**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

# *«Ανάλυση κονιαμάτων του Ι. Ν. Γενεσίου Θεοτόκου Κορωνησίας Ν. Άρτας με ορυκτολογικές και πετρογραφικές μεθόδους»*

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΑ Α. ΛΕΩΝΙΔΑΚΗ

**<u>Τριμελής εξεταστική επιτροπή</u>**

**Θεόδωρος Μαρκόπουλος,** Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης (Επιβλέπων)

**Γεώργιος Αλεβίζος**, Επίκουρος Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης

**Γεώργιος Τριανταφύλλου**, Δρ. Μηχανικός Ορυκτών Πόρων

Χανιά, Νοέμβριος 2012

*Αφιερώνεται στους γονείς μου*

*και στον αγαπημένο μου αδερφό*

# 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 «Εργαστηριακός προσδιορισμός των φυσικοχημικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των κονιαμάτων δόμησης και επιχρισμάτων για τη συντήρηση και αποκατάσταση του Ι. Ν. Γενεσίου Θεοτόκου Κορωνησίας Ν. Άρτας» και αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η εργαστηριακή ανάλυση κονιαμάτων του Ναού με ορυκτολογικές, πετρογραφικές κ.α. μεθόδους, ώστε να προταθούν συνθέσεις συμβατών επισκευαστικών κονιαμάτων για τη συντήρηση και αποκατάσταση του μνημείου.

Θα ήθελα να 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 για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή και για το χρόνο που διέθεσε στη διόρθωση αυτής της εργασίας. Ευχαριστώ θερμά τον Δρ. Γεώργιο Τριανταφύλλου, μέλος της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, για την υπομονή, τη συνεργασία, την πολύτιμη βοήθεια και την υποστήριξη που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Τάσο και Βαρβάρα και τον αδερφό μου Ηλία, για τη συνεχή ενθάρρυνση και υποστήριξη που μου προσέφεραν όλα τα χρόνια φοίτησής μου και χωρίς την οποία δεν θα είχα καταφέρει τίποτα. Ευχαριστώ την Ελένη και τη Γιούλη για τη φιλία τους και για όσα ακόμη μου έχουν προσφέρει. Πολλά ευχαριστώ στην Κατερίνα, την Άννα και το Νίκο για όλες τις όμορφες στιγμές. Ευχαριστώ τον Δημήτρη που ήταν πάντα εκεί να με στηρίζει. Τους ευχαριστώ όλους και τον κάθε ένα ξεχωριστά!

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια ερευνητικού έργου με στόχο τη συντήρηση και αποκατάσταση του Ι. Ν. Γενεσίου Θεοτόκου Κορωνησίας στην Άρτα, που αποτελεί σημαντικό μνημείο της βυζαντινής περιόδου. Πραγματοποιήθηκε εργαστηριακή ανάλυση δειγμάτων κονιαμάτων και επιχρισμάτων με ορυκτολογικές, πετρογραφικές κ.α., που ελήφθησαν από το οικοδομικό συγκρότημα της Ιεράς Μονής, στοχεύοντας στην πρόταση συνθέσεως επισκευαστικών κονιαμάτων, ώστε να συντηρηθεί και διασωθεί ένα πολύτιμο μνημείο της πολιτιστικής κληρονομιάς της Ηπείρου. Τα πειράματα και οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας.

Αρχικά, γίνεται μία εισαγωγή για τις αρχές αποκατάστασης με τη χρήση συμβατών κονιαμάτων 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 και ιστορικά στοιχεία) καθώς και στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του Ι. Ν. Γενεσίου Θεοτόκου Κορωνησίας (εσωτερική και εξωτερική περιγραφή, επεμβάσεις).

Επιπλέον, περιγράφονται οι εργαστηριακές δοκιμές και αναλύσεις εννέα (9) δειγμάτων κονιαμάτων – επιχρισμάτων από το μνημείο, που διενεργήθηκαν βάσει των ευρωπαϊκών προτύπων EN, και περιελάμβαναν:

- Μακροσκοπική και Μικροσκοπική εξέταση,
- Κοκκομετρική ανάλυση,
- Ορυκτολογική ανάλυση,
- Χημική ανάλυση,
- Μετρήσεις υδατοαπορροφητικότητας και
- Προσδιορισμό της χρωματικής απόχρωσης.

Τέλος, παρουσιάζεται η επεξεργασία των αποτελεσμάτων της παραπάνω σειράς μεθόδων καθώς και τα συμπεράσματα που διεξάχθηκαν, οδηγώντας και στις αντίστοιχες προτάσεις για παρασκευή συμβατών κονιαμάτων με σκοπό την αποκατάσταση και συντήρηση του Ναού.

Προτείνονται τρεις διαφορετικές συνθέσεις κονιαμάτων αποκατάστασης.

- Για την τοιχοποιία του καθολικού της Μονής ο λόγος συνδετικής κονίας – αδρανών προτείνεται να είναι 1:2, με μέγεθος κόκκου αδρανών < 4 mm. Η κονία θα αποτελείται από 0.9 μέρη NHL 3.5 και 0.1 μέρη φυσικής ποζολάνης.
- Για την τρούλο του καθολικού της Μονής ο λόγος συνδετικής κονίας – αδρανών προτείνεται να είναι 1:2, με μέγεθος κόκκου αδρανών < 1 mm. Η κονία θα αποτελείται από 0.9 μέρη NHL 3.5 και 0.1 μέρη φυσικής ποζολάνης.
- Για το κωδωνοστάσιο του καθολικού της Μονής ο λόγος συνδετικής κονίας – αδρανών προτείνεται να είναι 1:2, με μέγεθος κόκκου αδρανών < 2 mm. Η κονία θα αποτελείται από 0.8 μέρη NHL 3.5 και 0.2 μέρη φυσικής ποζολάνης.

# Περιεχόμενα

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι εκκλησίες αποτελούν μαζί με τα διάφορα οχυρωματικά έργα τον κύριο όγκο κτηρίων της βυζαντινής εποχής που σώζονται, ενώ άλλες κατηγορίες κτηρίων, όπως τα σπίτια και τα μοναστηριακά κτίσματα έχουν σε τεράστιο ποσοστό εξαφανισθεί.

Η διατήρηση μεγάλου αριθμού εκκλησιών οφείλεται αφενός στο ότι αυτές ήταν γενικά κτήρια υψηλών προθέσεων και αφετέρου στο ότι δεν έχασαν τη χρηστική τους αξία, αλλά, ως χριστιανικοί ναοί ή ως ισλαμικά τεμένη, παρέμειναν σε συνεχή χρήση ως τις μέρες μας.

Η μελέτη των βυζαντινών μνημείων συναντά σημαντικές δυσκολίες, όπως η έλλειψη στοιχείων για την ιστορία τους, οι αλλοιώσεις που αυτά έχουν υποστεί από μεταγενέστερες επεμβάσεις, αλλά ακόμη και η απουσία επαρκούς αριθμού ειδικών μελετών.

Πολλά είναι τα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο μελετητής της βυζαντινής αρχιτεκτονικής στην προσπάθειά του να ταξινομήσει και να μελετήσει το υλικό του. Ένα από τα σοβαρότερα είναι η δυσκολία να αναγνωρίσει μία σαφή εξελικτική διαδικασία, ανάλογη με αυτήν που αναγνωρίζεται στη αρχιτεκτονική άλλων περιόδων, όπως λ.χ. της ελληνικής και ρωμαϊκής αρχαιότητας. Αυτό οφείλεται αφενός στον συντηρητικό χαρακτήρα της βυζαντινής τέχνης και αφετέρου στο γεγονός ότι κτίζονταν ταυτόχρονα κτήρια υψηλών προθέσεων και εξαιρετικά ταπεινά κτίσματα, ο συσχετισμός των οποίων είναι συχνά αδύνατος (Μαμαλούκος, 1992).

## 1.1 ΑΙΤΙΑ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ ΜΝΗΜΕΙΩΝ

Για να προβούμε σε αποτελεσματική αποκατάσταση των βλαβών που εμφανίζουν τα κτήρια, θα πρέπει να είναι γνωστό το αίτιο που τις προκάλεσε. Στην περίπτωση που συνυπάρχουν περισσότερα του ενός αίτια στην παθολογία της κατασκευής, τότε το πρόβλημα μεγεθύνεται και γίνεται πιο σύνθετο.

Οι αιτίες που επιφέρουν την αλλοίωση ή την καταστροφή των παλιών κονιαμάτων έχουν ως αποτέλεσμα τη διάλυση της συνδετικής ύλης, γεγονός που προκαλεί αύξηση του πορώδους και κατά συνέπεια την πτώση της μηχανικής αντοχής. Προκαλείται δηλαδή ο μετασχηματισμός των τεμαχιδίων του υλικού σε νέες υδατοδιαλυτές χημικές ενώσεις, τη δημιουργία εξανθημάτων ή την καταστροφή του ιστού του κονιάματος από βλαβερά συστατικά (Θεοδωρίδης, 2006).

Οι σημαντικότερες αιτίες οι οποίες επιφέρουν την αλλοίωση ή καταστροφή των κονιαμάτων είναι (Μανίτα & Πανταζόπουλος, 2000):

- Η πτώση της μηχανικής αντοχής του κονιάματος λόγω γήρανσης του υλικού.
- Η ενανθράκωση που προκαλεί αύξηση στο πορώδες του κονιάματος με αποτέλεσμα την αύξηση του ερπυσμού και της ταχύτητας ανάπτυξής του.
- Το περιεχόμενο ποσοστό υγρασίας που αποτελεί σημαντική παράμετρο της ανθεκτικότητας του κονιάματος, επειδή οι περισσότεροι μηχανισμοί φθοράς για να πραγματοποιηθούν χρειάζονται νερό.
- Ο συνδυασμός μικρού πορώδους, υγρασίας και παρουσίας διαλυτών αλάτων έχει ως αποτέλεσμα τη δυσχέρεια της ελεύθερης εξάτμισης του νερού, την απόθεση και κρυστάλλωση των αλάτων στα τοιχώματα των πόρων των λίθων δομής και τη δημιουργία κρυσταλλικών πιέσεων.
- Η συνεχής ροή του νερού η οποία προκαλεί επίσης σημαντική φθορά των υλικών.

- Οι ακραίες μεταβολές των τιμών της θερμοκρασίας προκαλούν διαδοχικούς κύκλους ψύξης – απόψυξης του υλικού με αποτέλεσμα την απώλεια βάρους λόγω απότριψης και μείωσης της μηχανικής αντοχής.

- Επιπλέον, η πτώση της θερμοκρασίας οδηγεί σε πήξη του νερού που βρίσκεται στους τριχοειδείς πόρους, με αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου του. Αυτή η αύξηση του όγκου του νερού προκαλεί την άσκηση ισχυρών υδραυλικών πιέσεων στα τοιχώματα των πόρων και την πιθανή τοπική θραύση του ιστού του κονιάματος.

- Οι βιολογικές επιδράσεις που προέρχονται από την δράση των φυτών προκαλούν φθορά στα παλιά κονιάματα. Οι ρίζες των φυτών διεισδύουν στις μικρορωγμές του κονιάματος και ασκούν πιέσεις με αποτέλεσμα την αύξηση της υπάρχουσας ρηγμάτωσης. Επιπλέον, η σήψη τους δίνει χουμικό οξύ το οποίο προκαλεί διάβρωση.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειώσουμε πως σε περιβάλλοντα με έντονη υγρασία, όπως και η θέση που βρίσκεται το προς μελέτη μνημείο, ο παράγοντας της υγρασίας έχει επιδράσει σημαντικά, αποδυναμώνοντας σταδιακά τα δομικά στοιχεία του Ι.Ν., προξενώντας σήψη, παραμορφώσεις, φουσκώματα και αποδυνάμωση της τοιχοποιίας μέσω της απομάκρυνσης του κονιάματος και διάβρωση.

Οι λίθοι που χρησιμοποιούνται στην οικοδομική ποικίλουν ως προς την γεωλογική προέλευση, τη σύσταση, τις φυσικές ιδιότητες, και τη μηχανική αντοχή. Τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, ο τρόπος επεξεργασίας και χρήσης τους και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους (είδος πετρώματος, ορυκτολογική σύσταση, ιστός, υφή) καθορίζουν την ανθεκτικότητα των δομικών λίθων. Οι παράγοντες που συντελούν στη φθορά των δομικών λίθων των κτιρίων μπορούν να διακριθούν σε φυσικούς, χημικούς βιολογικούς κλιματολογικούς παράγοντες και γεωλογικούς (Χριστοδούλου & Αποστολοπούλου, 2010) :

- Η μεταβολή της θερμοκρασίας η οποία προκαλεί τη χαλάρωση της σύνδεσης των υλικών και τη δημιουργία ρηγματώσεων.

- Το νερό ελέγχει την ενυδάτωση, μεταφορά, κρυστάλλωση και ανακρυστάλλωση των αλάτων τα οποία μπορεί να προκαλέσουν τη δημιουργία στεγανών στρωμάτων στην επιφάνεια με δυσμενή αποτελέσματα.
- Η συνεχής έκθεση των δομικών λίθων στον άνεμο και στην αμμοβολή φθείρει τις επιφάνειές τους.
- Οι μικροοργανισμοί, τα φυτά και τα ζώα είναι δυνατόν να προκαλέσουν εκτεταμένες ζημιές είτε με την έκκριση ποσοτήτων οργανικών οξέων είτε με την κατακράτηση νερού είτε με τις μηχανικές τάσεις που δύναται να ασκήσουν.
- Οι βλάβες που προέρχονται είτε από σεισμούς, είτε από καθιζήσεις ή δονήσεις του εδάφους μπορεί να είναι καταστρεπτικές για την ευστάθεια του ιστορικού κτιρίου.

## 1.2 ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Στοχεύοντας στο σχεδιασμό νέων κονιαμάτων που θα χρησιμοποιηθούν σε εργασίες συντήρησης-αποκατάστασης ο όρος της συμβατότητας περικλείει πρακτικές που σχετίζονται με τις φυσικοχημικές και μηχανικές ιδιότητες, την αλληλεπίδραση των κονιαμάτων με την τοιχοποιία-λιθοδομή, την προστασία των προϋπαρχόντων υλικών δόμησης και την προφύλαξή τους από μηχανισμούς διάβρωσης. Σε κάθε περίπτωση, το τελικό προϊόν πρέπει να είναι ανθεκτικό και εύκολο στη χρήση. Οι κύριες κατευθυντήριες γραμμές στο σχεδιασμό επισκευαστικών κονιαμάτων εισηγούνται την εφαρμογή ανθεκτικών κονιαμάτων για την αντικατάσταση των προϋπαρχόντων, καθώς και τη χρήση πρώτων υλών παρόμοιας χημικής σύστασης (Moropoulou, 2000).

Επιπρόσθετα, η εφαρμογή κατάλληλων υδραυλικών ενεμάτων αποτελεί πλέον συνήθη πρακτική για την επισκευή και ενίσχυση ρηγματωμένων και αποδιοργανωμένων αρχιτεκτονικών μελών ή κατασκευών από παλιές λιθοδομές, ιδιαίτερα σε σεισμογενείς περιοχές. Πρόκειται για μέθοδο η οποία είναι τεχνικά αποτελεσματική και ταυτόχρονα ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα, καθώς διαθέτει το μεγάλο πλεονέκτημα να μπορεί (σε συνδυασμό με κατάλληλα αρμολογήματα και σφραγίσεις) να εξασφαλίζει εκ νέου τη συνέχεια, συνοχή και αντοχή των αρχιτεκτονικών μελών, χωρίς αλλοίωση της εξωτερικής μορφής και γεωμετρίας τους και χωρίς αλλαγή του φέροντος συστήματός τους. Τα ενέματα με βάση την υδραυλική άσβεστο (σε συνδυασμό με ή χωρίς ποζολανικά υλικά) αποτελούν μια εναλλακτική λύση έναντι των σύνθετων ενεμάτων με βάση το τσιμέντο διότι οι υδραυλικές άσβεστοι είναι υλικά που ομοιάζουν περισσότερο με αυτά που απαντώνται σε μια ιστορική κατασκευή, ενώ παράλληλα μπορούν να αναπτύξουν ικανοποιητικές πρώιμες αντοχές. Επιπλέον, το ενδιαφέρον για τις φυσικές υδραυλικές κονίες οφείλει την εμφάνισή του στις προσδοκίες των επιστημόνων για εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας από την παραγωγή τους και στην αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των πρώτων υλών των κονιαμάτων (Triantafyllou et al., 2004).

Αντίθετα, τα κονιάματα αποκατάστασης με χρήση τσιμέντου είναι συνήθως υψηλής σκληρότητας, εύθρυπτα και αδιαπέρατα στους υδρατμούς. Κατά τη χρήση τους ως κονιάματα αποκατάστασης σε ιστορικές τοιχοποιίες, προκαλούν περαιτέρω φθορά σε αυτές. Ο κύριος παράγοντας της ασυμβατότητας οφείλεται στην διαφορετική μικροδομή, που οδηγεί σε διαφορετικά φυσικό-μηχανικά και φυσικό- χημικά χαρακτηριστικά μεταξύ των τσιμεντοκονιαμάτων και των παραδοσιακών δομικών υλικών που είναι συνήθως πλίνθοι και λίθοι (Vintzileou et al., 2008 ; Moropoulou A, 2000).

Ειδικά σε εργασίες συντήρησης - αναστήλωσης ιστορικών μνημείων δίδεται μεγάλη έμφαση στη χρησιμοποίηση συμβατών υλικών συντήρησης, ως προς τα αρχικά υλικά των κατασκευών. Για να γίνει η επιλογή των κονιαμάτων και γενικά των πρώτων υλών που θα χρησιμοποιηθούν στη συντήρηση του μνημείου, πρέπει αρχικά να έχουν γίνει μετρήσεις που αφορούν στην ηλικία του μνημείου, στη ρύπανση, στις κλιματολογικές συνθήκες και στους λοιπούς παράγοντες φθοράς. Τα συνδετικά υλικά που αναζητούνται πρέπει να εκπληρώνουν τα ίδια κριτήρια λειτουργικότητας και συμπεριφοράς όπως οι αρχικές συνδετικές κονίες (Edison, 2006 ; Σκουλικίδης, 2000).

Θα πρέπει λοιπόν να τονιστεί ότι τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την προστασία της επιφάνειας των μνημείων δεν πρέπει να έχουν παρενέργειες στα δομικά υλικά του.

Οι μέθοδοι συντήρησης και τα υλικά που επιλέγονται θα πρέπει να τηρούν τους ακόλουθους όρους (Σκουλικίδης, 2000):

- Τα υλικά να είναι αντιστρεπτά, δηλαδή να μπορούν να αφαιρεθούν όποτε εμφανιστεί κάποια παρενέργεια.
- Τα υλικά δεν πρέπει να μεταβάλλουν αισθητά την εμφάνιση, το χρώμα ή την αρχαιολογική αξία του αντικειμένου στο οποίο έγινε επέμβαση (συμβατότητα προτεινόμενων και υφιστάμενων υλικών).
- Το υλικό πρέπει να έχει μεγάλη διάρκεια ζωής, δηλαδή δεν θα πρέπει το ίδιο να διαβρώνεται γρήγορα από το περιβάλλον, να αλλάζει χρώμα από την υπεριώδη ακτινοβολία, να ρηγματώνεται ή να χάνει τη συνάφειά του με τα γειτονικά νέα ή παλιά υλικά.
- Οικονομικό κόστος επέμβασης και συντήρησης.

Μετά τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των παλιών κονιαμάτων αναζητούνται οι ιδιότητες των κονιαμάτων αποκατάστασης. Η ικανοποιητική επιλογή των επισκευαστικών κονιαμάτων είναι καθοριστικής σημασίας για την επιτυχή έκβαση της διαδικασίας αποκατάστασης. Τα χαρακτηριστικά του κονιάματος αποκατάστασης πρέπει να είναι (Θεοδωρίδης, 2006):

1. Εύκολη εργασιμότητα.
2. Σύντομη και αξιόπιστη πήξη τόσο σε υγρό όσο και σε ξηρό περιβάλλον.
3. Χαμηλή ξήρανση κατά τη διάρκεια της πήξης.
4. Μηχανικά και θερμικά χαρακτηριστικά και πορώδες παρόμοια των αντίστοιχων των στοιχείων της τοιχοποιίας.
5. Μειωμένη περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

## 2.1 ΣΥΝΔΕΤΙΚΕΣ ΥΛΕΣ - ΚΟΝΙΕΣ

Συνδετική ύλη ή κονία καλείται κάθε κονιοποιημένο υλικό που με κατάλληλη προεργασία μπορεί να γίνει πλαστικό, να παρουσιάσει συγκολλητικές ιδιότητες και να στερεοποιηθεί βαθμιαία, ώσπου να σχηματιστεί μια σκληρή και συμπαγή μάζα. Το υλικό αυτό στερεοποιείται βαθμιαία, ώσπου να σχηματισθεί σκληρή και συμπαγής μάζα, δηλαδή μετά από ορισμένο χρόνο πήγνυται και σκληρύνεται (Βιάζης, 2003).

Οι περισσότερες κονίες εμφανίζουν συγκολλητικές ιδιότητες και γίνονται πλαστικές όταν αναμιχτούν με νερό. Στερεοποιούνται είτε επειδή εξατμίζεται το νερό (π.χ. πηλοκονία), είτε επειδή προκαλούνται χημικές αντιδράσεις (π.χ. τσιμέντο, ασβεστίτης) (Γερογιάννης,2003).

Πήξη είναι το φαινόμενο, το οποίο λαμβάνει χώρα από τη στιγμή που ο πολτός, που προκύπτει από την ανάμιξη της κονίας με το νερό, χάνει την πλαστικότητά του μέχρι τη στιγμή που αποκτά κάποια συνεκτικότητα και στερεότητα. Σκλήρυνση είναι το φαινόμενο, το οποίο έπεται της πήξης, οπότε ο πολτός μεταβάλλεται σε λίθωμα και αποκτά την τελική αντοχή του (Κορωναίος & Πουλάκος, 2006).

## 2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΟΝΙΩΝ

Οι κονίες διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με την προέλευσή τους, τον τρόπο πήξης και στερεοποίησής τους (Λεγάκις,1954).

### 2.2.1 Κατηγορίες κονιών ανάλογα με την προέλευσή τους

Ανάλογα με την προέλευσή τους οι κονίες διακρίνονται σε:

- Φυσικές κονίες, βρίσκονται ελεύθερες στη φύση και μπορούν να χρησιμοποιηθούν αμέσως, χωρίς οποιαδήποτε κατεργασία. Παραδείγματα τέτοιων κονιών είναι η ποζολάνη, η πηλοκονία κ.ά. Το ΠΔ 244/1980, ορίζει ως **ποζολάνες** όλα τα φυσικά η τεχνητά πυριτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά, η χαρακτηριστική ιδιότητα των οποίων είναι ότι σε λεπτότατο καταμερισμό και με παρουσία υγρασίας, ενώνονται χημικά με την υδράσβεστο και σχηματίζουν υδραυλικές ενώσεις.
- Τεχνητές κονίες, για την παρασκευή τέτοιων κονιών είναι απαραίτητη η επέμβαση του ανθρώπου, ο οποίος με κατάλληλες χημικές η φυσικές μεθόδους τις απομονώνει από άλλα υλικά ή τις παρασκευάζει συνθετικά. Παραδείγματα τέτοιων κονιών είναι ο ασβέστης, το τσιμέντο, διάφορα ασφαλτικά υλικά κ.ά.

### 2.2.2 Κατηγορίες κονιών ανάλογα με τον τρόπο στερεοποίησής τους

Ανάλογα με τον τρόπο στερεοποίησής τους οι κονίες διακρίνονται σε:

- Αερικές κονίες, στερεοποιούνται μόνο όταν έρθουν σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα και αυτό πραγματοποιείται με τη βοήθεια του διοξειδίου του άνθρακα ($CO_2$) της ατμόσφαιρας. Δεν αντέχουν σε υγρό περιβάλλον ακόμη και αν έχουν ήδη σκληρυνθεί. Στις αερικές κονίες ανήκουν η γύψος, η αερική άσβεστος κ.α.
- Υδραυλικές κονίες, στερεοποιούνται με την παρουσία νερού. Η ιδιότητα αυτή, δηλαδή να στερεοποιούνται μέσα στο νερό, καλείται υδραυλικότητα και οφείλεται στην ειδική χημική τους σύσταση, δηλαδή στο σχηματισμό σταθερών ένυδρων ενώσεων με την επίδραση του νερού, που είναι ελάχιστα υδατοδιαλυτές και έχουν

μεγάλη συνάφεια μεταξύ τους αλλά και με τα αδρανή σε ένα κονίαμα ή σε ένα σκυρόδεμα. Οι υδραυλικές κονίες μετά την ανάμειξή τους με νερό, δηλαδή με τον σχηματισμό πολτού, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως αερικές. Μπορούν δηλαδή να σκληρύνουν και στον ατμοσφαιρικό αέρα. Στις υδραυλικές κονίες ανήκουν η υδραυλική άσβεστος, το τσιμέντο, η τεχνητή κονία Portland, η τραχεία γύψος κ.α.

Αντίθετα με την υδραυλικότητα, η ενεργότητα-δραστικότητα μιας δομικής ασβέστου αποτελεί το χημικό όρο που περιγράφει την ικανότητα της ασβέστου (αερική φάση) να συνδυάζεται γρήγορα με άλλες ενώσεις σε χημικές αντιδράσεις. Αυτή η ικανότητα αναγνωρίζεται εύκολα κατά την έντονη χημική αντίδρασή της με το νερό (ενυδάτωση), αλλά και κατά την ήπια αντίδραση με το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας (ενανθράκωση) (Ζαχαροπούλου, 2004).

## 2.3 ΑΕΡΙΚΕΣ ΚΟΝΙΕΣ-ΑΣΒΕΣΤΟΣ

Η άσβεστος αποτελεί μία από τις σημαντικότερες αερικές κονίες και βρίσκει τεράστιο πλήθος εφαρμογών με άριστα αποτελέσματα. Ο όρος άσβεστος αποτελεί συμβατική ονομασία των προϊόντων της πύρωσης και της μετέπειτα κατεργασίας των ασβεστολίθων. Περιλαμβάνει όλες τις φυσικές και χημικές μορφές των διαφόρων ποιοτήτων με τις οποίες το οξείδιο ($CaO$) ή/και το υδροξείδιο του ασβεστίου {$Ca(OH)_2$} και του μαγνησίου {$Mg(OH)_2$} μπορούν να εμφανιστούν.

Όταν ανθρακικά πετρώματα, όπως οι κοινοί ασβεστόλιθοι, οι δολομίτες, τα μάρμαρα και γενικά όλα τα πετρώματα με υψηλή περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο (συνήθως πάνω από 97%) πυρωθούν σε θερμοκρασίες από 800 $^oC$ – 1100 $^oC$, το ανθρακικό ασβέστιο ($CaCO_3$) που περιέχουν διασπάται σε οξείδιο του ασβεστίου ή ενεργό ασβέστιο (σε στερεή μορφή) και σε διοξείδιο του άνθρακα(σε αέρια μορφή). Η διεργασία αυτή είναι γνωστή ως «ασβεστοποίηση», πραγματοποιείται σε ειδικά καμίνια που ονομάζονται ασβεστοκάμινοι και η αντίστοιχη αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι η παρακάτω (Τριανταφύλλου-Μανούτσογλου, 2004) :

$$CaCO_3\ (100) \xrightarrow{800\ ^\circ C - 1100\ ^\circ C} CaO(56) + CO_2\ (44)\uparrow \qquad (2.1)$$

Από την παραπάνω αντίδραση προκύπτει πως από 100 kg ασβεστόλιθου παίρνουμε 56kg άσβεστο.

Εάν στη συνέχεια, η άσβεστος αναμιχθεί με νερό, απελευθερώνεται θερμότητα και προκύπτει η υδράσβεστος [$Ca(OH)_2$]. Η ενυδάτωση της ασβέστου είναι μία αμφίδρομη χημική αντίδραση και περιγράφεται από την παρακάτω χημική εξίσωση:

$$CaO + H_2O \leftrightarrow Ca(OH)_2 + \text{θερμότητα}\uparrow \qquad (2.2)$$

### 2.3.1 Άσβηστοι άσβεστοι

Ανήκουν στις αερικές άσβεστους και παράγονται κατά την ασβεστοποίηση των ασβεστόλιθων. Συνίστανται κυρίως από οξείδια του ασβεστίου, καθώς μπορεί να υπάρχουν και προσμίξεις όπως οξείδια του μαγνησίου, του πυριτίου, του σιδήρου κλπ. Βάσει αυτών των προσμίξεων διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες (Γερογιάννης,2003) :

- Ασβέστιο ή ασβεστιτική άσβεστος: το ενεργό οξείδιο του ασβεστίου συναντάται σε ποσοστό μεγαλύτερο από 85%.
- Μαγνησιακός ασβέστης: το ποσοστό του οξειδίου του ασβεστίου και του μαγνησίου αντιστοιχεί σε 80-90% με το ποσοστό του οξειδίου του μαγνησίου να μην ξεπερνά το 10-20%.
- Δολομιτικός ασβέστης: το ποσοστό του οξειδίου του μαγνησίου είναι μεγαλύτερο από 20%.
- Υδραυλικός ασβέστης: οι αργιλικές προσμίξεις αντιστοιχούν στο 10-20% της σύστασης του ασβεστόλιθου που έχει χρησιμοποιηθεί. Η διαφορά του υδραυλικού ασβέστη από τις παραπάνω κατηγορίες έγκειται στην ιδιότητά του να στερεοποιείται και μέσα στο νερό.

Οι άσβηστοι άσβεστοι παρουσιάζουν εξώθερμη αντίδραση όταν έρχονται σε επαφή με το νερό. Ανάλογα με το μέγεθος τους χαρακτηρίζονται ως λιθώδεις, κοκκώδεις, αλεσμένες και πολύ αλεσμένες. Οι αερικές άσβεστοι δεν πήζουν κάτω στο νερό καθόσον δεν έχουν υδραυλικές ιδιότητες (Τριανταφύλλου, 2011).

### 2.3.2 Σβησμένες άσβεστοι

Είναι αερικές άσβεστοι που συνίστανται κυρίως από υδροξείδιο του ασβεστίου και προέρχονται από ελεγχόμενο σβήσιμο (προσθήκη νερού) των άσβηστων ασβέστων.

«Η παραγωγή υδρασβέστου περιλαμβάνει τρία κυρίως στάδια: εξόρυξη ασβεστολίθων (extraction), έψηση (calcination) και σβήση (slaking). Η έψηση είναι η διαδικασία θέρμανσης των ασβεστολίθων για τη μετατροπή του ανθρακικού ασβεστίου σε ασβέστη. Αυτό γίνεται σε κλίβανο(ασβεστοκάμινο) με θερμοκρασία της τάξης των 1000-1100°C. Ακολουθεί η σβέση του ασβέστη. Προϊόν της διαδικασίας αυτής είναι η υδράσβεστος είτε σε μορφή σκόνης, είτε υπό τη μορφή πολτού» (Μοροπούλου, Κορωναίος κ.α., 2008).

Παρατηρούνται λοιπόν τα ακόλουθα (Γερογιάννης, 2003) :

- Τα τεμάχια του ασβέστη διογκώνονται δύο ή και τρεις φορές ακόμα σε σχέση με τον αρχικό τους όγκο, στη συνέχεια σπάνε και τελικά μετατρέπονται σε σκόνη (Λεγάκις,1954).
- Κατά το σβήσιμο ελκύεται υψηλή θερμότητα και δημιουργούνται ατμοί. Η θερμοκρασία φθάνει τους 200 $^{o}$C, δηλαδή πολύ μεγαλύτερη από το σημείο βρασμού του νερού. Έτσι, το νερό που περισσεύει βράζει και εξατμίζεται. Παράγεται με αυτόν τον τρόπο το νέο υλικό, δηλαδή η υδράσβεστος (υδροξείδιο του ασβεστίου), που έχει τελείως διαφορετικά χαρακτηριστικά από το αρχικό οξείδιο του ασβεστίου.

Η υδράσβεστος χρησιμοποιείται εν γένει στα κονιάματα λόγω της υψηλής πλασιμότητας και εργασιμότητας που προσδίδει σε αυτά (Μοροπούλου, Κορωναίος κ.α., 2008). Οι ιδιότητες αυτές οφείλονται στις ενώσεις των οξειδίων του αργιλίου, του πυριτίου και του σιδήρου με την άσβεστο, που σχηματίζονται κατά την πύρωση και αποτελούν τους υδραυλικούς παράγοντες της κονίας.

Ανάλογα με τις συνθήκες σβέσης, η άσβεστος αποκτά κρυσταλλοειδή ή κολλοειδή χαρακτήρα. Η κολλοειδής άσβεστος, που έχει και μεγαλύτερη αξία, προκύπτει όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία σβέσης (Βιάζης, 2003).

Η υδράσβεστος, ανάλογα με την περιεκτικότητά της σε υδροξείδιο του ασβεστίου κολλοειδούς μορφής, διακρίνεται σε παχιά και ισχνή (Λεγάκις, 1954) :

- Η παχιά υδράσβεστος προκύπτει από ασβεστιτικό ασβέστη, πλούσιο σε οξείδιο του ασβεστίου, μετά από προσεκτικό σβήσιμό του. Ο όγκος της είναι συνήθως υπερδιπλάσιος από τον όγκο της καμένου ασβέστου. Ο πολτός αυτού του είδους είναι πολύ πλαστικός και λιπαρός, δεν περιέχει στερεούς κόκκους και μπορεί να αναμιχθεί με μεγάλη ποσότητα άμμου για την παρασκευή ασβεστοκονιάματος.
- Η ισχνή ή αδύνατη υδράσβεστος προέρχεται από δολομιτικό ασβέστη ή από κακό σβήσιμο ασβεστιτικού ασβέστη. Ο όγκος της είναι μικρότερος από το διπλάσιο όγκο του ασβέστη από τον οποίο προήλθε. Είναι λιγότερο πλαστική σε σχέση με την παχιά υδράσβεστο και για την παρασκευή ασβεστοκονιάματος απαιτείται μεγάλη ποσότητα αυτού του τύπου υδρασβέστου.

Παράγονται ως **ξηρά σκόνη** (σκόνη υδρασβέστου ή υδράσβεστος) και στην Ελλάδα κυρίως ως **πολτός** και δεν εμφανίζουν εξώθερμη αντίδραση σε επαφή με το νερό. Με τις μορφές αυτές συμμετέχουν στα κονιάματα. Σε αυτές υπάγονται και οι δολομιτικές υδράσβεστοι οι οποίες είναι σβησμένες άσβεστοι που συνίστανται κυρίως από υδροξείδιο του ασβεστίου και του μαγνησίου καθώς και οξείδιο του μαγνησίου. Ειδική περίπτωση αποτελεί το γαλάκτωμα ή γάλα ασβέστου, που είναι το προϊόν το οποίο προκύπτει όταν αραιωθεί με νερό, αρίστης ποιότητας πολτός ασβέστου. Το αιώρημα αυτό συνήθως περιέχει έως και 40% κ.β. στερεά (Τριανταφύλλου, 2011).

#### *2.3.2.1 Η υδράσβεστος σε σκόνη*

Προκύπτει με ελεγχόμενη προσθήκη νερού στο οξείδιο του ασβεστίου. Καθώς η αντίδραση είναι εξώθερμη και γίνεται με ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας, ένα μέρος του προσφερόμενου νερού εξατμίζεται. Γι' αυτό στη βιομηχανική πράξη η σβέση γίνεται με νερό σε αναλογία 60-65%, οπότε προκύπτει η σκόνη. Η υδράσβεστος σε σκόνη κυκλοφορεί στο εμπόριο εντός καλά σφραγισμένων και υδατοστεγανών χάρτινων σάκων, αφού πρώτα έχει υποβληθεί σε καθαρισμό από άψητους ή υπερψημένους κόκκους.

Η σκόνη έχει χρώμα υπόλευκο έως λευκό και προσβάλλεται πολύ λίγο από το $CO_2$ της ατμόσφαιρας, διότι καθώς δεν υπάρχει ελεύθερο νερό οι αντιδράσεις δεν μπορούν να αρχίσουν (Τριανταφύλλου, 2011).

#### *2.3.2.2 Η υδράσβεστος σε μορφή πολτού*

Ο ασβεστοπολτός αποτελεί σβησμένη άσβεστο αναμειγμένη με νερό προς μία επιθυμητή συνεκτικότητα. Συνήθως συνίσταται κυρίως από υδροξείδιο του ασβεστίου με ή χωρίς υδροξείδιο του μαγνησίου. Προκύπτει από το σβήσιμο των άσβηστων ασβέστων με ελεγχόμενη περίσσεια νερού ή μετά την ανάμειξη υδρασβέστου με νερό.

Ο ασβεστοπολτός αποτελεί μίγμα κολλοειδούς και κρυσταλλικής μορφής του υδροξειδίου του ασβεστίου. Οι συνθήκες που πραγματοποιείται η σβέση του ασβέστη θα πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να ευνοούν τη δημιουργία κολλοειδούς μορφής, καθώς είναι αυτή που προσδίδει τις πλαστικές ιδιότητες. Επομένως, η ποιότητα του πολτού εξαρτάται από την ποιότητα της ασβέστου και από τις συνθήκες σβέσης. Σημαντικά σημεία που χρήζουν προσοχής ώστε να προβούμε στην επίτευξη επιτυχούς σβέσης είναι τα ακόλουθα (Νικηφοράκη, 2008) :

- Το νερό της σβέσης πρέπει να είναι καθαρό και μαλακό. Το θαλασσινό νερό είναι ακατάλληλο διότι προκαλεί εξανθήματα στις κατασκευές.
- Κατά τη σβέση το νερό θα πρέπει να καλύπτει τελείως την υδράσβεστο και η ποσότητά του να είναι έως πενταπλάσια της θεωρητικώς απαιτούμενης.
- Εάν η ποσότητα του νερού δεν είναι αρκετή, τότε πιθανόν τεμάχια ασβέστου δε σβήνονται και δημιουργούν σβώλους και τρίμματα αδρανούς υδρασβέστου. Αντίθετα, εάν η ποσότητα του νερού πλεονάζει σε σχέση με την απαιτούμενη, τότε η αντίδραση της σβέσης επιβραδύνεται λόγω ψύξης, με αποτέλεσμα να παράγεται προϊόν κρυσταλλικού χαρακτήρα (κοκκώδης υδράσβεστος).

Κάποια από τα βασικά πλεονεκτήματα της ασβέστου σε μορφή σκόνης σε σχέση με τον ασβεστοπολτό είναι (Τριανταφύλλου, 2011) :

- Η παρουσία MgO στη σύνθεσή της, συντελεί στην αύξηση της πλαστικότητάς της λόγω της ιδιότητας του MgO να συγκρατεί ποσότητα νερού. Αντίθετα στον πολτό η παρουσία MgO αποτελεί δυσμενή παράγοντα για την ταχύτητα φύρασης .
- Η σκόνη ασβέστου δεν χρειάζεται φύραση.
- Η αποθήκευση και η μεταφορά της πραγματοποιούνται ευκολότερα και ασφαλέστερα από ότι ο πολτός.
- Η πρόσμιξη με τα υλικά των κονιαμάτων είναι ταχύτερη και πληρέστερη.
- Το κονιάματα με σκόνη παρουσιάζουν μικρότερη συστολή κατά την πήξη.

Ο πολτός αντίθετα πλεονεκτεί στα παρακάτω σημεία (Τριανταφύλλου, 2011) :

- Έχει μεγαλύτερη ικανότητα παραλαβής άμμου στα κονιάματα τα οποία έτσι προκύπτουν περισσότερα πλαστικά.
- Τα επιχρίσματα με πολτό έχουν μεγαλύτερη αντοχή, πρόσφυση και συνοχή.
- Έχει μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης, δηλαδή περισσότερα $m^3$ παραγόμενου ένυδρου προϊόντος ανά τόνο CaO.

## 2.4 ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΚΟΝΙΕΣ

Οι κονίες της υδραυλικής ασβέστου ("HL"= Hydraulic Lime), σε σχέση με τις αερικές κονίες, έχουν το πλεονέκτημα να ενυδατώνονται και να στερεοποιούνται παρουσία νερού, λειτουργώντας σαν «φυσικά τσιμέντα». Ο όρος «υδραυλική» περιγράφει την ικανότητα αυτή της κονίας, δηλαδή να πήζει και να σκληραίνει αποκτώντας αντοχή, παρουσία νερού (B.G.S., 2005).

### 2.4.1 Φυσική υδραυλική άσβεστος

Η φυσική υδραυλική άσβεστος ("NHL"= Natural Hydraulic Lime) παράγεται από έψηση ασβεστολιθικών πρώτων υλών που περιέχουν σημαντικά ποσοστά αργιλοπυριτικών προσμίξεων. Κατά τη διαδικασία ενυδάτωσης το προϊόν μετατρέπεται σε σκόνη, με ή χωρίς επιπλέον λειοτρίβηση (EN 459-1:2001). Οι κονίες της φυσικής υδραυλικής ασβέστου έχουν το πλεονέκτημα σε σύγκριση με την αερική άσβεστο να ενυδατώνονται και να στερεοποιούνται και με παρουσία νερού, δημιουργώντας ένυδρες ασβεστοπυριτικές ενώσεις όπως αυτές που συναντώνται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου (Τριανταφύλλου, 2011).

Χημικά, η υδραυλική άσβεστος μπορεί να ταξινομηθεί σαν κάτι ενδιάμεσο μεταξύ της αερικής ασβέστου και του φυσικού τσιμέντου ή του τσιμέντου Portland. Το ποσοστό του αργιλικού ή/και του πυριτικού υλικού που ενεργοποιείται κατά τη διάρκεια της έψησης και δεσμεύεται από το οξείδιο του ασβεστίου σχηματίζοντας ασβεστοπυριτικές ενώσεις, καθορίζει και το βαθμό της υδραυλικότητας της κονίας. Την ίδια στιγμή και σε αντίθεση με το τσιμέντο, περιέχει αξιόλογο ποσοστό ελεύθερης ασβέστου (ή $CaO + MgO$), το οποίο και ενυδατώνεται παρουσία νερού. Το πέτρωμα από το οποίο είναι δυνατό να προέλθει ένα τέτοιο υλικό περιέχει πολύ περισσότερο διοξείδιο του πυριτίου (και συνήθως και οξείδια του αργιλίου και του σιδήρου) από ένα ασβεστόλιθο που προορίζεται για την παραγωγή άνυδρης ασβέστου, αλλά και μικρότερο ποσοστό προσμίξεων που περιέχονται στο μίγμα τροφοδοσίας των πρώτων υλών για την παραγωγή τσιμέντου (Μαρκόπουλος κ.ά., 2006).

Παραδοσιακά, οι υδραυλικές άσβεστοι αξιολογήθηκαν και ταξινομήθηκαν βάσει του δείκτη υδραυλικότητας (Cementation Index Formula), που βασίζεται στις παρακάτω συνθήκες (Boynton, 1980):

1. Οι υδραυλικές ιδιότητες μεταδίδονται από το σχηματισμό των μιγμάτων του ασβεστίου και του μαγνησίου με το πυρίτιο, το αργίλιο και το σίδηρο.
2. Το πυρίτιο συνενώνεται με την άσβεστο, με αποτέλεσμα το σχηματισμό πυριτικού τριασβεστίου.
3. Το αργίλιο συνενώνεται με την άσβεστο, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό αργιλικού διασβεστίου.
4. Το μαγνήσιο αντιδρά μοριακά, κατά τον ίδιο τρόπο με την άσβεστο, αλλά ο ρυθμός αντίδρασης είναι χαμηλότερος.

5. Ο σίδηρος έχει την ισοδύναμη μοριακή αντίδραση όπως και το αργίλιο.

Η μαθηματική έκφραση του δείκτη υδραυλικότητας δίνεται από τη σχέση:

$$C.I. = \frac{2.8*\%\ SiO_2 + 1.1*\%Al_2O_3 + 0.7*\%\ Fe_2O_3}{\%CaO + 1.4\%MgO} \quad (2.3)$$

Με βάση τη σχέση 2.3 και το ενεργό αργιλικό περιεχόμενο των πρώτων υλών, οι διαφορετικοί τύποι ασβέστου έχουν τις ακόλουθες τιμές C.I.:

**Πίνακας 2.1** Δείκτης υδραυλικότητας & διαφορετικοί τύποι ασβέστου (Holes & Wingate, 1997)

| **Τύπος ασβέστου** | **Τιμές C.I.** | **Ενεργό αργιλικό περιεχόμενο** |
|---|---|---|
| Αερική άσβεστος | Σχεδόν μηδενικές | Πολύ μικρό |
| Ασθενώς υδραυλική | 0.3 έως 0.5 | Περίπου 8% |
| Μετρίως υδραυλική | 0.5 έως 0.7 | Περίπου 15% |
| Ισχυρά υδραυλική | 0.7 έως 1.1 | Περίπου 25% |
| Φυσικά Τσιμέντα | > 1.1 | Έως και 45% |

Συμπεραίνουμε λοιπόν πως όσο πιο υψηλός είναι ο C.I., τόσο πιο μικρό είναι το ποσοστό της διαθέσιμης ελεύθερης ασβέστου και το αντίστροφο. Το ποσοστό του ελεύθερου CaO είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για την υδραυλική άσβεστο υψηλού βαθμού υδραυλικότητας, αφού στις δυο άλλες μορφές μόνο ένα ποσοστό 20 – 60% του συνολικού CaO συνενώνεται χημικά, αφήνοντας έτσι αρκετές ποσότητες ελεύθερες για ενυδάτωση. Ο θρυμματισμός που λαμβάνει χώρα μέσα από τη διαστολή (αύξηση του όγκου) λόγω της θερμότητας που εκλύεται από την αντίδραση ενυδάτωσης και την μετατροπή του CaO σε $Ca(OH)_2$, μετατρέπει το προϊόν σε σκόνη χωρίς την ανάγκη περαιτέρω λειοτρίβησης. Η μεγαλύτερη υδραυλική τιμή, που αποδίδεται στο πυρίτιο σε σχέση με το αργίλιο και το σίδηρο εύκολα αποδεικνύεται από τον παραπάνω τύπο. Ένας ασβεστόλιθος με προσμίξεις μικρής περιεκτικότητας σε πυρίτιο, δεν αποτελεί πρώτη ύλη σημαντικής αξίας αφότου η παραγωγή της υδραυλικής ασβέστου είναι πρωτίστως μια αντίδραση ασβεστίου και πυριτίου. Τα οξείδια του αργιλίου και του σιδήρου δρουν ως συλλίπασμα, διευκολύνοντας την επιθυμητή συνένωση ασβεστίου και πυριτίου. Άρα η αναλογία ασβέστου – πυριτίου αποτελεί τον ρυθμιστικό παράγοντα (Τριανταφύλλου, 2011).

Πρέπει να συμπληρώσουμε πως η διάκριση μεταξύ των διάφορων τύπων υδραυλικών ασβέστων πραγματοποιείται όχι μόνο σύμφωνα με το βαθμό της υδραυλικότητας (χαμηλής-μέσης -υψηλής), αλλά και σύμφωνα με το πώς η ιδιότητα αυτή εκφράζεται μέσω της ανάπτυξης αντοχής σε ένα πρότυπο κονίαμα. Τα κονιάματα που χρησιμοποιούνται για την κατάταξη έχουν επιλεγεί ώστε να αναπτύσσουν σημαντική αντοχή με μικρότερη δυνατή διακύμανση, εντός ενός περιορισμένου χρονικού ορίου. Με τον τρόπο αυτό το πρότυπο, ταξινομεί τις υδραυλικές ασβέστους σε τρεις ποιότητες NHL2, NHL3.5 και NHL5. Ο αριθμός που ακολουθεί της ονομασίας αναφέρεται στην ελάχιστη τιμή αντοχής σε δοκιμή ανεμπόδιστης μονοαξονικής θλίψης του κονιάματος μετά από την πάροδο 28 ημερών (τα όρια αντοχών που ορίζει το πρότυπο είναι 2÷7, 3.5÷10 και 5÷15 $N/mm^2$, αντίστοιχα). Ο έλεγχος ποιότητας των δομικών ασβέστων περιλαμβάνει χημικές αναλύσεις και έλεγχο των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων τόσο για την άνυδρη άσβεστο, όσο και για τις διάφορες ενυδατωμένες μορφές. Οι απαιτήσεις του προτύπου ως προς τον χημισμό των κονιών υδραυλικής ασβέστου, επιτρέπουν περιεκτικότητες σε $SO_3$ έως 3% και ποσοστά ελευθέρας ασβέστου από 3 έως 15% ανάλογα με τον τύπο της υδραυλικής κονίας. Οι χημικές απαιτήσεις ανά ποιότητα ασβέστου (% κ.β.) παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2 που ακολουθεί (Τριανταφύλλου, 2011).

**Πίνακας 2.2** Χημικές απαιτήσεις ποιοτήτων ασβέστου κατά EN 459-1:2001.

| Τύπος δομικής ασβέστου | CaO+MgO | MgO | $CO_2$ | $SO_3$ | Ελευθέρα άσβεστος |
|---|---|---|---|---|---|
| CL 90 | ≥ 90 | ≤ 5 | ≤ 4 | ≤ 2 | - |
| CL 80 | ≥ 80 | ≤ 5 | ≤ 7 | ≤ 2 | - |
| CL 70 | ≥ 70 | ≤ 5 | ≤ 12 | ≤ 2 | - |
| DL 85 | ≥ 85 | ≥ 30 | ≤ 7 | ≤ 2 | - |
| DL 80 | ≥ 80 | ≥ 5 | ≤ 7 | ≤ 2 | - |
| HL 2 | - | - | - | ≤ 3 | ≥ 8 |
| HL 3.5 | - | - | - | ≤ 3 | ≥ 6 |
| HL 5 | - | - | - | ≤ 3 | ≥ 3 |
| NHL 2 | - | - | - | ≤ 3 | ≥ 15 |
| NHL 3.5 | - | - | - | ≤ 3 | ≥ 9 |
| NHL 5 | - | - | - | ≤ 3 | ≥ 3 |
| **Σημείωση:** Οι τιμές είναι εφαρμόσιμες σε όλα τα είδη ασβέστου. Για άσβηστο ασβέστη αυτές οι τιμές ανταποκρίνονται στο τελικό προϊόν. Για τα υπόλοιπα είδη ασβέστου (ξηρή κονία υδρασβέστου, ασβεστοπολτό και υδραυλικές ασβέστους) οι τιμές βασίζονται στο προϊόν μετά την αφαίρεση της υγρασίας και του περιεχόμενου δεσμευμένου νερού. | | | | | |

Όσο πιο ενεργή-δραστική είναι η περιεχόμενη διαθέσιμη ποσότητα υδροξειδίου του ασβεστίου της υδραυλικής κονίας, τόσο πιο γρήγορα και επιτυχημένα γίνεται η σκλήρυνση του υδραυλικού κονιάματος μέσω της ενανθράκωσης. Η σκλήρυνση δεν πρέπει να συγχέεται με την πήξη του κονιάματος. Η πρώτη διαρκεί πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και σχετίζεται με την ενανθράκωση της ασβέστου και τον επανασχηματισμό ανθρακικού ασβεστίου, ενώ η δεύτερη σχετίζεται κυρίως με το είδος και την ποσότητα των υδραυλικών φάσεων της κονίας καθώς επίσης και από την περιεχόμενη ποσότητα του κονιάματος σε νερό.

Επίσης, το πρότυπο αναφέρεται και σε μια ειδική κατηγορία δομικών προϊόντων υδραυλικής ασβέστου (κονίες) στα οποία έχουν προστεθεί κατάλληλα ποζολανικά ή άλλα υδραυλικά πρόσθετα σε ποσοστό έως 20% κ.β. και στα οποία προστίθεται το γράμμα "Z" (π.χ. NHL 3.5-Z). Αν και η διάκριση μεταξύ των αμιγών προϊόντων φυσικής υδραυλικής ασβέστου και άλλων, στα οποία έχουν εισαχθεί διάφορα πρόσθετα, είναι ευπρόσδεκτη, είναι γεγονός πως οι ανοχές των πρόσθετων που δίδονται ανωτέρω είναι πολύ ευρείες και πιθανά να οδηγήσουν στη χρήση ακατάλληλων υλικών, ειδικότερα σε περιπτώσεις όπου η εφαρμογή των κονιαμάτων της φυσικής υδραυλικής ασβέστου γίνεται στα πλαίσια έργων συντήρησης και αποκατάστασης. Η προσθήκη υλικών όπως το τσιμέντο, ενισχύει υλικά με χαμηλές υδραυλικές ιδιότητες, αλλά μπορεί να είναι καταστροφική για την υγεία των κατασκευών, όπως έχει εξακριβωθεί σε εργαστηριακές μελέτες. Για το λόγο αυτό θεωρείται σημαντικό οι προμηθευτές ανάλογων προϊόντων να δηλώνουν κατά πόσο ή όχι τα υλικά αυτά περιέχουν πρόσθετα και ειδικότερα τι είδους είναι αυτά.

Ο βαθμός της υδραυλικότητας αυτών των τύπων ασβέστου, καθορίζει τις υποδιαιρέσεις για τις οποίες έγινε αναφορά παραπάνω. Έτσι με κριτήριο το βαθμό υδραυλικότητας η φυσική υδραυλική άσβεστος ταξινομείται σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες (Ashurst, 1997) :

- Υδραυλική άσβεστος χαμηλού βαθμού υδραυλικότητας (feebly hydraulic lime), τύπος NHL 2,
- Υδραυλική άσβεστος μέσου βαθμού υδραυλικότητας (moderately hydraulic lime), τύπος NHL 3.5,
- Υδραυλική άσβεστος υψηλού βαθμού υδραυλικότητας (eminently hydraulic lime), τύπος NHL 5.

### 2.4.2 Τσιμέντο

Το τσιμέντο αποτελεί την πιο κοινή υδραυλική κονία. Με τον όρο τσιμέντο προσδιορίζεται μια μεγάλη κατηγορία υδραυλικών κονιών, που έχουν δηλαδή την ιδιότητα να στερεοποιούνται και μέσα στο νερό. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των τσιμέντων είναι ότι προέρχονται από την καύση μείγματος ασβεστολιθικών και αργιλοπυριτικών πετρωμάτων. Για κάθε είδος τσιμέντου χρησιμοποιούνται τα πετρώματα αυτά με διαφορετικές αναλογίες (Λεγάκις, 1954).

Όταν το τσιμέντο αναμιχθεί με αδρανή υλικά και νερό σε κατάλληλες αναλογίες, είναι ικανό να παράγει σκυρόδεμα ή κονίαμα. Το κονίαμα αυτό είναι ικανό να διατηρεί την εργασιμότητά του για επαρκές χρονικό διάστημα, ενώ μετά το πέρας κάποιων ημερών επιτυγχάνει καθορισμένα επίπεδα αντοχής και ο όγκος του διατηρείται σταθερός.

### *2.4.2.1 Τσιμέντο ΠΟΡΤΛΑΝΤ*

Το κοινό τσιμέντο Πόρτλαντ είναι μια υδραυλική συνδετική κονία, δηλαδή ένα λεπτότατα αλεσμένο ανόργανο υλικό το οποίο, όταν αναμιχθεί με νερό, σχηματίζει ένα πολτό που πήζει και σκληραίνει δια μέσου αντιδράσεων και μηχανισμών ενυδάτωσης και το οποίο, μετά τη σκλήρυνση, διατηρεί την αντοχή και τη σταθερότητά του ακόμα και μέσα στο νερό.

Κατά ASTM ως τσιμέντο Πόρτλαντ ορίζεται το προϊόν που προκύπτει μετά από έψηση σε θερμοκρασίες όπου λαμβάνουν χώρα φαινόμενα περίτηξης και πυροσυσσωμάτωσης (≈1450 °C), ενός κατάλληλα αλεσμένου και πλήρως ομογενοποιημένου μίγματος που αποτελείται από ασβεστολιθικά και αργιλοπυριτικά συστατικά σε ποσοστά 75 και 25% περίπου, αντίστοιχα. Το προϊόν που προκύπτει καλείται κλίνκερ και αποτελεί το βασικό συστατικό του τσιμέντου Πόρτλαντ το οποίο έπειτα συναλέθεται με γύψο και άλλα συνείσακτα, σε καθορισμένες αναλογίες και λεπτότητες, για την παραγωγή διαφόρων τύπων και κατηγοριών τσιμέντου τύπου Portland (ASTM C150-02a, 2003).

**Πίνακας 2.3** Κύριες ορυκτολογικές φάσεις του κλίνκερ του τσιμέντου.

| **Φάση** | **Τύπος** | **Συντμήσεις** | **Ονομασία** |
|---|---|---|---|
| **Πυριτικό τριασβέστιο** | $3CaO{\cdot}SiO_2$ | $C_3S$ | Αλίτης |
| **Πυριτικό διασβέστιο** | $2CaO{\cdot}SiO_2$ | $C_2S$ | Βελίτης |
| **Αργιλικό τριασβέστιο** | $3CaO{\cdot}Al_2O_3$ | $C_3A$ | Αργιλική φάση |
| **Σιδηροαργιλικό τετρασβέστιο** | $Ca_2(Al_xFe_{1-x})_2O_5$ | $C_2A_xF_{1-x}$ ή $C_4AF$ | Φάση φερρίτη |

Οι τέσσερις κύριες ορυκτολογικές φάσεις του κλίνκερ παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.3 Πρέπει να αναφέρουμε πως ο αλίτης αποτελεί το κύριο συστατικό του κοινού τσιμέντου Πόρτλαντ περιέχεται σε ποσοστά από 50 έως 70%, αντιδρά σχετικά γρήγορα με το νερό και αποτελεί τη σημαντικότερη φάση για την ανάπτυξη αντοχών του κονιάματος.

## 2.5 ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ

Με τον όρο αδρανή υλικά χαρακτηρίζουμε όλα τα προσμίγματα αυτά (συνήθως λίθινα και κοκκώδη που προέρχονται από φυσικό ή τεχνητό τεμαχισμό των φυσικών πετρωμάτων) τα οποία αν χρησιμοποιηθούν κατάλληλα με κάποιο συνδετικό μέσο (κονία), συγκολλούνται μεταξύ τους και μας δίνουν τα κονιάματα. Η ονομασία "αδρανή" οφείλεται στην ιδιότητά των υλικών αυτών να μη συμμετέχουν ενεργά στις διαδικασίες πήξης και σκλήρυνσης των κονιών (π.χ. τσιμέντο, ασβέστης, άσφαλτος κλπ) κατά την ανάμιξή τους με αυτές ή και με το νερό. Η ιδιότητα αυτή βέβαια, δηλαδή η χημική αδράνεια των υλικών αυτών, εξαρτάται κάθε φορά από τη διαφορετική σύσταση του υλικού όπως επίσης και από τα υλικά με τα οποία έρχονται σε επαφή.

Τα αδρανή υλικά συμβάλουν μηχανικά στην αντοχή του κονιάματος. Καταλαμβάνουν ένα μεγάλο τμήμα του συνολικού όγκου του κονιάματος και επομένως τα χαρακτηριστικά τους επηρεάζουν την απόδοση και τις ιδιότητές του.

Ως αδρανές μπορεί να χρησιμοποιηθεί θεωρητικά οποιοδήποτε υλικό αρκεί να εκπληρώνει συγκεκριμένες απαιτήσεις όπως επαρκή αντοχή, επαρκή πρόσφυση, και χημική ανεκτικότητα με την κονία.

Οι κύριες κατηγορίες πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή αδρανών υλικών είναι (Αντωνόπουλος, 2011) :

1. Μαγματικά πετρώματα (γρανίτες ,διορίτες, γάββροι, ρυόλιθοι, δακίτες, ανδεσίτες, βασάλτες).
2. Ιζηματογενή πετρώματα (ασβεστόλιθοι).
3. Μεταμορφωμένα πετρώματα (γνεύσιοι, χαλαζίτες).

Στην Ελλάδα, κύρια πηγή παραγωγής αδρανών υλικών είναι τα ασβεστολιθικά πετρώματα διότι συναντώνται σε μεγάλη έκταση στη χώρα μας και ταυτόχρονα έχουν μικρό κόστος θραύσης και ικανοποιούν τις μηχανικές αντοχές των συνήθων κατασκευών.

## 2.6 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα αδρανή υλικά κατατάσσονται ανάλογα με την προέλευση τους, το μέγεθος των κόκκων τους, το ειδικό τους βάρος και τέλος ανάλογα με τη χρήση τους (http://portal.tee.gr).

### 2.6.1 Ανάλογα με την προέλευσή τους

Διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες : φυσικά, τεχνητά και ανακυκλώσιμα αδρανή.

- Φυσικά αδρανή**.** Είναι τα αδρανή τα οποία έχουν ληφθεί από το φυσικό τους περιβάλλον και δεν έχουν υποστεί τίποτε περισσότερο από μηχανική επεξεργασία θραύσης, πλυσίματος και διαλογής (π.χ. θραυστά πετρώματα, αλλουβιακοί σχηματισμοί, ποταμίσιες λιμναίες ή θαλάσσιες αποθέσεις, αποθέσεις άμμων ή χαλίκων, λάβα, ηφαιστειακοί τόφφοι, λατομικά προϊόντα κλπ). Ανάλογα με τη σύστασή τους διακρίνονται σε πυριτικά (χαλαζιακά), ασβεστολιθικά, κλπ.
- Τεχνητά ή βιομηχανικά αδρανή**.** Είναι τα αδρανή που έχουν προκύψει ως προϊόντα ή παραπροϊόντα βιομηχανικής δραστηριότητας από χημική ή θερμική επεξεργασία πρώτων υλών ορυκτής ή άλλης προέλευσης (π.χ. τέφρες, σκωρίες, υπολείμματα καύσεων, άργιλοι, βερμικουλίτης, περλίτης, υλικά στίλβωσης, κλπ). Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται κάθε φορά εξαρτάται από την κοκκομετρία που θέλουμε να επιτύχουμε. Σε σχέση με τα φυσικά αδρανή έχουν μεγαλύτερη ποικιλία σε ότι αφορά το μέγεθος των κόκκων και είναι πιο ομοιογενή.
- Ανακυκλωμένα. Είναι τα αδρανή που προκύπτουν από την επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση δομικών υλικών από υφιστάμενες κατασκευές (υλικά κατεδαφίσεως σκυροδέματος, τοιχοποιίας, ασφαλτικών έργων κλπ).

### 2.6.2 Ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους

Ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους, τα αδρανή υλικά διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες :

- Λεπτόκοκκα (σύμφωνα με τους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς Αδρανών Υλικών) είναι τα αδρανή με μέγιστο μέγεθος κόκκου ≤4 mm (διάφορα είδη άμμων).
- Χονδρόκοκκα (σύμφωνα με τους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς Αδρανών) είναι τα αδρανή με μέγιστο μέγεθος κόκκου > 4 mm, και ελάχιστο >2 mm (ογκόλιθοι, κροκάλες, έρμα, χαλίκι, γαρμπίλι, ρυζάκι).
- Παιπάλη ή Filler είναι το διαβαθμισμένο λεπτομερές αδρανές υλικό με μέγιστο κόκκο 2 mm, και το οποίο διέρχεται σε ποσοστό 70-100% από το κόσκινο 0,063 mm. Προστιθέμενο σε δομικά υλικά προσδίδει συγκεκριμένες ιδιότητες. Πιο συγκεκριμένα, ως παιπάλη χαρακτηρίζεται το λεπτότερο τμήμα του υλικού που διέρχεται από το κόσκινο 0.075mm (Αμερικάνικου προτύπου ASTM). Πρόκειται συνήθως για αργιλικές ουσίες ή είναι σκόνη από το ίδιο το μητρικό πέτρωμα. Όταν αυτή βρίσκεται σε μικρή ποσότητα (1 έως 3% του βάρους) δε βλάπτει τα παρασκευαζόμενα κονιάματα αλλά αντιθέτως είναι χρήσιμη διότι γεμίζει τα πολύ μικρά κενά των αδρανών. Σε μεγαλύτερη όμως ποσότητα έχει βλαβερά αποτελέσματα. Ένας εύκολος τρόπος να απομακρύνουμε την παιπάλη είναι να πλύνουμε τα αδρανή με νερό.

### 2.6.3 Ανάλογα με τις χρήσεις τους

Ανάλογα με τις χρήσεις τους τα αδρανή υλικά διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

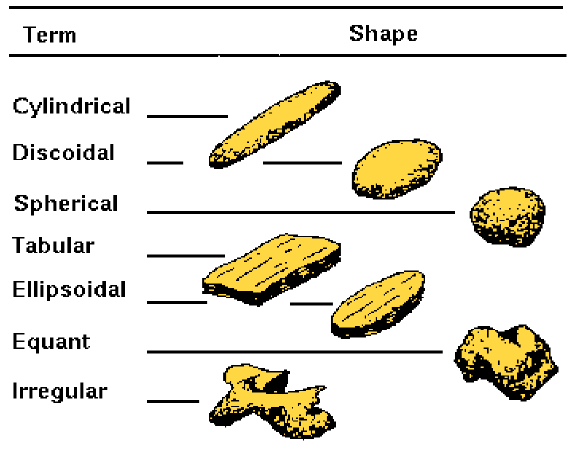
1. Αδρανή για παρασκευή τσιμεντοσκυροδέματος (aggregates for concrete).
2. Αδρανή για παρασκευή ασφαλτομιγμάτων (aggregates for bituminus mixtures).
3. Αδρανή Κονιαμάτων (aggregates for mortar).
4. Αδρανή για Ογκόλιθους για υδραυλικά και λιμενικά έργα (armourstones).
5. Αδρανή για έρμα σιδηροδρομικής γραμμής (aggregates for railway track ballast).

6. Αδρανή υλικά για βάσεις και υποβάσεις σταθεροποιημένες ή όχι για χρήση σε οδοστρώματα και έργα πολιτικού μηχανικού (aggregates for unbound and hydraulically bound materials).

## 2.7 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η ποιότητα των αδρανών υλικών και κατά συνέπεια του τελικού προϊόντος, επηρεάζεται από μία σειρά ιδιοτήτων. Τέτοιες ιδιότητες είναι (Γερογιάννης, 2003):

- Η αντοχή τους, η οποία σχετίζεται με την αντοχή του μητρικού πετρώματος.
- Η χημική συμπεριφορά τους με άλλα συστατικά του κονιάματος (π.χ. θαλασσινό νερό, καυσαέριο, κ.α.).
- Η καθαρότητά τους, η ύπαρξη δηλαδή ή όχι πρόσμεικτων ουσιών (παιπάλη, υλικά οργανικής προέλευσης, θειούχες ενώσεις κ.α.) Τέτοια συστατικά μπορεί να είναι επιβλαβή και να να εμποδίσουν την ομαλή εξέλιξη της στερεοποίησης του κονιάματος, να προκαλέσουν τοπικές αποκολλήσεις – αποφλοιώσεις ή άλλων ειδών ρηγματώσεις, ακόμα και να εμποδίσουν την πρόσφυση με την κονία.
- Το σχήμα των κόκκων του αδρανούς. Το σχήμα των σωματιδίων και η υφή της επιφάνειάς τους, μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί όταν πρόκειται για χονδρόκοκκα αδρανή, ενώ αντίθετα είναι η παρατήρηση είναι δύσκολη όταν αναφερόμαστε σε λεπτόκοκκα σωματίδια. Το σχήμα και η υφή της επιφάνειας των κόκκων παρατηρούνται αλλά δεν είναι εύκολο να περιγραφούν με χρήση μικροσκοπίου. Οι κόκκοι των αδρανών που δεν αντιστοιχούν σε κάποιο κανονικό γεωμετρικό σχήμα μπορούν να χαρακτηριστούν ως: στρογγυλοί, κυβοειδείς, γωνιώδεις, πλακοειδείς και επιμήκεις. Το σχήμα των μη σφαιρικών σωματιδίων που δεν ανήκουν σε κάποια από τις παραπάνω κατηγορίες, προσδιορίζεται σε σχέση με το μήκος και το πλάτος του. Το σχήμα και η μορφή των κόκκων , ανεξαρτήτως από την κοκκομετρική διαβάθμιση, επηρεάζει ιδιότητες του κονιάματος όπως την εργασιμότητα, την αντοχή, την κατακράτηση νερού κ.α.




**Εικόνα 2.1** Ονοματολογία βάση σχήματος των αδρανών

- Η κοκκομετρική διαβάθμιση των κόκκων του αδρανούς. Εκφράζει το διαχωρισμό και την κατάταξη των κόκκων του αδρανούς σε ομάδες βάσει του ποσοστού της κάθε κατηγορίας μεγέθους κόκκων που περιέχεται στη συνολική ποσότητα των αδρανών. Η κοκκομετρική διαβάθμιση απεικονίζεται σε διάγραμμα με τις διαμέτρους στον οριζόντιο άξονα και τα αθροιστικά ποσοστά του υλικού που περνάει από κάθε κόσκινο στον κατακόρυφο. Οι διάμετροι σημειώνονται στον οριζόντιο άξονα, είτε σε απλή είτε σε λογαριθμική κλίμακα.

## 2.8 ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΚΟΝΙΑΜΑ

Το συνηθέστερο αδρανές υλικό που χρησιμοποιείται στα κονιάματα είναι η άμμος. Δεν πρέπει να περιέχει προσμίξεις που 1) να είναι ικανές να προκαλέσουν μείωση της αντοχής και της σταθερότητας των κονιαμάτων, 2) να επηρεάσουν δυσμενώς άλλες ιδιότητες των και 3) να προκαλέσουν επιβλαβείς χημικές αντιδράσεις με την εκάστοτε συνδετική ύλη (http://portal.tee.gr).

Η προσθήκη των αδρανών στα κονιάματα συνιστάται για οικονομικούς και τεχνικούς λόγους. Όσα κονιάματα παράγονται χωρίς προσθήκη αδρανών, συστέλλονται κατά την πήξη και τη σκλήρυνση και έτσι τελικά δημιουργούνται επιφανειακές ρωγματώσεις. Συγκριτικά με τις κονίες, τα αδρανή υλικά είναι πιο οικονομικά.

Τα αδρανή υλικά για να χρησιμοποιηθούν στα κονιάματα θα πρέπει να ικανοποιούν ορισμένες απαιτήσεις. Δεν πρέπει να περιλαμβάνουν επιβλαβείς προσμίξεις που θα επηρεάσουν την σταθερότητα, την αντοχή και λοιπές ιδιότητες των κονιαμάτων. Τέλος, ένας καθοριστικός παράγοντας είναι η περιεχόμενη υγρασία τους. Η υγρασία δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 3% και θα πρέπει πάντα να υπολογίζεται πριν τον καθορισμό των αναλογιών σύνθεσης του κονιάματος.

### 2.8.1 Άμμος

Όπως αναφέρθηκε, η άμμος αποτελεί το συνηθέστερο αδρανές υλικό στην παρασκευή κονιαμάτων.

Η άμμος που χρησιμοποιείται είναι είτε φυσική είτε προέρχεται από τη θραύση των πετρωμάτων και πρέπει να είναι κατάλληλη ανάλογα με τη χρήση του κονιάματος.

Για τσιμεντοκονιάματα είναι προτιμότερο να είναι χαλαζιακής προελεύσεως ή τουλάχιστον να προέρχεται από σκληρό ασβεστόλιθο. Πρέπει να έχει επίσης επαρκή μηχανική αντοχή και να μην αποσαθρώνεται (http://portal.tee.gr).

Η φυσική άμμος (θαλάσσια, ποταμίσια, ορυκτή) ενδείκνυται σε εργασίες που απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια (λεπτά στρώματα και αρμοί) αλλά απαιτεί επιμελημένη πλύση και καθαρισμό από το χώμα, τα άλατα κτλ. Η θαλάσσια άμμος δεν ενδείκνυται για επιχρίσματα γιατί περιέχει άλατα που προκαλούν επανθίσματα στο επίχρισμα. Η φυσική άμμος εμφανίζει τις ακόλουθες ιδιότητες (http://portal.tee.gr) :

1. Οι κόκκοι της είναι λιγότερο τραχείς.
2. Περιέχει ελάχιστο ποσοστό σκόνης, με αποτέλεσμα το κονίαμα να ξεραίνεται γρήγορα και να είναι λιγότερο υγροσκοπικό.
3. Για την παρασκευή ενός $m^3$ κονιάματος, απαιτείται μικρότερο ποσοστό συνδετικής ουσίας με καλύτερες ιδιότητες (μικρότερη συστολή ξήρανσης).

4. Για την παρασκευή ενός $m^3$ κονιάματος απαιτείται λιγότερο νερό, με αποτέλεσμα τη μείωση της πιθανότητας να παρουσιαστούν στο κονίαμα τριχιάσματα (ραγάδες).

Η άμμος πρέπει να είναι απαλλαγμένη από επιβλαβείς ουσίες, όπως άργιλο, οργανικά συστατικά, τάλκη, μαρμαρυγία κτλ. Οι αντίστοιχες μέγιστες ανεκτές κατά βάρος περιεκτικότητες είναι 4% για την άργιλο, 1% για τα οργανικά συστατικά και 1% για τον τάλκη και τον μαρμαρυγία.

Σε ότι αφορά την κοκκομετρική διαβάθμιση της άμμου ισχύουν τα ακόλουθα (http://portal.tee.gr) :

- Η άμμος που χρησιμοποιείται για την παρασκευή κονιαμάτων πρέπει να είναι πολύ καλά διαβαθμισμένη, καθώς από τη διαβάθμιση της εξαρτάται η ποιότητα και η εμφάνιση του κονιάματος. Ισχύουν οι γενικοί κανόνες για την κοκκομετρική διαβάθμιση, σύμφωνα με τους οποίους η κοκκομετρική γραμμή πρέπει να είναι συνεχής, δηλαδή η άμμος να περιέχει όλα τα μεγέθη των κόκκων και σε ποσοστά όσο το δυνατόν πλησιέστερα στις ιδανικές κοκκομετρικές καμπύλες.
- Γενικά στα κονιάματα λιθοδομών ή πλακοστρώσεων κτλ όπου το πάχος του κονιάματος είναι μεγαλύτερο από 15 mm χρησιμοποιείται χονδρόκοκκη άμμος (0/7). Στην περίπτωση πάχους του αρμού ή της στρώσης 8 mm - 15 mm χρησιμοποιείται μεσόκοκκη άμμος (0/3). Στην περίπτωση πάχους μικρότερου από 8 mm η άμμος πρέπει να είναι λεπτόκοκκη (0/1).

## 2.9 ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Ο όρος κονιάματα αναφέρεται στα μίγματα μίας ή περισσοτέρων συνδετικών υλών (κονιών), λεπτόκοκκων αδρανών (μέγιστη διάμετρος κόκκου αδρανούς 4mm), υγρού επεξεργασίας το οποίο συνήθως είναι το νερό και ενδεχομένως ειδικών προσθέτων, τα οποία έχουν αξιόλογη ρευστότητα και πλαστικότητα όταν είναι νωπά, ενώ μετά την πήξη και σκλήρυνση της συνδετικής ύλης αποκτούν μηχανική αντοχή και άλλες φυσικές και χημικές ιδιότητες. Τα παραπάνω υλικά αναμιγνύονται σε ορισμένες αναλογίες, ανάλογα με το είδος της κονίας και του σκοπού εφαρμογής του κονιάματος. Οι ιδιότητες των κονιαμάτων εξαρτώνται από το είδος και τις αναλογίες των πρώτων υλών, από τον τρόπο ανάμιξης και μορφοποίησης και από τις συνθήκες που επικρατούν και εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης. Παρ' όλα αυτά ο βασικός φορέας της αντοχής του κονιάματος είναι τα αδρανή υλικά.

Η σύνθεση και η επεξεργασία των κονιαμάτων πραγματοποιείται ενώ τα κονιάματα βρίσκονται ακόμη υπό τη μορφή πολτού. Δηλαδή, το κονίαμα στο αρχικό στάδιο επεξεργασίας του βρίσκεται σε πλαστική κατάσταση, μπορεί οπότε να δεχτεί οποιαδήποτε επεξεργασία δίχως να χάσει τις ιδιότητές του. Με την πάροδο του χρόνου όμως (ανάλογα με το είδος της κονίας), το κονίαμα σταδιακά στερεοποιείται και τελικά αποκτά εξ ολοκλήρου στερεή μορφή. Αυτό συμβαίνει διότι η κονία έρχεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα ή και με το νερό με αποτέλεσμα να πήζει και να σκληραίνει.

Η ποσότητα της κονίας που πρέπει να χρησιμοποιηθεί στη σύνθεση του κονιάματος εξαρτάται από την κοκκομετρική διαβάθμιση της άμμου. Δηλαδή η ποσότητα θα πρέπει να είναι τόση ώστε να καλυφθούν τα κενά μεταξύ των κόκκων άμμου. Περίσσεια ποσότητα κονίας (παχύ κονίαμα) οδηγεί στη μείωση της αντοχής του κονιάματος. Μικρότερη ποσότητα κονίας (ισχνό κονίαμα) οδηγεί στη μείωση της αντοχής του κονιάματος και στην αύξηση του πορώδες του.

## 2.10 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Τα κονιάματα διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο πήξης και σκλήρυνσης, ανάλογα με το είδος της κονίας ή του αδρανούς, ανάλογα με τη χρήση τους, τη μηχανική αντοχή τους και τέλος ανάλογα με την ποσότητα της κονίας που χρησιμοποιείται.

### 2.10.1 Ανάλογα με τον τρόπο πήξης και σκλήρυνσης (εξαρτάται από το είδος της χρησιμοποιούμενης κονίας)

Διακρίνονται οι ακόλουθες κατηγορίες κονιαμάτων, βάσει του τρόπου πήξης και σκλήρυνσης:

- Αερικά κονιάματα. Σε αυτήν την κατηγορία η κονία που έχει χρησιμοποιηθεί είναι αερική, πήζει και σκληραίνει δηλαδή όταν έρθει σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αερικών κονιαμάτων είναι: ασβεστοκονιάματα, πηλοκονιάματα κ.ά.

- Υδραυλικά κονιάματα. Σε αυτήν την κατηγορία η κονία που έχει χρησιμοποιηθεί είναι υδραυλική. Τα υδραυλικά κονιάματα όταν σκληραίνουν αποκτούν εξαιρετική ανθεκτικότητα στη διαβρωτική δράση του νερού, ακόμη και του θαλάσσιου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτής της κατηγορίας είναι τα τσιμεντοκονιάματα,η υδραυλική άσβεστος και το κονίαμα ασβέστης- ποζολάνη.

### 2.10.2 Ανάλογα με το είδος της κονίας ή των αδρανών υλικών

Διακρίνονται οι ακόλουθες κατηγορίες κονιαμάτων, βάσει του είδους της κονίας ή των αδρανών που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή τους :

- Ασβεστοκονιάματα με συνδετική ύλη τον πολτό άσβεστου ή την κονιοποιημένη υδράσβεστο.
- Τσιμεντοκονιάματα με συνδετική ύλη το τσιμέντο. Παρουσιάζουν αυξημένη αντοχή και έντονες υδραυλικές ιδιότητες. Χρησιμοποιούνται για τη δόμηση στοιχείων που πρόκειται να υποστούν μεγάλες καταπονήσεις, αλλά και για επιχρίσματα.
- Πηλοκονιάματα με συνδετική ύλη την πηλοκονία.
- Τσιμεντοασβεστοκονιάματα ή μικτά κονιάματα με μίγμα τσιμέντου και άσβεστου ως συνδετική ύλη.
- Ποζολανικά κονιάματα με συνδετική ύλη άσβεστο (με μερική υποκατάσταση με τσιμέντο) και ποζολάνη (φυσική ή τεχνητή).
- Μαρμαροκονιάματα με κύριο αδρανές τη μαρμαρόσκονη αντί της άμμου και συνδετική ύλη ασβέστη ή τσιμέντο (με ενδεχόμενη μικρή προσθήκη γύψου).
- Γυψοκονιάματα με κύριο συνδετικό υλικό την γύψο.

### 2.10.3 Ανάλογα με τη χρήση τους

Ανάλογα με τη χρήση τους τα κονιάματα διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Κονιάματα δόμησης ή κονιάματα τοιχοποιίας.
- Κονιάματα επιχρισμάτων.

- Ισοπεδωτικά ή κονιάματα εξίσωσης δαπέδων.
- Επισκευαστικά κονιάματα και συγκολλητικά όπου υπάγονται οι διάφορες κόλλες.

Διάφορες επιμέρους κατηγορίες όπως θερμομονωτικά, ηχομονωτικά, πυράντοχα κλπ, είναι υποπεριπτώσεις των παραπάνω γενικών διαιρέσεων.

### 2.10.4 Ανάλογα με τη μηχανική τους αντοχή

Ανάλογα με τη μηχανική αντοχή τους, τα κονιάματα διακρίνονται στις παρακάτω ομάδες:

- Ομάδα I : κονιάματα χαμηλής αντοχής π.χ. πηλοκονιάματα, ασβεστοκονιάματα.
- Ομάδα II : κονιάματα μέτριας αντοχής π.χ. ασβεστοκονιάματα, ασβεστοποζολανικά κονιάματα.
- Ομάδα III : κονιάματα υψηλής αντοχής π.χ. τσιμεντοκονιάματα.

### 2.10.5 Ανάλογα με την ποσότητα της κονίας

Βάσει της περιεχόμενης ποσότητας κονίας, τα κονιάματα διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Κανονικό κονίαμα, δηλαδή το κονίαμα στο οποία η ποσότητα κονίας που έχει χρησιμοποιηθεί είναι ακριβώς τόση, όση χρειάζεται ώστε να γεμίσουν τα κενά μεταξύ των κόκκων της άμμου.
- Παχύ κονίαμα, δηλαδή το κονίαμα στο οποία η ποσότητα κονίας που έχει χρησιμοποιειθεί είναι περισσότερη από αυτή που απαιτείται για την Παρασκευή κανονικού κονιάματος.
- Ισχνό κονίαμα, δηλαδή το κονίαμα στο οποία η ποσότητα κονίας που έχει χρησιμοποιειθεί είναι μικρότερη από αυτή που απαιτείται για την Παρασκευή κανονικού κονιάματος, με αποτέλεσμα ο πολτός της κονίας να μη γεμίζει τα κενά των κόκκων άμμου.

Τέλος, πρέπει να αναφέρουμε και την κατηγορία των ειδικών κονιαμάτων. Τα ειδικά κονιάματα είναι κονιάματα που παρασκευάζονται με ειδικές μεθόδους και στα οποία χρησιμοποιούνται υλικά με συγκεκριμένες ιδιότητες ώστε κάθε φορά να επιτυγχάνεται η παρουσία μίας συγκεκριμένης, επιθυμητής ιδιότητας σε μεγάλο βαθμό. Παραδείγματα των ειδικών κονιαμάτων αποτελούν τα πυρίμαχα κονιάματα, τα στεγανά κονιάματα, τα θερμομονωτικά και ηχομονωτικά κονιάματα, τα ελαφριά και βαριά κονιάματα με μικρό και μεγάλο ειδικό βάρος αντίστοιχα, τα κονιάματα με αντοχή σε ισχυρές τριβές κ.ά.

## 2.11 ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Τα κονιάματα χρησιμοποιούνται ως (Γερογιάννης,2003) :

1. Συνδετικά υλικά. Κατά τη δόμηση τοίχων από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους τα κονιάματα χρησιμοποιούνται για την πλήρωση των κενών στους αρμούς μεταξύ των λίθων και έτσι η κατασκευή γίνεται τελικά περισσότερο συμπαγής και στερεή. Επίσης, εμποδίζεται η ροή νερού μεταξύ των αρμών. Διακρίνουμε κονιάματα τοιχοποιίας, κονιάματα αρμών και χυτευτά κονιάματα (είναι ιδιαίτερα ρευστά και χρησιμοποιούνται κυρίως στο κλείσιμο αρμών). Σήμερα, κονιάματα που έχουν ως συνδετικό υλικό μόνο την άσβεστο χρησιμοποιούνται αποκλειστικά στις επισκευές ιστορικών κτιρίων.
2. Καλυπτικά και μονωτικά υλικά. Τα κονιάματα συναντούν ευρεία χρήση στην επένδυση επιφανειών με σκοπό την προφύλαξη, τη μόνωση και τη βελτίωση της αισθητικής εμφάνισης. Τα κονιάματα που χρησιμοποιούνται για επενδύσεις ονομάζονται επιχρίσματα και αποτελούν σημαντικό παράγοντα στη διατήρηση της ποιότητας και της διάρκειας ζωής του έργου. Τα επιχρίσματα διακρίνονται σε εσωτερικά και εξωτερικά και διαφέρουν μεταξύ τους στις χημικές και φυσικές τους ιδιότητες. Όταν είναι απαραίτητη η ακουστική ή θερμική μόνωση, χρησιμοποιούμε ειδικά κονιάματα. Για τη στεγανοποίηση έργων εφαρμογή βρίσκουν τα τσιμεντοκονιάματα (ισχυρά κονιάματα), ενώ αν απαιτείται η επίστρωση δαπέδων χρησιμοποιούμε κονιάματα πλακόστρωσης.
3. **Κονιάματα αποκατάστασης**. Αποτελούν την κατηγορία κονιαμάτων που χρησιμοποιούνται σε έργα αποκατάστασης μνημείων και ιστορικών κτηρίων. Η σύνθεσή τους, δηλαδή η ποσότητα και το είδος των πρώτων υλών που θα χρησιμοποιηθούν, είναι συγκεκριμένη με κάποιες διαφοροποιήσεις κάθε φορά

ανάλογα με το προς αποκατάσταση υλικό. Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή διότι μία λάθος σύνθεση κονιάματος ίσως αποβεί μέχρι και καταστροφική για το μνημείο.

4. Πρώτες ύλες για την κατασκευή τεχνητών λίθων. Κονιάματα όπως τα πηλοκονιάματα ή τα τσιμεντοκονιάματα χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τεχνηκών λίθων (π.χ. τούβλα, τσιμεντόλιθοι κ.ά.).

## 2.12 ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Για να θεωρηθεί κατάλληλο ένα κονίαμα θα πρέπει να πληροί τις παρακάτω προϋποθέσεις (Λεγάκις, 1954):

1. Να είναι πλαστικό και εργάσιμο. Εργάσιμο ονομάζεται το σύνολο των ρεολογικών ιδιοτήτων, που έχει το νωπό κονίαμα. Έτσι δε διασπάται η μάζα του κατά τους διάφορους χειρισμούς. Η εργασιμότητα επηρεάζεται κυρίως από τους εξής παράγοντες: τη ρευστότητα, την πλαστικότητα, καθώς και από την ικανότητα του νωπού κονιάματος να διατηρεί την ομοιογένειά του όταν μεταφέρεται, κοπανίζεται, πέφτει από ψηλά.
2. Να έχει ικανή εσωτερική τριβή, έτσι ώστε να μην εκφεύγει των αρμών της τοιχοποιίας και όταν πρόκειται για επιχρίσματα να συγκρατείται στις κατακόρυφες επιφάνειες.
3. Να έχει σταθερότητα, να μην υπόκειται δηλαδή σε μεγάλες συστολές και διαστολές, έτσι ώστε να μην προκαλούνται ρωγμές.
4. Να παρουσιάζει υψηλή μηχανική αντοχή (θλίψη, εφελκυσμός), ικανή να φέρει το ίδιο βάρος της κατασκευής, αλλά και των φορτίων αυτής.
5. Να μην προσβάλλεται από το νερό και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.

## 2.13 ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Σε αρκετές περιπτώσεις είναι απαραίτητη η προσθήκη διάφορων υλικών, που ονομάζονται πρόσθετα, στη σύνθεση του κονιάματος με σκοπό να επιτευχθεί η αύξηση της αντοχής του κονιάματος ή η βελτίωση κάποιας άλλης ιδιότητάς του. Ανάλογα με την ιδιότητα που βελτιώνουν, τα πρόσθετα διακρίνονται σε (Κορωναίος- Πουλάκος, 2006) :

- Στεγανοποιητικά.
- Πλαστικοποιά.
- Προστασίας σε σχέση με τον παγετό και
- Για την παρασκευή των κονιαμάτων υπό πίεση.

## 2.14 ΝΕΡΟ ΣΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Το νερό με την κονία αποτελούν τα δύο ενεργά συστατικά του κονιάματος και μαζί με τα αδρανή συνθέτουν το τελικό κονίαμα. Παίρνει μέρος σε μια σειρά χημικών αντιδράσεων που οδηγούν (με τη δημιουργία ένυδρων κρυστάλλων) στην πήξη και σκλήρυνση του μείγματος. Για τον λόγο αυτό, το νερό πρέπει να είναι τόσο καθαρό ώστε να περιέχει όσο το δυνατόν λιγότερα συστατικά που μπορεί να επηρεάσουν τις χημικές αντιδράσεις (Γερογιάννης, 2003).

Ο ρόλος του νερού στα κονιάματα είναι διπλός. Ένα μέρος του, χρησιμοποιείται για την παρασκευή του κονιάματος και καταναλώνεται στις χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά την πήξη της κονίας (άσβεστος, τσιμέντο κλπ.). Το υπόλοιπο μέρος χρησιμεύει στη διαβροχή των κόκκων των αδρανών και στην αύξηση της πλαστικότητας και εργασιμότητας του κονιάματος και είναι αυτό που επηρεάζει τις ιδιότητες του κονιάματος. Μικρή ποσότητα νερού, δημιουργεί κονίαμα στεγανό και δυσκολοκατέργαστο, αλλά αυξημένης μηχανικής αντοχής και στεγανότητας. Αντίθετα, μεγάλη ποσότητα νερού δημιουργεί κονίαμα που είναι πλαστικό ως υδαρές και ευκολοκατέργαστο, αλλά συγχρόνως ελαττώνει την αντοχή του και τη στεγανότητά του. Επομένως, το νερό σε κατάλληλη ποσότητα είναι απαραίτητο για να δώσει στο κονίαμα την απαιτούμενη πλαστικότητα και εργασιμότητα.

Συμπεραίνουμε λοιπόν πως η συνολική ποσότητα νερού παίζει σημαντικό ρόλο και στη μηχανική αντοχή και στις υπόλοιπες ιδιότητες του κονιάματος. Όταν γενικά δεν είναι επαρκής, παραμένει μια ποσότητα κονίας ανενεργή με αποτέλεσμα να έχουμε μερική μόνο σύνδεση των αδρανών. Αντίθετα, όταν η ποσότητα του νερού είναι μεγαλύτερη από τη συνολικά απαιτούμενη, δεν απορροφάται από την κονία και τα αδρανή, αλλά μένει ελεύθερη μέσα στη μάζα του υλικού με αποτέλεσμα μετά την εξάτμιση του νερού να δημιουργούνται πόροι και κοιλότητες, μειώνοντας έτσι τη συνοχή και τις αντοχές του κονιάματος.

## 2.15 ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Τα ασβεστοκονιάματα αποτελούν μίγμα ασβέστου, άμμου και νερού. Οι προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούν είναι:

1. Η άσβεστος πρέπει αν είναι είτε υπό μορφή πολτού είτε υπό μορφή σκόνης, ενώ συνήθως χρησιμοποιείται πολτός υδρασβέστου. Η δομική άσβετσος πρέπει να έχει υποστεί καλή σβέση και φύραση.
2. Η άμμος που χρησιμοποιείται πρέπει (Λεγάκις, 1954):
   - Να είναι καθαρή, δηλαδή απαλλαγμένη από διαλυτά άλατα.
   - Να είναι φυσική ή τεχνητή. Αν και η φυσική άμμος παράγει ανθεκτικότερο κονίαμα, έχει μεγαλύτερο κόστος και για αυτό δεν προτιμάται.
   - Να περιέχει ποσοστό πηλώδων ορυκτών < 3% . Σε αντίθετη περίπτωση το κονίαμα που προκύπτει είναι ασθενές, τρίβεται εύκολα μετά την πήξη του και υφίσταται ραγίσματα.
   - Να χαρακτηρίζεται από συνεχή κοκκομετρία, δηλαδή η άμμος να περιέχει όλα τα μεγέθη κόκκων σε τέτοια αναλόγια ώστε να δημιουργούνται τα λιγότερα κενά στη μάζα της.
3. Το νερό που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι καθαρό, δηλαδή απαλλαγμένο από άλατα ή οργανικές ουσίες. Δεν συνίσταται η χρήση θαλασσινού ή ιδιαίτερα γλυφού νερού.

Η παρασκευή των ασβεστοκονιαμάτων πραγματοποιείται με ανάμιξη των υλικών είτε με ειδικούς αναμικτήρες, όπου επιτυγχάνεται και καλύτερη ανάμιξη, είτε από τον άνθρωπο με τη βοήθεια συγκεκριμένων εργαλείων (π.χ. φτυάρι, τσάπα) (Γερογιάννης,2003).

Τα ασβεστοκονιάματα χρησιμοποιούνται ευρέως στην Ελλάδα, ως συνδετικά υλικά για την κατασκευή τοίχων από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους και ως καλυπτικά υλικά για την προστασία εξωτερικών επιφανειών από την επίδραση της βροχής, του αέρα, της παρόδου του χρόνου κλπ. Επίσης, σήμερα πλέον τα ασβεστοκονιάματα χρησιμοποιούνται, όπου αυτά είναι συμβατά, για την ανακαίνιση ή αποκατάσταση και προστασία μνημείων και ιστορικών έργων.

## 2.16 ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΙ

Οι πρώτες ύλες για τη δημιουργία οπτόπλινθων (τούβλα) είναι η άργιλος, η άμμος και το νερό. Από γεωλογικής άποψης η άργιλος είναι μαλακό πέτρωμα που έχει προέλθει από μακροχρόνια χημική ή και μηχανική αποσύνθεση επιφανειακών πετρωμάτων. Για την παρασκευή των οπτόπλινθων η αργιλομάζα που χρησιμοποιείται αποτελείται κυρίως από οξείδια του πυριτίου και αργιλίου και σε μικρότερες ποσότητες οξείδια ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου, νατρίου κ.ά. 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 αποφεχθεί η ρηγμάτωση των τούβλων, κατά τη διαδικασία όπτησης, λόγω ασβεστοποίησης των σβώλων.

Το νερό που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι καθαρό και να μην περιέχει επιβλαβείς προσμίξεις όπως οξέα, θειϊκά και χλωριούχα άλατα κ.ά. Το θαλασσινό νερό καλό είναι να αποφεύγεται, ειδικά σε περιπτώσεις επιχρισμάτων (Μπαβέλλας – Μπουζούκου , 2005).

Η πηλοκονία μαζί με τα αδρανή υλικά αποτελούν το μίγμα για την παρασκευή οπτόπλινθων. Αν και η πηλοκονία δε βρίσκεται ελεύθερη στη φύση, ανήκει στις φυσικές αερικές κονίες. Είναι αναμιγμένη με αδρανή υλικά διαφορετικής συστάσεως, κυρίως με άμμο. 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 της διαποτιστεί με νερό, τότε η κονία αποκτά και πάλι τις πλαστικές της ιδιότητες. Για αυτό το λόγο πραγματοποιείται όπτηση, δηλαδή ψήσιμο της ωμοπλίνθου. Κατά την όπτηση η πηλοκονία χάνει το χημικά αναμιγμένο με αυτή νερό και μετατρέπεται τελικά σε σταθερή ένωση. Επιτυγχάνεται λοιπόν η κατασκευή τούβλων, κεραμικών, πηλοσωλήνων κλπ (Γερογιάννης, 2003).

# <u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.</u> ΤΟ ΒΥΖΑΝΤΙΝΟ ΜΝΗΜΕΙΟ ΤΟΥ Ι.Ν ΤΗΣ ΠΑΝΑΓΙΑΣ ΤΗΣ ΚΟΡΩΝΗΣΙΑΣ

## 3.1 ΒΥΖΑΝΤΙΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η αρχιτεκτονική και μνημειακή ζωγραφική της Βυζαντινής περιόδου (περίπου 640 – 1453 μ.Χ), χωρίζεται στις παρακάτω περιόδους που η κάθε μία χαρακτηρίζεται από ξεχωριστή τυπολογία και μορφολογία (Βοτοκόπουλος, 1975):

1. Πρωτοβυζαντινή περίοδος (640-843 μ.Χ ).
2. Μεσοβυζαντινή περίοδος (843-1204 μ.Χ).
3. Υστεροβυζαντινή περίοδος (1204-1453 μ.Χ ).

Η <u>Πρωτοβυζαντινή περίοδος</u> ξεκινά από την προέλευση και κυριαρχία των Αράβων στη μεσογειακή λεκάνη και η λήξη της σηματοδοτείται από την οριστική αναστήλωση των εικόνων με το τέλος των εικονομαχιών. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου μειώθηκε ο αριθμός και το μέγεθος των ναών καθώς και η χρήση πολυτελών υλικών. Οι αρχιτεκτονικοί τύποι που συναντώνται είναι: 1) **Βασιλική** (Βασιλική Οσίου Νίκωνα του 7$^{ου}$ αιώνα στη Σπάρτη, Βασιλική στο Τηγάνι της Μάνης του 7$^{ου}$ αιώνα, Βασιλική στην Πλίσκα της Βουλγαρίας του 7$^{ου}$ αιώνα), 2) **Τρουλαία βασιλική** (Αγία Σοφία στην Κωνσταντινούπολη) και 3) **Τρουλαία βασιλική της μεταβατικής περιόδου**: αποτελεί ένα μεταβατικό τύπο που θα εξελιχθεί στον σύνθετο εγγεγραμμένο σταυροειδή ναό (Αγία Σοφία στη Θεσσαλονίκη).

Η <u>Μεσοβυζαντινή περίοδος</u> διαρκεί από την οριστική αναστύλωση των εικόνων έως την άλωση της Κωνσταντινούπολης από τους Λατίνους. Σε αυτή την περίοδο ανήκει και ο προς μελέτη **Ι.Ν της Γενεσίου Θεοτόκου στη Κορωνησία** του Νομού Άρτας**.** Αυτή την περίοδο εξακολουθεί να υπάρχει ο τύπος της θολωτής ή της τρουλαίας θολωτής βασιλικής. Ο τελευταίος τύπος με τα ίδια περίπου χαρακτηριστικά εξελίσσεται στο μονόχωρο τρουλαίο με περιμετρικό διάδρομο τύπο της βυζαντινής περιόδου ενώ νέοι τύποι που εμφανίζονται είναι ο σταυροειδής εγγεγραμμένος με τρούλο και ο οκταγωνικός.

Η τοιχοποιία που συνηθίζεται να εφαρμόζεται στην κατασκευή ναών και άλλων μνημείων είναι η απλή πλινθοδομή, αμιγής ή κατά την τεχνική της κρυμμένης πλίνθου και η μικτή τοιχοδομία ή τοιχοδομία από εναλλασσόμενες ζώνες λίθων και πλίνθων **(opus mixtum)**. Πιο συγκριμένα, ο επικρατέστερος τρόπος δομής των τοίχων κατά την παλαιοχριστιανική εποχή στις περισσότερες περιοχές της αυτοκρατορίας, με εξαίρεση κυρίως τη Συρίας, ήταν η κατασκευή από ζώνες λιθοδομής από λαξευτούς, ημιλαξευτούς ή αργούς λίθους εναλλάξ με ποικίλου ύψους ζώνες πλινθοδομής, ένα σύστημα κατασκευής που αποτελεί απ' ευθείας εξέλιξη του ρωμαϊκού «opus mixtum» («μικτό σύστημα») ή από αμιγή πλινθοδομή. Για την κατασκευή τοίχων γινόταν χρήση μεγάλων ποσοτήτων κονιαμάτων, τα οποία κατά την ξήρανσή τους συρρικνώνονταν δημιουργώντας στις κατασκευές παραμορφώσεις οι οποίες, μάλιστα, ήταν κάποτε πολύ σοβαρές. Ο παραπάνω τρόπος δομής παρέμεινε σε χρήση σε όλη τη διάρκεια της βυζαντινής εποχής. Κατά τη μέση αλλά και την ύστερη βυζαντινή περίοδο οι οπτόπλινθοι κτίζονταν συχνά με την τεχνική της «αποκεκρυμμένης» ή «υποχωρημένης πλίνθου», κατά την οποία κάθε δεύτερη σειρά πλίνθων κτίζεται σε υποχώρηση από το πρόσωπο του τοίχου και επιχρίεται, με αποτέλεσμα ο αρμός μεταξύ των εμφανών πλίνθων να φαίνεται εξαιρετικά ευρύς (Μαμαλούκος, 2005).

**Εικόνα 3.1** Χαρακτηριστική φωτογραφία της τοιχοποιίας του Ι.Ν. όπου και διακρίνεται ο τρόπος δομής opus mixtum.

Η Υστεροβυζαντινή περίοδος ξεκινά το 1204, με την κατάληψη της Κωνσταντινούπολης από τους Φράγκους. Αυτό το ιστορικό γεγονός μαζί με την κατάτμηση της βυζαντινής αυτοκρατορίας σε πολλά μικρά κρατίδια, βυζαντινά και λατινικά, αποτελούν σημαντική ιστορική τομή με σοβαρό αντίκτυπο στις εξελίξεις της τέχνης. Για ένα μέρος της αυτοκρατορίας η περίοδος της Φραγκοκρατίας λήγει το 1261 με την ανάκτηση της Κωνσταντινούπολης από τους βυζαντινούς. Ωστόσο για ένα άλλο μεγάλο τμήμα της, η Φραγκοκρατία θα διαρκέσει ως την Οθωμανική κατάκτηση. Κατά την περίοδο 1261 - 1453, κατά την περίοδο των Παλαιολόγων δηλαδή, η τέχνη θα γνωρίσει 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. Κατά την ύστερη βυζαντινή περίοδο επαναλαμβάνονται αρχιτεκτονικοί τύποι που είχαν διαμορφωθεί κατά τις προηγούμενες περιόδους, όπως ο εγγεγραμμένος σταυροειδής σε όλες τις παραλλαγές του, ο οκταγωνικός, ο μονόχωρος τρουλαίος με περιμετρικό διάδρομο, η βασιλική. Χαρακτηριστικά παραδείγματα μνημείων που ανήκουν σε αυτή την εποχή είναι ο Προφήτης Ηλίας και οι Άγιοι Απόστολοι στη Θεσσαλονίκη, οι Άγιοι Θεόδωροι στο Μυστρά, η **Παρηγορήτισσα** στην Άρτα.

## 3.2 ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΟΥ ΤΟΠΟΘΕΤΕΙΤΑΙ ΤΟ ΜΝΗΜΕΙΟ

Η πόλη της Άρτας και η ευρύτερη περιοχή του Νομού, είναι γνωστή για την αρχαία ιστορία της, τα ονομαστά βυζαντινά της μνημεία, τις περίτεχνες εκκλησίες και τα φημισμένα μοναστήρια. Η ναοδομία της βυζαντινής Άρτας εκτός από πνευματικό κέντρο της περιφέρειας, θεωρείται πως συνεχίζει την παράδοση της Κωνσταντινουπόλεως και γι’ αυτό έπρεπε να πλουτιστεί καλλιτεχνικά, να οργανωθεί διοικητικά και να συγκροτηθεί στρατιωτικά ώστε τελικά να γίνει και πρωτεύουσα του τότε κράτους της Ηπείρου. Έτσι, η σημερινή πόλη, κτισμένη πάνω στην αρχαία Αμβρακία, έχει να επιδείξει μνημεία εξαιρετικής τέχνης, δείγματα της παλιάς εκείνης βυζαντινής φυσιογνωμίας της.

Η ίδρυση της αρχαίας Αμβρακίας τοποθετείται από τους αρχαιολόγους στο 630-620 π.Χ. Οι Κορίνθιοι έκαναν συστηματικό αποικισμό το 625 π.Χ. και η Αμβρακία γνώρισε μεγάλη ακμή που τη μαρτυρούν σπουδαία ευρήματα όπως ο ναός του Απόλλωνος Σωτήρος. Το 295 π.Χ. αναδείχθηκε σε πρωτεύουσα της «Μεγάλης Ηπείρου» από τον βασιλιά Πύρρο κατά την περίοδο βασιλείας του οποίου δημιουργήθηκαν σημαντικά έργα, ένα από τα οποία είναι και το θρυλικό Γεφύρι της Άρτας. Το 189 π.Χ. οι Ρωμαίοι κατέλαβαν και λεηλάτησαν την πόλη και τότε ήταν που η Αμβρακία μετονομάστηκε σε Άρτα, καθώς για τους ξένους αποίκους ήταν η χώρα του Αράχθου, η Αράχθεια (Άρτα) που σημαίνει οχυρωμένη τοποθεσία (Γιαννέλος, 2001).

Η ιστορία της Βυζαντινής Άρτας αρχίζει κυρίως από το 1204 μ.Χ., όπου με τα την 4η (Δ’) σταυροφορία το μισό τμήμα του βυζαντίου εδραιώθηκε στη Νίκαια της Μικράς Ασίας και το υπόλοιπο ήρθε στην Άρτα όπου και ιδρύθηκε το Δεσποτάτο της Ηπείρου. Αυτοκράτορας του Δεσποτάτου, το οποίο εκτεινόταν από το Δυρράχιο ως τη Ναύπακτο και κατά καιρούς περιέβαλε τμήματα της Θεσσαλίας και τα περισσότερα από τα Εφτάνησα, ήταν ο Μιχαήλ Άγγελος Κομνηνός Δούκας. Επί εποχής Μιχαήλ Κομνηνού κτίστηκε το κάστρο της Άρτας, ενώ αργότερα κτίστηκε η Παναγία η Παρηγορήτισσα (1285-1289) που αποτελεί και τη σημαντικότερη εκκλησία του Δεσποτάτου. Άλλα σημαντικά μνημεία εντός της πόλεως της Άρτας είναι η εκκλησία της Αγίας Θεοδώρας Βασίλισσας της Άρτας και ο ναός του Αγίου Βασιλείου. Στην ευρύτερη περιοχή του νομού ξεχωρίζουν η Παναγία της Βλαχέρνας, το μοναστήρι της Κάτω Παναγίας, η Κόκκινη Εκκλησία και ο προς μελέτη ναός της Γενεσίου Θεοτόκου της Κορωνησίας.

## 3.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΥΡΗΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η γεωλογική δομή της Ηπείρου παρουσιάζει το χαρακτηριστικό της επαλληλίας επίμηκων 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: (Νικολάου, 2005)

- 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.
- Η ζώνη Γαβρόβου Τριπόλεως που εμφανίζεται σε περιορισμένη έκταση στα όρια των νομών Άρτας – Αιτωλοακαρνανίας.
- Η ζώνη Ωλονού – Πίνδου, που εμφανίζεται στα Αθαμάνια όρη (Τζουμέρκα) όπου είναι επωθημένη επί του φλυσχικού συγκλίνου του Αράχθου της Ιονίας ζώνης.
- Η Πελαγωνική και υποπελαγωνική ζώνη. Οι σχηματισμοί αυτών των ζωνών συναντούνται υπό μορφή τεκτονικών καλυμμάτων επί των σχηματισμών της Πίνδου και κυρίως εμφανίζονται στη περιοχή Μετσόβου – Κατάρας στον Σμόλικα και στον Γράμμο.
- Ιζήματα της μεσοελληνικής αύλακος συναντώνται στην περιοχή Σαραντάπορου.

Το μεγαλύτερο τμήμα της Ηπείρου, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, καλύπτεται από σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης που ακολουθούν την παρακάτω λιθοστρωματογραφική σειρά (από τους παλαιότερους προς τους νεότερους σχηματισμούς) (Νικολάου, 2005) :

1. Εβαποριτική σειρά και τριαδικά λατυποπαγή (περμο – Τριαδικό).
2. Ανθρακική σειρά (ανώτερο Τριαδικό – ανώτερο Ηώκαινο).
3. Φλύσχης αδιαίρετος (ανώτερο Ηώκαινο – Ακουϊτάνιο).

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

Σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη της Ελλάδος (Φύλλο Άρτα, 1969), οι σημαντικότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί της Ιονίου Ζώνης είναι:

- Ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες, ανθρακικά λατυποπαγή ή κροκαλοπαγή). Οι ασβεστόλιθοι διακρίνονται σε μικρολατυποπαγείς, παχυστρωματώδεις και υπολιθογραφικοί λεπτοστρωματώδεις. Επίσης, σε μικροκρυσταλλικούς, στιφρούς με παρουσία νομουλιτικών απολιθωμάτων, ασβεστολιθους μικρολατυποπαγείς έως λατυποπαγείς με θραύσματα Ρουδιστών και τους ασβεστόλιθους της Βίγλας (υπολιθογραφικοί, λευκοί, ερυθροκίτρινοι).
- Πετρώματα του οφιολιθικού συμπλέγματος της Πίνδου.
- Κοκκώδης σχηματισμοί νεογενούς ή τεταρτογενούς περιόδου (αλλουβιακές αποθέσεις, κορήματα, άμμοι, αμμοχάλικα, κροκάλες ποικίλης σύστασης και διαβάθμισης).
- Φλύσχης, μάργες, αργιλομαργαϊκοί σχιστόλιθοι. Τα πιο χαρακτηριστικά πετρώματα της ενότητας του φλύσχη στην ευρύτερη περιοχή είναι ο σχηματισμός των ψαμμιτών του Πέτα.

Αξίζει να σημειωθεί πως εντός των ασβεστολιθικών σχηματισμών παρεμβάλλονται συχνά διαστρώσεις πυριτολίθων σε διάφορα μεγέθη και μορφές. Στη δυτική Ήπειρο ο κύριος όγκος των πυριτολιθικών πηγών εμφανίζεται σε ενστρώσεις λεπτών διαθλαστικών πλακών. Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις, τα δίκτυα των εσωτερικών διαρρήξεων διατρέχουν κάθετη διαδρομή προς τα εξωτερικά καλλύματα της πυριτικής μάζας. Οι όγκοι των πυριτολιθικών αποθεμάτων, αναλύονται μικροσκοπικά σε διάφορες ποικιλίες χαλκιδονίου με διαβαθμιζόμενη συμμέτοχη οπάλλιου και χαλαζία, ενώ ως προς τη χημική σύσταση η μάζα τους συνιστάται από $SiO_2$ σε αναλογία έως και 98%. Μακροσκοπικά διακρίνονται σε κονδυλώδη, φλεβική ή στρωματική μορφή από κοινού με άλλες ποικιλίες, όπως είναι οι κερατόλιθοι και οι ιασπίδες. Οι χρωματικές αποχρώσεις που χαρακτηρίζουν τους πυριτόλιθους είναι συνήθως ερυθρού έως μαύρου τόνου. (Ανδρεΐκος, 1981-1985).

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 ανύψωση της θάλασσας κατά 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 του μορφή (Πετράκη & Τζιωρτζιώτη, 2010).

**Εικόνα 3.2** Φωτογραφία της Κορωνησίας του Αμβρακικού κόλπου, όπου βρίσκεται ο Ι.Ν. Γενεσίου Θεοτόκου.

Στον Αμβρακικό περιλαμβάνονται 20 τουλάχιστον ακέραιες λιμνοθάλασσες, αριθμός που δε συναντάται σε κανένα άλλο μέρος της Ελλάδας. Η συνολική έκταση τους ξεπερνάει τα 70 τετραγωνικά χιλιόμετρα, ενώ οι περισσότερες χωρίζονται από τη θάλασσα με μία λουρονησίδα, δηλαδή μια μακρόστενη λωρίδα γης. Παρατηρώντας κάποιος μια λουρονησίδα από μακριά σχηματίζει την εντύπωση ότι αποτελείται από άμμο. Αν σκύψει όμως στο έδαφος των περισσοτέρων, θα διαπιστώσει, ότι η σύνθεσή τους αποτελείται από αμέτρητα κελύφη αχιβάδων.

Η περιοχή αποτελεί τμήμα της Αδριατικοϊονίου ζώνης κατά κύριο λόγο και των ζωνών Πίνδου και Γαβρόβου -Τριπόλεως κατά δεύτερο. Η λεκάνη απορροής του ποταμού Λούρου είναι εξολοκλήρου 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 (Πετράκη & Τζιωρτζιώτη, 2010).

Ο Άραχθος προσφέρει χονδρόκοκκο υλικό, κατά κύριο λόγο χαλαζιακό, αλλά και σημαντικές ποσότητες λεπτόκοκκου υλικού ιλύος, που εν μέρει προέρχεται, εκτός του φλύσχη, από τα 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 ποταμών Λούρου και Αράχθου 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 οφιολιθικούς σχηματισμούς (Νικολάου, 2005).

## 3.4 Ο Ι.Ν. ΓΕΝΕΣΙΟΥ ΤΗΣ ΘΕΟΤΟΚΟΥ

Η Κορωνησία βρίσκεται στον Αμβρακικό κόλπο, ανάμεσα στα λιμάνια της Άρτας, την Κόπραινα και τη Σαλαώρα, και απέχει 25 περίπου χιλιόμετρα από την Άρτα. Σε παλαιά έγγραφα αναφέρεται ως Κορακονήσιον και σήμερα συνδέεται με την απέναντι ακτή της Σαλαώρας με στενότατη τεχνητή λωρίδα γης με μήκος περίπου 5 χιλιομέτρων. Εδώ συναντάται ο ναός την Παναγίας της Κορωνησίας και το παρεκκλήσιο του Οσίου Ονουφρίου. (Μουτζάλη, 2008). Η μονή της Παναγίας της Κορωνησίας διαλύθηκε κατά τα τέλη του περασμένου αιώνα. Σώζεται όμως το καθολικό της στο κέντρο περίπου της Κορωνησίας, στην κορυφή υψώματος, με όποιες προσθήκες και αλλοιώσεις έχει υποστεί κατά τους επόμενους αιώνες (Μουτσόπουλος, 2005).

Σήμερα η εκκλησία αποτελεί ενοριακό ναό του μικρού ομώνυμου χωριού και τιμάται στη μνήμη της Γέννησης της Θεοτόκου. Ο ναός ανήκε σε παλιό και ακμαίο μοναστήρι, το οποίο σύμφωνα με γραπτές μαρτυρίες υπήρχε πριν το 1193. Στα χρόνια της λατινοκρατίας και στις αρχές της τουρκοκρατίας ($15^{ος}$ και $16^{ος}$ αιώνας) είχε πολλούς μοναχούς και γνώριζε μεγάλη ευημερία, αργότερα όμως έπεσε σε μαρασμό για ποικίλους λόγους και ερημώθηκε. Από τη Μονή σώζονται μέχρι και σήμερα ο ναός, το μικρό παρεκκλήσι του Οσίου Ονουφρίου , το παλιό πηγάδι από όπου και υδρευόταν η μονή καθώς και ερείπια από τα κελιά και από βοηθητικούς χώρους στα νότια του ναού. Σύμφωνα με τον Σεραφείμ Ξενόπουλο η μονή ιδρύθηκε τον $7^{ο}$ αιώνα, ενώ σύμφωνα με νεότερους μελετητές (Ορλάνδος και Βοκοτόπουλος) τοποθετούν την ίδρυση του Ναού στο τέλος του $10^{ου}$ αιώνα. Άρα ο Ναός αποτελεί έναν από τους παλαιότερους της Βυζαντινής Άρτας (Γιαννέλος, 2001).

**Εικόνα 3.3** Άποψη από τη βόρεια πλευρά του Ι.Ν. της Γενεσίου Θεοτόκου, όπου διακρίνεται το επιβλητικό κωδωνοστάσιο.

### 3.4.1 Το εξωτερικό του ναού

Το εξωτερικό του ναού χαρακτηρίζεται από ιδιότυπο σχήμα. Το ανατολικό του τμήμα είναι σταυροειδές με ελεύθερο το σκέλος του Σταυρού, ενώ στο δυτικό του τμήμα καλύπτεται με συνεχή επικλινή στέγη. Ανήκει στο σπάνιο αρχιτεκτονικό τύπο του σταυροειδούς ημιεγγεγραμμένου με τρούλο ο οποίος στηρίζεται με τη μεσολάβηση τεσσάρων ημικυλινδρικών καμάρων με άνισες διαμέτρους, επάνω σε δύο κίονες. (Μουτσόπουλος, 2005). Βέβαια η σημερινή όψη του ναού διαφέρει σε σημαντικό βαθμό από την αρχική του, λόγω όλων των παρεμβάσεων που έχουν πραγματοποιηθεί κατά τους αιώνες και αναφέρονται παρακάτω.

Η τοιχοποία του ναού έχει κατασκευαστεί με συμπαγείς ασβεστόλιθους αμελέστατα λαξευμένους κατά την εξωτερική τους πλευρά και δομημένους με τη μεσολάβηση άφθονου κονιάματος στους αρμούς, σύμφωνα με το «πλινθοπερίβλητο» σύστημα δομής (Γιαννέλος, 2001).

Η λιθοδομή του ναού αποτελείται από λίθους (ασβεστόλιθους) και κεραμικά στοιχεία (οπτόπλινθους), που αποτελούν και τα δομικά υλικά, και συνδέονται μεταξύ τους με ασβεστοκονίαμα (συνδετική ύλη). Βάσει των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας, συμπεραίνουμε πως η κονία που χρησιμοποιήθηκε ήταν ασβεστιτικής προέλευσης ενώ ως αδρανή υλικά για την παρασκευή του κονιάματος χρησιμοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο, στρογγυλεμένοι ή και αποστρογγυλεμένοι ασβεστιτικοί κόκκοι. Η εύρεση μεγάλου αριθμού θαλάσσιων κελυφών κατά την ανάλυση των κονιαμάτων δικαιολογείται από το γεγονός ότι για την παρασκευή των κονιαμάτων χρησιμοποιήθηκε επίσης θαλάσσια και ποταμίσια άμμος της περιοχής.

### 3.4.2 Το εσωτερικό του ναού

Ο κυρίως ναός χωρίζεται σε τρία κλίτη με δύο σειρές από ανομοιόμορφες και ανισοϋψείς κολώνες, και καλύπτεται από θόλους σε όλη του την έκταση. Βέβαια, λόγω των μετασκευών που έχουν πραγματοποιηθεί η μορφή και η διαρρύθμισή του διαφέρουν από την αρχική του όψη. Οι τοιχογραφίες καλύπτουν σχεδόν όλο το σώμα του μνημείου και ακολουθούν την τεχνική της Κρητικής σχολής (έντονα χρώματα, έξεργα φωτοστέφανα κτλ) (Γιαννέλος, 2001). Με τη μετασκευή που έγινε το 1670 κατεδαφίστηκε ο διαχωριστικός τοίχος του εσωτερικού και αντικαταστάθηκε με τρίβελο, με αποτέλεσμα να καταστραφεί ένα σημαντικό μέρος των τοιχογραφιών. Ακόμη, σε πολλά σημεία οι τοιχογραφίες είναι δυσδιάκριτες είτε από την αιθάλη είτε επειδή μεγάλα τμήματα τους καλύφθηκαν με ασβέστη. Όσες έχουν απομείνει σώζονται στον κυρίως ναό και το νάρθηκα του καθολικού. Η χτιστή Αγία Τράπεζα του ιερού εγγράφεται σε ημικυλινδρική αψίδα, καλύπτεται από μία μαρμάρινη παλαιοχριστιανική πλάκα και έχει ορθογώνιο σχήμα του οποίου το ανατολικό τμήμα διαμορφώνεται ημικυκλικά (Μουτσόπουλος, 2005).

### 3.4.3 Το κωδωνοστάσιο

Κατά τη διάρκεια των παρεμβάσεων που πραγματοποιήθηκαν το $18^{o}$ αιώνα, κατασκευάστηκε σε κάθετη θέση προς τη νοτιοανατολική γωνία του ναού το κωδωνοστάσιο. Το σώμα του κωδωνοστασίου διαιρείται κατά ύψος σε τρεις ζώνες οι οποίες διαχωρίζονται με υποτυπώδη γείσα από στενούς πλακοειδής λίθους ενώ στο ανώτερο σημείο του δημιουργείται μία κοίλη μορφή η οποία μιμείται κάποια ιταλικά baroque υποδείγματα, που πιθανόν εμπνεύστηκε από γειτονικά πρότυπα των Επτανήσων. Στη μεσαία ζώνη έχει εντοιχισθεί ως διακοσμητικό στοιχείο μαρμάρινο βυζαντινό γλυπτό που χρονολογείται στον $13^{o}$ αιώνα και πιθανόν προέρχεται από το αρχικό μαρμάρινο τέμπλο (Μουτσόπουλος, 2005).

### 3.4.4 Προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης στη Μονή

Κατά το πέρασμα των αιώνων το μνημείο γνώρισε πολλές μετασκευές, επισκευές, ανακαινίσεις και προσθήκες ώστε τελικά και απέκτησε τη σημερινή του μορφή. Όπως διαπιστώθηκε από την επί τόπου παρατήρηση του μνημείου, η μοναδική ακάλυπτη πλευρά του ναού βρίσκεται στη νότια πλευρά του. Εκεί είναι ορατά διαφορετικά είδη κονιαμάτων πάνω στη τοιχοποιία, που υποδηλώνουν τις κατά καιρούς επεμβάσεις.

Η κυριότερη επέμβαση πραγματοποιήθηκε το 1670, όπου ενώ το ανατολικό τμήμα του ναού παρέμεινε αναλλοίωτο, στο δυτικό μέρος του κατασκευάστηκε η μονόπλευρη πλαγιαστή στέγη. Εμφανή σημάδια αυτής της παρέμβασης παραμένουν έως και σήμερα στην τοιχοδομή της νότιας πλευράς του μνημείου. Το $18^{ο}$ αιώνα πραγματοποιήθηκε ακόμη μία μεταποίηση στη δυτική πλευρά του ναού. Προστέθηκε ορθογώνιος ξυλόστεγος εξωνάρθηκας και πιθανολογείται πως κτίστηκε και το ξεχωριστό κωδωνοστάσιο, αναφορά για το οποίο θα γίνει παρακάτω. Ακόμη, σύμφωνα με την παράδοση το πηγάδι του μοναστηρίου το έφτιαξε ο Όσιος Ονούφριος, οπότε και αυτό χρονολογείται τον $18^{ο}$ αιώνα.

Το 1870 πραγματοποιήθηκε "ανακαίνιση" που προκάλεσε όμως μεγάλες αλλοιώσεις στην όψη του ναού. Συγκεκριμένα, ανοίχτηκαν μεγάλα παράθυρα στη βόρεια πλευρά του κυρίως ναού, φράχτηκε η νότια θύρα του νεότερου νάρθηκα ενώ ανοίχτηκε μία νέα στη βόρεια πλευρά του ναού. Ακόμη, ο τρούλος, το κωδωνοστάσιο καθώς και η βόρεια και ανατολική πλευρά του ναού καλύφθηκαν με αμμοκονίαμα. Λόγω της επικάλυψης αυτής, η αρχική λιθοδομή δεν είναι εφικτό να παρατηρηθεί. Παρ’ όλα αυτά στη νότια πλευρά που δεν υπέστη επικάλυψη, είναι δυνατόν να διακρίνουμε την αρχική λιθοδομή που απαρτίζεται από ακανόνιστους και ανισομεγέθεις λίθους στους οποίους παρεμβάλλονται πλίνθοι με ακανόνιστο τρόπο.

Την τελική του μορφή ο ναός την απέκτησε τον $20^{ο}$ αιώνα, και συγκεκριμένα το 1962, όταν οι επίτροποι του ναού προχώρησαν στην  κατασκευή προστώου (ημιυπαίθριος στεγασμένος χώρος με κίονες, εμπρός από την είσοδο κτηρίου) από σιδηροπαγές σκυρόδεμα στην βόρεια εξωτερική πλευρά, αντικαθιστώντας τον παλιό ορθογώνιο ξυλόστεγο εξωνάρθηκα του $18^{ου}$ αιώνα και στην προσθήκη ασβεστοκονιάματος ως επίχρισμα στους τοίχους (Γιαννέλος, 2001; Μουτσόπουλος, 2005).

# <u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.</u> ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ & ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

## 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι εργαστηριακές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των προς μελέτη δειγμάτων και βάσει των οποίων επιτεύχθηκε η αναγνώριση του χαρακτήρα των κονιαμάτων (αερικός, υδραυλικός ή/και μικτός), η σύσταση της συνδετικής κονίας, το είδος και η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών, η αναλογία των πρώτων υλών και οι μετρήσεις/εκτίμηση των φυσικών ιδιοτήτων. Οι ακριβείς θέσεις δειγματοληψίας και τα δείγματα κονιαμάτων - επιχρισμάτων που μελετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, παρατίθενται στο 5$^{ο}$ κεφάλαιο, ως μέρος της επεξεργασίας και του σχολιασμού των αποτελεσμάτων. Επίσης, στο “Παράρτημα Ι” παρουσιάζονται τα ανάλογα αρχιτεκτονικά σχέδια, στα οποία σημειώνονται επακριβώς οι θέσεις δειγματοληψίας.

## 4.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Η διαδικασία της δειγματοληψίας έχει ως σκοπό τη συλλογή αντιπροσωπευτικών δειγμάτων από το προς μελέτη μνημείο ώστε να επιτύχουμε την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων για όλο το μέρος του.

Στην παρούσα μελέτη για την πρόταση σύνθεσης και παραγωγής νέων κονιαμάτων – επιχρισμάτων συμβατών με τα ήδη υπάρχοντα δομικά στοιχεία του μνημείου, που θα χρησιμοποιηθούν για τη συντήρηση και την αποκατάστασή του, κρίθηκε αναγκαία η γνώση της ιστορίας του, η εμπεριστατωμένη και αντιπροσωπευτική δειγματοληψία και εν συνεχεία η εργαστηριακή ανάλυση των προϋπαρχόντων δομικών υλικών (κονιαμάτων και επιχρισμάτων του ναού), ώστε να προσδιοριστούν με σαφήνεια οι φυσικές, χημικές και οι ορυκτολογικές ιδιότητές τους.

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 μνημείου αναλλοίωτη. Για αυτό το λόγο λήφθηκαν εννέα (9) δείγματα συνολικά από διαφορετικά σημεία του Ναού με σκοπό να καλυφθεί κατά το δυνατόν το μεγαλύτερο μέρος του. Συγκεκριμένα λήφθηκαν έξι (6) δείγματα από την τοιχοποιία του καθολικού της Μονής που αποτελούν κονιάματα αρμολόγησης με κωδικούς Ν1α, Ν1β, Ν2, Ν3, Ν4 και Ν6, δύο (2) δείγματα από τον τρούλο της Μονής που αποτελούν επιχρίσματα με κωδικούς Ν5α και Ν5β και ένα (1) δείγμα από το κωδωνοστάσιο με κωδικό Κ.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειώσουμε πως οι βασικές αρχές δειγματοληπτικού ελέγχου δεν επέτρεψαν τη λήψη δειγμάτων μεγάλου μεγέθους (σε μορφή καρότων) από τα περισσότερα σημεία δειγματοληψίας. Συνεπώς τα ληφθέντα δείγματα δεν είχαν όγκο και σχήμα επαρκές για τη διεξαγωγή μηχανικών δοκιμών. Είναι γνωστό πως, η δειγματοληψία πυρήνων διαταράσσει τα δείγματα κονιαμάτων, ενώ η παρουσία του νερού της καροταρίας διαλύει το σχετικά αδύναμο συνδετικό κονίαμα. Για το λόγο αυτό, η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε κυρίως με τη χρήση εξωλκέα (καλέμι).

## 4.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Οι εργαστηριακές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δειγμάτων κονιαμάτων – επιχρισμάτων βάσει των ευρωπαϊκών προτύπων ΕΝ, περιελάμβαναν:

1. Μακροσκοπική περιγραφή κονιαμάτων και λίθων δόμησης.
2. Υγρή κοκκομετρική ανάλυση.
3. Μικροσκοπική εξέταση.
4. Περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ (XRD).
5. Φασματοσκοπία φθορισμού ακτίνων-Χ (XRF).
6. Προσδιορισμός της απώλειας πύρωσης.

7. Προσδιορισμός της χρωματικής απόχρωσης.
8. Προσδιορισμός υδατοαπορροφητικότητας.

Οι παραπάνω μέθοδοι πραγματοποιήθηκαν για την ορυκτολογική και χημική μελέτη καθώς και για τη μελέτη των τεχνολογικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων. Στο τέλος του κεφαλαίου παρατίθεται και το διάγραμμα ροής όπου φαίνονται συγκεντρωτικά οι αναλυτικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν.

### 4.3.1 Μακροσκοπική περιγραφή κονιαμάτων και λίθων δόμησης

Κατά τη μακροσκοπική περιγραφή, που αποτελεί και την πρώτη επαφή με τα προς εξέταση δείγματα, γίνονται οι αρχικές εκτιμήσεις και η κατά προσέγγιση ταυτοποίησή τους σε σχέση με τα χαρακτηριστικά τους, όπως είναι η κοκκομετρία τους, η σύνθεσή τους, η συνεκτικότητα και η ποιότητά τους. Τα τελικά συμπεράσματα, που είναι και τα πιο ασφαλή, διεξάγονται μετά την ολοκλήρωση της σειράς των αναλύσεων και της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων τους.

### 4.3.2 Υγρή κοκκομετρική ανάλυση

Η υγρή κοκκομετρική ανάλυση πραγματοποιείται σε όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικό μέρος του εκάστοτε δείγματος με σκοπό (Μαρκόπουλος κ.α., 2012):

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

Η μέθοδος της υγρής κοκκομετρίας αναπτύχθηκε στο εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων και βρίσκει εφαρμογή σε κονιάματα που δεν περιέχουν τσιμέντο. Η διαδικασία που ακολουθείται κάθε φορά είναι η εξής:

Αρχικά το δείγμα ζυγίζεται εν ξηρώ και εμβαπτίζεται στο νερό για χρονικό διάστημα περίπου μίας ημέρας (24 ώρες). Μετά το πέρας των απαραίτητων ωρών και με τη βοήθεια ιγδίου αχάτη πραγματοποιείται ο αρχικός διαχωρισμός αδρανούς- κονίας. Ο πολτός που δημιουργείται μεταφέρεται σε κυλινδρόμυλο, από τον οποίο έχει αφαιρεθεί ο κύλινδρος. Στον κυλινδρόμυλο τοποθετείται και ένα μικρό κομμάτι αχάτη σφαιρικού σχήματος και τίθεται σε λειτουργία αφού πληρωθεί με απιονισμένο νερό. Ο χρόνος λειτουργίας του κυλινδρόμυλου είναι συνήθως από 20 έως 25 λεπτά και έτσι τελικά επιτυγχάνεται ο βέλτιστος διαχωρισμός του κονιάματος στα επιμέρους κλάσματά του. Έπειτα, ο πολτός μεταφέρεται σε τυποποιημένα κόσκινα κατά EN και ξηραίνεται για 24 περίπου ώρες εντός ξηραντήρα στους $60^{o}$ C. Το τελικό στάδιο της διαδικασίας είναι η ζύγιση των κοκκομετρικών κλασμάτων κάθε κόσκινου ξεχωριστά και η κατασκευή της κοκκομετρικής καμπύλης.

Σε δείγματα που ο διαχωρισμός είναι δυσχερής, τα προκύπτοντα διαχωρισθέντα κλάσματα, μετά την ξήρανσή τους και προτού ζυγισθούν, μελετώνται με τη βοήθεια στερεοσκοπίου προκειμένου να εξακριβωθεί ο βαθμός διαχωρισμού τους και να υποστούν νέα υγρή κοκκομετρική ανάλυση, εφόσον αυτός δεν είναι ικανοποιητικός.

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

### 4.3.3 Μικροσκοπική εξέταση

Η μικροσκοπική εξέταση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σε στιλπνές τομές που παρασκευάστηκαν εργαστηριακά. Επίσης, παρατηρήθηκαν και εξετάστηκαν μικροσκοπικά τα επί μέρους κλάσματα αδρανών που διαχωρίστηκαν από την υγρή κοκκομετρική ανάλυση. Η οπτική μικροσκοπική παρατήρηση έγινε σε στερεοσκόπιο της εταιρίας Motic Microscopes και οι αντίστοιχες φωτογραφίες που λήφθηκαν (σε μεγεθύνσεις 2×, 4× και 8×), παρουσιάζονται στο Παράρτημα ΙΙ.

Προκειμένου να γίνει η μικροσκοπική μελέτη των κονιαμάτων-επιχρισμάτων, λήφθηκαν αντιπροσωπευτικά δείγματα μικρού μεγέθους για την παρασκευή στιλπών τομών. Η κατασκευή των στιλπών τομών πραγματοποιήθηκε στο παρασκευαστήριο του εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας και η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

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, εμποτίζονατι 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.

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 (Κωστάκης, 1998).

Η στίλβωση έγινε με τη μέθοδο Winterdiaplast, κατά την οποία χρησιμοποιούνται αδαμαντοαλοιφές, οι οποίες είναι διαλυτές σε νερό, αλκοόλ και λάδι. Συγκεκριμένα, η στίλβωση πραγματοποιήθηκε με περιστρεφόμενους δίσκους και χρησιμοποιώντας νερό ως λιπαντικό μέσο.

### 4.3.4 Περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ (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, 1998).

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.

$$\mathrm{n} * \lambda = 2 * \mathrm{d} * \eta\mu\theta \tag{4.1}$$

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 ακτινογραφήματος 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).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (X-Ray Diffraction analysis) έγιναν οι ποιοτικές ορυκτολογικές αναλύσεις των συνδετικών κονιών και των αδρανών του κάθε δείγματος.

Για το προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης χρησιμοποιήθηκε το περιθλασίμετρο ακτίνων – X τύπου D8 Advance της εταιρίας Bruker AXS, του εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η ποιοτική αξιολόγηση των δειγμάτων έγινε με τη βοήθεια των δεδομένων J.C.P.D.S. (Joint Committee on Powder Difraction Standards).

### 4.3.5 Φασματοσκοπία φθορισμού ακτίνων-X (XRF)

Η χημική ανάλυση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας φθορισμού ακτίνων-X (X-Ray- Fluorescence, XRF).

Η τεχνική του φθορισμού ακτίνων-X είναι μία μέθοδος ανάλυσης δειγμάτων η οποία βασίζεται στο φθορισμό των ακτίνων-X και εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι οι ενέργειες των φωτονίων που εκπέμπει το διεργεμένο άτομο κατά την αποδιέγερσή του είναι χαρακτηριστικές για το είδος του ατόμου και μπορεί να οδηγήσουν στον προσδιορισμό του. Συνεπώς, η ανάλυση του φάσματος των εκπεμπόμενων λόγω φθορισμού φωτονίων και ο εντοπισμός των φωτοκορυφών που μπορούν να αποδοθούν ως χαρακτηριστικές ενός στοιχείου, οδηγεί σε ποιοτικό προσδιορισμό του στοιχείου και με κατάλληλη μέθοδο βαθμονόμησης απόδοσης οδηγεί και σε ποσοτικό προσδιορισμό των περιεχομένων στο δείγμα στοιχείων (Βαρδαβά, 2008 ).

Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται η στοιχειακή ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των υλικών. Τα άτομα των στοιχείων διεγείρονται από ακτίνες X υψηλής ενέργειας και εκπέμπουν δευτερογενή ακτινοβολία (φθορισμός) ακτίνων – X, το φάσμα της οποίας αναλύεται και μελετάται. Τα στοιχεία τα οποία μπορούν να μετρηθούν με τη μέθοδο XRF βρίσκονται μεταξύ του βορίου με μήκος κύματος λ= 6.2 nm και του ουρανίου με μήκος κύματος λ= 0.091 nm.

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η μέθοδος αυτή είναι τα ακόλουθα:

- είναι σχετικά οικονομική μέθοδος, αναφερόμενοι στο συνολικό κόστος του απαιτούμενου εξοπλισμού

- ανήκει στις μη καταστρεπτικές μεθόδους, δηλαδή το προς εξέταση δείγμα δεν καθίσταται ραδιενεργό μετά το πέρας της μεθόδου και γενικά δεν υφίσταται καμία αλλοίωση
- βρίσκει εφαρμογή σε στερεά αλλά και για υγρά δείγματα

Βασικές μονάδες του συστήματος:

1. Λυχνία παραγωγής της πρωτογενούς ακτινοβολίας Χ
2. Φίλτρο πρωτογενούς ακτινοβολίας
3. Ευθυγραμμιστής
4. Αναλυτής κρύσταλλος
5. Ανιχνευτής
6. Ηλεκτρονικό σύστημα μέτρησης και καταγραφής

Η διαδικασία παρασκευής ενός δείγματος, προκειμένου για ανάλυση, είναι θραύση του δείγματος, λειοτρίβηση του δείγματος σε κοκκομετρία <60μm σε αχάτη, ζύγιση 5 gr λειοτριβημένου δείγματος και ανάμιξή του με 0.5gr ειδικού κεριού. Στη συνέχεια κατασκευάζεται ανθεκτικός δείγματος διαμέτρου 30mm με επικάλυψη βορικού οξέος με τη βοήθεια ειδικής μήτρας σε πρέσα σε πίεση 150 Atm.

Η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τη χημική ανάλυση των δειγμάτων είναι το αυτοματοποιημένο σύστημα φασματοσκοπίας ακτίνων - Χ φθορισμού τύπου S2 Ranger της εταιρίας Bruker AXS, στο εργαστήριο Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

### 4.3.6 Προσδιορισμός της απώλειας πύρωσης

Με τη μέθοδο της απώλειας πύρωσης προσδιορίζεται το ποσοστό του $CO_2$ 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 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:

$$\%A.\Pi. = \frac{A - T}{A} * 100 \tag{4.2}$$

Όπου:

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

Α : το αρχικό βάρος του ξηρού δείγματος (gr)

Τ : 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.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής: ζυγίστηκε ποσότητα υλικού από κάθε δείγμα, περίπου 5 γραμμάρια, και αφού τοποθετήθηκαν σε ειδικά χωνευτήρια (πορσελάνινη κάψα), πυρώθηκαν στους 980$^{o}$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.

### 4.3.7 Προσδιορισμός της χρωματικής απόχρωσης

Με τη μέθοδο της χρωματογραφίας επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός της χρωματικής απόχρωσης στη συνδετική κονία των κονιαμάτων, σύμφωνα με το πρότυπο BS 3900 – D10 (1986). Προσδιορίζεται δηλαδή η φωτεινότητα του δείγματος που εξετάζεται και η διαφορά που έχει από το τέλειο λευκό. Ο δείκτης L* (lightness) αντιπροσωπεύει τη φωτεινότητα σε μια κλίμακα από 0 (μαύρο) έως 100 (τέλειο λευκό). Ο δείκτης ΔΕ*ab, που περιγράφουν οι Βρετανικές προδιαγραφές BS, περιγράφει τη διαφορά χρώματος μεταξύ του προς μελέτη δείγματος και του τέλειου λευκού. Για παράδειγμα η υδράσβεστος CL90 έχει τιμή διαφοράς από το τέλειο λευκό 1% (Μαρκόπουλος κ.α., 2012).

Οι μετρήσεις χρώματος έγιναν χρησιμοποιώντας ένα φασματοφωτόμετρο ανάκλασης, τύπου Evans Electroselenium Limited (EEL) της εταιρίας Diffusion Systems στο εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

### 4.3.8 Προσδιορισμός Υδατοαπορροφητικότητας

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.

Ένα σώμα που χαρακτηρίζεται από μεγάλη πυκνότητα, άρα με λίγα κενά, απορροφά κατά κανόνα λίγο νερό και δεν επιτρέπει τη δίοδο του νερού μέσω της μάζας τους. Γενικά, οι μεγάλοι και ευθύγραμμοι πόροι, ανεξάρτητα από την πυκνότητα, διευκολύνουν τη δίοδο του ρευστού, σε αντίθεση με τους μικρούς πόρους που δεν έχουν συγκεκριμένη δομή δυσκολεύουν ή καθιστούν αδύνατη τη ροή του ρευστού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η κίσσηρη (ελαφρόπετρα), η οποία αν και έχει πολύ μικρή πυκνότητα, εμφανίζει πολύ μικρότερη υδατοαπορροφητικότητα σε σύγκριση με άλλα πιο συμπαγή υλικά, λόγω της μορφής που έχουν οι πόροι της (Τριανταφύλλου, 2003).

Ο προσδιορισμός της υδατοαπορροφητικότητας του κονιάματος 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 °C και στη συνέχεια ζυγίζεται. Το υλικό εμβαπτίζεται μέσα σε απιονισμένο νερό, για 24 ώρες και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (περίπου 20 °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:

$$Y = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100 \qquad (4.3)$$

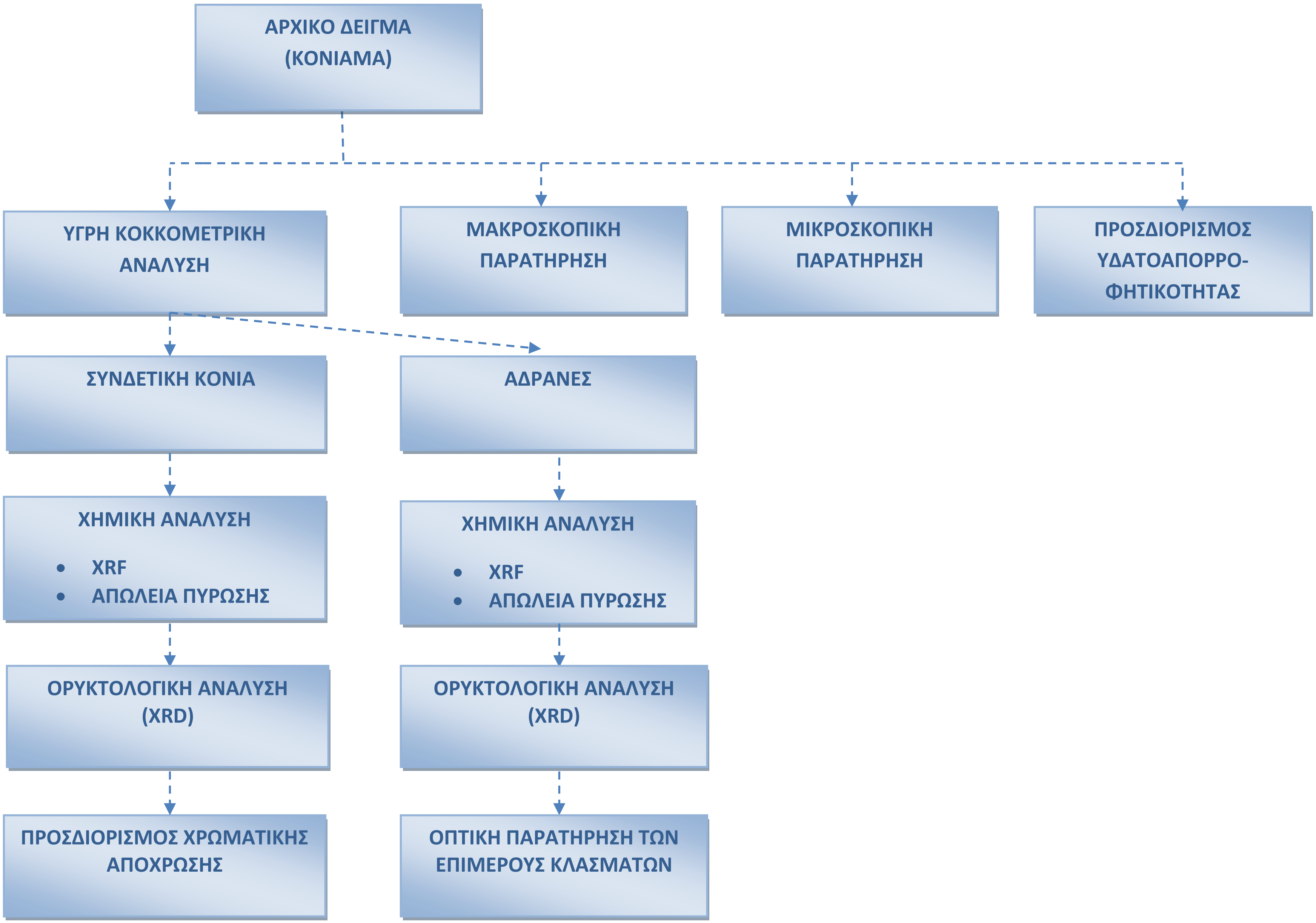
Όπου:

Y: το ποσοστό της υδατοαπορροφητικότητας

$m_1$: το βάρος του ξερού δείγματος (gr)

$m_2$: το βάρος του υγρού δείγματος (gr)

**Εικόνα 4.1** Διάγραμμα ροής όπου παρουσιάζονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση και το χαρακτηρισμό των προς εξέταση δειγμάτων.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

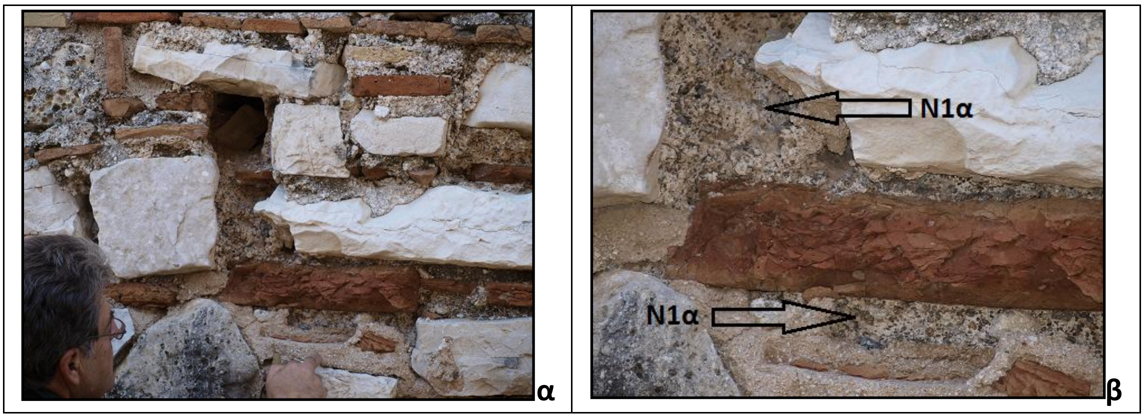
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα τελικά αποτελέσματα που προέκυψαν μετά την ολοκλήρωση των εργαστηριακών δοκιμών και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των.

## 5.1 ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΤΟΥ ΚΑΘΟΛΙΚΟΥ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ

Δείγμα 1. (Κωδικός δείγματος Ν1α)

- Θέση δειγματοληψίας

Κονίαμα αμέσως δυτικά από το κλείσιμο της κεντρικής - μεγάλης θύρας στη νότια πλευρά του ναού (Παράρτημα Ι - Σχέδιο Α).



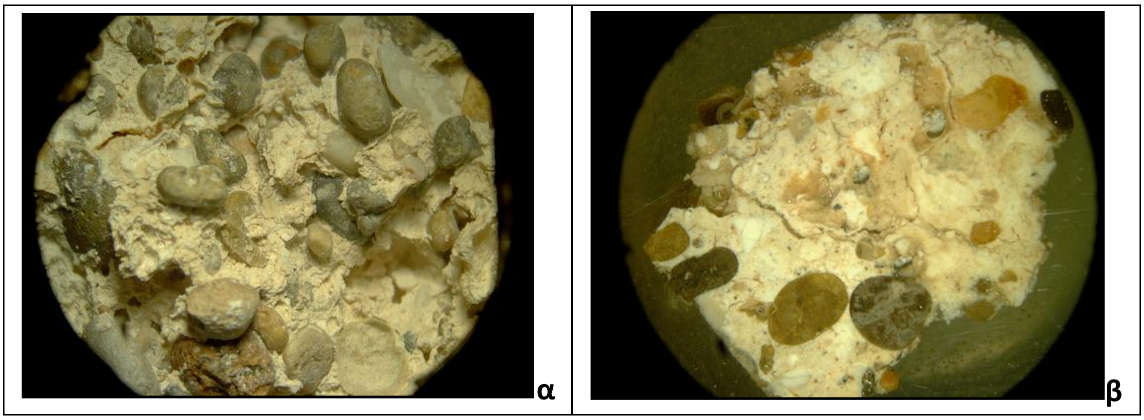

**Εικόνα 5.1** Φωτογραφίες από την τοιχοποιία της νότιας πλευράς του καθολικού του Ι.Ν, στο κλείσιμο της κεντρικής μεγάλης θύρας (α) και ακριβής θέση δειγματοληψίας (β) του κονιάματος με κωδικό **Ν1α**.

- Μακροσκοπική – Μικροσκοπική περιγραφή

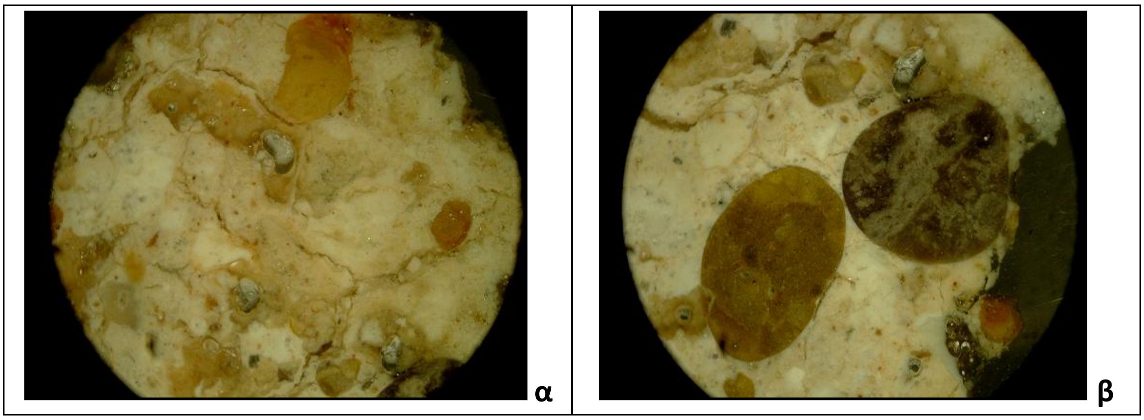
Το δείγμα **Ν1α** αποτελεί κονίαμα αρμολόγησης της τοιχοποιίας, μεταξύ ασβεστόλιθων και οπτόπλινθων ακανόνιστου σχήματος (Εικόνα 5.1β). Παρουσιάζει πολύ καλή συνάφεια με τα ανωτέρω δομικά υλικά και ο αποχωρισμός του για τη λήψη δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με σχετική δυσκολία.

Πιστοποιήθηκε, με την επί τόπου αυτοψία, η ύπαρξη σημείων-κενών στη τοιχοποιία, τα οποία έχουν πληρωθεί με κονίαμα μεταγενέστερου χρόνου εφαρμογής από εκείνον που χαρακτηρίζει τα πρωταρχικά κονιάματα δόμησης (συμπλήρωμα ή «μπάλωμα»). Το γεγονός αυτό ταυτοποιήθηκε μακροσκοπικά (Εικόνα 5.1α), τόσο από τη χρωματική απόχρωση του εν λόγω κονιάματος, όσο και από την σύστασή του η οποία απαρτίζεται από γωνιώδη αδρανή ασβεστιτικής σύστασης (λατομική άμμος). Η χρήση ανάλογων αδρανών υλικών δεν απαντάται σε παραδοσιακά κονιάματα.

Από την παρατήρηση του κονιάματος σε στιλπνές τομές, προκύπτει ότι τα αδρανή είναι αποστρογγυλεμένοι κόκκοι που αποτελούνται κυρίως από χαλαζία, πυριτόλιθους, και θραύσματα της ενότητα Φλύσχη (Εικόνα 5.2α). Παρατηρείται πολύ καλή σύμφυση των αδρανών με την ασβεστιτική κονία (Εικόνες 5.2β & 5.3β). Επίσης, εντοπίστηκαν και κόκκοι αδρανών ασβεστιτικής σύστασης (Εικόνα 5.3α).




**Εικόνα 5.2** Φωτογραφίες ακέραιου τμήματος (α) και στιλπνής τομής (β) του κονιάματος **Ν1α**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 2x).




**Εικόνα 5.3** Φωτογραφίες στιλπνών τομών του κονιάματος **Ν1α**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x).

➢ <u>Υγρή κοκκομετρική ανάλυση</u>

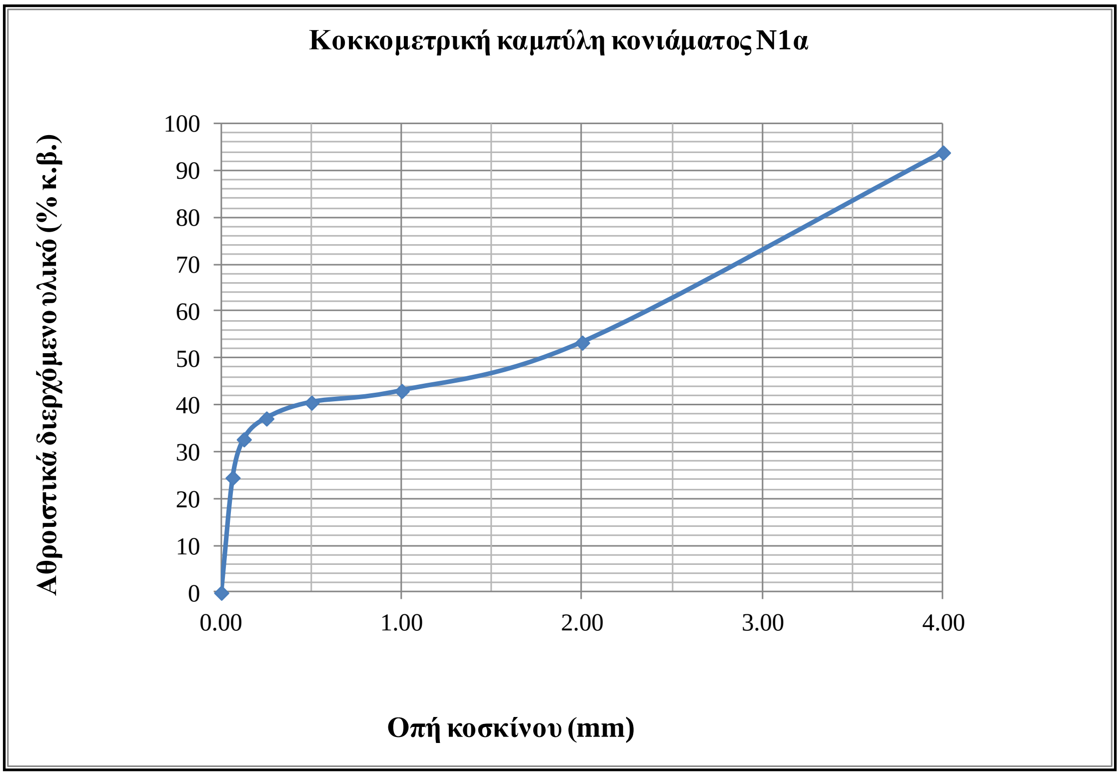
**Πίνακας 5.1** Αποτελέσματα υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης του κονιάματος **Ν1α**.

| Οπή κοσκίνου (mm) | Βάρος κοσκίνου (γρ.) | Βάρος (κοσκίνου + συγκρατούμενου υλικού) (γρ.) | Βάρος συγκρατούμενου υλικού (γρ.) | Ποσοστό (% κ.β.) Συγκρατούμενου υλικού | Ποσοστό (% κ.β.) Διερχόμενου Υλικού | Αθροιστικά ποσοστά (% κ.β.) συγκρατούμενου υλικού | Αθροιστικά ποσ. (% κ.β.) διερχόμενου υλικού |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **4.00** | 487.5 | 491 | 3.5 | 6.1 | 93.9 | 6.1 | 93.9 |
| **2** | 452.3 | 475.1 | 22.8 | 40.6 | 59.4 | 46.6 | 53.4 |
| **1** | 407.1 | 412.9 | 5.8 | 10.3 | 89.7 | 56.9 | 43.1 |
| **0.5** | 374.2 | 375.6 | 1.4 | 2.5 | 97.5 | 59.4 | 40.6 |
| **0.25** | 343.7 | 345.6 | 1.9 | 3.4 | 96.6 | 62.8 | 37.2 |
| **0.125** | 341.3 | 343.8 | 2.5 | 4.4 | 95.6 | 67.3 | 32.7 |
| **0.063** | 321.9 | 326.5 | 4.6 | 8.2 | 91.8 | 75.5 | 24.5 |
| **Βάση** | 346.9 | 362.2 | 15.3 | 27.2 | 0.0 | 102.7 | 0.0 |

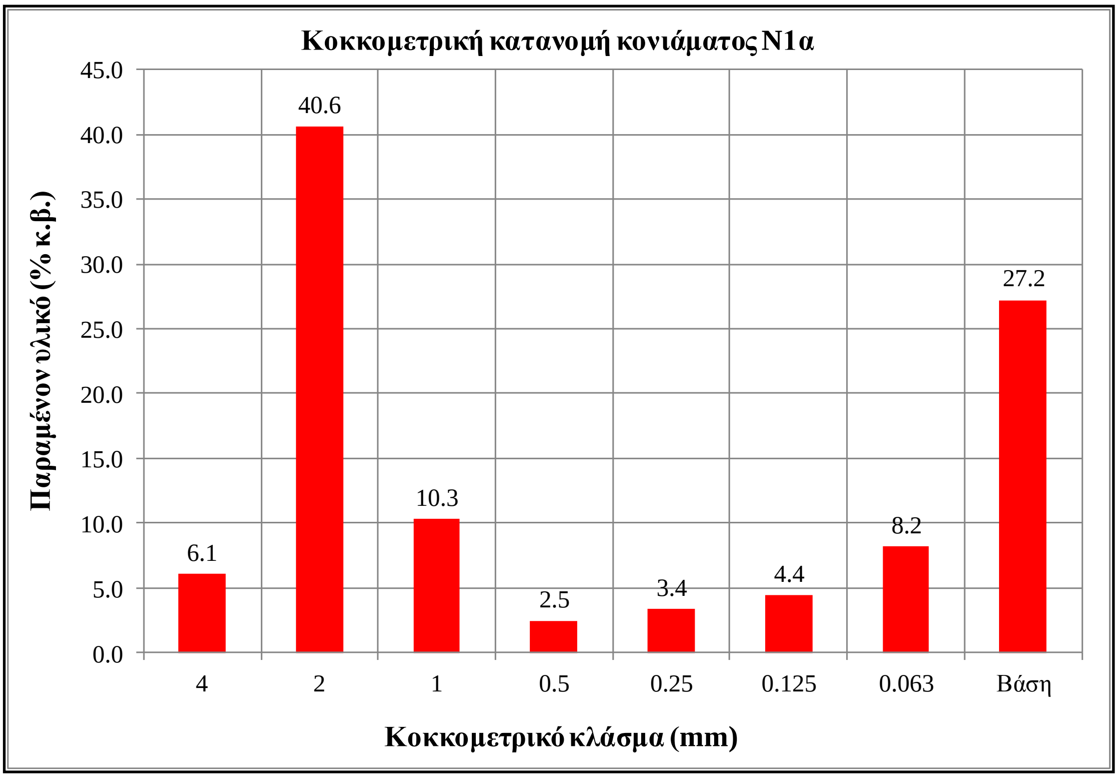
- Βάρος αρχικού δείγματος (εν ξηρώ): 57,8 γρ.
- Βάρος αδρανών: 37,9 γρ.
- Βάρος κονίας: 19,9 γρ.

Η αναλογία **Συνδετικής Κονίας : Αδρανή υλικά = 1μέρος κονίας : 2 μέρη αδρανών.**

Στην Εικόνα 5.4, παρουσιάζεται η κοκκομετρική καμπύλη του κονιάματος **Ν1α** όπως αυτή προκύπτει από τα αποτελέσματα της υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης. Από την ποσοστιαία κοκκομετρική κατανομή των επί μέρους κλασμάτων του κονιάματος (Εικόνα 5.5), διαπιστώνεται ότι μέρος των αδρανών που απαρτίζουν το κονίαμα, εμφανίζει σημαντικό ποσοστό κόκκων με μέγεθος μεγαλύτερο από τα 2 mm (46,7%), μια αρκετά ομοιόμορφη κατανομή στα κλάσματα του υλικού που είναι μικρότερα από τα 0.5 mm και ένα ποσοστό 35% στο λεπτομερές κλάσμα που αντιπροσωπεύει την κονία.

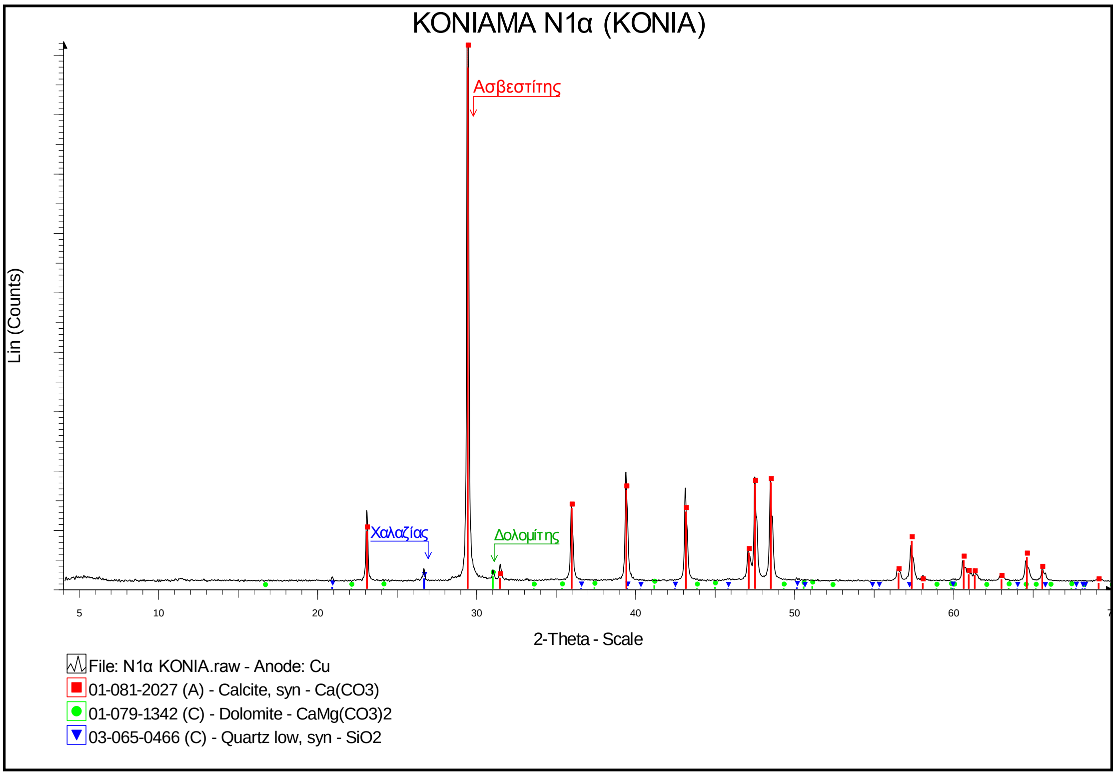



**Εικόνα 5.4** Κοκκομετρική καμπύλη του κονιάματος **Ν1α**, σύμφωνα με το ποσοστό αθροιστικά διερχόμενων κόκκων (αδρανές και κονία) από τα κόσκινα.




**Εικόνα 5.5** Κοκκομετρική κατανομή του κονιάματος **Ν1α**.

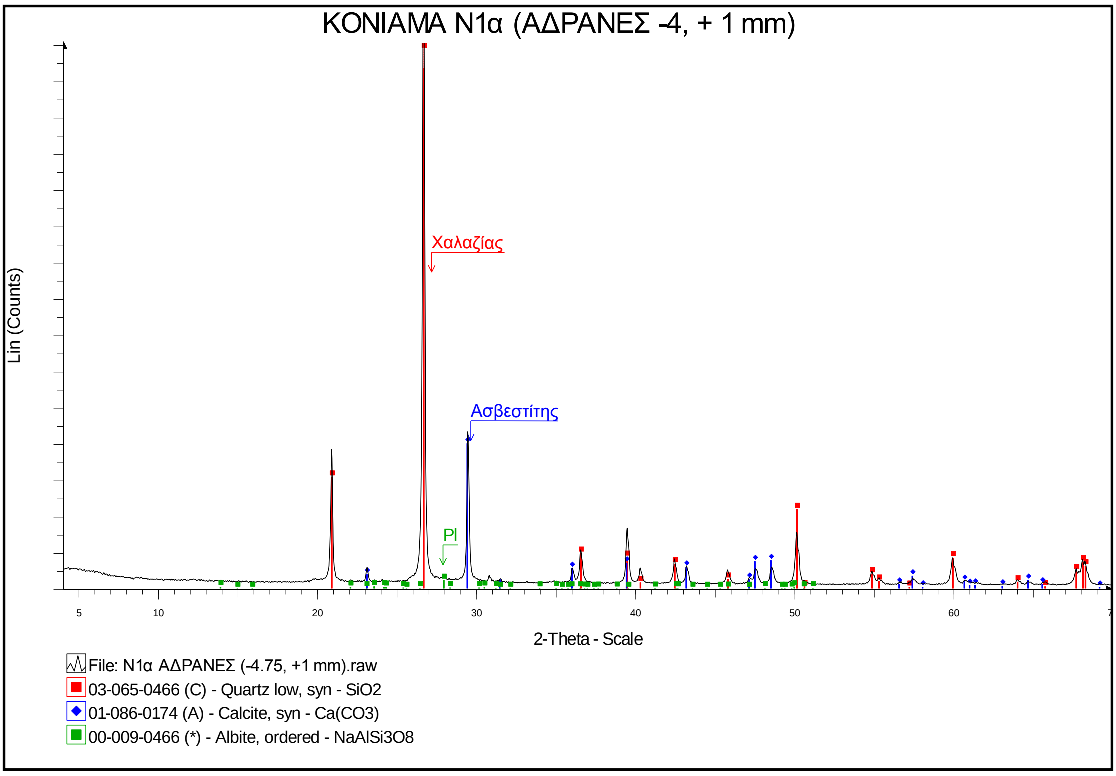
➢ <u>Ορυκτολογική ανάλυση</u>



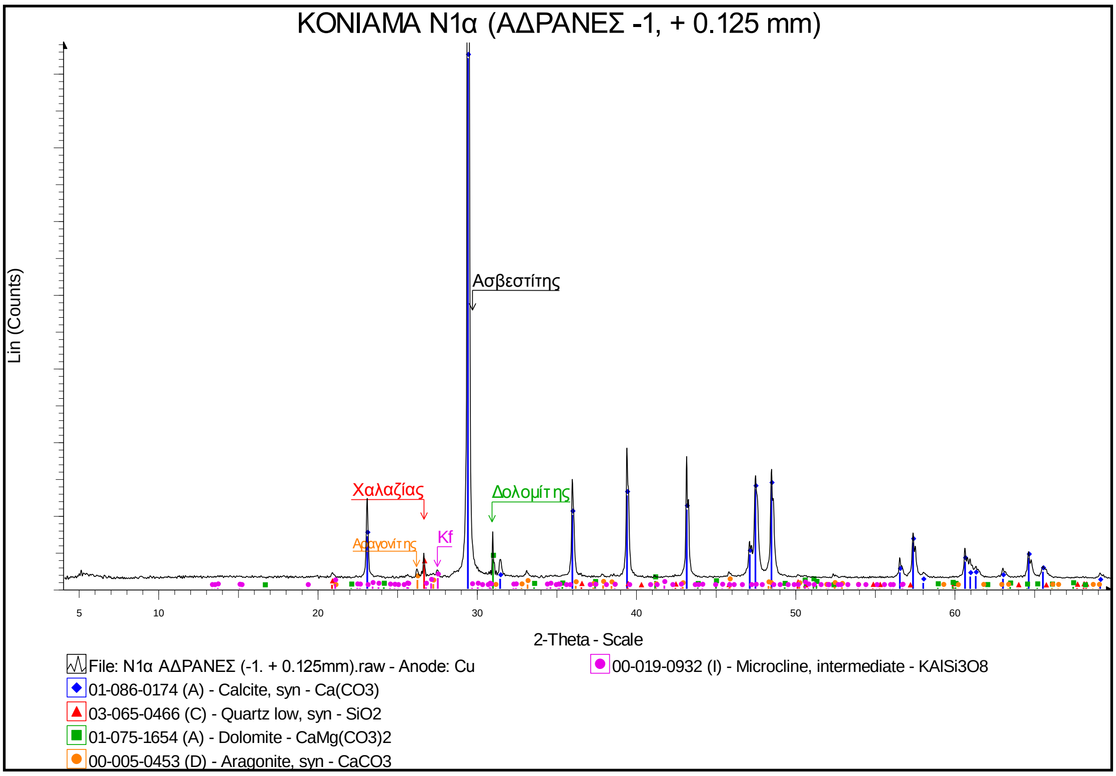

**Εικόνα 5.6** Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD), του συνδετικού υλικού (κονία, κλάσμα <0.063 mm) του κονιάματος **Ν1α**. Calcite = Ασβεστίτης, Dolomite = Δολομίτης, Quartz =Χαλαζίας.

Σύμφωνα με την ορυκτολογική ανάλυση της κονίας του δείγματος **Ν1α,** διαπιστώνεται ότι η συνδετική κονία είναι ασβεστιτικής προέλευσης (κονία υδρασβέστου) και υψηλής καθαρότητας, λόγω της απουσίας προσμίξεων σε αυτή. Η παρουσία μικρής ποσότητας δολομίτη στο δείγμα της κονίας, υποδηλώνει πως η πρώτη ύλη που είχε χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή της κονίας υδρασβέστου ήταν ασβεστόλιθος υψηλής καθαρότητας με μικρά ποσοστά συμμετοχής δολομίτη στη σύστασή του. Ο χαλαζίας που ανιχνεύτηκε προέρχεται από λεπτομερείς ποσότητες των αδρανών υλικών που πέρασαν στο λεπτομερές κλάσμα της συνδετικής κονίας.

Από την παρατήρηση των επί μέρους κλασμάτων διαχωρισθέντων αδρανών στο στερεοσκόπιο, προέκυψε πως τα πιο αδρομερή κλάσματα (-4, +1mm) αποτελούνται από στρογγυλεμένους κόκκους διαφορετικών αποχρώσεων, ενώ στα πιο λεπτομερή, επικρατούν κυρίως λευκόχρωμοι κόκκοι λατυποπαγοειδούς υφής (Παράρτημα ΙΙ, Εικόνες 1 – 6). Για το λόγο αυτό κρίθηκε αναγκαία η ορυκτολογική μελέτη και των δυο κλασμάτων.




**Εικόνα 5.7** Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD) του αδρανούς κλάσματος (- 4, + 1 mm) του κονιάματος **Ν1α**. Quartz= Χαλαζίας, Calcite= Ασβεστίτης, Albite (Pl) = Πλαγιόκλαστο.




**Εικόνα 5.8** Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD) του αδρανούς κλάσματος (- 1, + 0.125 mm) του κονιάματος **Ν1α**. Calcite = Ασβεστίτης, Quartz = Χαλαζίας, Dolomite = Δολομίτης, Aragonite = Αραγονίτης, Microcline (Kf) = Καλιούχος άστριος.

Τα αδρανή υλικά του κονιάματος παρουσιάζουν ορυκτολογικά χαρακτηριστικά που παραπέμπουν σε άμμο χαλαζιακής και ασβεστιτικής σύστασης. Στα αδρομερή κλάσματα (Εικόνα 5.7), επικρατεί ο χαλαζίας ενώ στα λεπτομερή (Εικόνα 5.8), ο ασβεστίτης. Τα υλικά των αδρανών που μελετήθηκαν, προέρχεται από υλικά ποτάμιας προέλευσης τα οποία αποτελούνται από θραύσματα πετρωμάτων της Ιονίου Ζώνης που υπάρχουν στην ευρύτερη περιοχή (ασβεστόλιθοι, πυριτόλιθοι, ψαμμίτες και άλλα πετρώματα της ενότητας του Φλύσχη).

➢ <u>Επί μέρους εργαστηριακές αναλύσεις</u>

**Πίνακας 5.2** Συνολικά αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων του κονιάματος **N1α**.

| **Δείγμα N1α** | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Χημική Ανάλυση** | **CaO** | **$SiO_2$** | **$Fe_2O_3$** | **$Al_2O_3$** | **MgO** | **$K_2O$** | **$Na_2O$** | **MnO** | **Απώλεια Πύρωσης** | **Σύνολο** |
| **Κονία** | 47.39 | 3.85 | 0.41 | 1.35 | 2.84 | 0.09 | ίχνη | 0.02 | 42.88 | 98.83 |
| **Αδρανές** | 47.05 | 4.43 | 0.47 | 1.36 | 2.90 | 0.30 | 0.20 | 0.01 | 43.01 | 99.73 |
| **Υδατοαπορροφητικότητα (%)** | | | **Φωτεινότητα (L*)** | | | | **Διαφορά από τέλειο λευκό (ΔΕ*ab)** | | | |
| 13.4 | | | 88.09 | | | | 13.18 | | | |
| **Ορυκτολογική Ανάλυση Κονιάματος** | | | | | | | | | | |
| **Κονία** | | | Ασβεστίτης, Δολομίτης, Χαλαζίας | | | | | | | |
| **Αδρανές** | | | Ασβεστίτης, Αραγονίτης, Δολομίτης, Χαλαζίας. Καλιούχος άστριος, Πλαγιόκλαστο | | | | | | | |

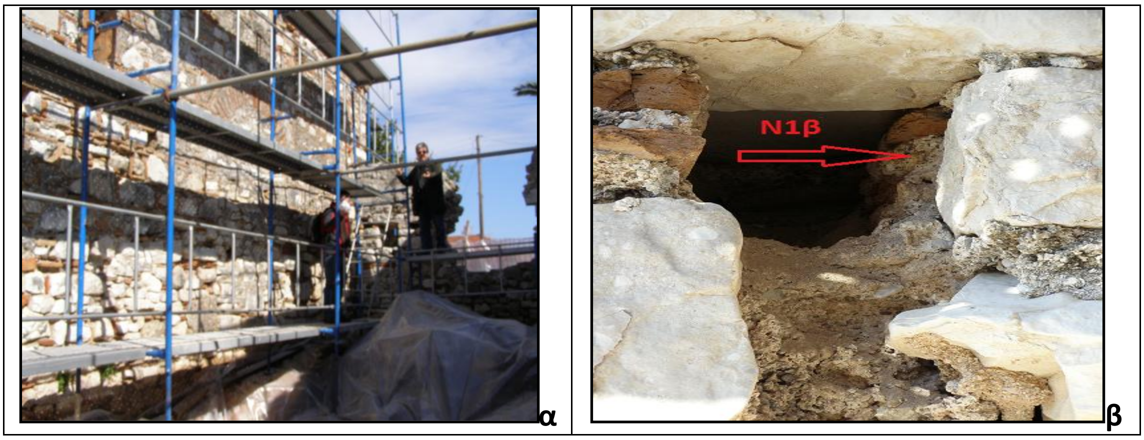
Στις επιμέρους εργαστηριακές αναλύσεις επισημαίνεται πως η χημική ανάλυση τόσο της κονίας, όσο και των αδρανών υλικών βρίσκεται σε πολύ καλή συσχέτιση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ορυκτολογική ανάλυση. Το ίδιο παρατηρήθηκε και για τα υπόλοιπα δείγματα που μελετήθηκαν.

Οι τιμές φωτεινότητας της κονίας (L*=88,09) και της διαφοράς από το τέλειο λευκό (ΔΕ*ab=13,18) είναι χαρακτηριστικές της λευκής απόχρωσης του κονιάματος. Το κονίαμα έχει σχετικά χαμηλές τιμές υδατοαπορροφητικότητας (13,4%), παράμετρος η οποία σχετίζεται με το γεγονός ότι, όπως διαπιστώθηκε από την μακροσκοπική παρατήρηση, πρόκειται για ένα ικανοποιητικά συμπαγές κονίαμα που παρουσιάζει αρκετά καλή συνεκτικότητα και συνάφεια μεταξύ της κονίας και των αδρανών.

Δείγμα 2. (Κωδικός δείγματος Ν1β)

➢ <u>Θέση δειγματοληψίας</u>

Κονίαμα δυτικά από το κλείσιμο της κεντρικής - μεγάλης θύρας του ναού, αριστερά από το σημείο δειγματοληψίας του κονιάματος **Ν1α** (Εικόνα 5.9α)και κάτω από το μικρό μονότοξο παράθυρο (Παράρτημα Ι - Σχέδιο Α).




**Εικόνα 5.9** Φωτογραφίες από την τοιχοποιία της νότιας πλευράς του καθολικού του Ι.Ν (α) και ακριβής θέση δειγματοληψίας (β) του κονιάματος με κωδικό **Ν1β**.

➢ <u>Μακροσκοπική – Μικροσκοπική περιγραφή</u>

Η μακροσκοπική περιγραφή του δείγματος ταυτίζεται με εκείνη του κονιάματος Ν1α. Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή είναι ορατή η ύπαρξη περισσότερων αδρόκκοκων αδρανών υλικών στη σύσταση του κονιάματος (Εικόνα 5.10α). Τα επί μέρους κλάσματα των αδρανών που διαχωρίστηκαν με την υγρή κοκκομετρική ανάλυση του κονιάματος, παρατίθενται στο Παράρτημα ΙΙ (Εικόνες 7 – 11) και παρουσιάζουν τα ίδια ποιοτικά χαρακτηριστικά με εκείνα του δείγματος Ν1α.

α

β

**Εικόνα 5.10** Φωτογραφίες ακέραιων τμημάτων (α) και στιλπνής τομής (β, μεγέθυνση 2x) του κονιάματος **N1β**, στο στερεοσκόπιο.

## ➢ Υγρή κοκκομετρική ανάλυση

**Πίνακας 5.3** Αποτελέσματα υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης κονιάματος **N1β**.

| **Οπή κοσκίνου (mm)** | **Βάρος κοσκίνου (γρ.)** | **Βάρος (κοσκίνου + συγκρατούμενου υλικού) (γρ.)** | **Βάρος συγκρατούμενου υλικού (γρ.)** | **Ποσοστό (% κ.β.) Συγκρατούμενου υλικού** | **Ποσοστό (% κ.β.) Διερχόμενου Υλικού** | **Αθροιστικά ποσοστά (% κ.β.) συγκρατούμενου υλικού** | **Αθροιστικά ποσοστά (% κ.β.) διερχόμενου υλικού** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **4** | 433.8 | 445.1 | 21.3 | 25.9 | 74.1 | 25.9 | 74.1 |
| **2** | 423.8 | 439 | 15.2 | 20.9 | 79.1 | 46.7 | 53.3 |
| **1** | 381.7 | 387.1 | 5.4 | 7.4 | 92.6 | 54.1 | 45.9 |
| **0.5** | 339.7 | 341.8 | 2.1 | 2.9 | 97.1 | 57.0 | 43.0 |
| **0.25** | 333.3 | 334.5 | 1.2 | 1.6 | 98.4 | 58.7 | 41.3 |
| **0.125** | 308.5 | 309.9 | 1.4 | 1.9 | 98.1 | 60.6 | 39.4 |
| **0.063** | 308.1 | 316.5 | 8.4 | 11.5 | 88.5 | 72.1 | 27.9 |
| **Βάση** | 390.5 | 417.8 | 27.3 | 37.4 | 0.0 | 109.6 | 0.0 |

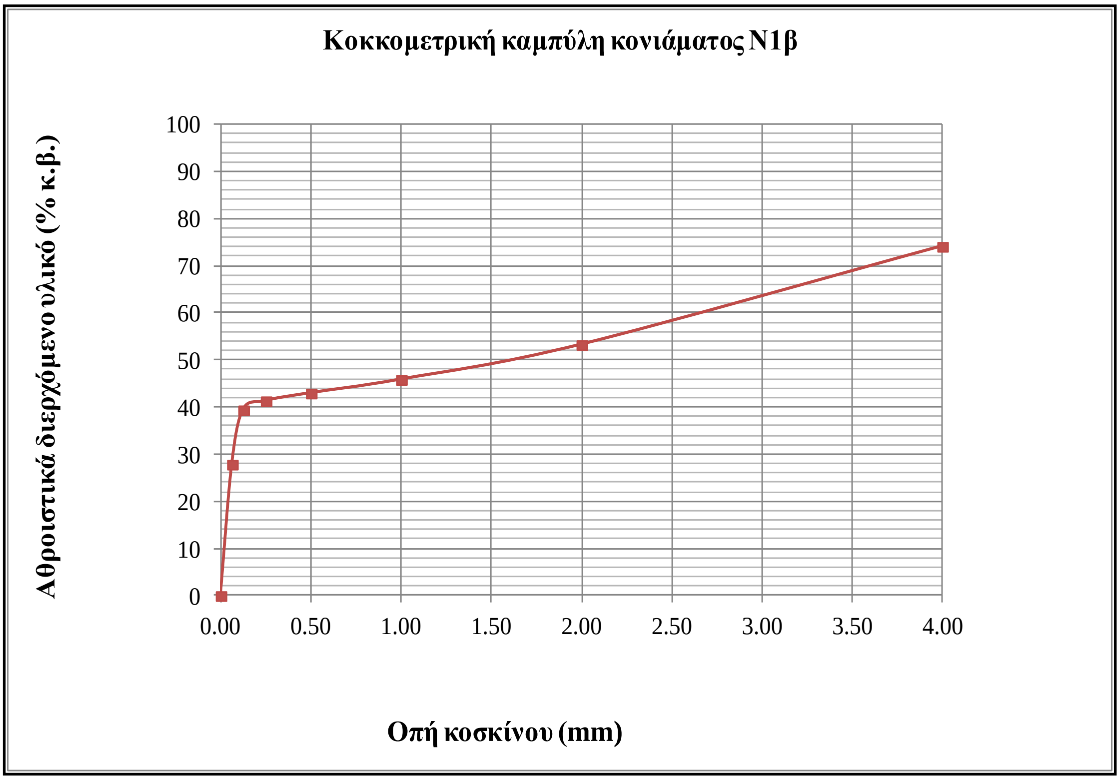
- Βάρος αρχικού δείγματος (εν ξηρώ): 82,3 γρ.
- Βάρος αδρανών: 46,6 γρ.
- Βάρος κονίας: 35,7 γρ.

Η αναλογία **Συνδετικής Κονίας : Αδρανή υλικά = 1μέρος κονίας : 1,3 μέρη αδρανών.**

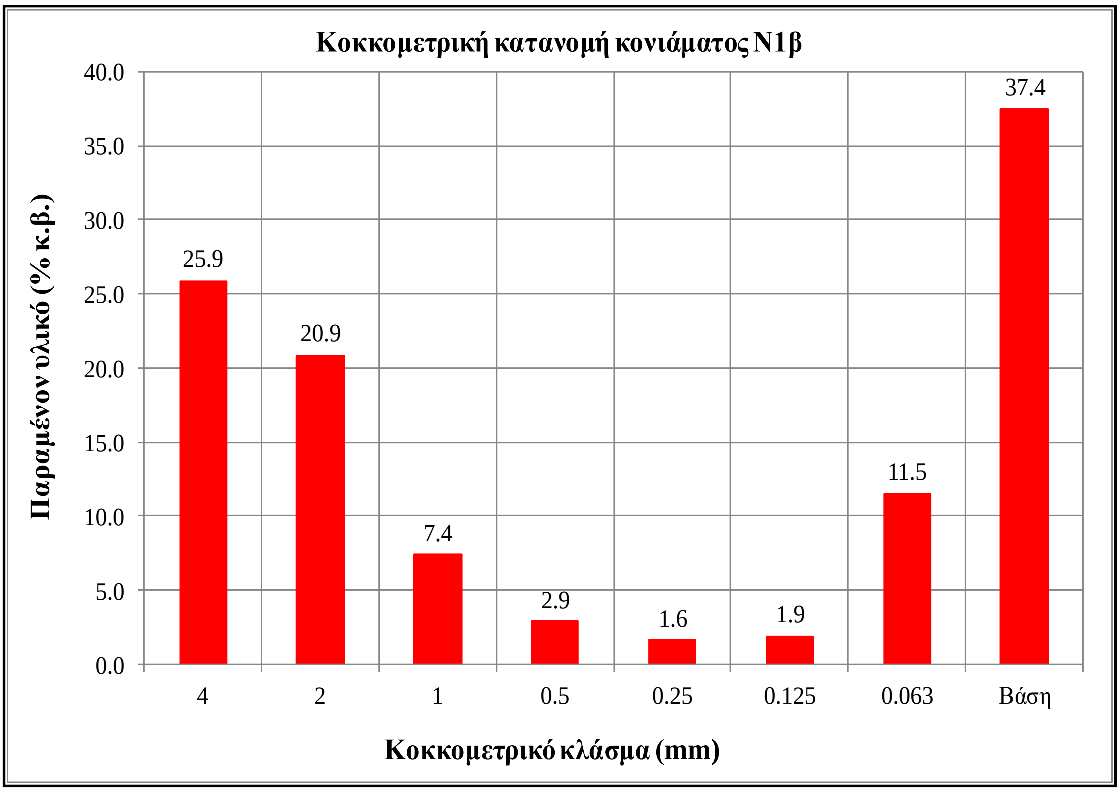
Στην Εικόνα 5.11, παρουσιάζεται η κοκκομετρική καμπύλη του κονιάματος **Ν1β** όπως αυτή προκύπτει από τα αποτελέσματα της υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης. Από την ποσοστιαία κοκκομετρική κατανομή των επί μέρους κλασμάτων του κονιάματος (Εικόνα 5.12), διαπιστώνεται ότι μέρος των αδρανών που απαρτίζουν το κονίαμα εμφανίζει σημαντικό ποσοστό κόκκων με μέγεθος μεγαλύτερο από τα 2 mm (46,8%, ανάλογο με εκείνο που είχε παρατηρηθεί και στο κονίαμα Ν1α), αλλά και μια αρκετά υψηλή ποσοστιαία κατανομή στα κλάσματα του υλικού που είναι μικρότερα από τα 0.063 mm (48.9%, μέρος της κονίας).

Η μακροσκοπική παρατήρηση της ύπαρξης περισσότερο αδρόκκοκων αδρανών στο κονίαμα, πιστοποιήθηκε από τα αποτελέσματα της υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης. Το κλάσμα με μέγεθος μεγαλύτερο από 4 mm καταλαμβάνει ποσοστό 25.9%, σε αντίθεση με το αντίστοιχο κλάσμα του δείγματος Ν1α όπου το ποσοστό αυτό είναι μόλις 6.1%.

Το γεγονός αυτό δικαιολογεί και την μικρότερη αναλογία συνδετικής κονίας : αδρανούς του συγκεκριμένου κονιάματος (1:1,3, έναντι 1:2 του Ν1α). Τα αποτελέσματα αυτά αποδεικνύουν, πως στην περίπτωση αυτή η παρασκευή του κονιάματος δεν έγινε με την ίδια επιμέλεια σε σύγκριση με το προηγούμενο.

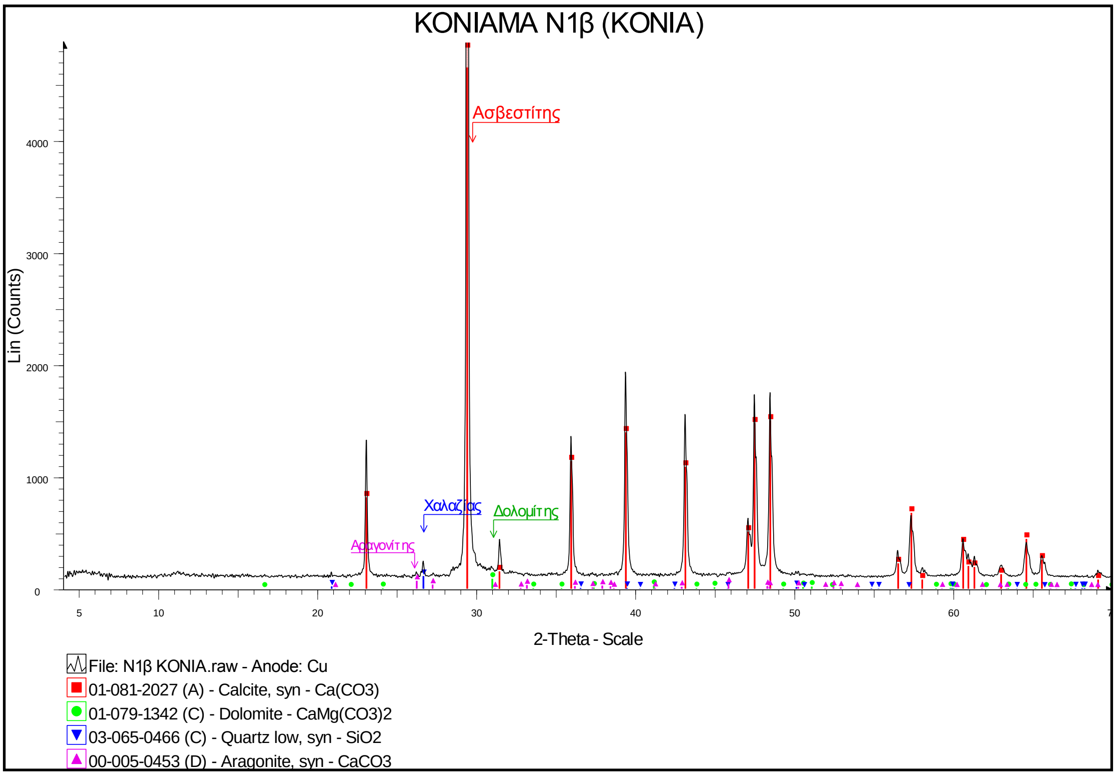



**Εικόνα 5.11** Κοκκομετρική καμπύλη κονιάματος **Ν1β**, σύμφωνα με το ποσοστό αθροιστικά διερχόμενων κόκκων (αδρανές και κονία) από τα κόσκινα.




**Εικόνα 1.12** Κοκκομετρική κατανομή του κονιάματος **Ν1β**.

➢ <u>Ορυκτολογική ανάλυση</u>




**Εικόνα 5.13** Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD), του συνδετικού υλικού (κονία, κλάσμα <0.063 mm) του κονιάματος **Ν1β**. Calcite = Ασβεστίτης, Dolomite = Δολομίτης, Aragonite = Αραγονίτης, Quartz =Χαλαζίας.

Από τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης της κονίας του δείγματος **Ν1β** συνεπάγεται πως η συνδετική κονία έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με εκείνα που προέκυψαν από την αξιολόγηση του κονιάματος Ν1α. Ο χαλαζίας και ο αραγονίτης που ανιχνεύτηκαν στο δείγμα, προέρχονται από λεπτομερείς ποσότητες των αδρανών υλικών που πέρασαν στο λεπτομερές κλάσμα της συνδετικής κονίας. Η ορυκτολογική ανάλυση των αδρανών του κονιάματος **Ν1β**, ταυτίζεται με εκείνη που αντιστοιχεί στο κονίαμα Ν1α.

➢ Επί μέρους εργαστηριακές αναλύσεις

**Πίνακας 5.4** Συνολικά αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων του κονιάματος **Ν1β**.

| **Δείγμα Ν1β** | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Χημική Ανάλυση Κονία** | **CaO** | **$SiO_2$** | **$Fe_2O_3$** | **$Al_2O_3$** | **MgO** | **$K_2O$** | **$Na_2O$** | **MnO** | **Απώλεια Πύρωσης** | **Σύνολο** |
| | 48.10 | 3.12 | 0.31 | 0.96 | 2.44 | 0.07 | ίχνη | 0.01 | 43.65 | 98.67 |
| **Αδρανές** | 47.25 | 4.36 | 0.43 | 1.26 | 2.98 | 0.30 | 0,26 | 0.01 | 43.21 | 99.80 |
| **Υδατοαπορροφητικότητα (%)** | | | **Φωτεινότητα (L*)** | | | | **Διαφορά από τέλειο λευκό (ΔΕ*ab)** | | | |
| 14.1 | | | 88.11 | | | | 13.20 | | | |
| **Ορυκτολογική Ανάλυση** | | | | | | | | | | |
| **Κονία** | | | Ασβεστίτης, Δολομίτης, Αραγονίτης, Χαλαζίας | | | | | | | |
| **Αδρανές** | | | Ασβεστίτης, Αραγονίτης, Δολομίτης, Χαλαζίας. Καλιούχος άστριος, Πλαγιόκλαστο | | | | | | | |

Οι τιμές φωτεινότητας της κονίας (L*=88,11) και της διαφοράς από το τέλειο λευκό (ΔΕ*ab=13,20) είναι χαρακτηριστικές της λευκής απόχρωσης του κονιάματος. Το κονίαμα έχει σχετικά χαμηλές τιμές υδατοαπορροφητικότητας (14.1%). Πρόκειται για ένα ικανοποιητικά συμπαγές κονίαμα που παρουσιάζει αρκετά καλή συνεκτικότητα και συνάφεια μεταξύ της κονίας και των αδρανών.

Δείγμα 3. (Κωδικός δείγματος Ν2)

➢ Θέση δειγματοληψίας

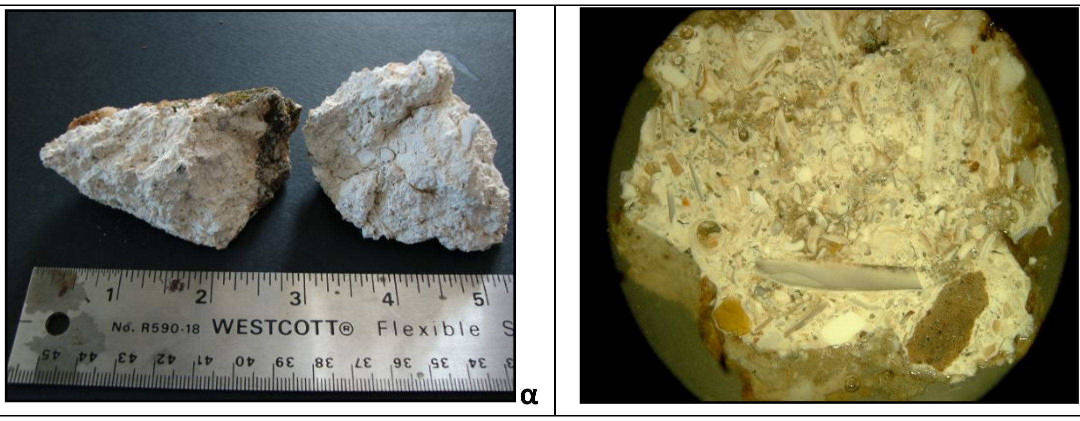
Κονίαμα από το κλείσιμο της κεντρικής μεγάλης θύρας του ναού (Παράρτημα Ι - Σχέδιο Α).

α β

**Εικόνα 5.14** Φωτογραφίες από την τοιχοποιία της νότιας πλευράς του καθολικού του Ι.Ν, στο κλείσιμο της κεντρικής μεγάλης θύρας (α) και ακριβής θέση δειγματοληψίας (β) του κονιάματος με κωδικό **Ν2**.

➢ Μακροσκοπική – Μικροσκοπική περιγραφή

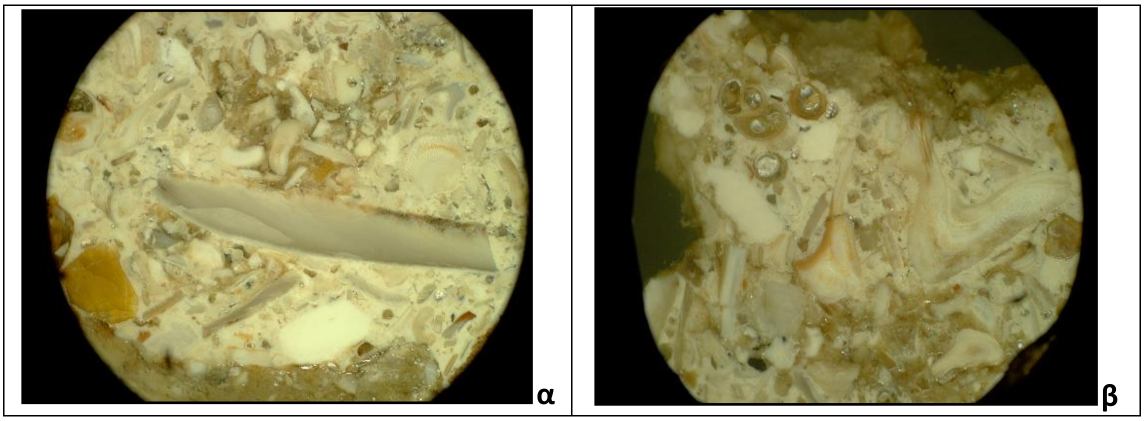
Το κονίαμα με κωδικό **Ν2** (Εικόνα 5.14), διαφέρει οπτικά από εκείνα των Ν1α και Ν1β και χαρακτηρίζεται από τη μεγάλη ποσότητα θραυσμάτων κοχυλιών που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή του. Από την αυτοψία που πραγματοποιήθηκε, προέκυψε πως ανάλογης σύστασης κονιάματα υπάρχουν και σε άλλες θέσεις του Ι.Ν., όπως και στο οικοδόμημα που βρίσκεται παράπλευρα της νότιας πλευράς του, η κατασκευή του οποίου έχει γίνει αποκλειστικά με ασβεστοκονίαμα που περιέχει σε διαφορετικές αναλογίες θραύσματα κοχυλιών και κελύφη οστράκων. Συνεπώς, κονιάματα αυτού του είδους αποτελούν μεταγενέστερες επεμβάσεις.



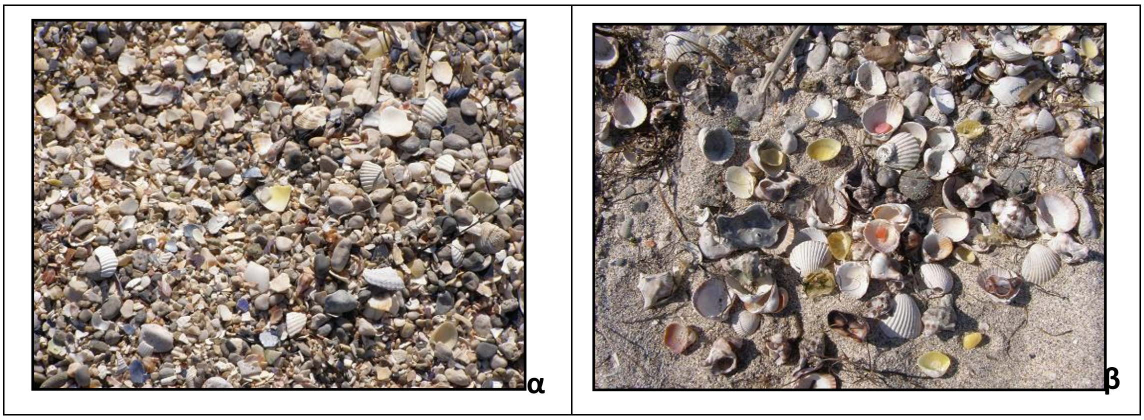
α β

**Εικόνα 5.15** Φωτογραφίες ακέραιων τμημάτων (α) και στιλπνής τομής (β, μεγέθυνση 2x) του κονιάματος **Ν2**, στο στερεοσκόπιο.

Η παρατήρηση των στιλπνών τομών στο στερεοσκόπιο επιβεβαίωσε την ύπαρξη θραυσμάτων κελυφών, οστράκων διαφορετικού μεγέθους και σχήματος, όπως επίσης και την παρουσία ασβεστολιθικών και χαλαζιακών αδρανών (Εικόνες 5.15β., 5.16α,β).




**Εικόνα 5.16** Φωτογραφίες στιλπνών τομών του κονιάματος **N2** στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x).




**Εικόνα 5.17** Φωτογραφίες από τον αιγιαλό της Κορωνησίας, σε θέση πλησίον του Ι.Ν. Διακρίνονται πληθώρα κοχυλιών, κελύφη οστράκων και αποστρογγυλεμένες ψηφίδες διαφορετικούς μεγέθους.

➢ <u>Υγρή κοκκομετρική ανάλυση</u>

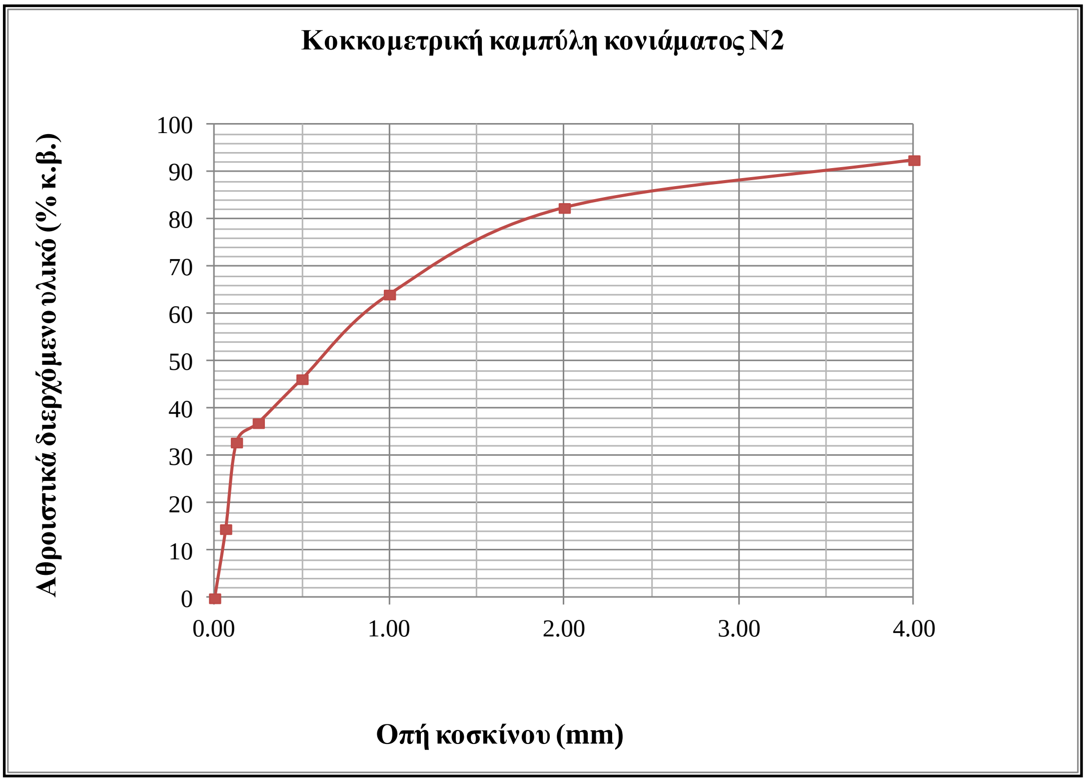
**Πίνακας 5.5** Αποτελέσματα υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης κονιάματος **N2**.

| Οπή κοσκίνου (mm) | Βάρος κοσκίνου (γρ.) | Βάρος (κοσκίνου + συγκρατούμενου υλικού) (γρ.) | Βάρος συγκρατούμενου υλικού (γρ.) | Ποσοστό (% κ.β.) Συγκρατούμενου υλικού | Ποσοστό (% κ.β.) Διερχόμενου Υλικού | Αθροιστικά ποσοστά (% κ.β.) συγκρατούμενου υλικού | Αθροιστικά ποσ. (% κ.β.) διερχόμενου υλικού |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **4** | 433.8 | 439.2 | 5.4 | 7.4 | 92.6 | 7.4 | 92.6 |
| **2** | 423.8 | 431.2 | 7.4 | 10.1 | 89.9 | 17.5 | 82.5 |
| **1** | 381.7 | 395.1 | 13.4 | 18.3 | 81.7 | 35.8 | 64.2 |
| **0.5** | 339.7 | 352.8 | 13.1 | 17.9 | 82.1 | 53.7 | 46.3 |
| **0.25** | 333.4 | 340.2 | 6.8 | 9.3 | 90.7 | 63.0 | 37.0 |
| **0.125** | 308.5 | 311.5 | 3 | 4.1 | 95.9 | 67.1 | 32.9 |
| **0.063** | 308.2 | 321.6 | 13.4 | 18.3 | 81.7 | 85.4 | 14.6 |
| **Βάση** | 390.6 | 401.3 | 10.7 | 14.6 | 0.0 | 100.0 | 0.0 |

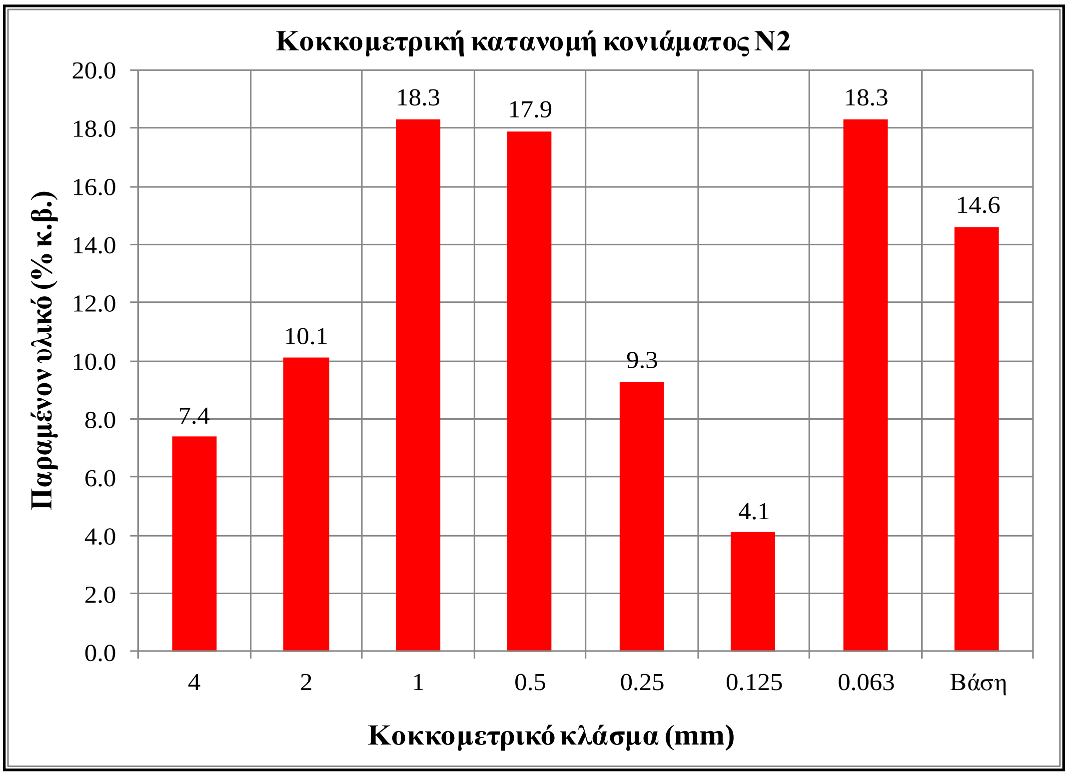
- Βάρος αρχικού δείγματος (εν ξηρώ): 73,2 γρ.
- Βάρος αδρανών: 49,1 γρ.
- Βάρος κονίας: 24,1 γρ.

Η αναλογία **Συνδετικής Κονίας : Αδρανή υλικά = 1μέρος κονίας : 2 μέρη αδρανών.**

Στην Εικόνα 5.18, παρουσιάζεται η κοκκομετρική καμπύλη του κονιάματος **N2** όπως αυτή προκύπτει από τα αποτελέσματα της υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης. Από την ποσοστιαία κοκκομετρική κατανομή των επί μέρους κλασμάτων του κονιάματος (Εικόνα 5.19), διαπιστώνεται ότι το μέρος των αδρανών που απαρτίζουν το κονίαμα εμφανίζεται εμπλουτισμένο στα κλάσματα -2.00, + 0.25 mm (45,5%). Συνεπώς, η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών του κονιάματος **N2** χαρακτηρίζεται ως σχετικά ανομοιόμορφη.

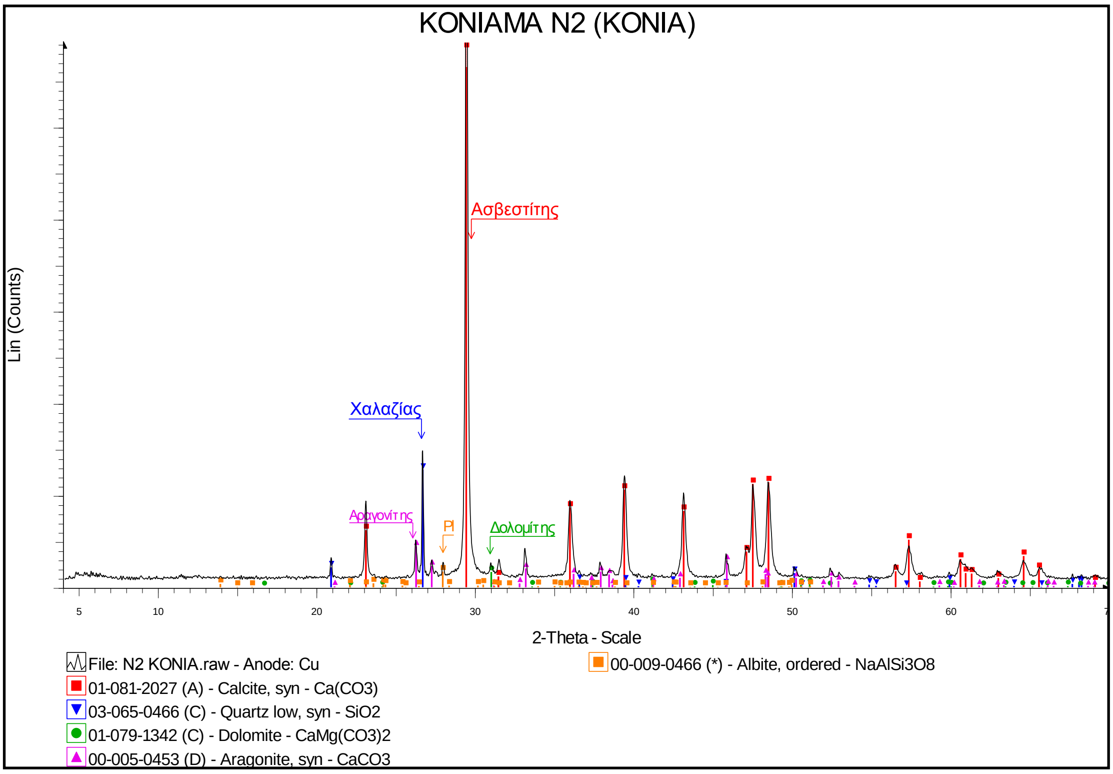



**Εικόνα 5.18** Κοκκομετρική καμπύλη κονιάματος **Ν2**, σύμφωνα με το ποσοστό αθροιστικά διερχόμενων κόκκων (αδρανές και κονία) από τα κόσκινα.

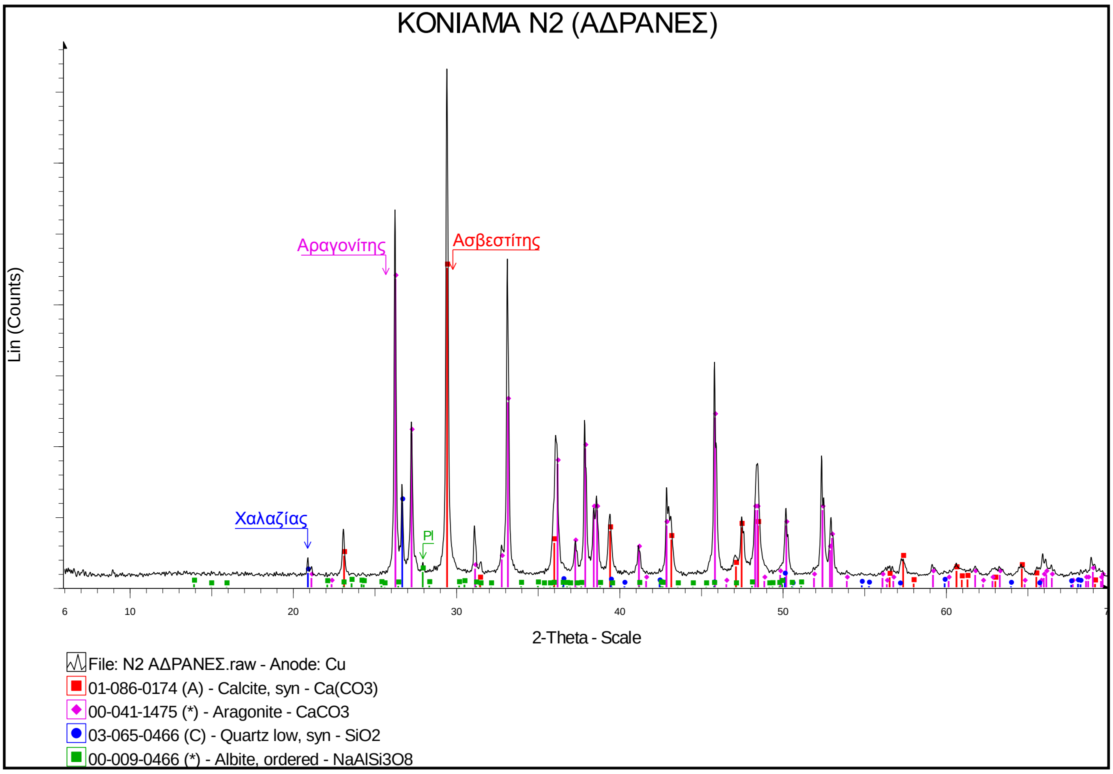



**Εικόνα 5.19** Κοκκομετρική κατανομή του κονιάματος **Ν2**.

➢ <u>Ορυκτολογική ανάλυση</u>




**Εικόνα 5.20** Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD), του συνδετικού υλικού (κονία, κλάσμα <0.063 mm) του κονιάματος **N2**. Calcite=Ασβεστίτης, Dolomite=Δολομίτης, Aragonite = Αραγονίτης, Quartz=Χαλαζίας, Albite (Pl) = Πλαγιόκλαστο.




**Εικόνα 5.21** Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD), του αδρανούς κλάσματος (-1.00, +0.5 mm) του κονιάματος **N2**. Calcite=Ασβεστίτης, Aragonite = Αραγονίτης, Quartz=Χαλαζίας, Albite (Pl) = Πλαγιόκλαστο.

Από τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης της κονίας του δείγματος **N2**, διαπιστώνεται πως η συνδετική ύλη είναι ασβεστιτικής σύστασης. Ωστόσο, η παρουσία των δευτερευόντων ορυκτολογικών συστατικών που ανιχνεύτηκαν (χαλαζίας, αραγονίτης και πλαγιόκλαστο), είναι αναλογικά μεγαλύτερη σε σχέση με τα αντίστοιχα των κονιαμάτων N1α και N1β.

Ο αραγονίτης και το πλαγιόκλαστο, προέρχονται από λεπτομερείς ποσότητες των αδρανών υλικών που πέρασαν στο κλάσμα της κονίας. Αντίθετα, η αυξημένη ποσότητα χαλαζία εκτιμάται πως προέρχεται από αυτή καθαυτή την πρώτη ύλη παραγωγής της παρούσας συνδετικής κονίας ασβεστιτικής σύστασης και πιο συγκεκριμένα από εμφανίσεις πυριτόλιθων που υπήρχαν εντός του ασβεστολιθικού σχηματισμού.

Τα αδρανή υλικά του κονιάματος **N2** που διαχωρίστηκαν με την υγρή κοκκομετρική ανάλυση (Παράρτημα ΙΙ, Εικόνες 12 – 17), έδειξαν ότι αποτελούνται κυρίως από θραύσματα οστράκων-κοχυλιών και μικρό μέρος ασβεστολιθικών αδρανών.

Τα ανθρακικά ορυκτά που ανιχνεύτηκαν στο δείγμα **N2** είναι ο ασβεστίτης ($CaCO_3$-τριγωνικό σύστημα κρυστάλλωσης), ο αραγονίτης ($CaCO_3$-ορθορομβικό σύστημα κρυστάλλωσης) και ο δολομίτης {$CaMg(CO_3)_2$-τριγωνικό σύστημα κρυστάλλωσης}. Ο ασβεστίτης αποτελεί τη συνηθέστερη μορφή του κρυσταλλικού ανθρακικού ασβεστίου σε συνήθεις θερμοκρασίες και είναι το κύριο ανθρακικό ορυκτό όλων των δειγμάτων που εξετάστηκαν. Ο αραγονίτης έχει υψηλότερη πυκνότητα και σκληρότητα από τον ασβεστίτη και δεν αναπτύσσει τέλειο ρομβοεδρικό σχισμό (Deer et al., 1996).

Τα κοχύλια, που είναι άδεια κελύφη νεκρών θαλάσσιων μαλακίων, συχνά βρίσκονται στις ακτές, μέσα στην άμμο ή ανάμεσα από τα βότσαλα (Εικόνα 5.17α). Τα κελύφη αυτών των θαλάσσιων οργανισμών αποτελούνται από ανθρακικό ασβέστιο. Η ορυκτολογική σύσταση και η μικροδομή των ασβεστολιθικών οστράκων έχει αποτελέσει αντικείμενο λεπτομερών ερευνών. Η κρυστάλλωση του ανθρακικού ασβεστίου στα κελύφη γίνεται αρχικά με τη μορφή αραγονίτη και μετέπειτα ασβεστίτη και επηρεάζεται ανάλογα με τη θερμοκρασία των νερών στα οποία δημιουργήθηκαν. Η αραγονιτική σύσταση έχει συνδεθεί με θερμά περιβάλλοντα, ενώ η ασβεστιτική με λιγότερο θερμά (Συρίδης, 2010).

Υπάρχουν ορισμένες παραλίες που παρουσιάζουν μια ασυνήθιστα μεγάλη συσσώρευση κοχυλιών. Οι παραλίες του νομού Άρτας βρίσκονται στον Αμβρακικό κόλπο δίπλα στις λιμνοθάλασσες και τους υδροβιότοπους. Το χαρακτηριστικό τους είναι ότι είναι αμμουδερές, αβαθείς, ζεστές και η άμμος τους είναι γεμάτη με διαφόρων ειδών κοχύλια. Στην περιοχή της Κορωνησίας και πλησίον του Ι.Ν. υπάρχουν άμμοι πλούσιοι σε κοχύλια, οι οποίες και χρησιμοποιήθηκαν στην παρασκευή κονιαμάτων που εφαρμόστηκαν στο οικοδομικό συγκρότημα (Εικόνα 5.17β).

- <u>Επί μέρους εργαστηριακές αναλύσεις</u>

**Πίνακας 5.6** Συνολικά αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων του κονιάματος **Ν2**.

| **Δείγμα Ν2** | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Χημική Ανάλυση** | **CaO** | **$SiO_2$** | **$Fe_2O_3$** | **$Al_2O_3$** | **MgO** | **$K_2O$** | **$Na_2O$** | **MnO** | **Απώλεια Πύρωσης** | **Σύνολο** |
| **Κονία** | 45.73 | 6.25 | 0.56 | 1.22 | 1.78 | 0.13 | 0.45 | 0.03 | 42.54 | 98.69 |
| **Αδρανές** | 49.04 | 4.48 | 0.38 | 0.79 | 0.08 | 0.12 | 0.82 | - | 43.91 | 99.62 |
| **Υδατοαπορροφητικότητα (%)** | | | **Φωτεινότητα (L*)** | | | **Διαφορά από τέλειο λευκό (ΔΕ*ab)** | | | | |
| 23 | | | 86.23 | | | 15.90 | | | | |
| **Ορυκτολογική Ανάλυση** | | | | | | | | | | |
| **Κονία** | | | Ασβεστίτης, Δολομίτης, Αραγονίτης, Χαλαζίας, Πλαγιόκλαστο. | | | | | | | |
| **Αδρανές** | | | Ασβεστίτης, Αραγονίτης, Χαλαζίας, Πλαγιόκλαστο | | | | | | | |

Οι τιμές φωτεινότητας της κονίας (L*=86,23) και της διαφοράς από το τέλειο λευκό (ΔΕ*ab=15,90) είναι χαρακτηριστικές της υπόλευκης απόχρωσης του κονιάματος. Το κονίαμα έχει σχετικά υψηλές τιμές υδατοαπορροφητικότητας (23%). Πρόκειται για ένα μη συμπαγές κονίαμα που παρουσιάζει μέτρια συνεκτικότητα και συνάφεια μεταξύ της κονίας και των αδρανών.

Δείγμα 4. (Κωδικός δείγματος Ν3)

➢ <u>Θέση δειγματοληψίας</u>

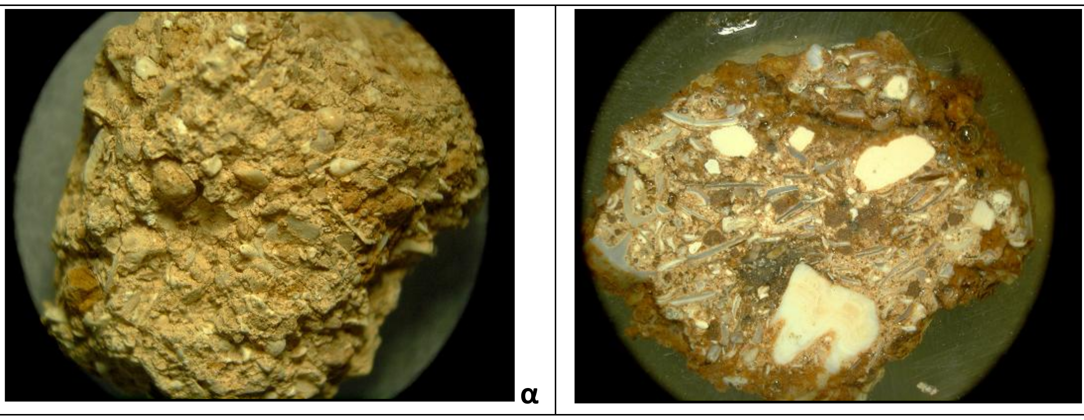
Κονίαμα από το κλείσιμο θύρας του εξωνάρθηκα στην άνω δυτική γωνία της νότιας πλευράς του ναού (Παράρτημα Ι - Σχέδιο Α).


α β

**Εικόνα 5.22** Φωτογραφίες από την τοιχοποιία της νότιας πλευράς του καθολικού του Ι.Ν, στο κλείσιμο θύρας του εξωνάρθηκα (α) και ακριβής θέση δειγματοληψίας (β) του κονιάματος με κωδικό **Ν3**.

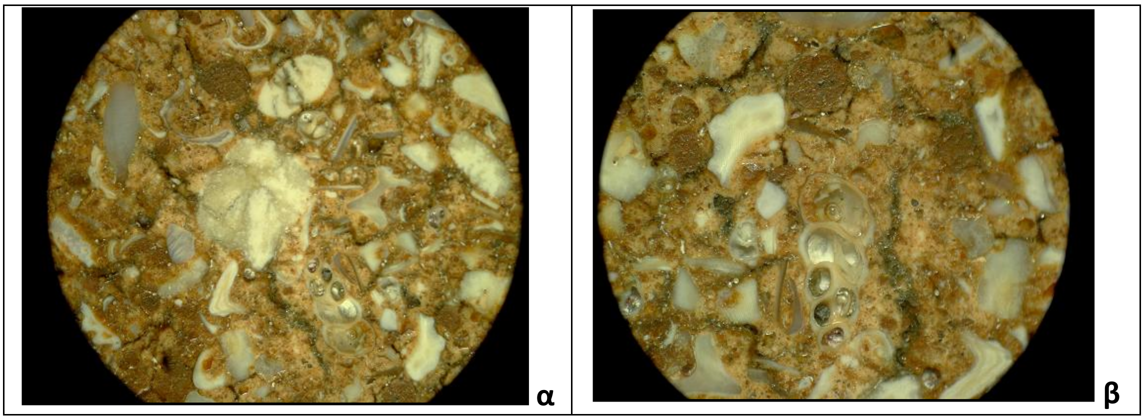
➢ <u>Μακροσκοπική – Μικροσκοπική περιγραφή</u>

Το κονίαμα **Ν3,** ερυθρωπής απόχρωσης (Εικόνα 5.23α) προέρχεται από μεταγενέστερη επέμβαση και αποτελείται από ασβεστολιθικά, χαλαζιακά αδρανή, θραύσματα κελυφών οστράκων και οπτοπλίνθων (Εικόνες 5.23α, 5.24.α,β). Από την εικόνα 5.22 όπου φαίνεται η θέση δειγματοληψίας, διαπιστώνεται η χρήση του κονιάματος για την πλήρωση κενών ανάμεσα στα δομικά στοιχεία της τοιχοποιίας (λίθοι και οπτόπλινθοι), σε μεταγενέστερη φάση επέμβασης.



α β

**Εικόνα 5.23** Φωτογραφίες ακέραιου τμήματος (α) και στιλπνής τομής (β) του κονιάματος **Ν3**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 2x).



**Εικόνα 5.24** Φωτογραφίες στιλπνών τομών του κονιάματος **Ν3**, στο στερεοσκόπιο (α. μεγέθυνση 4x, β. μεγέθυνση 8x).

Πρόκειται για το μόνο κονίαμα από αυτά που αναλύθηκαν, το οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί **ποζολανικό** (μεικτό κονίαμα με υδραυλικά χαρακτηριστικά). Εκτός από την κονία ασβεστιτικής σύστασης, περιέχει και ποσότητα κεραμάλευρου στη σύνθεση του, υλικό που έχει ποζολανικές ιδιότητες. Όλα τα υπόλοιπα κονιάματα και επιχρίσματα είναι **αερικά** (ασβεστοκονιάματα), δηλαδή για την παρασκευή τους έχει χρησιμοποιηθεί αερική και μόνο κονία (υδράσβεστος ή με την κοινή ονομασία “ασβέστης”) και διαφορετικά είδη αδρανών.

- Υγρή κοκκομετρική ανάλυση

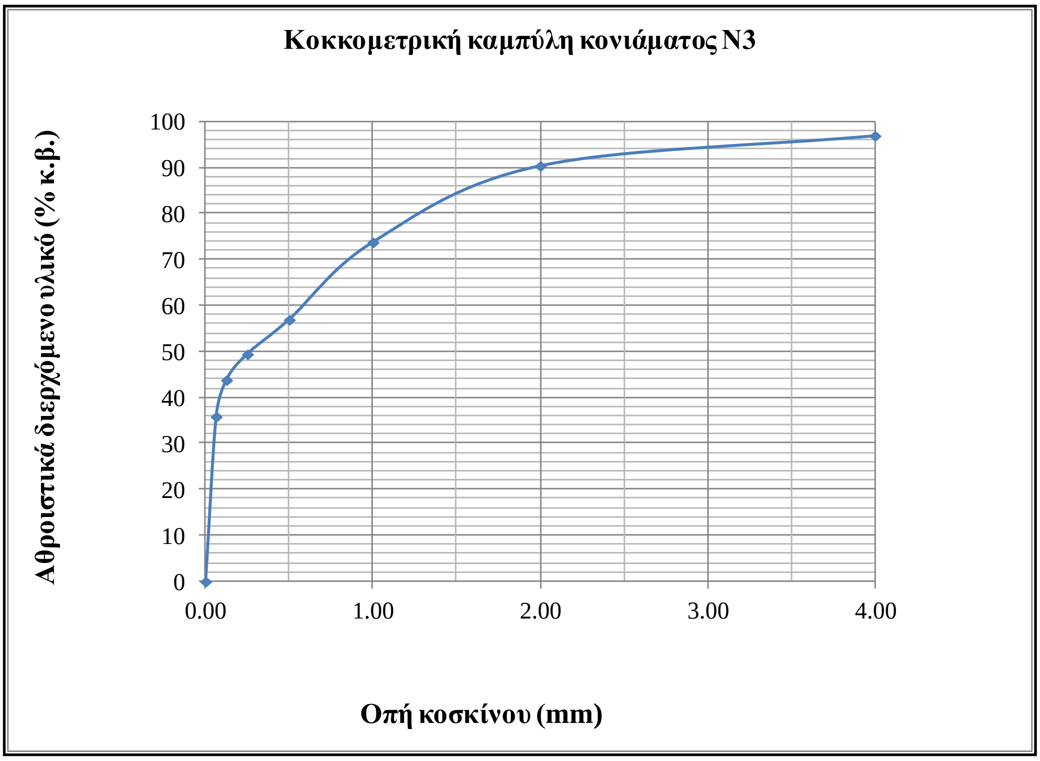
**Πίνακας 5.7** Αποτελέσματα υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης κονιάματος **Ν3**.

| Οπή κοσκίνου (mm) | Βάρος κοσκίνου (γρ.) | Βάρος (κοσκίνου + συγκρατούμενου υλικού) (γρ.) | Βάρος συγκρατούμενου υλικού (γρ.) | Ποσ. (% κ.β.) Συγκρατούμενου υλικού | Ποσοστό (% κ.β.) Διερχόμενου Υλικού | Αθροιστικά ποσοστά (% κ.β.) συγκρατούμενου υλικού | Αθροιστικά ποσ. (% κ.β.) διερχόμενου υλικού |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **4** | 487.5 | 488.8 | 1.3 | 3.0 | 97.0 | 3.0 | 97.0 |
| **2** | 452.4 | 455.2 | 2.8 | 6.6 | 93.4 | 9.5 | 90.5 |
| **1** | 407.1 | 414.2 | 7.1 | 16.6 | 83.4 | 26.2 | 73.8 |
| **0.5** | 374.2 | 381.4 | 7.2 | 16.9 | 83.1 | 43.0 | 57.0 |
| **0.25** | 343.7 | 346.9 | 3.2 | 7.5 | 92.5 | 50.5 | 49.5 |
| **0.125** | 341.3 | 343.7 | 2.4 | 5.6 | 94.4 | 56.1 | 43.9 |
| **0.063** | 322.1 | 325.5 | 3.4 | 8.0 | 92.0 | 64.1 | 35.9 |
| **Βάση** | 347 | 363.2 | 16.2 | 37.9 | 0.0 | 102.0 | 0.0 |

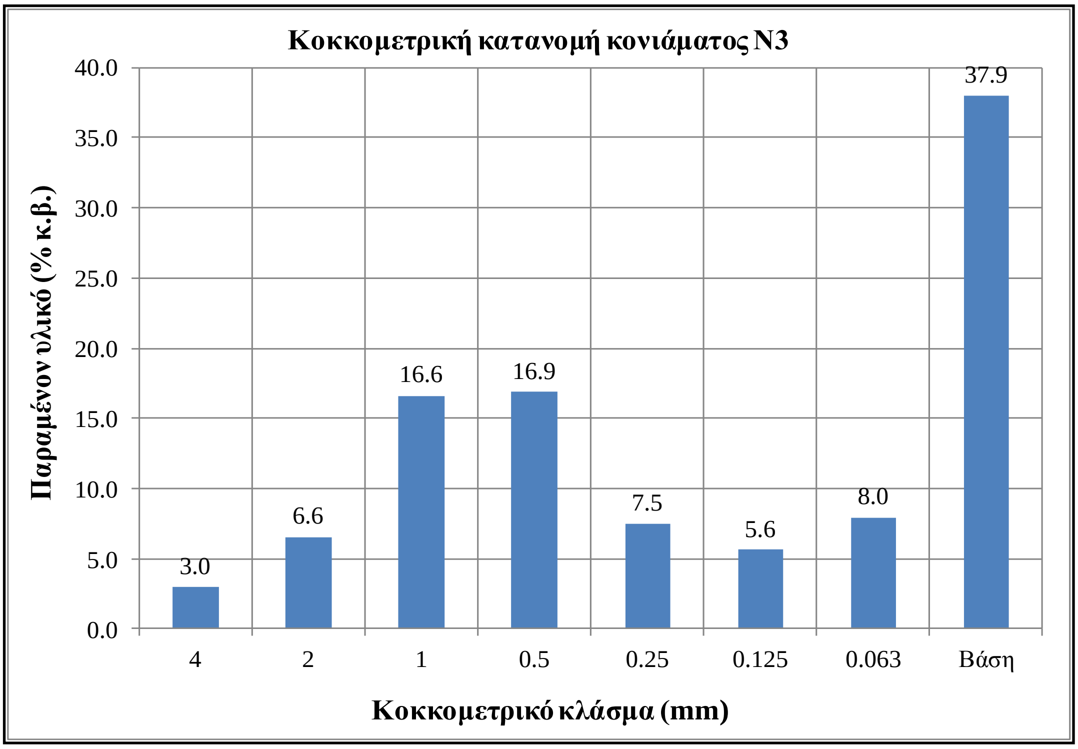
- Βάρος αρχικού δείγματος (εν ξηρώ): 43,6 γρ.
- Βάρος αδρανών: 24 γρ.
- Βάρος κονίας: 19,6 γρ.

Η αναλογία **Συνδετικής Κονίας : Αδρανή υλικά = 1μέρος κονίας : 1,2 μέρη αδρανών.**

Η κοκκομετρική κατανομή των αδρανών που απαρτίζουν το κονίαμα **Ν3** (Εικόνα 5.25), παρουσιάζει μια αρκετά ομοιόμορφη διαβάθμιση. Εξαίρεση αποτελεί το κλάσμα των αδρανών με μέγεθος μεταξύ 1.00 και 0.5 mm.

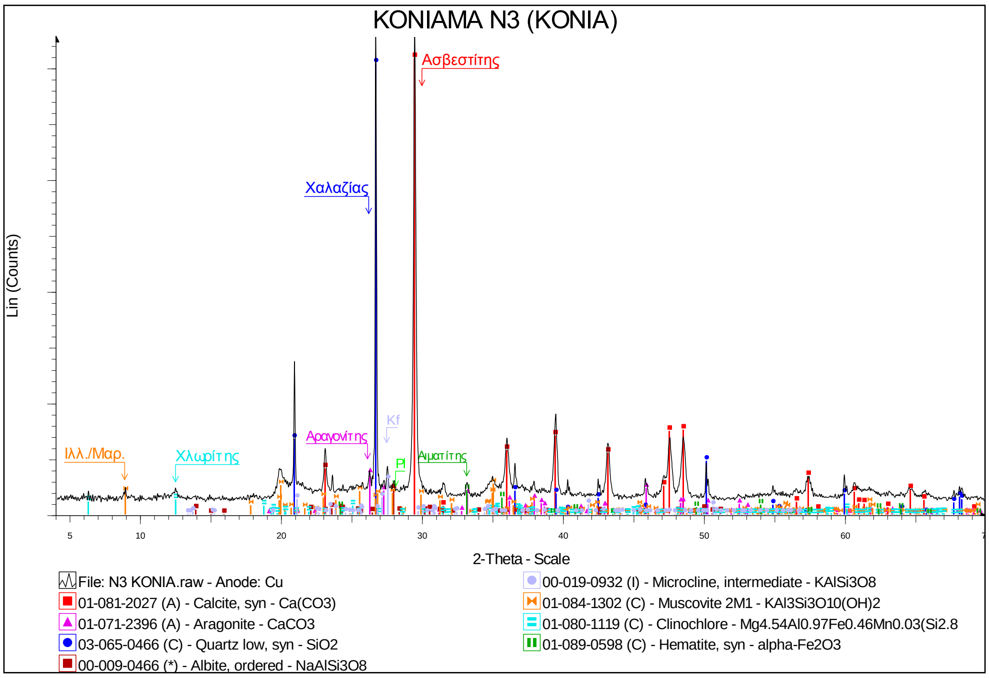



**Εικόνα 5.25** Κοκκομετρική καμπύλη κονιάματος **Ν3**, σύμφωνα με το ποσοστό αθροιστικά διερχόμενων κόκκων (αδρανές και κονία) από τα κόσκινα.

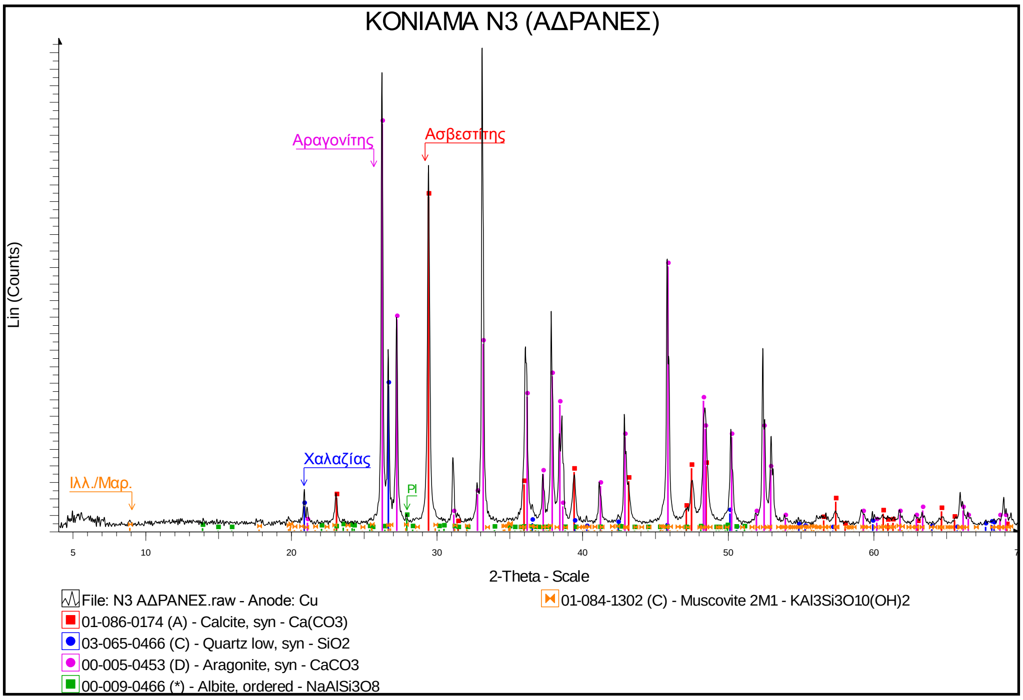



**Εικόνα 5.26** Κοκκομετρική κατανομή του κονιάματος **Ν3**.

## ➢ Ορυκτολογική ανάλυση




**Εικόνα 5.27** Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD), του συνδετικού υλικού (κονία, κλάσμα <0.063 mm) του κονιάματος **N3**. Calcite=Ασβεστίτης, Aragonite = Αραγονίτης, Quartz=Χαλαζίας, Albite (Pl) = Πλαγιόκλαστο, Microcline (Kf) = Καλιούχος άστριος, Hematite = Αιματίτης, Clinochlore = Χλωρίτης, Muscovite =Μαρμαρυγίας.




**Εικόνα 5.28** Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD), του αδρανούς κλάσματος (-1.00, +0.5 mm) του κονιάματος **N3**.Calcite=Ασβεστίτης, Aragonite = Αραγονίτης, Quartz=Χαλαζίας, Albite (Pl) = Πλαγιόκλαστο, Muscovite =Μαρμαρυγίας.

Η ορυκτολογική σύσταση της κονίας (Εικόνα 5.27), υποδεικνύει τη προσθήκη κεραμάλευρου στο κονίαμα επέμβασης **Ν3**, λόγω της παρουσίας χαρακτηριστικών ορυκτών φάσεων όπως είναι ο αιματίτης και οι μαρμαρυγίες (φυλλοπυριτικά ορυκτά).

➢ <u>Επί μέρους εργαστηριακές αναλύσεις</u>

**Πίνακας 5.8** Συνολικά αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων του κονιάματος **Ν3**.

| **Δείγμα Ν3** | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Χημική Ανάλυση** | **CaO** | **$SiO_2$** | **$Fe_2O_3$** | **$Al_2O_3$** | **MgO** | **$K_2O$** | **$Na_2O$** | **MnO** | **Απώλεια Πύρωσης** | **Σύνολο** |
| **Κονία** | 26.16 | 29.20 | 6.09 | 6.68 | 1.66 | 1.27 | 0.66 | 0.16 | 27.09 | 98.97 |
| **Αδρανές** | 46.55 | 7.49 | 0.48 | 1.15 | 0.07 | 0.14 | 0.31 | 0.03 | 43 | 99.19 |
| **Υδατοαπορροφητικότητα (%)** | | | **Φωτεινότητα (L*)** | | | | **Διαφορά από τέλειο λευκό (ΔΕ*ab)** | | | |
| 37.2 | | | 71.21 | | | | 38.72 | | | |
| **Ορυκτολογική Ανάλυση** | | | | | | | | | | |
| **Κονία** | | | Ασβεστίτης, Αραγονίτης, Χαλαζίας, Πλαγιόκλαστο, Καλιούχος άστριος, Αιματίτης, Χλωρίτης, Αργιλικά ορυκτά (Ιλλίτης/Μοσχοβίτης) | | | | | | | |
| **Αδρανές** | | | Ασβεστίτης, Αραγονίτης, Χαλαζίας, Πλαγιόκλαστο, Αργιλικά ορυκτά (Ιλλίτης/Μοσχοβίτης) | | | | | | | |

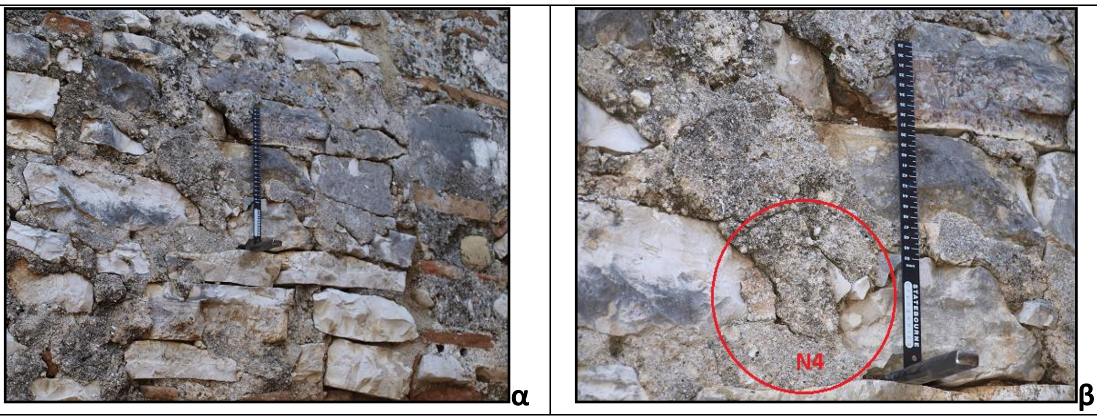
Η χαμηλή τιμή φωτεινότητας της κονίας (L*=71,21) και η σημαντική διαφοράς της από το τέλειο λευκό (ΔΕ*ab=38,72), δικαιολογούνται απόλυτα από την ερυθρή απόχρωση που προσδίδει η κονία στο κονίαμα **Ν3**. Το κονίαμα έχει τη μεγαλύτερη τιμή υδατοαπορροφητικότητας (37.2%), από όλα τα υπόλοιπα δείγματα που μελετήθηκαν εργαστηριακά. Η τιμή αυτή σχετίζεται άμεσα με τη θρυπτικότητα και έλλειψη συνεκτικότητας που το χαρακτηρίζει.

Στο Παράρτημα ΙΙ (Εικόνες 18 – 23), παρουσιάζονται τα επί μέρους κλάσματα των αδρανών που προέκυψαν από την υγρή κοκκομετρική ανάλυση, τα οποία αποτελούνται από ασβεστίτη, αραγονίτη, χαλαζία, πλαγιόκλαστο, και μαρμαρυγίες (Εικόνα 5.28). Η ορυκτολογική σύσταση των αδρανών είναι χαρακτηριστική και απεικονίζει τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και αναφέρθησαν προηγούμενα στη μακροσκοπική περιγραφή.

Δείγμα 5. (Κωδικός δείγματος N4)

➢ <u>Θέση δειγματοληψίας</u>

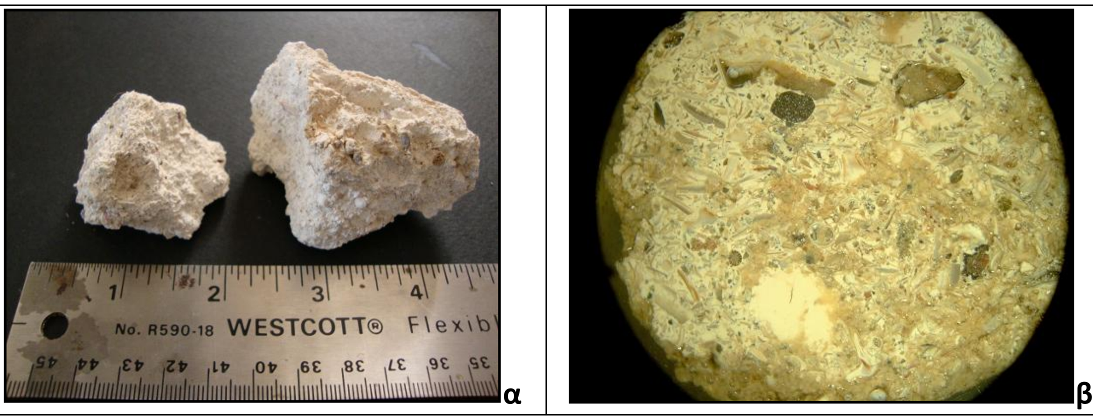
Κονίαμα πίσω από το κονίαμα N3 από τον πλαϊνό τοίχο της θύρας (Παράρτημα Ι - Σχέδιο Α).



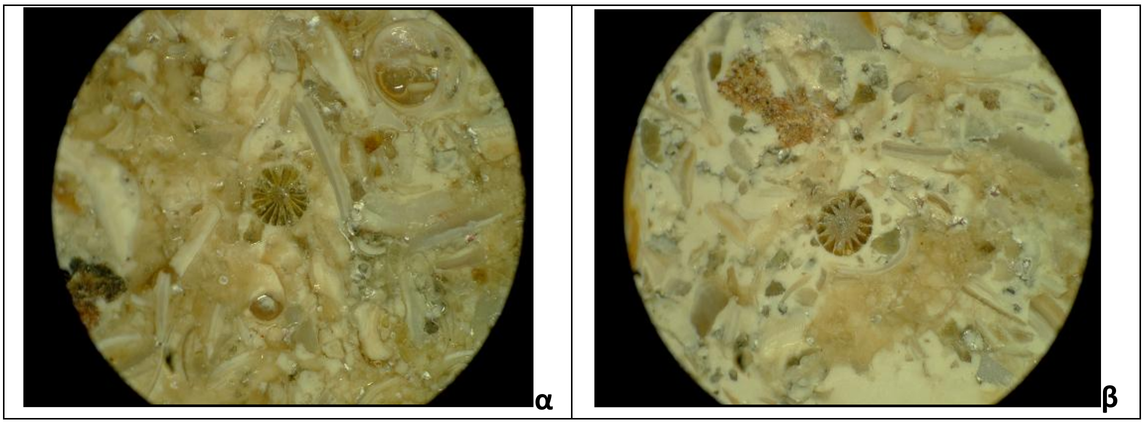

**Εικόνα 5.29** Φωτογραφίες από την τοιχοποιία του κλεισίματος της θύρας πίσω από το σημείο δειγματοληψίας του κονιάματος N3 (α) και ακριβής θέση δειγματοληψίας (β) του κονιάματος με κωδικό **N4**.

➢ <u>Μακροσκοπική περιγραφή</u>

Το κονίαμα **N4** παρουσιάζει ανάλογα χαρακτηριστικά με εκείνα του δείγματος N2, όπως αναφέρθηκαν παραπάνω.




**Εικόνα 5.30** Φωτογραφίες ακέραιων τμημάτων (α) και στιλπνής τομής (β, μεγέθυνση 2x) του κονιάματος **N4**, στο στερεοσκόπιο.



**Εικόνα 5.31** Φωτογραφίες στιλπνών τομών του κονιάματος **Ν4**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 8x).

## ➢ Υγρή κοκκομετρική ανάλυση

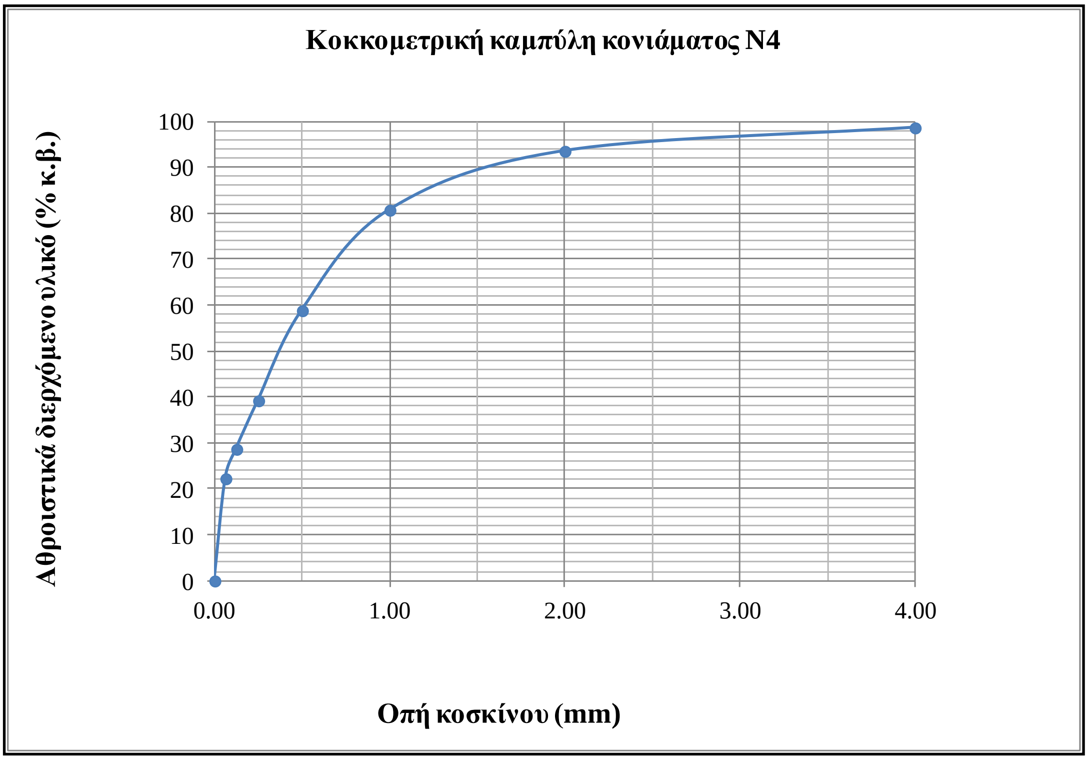
**Πίνακας 5.9** Αποτελέσματα υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης κονιάματος **Ν4**.

| Οπή κοσκίνου (mm) | Βάρος κοσκίνου (γρ.) | Βάρος (κοσκίνου + συγκρατούμενου υλικού) (γρ.) | Βάρος συγκρατούμενου υλικού (γρ.) | Ποσ. (% κ.β.) Συγκρατούμενου υλικο0ύ | Ποσοστό (% κ.β.) Διερχόμενου Υλικού | Αθροιστικά ποσοστά (% κ.β.) συγκρατούμενου υλικού | Αθροιστικά ποσ. (% κ.β.) διερχόμενου υλικού |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **4** | 487.4 | 488.1 | 0.7 | 1.3 | 98.7 | 1.3 | 98.7 |
| **2** | 452.3 | 455 | 2.7 | 5.1 | 94.9 | 6.4 | 93.6 |
| **1** | 407.2 | 414 | 6.8 | 12.8 | 87.2 | 19.2 | 80.8 |
| **0.5** | 374.2 | 385.8 | 11.6 | 21.9 | 78.1 | 41.1 | 58.9 |
| **0.25** | 343.7 | 354.1 | 10.4 | 19.6 | 80.4 | 60.8 | 39.2 |
| **0.125** | 341.2 | 346.8 | 5.6 | 10.6 | 89.4 | 71.3 | 28.7 |
| **0.063** | 322.1 | 325.5 | 3.4 | 6.4 | 93.6 | 77.7 | 22.3 |
| **Βάση** | 346.9 | 358.7 | 11.8 | 22.3 | 0.0 | 100.0 | 0.0 |

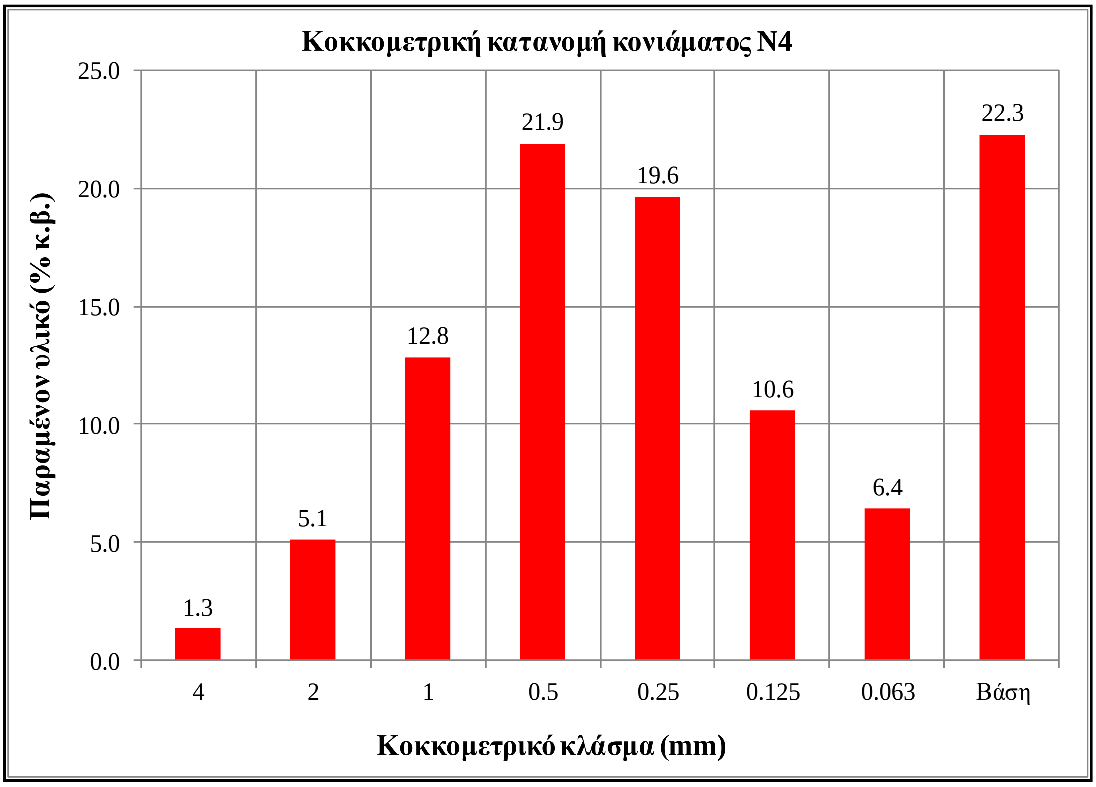
- Βάρος αρχικού δείγματος (εν ξηρώ): 53 γρ.
- Βάρος αδρανών: 37,8 γρ.
- Βάρος κονίας: 15,2 γρ.

Η αναλογία **Συνδετικής Κονίας : Αδρανή υλικά = 1μέρος κονίας : 2,5 μέρη αδρανών.**

Η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών είναι περισσότερο ομοιόμορφη σε σχέση με εκείνων του δείγματος **Ν2** (Εικόνες 5.32, 5.33)

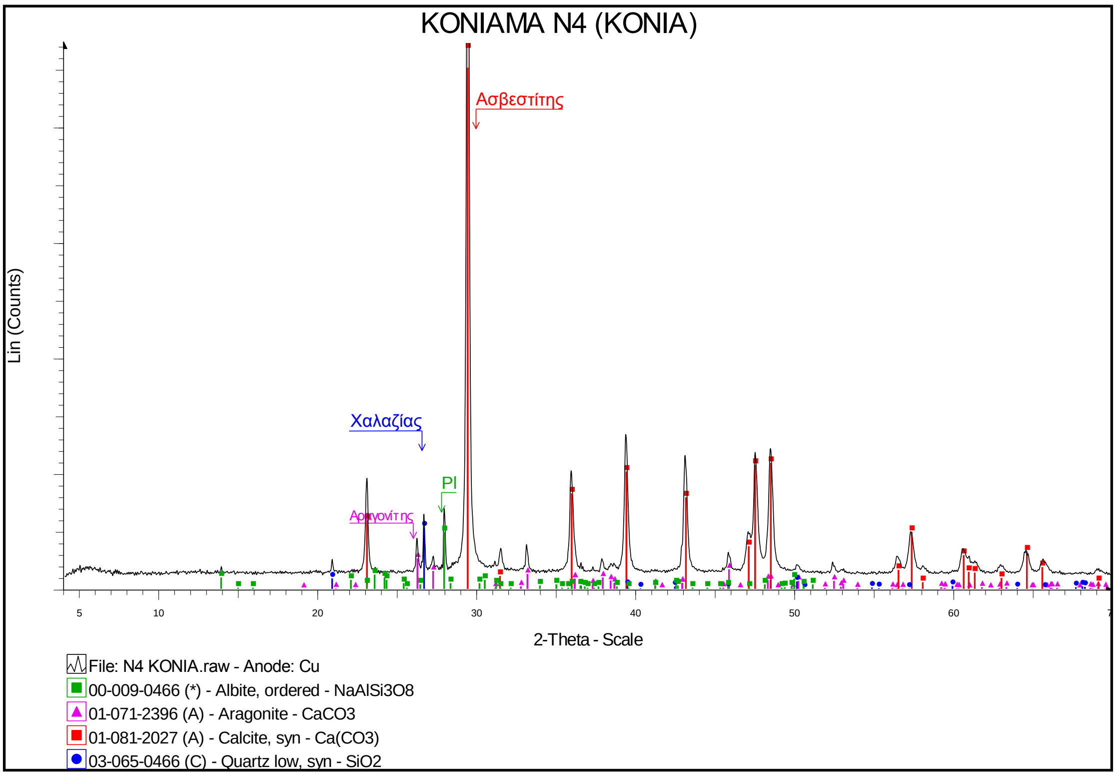



**Εικόνα 5.32** Κοκκομετρική καμπύλη κονιάματος **Ν4**, σύμφωνα με το ποσοστό αθροιστικά διερχόμενων κόκκων (αδρανές και κονία) από τα κόσκινα.




**Εικόνα 5.33** Κοκκομετρική κατανομή του κονιάματος **Ν4**.

## ➢ Ορυκτολογική ανάλυση




**Εικόνα 5.34** Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD), του συνδετικού υλικού (κονία, κλάσμα <0.063 mm) του κονιάματος **N4**. Calcite=Ασβεστίτης, Aragonite = Αραγονίτης, Quartz=Χαλαζίας, Albite (Pl) = Πλαγιόκλαστο.

## ➢ Επί μέρους εργαστηριακές αναλύσεις

**Πίνακας 5.10** Συνολικά αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων του κονιάματος **N4**.

<table>
<tr><th colspan="11">Δείγμα N4</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Χημική Ανάλυση<br>Κονία</td><td>CaO</td><td>$SiO_2$</td><td>$Fe_2O_3$</td><td>$Al_2O_3$</td><td>MgO</td><td>$K_2O$</td><td>$Na_2O$</td><td>MnO</td><td>Απώλεια Πύρωσης</td><td>Σύνολο</td></tr>
<tr><td>48.70</td><td>5.50</td><td>0.28</td><td>0.34</td><td>ίχνη</td><td>0.11</td><td>0.76</td><td>0.04</td><td>43.37</td><td>99.10</td></tr>
<tr><td>Αδρανές</td><td>49.24</td><td>4.48</td><td>0.38</td><td>0.79</td><td>0.08</td><td>0.12</td><td>0.82</td><td>-</td><td>43.91</td><td>99.82</td></tr>
<tr><td colspan="3">Υδατοαπορροφητικότητα (%)</td><td colspan="4">Φωτεινότητα (L*)</td><td colspan="4">Διαφορά από τέλειο λευκό (ΔE*ab)</td></tr>
<tr><td colspan="3">24.2</td><td colspan="4">88.99</td><td colspan="4">13.73</td></tr>
<tr><td colspan="11">Ορυκτολογική Ανάλυση</td></tr>
<tr><td colspan="3">Κονία</td><td colspan="8">Ασβεστίτης, Αραγονίτης, Χαλαζίας, Πλαγιόκλαστο</td></tr>
<tr><td colspan="3">Αδρανές</td><td colspan="8">Ασβεστίτης, Αραγονίτης, Χαλαζίας, Πλαγιόκλαστο</td></tr>
</table>

Οι τιμές φωτεινότητας της κονίας (L*=88,99) και της διαφοράς από το τέλειο λευκό (ΔΕ*ab=15,90) είναι χαρακτηριστικές της υπόλευκης απόχρωσης του κονιάματος. Το κονίαμα έχει σχετικά υψηλές τιμές υδατοαπορροφητικότητας (24.20%). Πρόκειται για ένα μη συμπαγές κονίαμα που παρουσιάζει μέτρια συνεκτικότητα και συνάφεια μεταξύ της κονίας και των αδρανών. Στο Παράρτημα ΙΙ (Εικόνες 24 – 29), παρατίθενται οι φωτογραφίες από την παρατήρηση των επί μέρους κλασμάτων των αδρανών του κονιάματος μετά την υγρή κοκκομετρική ανάλυση.

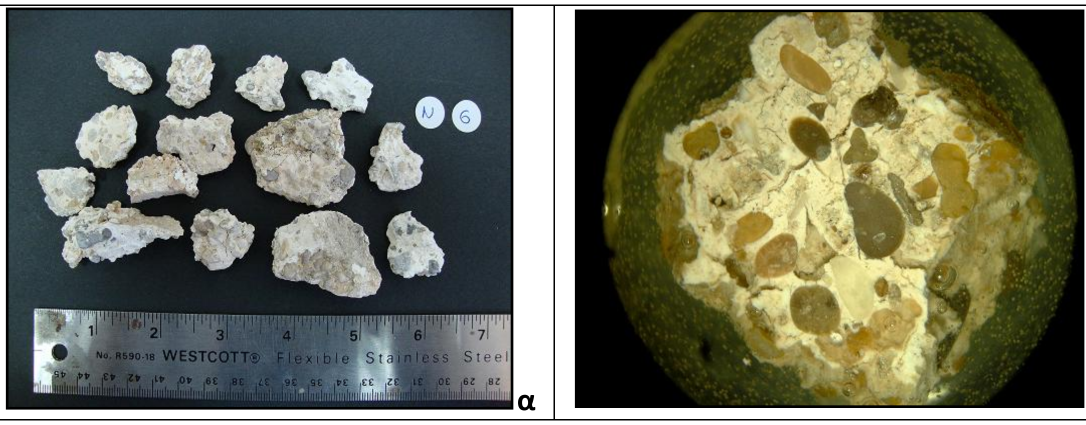
Δείγμα 6. (Κωδικός δείγματος Ν6)

- <u>Θέση δειγματοληψίας</u>

Κονίαμα από κόγχη της τοιχοποιίας της αψίδας στην ανατολική πλευρά του Ι.Ν. (Παράρτημα Ι - Σχέδιο Β).


**Εικόνα 5.35** Φωτογραφίες από την τοιχοποιία στην ανατολική πλευρά του Ι.Ν. (α) και ακριβής θέση δειγματοληψίας (β) του κονιάματος με κωδικό **Ν6**.

➢ <u>Μακροσκοπική περιγραφή</u>




**Εικόνα 5.36** Φωτογραφίες ακέραιων τμημάτων (α) και στιλπνής τομής (β, μεγέθυνση 2x) του κονιάματος **Ν6**, στο στερεοσκόπιο.

**Εικόνα 5.37** Φωτογραφία στιλπνής τομής του κονιάματος **Ν6** στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x).

Το δείγμα **Ν6** αποκαλύφθηκε μετά την απομάκρυνση εξωτερικού επιχρίσματος από ασβεστοκονίαμα που καλύπτει την τοιχοποιία της κόγχης (Εικόνα 5.35β), που σύμφωνα με τη μελέτη της βιβλιογραφίας χρονολογείται σε ανακαίνιση του έτους 1962. Όπως προέκυψε από τη μακροσκοπική και μικροσκοπική παρατήρηση στο στερεοσκόπιο των στιλπνών τομών, πρόκειται για κονίαμα λιθοδομής ίδιο με εκείνο των δειγμάτων Ν1α και Ν1β ασβεστιτικής σύστασης με τον ίδιο τύπο αδρανών υλικών. Από τις παρούσες εργαστηριακές αναλύσεις, δεν πιστοποιήθηκε η παρουσία διακοσμητικού θέματος στην κόγχη του ιερού του καθολικού. Από τα συνολικά αποτελέσματα της μελέτης, προκύπτει πως ο τύπος του κονιάματος αυτού είναι το κύριο κατασκευαστικό κονίαμα της τοιχοποιίας του καθολικού του ναού, με αναλογία κονίας προς αδρανές 1:2.

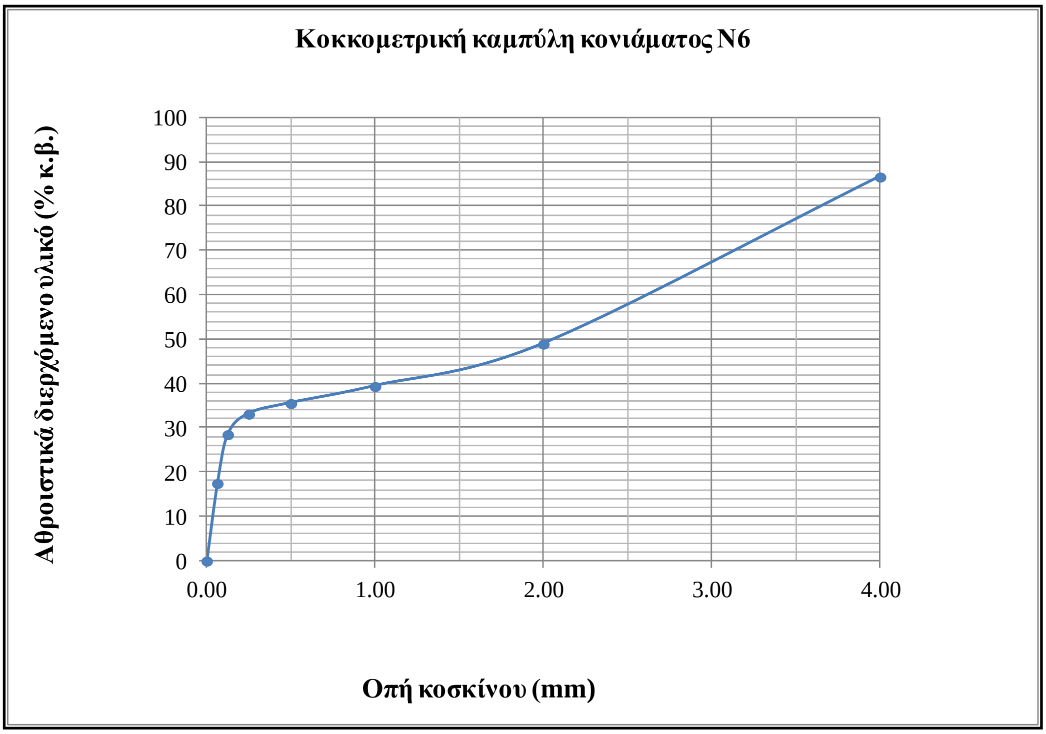
➢ Υγρή κοκκομετρική ανάλυση

**Πίνακας 5.11** Αποτελέσματα υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης κονιάματος **Ν6**.

| Οπή κοσκίνου (mm) | Βάρος κοσκίνου (γρ.) | Βάρος (κοσκίνου + συγκρατούμενου υλικού) (γρ.) | Βάρος συγκρατούμενου υλικού (γρ.) | Ποσοστό (% κ.β.) Συγκρατούμενου υλικού | Ποσοστό (% κ.β.) Διερχόμενου Υλικού | Αθροιστικά ποσοστά (% κ.β.) συγκρατούμενου υλικού | Αθροιστικά ποσ. (% κ.β.) διερχόμενου υλικού |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **4** | 487.5 | 496.5 | 9 | 13.3 | 86.7 | 13.3 | 86.7 |
| **2** | 452.3 | 475.9 | 23.6 | 37.7 | 62.3 | 51.0 | 49.0 |
| **1** | 407.1 | 413.1 | 6 | 9.6 | 90.4 | 60.6 | 39.4 |
| **0.5** | 374.2 | 376.6 | 2.4 | 3.8 | 96.2 | 64.4 | 35.6 |
| **0.25** | 343.7 | 345.2 | 1.5 | 2.4 | 97.6 | 66.8 | 33.2 |
| **0.125** | 341.3 | 344.2 | 2.9 | 4.6 | 95.4 | 71.5 | 28.5 |
| **0.063** | 321.9 | 328.8 | 6.9 | 11.0 | 89.0 | 82.5 | 17.5 |
| **Βάση** | 346.9 | 362.2 | 15.3 | 24.4 | 0.0 | 106.9 | 0.0 |

- Βάρος αρχικού δείγματος (εν ξηρώ): 67,6 γρ.
- Βάρος αδρανών: 45,4 γρ.
- Βάρος κονίας: 22,2 γρ.

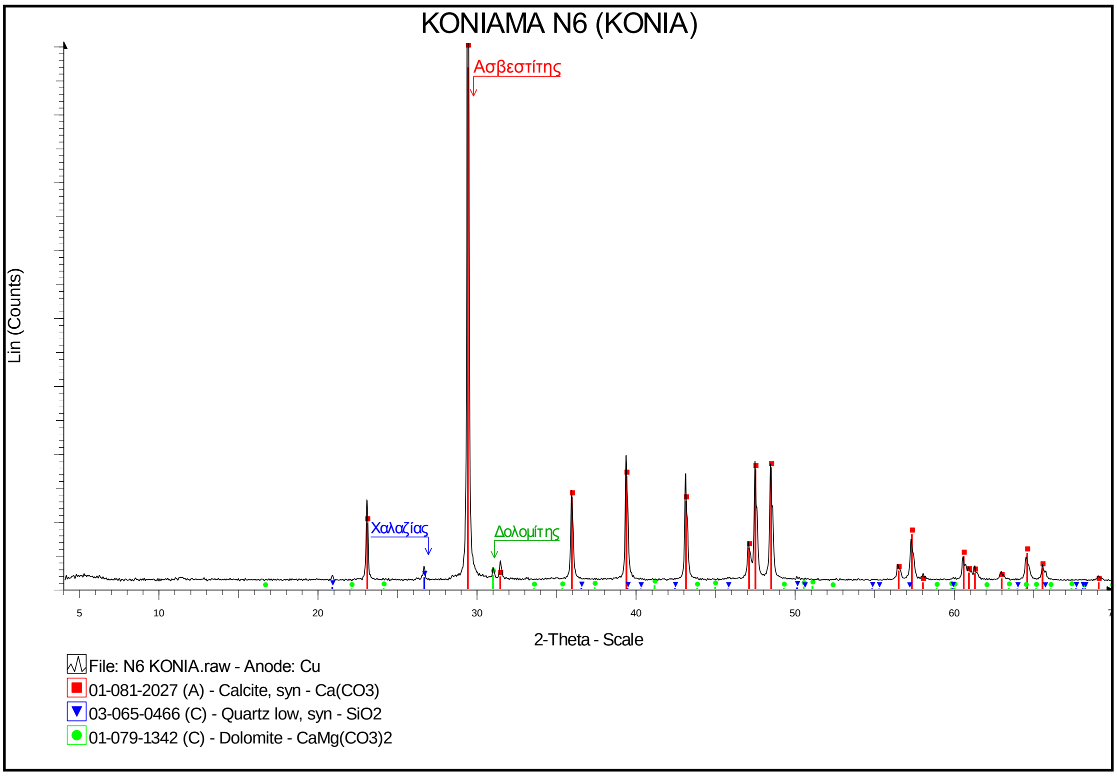
Η αναλογία **Συνδετικής Κονίας : Αδρανή υλικά = 1μέρος κονίας : 2 μέρη αδρανών.**




**Εικόνα 5.38** Κοκκομετρική καμπύλη του κονιάματος **Ν6**, σύμφωνα με το ποσοστό αθροιστικά διερχόμενων κόκκων (αδρανές και κονία) από τα κόσκινα.


**Εικόνα 5.39** Κοκκομετρική κατανομή του κονιάματος **Ν6**.

## ➢ Ορυκτολογική ανάλυση




**Εικόνα 5.40** Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD), του συνδετικού υλικού (κονία, κλάσμα <0.063 mm) του κονιάματος **N6**. Calcite = Ασβεστίτης, Dolomite = Δολομίτης, Quartz =Χαλαζίας.

## ➢ Επί μέρους εργαστηριακές αναλύσεις

**Πίνακας 5.12** Συνολικά αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων του κονιάματος **N6**.

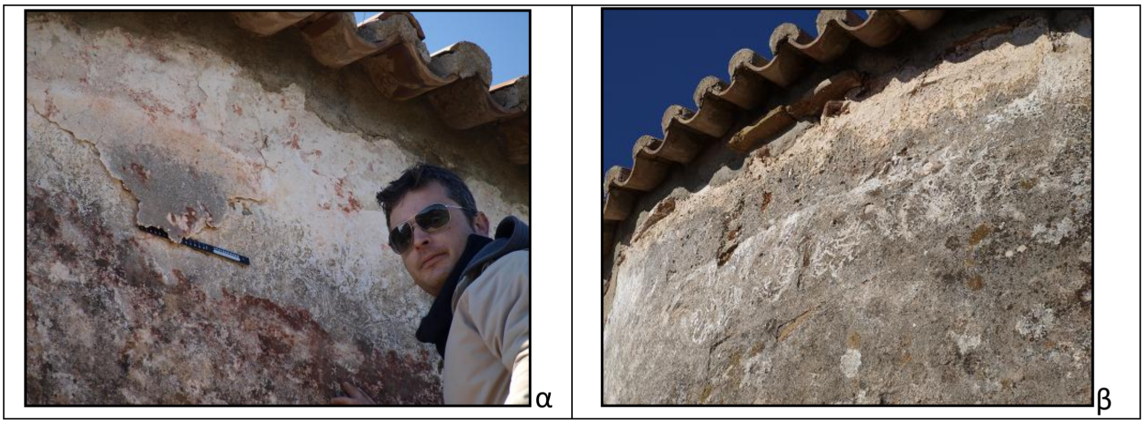
<table>
<tr><th colspan="11">Δείγμα N6</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Χημική Ανάλυση<br><br>Κονία</td><td>CaO</td><td>$SiO_2$</td><td>$Fe_2O_3$</td><td>$Al_2O_3$</td><td>MgO</td><td>$K_2O$</td><td>$Na_2O$</td><td>MnO</td><td>Απώλεια Πύρωσης</td><td>Σύνολο</td></tr>
<tr><td>47.21</td><td>3.71</td><td>0.55</td><td>1.35</td><td>2.62</td><td>0.09</td><td>ίχνη</td><td>0.03</td><td>42.83</td><td>98.39</td></tr>
<tr><td>Αδρανές</td><td>47.21</td><td>4.13</td><td>0.51</td><td>1.21</td><td>2.92</td><td>0.31</td><td>0.21</td><td>0.02</td><td>42.91</td><td>99.43</td></tr>
<tr><td colspan="3">Υδατοαπορροφητικότητα (%)</td><td colspan="4">Φωτεινότητα (L*)</td><td colspan="4">Διαφορά από τέλειο λευκό (ΔΕ*ab)</td></tr>
<tr><td colspan="3">12,9</td><td colspan="4">88.83</td><td colspan="4">12.81</td></tr>
<tr><td colspan="11">Ορυκτολογική Ανάλυση</td></tr>
<tr><td colspan="3">Κονία</td><td colspan="8">Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Δολομίτης</td></tr>
<tr><td colspan="3">Αδρανές</td><td colspan="8">Ασβεστίτης, Αραγονίτης, Δολομίτης, Χαλαζίας. Καλιούχος άστριος, Πλαγιόκλαστο</td></tr>
</table>

## 5.2 ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΤΡΟΥΛΟ ΤΟΥ ΚΑΘΟΛΙΚΟΥ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ

Δείγματα 7 & 8. (Κωδικός δειγμάτων Ν5α & Ν5β)

➢ <u>Θέση δειγματοληψίας</u>

Επιχρίσματα από τον τρούλου του Ι.Ν. (Παράρτημα Ι - Σχέδιο Β).



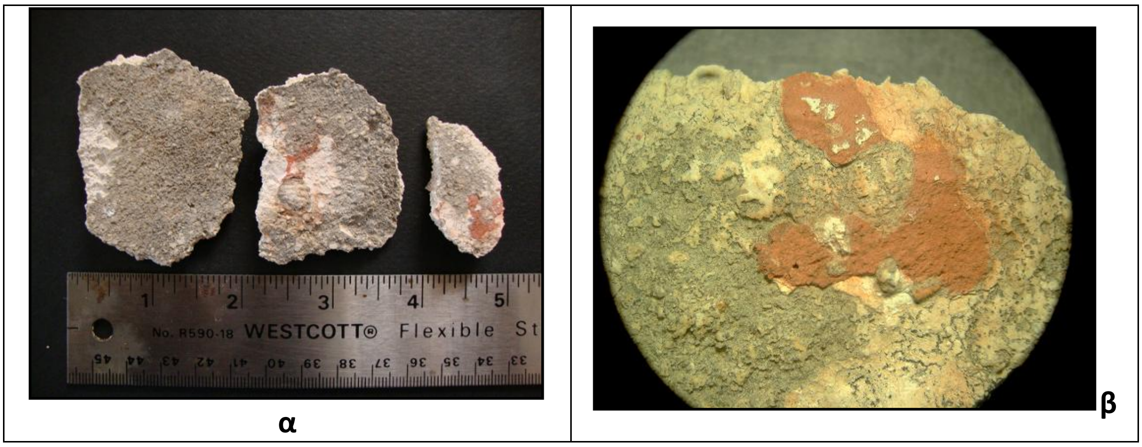

**Εικόνα 5.41** Φωτογραφίες από τα σημεία δειγματοληψίας των επιχρισμάτων που κοσμούν το τύμπανο του τρούλου.

➢ <u>Μακροσκοπική περιγραφή</u>

Από τις δειγματοληπτικές εργασίες, την επί τόπου αυτοψία και τις μετέπειτα εργαστηριακές αναλύσεις, πιστοποιήθηκε η παρουσία τμήματος διακοσμητικής ταινίας περιμετρικά του τυμπάνου του τρούλου (Εικόνα 5.41β), η οποία έχει πλάτος περίπου τριάντα εκατοστά και αγκαλιάζει όλη του τη διάμετρο. Μέρος της επίχρισης αυτού του καλλιτεχνήματος, ερυθράς και γκρίζας απόχρωσης, είναι ακόμα ορατό πάνω στο λεπτό στρώμα κονιάματος (Εικόνα 5.41α).

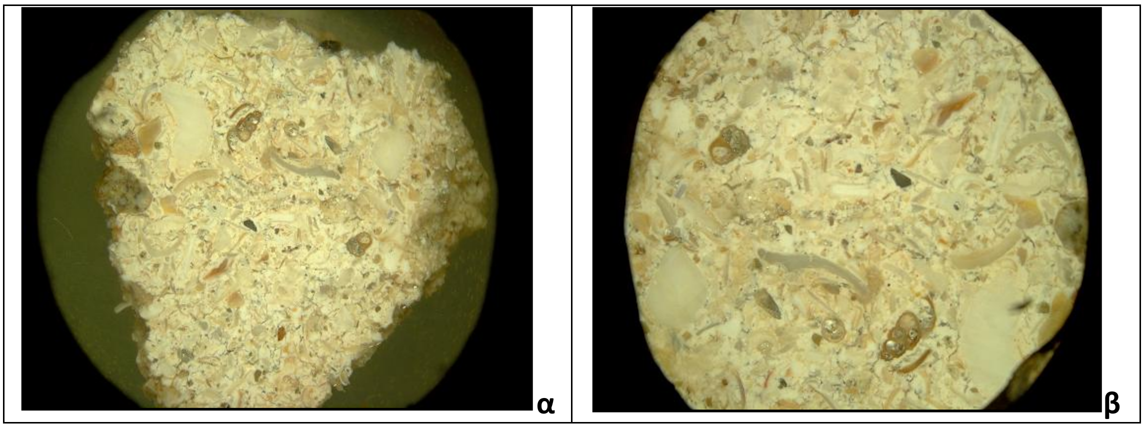
Από την παρατήρηση στο στερεοσκόπιο μέρος των δειγμάτων που ελήφθησαν (Εικόνα 5.43), διαπιστώθηκε πως η βάση του επιχρίσματος είναι ένα κονίαμα ασβεστιτικής σύστασης με αρχική επικάλυψη μιας γκρίζας κρούστας και τελικά επικάλυψη με μια ερυθρά χρωστική.

Η μελέτη των στιλπνών τομών του υποστρώματος του επιχρίσματος (Εικόνα 5.44), έδειξε πως πρόκειται για τον ίδιο τύπο κονιάματος με εκείνο των δειγμάτων Ν2 και Ν4 που αναγνωρίστηκαν στη τοιχοποιία του καθολικού του Ι.Ν., αποτελούμενο από αδρανή στα οποία περιέχονται κοχύλια, θραύσματα οστράκων και ασβεστιτικά αδρανή (Παράρτημα ΙΙ, Εικόνες 33 -38).




**Εικόνα 5.42** Φωτογραφίες ακέραιων τμημάτων του επιχρίσματος **N5α** (α) και του δείγματος **N5β** στο στερεοσκόπιο (β, μεγέθυνση 2x).


**Εικόνα 5.43** Φωτογραφίες στο στερεοσκόπιο των δειγμάτων **N5α** (α) και **N5β** (β), όπου διακρίνεται η διεπιφάνεια μεταξύ του σώματος και του λεπτού στρώματος ερυθράς και γκρίζας απόχρωσης (μεγέθυνση 8x).




**Εικόνα 5.44** Φωτογραφίες στιλπνών τομών του επιχρίσματος **N5β**, στο στερεοσκόπιο (α. μεγέθυνση 2x, β. μεγέθυνση 4x).

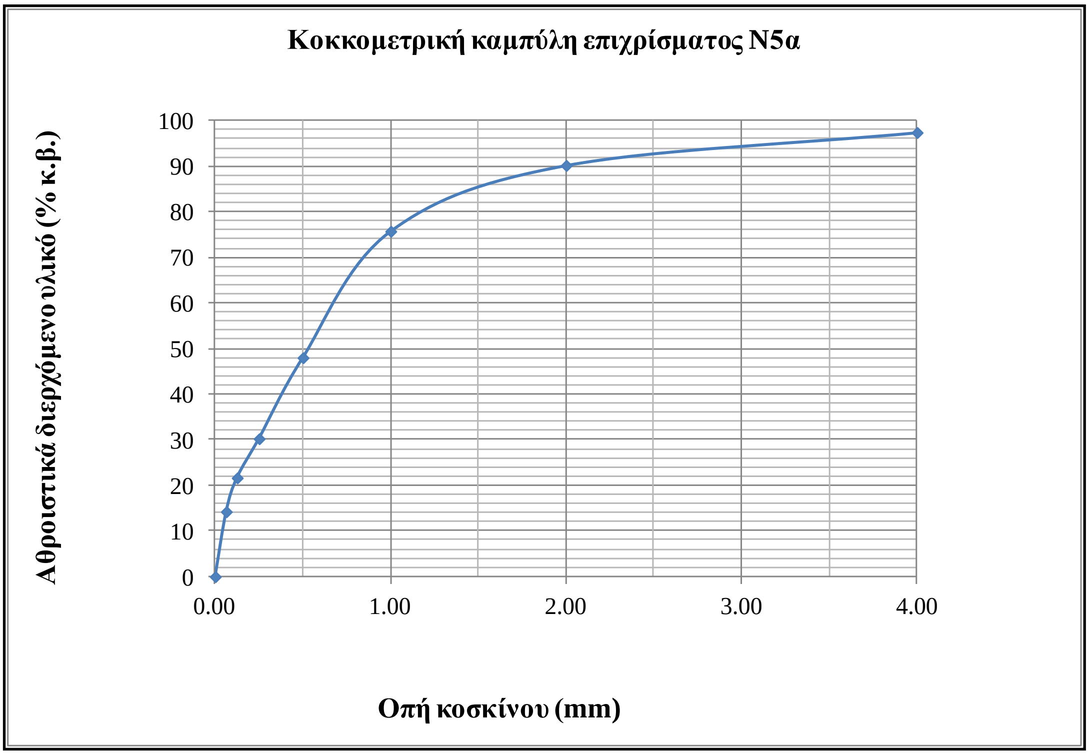
➢ <u>Υγρή κοκκομετρική ανάλυση</u>

**Πίνακας 5.13** Αποτελέσματα υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης επιχρίσματος **Ν5α**.

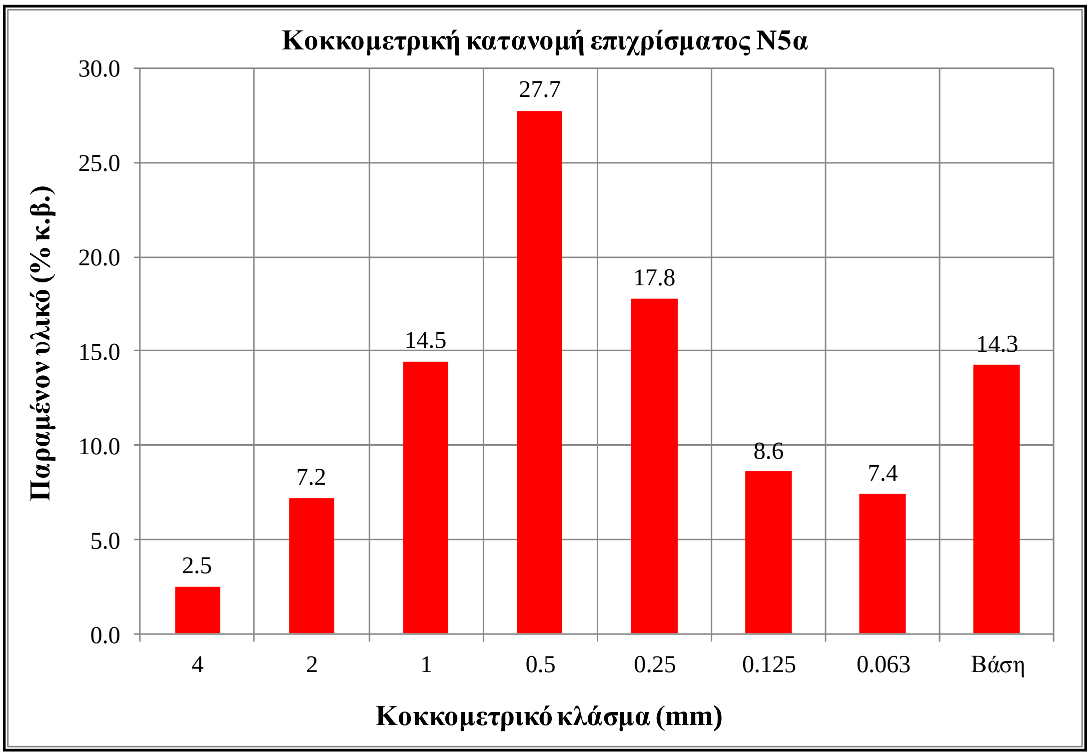
| Οπή κοσκίνου (mm) | Βάρος κοσκίνου (γρ.) | Βάρος (κοσκίνου + συγκρατούμενου υλικού) (γρ.) | Βάρος συγκρατούμενου υλικού (γρ.) | Ποσοστό (% κ.β.) Συγκρατούμενου υλικού | Ποσοστό (% κ.β.) Διερχόμενου Υλικού | Αθροιστικά ποσοστά (% κ.β.) συγκρατούμενου υλικού | Αθροιστικά ποσ. (% κ.β.) διερχόμενου υλικού |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **4** | 487.5 | 488.8 | 1.3 | 2.5 | 97.5 | 2.5 | 97.5 |
| **2** | 452.3 | 456 | 3.7 | 7.2 | 92.8 | 9.8 | 90.2 |
| **1** | 407.2 | 414.6 | 7.4 | 14.5 | 85.5 | 24.2 | 75.8 |
| **0.5** | 374.2 | 388.4 | 14.2 | 27.7 | 72.3 | 52.0 | 48.0 |
| **0.25** | 343.7 | 352.8 | 9.1 | 17.8 | 82.2 | 69.7 | 30.3 |
| **0.125** | 341.2 | 345.6 | 4.4 | 8.6 | 91.4 | 78.3 | 21.7 |
| **0.063** | 322 | 325.8 | 3.8 | 7.4 | 92.6 | 85.7 | 14.3 |
| **Βάση** | 346.9 | 354.2 | 7.3 | 14.3 | 0.0 | 100.0 | 0.0 |

- Βάρος αρχικού δείγματος (εν ξηρώ): 51,2 γρ.
- Βάρος αδρανών: 40,1 γρ.
- Βάρος κονίας: 11,1 γρ.

Η αναλογία **Συνδετικής Κονίας : Αδρανή υλικά = 1μέρος κονίας : 3,5 μέρη αδρανών.**




**Εικόνα 5.45** Κοκκομετρική καμπύλη του επιχρίσματος **N5α**, σύμφωνα με το ποσοστό αθροιστικά διερχόμενων κόκκων (αδρανές και κονία) από τα κόσκινα.



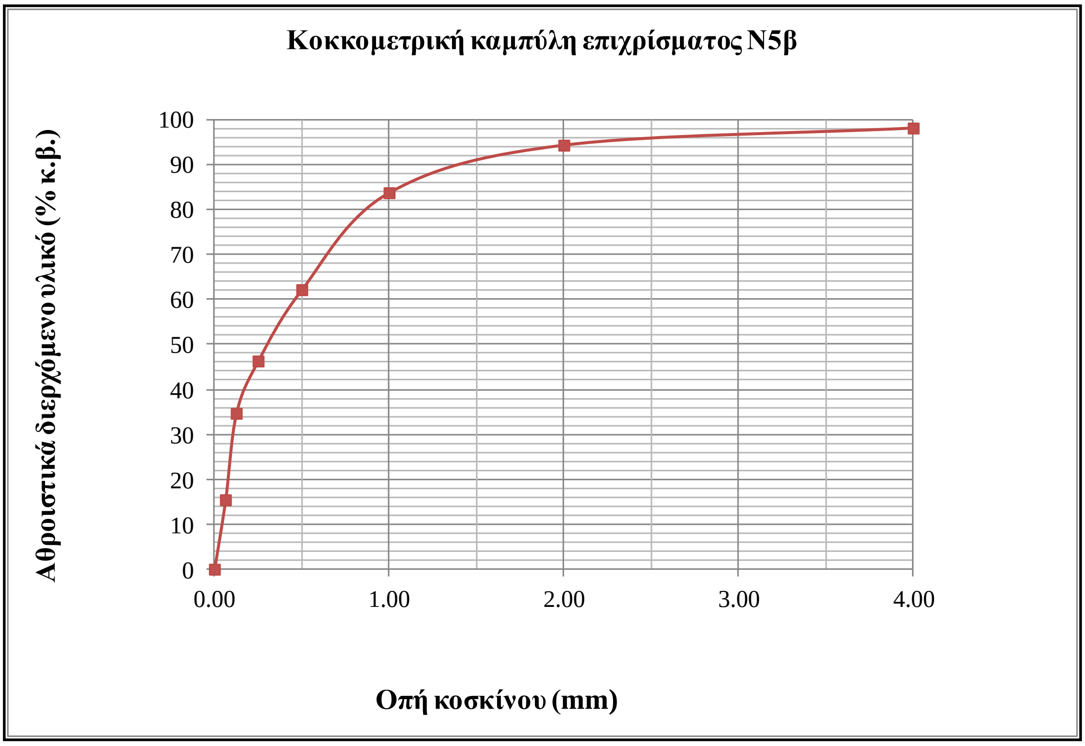

**Εικόνα 5.46** Κοκκομετρική κατανομή του κονιάματος **N5α**.

**Πίνακας 5.14** Αποτελέσματα υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης επιχρίσματος **Ν5β**.

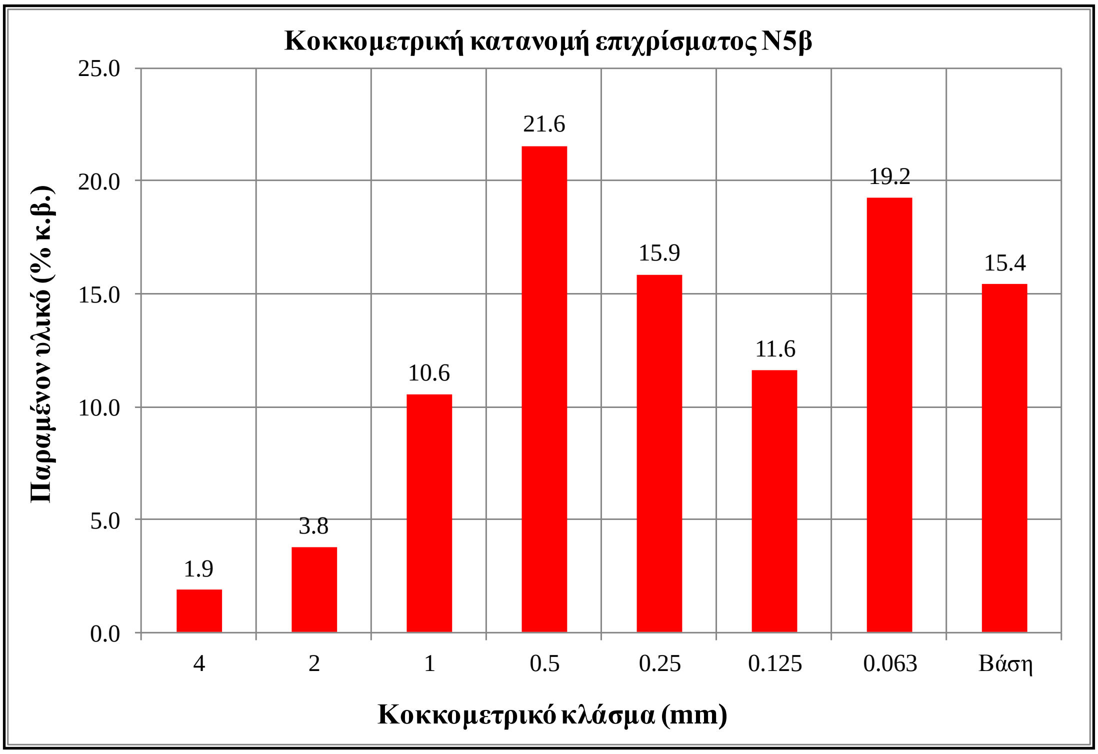
| Οπή κοσκίνου (mm) | Βάρος κοσκίνου (γρ.) | Βάρος (κοσκίνου + συγκρατούμενου υλικού) (γρ.) | Βάρος συγκρατούμενου υλικού (γρ.) | Ποσοστό (% κ.β.) Συγκρατούμενου υλικού | Ποσοστό (% κ.β.) Διερχόμενου Υλικού | Αθροιστικά ποσοστά (% κ.β.) συγκρατούμενου υλικού | Αθροιστικά ποσ. (% κ.β.) διερχόμενου υλικού |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **4** | 433.8 | 434.7 | 0.9 | 1.9 | 98.1 | 1.9 | 98.1 |
| **2** | 423.9 | 425.7 | 1.8 | 3.8 | 96.2 | 5.7 | 94.3 |
| **1** | 381.8 | 386.8 | 5 | 10.6 | 89.4 | 16.3 | 83.7 |
| **0.5** | 339.8 | 350 | 10.2 | 21.6 | 78.4 | 37.8 | 62.2 |
| **0.25** | 333.4 | 340.9 | 7.5 | 15.9 | 84.1 | 53.7 | 46.3 |
| **0.125** | 308.6 | 314.1 | 5.5 | 11.6 | 88.4 | 65.3 | 34.7 |
| **0.063** | 308.2 | 317.3 | 9.1 | 19.2 | 80.8 | 84.6 | 15.4 |
| **Βάση** | 390.6 | 397.9 | 7.3 | 15.4 | 0.0 | 100.0 | 0.0 |

- Βάρος αρχικού δείγματος (εν ξηρώ): 47,3 γρ.
- Βάρος αδρανών: 30,9 γρ.
- Βάρος κονίας: 16,4 γρ.

Η αναλογία **Συνδετικής Κονίας : Αδρανή υλικά = 1μέρος κονίας : 2 μέρη αδρανών.**




**Εικόνα 5.47** Κοκκομετρική καμπύλη του επιχρίσματος **Ν5β**, σύμφωνα με το ποσοστό αθροιστικά διερχόμενων κόκκων (αδρανές και κονία) από τα κόσκινα.



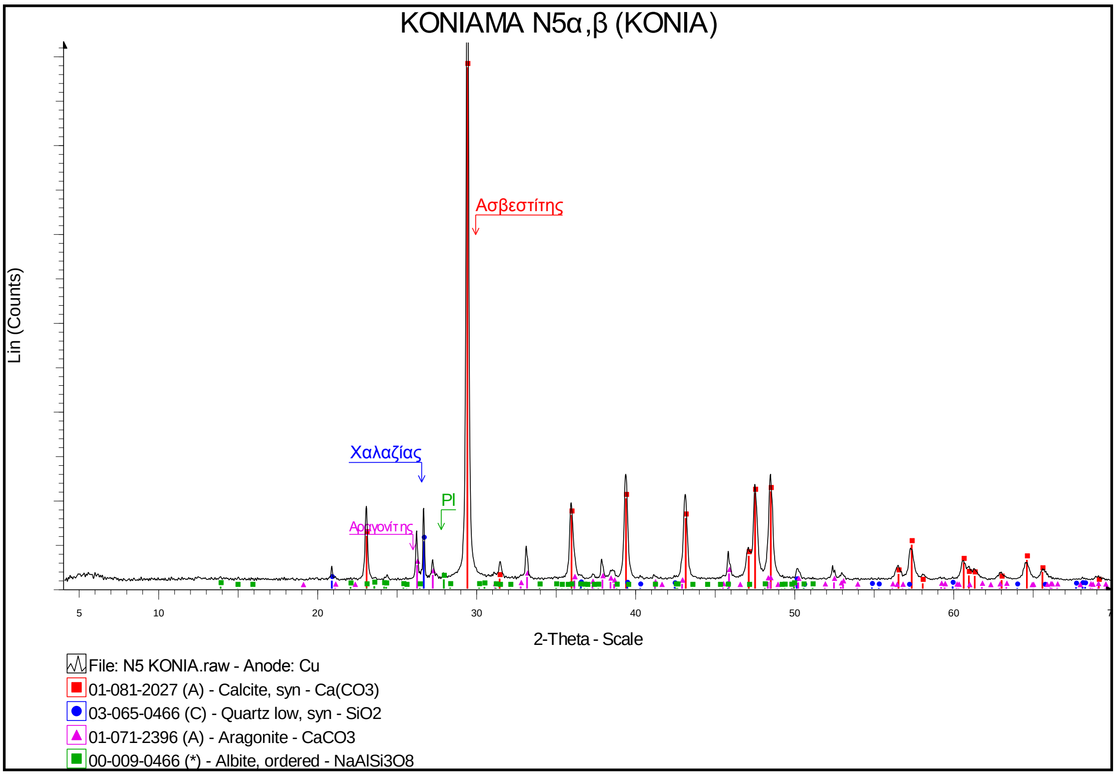

**Εικόνα 5.48** Κοκκομετρική κατανομή του κονιάματος **Ν5β**.

Από την υγρή κοκκομετρική ανάλυση των δυο δειγμάτων προέκυψε πως η αναλογία της κονίας προς τα αδρανή είναι 1 : 3,5 για το δείγμα **Ν5α** και 1 : 2 για το **Ν5β**. Προκειμένου να επιτευχθεί η συμβατότητα του υπάρχοντος επιχρίσματος με αυτό που θα εφαρμοσθεί στις εργασίες συντήρησης και λόγω του μικρού πάχους του, προτείνεται σαν βέλτιστη αναλογία εκείνη του δείγματος Ν5β με αναλογία συνδετικής κονίας προς αδρανή 1 : 2.

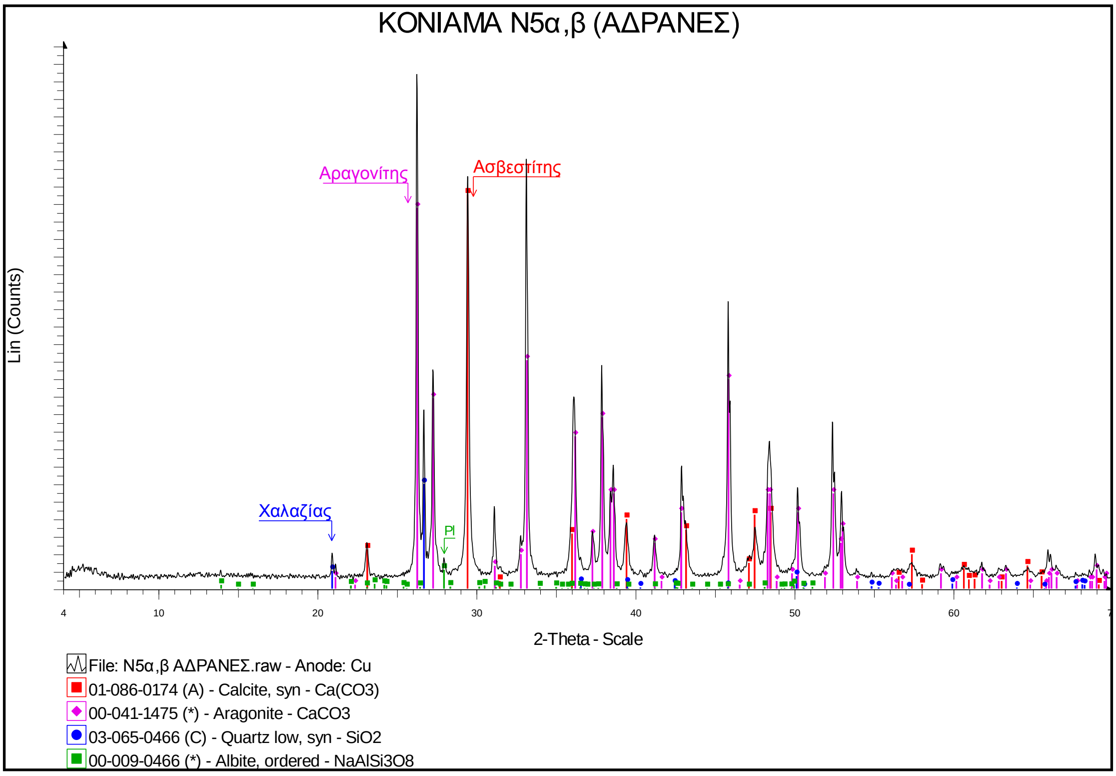
Πέραν της μελέτης της ορυκτολογικής σύστασης της κονίας και των αδρανών των δειγμάτων, πραγματοποιήθηκε επιπρόσθετη ορυκτολογική ανάλυση για την ταυτοποίηση των χρωστικών υλών του επιχρίσματος (Εικόνες 5.51 & 5.52). Η γκρι χρωστική αποτελείται από τα ορυκτά ασβεστίτη, αραγονίτη, χαλαζία, πλαγιόκλαστο, πυρόξενος και ροδοχρωσίτη. Το γκρίζο χρώμα οφείλεται στην παρουσία του πυροξένου (κλινοενστατίτης). Η ερυθρά χρωστική αποτελείται από τα ορυκτά ασβεστίτη, αραγονίτη, χαλαζία, αιματίτη, και ροδοχρωσίτη. Το χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα οφείλεται στην παρουσία των φυσικών χρωστικών αιματίτη και ροδοχρωσίτη.

Οι φυσικές χρωστικές του σιδήρου παράγονται από τα τρία οξείδιά του, τον αιματίτη, το λειμωνίτη και το μαγνητίτη. Ο αιματίτης είναι άνυδρο οξείδιο τρισθενούς σιδήρου και δίνει χρωστικές με κόκκινη απόχρωση. Ο ροδοχρωσίτης είναι ορυκτό του μαγγανίου ($MnCO_3$), ανήκει στα ανθρακικά ορυκτά και κρυσταλλώνεται στο τριγωνικό σύστημα. Συναντάται με διάφορες αποχρώσεις του ρόδινου, από ανοικτό ρόδινο μέχρι βαθύ κόκκινο. Ο κλινοενστατίτης ανήκει στους μονοκλινείς πυρόξενους και συγκεκριμένα στους ασβεστοσιδηρομαγνησιούχους.

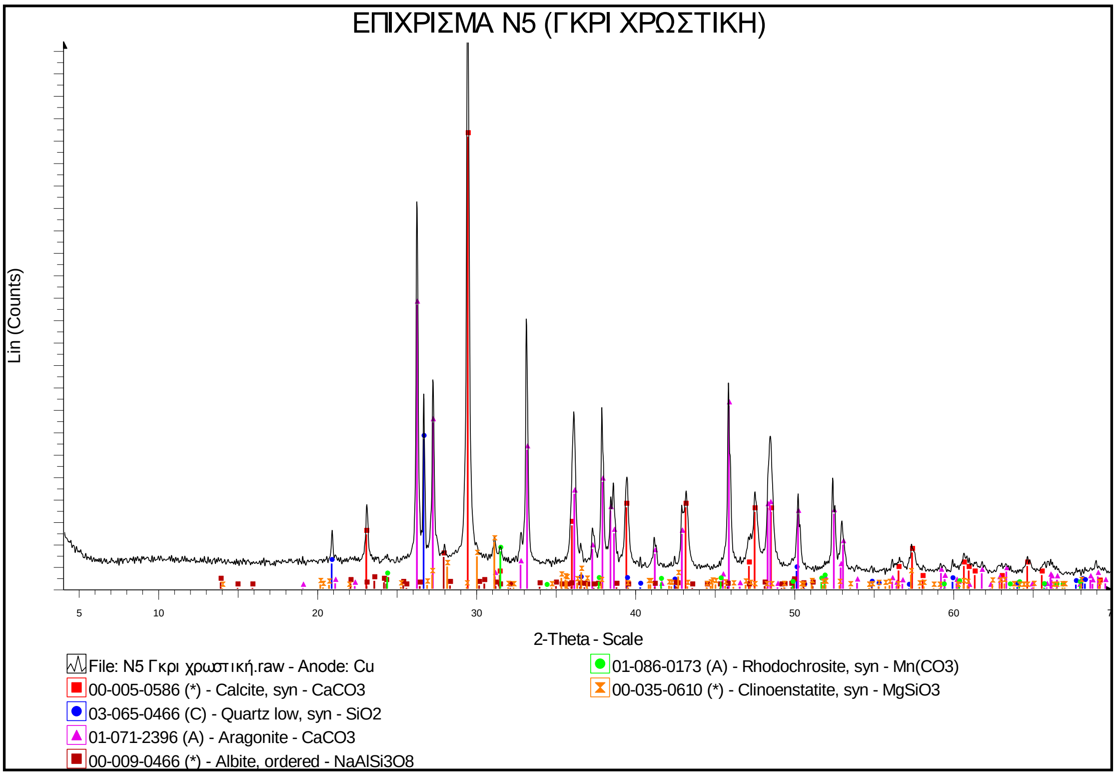
- <u>Ορυκτολογική ανάλυση</u>



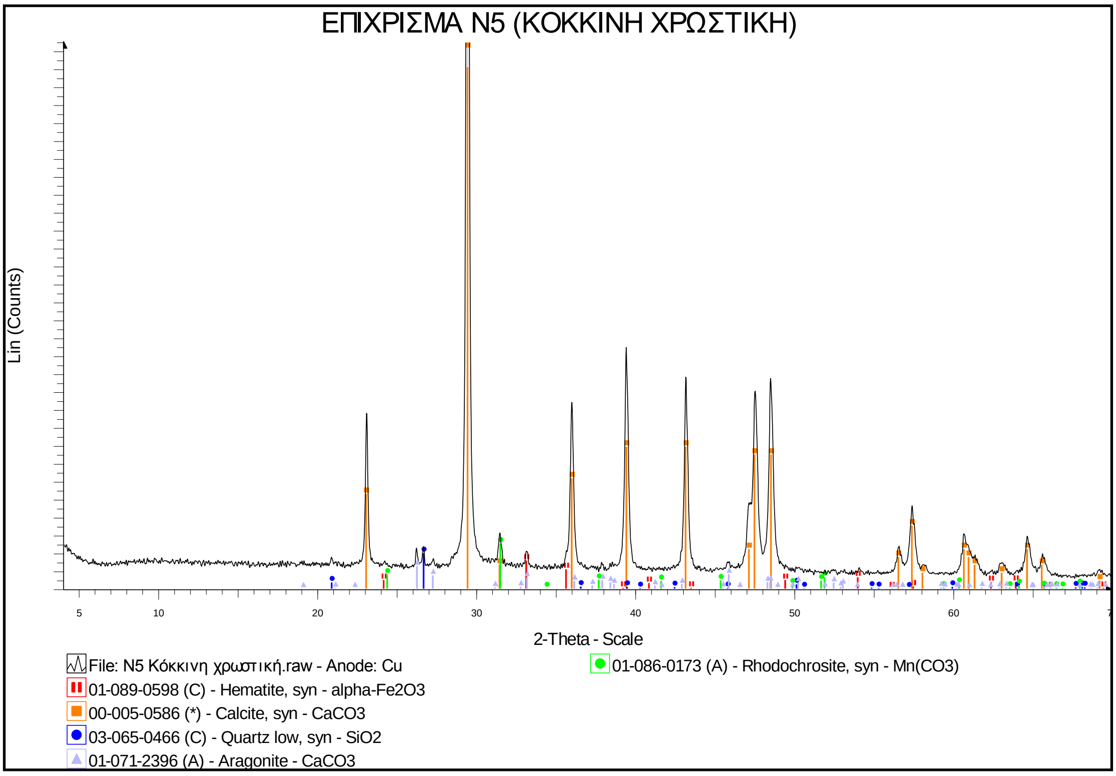

**Εικόνα 5.49** Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD), του συνδετικού υλικού (κονία, κλάσμα <0.063 mm) των δειγμάτων **N5α,β**. Calcite=Ασβεστίτης, Aragonite = Αραγονίτης, Quartz=Χαλαζίας, Albite (Pl) = Πλαγιόκλαστο**.**




**Εικόνα 5.50** Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD), του αδρανούς κλάσματος (-1.00, +0.5 mm) των δειγμάτων **N5α,β**.Calcite=Ασβεστίτης, Aragonite = Αραγονίτης, Quartz=Χαλαζίας, Albite (Pl) = Πλαγιόκλαστο.




**Εικόνα 5.51** Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD), της κρούστας γκρι αποχρώσεως των επιχρισμάτων **N5α,β**. Calcite=Ασβεστίτης, Aragonite = Αραγονίτης, Quartz=Χαλαζίας, Albite (Pl) = Πλαγιόκλαστο, Clinoenstatite = Πυρόξενος, Rhodochrosite = Ροδοχρωσίτης.




**Εικόνα 5.52** Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD), της χρωστικής ερυθράς αποχρώσεως των επιχρισμάτων **Ν5α,β**. Calcite=Ασβεστίτης, Aragonite = Αραγονίτης, Quartz=Χαλαζίας, Hematite = Αιματίτης, Rhodochrosite = Ροδοχρωσίτης.

➢ Επί μέρους εργαστηριακές αναλύσεις

**Πίνακας 5.15** Συνολικά αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων των δειγμάτων **N5α,β**.

<table>
<tr><th colspan="11">Δείγμα N5</th></tr>
<tr><th rowspan="2">Χημική Ανάλυση<br>Κονία</th><th>CaO</th><th>$SiO_2$</th><th>$Fe_2O_3$</th><th>$Al_2O_3$</th><th>MgO</th><th>$K_2O$</th><th>$Na_2O$</th><th>MnO</th><th>Απώλεια Πύρωσης</th><th>Σύνολο</th></tr>
<tr><td>48.45</td><td>4.79</td><td>0.42</td><td>1.11</td><td>ίχνη</td><td>0.12</td><td>0.64</td><td>0.02</td><td>43.58</td><td>99.13</td></tr>
<tr><th>Αδρανές</th><td>49.14</td><td>4.36</td><td>0.38</td><td>0.89</td><td>0.09</td><td>0.09</td><td>0.83</td><td>-</td><td>43.81</td><td>99.59</td></tr>
<tr><th colspan="3">Υδατοαπορροφητικότητα (%)</th><th colspan="4">Φωτεινότητα (L*)</th><th colspan="4">Διαφορά από τέλειο λευκό (ΔΕ*ab)</th></tr>
<tr><td colspan="3">17.2</td><td colspan="4">88.78</td><td colspan="4">12.83</td></tr>
<tr><th colspan="11">Ορυκτολογική Ανάλυση</th></tr>
<tr><th colspan="3">Κονία</th><td colspan="8">Ασβεστίτης, Αραγονίτης, Χαλαζίας, Πλαγιόκλαστο</td></tr>
<tr><th colspan="3">Αδρανές</th><td colspan="8">Αραγονίτης, Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Πλαγιόκλαστο</td></tr>
</table>

Οι τιμές φωτεινότητας της ασβεστιτικής κονίας των δειγμάτων **N5α,β** (L*=88,78) και της διαφοράς από το τέλειο λευκό (ΔΕ*ab=12,83), την χαρακτηρίζουν ως εκείνη με τη πιο λευκή απόχρωση από όλες τις υπόλοιπες που εξετάστηκαν εργαστηριακά. Στο γεγονός αυτό πιστεύεται πως συνέβαλε καθοριστικά η επικάλυψη του τμήματος της διακοσμητικής ταινίας πάνω από το κονίαμα, η οποία λειτούργησε ως στρώμα προστασίας από ανεπιθύμητες περιβαλλοντικές επιδράσεις. Το κονίαμα έχει τιμή υδατοαπορροφητικότητας ίση με 17.2%, παράμετρος η οποία όπως διαπιστώθηκε και από την μακροσκοπική παρατήρηση, προσδίδει μια ικανοποιητική συνεκτικότητα και συνάφεια μεταξύ της κονίας και των αδρανών, παρά το γεγονός ότι πρόκειται για ένα λεπτό σε πάχος κονίαμα επικάλυψης του τρούλου.

## 5.3 ΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟ ΤΟ ΚΩΔΩΝΟΣΤΑΣΙΟ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ

Δείγμα 9. (Κωδικός δείγματος Κ)

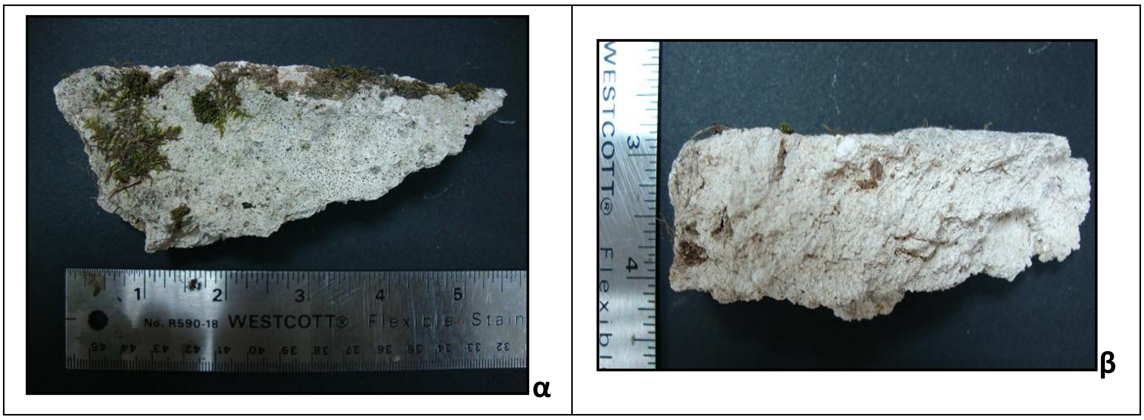
- Θέση δειγματοληψίας

Κονίαμα από το κωδωνοστάσιο του Ι.Ν. (Παράρτημα Ι - Σχέδιο Β).

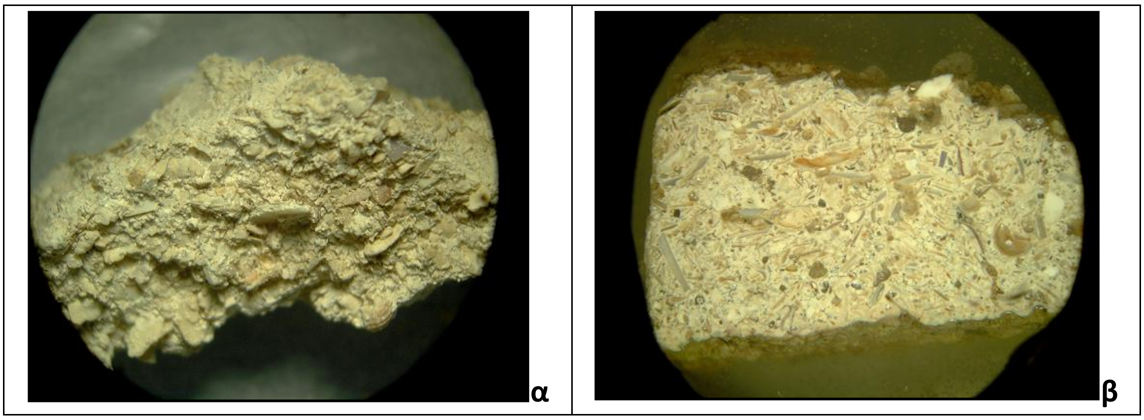
**Εικόνα 5.53** Φωτογραφία του Κωδωνοστασίου του Ι.Ν. Το δείγμα του κονιάματος που λήφθηκε, κάλυπτε προηγούμενα τους οπτόπλινθους.

- Μακροσκοπική περιγραφή

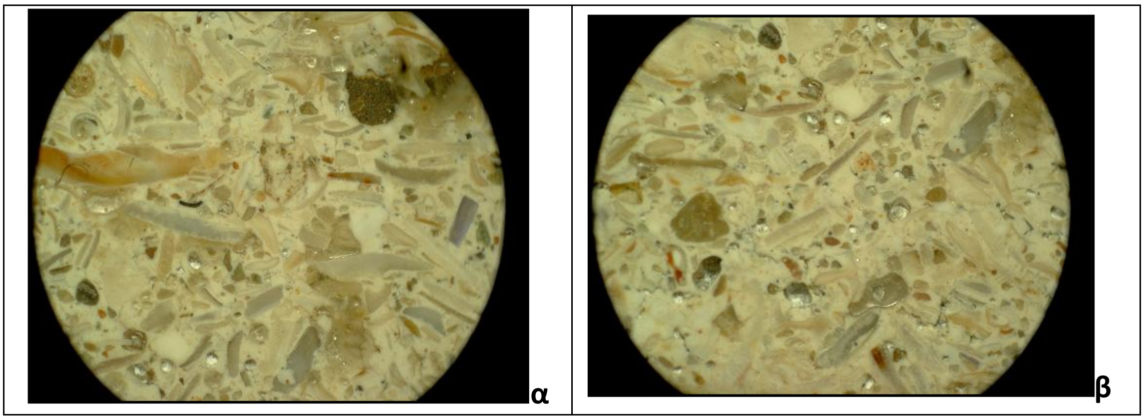
Το κονίαμα του δείγματος από το Κωδωνοστάσιο έχει την ίδια βασική σύσταση (ασβεστιτική κονία και αδρανή αποτελούμενα κυρίως από κοχύλια) με τα δείγματα του Τρούλου και το δείγμα Ν2 από την τοιχοποιία του καθολικού. Παρουσιάζει ομοιόμορφη κοκκομετρική κατανομή με περισσότερα λεπτόκοκκα αδρανή σε σχέση με τα υπόλοιπα κονιάματα.




**Εικόνα 5.54** Φωτογραφίες ακέραιων τμημάτων από δείγματα του κονιάματος **Κ**, του Κωδωνοστασίου του Ι.Ν.




**Εικόνα 5.55** Φωτογραφίες ακέραιου τμήματος (α) και στιλπνής τομής (β) του κονιάματος **Κ**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 2x).




**Εικόνα 5.56** Φωτογραφίες στιλπνών τομών του κονιάματος **Κ** στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 8x).

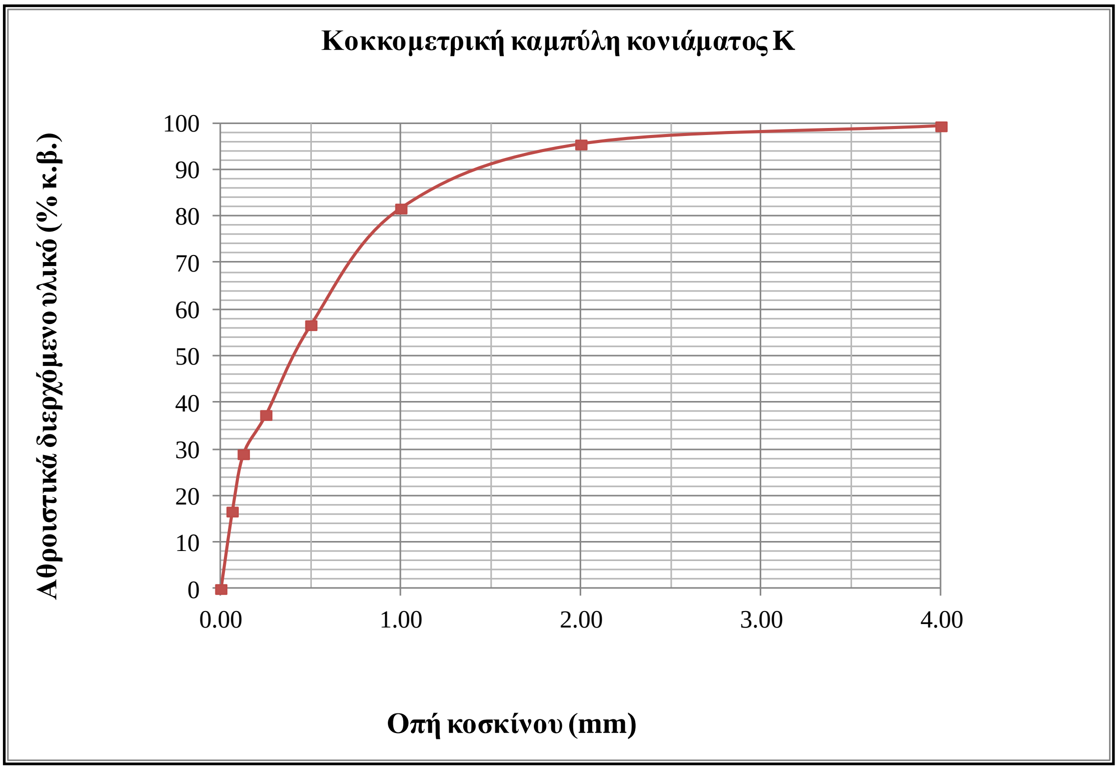
➢ <u>Υγρή κοκκομετρική ανάλυση</u>

**Πίνακας 5.16** Αποτελέσματα υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης κονιάματος **Κ**.

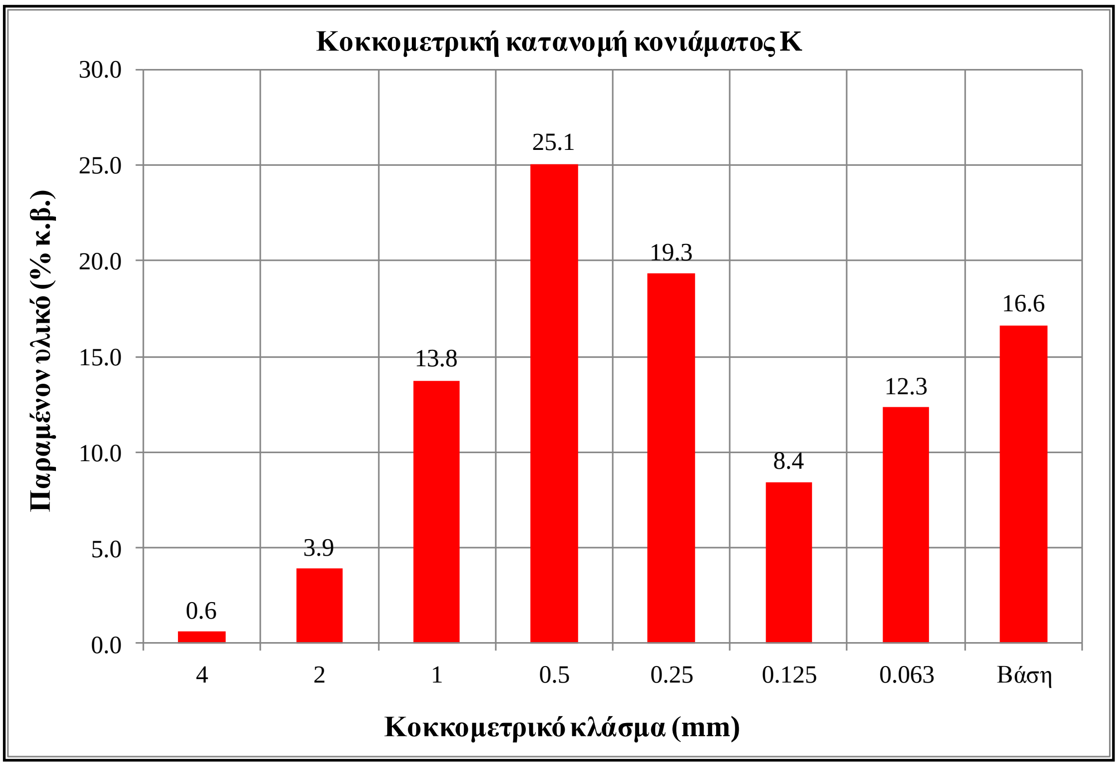
| **Οπή κοσκίνου (mm)** | **Βάρος κοσκίνου (γρ.)** | **Βάρος (κοσκίνου + συγκρατούμενου υλικού) (γρ.)** | **Βάρος συγκρατούμενου υλικού (γρ.)** | **Ποσοστό (% κ.β.) Συγκρατούμενου υλικού** | **Ποσοστό (% κ.β.) Διερχόμενου Υλικού** | **Αθροιστικά ποσοστά (% κ.β.) συγκρατούμενου υλικού** | **Αθροιστικά ποσοστά (% κ.β.) διερχόμενου υλικού** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **4** | 433.8 | 434.1 | 0.3 | 0.6 | 99.4 | 0.6 | 99.4 |
| **2** | 423.8 | 425.7 | 1.9 | 3.9 | 96.1 | 4.5 | 95.5 |
| **1** | 381.7 | 388.4 | 6.7 | 13.8 | 86.2 | 18.3 | 81.7 |
| **0.5** | 339.7 | 351.9 | 12.2 | 25.1 | 74.9 | 43.3 | 56.7 |
| **0.25** | 333.3 | 342.7 | 9.4 | 19.3 | 80.7 | 62.6 | 37.4 |
| **0.125** | 308.4 | 312.5 | 4.1 | 8.4 | 91.6 | 71.0 | 29.0 |
| **0.063** | 308.1 | 314.1 | 6 | 12.3 | 87.7 | 83.4 | 16.6 |
| **Βάση** | 390.7 | 398.8 | 8.1 | 16.6 | 0.0 | 100.0 | 0.0 |

- Βάρος αρχικού δείγματος (εν ξηρώ): 48,7 γρ.
- Βάρος αδρανών: 34,6 γρ.
- Βάρος κονίας: 14,1 γρ.

Η αναλογία **Συνδετικής Κονίας : Αδρανή υλικά = 1μέρος κονίας : 2,5 μέρη αδρανών.**

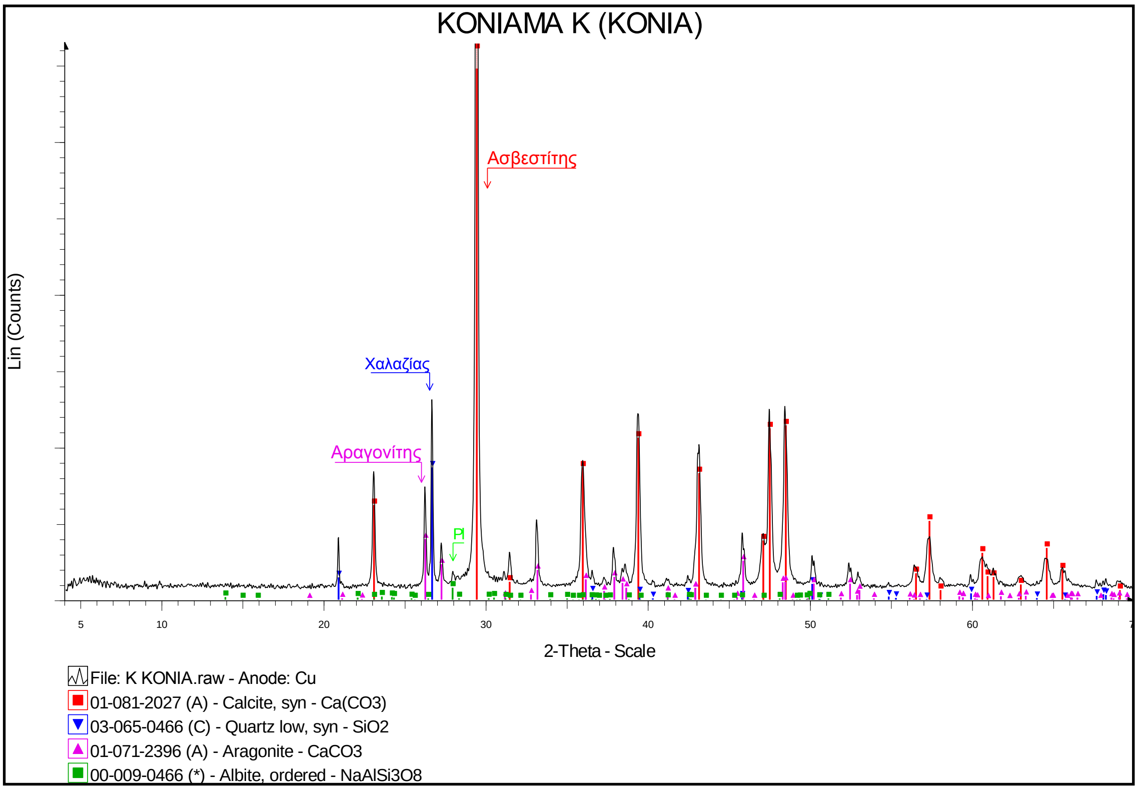



**Εικόνα 5.57** Κοκκομετρική καμπύλη του κονιάματος **Κ**, σύμφωνα με το ποσοστό αθροιστικά διερχόμενων κόκκων (αδρανές και κονία) από τα κόσκινα.




**Εικόνα 5.58** Κοκκομετρική κατανομή του κονιάματος **Κ**.

## ➢ Ορυκτολογική ανάλυση




**Εικόνα 5.59** Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD), του συνδετικού υλικού (κονία, κλάσμα <0.063 mm) του κονιάματος **Κ**. Calcite=Ασβεστίτης, Aragonite = Αραγονίτης, Quartz=Χαλαζίας, Albite (Pl) = Πλαγιόκλαστο.

## ➢ Επί μέρους εργαστηριακές αναλύσεις

**Πίνακας 5.17** Συνολικά αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων του κονιάματος **Κ**.

| **Δείγμα Κ** | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Χημική Ανάλυση Κονία** | **CaO** | **$SiO_2$** | **$Fe_2O_3$** | **$Al_2O_3$** | **MgO** | **$K_2O$** | **$Na_2O$** | **MnO** | **Απώλεια Πύρωσης** | **Σύνολο** |
| | 46.59 | 7.31 | 0.48 | 1.05 | Ίχνη | 0.14 | 0.59 | - | 42.74 | 98.90 |
| **Αδρανές** | 49.82 | 4.10 | 0.34 | 0.89 | 0.09 | 0.09 | 0.83 | - | 44.81 | 100.97 |
| **Υδατοαπορροφητικότητα (%)** | | **Φωτεινότητα (L*)** | | | | **Διαφορά από τέλειο λευκό (ΔΕ*ab)** | | | | |
| 20.2 | | 85.91 | | | | 15.93 | | | | |
| **Ορυκτολογική Ανάλυση** | | | | | | | | | | |
| **Κονία** | | Ασβεστίτης, Αραγονίτης, Χαλαζίας, Πλαγιόκλαστο | | | | | | | | |
| **Αδρανές** | | Ασβεστίτης, Αραγονίτης, Χαλαζίας, Πλαγιόκλαστο | | | | | | | | |

# <u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.</u> ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ & ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ Ι.Ν. ΓΕΝΕΣΙΟΥ ΘΕΟΤΟΚΟΥ

Τα τελευταία χρόνια, σε εργασίες συντήρησης - αναστήλωσης ιστορικών μνημείων δίδεται έμφαση στη χρησιμοποίηση συμβατών υλικών ως προς τα υλικά των μνημείων, ενώ πολλές ευρωπαϊκές αρχαιολογικές υπηρεσίες έχουν απαγορεύσει τη χρήση του βιομηχανικού τσιμέντου. Τα «εναλλακτικά κονιάματα», δηλαδή όσα κονιάματα δεν περιέχουν τσιμέντο, επανήλθαν στην σύγχρονη οικοδομική επικαιρότητα, μέσω της αναγκαιότητας για την εφαρμογή της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής και της οικολογικής δόμησης. Τέτοια κονιάματα είναι και αυτά τα οποία έχουν ως βάση τη φυσική υδραυλική άσβεστο. Συγκεκριμένα, οι φυσικές υδραυλικές άσβεστοι και τα συνδετικά κονιάματα με βάση το φυσικό υδραυλικό ασβέστη παράγονται με τρόπο αποδοτικό. Αποτέλεσμα αυτού είναι η ενέργεια που καταναλώνεται να είναι σημαντικά μικρότερη από την ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή τσιμέντου ή υδρασβέστου, ενώ παράλληλα η επαναπορρόφηση ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα παραμένει σε πολύ υψηλό επίπεδο (Τριανταφύλλου, 2011).

## 6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Βάσει του συνόλου των εργαστηριακών αναλύσεων και της επεξεργασίας που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, προκύπτουν οι παρακάτω παρατηρήσεις και συμπεράσματα που αφορούν στα κονιάματα και στα επιχρίσματα που δομούν τον Ιερό Ναό Γενεσίου Θεοτόκου Κορωνησίας.

- Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης των κονιαμάτων, προέκυψε πώς η επικρατέστερη αναλογία κονίας – αδρανούς είναι 1:2, δηλαδή σε ένα μέρος κονίας αντιστοιχούν δύο μέρη αδρανών.

  Πρέπει να σημειώσουμε πως η σημασία της υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης δεν έγκειται μόνο στον προσδιορισμό της αναλογίας κονίας – αδρανών, αλλά και στην παρατήρηση του είδους των αδρανών που απαρτίζουν το κονίαμα. Χαρακτηριστικά πρέπει να αναφέρουμε πως τα αδρανή των κονιαμάτων της τοιχοποιίας του καθολικού, και συγκεκριμένα τα κονιάματα Ν1α, Ν1β και Ν6, απαρτίζονται από αδρανή των οποίων η σύσταση διαφέρει στα επιμέρους κλάσματα, δεν είναι δηλαδή μονόμικτα αλλά πολύμικτα. Ενώ λοιπόν, στα πιο αδρομερή κλάσματα (-4, +1mm) συναντώνται στρογγυλεμένοι κόκκοι διαφορετικών αποχρώσεων χαλαζιακής σύστασης, στα πιο λεπτομερή επικρατούν κυρίως λευκόχρωμοι κόκκοι λατυποπαγοειδούς υφής ασβεστιτικής σύστασης.
- Τα κύρια κονιάματα δόμησης του καθολικού της Μονής είναι τα Ν1α, Ν1β και Ν6 ενώ μεταγενέστερα κονιάματα αποτελούν τα Ν2, Ν3, Ν4.
- Τα κονιάματα που μελετήθηκαν είναι αερικά κονιάματα, αποτελούνται δηλαδή από κονία ασβεστιτικής σύστασης (υδράσβεστος), αδρανή και νερό. Διαφέρει μόνο το Ν3 λόγω της ποσότητας κεραμάλευρου που περιέχει στη σύνθεσή του.
- Για την παρασκευή των αρχικών-προϋπαρχόντων κονιαμάτων και επιχρισμάτων χρησιμοποιήθηκαν αδρανή αποτελούμενα σε σημαντικό ποσοστό, είτε από διαφορετικά είδη κοχυλιών (στον τρούλο του καθολικού της Μονής και στο Κωδωνοστάσιο), είτε από **φυσική άμμο** αποτελούμενη από στρογγυλεμένους κόκκους ("βότσαλα") σε διαφορετικές κοκκομετρικές διαβαθμίσεις (στην τοιχοποιία του καθολικού της Μονής).

- Οι κονίες που συνθέτουν τα κονιάματα είναι ασβεστιτικής σύστασης και προήλθαν από ασβέστη καλής ποιότητας.
- Ένα ποσοστό των αδρανών υλικών που ταυτοποιήθηκε αποτελείται από αδρανή ασβεστιτικής σύστασης. Γενικά τα αδρανή που χρησιμοποιήθηκαν μπορούν να χαρακτηριστούν ως αδρανή τοπικής προελεύσεως.
- Η χημική ανάλυση τόσο της κονίας, όσο και των αδρανών υλικών των δειγμάτων που μελετήθηκαν, βρίσκεται σε πολύ καλή συσχέτιση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ορυκτολογική ανάλυση αυτών.
- Από τις εργαστηριακές αναλύσεις πιστοποιήθηκε η παρουσία τμήματος διακοσμητικής ταινίας ερυθράς απόχρωσης στην επιφάνεια του επιχρίσματος του τρούλου. Η ταινία αυτή, πλάτους 30 εκατοστών περίπου, αγκαλιάζει όλη τη διάμετρο του τυμπάνου του τρούλου.
- Από τις εργαστηριακές αναλύσεις δεν πιστοποιήθηκε η παρουσία διακοσμητικού θέματος στην κόγχη του ιερού του καθολικού.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι καθώς τα ληφθέντα δοκίμια – δείγματα ήταν ως επί το πλείστον εύθρυπτα και ακανόνιστου σχήματος δεν ήταν δυνατός ο προσδιορισμός των μηχανικών αντοχών των κονιαμάτων – επιχρισμάτων με άμεσες μεθόδους.

Μετρήθηκε όμως η υδατοαπορροφητικότητά τους, ιδιότητα η οποία συνδέεται έμμεσα με τις μηχανικές αντοχές τους. Τα δείγματα **Ν1α**, **Ν1β** και **Ν6** που αποτελούν και τα δομικά κονιάματα που είχαν χρησιμοποιηθεί στα πρώτα στάδια κατασκευής του Ναού (κύριο δομικό κονίαμα), παρουσιάζουν ικανοποιητική συνεκτικότητα και αντοχή, ως αποτέλεσμα τόσο της χρήσης καλής ποιότητας ασβέστου και αδρανών, όσο και της σωστής εφαρμογής τους. Τα δείγματα **Ν5α** και **Ν5β** από το επίχρισμα-κονίαμα του τρούλου του καθολικού του Ναού έχουν επίσης σχετικά ικανοποιητική συνεκτικότητα. Όλα τα υπόλοιπα δείγματα (**Ν2**, **Ν3**, **Ν4**, **Κ**) που μελετήθηκαν εργαστηριακά είναι εξαιρετικά εύθρυπτα έως πολύ ψαθυρά, με αποτέλεσμα να μην παρουσιάζουν αξιόλογες μηχανικές αντοχές.

## 6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ- ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Λαμβάνοντας υπόψη τις βασικές αρχές που σχετίζονται με τη συμβατότητα των κονιαμάτων – επιχρισμάτων αποκατάστασης με τα προϋπάρχοντα δομικά στοιχεία του μνημείου και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν, προτείνονται οι παρακάτω συνθέσεις (σε μέρη κατ’ όγκο) για κάθε ένα από τα διαφορετικά τμήματα του μνημείου που εξετάστηκαν.

1η Σύνθεση: τοιχοποιία καθολικού της Μονής (συνδετικό κονίαμα)

Ο λόγος συνδετικής κονίας – αδρανούς προτείνεται να είναι 1:2, βάσει των αποτελεσμάτων της μελέτης υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης των προϋπαρχόντων κονιαμάτων.

Στο μέρος της συνθέσεως που αφορά στη συνδετική κονία, το κύριο υλικό θα είναι φυσική υδραυλική άσβεστος τύπου NHL 3,5 σε ποσοστό 90%, ενώ η υπόλοιπη ποσότητα θα συμπληρώνεται από 10% φυσική ποζολάνη. Πιο αναλυτικά η σύνθεση δίνεται ως εξής: (0,9 μέρη φυσικής υδραυλικής ασβέστου + 0,1 μέρη φυσική ποζολάνη) : 2 μέρη αδρανών.

Κρίνεται απαραίτητο να σημειώσουμε πως τα αδρανή πρέπει να έχουν μέγεθος μικρότερο από 4 mm (< 4 mm), αντίστοιχο δηλαδή αυτού του πρωτογενούς κονιάματος.

2η Σύνθεση: τρούλος καθολικού της Μονής (Επίχρισμα)

Και για τη 2η σύνθεση ο λόγος συνδετικής κονίας – αδρανούς που προτείνεται είναι 1:2, βάσει των αποτελεσμάτων της μελέτης υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης των προϋπαρχόντων κονιαμάτων.

Στο μέρος της συνθέσεως που αφορά στη συνδετική κονία, το κύριο υλικό θα είναι φυσική υδραυλική άσβεστος τύπου NHL 3,5 σε ποσοστό 90%, ενώ η υπόλοιπη ποσότητα θα συμπληρώνεται από 10% φυσική ποζολάνη. Πιο αναλυτικά η σύνθεση δίνεται ως εξής: (0,9 μέρη φυσικής υδραυλικής ασβέστου + 0,1 μέρη φυσική ποζολάνη) : 2 μέρη αδρανών.

Το μέγεθος των αδρανών υλικών πρέπει να είναι μικρότερο από 1 mm (< 1 mm) ώστε να είναι συμβατά με την κοκκομετρία του πρωτογενούς κονιάματος.

<u>3η Σύνθεση: Κωδωνοστάσιο (κονίαμα τοιχοποιίας αποτελούμενης από οπτόπλινθους και λαξευμένους ασβεστόλιθους)</u>

Και για την 3η σύνθεση ο λόγος συνδετικής κονίας – αδρανούς που προτείνεται είναι 1:2, βάσει των αποτελεσμάτων της μελέτης υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης των προϋπαρχόντων κονιαμάτων.

Στο μέρος της συνθέσεως που αφορά στη συνδετική κονία, το κύριο υλικό θα είναι φυσική υδραυλική άσβεστος τύπου NHL 3,5 σε ποσοστό 80%, ενώ η υπόλοιπη ποσότητα θα συμπληρώνεται από 20% φυσική ποζολάνη. Πιο αναλυτικά η σύνθεση δίνεται ως εξής: (0,8 μέρη φυσικής υδραυλικής ασβέστου + 0,2 μέρη φυσική ποζολάνη) : 2 μέρη αδρανών.

Το μέγεθος των αδρανών υλικών πρέπει να είναι μικρότερο από 2 mm (< 2 mm) ώστε να είναι συμβατά με την κοκκομετρία του πρωτογενούς κονιάματος.

Το ποσοστό συμμετοχής της ποζολάνης στο κονίαμα που αφορά στο κωδωνοστάσιο είναι μεγαλύτερο (20% έναντι 10% των υπόλοιπων συνθέσεων), εξαιτίας της παρουσίας πλήθους οπτόπλινθων, τόσο στο κύριο τμήμα της τοιχοποιίας, όσο και στα υποτυπώδη γείσα του (η φυσική ποζολάνη αναμένεται να συμβάλλει σημαντικά στη συνάφεια μεταξύ των πλίνθων και του κονιάματος).

Εκτός από τη σύνθεση των επισκευαστικών κονιαμάτων και επιχρισμάτων, ένας καθοριστικός παράγοντας για την επιτυχία της αρμολόγησής τους είναι η προετοιμασία και η μέθοδος εφαρμογής τους. Η μεθοδολογία για την προετοιμασία τους που προτείνεται στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι:

1. Ξηρή ανάμειξη της ποζολάνης και των αδρανών για 15 περίπου λεπτά με αναδευτήρα.
2. Παραμονή του ξηρού μείγματος κονιάματος για 15 λεπτά ώστε να κατακαθίσουν τα υλικά.
3. Δεύτερη ανάδευση της σκόνης υδρασβέστου και νερού μέχρι το μείγμα να γίνει απόλυτα ομοιογενές.

Η μέθοδος εφαρμογής που προτείνεται περιγράφεται στα ακόλουθα βήματα :

1. Καθάρισμα των χαλαρών υλικών που βρίσκονται μέσα στον αρμό σε βάθος περίπου 5 εκατοστών, ή και περισσότερο, όπου αυτό είναι δυνατό.
2. Διαβροχή του αρμού και των γύρω λίθων ώστε να αποφευχθεί η απορρόφηση του νερού από το κονίαμα.
3. Εφαρμογή του κονιάματος στον αρμό με το χέρι ή με μικρές σπάτουλες καλλιτεχνίας ώστε να διατηρηθεί όσο πιο καθαρό γίνεται το λίθινο δομικό υλικό γύρω από τους αρμούς.
4. "Χτύπημα" ή "συμπίεση" του κονιάματος μετά την αρχική στερεοποίησή του, αφού δηλαδή τραβήξει λίγο και εξατμιστεί το νερό που περιέχει. Το στάδιο αυτό αποτελεί ίσως το πιο σημαντικό μέρος των εργασιών αφού έτσι επιτυγχάνεται καλύτερη πρόσφυση στους δομικούς λίθους και στους οπτόπλινθους, μεγαλύτερη εσωτερική συνοχή του κονιάματος καθώς και αποφυγή του "τριχιάσματος" ή της ρηγμάτωσης που προκαλείται από την εξάτμιση του νερού. Παράλληλα σπάει και απομακρύνεται η κρούστα από λεπτά αδρανή που δημιουργείται στην επιφάνεια κατά το στρώσιμο του κονιάματος δημιουργώντας έτσι μία πιο αδρή επιφάνεια με το κατάλληλο πορώδες και πολύ πιο ευπαρουσίαστη υφή.
5. Καθαρισμός των λίθων γύρω από τον αρμό με χορτόβουρτσες αμέσως μετά το χτύπημα αφού τα περισσεύματα του κονιάματος έχουν στεγνώσει και μπορούν να βουρτσιστούν.
6. Σκέπασμα των αρμολογημένων τμημάτων με υγρή λινάτσα και συνεχής διαβροχή του υφάσματος για τις πρώτες 10 ημέρες τουλάχιστον.

## 6.3 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

Για τη διατήρηση της ομοιομορφίας και για την επίτευξη συμβατότητας σε μέγιστο βαθμό, μεταξύ των προϋπαρχόντων και των επισκευαστικών κονιαμάτων, θα ήταν ιδανικό να χρησιμοποιηθούν αδρανή, παρόμοια με τα αρχικά υλικά. Μετά από αυτοψία που πραγματοποιήθηκε από την ομάδα μελέτης σε χώρους Αιγιαλού – Παραλίας της Κορωνησίας, διαπιστώθηκε η ύπαρξη κοχυλιών και βότσαλων, ανάλογων με αυτά που ταυτοποιήθηκαν ως αδρανή στα κονιάματα που αναλύθηκαν.

Όμως λόγω της δυσκολίας αμμοληψίας από τους παρακείμενους χώρους, διότι η περιοχή είναι αναγνωρισμένη ως προστατευόμενη καθώς έχει χαρακτηριστεί υδροβιότοπος, δεν είναι δυνατή η λήψη μεγάλου όγκου ποσοτήτων φυσικών βότσαλων και κοχυλιών τα οποία σύμφωνα με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων απαρτίζουν ως αδρανή το μεγαλύτερο ποσοστό των αρχικών κονιαμάτων. Για αυτόν το λόγο, αναφέρονται οι πρώτες ύλες που θα χρησιμοποιηθούν για τη σύνθεση των επισκευαστικών κονιαμάτων καθώς και οι προδιαγραφές που πρέπει να πληρούν.

**<u>ΚΟΝΙΕΣ (ΣΥΝΔΕΤΙΚΗ ΥΛΗ)</u>**

1. Η φυσική υδραυλική άσβεστος τύπου NHL 3,5 (υπό μορφή σκόνης), τυποποιημένη κατά EN 459-1,2
2. Φυσική ποζολάνη, , η οποία θα εισφέρει υδραυλικότητα στα συνδετικά υλικά. Το ποσοστό συμμετοχής της ποζολάνης στο κονίαμα που αφορά στο κωδωνοστάσιο είναι μεγαλύτερο (20% έναντι 10% των υπολοίπων συνθέσεων), εξαιτίας της παρουσίας πλήθους οπτόπλινθων, τόσο στο κύριο τμήμα της τοιχοποιίας, όσο και στα υποτυπώδη γείσα του (η φυσική ποζολάνη αναμένεται να συμβάλλει σημαντικά στη συνάφεια μεταξύ των πλίνθων και του κονιάματος).

Προκειμένου η ποζολάνη να είναι κατάλληλη για την παρασκευή κονιαμάτων αρμολόγησης-δόμησης και επιχρισμάτων, θα πρέπει να παρουσιάζει τα παρακάτω χαρακτηριστικά: να έχει άμορφη δομή (μιας και η δομή αυτή αντιδρά δραστικότερα με τις ποσότητες υδροξειδίου του ασβεστίου της κονίας), ποσοστά σε $SiO_2$ > 65% (σε χημική ανάλυση), πολύ χαμηλά υδατοδιαλυτά άλατα (EN 772-5), υπέρλεπτη κοκκομετρία (να διέρχεται εξ' ολοκλήρου από το κόσκινο των 63 μm και το 90% από το κόσκινο των 20 μm), χαμηλό φαινόμενο ειδικό βάρος (< 500 $Kg/m^3$), μεγάλη ειδική επιφάνεια (> 30 $m^2/g$), να παρουσιάζει ποζολανικότητα > 7 $N/mm^2$ (ΠΔ 244/80, άρθρο 8), τιμή ειδικής επιφάνειας > 30 $m^2/g$ και δραστικό πυρίτιο > 30% (EN 196-2, EN 197-1).

**<u>ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ</u>**

Σε ότι αφορά το τμήμα των προτεινόμενων συνθέσεων που αναφέρεται στα αδρανή υλικά, προτείνονται τα παρακάτω:

1. Για την προτεινομένη σύνθεση της τοιχοποιίας του καθολικού της Μονής προτείνεται η χρήση ως αδρανών υλικών άμμου, χαλαζιακής και ασβεστιτικής σύστασης. Η πρώτη θα συμμετέχει στη συνολική ποσότητα του αδρανούς υλικού του επισκευαστικού κονιάματος σε ποσοστό έως 80% και η δεύτερη σε ποσοστό έως 20%. Επίσης, προτείνεται να ληφθεί μέριμνα ώστε το μέρος του ασβεστιτικού αδρανούς να συμπληρώσει κλάσματα του αδρανούς υλικού από 1 έως 0.125 mm.
2. Για τις υπόλοιπες δύο συνθέσεις (επίχρισμα του τρούλου - κωδωνοστάσιο του Ναού) επίσης προτείνεται η χρήση άμμου, χαλαζιακής και ασβεστιτικής σύστασης, ως αδρανών υλικών**.** Ωστόσο, στις περιπτώσεις αυτές η πρώτη θα συμμετέχει στη συνολική ποσότητα του αδρανούς υλικού του επισκευαστικού κονιάματος σε ποσοστό έως 10% (και μόνο στο λεπτομερές τμήμα των αδρανών) και η δεύτερη σε ποσοστό έως 90%.

Οι τεχνικές προδιαγραφές των ανωτέρω αδρανών υλικών προτείνεται να είναι οι παρακάτω:

- Χαλαζιακή άμμος, αν είναι δυνατόν τοπικής προελεύσεως, καλά πλυμένη και κοσκινισμένη με απουσίας παιπάλης. Η κοκκομετρική της διαβάθμιση να είναι μεταξύ 0,06 – 3 mm και η χρωματική της απόχρωση να κυμαίνεται κυρίως μεταξύ λευκού, ωχρού, γκρι και φαιού χρώματος.
- Ασβεστιτική άμμος τοπικής προελεύσεως, υψηλού βαθμού καθαρότητας σε ανθρακικό ασβέστιο ($CaCO_3$ > 96%) που να εμπίπτει στις προδιαγραφές του προτύπου ΕΝ 13139 (Αδρανή κονιαμάτων), λευκής αποχρώσεως. Η γενική κοκκομετρική της διαβάθμιση να βρίσκεται μεταξύ 0,06 και 3 mm. Η άμμος πρέπει να είναι απαλλαγμένη από επιβλαβείς ουσίες, όπως αργιλικά ορυκτά, οργανικά

συστατικά κτλ. Οι αντίστοιχες μέγιστες ανεκτές κατά βάρος περιεκτικότητες είναι 4% για την άργιλο, 1% για τα οργανικά συστατικά και 1% για τους μαρμαρυγίες.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ανδρεΐκος Α. Γ., (1981 – 85), «Οι κατώτερες Παλαιολιθικές Λιθοτεχνίες της Δυτικής Ηπείρου και του Ιονίου – Οι απαρχές της Παλαιολιθικής εξέλιξης», (αναγνωριστικές έρευνες περιόδου 1981 – 1985).

Αντωνόπουλος Ανάργυρος, (2011), «Αδρανή Υλικά», Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών (Μάρτιος 2011-Αθήνα)

Αποστολάκη Χ., (2011), «Σύνθεση και έλεγχος συμβατότητας υδραυλικών κονιαμάτων με δομικά υλικά κατασκευής ιστορικών κτιρίων και μνημείων» Διδακτορική Διατριβή, 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)

Βιαζής Γ., (2003), «Τεχνολογία Δομικών Υλικών»

Βοκοτόπουλος Π., (1975), «Η εκκλησιαστική αρχιτεκτονική εις την δυτικήν Στερεάν Ελλάδα και την Ήπειρον» (Θεσσαλονίκη, 1975).

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)

Δρίτσος, Σ. ,2001, «Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα», Πάτρα, Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Πατρών

EN 933-1: 1997. Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών – Μέρος 1: Προσδιορισμός του διαγράμματος κοκκομετρίας – Μέθοδος με κόσκινα.

EN 459-1:2001. Δομική άσβεστος – Μέρος 1: Ορισμοί, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης.

EN 13755: 2002. Υδατοαπορρόφηση δομικών λίθων σε ατμοσφαιρική πίεση.

Ζαχαροπούλου, Γ., (2004), «Παραγωγή ασβέστου υψηλής δραστικότητας κατάλληλης για αποκαταστάσεις μνημείων και ιστορικών κτιρίων», Διδακτορική διατριβή, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη

Θεοδωρίδης Χ.Δ., «Συμβατά Υλικά και Μέθοδοι Συντήρησης και Αποκατάστασης Ιστορικών Κτιρίων», 15ο Συνέδριο Σκυροδέματος (Αλεξανδρούπολη, 25-27 Οκτωβρίου, 2006)

Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), Γεωλογικός Χάρτης Ελλάδος, Φύλλο Άρτας, 1969

Κορωναίος Α.Μ. & Πουλάκος, Γ.Ι., (2006), «Τεχνικά Υλικά, Τόμος 1», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Κωστάκης Γ., (1998), «Φυσικές ιδιότητες των ορυκτών», Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, (Χανιά,1998)

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

Λεγάκις Α. Αντωνίου (1954), «Δομικά Υλικά», Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα

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

Μανίτα, Π. & Πανταζόπουλος, Σ, 2000, «Παθολογία και Μηχανισμοί φθοράς Ιστορικών Κτιρίων», Πρακτικά 1ου Εθνικού Συνεδρίου Ήπιες επεμβάσεις για την προστασία ιστορικών κατασκευών, σελ 331-341, Θεσσαλονίκη

Μαρκόπουλος, Θ., Τριανταφύλλου, Γ. & Μαυριγιαννάκης. Σ., (2006), «Σύνθεση κονιαμάτων υδραυλικής ασβέστου που παρήχθησαν από ασβεστολιθικές ύλες της Κρήτης και έλεγχος της μηχανικής τους συμπεριφοράς» 15$^{Ο}$ Συνέδριο Σκυροδέματος.

Μαρκόπουλος Θεόδωρος, Τριανταφύλλου Γεώργιος, Ροτόντο Παυλίνα, (2012), «Συντήρηση και αποκατάσταση των Ανατολικών και Δυτικών κτιρίων του οικοδομικού συγκροτήματος της Ιεράς Μονής Βλαχέρνας Ν.Άρτας», Τεχνική έκθεση, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, (Χανιά, Ιανουάριος 2012)

Μοροπούλου Α., Κορωναίος Χ., Καρόγλου Μ., Αγγελακοπούλου Ε., Μπακόλας Α., Ντόμπρος Α., (2008), «Ανάλυση Κύκλου Ζωής Κονιαμάτων», 1$^{ο}$ Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ (Αθήνα, Μάιος 2008)

Μουτζάλη Γ. Αφέντρα, «Κορακονησία, ένα μικρό νησί στον Αμβρακικό κόλπο», Περιοδικό "ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΕΣ" τεύχος 109, Δεκέμβριος 2008

Μουτσόπουλος Ν. Κ., «Η Παναγία της Κορακονησίας», (Θεσσαλονίκη, 2005)

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)

Μπατής Γεώργιος, Σιόβα Ελένη, «Ανθεκτικότητα Κονιαμάτων Αποκατάστασης με Λευκό Τσιμέντο – Δυνατότητες Προστασίας», 16$^{ο}$ Συνέδριο Σκυροδέματος, (21-23/10/2009, Πάφος, Κύπρος)

Μωχάμεντ Μ., (1996), «Παρασκευή νέων κονιαμάτων με παραδοσιακά υλικά για εφαρμογές συντήρησης ενετικών μνημείων- Μελέτη της συμβατότητας των δομικών λίθων, της αντοχής και της θαλάσσιας διάβρωσής τους», Μεταπτυχιακή εργασία, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, (Χανιά,1996)

Νικηφοράκη Καλλιόπη, «Καταλληλότητα ασβεστολιθικών πρώτων υλών περιοχών κρήτης για παραγωγή υδραθλικών κονιών και τεχνολογία παρασκευής τους», διπλωματική εργασία, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, (Χανιά, Μάιος 2008)

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)

Σκουλικίδης Θ.Ν., (2000), «Διάβρωση και συντήρηση των δομικών υλικών των μνημείων» Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης

Τριανταφύλλου Γ. – Μανούτσογλου Ε., (2004), «Η συμβολή της ασβέστου στην αντιμετώπιση περιβαλλοντικών επιπτώσεων» (Χανία-2004)

Τριανταφύλλου Γεώργιος, (2003), «Επίδραση του μεγέθους των Κρυστάλλων και του Πορώδους ανθρακικών πετρωμάτων στις ιδιότητες της παραγόμενης ασβέστου», (Χανιά, Μάρτιος 2003)

Τριανταφύλλου Γεώργιος, (2011), «Αξιολόγηση νεογενών ασβεστολιθικών πετρωμάτων Κρήτης για τη διερεύνηση δυνατότητας παραγωγής φυσικών υδραυλικών κονιών», Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης (2011,Χανιά)

Χριστοδούλου Δημήτριος & Αποστολοπούλου Γεωργία, (2010), «Διερεύνηση Θεμάτων στατικής επάρκειας του Ιερού Ναού Μονής Αγίου Βλασίου Στυλίδας», (Λαμία, Ιανουάριος 2010)

## ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ashurst, J., (1997): «The Technology and Use of Hydraulic Lime» The Building Conservation Directory, London

British Geological Survey, (2005). Mineral Planning Factsheet. Natural hydraulic limes

BS 3900-D10: 1986. Determination of colour and colour difference: Calculation. Paints, Coatings, Colour

Boynton, R.S., (1980), «The chemistry and Technology of Lime and Limestone», 2nd ed., Wiley, New York

Edison, M.P., (2006). Natural Cement in the 21st Century. Journal of ASTM International, Vol. 4, No. 1

Holmes, S. and Wingate, M., (1997). Building with Lime, A practical introduction, Intermediate Technology Publications, UK

Moropoulou A., Bakolas A., Moundoulas P., Michailidis P., "Evaluation of compatibility between repair mortars and building materials in historic structures by the control of the microstructure of cement-based systems" Concrete science and engineering, Vol.2, (2000), σελ. 191-195

Toumbakari, E.E. Van Gement, D. Tassios, P. T., Metrology for the design of injection grouts for the consolidation of ancient masonry, Proceedings of the international RILEM Workshop Historic Mortars: Characteristics and Tests, RILEM Publications S.A.R.L. pp. 395-405

Triantafyllou, G. & Komnitsas, K., (2004). Cement industry towards sustainability. Advances in Mineral Resources Management and Environmental Geotechnology, Chania, Book of Proceedings, pp. 299-304

Vintzileou, E., Miltiadou, A.F., (2008). Mechanical properties of three-leaf stone masonry grouted with ternary or hydraulic lime-based grouts. Engineering structures, Vol.30, pp. 2265-2276

Wendehorst R., (1975-Hannover): «Δομικά Υλικά» Μετάφραση από τα γερμανικά, Εκδόσεις Μ. Γκιούρδας (1981-Αθήνα)

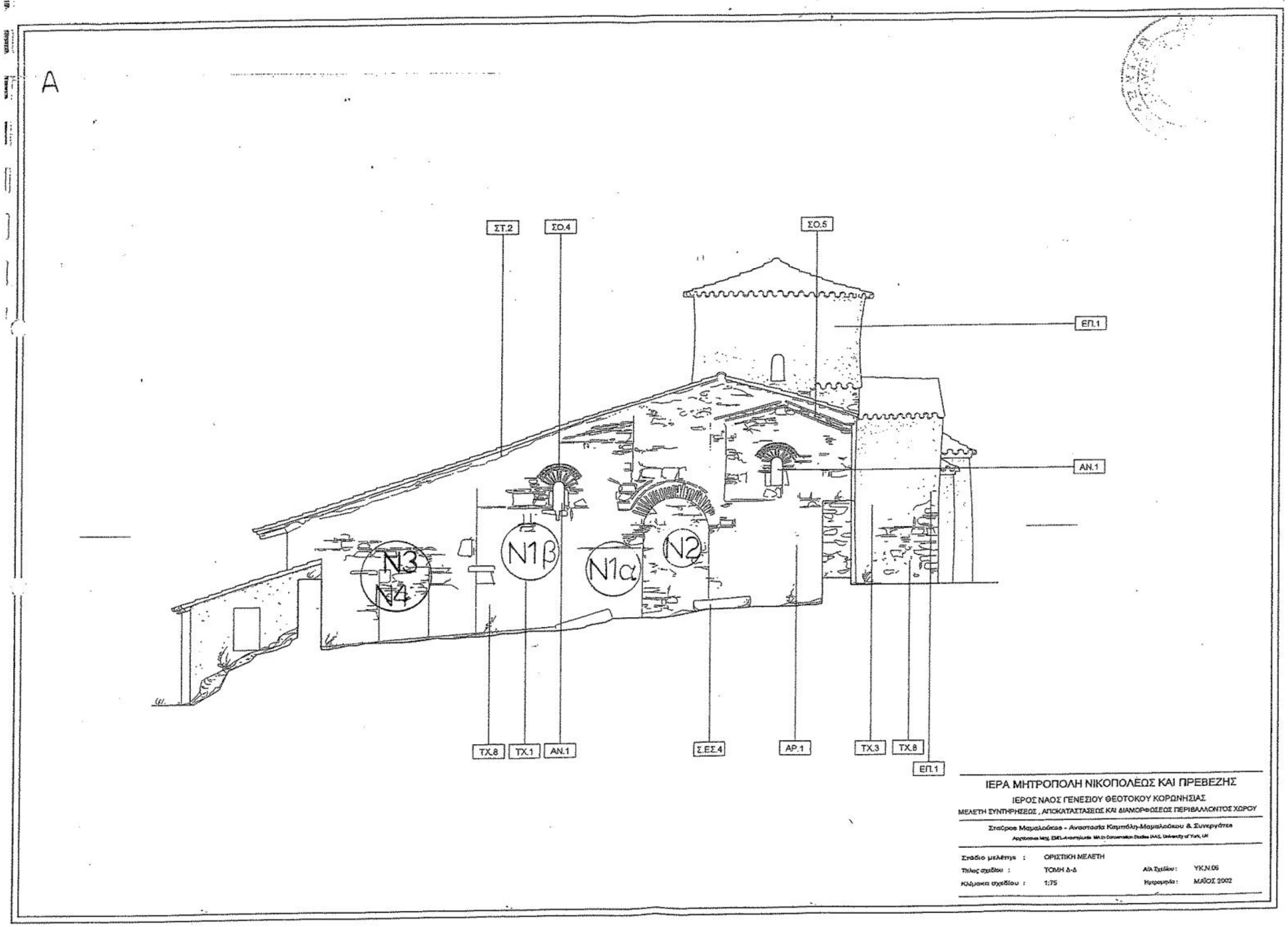
## ΙΣΤΙΟΣΕΛΙΔΕΣ

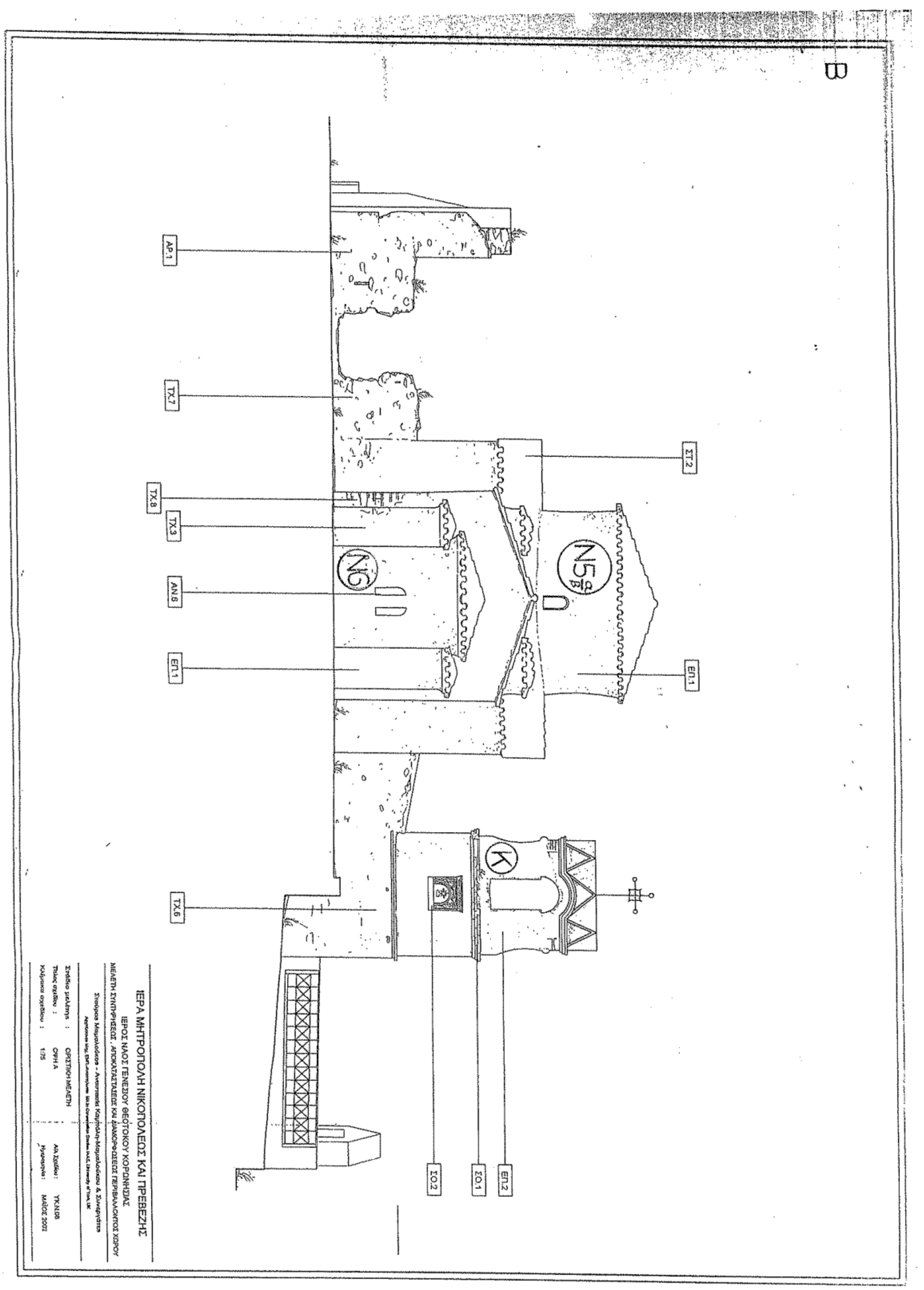
http://portal.tee.gr

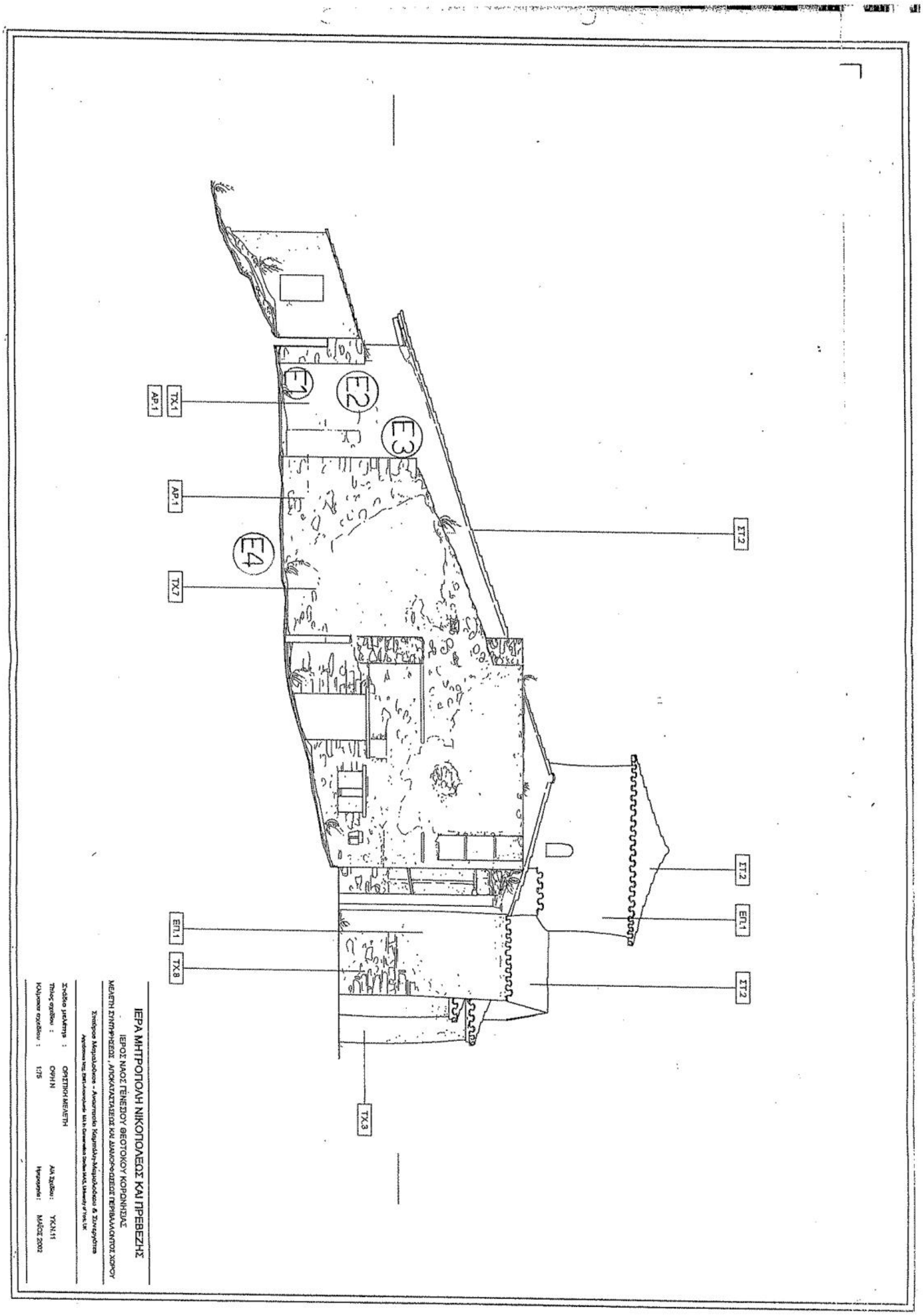
# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

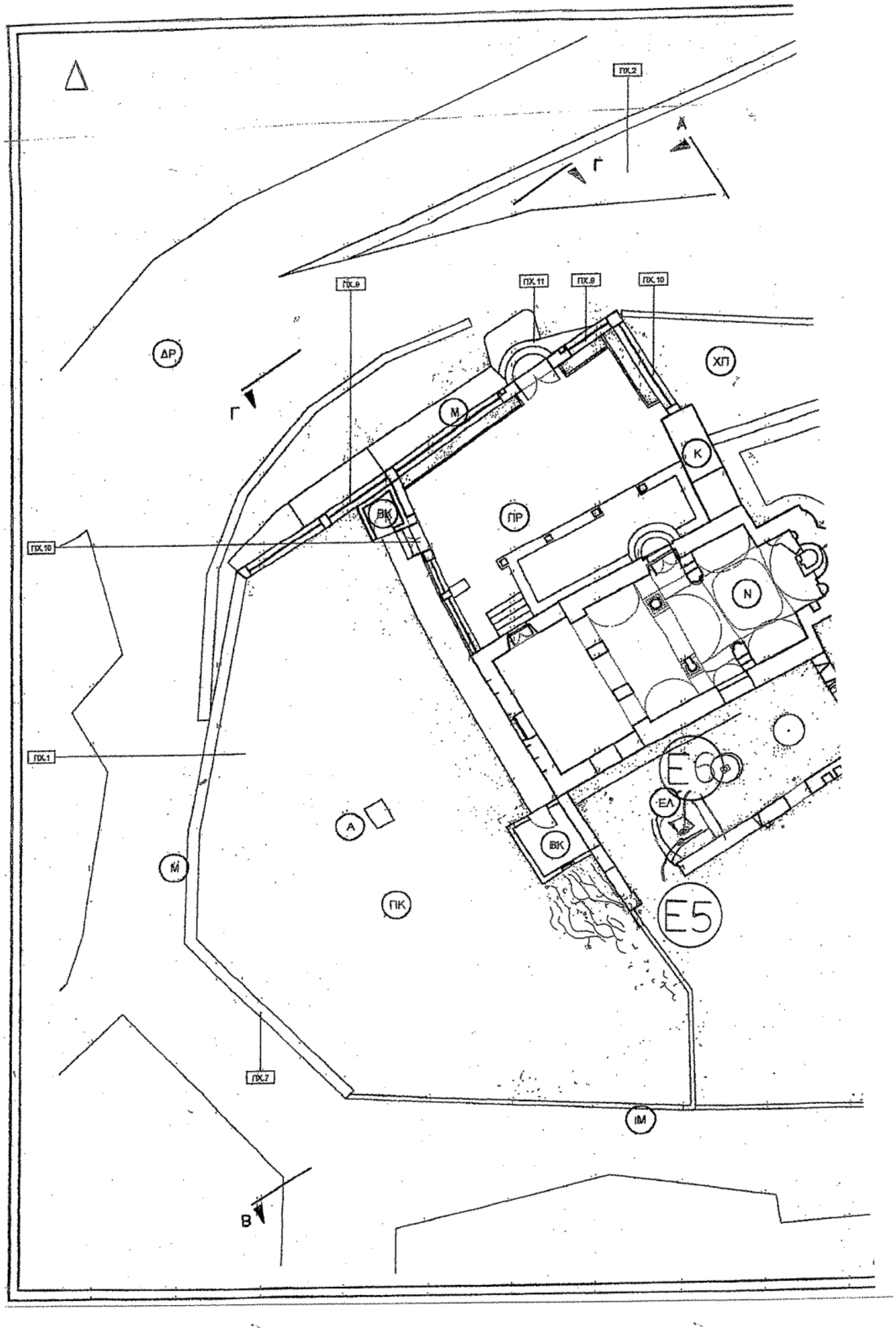
## Αρχιτεκτονικά σχέδια του οικοδομικού συγκροτήματος του Ι. Ν. Γενεσίου Θεοτόκου Κορωνησίας

## Σημεία δειγματοληψίας


A
ΣΤ.2
ΣΟ.4
ΣΟ.5
ΕΠ.1
ΑΝ.1
N3
N4
N1β
N1α
N2
ΤΧ.8
ΤΧ.1
ΑΝ.1
Σ.ΕΣ.4
ΑΡ.1
ΤΧ.3
ΤΧ.8
ΕΠ.1
ΙΕΡΑ ΜΗΤΡΟΠΟΛΗ ΝΙΚΟΠΟΛΕΩΣ ΚΑΙ ΠΡΕΒΕΖΗΣ
ΙΕΡΟΣ ΝΑΟΣ ΓΕΝΕΣΙΟΥ ΘΕΟΤΟΚΟΥ ΚΟΡΩΝΗΣΙΑΣ
ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΕΩΣ , ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΣ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΥ
Σταύρος Μαμαλούκος - Αναστασία Καμπόλη-Μαμαλούκου & Συνεργάτες
Στάδιο μελέτης : ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
Τίτλος σχεδίου : ΤΟΜΗ Δ-Δ
Α/Α Σχεδίου : ΥΚ.Ν.06
Κλίμακα σχεδίου : 1:75
Ημερομηνία : ΜΑΪΟΣ 2002


ΙΕΡΑ ΜΗΤΡΟΠΟΛΗ ΝΙΚΟΠΟΛΕΩΣ ΚΑΙ ΠΡΕΒΕΖΗΣ
ΙΕΡΟΣ ΝΑΟΣ ΓΕΝΕΣΙΟΥ ΘΕΟΤΟΚΟΥ ΚΟΡΩΝΗΣΙΑΣ
ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΕΩΣ, ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΣ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΥ
ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΟΨΗ Α
1/25
ΜΑΪΟΣ 2002
B
ΑΡ.1
ΤΧ.7
ΤΧ.8
ΤΧ.3
ΑΝ.8
ΕΠ.1
ΤΧ.6
ΣΤ.2
ΕΠ.1
ΣΟ.2
ΣΟ.1
ΕΠ.2
Ν6
Ν5
Κ

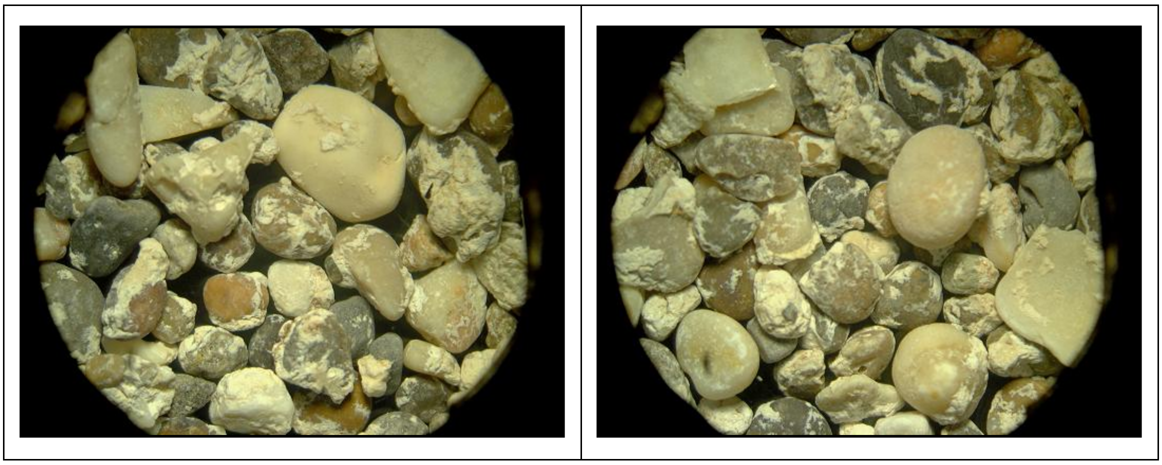

ΙΕΡΑ ΜΗΤΡΟΠΟΛΗ ΝΙΚΟΠΟΛΕΩΣ ΚΑΙ ΠΡΕΒΕΖΗΣ
ΙΕΡΟΣ ΝΑΟΣ ΓΕΝΕΣΙΟΥ ΘΕΟΤΟΚΟΥ ΚΟΡΩΝΗΣΙΑΣ
ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΕΩΣ , ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΣ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΥ
Στάδιο μελέτης : ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
Τίτλος σχεδίου : ΟΨΗ Ν
Κλίμακα σχεδίου : 1:75
Αρ. Σχεδίου : ΤΚ.Ν.11
Ημερομηνία : ΜΑΪΟΣ 2002
ΤΧ.1
ΑΡ.1
ΑΡ.1
ΤΧ.7
ΕΠ.1
ΤΧ.8
ΤΧ.3
ΣΤ.2
ΣΤ.2
ΕΠ.1
ΣΤ.2
Ε1
Ε2
Ε3
Ε4


Δ
ΠΧ.2
Α
Γ
ΠΧ.9
ΠΧ.11
ΠΧ.9
ΠΧ.10
ΔΡ
ΧΠ
Γ
Μ
Κ
ΒΚ
ΠΡ
ΠΧ.10
Ν
ΠΧ.1
Ε6
ΕΛ
Α
ΒΚ
Μ
ΠΚ
Ε5
ΠΧ.7
ΙΜ
Β

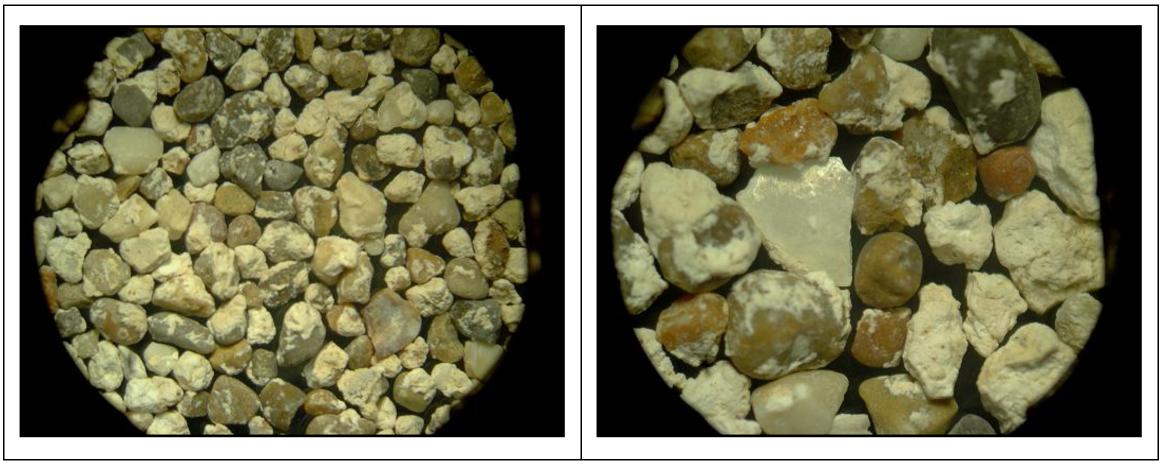
# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

## Φωτογραφίες κοκκομετρικών κλασμάτων αδρανών των κονιαμάτων

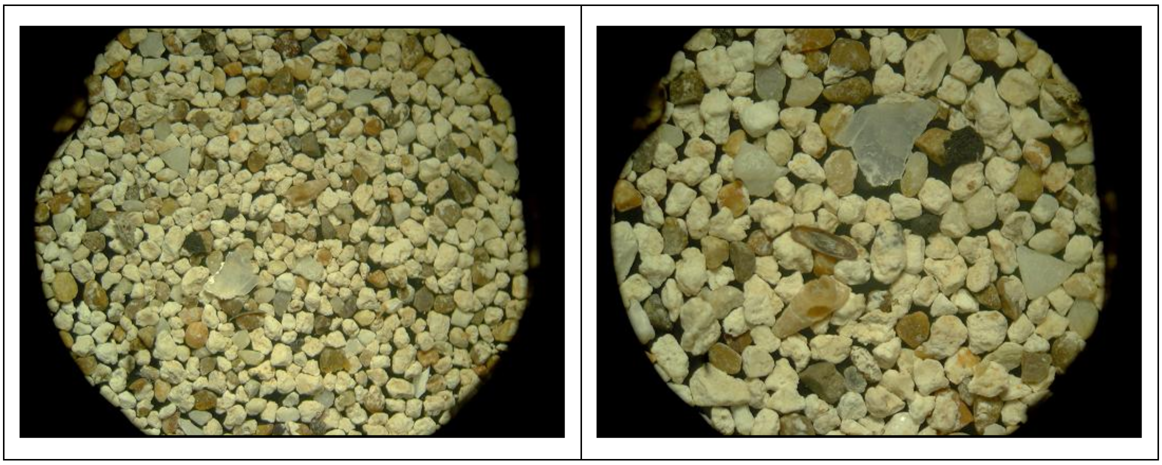
**Εικόνα 2.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος > 4.00 mm του κονιάματος **Ν1α**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x).



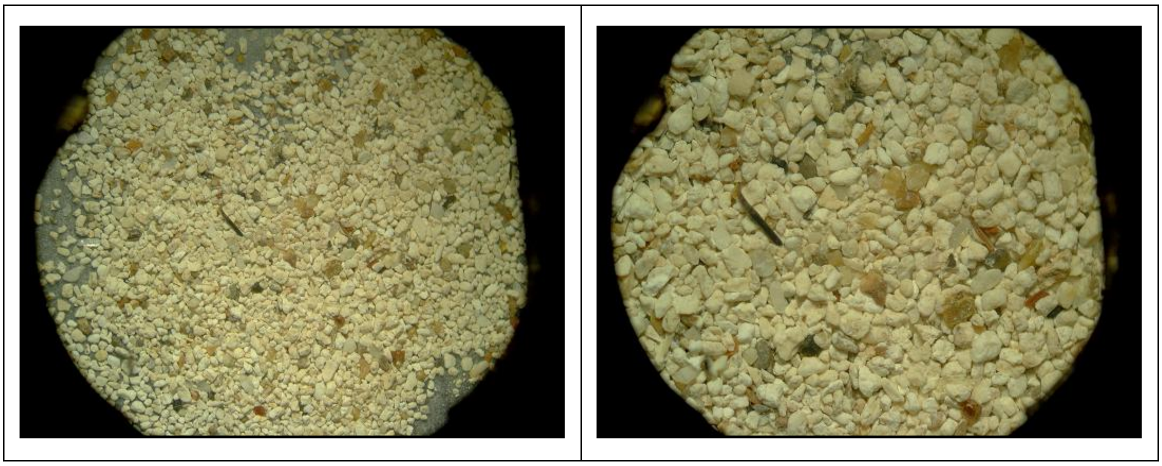
**Εικόνα 2.** Φωτογραφίες του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 2 έως 4 mm του κονιάματος **Ν1α**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x).



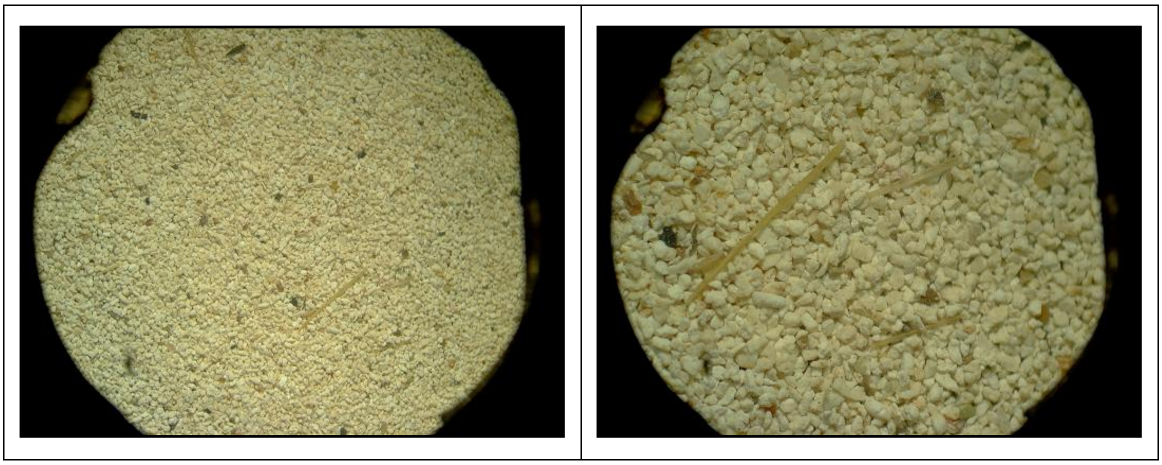
**Εικόνα 3.** Φωτογραφίες του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 1 έως 2 mm του κονιάματος **Ν1α**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα).



**Εικόνα 4.** Φωτογραφίες του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 0.5 έως 1 mm του κονιάματος **Ν1α**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα).

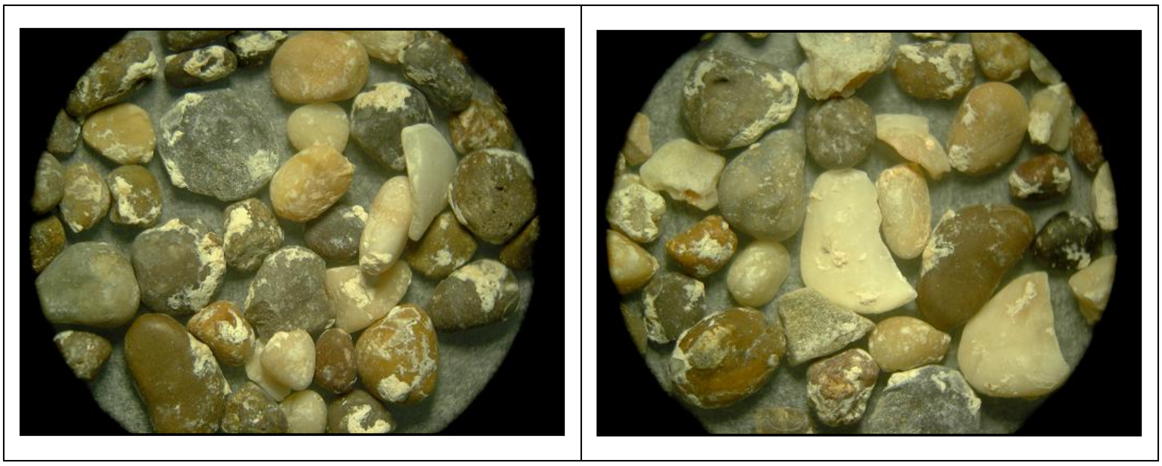


**Εικόνα 5.** Φωτογραφίες του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 0.25 έως 0.5 mm του κονιάματος **Ν1α**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα).

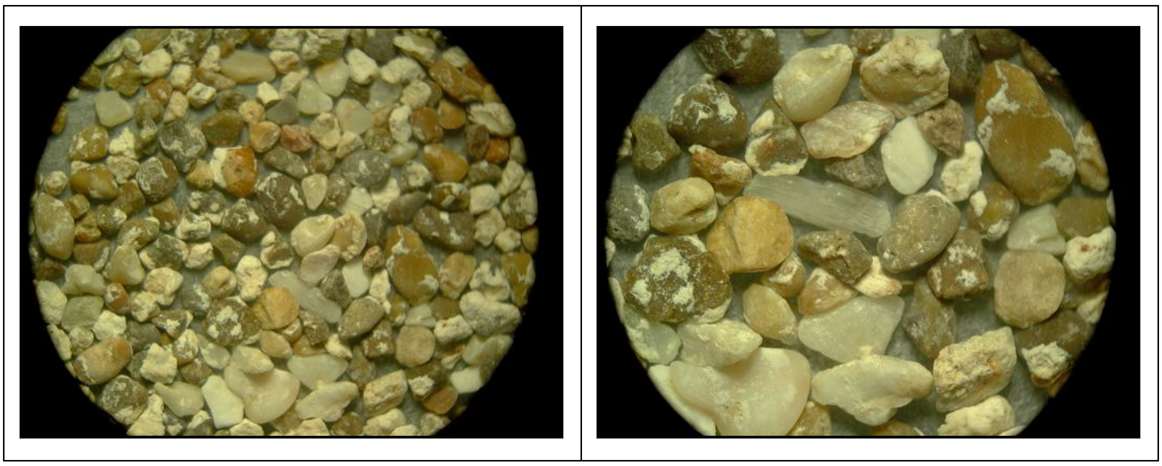


**Εικόνα 6.** Φωτογραφίες του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 0.125 έως 0.25 mm του κονιάματος **Ν1α**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα).

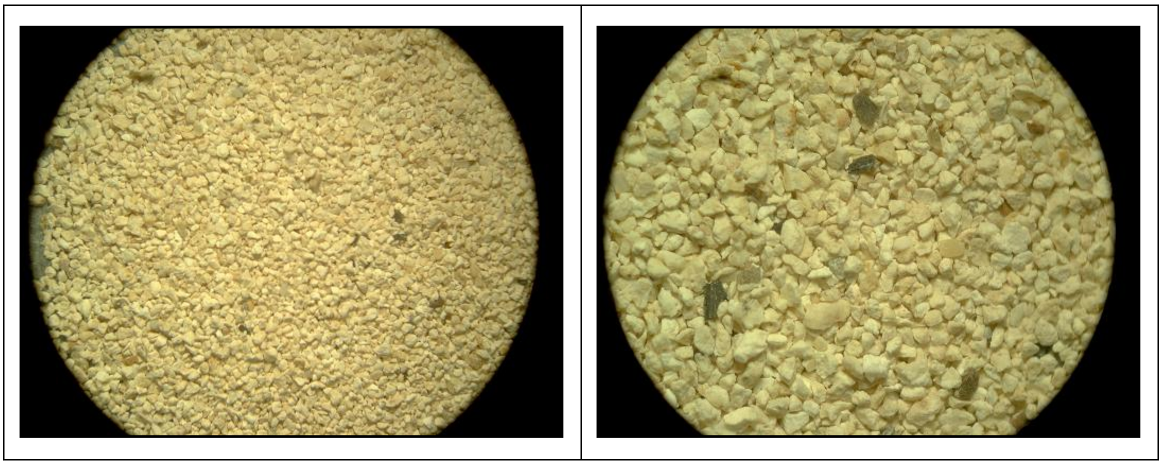

**Εικόνα 7.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος > 4.00 mm του κονιάματος **Ν1β**.



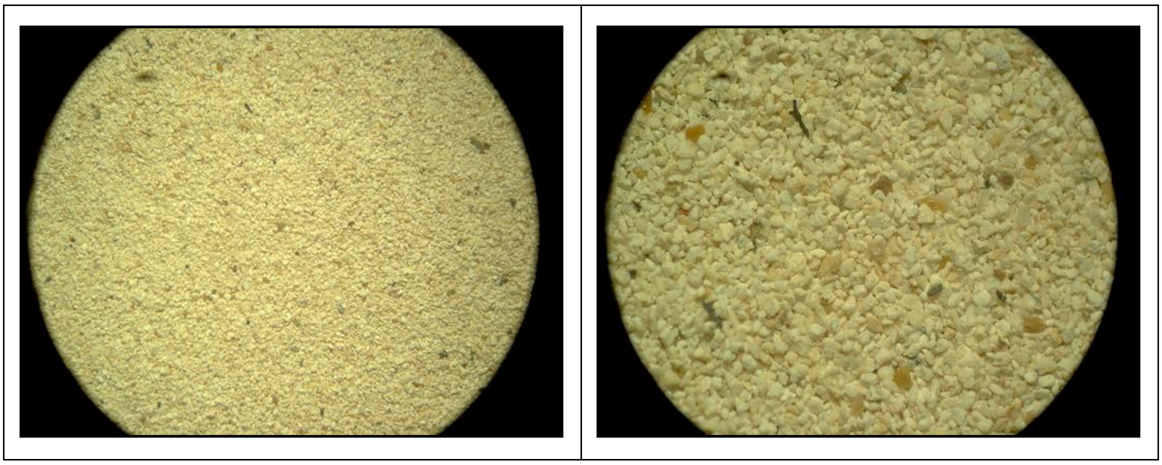
**Εικόνα 8.** Φωτογραφίες του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 2 έως 4 mm του κονιάματος **Ν1β**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x).



**Εικόνα 9.** Φωτογραφίες του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 1 έως 2 mm του κονιάματος **Ν1β**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα).



**Εικόνα 10.** Φωτογραφίες του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 0.25 έως 0.5 mm του κονιάματος **Ν1β**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα).

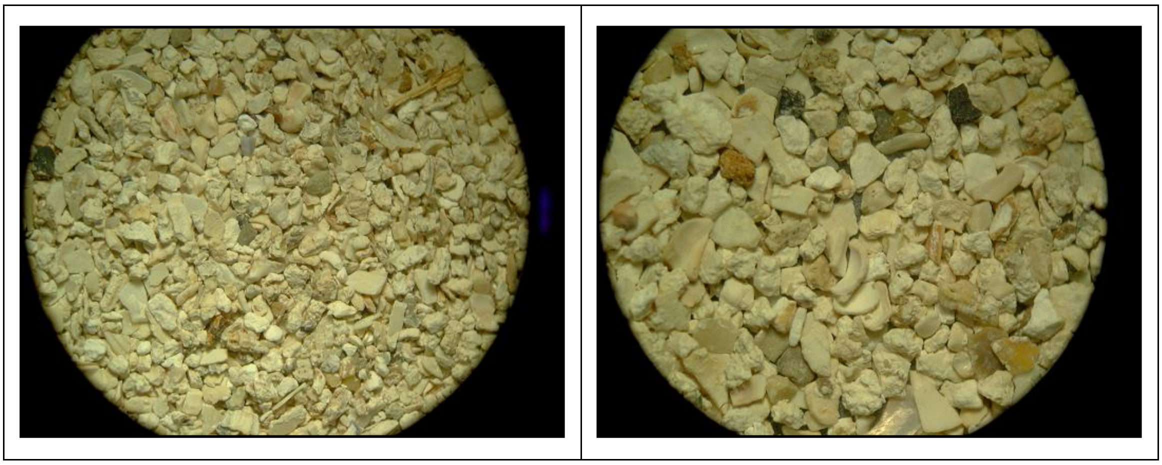


**Εικόνα 11.** Φωτογραφίες του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 0.125 έως 0.25 mm του κονιάματος **Ν1β**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα).

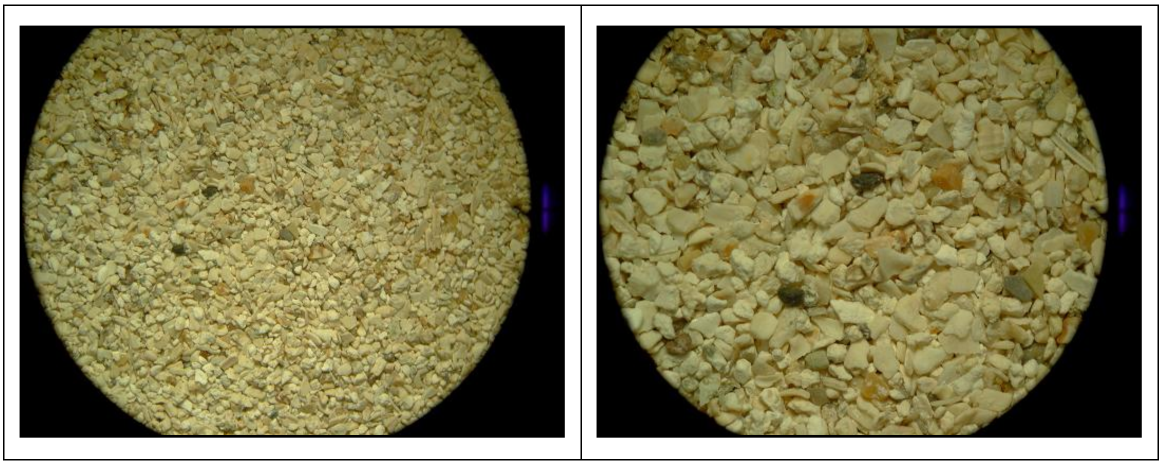
**Εικόνα 12.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος > 4.00 mm του κονιάματος **N2**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x).

**Εικόνα 13.** Φωτογραφίες του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 2 έως 4 mm του κονιάματος **N2**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x).

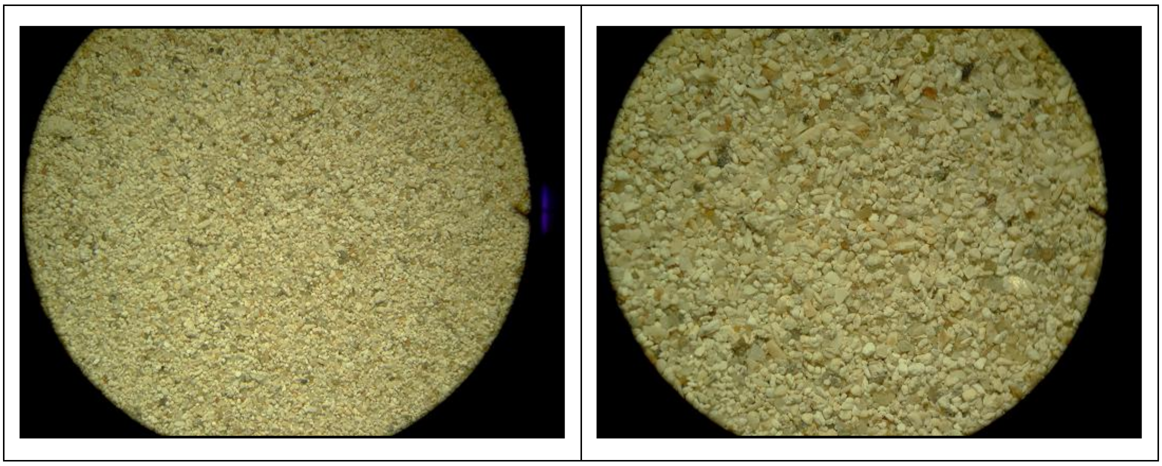
**Εικόνα 14.** Φωτογραφίες του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 1 έως 2 mm του κονιάματος **N2**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα).



**Εικόνα 15.** Φωτογραφίες του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 0.5 έως 1 mm του κονιάματος **Ν2**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα).

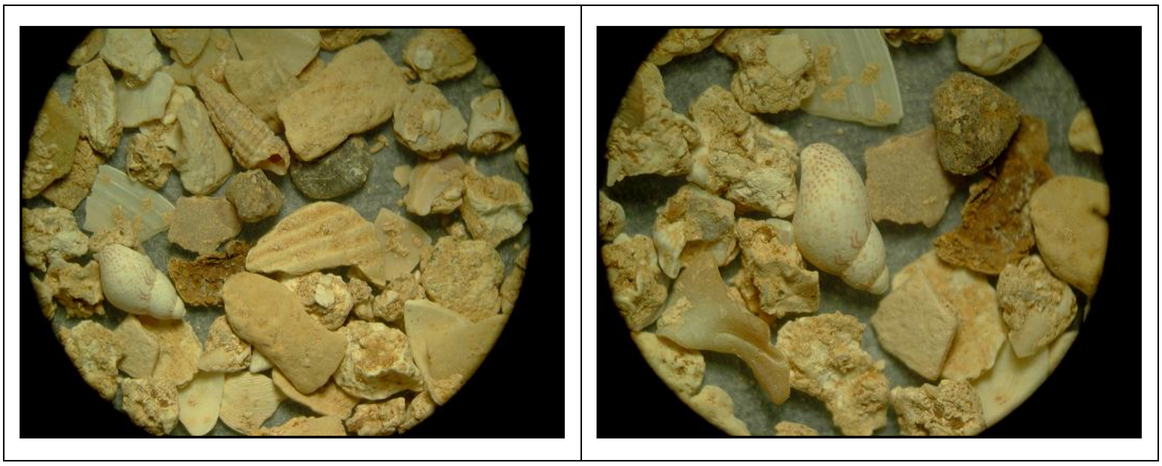


**Εικόνα 16.** Φωτογραφίες του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 0.25 έως 0.5 mm του κονιάματος **Ν2**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα).

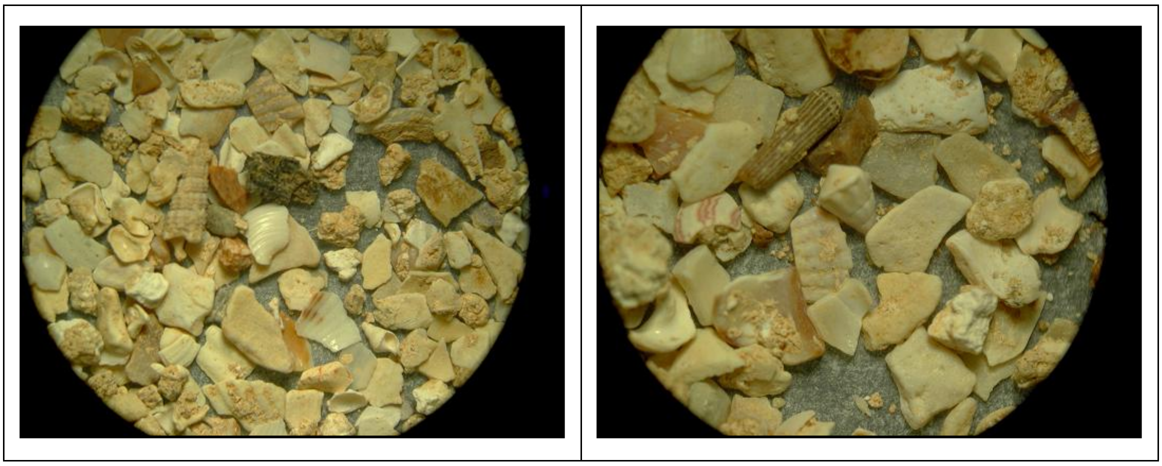


**Εικόνα 17.** Φωτογραφίες του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 0.125 έως 0.25 mm του κονιάματος **Ν2**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα).

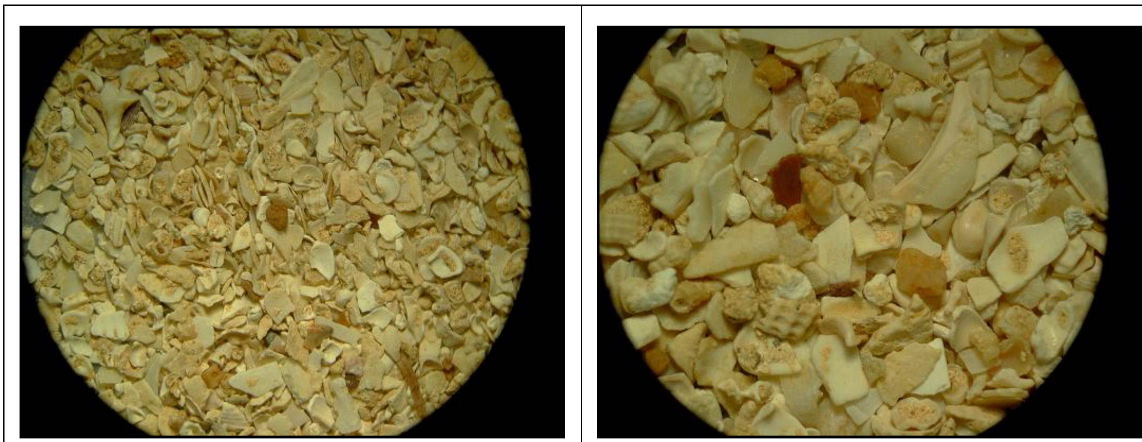
**Εικόνα 18.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος > 4.00 mm του κονιάματος **N3**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x).



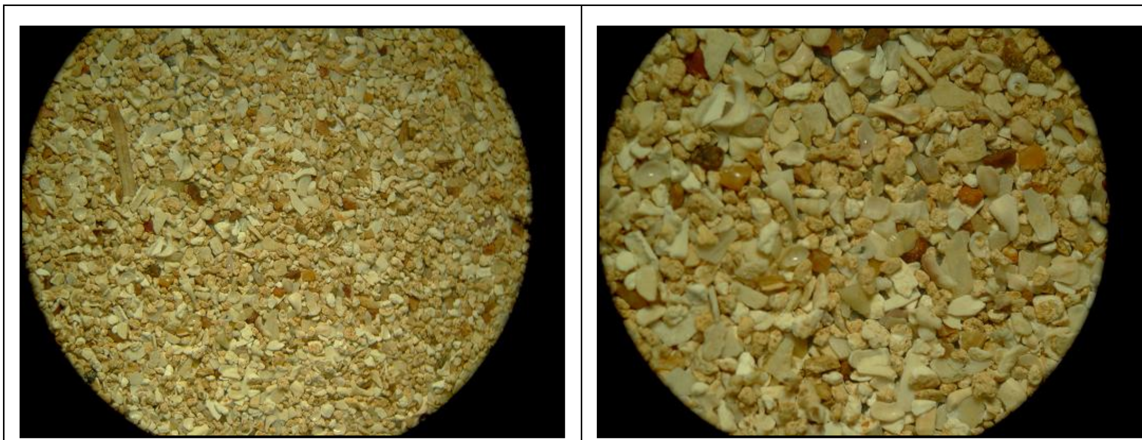
**Εικόνα 19.** Φωτογραφίες του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 2 έως 4 mm του κονιάματος **N3**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x).



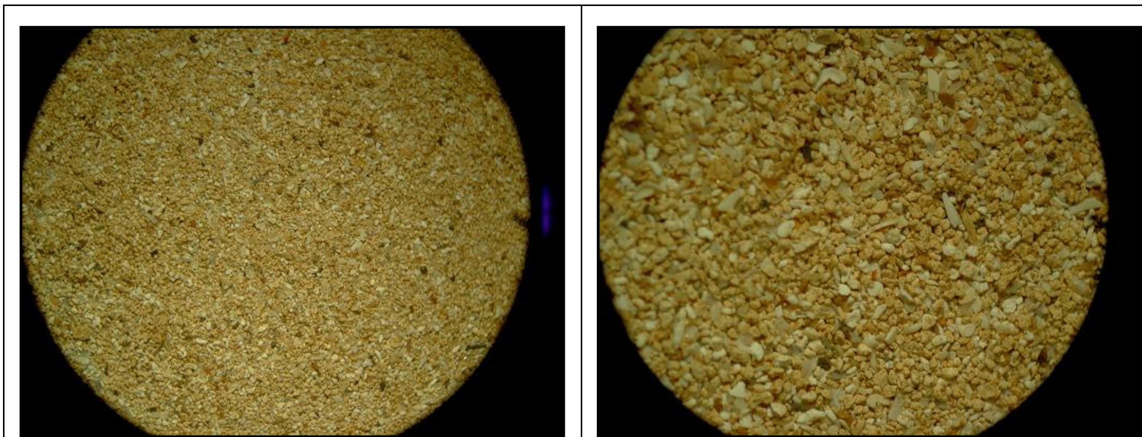
**Εικόνα 20.** Φωτογραφίες του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 1 έως 2 mm του κονιάματος **N3**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα).



**Εικόνα 21.** Φωτογραφίες του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 0. 5 έως 1 mm του κονιάματος **N3**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα).

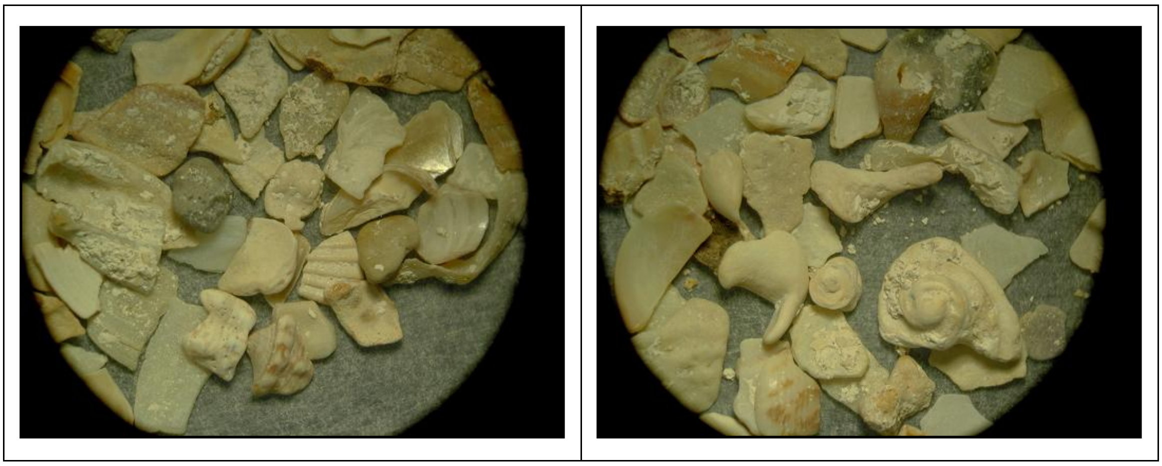


**Εικόνα 22.** Φωτογραφίες του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 0.25 έως 0.5 mm του κονιάματος **N3**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα).

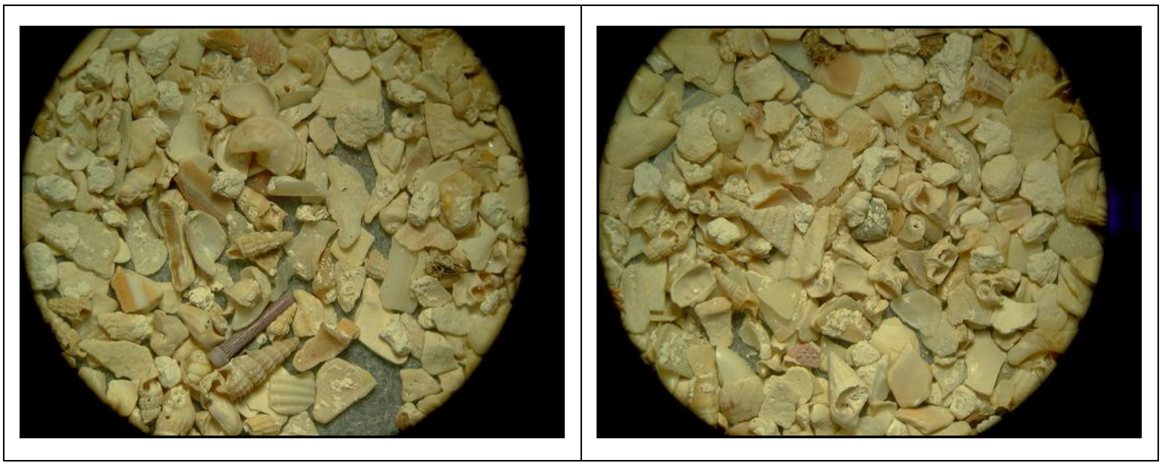


**Εικόνα 23.** Φωτογραφίες του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 0.125 έως 0.25 mm του κονιάματος **N3**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα).

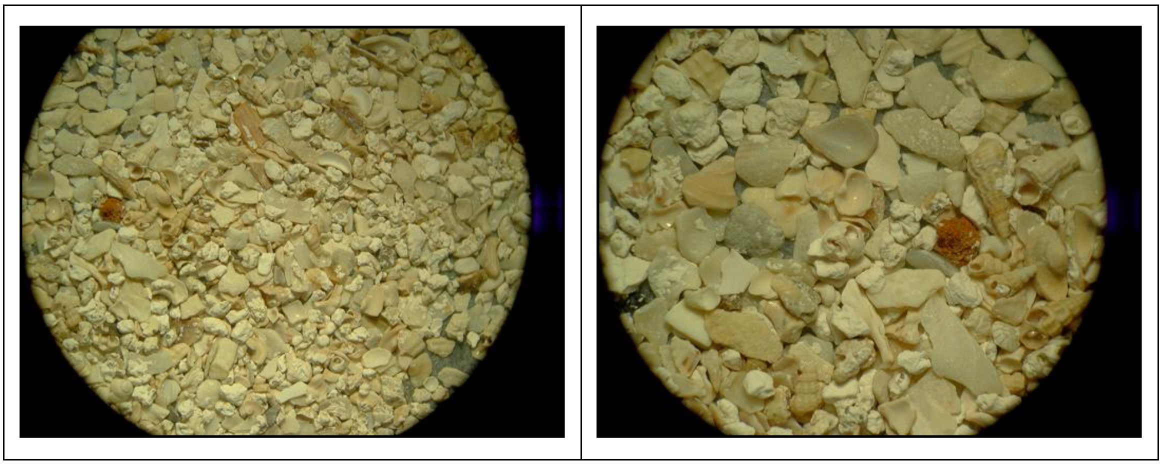
**Εικόνα 24.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος > 4.00 mm του κονιάματος **N4**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x).



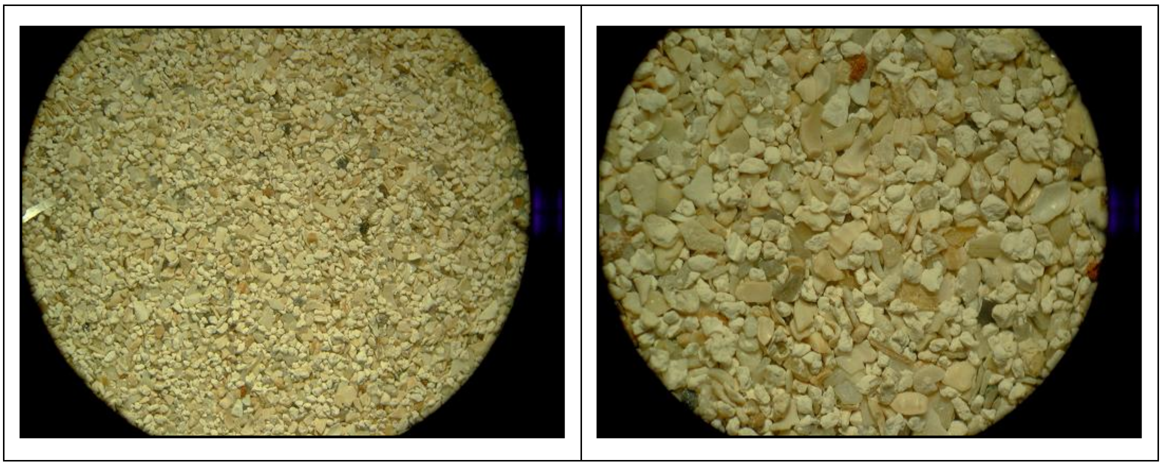
**Εικόνα 25.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 2 έως 4 mm του κονιάματος **N4**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x).



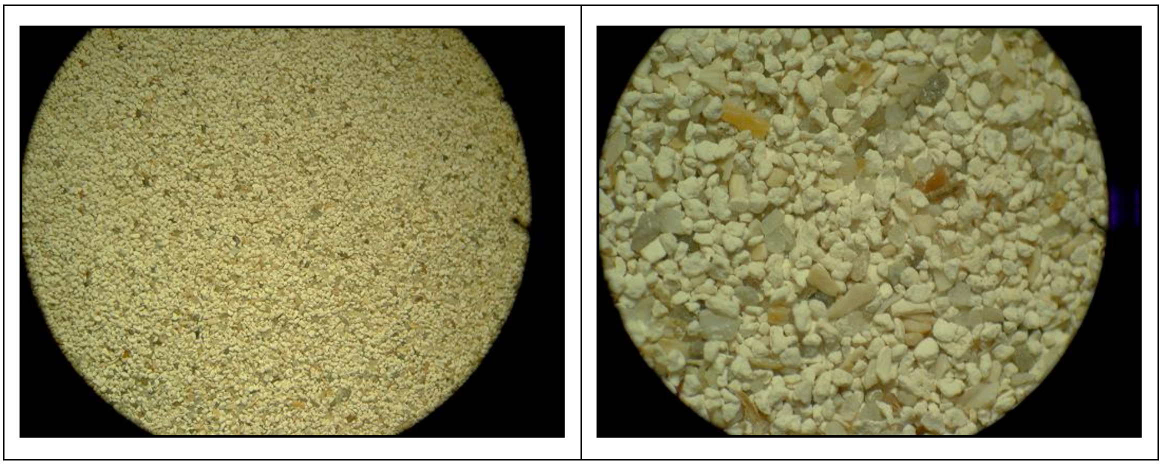
**Εικόνα 26.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 1 έως 2 mm κονιάματος **N4**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα).



**Εικόνα 27.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 0. 5 έως 1 mm του κονιάματος **N4**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα).

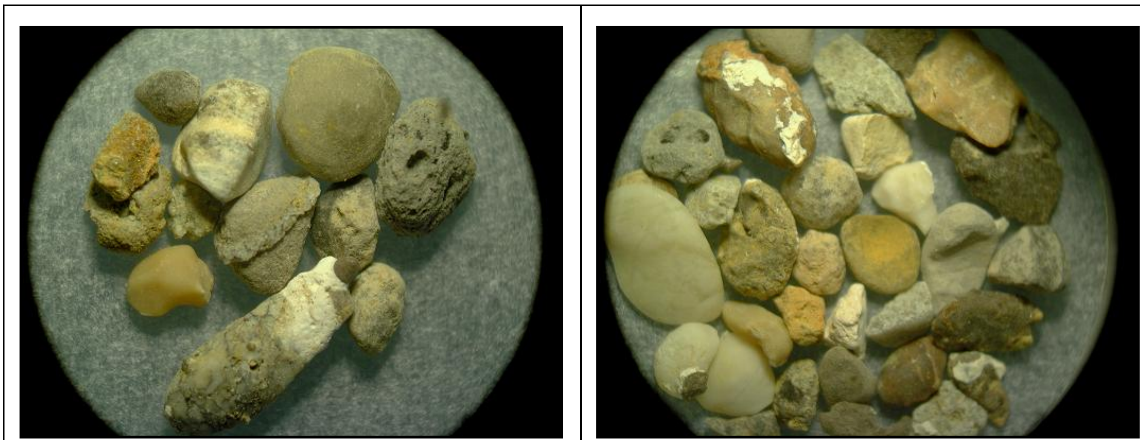


**Εικόνα 28.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 0.25 έως 0.5 mm του κονιάματος **N4**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα).

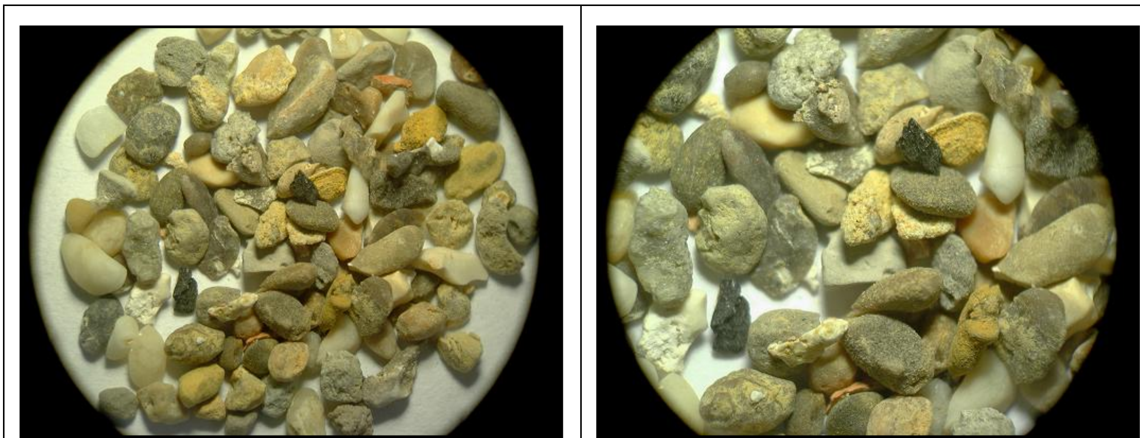


**Εικόνα 29.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 0.125 έως 0.25 mm του κονιάματος **N4**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα).


**Εικόνα 30.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος > 4.00 mm του κονιάματος **Ν6**.



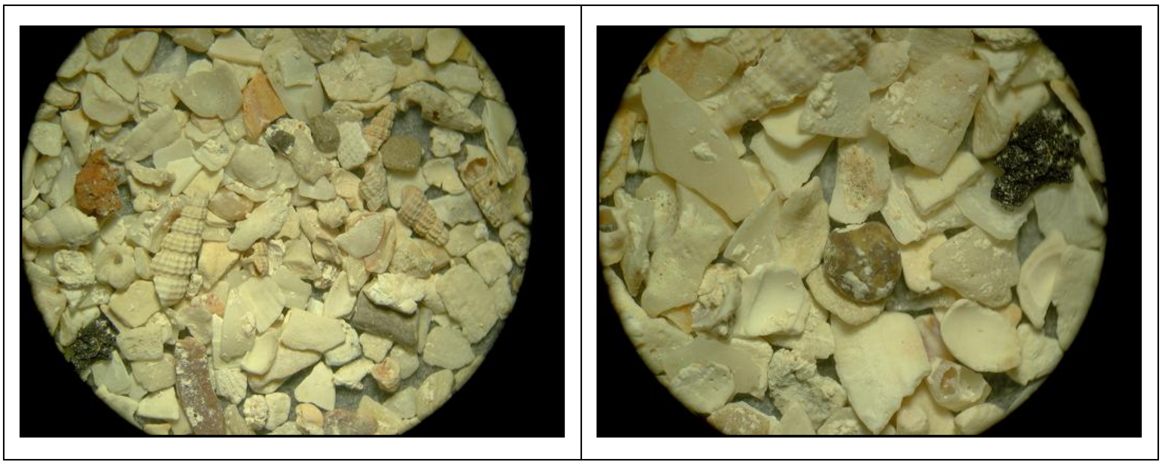
**Εικόνα 31.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 2 έως 4 mm του κονιάματος **Ν6**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x).



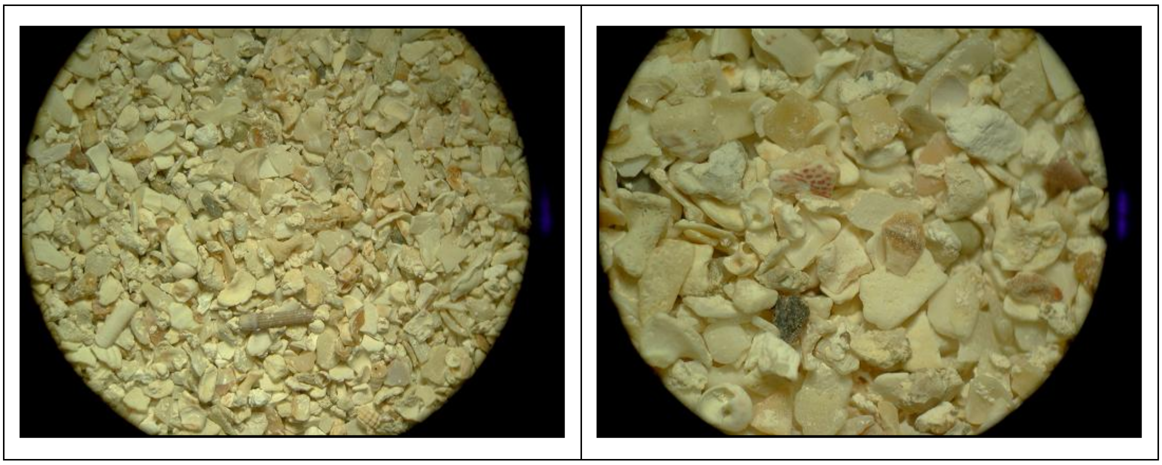
**Εικόνα 32.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 1 έως 2 mm του κονιάματος **Ν6**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα ).

**Εικόνα 33.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος > 4.00 mm του κονιάματος **N5β**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x).

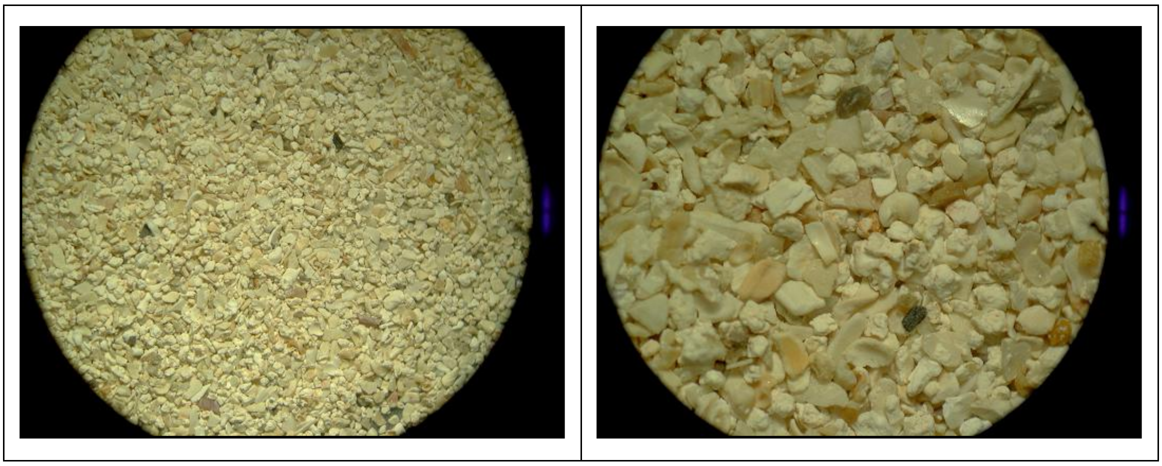
**Εικόνα 34.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 2 έως 4 mm του κονιάματος **N5β**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x).



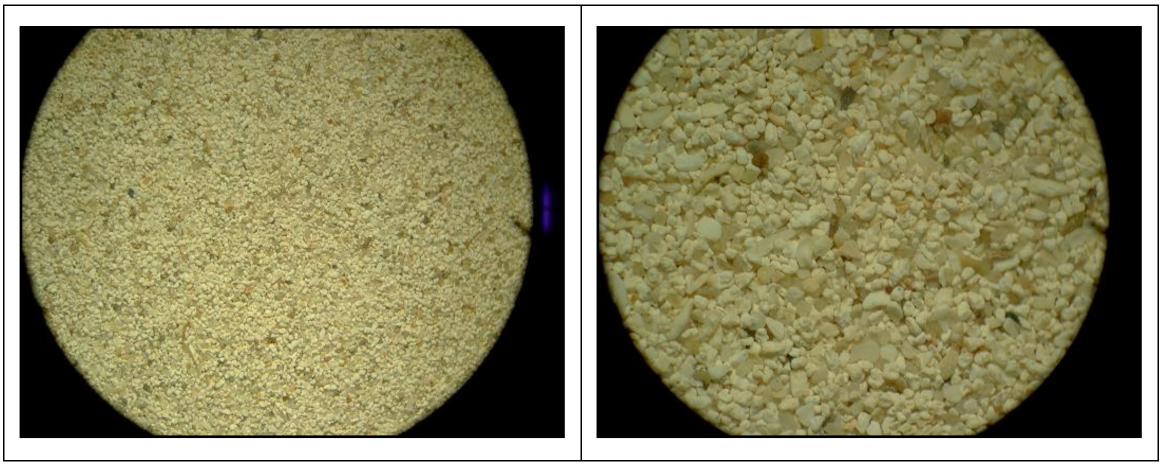
**Εικόνα 35.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 1 έως 2 mm του κονιάματος **N5β**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα ).



**Εικόνα 36.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 0.5 έως 1 mm του κονιάματος **Ν5β**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα ).



**Εικόνα 37.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 0.25 έως 0.5mm του κονιάματος **Ν5β**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα ).

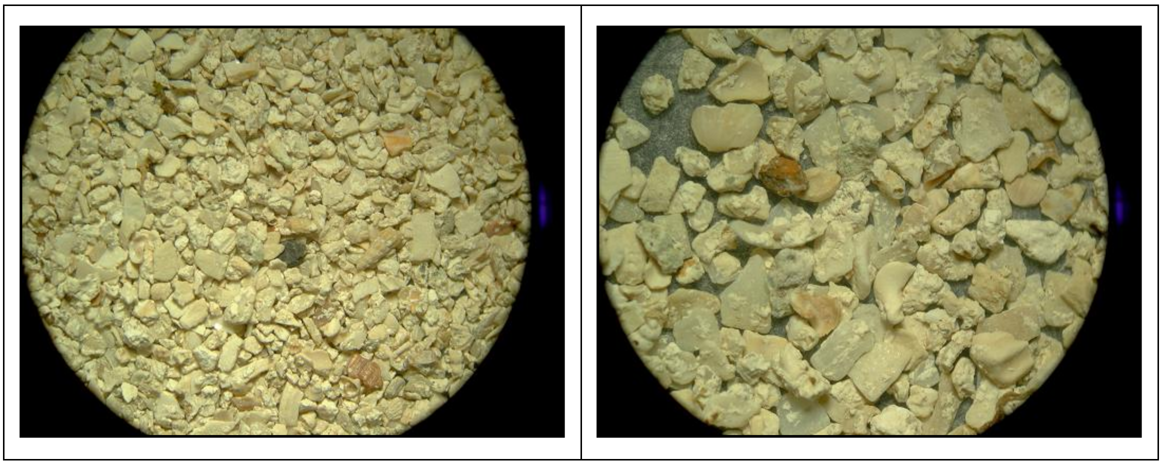


**Εικόνα 38.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 0.125 έως 0.25 mm του κονιάματος **Ν5β**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα ).

**Εικόνα 39.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος > 4.00 mm του κονιάματος **Κ**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x).

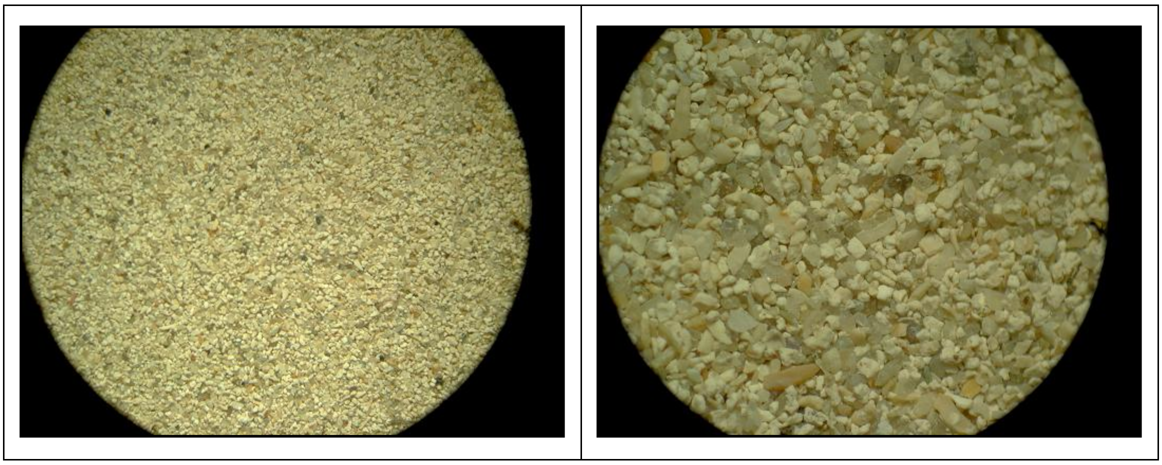
**Εικόνα 40.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 2 έως 4 mm του κονιάματος **Κ**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x)

**Εικόνα 41.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 1 έως 2 mm του κονιάματος **Κ**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα ).



**Εικόνα 42.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 0.5 έως 1 mm του κονιάματος **Κ**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα ).

**Εικόνα 43.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 0.25 έως 0.5 mm του κονιάματος **Κ**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα ).



**Εικόνα 44.** Φωτογραφία του κλάσματος των αδρανών με μέγεθος από 0.125 έως 0.25 mm του κονιάματος **Κ**, στο στερεοσκόπιο (μεγέθυνση 4x & 8x, αντίστοιχα ).