

# **ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΕΣ ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ**

**Θεόδωρος Μαρκόπουλος**

*Καθηγητής, Πολυτεχνείο Κρήτης - Διευθυντής Εργαστηρίου Πετρολογίας & Οικονομικής Γεωλογίας*

**Ευτυχία Ρεπούσκου**

*Δρ, Γεωλόγος, Πολυτεχνείο Κρήτης - Εργαστήριο Πετρολογίας & Οικονομικής Γεωλογίας*

**Παυλίνα Ροτόντο**

*Μηχανικός Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης - Εργαστήριο Πετρολογίας & Οικονομικής Γεωλογίας*

**Γεώργιος Τριανταφύλλου**

*Μηχανικός Ορυκτών Πόρων, Msc., Πολυτεχνείο Κρήτης - Εργαστήριο Πετρολογίας & Οικονομικής Γεωλογίας*

**Χρυσή Αποστολάκη**

*Πολιτικός Μηχανικός, Msc., Πολυτεχνείο Κρήτης - Εργαστήριο Πετρολογίας & Οικονομικής Γεωλογίας*

Λέξεις κλειδιά: Δομικά κονιάματα, υδράσβεστος, εργαστηριακός έλεγχος, ταξινόμηση κονιαμάτων, τεχνητή γήρανση

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ:**

Με βάση πρώτες ύλες από μονάδα παραγωγής αδρανών υλικών και ασβέστου από την περιοχή Φονέ Αποκορώνου του νομού Χανίων, έγινε σύνθεση δομικών κονιαμάτων για διάφορες χρήσεις. Επιλέχθηκαν διαφορετικές κοκκομετρικές κατανομές των αδρανών υλικών και εξετάστηκε η επίδραση της περιεχόμενης παιπάλης. Ως συνδετικές κονίες χρησιμοποιήθηκαν υδράσβεστος κόνεως τύπου CL 80 και λευκό τσιμέντο. Πραγματοποιήθηκε έλεγχος των τεχνικών χαρακτηριστικών των παρασκευασθέντων δοκιμίων με προσδιορισμό της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη μετά από διαφορετικούς χρόνους ωρίμανσης, καθώς και μελέτη τεχνητής γήρανσης. Βάσει των αποτελεσμάτων ποιοτικού ελέγχου τα δομικά αυτά κονιάματα κατατάσσονται στις κατηγορίες M1, M2, M2.5, CSI και CSII, κατά EN 998.02.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα δομικά κονιάματα αποτελούν ένα πρωτεύον υλικό δόμησης. Με τον όρο δομικό κονίαμα, εννοούμε γενικά το μίγμα ενός ή περισσότερων συνδετικών υλικών, αδρανών, νερού και μερικές φορές και ειδικών προσθέτων, το οποίο εφαρμόζεται ως συνδετικό-συγκολλητικό μεταξύ των δομικών στοιχείων (τούβλων, τσιμεντόλιθων, ελαφροβαρών στοιχείων κτλ), στην τοιχοποιία. Τα ανόργανα συνδετικά υλικά, που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή κονιαμάτων δόμησης είναι τσιμέντο, ασβέστης, σε μορφή πολτού ή ξηράς υδρασβέστου, ή και μίγμα των δύο (Ο.Δ.Υ. ΤΕΕ, 2008). Στην κατηγορία των δομικών κονιαμάτων περιλαμβάνονται και τα επιχρίσματα, τα οποία διακρίνονται σε εξωτερικά και εσωτερικά.

Για τις διαφορετικές κατηγορίες δομικών κονιαμάτων έχουν σχεδιαστεί διεθνείς τυποποιήσεις που αφορούν στις πρώτες ύλες των κονιαμάτων, στα ποιοτικά και τεχνικά χαρακτηριστικά τους, στις μεθοδολογίες εφαρμογής των και στον έλεγχο ποιότητας, ούτως ώστε τα τελικά εμπορεύσιμα δομικά προϊόντα να συμμορφώνονται των οδηγιών.

Ο έλεγχος ποιότητας των κονιαμάτων δόμησης που χρησιμοποιούνται σε ένα έργο δεν επιβάλλεται από τον ελληνικό εθνικό κανονισμό. Στις μελέτες δεν περιλαμβάνονται υποχρεωτικά προδιαγραφές ποιότητας και ο έλεγχος συνήθως δεν ζητείται από τον κύριο του έργου ή τον επιβλέποντα. Αναλόγως του τρόπου παραγωγής του κονιάματος διαφέρει και ο τρόπος με τον οποίο είναι δυνατόν να διεξαχθεί ο ποιοτικός έλεγχος. Όσον αφορά στις πρώτες ύλες σημαντικός είναι ο έλεγχος της κοκκομετρίας των αδρανών και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της συνδετικής κονιάς και όσον αφορά στον έλεγχο του νωπού-σκληρυμένου κονιάματος ενδιαφέρει συνήθως ο προσδιορισμός των τιμών της θλιπτικής αντοχής του. Ειδικά για τα ασβεστοκονιάματα, όπου δεν μπορούν να εφαρμοστούν τα πρότυπα του τσιμέντου, απαιτείται έρευνα διαμόρφωσης προτύπων για τον έλεγχο ποιότητας (Moropoulou et als., 2001) και τον έλεγχο συμβατότητας με τα αυθεντικά δομικά υλικά (Moropoulou and Bakolas, 1998, Moropoulou et als, 2000)

Στην Κρήτη δεν υπάρχει μονάδα έτοιμων κονιαμάτων. Στην παρούσα εργασία επιχειρείται μία προκαταρκτική μελέτη αξιοποίησης των παραγόμενων πρώτων υλών της μονάδας παραγωγής αδρανών υλικών και υδρασβέστου από την περιοχή Φονέ Αποκορώνου του νομού Χανίων, με απώτερο στόχο τη διερεύνηση της δυνατότητας παραγωγής έτοιμων εργοταξιακών ή σχεδιασμένων κονιαμάτων που να ακολουθούν διεθνείς οδηγίες συμμόρφωσης.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Τα δείγματα πρώτων υλών που μελετήθηκαν και αποτέλεσαν τη βάση για τη σύνθεση δομικών ασβεστο-κονιαμάτων και ασβεστοτσιμεντοκονιαμάτων καθώς επίσης και επιχρισμάτων προέρχονται από την εταιρεία Ασβεστοποιία Κρήτης. Τα πετρώματα του λατομείου της εταιρείας το οποίο και βρίσκεται στην περιοχή Φονέ Αποκορώνου του νομού Χανίων, είναι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι που ανήκουν στη γεωλογική ενότητα του Τρυπαλίου. Η εταιρεία παράγει και διαθέτει στο εμπόριο ασβεστολιθικά αδρανή και υδράσβεστο. Πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές αναλύσεις και δοκιμές για την αξιολόγηση τόσο των πρώτων υλών, όσο και για τον ποιοτικό έλεγχο των κονιαμάτων που προέκυψαν με χρήση αυτών. Για την πραγματοποίηση των εργαστηριακών δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν τα πρότυπα EN της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Πραγματοποιήθηκαν κοκκομετρικές αναλύσεις των ασβεστολιθικών αδρανών πρώτων υλών σύμφωνα με το πρότυπο EN 933.01. Η ποιότητα της παρεχόμενης από το λατομείο κόνεως υδρασβέστου εξετάστηκε πέραν των άλλων και με κοκκομετρικές αναλύσεις, για να προσδιοριστεί το ποσοστό του λεπτομερούς κλάσματος του υλικού κατά το πρότυπο EN 459.02.

Ο ορυκτολογικός προσδιορισμός των φάσεων των προϊόντων της μονάδος πραγματοποιήθηκε με περιθλασιμετρία ακτίνων - X (XRD) με περιθλασίμετρο κόνεως τύπου Siemens 500. Ο ποιοτικός προσδιορισμός των ορυκτών φάσεων έγινε με τη χρήση του λογισμικού Diffrac Plus της εταιρίας Brucker και το Powder Diffraction File, ενώ ο ποσοτικός με το λογισμικό Siroquant 2002 που βασίζεται σε αλγόριθμο ανάλυσης Rietveld. Για τον προσδιορισμό του χημισμού των πρώτων υλών χρησιμοποιήθηκε μονάδα φασματοσκοπίας ακτίνων - X φθορισμού (XRF) τύπου SRS 303 της εταιρίας Siemens και ασβεστίμετρο τύπου Dietrich Frühling.

Στην παρούσα μελέτη δημιουργήθηκαν και εξετάστηκαν συνταγές για δυο διαφορετικούς τύπους κονιαμάτων. Για δομικά κονιάματα τοιχοποιίας και κονιάματα επιχρισμάτων. Επιλέχθηκαν κοκκομετρικές αναλογίες για κονιάματα τοιχοποιίας και επιχρισμάτων, όπως αυτές ορίζονται από τα πρότυπα EN 13139 και BS 1200, καθώς επίσης στην περίπτωση των κονιαμάτων δόμησης και η κοκκομετρική κατανομή των αδρανών υλικών όπως αυτή διατίθεται από το λατομείο. Εξετάστηκε επίσης, η επίδραση του ποσοστού της παιπάλης που αυτά περιέχουν, στις ιδιότητες των μιγμάτων που προέκυψαν (EN 933.08).

Ως συνδετική κονία στις σειρές κονιαμάτων που παρασκευάστηκαν εργαστηριακά χρησιμοποιήθηκε τόσο υδράσβεστος σε μορφή κόνεως, όσο και υδράσβεστος μαζί με λευκό τσιμέντο, τύπου CEM II/A-LL της εταιρίας

TITAN. Η σύνθεση των δομικών ασβεστο-κονιαμάτων, των δομικών ασβεστο-τσιμεντοκονιαμάτων και επιχρισμάτων και η ταξινόμησή τους βάσει ποιοτικών, τεχνικών χαρακτηριστικών έγινε σύμφωνα με τις τυποποιήσεις ΕΛΟΤ EN 998.01 και EN 998.02 για κονιάματα τοιχοποιίας. Αναλυτικά οι συνταγές των κονιαμάτων που παρασκευάστηκαν εργαστηριακά είναι:

- Σειρά κονιαμάτων δομικού σοβά **A**, με κοκκομετρική κατανομή των αδρανών κατά EN 13139, BS 1200, όπου αφαιρέθηκε το κλάσμα της παιπάλης (υλικό με μέγεθος μικρότερο των 63 μm). Επιπρόσθετα, τα αδρανή είχαν προηγουμένως πλυθεί.
- Σειρά κονιαμάτων δομικού σοβά **B**, με κοκκομετρική κατανομή των αδρανών βάση αυτής που διαθέτει το λατομείο, χωρίς όμως να χρησιμοποιηθεί το κλάσμα του υλικού το μεγαλύτερο των 4.75 mm και το μικρότερο των 63 μm. Τα αδρανή δεν είχαν πλυθεί προηγούμενα.
- Σειρά κονιαμάτων δομικού σοβά **Γ**, με τα χαρακτηριστικά της σειράς κονιαμάτων **B** και προσθήκη λευκού τσιμέντου.
- Σειρά κονιαμάτων δομικού σοβά **Δ**, με τα χαρακτηριστικά της σειράς κονιαμάτων **A** και προσθήκη λευκού τσιμέντου.
- Σειρά κονιαμάτων για επίχρισμα **E**, με κοκκομετρική κατανομή των αδρανών κατά EN 13139 και BS 1200.
- Σειρά κονιαμάτων για επίχρισμα **ΣΤ**, με κοκκομετρική κατανομή των αδρανών κατά EN 13139, BS 1200 και προσθήκη λευκού τσιμέντου.

Οι αναλογίες κονιάς : αδρανή : νερό για τα ασβεστο-κονιάματα και τα ασβεστο-τσιμεντοκονιάματα, είναι 1 μέρος υδρασβέστου : 3 μέρη αδρανή : ½ μέρος νερό και 3 μέρη κονία (2 υδράσβεστος και 1 λευκό τσιμέντο) : 9 μέρη αδρανή : 1.5 μέρη νερό, αντίστοιχα.

Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές ανεμπόδιστων μονοαξονικών θλίψεων σε ικανό αριθμό κυβικών δοκιμίων κονιαμάτων από όλες τις σειρές, σε άκαμπτη μηχανή φόρτισης (μοντέλο MTS - 815). Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν έγιναν με σταθερό ρυθμό φόρτισης της τάξεως των 0,5 - 1 MPa / s όπως προτείνετε από την διεθνή βιβλιογραφία (ISMR, 1981). Οι δοκιμές προσδιορισμού των αντοχών έγιναν για διαφορετικούς χρόνους ωρίμανσης των κονιαμάτων, με δυνατότητα καταγραφής των δυνάμεων και των μετατοπίσεων.

Πραγματοποιήθηκε επίσης μελέτη τεχνητής γήρανσης σε κυβικά δοκίμια των κονιαμάτων που παρασκευάστηκαν εργαστηριακά και προσδιορίστηκε η αντοχή τους μετά από διαδοχικούς κύκλους ψύξης - θέρμανσης. Ακολουθήθηκε η μέθοδος Nordtest και το πρότυπο NT BUILD 483, με τη χρήση κλιματικού θαλάμου τεχνητής γήρανσης υλικών της εταιρείας Angelantoni Industrie, τύπου GTS600. Το πρότυπο ορίζει παραμονή των δοκιμίων σε θερμοκρασίες  $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  για χρονικό διάστημα 4 ωρών και κατόπιν στους  $+20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  για διάστημα 8 ωρών. Η καταγραφή της διάβρωσης των κονιαμάτων εκφράστηκε κύρια σαν επί τοις εκατό απώλεια βάρους αυτών και πραγματοποιήθηκε για 1, 3, 7, 14 και 28 κύκλους.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1 Αποτελέσματα αξιολόγησης των πρώτων υλών

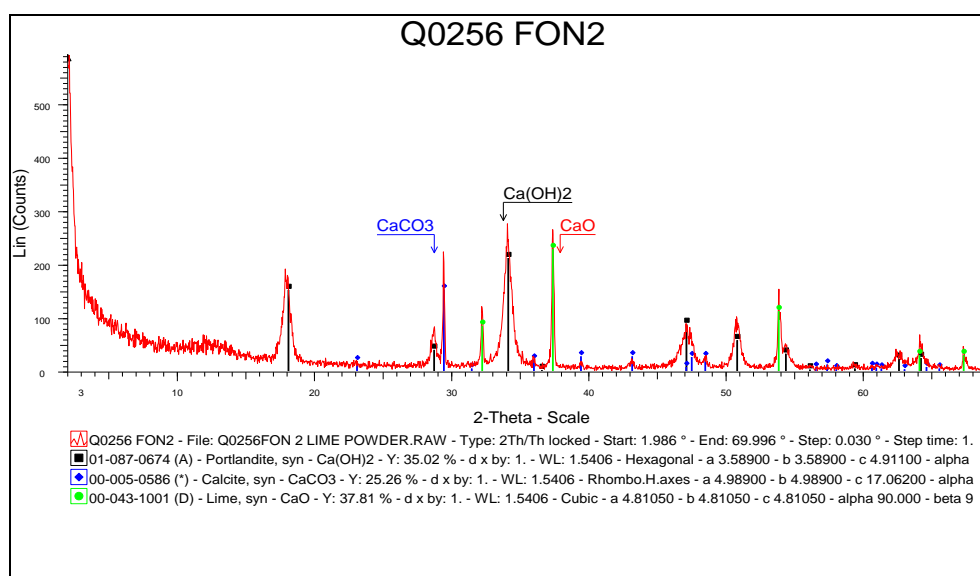
Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης για τα ασβεστολιθικά αδρανή όπως αυτή παρουσιάζεται στον πίνακα 1, έδειξαν ότι η περιεκτικότητα σε οξείδιο του ασβεστίου (CaO) κυμαίνεται στο 55.6%, του οξειδίου του μαγνησίου (MgO) από 0.31 έως 0,38%, ενώ τα υπόλοιπα οξείδια βρίσκονται σε μικρότερες αναλογίες. Στο δείγμα κόνεως υδρασβέστου το ποσοστό του οξειδίου του ασβεστίου (CaO) είναι μεγαλύτερο από 80 %, ενώ το ποσοστό του οξειδίου του μαγνησίου (MgO) είναι μικρότερο του 3%. Τα δείγματα των πρώτων υλών δεν περιέχουν SO<sub>3</sub>.

Πίνακας 1. Χημική ανάλυση % κ.β. των πρώτων υλών

Οξείδιο	Αδρανές 1	Αδρανές 2	Κόνις υδρασβέστου
SiO <sub>2</sub>	0.17	0.15	1.75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	0.05	0.95
MnO	-	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.02	0.84
MgO	0.31	0.38	2.21
CaO	55.61	55.66	84.81
K <sub>2</sub> O	0.01	0.02	0.52
Na <sub>2</sub> O	0.02	0.02	0.48
L.O.I.	43.66	43.64	7.46
Σύνολο	99.87	99.94	99.02
		ΑΣΒΕΣΤΙΜΕΤΡΙΑ	
% CaCO <sub>3</sub>	98.62	99.01	13.98
% CO <sub>2</sub>	43.39	43.28	6.29

Τα αποτελέσματα της περιθλασιμετρίας ακτίνων - X, έδειξαν ότι η κύρια ορυκτολογική φάση στα αδρανή υλικά είναι ο ασβεστίτης. Στο δείγμα κόνεως υδρασβέστου (Εικόνα 1), προσδιορίστηκαν οι φάσεις πορτλανδίτης ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), οξείδιο του ασβεστίου ( $\text{CaO}$ ) και ασβεστίτης  $\text{CaCO}_3$ . Ο ποσοτικός προσδιορισμός των ορυκτολογικών αυτών φάσεων έδωσε περιεκτικότητες σε πορτλανδίτη 70.00%, οξείδιο του ασβεστίου 15.40% και 14.60% σε ασβεστίτη.

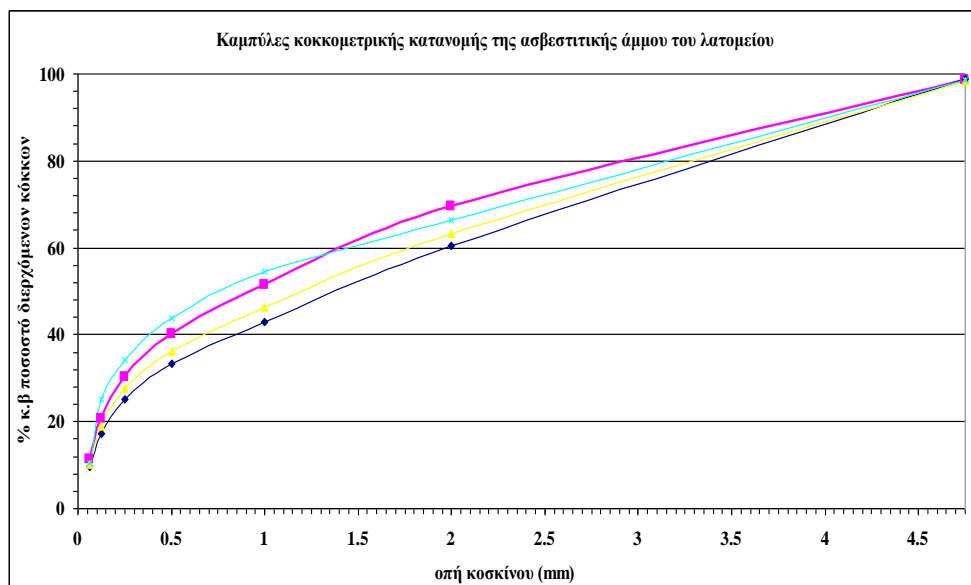
Σύμφωνα με τα ανωτέρω αποτελέσματα των χημικών και ορυκτολογικών αναλύσεων προκύπτει ότι τα αδρανή είναι ασβεστόλιθοι υψηλής καθαρότητας, ενώ η κόνις υδρασβέστου εντάσσεται στην κατηγορία δομικής ασβέστου τύπου CL 80 κατά EN 459.01.



Εικόνα 1. Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων - X (XRD) δείγματος υδρασβέστου κόνεως που παράγει η εταιρεία

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζονται οι καμπύλες της κοκκομετρικής κατανομής των ασβεστολιθικών αδρανών πρώτων υλών του λατομείου. Από τη μελέτη αυτή προέκυψε ότι το ποσοστό της παιπάλης στα δείγματα των αδρανών του λατομείου, είναι της τάξης του 10%. Αν συνυπολογίσουμε και την ποσότητα της παιπάλης η οποία είναι προσκολλημένη στα μεγαλύτερα κλάσματα κόκκων, τότε το ποσοστό αυτό αυξάνεται σημαντικά και υπολογίζεται ότι κυμαίνεται από 13 έως 15%. Επίσης, είναι χαρακτηριστικό πως τα δείγματα των συγκεκριμένων αδρανών είναι ιδιαίτερα εμπλουτισμένα στο κλάσμα (-4.75, +2.00) mm.

Όσον αφορά στη λεπτότητα της κόνεως υδρασβέστου της εταιρείας προέκυψε, ότι μόνο ένα ποσοστό της τάξης του 30% είναι μικρότερο των 90 μm. Σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές το ποσοστό αυτό πρέπει να είναι μεγαλύτερο του 90%. Για το λόγο αυτό η υδράσβεστος που χρησιμοποιήθηκε για τη σύνθεση των κονιαμάτων αλέσθηκε προηγουμένα για να επιτευχθεί η επιθυμητή κοκκομετρία.



Εικόνα 2. Διαγράμματα κοκκομετρικής κατανομής των ασβεστολιθικών αδρανών πρώτων υλών του λατομείου

### 3.2 Ποιοτικός έλεγχος των δομικών κονιαμάτων

Στον Πίνακα 2, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη δοκιμή για τον προσδιορισμό της μονοαξονικής θλίψης των δοκιμίων για τα ασβεστοκονιάματα του δομικού σοβά Α και Β, για χρόνους ωρίμανσης 28 ημερών, 6 και 9 μηνών. Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι οι υψηλότερες τιμές αντοχών εμφανίζονται στη σειρά των ασβεστοκονιαμάτων Β όπου χρησιμοποιήθηκε η κοκκομετρική κατανομή των αδρανών ως έχουν, χωρίς προηγουμένα να έχουν πλυθεί για να απομακρυνθεί και η ποσότητα λεπτομερούς υλικού που είναι προσκολλημένη στα μεγαλύτερα κλάσματα.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα από τον έλεγχο της μηχανικής συμπεριφοράς των ασβεστοκονιαμάτων των σειρών Α και Β

Κονίαμα / χρόνος ζωής	Α / 28 ημέρες	Α / 6 μήνες	Α / 9 μήνες
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (MPa)	0.80	1.14	1.19

Κονίαμα / χρόνος ζωής	Β / 28 ημέρες	Β / 6 μήνες	Β / 9 μήνες
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (MPa)	1.36	1.82	1.94

Η προσθήκη λευκού τσιμέντου στις παραπάνω συνταγές αύξησε σημαντικά τις τιμές των αντοχών τους και βελτίωσε τη μηχανική τους συμπεριφορά. Η επίδραση της κοκκομετρικής κατανομής των αδρανών στα μίγματα των κονιαμάτων δεν είναι σε αυτή την περίπτωση τόσο σημαντική. Ωστόσο και εδώ η σειρά των ασβεστο-τσιμεντοκονιαμάτων όπου χρησιμοποιήθηκε η λατομική άμμος ως έχει, έδωσε καλύτερα αποτελέσματα αντοχών. Μετά από 9 μήνες ωρίμανσης των δοκιμίων οι τιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τις σειρές Γ και Δ είναι 3.66 και 3.92 MPa, αντίστοιχα. Στην Εικόνα 3, παρουσιάζονται τα διαγράμματα τάσης - παραμόρφωσης δοκιμίων των σειρών Α, Β, Γ και Δ, όπως αυτές προέκυψαν από τη δοκιμή ανεμπόδιστης μονοαξονικής θλίψης μετά από χρονικό διάστημα ωρίμανσης 6 μηνών.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα από τον έλεγχο της μηχανικής συμπεριφοράς των ασβεστοτσιμεντοκονιαμάτων των σειρών Γ και Δ

Κονίαμα / χρόνος ζωής	Γ / 28 ημέρες	Γ / 3 μήνες	Γ / 6 μήνες	Γ / 9 μήνες
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (MPa)	1.96	2.51	2.95	3.66

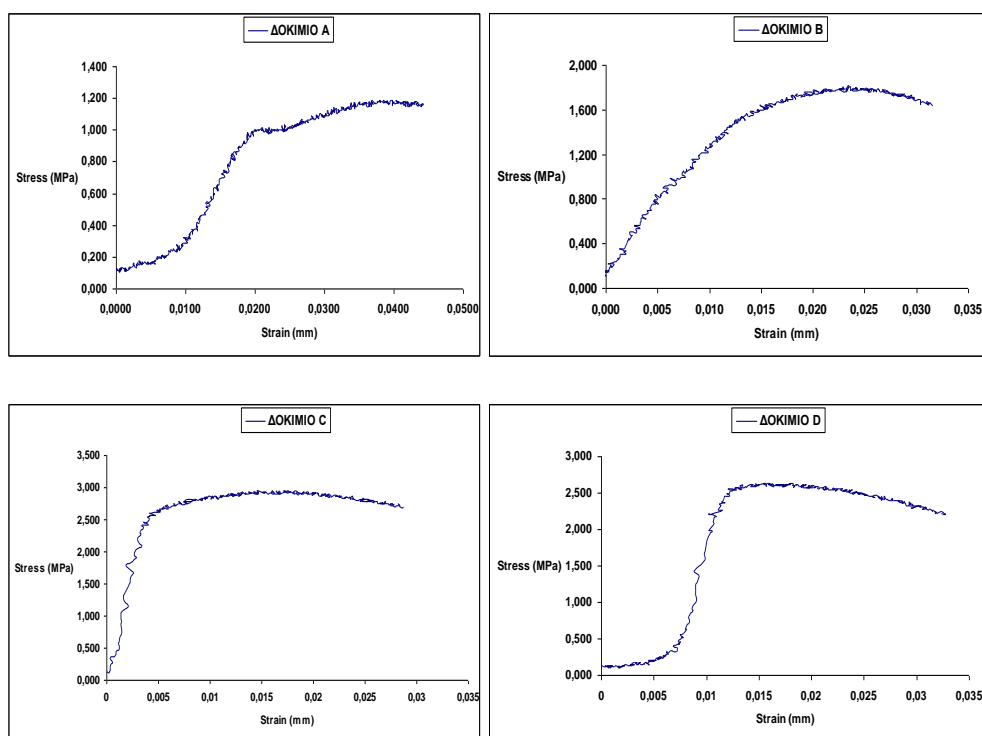
Κονίαμα / χρόνος ζωής	Δ / 28 ημέρες	Δ / 3 μήνες	Δ / 6 μήνες	Δ / 9 μήνες
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (MPa)	1.71	2.41	2.63	3.92

Όσον αφορά στη σειρά των δοκιμίων Ε και ΣΤ που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν επιχρίσματα, προκύπτει ότι με την προσθήκη λευκού τσιμέντου επιτυγχάνονται πολύ ικανοποιητικές τιμές αντοχών (Πίνακας 4). Για χρονικό διάστημα 3 μηνών η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη για τα δοκίμια της σειρά ΣΤ φθάνει τα 5.07 MPa, η οποία κρίνεται ιδιαίτερα ικανοποιητική για κονιάματα τέτοιου τύπου.



Πίνακας 4. Αποτελέσματα από τον έλεγχο της μηχανικής συμπεριφοράς των κονιαμάτων για επίχρισμα των σειρών Ε και ΣΤ

Κονίαμα / χρόνος ζωής	Ε / 28 ημέρες	Ε / 3 μήνες
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (MPa)	1.14	1.45
Κονίαμα / χρόνος ζωής	ΣΤ/ 28 ημέρες	ΣΤ / 3 μήνες
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (MPa)	3.67	5.07



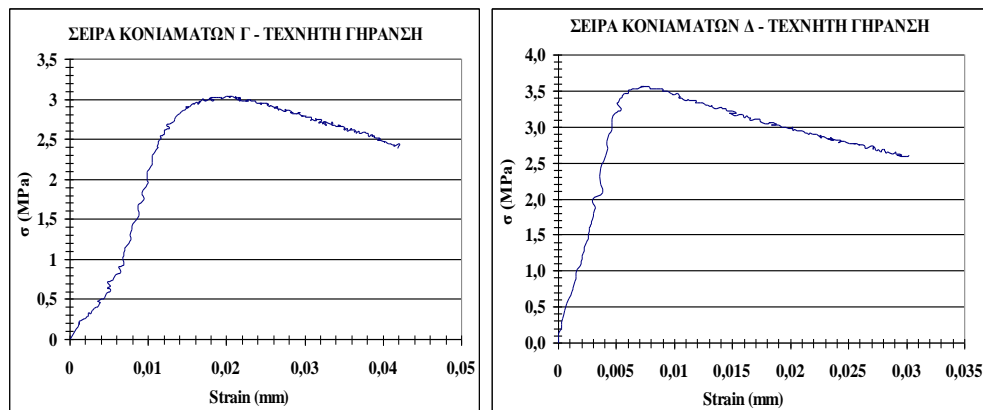
Εικόνα 3. Διαγράμματα τάσης - παραμόρφωσης δοκιμών των σειρών Α, Β, Γ και Δ αντίστοιχα. Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη μετά την πάροδο χρόνου ωρίμανσης 6 μηνών

Η δοκιμή τεχνητής γήρανσης εφαρμόστηκε σε δοκίμια όλων των σειρών. Τα αποτελέσματα από τη μελέτη αυτή παρουσιάζονται στον Πίνακα 5. Τα δοκίμια των σειρών Α, Β και Ε που δεν περιέχουν τσιμέντο στη σύνθεσή τους παρουσιάζουν μεγαλύτερα ποσοστά φθοράς, σε σχέση με τα υπόλοιπα.

Η μείωση της αντοχής τους προσδιορίζεται ουσιαστικά μετά τον 14<sup>ο</sup> κύκλο, με τα δοκίμια της σειράς Α να παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες απώλειες (48.3%). Μετά την ολοκλήρωση των 28 κύκλων τα δοκίμια των σειρών αυτών σχεδόν ή εξ ολοκλήρου διαλύονται. Μετά το πέρας της μελέτης τεχνητής γήρανσης και την ολοκλήρωση και των 28 κύκλων τα δοκίμια των σειρών Γ και Δ παρέμειναν συνεκτικά, δίχως να έχουν χάσει το αρχικό κυβικό τους σχήμα. Σε αυτά μετρήθηκε η συμπεριφορά τους σε δοκιμή μονοαξονικής θλίψης. Όπως προκύπτει από τις μετρήσεις που έγιναν τα δοκίμια της σειράς Γ έδωσαν αντοχές μέχρι 3.05 MPa, ενώ αυτά της σειράς Δ έως 3.70 MPa (Εικόνα 4).

Πίνακας 5. Δοκιμή τεχνητής γήρανσης με διαδοχικούς κύκλους ψύξης - θέρμανσης

Δοκίμια	A	B	Γ	Δ	E	ΣΤ
Απώλεια % (1 <sup>ος</sup> κύκλος)	0.3	0.2	0.04	0.04	0.5	0.1
Απώλεια % (3 <sup>ος</sup> κύκλος)	1.9	0.1	0.04	0.04	0.2	0.1
Απώλεια % (7 <sup>ος</sup> κύκλος)	13.8	0.2	0.1	0.04	2.5	0.05
Απώλεια % (14 <sup>ος</sup> κύκλος)	48.3	34.9	0.3	0.2	36.6	12.4
Απώλεια % (28 <sup>ος</sup> κύκλος)	21.3	22.6	0.6	0.5	13.0	47.1
Συν. Απώλεια %	85.5	58.1	1.0	0.82	52.8	59.8



Εικόνα 4. Διαγράμματα τάσης - παραμόρφωσης δοκιμίων των σειρών Γ και Δ αντίστοιχα. Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη μετά την πάροδο 28 κύκλων σε μελέτη τεχνητής γήρανσης

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η αξιολόγηση των πρώτων υλών που χρησιμοποιεί η εταιρία προκειμένου να συνθέσει κονιάματα δόμησης και επιχρισμάτων, η διερεύνηση των καταλληλότερων κοκκομετρικών διαβαθμίσεων των αδρανών για κάθε είδος κονιαμάτων ανάλογα με τη χρήση τους και τέλος οι συνθέσεις (συνταγές) των κονιαμάτων δόμησης και επιχρισμάτων με πρώτες ύλες που χρησιμοποιεί η εταιρία είτε με χρήση υδρασβέστου κόνεως που παράγει είτε με προσθήκη σε αυτήν τσιμέντου, καθώς και η κατηγοριοποίηση αυτών σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα.

Το δείγμα υδρασβέστου - κόνεως που παράγεται αποτελείται από πορτλανδίτη, οξείδιο του ασβεστίου και ασβεστίτη σε ποσοστά 70, 15.4 και 14.6% αντίστοιχα. Η λεπτότητά του δεν ξεπερνά σε ποσοστό 30 % τα 90 μm κάτι που έρχεται σε αντίθεση με τα ευρωπαϊκά πρότυπα που θέλουν το 90% της κονιάς κάτω από το κλάσμα των 90 μm. Επομένως η κονία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως έχει, αλλά μετά από λειοτρίβηση. Τέλος σύμφωνα με το πρότυπο EN 459.01 και με βάση τα εργαστηριακά αποτελέσματα που προέκυψαν η εν λόγω κονία υδρασβέστου κατατάσσεται στην κατηγορία των ασβεστιτικών δομικών ασβέστων τύπου CL 80.

Για τη σύνθεση κονιαμάτων δόμησης κρίνεται απαραίτητη η απομάκρυνση της παιπάλης, δεδομένου ότι η περίσσεια παιπάλης αυξάνει το ποσοστό του προσροφημένου νερού με αποτέλεσμα τη μείωση της συνεκτικότητας κονιάς - αδρανών. Συγκεκριμένα σε όλες τις σειρές κονιαμάτων δόμησης της παρούσας εργασίας (Α, Β, Γ, Δ) έγινε αφαίρεση του κλάσματος του μικρότερου των 63 μm.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των αντοχών σε μονοαξονική θλίψη των κονιαμάτων δόμησης (Α, Β, Γ, Δ) είναι εμφανές ότι τα κονιάματα με προσθήκη τσιμέντου δίνουν υψηλότερες τιμές αντοχών.

Η κοκκομετρική κατανομή της λατομικής άμμου μετά την αφαίρεση των κλασμάτων της παιπάλης και του μεγαλύτερου των 4,75 mm, η οποία χρησιμοποιήθηκε στις συνταγές των κονιαμάτων δόμησης, έδωσε καλύτερα αποτελέσματα αντοχών συγκριτικά με εκείνη του προτύπου. Υπάρχει όμως ένα μικρό ποσοστό ποσότητας παιπάλης της τάξης του 3 έως 5% το οποίο απαιτείται για τη βέλτιστη κοκκομετρική κατανομή, που είναι προσκολλημένο στα μεγαλύτερα κλάσματα των αδρανών πρώτων υλών του λατομείου τα οποία και προηγουμένως δεν είχαν πλυθεί.

Σύμφωνα με το πρότυπο EN 998.02 τα παραπάνω κονιάματα Α, Β, Γ, Δ κατατάσσονται στις κατηγορίες Μ1, Μ2, Μ2.5 και Μ2.5 αντίστοιχα. Στην περίπτωση των κονιαμάτων επιχρισμάτων (σειρές Ε, ΣΤ) είναι εμφανές ότι με προσθήκη τσιμέντου (ΣΤ) παρατηρούνται σαφώς μεγαλύτερες αντοχές. Σύμφωνα με το πρότυπο EN 998.01 τα κονιάματα Ε, ΣΤ κατατάσσονται στις κατηγορίες CSI, CSIII αντίστοιχα.

Επιπρόσθετα τα αποτελέσματα της τεχνητής γήρανσης έδειξαν ότι η σειράς με προσθήκη τσιμέντου άντεξαν περισσότερο, και συγκεκριμένα οι σειρές Γ, Δ άρχισαν να παρουσιάζουν σημαντικές απώλειες υλικού στον 28<sup>ο</sup> κύκλο ενώ αντίστοιχα οι σειρές Α, Β παρουσίασαν σημαντικές απώλειες υλικού και αποσύνθεσης από τον 14<sup>ο</sup> κύκλο. Αντίστοιχα η ίδια παρατήρηση εξάγεται και στην περίπτωση των κονιαμάτων επίχρισης (Ε, ΣΤ).

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί επίσης, ότι η επιλογή χρήσης κονιάματος με ή χωρίς προσθήκη τσιμέντου δεν εξαρτάται μόνο από τις καλύτερες αντοχές, αλλά και από το είδος της κατασκευής που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, δεδομένου ότι σε περιπτώσεις μνημειακών κατασκευών κατά κανόνα απαγορεύεται η χρήση βιομηχανικού τσιμέντου.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΕΛΟΤ EN 459.01 + AC Δομική άσβεστος: Ορισμοί, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης.

ΕΛΟΤ EN 459.02 +AC Δομική άσβεστος: Μέθοδοι δοκιμής.

ΕΛΟΤ EN 933.01 Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών – Μέρος 1: Προσδιορισμός του διαγράμματος κοκκομετρίας.

ΕΛΟΤ EN 13139 Αδρανή κονιαμάτων.

ΕΛΟΤ 933.08 Δοκιμές ιδιοτήτων των αδρανών - Μέρος 8: Αξιολόγηση λεπτόκοκκου κλάσματος (παιπάλης).

ΕΛΟΤ EN 998.01 Προδιαγραφή κονιαμάτων τοιχοποιίας - Μέρος 1: Εξωτερικά και εσωτερικά επιχρίσματα.

ΕΛΟΤ EN 998.02 Προδιαγραφή κονιαμάτων τοιχοποιίας - Μέρος 2: Κονίαμα τοιχοποιίας.

BS 1200: 1976. Specifications for building sands from natural sources.

NT BUILD 483 Mortar, Hardened: Frost resistance, NORDTEST, 1998, ISSN 0283-7153

ISMR, Rock Characterization Testing and Monitoring, E.T. Brown, Editor, Pergamon Press, 1981.

Moropoulou, A., Bakolas, A., “Range of acceptability limits of physical, chemical and mechanical characteristics deriving from the evaluation of historic mortars”, PACT, J. European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology, 56 (1998) pp. 165-178

Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Michailidis, P., “Evaluation of compatibility between repair mortars and building materials in historic structures by the control of the microstructure of cement-based systems”, Concrete Science and Engineering, 2 (2000) pp. 191-195

Moropoulou, A., Bakolas, A., Aggelakopoulou, E., “The effects of limestone characteristics and calcination temperature to the reactivity of quicklime” Cement and Concrete Research, 31 (2001) pp. 633-639

