



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Διερεύνηση μηχανικών ιδιοτήτων  
υδραυλικών κονιαμάτων**

ΜΟΥΖΑΣ ΑΓΙΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Εξεταστική επιτροπή:

Ζ. Αγιουτάντης,

Π. Μαραβελάκη

Μ. Σταυρουλάκη

ΧΑΝΙΑ 2017



***Στον Οδυσσέα Μουζά,***  
*τον πατέρα μου που έφυγε νωρίς*



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο ερευνητικού προγράμματος με τίτλο «Συγκολλήσεις πώρινων θραυσμάτων μνημείων Ακροπόλεως» και επιστημονική υπεύθυνη την αναπληρώτρια καθηγήτρια της Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Πολυτεχνείου Κρήτης Π. Μαραβελάκη. Βασικός στόχος του ερευνητικού προγράμματος ήταν ο σχεδιασμός συνθέσεων κονιαμάτων με υδραυλικές κονίες, όπως η υδραυλική άσβεστο (NHL 3,5Z) και ο συνδυασμός μετακαολίνη με υδράσβεστο με σκοπό τη χρήση τους στην συγκόλληση πώρινων θραυσμάτων μνημείων της Ακρόπολης.

Η εργασία αυτή επικεντρώνεται κυρίως στη μελέτη για τις μηχανικές αντοχές τόσο των αμιγών δοκιμών που δημιουργήθηκαν όσο και των συγκολλημένων με τις επιλεγμένες συνθέσεις πώρινων θραυσμάτων από το μνημείο της Ακρόπολης.

Τα πειράματα και οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων, με διευθυντή τον καθηγητή Ζ. Αγιουτάντη.

Αρχικά παρουσιάζονται οι συνθέσεις των αμιγών δοκιμών που χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη φάση διερεύνησης των μηχανικών αντοχών τους και ακολουθούν τα αποτελέσματα της αντοχής τους σε διαδικασία μονοαξονικής θλίψης και σε κάμψη τεσσάρων (4) σημείων.

Στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία συγκόλλησης πετρωμάτων (ακτίτες πού σκληροί, σκληροί, μαλακοί και νεώτεροι ακτίτες) με εκείνες τις συνθέσεις που επιλέχθηκαν από την προηγούμενη πειραματική διαδικασία, θεωρούμενες ως πλέον κατάλληλες για να χρησιμοποιηθούν ως υλικό συγκόλλησης. Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αντοχής των συγκολλημένων δοκιμών σε κάμψη 4 σημείων, όπου επιτυχής στόχος ήταν η καταστροφή του συνδετικού υλικού μόνο.



## Πρόλογος

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο ερευνητικού προγράμματος με τίτλο «Συγκολλήσεις πώρινων θραυσμάτων μνημείων Ακροπόλεως» και επιστημονική υπεύθυνη την αναπληρώτρια καθηγήτρια της Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Πολυτεχνείου Κρήτης Π. Μαραβελάκη. Βασικός στόχος του ερευνητικού προγράμματος ήταν ο σχεδιασμός συνθέσεων κονιαμάτων με υδραυλικές κονίες, όπως η υδραυλική άσβεστο (NHL 3,5z) και ο συνδυασμός μετακαολίνη με υδράσβεστο με σκοπό τη χρήση τους στην συγκόλληση πώρινων θραυσμάτων μνημείων της Ακρόπολης.

Η εργασία αυτή επικεντρώνεται κυρίως στη μελέτη για τις μηχανικές αντοχές τόσο των αμιγών δοκιμών που δημιουργήθηκαν όσο και των συγκολλημένων με τις επιλεγμένες συνθέσεις πώρινων θραυσμάτων από το μνημείο της Ακρόπολης.

Τα πειράματα και οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων, με διευθυντή τον καθηγητή Ζ. Αγιουτάντη.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Καθηγητή κ. Ζαχαρία Αγιουτάντη, επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας, για την ευκαιρία που μου έδωσε να συμμετάσχω στην πειραματική αυτή διαδικασία, να χρησιμοποιήσω αυτή τη διαδικασία για την συγγραφή της διπλωματικής εργασίας, για την αμέριστη βοήθεια που μου προσέφερε και την υπομονή που έδειξε όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά την αναπληρώτρια Καθηγήτρια κ. Μαραβελάκη για τη συμμετοχή της στην εξεταστική επιτροπή και για τις συμβουλές της ώστε να είναι πιο πλήρης η παρουσίαση της εργασίας.

Επίσης ευχαριστώ θερμά την επίκουρη Καθηγήτρια κ. Μ. Σταυρουλάκη, για τη συμμετοχή της στην τριμελή εξεταστική επιτροπή και το χρόνο που διέθεσε για τη μελέτη της εργασίας αυτής.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Δρ. Χρυσή Καπριδάκη, Δρ. Αναστασία Βεργανελάκη, τον Στράτο Λιονάκη MSc και τον Στέλιο Μαυριγιαννάκη MSc για την άριστη συνεργασία που είχαμε κατά την πειραματική διαδικασία και για την μετέπειτα βοήθεια και στήριξη που έδωσαν.





## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Κεφάλαιο 1</b>	<b>1</b>
Εισαγωγή	1
Σκοπός	2
<b>Κεφάλαιο 2: ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ</b>	<b>3</b>
2.1 Τρόπος παρασκευής	3
2.2 Χρήσεις κονιαμάτων	4
2.3 Κονίες	5
2.4 Ποζολάνες	7
2.5 Αδρανή	8
2.6 Νανοϋλικά	9
2.7 Φυσικοχημικές ιδιότητες	11
<b>Κεφάλαιο 3: ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ</b>	<b>13</b>
3.1 Εισαγωγή στις Μηχανικές αντοχές κονιαμάτων	13
3.2 Δοκιμή Μονοαξονικής, ανεμπόδιστης θλίψης	13
3.3 Δοκιμή Κάμψης τεσσάρων σημείων	17
<b>Κεφάλαιο 4: ΦΥΣΙΚΟ-ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ</b>	<b>19</b>
4.1. Σύνθεση Αμιγρών Δοκιμίων	19
4.2 Πειραματική διαδικασία μονοαξονικής θλίψης	24
4.2.1 Μεθοδολογία	24
4.2.2 Αποτελέσματα αντοχής σε μονοαξονική θλίψη	24
4.3 Πειραματική διαδικασία κάμψης	30
4.2.1 Μεθοδολογία	30
4.2.2 Αποτελέσματα αντοχής σε κάμψη 4 σημείων	30
4.4 Αποτελέσματα φυσικο-χημικών μετρήσεων	32
<b>Κεφάλαιο 5: ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ</b>	<b>35</b>
5.1 Περιγραφή λίθων για συγκόλληση	35
5.2 Μεθοδολογία συγκόλλησης λίθων	35
5.3 Έλεγχος συνάφειας συγκολλημένων λίθων	38
5.4 Συμπεράσματα	39
<b>Κεφάλαιο 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>41</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ</b>	<b>43</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ</b>	<b>45</b>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I .....	47
Τεχνικά δελτία δοκιμών και κονιαμάτων .....	47
1.1 Τεχνικό δελτίο λίθου κονιάματος A2 - YNT1/C1 .....	49
1.2 Τεχνικό δελτίο κονιάματος A2-2k - YNT1/C1 .....	51
1.3 Τεχνικό δελτίο κονιάματος A3m - MLN1/C1 .....	53
1.4 Τεχνικό δελτίο κονιάματος A3mt - MLNT1/C1 .....	55
1.5 Τεχνικό δελτίο κονιάματος A5 - YXT2/C1 .....	57
1.6 Τεχνικό δελτίο κονιάματος A8 - YPT2/C1 .....	59
1.7 Τεχνικό δελτίο κονιάματος A9 - MLP1/C1 .....	61
1.8 Τεχνικό δελτίο κονιάματος A11 - YNS1/C3 .....	63
1.9. Τεχνικό δελτίο κονιάματος A12 - MLN/C3 .....	65
1.10 Τεχνικό δελτίο κονιάματος A17 - YXT1/C .....	67
1.11 Τεχνικό δελτίο κονιάματος A19 - MLP1/C1 .....	69
1.12 Τεχνικό δελτίο κονιάματος A21 - MLX1/C1 .....	71
1.13 Τεχνικό δελτίο κονιάματος Cement - CmN .....	73
 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II	
Πίνακας ελέγχου συνάφειας συγκολλημένων λίθων .....	75

## ΠΙΝΑΚΕΣ

### Κεφάλαιο 3: ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Πίνακας 1: Κατηγορίες κονιαμάτων .....	16
Πίνακας 2: Σχέση μεταξύ ελάχιστης θλιπτικής αντοχής .....	16

### Κεφάλαιο 4: ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Πίνακας 3: Αναλυτική Σύθεση Αμιγών Δοκιμών .....	20
Πίνακας 4: Συνθέσεις κονιαμάτων με <b>NHL 3.5</b> , νανο-τιτανία και νανο--πυριτία .....	22
Πίνακας 5 :Γράφημα σύνθεσης κονιαμάτων με <b>NHL 3.5</b> , νανο-τιτανία και νανο-- πυριτία .....	22
Πίνακας 6: Συνθέσεις κονιαμάτων με μετακαολίνη και ασβέστη .....	23
Πίνακας 7: Γράφημα σύνθεσης κονιαμάτων με μετακαολίνη και ασβέστη .....	23
Πίνακας 8: Σύθεση κονιαμάτων με λευκό τσιμέντο .....	23
Πίνακας 9: Αναλυτικά αποτελέσματα αντοχής αμιγών δοκιμών σε Μονοαξονική Θλίψη (σε MPa).....	24
Πίνακας 10:Γράφημα συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων αντοχής αμιγών δοκιμών σε Μονοαξονική Θλίψη (σε MPa) .....	26

Πίνακας 11: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αντοχής σε μονοαξονική θλίψη δοκιμίων με υδραυλική άσβεστο ( <b>NHL 3.5</b> ), νανο-τιτανία και νανο-πυριτία .....	27
Πίνακας 12: Γράφημα συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων αντοχής σε μονοαξονική θλίψη δοκιμίων με υδραυλική άσβεστο ( <b>NHL 3.5</b> ), νανο-τιτανία και νανο-πυριτία .....	27
Πίνακας 13: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σε μονοαξονική θλίψη δοκιμίων με υδράσβεστο και μετακαολίνη .....	28
Πίνακας 14: Γράφημα συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων αντοχής σε μονοαξονική θλίψη δοκιμίων με υδράσβεστο και μετακαολίνη .....	28
Πίνακας 15: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σε μονοαξονική θλίψη δοκιμίων με τσιμέντο .....	39
Πίνακας 16: Γράφημα συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων αντοχής σε μονοαξονική θλίψη δοκιμίων με τσιμέντο .....	39
Πίνακας 17: Αναλυτικά αποτελέσματα αντοχής αμιγών δοκιμίων σε Κάμψη Τεσσάρων Σημείων (σε MPa).....	30
Πίνακας 18: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αντοχής σε Κάμψη Τεσσάρων Σημείων δοκιμίων ανά είδος κονίας .....	31
Πίνακας 19: Γράφημα συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων αντοχής αμιγών δοκιμίων σε Κάμψη Τεσσάρων Σημείων ανά είδος κονίας.....	31
<b>Κεφάλαιο 5: ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ</b>	
Πίνακας 20: Αποτελέσματα με ακτίτες τύπου Α πολύ σκληροί .....	38
Πίνακας 21: Αποτελέσματα με ακτίτες τύπου Β σκληροί .....	39
Πίνακας 22: Αποτελέσματα με πωρόλιθους τύπου Μουνυχίας μαλακοί .....	39
Πίνακας 23: Αποτελέσματα με νεώτερους ακτίτες .....	40
<b>ΕΙΚΟΝΕΣ</b>	
<b>Κεφάλαιο 2: ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ</b>	
Εικόνα 1: 0 κύκλος της ασβέστου .....	6
Εικόνα 2: Ιπτάμενη τέφρα που χρησιμοποιείται ως ποζολάνη .....	8
Εικόνα 3: Οι κρυσταλλικές δομές του $TiO_2$ , η δομή του ανατασίου, του ρουτιλίου και του μπρουκίτη .....	11
<b>Κεφάλαιο 3: ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ</b>	
Εικόνα 4: Διάταξη συσκευής μέτρησης αντοχής σε μονοαξονική θλίψη .....	15
Εικόνα 5:Συσκευή κάμψης 4 σημείων .....	18
<b>Κεφάλαιο 5: ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ</b>	
Εικόνα 6: Συσκευή εφελκυσμού .....	37



# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

Η ανάγκη για προστασία από τα φυσικά φαινόμενα και τους εξωτερικούς κινδύνους οδήγησε τον άνθρωπο στην δημιουργία καταλυμάτων. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας τον οδήγησε από τα σπήλαια της Παλαιολιθικής εποχής στις σύγχρονες κατασκευές του σήμερα. Στην εξέλιξη των κατασκευών σημαντικό ρόλο διαδραμάτισε η ανάπτυξη των κονιαμάτων. Αποτελούνταν από κονίες, αδρανή και κατά περιπτώσεις βελτιωτικά πρόσθετα υλικά. Η σχέση συστατικών και ιδιοτήτων των τελικών μιγμάτων (πλαστικότητα, σκλήρυνση και ανάπτυξη αντοχής μετά την πήξη), προφανώς διαπιστώθηκε από την πρώιμη χρήση τους, με συνέπεια να αποτελέσει αντικείμενο διαρκούς έρευνας και αναζήτησης.

Τα πρώτα κονιάματα ήταν μίγματα πηλού και άμμου. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκαν μίγματα ασβέστη, νερού και άμμου. Η χρήση της ασβέστου, αποτέλεσε μία σημαντική τεχνολογική καινοτομία στην εξέλιξη των κονιαμάτων, καθώς απαιτούσε μία σύνθετη διαδικασία παραγωγής (εξόρυξη, θραύση, όπτηση, σβέση υλικού) και διαχείρισης του τελικού προϊόντος (μεταφορά, αποθήκευση, διακίνηση). Η χρήση ποζολανικών υλικών (αρχικά φυσικών και στη συνέχεια τεχνητών), αποτέλεσε μία ακόμη σημαντική εξέλιξη, διαμορφώνοντας νέα κατασκευαστικά κριτήρια σε σχέση με την αντοχή και την ανθεκτικότητα των υλικών στην υγρασία (Λίτινας, 2008).

Για τέσσερις χιλιετίες επομένως, η οικοδομική δραστηριότητα βασίζεται σε συγκεκριμένα δομικά υλικά, τα οποία κατά περίπτωση τροποποιούνται, διαμορφώνοντας τους διάφορους κατασκευαστικούς τύπους. Τον 19<sup>ο</sup> αιώνα ανακαλύπτεται το τσιμέντο, που αποτελεί το σημείο αναφοράς της σύγχρονης κατασκευαστικής τεχνολογίας και συντελεί στην εκτίναξη της κατασκευαστικής δραστηριότητας, ώστε να αποτελεί σήμερα βασικό πυλώνα της οικονομίας. Οι δομικοί τύποι μεταβάλλονται και δημιουργούνται νέα αρχιτεκτονικά πρότυπα που καθορίζουν τη σύγχρονη οικιστική οργάνωση. Η αναζήτηση των ιδιοτήτων των υλικών μέσω της επιστημονικής γνώσης συνεχίζεται με κύριο γνώμονα την περιβαλλοντική μέριμνα και την εξοικονόμηση πόρων και ενέργειας. Επομένως η κατανόηση των διαχρονικών αρχών που διέπουν τις ιστορικές κατασκευές είναι δυνατόν να οδηγήσει σήμερα σε έναν επαναπροσδιορισμό της σύγχρονης κατασκευαστικής αντίληψης (Πάχτα, 2011).

Τα κονιάματα ασβέστη και πηλού βρέθηκε ότι είχαν παρόμοιες ιδιότητες με τα σημερινά τσιμεντοκονιάματα ενώ σε αρκετές περιπτώσεις με την προσθήκη κάποιων πρόσθετων όπως θραυσμένο κεραμικό εμφάνιζαν καλύτερες ιδιότητες από τα τσιμεντοκονιάματα. Για αυτό τον λόγο τα ιστορικά κονιάματα έχουν σημαντική αξία τόσο στην μελέτη τους όσο και στην προσαρμογή τους στα

σύγχρονα δεδομένα για την επίτευξη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων σχετικά με την συμβατότητα των υλικών και στην βελτίωση των ιδιοτήτων τους (Πάχτα, 2011).

## **Σκοπός**

Η παρούσα εργασία είχε σαν στόχο την μελέτη και αξιολόγηση ποζολανικών και υδραυλικών υλικών για την παρασκευή κονιαμάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επεμβάσεις συντήρησης και αναστήλωσης. Η εργασία χωρίζεται σε δύο κύρια μέρη το θεωρητικό, όπου αναφέρονται βασικά στοιχεία σχετικά με τα κονιάματα και τα συστατικά που τα αποτελούν και το πειραματικό, όπου περιγράφονται οι μεθοδολογίες και τα αποτελέσματα των αναλύσεων των κονιαμάτων που παρασκευάστηκαν.

Μελετήθηκαν κονιάματα με δυο διαφορετικές κονίες, την υδραυλική άσβεστο (NHL 3,5z) και μίγμα ποζολάνης (μετακαολίνη) και ασβέστη. Ως αδρανή συστατικά χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά είδη- ασβεστολιθικής, πυριτικής και χαλαζιακής φύσης σε διαφορετικές αναλογίες. Επίσης μελετήθηκε η επίδραση προσθήκης νανοϋλικού (τιτανίας και πυριτίας) στην συμπεριφορά των κονιαμάτων.

Μετά την μελέτη των πρώτων υλών, παρασκευάστηκαν κονιάματα από διαφορετικές αναλογίες και συνδυασμούς συνδετικών υλών και αδρανών. Από τα κονιάματα αυτά παρασκευάστηκαν δοκίμια και εξετάσθηκαν οι μηχανικές ιδιότητες τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Τα κονιάματα είναι μίγματα μίας ή περισσότερων συνδετικών υλών (κονιών), νερού, λεπτόκοκκων αδρανών (<4 mm) και ενδεχομένως ειδικών προσθέτων, τα οποία έχουν αξιόλογη ρευστότητα και πλαστικότητα όταν είναι νωπά, αποκτούν δε μετά την πήξη και σκλήρυνση της συνδετικής ύλης, μηχανική αντοχή και άλλες φυσικές και χημικές ιδιότητες. Οι ιδιότητες του νωπού και του σκληρυμένου κονιάματος 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 την διάρκεια της σκλήρυνσης. Ανάλογα με το είδος της κονιάς ή των αδρανών τα κονιάματα χωρίζονται σε (Λίτινας, 2011):

1. Πηλοκονιάματα
2. Ασβεστοκονιάματα
3. Τσιμεντοκονιάματα
4. Ασβεστοτσιμεντοκονιάματα
5. Γυψοκονιάματα
6. Ασβεστογυψοκονιάματα
7. Μαρμαροκονιάματα
8. Κονιάματα ρητινών

#### 2.1 Τρόπος παρασκευής

Ο τρόπος και οι συνθήκες που παρασκευάζονται τα κονιάματα, σε συνάρτηση με τις τεχνικές εφαρμογής τους επηρεάζουν σημαντικά τις ιδιότητές τους. Η μηχανική αντοχή των κονιαμάτων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες οι κυριότεροι των οποίων είναι (Αντωνόπουλος, 2011):

- Η ποιότητα και κοκκομετρική σύνθεση της άμμου, όπου όταν η κοκκομετρική σύνθεση της οδηγεί στον περιορισμό του ποσοστού των κενών χώρων και επομένως του ποσοστού της κονιάς, λαμβάνονται ισχυρότερα κονιάματα.
- Το ποσοστό της κονιάς, όπου κονιάματα με μεγαλύτερο ποσοστό κονιάς είναι ανθεκτικότερα. Ο όρος αυτός ισχύει μέχρι το ποσοστό εκείνο που εξασφαλίζει την συμπλήρωση των κενών της άμμου.

- Το είδος της κονιάς. Η άσβεστος π.χ. χρησιμοποιείται στα διάφορα τσιμεντοκονιάματα, παρόλο που η αντοχή της μετά την σκλήρυνση είναι μικρότερη από εκείνη του τσιμέντου, καθόσον βελτιώνει μερικές βασικές τους ιδιότητες όπως:
  - 1) την αύξηση της ανθεκτικότητας του κονιάματος,
  - 2) την αύξηση της προσφύσεως του κονιάματος με τις μονάδες τοιχοποιίας καθώς και των παραγόντων που επηρεάζουν την αντοχή, έκταση και ανθεκτικότητα της προσφύσεως,
  - 3) την αύξηση της στεγανότητας των τοιχοποιιών,
  - 4) την αύξηση της πλαστικότητας και εργασιμότητας,
  - 5) την εξασφάλιση της ικανότητας για αυτογενή αποκατάσταση μικρορωγμών και
  - 6) την μείωση των εξανθημάτων των τοιχοποιιών
- Ο λόγος Νερό/Κονία (N/K). Ειδικά για τα τσιμεντοκονιάματα, η αντοχή τους αυξάνει (μέσα σε ορισμένα όρια) αντιστρόφως ανάλογα με τον λόγο N/K.
- Ο τρόπος παρασκευής και εφαρμογής του κονιάματος καθώς και οι συνθήκες που επικρατούν ή εξασφαλίζονται κατά την διάρκεια της πήξης ή της σκλήρυνσης.
- Ο εγκλωβισμένος αέρας. Η αντοχή των κονιαμάτων μειώνεται σταθερά όσο η περιεκτικότητα σε εγκλωβισμένο αέρα αυξάνει.

## 2.2 Χρήσεις κονιαμάτων

Τα κονιάματα ανάλογα με την χρήση τους διαχωρίζονται σε (Μοροπούλου, 2004):

1. Κονιάματα τοιχοποιίας (συγκόλλησης)
2. Κονιάματα επιχρισμάτων
3. Κονιάματα δαπέδων (πλήρωσης ή εξομάλυνσης)
4. Επισκευαστικά αρμοκονιάματα
5. Στεγανωτικά κονιάματα
6. Θερμομονωτικά κονιάματα
7. Πυρίμαχα κονιάματα

Τα κονιάματα που προορίζονται για τα διάφορα δομικά έργα, έχουν ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών χρήσεων, ανάλογα με τις επιδιωκόμενες ιδιότητες που



εξαρτώνται από την σύνθεση και την ποσοστιαία αναλογία των πρώτων υλών αλλά και τον τρόπο παρασκευής τους. Τα σημεία ακριβώς αυτά είναι που διαφοροποιούν τα κονιάματα από τις υπόλοιπες κατηγορίες δομικών προϊόντων. Στα κονιάματα και σε μικρότερο βαθμό στα σκυροδέματα, ο μηχανικός δεν καλείται να επιλέξει από μία κατηγορία παρεμφερών έτοιμων δομικών προϊόντων αυτό που καλύπτει τις ιδιότητες του έργου του, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις, συνεκτιμώντας πολλές παραμέτρους, σχεδιάζει ή επιλέγει το καταλληλότερο για την περίπτωση του. Είναι προφανές ότι ένα υλικό όπως είναι το κονίαμα, που προορίζεται για να συνδέσει μεταξύ τους τα διάφορα στοιχεία για δημιουργία μιας ενιαίας μονολιθικής μάζας που να αντέχει σε υψηλά φορτία, είναι απαραίτητο να αναπτύσσει ικανοποιητικές αντοχές με μεγάλο συντελεστή ασφαλείας. Συστατικά των κονιαμάτων είναι οι κονίες, οι ποζολάνες και τα αδρανή. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται σαν πρόσθετα νανο-υλικά για βελτίωση και απόκτηση νέων ιδιοτήτων (Sobolev, 2006).

### 2.3 Κονίες

Οι κονίες είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται σαν συνδετική ύλη των αδρανών υλικών. Η συνηθέστερη μορφή τους είναι στερεή αλλά υπάρχουν και σημαντικές υγρές κονίες. Η ανάμιξη τους με το νερό δημιουργεί έναν εύπλαστο πολτό, ο οποίος με την πάροδο του χρόνου σκληραίνει και αποκτά τις τελικές του αντοχές. Οι κονίες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την προέλευση τους σε φυσικές και τεχνητές, ανάλογα με την φύση τους σε οργανικές και ανόργανες, και ανάλογα με τον τρόπο πήξης και σκλήρυνσης σε αερικές και υδραυλικές.

Οι κονίες μαζί με τα αδρανή προσδίδουν τις βασικές χαρακτηριστικές φυσικοχημικές ιδιότητες στα κονιάματα, ενώ συχνά γίνεται και η προσθήκη ποζολανικών κονιών σε αυτά. Οι ποζολάνες αποτελούν κονίες, ανήκουν στην κατηγορία των υδραυλικών, οι οποίες αντιδρούν με το  $\text{Ca(OH)}_2$  και δίνουν ενώσεις με αυξημένες υδραυλικές ιδιότητες.

#### Υδραυλική άσβεστος

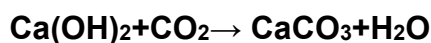
Η υδραυλική άσβεστος ή υδράσβεστος αποτελεί είδος υδραυλικής κονίας. Παρασκευάζεται με όπτηση ασβεστολιθικών πετρωμάτων σε ασβεστοουργικά καμίνια και σε θερμοκρασίες 1000-1200 °C.



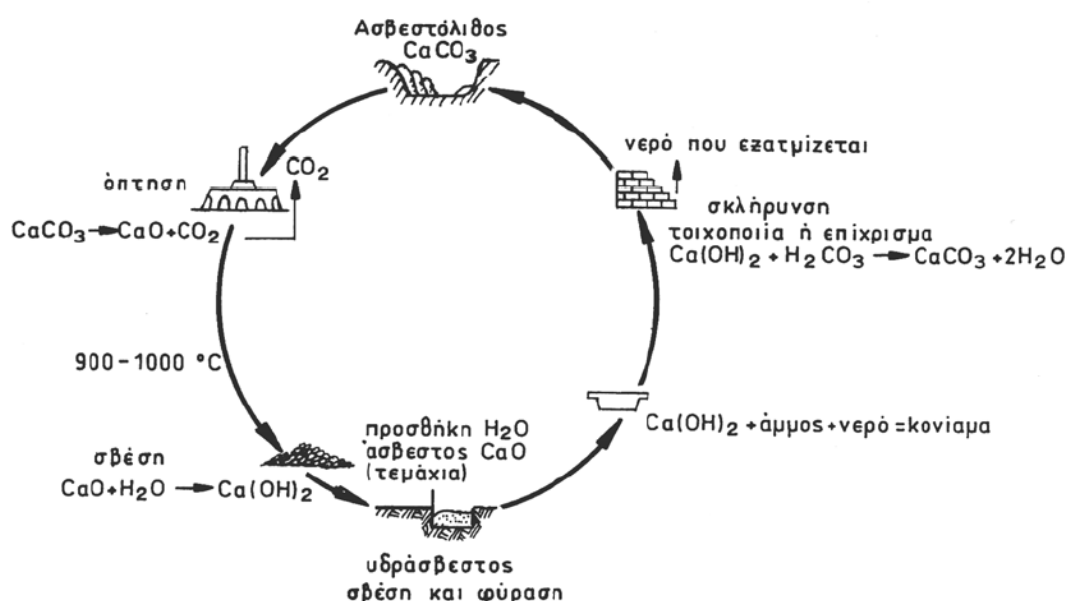
Στην συνέχεια η επόμενη διεργασία που πραγματοποιείται είναι η σβέση της υδραυλικής άσβεστος, όπου προστίθεται νερό και παραμένει για δέκα ημέρες. Να σημειωθεί ότι κατά την σβέση εκλύονται μεγάλα ποσά θερμότητας



Ο ένυδρος ασβέστης στην συνέχεια με την επίδραση του CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας μπαίνει στην διαδικασία της πήξης-σκλήρυνσης με το νερό που προκύπτει να εξατμίζεται και να παράγεται CaCO<sub>3</sub> σύμφωνα με την αντίδραση:



Όλες οι προαναφερόμενες διεργασίες συγκεντρώνονται στον κύκλο της ασβέστου, ο οποίος παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.



**Εικόνα 1:** Ο κύκλος της ασβέστου (Κορωναίος και Πουλάκος, 2006)

Η διεργασία της όπτησης συμβάλει στην αύξηση της περιεκτικότητας σε οξείδια του αργιλίου και του πυριτίου στην σύνθεση της υδρασβέστου, τα οποία αποτελούν υδραυλικούς συντελεστές της κονίας. Μελέτες για τον προσδιορισμό της υδραυλικότητας από χημικές αναλύσεις προσδιόρισαν τον δείκτη υδραυλικότητας σύμφωνα με τον τύπο:

$$i = \frac{\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3}{\% \text{CaO} + \% \text{MgO}},$$

Ενώ ο Boynton (1980) πρότεινε μια άλλη μορφή του δείκτη (Cementation Index):

$$C.I. = \frac{2,8\% \text{SiO}_2 + 1,1\% \text{Al}_2\text{O}_3 + 0,7\% \text{Fe}_2\text{O}_3}{\% \text{CaO} + 1,4\% \text{MgO}}$$

Οι υδραυλικές άσβεστοι χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τον δείκτη υδραυλικότητας: α) Υδραυλική Άσβεστο, β) Πολύ Υδραυλική Άσβεστο και γ) Υπερυδραυλική Άσβεστο.

Επίσης σημαντικός δείκτης κονιαμάτων αποτελεί ο λόγος  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ . Πρόκειται για το χημικά δεσμευμένο νερό το οποίο υπολογίζεται από την απώλεια βάρους της περιοχής 200-600 °C στην θερμοσταθμική ανάλυση, ενώ το  $\text{CO}_2$  προέρχεται από την αποσύνθεση του  $\text{CaCO}_3$  και υπολογίζεται από την απώλεια μάζας στην περιοχή πάνω από 600 °C στην θερμοσταθμική ανάλυση. Υδραυλικά χαρακτηρίζονται τα κονιάματα που έχουν λόγο  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  μικρότερο του 10 (Maravelaki-Kalaitzaki et al., 2010).

Η υδραυλική άσβεστος μαζί με άμμο δίνει κονιάματα, τα οποία έχουν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από τα κονιάματα της αερικής ασβέστου, υστερούν όμως ως προς τις αντοχές των τσιμεντοκονιαμάτων, επειδή περιέχουν σημαντικό ποσοστό ελεύθερης ασβέστου. Σε ορισμένα επισκευαστικά κονιάματα επιβάλλεται η χρήση υδραυλικής ασβέστου, κονιάματα της οποίας συνδυάζονται φυσικοχημικά και μηχανικά καλύτερα με δομικά στοιχεία (Μαραβελάκη, 2010 όπως αναφέρεται στο Λιονάκης, 2011).

## **2.4 Ποζολάνες**

Οι ποζολάνες είναι κόνιες πυριτικής ή αργιλοπυριτικής σύστασης, οι οποίες ανήκουν στην κατηγορία των υδραυλικών κονιών γιατί όταν αντιδρούν με το  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  δίνουν ενώσεις με αυξημένες υδραυλικές ιδιότητες. Κατηγοριοποιούνται σε φυσικές ποζολάνες και σε τεχνητές ανάλογα με την προέλευση τους (Καντηράνης κ.α., 2005).

Οι φυσικές ποζολάνες είναι βιομηχανικά ορυκτά κυρίως ηφαιστιογενείς, όπως η ελληνική θηραϊκή γη, η ιταλική pozzolana (η οποία έδωσε το όνομα της σ' αυτή την κατηγορία των κονιών), η γερμανική trass, κ.ά.

Οι τεχνητές ποζολάνες παρασκευάζονται από αργίλους και σχιστόλιθους με θερμική κατεργασία, δηλαδή πύρωση σε θερμοκρασίες μεταξύ 770 - 900 °C. Τεχνητές ποζολάνες είναι επίσης και οι σκουριές από υψικάμινους, όπως και η ιπτάμενη τέφρα (Εικόνα 2), η οποία είναι η σκόνη που παράγεται από την καύση λιθανθράκων και λιγνιτών σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



**Εικόνα 2:** Ιπτάμενη τέφρα που χρησιμοποιείται ως ποζολάνη

Οι ποζολάνες έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν την άσβεστο  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  που χρησιμοποιείται στην παρασκευή κονιαμάτων καθώς και της ποσότητας που αποβάλλεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου, και να μην επιτρέπουν την ανθρακοποίηση του λόγω του  $\text{CO}_2$  της ατμόσφαιρας (Στιβανάκης, 2003).

Οι ποζολάνες πήραν το όνομα τους από ένα ελληνικό αποικιακό χωριό με την ονομασία Pozzuoli που βρίσκεται κοντά στον Βεζούβιο, από το οποίο προμηθεύονταν οι Ρωμαίοι τα ποζολανικά συστατικά. Τα ποζολανικά κονιάματα τύπου ασβέστη-θραυσμένου κεραμικού χρησιμοποιήθηκαν ευρέως κατά τη Ρωμαϊκή και τη Βυζαντινή περίοδο. Τα κονιάματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν ως εξωτερικά επιχρίσματα, για την υδρο-μόνωση δεξαμενών και υδραγωγών, καθώς και για την κατασκευή ψηφιδωτών (Μαραβελάκη, 2010). Ποζολανικά κονιάματα χρησιμοποιήθηκαν για να γίνει υδατοστεγανή δεξαμενή χωρητικότητας 600 m<sup>3</sup> στο ναό της Αθηνάς στην αρχαία Κάμιρο στη Ρόδο, καθώς και στην κατασκευή του λιμανιού του Πειραιά (Ζέα). Επίσης μίγματα ασβέστη τριμμένης ηφαιστειακής γης και μαρμαρόσκονης χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα στην κατασκευή σοβάδων, ειδικών επικαλύψεων για να αποτελέσουν την επιφάνεια για ζωγραφική (στούκο) αλλά και για "συγκόλληση σπασμένων τεμαχίων μαρμάρων" (αρχαϊκός ναός Αρτέμιδος). Τα υλικά αυτά περιγράφονται από τους αρχαίους συγγραφείς Θεόφραστο, Στράβωνα και Vitruvius. Από τα πρώτα σημαντικά έργα των Ρωμαίων με την χρήση των ποζολανών είναι το αρχαίο Θέατρο Πομπηίας χωρητικότητας 20.000 θεατών (75 π.Χ.), το Κολοσσαίο (82 μ.Χ.), το Πάνθεον (123 μ.Χ.) και τα διάφορα υδραγωγεία, όπως το υδραγωγείο στη πόλη Νιμ στη Γαλλία (150 μ.Χ.) ([www.hcia.gr](http://www.hcia.gr)).

Χαρακτηριστικά παραδείγματα τεχνητών ποζολανών αποτελούν οι ιπτάμενες τέφρες και ο μετακαολίνης.

## **2.5 Αδρανή**

Αδρανή υλικά καλούνται τα υλικά που αποτελούνται από λίθινους κόκκους, είτε φυσικούς είτε από την θραύση φυσικών αδρανών. Ονομάζονται αδρανή

διότι κατά την ανάμιξη των υλικών αυτών με κονίες, δεν συμμετέχουν ενεργά στις διαδικασίες σκλήρυνσης και πήξης. Το συνηθέστερο είδος αδρανών που χρησιμοποιείται στην σύνθεση κονιαμάτων είναι η άμμος. Ανάλογα με την σύσταση της διακρίνεται σε χαλαζιακή, όταν περιέχει σε μεγάλες ποσότητες χαλαζία, ασβεστολιθική, όταν περιέχει σε μεγάλες ποσότητες ασβεστόλιθο, πυριτική όταν περιέχει ποσοστά σε  $\text{SiO}_2$  κτλ.

Η χρησιμοποίηση της άμμου στην σύνθεση των κονιαμάτων θα πρέπει να βασίζεται σε ελέγχους για την σύσταση τους. Δεν πρέπει να περιέχουν προσμίξεις που (Αντωνόπουλος, 2011):

α) να είναι ικανές να προκαλέσουν την μείωση της αντοχής και της σταθερότητας των κονιαμάτων,

β) να μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς άλλες ιδιότητες των κονιαμάτων και

γ) να μπορούν να προκαλέσουν επιβλαβείς χημικές αντιδράσεις με την συνδετική κονία.

Τα αδρανή χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους :

I) Άμμος: αδρανή με διάμετρο κόκκων από 0 έως 8 mm.

II) Γαρμπίλι: αδρανή με διάμετρο κόκκων από 8 έως 16 mm.

III) Σκύρα: αδρανή με διάμετρο κόκκων από 16 έως 64 mm.

Τα χονδρόκοκκα υλικά γαρμπίλι και σκύρα ονομάζονται χαλίκια.

Ανάλογα με την χρήση των κονιαμάτων και τις επιθυμητές ανάγκες για αντοχές επιλέγεται ο κατάλληλος συνδυασμός αδρανών με σκοπό το βέλτιστο αποτέλεσμα.

## **2.6 Νανοϋλικά**

Σύμφωνα με το European Chemicals Agency τα νανοϋλικά είναι χημικές ουσίες ή υλικά που παρασκευάζονται και χρησιμοποιούνται σε πολύ μικρή κλίμακα. Το μέγεθός τους κυμαίνεται μεταξύ 1 και 100 nm περίπου κατά τη μία τουλάχιστον διάσταση.

Τα νανοϋλικά έχουν ιδιαίτερα και πιο έκδηλα χαρακτηριστικά σε σύγκριση με το ίδιο υλικό όταν αυτό δεν έχει γνωρίσματα νανοκλίμακας. Κατά συνέπεια, οι φυσικοχημικές ιδιότητες των νανοϋλικών ενδέχεται να διαφέρουν από τις ιδιότητες της χύδην ουσίας ή των σωματιδίων μεγαλύτερου μεγέθους.

Η νανοτεχνολογία είναι ένας ταχέως αναπτυσσόμενος τομέας. Μεγάλος αριθμός προϊόντων που περιέχουν νανοϋλικά κυκλοφορεί ήδη στην ευρωπαϊκή αγορά (π.χ. μπαταρίες, επιχρίσματα, αντιβακτηριακά ενδύματα, καλλυντικά, τρόφιμα). Τα νανοϋλικά προσφέρουν τεχνικές και εμπορικές δυνατότητες αλλά ενδέχεται να παρουσιάζουν κινδύνους για το περιβάλλον και εγείρουν ανησυχίες για την υγεία και την ασφάλεια ανθρώπων και ζώων.

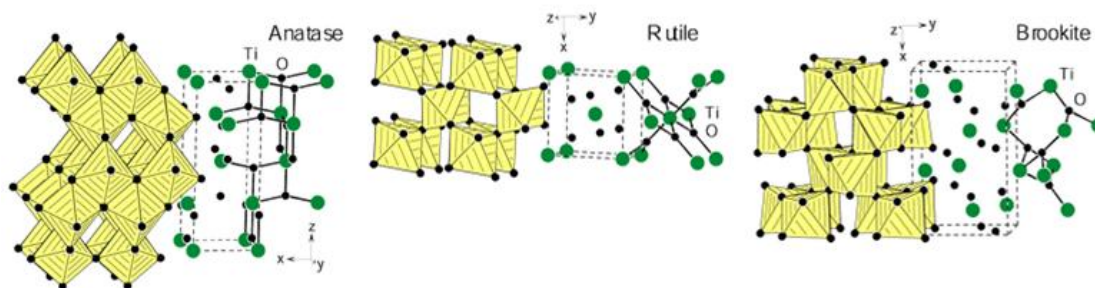
Ο συνδυασμός των συστατικών παραδοσιακών κονιαμάτων με την νανοτεχνολογία αποσκοπεί στην βελτίωση σημαντικών ιδιοτήτων των κονιαμάτων. Εκτός των άλλων έχει εργαστηριακά αποδειχθεί ότι η προσθήκη τιτανίας ( $\text{TiO}_2$ ) σε μέγεθος νανο-κλίμακας αποφέρει ταχύτερη ανθρακοποίηση των κονιαμάτων, ενώ ταυτόχρονα η δημιουργία των ασβεστοπτικών υδραυλικών συστατικών επιταχύνεται. Επίσης λόγω των φωτοκαταλυτικών ιδιοτήτων και του αντιβακτηριδιακού ρόλου που έχει η τιτανία, χρησιμοποιείται για απομάκρυνση οργανικών ρύπων από επιφάνειες εκτεθειμένες σε υπεριώδης ακτινοβολίες και την αντιμετώπιση βιολογικών φθορών (Raki et al, 2010) (Maravelaki et al, 2010) (Karatasios et al, 2009).

Η φωτοκατάλυση είναι η επιτάχυνση μιας φωτοαντίδρασης με την παρουσία ενός καταλύτη. Ο καταλύτης, ουσιαστικά, μειώνει την ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης δημιουργώντας έναν νέο μηχανισμό για την πραγματοποίηση της, χωρίς να μεταβάλλεται η ποσότητα του ίδιου.

Το διοξείδιο του τιτανίου αποτελεί έναν αποτελεσματικό φωτοκαταλύτη που χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τον καθαρισμό του νερού και του αέρα. Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκε και στα υλικά δίνοντας σε αυτά νέες ιδιότητες. Οι ιδιότητες αυτές έχουν να κάνουν με την δυνατότητα διάσπασης των ρύπων, μετατρέποντας τα σε έξυπνα υλικά αφού έχουν την ικανότητα του αυτο-καθαρισμού. Επιπλέον, χρησιμοποιείται και ως αντιβακτηριακός παράγοντας, λόγω της ισχυρής δραστηριότητας οξειδωσης και υπερυδροφιλικότητας. Το  $\text{TiO}_2$  είναι ένας εξαιρετικός ημιαγωγός καθώς δείχνει σχετικά υψηλή δραστηριότητα και χημική σταθερότητα, είναι μη τοξικός και έχει χαμηλό κόστος (Στρατάκη, 2009).

Το  $\text{TiO}_2$  είναι ένα από τα οξείδια μετάλλων μετάπτωσης και οι κρυσταλλικές δομές με τις οποίες απαντάται συνήθως είναι το ρουτίλιο (rutile) και ο ανατάσης (anatase) που είναι τετραγωνικής μορφής καθώς και ο μπρουκίτης (brookite), με ορθορομβικούς κρυστάλλους. Ο μπρουκίτης είναι μια όχι και τόσο συνηθισμένη και σταθερή δομή, σε θερμοκρασία δωματίου. Η πιο σταθερή δομή του  $\text{TiO}_2$  είναι το ρουτίλιο, όμως η χρήση της δομής του ανατάσης οδηγεί σε περισσότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα, σε χαμηλές κυρίως θερμοκρασίες. Οι δομές του  $\text{TiO}_2$ , απεικονίζονται στην Εικόνα 3. Οι διαφορές στη δομή αυτών οδηγούν σε ουσιαστικές διαφορές στη συμπεριφορά τους κατά τη φωτοκατάλυση. Η δομή του ανατάσης είναι η περισσότερο ενεργή στην φωτοκατάλυση. Αυτό οφείλεται κυρίως σε διαφορές που υπάρχουν σχετικά με

τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας της κάθε δομής, που επηρεάζουν τη φωτοκαταλυτική ενεργότητα του  $\text{TiO}_2$  (Στρατάκη, 2009)



**Εικόνα 3:** Οι κρυσταλλικές δομές του  $\text{TiO}_2$ , η δομή του ανατασίου, του ρουτιλίου και του μπρουκίτη (Riedel, 2004)

## 2.7 Φυσικο-χημικές ιδιότητες

Οι συνθέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή αμιγών δοκιμών, υπεβλήθησαν και σε περαιτέρω φυσικο-χημικές μετρήσεις. Στα κονιάματα προσδιορίστηκαν η υδατοαπορροφητικότητα με κορεσμό σε νερό, ο συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης, η διαπερατότητα σε υδρατμούς.

Τα χαρακτηριστικά αυτά, όπως η περατότητα σε υδρατμούς και η υδαταπορροφητικότητα σε νερό, καθορίζουν βασικές ιδιότητες που άπτονται της συμβατότητας του συστήματος λίθων και κονιαμάτων συγκόλλησης. Ειδικότερα οι τριχοειδείς επικοινωνούντες πόροι υλικών διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην μελέτη επίδρασης φυσικο-χημικών παραγόντων φθοράς στα πορώδη υλικά. Ο ρυθμός απορρόφησης ύδατος που συνδέεται με την δυνατότητα διακίνησής του στο συνολικό δίκτυο των πόρων δίνει σημαντικές πληροφορίες για το μέγεθος των πόρων, την ομοιογένεια του υλικού και την επιδεκτικότητά του σε διάβρωση. (Μαραβελάκη κ.α., 2011)

Ο συντελεστής περατότητας σε υδρατμούς εκφράζει τον ρυθμό με τον οποίο οι υδρατμοί διαχέονται στην μάζα ενός υλικού και σχετίζεται με την μικροδομή του. Το πειραματικό πλαίσιο για τις μετρήσεις αυτές, σύμφωνα με την πρότυπη πειραματική μεθοδολογία, περιλαμβάνει την διαμόρφωση κυλινδρικών δοκιμών τα οποία σφραγίζουν το στόμιο ενός δοχείου που περιέχει νερό, έτσι ώστε η διακίνηση των υδρατμών να γίνεται μόνο διαμέσου του πορώδους υλικού. Το σύστημα αυτό τοποθετείται σε χώρο με σταθερές συνθήκες, σχετικής υγρασίας ( $\text{RH } 30\% \pm 5\%$ ) και θερμοκρασίας ( $25^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ) ενώ μετράται σε σταθερά χρονικά διαστήματα η μεταβολή του βάρους των δοκιμών.





## Κεφάλαιο 3

### ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

#### 3.1 Εισαγωγή στις Μηχανικές αντοχές κονιαμάτων

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.

#### 3.2 Δοκιμή μονοαξονικής θλίψης

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 του σκυροδέματος ή 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 εκτέλεση 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 σκυροδέματος ή 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 (που προδιαγράφονται στους κανονισμούς τεχνολογίας σκυροδέματος και κονιαμάτων) χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρίσουν την ποιότητα του υλικού. Η αντοχή των κυβικών δοκιμίων προκύπτει μεγαλύτερη από αυτήν των κυλινδρικών λόγω της ευνοϊκής επιρροής της τριαξονικότητας που αναπτύσσεται στις περιοχές επαφής του δοκιμίου με τις πλάκες φόρτισης της μηχανής. Η επιρροή αυτή εκτείνεται σε όλο το ύψος του κυβικού δοκιμίου, ενώ στα κυλινδρικά μηδενίζεται στη μεσαία περιοχή.

Γενικά, έχει βρεθεί ότι η αντοχή αυξάνεται με το χρόνο. Για παράδειγμα σε μελέτες σχετικά με τη σκυροδέτηση βρέθηκε ότι, επειδή η ενυδάτωση του τσιμέντου συνεχίζεται για πάρα πολλά χρόνια μετά τη σκυροδέτηση, η αντοχή του σκυροδέματος με τσιμέντο Portland τύπου ΙΙ (κοινό τσιμέντο) στις 7 και 14 ημέρες είναι μικρότερη περίπου κατά 30% και 20%, αντίστοιχα, της αντοχής των 28 ημερών, ενώ στους 3 μήνες μεγαλύτερη κατά 15-20%, σε 1 χρόνο κατά 25-40% και σε 3 χρόνια κατά 50% περίπου. Μετρήσεις έχουν δείξει ότι η αντοχή 25 χρόνια μετά τη σκυροδέτηση μπορεί να είναι περίπου 2 έως και 3 φορές μεγαλύτερη από αυτήν των 28 ημερών (Κωτσοβός, 2010).

Για τη μελέτη της αντοχής σε θλίψη των κονιαμάτων, η συνήθης πρακτική είναι η εξής: αρχικά χυτεύονται δοκίμια διαστάσεων 4x4x16 cm. Αυτά υποβάλλονται σε δοκιμή κάμψης και στη συνέχεια τα κομμάτια που προκύπτουν υποβάλλονται σε δοκιμή αντοχής σε θλίψη.

Στην παρούσα έρευνα ακολουθήθηκε διαφορετική διαδικασία: τα δοκίμια που υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοαξονικής θλίψης δεν προέκυψαν από τα θραύσματα των δοκιμίων από τη δοκιμή κάμψης, αλλά χυτεύτηκαν δοκίμια διαστάσεων 5x5x5 cm αποκλειστικά για τη μέτρηση της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη.

Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη των δοκιμίων προσδιορίστηκε με την βοήθεια της διάταξης (Εικόνα 4) που αποτελείται από (Αγιουτάντης 2002):

- Συσσκευή φόρτισης: Η συσκευή πρέπει να μπορεί να επιβάλει σταθερό ρυθμό φόρτισης στο δοκίμιο και συγχρόνως να έχει τη δυνατότητα να μετρήσει ή/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.
- Χαλύβδινοι δίσκοι: Οι δίσκοι τοποθετούνται ανάμεσα στις πλάκες φόρτισης και στο δοκίμιο και αποσκοπούν στο να ελαττώσουν την

υπερβολική πλευρική παραμόρφωση του δοκιμίου λόγω δυνάμεων τριβής στα σημεία επαφής.

- Σφαιρική κεφαλή έδρασης: Η σφαιρική κεφαλή έδρασης πρέπει να βρίσκεται στο επάνω μέρος του δοκιμίου και ο άξονας της πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένος με τον άξονα του δοκιμίου και το κέντρο της πλάκας φόρτισης.

Οι διαστάσεις των κυβικών δοκιμίων, όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι 5x5x5 cm. Η διαδικασία του ακολουθήθηκε ήταν:

- Μετρήθηκαν οι διαστάσεις των δοκιμίων με μεγάλη ακρίβεια (0.001 mm)
- Για κάθε σύνθεση επαναλήφθηκε η δοκιμή σε 6 διαφορετικά δοκίμια
- Οι σφαιρικές κεφαλές λιπάνθηκαν με ορυκτέλαιο
- Το φορτίο κατά τη διάρκεια της δοκιμής επιβαλλόταν χωρίς διακοπές με σταθερό ρυθμό φόρτισης 0.5-1.0 MPa/s
- Το μέγιστο φορτίο καταγράφηκε με ακρίβεια 1%.

Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη ( $C_o$ ) υπολογίζεται, σύμφωνα με τη σχέση :

$$C_o = F_{\max} / A \text{ [MPa]},$$

όπου  $F_{\max}$  το μέγιστο φορτίο που δέχτηκε το δοκίμιο μέχρι να αστοχήσει και  $A$  η επιφάνεια του δοκιμίου  $\text{mm}^2$  (Αγιουτάντης, 2002).



**Εικόνα 4:** Διάταξη συσκευής μέτρησης αντοχής σε μονοαξονική θλίψη

Για την έναρξη της πραγματοποίησης της δοκιμής χρειάζεται να τοποθετηθεί το δοκίμιο ανάμεσα στις δύο πλάκες φόρτισης και στην συνέχεια να ξεκινήσει η φόρτιση αυτών μέχρι την τελική αστοχία του δοκιμίου. Η ίδια δοκιμή επαναλαμβάνεται για τουλάχιστον πέντε δοκίμια από κάθε σύνθεση για καλύτερα αποτελέσματα.

Η θλιπτική αντοχή είναι το ποιοτικό χαρακτηριστικό των κονιαμάτων δόμησης σύμφωνα με το οποίο αυτά κατατάσσονται σε κατηγορίες στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 998-2 (Πίνακας 1). Η κάθε κατηγορία θλιπτικής αντοχής συμβολίζεται με το γράμμα M μετά το οποίο αναγράφεται η αντοχή σε  $\text{N/mm}^2$  (MPa). Η θλιπτική αντοχή 28 ημερών προσδιορίζεται σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 1015-11.

**Πίνακας 1:** Κατηγορίες κονιαμάτων

Κατηγορία	M 1	M 2.5	M 5	M 10	M 15	M 20
ελάχιστη αντοχή σε θλίψη ( $\text{N/mm}^2$ )	1	2,5	5	10	15	20

Η σχέση μεταξύ ελάχιστης θλιπτικής αντοχής και των αναλογιών (κατ' όγκο) συστατικών προκύπτει από τον πίνακα 2, όπως δίδεται στο ΕΛΟΤ EN 998-2.

**Πίνακας 2:** Σχέση μεταξύ ελάχιστης θλιπτικής αντοχής και αναλογιών συστατικών

Ελάχιστη αντοχή σε θλίψη ( $\text{N/mm}^2$ )	Τσιμέντο	Υδράσβεστος	Αδρανή
1	0	1 – 1,5	4 – 5
1	1	1 - 2	6 – 9
2,5	1	1	6
5	1	0 – 0,5	3 – 4,5

Για τη πραγματοποίηση της δοκιμής σε θλίψη χρειάστηκε η επεξεργασία των δοκιμίων. Μετά το πέρας των 28 ημερών από την ημέρα χύτευσης των δοκιμίων, απομακρύνονται από τον θάλαμο ωρίμανσης όπου υπάρχουν σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας και ξεκινάει η διαδικασία μορφοποίησης των επιφανειών καθώς τα δοκίμια οφείλουν να εφάπτονται πλήρως στις δύο πλάκες φόρτισης. Για αυτό τον λόγο οι επιφάνειες λειαίνονται

πριν την δοκιμή και τα δοκίμια είναι έτοιμα για την δοκιμή της μηχανικής αντοχής.

### 3.3 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. (Νομικός, 2015) )

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

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

Δεδομένου ότι ο στόχος αυτής της διαδικασίας ήταν η μελέτη αντοχής συγκολλημένων δοκιμών πετρωμάτων, όπου το κονίαμα συγκόλλησης βρίσκεται στο μέσον του δοκιμίου, η κάμψη τριών σημείων είναι μη ενδεδειγμένη δοκιμή.

Έτσι, επιλέχθηκε η δοκιμή κάμψης τεσσάρων σημείων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ειδική συσκευή που κατασκευάστηκε στο Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων του ΠΚ, για τον έλεγχο των μηχανικών αντοχών τους



**Εικόνα 5:** Συσκευή Κάμψης 4 σημείων

Το σύστημα δοκιμών αντοχής σε κάμψη 4 σημείων στα σημεία φόρτισης και στήριξης αποτελείται από σφαιρικές ράβδους έδρασης (Εικόνα 5). Η απόσταση μεταξύ των σημείων φόρτισης είναι μεταβλητή όπως επίσης και μεταξύ των σημείων στήριξης. Η μέγιστη τάση  $\sigma$  που δέχεται το δοκίμιο είναι συνάρτηση της απόστασης των ράβδων έδρασης, της μέγιστης δύναμης που δέχεται το δοκίμιο και των διαστάσεων του δοκιμίου

$$\sigma_{max} = 3 \frac{P_{max} (L - L_1)}{bh^2}$$

όπου  $L$  η απόσταση μεταξύ των σημείων στήριξης (138 mm) και  $L_1$  η απόσταση μεταξύ των σημείων φόρτισης (40 mm),  $P_{max}$  η μέγιστη δύναμη που δέχεται το δοκίμιο,  $b$  το πλάτος του δοκιμίου και  $h$  το ύψος του δοκιμίου.

## Κεφάλαιο 4

### ΦΥΣΙΚΟ-ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

#### 4.1. Σύνθεση Αμιγών Δοκιμίων

Για το σχεδιασμό συγκολλητικών υλικών χρησιμοποιήθηκαν συνδυασμοί από NHL-3,5z (Y) με νανο-τιτανία (T) ή νανο-πυριτία (S) ή από υδράσβεστο (L) με μετακαολίνη (M) με ή χωρίς νανο-τιτανία ή νανο-πυριτία. Ως αδρανές υλικό χρησιμοποιήθηκαν τρία είδη άμμου: ασβεστολιθική (νταμαρίσια) (N), χαλαζιακή (X) ή πυριτική (S) σε αναλογία κονιάς προς αδρανές 1/1 ή 1/2.

Δημιουργήθηκαν αρχικά αμιγή δοκίμια διαστάσεων 5x5x5 cm και 4x4x16 cm, διαφορετικών συνθέσεων οι οποίες αποτελούνταν από:

- Κονία NHL-3,5z με νανο-τιτανία και τα 3 είδη άμμου σε αναλογίες κονία προς αδρανές 1/1 και 2/1 (κωδικοί: YNT1a, YNY1b, YNT2, YXT1, YXT2, YPT2)
- Κονία NHL-3,5z με νανο-πυριτία και ασβεστολιθική άμμο σε αναλογία κονία προς αδρανές 1/1 (YNS1)
- Κονίες υδράσβεστος με μετακαολίνη με ή χωρίς νανο-τιτανία ή νανο-πυριτία σε αναλογία κονία προς αδρανές 1/1 και ασβεστολιθική άμμο, πυριτική και χαλαζιακή άμμο (MLN1/3, MLNT1, MLNT1/3, MLX1, MLP1)
- Κονία λευκό τσιμέντο Δανίας με ασβεστολιθική άμμο σε αναλογία κονία προς αδρανές 1/1 (CmN)
- Επιπρόσθετα, υδράσβεστος με μετακαολίνη, νανο-τιτανία και λευκό τσιμέντο, καθώς και υδραυλική άσβεστος με νανο-τιτανία και λευκό τσιμέντο

Τα αμιγή δοκίμια παρέμειναν σε κατάλληλες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας ( $95 \pm 5\%$  και  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , αντίστοιχα) πριν υποβληθούν σε δοκιμασίες μηχανικών αντοχών σε μονοαξονική θλίψη και κάμψη 4 σημείων ύστερα από 28 και 84 ημέρες αντίστοιχα.

Η αναλυτική σύνθεση των αμιγών δοκιμίων, τα οποία παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία, δίνεται στον Πίνακα 3. Οι ποσότητες των συστατικών εκφράζονται σε γραμμάρια.

**Πίνακας 3 :** Αναλυτική Σύνθεση Αμιγρών Δοκιμών

ΚΩΔΙΚΟΙ			ΣΥΝΘΕΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ										
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ-ΚΟΣ ΚΩΔΙΚΟΣ	ΚΩΔΙ-ΚΟΣ ΔΟΚΙ-ΜΗΣ	Χαλαζιακ ή άμμος	Ασβεστολιθική άμμος	Πυριτική άμμος	Υδραυλική ή άσβεστος	Μετακαολίνη-ασβέστης	TiO <sub>2</sub> 5%	Λευκό τσιμέντο	SiO <sub>2</sub> 5%	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O/ ΚΟΝΙΑ	ΚΟΝΙΑ/ ΑΔΡΑΝ Η
YNT1a	A1a/C1	A1		140		140		7			108	0,77	1/1
YNT1a	A1b/C1	A2		600		600		30			450	0,75	1/1
YNT1b	A2/C1	A3		500 (250/63 + 250/125)		500		25			342	0,68	1/1
MLN1	A3m/C1	A4		540 (270/63 + 270/125)			216-324				440	0,81	1/1
YXT2	A4q2k/C1	A5	360 (125)			720		36			432	0,6	2/1
CmN	A5ace/C1	A6		400					400		191	0,48	1/1
CmN	A5bce/C1	A7		400					400		193	0,48	1/1
YPT2	A6p2k/C1	A8			350 (175/63 +175/125)	700		35			479	0,68	2/1
MLP1/3	A7mp/C3	A9			540 (270/63 + 270/125)		216-324				431	0,8	1/1
MLNT1/3	A3mt/C3	A10		500 (250/63 +250/125)			200-300	25			432	0,86	1/1
YNS1/3	A8si/C3	A11**		520 (260/63 + 260/125)		520				26	440	0,85	1/1



ΚΩΔΙΚΟΙ			ΣΥΝΘΕΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ										
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΚΩΔΙΚΟΣ	ΚΩΔΙ-ΚΟΣ ΔΟΚΙ-ΜΗΣ	Χαλαζιακ ή άμμος	Ασβεστολιθική άμμος	Πυριτική άμμος	Υδραυλική ή άσβεστος	Μετακαολίνη-ασβέστης	TiO <sub>2</sub> 5%	Λευκό τσιμέντο	SiO <sub>2</sub> 5%	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O/ ΚΟΝΙΑ	ΚΟΝΙΑ/ ΑΔΡΑΝ Η
MLNT1	A3m/C3	A12		540 (270/63 +270/125)			216-324				430	0,79	1/1
MLN1	A3m/F1	A13		600 (300/63 +300/125)			240-360				472	0,78	1/1
MLNT1	A3mt/C1a A3mt/F1a	A14 A15*		500 (250/63 +250/125)			200-300	25			410	0,82	1/1
	A3mt/F1b	A15B		500 (250/63 +250/125)			200-300	25			405	0,81	1/1
YNT1b	A2/F1	A16		580 (290/63 +290/125)			580	29			371	0,64	1/1
YXT1	A4q1k/C1	A17	520 (260/63 +260/125)				208-312				395	0,76	1/1
YXT1	A4q1k/F1	A18	280-280			560		28			385	0,687	1/1
MLP1	A7mp/C1	A19			520 (260/63 +260/125)		208-312				412	0,79	1/1
YNT2	A2- 2k/C1	A20		360		720		36			407	0,56	2/1
MLX1	A9mq/C1	A21	520 (260/63 +260/125)				208-312				395	0,76	1/1
	A3mt/C1b	A14B		500 (250/63 +250/125)			200-300	25			405	0,81	1/1

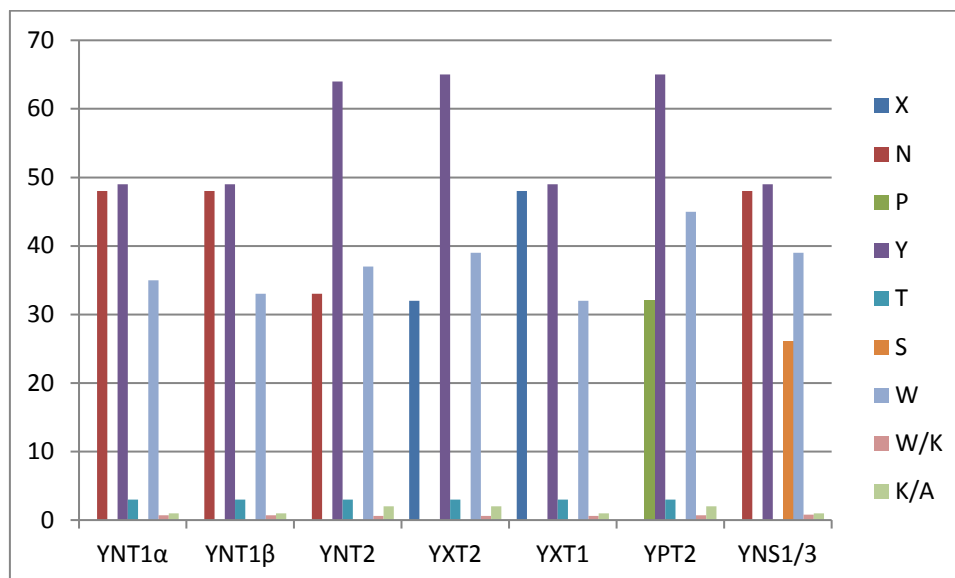
Πιο αναλυτικά οι συνθέσεις ανά είδος κονιάς δίνονται στους πίνακες 4-8. Στους πίνακες αυτούς οι ποσότητες κονιάς και αδρανών δίνονται ανά 100 γραμμάρια. Επίσης δίνεται η αναλογία νερού προς κονία καθώς και η αναλογία κονιάς προς αδρανές.

**Πίνακας 4:** Συνθέσεις κονιαμάτων με **NHL 3.5**, νανο-τιτανία και νανο-πυριτία

Κωδικός Σύνθεσης	X	N	P	Y	T	S	W	W/K	K/A
YNT1α		48		49	3		35	0,7	1
YNT1β		48		49	3		33	0,7	1
YNT2		33		64	3		37	0,6	2
YXT2	32			65	3		39	0,6	2
YXT1	48			49	3		32	0,6	1
YPT2			32	65	3		45	0,7	2
YNS1/3		48		49		26	39	0,8	1

N: Ασβεστολιθική άμμος, α:άμμος μόνο από 63  $\mu\text{m}$ , β:άμμος ίσων ποσοτήτων 63 και 125  $\mu\text{m}$ , X: Χαλαζιακή, P: Πυριτική άμμος,  
Y=NHL-3,5z, T=TiO<sub>2</sub>: νανο-τιτανία, S=SiO<sub>2</sub>: νανο-πυριτία,  
W: Νερό, K=κονία (Y), A: Αδρανή

**Πίνακας 5:** Γράφημα της σύνθεσης κονιαμάτων με **NHL 3.5**, νανο-τιτανία και νανο-πυριτία



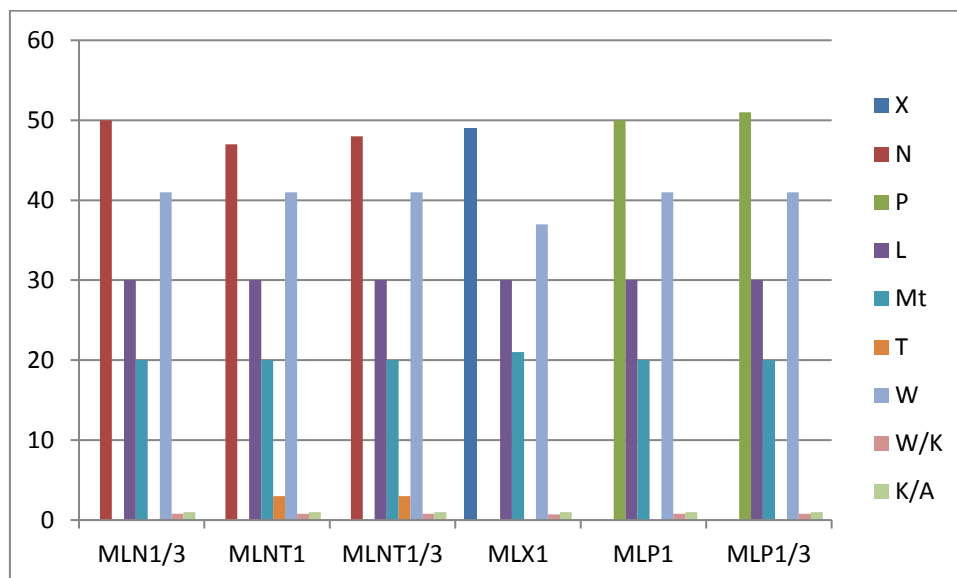
N: Ασβεστολιθική άμμος, α:άμμος μόνο από 63  $\mu\text{m}$ , β:άμμος ίσων ποσοτήτων 63 και 125  $\mu\text{m}$ , X: Χαλαζιακή, P: Πυριτική άμμος,  
Y=NHL-3,5z, T=TiO<sub>2</sub>: νανο-τιτανία, S=SiO<sub>2</sub>: νανο-πυριτία,  
W: Νερό, K=κονία (Y), A: Αδρανή

**Πίνακας 6:** Συνθέσεις κονιαμάτων με μετακαολίνη και ασβέστη

Κωδικός Σύνθεσης	X	N	P	L	Mt	T	W	W/K	K/A
<b>MLN1/3</b>		50		30	20		41	0,8	1
<b>MLNT1</b>		47		30	20	3	41	0,8	1
<b>MLNT1/3</b>		48		30	20	3	41	0,8	1
<b>MLX1</b>	49			30	21		37	0,7	1
<b>MLP1</b>			50	30	20		41	0,8	1
<b>MLP1/3</b>			51	30	20		41	0,8	1

X: Χαλαζιακή, N: Ασβεστολιθική άμμος, P: Πυριτική άμμος,  
L: Υδράσβεστος, Mt: Μετακαολίνης, T=TiO<sub>2</sub>:νανο-τιτανία,  
W: Νερό, K=κονία (L+Mt), A: Αδρανή

**Πίνακας 7:** Γράφημα της σύνθεσης κονιαμάτων με μετακαολίνη και ασβέστη



X: Χαλαζιακή, N: Ασβεστολιθική άμμος, P: Πυριτική άμμος,  
L: Υδράσβεστος, Mt: Μετακαολίνης, T=TiO<sub>2</sub>:νανο-τιτανία,  
W: Νερό, K=κονία (L+Mt), A: Αδρανή

**Πίνακας 8 :** Σύνθεση κονιαμάτων με λευκό τσιμέντο

Κωδικός Σύνθεσης	N	Cm	W	W/K	K/A
<b>CmN</b>	50	50	25	0,5	1

N: Ασβεστολιθική άμμος, Cm: Λευκό Τσιμέντο,  
W: Νερό, K=κονία (Cm), A: Αδρανή

Σημειώνεται ότι τα κονιάματα με λευκό τσιμέντο και αδρανή όμοια με τα κονιάματα που μελετήθηκαν, μετρήθηκαν μόνο για λόγους σύγκρισης.

## 4.2 Πειραματική διαδικασία μονοαξονικής θλίψης

### 4.2.1 Μεθοδολογία

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για την πειραματική διαδικασία μονοαξονικής θλίψης κατασκευάστηκαν τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο του 2010 και υποβλήθηκαν σε διαδικασία θλίψης 28 ημέρες μετά. Οι διαστάσεις τους ήταν 5x5x5 cm. Οι διαστάσεις μετρήθηκαν με ακρίβεια της τάξης του 0.001 mm. Για κάθε σύσταση υλικού η διαδικασία θλίψης επαναλήφθηκε σε έξι (6) δοκίμια.

Οι σφαιρικές κεφαλές λιπάνθηκαν με ορυκτέλαιο, το φορτίο επιβαλλόταν χωρίς διακοπές με σταθερό ρυθμό φόρτισης 0.5-1.0 MPa/s και το μέγιστο φορτίο καταγράφηκε με ακρίβεια 1%.

### 4.2.2 Αποτελέσματα αντοχής σε μονοαξονική θλίψη

Τα αρχικά αναλυτικά αποτελέσματα, με βάση την εργαστηριακή πραγματοποίηση, της αντοχής των έξι (6) ανά σύνθεση αρχικών δοκιμών στις δοκιμασίες μονοαξονικής θλίψης δίνονται από τους παρακάτω πίνακες:

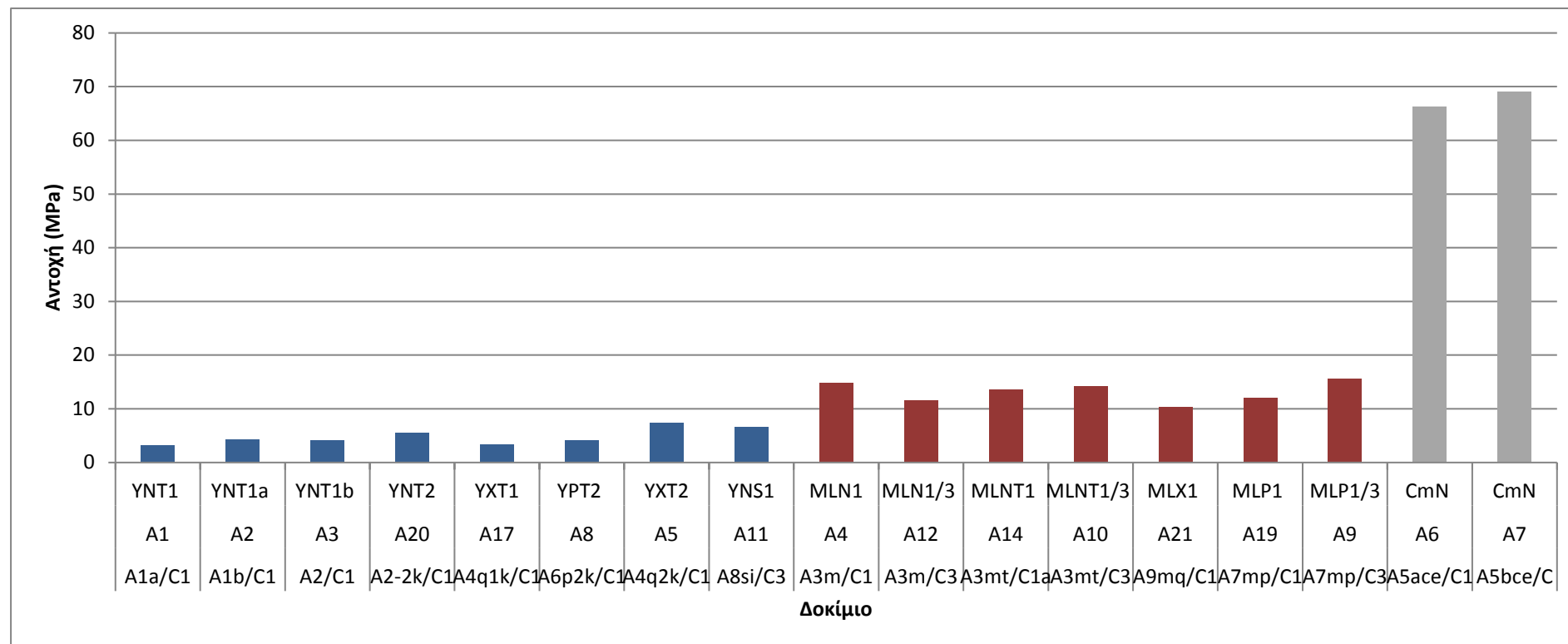
**Πίνακας 9:** Αναλυτικά αποτελέσματα αντοχής αμιγών δοκιμών σε μονοαξονική θλίψη (σε MPa)

ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ			Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	M.O.
YNT1	A1a/C1	A1	3.25						3.25
YNT1a	A1b/C1	A2	4.06	3.49	4.42	4.82	4.46	4.32	4.26
YNT1b	A2/C1	A3	4.03	3.95	4.33	4.26	4.16		4.17
MLN1	A3m/C1	A4	14.59	13.83	15.13	13.71	14.06	17.79	14.85
YXT2	A4q2k/C1	A5	6.87	6.48	7.41	7.63	7.93	7.47	7.29
CmN	A5ace/C1	A6	63.58	55.28	79.97				66.28
CmN	A5bce/C1	A7	66.20	66.43	74.40				69.01
YPT2	A6p2k/C1	A8	4.07	4.20	3.94	4.04	4.35	4.19	4.13
MLP1/3	A7mp/C3	A9	14.93	16.47	15.12	15.20	15.72	15.80	15.54
MLNT1/3	A3mt/C3	A10	14.35	13.41	13.21	14.63	14.68	14.84	14.19
YNS1	A8si/C3	A11	6.39	6.45	6.47	6.54	6.98	6.75	6.60
MLN1/3	A3m/C3	A12	11.32	9.85	12.63	13.28	10.78	12.10	13.57
MLNT1	A3mt/C1a	A14	12.51	13.00	11.00	14.94	14.98	13.10	13.56
YXT1	A4q1k/C1	A17	2.21	3.27	3.03	3.63	3.70	3.48	3.27
MLP1	A7mp/C1	A19	11.76	12.12	11.78	12.57	12.33	11.82	12.06

ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ			Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	M.O.
YNT2	A2- 2k/C1	A20	4.96	5.44	5.64	5.70	5.18	5.59	5.41
MLX1	A9mq/C1	A21	10.91	10.28	10.62	10.18	9.86	9.66	10.25
	A3mt/C1b	A14B							ΞΑΝΑ

Επισημαίνεται ότι κατά την πειραματική διαδικασία χύτευσης κονιαμάτων και διενέργειας μηχανικών αντοχών η σύνθεση με μετακαολίνη, ασβέστη και νανο- τιτανία δεν μετρήθηκε ως προς τις αντοχές σε θλίψη και κάμψη σε 28 ημέρες ωρίμανσης, καθότι και κατά τις δύο εργαστηριακές δοκιμές οι συσκευές καταγραφής δεν κατέγραψαν μετρήσεις.

**Πίνακας 10:** Γραφική παράσταση συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων αντοχής αμιγών δοκιμίων σε μοναξονική θλίψη

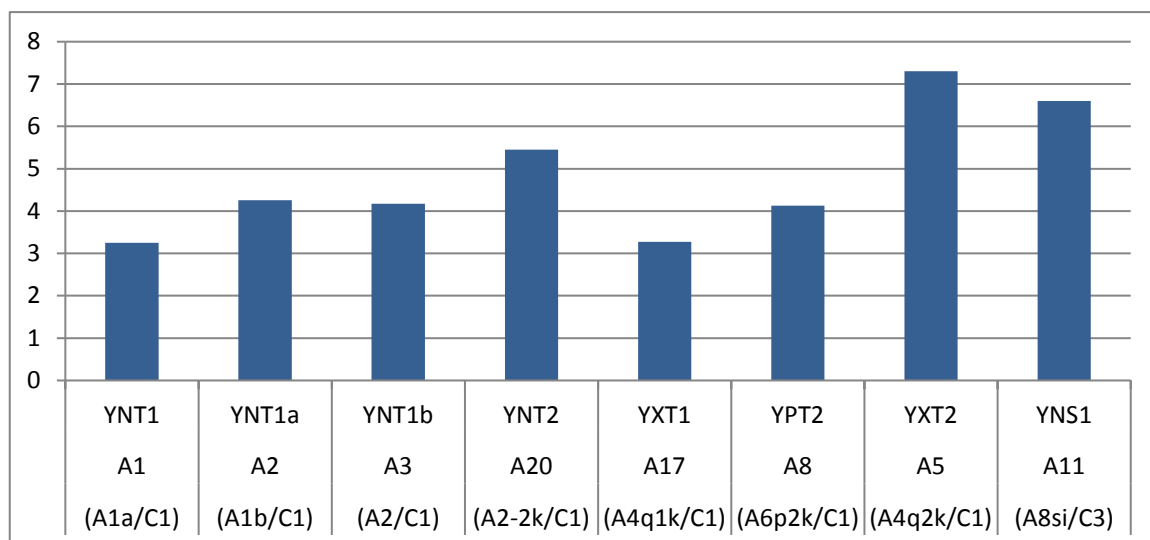


Στους Πίνακες 11 και 13 δίνονται τα τελικά συγκεντρωτικά αποτελέσματα ανά είδος κονίας.

**Πίνακας 11:** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αντοχής σε μονοαξονική θλίψη δοκιμίων με υδραυλική άσβεστο (NHL 3.5), νανο-τιτανία και νανο-πυριτία

ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ			M.O.
YNT1a	A1b/C1	A1/2	4.12 MPa
YNT1b	A2/C1	A3	4.15 MPa
YNT2	A2- 2k/C1	A20	5.41 MPa
YXT1	A4q1k/C1	A17	3.22 MPa
YPT2	A6p2k/C1	A8	4.13 MPa
YXT2	A4q2k/C1	A5	7.30 MPa
YNS1/3	A8si/C3	A11	6.60 MPa
	A3mt/C1b	A14B	ΞΑΝΑ

**Πίνακας 12:** Γράφημα συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων αντοχής σε μονοαξονική θλίψη δοκιμίων με υδραυλική άσβεστο (NHL 3.5), νανο-τιτανία και νανο-πυριτία



Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι:

1. Η διαφορά της κοκκομετρίας στην άμμο στα αμιγή δοκίμια με NHL και νανο-τιτανία YNT1a (63μm) και YNT1b (63 & 125 μm) δεν προκαλεί διαφορά στα αποτελέσματα στην αντοχή σε μονοαξονική θλίψη.

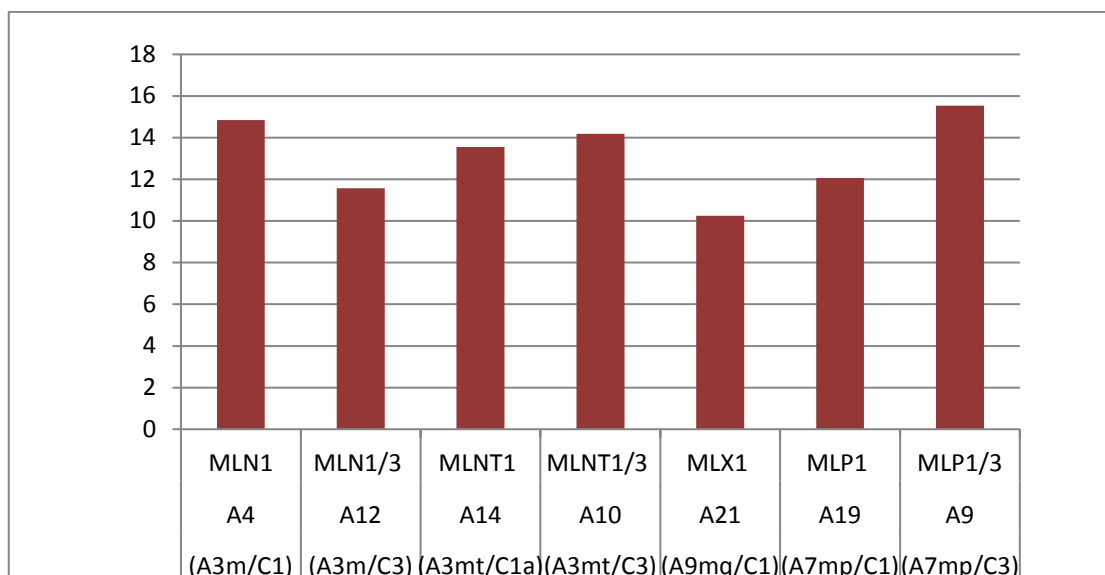
2. Ο διπλασιασμός της αναλογίας κονιάς ως προς τα αδρανή υλικά (YNT2, 2/1) έχει ως αποτέλεσμα την μεγαλύτερη αντοχή σε θλίψη.

3. Τα κονιάματα με χαλαζιακή άμμο (YXT2) παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη αντοχή στη μονοαξονική θλίψη, ακολουθούμενα από εκείνα με ασβεστολιθική άμμο και νανο-πυριτία (YNS1/3).

**Πίνακας 13:** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σε μονοαξονική θλίψη δοκιμίων με υδράσβεστο και μετακαολίνη

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ			M.O.
MLN1	A3m/C1	A4	14.85 MPa
MLN1/3	A3m/C3	A12	11.57 MPa
MLNT1	A3mt/C1a	A14	13.56 MPa
MLNT1/3	A3mt/C3	A10	14.19 MPa
MLX1	A9mq/C1	A21	10.25 MPa
MLP1	A7mp/C1	A19	12.06 MPa
MLP1/3	A7mp/C3	A9	15.54 MPa

**Πίνακας 14:** Γράφημα συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων σε μονοαξονική θλίψη δοκιμίων με υδράσβεστο και μετακαολίνη



Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι:

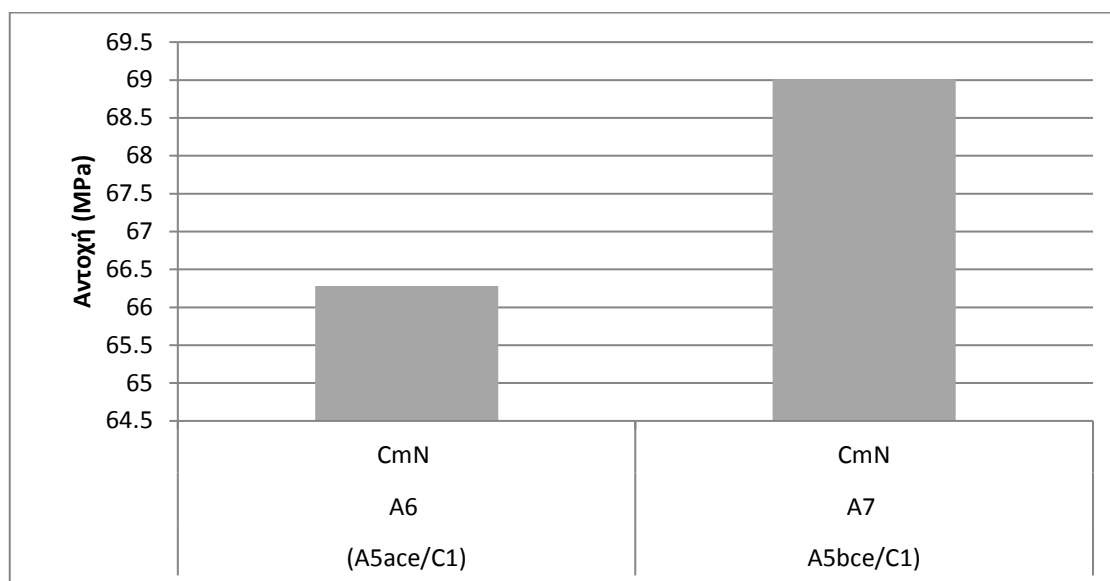


1. Από τα κονιάματα με μετακαολίνη και ασβέστη τα κονιάματα χωρίς νανο-τιτανία MLN1(14,85 MPa), παρουσιάζουν καλύτερα αποτελέσματα από εκείνα με νανο-τιτανία (MLNT1, 13,55 MPa).
2. Ωστόσο στους τρεις μήνες ωρίμανσης στα κονιάματα χωρίς νανο-τιτανία μειώνεται αυτή η αντοχή (MLN1/3 - 11,57 MPa). Αυτό το αποτέλεσμα έχει αναφερθεί στην βιβλιογραφία και από άλλους ερευνητές (Aggelakopoulou E, Bakolas A, Moropoulou A. Properties of lime–metakolin mortars for the restoration of historic masonries. Appl Clay Sci 2011;53:15–9) και αποδίδεται στην δημιουργία μικρορηγματώσεων λόγω συρρίκνωσης κατά την διάρκεια της ωρίμανσης των υλικών . Ενώ στα κονιάματα με νανο-τιτανία αυξάνεται η αντοχή τους στη μονοαξονική θλίψη στους τρεις μήνες (MLNT1/3, 14,19 MPa). Η βελτίωση αυτή αποδίδεται πιθανώς στην ύπαρξη της νανο-τιτανίας η οποία δημιουργεί ένα περιβάλλον υδρόφιλο που μειώνει τις μικρορηγματώσεις (Μαραβελάκη et al., 2011)
3. Τα κονιάματα με χαλαζιακή άμμο χωρίς νανο-τιτανία (MLX1) έχουν μικρότερη αντοχή (10,25 MPa) από τα αντίστοιχά τους με ασβεστολιθική άμμο.
4. Τα κονιάματα με πυριτική άμμο (MLP1) έχουν ικανοποιητική αντοχή (12,06 MPa) σε ένα μήνα ωρίμανσης, η οποία αυξάνει σε 15,54 MPa σε τρεις μήνες ωρίμανσης (MLP1/3).

**Πίνακας 15:** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σε μονοαξονική θλίψη δοκιμίων με τσιμέντο

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ			M.O.
CmN	A5ace/C1	A6	66.28 MPa
CmN	A5bce/C1	A7	69.01 MPa

**Πίνακας 16:** Γράφημα αποτελεσμάτων σε μονοαξονική θλίψη δοκιμών με τσιμέντο



Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα κονιάματα με λευκό τσιμέντο μετρήθηκαν μόνο για λόγους σύγκρισης.

Στο Παράρτημα Ι δίνονται τεχνικά δελτία κονιαμάτων στη δοκιμή μονοαξονικής θλίψης.

### **4.3 Πειραματική διαδικασία κάμψης**

#### **4.3.1 Μεθοδολογία**

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για την πειραματική διαδικασία κάμψης τεσσάρων σημείων κατασκευάστηκαν τους μήνες Δεκέμβριο του 2010 και Ιανουάριο 2011 και υποβλήθηκαν σε διαδικασία κάμψης 28 ημέρες μετά. Οι διαστάσεις τους ήταν σύμφωνα με τα πρωτόκολλα 4x4x16 cm. Οι διαστάσεις μετρήθηκαν με ακρίβεια της τάξης του 0.001 mm. Για κάθε σύνθεση χρησιμοποιήθηκαν τρία (3) δοκίμια.

#### **4.3.2 Αποτελέσματα**

Με βάση τα αποτελέσματα της αντοχής σε θλίψη, υποβλήθηκαν σε δοκιμή κάμψης δοκίμια με τις παρακάτω συνθέσεις: αυτά με κωδικούς YNT1b, YNT2, YXT1, MLN1, MLX1 και MLP1.

Στον Πίνακα 17 δίνονται αναλυτικά τα αποτελέσματα, με βάση την εργαστηριακή πραγματοποίηση, της αντοχής των τριών (3) ανά σύνθεση αρχικών δοκιμών στις δοκιμασίες κάμψης τεσσάρων σημείων.

**Πίνακας 17:** Αναλυτικά αποτελέσματα αντοχής αμιγών δοκιμών σε Κάμψη Τεσσάρων Σημείων (σε MPa)

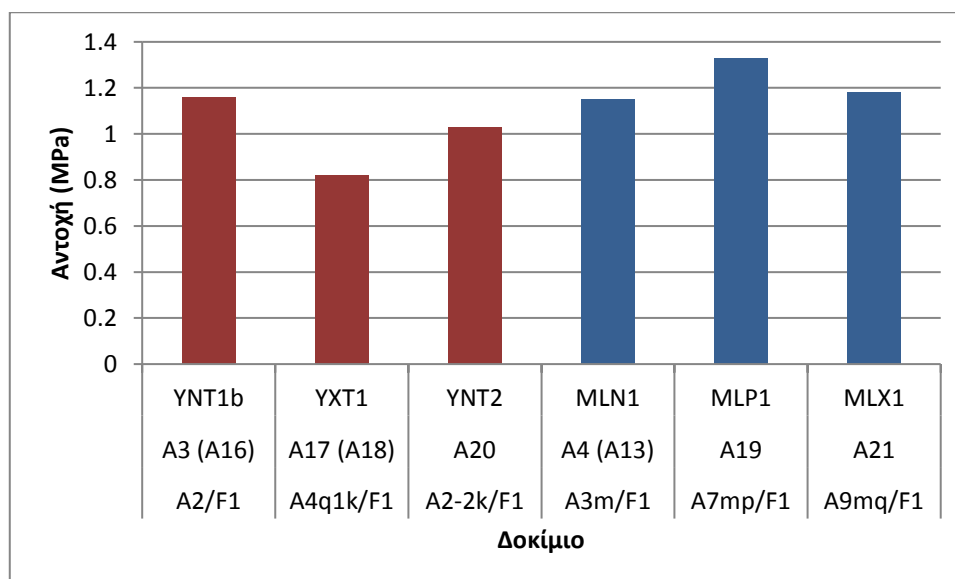
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ			δείγμα1	δείγμα 2	δείγμα 3	M.O.
YNT1b	A2/F1	A3 (A16)	1.11	1.20	1.18	<b>1.17</b>
MLN1	A3m/F1	A4 (A13)	0.99	1.19	1.27	<b>1.15</b>
YXT1	A4q1k/F1	A17 (A18)	0.79	0.95	0.73	<b>0.82</b>
MLP1	A7mp/F1	A19	1.49	1.41	1.09	<b>1.33</b>
YNT2	A2-2k/F1	A20	1.05	0.90	1.14	<b>1.03</b>
MLX1	A9mq/F1	A21	1.22	1.20	1.11	<b>1.18</b>

Στον Πίνακα 18 δίνονται τα τελικά συγκεντρωτικά αποτελέσματα ανά είδος κονίας.

**Πίνακας 18:** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αντοχής σε Κάμψη Τεσσάρων Σημείων δοκιμών ανά είδος κονίας

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ			M.O.
YNT1b	A2/F1	A3 (A16)	<b>1.17 MPa</b>
YNT2	A2-2k/F1	A20	<b>1.03 MPa</b>
YXT1	A4q1k/F1	A17 (A18)	<b>0.82 MPa</b>
MLN1	A3m/F1	A4 (A13)	<b>1.15 MPa</b>
MLX1	A9mq/F1	A21	<b>1.18 MPa</b>
MLP1	A7mp/F1	A19	<b>1.33 MPa</b>

**Πίνακας 19:** Γράφημα συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων αντοχής σε Κάμψη Τεσσάρων Σημείων δοκιμών ανά είδος κονιάς



Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι:

1. Από τα κονιάματα με υδραυλική άσβεστο (NHL) και νανο-τιτανία μεγαλύτερη αντοχή στη δοκιμή κάμψης 4 σημείων παρουσιάζουν αυτά με νταμαρίσια (ασβεστολιθικής σύστασης) άμμο σε σχέση με τα κονιάματα με χαλαζιακή άμμο.
2. Τα κονιάματα με μετακαολίνη και ασβέστη παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή από εκείνα NHL και νανο-τιτανία. Το είδος της άμμου διαφοροποιεί την αντοχή στη δοκιμή της κάμψης: η πυριτική άμμος δίνει μεγαλύτερες τιμές από την χαλαζιακή και ασβεστολιθική άμμο αντίστοιχα.

Με βάση τον συνδυασμό των αποτελεσμάτων στις δοκιμασίες αντοχών και σε σχέση με τα αποτελέσματα στις ταχύτητες υπερήχων (Μαραβελάκη κ.α., 2011) επιλέχθηκαν οι συνθέσεις με κωδικούς YNT2, YXT2, MLN1, MLNT1 και MLP1 ως υποψήφιες για περαιτέρω διερεύνηση ως υλικά συγκόλλησης. Επισημαίνεται ότι η μηχανική αντοχή των κονιαμάτων συγκόλλησης πρέπει να είναι μικρότερη από αυτήν των δομικών στοιχείων με τα οποία αυτά θα χρησιμοποιηθούν (Μαραβελάκη κ.α., 2011)

#### 4.4 Αποτελέσματα μετρήσεων φυσικο-χημικών χαρακτηριστικών

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικά αποτελέσματα των φυσικο-χημικών μετρήσεων, με βάση τα δεδομένα των μετρήσεων που παρουσιάζονται στην Έκθεση αποτελεσμάτων για το ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ με θέμα: ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΠΩΡΙΝΩΝ ΘΡΑΥΣΜΑΤΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΑΚΡΟΠΟΛΕΩΣ (Μαραβελάκη κ.α., 2011)

Ως προς την υδαταπορρόφηση των κονιαμάτων προέκυψε ότι τα κονιάματα με υδραυλική άσβεστο εκτός του YNT2, έχουν μεγαλύτερους ρυθμούς υδαταπορρόφησης από ότι τα κονιάματα με μετακαολίνη και ασβέστη.

Ως προς τον κορεσμό προκύπτει ότι το ποσοστό του απορροφούμενου νερού είναι μεγαλύτερο στο κονίαμα με μετακαολίνη, υδράσβεστο και ασβεστολιθική άμμο (MLN1). Ακολουθεί το κονίαμα με υδραυλική άσβεστο και πυριτική άμμο (YPT2), ενώ η μικρότερη τιμή καταγράφεται στο κονίαμα με υδραυλική άσβεστο και ασβεστολιθική άμμο σε αναλογία 2/1 (YNT2).

Ως προς τη μέτρηση της τριχοειδούς απορρόφησης προέκυψε ότι τα κονιάματα YNT1 και YNT2 έχουν τα μικρότερα ποσοστά τριχοειδούς απορρόφησης που είναι το ήμισυ του ολικού απορροφημένου νερού δηλώνοντας την ύπαρξη μη επικοινωνούντων πόρων.

Ως προς την τριχοειδή αναρρίχηση τα κονιάματα διαφοροποιούνται σε δύο κατηγορίες:

- σε εκείνα με μεγάλο συντελεστή υδαταπορρόφησης και μικρούς πόρους (YNT1α, YPT2, YXT2) και
- σε εκείνα με μικρότερο συντελεστή υδαταπορρόφησης και μεσαίους πόρους (MLN1, MLNT1, YNT2).

Ως προς τη διαπερατότητα σε υδρατμούς η καταγραφή της ανά ημέρα έδωσε:

- για το κονίαμα MLNT1 (μετακαολίνης-υδράσβεστος) τιμή ίση με  $0,56 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$
- για το κονίαμα YNT2 (υδραυλική άσβεστος, νανο-τιτανία, ασβεστολιθική άμμος)  $0,76 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  και
- για το κονίαμα MLP1 (μετακαολίνης, υδράσβεστος, πυριτική άμμος)  $0,44 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ .



## **Κεφάλαιο 5**

### **ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

Σκοπός αυτής του συνολικού έργου ήταν η εύρεση συγκολλητικού υλικού που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στο μνημείο της Ακρόπολης το οποίο θα επέτρεπε κατά τη μελλοντική καταπόνηση των πετρωμάτων, να καταστρέφεται το συνδετικό υλικό και όχι τα πετρώματα του μνημείου.

Με βάση, τα αποτελέσματα της των δοκιμών στα αμιγή δοκίμια, επιλέχθηκαν τα πλέον κατάλληλα ώστε να συγκολληθούν με αυτά ακτίτες αντίστοιχους με αυτούς του μνημείου καθώς και δείγματα από το μνημείο της Ακρόπολης. Στη συνέχεια το συγκολλημένο σύστημα λίθου-κονιάματος υποβλήθηκε σε μηχανική καταπόνηση κυρίως με δοκιμασία κάμψης τεσσάρων σημείων και άμεσο εφελκυσμό, ώστε να βρεθεί ποια υλικά λειτουργούν καλύτερα ως συνδετικό υλικό, προφυλάσσοντας το αρχικό πέτρωμα.

#### **5.1 Περιγραφή λίθων για συγκόλληση**

Στα μνημεία της Ακροπόλεως διακρίνονται τέσσερις κατηγορίες Πειραιϊκού λίθου (Rojas, 2003):

- Πολύ σκληρός Πειραιϊκός λίθος – υποκατηγορία Ακτίτη λίθου που συμπεριλαμβάνει λίθους ασβεστιτικής και δολομιτικής συστάσεως
- Σκληρός Πειραιϊκός λίθος – υποκατηγορία Ακτίτη λίθου
- Μαλακός Πειραιϊκός λίθος - υποκατηγορία λίθου Μουνυχίας που περιλαμβάνει λίθους μαργαϊκής συστάσεως
- Πολύ μαλακός Πειραιϊκός λίθος - υποκατηγορία λίθου Μουνυχίας

Στην πειραματική διαδικασία συγκόλλησης, χρησιμοποιήθηκαν επίσης και τμήματα νεώτερου πωρόλιθου ακτίτη τα οποία είχαν χρησιμοποιηθεί και σε μεταπτυχιακή εργασία του Δ.Π.Μ.Σ. «Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών», του ΕΜΠ (Λύγδας, 2007) με επιβλέπουσα την Ομότιμο Καθηγήτρια και μέλος της ΕΣΜΑ κ. Βασιλεία Κασελούρη-Ρηγοπούλου, τα οποία δείγματα μας παραχωρήθηκαν ευγενικά για την διεξαγωγή της έρευνας (Μαραβελάκη κ.α., 2011).

#### **5.2 Μεθοδολογία συγκόλλησης λίθων**

Για τη μελέτη της συνάφειας κονιαμάτων και λίθων χρησιμοποιήθηκαν δείγματα δοκιμίων λίθων από την Ακρόπολη (Δ) και νεώτερου πωρόλιθου ακτίτη (Κ), διαστάσεων 4x4x16 cm. Αυτά διανοίχτηκαν με κατάλληλο δρόπανο στο κέντρο και

συγκολλήθηκαν με τα καλύτερα δείγματα των αμιγών κονιαμάτων, όπως αυτά προέκυψαν με βάση και τις μηχανικές αντοχές τους στις δοκιμασίες θλίψης και κάμψης.

Επειδή στις πραγματικές συνθήκες τα κομμάτια πωρόλιθου προς συγκόλληση δεν έχουν λεία επιφάνεια, όπως αυτή που προέκυψε από τον τεμαχισμό των δειγμάτων με τροχό, οι επιφάνειες συγκόλλησης των δοκιμίων διαμορφώθηκαν κατάλληλα (Μαραβελάκη κ.α., 2011).

Η διαδικασία συγκόλλησης περιελάμβανε δύο φάσεις:

1. Εφαρμόστηκε μικρή ποσότητα μίγματος σε κάθε μία από τις δύο επιφάνειες (διαστάσεων 4x4x8 cm) που επρόκειτο να συγκολληθούν
2. Τα δοκίμια πωρολίθων τοποθετήθηκαν σε ειδικές μήτρες σε απόσταση μεταξύ τους 1 εκατοστού. Το κενό αυτό γέμισε με το κονίαμα συγκόλλησης με τη βοήθεια ράβδου η οποία εξασκούσε πίεση και με συνεχή ανακίνηση των μητρών έτσι ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία φυσαλίδων στο εσωτερικό του κονιάματος.

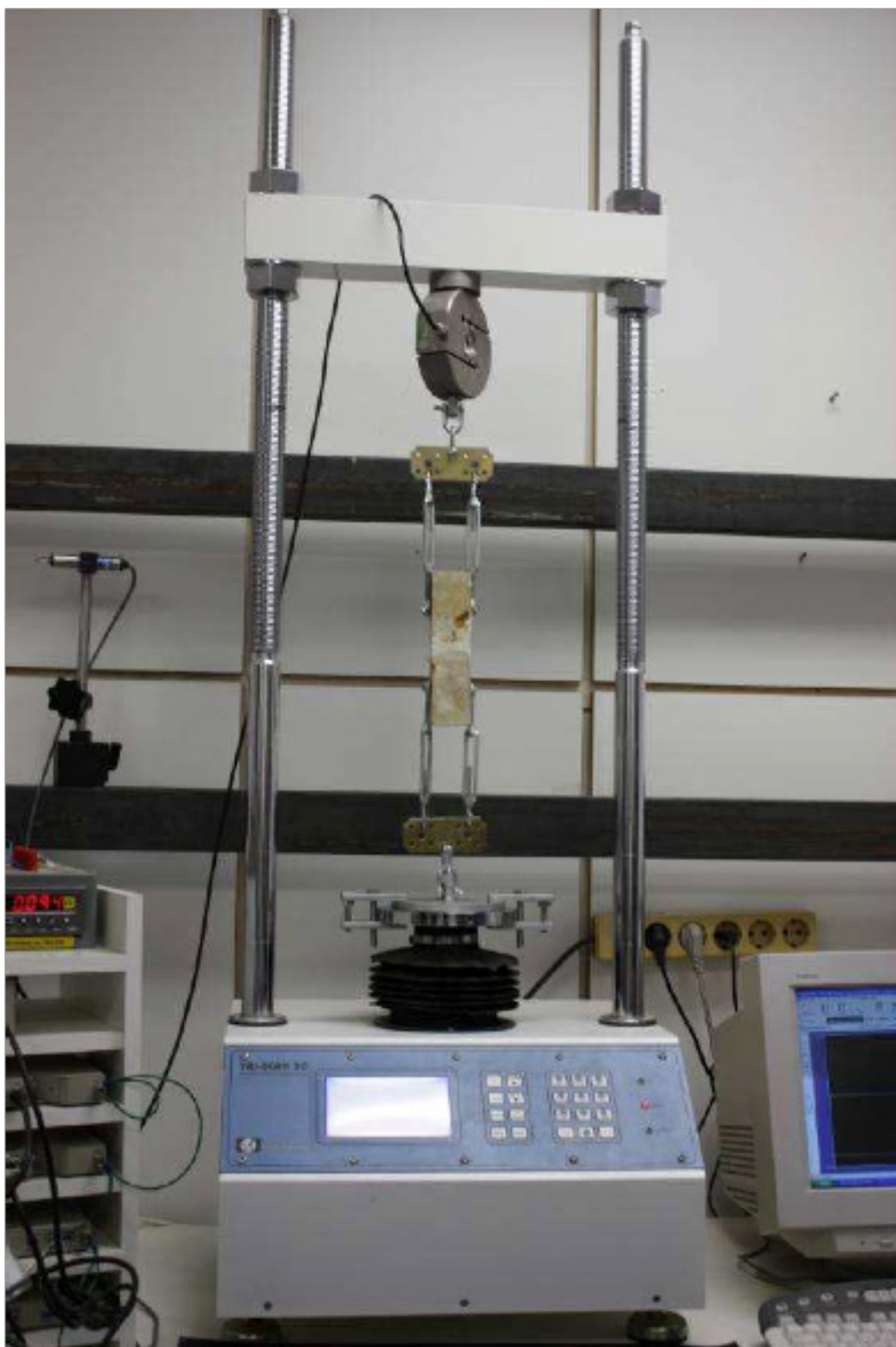
Έτσι δημιουργήθηκαν δοκίμια από πωρόλιθους και κονίαμα συγκόλλησης διαστάσεων 4x4x17 cm, τα οποία παρέμειναν σε κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας ( $T = 20 \pm 2^\circ \text{C}$ ,  $RH = 95 \pm 5\%$ ).

Στη συνέχεια ύστερα από 28 και 84 μέρες υποβλήθηκαν σε δοκιμασίες θλίψης και κάμψης τεσσάρων σημείων, με την ειδική συσκευή φόρτισης που σχεδιάστηκε στο Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων του ΠΚ, για τον έλεγχο των μηχανικών αντοχών τους. Σημειώνεται ότι επιλέχθηκε η κάμψη τεσσάρων σημείων, γιατί στη δοκιμή κάμψης τριών σημείων η ακίδα της εξωτερικής φόρτισης εφαρμόζεται στο σημείο που έγινε η συγκόλληση.

Επίσης έγινε έλεγχος της συνάφειας και της αντιστρεψιμότητας με ειδικό εφελκυσμό σε συσκευή που κατασκευάστηκε στο Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων του ΠΚ (Εικόνα 6).

Τα δοκίμια παρέμειναν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 2-3 μέρες πριν υποβληθούν στις δοκιμές ελέγχου συνάφειας των μηχανικών αντοχών τους.





**Εικόνα 6:** Συσκευή μέτρησης άμεσου εφελκυσμού συστήματος συγκολλημένων λίθων - κονιαμάτων

### 5.3 Έλεγχος συνάφειας συγκολλημένων λίθων

Στην παράγραφο αυτή δίνονται τα αποτελέσματα του ελέγχου συνάφειας στις δοκιμές αποκόλλησης του συστήματος λίθου-συνδετικού υλικού. Επιτυχής αποκόλληση θεωρείται όταν σπάει το συνδετικό υλικό και μένει ανέπαφο το τμήμα του λίθου, ανεπιτυχής όταν αποκολλούνται ή σπάνε και τμήματα του λίθου.

Στους Πίνακες 20 - 23 δίνονται τα αποτελέσματα του ελέγχου συνάφειας στις δοκιμές αποκόλλησης με τη μέθοδο της κάμψης 4 σημείων και του άμεσου εφελκυσμού των διαμορφωμένων συγκολλημένων δοκιμίων ανά είδος λίθου.

Στο Παράρτημα II παρουσιάζονται αναλυτικά με φωτογραφική τεκμηρίωση τα αποτελέσματα ανά δοκίμιο συγκολλημένου λίθου του ελέγχου συνάφειας με τη μέθοδο της κάμψης τεσσάρων σημείων και του άμεσου εφελκυσμού, καθώς και των ακανόνιστων δοκιμίων που συγκολλήθηκαν και έσπασαν με σφυρί (Μαραβελάκη κ.α., 2011)

**Πίνακας 20:** Αποτελέσματα με ακτίτες τύπου Α πολύ σκληροί

	<b>Κονίαμα</b>	<b>Λίθος</b>	<b>Δοκιμή αποκόλλησης</b>	<b>Αντοχή MPa</b>
1	MLNT1	Δ1 Α-α	εφελκυσμός	
2	MLNT1	Δ1 Α-α	εφελκυσμός	
3	MLNT1	Δ3 Α-α	κάμψη	1,21
4	MLNT1	Δ3 Α-α	κάμψη	-
5	MLNT1Cm	Δ3 Α-α	εφελκυσμός	0,303
6	MLNT1Cm	Δ1 Α-α	κάμψη	4,12
7	YNT2	Δ1 Α-α	κάμψη	2,78
8	YNT2	Δ1 Α-α	κάμψη	2,80
9	YNT2	Δ1 Α-α	κάμψη	1,58
10	YNT2	Δ1 Α-α	εφελκυσμός	0,701
11	MLN1	Δ1 Α-α	εφελκυσμός	0,092

Με βάση τα αποτελέσματα για τους πολύ σκληρούς ακτίτες τύπου Α παρατηρούμε ότι ήταν επιτυχής η συγκόλληση με:

- MLNT1 (μετακαολίνη, υδράσβεστο, νανο-τιτανία και ασβεστολιθική άμμο),
- MLN1 (μετακαολίνη, υδράσβεστο και ασβεστολιθική άμμο),
- YNT2 (υδραυλική άσβεστο, ασβεστολιθική άμμο και νανο-τιτανία) και

- MLNT1Cm (μετακαολίνη, υδράσβεστο, νανο-τιτανία, λευκό τσιμέντο και ασβεστολιθική άμμο)

**Πίνακας 21:** Αποτελέσματα με ακτίτες τύπου Β σκληροί

	<b>Κονίαμα</b>	<b>Λίθος</b>	<b>Δοκιμή αποκόλλησης</b>	<b>Αντοχή MPa</b>
12	YXT2	Δ2 Α-β	κάμψη	1,06
13	MLN1	Δ7 Α-β	κάμψη	--
14	MLPT1	Δ2 Α-β	κάμψη	--
15	YNT2	Δ2 Α-β	κάμψη	2,84
16	YNT2	Δ2 Α-β	εφελκυσμός	0,33
17	YNT2Cm	Δ2 Α-β	κάμψη	3,93

Με βάση τα αποτελέσματα για τους σκληρούς ακτίτες τύπου Β παρατηρείται ότι ήταν επιτυχής η συγκόλληση με:

- YNT2 (υδραυλική άσβεστο, ασβεστολιθική άμμο και νανο-τιτανία) και
- YXT2 (υδραυλική άσβεστο, χαλαζιακή άμμο και νανο-τιτανία),

Οι συγκολλήσεις με κονιάματα με MLN1 (μετακαολίνη, υδράσβεστο και ασβεστολιθική άμμο) και MLPT1 (μετακαολίνη, υδράσβεστο νανο-τιτανία και πυριτική άμμο) δεν λειτούργησαν, ενώ η σύνθεση YNT2Cm απέτυχε αφού έσπασε το δοκίμιο.

**Πίνακας 22:** αποτελέσματα με πωρόλιθους τύπου Μουνυχίας μαλακοί

	<b>Κονίαμα</b>	<b>Λίθος</b>	<b>Δοκιμή αποκόλλησης</b>	<b>Αντοχή MPa</b>
18	MLN1	Δ4 Μουνυχίας	κάμψη	1,07
19	MLNT1Cm	Δ4 Μουνυχίας	κάμψη	1,38
20	YNT2Cm	Δ4 Μουνυχίας	κάμψη	0,99
21	YNT2Cm	Δ4 Μουνυχίας	εφελκυσμός	0,22
22	YNT2	Δ5 Μουνυχίας	κάμψη	--
23	MLPT1	Δ.8	κάμψη	0,23
24	YXT2	Δ.8	εφελκυσμός	--

Με βάση τα αποτελέσματα για τους μαλακούς πωρόλιθους τύπου Μουνυχίας παρατηρείται ότι ήταν επιτυχής η συγκόλληση με:

- MLN1,
- MLPT1,
- YNT2Cm (υδραυλική άσβεστο, νανο-τιτανία, λευκό τσιμέντο και λατομική [ασβεστολιθική ] άμμο) και
- MLNT1Cm,

Οι συγκολλήσεις με κονιάματα με οι YNT2 και YXT2 απέτυχαν.

**Πίνακας 23:** αποτελέσματα με νεώτερους ακτίτες

	Κονίαμα	Λίθος	Δοκιμή αποκόλλησης	Αντοχή MPa
25	MLN1	K2	κάμψη	0,45
26	YXT2	K0	κάμψη	0,45
27	MLNT1	K1	κάμψη	1,86
28	MLNT1	K3	κάμψη	0,95
29	YNT2Cm	K0	κάμψη	2,36
30	MLNT1	K4	εφελкусμός	0,095
31	MLNT1	K5	εφελкусμός	0,21
32	MLNT1Cm	K8	εφελкусμός	--
33	MLPT1	K7	εφελкусμός	0,18
34	YNT2	K6	εφελкусμός	--

Με βάση τα αποτελέσματα για τους νεώτερους ακτίτες παρατηρείται ότι ήταν επιτυχής η συγκόλληση με:

- MLN1,
- MLNT1,
- MLPT1,
- YXT2,

ενώ απέτυχαν οι YNT2 και MLNT1Cm.

## Κεφάλαιο 6

### Συμπεράσματα

Αρχικά, ως προς τις φυσικοχημικές ιδιότητες, όπως και για τις μηχανικές παραμέτρους η λατομική (ασβεστολιθική) άμμος με ασβεστολιθική σύσταση σε όλα τα κονιάματα είχε συγκριτικά καλύτερες τιμές από τα δείγματα με χαλαζιακή και πυριτική άμμο και γι αυτό προτείνεται ως αδρανές υλικό.

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα των μηχανικών αντοχών των αμιγών δοκιμών διαπιστώθηκε ότι:

- Τα κονιάματα με χαλαζιακή άμμο (YXT2) παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη αντοχή στη μονοαξονική θλίψη, ακολουθούμενα από εκείνα με ασβεστολιθική άμμο και νανο-πυριτία (YNS1/3).
- Από τα κονιάματα με μετακαολίνη και ασβέστη τα MLN1, παρουσιάζουν καλύτερα αποτελέσματα από εκείνα με νανο-τιτανία (MLNT1).
- Από τα κονιάματα με NHL και νανο-τιτανία μεγαλύτερη αντοχή στη δοκιμή κάμψης 4 σημείων παρουσιάζουν αυτά με νταμαρίσια άμμο (ασβεστολιθικής σύστασης) σε σχέση με τα κονιάματα με χαλαζιακή άμμο.
- Τα κονιάματα με μετακαολίνη και ασβέστη παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή από εκείνα NHL και νανο-τιτανία. Το είδος της άμμου διαφοροποιεί την αντοχή σε κάμψη: η πυριτική άμμος δίνει μεγαλύτερες τιμές από την χαλαζιακή και ασβεστολιθική άμμο αντίστοιχα.

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα από τις μηχανικές αντοχές των συγκολλημένων δοκιμών διαπιστώνεται ότι:

#### 1. Από τις συνθέσεις με υδραυλική άσβεστο:

- Η σύνθεση που αποτελείται από υδραυλική άσβεστο, ασβεστολιθική άμμο και νανο-τιτανία (**YNT2**) χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία για τη συγκόλληση λίθων ακτίτη τύπου A και B, ενώ στην περίπτωση λίθων νεώτερου ακτίτη ξεκόλλησε το κονίαμα από το λίθο κατά τη δοκιμή άμεσου εφελκυσμού.
- Η σύνθεση που αποτελείται από υδραυλική άσβεστο, χαλαζιακή άμμο και νανο-τιτανία (**YXT2**) χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία για τη συγκόλληση λίθων ακτίτη τύπου B και νεώτερων ακτιτών.
- Η σύνθεση που αποτελείται από υδραυλική άσβεστο, ασβεστολιθική άμμο, νανο-τιτανία και λευκό τσιμέντο (**YNT2Cm**) απέτυχε σε σκληρούς και νεώτερους ακτίτες αφού έσπασε ο λίθος και όχι το κονίαμα.

## 2. Από τις συνθέσεις με μετακαολίνη και υδράσβεστο:

- Η σύνθεση που αποτελείται από μετακαολίνη, υδράσβεστο, ασβεστολιθική άμμο και νανο-τιτανία (**MLNT1**) χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία για τη συγκόλληση λίθων ακτίτη τύπου Α και Β, καθώς και νεώτερου ακτίτη.
- Η σύνθεση που αποτελείται από μετακαολίνη, υδράσβεστο και ασβεστολιθική άμμο (**MLN1**) χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία για τη συγκόλληση μαλακών πωρολίθων τύπου Μουνυχίας, καθώς και νεώτερου ακτίτη.
- Η σύνθεση που αποτελείται από μετακαολίνη, υδράσβεστο, πυριτική άμμο και νανο-τιτανία (**MLPT1**) χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία για τη συγκόλληση λίθων νεώτερου ακτίτη.
- Η σύνθεση που αποτελείται από μετακαολίνη, υδράσβεστο, ασβεστολιθική άμμο, νανο-τιτανία και λευκό τσιμέντο (**MLNT1Cm**) χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία για τη συγκόλληση λίθων σκληρού ακτίτη και μαλακών πωρολίθων τύπου Μουνυχίας, ενώ απέτυχε σε νεώτερους ακτίτες αφού έσπασε ο λίθος και όχι το κονίαμα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Αγιουτάντης Γ.Ζ., (2002). *Στοιχεία Γεωμηχανικής. Μηχανική Πετρωμάτων*, Εκδόσεις ΙΩΝ, ISBN 960-411-213-9.
- Αντωνόπουλος, Α. (2011). *Αδρανή υλικά*, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Τμ. Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα
- Boynton, R. S. (1980). *Chemistry and Technology of Lime and Limestone*, New York: Wiley
- Frias Rojas, M. and Sanchez de Rojas, M. I. (2003). *Cem. Concr. Res.*, 33 (643)
- Καντηράνης, Ν., Φιλιππίδης, Α., Βογιατζής, Δ., Δρακούλης, Α. και Καρατάσιος, Γ. (2005) Καταλληλότητα της ποζολάνης της Νισύρου για χρήση σε παραδοσιακά κονιάματα, Συνέδριο της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας & Γεωχημείας Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 2005 σελ. 113-122
- Karatasios, I., Katsiotis, M. S., Likodimos, V., Kontos, A. I., Papavassiliou, G., Falaras, and P., Kilikoglou, V. (2009), Photo-induced carbonation of lime-TiO<sub>2</sub> mortars, *Applied Catalysis B: Environmental* 95, pp 78–86
- Κωρωναίος, Α.Μ. και Παυλάκος, Γ.Ι., (2006). *Τεχνικά Υλικά*, Τόμος 1, ΕΜΠ, Αθήνα
- Κωτσοβός, Μ. (2010). *Οπλισμένο σκυρόδεμα*, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα,
- Λιονάκης Ε., (2011). *Μελέτη Σύνθεσης Κονιαμάτων με νανο-υλικά και ιπτάμενη τέφρα*, Δ.Ε.Π.Μ.Σ., Μεταπτυχιακή Εργασία, Γενικό Τμήμα, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Επίβλεψη: Π. Μαραβελάκη,
- Λίτινας, Ν., (2008). Νέες απαιτήσεις από τα αδρανή υλικά στις κατασκευές. Εμπειρία από την εφαρμογή της σήμανσης CE στην Ελλάδα, *1<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων*, ΤΕΕ, Αθήνα, 21-23 Μαΐου 2008, (σελ. 14)
- Λύγδας Σ., (2007). *Μελέτη Σύνθεσης Κονιαμάτων Συγκόλλησης Παλαιών και Νέων Πωρολίθων*, ΕΜΠ-Δ..Π.Μ.Σ. «Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών», Μεταπτυχιακή Εργασία, Επίβλεψη: Β. Κασελούρη – Ρηγοπούλου, Καθηγήτρια ΕΜΠ, Αθήνα, Φεβρουάριος 2007
- Μαραβελάκη-Καλαιτζάκη, (2010). Ν. Τα υλικά στην Αρχιτεκτονική: Κονιάματα. (όπως αναφέρεται στο Λιονάκης, Ε. 2011)
- Maravelaki-Kalaitzaki, P., Galanos, A., and Kallithrakas-Kontos, N. (2010). Physico-chemical characterization of mortars as a tool in studying specific hydraulic components: application to the study of ancient Naxos aqueduct, *Materials Science & Processing*, pp 335-348
- Μαραβελάκη Π. και Ερευνητική Ομάδα, (2011). *Συγκολλήσεις πύρινων θραυσμάτων μνημείων Ακροπόλεως: Έκθεση Αποτελεσμάτων*, Χανιά.
- Μοροπούλου, Α. (2004). *Δομικά Υλικά* (κονίες, ιστορικά κονιάματα), ΕΜΠ (open courses)

Νομικός, Π. (2015). *Εισαγωγή στη μηχανική των πετρωμάτων*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα:Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/3983>, ανακτήθηκε από [https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3990/1/08\\_chapter7.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3990/1/08_chapter7.pdf)

Πάχτα, Β., (2011). *Μελέτη Εξέλιξης Τεχνολογίας Κονιαμάτων*, Δ.Δ.,Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Α.Π.Θ.

Raki, L., Beaudoin, J., Alizadeh, R., Makar. J. and Sato, T., (2010). Cement and Concrete Nanoscience and Nanotechnology, *Nanocomposites of Polymers and Inorganic Particles*, pp 918-942

Riedel, R. (2004). *Handbook of Ceramic hard materials*, vol. I, Wiley-VCH

Ρόζος, Δ. (2007). *Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας Ι*, Ηλεκτρονικές διαλέξεις, Ε.Μ.Π.

Sobolev, K., Flores, I., Hermosillo, R., and Torres-Martínez, L.M., (2006), Nanomaterials and nanotechnology for high performance cement composites, *Nanotechnology of Concrete: Recent Developments and Future Perspectives*, Denver, USA

Στιβανάκης, Β. Ε. (2003). *Έρευνα και ανάπτυξη νέων δομικών υλικών από στερεά παραπροϊόντα λιγνιτικής καύσης ενεργειακού κέντρου Μεγαλόπολης*, Δ.Δ., Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών

Στρατάκη, Ν. (2009). *Σύνθεση νανοκρυσταλλικών ημιαγωγίμων οξειδίων, χαρακτηρισμός και μελέτη των εφαρμογών τους στη φωτοκαταλυτική και φωτοηλεκτροχημική διάσπαση του ύδατος*, Δ.Δ., Γενικό Τμήμα, Πανεπιστήμιο Πατρών



# **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ**



# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΤΕΧΝΙΚΑ ΔΕΛΤΙΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΣΕ  
ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ



	<p><b>Πολυτεχνείο Κρήτης</b> Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων</p>		<p><b><u>ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ – PROJECT TITLE</u></b></p>
<p><b>τηλ: (30-28210) 37654/37644</b> fax : (30-28210) 69554/37880 email: zach@mred.tuc.gr, smaurig@mred.tuc.gr</p>			
			
<p>Αποψη Δοκιμίου πριν τη δοκιμή Specimen before test</p>			<p>Αποψη Δοκιμίου μετά τη δοκιμή Specimen after test</p>
<p>Εκτέλεση δοκιμής Μονοαξονικής Θλίψης με ταυτόχρονη μέτρηση (Strain Gages) του Μέτρου Ελαστικότητας (E) και του Λόγου Poisson (<math>\nu</math>) – Uniaxial Compression test with determination of Young's Modulus (E) and Poisson's ratio (<math>\nu</math>).</p>			

<b><u>Γεώτρηση – Borehole:</u></b>		<b><u>Βάθος - Depth (m):</u></b>	
<b><u>Εργαστηριακός Αριθμός Δοκιμίου:</u></b>	A2 – YNT1/C1		

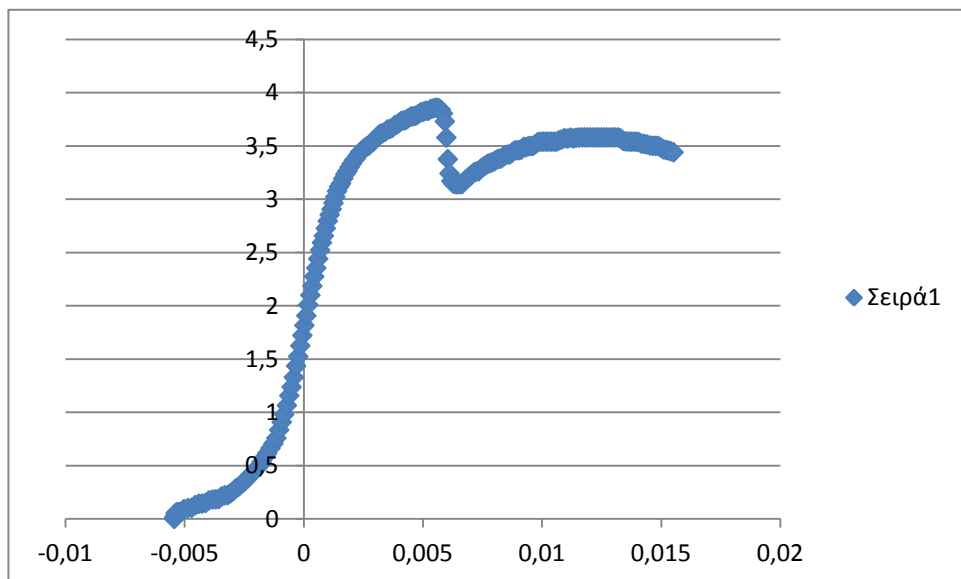
**Πολυτεχνείο Κρήτης**  
**Εργαστήριο Μηχανικής**  
**Πετρωμάτων**  
**τηλ: (30-28210) 37654/37644**  
**fax : (30-28210) 69554/37880**  
**email: zach@mred.tuc.gr,**  
**smaurig@mred.tuc.gr**

**ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΒΡΑΧΩΛΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΗ**  
**ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ & ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ POISSON**  
**UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH OF INTACT ROCK CORE SPICEMENS**  
**WITH DETERMINATION OF MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO**

**Καταγραφή μετρήσεων με χρήση (Datalogging by):** Ηλεκτρομηκυνσιομέτρων (Strain Gages), Pressure Transducer, LVDT & καταγραφικού (Data Logger).


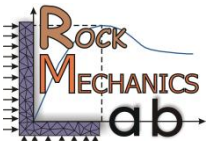
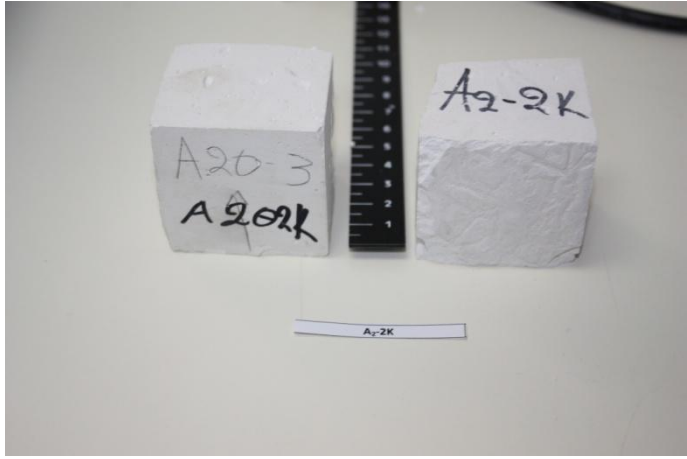
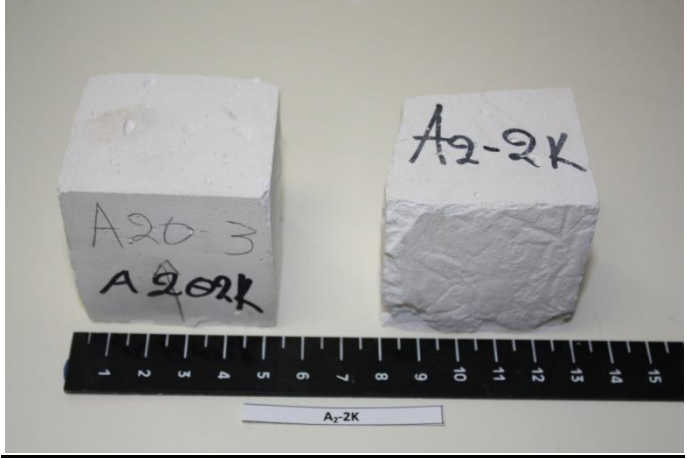
**Προδιαγραφές εκτέλεσης (Standards used):** ASTM D 2938 – 95 (Reapproved 2002) & ISRM Suggested Method for determining Deformability of rock materials in Uniaxial Compression, 1981.

**ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**  
**ΔΟΚΙΜΙΟΥ, ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**  
**LITHOLOGICAL DESCRIPTIONS, REMARKS:**



Καμπύλη τάσης- παραμόρφωσης (stress-strain)

ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN HEIGHT (mm):	50
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN DIAMETER (mm):	
ΛΟΓΟΣ ΥΨΟΥΣ/ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ HEIGHT/DIAMETER RATIO (H/D):	
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN AREA (mm <sup>2</sup> ):	2500
ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ BULK DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	
ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN MOISTURE CONTENT (%):	-
ΞΗΡΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ DRY DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	-
ΠΟΡΩΔΕΣ POROSITY (%):	-
ΤΥΠΟΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ TYPE OF LOAD MACHINE:	Automatic, hydraulic machine with 1600 kN capacity.
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST TEMPERATURE (°C):	23
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST DURATION (sec):	207
ΡΥΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ LOAD RATE (kN/sec):	0,05
ΔΥΝΑΜΗ ΘΡΑΥΣΗΣ FAILURE LOAD (kN):	9.64
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ – UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH (MPa):	3.85
ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (ΣΥΓΚΛΙΣΗ ΕΔΡΩΝ ΔΟΚΙΜΙΟΥ) AXIAL DEFORMATION (FROM LOAD PLATENS) (%):	
ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ TANGENTIAL MODULUS OF ELASTICITY E (using strain gages) (GPa):	(50%)
ΛΟΓΟΣ POISSON POISSON RATIO (ν):	

	<b>Πολυτεχνείο Κρήτης</b> Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων		<b><u>ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ – PROJECT TITLE</u></b>
<b>τηλ: (30-28210) 37654/37644</b> <b>fax : (30-28210) 69554/37880</b> <b>email: zach@mred.tuc.gr, smaurig@mred.tuc.gr</b>			
			
Άποψη Δοκιμίου πριν τη δοκιμή Specimen before test			Άποψη Δοκιμίου μετά τη δοκιμή Specimen after test
Εκτέλεση δοκιμής Μονοαξονικής Θλίψης με ταυτόχρονη μέτρηση (Strain Gages) του Μέτρου Ελαστικότητας (E) και του Λόγου Poisson (ν) – Uniaxial Compression test with determination of Young's Modulus (E) and Poisson's ratio (ν).			

<b><u>Γεώτρηση – Borehole:</u></b>		<b><u>Βάθος - Depth (m):</u></b>	
<b><u>Εργαστηριακός Αριθμός</u></b>	A2-2k – YNT2/C1		
<b><u>Δοκιμίου:</u></b>			

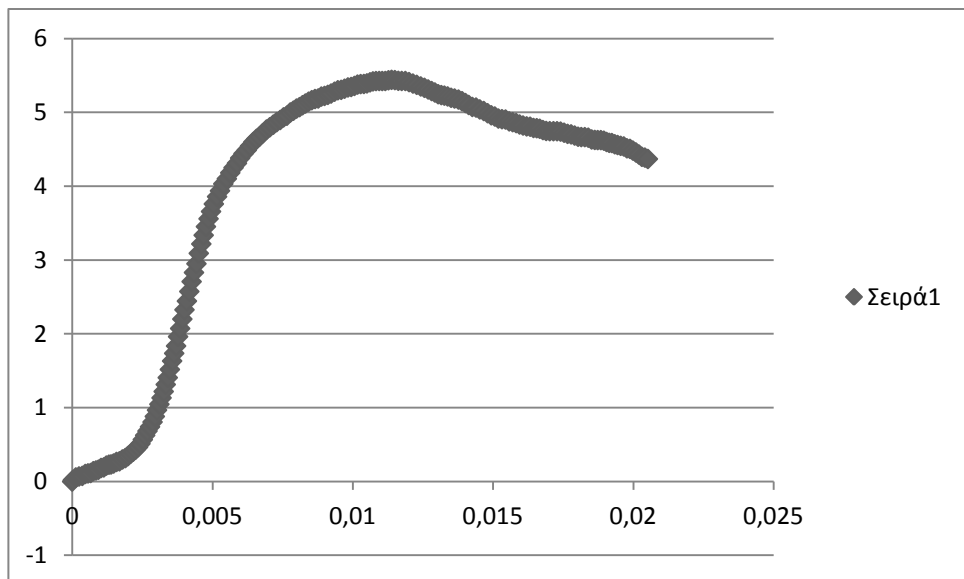
**Πολυτεχνείο Κρήτης**  
Εργαστήριο Μηχανικής  
Πετρωμάτων  
τηλ: (30-28210) 37654/37644  
fax : (30-28210) 69554/37880  
email: zach@mred.tuc.gr,  
smaurig@mred.tuc.gr

**ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ & ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ POISSON**  
**UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH OF INTACT ROCK CORE SPECIMENS WITH DETERMINATION OF MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO**

**Καταγραφή μετρήσεων με γρήση (Datalogging by):** Ηλεκτρομηκυνσιομέτρων (Strain Gages), Pressure Transducer, LVDT & καταγραφικού (Data Logger).

**Προδιαγραφές εκτέλεσης (Standards used):** ASTM D 2938 – 95 (Reapproved 2002) & ISRM Suggested Method for determining Deformability of rock materials in Uniaxial Compression, 1981.


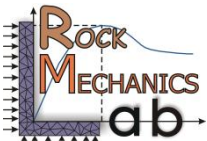
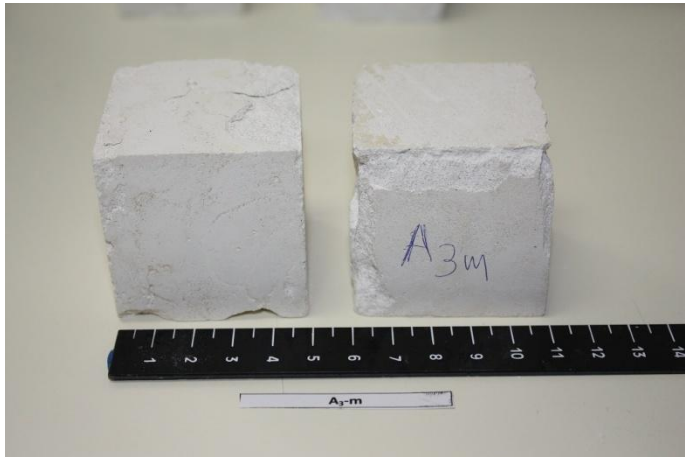
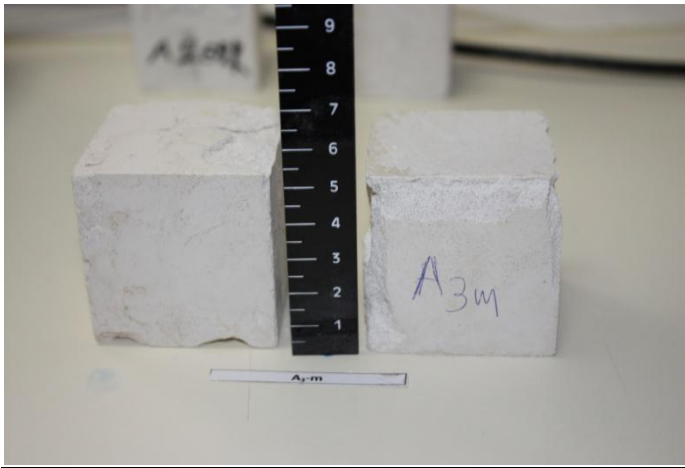
**ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**  
**ΔΟΚΙΜΙΟΥ, ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**  
**LITHOLOGICAL DESCRIPTIONS, REMARKS:**



Καμπύλη τάσης- παραμόρφωσης (stress-strain)

ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN HEIGHT (mm):	50
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN DIAMETER (mm):	
ΛΟΓΟΣ ΥΨΟΥΣ/ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ HEIGHT/DIAMETER RATIO (H/D):	
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN AREA (mm <sup>2</sup> ):	2500
ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ BULK DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	
ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN MOISTURE CONTENT (%):	-
ΞΗΡΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ DRY DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	-
ΠΟΡΩΔΕΣ POROSITY (%):	-
ΤΥΠΟΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ TYPE OF LOAD MACHINE:	Automatic, hydraulic machine with 1600 kN capacity.
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST TEMPERATURE (°C):	23
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST DURATION (sec):	189
ΡΥΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ LOAD RATE (kN/sec):	0,07
ΔΥΝΑΜΗ ΘΡΑΥΣΗΣ FAILURE LOAD (kN):	13.6
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ – UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH (MPa):	5.44
ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (ΣΥΓΚΛΙΣΗ ΕΔΡΩΝ ΔΟΚΙΜΙΟΥ) AXIAL DEFORMATION (FROM LOAD PLATENS) (%):	
ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ TANGENTIAL MODULUS OF ELASTICITY E (using strain gages) (GPa):	1.5074 (50%)
ΛΟΓΟΣ POISSON POISSON RATIO (ν):	



	<p><b>Πολυτεχνείο Κρήτης</b> Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων</p>		<p><b><u>ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ – PROJECT TITLE</u></b></p>
<p><b>τηλ: (30-28210) 37654/37644</b>  <b>fax : (30-28210) 69554/37880</b>  <b>email: zach@mred.tuc.gr, smaurig@mred.tuc.gr</b></p>			
			
<p>Άποψη Δοκιμίου πριν τη δοκιμή Specimen before test</p>			<p>Άποψη Δοκιμίου μετά τη δοκιμή Specimen after test</p>
<p>Εκτέλεση δοκιμής Μονοαξονικής Θλίψης με ταυτόχρονη μέτρηση (Strain Gages) του Μέτρου Ελαστικότητας (E) και του Λόγου Poisson (ν) – Uniaxial Compression test with determination of Young's Modulus (E) and Poisson's ratio (ν).</p>			

<b><u>Γεώτρηση – Borehole:</u></b>		<b><u>Βάθος - Depth (m):</u></b>	
<b><u>Εργαστηριακός Αριθμός Δοκιμίου:</u></b>	A3m MLN1/C1		

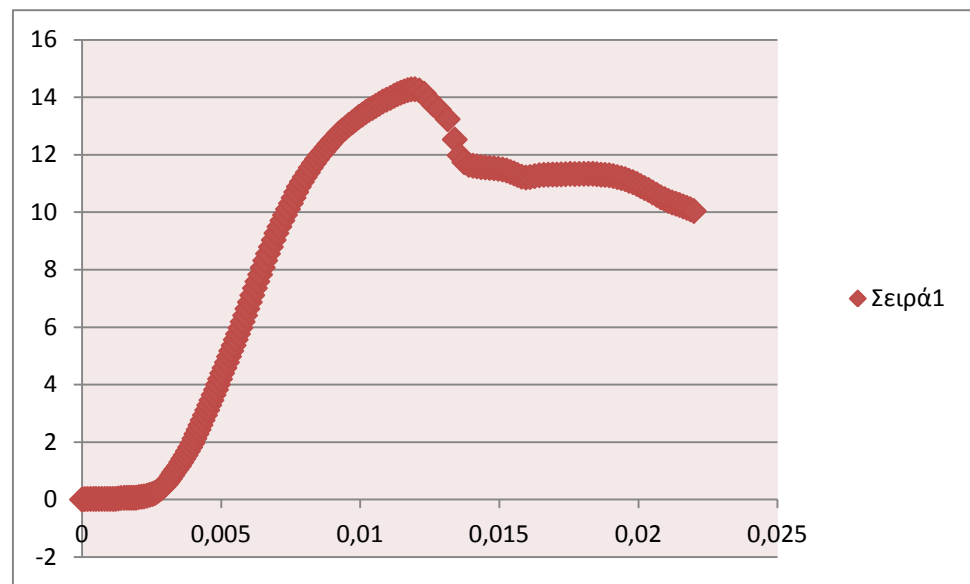
**Πολυτεχνείο Κρήτης**  
Εργαστήριο Μηχανικής  
Πετρωμάτων  
τηλ: (30-28210) 37654/37644  
fax : (30-28210) 69554/37880  
email: zach@mred.tuc.gr,  
smaurig@mred.tuc.gr

**ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ & ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ POISSON**  
**UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH OF INTACT ROCK CORE SPICEMENS WITH DETERMINATION OF MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO**

**Καταγραφή μετρήσεων με χρήση (Datalogging by):** Ηλεκτρομηκυνσιομέτρων (Strain Gages), Pressure Transducer, LVDT & καταγραφικού (Data Logger).

**Προδιαγραφές εκτέλεσης (Standards used):** ASTM D 2938 – 95 (Reapproved 2002) & ISRM Suggested Method for determining Deformability of rock materials in Uniaxial Compression, 1981.

**ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**  
**ΔΟΚΙΜΙΟΥ, ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**  
**LITHOLOGICAL DESCRIPTIONS, REMARKS:**



Καμπύλη τάσης- παραμόρφωσης (stress-strain)

ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN HEIGHT (mm):	50
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN DIAMETER (mm):	
ΛΟΓΟΣ ΥΨΟΥΣ/ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ HEIGHT/DIAMETER RATIO (H/D):	
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN AREA (mm <sup>2</sup> ):	2500
ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ BULK DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	
ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN MOISTURE CONTENT (%):	-
ΞΗΡΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ DRY DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	-
ΠΟΡΩΔΕΣ POROSITY (%):	-
ΤΥΠΟΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ TYPE OF LOAD MACHINE:	Automatic, hydraulic machine with 1600 kN capacity.
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST TEMPERATURE (°C):	23
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST DURATION (sec):	188
ΡΥΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ LOAD RATE (kN/sec):	0,19
ΔΥΝΑΜΗ ΘΡΑΥΣΗΣ FAILURE LOAD (kN):	35.69
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ – UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH (MPa):	14.28
ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (ΣΥΓΚΛΙΣΗ ΕΔΡΩΝ ΔΟΚΙΜΙΟΥ) AXIAL DEFORMATION (FROM LOAD PLATENS) (%):	
ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ TANGENTIAL MODULUS OF ELASTICITY E (using strain gages) (GPa):	2.123(50%)
ΛΟΓΟΣ POISSON POISSON RATIO (ν):	

	<b>Πολυτεχνείο Κρήτης</b> Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων		<b><u>ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ – PROJECT TITLE</u></b>
<b>τηλ: (30-28210) 37654/37644</b> <b>fax : (30-28210) 69554/37880</b> <b>email: zach@mred.tuc.gr, smaurig@mred.tuc.gr</b>			
			
Άποψη Δοκιμίου πριν τη δοκιμή Specimen before test			Άποψη Δοκιμίου μετά τη δοκιμή Specimen after test
Εκτέλεση δοκιμής Μονοαξονικής Θλίψης με ταυτόχρονη μέτρηση (Strain Gages) του Μέτρου Ελαστικότητας (E) και του Λόγου Poisson (ν) – Uniaxial Compression test with determination of Young's Modulus (E) and Poisson's ratio (ν).			

<b><u>Γεώτρηση – Borehole:</u></b>		<b><u>Βάθος - Depth (m):</u></b>	
<b><u>Εργαστηριακός Αριθμός</u></b>	A3mt- MLNT1/C1		
<b><u>Δοκιμίων:</u></b>			

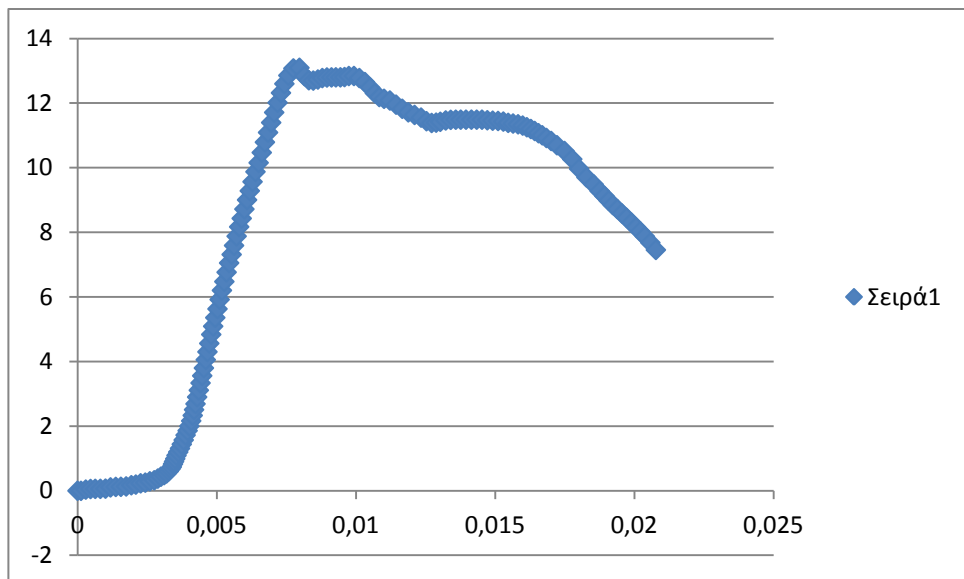
**Πολυτεχνείο Κρήτης**  
Εργαστήριο Μηχανικής  
Πετρωμάτων  
τηλ: (30-28210) 37654/37644  
fax : (30-28210) 69554/37880  
email: zach@mred.tuc.gr,  
smaurig@mred.tuc.gr

**ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ & ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ POISSON**  
**UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH OF INTACT ROCK CORE SPECIMENS WITH DETERMINATION OF MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO**

**Καταγραφή μετρήσεων με γρήση (Datalogging by):** Ηλεκτρομηκυνσιομέτρων (Strain Gages), Pressure Transducer, LVDT & καταγραφικού (Data Logger).

**Προδιαγραφές εκτέλεσης (Standards used):** ASTM D 2938 – 95 (Reapproved 2002) & ISRM Suggested Method for determining Deformability of rock materials in Uniaxial Compression, 1981.

**ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**  
**ΔΟΚΙΜΙΟΥ, ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**  
**LITHOLOGICAL DESCRIPTIONS, REMARKS:**



Καμπύλη τάσης- παραμόρφωσης (stress-strain)

ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN HEIGHT (mm):	40
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN DIAMETER (mm):	
ΛΟΓΟΣ ΥΨΟΥΣ/ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ HEIGHT/DIAMETER RATIO (H/D):	
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN AREA (mm <sup>2</sup> ):	1600
ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ BULK DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	
ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN MOISTURE CONTENT (%):	-
ΞΗΡΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ DRY DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	-
ΠΟΡΩΔΕΣ POROSITY (%):	-
ΤΥΠΟΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ TYPE OF LOAD MACHINE:	Automatic, hydraulic machine with 1600 kN capacity.
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST TEMPERATURE (°C):	23
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST DURATION (sec):	147
ΡΥΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ LOAD RATE (kN/sec):	0,14
ΔΥΝΑΜΗ ΘΡΑΥΣΗΣ FAILURE LOAD (kN):	21
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ – UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH (MPa):	13.1
ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (ΣΥΓΚΛΙΣΗ ΕΔΡΩΝ ΔΟΚΙΜΙΟΥ) AXIAL DEFORMATION (FROM LOAD PLATENS) (%):	
ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ TANGENTIAL MODULUS OF ELASTICITY E (using strain gages) (GPa):	1.308 (50%)
ΛΟΓΟΣ POISSON POISSON RATIO (ν):	

	<b>Πολυτεχνείο Κρήτης</b> Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων		<b><u>ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ – PROJECT TITLE</u></b>
<b>τηλ: (30-28210) 37654/37644</b> <b>fax : (30-28210) 69554/37880</b> <b>email: zach@mred.tuc.gr, smaurig@mred.tuc.gr</b>			
			
Άποψη Δοκιμίου πριν τη δοκιμή Specimen before test			Άποψη Δοκιμίου μετά τη δοκιμή Specimen after test
Εκτέλεση δοκιμής Μονοαξονικής Θλίψης με ταυτόχρονη μέτρηση (Strain Gages) του Μέτρου Ελαστικότητας (E) και του Λόγου Poisson ( $\nu$ ) – Uniaxial Compression test with determination of Young's Modulus (E) and Poisson's ratio ( $\nu$ ).			

<b><u>Γεώτρηση – Borehole:</u></b>		<b><u>Βάθος - Depth (m):</u></b>	
<b><u>Εργαστηριακός Αριθμός Δοκιμίου:</u></b>	A5 – YXT2/C1		

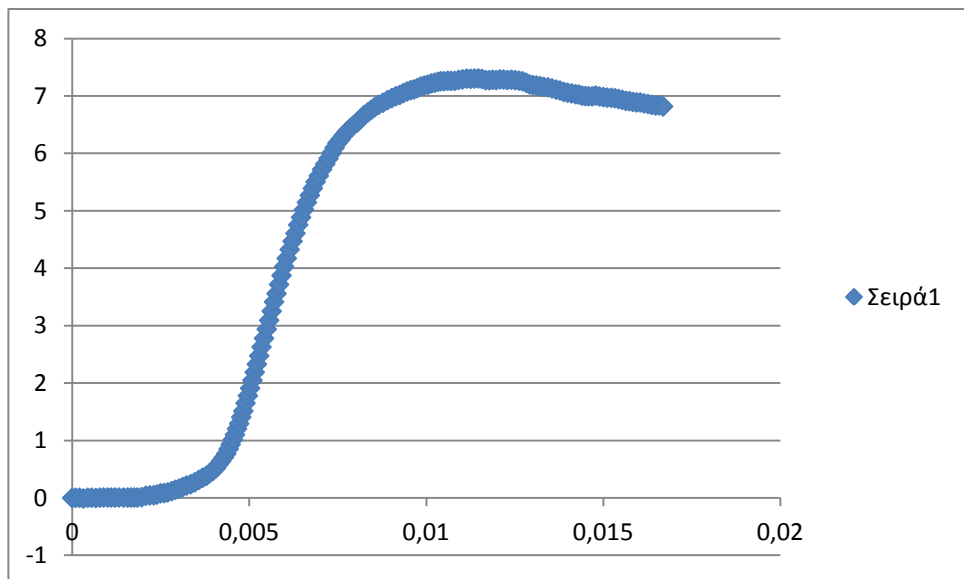
**Πολυτεχνείο Κρήτης**  
**Εργαστήριο Μηχανικής**  
**Πετρωμάτων**  
**τηλ: (30-28210) 37654/37644**  
**fax : (30-28210) 69554/37880**  
**email: zach@mred.tuc.gr,**  
**smaurig@mred.tuc.gr**

**ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΗ**  
**ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ & ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ POISSON**  
**UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH OF INTACT ROCK CORE SPECIMENS**  
**WITH DETERMINATION OF MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO**

**Καταγραφή μετρήσεων με γρήση (Datalogging by):** Ηλεκτρομηκυνσιομέτρων (Strain Gages), Pressure Transducer, LVDT & καταγραφικού (Data Logger).

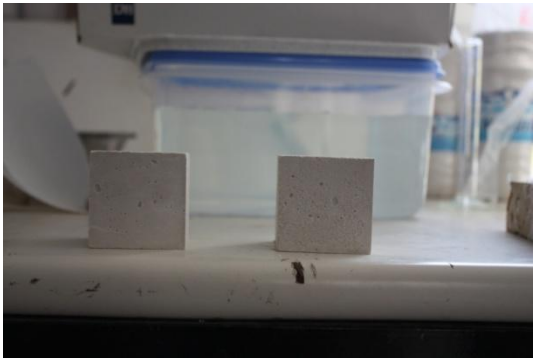
**Προδιαγραφές εκτέλεσης (Standards used):** ASTM D 2938 – 95 (Reapproved 2002) & ISRM Suggested Method for determining Deformability of rock materials in Uniaxial Compression, 1981.

**ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**  
**ΔΟΚΙΜΙΟΥ, ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**  
**LITHOLOGICAL DESCRIPTIONS, REMARKS:**



Καμπύλη τάσης- παραμόρφωσης (stress-strain)

ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN HEIGHT (mm):	50
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN DIAMETER (mm):	
ΛΟΓΟΣ ΥΨΟΥΣ/ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ HEIGHT/DIAMETER RATIO (H/D):	
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN AREA (mm <sup>2</sup> ):	2500
ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ BULK DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	
ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN MOISTURE CONTENT (%):	-
ΞΗΡΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ DRY DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	-
ΠΟΡΩΔΕΣ POROSITY (%):	-
ΤΥΠΟΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ TYPE OF LOAD MACHINE:	Automatic, hydraulic machine with 1600 kN capacity.
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST TEMPERATURE (°C):	23
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST DURATION (sec):	174
ΡΥΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ LOAD RATE (kN/sec):	0,10
ΔΥΝΑΜΗ ΘΡΑΥΣΗΣ FAILURE LOAD (kN):	18.3
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ – UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH (MPa):	7.31
ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (ΣΥΓΚΛΙΣΗ ΕΔΡΩΝ ΔΟΚΙΜΙΟΥ) AXIAL DEFORMATION (FROM LOAD PLATENS) (%):	
ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ TANGENTIAL MODULUS OF ELASTICITY E (using strain gages) (GPa):	(50%)
ΛΟΓΟΣ POISSON POISSON RATIO (ν):	

	<b>Πολυτεχνείο Κρήτης</b> Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων		<b><u>ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ – PROJECT TITLE</u></b>
<b>τηλ: (30-28210) 37654/37644</b> <b>fax : (30-28210) 69554/37880</b> <b>email: zach@mred.tuc.gr, smaurig@mred.tuc.gr</b>			
			
Άποψη Δοκιμίου πριν τη δοκιμή Specimen before test			Άποψη Δοκιμίου μετά τη δοκιμή Specimen after test
Εκτέλεση δοκιμής Μονοαξονικής Θλίψης με ταυτόχρονη μέτρηση (Strain Gages) του Μέτρου Ελαστικότητας (E) και του Λόγου Poisson ( $\nu$ ) – Uniaxial Compression test with determination of Young's Modulus (E) and Poisson's ratio ( $\nu$ ).			

<b><u>Γεώτρηση – Borehole:</u></b>		<b><u>Βάθος - Depth (m):</u></b>	
<b><u>Εργαστηριακός Αριθμός Δοκιμίου:</u></b>	A8 – YPT2/C1		



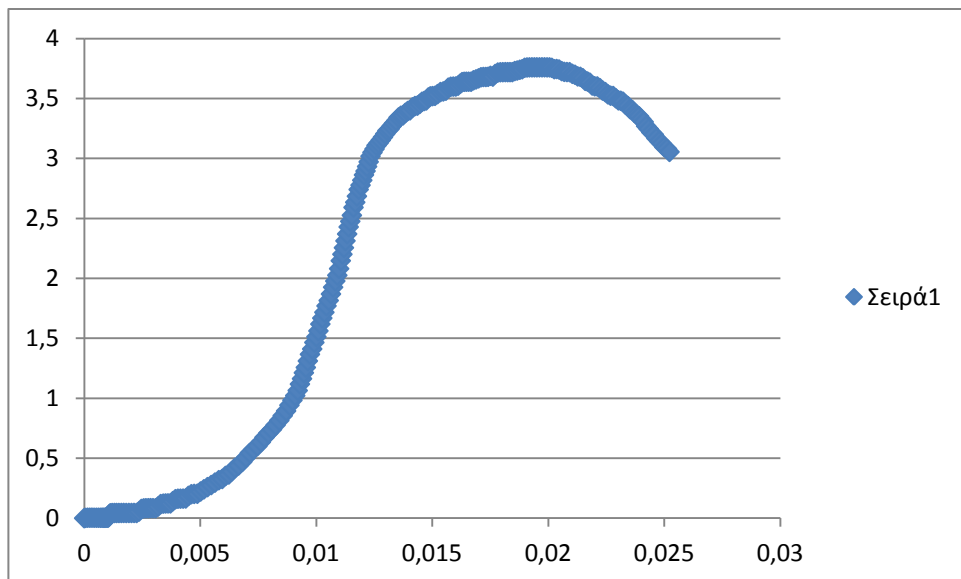
**Πολυτεχνείο Κρήτης**  
**Εργαστήριο Μηχανικής**  
**Πετρωμάτων**  
**τηλ: (30-28210) 37654/37644**  
**fax : (30-28210) 69554/37880**  
**email: zach@mred.tuc.gr,**  
**smaurig@mred.tuc.gr**

**ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΗ**  
**ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ & ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ POISSON**  
**UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH OF INTACT ROCK CORE SPECIMENS**  
**WITH DETERMINATION OF MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO**

**Καταγραφή μετρήσεων με γρήση (Datalogging by):** Ηλεκτρομηκυνσιομέτρων (Strain Gages), Pressure Transducer, LVDT & καταγραφικού (Data Logger).

**Προδιαγραφές εκτέλεσης (Standards used):** ASTM D 2938 – 95 (Reapproved 2002) & ISRM Suggested Method for determining Deformability of rock materials in Uniaxial Compression, 1981.

**ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**  
**ΔΟΚΙΜΙΟΥ, ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**  
**LITHOLOGICAL DESCRIPTIONS, REMARKS:**



Καμπύλη τάσης- παραμόρφωσης (stress-strain)

ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN HEIGHT (mm):	50
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN DIAMETER (mm):	
ΛΟΓΟΣ ΥΨΟΥΣ/ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ HEIGHT/DIAMETER RATIO (H/D):	
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN AREA (mm <sup>2</sup> ):	2500
ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ BULK DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	
ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN MOISTURE CONTENT (%):	-
ΞΗΡΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ DRY DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	-
ΠΟΡΩΔΕΣ POROSITY (%):	-
ΤΥΠΟΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ TYPE OF LOAD MACHINE:	Automatic, hydraulic machine with 1600 kN capacity.
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST TEMPERATURE (°C):	23
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST DURATION (sec):	245
ΡΥΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ LOAD RATE (kN/sec):	0,04
ΔΥΝΑΜΗ ΘΡΑΥΣΗΣ FAILURE LOAD (kN):	9.4
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ – UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH (MPa):	3.76
ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (ΣΥΓΚΛΙΣΗ ΕΔΡΩΝ ΔΟΚΙΜΙΟΥ) AXIAL DEFORMATION (FROM LOAD PLATENS) (%):	
ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ TANGENTIAL MODULUS OF ELASTICITY E (using strain gages) (GPa):	(50%)
ΛΟΓΟΣ POISSON POISSON RATIO (ν):	



	<b>Πολυτεχνείο Κρήτης</b> Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων		<b><u>ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ – PROJECT TITLE</u></b>
<b>τηλ: (30-28210) 37654/37644</b> <b>fax : (30-28210) 69554/37880</b> <b>email: zach@mred.tuc.gr, smaurig@mred.tuc.gr</b>			
			
Άποψη Δοκιμίου πριν τη δοκιμή Specimen before test			Άποψη Δοκιμίου μετά τη δοκιμή Specimen after test
Εκτέλεση δοκιμής Μονοαξονικής Θλίψης με ταυτόχρονη μέτρηση (Strain Gages) του Μέτρου Ελαστικότητας (E) και του Λόγου Poisson ( $\nu$ ) – Uniaxial Compression test with determination of Young's Modulus (E) and Poisson's ratio ( $\nu$ ).			

<b><u>Γεώτρηση – Borehole:</u></b>		<b><u>Βάθος - Depth (m):</u></b>	
<b><u>Εργαστηριακός Αριθμός</u></b>	A9 – MLP1/C1		
<b><u>Δοκιμίου:</u></b>			

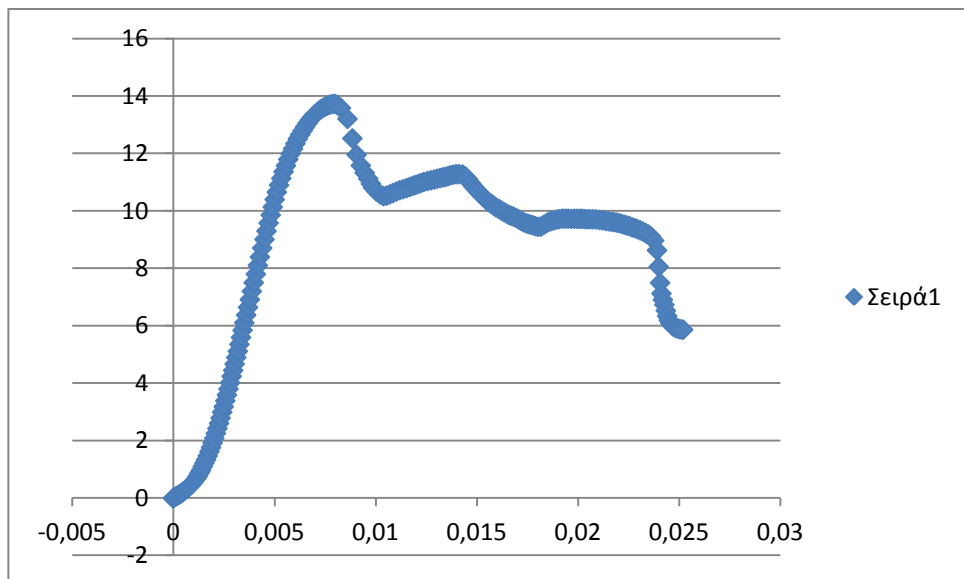
**Πολυτεχνείο Κρήτης**  
Εργαστήριο Μηχανικής  
Πετρωμάτων  
τηλ: (30-28210) 37654/37644  
fax : (30-28210) 69554/37880  
email: zach@mred.tuc.gr,  
smaurig@mred.tuc.gr

**ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ & ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ POISSON**  
**UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH OF INTACT ROCK CORE SPECIMENS WITH DETERMINATION OF MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO**

**Καταγραφή μετρήσεων με χρήση (Datalogging by):** Ηλεκτρομηκυνσιομέτρων (Strain Gages), Pressure Transducer, LVDT & καταγραφικού (Data Logger).

**Προδιαγραφές εκτέλεσης (Standards used):** ASTM D 2938 – 95 (Reapproved 2002) & ISRM Suggested Method for determining Deformability of rock materials in Uniaxial Compression, 1981.

**ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**  
**ΔΟΚΙΜΙΟΥ, ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**  
**LITHOLOGICAL DESCRIPTIONS, REMARKS:**



Καμπύλη τάσης- παραμόρφωσης (stress-strain)

ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN HEIGHT (mm):	50
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN DIAMETER (mm):	
ΛΟΓΟΣ ΥΨΟΥΣ/ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ HEIGHT/DIAMETER RATIO (H/D):	
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN AREA (mm <sup>2</sup> ):	2500
ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ BULK DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	
ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN MOISTURE CONTENT (%):	-
ΞΗΡΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ DRY DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	-
ΠΟΡΩΔΕΣ POROSITY (%):	-
ΤΥΠΟΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ TYPE OF LOAD MACHINE:	Automatic, hydraulic machine with 1600 kN capacity.
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST TEMPERATURE (°C):	23
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST DURATION (sec):	215
ΡΥΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ LOAD RATE (kN/sec):	0,16
ΔΥΝΑΜΗ ΘΡΑΥΣΗΣ FAILURE LOAD (kN):	34.3
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ – UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH (MPa):	13.72
ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (ΣΥΓΚΛΙΣΗ ΕΔΡΩΝ ΔΟΚΙΜΙΟΥ) AXIAL DEFORMATION (FROM LOAD PLATENS) (%):	
ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ TANGENTIAL MODULUS OF ELASTICITY E (using strain gages) (GPa):	(50%)
ΛΟΓΟΣ POISSON POISSON RATIO (ν):	

	<b>Πολυτεχνείο Κρήτης</b> Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων		<b><u>ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ – PROJECT TITLE</u></b>
<b>τηλ: (30-28210) 37654/37644</b> <b>fax : (30-28210) 69554/37880</b> <b>email: zach@mred.tuc.gr, smaurig@mred.tuc.gr</b>			
			
Αποψη Δοκιμίου πριν τη δοκιμή Specimen before test			Αποψη Δοκιμίου μετά τη δοκιμή Specimen after test
Εκτέλεση δοκιμής Μονοαξονικής Θλίψης με ταυτόχρονη μέτρηση (Strain Gages) του Μέτρου Ελαστικότητας (E) και του Λόγου Poisson ( $\nu$ ) – Uniaxial Compression test with determination of Young's Modulus (E) and Poisson's ratio ( $\nu$ ).			

<b><u>Γεώτρηση – Borehole:</u></b>		<b><u>Βάθος - Depth (m):</u></b>	
<b><u>Εργαστηριακός Αριθμός Δοκιμίου:</u></b>	A11 – YNS1/C3		

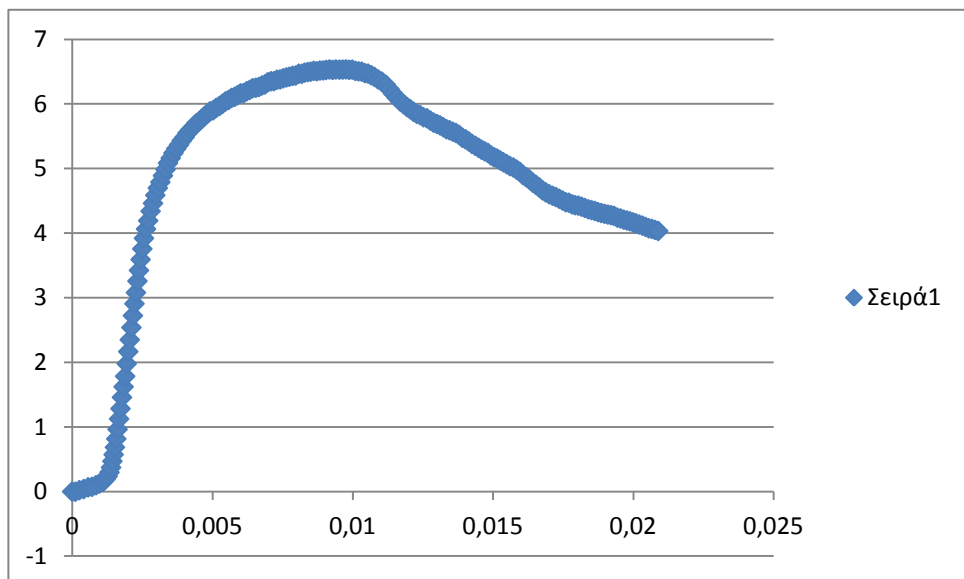
**Πολυτεχνείο Κρήτης**  
**Εργαστήριο Μηχανικής**  
**Πετρωμάτων**  
**τηλ: (30-28210) 37654/37644**  
**fax : (30-28210) 69554/37880**  
**email: zach@mred.tuc.gr,**  
**smaurig@mred.tuc.gr**

**ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΒΡΑΧΩΛΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΗ**  
**ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ & ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ POISSON**  
**UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH OF INTACT ROCK CORE SPICEMENS**  
**WITH DETERMINATION OF MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO**

**Καταγραφή μετρήσεων με χρήση (Datalogging by):** Ηλεκτρομηκυνισιομέτρων (Strain Gages), Pressure Transducer, LVDT & καταγραφικού (Data Logger).




**Προδιαγραφές εκτέλεσης (Standards used):** ASTM D 2938 – 95 (Reapproved 2002) & ISRM Suggested Method for determining Deformability of rock materials in Uniaxial Compression, 1981.

**ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**  
**ΔΟΚΙΜΙΟΥ, ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**  
**LITHOLOGICAL DESCRIPTIONS, REMARKS:**



Καμπύλη τάσης- παραμόρφωσης (stress-strain)

ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN HEIGHT (mm):	50
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN DIAMETER (mm):	
ΛΟΓΟΣ ΥΨΟΥΣ/ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ HEIGHT/DIAMETER RATIO (H/D):	
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN AREA (mm <sup>2</sup> ):	2500
ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ BULK DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	
ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN MOISTURE CONTENT (%):	-
ΞΗΡΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ DRY DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	-
ΠΟΡΩΔΕΣ POROSITY (%):	-
ΤΥΠΟΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ TYPE OF LOAD MACHINE:	Automatic, hydraulic machine with 1600 kN capacity.
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST TEMPERATURE (°C):	23
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST DURATION (sec):	200
ΡΥΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ LOAD RATE (kN/sec):	0,08
ΔΥΝΑΜΗ ΘΡΑΥΣΗΣ FAILURE LOAD (kN):	16.33
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ – UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH (MPa):	6.53
ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (ΣΥΓΚΛΙΣΗ ΕΔΡΩΝ ΔΟΚΙΜΙΟΥ) AXIAL DEFORMATION (FROM LOAD PLATENS) (%):	
ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ TANGENTIAL MODULUS OF ELASTICITY E (using strain gages) (GPa):	(50%)
ΛΟΓΟΣ POISSON POISSON RATIO (ν):	

	<b>Πολυτεχνείο Κρήτης</b> Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων		<b><u>ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ – PROJECT TITLE</u></b>
<b>τηλ: (30-28210) 37654/37644</b> <b>fax : (30-28210) 69554/37880</b> <b>email: zach@mred.tuc.gr, smaurig@mred.tuc.gr</b>			
			
Άποψη Δοκιμίου πριν τη δοκιμή Specimen before test			Άποψη Δοκιμίου μετά τη δοκιμή Specimen after test
Εκτέλεση δοκιμής Μονοαξονικής Θλίψης με ταυτόχρονη μέτρηση (Strain Gages) του Μέτρου Ελαστικότητας (E) και του Λόγου Poisson (ν) – Uniaxial Compression test with determination of Young's Modulus (E) and Poisson's ratio (ν).			

<b><u>Γεώτρηση – Borehole:</u></b>		<b><u>Βάθος - Depth (m):</u></b>	
<b><u>Εργαστηριακός Αριθμός Δοκιμίου:</u></b>	A12 – MLN/C3		

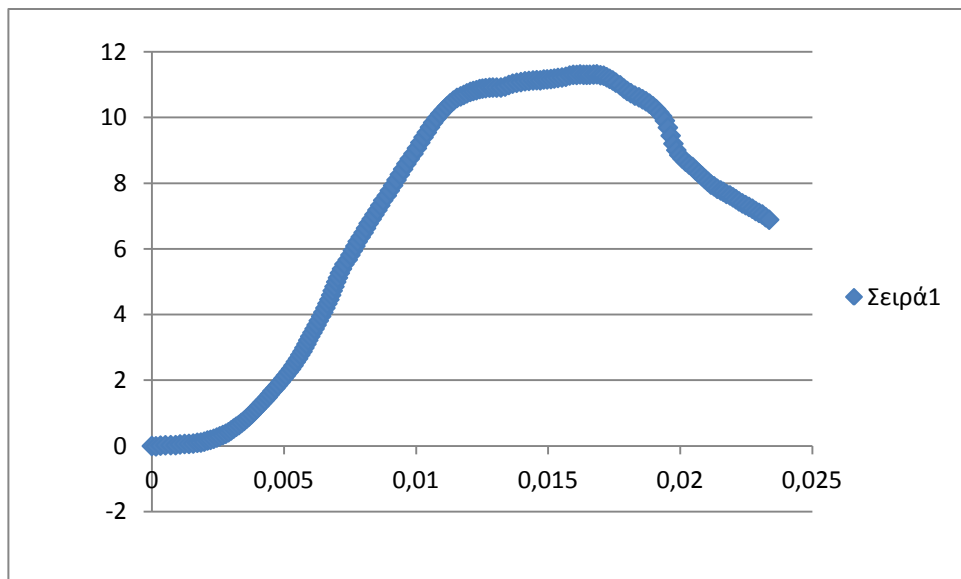
**Πολυτεχνείο Κρήτης**  
Εργαστήριο Μηχανικής  
Πετρωμάτων  
τηλ: (30-28210) 37654/37644  
fax : (30-28210) 69554/37880  
email: zach@mred.tuc.gr,  
smaurig@mred.tuc.gr

**ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ & ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ POISSON**  
**UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH OF INTACT ROCK CORE SPECIMENS WITH DETERMINATION OF MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO**

**Καταγραφή μετρήσεων με χρήση (Datalogging by):** Ηλεκτρομηκυνσιομέτρων (Strain Gages), Pressure Transducer, LVDT & καταγραφικού (Data Logger).

**Προδιαγραφές εκτέλεσης (Standards used):** ASTM D 2938 – 95 (Reapproved 2002) & ISRM Suggested Method for determining Deformability of rock materials in Uniaxial Compression, 1981.

**ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**  
**ΔΟΚΙΜΙΟΥ, ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**  
**LITHOLOGICAL DESCRIPTIONS, REMARKS:**



Καμπύλη τάσης- παραμόρφωσης (stress-strain)

ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN HEIGHT (mm):	50
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN DIAMETER (mm):	
ΛΟΓΟΣ ΥΨΟΥΣ/ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ HEIGHT/DIAMETER RATIO (H/D):	
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN AREA (mm <sup>2</sup> ):	2500
ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ BULK DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	
ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN MOISTURE CONTENT (%):	-
ΞΗΡΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ DRY DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	-
ΠΟΡΩΔΕΣ POROSITY (%):	-
ΤΥΠΟΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ TYPE OF LOAD MACHINE:	Automatic, hydraulic machine with 1600 kN capacity.
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST TEMPERATURE (°C):	23
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST DURATION (sec):	198
ΡΥΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ LOAD RATE (kN/sec):	0,14
ΔΥΝΑΜΗ ΘΡΑΥΣΗΣ FAILURE LOAD (kN):	28.3
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ – UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH (MPa):	11.3
ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (ΣΥΓΚΛΙΣΗ ΕΔΡΩΝ ΔΟΚΙΜΙΟΥ) AXIAL DEFORMATION (FROM LOAD PLATENS) (%):	
ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ TANGENTIAL MODULUS OF ELASTICITY E (using strain gages) (GPa):	(50%)
ΛΟΓΟΣ POISSON POISSON RATIO (ν):	

	<b>Πολυτεχνείο Κρήτης</b> Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων		<b><u>ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ – PROJECT TITLE</u></b>
<b>τηλ: (30-28210) 37654/37644</b> <b>fax : (30-28210) 69554/37880</b> <b>email: zach@mred.tuc.gr, smaurig@mred.tuc.gr</b>			
			
<b>Άποψη Δοκιμίου πριν τη δοκιμή</b> <b>Specimen before test</b>			<b>Άποψη Δοκιμίου μετά τη δοκιμή</b> <b>Specimen after test</b>
<b>Εκτέλεση δοκιμής Μονοαξονικής Θλίψης με ταυτόχρονη μέτρηση (Strain Gages) του Μέτρου Ελαστικότητας (E) και του Λόγου Poisson (ν) –</b> <b>Uniaxial Compression test with determination of Young's Modulus (E) and Poisson's ratio (ν).</b>			

<b><u>Γεώτρηση – Borehole:</u></b>		<b><u>Βάθος - Depth (m):</u></b>	
<b><u>Εργαστηριακός Αριθμός Δοκιμίου:</u></b>	A17 – YXT1/C		

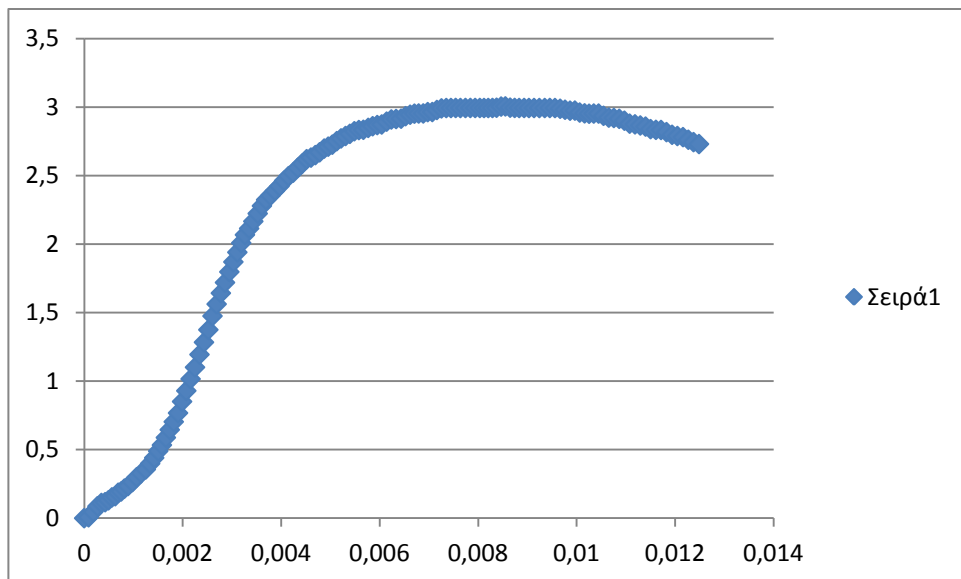
**Πολυτεχνείο Κρήτης**  
Εργαστήριο Μηχανικής  
Πετρωμάτων  
τηλ: (30-28210) 37654/37644  
fax : (30-28210) 69554/37880  
email: zach@mred.tuc.gr,  
smaurig@mred.tuc.gr

**ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΗ  
ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ & ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ POISSON**  
**UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH OF INTACT ROCK CORE SPECIMENS  
WITH DETERMINATION OF MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO**

**Καταγραφή μετρήσεων με χρήση (Datalogging by):** Ηλεκτρομηκυνσιομέτρων (Strain Gages), Pressure Transducer, LVDT & καταγραφικού (Data Logger).

**Προδιαγραφές εκτέλεσης (Standards used):** ASTM D 2938 – 95 (Reapproved 2002) & ISRM Suggested Method for determining Deformability of rock materials in Uniaxial Compression, 1981.

**ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**  
**ΔΟΚΙΜΙΟΥ, ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**  
**LITHOLOGICAL DESCRIPTIONS, REMARKS:**



Καμπύλη τάσης- παραμόρφωσης (stress-strain)

ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN HEIGHT (mm):	50
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN DIAMETER (mm):	
ΛΟΓΟΣ ΥΨΟΥΣ/ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ HEIGHT/DIAMETER RATIO (H/D):	
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN AREA (mm <sup>2</sup> ):	2500
ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ BULK DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	
ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN MOISTURE CONTENT (%):	-
ΞΗΡΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ DRY DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	-
ΠΟΡΩΔΕΣ POROSITY (%):	-
ΤΥΠΟΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ TYPE OF LOAD MACHINE:	Automatic, hydraulic machine with 1600 kN capacity.
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST TEMPERATURE (°C):	23
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST DURATION (sec):	136
ΡΥΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ LOAD RATE (kN/sec):	0,55
ΔΥΝΑΜΗ ΘΡΑΥΣΗΣ FAILURE LOAD (kN):	7.5
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ – UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH (MPa):	3.00
ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (ΣΥΓΚΛΙΣΗ ΕΔΡΩΝ ΔΟΚΙΜΙΟΥ) AXIAL DEFORMATION (FROM LOAD PLATENS) (%):	
ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ TANGENTIAL MODULUS OF ELASTICITY E (using strain gages) (GPa):	(50%)
ΛΟΓΟΣ POISSON POISSON RATIO (ν):	



	<b>Πολυτεχνείο Κρήτης</b> Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων		<b><u>ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ – PROJECT TITLE</u></b>
<b>τηλ: (30-28210) 37654/37644</b> <b>fax : (30-28210) 69554/37880</b> <b>email: zach@mred.tuc.gr, smaurig@mred.tuc.gr</b>			
			
Άποψη Δοκιμίου πριν τη δοκιμή Specimen before test			Άποψη Δοκιμίου μετά τη δοκιμή Specimen after test
Εκτέλεση δοκιμής Μονοαξονικής Θλίψης με ταυτόχρονη μέτρηση (Strain Gages) του Μέτρου Ελαστικότητας (E) και του Λόγου Poisson (ν) – Uniaxial Compression test with determination of Young's Modulus (E) and Poisson's ratio (ν).			

<b><u>Γεώτρηση – Borehole:</u></b>		<b><u>Βάθος - Depth (m):</u></b>	
<b><u>Εργαστηριακός Αριθμός Δοκιμίου:</u></b>	A19 – MLP1/C1		

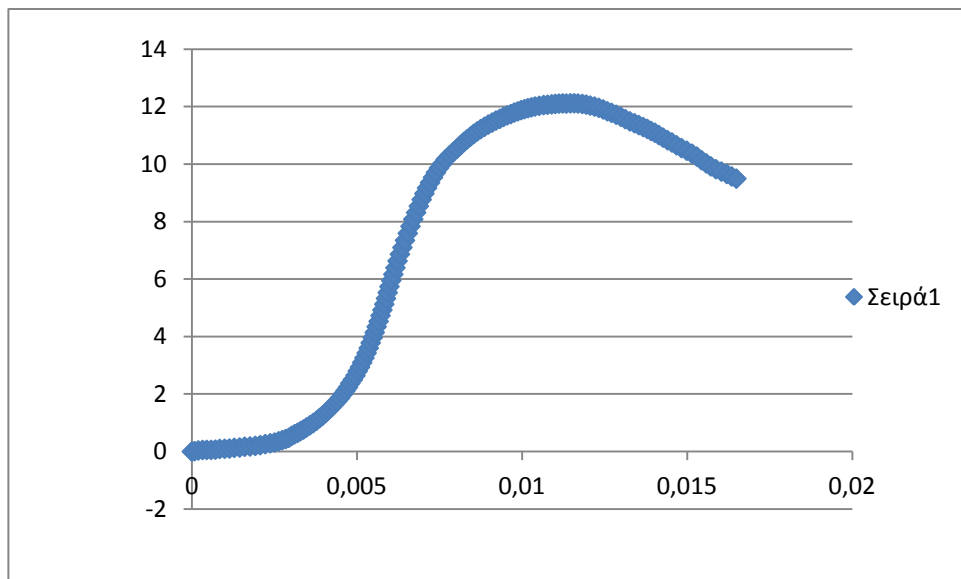
**Πολυτεχνείο Κρήτης**  
Εργαστήριο Μηχανικής  
Πετρωμάτων  
τηλ: (30-28210) 37654/37644  
fax : (30-28210) 69554/37880  
email: zach@mred.tuc.gr,  
smaurig@mred.tuc.gr

**ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΗ  
ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ & ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ POISSON**  
**UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH OF INTACT ROCK CORE SPECIMENS  
WITH DETERMINATION OF MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO**

**Καταγραφή μετρήσεων με χρήση (Datalogging by):** Ηλεκτρομηκυνσιομέτρων (Strain Gages), Pressure Transducer, LVDT & καταγραφικού (Data Logger).

**Προδιαγραφές εκτέλεσης (Standards used):** ASTM D 2938 – 95 (Reapproved 2002) & ISRM Suggested Method for determining Deformability of rock materials in Uniaxial Compression, 1981.

**ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**  
**ΔΟΚΙΜΙΟΥ, ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**  
**LITHOLOGICAL DESCRIPTIONS, REMARKS:**



Καμπύλη τάσης- παραμόρφωσης (stress-strain)

ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN HEIGHT (mm):	50
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN DIAMETER (mm):	
ΛΟΓΟΣ ΥΨΟΥΣ/ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ HEIGHT/DIAMETER RATIO (H/D):	
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN AREA (mm <sup>2</sup> ):	2500
ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ BULK DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	
ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN MOISTURE CONTENT (%):	-
ΞΗΡΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ DRY DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	-
ΠΟΡΩΔΕΣ POROSITY (%):	-
ΤΥΠΟΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ TYPE OF LOAD MACHINE:	Automatic, hydraulic machine with 1600 kN capacity.
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST TEMPERATURE (°C):	23
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST DURATION (sec):	154
ΡΥΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ LOAD RATE (kN/sec):	0,196
ΔΥΝΑΜΗ ΘΡΑΥΣΗΣ FAILURE LOAD (kN):	30.2
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ – UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH (MPa):	12.11
ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (ΣΥΓΚΛΙΣΗ ΕΔΡΩΝ ΔΟΚΙΜΙΟΥ) AXIAL DEFORMATION (FROM LOAD PLATENS) (%):	
ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ TANGENTIAL MODULUS OF ELASTICITY E (using strain gages) (GPa):	4.5702 (50%)
ΛΟΓΟΣ POISSON POISSON RATIO (ν):	

	<b>Πολυτεχνείο Κρήτης</b> Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων		<b><u>ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ – PROJECT TITLE</u></b>
<b>τηλ: (30-28210) 37654/37644</b> <b>fax : (30-28210) 69554/37880</b> <b>email: zach@mred.tuc.gr, smaurig@mred.tuc.gr</b>			
			
<b>Άποψη Δοκιμίου πριν τη δοκιμή</b> <b>Specimen before test</b>			<b>Άποψη Δοκιμίου μετά τη δοκιμή</b> <b>Specimen after test</b>
<b>Εκτέλεση δοκιμής Μονοαξονικής Θλίψης με ταυτόχρονη μέτρηση (Strain Gages) του Μέτρου Ελαστικότητας (E) και του Λόγου Poisson (ν) –</b> <b>Uniaxial Compression test with determination of Young's Modulus (E) and Poisson's ratio (ν).</b>			

<b><u>Γεώτρηση – Borehole:</u></b>		<b><u>Βάθος - Depth (m):</u></b>	
<b><u>Εργαστηριακός Αριθμός</u></b>	A21 – MLX1/C1		
<b><u>Δοκιμίου:</u></b>			

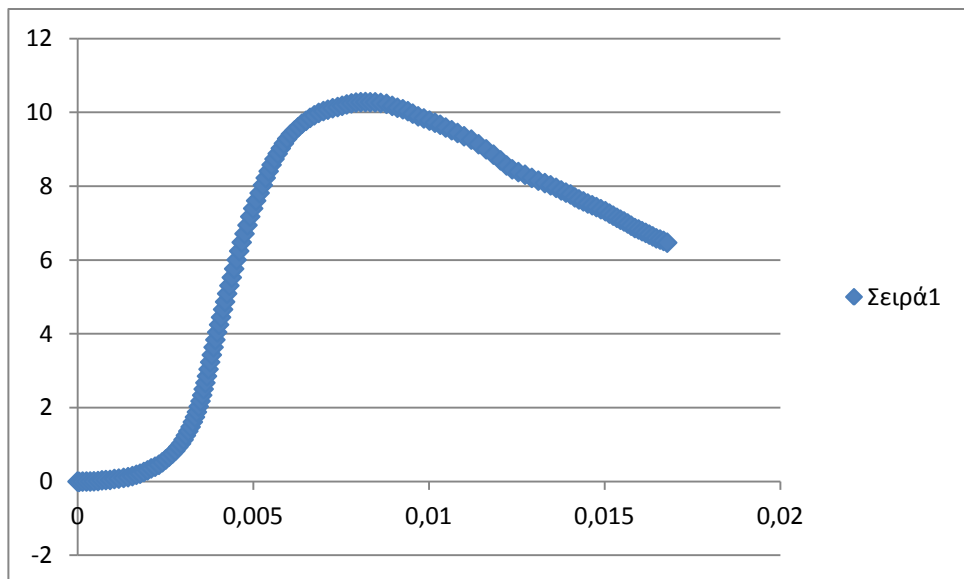
**Πολυτεχνείο Κρήτης**  
Εργαστήριο Μηχανικής  
Πετρωμάτων  
τηλ: (30-28210) 37654/37644  
fax : (30-28210) 69554/37880  
email: zach@mred.tuc.gr,  
smaurig@mred.tuc.gr

**ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ & ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ POISSON**  
**UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH OF INTACT ROCK CORE SPECIMENS WITH DETERMINATION OF MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO**

**Καταγραφή μετρήσεων με γρήση (Datalogging by):** Ηλεκτρομηκυνσιομέτρων (Strain Gages), Pressure Transducer, LVDT & καταγραφικού (Data Logger).

**Προδιαγραφές εκτέλεσης (Standards used):** ASTM D 2938 – 95 (Reapproved 2002) & ISRM Suggested Method for determining Deformability of rock materials in Uniaxial Compression, 1981.

**ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**  
**ΔΟΚΙΜΙΟΥ, ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**  
**LITHOLOGICAL DESCRIPTIONS, REMARKS:**



Καμπύλη τάσης- παραμόρφωσης (stress-strain)

ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN HEIGHT (mm):	50
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN DIAMETER (mm):	
ΛΟΓΟΣ ΥΨΟΥΣ/ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ HEIGHT/DIAMETER RATIO (H/D):	
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN AREA (mm <sup>2</sup> ):	2500
ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ BULK DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	
ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN MOISTURE CONTENT (%):	-
ΞΗΡΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ DRY DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	-
ΠΟΡΩΔΕΣ POROSITY (%):	-
ΤΥΠΟΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ TYPE OF LOAD MACHINE:	Automatic, hydraulic machine with 1600 kN capacity.
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST TEMPERATURE (°C):	23
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST DURATION (sec):	151
ΡΥΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ LOAD RATE (kN/sec):	0,17
ΔΥΝΑΜΗ ΘΡΑΥΣΗΣ FAILURE LOAD (kN):	25.72
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ – UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH (MPa):	10.28
ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (ΣΥΓΚΛΙΣΗ ΕΔΡΩΝ ΔΟΚΙΜΙΟΥ) AXIAL DEFORMATION (FROM LOAD PLATENS) (%):	
ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ TANGENTIAL MODULUS OF ELASTICITY E (using strain gages) (GPa):	(50%)
ΛΟΓΟΣ POISSON POISSON RATIO (ν):	

	<b>Πολυτεχνείο Κρήτης</b> Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων		<b><u>ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ – PROJECT TITLE</u></b>
<b>τηλ: (30-28210) 37654/37644</b> <b>fax : (30-28210) 69554/37880</b> <b>email: zach@mred.tuc.gr, smaurig@mred.tuc.gr</b>			
			
Άποψη Δοκιμίου πριν τη δοκιμή Specimen before test			Άποψη Δοκιμίου μετά τη δοκιμή Specimen after test
Εκτέλεση δοκιμής Μονοαξονικής Θλίψης με ταυτόχρονη μέτρηση (Strain Gages) του Μέτρου Ελαστικότητας (E) και του Λόγου Poisson (ν) – Uniaxial Compression test with determination of Young's Modulus (E) and Poisson's ratio (ν).			

<b><u>Γεώτρηση – Borehole:</u></b>		<b><u>Βάθος - Depth (m):</u></b>	
<b><u>Εργαστηριακός Αριθμός Δοκιμίου:</u></b>	Cement - CmN		

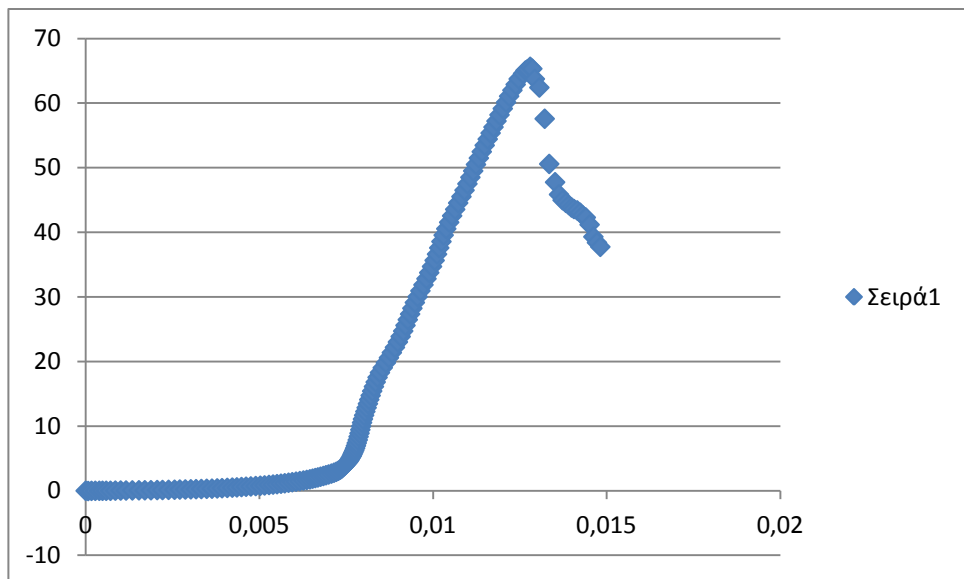
**Πολυτεχνείο Κρήτης**  
Εργαστήριο Μηχανικής  
Πετρωμάτων  
τηλ: (30-28210) 37654/37644  
fax : (30-28210) 69554/37880  
email: zach@mred.tuc.gr,  
smaurig@mred.tuc.gr

**ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΗ  
ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ & ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ POISSON**  
**UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH OF INTACT ROCK CORE SPECIMENS  
WITH DETERMINATION OF MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO**

**Καταγραφή μετρήσεων με γρήση (Datalogging by):** Ηλεκτρομηκυνσιομέτρων (Strain Gages), Pressure Transducer, LVDT & καταγραφικού (Data Logger).

**Προδιαγραφές εκτέλεσης (Standards used):** ASTM D 2938 – 95 (Reapproved 2002) & ISRM Suggested Method for determining Deformability of rock materials in Uniaxial Compression, 1981.

**ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**  
**ΔΟΚΙΜΙΟΥ, ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**  
**LITHOLOGICAL DESCRIPTIONS, REMARKS:**



Καμπύλη τάσης- παραμόρφωσης (stress-strain)

ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN HEIGHT (mm):	50
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN DIAMETER (mm):	
ΛΟΓΟΣ ΥΨΟΥΣ/ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ HEIGHT/DIAMETER RATIO (H/D):	
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN AREA (mm <sup>2</sup> ):	2500
ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ BULK DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	
ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ SPECIMEN MOISTURE CONTENT (%):	-
ΞΗΡΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ DRY DENSITY (kg/m <sup>3</sup> ):	-
ΠΟΡΩΔΕΣ POROSITY (%):	-
ΤΥΠΟΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ TYPE OF LOAD MACHINE:	Automatic, hydraulic machine with 1600 kN capacity.
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST TEMPERATURE (°C):	23
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ TEST DURATION (sec):	166
ΡΥΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ LOAD RATE (kN/sec):	0,98
ΔΥΝΑΜΗ ΘΡΑΥΣΗΣ FAILURE LOAD (kN):	164.08
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ – UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH (MPa):	65.63
ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (ΣΥΓΚΛΙΣΗ ΕΔΡΩΝ ΔΟΚΙΜΙΟΥ) AXIAL DEFORMATION (FROM LOAD PLATENS) (%):	
ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ TANGENTIAL MODULUS OF ELASTICITY E (using strain gages) (GPa):	(50%)
ΛΟΓΟΣ POISSON POISSON RATIO (ν):	

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ**


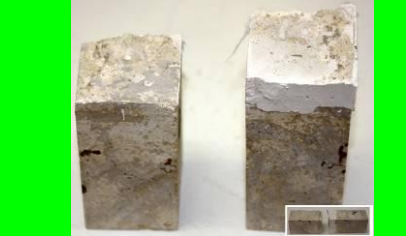



**ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΩΝ ΛΙΘΩΝ**

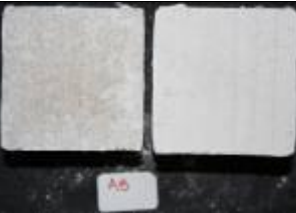


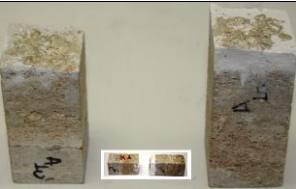

(Μαραβελάκη & αλ., 2011, σελ 69-78)
















**Πίνακας 1:** Συγκολλημένα δοκίμια λίθων και παρατηρήσεις ελέγχου συνάφειας (Μαραβελάκη & αλ., 2011, σελ 69-78)




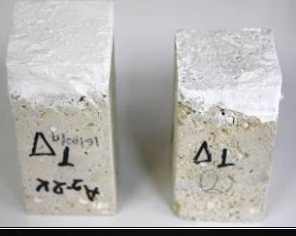

KONIAMA	ΛΙΘΟΣ	Ημερομηνία Συγκόλλησης	Παρατηρήσεις συγκόλλησης	Δοκιμή αποκόλλησης	Ημερομηνία Δοκιμής	Αντοχή (MPa)	Παρατηρήσεις δοκιμών	Φωτογραφίες συγκολλημένων δοκιμών
MLN1	Δ1	3/3/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	Άμεσος εφελκυσμός συγκολλημένου συστήματος (MPa)	31/3/2011	0,092	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	
MLN1	Δ4	7/2/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	Κάμψη 4 σημείων (MPa)	9/3/2011	1,07	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	
MLN1	Δ7	3/3/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	κάμψη	31/3/2011	--	Αστοχία, αποκολλήθηκε πριν τη μέτρηση	
MLN1	K2	3/1/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	χέρι	28/2/2011	--	Μη επιτυχής αποκόλληση, έσπασε το δοκίμιο, το οποίο είχε μείνει σε υγρασία 90% μέχρι την δοκιμή θραύσης	
YXT2	Δ2	28/2/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	κάμψη	28/3/2011	1,06	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	
YXT2	Δ8	4/3/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	εφελκυσμός	1/4/2011	--	Έσπασε στην συγκόλληση πριν την δοκιμή	

YXT2	Δ1 (ακανόνιστο, τετράγωνο)	28/2/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	σφυρί	28/3/2011		Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος με 8 χτυπήματα σφυριού μέτριας δύναμης	
YXT2	K0	3/1/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	κάμψη	27/2/2011	0,45	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	
MLNT1	Δ1	3/3/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm).	εφελκυσμός	8/3/2011		Δεν κόλλησε γιατί δεν είχε ανώμαλη επιφάνεια	
MLNT1	Δ3	7/2/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	κάμψη	9/3/2011	1,21	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	
MLNT1	Δ3	11/3/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	κάμψη	7/4/2011	-	Δεν κόλλησε	-
MLNT1	K1	3/1/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	κάμψη	9/3/2011	1,86	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	
MLNT1	K3	25/2/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	κάμψη	25/3/2011	0,95	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	







MLNT1	K4	25/2/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	εφελκυσμός	25/3/2011	0,095 MPa	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	
MLNT1	K5	4/3/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	εφελκυσμός	1/4/2011	0,206 MPa	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	
MLNT1	Δ1 Α (ακανόνιστο, τετράγωνο)	28/2/2011	Συγκόλληση σε κατακόρυφη θέση	σφυρί	28/3/2011		Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος με 48 χτυπήματα σφυριού μέτριας δύναμης, το δοκίμιο είχε πολύ ανώμαλη επιφάνεια	
MLNT1	Δ1 Β (ακανόνιστο, τετράγωνο)	28/2/2011	Συγκόλληση σε κατακόρυφη θέση	σφυρί	28/3/2011		Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος με 5 χτυπήματα σφυριού μέτριας δύναμης	
MLNT1	Δ2 (ακανόνιστο)	28/2/2011	Συγκόλληση σε κατακόρυφη θέση, παρατηρήθηκε στη συγκόλληση μικρο-ρωγμή	σφυρί	28/3/2011		Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος με 5 χτυπήματα σφυριού μέτριας δύναμης,	

MLNT1	Δ4 (ακανόνιστο)	28/2/2011	Στις 1/03/11 παρατηρήθηκε μικρο-ρωγμή	σφυρί	28/3/2011		Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος με 10 χτυπήματα σφυριού μέτριας δύναμης	
MLNT1Cm	Δ1	28/2/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	κάμψη	28/3/2011	4,12	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	
MLNT1Cm	Δ3	3/3/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	εφελκυσμός	31/3/2011	0,303 MPa	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	
MLNT1Cm	Δ4	3/3/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	κάμψη	31/3/2011	1,38	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	
MLNT1Cm	K8	3/3/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	εφελκυσμός	31/3/2011		Αστοχία, έσπασε δοκίμιο	

MLNT1Cm	Δ1 (ακανόνιστο)	28/2/2011	Συγκόλληση σε κατακόρυφη θέση	σφυρί	28/3/2011		Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος με 5 χτυπήματα σφυριού μέτριας δύναμης	
MLPT1	Δ2	28/2/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm), εμφάνιση μικρορωγμής	κάμψη	28/3/2011	--	Αστοχία, είχε ραγίσει το κονίαμα, δεν ήταν τόσο ανώμαλη η επιφάνεια	
MLPT1	Δ8	4/3/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	κάμψη	1/4/2011	0,23	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	
MLPT1	K7	4/3/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	εφελκυσμός	1/4/2011	0,176 MPa	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	
MLPT1	Δ1 (ακανόνιστο, τετράγωνο)	28/2/2011	Συγκόλληση σε κατακόρυφη θέση	σφυρί	28/3/2011		Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος με 21 χτυπήματα σφυριού μέτριας δύναμης	
MLPT1	Δ1 (ακανόνιστο)	28/2/2011	Συγκόλληση σε κατακόρυφη θέση	σφυρί	28/3/2011		Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος με 21 χτυπήματα σφυριού μέτριας δύναμης έφυγε το μισό κονίαμα και με επιπλέον 4 χτυπήματα αποκολλήθηκε και το	

							υπόλοιπο	
MLPT1	Δ2 (ακανόνιστο)	28/2/2011	Συγκόλληση σε κατακόρυφη θέση	σφυρί	28/3/2011		Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος με 5 χτυπήματα σφυριού μέτριας δύναμης	
YNT2	Δ1	16/2/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	κάμψη	16/3/2011	2,78	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	
YNT2	Δ1	16/2/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	κάμψη	16/3/2011	2,80	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	
YNT2	Δ1	16/2/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	κάμψη	16/3/2011	1,58	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	
YNT2	Δ1	4/3/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	εφελκυσμός	1/4/2011	0,701 MPa	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	



YNT2	Δ2	7/2/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	κάμψη	9/3/2011	2,84	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	
YNT2	Δ2	4/3/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	εφελκυσμός	1/4/2011	0,328 MPa	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	
YNT2	Δ5	4/3/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	κάμψη	1/4/2011	--	Έσπασε πριν τη δοκιμή το κονίαμα	Μετά στην προσπάθεια αποκόλλησης κονιάματος έσπασε το δοκίμιο
YNT2	K6	4/3/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	εφελκυσμός	1/4/2011		Αστοχία, κατά την αποκόλληση του κονιάματος έφυγε και μέρος του δοκιμίου	
YNT2Cm	Δ2	28/2/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	κάμψη	28/3/2011	3,93	Αστοχία, κατά την αποκόλληση του κονιάματος έφυγε και μέρος του δοκιμίου	
YNT2Cm	Δ4	3/3/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	κάμψη	31/3/2011	0,99	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	
YNT2Cm	Δ4	4/3/2011	Συγκόλληση σε οριζόντια θέση (1 cm)	εφελκυσμός	1/4/2011	0,2198 MPa	Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος	

YNT2Cm	K0	28/2/2011	Συγκόλληση σε κατακόρυφη θέση	κάμψη	28/3/2011	2,36	Αστοχία συγκόλλησης, έσπασε το δοκίμιο	
YNT2Cm	Δ1 (ακανόνιστο, τετράγωνο)	28/2/2011	Συγκόλληση σε κατακόρυφη θέση	σφυρί	28/3/2011		Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος με 31 χτυπήματα σφυριού μέτριας δύναμης	
YNT2Cm	Δ2 (ακανόνιστο, μεγάλο)	28/2/2011	Συγκόλληση σε κατακόρυφη θέση	σφυρί	28/3/2011		Επιτυχής αποκόλληση κονιάματος με 5 χτυπήματα σφυριού μέτριας δύναμης	