊόντα μετά την έξοδο τους τοποθετούνται σε παλέτες και συσκευάζονται από πλαστικό. Αποθηκεύονται σε κατάλληλους χώρους ή αποστέλλονται σε μεταπωλητές και πελάτες.



Εικόνα 2.9: Συσκευασία προϊόντος.
(Κεραμείο Κακογιάννης).

2.5 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΒΥΖΑΝΤΙΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Ο όρος Βυζαντινή αρχιτεκτονική συνδέεται με την ίδρυση του Βυζαντίου. Το **667 π.Χ.**, αρχαίοι Έλληνες άποικοι από τα Μέγαρα, με επικεφαλής τον Βύζαντα, εγκαταστάθηκαν και ίδρυσαν την πόλη η οποία πήρε και το όνομά της από το μυθικό ήρωα Βύζα. Πέρσες, Αθηναίοι και Σπαρτιάτες κατέκτησαν το Βυζάντιο μέχρι να ξεκινήσει η ρωμαϊκή αυτοκρατορία. Τελευταίος που κατέλαβε την πόλη ήταν ο Ρωμαίος Αυτοκράτορας Φλάβιος Βαλέριος Κωνσταντίνος, ο οποίος μετέφερε την πρωτεύουσα της αυτοκρατορίας του από τη Ρώμη στο Βυζάντιο και μετονομάστηκε «Κωνσταντινούπολη», το **330 μ.Χ.**

Ο χριστιανισμός επεκτάθηκε σε ολόκληρη την Ρωμαϊκή αυτοκρατορία και στο Βυζάντιο, αφού ο Κωνσταντίνος καθιέρωσε την πλήρη ελευθερία της θρησκείας, και από τότε καθιερώθηκε η βυζαντινή αρχιτεκτονική.

Στην πρωτοβυζαντινή περίοδο (324-610), η αρχιτεκτονική ήταν ακόμα ρωμαϊκή αλλά η κατασκευή της Αγίας Σοφίας, που χρηματοδοτήθηκε από τον Ιουστινιανό, μπορεί να θεωρηθεί το ξεκίνημα της βυζαντινής αρχιτεκτονικής. Οι αρχιτεκτονικοί τύποι που συναντώνται είναι: **1)**Βασιλική (Βασιλική Οσίου Νίκωνα του 7^{ου} αιώνα στη Σπάρτη, στο Τηγάνι της Μάνης, στην Πλίσκα της Βουλγαρίας), **2)**Τρουλαία Βασιλική (Αγία Σοφία στην Κωνσταντινούπολη), **3)**Τρουλαία Βασιλική της μεταβατικής περιόδου (Αγία Σοφία στην Θεσσαλονίκη).

Η μεσοβυζαντινή περίοδος, τουλάχιστον κατά την πρώτη φάση (843/867-1025), σηματοδοτείται από μια αναγέννηση, μία νέα ακμή του Βυζαντίου, τόσο στην πολιτική όσο και στην πολιτιστική διάσταση. Σε αυτή την περίοδο ανήκει και ο Ι.Ν. της Γενεσίου Θεοτόκου στην Κορωνησία του νομού Άρτας. Οι νέοι τύποι που εμφανίζονται είναι ο σταυροειδής εγγεγραμμένος με τρούλο και ο οκταγωνικός. Στην υστεροβυζαντινή περίοδο, το διάστημα 1261-1453, η τέχνη γνωρίζει μεγάλη άνθιση, τόσο

από άποψη αριθμού μνημείων όσο και από άποψη ποιότητας. Μεγάλη ανάπτυξη γνωρίζουν η Κωνσταντινούπολη, η Θεσσαλονίκη, το Άγιο Όρος, ο Μυστράς, η Τραπεζούντα και η Άρτα. Επαναλαμβάνονται αρχιτεκτονικοί τύποι που είχαν διαμορφωθεί στο παρελθόν, όπως ο εγγεγραμμένος σταυροειδής σε όλες τις παραλλαγές του, ο οκταγωνικός, ο μονόχωρος τρουλαίος με περιμετρικό διάδρομο και η βασιλική. Χαρακτηριστικά παραδείγματα μνημείων αυτής της εποχής είναι ο Προφήτης Ηλίας και οι Άγιοι Απόστολοι στη Θεσσαλονίκη, οι Άγιοι Θεόδωροι στο Μυστρά και η Παρηγορήτισσα στην Άρτα.



Εικόνα 2.10: Άγ.Θεόδωροι(Μυστρά): Εγγεγραμμένος σταυροειδής-σύνθετος οκταγωνικός Ναός.



Εικόνα 2.11: Αγία Σοφία(Κωνσ/πολη) : Τρουλαία Βασιλική.

2.6 Ο ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ ΩΣ ΒΑΣΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΔΟΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΒΥΖΑΝΤΙΝΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ

Η πιο χαρακτηριστική ιδιότητα της βυζαντινής αρχιτεκτονικής είναι η τοιχοποιία από πλινθοδομή. Η πέτρα και ο οπτόπλινθος αποτελούν τα κυριότερα υλικά δομής κατά τη διάρκεια της Βυζαντινής εποχής. Η τοιχοποιία που συνηθίζεται να εφαρμόζεται στην κατασκευή ναών και μνημείων είναι η απλή πλινθοδομή, αμιγής ή κατά την τεχνική της κρυμμένης πλίνθου, και η μεικτή τοιχοδομή (opusmixtum).

Πιο συγκεκριμένα, στο μικτό σύστημα, οι τοίχοι είναι συνήθως χτισμένοι με εναλλασσόμενες στρώσεις από λαξευτους, ημιλαξευτούς ή αργούς λίθους και οπτόπλινθους, ενώ τα θολώτα μέρη και οι τρούλοι είναι κατασκευασμένοι αποκλειστικά από οπτόπλινθους. Αυτή η απλή εναλλαγή ζωνών από οπτόπλινθους και λίθους δίνει ένα σταθερό αισθητικό αποτέλεσμα. Επιπλέον οι οπτόπλινθοι τοποθετούνται συχνά έτσι ώστε να σχηματίζονται διακοσμητικά θέματα. Για την κατασκευή τοίχων γινόταν χρήση μεγάλων ποσοτήτων κονιαμάτων που πολλές φορές περιείχαν μικρού μεγέθους, σαν χαλίκι, οπτόπλινθο, για την ενίσχυση του χρώματος. Κατά την ξήρανση των κονιαμάτων όμως συρρικνώνονταν δημιουργώντας στις κατασκευές σοβαρές παραμορφώσεις.

Από τον 11ο μέχρι τα μέσα του 13ου αιώνα χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της κρυμμένης πλίνθου ή αλλιώς υποχωρημένης πλίνθου. Κάθε δεύτερη ζώνη οπτόπλινθων, τοποθετούνταν πιο πίσω από τις άλλες που την πλαισιώναν και ο χώρος που απέμενε γέμιζε με κονίαμα, δημιουργώντας έτσι την εντύπωση ότι μεσολαβούν ευρείες ζώνες από κονίαμα ανάμεσα στους οπτόπλινθους.

Τοιχοποιίες με αργούς λίθους μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται πλίνθοι ή τεμάχια πλίνθων συναντώνται σε πιο ταπεινά κτήρια ήδη από την

παλαιοχριστιανική εποχή. Κατά τη διάρκεια των Σκοτεινών Χρόνων, εξαιτίας της φτώχειας και της παρακμής της οικοδομικής τεχνολογίας, αυτό το σύστημα δομής ήταν ευρύτατα διαδεδομένο στις επαρχίες. Σε εξεζητημένη ωστόσο μορφή, με ιδιαίτερα προσεγμένη κατασκευή, συναντάται και σε μνημεία υψηλών προθέσεων από τον 12^ο αιώνα και μετά.

Κατά την μεσοβυζαντινή περίοδο που η οικοδομική εξελίχθηκε εντυπωσιακά, διαμορφώθηκε το “πλινθοπερίκλειστο” σύστημα δομής. Στην τεχνική αυτή, μικρές πέτρες ή ισόδομοι λίθοι περικλίνονται από πλίνθους οριζόντιους και κάθετα τοποθετημένους σε μονή ή διπλή σειρά. Η πλινθοπερίκλειστη τοιχοδομία εξυπηρετεί αισθητικούς σκοπούς χάρη στο αποτέλεσμα αρμονικής διχρωμίας που δημιουργεί. Οι πρώτες εμφανίσεις του συστήματος αυτού, ανάγονται στον 9^ο και 10^ο αιώνα ενώ διάφορες παραλλαγές του χρησιμοποιήθηκαν στην αρχιτεκτονική του Δεσποτάτου της Ηπείρου και στην πρώιμη οθωμανική αρχιτεκτονική.

Η βυζαντινή οικοδομική τεχνολογία χαρακτηρίζεται από έντονη διαφοροποίηση ως προς τα χρησιμοποιούμενα υλικά και τους τρόπους δομής, και κατά συνέπεια ως ένα βαθμό, και τις παραγόμενες μορφές σε τοπικές και χρονικές ενότητες. Το φαινόμενο αυτό που σχετίζεται με τη διαθεσιμότητα τοπικών υλικών και τις διάφορες κατά τόπους οικοδομικές παραδόσεις παρατηρείται από την παλαιοχριστιανική εποχή (Μαμαλούκος, 2005).



Εικόνα 2.12: Ναός Αγίων Θεοδώρων(Αθήνα) : πλινθοπερίκλειστο σύστημα.



Εικόνα 2.13: Τζαμί Kalenderhane (Κωνσ/πολη) : Χαρακτηριστικό παράδειγμα μεικτής τοιχοδομής (opusmixtum).



Εικόνα 2.14: Τεχνική της κρυμμένης πλίνθου.



Εικόνα 2.15: Εκκλησία «Pantropes» (Κωνς/πολη). Τεχνική της κρυμμένης πλίνθου και της μεικτής τοιχοδομής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ & ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι εργαστηριακές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για να την ανάλυση των προς μελέτη δειγμάτων βάσει των οποίων επιτεύχθηκε η αναγνώριση των πετρογραφικών και ορυκτολογικών χαρακτηριστικών των οπτόπλινθων του Μεσαιωνικού Κάστρου της Άρτας. Επίσης, παρατίθενται οι ακριβείς θέσεις δειγματοληψίας των οπτόπλινθων που μελετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

3.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Η διαδικασία της δειγματοληψίας είχε ως σκοπό τη συλλογή αντιπροσωπευτικών δειγμάτων από το προς μελέτη μνημείο ώστε να επιτύχουμε την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

Στην παρούσα μελέτη για τη διερεύνηση των ορυκτολογικών και πετρογραφικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων, κρίθηκε αναγκαία η γνώση της ιστορίας του Κάστρου (αφού η κατασκευή του δεν έγινε εξ'ολοκλήρου σε μία περίοδο αλλά χωρίζεται σε πολλές φάσεις), η εμπειριστατωμένη και αντιπροσωπευτική δειγματοληψία και τέλος η εργαστηριακή ανάλυση των δειγμάτων, ώστε να προσδιοριστούν με σαφήνεια τα χαρακτηριστικά τους.

Στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος του εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων σε συνεργασία με την 18^η Εφορεία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων με τίτλο «Εργαστηριακός προσδιορισμός των φυσικοχημικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των κονιαμάτων δόμησης και επιχρισμάτων για την αποκατάσταση, συντήρηση και ανάδειξη του Μεσαιωνικού Κάστρου της

Άρτας», πραγματοποιήθηκαν εργασίες δειγματοληψίας κονιαμάτων – επιχρισμάτων αλλά και οπτόπλινθων από τις τοιχοποιίες του μνημείου.

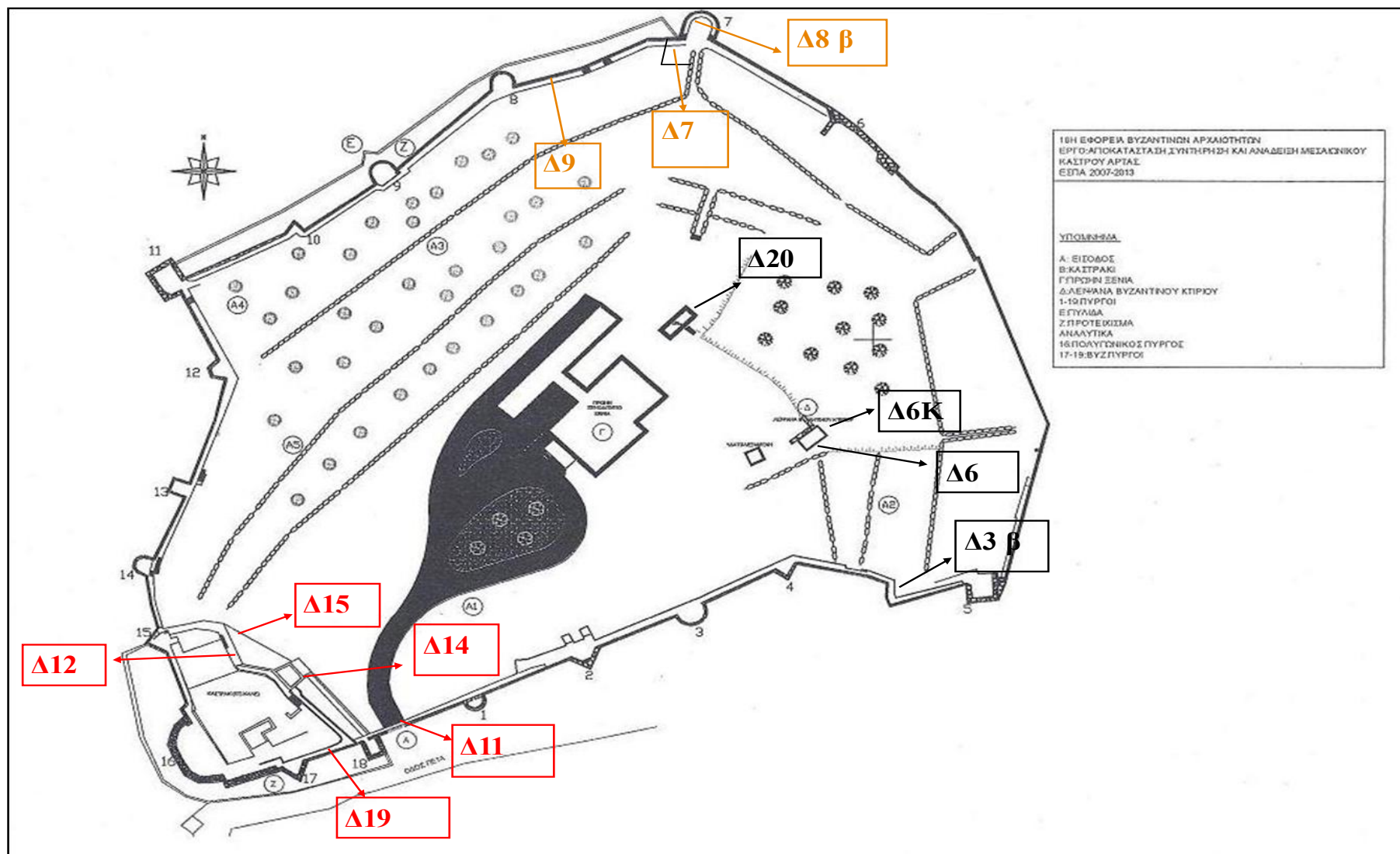
Οι εργασίες δειγματοληψίας πραγματοποιήθηκαν σε σημεία τα οποία παρουσιάζουν ενδιαφέρον μελέτης και υποδείχθηκαν από τους επιστημονικούς συνεργάτες της ΕΒΑ με τρόπο που να εξασφαλίζει, τόσο τη λήψη ικανών και αντιπροσωπευτικών δειγμάτων, όσο και τη διατήρηση της φυσιογνωμίας του Κάστρου αναλλοίωτη.

Συνολικά συλλέχθηκαν 23 δείγματα κονιαμάτων-επιχρισμάτων και οπτοπλινθων από διαφορετικές περιοχές και φάσεις της δόμησης του Κάστρου, με σκοπό να καλυφθεί κατά το δυνατόν το μεγαλύτερο μέρος της επιφανείας του. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειώσουμε πως οι βασικές αρχές δειγματοληπτικού ελέγχου δεν επέτρεψαν τη λήψη δειγμάτων μεγάλου μεγέθους από τα περισσότερα σημεία. Συνεπώς τα ληφθέντα δείγματα δεν είχαν όγκο και σχήμα επαρκές για τη διεξαγωγή μηχανικών δοκιμών.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν εργαστηριακά 12 αντιπροσωπευτικά δείγματα οπτόπλινθων. Στα δείγματα αυτά ανάλογα με το σημείο δειγματοληψίας τους δόθηκαν οι ακόλουθοι κωδικοί: ΟΔ3β, ΟΔ6, ΟΔ6Κ, ΟΔ7, ΟΔ8β, ΟΔ9, ΟΔ11, ΟΔ12, ΟΔ14, ΟΔ15, ΟΔ19, ΟΔ20 και διαχωρίζονται ανάλογα με τη θέση τους στο μνημείο ως εξής :

- Στο Βόρειο τμήμα : ΟΔ7, ΟΔ8β, ΟΔ9,
- Στο Νότιο και Δυτικό τμήμα : ΟΔ11, ΟΔ12, ΟΔ14, ΟΔ15, ΟΔ19,
- Στο Νότιο και Ανατολικό τμήμα : ΟΔ3β, ΟΔ6, ΟΔ6Κ, ΟΔ20.

Στη συνέχεια παρατίθενται σχεδιάγραμμα κάτοψης του Μεσαιωνικού Κάστρου της Άρτας στο οποίο έχουν τοποθετηθεί τα σημεία δειγματοληψίας καθώς και επιλεγμένες φωτογραφίες αυτών (Πηγή, 18^η ΕΒΑ).



Στη συνέχεια παρουσιάζονται φωτογραφίες των σημείων δειγματοληψίας των δειγμάτων ανάλογα με τη θέση τους στο Μεσαιωνικό Κάστρο.

- Βόρειο τμήμα



Εικόνα 3.2: θέσεις δειγματοληψίας των δειγμάτων A) **ΟΔ8B** από πύργο και B) **ΟΔ9** από τοιχοποιία της βόρειας πλευράς.

■ Νότιο και Δυτικό τμήμα



Εικόνα 3.3: θέσεις δειγματοληψίας των δειγμάτων Α) **ΟΔ12** από το Καστράκι, Β) **ΟΔ14** από το τέλος διαδρόμου πριν τη είσοδο στον κυρίως χώρο στο Καστράκι και Γ) **ΟΔ11** από την αψίδα της κεντρικής πύλης του κάστρου.

■ Νότιο και Ανατολικό τμήμα



Εικόνα 3.4: θέσεις δειγματοληψίας των δειγμάτων Α) **ΟΔ3Β** από νότιο ανατολική εσωτερική τοιχοποιία του Κάστρου και Β) **ΟΔ6Κ** από λείψανα οικοδομήματος βυζαντινής τοιχοποιίας στο κέντρο λοφίσκου στην Ανατολική πλευρά του μνημείου.

3.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Οι εργαστηριακές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δειγμάτων οπτόπλινθου βάσει των ευρωπαϊκών προτύπων EN, περιελάμβαναν :

1. Μικροσκοπική εξέταση-λεπτές και στιλπνές τομές-
2. Ορυκτολογική ανάλυση με τη χρήση μεθόδου XRD
3. Χημική ανάλυση με τη χρήση μεθόδου XRF
4. Προσδιορισμός της απώλειας πύρωσης
5. Προσδιορισμός αδιάλυτου υπολείμματος
6. Προσδιορισμός υδατοαπορροφητικότητας

Οι παραπάνω μέθοδοι πραγματοποιήθηκαν για την ορυκτολογική και χημική μελέτη καθώς και για την μελέτη των πετρογραφικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων.

3.3.1 Μικροσκοπική εξέταση

Η μικροσκοπική εξέταση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σε λεπτές και στιλπνές τομές που παρασκευάστηκαν εργαστηριακά. Προκειμένου να γίνει η μικροσκοπική μελέτη, λήφθηκαν δείγματα μικρού μεγέθους για την παρασκευή των τομών. Η κατασκευή των τομών πραγματοποιήθηκε στο παρασκευαστήριο του εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας και η διαδικασία που ακολούθηθηκε ήταν η εξής :

Στιλπνές τομές: με κατάλληλο κοπτικό μηχάνημα(αδαμαντοφόρος κοπτικός δίσκος) κόβεται ένα μικρό κομμάτι του υπό εξέταση δείγματος σε μορφή πλακιδίου. Τα δείγματα τοποθετούνται σε ειδικές κυλινδρικές φόρμες διαμέτρου περίπου 3 εκατοστών, μέσα στις οποίες χύθηκε το υλικό εγκλίσεως (ρητίνη). Έπειτα, εμποτίζονται στο κενό, έτσι ώστε να απομακρυνθεί ο αέρας των πόρων του δείγματος,

καθώς επίσης και ο αέρας που ήταν εγκλωβισμένος στη ρητίνη, ο οποίος σε αντίθετη περίπτωση θα δημιουργούσε φυσαλίδες με αποτέλεσμα τη δυσχέρυνση της στίλβωσης.

Τα εμποτισμένα με τεχνητή ρητίνη δείγματα προστιλβώνονται με το χέρι με SiCl₂00 και εν συνεχεία στιλβώνονται με τη μέθοδο Rehwald, η οποία είναι σε θέση να στιλβώσει 6 στιλπνές τομές 2,4 ή 6cm. Κατά τη διαδικασία στίλβωσης στην επιφάνεια του παρασκευάσματος, σχηματίζεται ένα λεπτότατο στρώμα (στρώμα Beilby), το οποίο οφείλεται στη μετατόπιση των επιφανειακών μορίων και καλύπτει με μορφή επιδερμίδας πάχους 0,5-1μm, μικροανωμαλίες της επιφάνειας, όπως λεπτές χαραγές που δημιουργήθηκαν κατά την λείανση του παρασκευάσματος (Αλεβίζος,2005).

Σαν λειαντικό μέσο χρησιμοποιήθηκε καρβίδιο του πυριτίου ή αλουμίνα διαφόρων κοκκομετριών. Η λείανση πραγματοποιείται σε στάδια μέσω της τριβής και ξεκινά χρησιμοποιώντας το πιο χονδρόκοκκο κλάσμα των λειαντικών μέσων και καταλήγοντας στο πιο λεπτό, απομακρύνοντας κάθε φορά τη σκόνη, πριν την έναρξη του νέου σταδίου.

Λεπτές τομές: Η μικροσκοπική παρατήρηση γίνεται σε πολωτικό μικροσκόπιο. Είναι ένα από τα σημαντικότερα όργανα προσδιορισμού και μελέτης των ορυκτών και των πετρωμάτων. Το πολωτικό μικροσκόπιο διαφέρει από το συνήθες μικροσκόπιο στο ότι φέρει προσθήκες που επιτρέπουν την παραγωγή και ανάλυση πολωμένου φωτός και τη μελέτη διάφορων οπτικών ιδιοτήτων των κρυσταλλικών κυρίως ουσιών.

Προκειμένου να εξεταστούν με πολωτικό μικροσκόπιο τα δείγματα, παρασκευάζονται υπό μορφή λεπτών τομών. Η παρασκευή μιας λεπτής τομής ενός στερεού είναι η εξής:

Με κατάλληλο κοπτικό μηχάνημα, κόβεται ένα μικρό κομμάτι του δείγματος σε μορφή πλακιδίου. Στη συνέχεια λειαίνεται στην μια πλευρά δια τριβής, πάνω σε ένα περιστρεφόμενο επίπεδο μεταλλικό δίσκο με τη βοήθεια λειαντικών μέσων όπως είναι η σμύριδα ή τον ανθρακοκορούνδιο, που χρησιμοποιούνται υπό μορφή πολτοποιημένης σκόνης με την προσθήκη μικρής ποσότητας νερού. Η λείανση αρχίζει με χονδρόκοκκη σκόνη και τελειώνει λεπτόκοκκη, πραγματοποιούμενη με τριβή, σε στάδια μεταξύ των οποίων απομακρύνεται εντελώς η σκόνη του ενός σταδίου και αντικαθίστανται με τη λεπτότερη του επόμενου. Η λειανθείσα επιφάνεια στερεώνεται κατόπιν επί γυάλινου πλακιδίου, διαστάσεων περίπου 3x5x0.1cm με τη βοήθεια канаδικού βάλσαμου (κολλητική στρώση), ενώ με κοπή και λείανση της ελεύθερης πλευράς του, το πλακίδιο φτάνει μέχρι το πάχος των περίπου 20 έως 40 μm . Τέλος, η λειανθείσα δεύτερη αυτή επιφάνεια επικαλύπτεται με μια πολύ λεπτή διάφανη καλυπτρίδα που επικολλάται με τη βοήθεια канаδικού βάλσαμου (Κωστάκης, 1988).

3.3.2 Ορυκτολογική ανάλυση – XRD

Η μέθοδος περίθλασης ακτίνων-Χ χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό κρυσταλλικών υλικών, πετρωμάτων, ορυκτών, ιζημάτων, διάφορων γεωλογικών υλικών και γενικά στερεών οποιασδήποτε χημικής φύσης. Πραγματοποιείται δηλαδή η ποιοτική ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων. Η μέθοδος επιτρέπει τον προσδιορισμό της δομής και της σύστασης του δείγματος, το οποίο μπορεί να περιέχει περισσότερες από μία κρυσταλλικές ενώσεις.

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 μεταξύ άλλων ανάλογη του αριθμού των ηλεκτρονίων του. Κατά τη σύγκρουση των ακτίνων-Χ με τα ηλεκτρόνια των ατόμων, τα ηλεκτρόνια ωθούνται σε εξαναγκασμένες ταλαντώσεις και ταυτόχρονη εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας α) ίδιας συχνότητας όπως της πρωτογενούς ακτινοβολίας και β) μικρότερης συχνότητας σε σχέση με την πρωτογενή ακτινοβολία, ως συνεπακόλουθο αλμάτων τους από διάφορες ενεργειακές στάθμες σε άλλες.

Η περίθλαση των ακτίνων-Χ πάνω στους κρυστάλλους ερμηνεύεται ως ανάκλαση των ακτίνων-Χ οι οποίες προσπίπτουν υπό ορισμένη γωνία σε πλεγματικά επίπεδα του κρυστάλλου. Θεωρείται ότι το πλέγμα ενός κρυστάλλου αποτελείται από ομάδες πλεγματικών επιπέδων τα οποία σε κάθε ομάδα είναι παράλληλα και διαδέχεται το ένα το άλλο πάντα στην ίδια απόσταση d . Η ανάκλαση στην προκειμένη περίπτωση διαφέρει από την ανάκλαση του ορατού φωτός, στο ότι λόγω της μεγάλης ικανότητας διείσδυσης η προσπίπτουσα στον κρύσταλλο δέσμη των ακτίνων-Χ διαπερνά ένα πολύ μεγάλο αριθμό πλεγματικών επιπέδων πριν απορροφηθεί (Κωστάκης, 2006).

Το προς ανάλυση δείγμα βρίσκεται υπό μορφή κόνεως μέσα στην κοιλότητα ενός πλαστικού ή μεταλλικού πλακιδίου. Η κοιλότητα αυτή έχει βάθος περίπου 1mm και έκταση μερικών cm^2 , έτσι που να προσφέρει χώρο για μάζα του δείγματος της τάξης του 1g, η οποία κατανέμεται με τέτοιο τρόπο στην κοιλότητα του πλακιδίου ώστε να σχηματίζει επίπεδη επιφάνεια (Κωστάκης, 2006).

Με τη μέθοδο αυτή είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση τόσο των γωνιών όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων-Χ που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως. Οι βασικές μονάδες που συνθέτουν 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.

Οι προσπίπτουσες ακτίνες-Χ διαπερνούν ένα μεγάλο αριθμό πλεγματικών επιπέδων, οπότε 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.

$$n * \lambda = 2 * d * \eta\mu\theta \quad (3.1)$$

όπου :

n : ακέραιος θετικός αριθμός

λ : μήκος κύματος,

θ : γωνία ανάκλασης,

d : πλεγματική απόσταση των επιπέδων ανάκλασης του κρυστάλλου.

Το περιθλασίμετρο XRD καταγράφει υπό μορφή ακτινογράφηματος την ένταση των ανακλώμενων ακτίνων για κάθε συγκεκριμένη γωνία και για ορισμένο φάσμα γωνιών. Ακόμη, το ακτινογράφημα κάθε κρυσταλλικής ουσίας είναι χαρακτηριστικό και μοναδικό, κατά συνέπεια αποτελεί ένα είδος ταυτότητας βάσει της οποίας μπορούμε

να προσδιορίσουμε την ουσία αυτή. Η εικόνα που προκύπτει είναι ανάλογη εκείνης που απεικονίζεται σε ένα φιλμ (Κωστάκης, 2006).

Η ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με το περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ τύπου D8-Advance της BrukerAXS του εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης. Τα παρασκευάσματα τοποθετήθηκαν στο δειγματοφορέα του γωνιομέτρου του περιθλασίμετρου, ο οποίος βρίσκεται σε τέτοια θέση ώστε να παραμένει πάντα στο κέντρο του κύκλου που διαγράφει ο απαριθμητής των ακτίνων-Χ. Ο απαριθμητής περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα 2 θ/min ενώ το επίπεδο του δείγματος με γωνιακή ταχύτητα θ/min . Αυτό συμβαίνει διότι με τη σύγχρονη μετατόπιση του απαριθμητή και τη περιστροφή του δείγματος σκόπιμο είναι ο απαριθμητής να σχηματίζει την ίδια γωνία ως προς το επίπεδο του δείγματος, όπως και με το σημείο εξόδου των ακτίνων-Χ της λυχνίας.

Κατά αυτό τον τρόπο καταγράφηκε η ακτινοβολία που περιθλάται στους κρυσταλλικούς κόκκους κάθε δείγματος. Η ακτινοσκόπηση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με χρήση λυχνίας χαλκού (Cu), με μήκος κύματος $\approx 1,54 \text{ \AA}$, φίλτρο νικελίου, τάση λυχνίας $U=35 \text{ KV}$ και ένταση ρεύματος $I=35\text{mA}$.

Με τη βοήθεια του γραφικού προγράμματος PLOT3D σε υπολογιστή, απεικονίζονται οι τιμές σχετικής έντασης I που δίνει το υλικό στις αντίστοιχες γωνίες ανάκλασης 2θ και τις αντίστοιχες ισαποστάσεις d των κρυσταλλικών επιπέδων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (X-Ray Diffraction analysis) έγιναν οι ποιοτικές ορυκτολογικές αναλύσεις των οπτόπλινθων.

3.3.3 Χημική ανάλυση – XRF

Η φασματομετρία ακτίνων-Χ φθορισμού αποτελεί αναλυτική μέθοδο για τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης των δειγμάτων. Η μέθοδος βασίζεται στη μέτρηση της εκλυόμενης ακτινοβολίας ακτίνων-Χ κατά το «βομβαρδισμό» του δείγματος με ακτίνες-Χ. Παρασκευάστηκαν δισκία από τις μάζες των δειγμάτων των οπτοπλίνθων χωρίς να συμπεριληφθεί καθόλου εφυάλωμα ή/και επίχρισμα. Τα τήγματα αποτελούνταν από 1,5g δείγματος και 7,5g συντηκτικού (τετραβορικό λίθιο).

Η χημική σύσταση των οπτοπλίνθων σχετίζεται άμεσα με τη χημική σύσταση των πρώτων υλών από τις οποίες κατασκευάστηκαν. Η χημική ανάλυση των δειγμάτων έγινε με τη μέθοδο φασματομετρίας ακτίνων-Χ φθορισμού και χρησιμοποιήθηκε το φασματόμετρο S2 Ranger της BrukerAXS του Εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης, με χρήση λυχνίας Παλλαδίου (Pd). Ο προσδιορισμός έγινε με το σύστημα διαχωρισμού της ενέργειας (EDS).

Το σύστημα φασματομετρίας ακτίνων-Χ φθορισμού, αποτελείται από τα παρακάτω κύρια μέρη:

1. Τη λυχνία παραγωγής πρωτογενούς ακτινοβολίας Χ (X-RAYTUBE)
2. Τον δειγματοφόρέα
3. Το φίλτρο πρωτογενούς ακτινοβολίας
4. Τον ευθυγραμμιστή
5. Τον ανιχνευτή
6. Τον πολυδιάυλο αναλυτή
7. Το ηλεκτρονικό σύστημα καταγραφής

Η αρχή λειτουργίας του φασματοφωτόμετρου XRF είναι η εξής: πρωτογενείς ακτίνες Χ₁ που εκπέμπονται από την πηγή, προκαλούν εκπομπή χαρακτηριστικών δευτερογενών ακτίνων Χ₂ από το δείγμα (φθορισμός), των οποίων οι ενέργειες είναι μικρότερες από την ενέργεια

των πρωτογενών ακτίνων Χ1, εξαρτώντια δε από τα στοιχεία που περιέχει το δείγμα. Τα άτομα των στοιχείων διεγείρονται από ακτίνες-Χ υψηλής ενέργειας και εκπέμπουν δευτερογενή ακτινοβολία (φθορισμός) ακτίνων-Χ, το φάσμα της οποίας αναλύεται.

3.3.4 Προσδιορισμός της απώλειας πύρωσης

Με τη μέθοδο της απώλειας πύρωσης προσδιορίζεται το ποσοστό του CO₂ που εκλύεται κατά τη διάρκεια της πύρωσης των υδροξυλίων και των κρυσταλλικών νερών των ενώσεων και των οργανικών ουσιών. Αρχικά ζυγίζεται ποσότητα ξηρού δείγματος, τοποθετείται σε κάψα από πορσελάνη και τοποθετείται στον ηλεκτρικό φούρνο του εργαστηρίου και θερμαίνεται στην επιθυμητή θερμοκρασία για ορισμένο χρονικό διάστημα. Με τη λήξη του πειράματος, το δείγμα απομακρύνεται από το φούρνο και τοποθετείται σε αφυγραντήρα ώστε να αποφευχθεί η προσρόφηση υγρασίας. Τέλος, μετά την πάροδο λίγων λεπτών και αφού το δείγμα έχει αποκτήσει θερμοκρασία περιβάλλοντος, επαναζυγίζεται (Μωχάμεντ, 1996).

Το ποσοστό της απώλειας πύρωσης προκύπτει ως εξής:

$$\%A.Π = \left(\frac{A - T}{A} \right) * 100 \quad (3.2)$$

Όπου:

% Α.Π. : το υπολογιζόμενο ποσοστό της απώλειας πύρωσης

A : το αρχικό βάρος του ξηρού δείγματος (gr)

T : το τελικό βάρος του δείγματος μετά την πύρωση (gr)

Τα πειράματα για τον προσδιορισμό της απώλειας πύρωσης πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, σε ηλεκτρικό κλίβανο της εταιρίας Nabertherm, Model D-2804.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής: ζυγίστηκε ποσότητα υλικού από κάθε δείγμα, περίπου 5g, και αφού τοποθετήθηκαν σε ειδικά χωνευτήρια, πυρώθηκαν στους 980°C για διάρκεια 3 ωρών. Τέλος, αφού τα δείγματα απέκτησαν θερμοκρασία περιβάλλοντος μετά από κάποια λεπτά, ζυγίστηκαν και σημειώθηκαν οι μετρήσεις του βάρους ως το τελικό βάρος του δείγματος μετά την πύρωση.

3.3.5 Προσδιορισμός αδιάλυτου υπολείμματος

Σε αντιπροσωπευτική ποσότητα από το αρχικό δείγμα των οπτόπλινθων της παρούσας μελέτης, εφαρμόστηκε ήπιος θρυμματισμός ο οποίος περιελάμβανε μηχανικό θρυμματισμό, κατεργασία με ήπια χημικά αντιδραστήρια και εφαρμογή υπερήχων για την αποσυσσωμάτωση των κόκκων όπου αυτό απαιτούνταν. Το θρυμματισμένο υλικό συγκεντρώθηκε σε κάψες και ξηράθηκε για 24 ώρες σε θερμοκρασία 100 °C. Ποσότητα περίπου 1γρ από κάθε δείγμα υποβλήθηκε σε χημικές κατεργασίες για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων συγκολλητικών ουσιών που περιβάλουν τους κόκκους των ορυκτών (ανθρακικά ορυκτά, οργανική ύλη) και την απελευθέρωση των κόκκων του αδιάλυτου υπολείμματος δίχως να διασπαστεί το κρυσταλλικό τους πλέγμα.

Αρχικά η ποσότητα από τα δείγματα υποβλήθηκε σε χημική κατεργασία με ρυθμιστικό διάλυμα IN οξικού νατρίου (NaOAC) - οξικού οξέος (HOAC) με pH=5 για την απομάκρυνση των ανθρακικών συστατικών και των διαλυτών αλάτων σε θερμοκρασία 80 °C για 30 λεπτά. Τα δείγματα αφού ξεπλύθηκαν επανειλημμένα με απιονισμένο νερό για την απομάκρυνση ποσοτήτων οξικού άλατος του ασβεστίου $\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)$ που προκύπτει μετά την αντίδραση του ανθρακικού ασβεστίου με το οξικό οξύ, φυγοκεντρήθηκαν στις 1000 στροφές/λεπτό για τη συλλογή του υλικού μετά τη διαλυτοποίηση. Στη συνέχεια έγινε επίδραση διαλύματος H_2O_2 30% κ.β. σε υδατόλουτρο θερμοκρασίας 80 °C για 3 ώρες. Προστέθηκαν συνολικά 30ml H_2O_2 30% σε κάθε δείγμα, με προσθήκη 5ml κάθε φορά, και συνεχείς αναδεύσεις. Το ατομικό οξυγόνο που προκαλεί την οξείδωση της οργανικής

ύλης απελευθερώνεται κατά τη διάσπαση του H_2O_2 . Την απομάκρυνση της οργανικής ύλης ακολούθησαν δύο φυγοκεντρικές πλύσεις με το ρυθμιστικό διάλυμα οξικού νατρίου-οξικού οξέος με $pH=5$, και μεθανόλη (Τριανταφύλλου, 2011).

Η διαφορά βάρους αρχικού και κατεργασμένου υλικού εκφρασμένη επί τοις εκατό (%) αποτελεί το ποσοστό του αδιάλυτου υπολείμματος.

3.3.6 Υδατοαπορροφητικότητα

Υδατοαπορροφητικότητα καλείται η επί τοις εκατό (%) ποσοστιαία αύξηση της μάζας ενός υλικού μετά την εμβάπτισή του στο νερό για ένα χρονικό διάστημα. Η υδατοαπορροφητικότητα είναι ιδιότητα που εμφανίζεται στα πορώδη υλικά και εξαρτάται από την πυκνότητα των υλικών καθώς επίσης και από τη μορφή και το σχήμα των πόρων τους.

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 απορροφούμενου 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:

Τμήμα του προς εξέταση πετρώματος ξηραίνεται εντός φούρνου σε σταθερή θερμοκρασία $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ και στη συνέχεια ζυγίζεται. Το υλικό εμβαπτίζεται μέσα σε απιονισμένο νερό, για 24 ώρες και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (περίπου $20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Στη συνέχεια, το υλικό απομακρύνεται από το νερό, σκουπίζεται και τοποθετείται πάνω σε απορροφητικό χαρτί ώστε η περίσσεια νερού να φύγει. Λίγα λεπτά αργότερα, το δείγμα το οποίο πλέον είναι κορεσμένο και επιφανειακά ξερό, ζυγίζεται ξανά. Το νερό που

απορροφάται έχει βάρος ίσο με τη διαφορά μεταξύ τελικού και αρχικού βάρους του πετρώματος. Συνεπώς, ο υπολογισμός του ποσοστού της υδατοαπορροφητικότητας γίνεται βάσει της σχέσης:

$$Y = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} * 100 \quad (3.3)$$

Όπου:

Y: το ποσοστό της υδατοαπορροφητικότητας

m₁: το βάρος του ξηρού δείγματος (gr)

m₂: το βάρος του υγρού δείγματος (gr)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ

ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά την ολοκλήρωση των εργαστηριακών δοκιμών και την επεξεργασία των αναλύσεων που ακολούθησε.

4.1 ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ (ΣΤΙΛΠΝΩΝ ΚΑΙ ΛΕΠΤΩΝ ΤΟΜΩΝ)

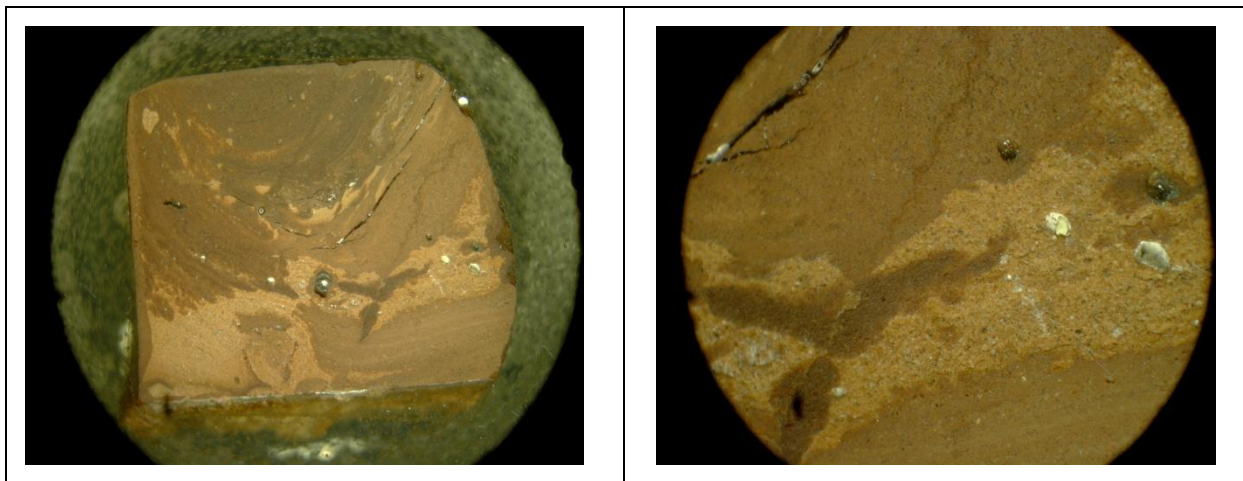
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται και σχολιάζονται χαρακτηριστικές φωτογραφίες στιλπνών τομών των δειγμάτων από το στερεοσκόπιο και λεπτών τομών από το πολωτικό μικροσκόπιο διερχομένου φωτός.

⇒ **Στιλπνές τομές**

Η εξέταση των στιλπνών τομών στο στερεοσκόπιο παρείχε τη δυνατότητα μίας πιο λεπτομερούς μακροσκοπικής παρατήρησης και έδωσε πρωταρχικές πληροφορίες όσον αφορά το χρώμα, τη συνεκτικότητα και την υφή των οπτοπλίνθων.

Δείγμα ΟΔ11

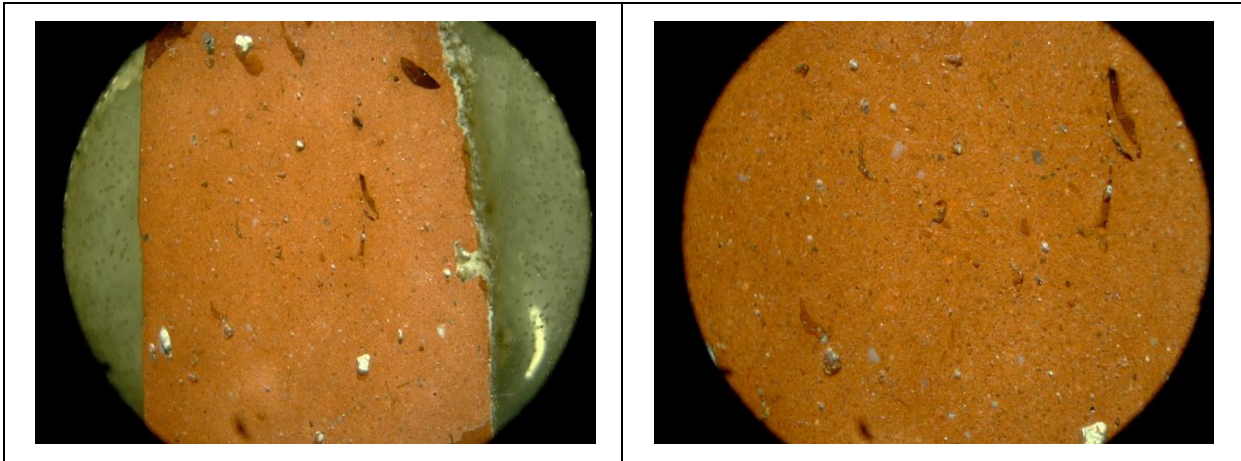
Το δείγμα ΟΔ11, χαρακτηρίζεται από λεπτόκοκκο υλικό διαφορετικών αποχρώσεων του καστανού (ανοιχτό/σκούρο), με ανομοιόμορφη κατανομή στην κύρια μάζα του, που πιθανόν να οφείλονται στην ατελή ομογενοποίηση του αρχικού υλικού. Στην εικόνα 4.1 παρατηρούνται επίσης πληρωμένες ρωγματώσεις στη δομή του δείγματος καθώς και ένας μικρός αριθμός κόκκων μεγάλου μεγέθους και λευκού χρώματος.



Εικόνα 4.1: Φωτογραφίες στιλπνής τομής του δείγματος ΟΔ11, στο στερεοσκόπιο, σε μεγενθύνσεις 4x και 8x αντίστοιχα.

Δείγμα ΟΔ3Β

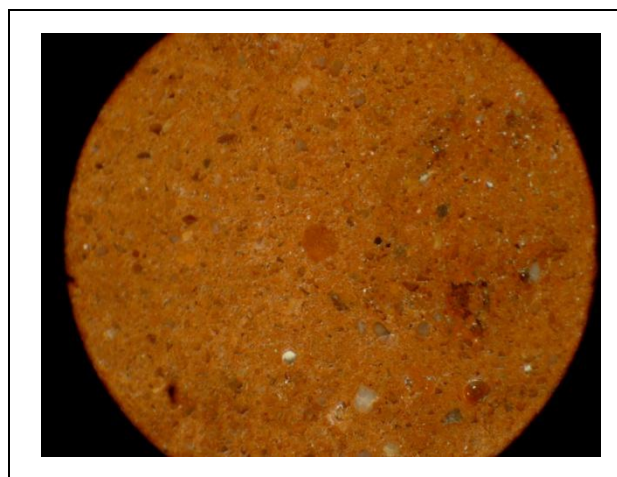
Στο δείγμα ΟΔ3Β παρατηρείται ότι η κύρια μάζα του είναι λεπτόκοκκη. Στην μάζα του εμφανίζονται επιμήκη διάκενα, μεμονωμένοι κόκκοι λευκού χρώματος και άλλοι διάσπαρτοι διαφορετικού. Το δείγμα χαρακτηρίζεται από καστανό χρώμα.



Εικόνα 4.2: Φωτογραφίες στιλπνής τομής του δείγματος ΟΔ3β, στο στερεοσκόπιο, σε μεγενθύνσεις 4x και 8x αντίστοιχα.

Δείγμα ΟΔ6Κ

Η κύρια μάζα του ΟΔ6κ είναι λεπτόκοκκη και απαρτίζεται από μεγάλο αριθμό γωνιωδών και αποστρογγυλεμένων κόκκων με ανομοιόμορφη κατανομή. Παρ' όλα αυτά οι κόκκοι διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το μέγεθος και το χρώμα τους. Επίσης, Παρατηρείται ένας μικρός αριθμός διάκενων και τέλος, το χρώμα του δείγματος, παρουσιάζει έντονη απόχρωση του καστανοκόκκινου.



Εικόνα 4.3: Φωτογραφία στιλπνής τομής του δείγματος ΟΔ6κ στο στερεοσκόπιο, σε μεγένθυση 12x.

Δείγμα ΟΔ20

Το δείγμα ΟΔ20 παρουσιάζει λεπτόκοκκη κύρια μάζα η δομή της οποίας διαφοροποιείται από όλα τα υπόλοιπα δείγματα που εξετάστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία. Συγκεκριμένα, στη μάζα του υπάρχουν επιμήκεις και αποστρογγυλεμένοι κόκκοι μεγάλου σχετικά μεγέθους, που σε σχέση με το δείγμα ΟΔ3Β είναι μεγαλύτεροι και έχουν διαφορετικό χρώμα. Τέλος, το δείγμα εμφανίζει καστανή απόχρωση.



Εικόνα 4.9:Φωτογραφία στιλπνής τομής του δείγματος ΟΔ20, στο στερεοσκόπιο, σε μεγένθυση 8x.

Δείγμα ΟΔ8β

Η κύρια μάζα του δείγματος ΟΔ8β παρατηρείται λεπτόκοκκη, με καλή σύμφυση μεταξύ των επιμέρους κόκκων. Οι χρωματικές διαβαθμίσεις που εμφανίζονται πιθανόν να οφείλονται στην μη σωστή ομογενοποίηση των συστατικών της πρώτης ύλης. Η παρουσία λευκόχρωμων κόκκων είναι έντονη στο παρόν δείγμα, η κοκκομετρία των οποίων ποικίλει. Επιπλέον, παρατηρείται ένας αριθμός διάκενων με επιμήκη ανάπτυξη.



Εικόνα 4.4:Φωτογραφίες στιλπνής τομής του δείγματος ΟΔ8β, στο στερεοσκόπιο, σε μεγένθυση 4x.

Δείγμα ΟΔ9

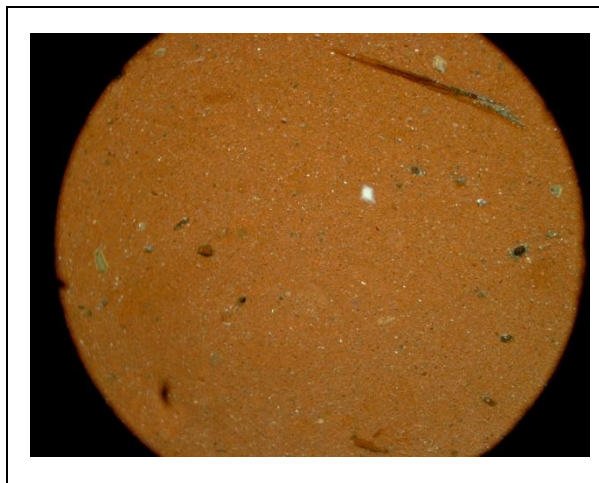
Στο δείγμα ΟΔ9 παρατηρείται ότι η κύρια μάζα του είναι λεπτόκοκκη και εμπλουτισμένη με κόκκους διαφορετικού χρώματος, μεγέθους και σχήματος. Παρατηρούνται επίσης διάκενα διάσπαρτα κατανεμημένα. Η απόχρωση του δείγματος είναι σκούρα καστανή.



Εικόνα 4.5:Φωτογραφίες στιλπνής τομής του δείγματος ΟΔ9, στο στερεοσκόπιο, σε μεγένθυση 8x.

Δείγμα ΟΔ12

Το δείγμα ΟΔ12 χαρακτηρίζεται από κύρια μάζα η οποία κατά κύριο λόγο είναι λεπτόκοκκη, παρουσιάζει μικρό αριθμό πόρων/διάκενων στη δομή του και εμφανίζει συνεκτικότητα. Η απόχρωση του δείγματος είναι καστανή-κόκκινη.



Εικόνα 4.6:Φωτογραφίες στιλπνής τομής του δείγματος ΟΔ12, στο στερεοσκόπιο, σε μεγένθυση 4x.

Δείγμα ΟΔ14

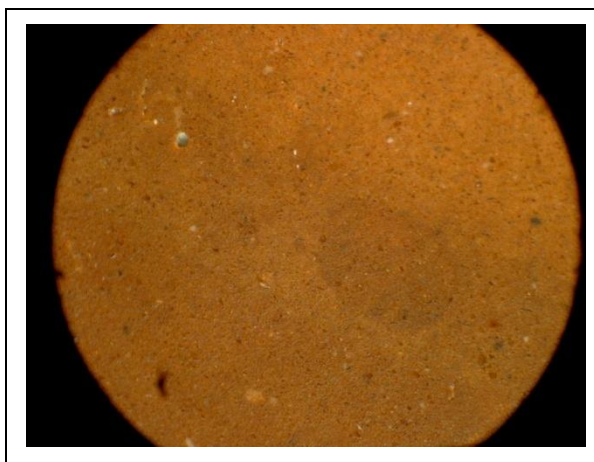
Στην λεπτόκοκκη κύρια μάζα του δείγματος ΟΔ14 συμμετέχει ένας σημαντικός αριθμός κόκκων που διαφοροποιούνται ως προς το μέγεθος τους. Η απόχρωση του δείγματος είναι ανοιχτή καστανή με μία ελαιοπράσινη χροιά.



Εικόνα 4.7:Φωτογραφία στιλπνής τομής του δείγματος ΟΔ14, στο στερεοσκόπιο, σε μεγένθυση 4x.

Δείγμα ΟΔ15

Το δείγμα ΟΔ15 απαρτίζεται από την κύρια λεπτόκοκκη μάζα του και έναν μεγάλο αριθμό κόκκων ιδιαίτερα λεπτής κοκκομετρίας, που κατανέμονται σε όλη του την έκταση, προσδίδοντας έτσι υψηλή ομοιογένεια στην δομή του. Το βασικό χαρακτηριστικό του δείγματος αυτού είναι η εμφάνιση grog (μορφή αποτυώματος). Η απόχρωση του είναι καστανή-κόκκινη.



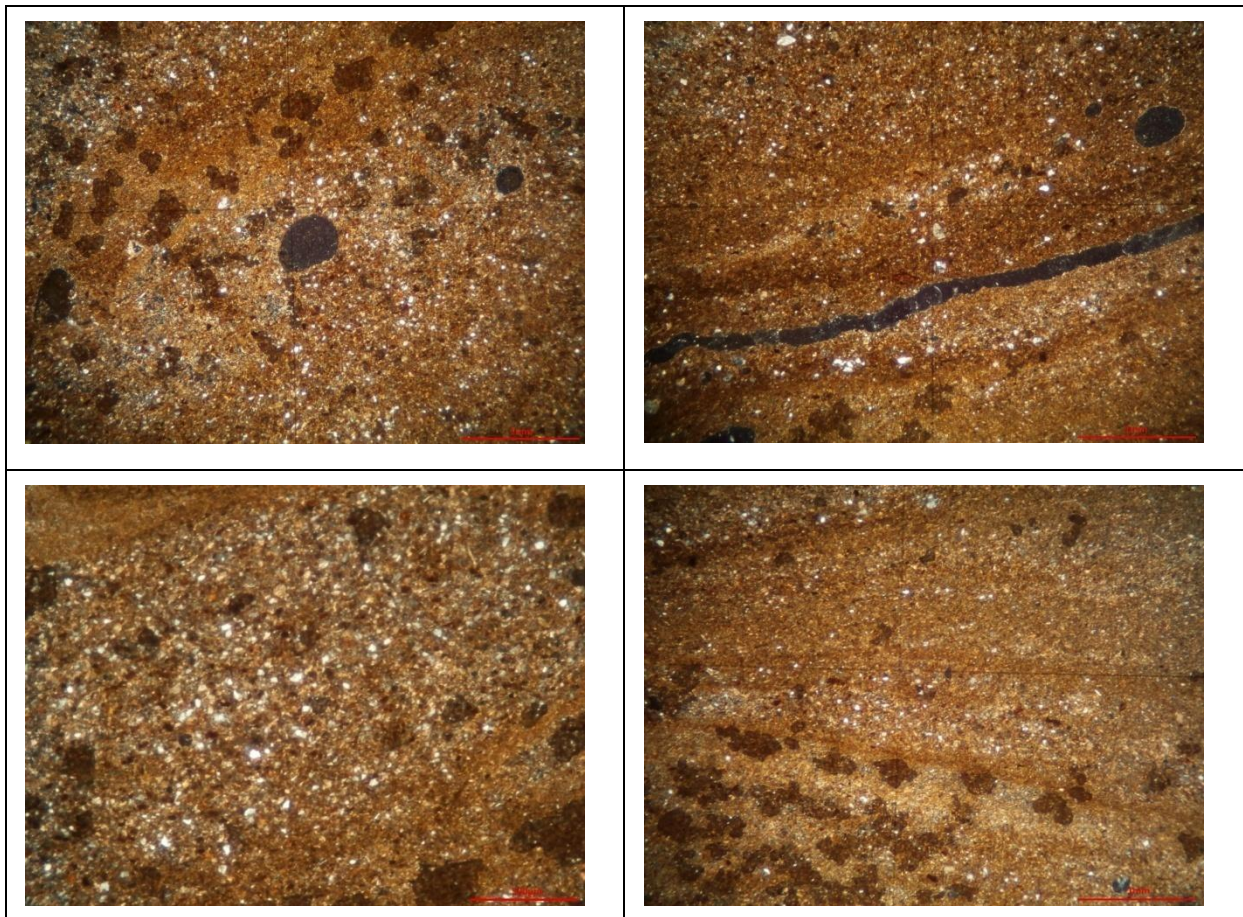
Εικόνα 4.8:Φωτογραφία στιλπνής τομής του δείγματος ΟΔ15 στο στερεοσκόπιο, σε μεγένθυση 8x.

⇒ **Λεπτές τομές**

Η εξέταση λεπτών τομών στο μικροσκόπιο, παρείχε την δυνατότητα για μια πιο λεπτομερή μικροσκοπική παρατήρηση και έδωσε σημαντικές πληροφορίες των δειγμάτων, για την υφή, τα ορυκτά και το μέγεθος των κόκκων που τα χαρακτηρίζουν.

Δείγμα ΟΔ11

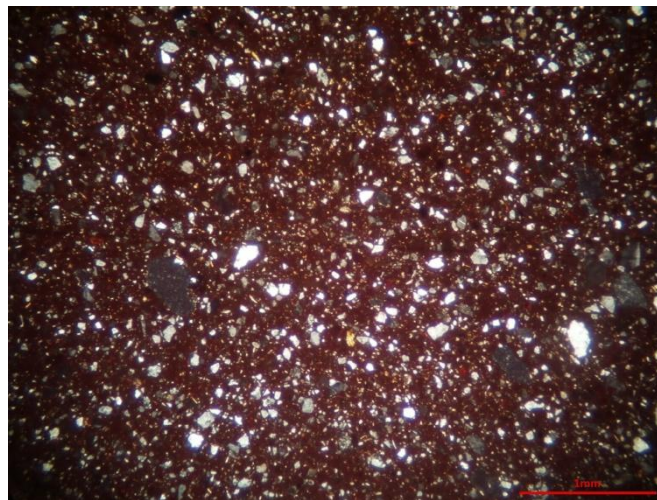
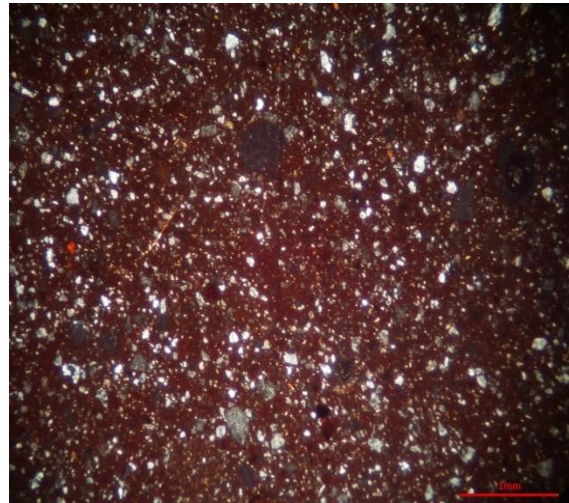
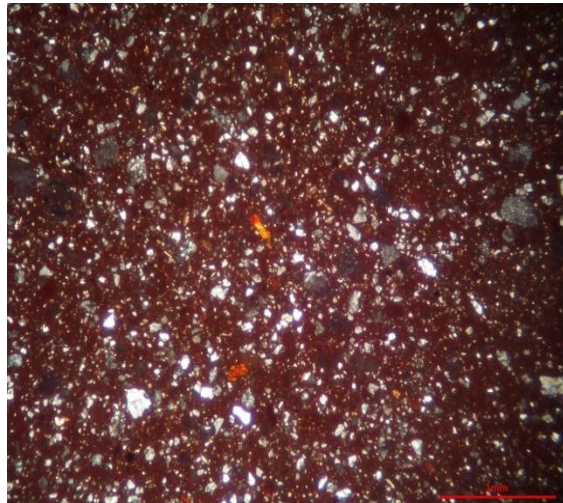
Η κύρια μάζα του δείγματος ΟΔ11, αποτελείται από λεπτομερές-μικριτικό ασβεστίτικο υλικό, κρυστάλλους χαλαζία και πλαγιόκλαστα. Λόγω της εμφάνισης στρώσεων στη μάζα του, συμπεραίνεται ότι κατά την προετοιμασία των πρώτων υλών για την παραγωγή του οπτόπλινθου, είχε προκύψει ανομοιογενές μίγμα.



Εικόνα 4.10: Φωτογραφίες λεπτής τομής του δείγματος ΟΔ11, στο πολωτικό μικροσκόπιο. Διερχόμενο φως, Χ Nicols.

Δείγμα ΟΔ6Κ-ΟΔ3Β

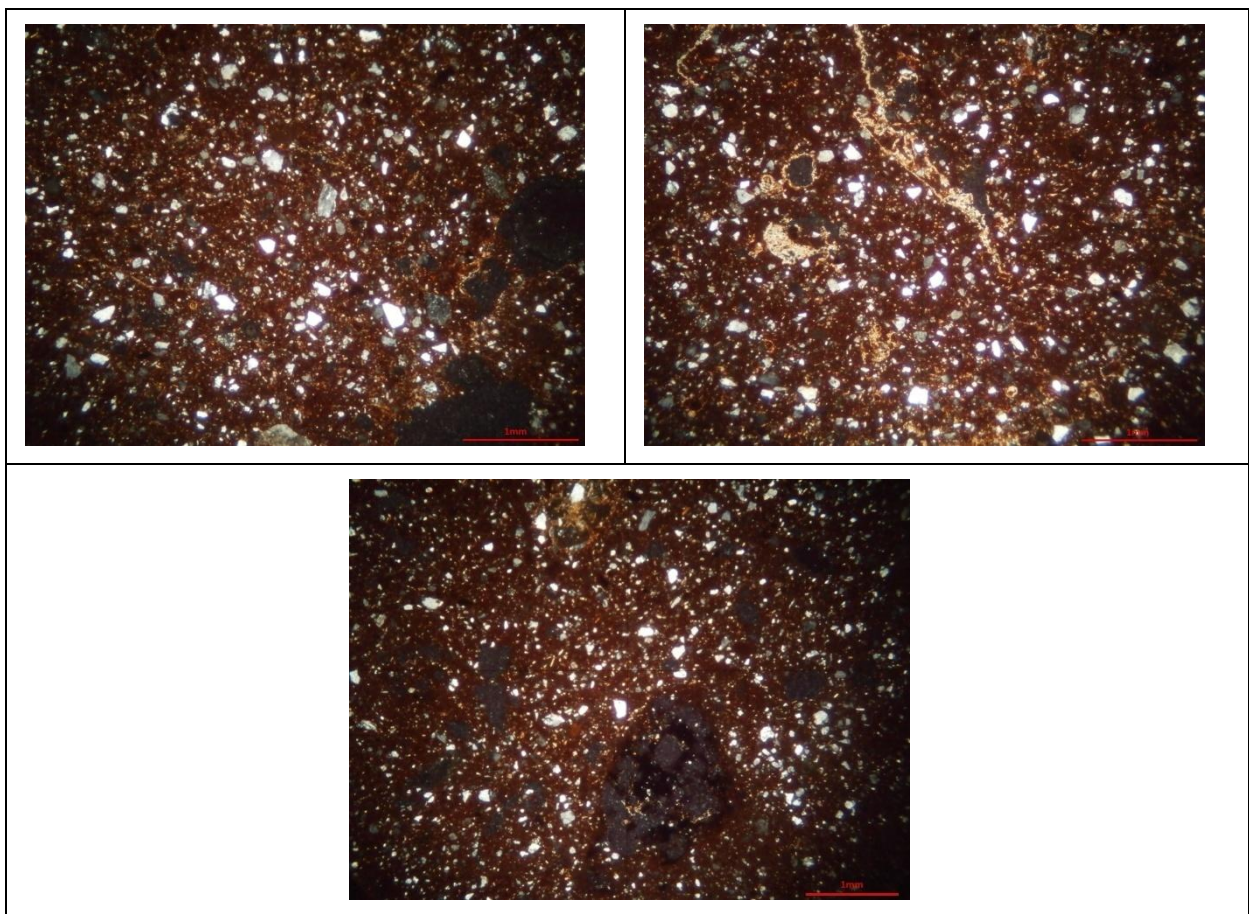
Όπως φαίνεται από τη μικροσκοπική παρατήρηση των δειγμάτων ΟΔ6Κ-ΟΔ3Β είναι εμφανείς οι κρύσταλλοι χαλαζία και πλαγιοκλάστων. Επίσης, η υφή των δειγμάτων χαρακτηρίζεται από μη αργιλικό περιεχόμενο υψηλότερο του 30% (non-clayly framework).



Εικόνα 4.11: Φωτογραφία λεπτής τομής του δείγματος ΟΔ6κ και ΟΔ3β (κάτω φωτογραφία), στο πολωτικό μικροσκόπιο. Διερχόμενο φως, X Nicols.

Δείγμα ΟΔ20

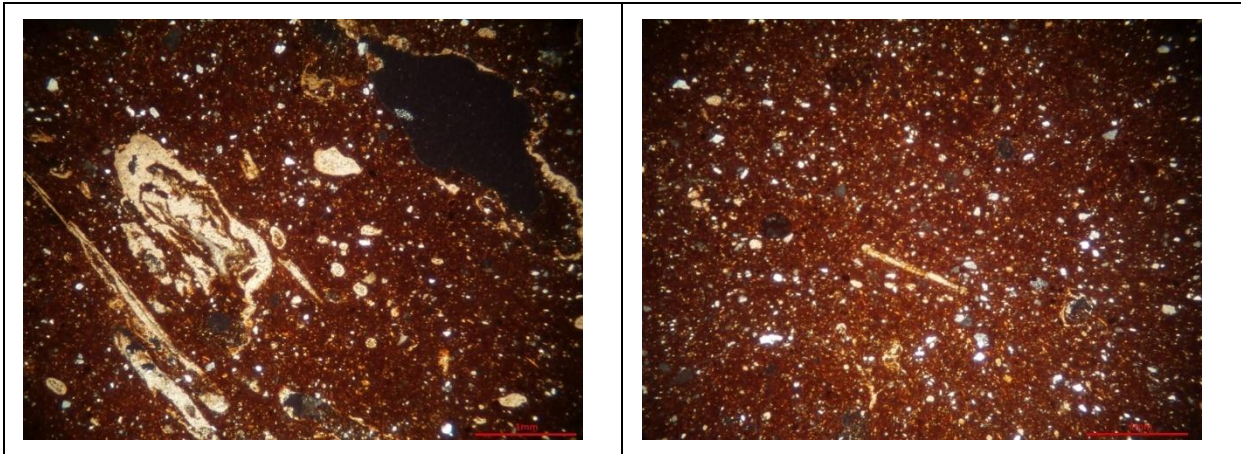
Στο δείγμα ΟΔ20 παρατηρούνται τμήματα της λεπτής τομής με εμφανή την παρουσία διάκενων τα οποία έχουν πληρωθεί δευτερογενώς από υλικό πιθανότατα ασβεστιτικής προέλευσης. Συναντώνται επίσης μεγάλου μεγέθους κρύσταλλοι χαλαζία. Το δείγμα παρουσιάζει υφή μη-αργιλικού περιεχομένου (non-claylyframework), μεγαλύτερο του 20 %.



Εικόνα 4.12:Φωτογραφίες λεπτής τομής του δείγματος ΟΔ20, στο πολωτικό μικροσκόπιο. Διερχόμενο φως, X Nicols.

Δείγμα ΟΔ7

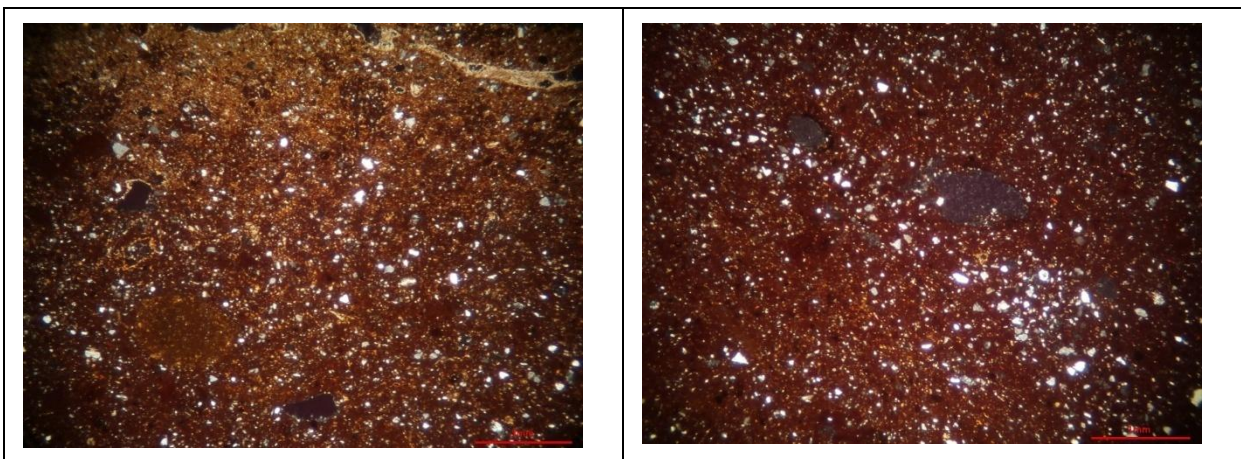
Στο δείγμα ΟΔ7 παρατηρείται ότι το χαλαζιακό υλικό είναι μικρότερης κοκκομετρίας σε σύγκριση με τα παραπάνω δείγματα. Εμφανίζονται πλαγιόκλαστα και συγκεντρώσεις ασβεστιτικής σύστασης διαφορετικής προέλευσης καθώς παρατηρούνται και οι μαρμαρυγίες (επιμήκεις).



Εικόνα 4.13: Φωτογραφίες λεπτής τομής του δείγματος ΟΔ7, στο πολωτικό μικροσκόπιο. Διερχόμενο φως, Χ Nicols.

Δείγμα ΟΔ9

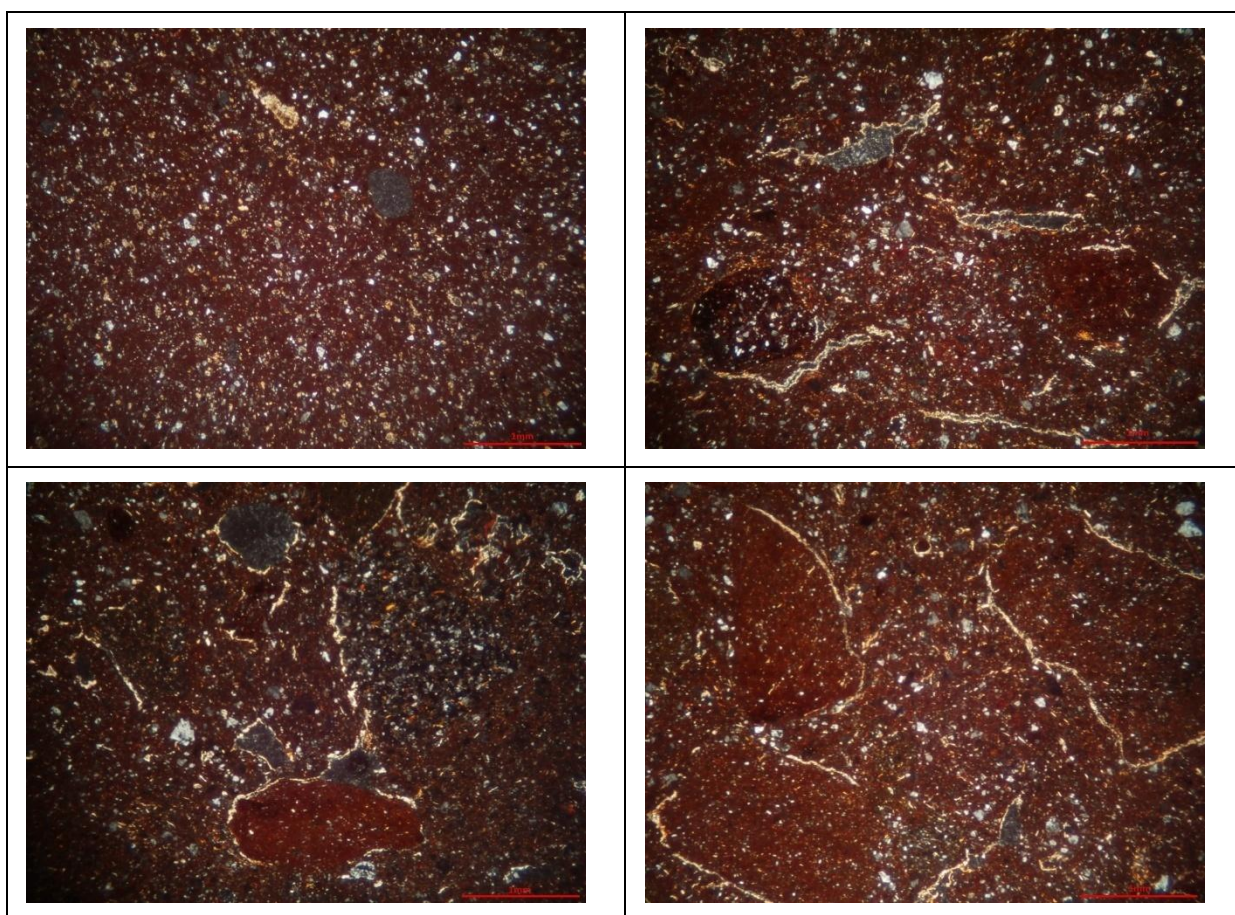
Στη μικροσκοπική παρατήρηση του δείγματος ΟΔ9 παρατηρείται μια συνάθρηση ασβεστιτικής σύστασης και το το μη-αργιλικό περιεχόμενο είναι υψηλότερο του 20%. Εμφανίζονται οι κρύσταλλοι χαλαζία καθώς και τα πλαγιόκλαστα.



Εικόνα 4.14: Φωτογραφίες λεπτής τομής του δείγματος ΟΔ9, στο πολωτικό μικροσκόπιο. Διερχόμενο φως, Χ Nicols.

Δείγματα ΟΔ12-ΟΔ6

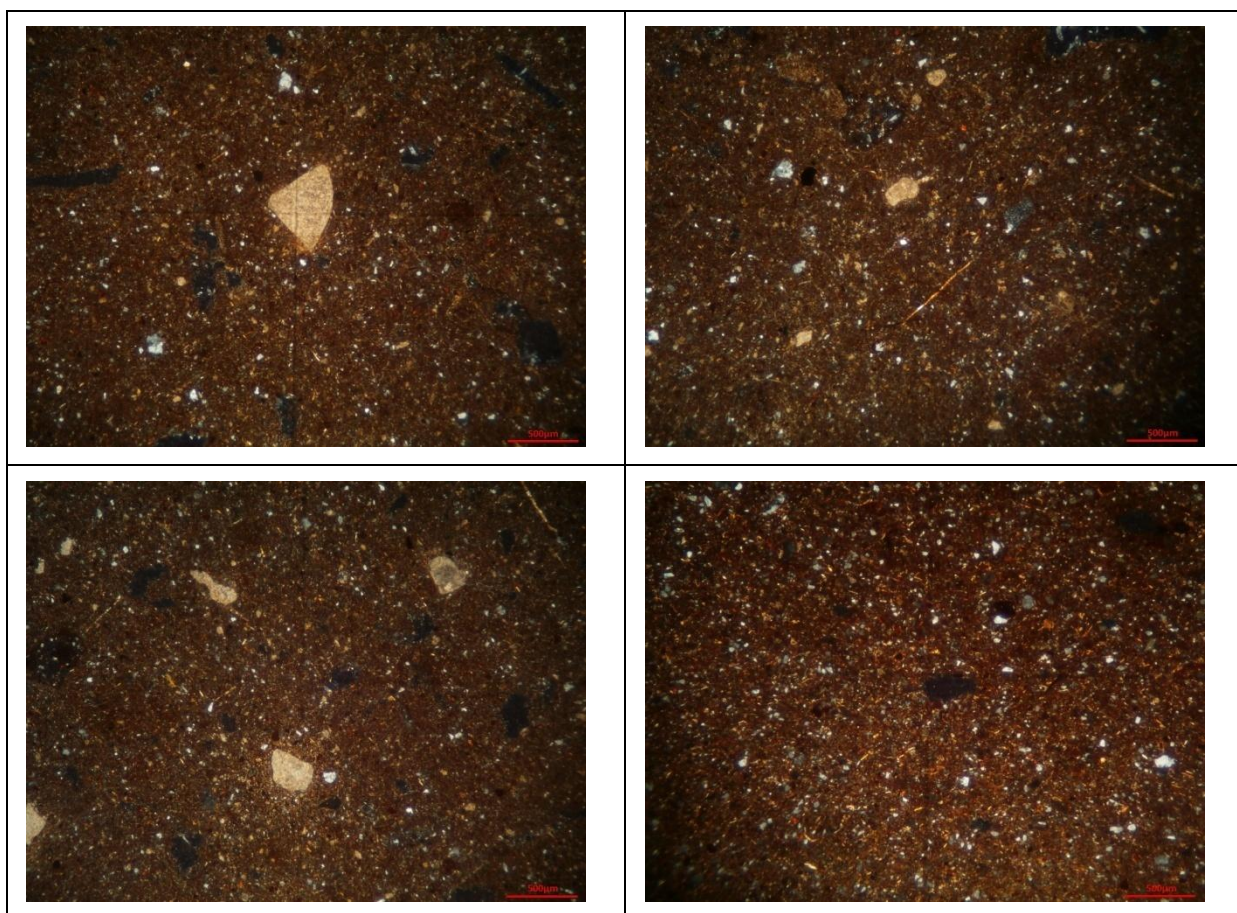
Στην μικροσκοπική παρατήρηση του δείγματος ΟΔ12 παρατηρείται ότι το χαλαζιακό περιεχόμενο είναι πολύ έντονο καθώς το μη-αργιλικό περιεχόμενο είναι υψηλότερο του 30%. Οι κρύσταλλοι χαλαζία παρουσιάζουν μικρότερη κοκκομετρία σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα και ο ασβεστίτης εμφανίζεται με την πλήρωση κενών. Έντονες είναι κάποιες συγκεντρώσεις διαφορετικού χρώματος και συγκεκριμένα πιο σκούρου, που πιθανότατα να είναι σημεία υπερέψησης.



Εικόνα 4.15:Φωτογραφίες λεπτών τομών των δειγμάτων ΟΔ12(πάνω αριστερά) και ΟΔ6 στο πολωτικό μικροσκόπιο. Διερχόμενο φως, Χ Nicols.

Δείγμα ΟΔ14-ΟΔ15

Τα δείγματα ΟΔ14 και ΟΔ15 παρουσιάζουν ομοιομορφία στη μικροσκοπική παρατήρηση. Στο δείγμα ΟΔ14 είναι εμφανής ο κρύσταλλος πρωτογενούς ασβεστίτη καθώς εμφανείς είναι και οι μαρμαρυγίες. Το χαλαζιακό υλικό εμφανίζει πολύ μικρή κοκκομετρία και το χρώμα των λεπτών τομών των δειγμάτων αυτών διαφέρει πολύ σε σύγκριση με αυτών που αναλύθηκαν παραπάνω.



Εικόνα 4.16:Φωτογραφίες λεπτών τομών των δειγμάτων ΟΔ14 και ΟΔ15(κατω δεξιά), στο πολωτικό μικροσκόπιο. Διερχόμενο φως, Χ Nicols.

4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ XRD

Η μελέτη της ορυκτολογικής σύστασης των οπτόπλινθων παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον και δίνει χρήσιμες πληροφορίες, τόσο για τις συνθήκες-θερμοκρασίες όπτησης όσο για τη σύσταση-προέλευση των πρώτων υλών από τις οποίες αυτοί παρήχθησαν.

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης των δειγμάτων οπτοπλίνθων, η οποία πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD). Βάση κυρίως των αποτελεσμάτων αυτών, αλλά και παρατηρήσεων που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο και αφορούν τη μικροσκοπική παρατήρηση, έγινε μια κατηγοριοποίηση των δειγμάτων σε 5 διαφορετικές ομάδες με κοινά ορυκτολογικά χαρακτηριστικά, οι οποίες αντιστοιχούν και σε διαφορετικές θερμοκρασίες όπτησης των αρχικών τους πρώτων υλών.

Προσδιορίστηκαν τα πρωτογενή ορυκτά και οι ορυκτολογικές φάσεις που σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια της όπτησης. Η παρουσία συγκεκριμένων ορυκτολογικών φάσεων στα δείγματα που εξετάστηκαν, αποτελεί σημαντική ένδειξη για το θερμοκρασιακό εύρος όπτησης που χρησιμοποιήθηκε στο στάδιο παραγωγής τους. Η θερμοκρασία διάσπασης ή κρυστάλλωσης νέων ορυκτών εξαρτάται τόσο από τη χημική σύσταση της αργίλου και την κοκκομετρία, όσο από την ατμόσφαιρα, τη διάρκεια της όπτησης και το ρυθμό ανόδου της θερμοκρασίας (Riccardi et al. 1999).

Κατά την έψηση αργιλικών πρώτων υλών, τα περισσότερα από τα συνήθη ορυκτά των αργιλοχωμάτων (ιλλίτης-μοσχοβίτης, καολινίτης, χλωρίτης, χαλαζίας, άστριοι και ανθρακικά ορυκτά), υφίστανται διάφορες μετατροπές, όπως: 1) διάσπαση των ανθρακικών ορυκτών, 2) τροποποίηση ή διάσπαση του κρυσταλλικού πλέγματος των αργιλικών ορυκτών 3)

μετατροπή του α σε β χαλαζία στους 573 °C και 4) αντιδράσεις των οξειδίων που προκύπτουν, μεταξύ τους, με αποτέλεσμα τη δημιουργία αφ' ενός μεν νέων ορυκτολογικών φάσεων, αφ' ετέρου δε, υαλώδους φάσης (σε υψηλές θερμοκρασίες που φτάνουν τους 1400°C), απαραίτητης για το κλείσιμο των πόρων των κεραμικών (Jordan et al. 1999).

Στον πίνακα 4.1 που ακολουθεί (Trindade et al. 2010), παρουσιάζεται λίστα με τις κυριότερες ορυκτολογικές φάσεις που απαντώνται σε κεραμικές πρώτες ύλες και τα παράγωγα αυτών μετά από έψηση σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Οι φάσεις αυτές περιλαμβάνουν τόσο τα ορυκτολογικά συστατικά των πρώτων υλών, όσο και τις νεοσχηματισθείσες φάσεις (neoformed mineral phases) μετά την έψηση.

Τα ορυκτά αυτά ή αλλιώς **ορυκτά όπτησης** (π.χ. διοψίδιος, γκελενίτης-ακερμανίτης, ανορθίτης, μουλίτης, λαρνίτης, κ.α), κρυσταλλώνονται κατά τη διαδικασία έψησης κεραμικών ταυτόχρονα με τη διάσπαση πρωτογενών ορυκτών ως αποτέλεσμα της αύξησης της θερμοκρασίας που οδηγεί σε συνθήκες πέραν των ορίων σταθερότητας των πρωτογενών κρυσταλλικών φάσεων. Σε αυτήν την κατηγορία θα πρέπει να συμπεριληφθούν και οι υαλώδεις φάσεις (Riccardi, 1999).

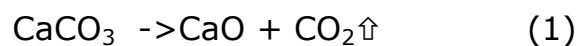
Πίνακας 4.1: Πρωτογενείς και νεοσχηματισμένες ορυκτές φάσεις, με την συντομογραφία τους, το χημικό τους τύπο και την κύρια κορυφή ανάκλασης (XRD τιμή d) που χρησιμοποιούνται για την αναγνώρισή τους (Trindade et al. 2010).

Minerals	Abbreviations	chemical formula	$d(\text{\AA})$
Original minerlas			
Alkaki feldspar	Afs	$(\text{K}, \text{Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$	3.25
Rutile	Rt	TiO_2	3.52
Anhydrite	Anh	CaSO_4	3.50
Dolomite	Dol	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	2.89
Geothite	Gt	$\text{FeO}(\text{OH})$	4.18
Illite	Ill	$(\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2, (\text{H}_2\text{O})$	10.0
Kaolinite	Kln	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	7.18
Phyllosilicates	Psy	$\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}_n$	4.48
Plagioclase	Pl	$(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_8$	3.19
Smectite	Sme	$(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Al}, \text{Mg})_6(\text{Si}_4\text{O}_{10})_3(\text{OH})_{6-n}\text{H}_{20}$	17.0
Quartz	Qtz	SiO_2	3.35
Original and neoformed			
Calcite	Cc	CaCO_3	3.04
Hematite	Hem	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	2.69
Neoformed minerals			
Akermanite	Ak	$\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$	2.87
Anorthite	An	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	3.18
Cristobalite	Crs	SiO_2	4.05
Diopside	Di	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$	2.99
Enstatite	En	MgSiO_3	3.16
Gehlenite	Gh	$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$	2.85
Forsterite	Fo	Mg_2SiO_4	2.46
Larnite	Lr	Ca_2SiO_4	2.75
Monticellite	Mtc	CaMgSiO_4	2.66
Mullite	Mul	$\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$	3.40
Periclase	Per	MgO	2.11
Spinel	Spl	MgAl_2O_4	2.42
Sulfate(Ca,K)	Ca-K sulf.		3.13
Wollastonite	Wo	CaSiO_3	2.98
γ -Alumina	$\gamma\text{-Al}$	$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	1.98

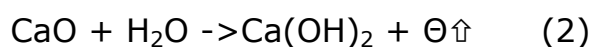
Για την κατηγοριοποίηση των δειγμάτων και τον προσδιορισμό των συνθηκών έψησης ελήφθησαν υπόψη και τα παρακάτω:

- Πολύ σημαντικές θεωρούνται οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε αργλικές πρώτες ύλες που περιέχουν ασβεστίτη (CaCO_3).

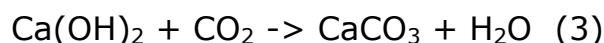
Όταν ο ασβεστίτης εκτεθεί σε θερμοκρασίες από 850 έως 900°C διασπάται σε CaO ως ακολούθως (Boynton, 1980):



Στην συνέχεια το παραγόμενο από τη διάσπαση οξείδιο του ασβεστίου αντιδρά με H_2O και δίνει πορτλανδίτη $\{\text{Ca}(\text{OH})_2\}$



Αν το υδροξείδιο του ασβεστίου αντιδράσει με διοξείδιο του άνθρακα σχηματίζεται δευτερογενής ασβεστίτης (ενανθράκωση του πορτλανδίτη).



Επομένως, ο ασβεστίτης που ανιχνεύεται σε ακτινογραφήματα που προκύπτουν από την ορυκτολογική ανάλυση οπτοπλίνθων με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD), μπορεί να δύο ειδών, α) πρωτογενής και β) δευτερογενής.

Πρωτογενής, θεωρείται ο ασβεστίτης των οπτοπλίνθων που προυπήρχε στην αρχική ύλη, δεν διασπάστηκε κατά τη διάρκεια της έψησης με συνέπεια να παρουσιάζεται και στο τελικό προϊόν.

Δευτερογενής, θεωρείται ο ασβεστίτης ο οποίος προέρχεται από δύο διαφορετικές διαδικασίες. Η πρώτη σχετίζεται με ποσότητες οξειδίου του ασβεστίου οι οποίες δεν αντέδρασαν με άλλες ενώσεις (του πυριτίου, του αργιλίου, του σιδήρου κ.α), ώστε να σχηματιστούν νέες ορυκτές φάσεις στην όπτηση (neoformed minerals), μετατράπησαν σε πορτλανδίτη και δευτερογενώς σε ασβεστίτη έπειτα από ενανθράκωση του πορτλανδίτη.

Η δεύτερη σχετίζεται με την εναπόθεση σε πόρους/διάκενα/ρωγματώσεις των οπτοπλίνθων υλικού ασβεστοιτικής σύστασης λόγω περιβαλλοντικών διεργασιών.

- Ο σχηματισμός του διοψιδίου ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) ενεργοποιείται από την διάσπαση μιας αρχικής ασβεστομαγνησιούχας φάσης, όπως ο δολομίτης ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) και την αντίδραση των CaO και MgO με SiO_2 σε θερμοκρασίες έψησης μεγαλύτερες από τους 900°C .
- Ο γκελενίτης ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$) είναι ένα σωροπυριτικό ορυκτό πλούσιο σε Al και αποτελεί μαζί με τον ακερμανίτη ($\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$) τα ακραία μέλη μιας σειράς ισόμορφων παραμειξεων της ομάδας ορυκτών του μελίλιθου. Το θερμοκρασιακό εύρος της σταθερότητας των γκελενίτη-ακερμανίτη τοποθετείται μεταξύ 850°C και 1150°C (Hoschek, 1974). Συγκεντρώσεις γκελενίτη και ακερμανίτη απαντώνται σε κεραμικά προϊόντα τα οποία έχουν προέλθει από έψηση πρώτων υλών (με την κατάλληλη χημική σύσταση) σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 800°C (Cardiano, 2004).

Από την ερμηνεία των ακτινογραφημάτων αναγνωρίστηκαν στα δείγματα που εξετάστηκαν οι παρακάτω ορυκτές φάσεις:

1) χαλαζίας, 2) ασβεστίτης, 3) ιλλίτης, 4) μοσχοβίτης, 5), δολομίτης 6), πλαγιόκλαστο (αλβίτης) 7) αλκαλιούχοι άστριοι (ορθόκλαστο και ανορθόκλαστο), 8) μαγκεμίτης, 9) αιματίτης, 10) γκελενίτης, 11) διοψίδιος 12) ακερμανίτης, 13) ρουτίλιο, 14) γύψος

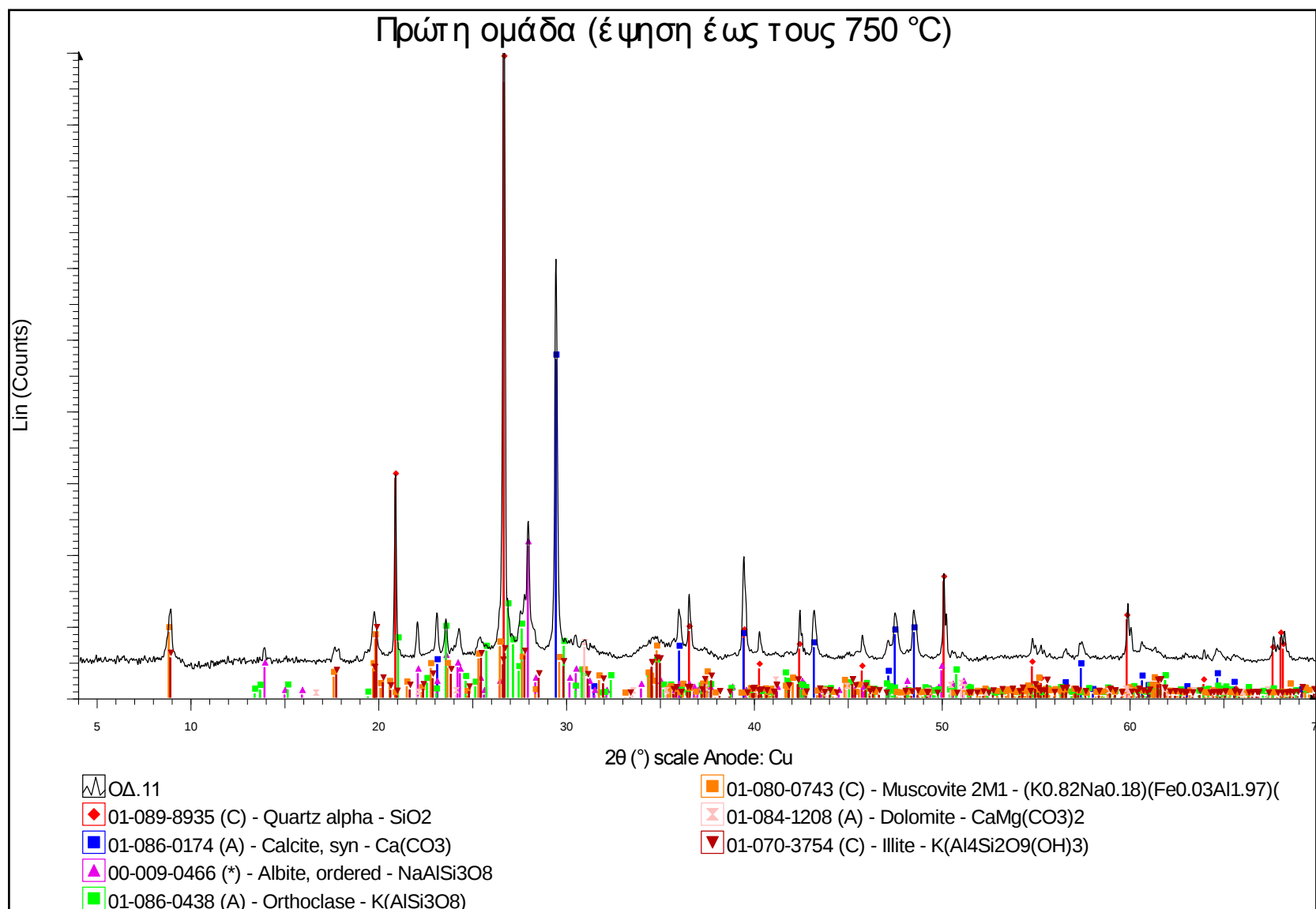
Σε όλα τα δείγματα που εξετάστηκαν υπερισχύει ο χαλαζίας (SiO_2), ενώ σημαντική είναι και η παρουσία των αστρίων (αλβίτη & αλκαλιούχων αστρίων). Ο ασβεστίτης (CaCO_3) απουσιάζει από τα δείγματα ΟΔ3Β και ΟΔ6Κ, βρίσκεται σε αφθονία στον οπτόπλινθο ΟΔ11 και απαντάται σε διαφορετικά ποσοστά στα υπόλοιπα δείγματα. Σημαντική θεωρείται και η παρουσία του αιματίτη ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) στα δείγματα. Ο αιματίτης υποδηλώνει ότι η ατμόσφαιρα εντός του χώρου που πραγματοποιήθηκε η όπτηση των πρώτων υλών ήταν οξειδωτική (Cultrone et al. 2001).

4.2.1 Εκτιμώμενη θερμοκρασία όπτησης έως τους 750 °C

Ο οπτόπλινθος ΟΔ11 αποτελεί προϊόν έψησης χαμηλών θερμοκρασιών. Οι ορυκτολογικές φάσεις που ανιχνεύτηκαν στο ακτινοδιάγραμμα είναι (Γράφημα 4.1): χαλαζίας, ασβεστίτης, αλβίτης, καλιούχος άστριος (ορθόκλαστο), ιλλίτης/μοσχοβίτης και δολομίτης.

Σύμφωνα με την επεξεργασία των αποτελεσμάτων της ορυκτολογική ανάλυσης πρόκειται για δείγμα που έχει παραχθεί μετά από όπτηση σε θερμοκρασίες έως 750°C. Το γεγονός αυτό πιστοποιείται α) από την έλλειψη ορυκτολογικών φάσεων υψηλών θερμοκρασιών β) από την έντονη παρουσία ασβεστίτη γ) την παρουσία ιλλίτη/μοσχοβίτη και δ) την ανίχνευση μικρής ποσότητας δολομίτη. Ο δολομίτης αρχίζει να αποσυντίθεται σε θερμοκρασίες πολύ χαμηλότερες από εκείνες του ασβεστίτη (από 500 έως 650 °C, ανάλογα με το μέγεθος και την κρυσταλλικότητά του) και να διασπάται πλήρως σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 800 °C περίπου (Boynton, 1980). Όλα τα παραπάνω συναινούν στο γεγονός πως ο οπτόπλινθος ΟΔ11, προέρχεται από πρώτη ύλη και υλικό το οποίο ψήθηκε σε χαμηλή θερμοκρασία, η οποία δε ξεπερνάει τους 750°C.

Τα παραπάνω βρίσκονται σε πλήρη ταύτιση με την εικόνα του δείγματος στις λεπτές τομές, η οποία παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο.



Γράφημα 4.1: Ακτινοδιάγραμμαπεριθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD) του δείγματος ΟΔ11.

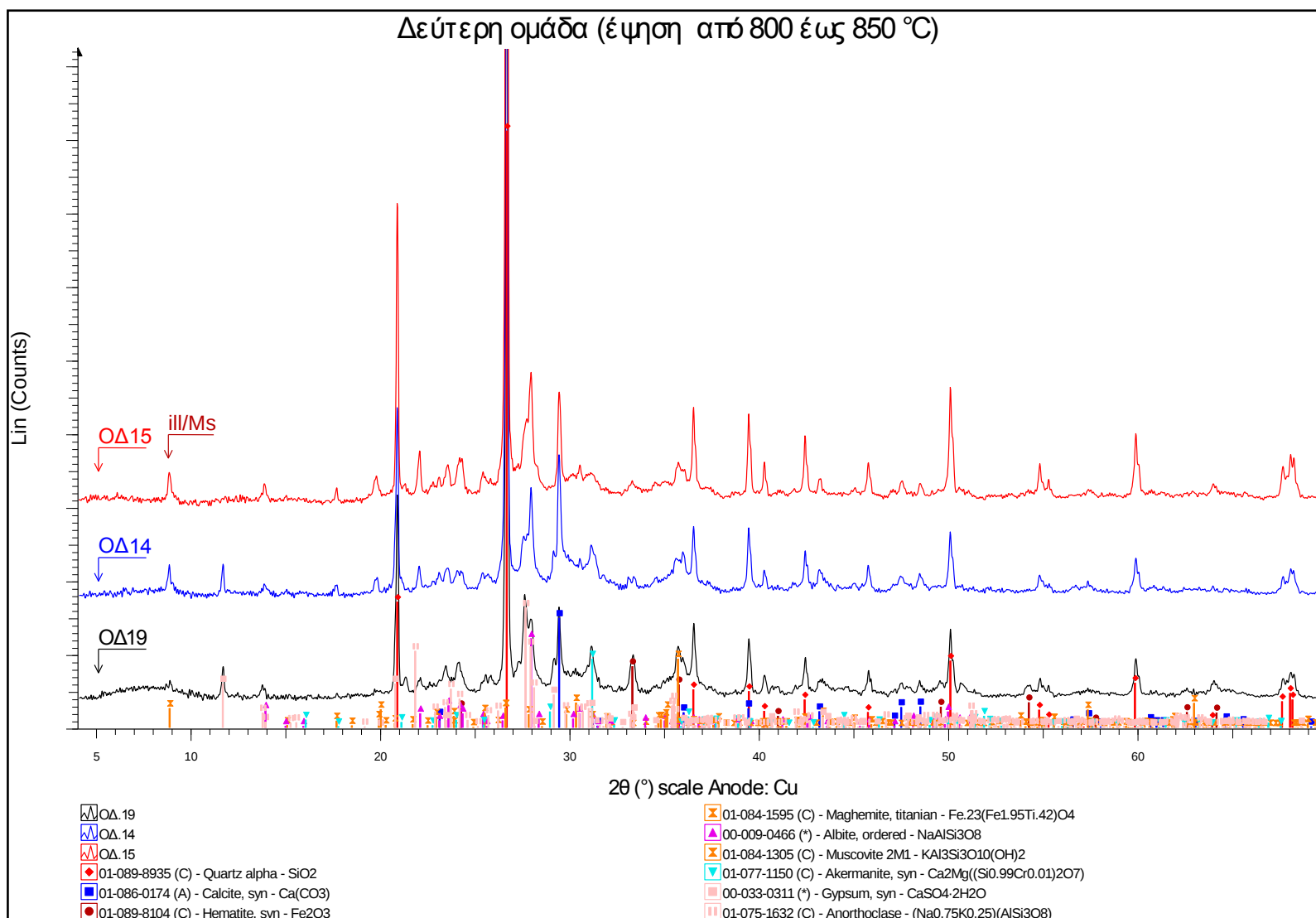
4.2.2 Εκτιμώμενη θερμοκρασία όπτησης από 800°C έως 850°C

Στην ομάδα αυτή ανήκουν οι οπτόπλινθοι ΟΔ14, ΟΔ15, ΟΔ19 (Γράφημα 4.2). Οι ορυκτολογικές φάσεις που ανιχνεύτηκαν είναι: χαλαζίας, ασβεστίτης, αιματίτης, μαγκεμίτης, αλβίτης, ανορθόκλαστο, ιλλίτης/μοσχοβίτης, γκαιτίτης, ακερμανίτης, γύψος.

Στα δείγματα ΟΔ14 και ΟΔ15 ανιχνεύεται η έντονη παρουσία των μοσχοβίτη/ιλλίτη και ασβεστίτη, η οποία παρατηρείται ελλειπτική στο δείγμα ΟΔ19, αντίστοιχα. Και στα τρία δείγματα ανιχνεύτηκε ακερμανίτης, η χαρακτηριστική πρώτη ανάκλαση του οποίου ($d=2.87\text{\AA}$), γίνεται πιο έντονη στα ακτινοδιαγράμματα των δειγμάτων ΟΔ15, ΟΔ14 και ΟΔ19, αντίστοιχα. Το ίδιο ισχύει και για την ανάκλαση του αιματίτη σε $d=2.69\text{\AA}$.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, και την εικόνα των δειγμάτων όπως αυτή προέκυψε από την μικροσκοπική παρατήρηση των λεπτών τομών, συμπεραίνεται πως τα δείγματα προήλθαν από έψηση πρώτων υλών σε θερμοκρασιακό εύρος μεταξύ 800 και 850°C. Έτσι δικαιολογείται η έντονη παρουσία ασβεστίτη, ο οποίος στα δείγματα αυτά παρουσιάζεται και ως πρωτογενής και ως δευτερογενής.

Στα δείγματα ΟΔ14, ΟΔ19 εντοπίζεται γύψος και πιστεύετε ότι η παρουσία του οφείλεται στο γεγονός ότι στα σημεία που έγινε η δειγματοληψία είχε γίνει επέμβαση συντήρησης με τσιμεντοκονία.



Γράφημα 4.2: Ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD) των δειγμάτων OΔ15, OΔ14 και OΔ19.

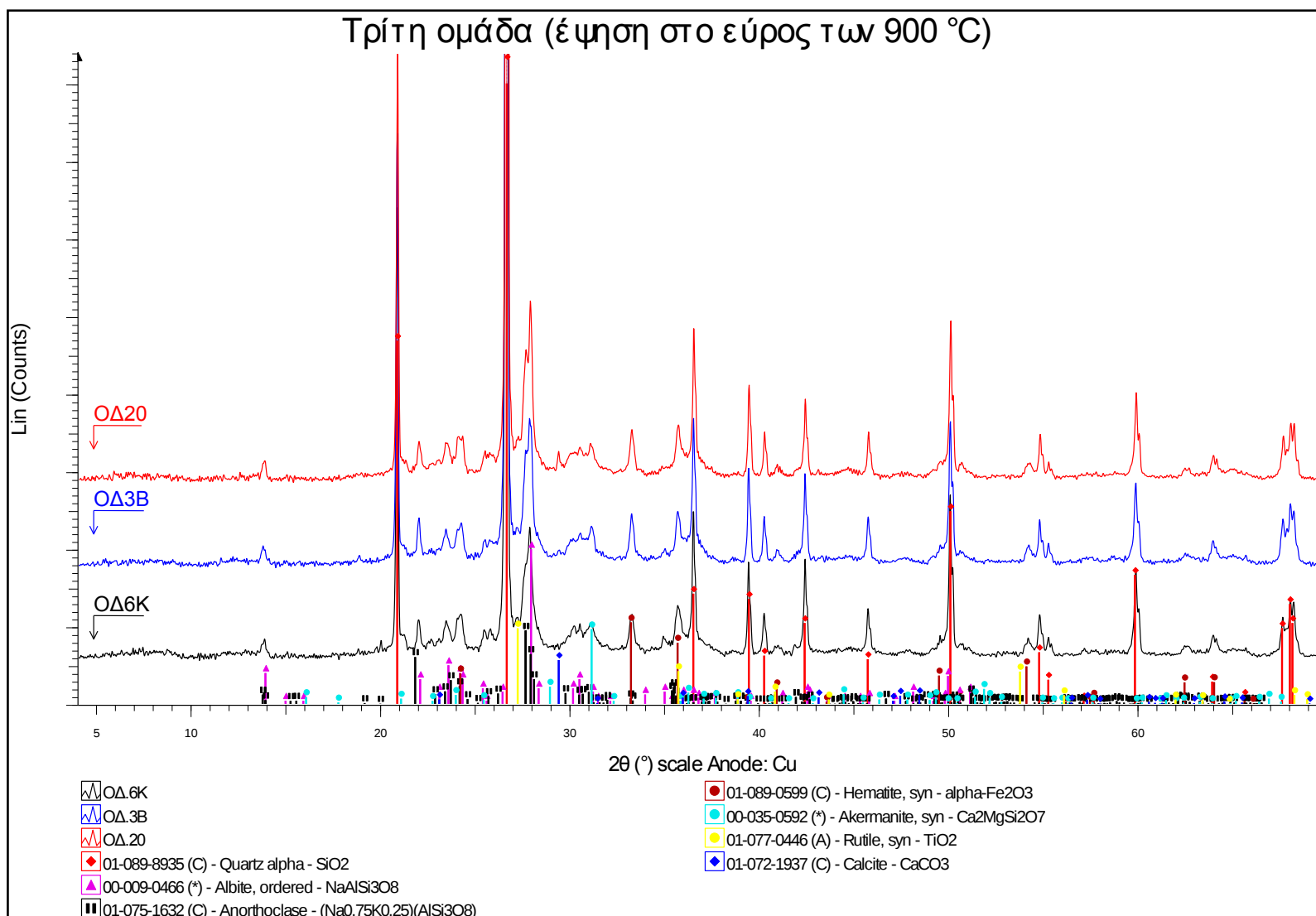
4.2.3 Εκτιμώμενο θερμοκρασιακό εύρος όπτησης στους 900 °C

Στην ομάδα αυτή ανήκουν οι οπτόπλινθοι ΟΔ3β, ΟΔ6Κ και ΟΔ20 (Γράφημα 4.3). Οι ορυκτολογικές φάσεις που ανιχνεύτηκαν είναι: χαλαζίας, αλβίτης, ανορθόκλαστο, αιματίτης, μαγκεμίτης, ακερμανίτης, ρουτίλιο, καθώς και ασβεσίτης ο οποίος ανιχνεύτηκε μόνο στον οπτόπλινθο ΟΔ20. Παρατηρήθηκε επίσης η απουσία ιλλίτη/μοσχοβίτη και η παρουσία της νεοσχηματισθείσας φάσης του ακερμανίτη στα δείγματα, η οποία αναγνωρίστηκε από τη χαρακτηριστική ανάκλαση σε $d=2.87\text{\AA}$.

Ο γκαιτίτης διασπάται στο εύρος θερμοκρασιών των 230-280°C και σύμφωνα με την αντίδραση $2\text{FeOOH} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$ αποσυντίθεται πλήρως και μετατρέπεται σε αιματίτη. Παρόλο που ο αιματίτης μπορεί να αναγνωρισθεί σε ένα ακτινοδιάγραμμα ακτίνων-Χ (XRD) από τους 500°C, ο καλά κρυσταλλωμένος αιματίτης εντοπίζεται σε θερμοκρασίες έψησης πάνω από 900°C (Brindley & Brown, 1980).

Από την μελέτη των ακτινοδιαγραμμάτων, είναι φανερό και έντονη σε ένταση η κύρια ανάκλαση του αιματίτη σε $d=2.69\text{ \AA}$. Το εύρος της κορυφής αυτής στα ακτινοδιαγράμματα των συγκεκριμένων οπτοπλίνθων φανερώνει πως η φάση αυτή είναι αρκετά καλά κρυσταλλωμένη. Από τα παραπάνω συνεπάγεται ότι η θερμοκρασία έψησης των δειγμάτων αυτών είναι στο εύρος των 900°C.

Η μικρή ποσότητα ασβεσίτη που εντοπίστηκε μόνο στο δείγμα ΟΔ20 δεν αποδίδεται σε ποσότητες πρωτογενούς ασβεσίτη από το αρχικό υλικό (δηλαδή ανθρακικό ασβέστιο που δεν διασπάστηκε). Η παρατήρηση αυτή, ενισχύεται α) από τη θερμοκρασία έψησης των δειγμάτων, β) την απουσία ασβεσίτη στα δυο υπόλοιπα ομοειδή δείγματα και γ) στην παρατήρηση που αναφέρθηκε παραπάνω στην παράγραφο ανάλυσης των λεπτών τομών.



Γράφημα 4.3: Ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD) των δειγμάτων OD6K, OD3B και OD20.

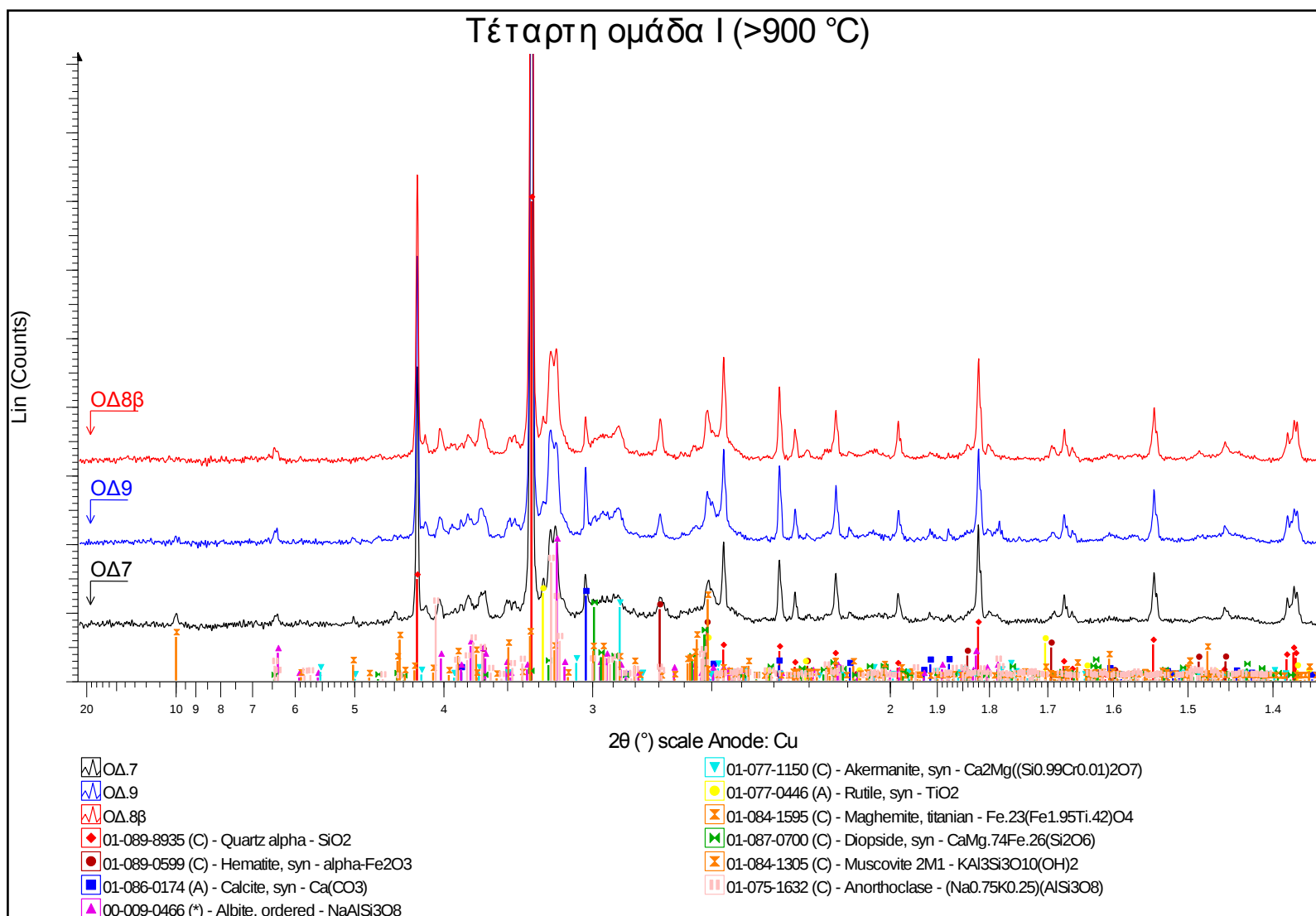
4.2.4 Εκτιμώμενη θερμοκρασία όπτησης μεγαλύτερη από 900°C

Οι οπτόπλινθοι ΟΔ7, ΟΔ9 και ΟΔ8β κατηγοριοποιήθηκαν ως υλικά που προήλθαν από την έψηση πρώτων υλών σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από εκείνη των 900 °C. Οι ορυκτολογικές φάσεις που ανιχνεύτηκαν είναι (Γράφημα 4.4): χαλαζίας, αιματίτης, ασβεστίτης, αλβίτης, ακερμανίτης, ρουτίλιο, μαγκεμίτης, διοψίδιος, ιλλίτης/μοσχοβίτης και ανορθόκλαστο.

Στα συγκεκριμένα ακτινογραφήματα γίνεται για πρώτη φορά ορατή σε μικρή ένταση, η χαρακτηριστική ανάκλαση σε $d=2.99\text{\AA}$ που αντιστοιχεί στην ορυκτή φάση του διοψιδίου και είναι ενδεικτικό στοιχείο ότι η θερμοκρασία έψησης είναι πάνω από 900°C η οποία δεν παρατηρείται στα προηγούμενα δείγματα. Επίσης, είναι ευδιάκριτες οι ανακλάσεις του αιματίτη σε $d=2.69\text{\AA}$.

Ο ασβεστίτης που ανιχνεύεται στο ακτινογράφημα είναι δευτερογενής αλλά με διαφορετική προέλευση. Ένα μέρος του ασβεστίτη οφείλεται σε ποσότητα ασβεστιτικού υλικού που πλήρωσε μεταγενέστερα κάποιους πόρους/διάκενα (βλ. μικροσκοπική παρατήρηση) και ένα άλλο μικρότερο ποσοστό προέρχεται από το ασβεστιτικό περιεχόμενο της πρώτης ύλης.

Σε σχέση με τα υπόλοιπα έως τώρα δείγματα παρατηρείται μία εξισορρόπηση των εντάσεων των ανακλάσεων μεταξύ του αλβίτη και του ανορθόκλαστου.



Γράφημα 4.4: Ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD) των δειγμάτων OΔ7, OΔ9 και OΔ8β.

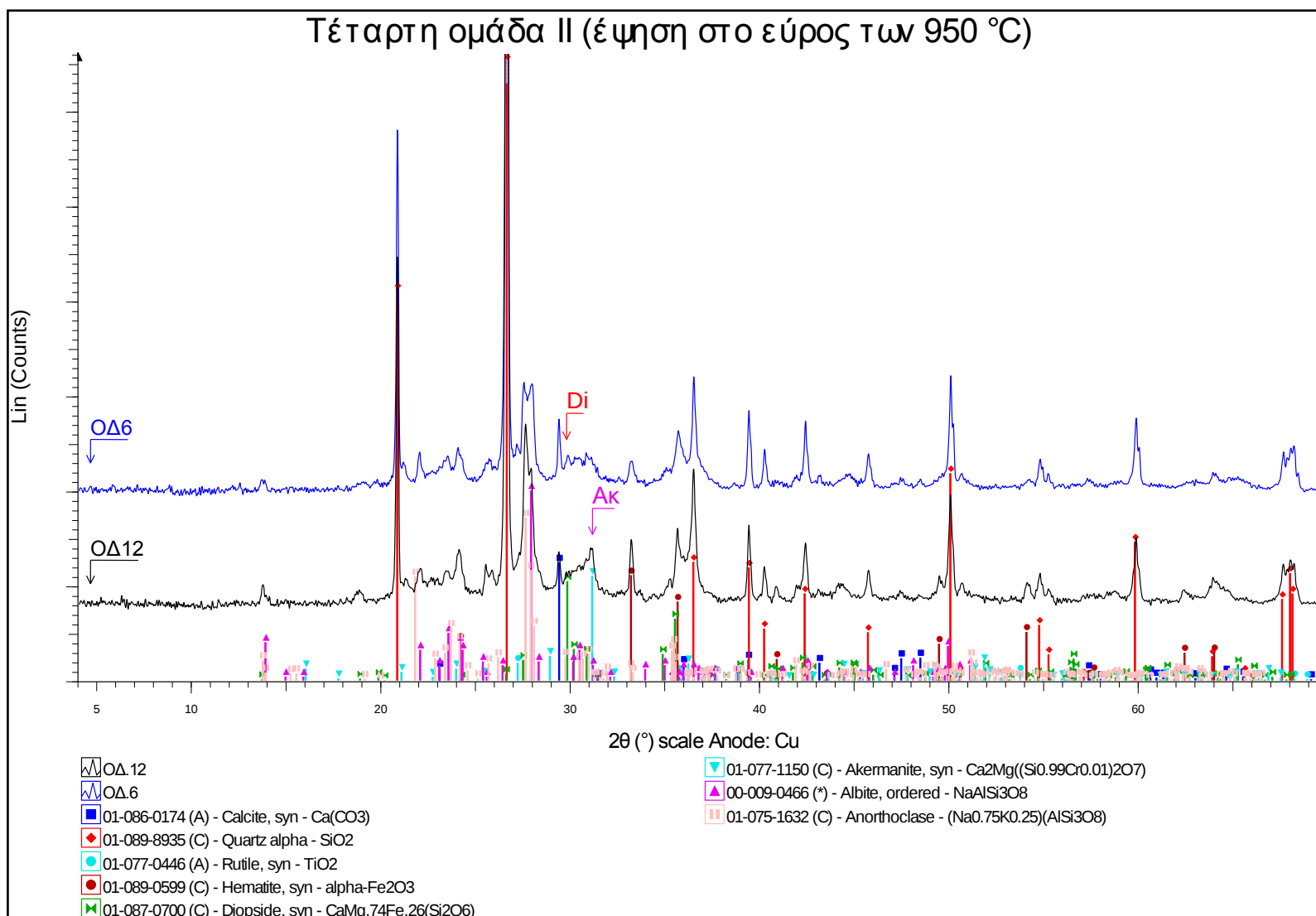
4.2.5 Εκτιμώμενο θερμοκρασιακό εύρος όπτησης στους 950°C

Στην ομάδα αυτή τοποθετούνται οι οπτόπλινθοι ΟΔ6 & ΟΔ12. Οι ορυκτολογικές φάσεις που ανιχνεύτηκαν είναι (Γράφημα 4.5): ασβεστίτης, χαλαζίας, ρουτίλιο, αιματίτης, διοψίδιος, ακερμανίτης, αλβίτης και ανορθόκλαστο.

Η παρουσία του ρουτιλίου οφείλεται στη προέλευση της πρώτης ύλης, καθώς επικρατεί μόνο σε αυτά τα δείγματα. Στο γράφημα 4.5 αναγνωρίζεται ο πιο καλά κρυσταλλωμένος διοψίδιος καθώς είναι φανερό, πως η ανάκλασή του (σε $d=2.99\text{\AA}$), είναι εντονότερη σε συσχέτιση με την ανάκλασή του στο γράφημα 4.4. Το γεγονός αυτό, είναι ένας δείκτης εκτίμησης για υψηλότερη θερμοκρασία έψησης της πρώτης ύλης, σε σχέση με τις ομάδες που έχουν αναλυθεί παραπάνω.

Ενδιαφέρον παρουσιάζεται επίσης, στο εύρος της ανάκλασης του αιματίτη, καθώς είναι πιο μικρό σε σχέση με αυτό του γραφήματος 4.4, γεγονός που υποδηλώνει ότι ο αιματίτης είναι ακόμα καλύτερα κρυσταλλωμένος.

Από τα παραπάνω διαπιστώνεται, ότι η όπτηση των πρώτων υλών πραγματοποιήθηκε στο θερμοκρασιακό εύρος των 950°C και ότι ο ασβεστίτης που ανιχνεύεται στα ακτινοδιαγράμματα είναι δευτερογενής και εμφανίζεται με την πλήρωση διάκενων όπως παρατηρήθηκε στην μικροσκοπική παρατήρηση των λεπτών τομών των δειγμάτων.



Γράφημα 4.5: Ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) των δειγμάτων OΔ6 και OΔ12.

4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΟΥ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΟΣ

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης κύριων στοιχείων με την μέθοδο XRF, ο προσδιορισμός της απώλειας πύρωσης καθώς και του ποσοστού των δειγμάτων ως προς το αδιάλυτο υπόλειμμά τους.

⇒ Χημική ανάλυση

Η χημική σύσταση των οπτόπλινθων σχετίζεται με τη χημική σύσταση των πρώτων υλών από τις οποίες παρήχθησαν. Η ανάλυση των κύριων στοιχείων που εξετάστηκαν, δίνει μια εικόνα για τη γεωχημική προέλευση της πρώτης ύλης.

Η απώλεια πύρωσης των δειγμάτων συνδέεται με την αφυδροξυλίωση του πλέγματος κάποιων ορυκτών φάσεων (κυρίως των αργιλικών) και με την απομάκρυνση του CO₂ που παράγεται από τη διάσπαση των ανθρακικών ενώσεων κατά τη διάρκεια της έψησης.

Από τη μελέτη του πίνακα 4.2 επισημαίνονται τα παρακάτω:

Η απώλεια πύρωσης των δειγμάτων κυμαίνεται από 0.85% (δείγμα ΟΔ3β) έως 12.17% (δείγμα ΟΔ11, όπου παρατηρείται το μεγαλύτερο ποσοστό σε περιεχόμενο ασβεστίτη).

Διακύμανση των ποσοστών των δειγμάτων σε CaO, από 1.07 έως 8.97 %. Το δείγμα ΟΔ11 είναι πλούσιο σε CaO σε αντίθεση με το ΟΔ3β που έχει μόλις 1,07% κ.β. Το υψηλό ποσοστό του CaO στα δείγματα, οφείλεται είτε στη συμμετοχή του ασβεστίτη (CaCO₃) στο αρχικό υλικό όπως προέκυψε και στην ορυκτολογική ανάλυση είτε στη διάσπαση του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO₃) σε τουλάχιστον 850°C, εκλύοντας ταυτόχρονα διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).

Παρατηρούμε επίσης τη μικρή διαφορά ποσοστών σε α-Fe₂O₃, 6.72 έως 7.73 %κ.β. Οι φυσικές χρωστικές του σιδήρου παράγονται από τα οξείδια

του. Με την ύπαρξη Fe στην άργιλο και όταν αυτή εκτεθεί σε οξειδωτική φωτιά, σχηματίζεται τριοξείδιο του σιδήρου και εμφανίζει μια απόχρωση του κόκκινου ανεξάρτητα από το φυσικό της χρώμα.

Τέλος, έχουμε υψηλό ποσοστό σε διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) και σε τριοξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3) υποδεικνύοντας τη χρησιμοποίηση αργιλικών πρώτων υλών.

Οι τιμές σε Na_2O κυμαίνονται από 0.86 έως 2.64%. Η υψηλότερη τιμή ανιχνεύτηκε στον οπτόπλινθο ΟΔ19 και η πιο χαμηλή στον ΟΔ3β. Μικρή διαφορά ποσοστών παρατηρείται στο K_2O που κυμαίνεται από 2.05% (δείγμα ΟΔ20) έως 2.62% (δείγμα ΟΔ14) και η ύπαρξή του οφείλεται στην παρουσία των αλκαλιούχων αστρίων ενώ μέρος του K_2O μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκει στο μοσχοβίτη (ή και στον ιλλίτη).

Το ποσοστό MgO κυμαίνεται από 1.70% κ.β για το δείγμα ΟΔ3Β έως 3.10% κ.β για το δείγμα ΟΔ11.

Τα ποσοστά οξειδίων των Ti, Mn, και P δεν ξεπερνούν το 1%. Συγκεκριμένα κυμαίνονται, το TiO_2 από 0.60% (για το δείγμα ΟΔ3Β) έως 0.74% (για το δείγμα ΟΔ6), το MnO από 0.11% (για το δείγμα ΟΔ6) έως 0.16% (για τα δείγματα ΟΔ3Β, ΟΔ7, ΟΔ8, ΟΔ9) και το P_2O_5 από 0.16% (για το δείγμα ΟΔ3Β) έως 0.50% (για το δείγμα ΟΔ7).

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα δείγματα ΟΔ14 και ΟΔ19 με τις μεγαλύτερες τιμές σε SO_3 , 1.49% κ.β και 1.57% κ.β αντίστοιχα, που οφείλονται στην ύπαρξη γύψου σε αυτά, όπως καταγράφηκε και στην ορυκτολογική ανάλυση.

Πίνακας 4.2.Αποτελέσματα χημικής ανάλυσης των κύριων στοιχείων(%κ.β) με την μέθοδο XRF.

ΔΕΙΓΜΑ	Na₂O	MgO	K₂O	CaO	TiO₂	MnO	Fe₂O₃	Al₂O₃	SiO₂	P₂O₅	SO₃	LOI	ΣΥΝΟΛΟ
ΟΔ3β	0.86	1.70	2.09	1.07	0.60	0.16	6.99	13.17	71.91	0.16	0.08	0.85	99.63
ΟΔ6Κ	1.56	1.63	2.14	1.22	0.61	0.15	6.73	12.34	71.60	0.23	0.08	1.07	99.35
ΟΔ20	1.50	1.79	2.05	1.44	0.63	0.15	6.62	12.70	69.63	0.19	0.05	1.74	98.49
ΟΔ12	1.76	2.28	2.35	2.85	0.67	0.15	7.16	13.52	65.57	0.29	0.07	2.12	98.80
ΟΔ8β	1.72	2.28	2.42	2.81	0.65	0.16	7.21	13.69	64.70	0.34	0.06	2.13	98.17
ΟΔ15	2.43	2.38	2.34	4.04	0.65	0.15	7.10	13.23	64.07	0.36	0.07	3.83	100.65
ΟΔ9	1.53	2.35	2.41	3.36	0.69	0.16	7.31	13.62	63.98	0.32	0.05	2.72	98.50
ΟΔ7	1.91	2.28	2.44	2.97	0.72	0.16	7.08	13.85	63.85	0.50	0.07	3.19	99.09
ΟΔ6	1.58	1.97	2.35	3.40	0.74	0.11	7.73	15.00	63.31	0.48	0.08	3.45	100.20
ΟΔ19	2.64	2.98	2.27	5.91	0.66	0.13	6.72	12.25	54.60	0.33	1.57	9.31	99.37
ΟΔ14	1.94	3.43	2.62	7.55	0.63	0.13	6.77	12.38	52.27	0.39	1.49	9.28	98.87
ΟΔ11	1.24	3.10	2.29	8.97	0.65	0.13	6.84	11.74	52.00	0.42	0.11	12.17	99.66

Οι Tridandeetal.(2010), που πραγματοποίησαν πειράματα όπτησης σε αργιλικές πρώτες ύλες διαφορετικής σύστασης, από τη λεκάνη ALGARVE της Πορτογαλλίας, μελέτησαν τους ορυκτολογικούς μετασχηματισμούς μετά την επίδραση διαφορετικών θερμοκρασιών έψησης σε αυτές. Διαπίστωσαν, πως η χημική σύσταση των πρώτων υλών σχετίζεται άμεσα με τις ορυκτολογικές φάσεις που προκύπτουν σε κάθε θερμοκρασία έψησης και ότι η συμπεριφορά της έψησης σε ασβεστούχες και μη πρώτες ύλες διαφέρει μιας και η ύπαρξη ανθρακικών ενώσεων επηρεάζει το σχηματισμό των ορυκτών σε υψηλές θερμοκρασίες.

Χρησιμοποίησαν, τριγωνικά διαγράμματα στα οποία αποτύπωσαν τη χημική σύσταση των υλικών για να επιβεβαιώσουν τη σύνδεση της προέλευσης των πρώτων υλών με τις ορυκτές φάσεις που σχηματίζονται μετά την έψηση. Στα διαγράμματα αυτά, βάση της χημικής σύστασης των πρώτων υλών, αποτυπώνεται σε ποια σημεία τοποθετούνται οι αργιλικές πρώτες ύλες που είναι περισσότερο ή λιγότερο πλούσιες σε ανθρακικό περιεχόμενο.

Στη παρούσα εργασία, βάση της χημικής σύστασης των οπτοπλίνθων, κατασκευάστηκαν τρία κύρια τριγωνικά διαγράμματα $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-SiO}_2$ (A-C-S), MgO-CaO-SiO_2 (M-C-S) και $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-CaO-SiO}_2$ (F-C-S), βασικά στοιχεία τα οποία συμμετέχουν στο χημισμό των ορυκτών φάσεων που δημιουργούνται μετά την έψηση. Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζονται στις εικόνες 4.20,21 και 22 αντίστοιχα.

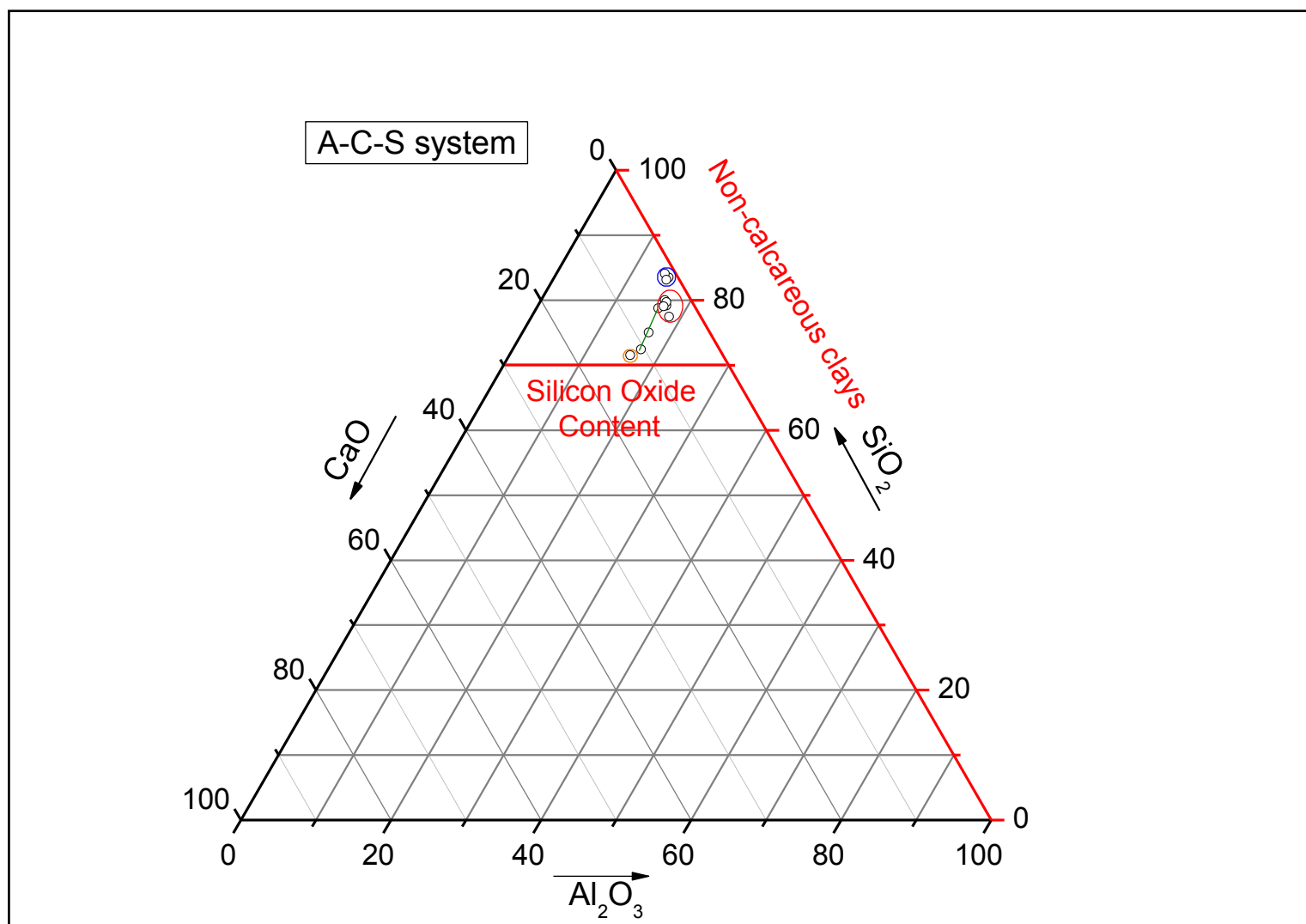
Όπως παρατηρείται από τη μελέτη των διαγραμμάτων είναι φανερό πως υπάρχει μια ομαδοποίηση των δειγμάτων οπτοπλίνθων. Την πρώτη ομάδα την αποτελούν τα δείγματα ΟΔ6κ, ΟΔ3β και ΟΔ12 (μπλε κύκλος). Την δεύτερη ομάδα, τα δείγματα ΟΔ6, ΟΔ12, ΟΔ7, ΟΔ8β και ΟΔ9 (κόκκινος κύκλος). Τα δείγματα ΟΔ14, ΟΔ15 και ΟΔ19 βρίσκονται σε μια συσχέτιση μεταξύ τους και συνδέονται στα διαγράμματα με τη χαρακτηριστική

πράσινη γραμμή ενώ το δείγμα ΟΔ11 διαφοροποιείται από όλα τα υπόλοιπα (πορτοκαλί κύκλος).

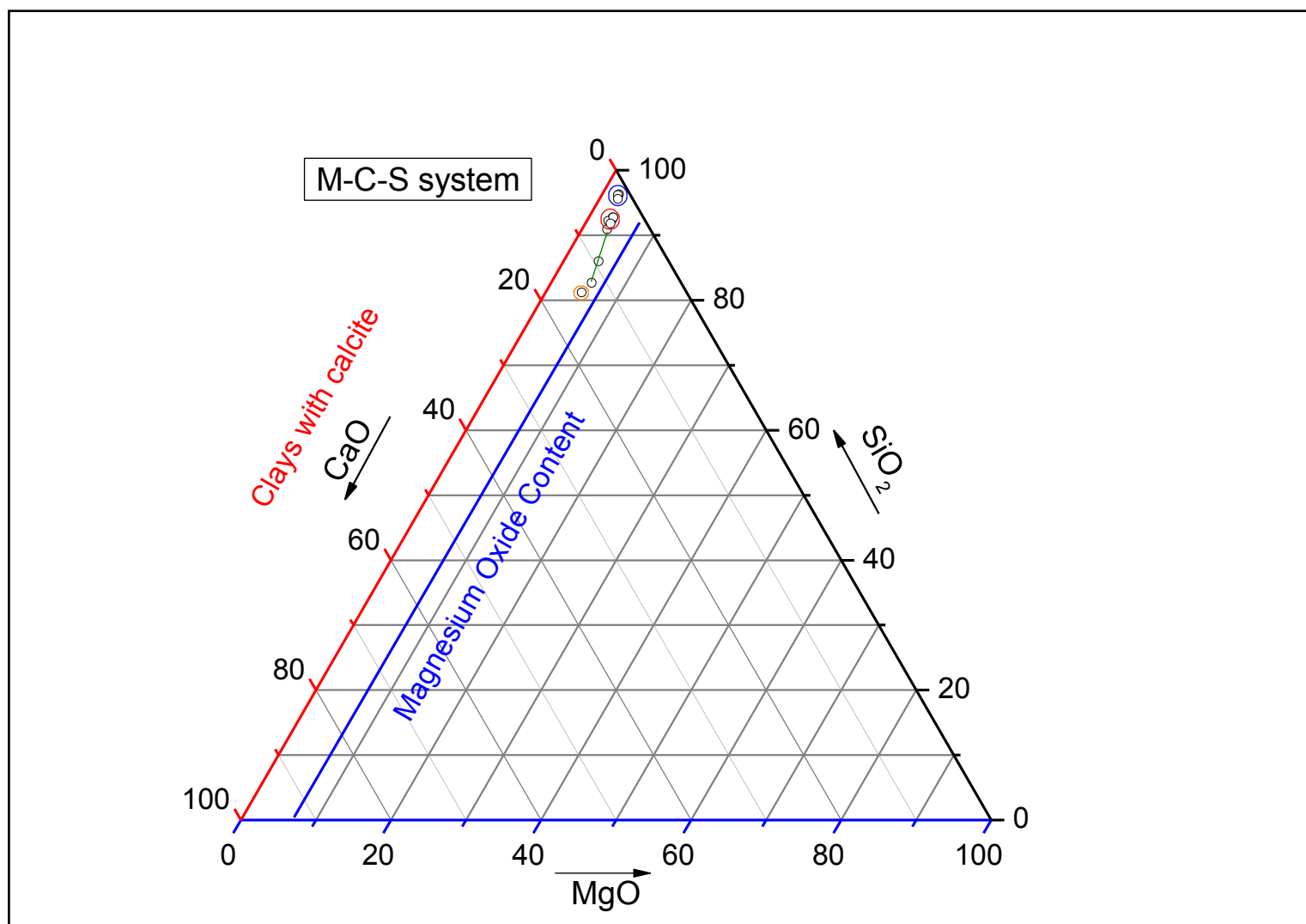
Τα δείγματα της 1^{ης} ομάδος βάση των τριγωνικών διαγραμμάτων αλλά και της χημικής σύστασης (βλ. Πίνακας 4.2) προέρχονται από αργιλικές πρώτες ύλες φτωχές σε περιεχόμενο ασβεστιτικής σύστασης. Το δείγμα ΟΔ11 προέρχεται από διαφορετική πρώτη ύλη γεγονός που επιβεβαιώνεται από τα μεγάλα ποσοστά οξειδίων του ασβεστίου στη σύστασή του το οποίο οφείλεται στην παρουσία πρωτογενούς ασβεστίτη.

Για τα υπόλοιπα δείγματα, δεν μπορούμε να βγάλουμε ασφαλές συμπέρασμα όσον αφορά τη σύσταση και κατ'επέκταση την προέλευση των αργιλικών πρώτων υλών μιας και περιέχουν και ποσοστά δευτερογενούς ασβεστίτη.

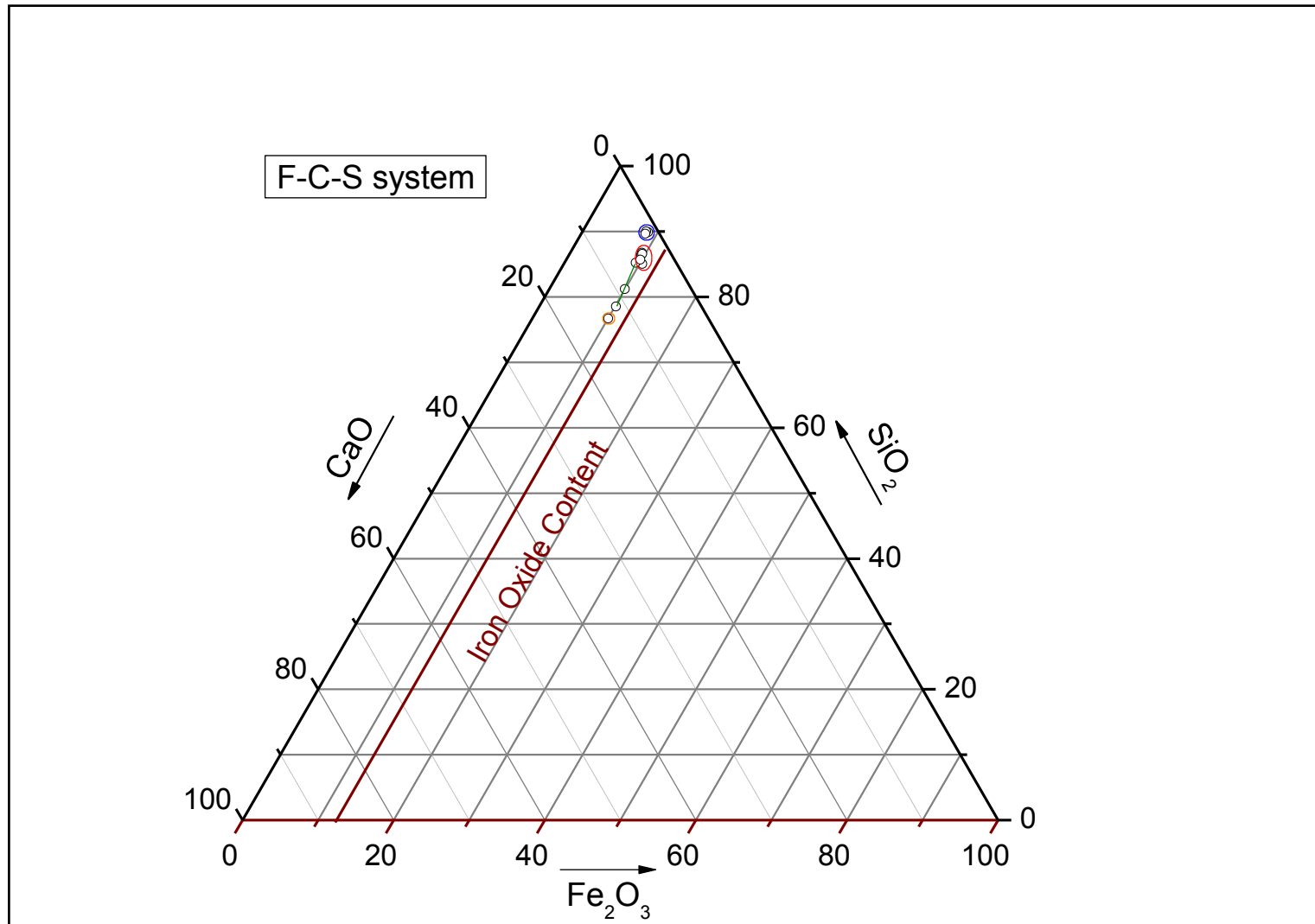
Η ομαδοποίηση που παρατηρείται στα τριγωνικά διαγράμματα έχει συσχέτιση με εκείνη που παρουσιάστηκε νωρίτερα στη παράγραφο της ορυκτολογικής ανάλυσης. Αναλυτικά, τα δείγματα που ανήκουν στον μπλε κύκλο (ΟΔ6κ,ΟΔ3β,ΟΔ20), ανήκουν και στο θερμοκρασιακό εύρος όπτησης των 900°C. Τα δείγματα που έχουν ομαδοποιηθεί στον κόκκινο κύκλο (ΟΔ6,ΟΔ12,ΟΔ7,ΟΔ8Β,ΟΔ9), προέρχονται από πρώτες ύλες οι οποίες σύμφωνα και με τα αποτελέσματα των ακτινογραφημάτων, έχουν ψηθεί σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 900°C. Τα δείγματα που ανήκουν στο πιθανό θερμοκρασιακό εύρος όπτησης των 800 έως 850°C έρχονται σε καλή συσχέτιση και στα τριγωνικά (πράσινη γραμμή). Τέλος, ξεχωρίζει το δείγμα ΟΔ11, στον πορτοκαλί κύκλο, που προέρχεται από θερμοκρασία όπτησης έως 750°C.



Εικόνα 4.20: Τριγωνικό διάγραμμα A-C-S.



Εικόνα 4.21: Τριγωνικό διάγραμμα M-C-S.



Εικόνα 4.22:Τριγωνικό διάγραμμα F-C-S.

⇒ **Αδιάλυτο υπόλειμμα**

Ο προσδιορισμός του αδιάλυτου υπολείμματος δίνει μια εκτίμηση για το περιεχόμενο των μη ανθρακικών ενώσεων στα δείγματα των οπτόπλινθων. Το οξικό οξύ διαλύει τον ασβεστίτη και δολομίτη, εκλύοντας διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Επομένως, όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό του υλικού που δεν διαλυτοποιήθηκε τόσο μικρότερο είναι το ποσοστό των ανθρακικών συστατικών που περιέχει κάποιο δείγμα. Η μελέτη αυτή πιστοποιεί και τα στοιχεία που προσδιορίστηκαν από την ορυκτολογική και χημική ανάλυση, κυρίως ως προς το περιεχόμενο των δειγμάτων σε CaCO_3 .

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα του πίνακα 4.3, τα δείγματα ΟΔ11, ΟΔ14 και ΟΔ19 περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες ανθρακικών, συγκριτικά με τους υπόλοιπους οπτόπλινθους, καθώς έχουν τα μικρότερα ποσοστά αδιάλυτου υπολείμματος.

Πίνακας 4.3. Αποτελέσματα από την εργαστηριακή ανάλυση προσδιορισμού αδιάλυτου υπολείμματος.

ΔΕΙΓΜΑ	ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (γρ.)	ΤΕΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ(γρ.)	ΑΔΙΑΛΥΤΟ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑ %
ΟΔ6Κ	1.01	0.97	95.54
ΟΔ3β	1.01	0.97	95.42
ΟΔ20	1.02	0.97	95.32
ΟΔ7	1.00	0.94	93.18
ΟΔ12	1.02	0.96	92.18
ΟΔ6	1.01	0.93	91.54
ΟΔ9	1.02	0.95	91.39
ΟΔ15	1.00	0.90	90.09
ΟΔ8Β	1.00	0.90	89.22
ΟΔ19	1.00	0.82	81.33
ΟΔ14	1.00	0.78	77.65
ΟΔ11	1.01	0.79	77.43

4.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα προσδιορισμού της υδατοαπορροφητικότητας των δειγμάτων, δηλαδή η % ποσοστιαία αύξηση του βάρους κάθε οπτόπλινθου λόγω της απορρόφησης του νερού (H₂O).

Η υδατοαπορροφητικότητα των οπτοπλίνθων μπορεί να συσχετιστεί με το πορώδες τους. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι το μεγάλο πορώδες δεν ταυτίζεται αναγκαστικά και με μεγάλα ποσοστά υδατοαπορροφητικότητας, λόγω του σχήματος και της κατανομής των πόρων που έχει η κύρια μάζα υλικών όπως οι οπτόπλινθοι (Cultrone, 2004).

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.4 η υδατοαπορροφητικότητα των δειγμάτων κυμαίνεται από 12.4% (δείγμα ΟΔ19) έως 23.3% (δείγμα ΟΔ9). Ενδιάμεσες τιμές (από 17,4 έως 19,8%) παρουσιάζουν τα δείγματα ΟΔ6Κ, ΟΔ3β και ΟΔ20 η έψηση των οποίων προσδιορίστηκε στο θερμοκρασιακό εύρος των 900°C.

Είναι χαρακτηριστικό, πως τα δείγματα ΟΔ20 και ΟΔ12 με παραπλήσιες τιμές υδατοαπορροφητικότητας 19,8 και 21%, αντίστοιχα, έχουν παραχθεί σε διαφορετικές συνθήκες έψησης και παράλληλα παρουσιάζουν διαφορετική μακροσκοπική εικόνα (βλ. στιλπνές τομές). Το ΟΔ20 εμφανίζει πληθώρα κενών/πόρων κατανεμημένων ανομοιόμορφα στη δομή του, ενώ το ΟΔ12 έχει ομοιογενή/συμπαγή δομή η οποία χαρακτηρίζεται από την απουσία κενών/πόρων. Γενικά, η κατηγοριοποίηση που έγινε στα δείγματα των οπτοπλίνθων βάση της θερμοκρασίας όψης τους ανταποκρίνεται και στις τιμές υδατοαπορροφητικότητάς τους, γεγονός που υποδηλώνει την άμεση επίδραση της θερμοκρασίας έψησης στη διαμόρφωση της δομής των οπτοπλίνθων.

Πίνακας 4.4 Αποτελέσματα υδατοαπορροφητικότητας.

ΔΕΙΓΜΑ	ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (γρ.)	ΤΕΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (γρ.)	(%)ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑΔοκιμ ή 24 ωρών
ΟΔ19	35.5	39.9	12.4
ΟΔ6	21.8	24.9	14.2
ΟΔ15	16.7	19.5	16.8
ΟΔ14	18.2	21.3	17.0
ΟΔ6Κ	6.9	8.1	17.4
ΟΔ3Β	7.6	9.0	18.4
ΟΔ20	12.5	14.9	19.8
ΟΔ12	16.2	19.6	21.0
ΟΔ11	9.4	11.4	21.3
ΟΔ8Β	14.1	17.3	22.7
ΟΔ7	4.4	5.4	22.7
ΟΔ9	24.5	30.2	23.3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Βάση του συνόλου των εργαστηριακών αναλύσεων και της επεξεργασίας που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, προκύπτουν οι παρακάτω συμπεράσματα και παρατηρήσεις που αφορούν στους οπτόπλινθους δόμησης του Μεσαιωνικού Κάστρου της Άρτας.

- ⇒ Η εξέταση των λεπτών τομών που πραγματοποιήθηκε στο πολωτικό μικροσκόπιο διερχομένου φωτός, φανέρωσε την ύπαρξη διαφορετικών υφών στη κύρια μάζα των δειγμάτων γεγονός που συνδέεται τόσο με τη σύσταση της πρώτης ύλης όσο και με τη θερμοκρασία όπτησης.
- ⇒ Η μελέτη της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD), η οποία βρίσκεται σε συμφωνία με τις παρατηρήσεις της μικροσκοπικής εξέτασης, επιβεβαίωσε την παρουσία διαφορετικών ορυκτών φάσεων που αντιστοιχούν σε θερμοκρασιακό εύρος από 750 έως 950°C.
- ⇒ Η χημική ανάλυση των δειγμάτων οπτοπλίνθων που μελετήθηκαν, βρίσκεται σε πολύ καλή συσχέτιση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων.
- ⇒ Παρατηρήθηκε ότι, στα δείγματα με τα χαμηλότερα ποσοστά υδατοαπορροφητικότητας παρουσιάζονται ορυκτές φάσεις υψηλών θερμοκρασιών.
- ⇒ Στα δείγματα οπτοπλίνθων που παρουσιάζουν καλύτερη ομοιογένεια της πρώτης ύλης και μεγαλύτερη θερμοκρασία έψησης αποδεικνύουν το γεγονός για πιο σύγχρονη και εξελιγμένη τεχνολογία παραγωγής.
- ⇒ Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης και την ομαδοποίηση των δειγμάτων προκύπτει ότι: οι οπτόπλινθοι του Νότιου τμήματος έχουν θερμοκρασία όπτησης που κυμαίνεται από 750 έως 850°C, οι οπτόπλινθοι του Νοτιοανατολικού τμήματος έχουν δημιουργηθεί σε θερμοκρασίες έως 900°C, ενώ αυτοί του Βόρειου τμήματος σε θερμοκρασίες από 900 έως 950°C, γεγονός που ενισχύει την άποψη ότι έχουν χρησιμοποιηθεί οπτόπλινθοι διαφορετικών θερμοκρασιών όπτησης και πιθανόν ανήκουν σε διαφορετικές χρονικές

περιόδους κατασκευής του Μεσαιωνικού Κάστρου της Άρτας καθώς και σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές.

Από την παρούσα διπλωματική εργασία προέκυψε ότι είναι απαραίτητο για εργασίες συντήρησης/αναστήλωσης μνημείων να αναλύονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των οπτοπλίνθων προκειμένου σε εργασίες συμπλήρωσης ανακατασκευής να χρησιμοποιούνται συμβατά με αυτά υλικά.

Επιπλέον προτείνεται ανάλυση περισσότερων δειγμάτων οπτοπλίνθων και κονιαμάτων από το Μεσαιωνικό Κάστρο της Άρτας και εφαρμογή πρόσθετων εργαστηριακών μεθόδων, όπως παρατήρηση στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, προκειμένου να εξαχθούν περισσότερα στοιχεία για την τεχνολογία παρασκευής των οπτοπλίνθων που υποβοηθά και την ιστορική διερεύνηση των κατασκευαστικών φάσεων του Κάστρου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αλεβίζος Γ. 2005, «Μελέτη ορυκτών πρώτων υλών και τεχνητών προϊόντων» Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Βαρδαβά Ε. Αικατερίνη, (2008), «Ανάλυση φασμάτων φθορισμού ακτίνων-Χ (XRF) περιβαλλοντικών δειγμάτων με το πρόγραμμα WinQXAS», διπλωματική εργασία, σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Αθήνα, 2008).

Γερογιάννης Γιώργος, (2003), «Μελέτη και αξιολόγηση πρώτων υλών και κονιαμάτων ως προς την καταλληλότητά τους για επεμβάσεις συντήρησης και αναστήλωσης» , Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων (Δεκέμβριος 2003-Χανιά).

Γιαννέλος Θ. Κώστας, (2001), «Τα Βυζαντινά μνημεία της Άρτας» (Άρτα, Νοέμβριος 2001).

Κασιμάλης Β., Τζιαβός Χρ., Λιβανός Ι., Αναγνώστου Χρ. «Η νέα εκβολή του Άραχθου ποταμού (ΒΔ Ελλάδα), παράγοντες που επηρεάζουν τη γεωμορφολογική εξέλιξη».

Κορδατζάκη Γ. 2007, Κεραμική από το Ιερό Κορυφής του Βρυσίνα, ένα σύνθετο τεχνοσύστημα παραγωγής και χρήσης την 2η χιλιετία π.Χ. , Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Κρήτης, τμήμα Ιστορίας και Αρχαιολογίας, Ρέθυμνο, 11-12, 47-49, 52-53, 70, 82-85, 155, 158-159, 161, 328-330 (γλωσσάρι 332-371).

Κωστάκης Γ. 2005, «Οπτική κρυσταλλογραφία», Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Μαμαλούκος Σταύρος, (2005), «Η οικοδομική τεχνολογία στο Βυζάντιο», Archeology and Arts, τεύχος 96, σελ. 8-17.

Μπαβελλάς Χρήστος- Μπουζούκου Μαριάννα (2005), «Συγκριτική μελέτη ενισχύσεων τοιχοποιίας με σύνθετα υλικά οργανικής & ανόργανης μήτρας», Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνειακή σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών (Ιούνιος 2005-Πάτρα).

Νικολάου Ευάγγελος, «Ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του υπόγειου υδατικού δυναμικού της Ηπείρου – διαχειριστικές προτάσεις», (Πρέβεζα, Ιούνιος 2005).

Πετράκη Χριστίνα & Τζιωρτζιώτη Αναστασία, «Συμβολή στη μελέτη της παλαιογεωγραφικής εξέλιξης ευρύτερης περιοχής της λιμνοθάλασσας Λογαρου στον Αμβρακικό κόλπο, Άρτα με εφαρμογή της γεωφυσικής μεθόδου παροδικού πεδίου(TEM)», Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Χανίων, (Χανιά, 2010).

Τριανταφύλλου Γ. 2011, «Αξιολόγηση νεογενών ασβεστολιθικών πετρωμάτων Κρήτης για τη διερεύνηση δυνατότητας παραγωγής φυσικών υδραυλικών κονιών», Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης.

ΞΕΝΗΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bhatnagar J.M, Goel R.K. 2002 «Thermal changes in clay products from alluvial deposits of the Indo-Gangetic plains», Constr. Build. Mater. 16 113–122.

Cultrone G., Rodriquez-Navarro C., Sebastian E., Cazalla O. and De la Torre M.J. 2001, «Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing». European Journal of Mineralogy, 13, 621-634.

De Benedetto, G.E., Laviano, R., Sabbatini, L., Zambonin, P.G., 2002. «Infrared spectroscopy in the mineralogical characterization of ancient pottery». Journal of Cultural Heritage 3, 177-186

Issi A. 2011 «Estimation of ancient firing technique by the characterization of semi-fused», Hellenistic potsherds from Harabebezikan/Turkey, *Ceramics International* 38 2375–2380

Jordan, M.M., Boix, a., Sanfeliu, T& de la Fuente C., "Firing transformation of cretaceous clays, used in the manufacturing of ceramic tiles". *Applied Clay Science*, Vol.14 (1999), pp. 225-234.

Manoharan C., Dhanapandian S. 2010 «Determination of baking temperature of ancient domestic pottery», 208-212

Nicol D. 1957, «The Despotate of Epiros», Oxford

Paola Cardiano, Salvatore Ioppolo, Concetta De Stefano, Antonello Pettignano, Sergio Sergi, Pasquale Piraino, 2004 "Study and characterization of the ancient bricks of monastery of"San Filippo di Fragala" in Frazzano (Sicily) "

Pavia, S., "The determination of brick provenance and technology using analytical techniques from the physical sciences".*Archaeometry* Vol.48 (2006), pp.201-218.

Riccardi, M.P., Messisa B., Duminuco P., (1999). "An approach to the dynamics of clay firing".*Applied clay Science*, Vol.15, pp.393-409.

Sukarova B.M., Issi Al, Raskova Al, Grupce O., Tavevska V., Yaygingöl M., Kara A. and Colomban Ph. 2011, «Characterization of pottery from Republic of Macedonia III. A study of comparative mineralogical detection efficiency using micro- Raman mapping and X-ray diffraction», 792-798

Trindade, M.J., et al, " Firing tests on clay-rich raw materials from the Aljavre basin (Southern Portugal): study of mineral transformations with temperature ". *Clays and clay minerals*, Vol.58, No.2, pp. 188-204.

ΙΣΤΙΟΣΕΛΙΔΕΣ

akek.gr

buildnet.gr

e-oikodomos.gr

Κεραμείο Κακογιάννης

Δημοσιεύσεις: Μέρος των αποτελεσμάτων της παρούσας διπλωματικής εργασίας, περιλαμβάνονται σε ανακοίνωση των Τριανταφύλλου Γ., Ρεπούσκου Ε., Λαμπροπούλου Ε., και Μαρκόπουλο Θ., στο Ευρωπαϊκό συνέδριο ορυκτολογίας EMC, που πραγματοποιήθηκε τον Σεπτέμβριο του 2012 στη Φρανκφούρτη.