



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**  
**Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**« Έλεγχος της επίδρασης διαφόρων αδρανών υλικών και ποζολάνης στις μηχανικές ιδιότητες κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου».**

**ΣΑΜΙΩΤΑΚΗ ΑΡΕΤΗ**

**Τριμελής εξεταστική επιτροπή :**

**Γεώργιος Αλεβίζος, Αναπληρωτής καθηγητής, Επιβλέπων**

**Μιχαήλ Γαλετάκης, Καθηγητής**

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

**Χανιά, Ιανουάριος 2020**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τη μελέτη της επίδρασης της ποζολάνης σε σχέση με διάφορες κονίες και αδρανή υλικά, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή κονιαμάτων .

Σκοπός της εργασίας ήταν η κατασκευή υδραυλικών κονιαμάτων με μίγματα φυσικής υδραυλικής ασβέστου στο ρόλο της συνδετικής κονίας και χαλαζιακής άμμου, ασβεστολιθικής άμμου και διαβάση διαδοχικά, στον ρόλο των αδρανών. Μέρος της κονίας αντικαταστάθηκε από την ποζολάνη με σκοπό να ερευνηθεί η επίδρασή της στις μηχανικές αντοχές αλλά και στην σύσταση των κονιαμάτων .

Η εργασία πραγματοποιήθηκε σε πέντε βασικά στάδια. Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιήθηκε ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων και συλλογή των απαιτούμενων για τις προσμίξεις ποσοτήτων των υλικών. Στο δεύτερο στάδιο κατασκευάστηκαν έξι διαφορετικά μείγματα υδραυλικών κονιών (Q,L,D,QP,LP,DP) τα οποία χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες αναλογίες κονίας, αδρανών υλικών και νερού. Στο τέταρτο στάδιο, τα δοκίμια αυτά υποβλήθηκαν σε δοκιμές μονοαξονικής θλίψης και κάμψης τριών σημείων, σε 28, 90, 120 και 180 ημέρες. Στο πέμπτο στάδιο πραγματοποιήθηκε ορυκτολογική/στερεοσκοπική παρατήρηση και ανάλυση των δοκιμίων, τα οποία είχαν ληφθεί μετά τις εκάστοτε δοκιμές και η διεξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Συσχετίζοντας τις μηχανικές αντοχές με τις αντίστοιχες ορυκτολογικές αναλύσεις των δοκιμίων, αποδεικνύεται ότι η προσθήκη της ποζολανικής κονίας στα κονιάματα αυξάνει τη μηχανική αντοχή των κονιαμάτων, κάνοντας τα κατάλληλα για πιο απαιτητικές εφαρμογές.

<b>Περιγραφή Συνθέσεων</b>	<b>Σημειογραφία</b>	<b>Τύπος κονιάματος κατά EN 459-1</b>
Μίγμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου με χαλαζιακά αδρανή	<b>Q</b>	<b>NHL</b>  (Κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου)
Μίγμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου με ασβεστολιθικά αδρανή	<b>L</b>	
Μίγμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου με αδρανή διαβασικής σύστασης	<b>D</b>	
Μίγμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου & ποζολάνης με χαλαζιακά αδρανή	<b>QP</b>	<b>FL</b>  (Κονίαμα τύπου Formulated lime)
Μίγμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου & ποζολάνης με ασβεστολιθικά αδρανή	<b>LP</b>	
Μίγμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου & ποζολάνης με αδρανή διαβασικής σύστασης	<b>DP</b>	

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Θα ήθελα λοιπόν να ευχαριστήσω όλους εκείνους που βοήθησαν στην πραγματοποίησή της.

Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή μου, Γεώργιο Αλεβίζο, για την ανάθεση του θέματος, τη βοήθεια που μου προσέφερε, και την άριστη συνεργασία μας καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον καθηγητή Μιχαήλ Γαλετάκη για το χρόνο που διέθεσε για τη διόρθωση και αξιολόγηση της εργασίας, καθώς και για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Δρ. Γεώργιο Τριανταφύλλου, για την αμέριστη βοήθειά του και την υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, την οικογένεια και τους φίλους μου για τη στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	2
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	7
Κεφάλαιο 1 Έννοιες .....	11
1.1 Κονίες .....	11
1.1.1 Κατηγορίες κονιών ανάλογα με τον τρόπο στερεοποίησής τους .....	11
1.1.2 Κατηγορίες κονιών ανάλογα με την προέλευσή τους .....	12
1.2 Αερικές κονίες, Άσβεστος .....	12
1.2.1 Άσβηστοι άσβεστοι .....	14
1.2.2 Σβησμένες άσβεστοι .....	14
1.3 Ποζολανικές κονίες .....	16
1.4 Κονιάματα .....	18
1.5 Κατηγορίες κονιαμάτων .....	19
1.5.1 Ανάλογα με το είδος κονίας ή αδρανούς .....	19
1.5.2 Ανάλογα με τον τρόπο σκλήρυνσης και πήξης .....	19
1.5.3 Ανάλογα με τη χρήση τους .....	20
1.5.4 Ανάλογα με τη μηχανική τους αντοχή .....	20
1.5.5 Ανάλογα με την ποσότητα της κονίας .....	21
1.6 Καταλληλότητα κονιαμάτων .....	21
1.7 Χρήσεις κονιαμάτων .....	22
1.8 Γενικά πρόσθετα κονιαμάτων .....	23
1.8.1 Το νερό .....	23
1.8.2 Ρευστοποιητές .....	24
1.9 Αδρανή υλικά .....	24
1.9.1 Ιδιότητες αδρανών υλικών .....	26
1.9.2 Κατάταξη αδρανών υλικών .....	27
1.10 Αδρανή υλικά και κονιάματα .....	30
1.10.1 Ασβεστολιθική Άμμος .....	31
1.10.2 Ασβεστολιθικά αδρανή .....	32
1.10.3 Διαβάσης .....	33
Κεφάλαιο 2 Φυσική υδραυλική άσβεστος .....	35
2.1 Υδραυλικές κονίες, Άσβεστος .....	35
2.2 Φυσική υδραυλική άσβεστος .....	35
Κεφάλαιο 3 Υλικά και Μέθοδοι ανάλυσης .....	43

3.1 Υλικά.....	43
3.1.1 Μέθοδος παρασκευής.....	44
3.2 Μέθοδοι ανάλυσης.....	46
3.2.1 Στερεοσκοπική εξέταση.....	46
3.2.2 Μέθοδος περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων -X (XRD).....	47
3.2.3 Μέθοδος φασματομετρίας ακτίνων –X φθορισμού (XRF).....	49
3.3 Μηχανικές ιδιότητες, προσδιορισμός μηχανικών αντοχών .....	50
3.4 Δοκιμή Μονοαξονικής θλίψης.....	53
3.5 Δοκιμή κάμψης .....	54
Κεφάλαιο 4 Αποτελέσματα .....	56
4.1 Αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων .....	56
4.1.1 Αποτελέσματα μεθόδου XRD.....	56
4.1.2 Αποτελέσματα μεθόδου XRF.....	60
4.2 Αποτελέσματα Μηχανικών Αντοχών και στερεοσκοπικής εξέτασης .....	62
4.3 Αποτελέσματα στερεοσκοπικής μελέτης.....	72
4.4. Παρατηρήσεις Αποτελεσμάτων Γραφημάτων .....	73
Κεφάλαιο 5 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα.....	76
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	81
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....</b>	<b>85</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ .....</b>	<b>95</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Δομικό υλικό θεωρείται κάθε προϊόν το οποίο παράγεται για να ενσωματωθεί, κατά τρόπο διαρκή, σε ένα δομικό έργο. Τα δομικά υλικά αποτελούν τη βάση κάθε είδους κατασκευής, καθορίζουν την αντοχή, την αισθητική, την ασφάλεια και την άνεσή της. Περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα προϊόντων τα οποία βρίσκουν εφαρμογή σε όλα τα στάδια μιας κατασκευής και τα κυριότερα από αυτά είναι τα προϊόντα τσιμέντου, τα αδρανή υλικά, οι κονίες και τα κονιάματα δόμησης, τα κεραμικά προϊόντα, το ξύλο, ο χάλυβας, το αλουμίνιο και οι φυσικοί λίθοι.

Τα δομικά υλικά διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αειφόρο ανάπτυξη μέσω της ενεργειακής τους λειτουργίας και της αντοχής τους, αφού καθορίζουν τις ενεργειακές απαιτήσεις των κτηρίων στο σύνολο της ζωής τους. Αναπτύσσοντας τη χρήση, τη παραγωγική διαδικασία των υλικών και των συνδυασμών τους μπορούν να επιτευχθούν σημαντικές βελτιώσεις στο περιβάλλον και στην ποιότητα ζωής. Τα δομικά υλικά παρουσιάζουν επίσης σημαντική επιρροή στην κοινωνία, λόγω των μεγάλων επενδύσεων σε κτίρια και υποδομές, που πρέπει να διατηρηθούν και να επισκευαστούν. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ποσοστό 40-60% του κόστους στον κλάδο των κατασκευών, διατίθεται για την επισκευή και συντήρηση των κτιρίων. Υπολογίζεται ότι στην Ευρώπη η χρησιμοποιούμενη ποσότητα δομικών υλικών ξεπερνά τους δυο δισεκατομμύρια τόνους ετησίως (Μοροπούλου κ.ά., 2008). Για την επίτευξη των οικονομικών, οικολογικών και κοινωνικών στόχων που τίθενται στην Ευρώπη είναι σημαντικό να συμπεριληφθούν μέτρα και να αναπτυχθούν τεχνικές μέσω της έρευνας για τη βελτίωση της λειτουργικότητας, της αντοχής και της επάρκειας των υλικών που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές.

Η χρήση των τσιμεντοκονιών υπήρξε μια πραγματική επανάσταση στον κλάδο των δομικών υλικών, που παρέσυρε με τη δυναμική της αρχιτέκτονες, μηχανικούς και τεχνίτες. Η βιομηχανία τσιμέντου εφάρμοσε άμεσα κανόνες τυποποίησης, δίδοντας έτσι ώθηση σε εντατική έρευνα, ανάπτυξη και προώθηση του προϊόντος, κάτι που η βιομηχανία των κονιών ασβέστου δεν είχε καν διανοηθεί να πράξει. Η υποβάθμιση του ρόλου των κονιών ασβέστου και υδραυλικής ασβέστου που χρησιμοποιούνταν έως τότε ως συνδετικές κονίες στις διάφορες κατασκευές, επέφερε σταδιακή μείωση της ζήτησης των προϊόντων αυτών και συνετέλεσε στη σταδιακή υποχώρηση και στην απώλεια

παραδοσιακών δεξιοτήτων και εμπειρίας αιώνων για την παραγωγή καλής ποιότητας ανάλογων υλικών και για τη σωστή χρήση τους ως δομικά υλικά στις κατασκευές. Στον αντίποδα, η σημασία της αντοχής των τσιμεντοκονιαμάτων υπερεκτιμήθηκε, σε βάρος άλλων σημαντικών ιδιοτήτων για ένα κονίαμα, όπως είναι η υψηλή πλαστικότητα και η μεγάλη δυνατότητα συγκράτησης νερού (ιδιότητες που προσδίδουν εξαιρετική εργασιμότητα στα κονιάματα), η ισχυρή πρόσφυση (μηχανική και χημική) σε πορώδη υπόβαθρα, κ.α. Όλες αυτές οι ιδιότητες μειώνουν σημαντικά τον κίνδυνο εμφάνισης ρωγμών ή μικρορωγμών και συνεισφέρουν αποφασιστικά στην ανθεκτικότητα των κονιαμάτων (Ζαχαροπούλου, 2004).

Ένα τεράστιο κεφάλαιο που απασχολεί τις τελευταίες δεκαετίες ερευνητές, μηχανικούς και κατασκευαστές, είναι οι βέλτιστες συνθήκες και πρακτικές στον τομέα της συντήρησης και αποκατάστασης μνημειακών κατασκευών. Η αποκατάσταση και η συντήρηση ιστορικών μνημείων είναι ένα μεγάλο σε έκταση και σημασία θέμα, μιας και είναι γνωστό, πως η διαφύλαξη και η συντήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς συμβάλλουν στη διατήρηση της εθνικής ταυτότητας κάθε λαού. Εξωτερικές δράσεις όπως σεισμοί, ελλιπής συντήρηση των κατασκευών, η φθορά του χρόνου καθώς επίσης η αλληλεπίδραση με ένα ολοένα επιθετικότερο περιβάλλον προκαλούν συχνά την απώλεια της συνάφειας μεταξύ των δομικών στοιχείων των μνημείων, ρωγματώσεις και προβλήματα ανθεκτικότητας στη διάρκεια του χρόνου.

Η ορθή επιλογή των υλικών και των μεθόδων αποκατάστασης είναι ιδιαίτερα δύσκολη εξ' αιτίας της ταχύτατης εξέλιξης της τεχνολογίας και της πληθώρας των νέων υλικών που χρησιμοποιούνται στις επισκευές. Γενικά θεωρείται ότι ο βέλτιστος τρόπος για την επίτευξη της ζητούμενης συμβατότητας και ανθεκτικότητας, είναι η χρήση «παραδοσιακών» υλικών και αναστρέψιμων μεθόδων επέμβασης, στο μέτρο του δυνατού. Σε κάθε έργο αποκατάστασης των δομικών υλικών μιας φθαρμένης φέρουσας κατασκευής και ειδικά στην περίπτωση ιστορικών μνημείων, είναι απαραίτητη αρχικά η ακριβής εκτίμηση των παλαιών υλικών και των παραγόντων που συνετέλεσαν στην αλλοίωσή τους και στη συνέχεια η επέμβαση και συντήρησή τους με υλικά συμβατά με τα προϋπάρχοντα (Τριανταφύλλου, 2007).

Η χρήση τσιμεντοκονιών για την αποκατάσταση δομικών στοιχείων μνημειακών και άλλων κατασκευών της πολιτιστικής κληρονομιάς, μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα ασυμβατότητας με τα προϋπάρχοντα υλικά. Η ασυμβατότητα αυτή οφείλεται κυρίως



στη συγκριτικά υψηλότερη αντοχή, την ακαμψία και την έλλειψη διαπερατότητας των σύγχρονων κονιών με βάση το τσιμέντο. Τα κονιάματα αποκατάστασης που χρησιμοποιούνταν παλαιότερα με χρήση ως κύριας κονίας το τσιμέντο Portland, είναι συνήθως υψηλής σκληρότητας και αδιαπέρατα στους υδρατμούς. Κατά τη χρήση τσιμέντου Portland, πολυμερών οργανικών υλικών ή με συνδυασμό αυτών, τα εφαρμοζόμενα κονιάματα αποκατάστασης είναι ασύμβατα με τους υπάρχοντες δομικούς φορείς, με συνέπεια την επέκταση των βλαβών. Η ασυμβατότητα αυτή οφείλεται κυρίως στη συγκριτικά υψηλότερη αντοχή, ακαμψία και τη μικρή διαπερατότητα των σύγχρονων τσιμεντοκονιαμάτων (Parayianni, 1998).

Στην Ελλάδα ο κλάδος των προϊόντων τσιμέντου είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένος, με την εγχώρια τσιμεντοβιομηχανία να παρουσιάζει ταυτόχρονα έντονη εξαγωγική δραστηριότητα. Ωστόσο, δεν έχει αναπτυχθεί ακόμη η γραμμή παραγωγής κονιών υδραυλικής ασβέστου με συνέπεια την εισαγωγή τους από άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης όπως η Γαλλία και η Ιταλία. Δεδομένου ότι οι περισσότερες αρχαιολογικές υπηρεσίες της Ευρώπης έχουν απαγορεύσει τη χρήση βιομηχανικού τσιμέντου σε εργασίες συντήρησης - αναστήλωσης και επειδή στην Ελλάδα δεν παράγεται φυσική υδραυλική ασβέστος, διερευνάται η δυνατότητα παραγωγής και τυποποίησης κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου, με χρήση αδρανών υλικών από πετρώματα του Ελλαδικού χώρου.

Στον αντίποδα της χρήσης κονιών τσιμέντου, η χρήση καλής ποιότητας υδρασβέστου, φυσικής υδραυλικής ασβέστου, και φυσικής ποζολάνης και σε δεύτερο βαθμό και άλλων υλικών συντήρησης, άρχισε να καθιερώνεται σε εργασίες αποκατάστασης και συντήρησης προϋπαρχόντων αερικών και άλλων κονιαμάτων μνημειακών κατασκευών αλλά και σύγχρονων όπου δε χρησιμοποιείται σκυρόδεμα. Τα υλικά αυτά προσδίδουν στα επισκευαστικά κονιάματα υψηλή πλαστικότητα, εργασιμότητα και ικανοποιητικές αντοχές και πρωτίστως καλύτερη συμβατότητα. Το ενδιαφέρον για την επιλογή φυσικών υδραυλικών κονιών για την παρασκευή και τη χρήση κονιαμάτων σε διάφορες εφαρμογές, όπου ειδικά θα είχε χρησιμοποιηθεί το κοινό τσιμέντο Portland, έχει αυξηθεί έντονα τα τελευταία χρόνια. Μηχανικοί, αρχιτέκτονες αλλά και συντηρητές αναζητούν συνδετικά υλικά (όπως οι κονίες φυσικής υδραυλικής ασβέστου), τα οποία να εκπληρώνουν τα ίδια κριτήρια λειτουργικότητας και συμπεριφοράς όπως οι αρχικές συνδετικές κονίες (Edison, 2006). Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στα φυσικά χαρακτηριστικά των κονιών αυτών που καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τις

συνθήκες έψησης κατά τη διαδικασία παραγωγής τους και τα οποία με τη σειρά τους, προσδίδουν σημαντικά πλεονεκτήματα στα κονιάματα τα οποία παρασκευάζονται με αυτές (Allen et al., 2003).

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 στη σύγχρονη οικοδομική επικαιρότητα της Ελλάδας, 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.

Η στροφή αυτή που έγινε με γνώμονα τη χρήση εναλλακτικών τέτοιων κονιών κυρίως σε εργασίες που είχαν στόχο τη συντήρηση και αποκατάσταση μνημείων και ιστορικών κτιρίων, είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την έννοια της συμβατότητας των προϋπαρχόντων υλικών και των υλικών της επέμβασης, που επικράτησε σαν ανάγκη έπειτα από τις αρνητικές συνέπειες της χρήσης τσιμέντου. Στοχεύοντας το σχεδιασμό νέων κονιαμάτων που θα χρησιμοποιηθούν κυρίως σε εργασίες συντήρησης-αποκατάστασης, ο όρος της συμβατότητας περικλείει πρακτικές που σχετίζονται με θέματα αισθητικής, 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 (Moropoulou, 2005). Οι κύριες κατευθυντήριες γραμμές στο σχεδιασμό επισκευαστικών κονιαμάτων εισηγούνται την εφαρμογή ανθεκτικών κονιαμάτων για την αντικατάσταση τόσο των προϋπαρχόντων κονιαμάτων αρμολόγησης, όσο και των τσιμεντοκονιαμάτων που είχαν προηγουμένα χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή.

# Κεφάλαιο 1 Έννοιες

## 1.1 Κονίες

Τα υλικά τα οποία όταν αναμιχθούν με νερό μπορούν να στερεοποιηθούν- πήξουν βαθμιαία με την πάροδο του χρόνου και αφού μετατραπούν σε τελείως συμπαγή στερεά να γίνουν πλαστικά, παρουσιάζοντας παράλληλα συγκολλητικές ιδιότητες και μηχανική αντοχή ονομάζονται κονίες ή συνδετικά υλικά.

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.

Οι κονίες χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες εκ των οποίων η κατάταξη αποδίδεται στον τρόπο στερεοποίησης και σκλήρυνσής τους και σε άλλες δύο ανάλογα του τρόπου προέλευσής τους (Λεγάκις, 1954).

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

Με βάση τον τρόπο σκλήρυνσής τους οι κονίες χωρίζονται σε αερικές κονίες και σε υδραυλικές .

Οι αερικές κονίες είναι αυτές οι οποίες στερεοποιούνται και σκληρύνονται στον αέρα αποδίδοντας νερό και διατηρούνται μόνο σε αυτόν ενώ διαλυτοποιούνται σε νερό. Παραδείγματα τέτοιων κονιών είναι ο γύψος, η άργιλος, ο πηλός, η υδράσβεστος, η μαγνησιακή και η δολομιτική άσβεστος και η μαγνησιακή και η ανυδριτική κονία.

Εν αντιθέσει οι υδραυλικές κονίες στερεοποιούνται εντός του νερού ή κάποιου υγρού περιβάλλοντος. (θα αναλυθούν εκ νέου σε παρακάτω κεφάλαιο). Οι υδραυλικές κονίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως αερικές μετά την πρόσμιξή τους με νερό και αφού έχουν σχηματίσει ένα είδος πολτού εάν αφεθούν να πήξουν στον ατμοσφαιρικό αέρα. Παραδείγματα τέτοιων κονιών είναι η υδραυλική άσβεστος, η ρωμαϊκή κονία, οι

Ποζολανικές κονίες και τα τσιμέντα. Οι παραπάνω κονίες μετά τη σκλήρυνσή τους συντηρούνται σε νερό ή σε περιοδικά υγραινόμενο περιβάλλον και άρα είναι αδιάλυτες στο νερό και παρουσιάζουν μεγάλη ανθεκτικότητα στις χρόνιες επιδράσεις του περιβάλλοντος.

### **1.1.2 Κατηγορίες κονιών ανάλογα με την προέλευσή τους**

Ανάλογα με την προέλευσή τους διαχωρίζονται στις κατηγορίες των φυσικών και των τεχνητών κονιών (Λεγάκις, 1954).

Όπου φυσικές κονίες είναι οι κονίες, οι οποίες υπάρχουν στη φύση και χρησιμοποιούνται αυτούσιες χωρίς κάποια κατεργασία. Παραδείγματα τέτοιων κονιών είναι η ποζολάνη και η πηλοκονία, χαρακτηριστική ιδιότητα των οποίων είναι ότι σε λεπτότατο καταμερισμό και με παρουσία υγρασίας, ενώνονται χημικά με την υδράσβεστο και σχηματίζουν υδραυλικές ενώσεις.

Ενώ τεχνητές κονίες είναι εκείνες οι οποίες παρασκευάζονται από εξίσου φυσικές πρώτες ύλες με ειδικές όμως χημικές ή φυσικές κατεργασίες με την ανθρώπινη παρέμβαση. Παραδείγματα τέτοιων κονιών είναι ο ασβέστης, το τσιμέντο, διάφορα ασφαλτικά υλικά κ.ά.

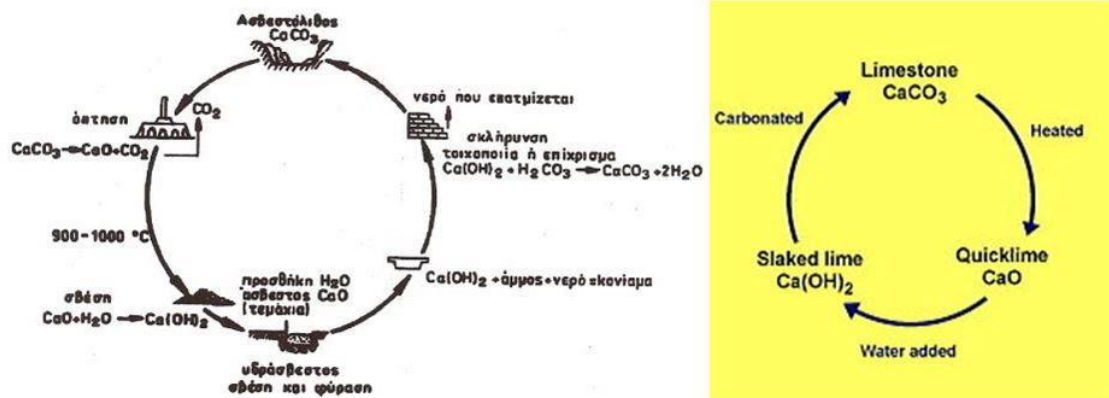
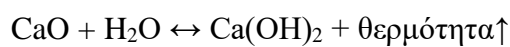
## **1.2 Αερικές κονίες, Άσβεστος**

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 ασβεστόλιθων. Περιλαμβάνει όλες τις φυσικές και χημικές μορφές των διαφόρων ποιοτήτων με τις οποίες το οξείδιο  $\text{CaO}$  ή/και το υδροξείδιο του ασβεστίου  $\text{Ca(OH)}_2$  και του μαγνησίου  $\text{Mg(OH)}_2$  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 °C – 1100 °C, το ανθρακικό ασβέστιο  $\text{CaCO}_3$  που περιέχουν διασπάται σε οξείδιο του ασβεστίου και σε διοξείδιο του άνθρακα (σε αέρια μορφή). Η διεργασία αυτή είναι γνωστή ως «ασβεστοποίηση», πραγματοποιείται σε ειδικά καμίνια που ονομάζονται ασβεστοκάμινι. (Τριανταφύλλου-Μανούτσογλου, 2004) :

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



Εικόνα 1: Ο κύκλος της ασβέστου.

### 1.2.1 Άσβηστοι άσβεστοι

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

- Ασβέστιο ή άσβεστιτική άσβεστος: το ενεργό οξείδιο του άσβεστίου συναντάται σε ποσοστό μεγαλύτερο από 85%.
- Μαγνησιακός ασβέστης: το ποσοστό του οξειδίου του άσβεστίου 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 αργλικές προσμίξεις αντιστοιχούν στο 10-20% της σύστασης του άσβεστολίθου 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 καθώς δεν έχουν υδραυλικές ιδιότητες (Τριανταφύλλου, 2011).

### 1.2.2 Σβησμένες άσβεστοι

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

«Η παραγωγή υδρασβέστου περιλαμβάνει τρία κυρίως στάδια: εξόρυξη άσβεστολίθων (extraction), έψηση (calcination) και σβέση (slaking). Η έψηση είναι η διαδικασία θέρμανσης των άσβεστολίθων για τη μετατροπή του ανθρακικού άσβεστίου 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 °C, δηλαδή πολύ μεγαλύτερη από το σημείο βρασμού του νερού. Έτσι, το νερό που περισεύει 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 κονιάς.

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 .

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 ασβέστου. Ο πολτός αυτού του είδους είναι πολύ πλαστικός και 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.

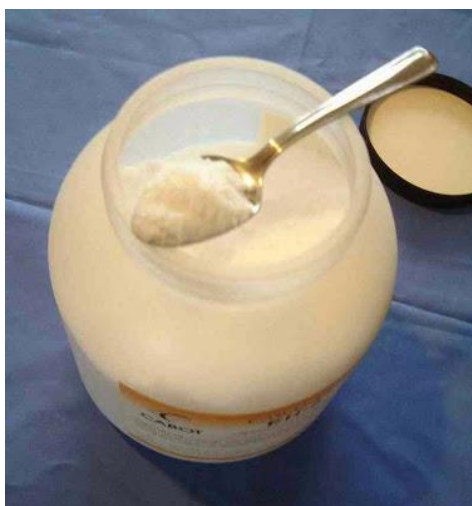
Παράγονται ως ξηρά σκόνη (σκόνη υδρασβέστου ή υδράσβεστος) και στην Ελλάδα κυρίως ως πολτός και δεν εμφανίζουν εξώθερμη αντίδραση σε επαφή με το νερό. Με τις μορφές αυτές συμμετέχουν στα κονιάματα. Σε αυτές υπάγονται και οι δολομιτικές υδράσβεστοι οι οποίες είναι σβησμένες άσβεστοι που συνίστανται κυρίως 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).

### **1.3 Ποζολανικές κονίες**

Ως ποζολάνες ορίζονται φυσικά ή τεχνητά πυριτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά, η χαρακτηριστική ιδιότητα των οποίων είναι ότι σε λεπτότατο καταμερισμό και με παρουσία υγρασίας, ενώνονται χημικά με την υδράσβεστο  $\text{Ca(OH)}_2$  και σχηματίζουν υδραυλικές ενώσεις. Το όνομα ποζολάνη προέρχεται από την τοποθεσία Puzzuoli δυτικά της Νάπολης, στην Ιταλία. Περιέχουν οξείδια πυριτίου, αργιλίου, ασβεστίου, σιδήρου και αλκαλικά υλικά, στα οποία επέδρασαν υψηλές θερμοκρασίες. Είναι προϊόν ηφαιστειακών εκρήξεων. Επιπρόσθετα, όταν αναμιχθούν σε πολύ λεπτόκοκκη μορφή με υδροξείδιο του ασβεστίου αποκτούν συνδετικές ιδιότητες και εμφανίζουν σε συνεργασία με το νερό υδραυλικές ιδιότητες παρόμοιες με το τσιμέντο.

Οι ποζολάνες χρησιμοποιούνται ως προσμίξεις για τη βελτίωση των ιδιοτήτων και των αντοχών συνδετικών κονιών, του τσιμέντου ή του σκυροδέματος, (Μοροπούλου, 2004).





**Εικόνα 2:** Ποζολανική κονία (silica fume)

Οι ποζολάνες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την προέλευσή τους. Στις φυσικές ποζολάνες και στις τεχνητές.

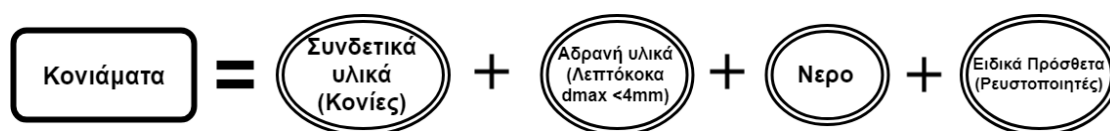
Φυσικές ποζολάνες στις οποίες υπάρχει α.) η κατηγορία των ηφαιστειογενών, που την αποτελεί η ηφαιστειακή τέφρα των μαγματογενών πετρωμάτων, όπως η θηραϊκή γη, η Μηλαϊκή Γη και το Trass του Ρήνου, ή η τέφρα μεταμορφωσιγενών πετρωμάτων, που περιέχουν υψηλό ποσοστό ενεργού αργίλου και β.) οι ιζηματογενείς ποζολάνες όπως αυτή της γης των διατόμων.

Τεχνητές ποζολάνες που προέρχονται από τη θερμική κατεργασία αργού υλικού που περιέχει  $\text{CaO}$  και υδραυλικούς παράγοντες, όπως είναι η σκωρία των καμίνων (παραπροϊόν των καμίνων στη χαλυβουργία), η ιπτάμενη τέφρα από την καύση λιθάνθρακα ή λιγνίτη, η πυριτική παιπάλη – silica fume (κράματα σιδηροπυριτίου) και τα λεπτοκονιορτοποιημένα κεραμικά (κεραμάλευρο).

Στην Ελλάδα η ποζολάνη εξορύσσεται στο νησί της Μήλου και είναι αποτέλεσμα ηφαιστειακής δράσης και έντονων τεκτονικών δυνάμεων. Εξαιτίας των ποζολανικών ιδιοτήτων της χρησιμοποιείται πολλές φορές ως πρόσθετο του τσιμέντου ή του σκυροδέματος στη τσιμεντοβιομηχανία και την παραγωγή δομικών στοιχείων και ως πρώτη ύλη από τις αρχαιολογικές υπηρεσίες για την αναπαλαίωση σημαντικών κατασκευών του παρελθόντος .

## 1.4 Κονιάματα

Ο όρος κονιάματα αναφέρεται στα μίγματα μίας ή περισσότερων 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 κονιάς και του σκοπού εφαρμογής του κονιάματος.



Εικόνα 3: Περιγραφικός ορισμός κονιαμάτων

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 και αναλόγως με το είδος της κονιάς, το κονίαμα σταδιακά στερεοποιείται και τελικά αποκτά εξ ολοκλήρου στερεή μορφή. Αυτό συμβαίνει διότι όπως προαναφέρθηκε η κονία όταν έρχεται σε επαφή είτε με τον ατμοσφαιρικό αέρα είτε με το νερό έχει ως αποτέλεσμα να πήζει και να σκληραίνει.

Η ποσότητα της κονιάς που πρέπει να χρησιμοποιηθεί στη σύνθεση του κονιάματος εξαρτάται από την κοκκομετρική διαβάθμιση της άμμου και θα πρέπει να είναι τόση ώστε να καλυφθούν τα κενά μεταξύ των κόκκων άμμου. Η μεγαλύτερη ποσότητα κονιάς από την απαιτούμενη οδηγεί στη μείωση της αντοχής του κονιάματος, ενώ

μικρότερη ποσότητα κονιάς οδηγεί πάλι στη μείωση της αντοχής του κονιάματος αλλά και στην αύξηση του πορώδους του, (Λεωνιδάκη, 2012).

## **1.5 Κατηγορίες κονιαμάτων**

Οι βασικές κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται τα κονιάματα είναι : ανάλογα με το είδος της κονιάς ή του αδρανούς υλικού , ανάλογα με τον τρόπο σκλήρυνσης και πήξης τους , ανάλογα με τη χρήση τους και ανάλογα με τη μηχανική τους αντοχή και την ποσότητα της κονιάς που θα χρησιμοποιηθεί.

### **1.5.1 Ανάλογα με το είδος κονιάς ή αδρανούς**

Στα κονιάματα της κατηγορίας αυτής συμπεριλαμβάνονται τα ασβεστοκονιάματα ( με συνδετική ύλη τον πολτό ασβεστίου ή την κονιοποιημένη υδράσβεστο), τα τσιμεντοκονιάματα (με συνδετική ύλη το τσιμέντο) τα οποία παρουσιάζουν αυξημένη αντοχή και έντονες υδραυλικές ιδιότητες και χρησιμοποιούνται για τη δόμηση στοιχείων που πρόκειται να υποστούν μεγάλες καταπονήσεις, αλλά και για επιχρίσματα. Τα πηλοκονιάματα (με συνδετική ύλη την πηλοκονία), τα μικτά κονιάματα (με μίγμα συνήθως ασβέστου ως συνδετική ύλη και τσιμέντου), τα γυψοκονιάματα, τα μαρμαροκονιάματα (όπου συνδετικό υλικό είναι το τσιμέντο, ή η άσβεστος και η μαρμαρόσκονη αντί της άμμου ως κύριο αδρανές) και τα ποζολανικά κονιάματα με συνδετική ύλη άσβεστο (με μερική υποκατάσταση με τσιμέντο) και ποζολάνη (φυσική ή τεχνητή) (Λεωνιδάκη, 2012).

### **1.5.2 Ανάλογα με τον τρόπο σκλήρυνσης και πήξης**

Όπως και στις κονιές ομοίως και εδώ οι κατηγορίες βάση του τρόπου σκλήρυνσης και πήξης διαχωρίζουν τα κονιάματα σε αερικά και σε υδραυλικά.

Αερικά είναι αυτά στα οποία 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 όπου 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.

### **1.5.3 Ανάλογα με τη χρήση τους**

Άλλος ένας τρόπος διαχωρισμού των κονιαμάτων είναι ανάλογα με τη χρήση τους, σε κονιάματα δόμησης (τοιχοποιίας), σε κονιάματα επιχρισμάτων, σε ισοπεδωτικά ή κονιάματα εξίσωσης δαπέδων και σε επισκευαστικά και συγκολλητικά κονιάματα στα οποία υπάγονται και οι διάφορες κόλλες. Στην παρούσα κατηγορία υπάγονται και άλλες επιμέρους υποκατηγορίες, όπως λόγου χάριν, τα ηχομονωτικά, τα πυράντοχα και τα θερμομονωτικά κονιάματα (Λεωνιδάκη, 2012).

### **1.5.4 Ανάλογα με τη μηχανική τους αντοχή**

Βάσει της μηχανικής αντοχής τους τα κονιάματα κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες, οι οποίες είναι οι εξής :

1. Κονιάματα χαμηλής αντοχής (πηλοκονιάματα, ασβεστοκονιάματα),
2. Κονιάματα μέτριας αντοχής (ασβεστοποζολανικά),
3. Κονιάματα υψηλής αντοχής (τσιμεντοκονιάματα).

### **1.5.5 Ανάλογα με την ποσότητα της κονίας**

Αναλόγως της περιεχόμενης ποσότητας κονίας τα κονιάματα διακρίνονται σε κανονικά, παχιά και ισχνά.

Το κανονικό είναι αυτό στο οποίο η ποσότητα κονίας που έχει χρησιμοποιηθεί είναι ακριβώς τόση, όση χρειάζεται ώστε να γεμίσουν τα κενά μεταξύ των κόκκων της άμμου.

Αντίθετα στο παχύ κονίαμα η ποσότητα κονίας που έχει χρησιμοποιηθεί είναι περισσότερη από αυτή που απαιτείται για την παρασκευή ενός κανονικού κονιάματος.

Τέλος, ως ισχνό κονίαμα χαρακτηρίζεται το κονίαμα στο οποίο η ποσότητα που έχει χρησιμοποιηθεί 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 (Λεωνιδάκη, 2012).

### **1.6 Καταλληλότητα κονιαμάτων**

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.

## 1.7 Χρήσεις κονιαμάτων

Οι χρήσεις των κονιαμάτων διαφέρουν η μία με την άλλη καθώς χρησιμοποιούνται με ποικίλους τρόπους .

Ως συνδετικά υλικά και πρώτες ύλες, κατά τη δόμηση χρησιμοποιούνται ως πληρωτικό υλικό για την πλήρωση των κενών στους αρμούς μεταξύ των λίθων με αποτέλεσμα να γίνεται πιο συμπαγής και σταθερή η κατασκευή και ως πρώτες ύλες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή τεχνητών λίθων.

Ως μονωτικά και καλυπτικά υλικά, καθώς επενδύουν επιφάνειες με σκοπό τη μόνωση τους αλλά και τη βελτίωση της εμφάνισής τους. Τα κονιάματα αυτά ονομάζονται επιχρίσματα και αποτελούν βασικό παράγοντα στη διατήρηση της ποιότητας και στη διάρκεια ζωής ενός έργου. Αξίζει να αναφερθεί πως ανάλογα με τις φυσικές και τις χημικές τους ιδιότητες τα επιχρίσματα διακρίνονται σε εσωτερικά και εξωτερικά [π.χ. στεγανοποίησης (ισχυρά κονιάματα), θερμομόνωσης και ηχομόνωσης (ειδικά κονιάματα)].

Μία άλλη χρήση είναι η αποκατάσταση, κονιάματα δηλαδή που χρησιμοποιούνται σε έργα αποκατάστασης μνημείων και ιστορικών κτηρίων. 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.

## **1.8 Γενικά πρόσθετα κονιαμάτων**

### **1.8.1 Το νερό**

Το νερό καθώς ο ρόλος που κατέχει στη δημιουργία κονιαμάτων είναι βασικός πρέπει να περιέχει όσο το δυνατόν λιγότερα χημικά συστατικά τα οποία μπορεί να επηρεάσουν τις χημικές αντιδράσεις που θα λάβουν μέρος.

Το νερό γενικά πρέπει να είναι καθαρό, διαυγές, γλυκό και πόσιμο. Δεν πρέπει να περιέχει επιβλαβείς προσμίξεις, όπως ελεύθερα οργανικά ή ανόργανα οξέα, φυτικές και γενικότερα οργανικές ουσίες, άργιλο σε αιώρηση, διαλυτά σάκχαρα σε περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 0,25%, διαλυτά άλατα, κυρίως θειικά (θειικό νάτριο ή το θεικό μαγνήσιο), ακόμα και χλωριούχα (χλωριούχο μαγνήσιο σε πυκνότητα μεγαλύτερη από 3%). Δεν επιτρέπεται η χρήση νερού που έχει χρησιμοποιηθεί προηγουμένως για τον καθαρισμό εργαλείων και δοχείων.(ΕΛΟΤ 345)

Καθώς το νερό μαζί με την κονία και το αδρανές αφού αναμειχθούν δημιουργούν ένυδρους κρυστάλλους συμπεραίνουμε πως το νερό είναι αυτό το συστατικό το οποίο βοηθάει στην πήξη του κονιάματος και συνεπώς και στη σκλήρυνσή του. Επίσης το νερό στα κονιάματα χρησιμοποιείται και εκτός πρόσμιξης για τη διαβροχή του κονιάματος επιδρώντας έτσι στις ιδιότητες του κονιάματος και προσδίδοντάς του μεγαλύτερη εργασιμότητα και πλαστικότητα.

Ωστόσο η ποσότητα του νερού που πρέπει να προστεθεί πρέπει να είναι τόση ώστε α) να μην είναι σε περίσσεια καθώς δε θα μπορέσει να απορροφηθεί πλήρως από το μείγμα και θα παραμείνει ως έχει μέσα στη μάζα του υλικού δημιουργώντας κατά αυτόν τον τρόπο την πιθανότητα για εμφάνιση κοιλοτήτων και πόρων μετά την εξάτμιση του και β) ούτε να είναι ανεπαρκής διότι μέρος της κονίας θα παραμείνει ανενεργό ως αποτέλεσμα να μην υπάρξει πλήρης σύνδεση των αδρανών.

Τέλος, σύμφωνα με ΕΛΟΤ 345 το χλιαρό νερό είναι αυτό το οποίο βοηθάει στην καλύτερη σκλήρυνση των κονιαμάτων.

Άλλα πρόσθετα

Εκτός του νερού που αναφέρθηκε παραπάνω μερικές φορές η προσθήκη και διαφόρων άλλων υγρών στοιχείων ή ξηρών υλικών είναι απαραίτητη στη δημιουργία των κονιαμάτων, με σκοπό να επιτευχθεί είτε η βελτίωση κάποιων ιδιοτήτων του είτε να διευκολυνθεί η διαδικασία της πρόσμιξης.

Τέτοια πρόσθετα μπορεί να είναι : τα στεγανωτικά , τα πλαστικοποιά , οι ρευστοποιητές και υλικά προστασίας κονιαμάτων που παρασκευάζονται υπό πίεση ή προστασίας σε σχέση με τον παγετό.

### **1.8.2 Ρευστοποιητές**

Με την προσθήκη ενός τέτοιου υγρού πρόσμικτου το οποίο δρα και ως στεγανωτικό μάζας σημειώνεται μείωση της υδροπερατότητας χάρη στη βελτίωση και διευκόλυνση της συμπίκνωσης καθώς δημιουργεί πυκνότερη και πλαστικότερη μάζα μειώνοντας κατά 10 τις εκατό το λόγο νερού-κονιάματος (μείωση απαιτούμενου νερού ανάμιξης) και μειώνοντας το πορώδες. Ως αποτέλεσμα να επέλθει μείωση του πορώδους, περιορισμός στην απόμιξη-διαχωρισμός των συστατικών και στη δημιουργία ρωγματώσεων αυξάνοντας έτσι τις μηχανικές αντοχές του κονιάματος.

## **1.9 Αδρανή υλικά**

Αδρανή υλικά είναι τα διαβαθμισμένα, ορυκτής ή βιομηχανικής προέλευσης, υλικά που χρησιμοποιούνται είτε με κάποιο συγκολλητικό μέσο (για παρασκευή κονιαμάτων, σκυροδεμάτων, ασφαλτομιγμάτων κλπ.) είτε αυτούσια (έρμα σιδηροδρομικών γραμμών, στραγγιστήρια, επιχώματα, βράχοι θωράκισης κλπ.), σε διάφορα τεχνικά έργα. Ο όρος αδρανές (aggregate) είχε καθοριστεί παλαιότερα από την Αμερικάνικη Εταιρία Δομικών Υλικών ως εξής: το αδρανές στην περίπτωση υλικού κατασκευής προσδιορίζει ένα υλικό που όταν αναμιχθεί σε μία θεμελιώδη μάζα σχηματίζει σκυροδέματα, ασφάλτους, κονιάματα κλπ. (Krynnine & Judd, 1957).

Ο Ν. 1428/1984 περί εκμετάλλευσης λατομείων δίνει ένα τεχνοκρατικό ορισμό για τα αδρανή υλικά. Έτσι αδρανή είναι τα υλικά διαφόρων διαστάσεων που προέρχονται από



την εξόρυξη κατάλληλων πετρωμάτων ή την απόληψη φυσικών αποθέσεων θραυσμάτων τους και χρησιμοποιούνται όπως έχουν ή μετά από θραύση ή λειοτρίβηση ή ταξινόμηση για την κατασκευή σκυροδεμάτων ή κονιαμάτων ή με τη μορφή σκύρων ή μεγαλύτερων κομματιών, στην οδοποιία ή σε λοιπά τεχνικά έργα ή οικοδομές, καθώς και τα ασβεστολιθικά πετρώματα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ασβέστη ή υδραυλικών κονιών ή συλλιπασμάτων μεταλλουργίας.

Σύμφωνα με την κλασσική αντίληψη, δεν αντιδρούν χημικά με το συγκολλητικό μέσο παρά μόνο συγκρατούνται από αυτό. Στην πραγματικότητα όμως πρόκειται για υλικά χημικά ενεργά που ελέγχουν τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά της μάζας στην οποία συμμετέχουν (Σπυρόπουλος, 2005).

Ως αδρανές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί θεωρητικά οποιοδήποτε υλικό αρκεί να εκπληρώνει συγκεκριμένες απαιτήσεις όπως επαρκή αντοχή, επαρκή πρόσφυση, και χημική ανεκτικότητα με την κονία. Τα συνήθη αδρανή υλικά είναι ασβεστολιθικά και πυριτικά (Λεωνιδάκη, 2012).

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).

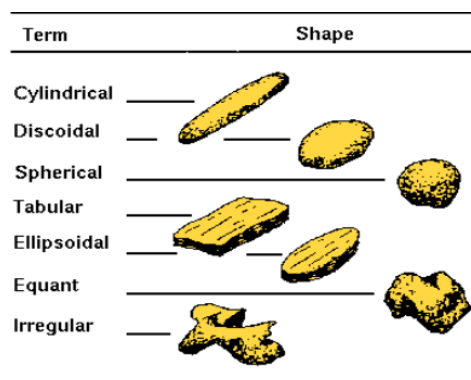
Στην Ελλάδα την πρώτη θέση στη παραγωγή αδρανών υλικών κατέχουν τα ασβεστολιθικά πετρώματα για τους παρακάτω λόγους:

1. Ικανοποιούν τις απαιτήσεις των συνήθων κατασκευών (μηχανικές αντοχές),
2. Έχουν μικρό κόστος επεξεργασίας (θραύσης),
3. Η εμφάνισή τους είναι εκτεταμένη στον Ελλαδικό χώρο.

### 1.9.1 Ιδιότητες αδρανών υλικών

Οι ιδιότητες των αδρανών υλικών αποτελούν ένα πολύ βασικό παράγοντα καθώς ανάλογη αυτών είναι τόσο η ποιότητα των ίδιων των αδρανών όσο και του τελικού προϊόντος, (Πιπερίδη,2012). Τέτοιες ιδιότητες είναι :

- 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, καυσάεριο, κ.α.).
- Η καθαρότητά τους, η ύπαρξη δηλαδή ή όχι πρόσμικτων ουσιών (παιπάλη, υλικά οργανικής προέλευσης, θειούχες ενώσεις κ.α.). Τέτοια συστατικά μπορεί να είναι επιβλαβή και να εμποδίσουν την ομαλή εξέλιξη της στερεοποίησης του κονιάματος, να προκαλέσουν τοπικές αποκολλήσεις – αποφλοιώσεις ή άλλων ειδών ρωγματώσεις, 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 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 4: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.

## **1.9.2 Κατάταξη αδρανών υλικών**

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

### **1.9.2.1 Ανάλογα με την προέλευσή τους**

Ανάλογα με την προέλευσή τους τα αδρανή διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

#### **1) Φυσικά ή συλλεκτά αδρανή**

Ονομάζονται τα αδρανή που η λήψη τους γίνεται από φυσικές αποθέσεις (π.χ. ποτάμιες αποθέσεις, πλευρικά κορήματα, αλλουβιακές αποθέσεις χαμηλών περιοχών κτλ.). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έχουν ή να επεξεργαστούν περαιτέρω ανάλογα με τις απαιτήσεις (π.χ. θραύση, πλύσιμο, κτλ.). Επειδή σε αυτά τα υλικά υπάρχει αυξημένος ο κίνδυνος αργιλικής παιπάλη, έχουν κατά κανόνα αυξημένες απαιτήσεις ως προς αυτή. Οι αλλουβιακές αποθέσεις είναι ποικίλης διαβάθμισης, συνήθως μικτής φάσης υλικά με μεγάλες μεταβολές τόσο κατά την κατακόρυφο όσο και οριζόντια. Το υλικό ανάλογα με τη χρήση μπορεί να χρειάζεται κοσκίνιση, πλύση κλπ.

Τα πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων αποτελούν προϊόντα αποσύνθεσης των πετρωμάτων ως αποτέλεσμα της μηχανικής αποσάθρωσης αυτών. Αποτελούν θραυσμένο πέτρωμα και είναι καλή πηγή αδρανών αν το μητρικό πέτρωμα είναι κατάλληλο.

Τα υλικά κοίτης ποταμών χαρακτηρίζουν τα μητρικά πετρώματα της λεκάνης απορροής και διακρίνονται για την ταξινόμηση ανάλογα με την απόσταση μεταφοράς κατά μήκος του ποταμού. Θεωρούνται καλά υλικά για διάφορες χρήσεις, χωρίς να χρειάζονται ιδιαίτερη επεξεργασία.

Τα υλικά ποτάμιων αναβαθμίδων έχουν ανάλογα χαρακτηριστικά με τα υλικά κοίτης ποταμών και συνήθως έχουν δευτερογενείς επικαλύψεις κυρίως ανθρακικού ασβεστίου, το οποίο δεν υποβαθμίζει την ποιότητά τους. Στις περιπτώσεις βέβαια που είναι αρκετά συγκολλημένα με αργιλικό συνδετικό υλικό χρειάζονται πρόσθετη επεξεργασία.

## 2) Αδρανή λατομείων

Λατομείο θεωρείται ένας χώρος όπου το πέτρωμα αποσπάται από τη βραχώμαζα και υπόκειται σε επεξεργασία για χρήση και κατασκευή. Υπάρχουν ανοιχτά και υπόγεια λατομεία. Τα αδρανή λατομείων προκύπτουν από εξόρυξη και θραύση όγκων πετρώματος. Η διαδικασία εξόρυξης αρχίζει μετά την αποκάλυψη του πετρώματος ενώ η μέθοδος και ο τρόπος εκμετάλλευσης εξαρτώνται βασικά από τα χαρακτηριστικά του πετρώματος και τα τελικά προϊόντα που θέλουμε να πάρουμε.

Τα προϊόντα του λατομείου μπορεί να είναι πλάκες ή τεμάχια για κατασκευή, σκέπασμα, rip rap, επίστρωση ή διακόσμηση, και θραυστό πέτρωμα κυρίως από ασβεστόλιθους και μικρότερες ποσότητες από βασάλτες, γρανίτες, ψαμμίτες και χαλαζίτες, το οποίο χρησιμοποιείται για την παρασκευή σκυροδέματος, υλικά οδοστρώσας, επιχώματα καθώς και για έρμα σιδηροδρομικής γραμμής.

Η επιλογή μιας περιοχής για τη δημιουργία λατομείου εκτός από το κατάλληλο πέτρωμα που πρέπει να διαθέτει για μία ή περισσότερες χρήσεις, βασίζεται και σε άλλα κριτήρια όπως η ποιότητα, τα αποθέματα και το κόστος παραγωγής των προϊόντων, περιβαλλοντικοί κανόνες που ισχύουν για την περιοχή και η ζήτηση των προϊόντων στην ευρύτερη περιοχή.

Τα αδρανή λατομείων είναι η κύρια κατηγορία αδρανών υλικών που χρησιμοποιούνται στον Ελλαδικό χώρο βασικά για την παραγωγή σκυροδέματος αλλά και για άλλες χρήσεις στα τεχνικά έργα. Τελευταία με την εκτέλεση υπόγειων οδικών τεχνικών έργων (σήραγγες) ή και ορυγμάτων σε σκληρά πετρώματα γίνεται ευρεία χρήση των υλικών που προκύπτουν κυρίως για τις ανάγκες αυτών όπως στρώσεις εξυγίανσης και αποστράγγισης, επίλεκτα υλικά για επιχώματα, υλικά σκυροδέματος. (Σπυρόπουλος, 2005).

### 1.9.2.2 Ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους

Με βάση το μέγεθος των κόκκων τους και σύμφωνα με τους Νέους Ευρωπαϊκούς κανονισμούς για τα αδρανή (EN 12620) υλικά χωρίζονται σε χονδρόκοκκα, λεπτόκοκκα και στην παιπάλη (Filler).

#### 1)Χονδρόκοκκα αδρανή υλικά

Είναι τα αδρανή με μέγιστο μέγεθος κόκκου >4 mm, και ελάχιστο >2 mm (ογκόλιθοι, κροκάλες, έρμα, χαλίκι, γαρμπίλι, ρυζάκι).

#### 2)Λεπτόκοκκα αδρανή υλικά

Είναι τα αδρανή με μέγιστο μέγεθος κόκκου 4 mm (διάφορα είδη άμμων).

#### 3)Παιπάλη (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 (Σπυρόπουλος, 2005).Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται ο συμβολισμός και τα όρια των κόκκων των αδρανών υλικών.

Υλικό	Όρια κόκκων σε mm	Συμβολισμός
Παιπάλη	0 – 0,1	Π
Άμμος λεπτή	0 – 1	0/1
Άμμος μέση	0 – 3	0/3
Άμμος χονδρή	0 – 7	0/7
Γαρμπίλι λεπτό	5 – 10	5/10
Γαρμπίλι χονδρό	5 – 15	5/15
Χαλίκι λεπτό	7 – 30	7/30
Χαλίκι μέσο	7 – 50	7/50
Χαλίκι χονδρό	7 – 70	7/70
Αμμοχάλικα 0/30	0 – 30	0/30
Αμμοχάλικα 0/50	0 – 50	0/50
Αμμοχάλικα 0/70	0 – 70	0/70

### **1.9.2.3 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 bituminous mixtures).
3. Αδρανή Κονιαμάτων (aggregates for mortar).
4. Αδρανή για Ογκόλιθους για υδραυλικά και λιμενικά έργα (armour stones).
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).

### **1.10 Αδρανή υλικά και κονιάματα**

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 τη 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 (ΕΛΟΤ EN 1313: Αδρανή Κονιαμάτων (Aggregates for mortar)).

### 1.10.1 Ασβεστολιθική 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>) :

- Οι κόκκοι της είναι λιγότερο τραχείς.
- Περιέχει ελάχιστο ποσοστό σκόνης, με αποτέλεσμα το κονίαμα να ξεραίνεται γρήγορα και να είναι λιγότερο υγροσκοπικό.
- Για την παρασκευή ενός  $m^3$  κονιάματος, απαιτείται μικρότερο ποσοστό συνδετικής ουσίας με καλύτερες ιδιότητες (μικρότερη συστολή ξήρανσης).
- 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 το 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 διαβάθμισή 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 15mm 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 8mm η άμμος πρέπει να είναι λεπτόκοκκη (0/1). Το μέγιστο μέγεθος κόκκου είναι τα 4 mm.

### **1.10.2 Ασβεστολιθικά αδρανή**

Τα ασβεστολιθικά πετρώματα χρησιμοποιούνται και αυτά ευρέως σαν αδρανή και δομικά υλικά κυρίως λόγω των φυσικοχημικών και μηχανικών τους ιδιοτήτων. Αναλυτικότερα ως ασβεστόλιθο χαρακτηρίζουμε ένα πέτρωμα με κυριότερο ορυκτό συστατικό το ανθρακικό ασβέστιο (ασβεστίτης). Είναι τυπικό ιζηματογενές πέτρωμα, χημικό ή βιογενές ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού του. Ως πέτρωμα καταλαμβάνει μεγάλες εκτάσεις, κυρίως με τη μορφή στρωμάτων (πολύ σπάνια υπό τη μορφή ακανόνιστων μαζών).

Για την ταξινόμηση των ασβεστολίθων χρησιμοποιούνται κυρίως ιδιότητές τους όπως τα χρώμα, το μέγεθος των κρυστάλλων, η σύσταση, ο ιστός, η υφή κ.ά.

Τα ασβεστολιθικά πετρώματα ανήκουν και στην κατηγορία των ανθρακικών ιζημάτων με σπουδαιότερα ορυκτά αυτών τον ασβεστίτη και τον αραγωνίτη .

Τα ασβεστολιθικά πετρώματα ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε πυριτικά, αργιλικά καθώς επίσης και τις διαδικασίες μεταμόρφωσης τις οποίες έχουν υποστεί



διακρίνονται σε : κοινοί ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί, μάρμαρο, πισσολιθικοί και ωολιθικοί, πισσασφαλτούχοι, πυριτικοί, αμμούχοι, γλαυκοφανιτικοί, σχιστολιθικοί, τραβερτινικοί, πορώδεις, κρητίδα, αργιλικοί, λιθογραφικοί, σταλακτίτες και σταλαγμίτες .

Τα ασβεστολιθικά πετρώματα παρουσιάζουν ιδιαίτερα σημαντικές μηχανικές και φυσικοχημικές ιδιότητες όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι οποίες του δίνουν το πλεόνασμα των πολλαπλών χρήσεων .

Φυσικοχημικές ιδιότητες ασβεστόλιθου: διαβρώνεται έντονα από το νερό, είναι υδροπερατός και η διαβρωτική ενέργεια του νερού δημιουργεί ρήγματα, σπήλαια, καταβόθρες και εφόσον έχει ως υπόστρωμα ένα αδιαπέρατο πέτρωμα δημιουργεί και υδροφόρους ορίζοντες. Τέλος, εάν θερμανθεί πολύ εκλύει διοξείδιο του άνθρακα και απομένει η άσβεστος .

Μηχανικές ιδιότητες ασβεστόλιθου: παρουσιάζει πολύ μεγάλο εύρος τιμών όσο αναφορά την αντοχή του ( αυτή η ιδιότητα οφείλεται στις ποικίλες μορφές στις οποίες συναντάται στην φύση) (Μουζάς, 2017 από Κωτσοβό, 2010).

Χρήσεις ασβεστολίθου: ως δομικά υλικά, σε βιομηχανικές εφαρμογές (βιομηχανία τσιμέντου), ως διακοσμητικοί λίθοι και στη γεωργία .

### **1.10.3 Διαβάσης**

Σύμφωνα με τους Bates and Jackson (1980), Hyndman (1985), και Δερμιτζάκη Θεοδώρου (1994), ο όρος διαβάσης αναφέρεται σε φλεβικό πέτρωμα το οποίο έχει σαν κύρια ορυκτά τους πυρόξενους και τα πλαγιόκλαστα. Ο ίδιος όρος καλύπτει και ελαφρά μεταμορφωμένα πυριγενή βασικά πετρώματα. Τα φλεβικά πετρώματα του σχηματισμού πολλαπλών φλεβών του οφιόλιθου Τροόδους διαχωρίζονται στους ακόλουθους τύπους: δολεριτικά, διοριτικά, διαβασικά, και σε μικρό ποσοστό βασालτικά, (Στεφάνου, 2009).

Το σύστημα πολλαπλών φλεβών σχηματίστηκε με τη στερεοποίηση του μάγματος στα κανάλια διείσδυσης και μεταφοράς από τους μαγματικούς θαλάμους στη βάση του ωκεάνιου φλοιού, τροφοδοτώντας ταυτόχρονα τις υποθαλάσσιες εκχύσεις λαβών στον

ωκεάνιο πυθμένα ως εκ τούτου πρόκειται για μια επάλληλη σειρά φλεβών που αντιπροσωπεύει το γέμισμα του κενού χώρου, ο οποίος δημιουργείται με την απομάκρυνση των τεκτονικών πλακών στα αποκλίνοντα όρια. Η συνεχής τροφοδοσία μάγματος στο δημιουργούμενο χώρο και μεταξύ των φλεβών που σχηματίστηκαν έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία του σχηματισμού αυτού, που αποτελείται μέχρι και 100% από φλέβες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου γεωλογικού φαινομένου παρατηρείται σήμερα στην Ισλανδία, η οποία διασχίζεται από τα όρια των πλακών της Αμερικής και της Ευρασίας, που αποκλίνουν μεταξύ τους, (Στεφάνου, 2009).

Τα αδρανή διαβασικής σύστασης παρουσιάζουν μακροσκοπικά ένα σκούρο πράσινο χρώμα, λεπτόκοκκη υφή, συμπαγή δομή και δε παρουσιάζουν φαινόμενα εξαλλοίωσης. Στην παρούσα εργασία η κύρια ορυκτολογική φάση των αδρανών, τα οποία ανήκουν σε μια ακολουθία Οφιολίθων Ιουρασικής ηλικίας δυτικά της πόλης της Κοζάνης, περιλαμβάνει πλαγιόκλαστο σε ποσοστό περίπου 50%. Χαμηλού βαθμού μεταμορφικές διεργασίες έχουν επηρεάσει σε μεγάλη έκταση τα υλικά αυτά, με αποτέλεσμα να συμμετέχουν ως δευτερογενή ορυκτά χλωρίτης, χαλαζίας, επίδοτο και ασβεστίτης. Ανιχνεύτηκαν επίσης ποσότητες πυρόξενου, χρωμίτη και σιδηροπυρίτη των οποίων τα ποσοστά αναλύονται παρακάτω (πίνακας 5).

Επιπρόσθετα , οι δολερίτες έχουν παγκοσμίως χρησιμοποιηθεί ως αντιολισθηρά αδρανή οδοστρωσίας, αδρανή σκυροδεμάτων υψηλής αντοχής, σκύρα σιδηροτροχιών. Σε πολλές περιπτώσεις αντικαθιστούν πλέον τα ασβεστολιθικά πετρώματα που χρησιμοποιούνταν έως σήμερα. Οι κύριες χώρες εκμετάλλευσης οφιολίθων είναι η Νορβηγία, η Αυστρία και οι Η.Π.Α., ενώ η εκμετάλλευσή τους στην Ελλάδα αυξάνεται τα τελευταία χρόνια, απαντάει στη Πελοπόννησο, Χίο Λαύριο και αλλού.

## **Κεφάλαιο 2 Φυσική υδραυλική άσβεστος**

### **2.1 Υδραυλικές κονίες, Άσβεστος**

Η χρήση υδραυλικών κονιαμάτων είναι γνωστή από την αρχαιότητα και ιδιαίτερα από τους Ελληνικούς και Ρωμαϊκούς χρόνους. Η αερική άσβεστος αναμειγνυόταν με υλικά (φυσικά και τεχνητά) που παρουσίαζαν ποζολανικές ιδιότητες με στόχο την παρασκευή ενός κονιάματος ή σκυροδέματος το οποίο μπορούσε να στερεοποιηθεί κάτω από το νερό. Ωστόσο, μόλις από τα τέλη του 18ου αιώνα ξεκίνησε ο πειραματισμός που είχε ως αντικείμενο την υδραυλικότητα των κονιών. Ο Smeaton ανακάλυψε το 1756 τις υδραυλικές ιδιότητες υλικών, που προήλθαν από την έψηση ασβεστόλιθων που περιείχαν αργιλικά συστατικά. Η φυσική υδραυλική άσβεστος χρησιμοποιούνταν κυρίως κατά τη διάρκεια του 19ου αιώνα και αποτελεί τον πρόδρομο του τσιμέντου Portland (Lea, 1976).

Συνεπώς, 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 κονιάς, δηλαδή να πήζει και να σκληραίνει αποκτώντας αντοχή, παρουσία νερού (B.G.S., 2005).

### **2.2 Φυσική υδραυλική άσβεστος**

Η υδραυλική άσβεστος (Hydraulic Lime) συνεπώς αποτελεί μια εναλλακτική υδραυλική κονία και είναι ένα παραδοσιακό δομικό υλικό που χρησιμοποιούταν για την παρασκευή κονιαμάτων, πριν την έλευση του κοινού τσιμέντου Πόρτλαντ (Ordinary Portland Cement - OPC). Η χρήση κονιαμάτων υδραυλικής ασβέστου είναι γνωστή από την αρχαιότητα, όπου έχει διαπιστωθεί πως γινόταν ανάμιξη υδρασβέστου με υλικά που είχαν ποζολανικές ιδιότητες.

Οι φυσικές υδραυλικές άσβεστοι (Natural Hydraulic Limes) παράγονται με την επεξεργασία (έψηση) κατάλληλων φυσικών πρώτων υλών και όχι με την ανάμιξη

υλικών σαν και αυτά που αναφέρθηκαν προηγούμενα. Οι πρώτες ύλες αυτές είναι ασβεστόλιθοι λιγότερο ή περισσότερο πλούσιοι σε αργιλοπυριτικά συστατικά, όπου μετά την έψησή τους σε θερμοκρασίες έως 1200 °C, προκύπτει μια κονία που παρουσιάζει υδραυλικές ιδιότητες (B.G.S., 2005).

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  $\text{CaO} + \text{MgO}$ ), 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).

Οι υδραυλικές φάσεις των ανωτέρω δυο προϊόντων επομένως διαφέρουν, δεδομένου ότι το πυριτικό διασβέστιο ή λαρνίτης/βελίτης ( $\text{C}_2\text{S}$ ) είναι η κύρια φάση ενός φυσικού τσιμέντου, ενώ στο βιομηχανικό τσιμέντο η κύρια φάση είναι το πυριτικό τριασβέστιο ή αλίτης ( $\text{C}_3\text{S}$ ), (Lea, 1976). Επιπλέον σε μια υδραυλική άσβεστο υπάρχει περίσσεια οξειδίου του ασβεστίου ( $\text{CaO}$ ) το οποίο μετατρέπεται σε πορτλανδίτη,  $\text{Ca(OH)}_2$  κατά τη διαδικασία ενυδάτωσης. Το πυριτικό διασβέστιο, ανάλογα με τη θερμοκρασία, βρίσκεται σε πέντε αλλοτροπικές μορφές, ως  $\alpha\text{-C}_2\text{S}$ ,  $\alpha'_\text{H}\text{-C}_2\text{S}$ ,  $\alpha'_\text{L}\text{-C}_2\text{S}$ ,  $\beta\text{-C}_2\text{S}$  και  $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ , όπως εξηγείται παρακάτω (Taylor, 1997).

Το  $\alpha\text{-C}_2\text{S}$  κρυσταλλώνεται στο εξαγωνικό σύστημα, το  $\beta\text{-C}_2\text{S}$  στο μονοκλινές, ενώ οι άλλες τρεις μορφές στο ορθορομβικό σύστημα. Η διαφορά μεταξύ τους έγκειται στη διαφορετική πυκνότητα που έχουν. Οι δομές των  $\alpha'_\text{H}$ ,  $\alpha'_\text{L}$ , και  $\beta$  μορφών προκύπτουν από αυτήν του  $\alpha\text{-C}_2\text{S}$  μετά από σταδιακή μείωση της συμμετρίας του κρυστάλλου. Η μείωση αυτή λαμβάνει χώρα εξαιτίας των αλλαγών στον προσανατολισμό των τετραέδρων  $\text{SiO}_4^{4-}$  και των μικρών μετακινήσεων των ιόντων  $\text{Ca}^{2+}$ . Οι μορφές που αντιστοιχούν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες κανονικά δεν είναι δυνατόν να διατηρηθούν μετά από ψύξη σε θερμοκρασία δωματίου, εκτός αν σταθεροποιηθούν από

ξένα ιόντα. Η πολύ ταχεία ψύξη ωστόσο, ευνοεί τη δημιουργία του  $\beta$ -C<sub>2</sub>S το οποίο, σε αντίθεση με το  $\gamma$ -C<sub>2</sub>S, παρουσιάζει υδραυλικές ιδιότητες.

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 κονιάς. Τα πρότυπα EN 459-1, EN 459-2 και EN 459-3 προβλέπουν διαφορετικούς τύπους δομικής ασβέστου (Πίνακας 1) και δίνουν ορισμούς, προδιαγραφές, κριτήρια συμμόρφωσης, όπως επίσης και διαφορετικές μεθόδους δοκιμής για τα υλικά αυτά. Οι πέντε πρώτοι τύποι αφορούν αερικές κονίες (CL= Calcium Lime, DL= Dolomitic lime) και οι κωδικοί τους αναφέρονται στην ελάχιστη περιεκτικότητα για το άθροισμα οξειδίου του ασβεστίου και οξειδίου του μαγνησίου, σε τύπους ασβεστιτικής και δολομιτικής ασβέστου.

**Πίνακας 1.** Τύποι δομικής ασβέστου, σύμφωνα με το Πρότυπο EN 459-1.

Ονομασία	Σημειογραφία
Ασβεστιτική άσβεστος 90	CL 90
Ασβεστιτική άσβεστος 80	CL 80
Ασβεστιτική άσβεστος 70	CL 70
Δολομιτική άσβεστος 85	DL 85
Δολομιτική άσβεστος 80	DL 80
Υδραυλική άσβεστος 2	HL 2
Υδραυλική άσβεστος 3,5	HL 3.5
Υδραυλική άσβεστος 5	HL 5
Φυσική υδραυλική άσβεστος 2	NHL 2
Φυσική υδραυλική άσβεστος 3,5	NHL 3.5
Φυσική υδραυλική άσβεστος 5	NHL 5

Επίσης, το πρότυπο EN 459-1 ορίζει τις προδιαγραφές, τις ιδιότητες, την ονομασία και την κατάταξη των κονιών υδραυλικής ασβέστου (“HL”= Hydraulic Lime) και φυσικής υδραυλικής ασβέστου (“NHL”= Natural Hydraulic Lime). Οι δείκτες 2, 3.5 και 5, χαρακτηρίζουν το διαφορετικό δείκτη υδραυλικότητας, ο οποίος λαμβάνει υπόψη το

χημισμό των δειγμάτων κάθε κονιάς και μετά τον υπολογισμό του διακρίνεται σε χαμηλό, μέσο και υψηλό.

Χαρακτηριστικά μια φυσική υδραυλική ασβέστος θεωρείται ασθενώς υδραυλική όταν ο δείκτης C.I. (δείκτης υδραυλικότητας) παίρνει τιμές από 0.3 έως 0.5, μετρίως υδραυλική όταν οι τιμές κυμαίνονται από 0.5 έως 0.7 και ισχυρά υδραυλική όταν ο δείκτης υδραυλικότητας βρίσκεται μεταξύ 0.7 και 1.1 (Eckel, 1922).

$$CI = \frac{2.8\%SiO_2 + 1.1\%Al_2O_3 + 0.7\%Fe_2O_3}{\%CaO + 1.4\%MgO}$$

Με βάση την παραπάνω σχέση και το αργιλικό περιεχόμενο των πρώτων υλών, οι διαφορετικοί τύποι ασβέστου έχουν τις ακόλουθες τιμές C.I. που φαίνονται στο παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 1.2:** Δείκτης υδραυλικότητας & διαφορετικοί τύποι ασβέστου(Holes & Wingate,1997).

Τύπος ασβέστου	Τιμές C.I.	Αργιλικό περιεχόμενο
Αερική ασβέστος	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.

Επιπλέον, πέρα από το πως η ιδιότητα της υδραυλικότητας μιας κονιάς εκφράζεται μέσω της ανάπτυξης αντοχής σε ένα πρότυπο κονίαμα, υπάρχουν και άλλα κριτήρια συμμόρφωσης που αναφέρονται σε χημικά αλλά και φυσικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες των κονιών φυσικής υδραυλικής ασβέστου (ΕΛΟΤ EN 459-2, 2001). Για το λόγο αυτό δίδεται έμφαση τόσο στην αξιολόγηση των πρώτων υλών και των συστατικών από τα οποία αποτελούνται, όσο και στις συνθήκες παραγωγής καθώς τα

παραπάνω κρίνεται ότι επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την απόδοση των τελικών προϊόντων.

Τα τελευταία χρόνια έχει επανέλθει στο προσκήνιο η έρευνα πάνω στην παραγωγή και τη χρήση τέτοιων υλικών, στο χώρο των κατασκευών. Ειδικά σε εργασίες συντήρησης - αναστήλωσης ιστορικών μνημείων δίδεται εξαιρετική έμφαση στη χρησιμοποίηση συμβατών υλικών συντήρησης, ως προς τα αρχικά υλικά των κατασκευών. Μηχανικοί, αρχιτέκτονες αλλά και συντηρητές αναζητούν συνδεδετικά υλικά τα οποία να εκπληρώνουν τα ίδια κριτήρια λειτουργικότητας και συμπεριφοράς όπως οι αρχικές συνδεδετικές κονίες (Edison, 2006). Επιπλέον, το ενδιαφέρον για τις φυσικές υδραυλικές κονίες οφείλει την εμφάνισή του και στις προσδοκίες των επιστημόνων για εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας από την παραγωγή τους (Triantafyllou et al., 2004).

Έτσι η Ευρωπαϊκή ένωση θέλοντας να διασφαλίσει την ποιότητα των προϊόντων ασβέστου και να ελέγξει την πληθώρα των διαφορετικών προϊόντων που έχουν λανσαριστεί από πολλές εταιρείες που δραστηριοποιούνται στο χώρο την τελευταία δεκαετία, τα οποία περιείχαν πρόσθετα υλικά διαφόρων τύπων (αρκετές μάλιστα φορές αμφιβόλου ποιότητας), εισήγαγε τον όρο “formulated lime”, θέλοντας έτσι να εξασφαλίσει συγκεκριμένες προδιαγραφές ως προς τη σύσταση και τις ιδιότητες των υλικών αυτών και τέλος να επιβάλει στους παραγωγούς διαδικασίες τυποποίησης των προϊόντων ασβέστου που διοχετεύουν στην αγορά δομικών υλικών.

Ο όρος “formulated lime” χαρακτηρίζει μια άσβεστο με υδραυλικές ιδιότητες (καθώς αποτελείται από κονία η οποία περιέχει μία τουλάχιστον υδραυλική φάση) , η οποία κυρίως αποτελείται αερική άσβεστο (Calcium Lime) ή/και φυσική υδραυλική άσβεστο, με προσθήκη και άλλων υλικών που και αυτά έχουν υδραυλικές ή/και ποζολανικές ιδιότητες , η οποία άσβεστος (όπως προαναφέρθηκε) υπακούει σε συγκεκριμένες προδιαγραφές. Ο κατασκευαστής , συνεπώς , είναι υποχρεωμένος να ενημερώνει για το εάν το προϊόν που διοχετεύει στην αγορά , περιέχει προσθήκη κάποιου τύπου τσιμέντου ή άλλου προσθέτου σε ποσοστό μεγαλύτερο από 5% , ή συνολικά πρόσθετα υλικά σε ποσοστό μεγαλύτερο από 10%.

**Πίνακας 2.** Απαιτήσεις ως προς το χημισμό των προϊόντων ασβέστου, που πληρούν τις προδιαγραφές υλικών τύπου “formulated lime” (% ποσοστά κατά βάρος).

Τύποι “ <i>formulated lime</i> ”	Χημισμός (τιμές % κ.β.)	
	SO <sub>3</sub>	Περιεχόμενο ποσοστό σε Ca(OH) <sub>2</sub> , σύμφωνα με το EN 459-2.
<b>FL A</b>	≤ 2	≥ 40 έως < 80
<b>FL B</b>	≤ 2	≥ 25 έως < 50
<b>FL C</b>	≤ 2	≥ 15 έως < 40

Στον Πίνακα 2, παρουσιάζονται σημαντικές χημικές απαιτήσεις των τύπων ασβέστου που περιλαμβάνονται στην κατηγορία formulated lime. Είναι αρκετά σημαντικοί οι περιορισμοί που αφορούν το ποσοστό του περιεχόμενου υδροξειδίου του ασβεστίου στα υλικά αυτά. Σημειώνεται, πως το ίδιο Πρότυπο ορίζει πως το αντίστοιχο ποσοστό σε Ca(OH)<sub>2</sub> στα προϊόντα φυσικής υδραυλικής ασβέστου πρέπει να είναι: ≥ 35% σε κονίες NHL2, ≥25 % σε κονίες NHL3.5 και ≥15 % σε κονίες φυσικής υδραυλικής ασβέστου τύπου NHL5 (ποσοστά % κ. β.).

Η διάκριση των κονιών φυσικής υδραυλικής ασβέστου δε γίνεται μόνο μέσω του χημισμού και σύμφωνα με το βαθμό της υδραυλικότητας (χαμηλής, μέσης και 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, όπου ο αριθμός που ακολουθεί της ονομασίας αναφέρεται στην ελάχιστη τιμή αντοχής σε δοκιμή ανεμπόδιστης μονοαξονικής θλίψης του κονιάματος που έχει παρασκευαστεί με την αντίστοιχη κονία, μετά από την πάροδο 28 ημερών. Με τις ίδιες απαιτήσεις οφείλουν να συμμορφώνονται και οι κονίες τύπου FL (formulated lime).



**Πίνακας 3.** Τυπικές απαιτήσεις αντοχών σε δοκιμή μονοαξονικής θλίψης για κονιάματα υδραυλικών κονιών, βάση του προτύπου EN 459.01:2015.

Τύποι υδραυλικών κονιών	Μονοαξονική θλίψη (MPa)	
	7 ημέρες	28 ημέρες
<b>NHL 2 / FL 2</b>	-	$\geq 2 \text{ έως } \leq 7$
<b>NHL 3.5 / FL 3.5</b>	-	$\geq 3.5 \text{ έως } \leq 10$
<b>NHL 5 / FL 5</b>	$\geq 2$	$\geq 5 \text{ έως } \leq 15$

Η ευελιξία στις χρήσεις που παρουσιάζουν οι κονίες φυσικής υδραυλικής ασβέστου, τις καθιστά ιδανικές για ένα σύνολο εργασιών που περιλαμβάνουν από κατασκευή τοιχοποιίας (λάσπη χτισίματος), κονιάματα σοβάδων και αρμολόγησης, ενέσιμα κονιάματα, έως διαφόρων ειδών επιχρίσματα και χρώματα.

Η ελαστικότητα των κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου είναι ένας ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας (ειδικά για κατασκευές χωρίς αρμούς), διότι συμβάλει στην ελαχιστοποίηση της συρρίκνωσης και της ρηγμάτωσης και επιτρέπει μικρές μετακινήσεις. Τα κονιάματα με φυσικό υδραυλικό ασβέστη έχουν μεγαλύτερη ελαστικότητα από τα κονιάματα τσιμέντου. Ειδικά τους πρώτους έξι έως δώδεκα μήνες το κονίαμα προσαρμόζεται στις μικρές μετατοπίσεις. Η ελαστικότητα των κονιαμάτων υδραυλικής ασβέστου είναι ένας από τους λόγους για τον οποίο δεν απαιτούνται αρμοί διαστολής στις κατασκευές όπου χρησιμοποιούνται. Τα κονιάματα του τσιμέντου είναι πολύ πυκνά και για αυτό το λόγο προκαλούν συσσώρευση υγρασίας σε υλικά δόμησης όπως οι φυσικοί δομικοί λίθοι, οι οπτόπλινθοι και το ξύλο. Η χρήση των φυσικών υδραυλικών κονιών, επιτρέπει τη διαπερατότητα σε υδρατμούς, προάγοντας έτσι τη φυσική διάχυση των υδρατμών του περιβάλλοντος μέσω της τοιχοποιίας και την καλή διαπνοή των κατασκευών.

Οι κονίες φυσικής υδραυλικής ασβέστου παρουσιάζουν επίσης σημαντική ανθεκτικότητα στη δημιουργία και εμφάνιση ανεπιθύμητων ενώσεων αλάτων μιας και

η απουσία επιβλαβών συστατικών όπως η γύψος και το τσιμέντο καθιστά αδύνατη την αντίδραση αλκαλίων-πυριτίου και την προσβολή από τα θειικά ιόντα τα οποία προκαλούν σε πολλές περιπτώσεις ρωγματώσεις και απολέπιση. Τα υπάρχοντα στην κατασκευή άλατα σε ένα κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου μπορούν να κυκλοφορήσουν και να αποπλυθούν.

Στον τομέα της συμβατότητας, η διαθεσιμότητα μιας σειράς καθαρών συνδετικών κονιών με διαφορετική επίδοση, εξασφαλίζουν συμβατότητα με το προϋπάρχον κονίαμα, ανεξαρτήτως της ηλικίας του. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό πως σε αντίθεση με τα τσιμεντοκονιάματα η θλιπτική αντοχή ενός κονιάματος φυσικής υδραυλικής ασβέστου αναπτύσσεται βαθμιαία, επιτρέποντας μετακινήσεις και μικροεπεμβάσεις διόρθωσης.

Επίσης, δίδεται η δυνατότητα (μέσω της επιλογής κονιών φυσικής υδραυλικής ασβέστου με διαφορετικό βαθμό υδραυλικότητας), της παραγωγής κονιαμάτων με την κατάλληλη θλιπτική αντοχή χωρίς προσθήκες ή αναμίξεις, που θα συμβαδίζει με αυτή του προϋπάρχοντος κονιάματος και δε θα προκαλεί ανεπιθύμητες τάσεις. Εάν ένας σύνδεσμος ή μια επιφάνεια είναι πολύ εύθραυστη και παρουσιάσει ρωγμάτωση, τότε η υγρασία (ειδικά σε παραθαλάσσιο ή άλλο υγρό περιβάλλον) θα εισχωρήσει στη φέρουσα τοιχοποιία ή τη λιθοδομή με αναμενόμενες συνέπειες.

Τέλος, οι κονίες φυσικής υδραυλικής ασβέστου περιέχουν όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα ένα ποσοστό ελεύθερης ασβέστου. Η παρουσία της ελεύθερας ασβέστου ενισχύει την εργασιμότητα καθώς επίσης και την αυτοϊαση του κονιάματος μιας και επιτρέπει μικρές τριχοειδείς ρωγμές και σημάδια συρρίκνωσης να κλείνουν κατά τη διάρκεια του στεγνώματος (Τριανταφύλλου, 2011).

## Κεφάλαιο 3 Υλικά και Μέθοδοι ανάλυσης

### 3.1 Υλικά

Στα κονιάματα που παρασκευάσθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, χρησιμοποιήθηκε ως κύρια συνδετική κονία φυσική υδραυλικής άσβεστος τύπου NHL 3.5 της εταιρείας Calce Raffinata. Επιπρόσθετα, μελετήθηκε η επίδραση στις μηχανικές ιδιότητες των συνθέσεων που παρασκευάστηκαν εργαστηριακά, της αντικατάστασης ενός μέρους φυσικής υδραυλικής ασβέστου, από φυσική ποζολάνη (ποσοστό αντικατάστασης 20%). Η ποζολάνη που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη ήταν ένα εμπορικό προϊόν της εταιρείας Imerys Βιομηχανικά ορυκτά ΕΛΛΑΣ (πρώην S&B A.E.), με την ονομασία μ-Silica type B, το τεχνικό δελτίο της οποίας βρίσκεται στο τέλος της παρούσας διπλωματικής.

Ως αδρανή υλικά στα μίγματα, χρησιμοποιήθηκαν τρεις άμμοι διαφορετικής σύστασης. Μια άμμος χαλαζιακής σύστασης (από την εταιρεία Αδαμακόπουλος Ε.Π.Ε.), μια άμμος ασβεστολιθικής σύστασης (από το Λατομείο ΛΑΧΟΡ Α.Ε., στο Χορδάκι Ακρωτηρίου στα Χανιά) και ένα διαβασικής σύστασης αδρανές από εμφάνιση οφιολίθων στο Νομό Κοζάνης, το οποίο προμήθευσαν την εταιρεία EM4C τα Λατομεία ΒΟΥΡΚΑ ΑΒΕΕ. Σε όλα τα αδρανή υλικά έγινε χημική και ορυκτολογική ανάλυση και για τις συνθέσεις των μιγμάτων που παρασκευάσθηκαν εργαστηριακά, προετοιμάστηκαν ικανές ποσότητες υλικού από κάθε αδρανές υλικό που συμμορφωνόταν ως προς την κοκκομετρική του κατανομή, με την αντίστοιχη εκείνη της πρότυπης άμμου ISO 679 CEN Reference Sand, όπως αυτή ορίζεται από το πρότυπο EN 196-1.

Στις πρώτες ύλες των συνθέσεων περιλαμβάνεται και ένας ρευστοποιητής. Με την προσθήκη ρευστοποιητή σε μικρό ποσοστό στα κονιάματα, επιτυγχάνεται μείωση του απαιτούμενου νερού για την επίτευξη της απαραίτητης εργασιμότητας. Έτσι, έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι η προσθήκη ρευστοποιητή συντελεί στη βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών των κονιαμάτων, χωρίς να προκαλεί δευτερογενή προβλήματα (Παπαγιάννη, 2007). Είναι σημαντικό οι ρευστοποιητές που χρησιμοποιούνται στα κονιάματα αποκατάστασης να μην περιέχουν υψηλό ποσοστό ευδιάλυτων αλάτων, ώστε να μη δημιουργηθούν δευτερογενή προβλήματα (εξανθίσεις,

κρυστάλλωση αλάτων, κ.ά.). Στα πλαίσια της εργασίας χρησιμοποιήθηκε ο ρευστοποιητής Chemium 162 της εταιρίας Domylco σε ποσοστό μικρότερο από 1% κ. β. στα μίγματα, ο οποίος έχει μέγιστη τιμή χλωριόντων 0,1% και μέγιστη τιμή αλκαλίων 2%.

### 3.1.1 Μέθοδος παρασκευής

Αρχικά, συγκεντρώθηκαν οι απαραίτητες ποσότητες από όλα τα υλικά, οι ικανές για την παρασκευή όλων των συνθέσεων κονιαμάτων της παρούσας εργασίας. Μετέπειτα, ακολούθησε η επιμέρους ζύγιση της ποσότητας του κάθε υλικού. Οι αναλογίες βαρών του κάθε υλικού καθώς και η διαδικασία που ακολουθήθηκε, ήταν σύμφωνες με όσα ορίζουν τα πρότυπα EN 196-1, EN 459-1 και EN 1015-3. Η κάθε δόση για την παρασκευή τριών πρισματικών δοκιμών διαστάσεων 160 x 40 x 40 mm περιείχε  $450 \pm 2$  γρ. κονίας,  $1350 \pm 5$  γρ. αδρανών και ποσότητα νερού, το βάρος του οποίου ικανοποιούσε την αναλογία w/c ratio 0.55 ή 0.60, ανάλογα με την κάθε σύνθεση (βλ. Πίνακας 2).

Ο εργαστηριακός αναμικτήρας πληρώνεται με το μίγμα κονίας και αδρανών (τα οποία νωρίτερα έχουν ξηρανθεί σε φούρνο στους 60°C για 48 ώρες) και αναμειγνύονται εν ξηρώ με το χέρι. Εν συνεχεία, προστίθεται μικρή ποσότητα νερού στο μίγμα και το μίγμα αναδεύεται μηχανικά σε χαμηλή ταχύτητα. Όταν προστεθεί η μισή ποσότητα του απαιτούμενου νερού, προστίθεται ο ρευστοποιητής και το μίγμα εξακολουθεί να αναδεύεται σε χαμηλή ταχύτητα. Ακολουθεί σταδιακή προσθήκη νερού έως ότου επιτευχθεί η ζητούμενη εργασιμότητα. Τότε η ανάμιξη συνεχίζει να πραγματοποιείται σε χαμηλή ταχύτητα για δυο λεπτά περίπου και εν συνεχεία για άλλα δυο λεπτά τουλάχιστον σε υψηλή ταχύτητα. Το μίγμα του νωπού κονιάματος απομακρύνεται από τον αναμικτήρα και με τη βοήθεια σπάτουλας πληρώνει τα κενά των πρισματικών μεταλλικών καλουπιών. Η χύτευση του μίγματος στα καλούπια γίνεται σε δύο στρώσεις και συμπυκνώνεται σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιώντας τράπεζα δόνησης, όπου πραγματοποιούνται 60 χτυπήματα σε κάθε μια στρώση.

Επισημαίνεται πως η ποσότητα νερού που εισήχθη σε κάθε μίγμα, καθορίστηκε από την τιμή της δοκιμής του κώνου εξάπλωσης, σύμφωνα με το πρότυπο EN 1015-3. Στα κονιάματα φυσικής υδραυλικής ασβέστου που παρασκευάστηκαν στην παρούσα

εργασία, η ζητούμενη εργασιμότητα καθορίστηκε σε εργασιμότητα που αντιστοιχεί σε εξάπλωση  $15 \pm 1$  cm. Οι τιμές αναλογίας νερού προς κονία που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2, αποτελούν μέσο όρο των λόγων νερού προς κονία των διαφόρων αναμιγμάτων που παρασκευάστηκαν ανά σύνθεση. Σημειώνεται πως η αναλογία νερού προς κονία που ορίζει το πρότυπο EN 459-2 για κονίες φυσικής υδραυλικής ασβέστου τύπου NHL 3.5, είναι 0.55.

Μετά την πάροδο 2 έως 3 ημερών από την παρασκευή τους, τα υδραυλικά κονιάματα έχουν πήξει αρκετά ώστε να απομακρυνθούν από τις μεταλλικές μήτρες και να τοποθετηθούν σε εργαστηριακό θάλαμο ωρίμανσης, σε συγκεκριμένες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας ( $RH \approx 95\%$  &  $T = 20 \pm 1$  °C) για συνολικό χρόνο 27 ημερών μετά την απομάκρυνση από τα καλούπια τους. Έπειτα, απομακρύνονται από το θάλαμο και παραμένουν σε συνθήκες περιβάλλοντος για 1 ημέρα, πριν από τη διεξαγωγή των εργαστηριακών δοκιμών.

**Πίνακας 4.** Κατά βάρος αναλογίες των επί μέρους , για τις συνθέσεις κονιαμάτων που παρασκευάστηκαν εργαστηριακά. ( Με αναλογία κονίας/αδρανούς  $\rightarrow 1/3$  ).

Συστατικά / Κωδικοί σύνθεσης	Q	L	D	QP	LP	DP
<b>Natural Hydraulic Lime 3.5 Calce Raffinata</b> (Φυσική Υδραυλική Άσβεστος)	1	1	1	0.8	0.8	0.8
<b>Ποζολάνη (μ-Silica B)</b> <b>Imerys Ind. Minerals Greece</b>	-	-	-	0.2	0.2	0.2
<b>Αδρανή Υλικά (0-2mm)</b> (συμμόρφωση ως προς την κοκκομετρική τους κατανομή σύμφωνα με την πρότυπη άμμο, CEN ISO 679)	3	3	3	3	3	3
<b>Αναλογία νερού/κονία</b> (water/binder ratio)	0.54	0.56	0.55	0.58	0.60	0.59
<b>Ρευστοποιητής</b> (Superplasticizer με σήμανση CE 1139, κατά EN 934-2)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<b>Εργασιμότητα</b> (Εξάπλωση σε cm, κατά EN 1015-3)	15-16	15-15.5	14.5-15	14.5-15	14.5-15.5	14-14.5

Σημειογραφία: Q= Χαλαζιακό αδρανές, L= Ασβεστολιθικό αδρανές, D= Διαβαστικό αδρανές ,P= Ποζολάνη

## 3.2 Μέθοδοι ανάλυσης

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

- Μέθοδο περιθλασιμετρίας κόνεων ακτίνων-X (XRD).
- Μέθοδος φασματομετρίας ακτίνων –X φθορισμού (XRF)
- Στερεοσκοπική εξέταση/παρατήρηση.

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

### 3.2.1 Στερεοσκοπική εξέταση

Η στερεοσκοπική παρατήρηση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με σκοπό την παρατήρηση και καταγραφή στοιχείων όπως, η ποιότητα συμπίκνωσης των κονιαμάτων, η ποιότητα της συνάφειας μεταξύ κονίας και αδρανών υλικών, η ύπαρξη ή μη μικρορωγμών, πόρων αλλά και σβώλων κονίας στα δοκίμια. Τα ανωτέρω παρατηρήθηκαν μέσω στιλπνών τομών, οι οποίες παρασκευάστηκαν εργαστηριακά από αντιπροσωπευτικά θραύσματα των δοκιμίων που προέκυψαν έπειτα από τις δοκιμές προσδιορισμού των μηχανικών αντοχών (28 ημέρες). Η οπτική αυτή παρατήρηση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση διοφθάλμιου στερεοσκοπίου της εταιρίας Motic Microscopes τύπου MZ-143 N2GG και οι αντίστοιχες φωτογραφίες που λήφθηκαν (σε μεγεθύνσεις 2×, 4× και 8×).

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την κατασκευή των στιλπνών τομών ήταν η εξής:

Με κατάλληλο κοπτικό μηχανήμα (αδαμαντοφόρος κοπτικός δίσκος) κόβεται ένα μικρό κομμάτι του υπό εξέταση δείγματος σε μορφή πλακιδίου. Τα δείγματα τοποθετούνται σε ειδικές κυλινδρικές φόρμες διαμέτρου περίπου 3 εκατοστών, μέσα στις οποίες χύθηκε το υλικό εγκλίσεως (ρητίνη). Έπειτα, εμποτίζονται στο κενό, έτσι ώστε να απομακρυνθεί ο αέρας των πόρων του δείγματος, καθώς επίσης και ο αέρας που ήταν εγκλωβισμένος στη ρητίνη, ο οποίος σε αντίθετη περίπτωση θα δημιουργούσε φυσαλίδες με αποτέλεσμα να δυσχεραίνει τη διαδικασία της στίλβωσης.

Ως 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 αδαμανταλοιφές, οι οποίες είναι διαλυτές σε νερό, αλκοόλ και λάδι. Συγκεκριμένα, η στίλβωση πραγματοποιήθηκε με περιστρεφόμενους δίσκους και χρησιμοποιώντας νερό ως λιπαντικό μέσο.

### **3.2.2 Μέθοδος περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων -X (XRD)**

Η μέθοδος της περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων -X (XRD) έχει ως σκοπό τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης και της δομής των δειγμάτων, τα οποία μπορούν να περιέχουν περισσότερες από μία κρυσταλλικές φάσεις, με χρήση αντιπροσωπευτικού κονιοποιημένου αρχικού δείγματος.

Το φαινόμενο της περίθλασης των ακτίνων-X πάνω στους κρυστάλλους οφείλεται στην αλληλεπίδρασή τους με τα ηλεκτρόνια των ατόμων των κρυστάλλων και έχει ως αποτέλεσμα τη σκέδαση των ακτίνων-X. Η ικανότητα ενός ατόμου να σκεδάζει ακτίνες-X είναι ανάλογη του αριθμού των ηλεκτρονίων του. Κατά τη σύγκρουση των ακτίνων-X με τα ηλεκτρόνια των ατόμων, τα ηλεκτρόνια ωθούνται σε εξαναγκασμένες ταλαντώσεις και ταυτόχρονη εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ίδιας συχνότητας, όπως της πρωτογενούς ακτινοβολίας και μικρότερης συχνότητας σε σχέση με την πρωτογενή ακτινοβολία, ως συνεπακόλουθο της μετάπτωσής τους από διάφορες ενεργειακές στάθμες σε άλλες.

Η περίθλαση των ακτίνων-X πάνω στους κρυστάλλους ερμηνεύεται ως σκέδαση των ακτίνων-X 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 σκέδαση στην προκειμένη περίπτωση

διαφέρει από την ανάκλαση του ορατού φωτός, στο ότι λόγω της μεγάλης ικανότητας διείσδυσης η προσπίπτουσα στον κρύσταλλο δέσμη διαπερνά ένα πολύ μεγάλο αριθμό πλεγματικών επιπέδων πριν απορροφηθεί (Κωστάκης, 2005).

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 και 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, 2005).

Με τη μέθοδο αυτή πραγματοποιείται απευθείας μέτρηση τόσο των γωνιών όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων-X που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως. Οι βασικές μονάδες από τις οποίες αποτελείται ένα σύγχρονο περιθλασίμετρο ακτίνων-X είναι:

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

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

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



όπου  $n$  είναι ακέραιος θετικός αριθμός,  $\lambda$  το μήκος κύματος,  $\theta$  η γωνία σκέδασης και  $d$  η πλεγματική απόσταση των επιπέδων σκέδασης του κρυστάλλου.

Το περιθλασίμετρο XRD καταγράφει υπό μορφή ακτινογραφήματος την ένταση των σκεδαζόμενων ακτίνων για κάθε συγκεκριμένη γωνία και για ορισμένο φάσμα γωνιών. 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, 2005).

Η ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με το περιθλασίμετρο ακτίνων-X τύπου D8-Advance της Bruker AXS. Τα παρασκευάσματα τοποθετήθηκαν στο δειγματοφορέα του γωνιομέτρου του περιθλασιμέτρου, ο οποίος βρίσκεται σε θέση τέτοια έτσι ώστε να παραμένει πάντα στο κέντρο του κύκλου που σχηματίζει ο απαριθμητής των ακτίνων-X. Ο απαριθμητής περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα 2  $^\circ/\text{min}$  ενώ το επίπεδο του δείγματος περιστρέφεται με γωνιακή ταχύτητα  $\theta/\text{min}$ . Αυτό συμβαίνει διότι με τη σύγχρονη μετατόπιση του απαριθμητή και τη περιστροφή του δείγματος ο απαριθμητής σχηματίζει την ίδια γωνία ως προς το επίπεδο του δείγματος, όπως και με το σημείο εξόδου των ακτίνων-X της λυχνίας. Η ακτινοσκόπηση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με χρήση λυχνίας χαλκού (Cu), με μήκος κύματος  $\approx 1,5418 \text{ \AA}$ , φίλτρο νικελίου, τάση λυχνίας  $U=35 \text{ kV}$  και ένταση ρεύματος  $I=35 \text{ mA}$ .

Με τη βοήθεια του γραφικού προγράμματος Plot 3D σε υπολογιστή, αναπαριστώνται οι τιμές σχετικής έντασης  $I$  που δίνει το υλικό στις αντίστοιχες γωνίες ανάκλασης  $2\theta$  και τις αντίστοιχες ισαποστάσεις  $d$  των κρυσταλλικών επιπέδων.

### 3.2.3 Μέθοδος φασματομετρίας ακτίνων –X φθορισμού (XRF)

Η μέθοδος της φασματομετρίας ακτίνων-X φθορισμού χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης των δειγμάτων και βασίζεται στη μέτρηση της εκλυόμενης ακτινοβολίας ακτίνων-X κατά το «βομβαρδισμό» του δείγματος με ακτίνες-X.

Παρασκευάστηκαν υάλινα δισκία με σύντηξη δείγματος και τετραβορικού λιθίου. Για την υαλοποίηση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε 1,5 γραμμάριο ξηρού και καλά λειοτριβημένου δείγματος, το οποίο αναμίχθηκε με τη βοήθεια αχάτη με 7,5 γραμμάρια συντηκτικού τετραβορικού λιθίου. Στη συνέχεια το μίγμα τοποθετήθηκε σε χωνευτήριο πλατίνας, στο οποίο προστέθηκαν τρεις σταγόνες βρωμιούχου λιθίου, για να αυξηθεί η ικανότητα του μίγματος να ρέει.

Έπειτα από την παρασκευή των υάλινων δισκίων των δειγμάτων με τη συσκευή M4 Gas Fusion πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση των δειγμάτων με τη μέθοδο φασματομετρίας ακτίνων-X φθορισμού με φασματόμετρο S2 Ranger της Bruker AXS, με χρήση λυχνίας Παλλαδίου (Pd). Ο προσδιορισμός έγινε με το σύστημα διαχωρισμού της ενέργειας (EDS).

Το σύστημα φασματομετρίας ακτίνων-X φθορισμού αποτελείται από τη λυχνία παραγωγής πρωτογενούς ακτινοβολίας X (X-Ray tube), το δειγματοφορέα, το φίλτρο πρωτογενούς ακτινοβολίας, τον ευθυγραμμιστή, τον ανιχνευτή, τον πολυδιάυλο αναλυτή καθώς και το ηλεκτρονικό σύστημα καταγραφής.

Το φασματοφωτόμετρο XRF έχει ως αρχή λειτουργίας τις πρωτογενείς ακτίνες X1 που εκπέμπονται από την πηγή προκαλώντας εκπομπή χαρακτηριστικών δευτερογενών ακτίνων X από το δείγμα (φθορισμός), των οποίων οι ενέργειες είναι μικρότερες από την ενέργεια των πρωτογενών ακτίνων X1, εξαρτώνται όμως από τα στοιχεία που περιέχει το δείγμα.

### **3.3 Μηχανικές ιδιότητες , προσδιορισμός μηχανικών αντοχών**

Η αντοχή των υλικών είναι ο κλάδος της εφαρμοσμένης μηχανικής που μελετά την αντοχή των στερεών υπό ένταση, την κατανομή των τάσεων στα στερεά, τις παραμορφώσεις καθώς και τις σχέσεις των τάσεων-παραμορφώσεων. Βασικές μηχανικές ιδιότητες των υλικών θεωρούνται η αντοχή σε εφελκυσμό, σε θλίψη, σε κάμψη, και σε διάτμηση. Οι μηχανικές αυτές ιδιότητες μελετώνται σε διάφορες θερμοκρασίες αλλά κυρίως στις θερμοκρασίες περιβάλλοντος

Οι μηχανικές ιδιότητες των σκληρυσμένων δοκιμίων που μετρήθηκαν στην παρούσα διπλωματική είναι η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη και η αντοχή σε κάμψη. (Μουζάς, 2017 από Κωτσοβό, 2010).

#### Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη

Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη ή ανεμπόδιστη θλίψη (UCS, Uniaxial Compressive Strength) ενός υλικού ορίζεται ως η απαιτούμενη τάση για την αστοχία ενός υλικού όταν αυτό φορτίζεται σε μία κατεύθυνση. Για τον εργαστηριακό προσδιορισμό της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη κατασκευάζονται κυλινδρικά, πρισματικά ή κυβικά δοκίμια. Η τάση εφαρμόζεται στις επίπεδες έδρες του δοκιμίου ενώ πλευρικά είναι ελεύθερο (Ρόζος, 2007). Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή ενός υλικού,  $f_c$ , αποτελεί το πιο χαρακτηριστικό μέγεθος του υλικού και μπορεί εύκολα να προσδιοριστεί πειραματικά. Για το λόγο αυτό βασικές μηχανικές ιδιότητες του υλικού (όπως το μέτρο ελαστικότητας και η αντοχή σε εφελκυσμό) που απαιτούνται για το σχεδιασμό των κατασκευών και των οποίων ο προσδιορισμός είναι λιγότερο ευχερής, εκφράζονται, συνήθως, συναρτήσει του μεγέθους αυτού. Επιπλέον, η θλιπτική αντοχή αποτελεί γενικό δείκτη της ποιότητας του υλικού.

Στην περίπτωση των κονιαμάτων όλες σχεδόν, οι ιδιότητες των υλικών αυτών (υδατοστεγανότητα, αντοχή σε επιφανειακή φθορά, ανθεκτικότητα, κλπ), βελτιώνονται με τη μείωση της διαπερατότητας η οποία σχετίζεται με το πορώδες του υλικού το οποίο είναι καθοριστικός παράγοντας της θλιπτικής αντοχής του.

Η εργαστηριακή δοκιμή της ανεμπόδιστης μονοαξονικής θλίψης αποτελεί την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδο μελέτης των μηχανικών ιδιοτήτων καθώς είναι γρήγορη, εύκολη στην εκτέλεσή της και χαμηλού κόστους. Η αντοχή ενός υλικού σε μονοαξονική θλίψη προσδιορίζεται με καταπόνηση σε θλίψη δοκιμίων, και ορίζεται ως η μέγιστη τάση θραύσης των δοκιμίων. Στην περίπτωση των κονιαμάτων τα οποία δημιουργούνται εργαστηριακά το υλικό αφήνεται συνήθως να ωριμάσει για 28 ημέρες πριν την εργαστηριακή δοκιμή. Σε μη τυποποιημένες εργαστηριακές δοκιμές ο χρόνος ωρίμανσης μπορεί να είναι διαφορετικός. Τα αποτελέσματα αυτού του προσδιορισμού για συμβατικές συνθήκες παρασκευής, συντήρησης και καταπόνησης των δοκιμίων χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρίσουν την ποιότητα του υλικού.

Μετά το πέρας των 28 ημερών, έγινε η μέτρηση των διαστάσεων (ύψος, μήκος, πλάτος) και του βάρους καθενός δοκιμίου ώστε να ακολουθήσει η διαδικασία ελέγχου της μηχανικής συμπεριφοράς των κονιαμάτων. Η διαδικασία έγινε σύμφωνα με τα Πρότυπα EN 196-1 και EN 1015-11. Για κάθε μία σύνθεση πραγματοποιήθηκε θραύση δυο δοκιμίων για τον υπολογισμό των τιμών αντοχής σε κάμψη και τεσσάρων δοκιμίων για τον υπολογισμό των τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη ώστε αργότερα να υπολογισθεί η μέση τιμή των τιμών αυτών καθώς και η τυπική τους απόκλιση (βλ. Παράρτημα II).

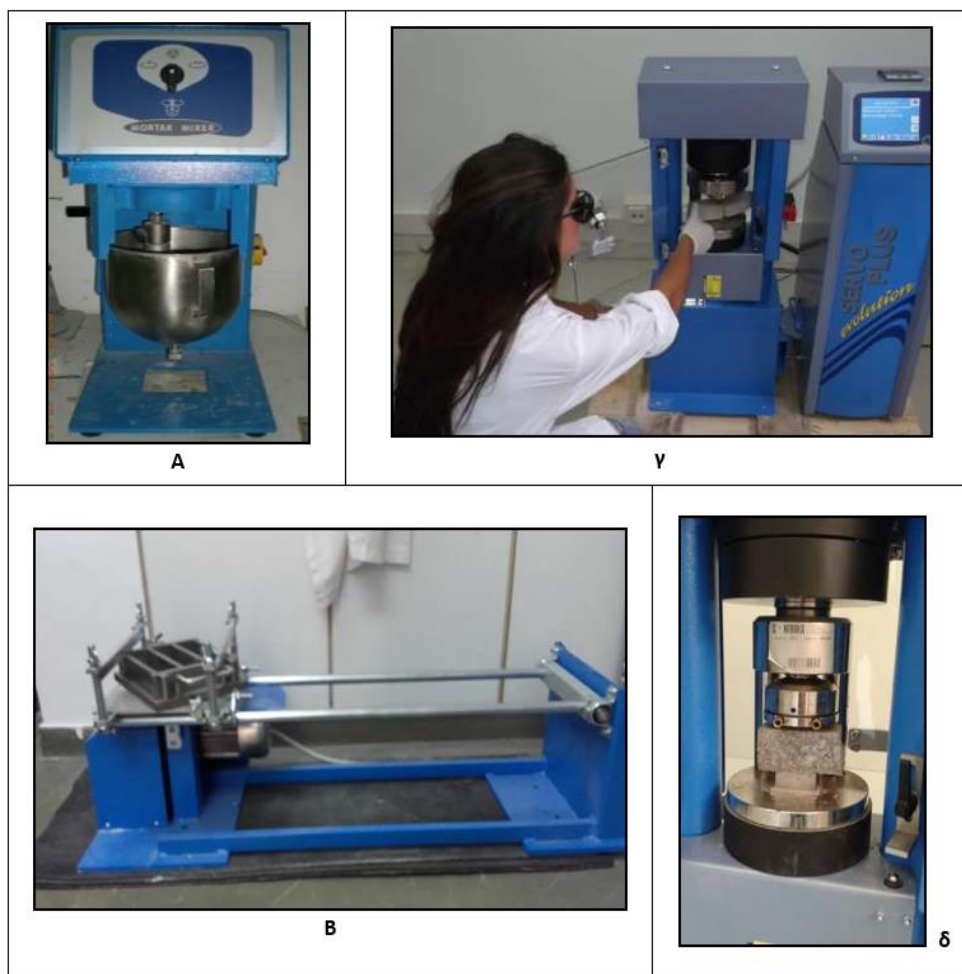
Στις εργαστηριακές δοκιμές μονοαξονικής θλίψης απαιτείται η ύπαρξη ειδικού εξοπλισμού που έχει τη δυνατότητα να ασκεί φορτία και να καταγράφει τιμές των φορτίων και παραμορφώσεων κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Ο εξοπλισμός αυτός πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα όργανα και συσκευές (Αγιουτάντης, 2002):

- Συσκευή δοκιμής. Η συσκευή πρέπει να μπορεί να επιβάλλει σταθερό ρυθμό φόρτισης στο δοκίμιο και συγχρόνως να έχει τη δυνατότητα να μετρήσει και να καταγράψει το επιβαλλόμενο φορτίο.
- Πλάκες φόρτισης. Οι πλάκες φόρτισης χρησιμεύουν στο να μεταφέρουν το φορτίο στο δοκίμιο και πρέπει να είναι παράλληλες μεταξύ τους. Στην περίπτωση που υπάρχει σφαιρική κεφαλή έδρασης που δεν πληροί τις προδιαγραφές, θα πρέπει να αφαιρεθεί ή να στερεωθεί στην οριζόντια θέση.
- Χαλύβδινοι δίσκοι. Οι δίσκοι (platens) τοποθετούνται ανάμεσα στις πλάκες φόρτισης και στο δοκίμιο και αποσκοπούν στο να ελαττώσουν την υπερβολική πλευρική παραμόρφωση του δοκιμίου λόγω των δυνάμεων τριβής στα σημεία επαφής. Η σκληρότητα των δίσκων (στην κλίμακα Rockwell) πρέπει να είναι μεγαλύτερη από HRC58 και η διάμετρος τους να είναι μεταξύ  $D$  και  $D + 2 \text{ mm}$ , όπου  $D$  η διάμετρος των δοκιμίων. Το πάχος των δίσκων θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 15 mm ή  $D / 3$  και οι παράλληλες επιφάνειες τους πρέπει να έχουν ανοχή μικρότερη από 0.005 mm.
- Σφαιρική κεφαλή έδρασης. Η σφαιρική κεφαλή έδρασης πρέπει να βρίσκεται στο πάνω μέρος του δοκιμίου και ο άξονας της πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένος με τον

άξονα του δοκιμίου και το κέντρο της πλάκας φόρτισης. Αν η μηχανή δοκιμής δε διαθέτει σφαιρική κεφαλή έδρασης, τότε ένας από τους δύο χαλύβδινους δίσκους πρέπει να έχει αυτή τη δυνατότητα.

### 3.4 Δοκιμή Μονοαξονικής θλίψης

Η δοκιμή μονοαξονικής θλίψης έγινε σε μηχανή E161-01N της εταιρείας MATEST (τύπου DUAL RANGE 250/15 kN, Εικόνα 5.γ) με σταθερό ρυθμό φόρτισης μεταξύ 0,5 – 1,0 MPa/s. Η συσκευή περιλαμβάνει και υπακούει στις προαναφερθέντες προδιαγραφές καθώς χρησιμοποιεί παράλληλες πλάκες φόρτισης για τη μεταφορά του φορτίου στο δοκίμιο και σφαιρική κεφαλή έδρασης στο πάνω μέρος του δοκιμίου, ο άξονας της οποίας πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένος με τον άξονα του δοκιμίου και το κέντρο της πλάκας φόρτισης (Εικόνα 5.δ). Η επιβολή του φορτίου και η καταγραφή φορτίου και μετατόπισης γίνεται από ηλεκτρονικό σύστημα. Τα δεδομένα επεξεργάζονται και η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη ( **Co** ) προκύπτει από τη σχέση: **Co = Fmax / A**, όπου **Fmax** το μέγιστο φορτίο (δύναμη) που δέχθηκε το δοκίμιο μέχρι να αστοχήσει και **A** η επιφάνεια που υπολογίζεται από τη μέση διάμετρο του δοκιμίου (Πιπερίδη, 2017).



**Εικόνα 5.** Εργαστηριακός εξοπλισμός για την παρασκευή και τον έλεγχο των μηχανικών ιδιοτήτων των δοκιμίων: α) εργαστηριακός αναμικτήρας, β) τράπεζα δόνησης MATEST (Jolting apparatus E130) και καλούπι πρισματικών δοκιμίων 40x40x160 mm, γ) μηχανή μέτρησης αντοχής σε μονοαξονική θλίψη και κάμψης E161-01N της MATEST και δ) κελί φόρτισης για τη δοκιμή μονοαξονικής θλίψης (Πιπερίδη, 2017).

### 3.5 Δοκιμή κάμψης

Με τη δοκιμή της κάμψης (bending test) ελέγχεται η συμπεριφορά ενός υλικού όταν καταπονείται σε καθαρή κάμψη, αποτέλεσμα της οποίας είναι η ανάπτυξη στο εσωτερικό του ενός συνδυασμού εφελκυστικών και θλιπτικών τάσεων.

Οι δύο συνηθέστερες μορφές της δοκιμής κάμψης είναι η δοκιμή κάμψης τριών σημείων και η δοκιμή κάμψης τεσσάρων σημείων.

Κατά τη δοκιμή κάμψης τριών σημείων μία αμφιέριστη δοκός πετρώματος φορτίζεται με συγκεντρωμένο P φορτίο στο μέσον της. Η κατανομή της ροπής κάμψης κατά μήκος

του άξονα της δοκού είναι γραμμική με μέγιστη τιμή  $M_{max} = PL/4$  και η μέγιστη εφελκυστική τάση δίνεται από τον τύπο :

$$\sigma_{max} = 3PL/2bh^2$$

Ενώ κατά τη δοκιμή κάμψης τεσσάρων σημείων η δοκός πετρώματος φορτίζεται με δύο συγκεντρωμένα φορτία  $P/2$  στο  $1/3$  και στα  $2/3$  του μήκους της και η μέγιστη εφελκυστική τάση δίνεται από τον τύπο:

$$\sigma_{max} = PL/2bh^2$$

Τέλος, υπολογίστηκε το ποσοστό απορρόφησης ύδατος (υδατοαπορροφητικότητα) των κονιαμάτων, έπειτα από την εμβάπτιση τους σε νερό για χρονικό διάστημα 24 ωρών. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στα δοκίμια των 90 ημερών ωρίμανσης.

Οι εργαστηριακές αναλύσεις της παρούσας μελέτης, πραγματοποιήθηκαν στα κάτωθι εργαστήρια και ερευνητικές μονάδες της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης:

- Εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας,
- Ερευνητική μονάδα Ελέγχου Ποιότητας – Υγιεινής και Ασφάλειας στη Μεταλλευτική,
- Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας και
- Εργαστήριο Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας.

## **Κεφάλαιο 4 Αποτελέσματα**

### **4.1 Αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων**

Η ποιότητα των πρώτων υλών (κονίας και αδρανών) που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή κονιαμάτων, αποτελεί έναν εξαιρετικής σημασίας παράγοντα για τη συμπεριφορά και την απόδοση των αναμιγμάτων, τόσο ως προς τα φυσικά όσο και ως προς τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά (Lanas & Alvarez, 2003). Συνεπώς η διερεύνηση της ορυκτολογικής και της χημικής τους σύστασης, αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρήση των επί μέρους αυτών υλικών σε αναμίγματα για την παρασκευή σκυροδεμάτων, κονιαμάτων, ενεμάτων κλπ.

#### **4.1.1 Αποτελέσματα μεθόδου XRD**

Στον Πίνακα 5, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την ορυκτολογική ανάλυση των αδρανών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη. Επίσης στην Εικόνα 6, εμφανίζονται οι ορυκτολογικές φάσεις και τα επί μέρους ποσοστά αυτών, που ανιχνεύτηκαν στην κονία φυσικής υδραυλικής ασβέστου **NHL 3.5** της **Calce Raffinata**.



**Πίνακας 5.** Αποτελέσματα της ποσοτικής ορυκτολογικής ανάλυσης των δειγμάτων αδρανών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη για την παρασκευή κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου, με τη χρήση του λογισμικού AutoQuan v.2.80.

Ορυκτές φάσεις (% κ.β)	Αδρανή Υλικά		
	Χαλαζιακά	Ασβεστολιθικά	Διαβασικά
Χαλαζία	98 (±0.78)	0.79 (±0.21)	10.74 (±1.02)
Χριστοβαλίτης	1.17 (±0.75)	-	-
Ασβεστίτης	0.72 (±0.20)	99.21 (±0.21)	3.41 (±0.72)
Πλαγιόκλαστο	-	-	50.55 (±1.74)
Καλιούχος άστριος	0.12 (±0.14)	-	-
Χλωρίτης	-	-	21.72 (±1.98)
Πυρόξενος	-	-	5.74 (±1.23)
Ακτινόλιθος	-	-	4.41 (±1.14)
Επίδοτο	-	-	1.19 (±0.45)
Χρωμίτης	-	-	1.47 (±0.33)
Σιδηροπυρίτης	-	-	0.76 (±0.13)

Η ποιοτική ορυκτολογική ανάλυση της κονιάς παρατίθεται στο Γράφημα 7 (Παράρτημα Ι).

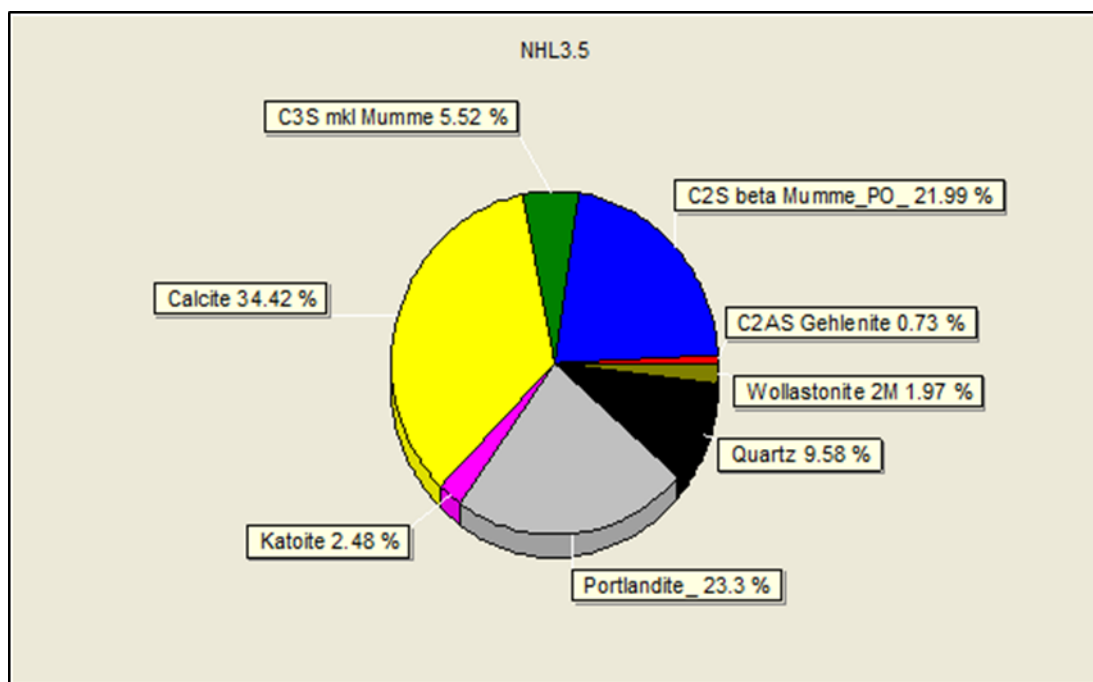
Η χαλαζιακή άμμος αποτελείται από χαλαζία ( $\text{SiO}_2$ ) σε ποσοστό 98%, ενώ σε μικρότερα ποσοστά ανιχνεύτηκαν χριστοβαλίτης (μορφή  $\text{SiO}_2$ ), ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ) και καλιούχος άστριος. Στον αντίποδα, η ασβεστολιθική άμμος κυριαρχείται από την παρουσία του ασβεστίτη ( $\text{CaCO}_3$  σε ποσοστό 99.21%), ενώ χαλαζίας απαντάται σε ποσοστό μικρότερο από 1%. Αξίζει να σημειωθεί πως και στις δυο άμμους δεν ανιχνεύτηκαν φάσεις που δεν είναι επιθυμητές σε αδρανή υλικά που προορίζονται για χρήση σε μίγματα κονιαμάτων, όπως μαρμαρυγίες, άλλα αργίλικα ορυκτά, κλπ.

Τα αδρανή διαβασικής σύστασης παρουσιάζουν μακροσκοπικά ένα σκούρο πράσινο χρώμα, λεπτόκοκκη υφή, συμπαγή δομή και δε παρουσιάζουν φαινόμενα εξαλλοίωσης. Η κύρια ορυκτολογική φάση των αδρανών, τα οποία ανήκουν σε μια ακολουθία Οφιολίθων Ιουρασικής ηλικίας δυτικά της πόλης της Κοζάνης, περιλαμβάνει πλαγιόκλαστο σε ποσοστό περίπου 50%. Χαμηλού βαθμού μεταμορφικές διεργασίες έχουν επηρεάσει σε μεγάλη έκταση τα υλικά αυτά, με αποτέλεσμα να συμμετέχουν ως δευτερογενή ορυκτά χλωρίτης ( $\approx 22\%$ ), χαλαζίας ( $\approx 11\%$ ), επίδοτο ( $\approx 1\%$ ) και

ασβεστίτης ( $\approx 3.5\%$ ). Ανιχνεύτηκαν επίσης ποσότητες πυρόξενου ( $\approx 6\%$ ), χρωμίτη ( $\approx 1.5\%$ ) και σιδηροπυρίτη ( $\approx 1\%$ ).

Στο δείγμα συμμετέχει και ακτινόλιθος, σε ποσοστό μικρότερο του 5%. Η παρουσία του ακτινόλιθου είναι σημαντικός παράγοντας καταλληλότητας ως προς τη χρήση αδρανών της παρούσας προέλευσης, μιας και όταν αυτός συμμετέχει με την αμιαντούχο μορφή του καθίσταται επικίνδυνος παράγοντας για την υγεία. Αν και το ποσοστό συμμετοχής της φάσης του ακτινόλιθου στο δείγμα των αδρανών της παρούσας μελέτης είναι μικρό, συνίσταται περαιτέρω διερεύνηση ως προς τη μορφή με την οποία αυτός είναι παρών (ινώδη ή όχι).

Η ποσότητα κονίας φυσικής υδραυλικής ασβέστου **NHL 3.5 της Calce Raffinata** που χορηγήθηκε από την εταιρία **EM4C**, περιέχει ως κύρια υδραυλική φάση πυριτικό διασβέστιο (βελίτη –  $C_2S$ ) σε ποσοστό περίπου 22%. Ανιχνεύτηκε και ποσότητα πυριτικού τριασβεστίου (αλίτη –  $C_3S$ ) σε ποσοστό 5.5%. Από άλλες επί μέρους ορυκτολογικές φάσεις που απαντώνται συνήθως σε προϊόντα φυσικής υδραυλικής ασβέστου ανιχνεύτηκαν γκελενίτης ( $C_2AS \approx 1\%$ ), βολλαστονίτης ( $CS \approx 2\%$ ) και κατοϊτης  $Ca_3Al_2(OH)_{12} \approx 2.5\%$ . Χαλαζίας είναι παρόν σε ποσοστό 9.5%.



**Εικόνα 6.** Αποτελέσματα της ποσοτικής ορυκτολογικής ανάλυσης της κονιάς φυσικής υδραυλικής ασβέστου CALCE RAFFINATA NHL 3.5 που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των κονιαμάτων, έπειτα από επεξεργασία με το λογισμικό AutoQuan.

Η ποσότητα υδροξειδίου του ασβεστίου  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  που περιέχει το δείγμα της κονιάς ανέρχεται σε 23.3%, ενώ ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ) είναι παρόν σε ποσοστό περίπου 34.5%. Το πρότυπο EN 459-1, ορίζει ως προς τις χημικές απαιτήσεις των προϊόντων φυσικής υδραυλικής ασβέστου που ταξινομούνται στην κατηγορία 3.5, την παρουσία πορτλανδίτη  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  σε ποσοστό μεγαλύτερο ή ίσο από 25%. Η ποσότητα κονιάς που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη εμπίπτει στην ανωτέρω προδιαγραφή και ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του προτύπου, συνεπώς αποτελεί κονία NHL3.5 και αυτό συμβαίνει διότι η ορυκτολογική ανάλυση που παρατίθεται στο τεχνικό δελτίο του προϊόντος της εταιρίας (βλ. στο τέλος της εργασίας), δε λαμβάνει υπόψη την παρουσία όλων των ορυκτολογικών φάσεων που ανιχνεύτηκαν με τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη. Επίσης, η ποσότητα πορτλανδίτη και ασβεστίτη που δηλώνεται στην ορυκτολογική ανάλυση του τεχνικού δελτίου, αφορά προϊόντα έψησης τα οποία έχουν μόλις προκύψει από τη γραμμή παραγωγής των αντίστοιχων κονιών και ως εκ τούτου, δε λήφθηκε υπόψη η αναπόφευκτη μετατροπή μιας ποσότητας υδροξειδίου του ασβεστίου σε ανθρακικό ασβέστιο, μέσω της διαδικασίας της ενανθράκωσης από την επαφή με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.

#### 4.1.2 Αποτελέσματα μεθόδου XRF

Στον Πίνακα 6, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύνθεση των κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου. Οι εργαστηριακές αναλύσεις του χημισμού των δυο κονιών, βρίσκονται σε πολύ καλή συσχέτιση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που παρατίθενται στα τεχνικά δελτία των δύο προϊόντων. Σημειώνεται το πολύ μικρό ποσοστό  $\text{SO}_3$  που περιέχουν και οι δύο κονίες.

Όσο αφορά τα αδρανή υλικά, τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων είναι σε πλήρη αντιστοιχία με εκείνα που προέκυψαν από τη μελέτη της ορυκτολογικής ανάλυσης των υλικών και χαρακτηρίζουν υλικά που πληρούν τις προδιαγραφές που απαιτούνται για να χρησιμοποιηθούν σε συνθέσεις μιγμάτων για κονιάματα.

**Πίνακας 6.** Αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης των δειγμάτων (κονίες & αδρανή) που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της φασματοσκοπίας ακτίνων – Χ φθορισμού (XRF), σε φασματόμετρο S2 Ranger της εταιρείας Bruker.

Οξείδια (% κ.β)	Υλικά				
	Κονίες		Αδρανή		
	NHL 3.5	μ-Silica B	Διαβασικά	Ασβεστολιθικά	Χαλαζιακά
CaO	55.29	1.14	4.16	55.60	0.98
SiO <sub>2</sub>	20.79	69.66	58.70	0.80	96.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.70	11.75	13.60	-	0.45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.62	2.65	2.76	-	-
MgO	0.67	0.66	8.37	-	-
MnO	n.d.	0.15	0.16	-	-
Na <sub>2</sub> O	n.d.	2.64	5.80	-	-
K <sub>2</sub> O	0.71	4.70	0.43	-	0.40
TiO <sub>2</sub>	0.11	0.13	0.86	-	-
BaO	n.d.	n.d.	n.d.	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	n.d.	0.08	0.08	-	-
SO <sub>3</sub>	0.32	n.d.	0.42	-	-
LOI	17.46	5.44	4.25	43.30	1.23
<b>Σύνολο</b>	99.25	99.00	99.59	99.97	99.18

n.d. = not detected (δεν ανιχνεύτηκε)

## 4.2 Αποτελέσματα Μηχανικών Αντοχών και στερεοσκοπικής εξέτασης

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις αναλύσεις του ελέγχου των μηχανικών ιδιοτήτων, για τις συνθέσεις κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας μελέτης. Παρατίθενται τα ακόλουθα:

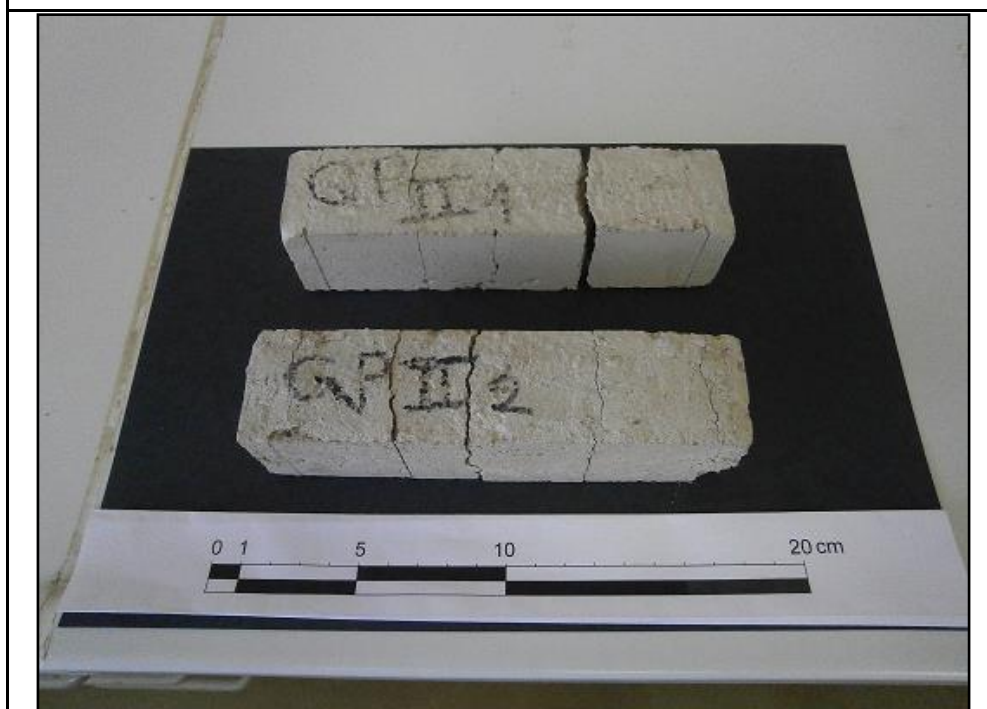
- Αντιπροσωπευτικές φωτογραφίες δοκιμίων από τις συνθέσεις κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου **NHL 3.5 Calce Raffinata** (με ή χωρίς προσθήκη ποζολάνης), για όλους τους τύπους των αδρανών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν, έπειτα από τον έλεγχο της μηχανικής τους συμπεριφοράς σε διαφορετικούς χρόνους ωρίμανσης (28, 90, 120 και 180 ημέρες, αντίστοιχα),
- Γραφήματα με τη μεταβολή των τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη και κάμψη για όλες τις διαφορετικές συνθέσεις κονιαμάτων,
- Φωτογραφίες στιλπνών τομών των κονιαμάτων στο στερεοσκόπιο με τις οποίες έγινε πιο λεπτομερής παρατήρηση της μικροδομής των συνθέσεων και
- Αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τη μελέτη προσδιορισμού της υδατοαπορροφητικότητας των κονιαμάτων.

Στο τέλος της έκθεσης παρατίθενται επίσης, το Παράρτημα I με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής ανάλυσης των πρώτων υλών που χρησιμοποιήθηκαν (ποιοτική και ποσοτική) και το Παράρτημα II με την αναλυτική παράθεση των αποτελεσμάτων από τη μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς των κονιαμάτων.

Στα αποτελέσματα του Παραρτήματος II περιλαμβάνονται και οι στατιστικοί δείκτες του μέσου όρου των τιμών, της τυπικής απόκλισης  $\sigma$  και του συντελεστή μεταβλητότητας **CV%**. Μικρές τιμές  $\sigma$  και **CV(%)** χαρακτηρίζουν καλής και σταθερής ποιότητας μίγμα κονίας και αδρανών υλικών και καλές συνθήκες παραγωγής του κονιάματος. Στον αντίποδα, εξαιρετικά υψηλές τιμές των δεικτών αυτών παραπέμπουν σε αναμίγματα και συνθήκες παραγωγής κακής ποιότητας (Μανωλοπούλου, 2014).

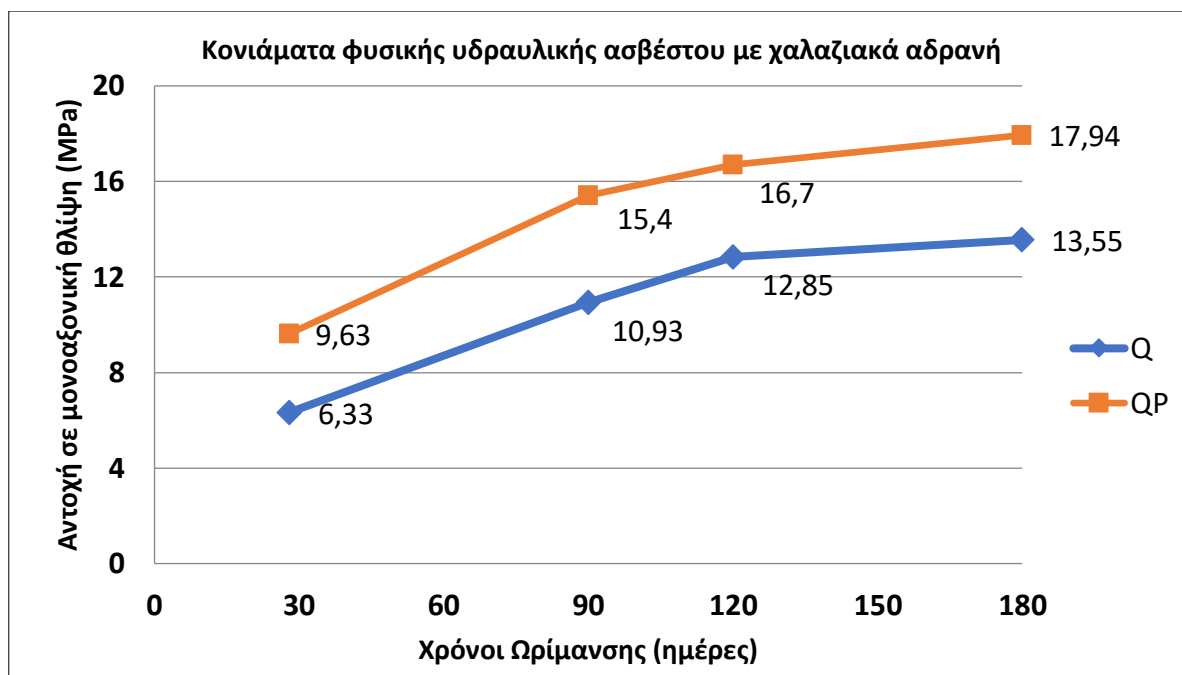


**α**

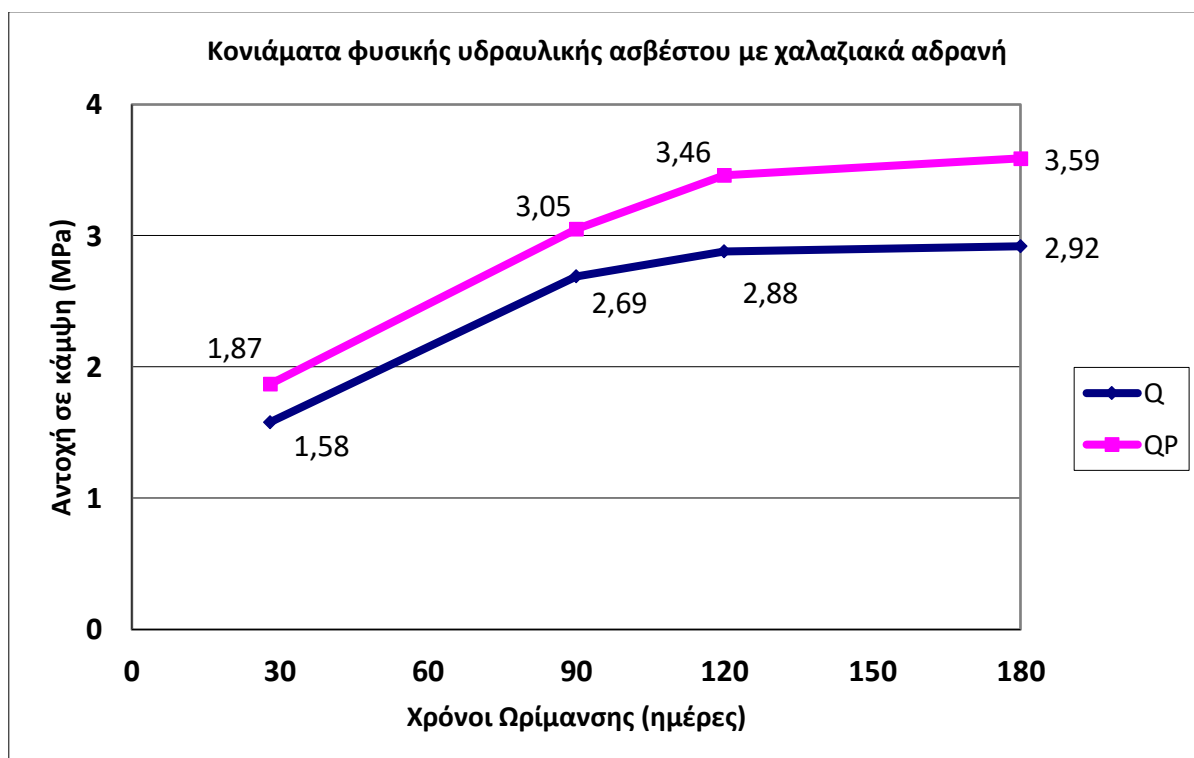


**β**

**Εικόνα 7.** Πρισματικά δοκίμια από τις συνθέσεις κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου με χαλαζιακά αδρανή, έπειτα από τον έλεγχο της μηχανικής τους συμπεριφοράς στις 28 ημέρες ωρίμανσης (α. χωρίς ποζολάνη & β. με προσθήκη ποζολάνης).

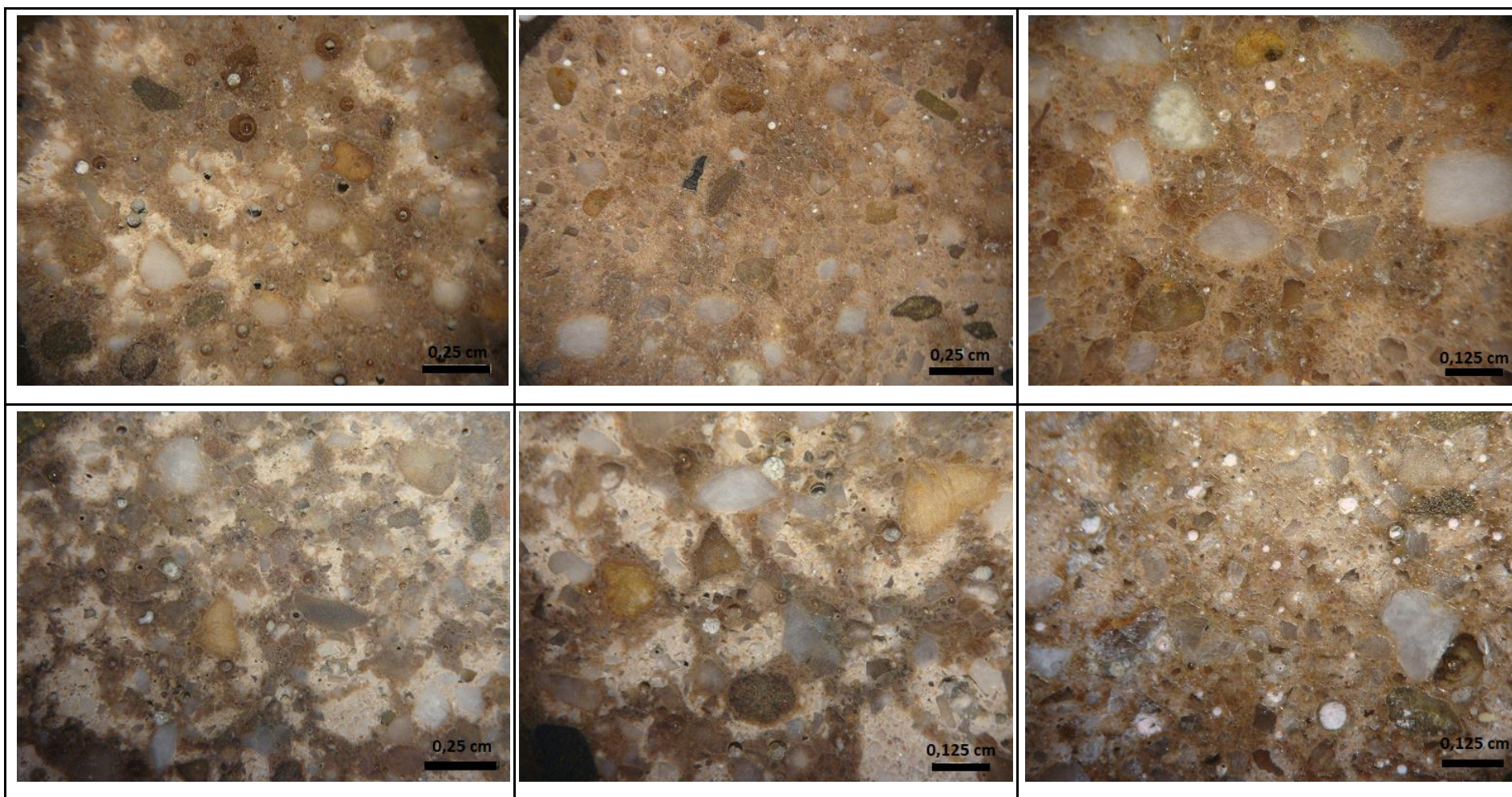


**Γράφημα 1.** Μεταβολή των τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη, για τα κονιάματα φυσικής υδραυλικής ασβέστου με χρήση χαλαζιακών αδρανών.



**Γράφημα 2.** Μεταβολή των τιμών αντοχής σε κάμψη, για τα κονιάματα φυσικής υδραυλικής ασβέστου με χρήση χαλαζιακών αδρανών.

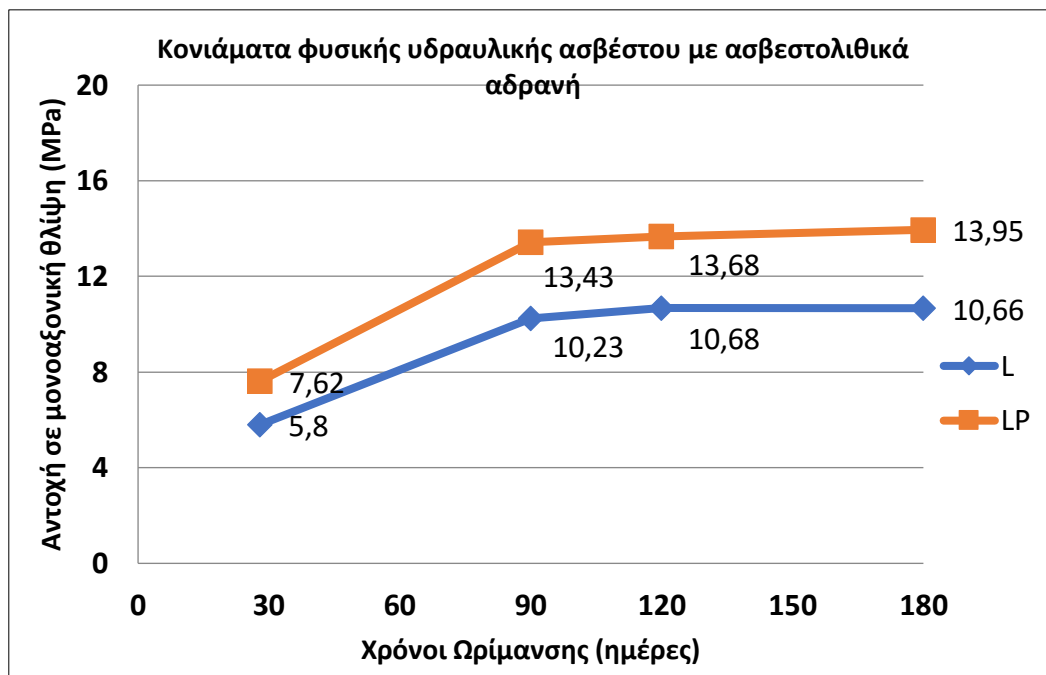




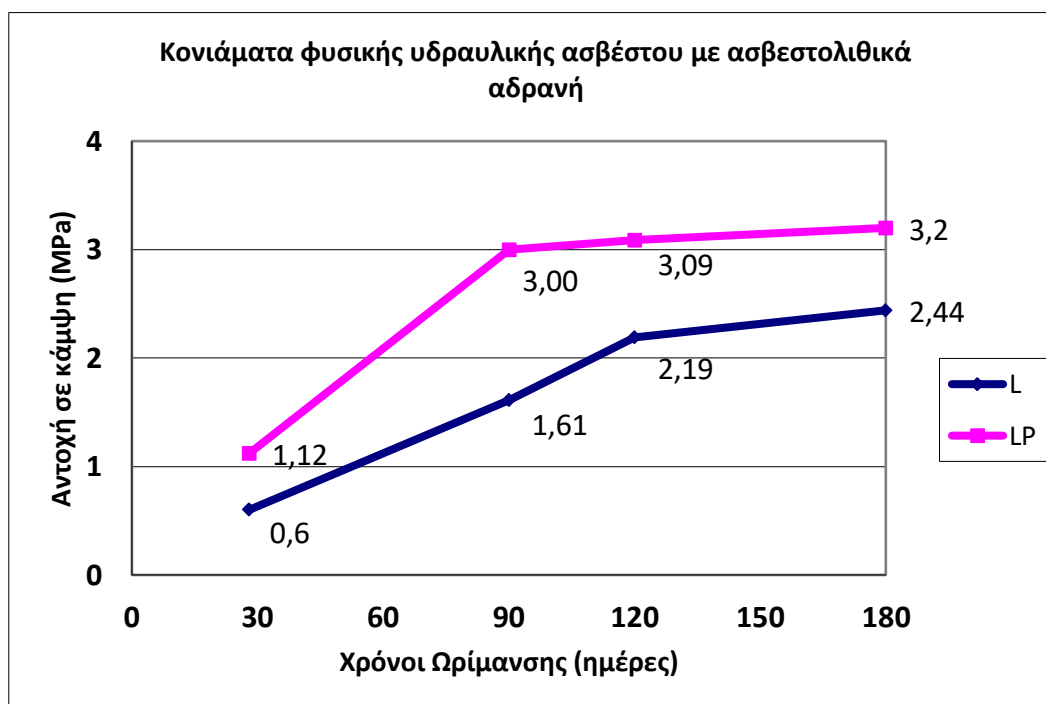
**Εικόνα 8.** Φωτογραφίες στιλπνών τομών από τα κονιάματα φυσικής υδραυλικής ασβέστου με χρήση χαλαζιακών αδρανών. Χωρίς ποζολάνη (πάνω σειρά) και με τη χρήση ποζολάνης (κάτω σειρά).



**Εικόνα 9.** Πρισματικά δοκίμια από τις συνθέσεις κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου με ασβεστολιθικά αδρανή, έπειτα από τον έλεγχο της μηχανικής τους συμπεριφοράς στις 90 ημέρες ωρίμανσης (α. χωρίς ποζολάνη & β. με προσθήκη ποζολάνης).

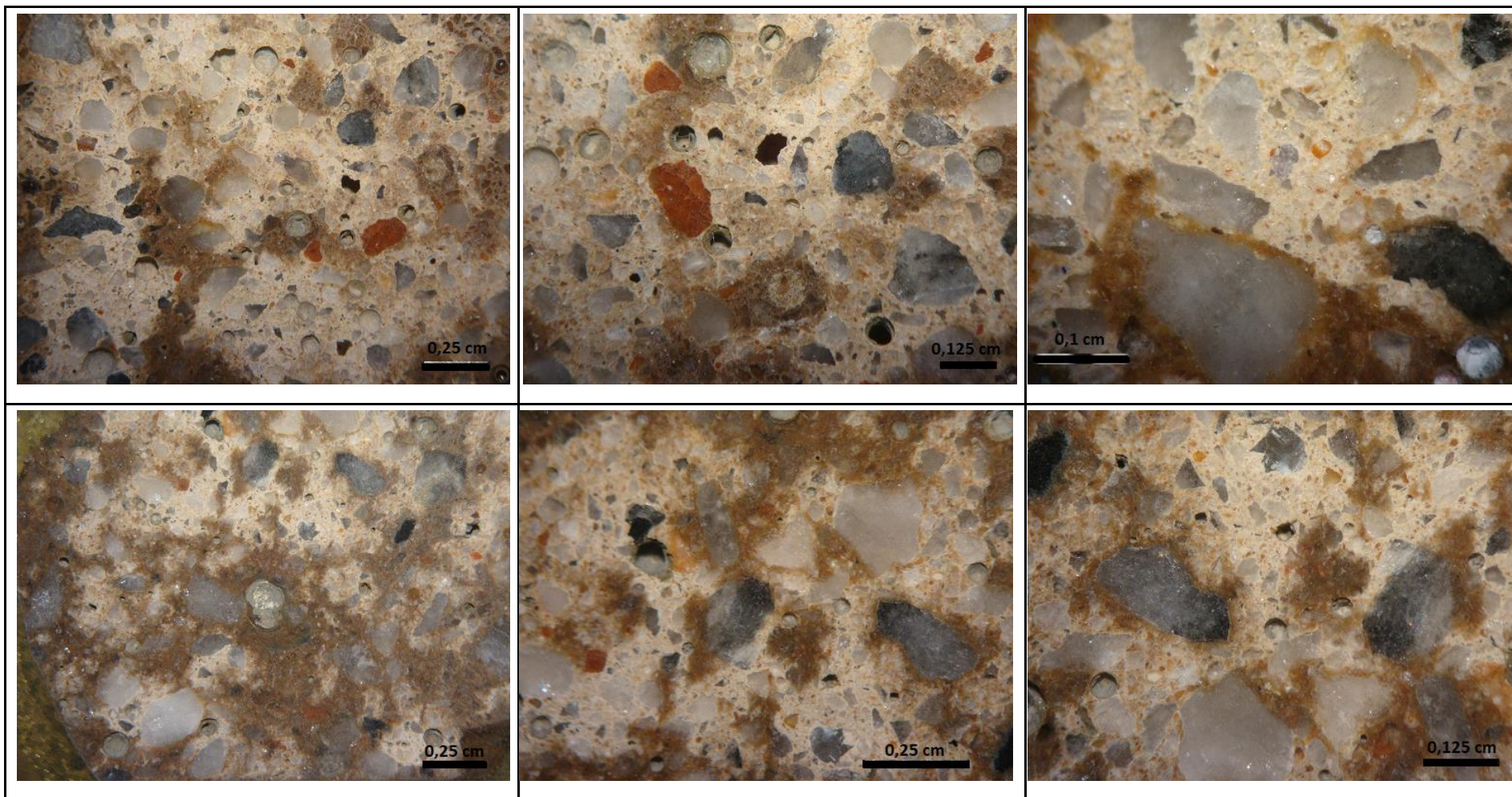


**Γράφημα 3.** Μεταβολή των τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη, για τα κονιάματα φυσικής υδραυλικής ασβέστου με χρήση ασβεστολιθικών αδρανών.

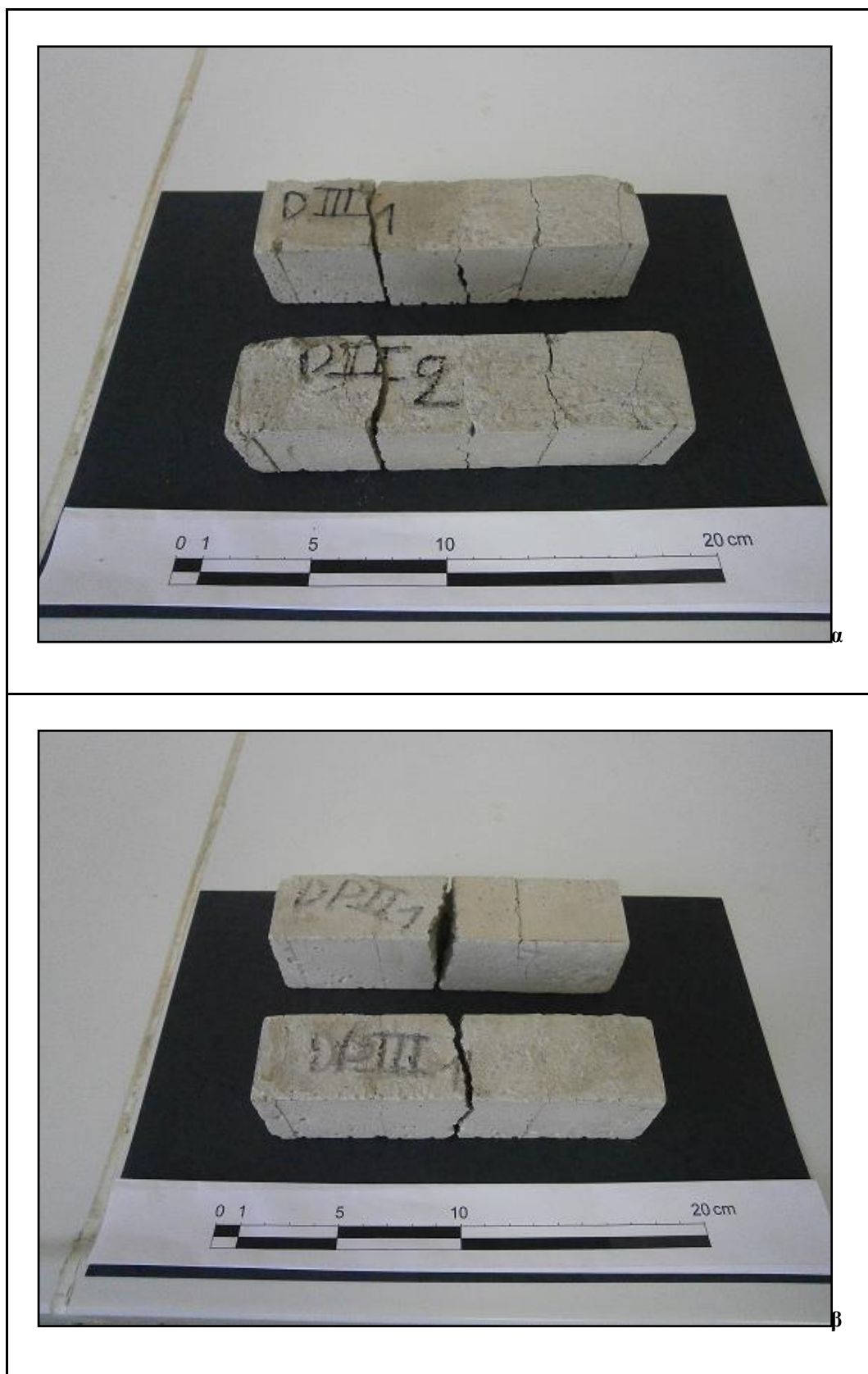


**Γράφημα 4.** Μεταβολή των τιμών αντοχής σε κάμψη, για τα κονιάματα φυσικής υδραυλικής ασβέστου με χρήση ασβεστολιθικών αδρανών.

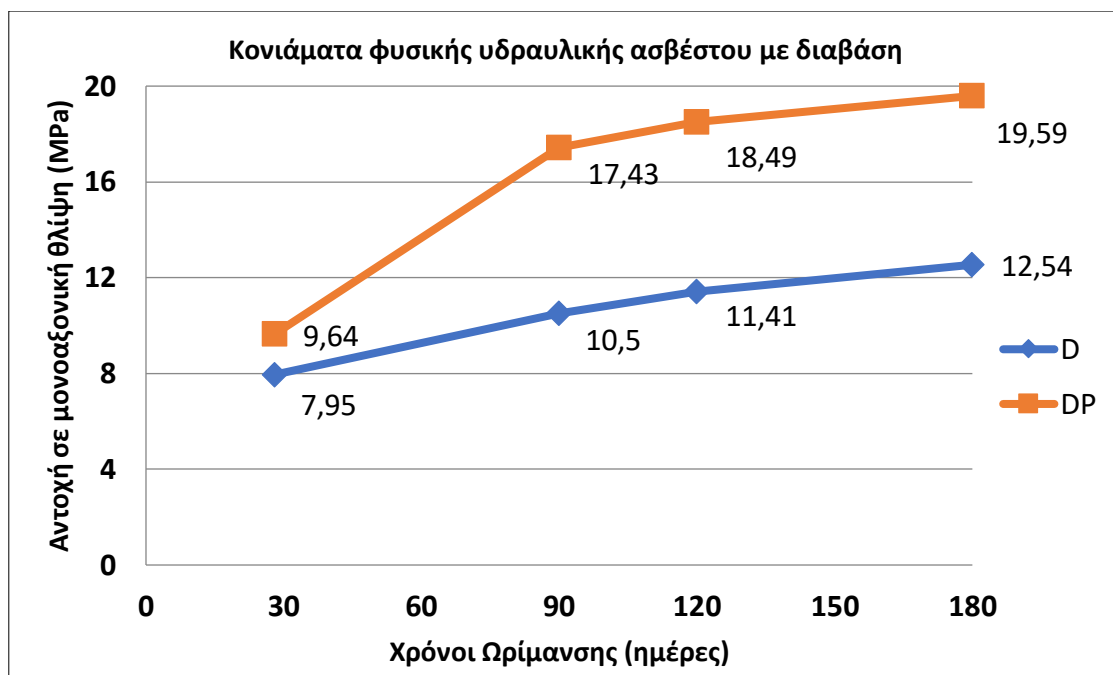




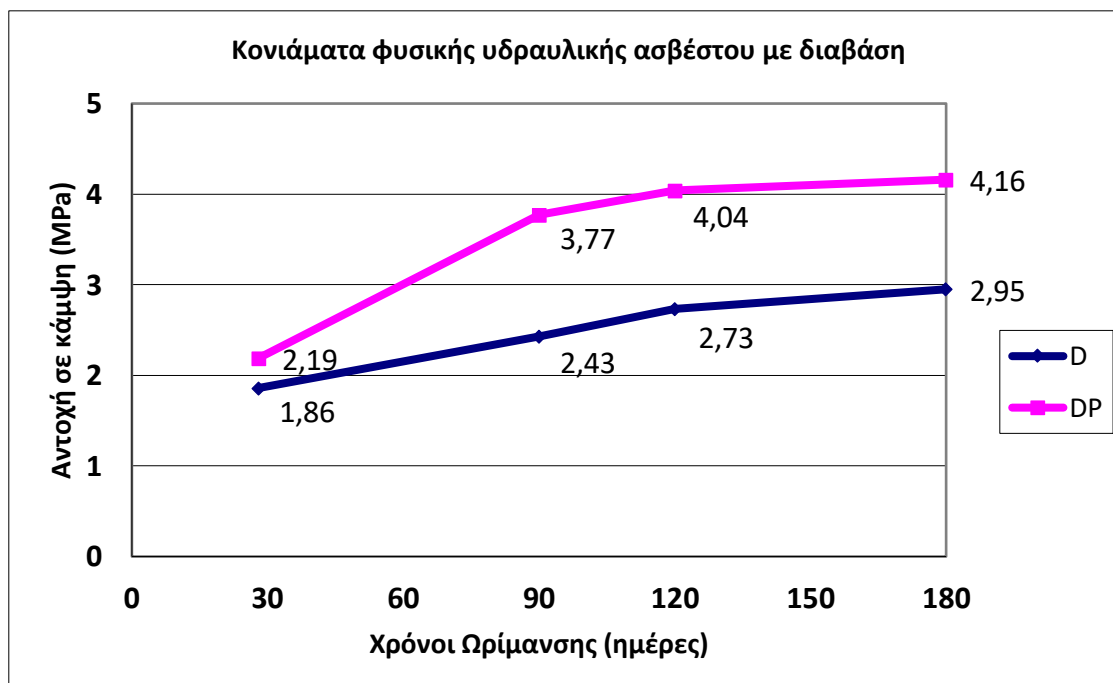
**Εικόνα 10.** Φωτογραφίες στιλπνών τομών από τα κονιάματα φυσικής υδραυλικής ασβέστου με χρήση ασβεστολιθικών αδρανών. Χωρίς ποζολάνη (πάνω σειρά) και με τη χρήση ποζολάνης (κάτω σειρά).



**Εικόνα 11.** Πρισματικά δοκίμια από τις συνθέσεις κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου με αδρανή διαβασικής σύστασης, έπειτα από τον έλεγχο της μηχανικής τους συμπεριφοράς στις 120 ημέρες ωρίμανσης (α. χωρίς ποζολάνη & β. με προσθήκη ποζολάνης).

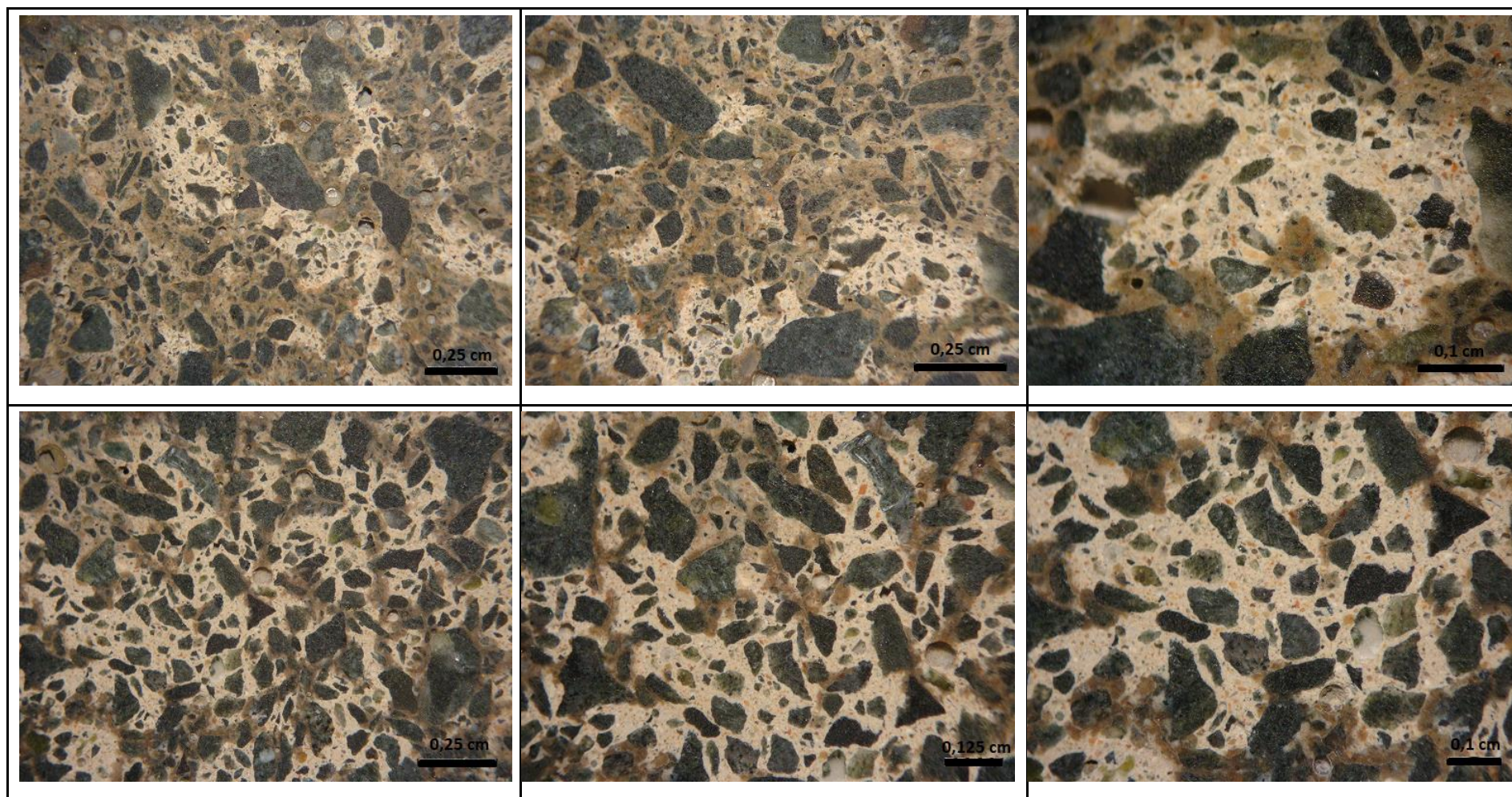


**Γράφημα 5.** Μεταβολή των τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη, για τα κονιάματα φυσικής υδραυλικής ασβέστου με χρήση διαβασικών αδρανών.



**Γράφημα 6.** Μεταβολή των τιμών αντοχής σε κάμψη, για τα κονιάματα φυσικής υδραυλικής ασβέστου με χρήση διαβασικών αδρανών.





**Εικόνα 12.** Φωτογραφίες στιλπνών τομών από τα κονιάματα φυσικής υδραυλικής ασβέστου με χρήση διαβαστικών αδρανών. Χωρίς ποζολάνη (πάνω σειρά) και με τη χρήση ποζολάνης (κάτω σειρά).

### 4.3 Αποτελέσματα στερεοσκοπικής μελέτης

Οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα της στερεοσκοπικής μελέτης των στίλπνών τομών των κονιαμάτων, σχετίζονται σε μεγάλο βαθμό και δικαιολογούν από τη σκοπιά της μικροδομής των επί μέρους συνθέσεων, τις διαφοροποιήσεις στις μηχανικές ιδιότητες που παρατηρήθηκαν στις επί μέρους συνθέσεις των κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου. Τα ανωτέρω συνοψίζονται ως ακολούθως:

- **Κονιάματα με χαλαζιακά αδρανή:** Η συμπίκνωση των κονιαμάτων είναι καλή. Δεν παρατηρούνται μικρορωγμές ούτε αστοχίες στην κύρια μάζα των τομών και η συνάφεια των χαλαζιακών αδρανών με την κονία είναι πολύ ικανοποιητική. Οι κόκκοι των αδρανών παρουσιάζονται κατά κύριο λόγο αποστρογγυλεμένοι και η ταξινόμησή τους στη μάζα των κονιαμάτων είναι αρκετά καλή. Παρατηρούνται μεμονωμένοι πόροι στην πάστα της κονίας, η διάμετρος των οποίων είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση των κονιαμάτων όπου χρησιμοποιήθηκε ποζολάνη. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στη μεγαλύτερη αναλογία νερού/κονία που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των εν λόγω συνθέσεων. Ωστόσο, πόροι δεν παρατηρούνται στις διεπιφάνειες αδρανών – κονίας (Εικόνα 8).

- **Κονιάματα με ασβεστολιθικά αδρανή:** Η συμπίκνωση των κονιαμάτων είναι ικανοποιητική. Δεν παρατηρούνται μικρορωγμές ούτε αστοχίες στην κύρια μάζα των τομών και η συνάφεια των αδρανών με την κονία είναι πολύ ικανοποιητική.

Στην περίπτωση αυτή, οι κόκκοι των ασβεστολιθικών αδρανών έχουν κυρίως λατυποπαγή υφή (περισσότερο γωνιώδης) και η ταξινόμησή τους στην κύρια μάζα των κονιαμάτων είναι λιγότερο ομοιόμορφη, σε σχέση με εκείνη στις συνθέσεις των χαλαζιακών αδρανών. Παρατηρούνται παραπλήσιας διαμέτρου πόροι στην πάστα των κονιών (με ή χωρίς τη χρήση ποζολάνης), μερικοί από τους οποίους τείνουν να προσεγγίζουν τις διεπιφάνειες κονίας – αδρανών (Εικόνα 10). Οι διαφοροποιήσεις αυτές που παρατηρήθηκαν στα κονιάματα των ασβεστολιθικών αδρανών, σχετίζονται με τις διαφοροποιημένες αναλογίες νερού/κονία που χρησιμοποιήθηκαν στις παρούσες συνθέσεις (εν συγκρίσει με όλες τις υπόλοιπες) και που αποδίδονται σε ένα βαθμό στην



παρουσία της παιπάλη (έστω και σε μικρό ποσοστό) που είναι προσκολλημένη στους κόκκους της ασβεστολιθικής άμμου.

• **Κονιάματα με αδρανή διαβασικής σύστασης:** Στην περίπτωση των κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου με διαβασικά αδρανή, η παρατηρούμενη συμπίκνωση είναι πάρα πολύ καλή. Η απουσία μικρορωγμών, η παρουσία ελάχιστων πόρων και η άριστη συνάφεια των αδρανών με την κονία, είναι ορατά χαρακτηριστικά στις στιλπνές τομές και στους δυο τύπους κονιαμάτων (με ή χωρίς προσθήκη ποζολάνη). Οι γωνιώδεις κόκκοι του αδρανούς παρουσιάζονται ομοιόμορφα ταξινομημένοι, ενώ το χαρακτηριστικό τους χρώμα τους κάνει πιο ευδιάκριτους στην κύρια μάζα των κονιαμάτων (Εικόνα 12).

#### 4.4. Παρατηρήσεις Αποτελεσμάτων Γραφημάτων

- **Κονιάματα με χαλαζιακά αδρανή :** Από τα γραφήματα των κονιαμάτων παρατηρήθηκε πως η μεταβολή των τιμών της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη τόσο με την προσθήκη ποζολάνης όσο και χωρίς, αυξάνεται αναλογικά με το χρόνο και σχετικά ομαλά. Στην πρώτη περίπτωση παρατηρείται πως από 6,33 MPa στις 28 ημέρες η τιμή της αντοχής ανέβηκε στα 13,55 MPa μετά το πέρας των 180 ημερών. Ενώ, με ποζολάνη η αύξηση ήταν από 9,63 MPa στις 28 ημέρες στα 17,94 MPa στις 180 ημέρες. Ομοίως, ομαλή και ανάλογη του χρόνου μεταβολή των τιμών αντοχής παρατηρήθηκε και για την κάμψη με μεγαλύτερη αύξηση ωστόσο των τιμών με την προσθήκη ποζολάνης, καθώς από 1,58 MPa στις 28 ημέρες η τιμή της αντοχής έφτασε τα 2,92 MPa μετά το πέρας των 180 ημερών χωρίς την προσθήκη ποζολάνης. Ενώ με την προσθήκη ποζολάνης οι τιμές κυμάνθηκαν από 1,87 MPa στις 28 ημέρες σε 3,59 MPa στις 180 ημέρες .
- **Κονιάματα με ασβεστολιθικά αδρανή:** Από τα γραφήματα των κονιαμάτων με ασβεστολιθικά αδρανή παρατηρήθηκε ξανά η αύξηση των τιμών των αντοχών. Στην περίπτωση της μονοαξονικής θλίψης η μεταβολή αυτή είναι πάλι σχετικά ομαλή και ανάλογη του χρόνου. Καθώς στην πρώτη περίπτωση που εξετάσαμε, χωρίς προσθήκη

ποζολάνης, οι τιμές ξεκινάνε από 5,8 MPa (28 ημέρες) και καταλήγουν στα 10,66 MPa (180 ημέρες), ενώ με προσθήκη έχουμε από 7,62 MPa (28 ημέρες) σε 13,95 MPa (180 ημέρες). Στην αντοχή σε κάμψη, στην περίπτωση κονιάματος χωρίς προσθήκη ποζολάνης παρατηρείται ομαλή προσαύξηση από 0,6 MPa σε 2,44 MPa μετά από 6 μήνες, ωστόσο με πολύ μεγάλη αύξηση της τιμής της αντοχής. Ομοίως και με την προσθήκη ποζολάνης οι τιμές αυξάνονται κατά μεγάλο βαθμό καθώς από 1,12 MPa φτάνουμε στα 3,20 MPa μετά τους 6 μήνες.

- **Κονιάματα με αδρανή διαβασικής σύστασης:** Στα κονιάματα αυτά παρατηρήθηκε και πάλι η αύξηση των τιμών και μάλιστα αναλογικά με το χρόνο ωστόσο, στα κονιάματα χωρίς την προσθήκη ποζολάνης στην αντοχή της μονοαξονικής θλίψης παρατηρείται πολύ μικρή προσαύξηση δηλαδή από 7,95 MPa σε 12,54 MPa τελική τιμή. Μετά την προσθήκη της ποζολάνης παρατηρείται το ακριβώς αντίθετο φαινόμενο καθώς από 9,64 MPa η τιμή της αντοχής φτάνει στα 19,59 MPa μετά το 6μηνο. Παρόμοιο είναι και το διάγραμμα της αντοχής σε κάμψη που οι τιμές στο κονίαμα είναι από 1,86 MPa (28 ημέρες) σε 2,95 MPa (180ημέρες) χωρίς προσθήκη ποζολανικής κονίας. Εν αντιθέσει με τις τιμές του κονιάματος με ποζολάνη στο οποίο παρατηρείται και πάλι η απότομη αυτή αύξηση των τιμών, οι οποίες ξεκινάνε από 2,19 MPa και μετά τους 6 μήνες φτάνουν τα 4,16 MPa.

Γενικότερα, αξίζει να αναφερθεί πως τυχόν προσαυξήσεις των τιμών που παρατηρήθηκαν στα παραπάνω διαγράμματα των κονιαμάτων μπορούν να οφείλονται σε πολλούς και ποικίλους παράγοντες όπως το σχήμα των αδρανών, το οποίο ανάλογα με τη διαφορετικότητα του μπορεί κάθε φορά να λειτουργήσει με άλλον τρόπο στις αντοχές που μελετήθηκαν. Τέλος, αυτό που απορρέει ως κοινό συμπέρασμα και από τα έξι παραπάνω γραφήματα είναι πως με την προσθήκη ποζολάνης οι τιμές των αντοχών αυξήθηκαν σε κάθε περίπτωση στα κονιάματα φυσικής υδραυλικής ασβέστου.

**Πίνακας 7.** Αποτελέσματα από τη μελέτη προσδιορισμού της υδατοαπορροφητικότητας.

Κωδικός δοκιμίου	Βάρος πριν (εμβάπτιση 24 ωρών σε νερό)	Βάρος μετά (105 °C για 24 ώρες)	% Υδατ.	Μέση Τιμή
L1	156	139	10.90	10.53
L2	170	152	10.59	
L3	145	130	10.34	
L4	165	148	10.30	
LP1	277	248	10.47	10.55
LP2	152	136	10.53	
LP3	164	146	10.98	
LP4	166	149	10.24	
Q1	346	312	9.83	9.85
Q2	167	153	8.38	
Q3	160	143	10.63	
Q4	161	144	10.56	
QP1	162	146	9.88	9.94
QP2	157	141	10.19	
QP3	162	146	9.88	
QP4	163	147	9.82	
D1	167	149	10.78	10.56
D2	163	146	10.43	
D3	171	153	10.53	
D4	143	128	10.49	
DP1	286	255	10.84	10.65
DP2	157	141	10.19	
DP3	295	263	10.85	
DP4	168	150	10.71	



**Εικόνα 13.**Τμήματα των δοκιμών φυσικής υδραυλικής ασβέστου (ωρίμανση 90 ημερών), που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη προσδιορισμού της υδατοαπορροφητικότητας (εμβάπτιση % ξήρανση).

## Κεφάλαιο 5 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα

Οι εργαστηριακές αναλύσεις των πρώτων υλών που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, έδειξαν πως αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύνθεση υδραυλικών κονιαμάτων. Έχει σημειωθεί πολλές φορές στο παρελθόν στα πλαίσια ερευνητικών και άλλων εργασιών του Εργαστηρίου μας, η αναντιστοιχία μεταξύ των τεχνικών δεδομένων που δίνουν διάφορες εταιρείες οι οποίες προμηθεύουν την αγορά με αντίστοιχα προϊόντα, όπως αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική, τόσο ως προς τα πραγματικά φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά, αλλά ακόμα πιο σημαντικό ως προς τις μηχανικές και άλλες ιδιότητες των κονιαμάτων που παράγονται από αυτά, με συνέπεια αστοχίες στις κατασκευαστικές εφαρμογές τις οποίες χρησιμοποιούνται (κυρίως από αρχαιολογικές υπηρεσίες και ιδιώτες που ασχολούνται με έργα συντήρησης & αποκατάστασης).

Συνεπώς, τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τόσο τα τεχνικά δεδομένα των υλικών που μας προμήθευσε η εταιρεία **EM4C**, αλλά επιπρόσθετα δίνουν και σημαντικές πληροφορίες για τους τύπους και τις μηχανικές ιδιότητες των κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου που προέκυψαν στις συνθέσεις που παρασκευάστηκαν εργαστηριακά, χρησιμοποιώντας διαφορετικά είδη αδρανών υλικών αλλά και προσθήκη ποζολάνης.

Όπως είναι γνωστό, σημαντικό κριτήριο για την ταξινόμηση των κονιαμάτων είναι οι τυπικές απαιτήσεις αντοχών σε δοκιμή μονοαξονικής θλίψης στις 28 ημέρες. Οι συνθέσεις εκείνες όπου χρησιμοποιήθηκε μόνο φυσική υδραυλική άσβεστος ως συνδετική κονία, πληρούν τις προδιαγραφές κατά EN 459-1 για το χαρακτηρισμό τους ως κονιάματα φυσικής υδραυλικής ασβέστου τύπου **NHL 3.5**. Κατηγοριοποιούνται δε σύμφωνα με το πρότυπο EN 998-2, σαν κονιάματα τοιχοποιίας τύπου **M5**.

Το ίδιο ισχύει και για τις συνθέσεις κονιαμάτων όπου χρησιμοποιήθηκε ποζολάνη ως μέρος της κονίας του μίγματος. Οι τιμές αντοχών σε μονοαξονική θλίψη στις 28 ημέρες, προσεγγίζουν τα 10 MPa και ως προς τις προδιαγραφές του προτύπου EN 459-1, ταξινομούνται ως κονιάματα τύπου **Formulated Lime** της κατηγορίας **FLC 3.5**.

Η σημειογραφία **C** σχετίζεται με το περιεχόμενο ποσοστό του μίγματος φυσικής υδραυλικής ασβέστου και ποζολάνης σε  $\text{Ca(OH)}_2$ , όπου σύμφωνα με τις χημικές και άλλες αναλύσεις που γίνανε το κατηγοριοποιεί σε κονία τύπου **FLC** (Πίνακας 2 &

Εικόνα 2). Όσο αφορά την ταξινόμησή τους ως κονιάματα τοιχοποιίας και σε αυτή την περίπτωση κατηγοριοποιούνται σαν κονιάματα τοιχοποιίας τύπου **M5**.

Διαφοροποιήσεις προκύπτουν στην ταξινόμηση, εφόσον λάβουμε υπόψη τις τιμές των αντοχών σε μονοαξονική θλίψη στα κονιάματα ηλικίας 90 ημερών. Έτσι, όλοι οι τύποι κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου (ανεξαρτήτως του αδρανούς υλικού που περιείχαν) ταξινομούνται ως κονιάμα τοιχοποιίας τύπου **M10**, ενώ στην περίπτωση των συνθέσεων όπου έχει χρησιμοποιηθεί ποζολάνη, οι αντοχές που προέκυψαν από τις εργαστηριακές αναλύσεις τα κατηγοριοποιούν σαν κονιάματα τοιχοποιίας τύπου **M15**, με εξαίρεση τα κονιάματα όπου είναι παρόν ασβεστολιθικό αδρανές τα οποία παραμένουν στην ίδια τάξη αντοχής (Πίνακας 8).

**Πίνακας 8.** Κατηγοριοποίηση των κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου (με ή χωρίς προσθήκη ποζολάνης), σύμφωνα με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων.

Κωδικός Σύνθεσης	Τιμή Μονοαξονικής θλίψης (MPa)		Ταξινόμηση κονιάματος τοιχοποιίας (κατά EN 998-2)		Τύπος κονιάματος φυσικής υδραυλικής ασβέστου (κατά EN 459-1)
	28 ημέρες	90 ημέρες	28 ημέρες	90 ημέρες	
<b>Q</b>	6.33	10.93	M5	M10	NHL 3.5
<b>L</b>	5.80	10.23	M5	M10	NHL 3.5
<b>D</b>	7.95	10.50	M5	M10	NHL 3.5
<b>QP</b>	9.63	15.40	M5	M15	FL C 3.5
<b>LP</b>	7.62	13.43	M5	M10	FL C 3.5
<b>DP</b>	9.64	17.43	M5	M15	FL C 3.5

Σε κάθε περίπτωση, οι μηχανικές ιδιότητες όλων των συνθέσεων που εξετάστηκαν εργαστηριακά κρίνονται περισσότερο από ικανοποιητικές. Οι τιμές αντοχών των δοκιμών αναπτύσσονται σταδιακά με την πάροδο των χρόνων ωρίμανσης, τόσο για την

κάμψη όσο και για τη θλίψη και στις περισσότερες περιπτώσεις αυξητικά. Οι τιμές της τυπικής απόκλισης  $\sigma$  και του συντελεστή μεταβλητότητας **CV%** των μετρήσεων, είναι στην πλειονότητα των περιπτώσεων πολύ ικανοποιητικές ( $CV\% = \sigma / \text{μέση τιμή}\%$ ), (παράρτημα 2, πίνακες 9,10,11,12), με CV να είναι πάντα μικρότερος της τάξης του 10%. Αυτό φανερώνει καλής ποιότητας μίγματα κονιάς και αδρανών υλικών. Ακόμη και στις περιπτώσεις όπου παρατηρήθηκε μεγαλύτερη διασπορά και διακύμανση στα αποτελέσματα των δοκιμών, οι κύριες τιμές αντοχών βρίσκονται εντός των προδιαγραφών που ορίζουν τα σχετικά πρότυπα.

Επιβεβαιώθηκε η επίδραση του είδους και των χαρακτηριστικών των αδρανών υλικών, στις μηχανικές ιδιότητες των παραγόμενων συνθέσεων. Είναι γενικά αποδεκτό πως μίγματα με βελτιωμένες ιδιότητες ως προς τις μηχανικές τους αντοχές, προκύπτουν χρησιμοποιώντας καλής κοκκομετρικής διαβάθμισης, ελεύθερα από παρουσία προσμίξεων αδρανή υλικά (Lanas, et al., 2004). Η σκληρότητα και το ειδικό βάρος, αποτελούν επίσης ένα σημαντικό παράγοντα που επιδρά στις ιδιότητες του κονιάματος. Λαμβάνοντας υπόψη και τις ανωτέρω παρατηρήσεις, τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων ως προς τις μηχανικές ιδιότητες των κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου, βρίσκονται σε αντιστοιχία.

Τα κονιάματα φυσικής υδραυλικής ασβέστου που παρήχθησαν με αδρανή διαβασικής σύστασης παρουσιάζουν τις βέλτιστες τιμές αντοχών στις δοκιμές αντοχής σε κάμψη και μονοαξονική θλίψη, ακολουθούν εκείνα όπου χρησιμοποιήθηκε χαλαζιακό αδρανές, ενώ τα κονιάματα που περιείχαν αδρανές ασβεστιτικής σύστασης παρουσιάζουν τις συγκριτικά χαμηλότερες τιμές μηχανικών ιδιοτήτων.

Η προσθήκη ποζολάνης στα μίγματα (αντικατάσταση της κονιάς φυσικής υδραυλικής ασβέστου σε ποσοστό 20%), βελτίωσε σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες όλων των συνθέσεων. Το γεγονός αυτό αποδίδεται τόσο στη δραστικότητα του περιεχόμενου ποσοστού  $\text{Ca(OH)}_2$  στην κονία φυσικής υδραυλικής ασβέστου **NHL 3.5 της Calce Raffinata**, όσο και στην ενεργότητα και τη λεπτομερή κοκκομετρική κατανομή της ποζολάνης, που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των συνθέσεων.

Η ποζολάνη **μ-Silica B**, έχει μέση διάμετρο κόκκων μόλις **5  $\mu\text{m}$**  και ποσοστό περιεχόμενου δραστικού  **$\text{SiO}_2$  65%**. Τα συγκεκριμένα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, συμβάλουν ώστε το ποσοστό του διαθέσιμου – ελεύθερου υδροξειδίου του ασβεστίου που περιέχει η κονία της φυσικής υδραυλικής ασβέστου **NHL 3.5 της Calce Raffinata**,

να αντιδρά σε μικρό χρονικό διάστημα με το διοξείδιο του πυριτίου, δημιουργώντας κατά την ενυδάτωση ποζολανική αντίδραση.

Το τελευταίο δε θα συνέβαινε, εφόσον το περιεχόμενο  $\text{Ca(OH)}_2$  της **NHL 3.5** δεν παρουσίαζε την απαιτούμενη ενεργότητα. Οι φάσεις αυτές, παράλληλα με το αρχικά περιεχόμενο ποσοστό της κονίας σε  $\text{C}_2$ , συντελούν στη βελτίωση των μακροπρόθεσμων αντοχών των κονιαμάτων (Triantafyllou, et al., 2011).

Η διακύμανση και η μεταβολή των τιμών αντοχής των δοκιμίων σε κάμψη, παρουσιάζει μικρότερες διαφορές σε σχέση με εκείνη των τιμών σε μονοαξονική θλίψη. Πιο συγκεκριμένα, στους έξι μήνες ωρίμανσης των κονιαμάτων οι τιμές αντοχής σε κάμψη είναι 2.44, 2.92 και 2.95 MPa για τις συνθέσεις L, Q και D, αντίστοιχα. Στην ίδια χρονική περίοδο οι συνθέσεις με προσθήκης ποζολάνης δίνουν τιμές αντοχής σε κάμψη 3.20, 3.59 και 4.16 MPa για τις συνθέσεις LP, QP και DP, αντίστοιχα. Οι τιμές αντοχών σε μονοαξονική θλίψη των κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου με ασβεστολιθικά αδρανή, παρουσιάζουν μια τάση σταθεροποίησης μετά τους 3 μήνες ωρίμανσης των δοκιμίων, τόσο χωρίς ή με τη χρήση ποζολάνης. Η συμπεριφορά αυτή δεν παρατηρείται στις δυο άλλες συνθέσεις κονιαμάτων. Στα κονιάματα όπου χρησιμοποιήθηκαν αδρανή υλικά διαβαστικής και χαλαζιακής σύστασης, οι τιμές έχουν αυξητική τάση μέχρι και τους έξι μήνες ωρίμανσης των δοκιμίων. Οι ανώτερες τιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη που προσδιορίστηκαν εργαστηριακά είναι 12.54 και 13.55 MPa για τις συνθέσεις D και Q και 17.94 και 19.59 MPa για τις συνθέσεις QP και DP, αντίστοιχα.

Στο σημείο αυτό σημειώνεται ότι, οι μεγαλύτερες αναλογίες νερού/κονία που χρησιμοποιήθηκαν στις συνθέσεις όπου μέρος της κονίας φυσικής υδραυλικής ασβέστου αντικαταστάθηκε από ποσότητα ποζολάνης, ήταν αναμενόμενες. Οι φυσικές ποζολάνες είναι εξαιρετικά λεπτομερή υλικά με μεγάλη ειδική επιφάνεια και ως μέρος ενός μίγματος με άλλες κονίες και αδρανή, απαιτούν περισσότερη ποσότητα νερού για να δημιουργηθεί ένα ομοιογενές και εργάσιμο κονίαμα.

Η προσθήκη ποζολάνης επηρέασε και τις τιμές υδατοαπορροφητικότητας των κονιαμάτων (Πίνακας 7). Οι τιμές των δοκιμίων που περιέχουν φυσική ποζολάνη είναι ελάχιστα μεγαλύτερες από εκείνες των υπολοίπων. Τα ποσοστά υδατοαπορροφητικότητας που προσδιορίστηκαν εργαστηριακά, είναι πολύ

ικανοποιητικά και αντίστοιχα με εκείνα που απαντώνται σε κονιάματα φυσικής υδραυλικής ασβέστου τύπου NHL 3.5.

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων, συμπεραίνεται πως η κονία φυσικής υδραυλικής ασβέστου **NHL 3.5** της **Calce Raffinata** μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου, με εξαιρετικά χαρακτηριστικά. Η δυνατότητα χρήσης διαφορετικού τύπου αδρανών υλικών, δημιουργεί δυνατότητες ευελιξίας ως προς την εφαρμογή των κονιαμάτων σε μια σειρά από διαφορετικές κατασκευαστικές εργασίες. Η χρήση φυσικής ποζολάνης καλής ποιότητας δημιουργεί τύπους κονιαμάτων **Formulated Lime**, με βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες ως προς τις τιμές αντοχών σε θλίψη και κάμψη. Σε περιπτώσεις όπου απαιτείται η ανάπτυξη υψηλότερων τιμών ως προς τις πρώιμες τιμές αντοχών των κονιαμάτων, ενδείκνυνται η αντικατάσταση μέρους της συνδετικής κονίας από φυσική ποζολάνη.



# **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

## **ΠΡΟΤΥΠΑ**

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

EN 459-2: 2002. Δομική άσβεστος – Μέρος 2: Μέθοδοι δοκιμής.

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

EN 934-2: 2001. Πρόσθετα σκυροδέματος, κονιαμάτων και ενεμάτων – Μέρος 2: Πρόσθετα σκυροδέματος-Ορισμοί απαιτήσεις, συμμόρφωση, σήμανση και επισήμανση

EN 196-1: 2005. Μέθοδοι δοκιμής τσιμέντου – Μέρος 1: Προσδιορισμός αντοχών.

EN 196-2: 2005. Μέθοδοι δοκιμής τσιμέντου – Μέρος 2: Χημική ανάλυση τσιμέντου.

EN 13139:2002. Αδρανή κονιαμάτων.

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

EN 1744-1: 2009. Δοκιμές για τον προσδιορισμό των χημικών ιδιοτήτων των αδρανών – Μέρος 1: Χημική ανάλυση.

EN 1015-3: 2007. Μέθοδοι δοκιμής κονιαμάτων τοιχοποιίας – Μέρος 3: Προσδιορισμός συνεκτικότητας του νωπού κονιάματος.

EN 1015-11: 2007. Μέθοδοι δοκιμής κονιαμάτων τοιχοποιίας – Μέρος 11: Προσδιορισμός της αντοχής σε θλίψη και κάμψη σκληρυμένου κονιάματος.

EN 998-2: 2003. Προδιαγραφή κονιαμάτων τοιχοποιίας – Μέρος 2: Κονίαμα τοιχοποιίας.

## ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

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

Γερογιάννης Γεώργιος, "Μελέτη και αξιολόγηση πρώτων υλών και κονιαμάτων ως προς την καταλληλότητά τους για επεμβάσεις συντήρησης και αναστήλωσης" , Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάς, 2003.

Ζαχαροπούλου, Γ., (2004). Παραγωγή ασβέστου υψηλής δραστηριότητας, κατάλληλης για αποκαταστάσεις μνημείων και ιστορικών κτιρίων. Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ.

Θεοδωρίδης, Χ.Δ., 2006. Συμβατά υλικά και μέθοδοι συντήρησης και αποκατάστασης ιστορικών κτιρίων. 15ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Αλεξανδρούπολη, 25-27 Οκτωβρίου.

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

Κωτσοβός, Μ. (2010). Οπλισμένο σκυρόδεμα, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.

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

Καλαγρή, Α., Μιλτιάδου, Α.Φ., Βιντζηλαίου, Ε., 2008. Ενέματα υδραυλικής ασβέστου για την επισκευή ιστορικών κατασκευών. 1<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα, 21-23 Μαΐου.

Λεωνιδάκη Κωνσταντίνα, (2012). «Ανάλυση κονιαμάτων του Ι. Ν. Γενεσίου Θεοτόκου Κορωνησίας Ν. Άρτας με ορυκτολογικές και πετρογραφικές μεθόδους»

Μανωλοπούλου, Κ., (2014). Πειραματική μελέτη που αφορά στην τυποποίηση επισκευαστικών κονιαμάτων με βάση την άσβεστο. Μεταπτυχιακή εργασία, Α.Π.Θ.

Μουζιάς Άγις ,(2017). Διερεύνηση μηχανικών ιδιοτήτων υδραυλικών κονιαμάτων . Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Μοροπούλου, Α. & Κωνσταντή Α., (2008). Το όραμα για την ανάπτυξη της βιομηχανίας των δομικών υλικών – Στρατηγική και εξέλιξη της έρευνας στην Ευρώπη και στην Ελλάδα. 1ο Πανελλήνιο συνέδριο δομικών υλικών και στοιχείων, Αθήνα, Τόμος Α', 1-13.

Μοροπούλου, Α. (2004). Δομικά Υλικά (κονίες, ιστορικά κονιάματα), ΕΜΠ (open courses).

Πιπερίδη, Χ., (2017). Εργαστηριακή διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης ανακυκλωμένων αδρανών για την παραγωγή δομικών στοιχείων. Μεταπτυχιακή εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Πιπερίδη ,Χ, (2012) .Χαρακτηρισμός λατομικής παιπάλη και πειραματική διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης της για παραγωγή δομικών στοιχείων. Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Σπυρόπουλος Ανδρέας , (2005) . Διερεύνηση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών στο νομό Αχαΐας σχετικά με την αναζήτηση αδρανών υλικών για διάφορες χρήσεις. Διδακτορική διατριβή.

Τριανταφύλλου, Γ., (2007). *Κονιάματα υδραυλικής ασβέστου για επεμβάσεις συντήρησης-αποκατάστασης ιστορικών κτιρίων. Αξιολόγηση πρώτων υλών για παρασκευή υδραυλικών κονιών*. Ημερίδα ΤΕΕ, Ενίσχυση Κτιρίων με Σύγχρονα Υλικά, 6 Νοεμβρίου, Αθήνα.

Τριανταφύλλου, Γ., (2011). Αξιολόγηση Νεογενών ασβεστολιθικών πετρωμάτων Κρήτης για τη διερεύνηση δυνατότητας παραγωγής φυσικών υδραυλικών κονιών. Διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Στεφάνου Ιάκωβος ,(2009) . Μελέτη ποιοτικών χαρακτηριστικών διαβασικών πετρωμάτων παρεκκλήσιά Κύπρου για τη χρήση τους ως αδρανή υλικά στα σκυροδέματα . Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης.

## **ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

ASTM D2216: 1998. Standard test method for laboratory determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.

Allen, G.C., Allen, W.J., Elton, N., Farey, M., Holmes, S., Livesey, P., Radonjic, S.M., (2003). Hydraulic Lime Mortars for Stone, Brick and Block Masonry, Donhead Publishing, Shaftesbury, Dorset.

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

Lea F., (1976): «The Chemistry of Cement and Concrete» London: Edward Arnold.

Lanas, J. Alvarez, J.I., (2003). Masonry repair lime-based mortars: Factors affecting the mechanical behavior. Cement and Concrete Research, vol. 33, pp. 1867-1876.

Lanas, J. et al., (2004). Mechanical properties of natural hydraulic lime-based mortars. Cement and Concrete Research, vol. 34, pp. 2191-2201.

Moropoulou, A. Bakolas, A. Aggelakopoulou, E. Anagnostopoulou, S., (2005). Strength development and lime reaction in mortars for repairing historic masonries, Cement & Concrete Composites, vol. 27, Elsevier, pp. 289-294.

Papayianni, I., (1998). Criteria and methodology for manufacturing compatible repair mortars and bricks, in Compatible materials for the protection of European Cultural Heritage, PACT 56, Biscotin G., et al eds: 179-190.

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

Triantafyllou, G. et al., (2011). Reactivity of hydraulic lime binders: A proposed laboratory testing technique. EGU General Assembly, Vol. 13, EGU 2011, Vienna.

**ΙΣΤΙΟΣΕΛΙΔΕΣ**

<http://portal.tce.gr>

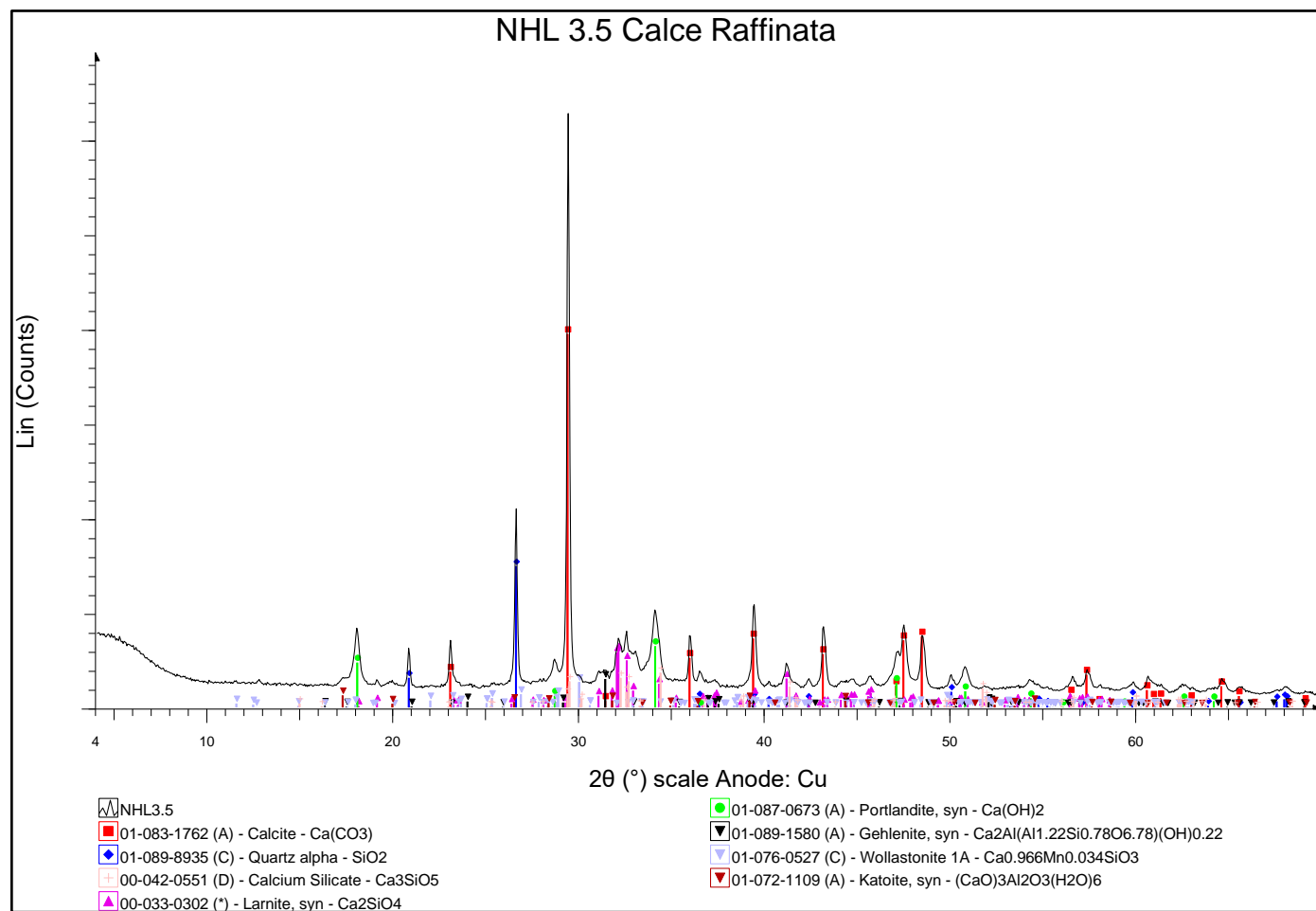
# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

---

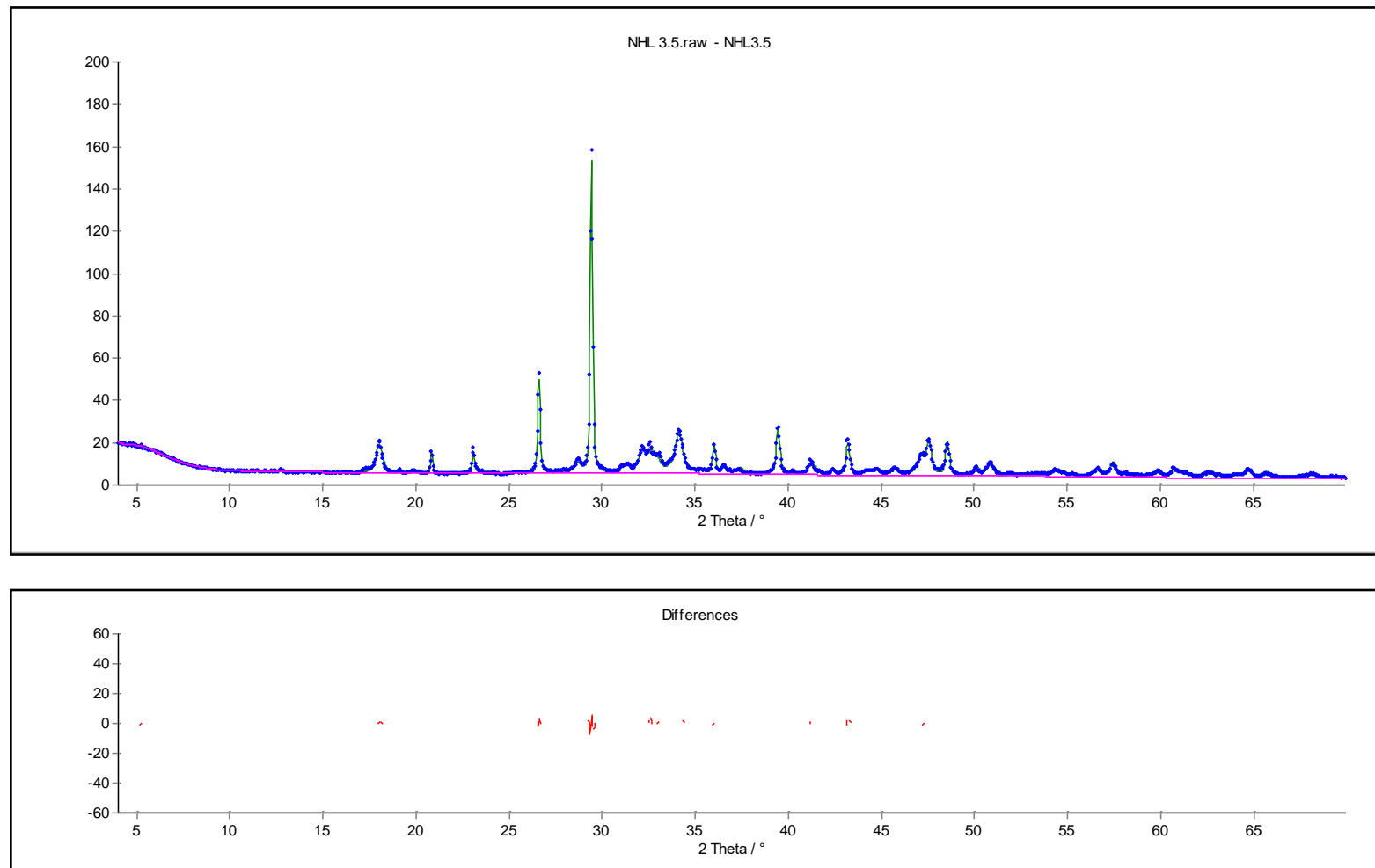
## Ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων-Χ (XRD)

[Περιθλασιμετρία κόνεως ακτίνων-Χ (XRD)]

[X-ray diffraction qualitative & quantitative analysis]

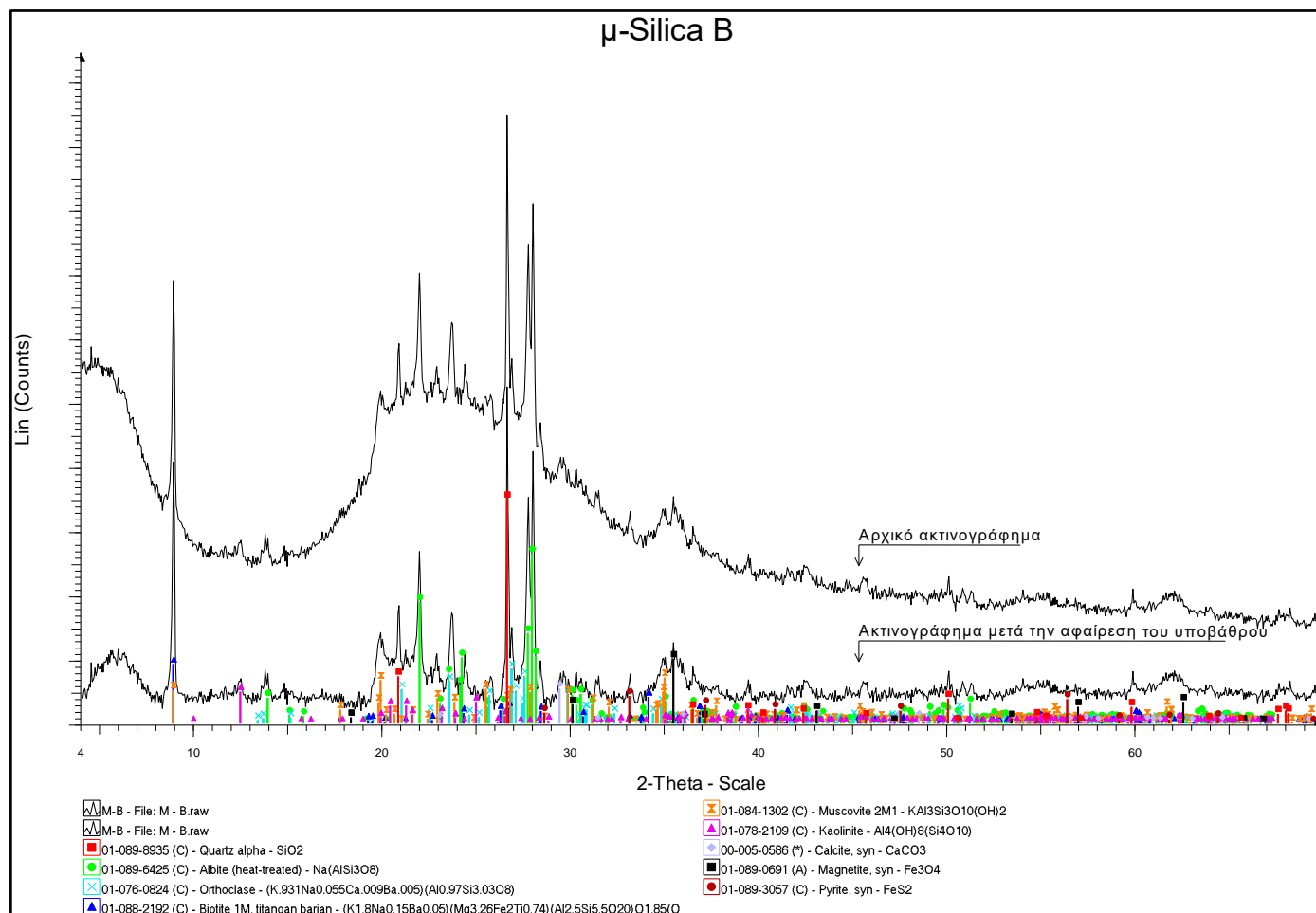


**Γράφημα 7.** Ακτινογράφημα περιθλασιμετρίας ακτίνων – X (XRD) και ποιοτική ορυκτολογική ανάλυση της κονιάς NHL 3.5 της εταιρίας CALCE RAFFINATA.

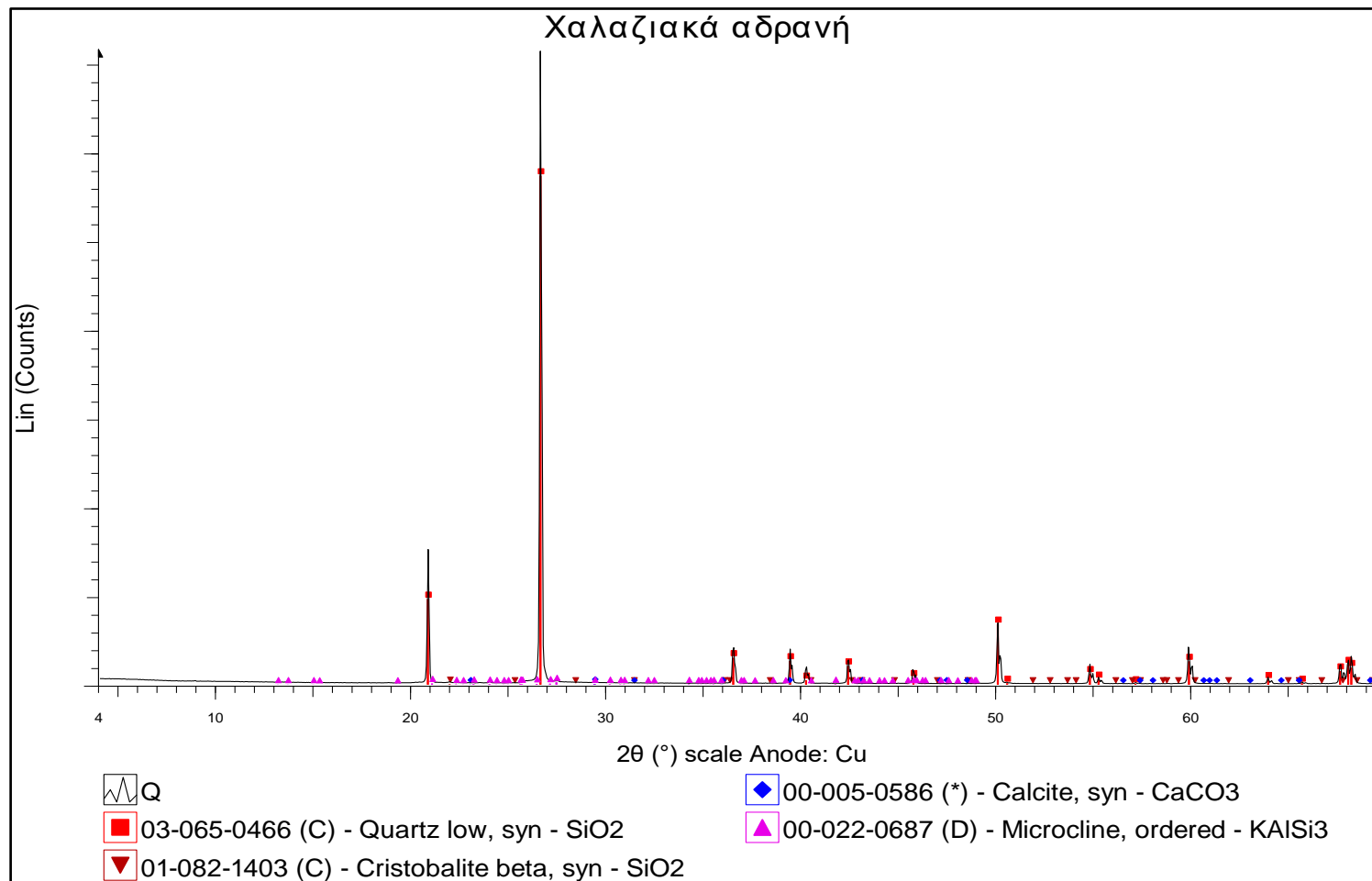


**Γράφημα 8.** Απεικόνιση του γραφήματος από τη μελέτη ποσοτικής ορυκτολογικής ανάλυσης της κονιάς NHL 3.5 της εταιρίας CALCE RAFFINATA, με το λογισμικό AutoQuan.

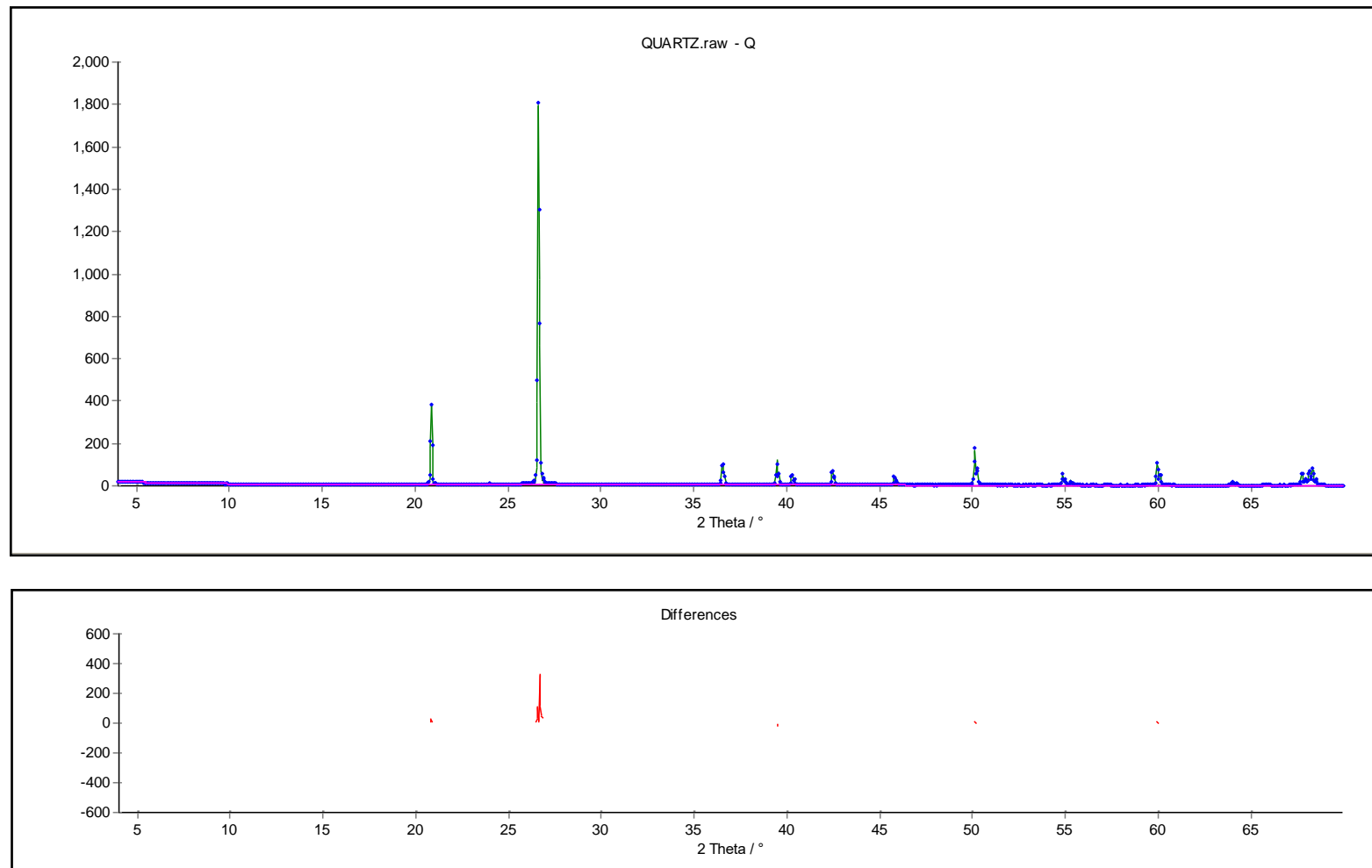




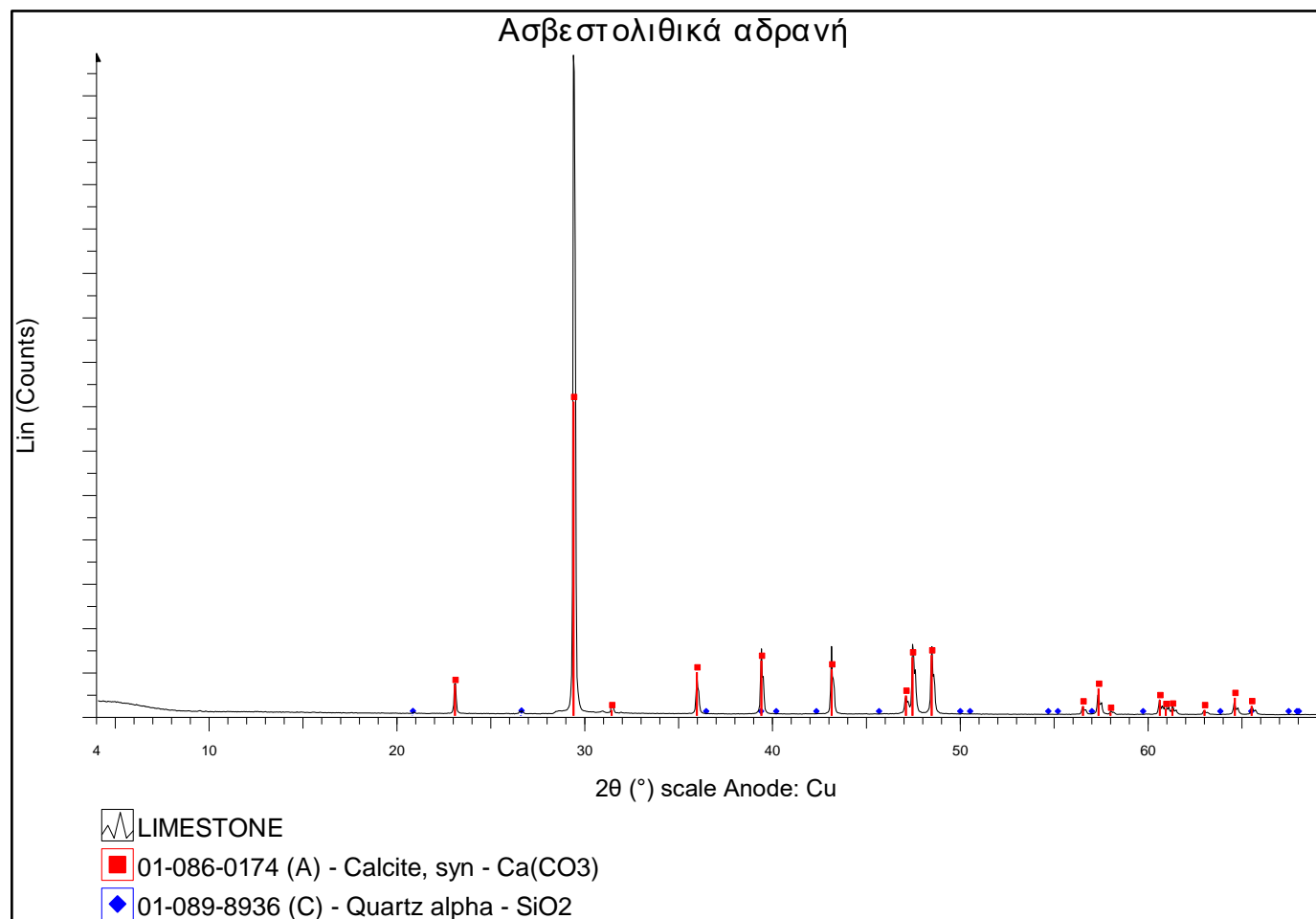
**Γράφημα 9.** Ακτινογράφημα περιθλασιμετρίας ακτίνων – X (XRD) και ποιοτική ορυκτολογική ανάλυση της ποζολάνης μ-Silica B, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη για την παρασκευή των κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου.



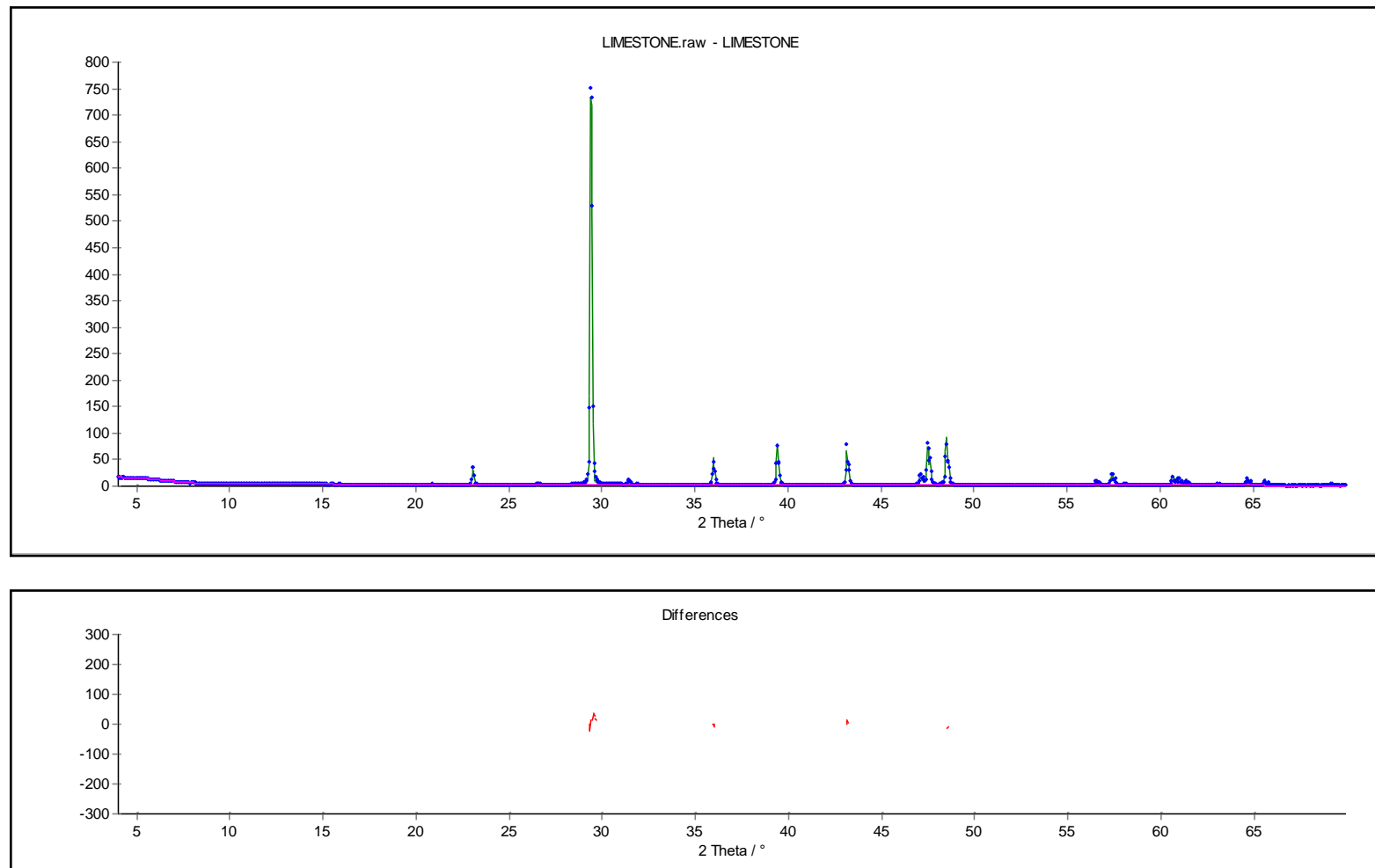
**Γράφημα 10.** Ακτινογράφημα περιθλασιμετρίας ακτίνων – X (XRD) και ποιοτική ορυκτολογική ανάλυση των χαλαζιακών αδρανών, που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη για την παρασκευή των κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου.



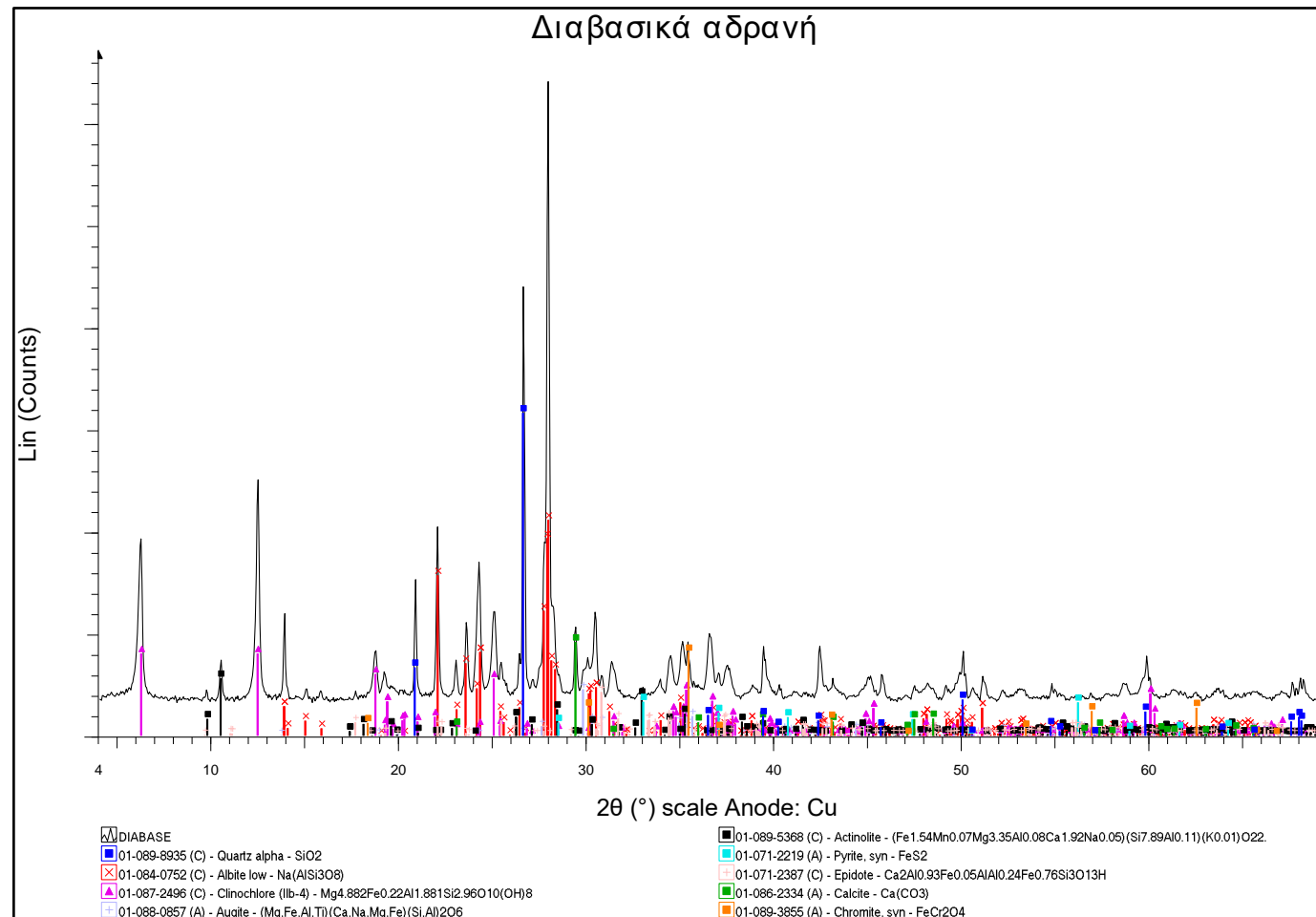
**Γράφημα 11.** Απεικόνιση του γραφήματος από τη μελέτη ποσοτικής ορυκτολογικής ανάλυσης των χαλαζιακών αδρανών, με το λογισμικό AutoQuan.



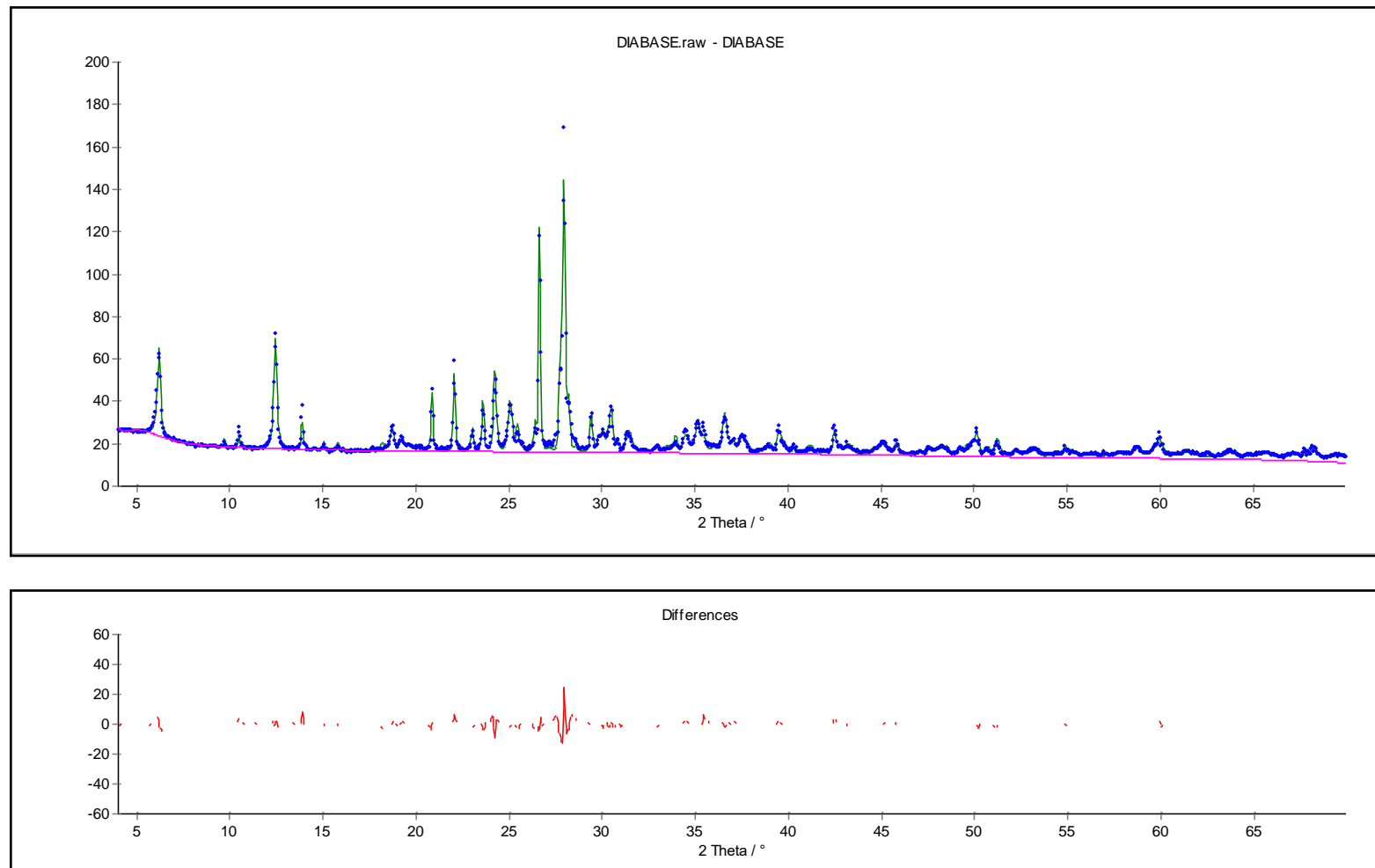
**Γράφημα 12.** Ακτινογράφημα περιθλασιμετρίας ακτίνων – X (XRD) και ποιοτική ορυκτολογική ανάλυση των ασβεστολιθικών αδρανών, που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη για την παρασκευή των κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου.



**Γράφημα 13.** Απεικόνιση του γραφήματος από τη μελέτη ποσοτικής ορυκτολογικής ανάλυσης των ασβεστολιθικών αδρανών, με το λογισμικό AutoQuan.



**Γράφημα 14.** Ακτινογράφημα περιθλασιμετρίας ακτίνων – X (XRD) και ποιοτική ορυκτολογική ανάλυση των αδρανών διαβασικής σύστασης, που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη για την παρασκευή των κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου



**Γράφημα 15.** Απεικόνιση του γραφήματος από τη μελέτη ποσοτικής ορυκτολογικής ανάλυσης των αδρανών διαβαστικής σύστασης, με το λογισμικό AutoQuan.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

---

Αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων  
μελέτης της μηχανικής συμπεριφοράς των  
κονιαμάτων

[Αντοχή σε Μονοαξονική θλίψη και Κάμψη]

[Uniaxial compressive and Flexural strength]



**Πίνακας 9.** Αποτελέσματα μέτρησης της αντοχής των δοκιμίων όλων των συνθέσεων σε μονοαξονική θλίψη και κάμψη (MPa), μετά από την πάροδο χρόνου ωρίμανσης 28 ημερών ( $\sigma$ = τυπική απόκλιση, CV= συντελεστής μεταβλητότητας).

Κωδικός σύνθεσης	Αντοχή σε θλίψη στις 28 ημέρες (MPa)						
	1 <sup>η</sup> μέτρηση	2 <sup>η</sup> μέτρηση	3 <sup>η</sup> μέτρηση	4 <sup>η</sup> μέτρηση	Μέση τιμή	σ	CV (%)
Q	7.14	6.72	5.89	5.56	6.33	0.63	9.95
L	5.94	6.41	5.57	5.27	5.80	0.42	7.24
D	7.99	8.15	7.45	8.22	7.95	0.30	3.77
Κονιάματα με προσθήκη ποζολάνης							
QP	9.76	9.32	9.56	9.88	9.63	0.22	2.28
LP	8.00	7.67	7.63	7.18	7.62	0.30	3.94
DP	9.69	9.56	9.82	9.52	9.64	0.10	1.04
Αντοχή σε κάμψη στις 28 ημέρες (MPa)							
	1 <sup>η</sup> μέτρηση		2 <sup>η</sup> μέτρηση		Μέση τιμή	σ	CV (%)
Q	1.54		1.62		1.58	0.00	0.00
L	0.56		0.64		0.60	0.00	0.00
D	1.84		1.88		1.86	0.00	0.00
Κονιάματα με προσθήκη ποζολάνης							
QP	1.77		1.96		1.87	0.10	5.35
LP	1.19		1.04		1.12	0.10	8.92
DP	2.31		2.06		2.19	0.14	6.39

**Πίνακας 10.** Αποτελέσματα μέτρησης της αντοχής των δοκιμίων όλων των συνθέσεων σε μονοαξονική θλίψη και κάμψη (MPa), μετά από την πάροδο χρόνου ωρίμανσης 90 ημερών (σ= τυπική απόκλιση, CV= συντελεστής μεταβλητότητας).

Κωδικός σύνθεσης	Αντοχή σε θλίψη στις 90 ημέρες (MPa)						
	1 <sup>η</sup> μέτρηση	2 <sup>η</sup> μέτρηση	3 <sup>η</sup> μέτρηση	4 <sup>η</sup> μέτρηση	Μέση τιμή	σ	CV (%)
Q	9.10	11.06	12.23	11.34	10.93	1.14	10.43
L	9.74	10.44	10.34	10.40	10.23	0.28	2.73
D	10.79	10.53	10.57	10.10	10.50	0.24	2.28
Κονιάματα με προσθήκη ποζολάνης							
QP	14.85	15.71	15.90	15.14	15.40	0.42	2.73
LP	13.01	13.73	14.16	13.15	13.43	0.46	3.42
DP	17.44	18.52	17.75	15.99	17.43	0.92	5.28
	Αντοχή σε κάμψη στις 90 ημέρες (MPa)						
	1 <sup>η</sup> μέτρηση		2 <sup>η</sup> μέτρηση		Μέση τιμή	σ	CV (%)
Q	2.83		2.54		2.69	0.14	5.20
L	1.52		1.69		1.61	0.10	6.21
D	2.37		2.49		2.43	0.00	0.00
Κονιάματα με προσθήκη ποζολάνης							
QP	2.98		3.12		3.05	0.00	0.00
LP	3.15		2.85		3.00	0.14	4.66
DP	4.14		3.40		3.77	0.37	9.81

**Πίνακας 11.** Αποτελέσματα μέτρησης της αντοχής των δοκιμίων όλων των συνθέσεων σε μονοαξονική θλίψη και κάμψη (MPa), μετά από την πάροδο χρόνου ωρίμανσης 120 ημερών σ= τυπική απόκλιση, CV= συντελεστής μεταβλητότητας).

Κωδικός σύνθεσης	Αντοχή σε θλίψη στις 120 ημέρες (MPa)						
	1 <sup>η</sup> μέτρηση	2 <sup>η</sup> μέτρηση	3 <sup>η</sup> μέτρηση	4 <sup>η</sup> μέτρηση	Μέση τιμή	σ	CV (%)
Q	12.73	12.99	12.96	12.74	12.85	0.10	0.78
L	10.47	10.83	11.04	10.39	10.68	0.26	2.43
D	11.58	11.37	11.36	11.32	11.41	0.10	0.88
Κονιάματα με προσθήκη ποζολάνης							
QP	17.23	16.94	16.40	16.22	16.70	0.40	2.39
LP	14.20	13.59	13.40	13.54	13.68	0.30	2.19
DP	17.59	17.49	19.87	18.99	18.49	0.99	5.35
	Αντοχή σε κάμψη στις 120 ημέρες (MPa)						
	1 <sup>η</sup> μέτρηση		2 <sup>η</sup> μέτρηση		Μέση τιμή	σ	CV (%)
Q	2.92		2.84		2.88	0.00	0.00
L	2.38		2.00		2.19	0.20	9.13
D	2.99		2.47		2.73	0.26	9.52
Κονιάματα με προσθήκη ποζολάνης							
QP	3.53		3.39		3.46	0.00	0.00
LP	3.21		2.97		3.09	0.10	3.24
DP	3.85		4.23		4.04	0.20	4.95

**Πίνακας 12.** Αποτελέσματα μέτρησης της αντοχής των δοκιμίων όλων των συνθέσεων σε μονοαξονική θλίψη και κάμψη (MPa), μετά από την πάροδο χρόνου ωρίμανσης 180 ημερών.

Κωδικός σύνθεσης	Αντοχή σε θλίψη στις 180 ημέρες (MPa)						
	1 <sup>η</sup> μέτρηση	2 <sup>η</sup> μέτρηση	3 <sup>η</sup> μέτρηση	4 <sup>η</sup> μέτρηση	Μέση τιμή	σ	CV (%)
Q	13.50	14.01	13.33	13.35	13.55	0.28	2.07
L	10.37	10.52	10.89	10.85	10.66	0.22	2.06
D	13.18	12.37	12.01	12.59	12.54	0.42	3.35
Κονιάματα με προσθήκη ποζολάνης							
QP	18.71	17.90	18.35	16.82	17.94	0.71	3.96
LP	14.70	13.69	13.40	14.00	13.95	0.48	3.44
DP	19.41	21.23	20.61	17.09	19.59	1.58	8.06
	Αντοχή σε κάμψη στις 180 ημέρες (MPa)						
	1 <sup>η</sup> μέτρηση		2 <sup>η</sup> μέτρηση		Μέση τιμή	σ	CV (%)
Q	3.20		2.65		2.92	0.28	9.59
L	2.65		2.24		2.44	0.20	8.19
D	2.75		3.15		2.95	0.20	6.78
Κονιάματα με προσθήκη ποζολάνης							
QP	3.86		3.32		3.59	0.26	7.24
LP	3.42		2.98		3.20	0.22	6.87
DP	3.90		4.43		4.16	0.26	6.25

