



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΝΗΜΕΙΩΝ - ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Χαρακτηρισμός αρχαίων σκυροδεμάτων στο Παλάτι του
Νέστορα στην Αρχαία Πύλο**

ΓΚΟΥΖΟΥΝΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

Επιβλέπων : Μπακόλας Αστέριος
Επ. Καθηγητής Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΝΗΜΕΙΩΝ - ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Χαρακτηρισμός αρχαίων σκυροδεμάτων στο Παλάτι του
Νέστορα στην Αρχαία Πύλο**

ΓΚΟΥΖΟΥΝΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

Επιτροπή Επίβλεψης και Υποστήριξης

- Επίκ. Καθ. Α. Μπακόλας, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ (Επιβλέπων)
- ΕΔΙΠ Μ. Καρόγλου, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ
- Δ. Πίκουλα, ΥΠΠΟΑ, Εφορεία Αρχαιοτήτων
Μεσσηνίας

Επιτροπή Εξέτασης

- Ομότ. Καθ. Γ. Μπατής, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ
- Ομότ. Καθ. Στ. Τσίμας, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ
- Καθ. Α. Μοροπούλου, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ
- Καθ. Σ. Τσιβιλής, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ
- Επίκ. Καθ. Α. Μπακόλας, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ 2017

.....

ΓΚΟΥΖΟΥΝΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

Διπλωματούχος Χημικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

© 2017 – All rights reserved

Στην οικογένειά μου

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου «Προστασία Μνημείων» με κατεύθυνση «Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης». Με την παράδοση της εργασίας αυτής θα ήθελα να ευχαριστήσω ορισμένους ανθρώπους με τους οποίους συνεργάστηκα και η συμβολή των οποίων υπήρξε σημαντική για την διεκπεραίωσή της.

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον κύριο Α. Μπακόλα, επίκουρο καθηγητή της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την εμπιστοσύνη, την υποστήριξη και την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Επιπλέον, οφείλω να ευχαριστήσω τη διδάκτορα Μ. Καρόγλου για την ενθάρρυνση, την ηθική και επιστημονική υποστήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές της.

Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω τα μέλη του εργαστηρίου Ναυπηγικής Τεχνολογίας της σχολής Ναυπηγών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. και ιδιαίτερα την Δρ. Δ. Τσιούρβα, καθώς επίσης και την Δρ. Ε. Αγγελακοπούλου για τη συνεργασία κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των πειραμάτων.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στην προϊσταμένη του τμήματος Αρχαιολογικών Έργων και Μελετών, της Εφορείας Αρχαιοτήτων Μεσσηνίας, κα Δ. Πίκουλα, στο προσωπικό του αρχαιολογικού χώρου του Ανακτόρου του Νέστορα και στο εργαστήριο κατεργασίας μαρμάρου του κ. Βιδάλη στου Ζωγράφου για τη συνεργασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου για την υπομονή και τη συνεχή ενθάρρυνση και φυσικά τους γονείς μου, Θεόδωρο και Ακριβή, και τα αδέρφια μου, Ελένη και Άγη, για την αμέριστη συμπαράσταση, την αγάπη και την ηθική υποστήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και ο χαρακτηρισμός αρχαίων σκυροδεμάτων δαπέδων από το Παλάτι του Νέστορα. Το παλάτι του Νέστορα αποτελεί το καλύτερα σωζόμενο Μυκηναϊκό ανάκτορο και βρίσκεται στον Άνω Εγκλιανό Μεσσηνίας, 17 χιλ. βόρεια της Πύλου. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της κατασκευής νέου στεγάστρου για την προστασία και την ανάδειξη του μνημείου, και αφορά δείγματα αρχαίου σκυροδέματος δαπέδου από το 2^ο υποστύλωμα δυτικής πλευράς (θέση 2B), το 2^ο υποστύλωμα ανατολικής πλευράς (θέση 2Z) και το 3^ο υποστύλωμα δυτικής πλευράς (θέση 3B).

Αρχικά πραγματοποιήθηκε εξέταση των δειγμάτων με Οπτική Μικροσκοπία (Μικροσκόπιο Οπτικών Ινών και Στερεομικροσκόπιο) και έλαβαν χώρα παρατηρήσεις επί των μορφολογικών χαρακτηριστικών τους. Στη συνέχεια εξετάστηκαν με ενόργανες μεθόδους, όπως η Κοκκομετρική Ανάλυση, η Διαφορική Θερμική και Θερμοβαρυμετρική Ανάλυση (DTA-TG), η Περίθλαση Ακτίνων Χ (XRD), η Φασματοσκοπία Raman και η Πορομετρία Υδραργύρου (MIP), με στόχο τον προσδιορισμό των χημικών και ορυκτολογικών χαρακτηριστικών και των χαρακτηριστικών μικροδομής τους. Επιπρόσθετα, ορισμένα δείγματα μορφοποιήθηκαν σε δοκίμια διαστάσεων 5x5x5 cm, με σκοπό να εφαρμοστούν δοκιμές υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης, υπερηχοσκόπησης και μονοαξονικής θλίψης, στοχεύοντας στον προσδιορισμό του συντελεστή υδατοαπορρόφησης, της ταχύτητας διάδοσης υπερήχων, της θλιπτικής αντοχής, καθώς και τον προσδιορισμό του στατικού και δυναμικού μέτρου ελαστικότητας.

Από τα αποτελέσματα των δοκιμών προκύπτει ότι όλα τα σκυροδέματα που μελετήθηκαν ταυτοποιούνται ως σκυροδέματα με βάση τον ασβέστη με ασβεστολιθικά αδρανή και μικρές προσμίξεις αργιλοπυριτικών. Εμφανίζουν μεγάλη ανομοιογένεια μικροδομής, χαμηλή θλιπτική αντοχή και διαφοροποίηση μεταξύ στατικού και δυναμικού μέτρου ελαστικότητας. Επιπλέον, συμπεραίνεται ότι η σκυροδέτηση πραγματοποιήθηκε με τέτοια τεχνική ώστε να παρεμποδίζεται η απορρόφηση του νερού, με αλληπάλληλες στρώσεις σκυροδέματος, ~ 5 cm, που διαδέχονται στρώσεις καφέ απόχρωσης ~1-2 mm.

Λέξεις κλειδιά: Χαρακτηρισμός αρχαίου σκυροδέματος, παλάτι Νέστορα, θερμική ανάλυση, μηχανικά χαρακτηριστικά, μικροδομή

Abstract

The aim of the present thesis is the examination and characterization of the ancient concretes gathered from the palace of Nestor. Nestor's palace constitutes the foremost well-preserved Mycenaean structure and it is located on the hill of Ano Eglianos in Messinia, 17 kilometers north of Pylos. The sampling was conducted during the reconstruction of a new roof for the protection and enhancement of the monument. The samples are comprised of ancient concrete floor taken from the second pillar of the western side (site 2B), the second pillar of the eastern side (site 2Z) and the third pillar of the western side (site 3B).

At first, the samples were examined with Optical Microscopy (Fiber Optic Microscope and Stereomicroscope) and then analyzed regarding their morphological characteristics. Meanwhile, a series of analytical methods were performed, such as Grain Size Distribution Analysis, Differential Thermal and Thermogravimetric Analysis (DTA-TG), X-ray Diffraction (XRD), Raman Spectroscopy and Mercury Intrusion Porosimetry (MIP) to determine the chemical, mineralogical and microstructural characteristics of the concretes. Furthermore, some of the samples were shaped in specimens sizing 5x5x5 cm in order to undergo further tests for the determination of the Water Absorption co-efficient by capillary rising, the Compressive Strength, the Ultrasonic Transmission Velocity and the Static and Dynamic Elasticity modulus.

From the results gathered, it is deduced that all the concretes that were tested are identified as lime based concretes with limestone aggregates and admixture of aluminosilicate aggregates. The samples present great microstructural heterogeneity, low compressive strength and differentiation between static and dynamic modulus of elasticity. In addition, it is concluded that the concreting was carried out in such a way as to prevent the absorption of water, with successive layers of concrete, ~5 cm, followed by layers of brown color ~1-2 mm.

Key words: Ancient concrete characterization, palace of Nestor, thermal analysis, mechanical properties, microstructure

Πίνακας περιεχομένων

I.	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	1
I.1	Γενικό θεωρητικό	1
I.1.1	<i>Ιστορική επισκόπηση Τεχνολογίας Κονιαμάτων και Σκυροδεμάτων</i>	<i>1</i>
I.1.2	<i>Κονίες και Κονιάματα</i>	<i>5</i>
I.1.2.1	Γενικά.....	5
I.1.2.2	Κονίες.....	7
I.1.2.2.1	Γύψος	7
I.1.2.2.2	Άσβεστος.....	8
I.1.2.2.2.1	Γενικά.....	8
I.1.2.2.2.2	Πρώτη ύλη για την παραγωγή ασβέστου	8
I.1.2.2.2.3	Τεχνολογία έσβεσης- Παραγωγή υδρασβέστου	8
I.1.2.2.2.4	Μορφή παραγόμενου ασβέστη.....	9
I.1.2.2.2.5	Σκλήρυνση της Υδρασβέστου	9
I.1.2.2.3	Υδραυλική Άσβεστος.....	10
I.1.2.2.3.1	Γενικά	10
I.1.2.2.3.2	Τεχνολογία όπτησης μαργαϊκών ασβεστόλιθων	11
I.1.2.2.3.3	Σβέση Υδραυλικής Ασβέστου.....	12
I.1.2.2.3.4	Πήξη και Σκλήρυνση	12
I.1.2.2.4	Τσιμέντο	13
I.1.2.2.4.1	Γενικά	13
I.1.2.2.4.2	Παρασκευή Τσιμέντου	13
I.1.2.2.4.3	Αντίδραση Τσιμέντου με το νερό.....	14
I.1.2.2.4.4	Είδη κονιαμάτων με βάση το τσιμέντο	14
I.1.3	<i>Αδρανή</i>	<i>15</i>
I.1.3.1	Γενικά.....	15
I.1.3.2	Αδρανή στα σκυροδέματα.....	16
I.1.3.3	Έλεγχος αδρανών.....	18
I.1.4	<i>Πρόσθετα</i>	<i>19</i>
I.1.4.1	Γενικά.....	19
I.1.4.2	Ποζολάνες.....	19

I.1.4.2.1	Φυσικές ποζολάνες	20
I.1.4.2.2	Τεχνητές ποζολάνες	20
I.1.4.3	Οργανικά Πρόσθετα.....	21
I.1.5	<i>Φθορά Ιστορικών Σκυροδεμάτων</i>	23
I.1.5.1	Μηχανικές Δράσεις.....	23
I.1.5.1.1	Εξωτερικής προέλευσης.....	23
I.1.5.1.2	Εσωτερικής προέλευσης	23
I.1.5.2	Χημικές Δράσεις.....	24
I.1.5.2.1	Φθορά Ασβεστιτικής Κονίας	24
I.1.5.2.2	Φθορά Υδραυλικής Κονίας.....	25
I.1.5.3	Βιολογικές Δράσεις.....	27
I.1.6	<i>Χαρακτηρισμός Ιστορικών Σκυροδεμάτων</i>	28
I.1.6.1	Μέθοδοι Χαρακτηρισμού Σκυροδεμάτων	28
I.1.6.1.1	Πετρογραφική, Ορυκτολογική Μελέτη	28
I.1.6.1.2	Φυσικές Μέθοδοι.....	28
I.1.6.1.3	Μέθοδοι Ανάλυσης Χημικής Σύστασης.....	28
I.1.6.1.4	Μελέτη Μικροδομής.....	29
I.1.6.1.5	Δοκιμές Μηχανικών Αντοχών και Υπερηχοσκόπηση	29
I.2	Ειδικό θεωρητικό	31
I.2.1	<i>Μελέτες Αρχαίου Σκυροδέματος</i>	31
I.2.1.1	Αρχαίο Ελληνικό Σκυρόδεμα.....	31
I.2.1.1.1	Τεχνολογία παραγωγής σκυροδέματος στην Αρχαία Ελλάδα	32
I.2.1.1.2	Φυσικοχημικές και Μηχανικές ιδιότητες Αρχαίου Ελληνικού Σκυροδέματος.....	34
I.2.1.2	Αρχαίο Ρωμαϊκό Σκυρόδεμα	35
I.2.1.2.1	Τεχνολογία παραγωγής Ρωμαϊκού Σκυροδέματος	35
I.2.1.2.2	Φυσικοχημικές και Μηχανικές ιδιότητες Ρωμαϊκού Σκυροδέματος.....	36
I.2.1.2.3	Το Ρωμαϊκό Σκυρόδεμα για θαλάσσιες κατασκευές.....	36
I.2.2	<i>Μυκηναϊκή Αρχιτεκτονική- Μυκηναϊκά Ανάκτορα</i>	38
I.2.2.1	Ανάκτορο Νέστορος.....	38
I.2.2.1.1	Ιστορία των Ανασκαφών	39
I.2.2.1.2	Τοποθεσία	40
I.2.2.1.3	Το Ανάκτορο	41
I.2.2.1.4	Αρχιτεκτονική και Δομικά Υλικά.....	42
I.2.2.1.4.1	Κεντρικό Κτίριο	42

I.2.2.1.4.2	Νοτιοδυτικό Κτίριο	51
I.2.2.1.4.3	Βορειοανατολικό Κτίριο.....	51
I.2.2.1.4.4	Αποθήκη Οίνου	52
I.2.2.1.4.5	Βορειοανατολική πλευρά της Ακρόπολης	52
I.2.2.1.5	Το τέλος του Ανακτόρου	53
I.2.2.2	Αναγνώριση και Χρονολόγηση του Ανακτόρου	53
II.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	55
II.1	Εισαγωγή	55
II.2	Οπτική Μικροσκοπία.....	56
II.2.1	Στερεομικροσκοπία.....	56
II.2.2	Μικροσκοπία Οπτικών Ινών	57
II.3	Κοκκομετρικός προσδιορισμός και αναλογία κονίας/αδρανών	59
II.4	Προσδιορισμός ορυκτολογικών ενώσεων -Περίθλαση ακτίνων Χ (XRD)	61
II.5	Ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός των συστατικών των σκυροδεμάτων – Θερμική Ανάλυση	62
II.5.1	Διαφορική Θερμική Ανάλυση (DTA)	62
II.5.2	Θερμοβαρυμετρική Ανάλυση (Θερμοζυγός-TG)	63
II.6	Υδατοαπορρόφηση μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης	65
II.7	Προσδιορισμός χαρακτηριστικών μικροδομής - Πορομετρία Υδραργύρου	66
II.8	Προσδιορισμός Μηχανικών Αντοχών και Στατικό Μέτρο Ελαστικότητας	68
II.9	Ταχύτητα Διάδοσης Υπερήχων και Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας	69
II.10	Φασματοσκοπία Raman	72
II.11	Προσδιορισμός Ολικών Διαλυτών Αλάτων.....	73
III.	ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ.....	75
III.1	Κωδικοποίηση Δειγμάτων – Περιγραφή- Θέσεις Δειγματοληψίας.....	75
III.2	Φωτογραφική Τεκμηρίωση Δειγμάτων	80
IV.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	97
IV.1	Οπτική Μικροσκοπία.....	97
IV.1.1	Στερεομικροσκοπία.....	97

IV.1.2	<i>Μικροσκοπία Οπτικών Ινών</i>	110
IV.2	Κοκκομετρική Ανάλυση	130
IV.3	Προσδιορισμός των ορυκτολογικών ενώσεων - Περίθλαση ακτίνων Χ (XRD)	139
IV.4	Ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός των συστατικών των σκυροδεμάτων – Θερμική Ανάλυση (DTA-TG)	142
IV.5	Προσδιορισμός των Υγρομετρικών Χαρακτηριστικών.....	149
IV.5.1	<i>Προσδιορισμός Συντελεστή Υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης.....</i>	149
IV.5.2	<i>Προσδιορισμός του πορώδους προσβάσιμο στο νερό διαμέσω των τριχοειδών 157</i>	
IV.6	Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών μικροδομής - Πορομετρία Υδραργύρου	161
IV.7	Προσδιορισμός Θλιπτικής Αντοχής και Στατικού Μέτρου Ελαστικότητας.....	166
IV.8	Προσδιορισμός Ταχύτητας Διάδοσης Υπερήχων και Δυναμικού Μέτρου Ελαστικότητας	173
IV.9	Φασματοσκοπία Raman.....	177
IV.10	Προσδιορισμός Ολικών Διαλυτών Αλάτων.....	179
V.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	181
VI.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	185
	<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I: ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ</u>	197
	<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II: ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ</u>	205
	<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III: ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΔΙΑΜΕΣΩ ΤΩΝ ΤΡΙΧΟΕΙΔΩΝ ΠΟΡΩΝ</u>	220
	<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV: ΠΟΡΟΜΕΤΡΙΑ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ</u>	228

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα I.1: Πρόπυλο (φωτ. από προσωπικό αρχείο)	45
Εικόνα I.2: Εστία στην Αίθουσα του θρόνου (φωτ. από προσωπικό αρχείο).....	46
Εικόνα I.3: Τοιχογραφία από το παλάτι του Νέστορα (φωτ. από http://www.dimos-pylou-nestoros.gr).....	47
Εικόνα I.4: Σκάλες που φανερώνουν την ύπαρξη διώροφης κατασκευής (φωτ. από προσωπικό αρχείο).....	48
Εικόνα I.5: Μέγαρο της Βασίλισσας (φωτ. από προσωπικό αρχείο)	49
Εικόνα I.6: Μέγαρο Βασίλισσας και Λουτρό (φωτ. από προσωπικό αρχείο).....	50
Εικόνα I.7: Σκευοθήκη (φωτ. από προσωπικό αρχείο)	50
Εικόνα II.1: Τρόποι εφαρμογής μεθόδου υπερήχων	70
Εικόνα III.1: Δυτική πλευρά του Ανακτόρου του Νέστορα (φωτ. από προσωπικό αρχείο) ...	78
Εικόνα III.2: Φωτογραφίες από το αρχαίο πάτωμα (α) θέση δειγματοληψίας 3B, (β) θέση δειγματοληψίας 2B, (γ) σκυρόδεμα από την θέση δειγματοληψίας 2B	78
Εικόνα III.3: Ανατολική πλευρά του Ανακτόρου του Νέστορα (φωτ. από προσωπικό αρχείο)	79
Εικόνα III.4: (α) Φωτογραφία από το αρχαίο πάτωμα στη θέση δειγματοληψίας 2Z, (β) σχέδιο τομής υπό κλίμακα	79
Εικόνα III.5: Κωδικοποίηση διαστρωμάτωσης σκυροδέματος	95
Εικόνα IV.1: Στερεομικροσκοπία για το δείγμα NP_2B_1.....	98
Εικόνα IV.2: Στερεομικροσκοπία για το δείγμα NP_2B_2.....	99
Εικόνα IV.3: Στερεομικροσκοπία για το δείγμα NP_2B_3.....	100
Εικόνα IV.4: Στερεομικροσκοπία για το δείγμα NP_2B_4.....	102
Εικόνα IV.5: Στερεομικροσκοπία για το δείγμα NP_2Z_1.....	103
Εικόνα IV.6: Στερεομικροσκοπία για το δείγμα NP_3B_2.....	105
Εικόνα IV.7: Στερεομικροσκοπία για το δείγμα NP_3B_3.....	106
Εικόνα IV.8: Στερεομικροσκοπία για το δείγμα NP_3B_4.....	107
Εικόνα IV.9: Στερεομικροσκοπία για το δείγμα NP_3B_5.....	109
Εικόνα IV.10: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_2B_1	110
Εικόνα IV.11: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_2B_2	111
Εικόνα IV.12: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_2B_3	112

Εικόνα IV.13: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_2B_4	113
Εικόνα IV.14: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_2Z_1.....	114
Εικόνα IV.15: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_2Z_2.....	115
Εικόνα IV.16: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_3B_1	116
Εικόνα IV.17: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_3B_2	117
Εικόνα IV.18: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_3B_3	118
Εικόνα IV.19: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_3B_4	119
Εικόνα IV.20: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_3B_5	120
Εικόνα IV.21: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_3B_6	121
Εικόνα IV.22: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δοκίμιο NP_2B_1	122
Εικόνα IV.23: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δοκίμιο NP_2B_3	123
Εικόνα IV.24: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δοκίμιο NP_2B_4	124
Εικόνα IV.25: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δοκίμιο NP_2Z_1.....	125
Εικόνα IV.26: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δοκίμιο NP_3B_2	126
Εικόνα IV.27: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δοκίμιο NP_3B_3	127
Εικόνα IV.28: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δοκίμιο NP_3B_4	128
Εικόνα IV.29: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δοκίμιο NP_3B_5	129
Εικόνα IV.30: Εικόνες του δοκιμίου NP_2B_1 μετά τη δοκιμή της μονοαξονικής θλίψης...	171
Εικόνα IV.31: Εικόνες του δοκιμίου NP_2B_4-2 μετά τη δοκιμή της μονοαξονικής θλίψης	171
Εικόνα IV.32: Εικόνες του δοκιμίου NP_2Z_1-1 μετά τη δοκιμή της μονοαξονικής θλίψης	171
Εικόνα IV.33: Εικόνες του δοκιμίου NP_2Z_1-2 μετά τη δοκιμή της μονοαξονικής θλίψης	172
Εικόνα IV.34: Εικόνες του δοκιμίου NP_3B_3 μετά τη δοκιμή της μονοαξονικής θλίψης...	172
Εικόνα IV.35: Εικόνες του δοκιμίου NP_3B_4 μετά τη δοκιμή της μονοαξονικής θλίψης...	172

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας III.1: Κωδικοποίηση δειγμάτων	76
Πίνακας III.2: Φωτογραφική τεκμηρίωση δειγμάτων	80
Πίνακας III.3: Φωτογραφική τεκμηρίωση των δοκιμίων, μετά τη μορφοποίησή τους.....	86
Πίνακας IV.1: Αποτελέσματα Κοκκομετρικής Κατανομής.....	131
Πίνακας IV.2: Αποτελέσματα ορυκτολογικού προσδιορισμού	139
Πίνακας IV.3: Ορυκτά που αναγνωρίστηκαν με χρήση της Περίθλασης Ακτίνων Χ.....	140
Πίνακας IV.4: Αποτελέσματα θερμοβαρυμετρικής ανάλυσης στο ολικό κόνιαμα και σε θραύσματα διαφορετικών αποχρώσεων	143
Πίνακας IV.5: Αποτελέσματα θερμοβαρυμετρικής ανάλυσης στο κλάσμα της κόνιας (<63μm)	146
Πίνακας IV.6: Αποτελέσματα θερμοβαρυμετρικής ανάλυσης στα συσσωματώματα κόνιας (Lumps)	147
Πίνακας IV.7.: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων με το μέσο όρο της απώλειας μάζας για το ολικό δείγμα, καθώς και την τυπική τους απόκλιση. (Μ.Ο.=Μέσος Όρος, Τ.Α.=Τυπική Απόκλιση).....	148
Πίνακας IV.8: Αποτελέσματα συντελεστή υδατοαπορρόφησης με τρεις διαφορετικές μεθόδους και για τις δύο σειρές μετρήσεων	153
Πίνακας IV.9: Πίνακας σύγκρισης συντελεστή υδατοαπορρόφησης με τη μέθοδο των δύο εφαπτομένων για κάθε θέση δειγματοληψίας, στην κατεύθυνση σκυροδετήσεως, με τυπική απόκλιση.....	156
Πίνακας IV.10: Αποτελέσματα υδατοαπορρόφησης με τριχοειδή αναρρίχηση για M_{water} (%), $T.C.V.w$ (mm ³ /g) και P (%).....	158
Πίνακας IV.11: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων ολικού πορώδους προσβάσιμου στο νερό μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης και συνολικού προσροφώμενου όγκου νερού ανά g δείγματος, ανάλογα με τη θέση δειγματοληψίας, με τον μέσο όρο και την τυπική απόκλιση	160
Πίνακας IV.12: Παράμετροι μικροδομής προσδιορισμένοι με την πορομετρία υδραργύρου	161
Πίνακας IV.13: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων Πορομετρίας Υδραργύρου ανάλογα με τη θέση δειγματοληψίας, με τον μέσο όρο και την τυπική απόκλιση.....	163

Πίνακας IV.14: Πίνακας σύγκρισης Ποσοστού Ολικού Πορώδους μέσω της Πορομετρίας Υδραργύρου και μέσω της Υδατοαπορρόφησης με τριχοειδή αναρρίχηση	165
Πίνακας IV.15: Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής F_c και στατικού μέτρου ελαστικότητας E_{st} για κάθε δοκίμιο και συγκεντρωτικά για κάθε θέση	167
Πίνακας IV.16: Ταχύτητες Διάδοσης των υπερήχων στις τρεις πλευρές των δοκιμίων και ο μέσος όρος των τριών τιμών.	174
Πίνακας IV.17: Αποτελέσματα φαινόμενης πυκνότητας, ταχύτητας διάδοσης υπερήχων και δυναμικού μέτρου ελαστικότητας κάθε δοκιμίου και συγκεντρωτικά για κάθε θέση δειγματοληψίας με την τυπική απόκλιση	174
Πίνακας IV.18: Αποτελέσματα Ολικών Διαλυτών Αλάτων	179
Πίνακας ΠΙΙ.VI.1: Διαγράμματα DTA-TG ολικού δείγματος και θραυσμάτων διαφορετικών αποχρώσεων	205
Πίνακας ΠΙΙ.VI.2: Διαγράμματα DTA-TG συσσωματωμάτων κονιάς (lumps)	215
Πίνακας ΠΙΙ.VI.3: Διαγράμματα DTA-TG κλάσματος κονιάς	218

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα I.1: Κάτοψη Ανακτόρου Νέστορα με αρίθμηση των χώρων. (φωτ. από το βιβλίο“Το Ανάκτορο του Νέστορος: Σύντομος Οδηγός”, Σχέδιο Ι. Τραυλού) [44]	43
Σχήμα I.2: Αρίθμηση θέσεων κάτοψης (φωτ. από το βιβλίο“Το Ανάκτορο του Νέστορος: Σύντομος Οδηγός”, Σχέδιο Ι. Τραυλού) [44].....	44
Σχήμα III.1: Κάτοψη Ανακτόρου Νέστορος	77
Σχήμα IV.1: Κατανομή διερχόμενων αδρανών δείγματος NP_2B_1 σε αθροιστική ημιλογαριθμική κλίμακα	132
Σχήμα IV.2: Ιστόγραμμα κατανομής συγκρατούμενων αδρανών δείγματος NP_2B_1	132
Σχήμα IV.3: Κατανομή διερχόμενων αδρανών δείγματος NP_2Z_1 σε αθροιστική ημιλογαριθμική κλίμακα	133
Σχήμα IV.4: Ιστόγραμμα κατανομής συγκρατούμενων αδρανών δείγματος NP_2Z_1.....	133
Σχήμα IV.5: Κατανομή διερχόμενων αδρανών δείγματος NP_3B_1 σε αθροιστική ημιλογαριθμική κλίμακα	134
Σχήμα IV.6: Ιστόγραμμα κατανομής συγκρατούμενων αδρανών δείγματος NP_3B_1	134
Σχήμα IV.7: Συγκριτική ημιλογαριθμική κλίμακα κατανομής αδρανών NP_3B_1 με θεωρητική καμπύλη FULLER.....	136
Σχήμα IV.8: Συγκριτικό ιστόγραμμα κατανομής συγκρατούμενων αδρανών δείγματος NP_3B_1- FULLER.....	137
Σχήμα IV.9: Συγκριτική ημιλογαριθμική κλίμακα κατανομής αδρανών για τα τρία δείγματα και την θεωρητική καμπύλη Fuller.....	138
Σχήμα IV.10: Συγκριτικό ιστόγραμμα κατανομής συγκρατούμενων αδρανών NP_2B_1, NP_2Z_1, NP_3B_1, FULLER	138
Σχήμα IV.11: Προσδιορισμός του συντελεστή υδατοαπορρόφησης α) στα 30 min, β) με τη μέθοδο του γραμμικού τμήματος, γ) με τη μέθοδο δύο εφαπτομένων	150
Σχήμα IV.12: Χαρακτηριστική καμπύλη υδατοαπορρόφησης για τα δοκίμια από τη θέση δειγματοληψίας 2B.....	151
Σχήμα IV.13: Χαρακτηριστική καμπύλη υδατοαπορρόφησης για τα δοκίμια από τη θέση δειγματοληψίας 2Z.....	152
Σχήμα IV.14: Χαρακτηριστική καμπύλη υδατοαπορρόφησης για τα δοκίμια από τη θέση δειγματοληψίας 3B.....	152

Σχήμα IV.15: Διάγραμμα σύγκρισης Ποσοστού Ολικού Πορώδους μέσω της Πορομετρίας Υδραργύρου και μέσω της Υδατοαπορρόφησης με τριχοειδή αναρρίχηση, με τυπική απόκλιση.....	165
Σχήμα IV.16: Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το δείγμα NP_2B_1	168
Σχήμα IV.17: Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το δείγμα NP_2B_2-1	168
Σχήμα IV.18: Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το δείγμα NP_2Z_1-1	169
Σχήμα IV.19: Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το δείγμα NP_2Z_1-2	169
Σχήμα IV.20: Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το δείγμα NP_3B_3	170
Σχήμα IV.21: Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το δείγμα NP_3B_4	170
Σχήμα IV.22: Διάγραμμα σύγκρισης στατικού και δυναμικού μέτρου ελαστικότητας	176
Σχήμα IV.23: Φάσμα Raman	177
Σχήμα ΠΙ.VI.1: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_2B_1T.....	197
Σχήμα ΠΙ.VI.2: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_2B_1D	198
Σχήμα ΠV.VI.3: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_2B_2T	198
Σχήμα ΠΙ.VI.4: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_2B_3E.....	199
Σχήμα ΠΙ.VI.5: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_2B_3T.....	199
Σχήμα ΠΙ.VI.6: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_2B_4T.....	200
Σχήμα ΠΙ.VI.7: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_2Z_1T	200
Σχήμα ΠΙ.VI.8: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_2Z_2T	201
Σχήμα ΠΙ.VI.9: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_3B_1T.....	201
Σχήμα ΠΙ.VI.10: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_3B_2T.....	202
Σχήμα ΠΙ.VI.11: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_3B_3T.....	202
Σχήμα ΠΙ.VI.12: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_3B_4T.....	203
Σχήμα ΠΙ.VI.13: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_3B_5T.....	203
Σχήμα ΠΙ.VI.14: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_3B_6T.....	204
Σχήμα ΠΙΙΙ.VI.15: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_2B_3-1.....	221
Σχήμα ΠΙΙΙ.VI.16: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_2B_3-2.....	221
Σχήμα ΠΙΙΙ.VI.17: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_2B_4-1.....	222
Σχήμα ΠΙΙΙ.VI.18: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_2B_4-2.....	222
Σχήμα ΠΙΙΙ.VI.19: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_2B_4-3.....	223
Σχήμα ΠΙΙΙ.VI.20: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_2B_4-4.....	223
Σχήμα ΠΙΙΙ.VI.21: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_2Z_1-1.....	224

Σχήμα ΠΙΙΙ.ΥΙ.22: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_2Z_1-2.....	224
Σχήμα ΠΙΙΙ.ΥΙ.23: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_3B_2-1.....	225
Σχήμα ΠΙΙΙ.ΥΙ.24: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_3B_2-2.....	225
Σχήμα ΠΙΙΙ.ΥΙ.25: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_3B_3.....	226
Σχήμα ΠΙΙΙ.ΥΙ.26: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_3B_4.....	226
Σχήμα ΠΙΙΙ.ΥΙ.27: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_3B_5.....	227
Σχήμα ΠΙΥ.ΥΙ.28: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_2B_1	228
Σχήμα ΠΙΥ.ΥΙ.29: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_2B_2	229
Σχήμα ΠΙΥ.ΥΙ.30: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_2B_3	229
Σχήμα ΠΙΥ.ΥΙ.31: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_2B_4	230
Σχήμα ΠΙΥ.ΥΙ.32: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_2Z_1.....	230
Σχήμα ΠΙΥ.ΥΙ.33: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_2Z_2.....	231
Σχήμα ΠΙΥ.ΥΙ.34: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_3B_1	231
Σχήμα ΠΙΥ.ΥΙ.35: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_3B_2	232
Σχήμα ΠΙΥ.ΥΙ.36: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_3B_3	232
Σχήμα ΠΙΥ.ΥΙ.37: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_3B_4	233
Σχήμα ΠΙΥ.ΥΙ.38: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_3B_5	233
Σχήμα ΠΙΥ.ΥΙ.39: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_3B_6	234

I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

I.1 Γενικό θεωρητικό

I.1.1 Ιστορική επισκόπηση Τεχνολογίας Κονιαμάτων και Σκυροδεμάτων

Ο όρος κονίαμα αναφέρεται σε ένα σύνθετο δομικό υλικό που αποτελεί μείγμα συνδετικής κονίας, με ή χωρίς την παρουσία αδρανών και προσθέτων, και νερού. Οι 3 κύριες χρήσεις του είναι η σύνδεση δομικών υλικών και η πλήρωση κενών (κονιάματα αρμών), η επένδυση στοιχείων σε κατασκευές για λόγους όπως μόνωση, προφύλαξη και αισθητική (επιχρίσματα), και η χρήση του ως υπόστρωμα σε δάπεδα, μωσαϊκά, ψηφιδωτά και τοιχογραφίες (κονιάματα υποστρωμάτων) [1,2]. Όταν το μέγεθος των αδρανών ξεπερνά τα 5 mm , τότε ονομάζεται σκυρόδεμα.

Η ανάγκη για επιβίωση ήταν αυτή που ωθούσε πάντα τον άνθρωπο στις μεγαλύτερες ανακαλύψεις, έτσι η ανάγκη για στέγαση ήταν που τον οδήγησε από τη Νεολιθική περίοδο (9000-8000 π.Χ.) στην εκμετάλλευση πρώτων υλών για την παραγωγή κονιαμάτων.

Το αρχαιότερο γνωστό σήμερα σκυρόδεμα χρονολογούμενο από το 7000 π.Χ. βρίσκεται στη νότια Γαλιλαία, Fifth El, Ισραήλ. Ανακαλύφθηκε το 1985 κατά τη διάνοιξη ενός δρόμου και σχηματίζει κάποιο δάπεδο. Αποτελείται από μίγμα ασβέστη με πέτρες. Ο ασβέστης όταν αναμιχθεί με νερό και άμμο δημιουργεί μία “λάσπη” - κονίαμα το οποίο ερχόμενο σε επαφή με το διοξείδιο του άνθρακα του ατμοσφαιρικού αέρα σκληραίνει και δημιουργεί ένα στερεό σώμα. Αν το κονίαμα αυτό ανακατευτεί με πέτρες, συνδέει - συγκολλάει τις πέτρες και δημιουργεί ένα είδος σκυροδέματος. Άλλο παλαιό εύρημα σκυροδέματος υπάρχει στις όχθες του Δούναβη στο Lepenski Vir στη Γιουγκοσλαβία και χρονολογείται από το 5600 π.Χ. Αποτελεί το δάπεδο μιας προϊστορικής καλύβας. Από το 3000 π.Χ. τουλάχιστον, άρχισαν να εφαρμόζονται τα ασβεστοκονιάματα για τη σύνδεση οπτόπλινθων, ενώ η χρήση τους συνεχίστηκε για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα. Στη μεγάλη πυραμίδα στην Γκίζα της

Αιγύπτου (2500 π.Χ.) οι λίθοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με κάποιο κονίαμα από ασβέστη ή γύψο. Στην ίδια χώρα, στις αρχαίες Θήβες, υπάρχει τοιχογραφία με αναπαράσταση των εργασιών παρασκευής ασβεστοκονιάματος και χτισίματος με το υλικό αυτό. Την ίδια εποχή αναφέρεται ότι στην Κίνα χρησιμοποιήθηκαν τσιμεντοειδή υλικά για την κατασκευή του Σινικού Τείχους [3, 4, 5, 6].

Μισό αιώνα αργότερα, ενώ ήδη έχει αρχίσει η αντικατάσταση των ασφαλικών κονιαμάτων, πραγματοποιείται στην Μεσοποταμία η όπτηση ασβεστόλιθων για την παραγωγή ασβέστη.

Η τεχνολογία των κονιαμάτων μεταφέρεται από την Μέση Ανατολή στους νεότερους πολιτισμούς, όπως Ελλήνων και Ρωμαίων. Η θέση της Ελλάδας θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη διάδοση της χρήσης των κονιαμάτων για κατασκευαστικούς σκοπούς. Κατά τη Ρωμαϊκή περίοδο εμφανίζονται νέες δομές και οι τεχνίτες ενδιαφέρονται για τις ιδιότητες των υλικών και για τη σωστή εφαρμογή τους σε συνδυασμό με τη λειτουργία τους στη δομή. Η μεγάλη ποικιλία των υλικών δόμησης, κατά την περίοδο αυτή, οφείλεται στην έκταση της αυτοκρατορίας και στο μεγάλο χρονικό διάστημα ζωής της. Γινόταν χρήση λίθων, πλίνθων και κονιαμάτων, που δεν χρησιμοποιούνταν πλέον μόνο για επίχριση, αλλά και ως συνδετικά υλικά. Τα κονιάματα είχαν βάση την άσβεστο με άμμο ή/και θηραϊκή γη. Αργότερα, η προσθήκη κεραμάλευρου επέφερε πολύ καλά αποτελέσματα και το ισχυρό αυτό μείγμα συνέχισε να εφαρμόζεται στην παλαιοχριστιανική και την βυζαντινή περίοδο. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι από τις πρώτες αξιολογές προσπάθειες συλλογής, οργάνωσης και καταγραφής σε εγχειρίδιο όλων των οικοδομικών τεχνικών, καθώς και εμπειρικών τεχνικών γνώσεων, ήταν αυτή που έγινε από το Λατίνο μηχανικό Βιτρούβιο με σκοπό την πληροφόρηση των σύγχρονων του τεχνιτών χρησιμοποιεί την ελληνική λέξη "έμπλεκτον" για να περιγράψει ένα υλικό, πρόδρομο του σημερινού σκυροδέματος, που αποτελείται από ένα συνδετικό κονίαμα στο οποίο αναμιγνύονται μικρά τεμάχια λίθων. Σε χειρόγραφο του γραμμένα τα πρώτα προχριστιανικά χρόνια (περί το 13 π.Χ.) που ανακαλύφθηκαν το 1414 μ.Χ. σε μοναστήρι της Ελβετίας, έδινε οδηγίες στους αρχιτέκτονες για την παρασκευή κονιάματος που πήζει τόσο στον αέρα όσο και στο νερό. Είναι γνωστό ότι όλα τα κονιάματα με ασβέστη και νερό για να πήξουν και να σκληρυνθούν χρειάζεται να παραμείνουν στον αέρα (αερικά κονιάματα) ώστε να γίνει η χημική αντίδραση της άσβεστου με το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας. Οι αρχαίοι Έλληνες ήταν ίσως οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν υδραυλικές κονίες δηλ. κονίες που όταν ανακατευτούν με το νερό μπορούν

να πήξουν και να σκληρυνθούν τόσο στον αέρα όσο και μέσα στο νερό. Είναι επομένως αυτονόητο ότι τα κονιάματα και τα σκυροδέματα που παρασκευάζονται με υδραυλικές κονίες έχουν πολύ μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στις χρόνιες επιδράσεις του περιβάλλοντος. Το έργο του για την αρχιτεκτονική, 'De Architectura', λειτούργησε ως πρότυπο για τους συγγραφείς αρχιτεκτονικών πραγματειών της Αναγέννησης [5, 6, 7, 8].

Ο Μεσαίωνας αποτελεί περίοδο ύφεσης στην εξέλιξη της τεχνολογίας των κονιαμάτων, μιας και η γενική στασιμότητα οδήγησε στην υποβάθμιση της ποιότητας των εν λόγω κονιαμάτων εξαιτίας της χρήσης χαμηλής ποιότητας πρώτων υλών. Η ανακάλυψη των χειρόγραφων του Vitruvius το 1414 μ.Χ. όμως, αναθέρμανε το ενδιαφέρον για το σκυρόδεμα και λίγα χρόνια μετά, το 1500 χρησιμοποιείται ποζολανικό κονίαμα στα βάθρα της Παναγίας των Παρισίων που αποτελεί την πρώτη διαπιστευμένη χρήση σκυροδέματος στην νεότερη εποχή.

Το πρώτο ουσιαστικά βήμα για τη δημιουργία του τσιμέντου υπό τη μορφή που χρησιμοποιείται σήμερα θα μπορούσε να αποδοθεί στον Άγγλο μηχανικό John Smeaton στα μέσα του 1.700 μ.Χ. Στο μηχανικό αυτό ανατέθηκε η κατασκευή ενός φάρου κοντά στο Plymouth, ο οποίος είχε προηγουμένως κατασκευασθεί από ξύλο και είχε δύο φορές καταστραφεί, αρχικά από πυρκαγιά και τελικά από θύελλα. Ήταν πλέον αυτονόητο ότι ο φάρος θα έπρεπε να κατασκευαστεί από πέτρα αλλά η γειτνίαση με τη θάλασσα και η βραδύτητα πήξεως και σκλήρυνσης των ασβεστοκονιαμάτων δεν επέτρεπαν το ασφαλές χτίσιμο. Ο Smeaton άρχισε να ερευνά τα διάφορα υλικά και διαπίστωσε ότι τα ασβεστοκονιάματα με ασβέστη ο οποίος έχει παρασκευαστεί από το ψήσιμο ασβεστόλιθου που περιείχε άργιλο (δηλ. πυρίτιο και αργίλιο) μπορούσαν να πήξουν τόσο στον αέρα όσο και σπουδαιότερο- μέσα στο νερό. Αυτή η παρατήρηση θεωρείται ότι αποτελεί το πρώτο σημαντικό βήμα για την παραγωγή του τσιμέντου με τη μορφή που παράγεται σήμερα. Ο James Parker, στην Αγγλία, πατεντάρει ένα φυσικό υδραυλικό τσιμέντο που παρασκευάζει θερμαίνοντας (ασβεστοποιώντας) ακάθαρτο ασβεστόλιθο που περιέχει άργιλο. Το ονομάζει τσιμέντο Parker ή Ρωμαϊκό τσιμέντο [7, 9].

Παράλληλα στη Γαλλία, Ο νεαρός μηχανικός Louis Vicat μελετούσε τις υδραυλικές ιδιότητες ενός μίγματος «άσβεστου – ηφαιστειογενούς τέφρας» και προσδιόρισε με ακριβή, ελεγχόμενο και αναπαράξιμο τρόπο τις αναλογίες ασβεστόλιθου και πυριτίου που απαιτούνταν, για να δημιουργηθεί ένα μίγμα, το οποίο, μετά από έψηση σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και άλεση, παρήγαγε ένα υδραυλικό συνδετικό υλικό για βιομηχανικές

εφαρμογές. Ήταν το γνωστό τσιμέντο. Ωστόσο δημοσίευσε τα αποτελέσματα της έρευνάς του χωρίς να καταθέσει αίτηση διπλώματος ευρεσιτεχνίας [9].

Η συστηματικότερη παρασκευή τσιμέντου αποδίδεται στον Άγγλο μηχανικό Joseph Aspdin ο οποίος έδωσε στο υλικό (για το οποίο πήρε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας) το όνομα που και σήμερα χρησιμοποιείται "τσιμέντο Portland ". Το όνομα αυτό δόθηκε γιατί το χρώμα του σκληρυμένου τσιμέντο ήταν πολύ κοντά στο χρώμα των πετρωμάτων στο Portland. Σήμερα σώζεται (σε εγκαταστάσεις Βρετανικής Τσιμεντοβιομηχανίας) ένας από τους πέτρινους κλιβάνους που χρησιμοποίησε ο γιος του Aspdin, William για την παραγωγή του τσιμέντου.

Το τσιμέντο Portland αντικατέστησε τα παραδοσιακά κονιάματα και αποτελεί μέχρι σήμερα το κύριο συστατικό της οικοδομικής βιομηχανίας [7].

I.1.2 Κονίες και Κονιάματα

I.1.2.1 Γενικά

Ως κονίες ορίζουμε τα υλικά που βρίσκονται σε μορφή σκόνης και κατά την ανάμιξή τους με το νερό, σχηματίζουν μια πολτώδη ουσία, η οποία βαθμιαία πήζει και σκληραίνει. Οι κονίες χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με τις συνθήκες που επηρεάζουν την πήξη και σκλήρυνσή τους, τις αερικές και τις υδραυλικές.

Αερικές είναι οι κονίες, οι οποίες πήζουν και σκληρύνονται στον ατμοσφαιρικό αέρα αποδίδοντας νερό και συντηρούνται μόνο στο περιβάλλον τους. Είναι υδατοδιαλυτές, δηλαδή διαλύονται στο νερό ή ακόμα και σε περιβάλλον με αυξημένη υγρασία. Αερικές κονίες είναι η γύψος και η αερική άσβεστος.

Υδραυλικές είναι οι κονίες, οι οποίες πήζουν και σκληραίνουν τόσο στον αέρα, όσο και μέσα στο νερό ή σε υγρό περιβάλλον. Δεν διαλύονται στο νερό, διαφέρουν όμως μεταξύ τους ως προς την πήξη και τη σκλήρυνση. Για παράδειγμα, η υδραυλική άσβεστος πήζει και σκληραίνει αρχικά στον αέρα, μετά όμως από ορισμένο χρονικό διάστημα είναι δυνατόν να διατηρηθεί στο νερό, όπου και συνεχίζεται η σκλήρυνση, ενώ το τσιμέντο μετά την ανάμιξή του με νερό πήζει και σκληραίνει και στον αέρα και στο νερό. Η ιδιότητα των υδραυλικών κονιών να πήζουν και να σκληραίνουν μέσα στο νερό, όταν είναι με τη μορφή λεπτών κόκκων και αναμιγνύονται με νερό, ονομάζεται υδραυλικότητα. Στις υδραυλικές κονίες ανήκουν η υδραυλική άσβεστος και το τσιμέντο.

Κονιάματα είναι μείγματα μίας ή περισσότερων συνδετικών υλών (κονιών), νερού, λεπτόκοκκων αδρανών (<4mm) 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 [10].

Τα κονιάματα μπορούν να διαχωριστούν κατά διάφορους τρόπους όπως :

- Ανάλογα με τον τρόπο πήξης και σκλήρυνσης που εξαρτάται από το είδος της κονιάς, σε **υδραυλικά** και **αερικά**.

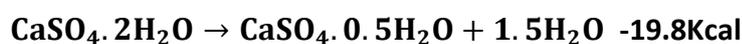
- Ανάλογα με το φαινόμενο βάρος τους σε **ελαφριά** (<1500Kg/m³) και **βαριά** (>1500Kg/m³).
- Ανάλογα με το είδος της κονιάς ή των αδρανών σε:
 - **Τσιμεντοκονιάματα**, με συνδετική ύλη το τσιμέντο
 - **Ασβεστοκονιάματα**, με συνδετική ύλη τον πολτό άσβεστου ή την κονιοποιημένη υδράσβεστο.
 - **Τσιμεντοασβεστοκονιάματα**, ή μικτά κονιάματα με μείγμα τσιμέντου και άσβεστου ως συνδετική ύλη.
 - **Ποζολανικά κονιάματα**, με συνδετική ύλη άσβεστο (με μερική υποκατάσταση με τσιμέντο) και ποζολάνα (φυσική ή τεχνητή).
 - **Μαρμαροκονιάματα**, με κύριο αδρανές τη μαρμαρόσκονη αντί της άμμου και συνδετική ύλη ασβέστη ή τσιμέντο (με ενδεχόμενη μικρή προσθήκη γύψου)
 - **Γυψοκονιάματα**, με κύριο συνδετικό υλικό την γύψο.
- Ανάλογα με την χρήση τους σε κονιάματα δόμησης ή κονιάματα τοιχοποιίας, κονιάματα επιχρισμάτων, ισοπεδωτικά ή κονιάματα εξίσωσης δαπέδων, επισκευαστικά κονιάματα και συγκολλητικά, όπου υπάγονται οι διάφορες κόλλες. Διάφορες επιμέρους κατηγορίες, όπως θερμομονωτικά, ηχομονωτικά, πυράντοχα κλπ, είναι υποπεριπτώσεις των παραπάνω γενικών κατατάξεων.

I.1.2.2 Κονίες

I.1.2.2.1 Γύψος

Γύψος ονομάζεται το θειικό ασβέστιο είτε στην άνυδρη (CaSO_4), είτε στη διένυδρη μορφή του ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, σεληνίτης), που βρίσκεται στη φύση με τη μορφή ορυκτών. Με την ίδια ονομασία αναφέρεται και ο ημιυδρίτης ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), προϊόν της μερικής αφυδάτωσης του σεληνίτη, ο οποίος χρησιμοποιείται εναλλακτικά με τον ανυδρίτη ως συνδετικό υλικό.

Η πρώτη ύλη για την παραγωγή του συνδετικού υλικού είναι το $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Με θέρμανση στους 128°C , χάνει το ενάμισο μόριο νερού και σχηματίζεται ο ημιυδρίτης κατά την ενδόθερμη αντίδραση:



Στους 163°C σχηματίζεται ο ανυδρίτης:



Αυξάνοντας την θερμοκρασία στους 300°C , η μορφή α του ανυδρίτη μεταπίπτει στην μορφή β (νεκρή γύψος) με χαρακτηριστικό του τον πολύ χαμηλό ρυθμό ενυδάτωσης.

Στην πήξη και στην σκλήρυνση του ημιυδρίτη δεν συμμετέχει το CO_2 της ατμόσφαιρας επομένως θα μπορούσε να θεωρηθεί ως υδραυλική κονία. Επειδή, όμως, δεν διατηρείται σε υγρό περιβάλλον, κατατάσσεται στις αερικές κονίες [11].

Ο συνηθισμένος χρόνος πήξης είναι 5-60 λεπτά, ενώ ο χρόνος σκλήρυνσης 7-40 λεπτά. Η πήξη και η σκλήρυνση μπορούν να επιταχυνθούν ή να επιβραδυνθούν με τη χρήση πρόσθετων υλικών.

Η αντοχή της γύψου σε εφελκυσμό είναι $10\text{-}20 \text{ Kg/cm}^2$ και η αντοχή της σε θλίψη είναι $40\text{-}70 \text{ Kg/cm}^2$. Η ποσότητα του προστιθέμενου νερού, ο τρόπος μίξης και η θερμοκρασία επηρεάζουν τις τιμές των αντοχών. Αναμιγνύοντας την κονία με λεπτή άμμο σε ποσοστό μέχρι και 50%, αυξάνουμε τις μηχανικές αντοχές του κονιάματος.

Η γύψος χρησιμοποιείται σε επιχρίσματα, κονιάματα και στην κατασκευή αντικειμένων τα οποία μορφώνονται σε καλούπια (εκμαγεία). Λόγω της διαλυτότητας της σε νερό χρησιμοποιείται μόνο σε εσωτερικές κατασκευές και όχι σε έργα, τα οποία είναι εκτεθειμένα σε υγρασία και στο νερό της βροχής [12, 13].

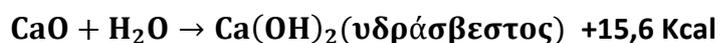
1.1.2.2.2 Άσβεστος

1.1.2.2.2.1 Γενικά

Αερική ή καυστική άσβεστος ονομάζεται το οξείδιο του ασβεστίου (CaO) το οποίο προκύπτει από την όπτηση, δηλαδή τη διάσπαση σε υψηλές θερμοκρασίες, ασβεστολιθικών πετρωμάτων που αποτελούνται σχεδόν από καθαρό ανθρακικό ασβέστιο (CaCO₃) με σύγχρονη αποβολή CO₂ κατά την ενδόθερμη αντίδραση:



ενώ στη συνέχεια ακολουθεί σβέση της παραγόμενης άσβεστου και παραγωγή της Ca(OH)₂, κατά την εξώθερμη αντίδραση :



1.1.2.2.2.2 Πρώτη ύλη για την παραγωγή ασβέστου

Το ανθρακικό ασβέστιο συναντάται συχνά με την παρουσία του ανθρακικού μαγνησίου (MgCO₃) με την μορφή του δολομίτη (CaMg(CO₃)₂) και μπορεί επίσης να περιέχει ξένες προσμίξεις σε διάφορα ποσοστά. Όταν το περιεχόμενο ποσοστό του ασβεστολιθικού πετρώματος σε MgCO₃ κυμαίνεται μεταξύ 2-5% παράγεται άσβεστος πλούσια σε ασβέστιο, ενώ με ποσοστό μεγαλύτερο του 5% παράγεται μαγνησιακή (δολομιτική) άσβεστος.

1.1.2.2.2.3 Τεχνολογία έσβεσης- Παραγωγή υδρασβέστου

Η ποιότητα του παραγόμενου ασβέστη, ορίζεται με τον δείκτη απόδοσης R. Ο δείκτης αυτός ορίζεται ως εξής:

$$R = \text{όγκος υδρασβέστου (m}^3\text{)} / \text{βάρος αρχικού CaO (t)}$$

Όταν ο δείκτης απόδοσης είναι πάνω από 2.5, παράγεται παχιά άσβεστος υψηλής ποιότητας. Όταν είναι ανάμεσα σε 1.5 και 2.5, παράγεται ισχνή άσβεστος χαμηλής ποιότητας, ενώ όταν ο δείκτης απόδοσης είναι χαμηλότερος από 1.5, παράγεται άσβεστος ακατάλληλη για δομική χρήση.

I.1.2.2.2.4 *Μορφή παραγόμενου ασβέστη*

Ο παραγόμενος ασβέστης, όταν προστίθεται ποσότητα νερού περίπου το 32% κ.β. της ποσότητας του ασβέστη, είναι σε μορφή σκόνης. Με σβέση σε περίσσεια νερού παράγεται σε μορφή πολτού.

Η σκόνη έχει χρώμα υπόλευκο έως λευκό και προσβάλλεται πολύ λίγο από το CO₂ της ατμόσφαιρας, εφόσον δεν υπάρχει ελεύθερο νερό. Σε αντίθεση με τον πολτό όπου η παρουσία MgO αποτελεί δυσμενή παράγοντα για την ταχύτητα φύρασης (σίτεμα), στην σκόνη η ύπαρξη MgO συντελεί στην αύξηση της μικρότερης, σε σχέση με τον πολτό, πλαστικότητας, λόγω της ικανότητας του MgO να συγκρατεί περισσότερο νερό.

Σε σχέση με τον ασβεστοπολτό, η σκόνη πλεονεκτεί στο ότι δεν χρειάζεται φύραση και στο γεγονός ότι αποθηκεύεται και μεταφέρεται ευκολότερα και ασφαλέστερα από ότι ο πολτός. Ο προσδιορισμός των αναλογιών των κονιαμάτων είναι πιο εύκολος, όπως και η πρόσμιξη των συστατικών των κονιαμάτων είναι ταχύτερη και πληρέστερη. Τα κονιάματα με σκόνη τέλος, εμφανίζουν μικρότερη συστολή κατά την πήξη [1].

Ο πολτός αντίθετα πλεονεκτεί στο ότι έχει μεγαλύτερη ικανότητα παραλαβής άμμου στα κονιάματα τα οποία, όταν κατασκευάζονται με πολτό, είναι πιο πλαστικά. Τα επιχρίσματα με πολτό έχουν μεγαλύτερη αντοχή, πρόσφυση και συνοχή. Παράλληλα ο πολτός έχει μεγαλύτερη απόδοση (m³ παραγόμενου ένυδρου προϊόντος ανά t CaO) κατά την σβέση του. Στην υδράσβεστο, τέλος, υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να βρεθούν άσβεστοι, άψητοι και υπερψημένοι κόκκοι, οι οποίοι, προφανώς, θα έχουν δυσμενή επίπτωση στην ανθεκτικότητα των κονιαμάτων.

I.1.2.2.2.5 *Σκλήρυνση της Υδρασβέστου*

Το υδροξείδιο του ασβεστίου έχει την ιδιότητα να προσροφά εύκολα το CO₂ της ατμόσφαιρας και να μετατρέπεται σε ανθρακικό ασβέστιο, αποβάλλοντας ταυτόχρονα νερό:



Η κινητική της αντίδρασης είναι αρχικά αργή, αφού οι πόροι είναι γεμάτοι νερό και δεν ευνοείται η διείσδυση του CO₂. Στη συνέχεια όμως, οι πόροι αδειάζουν σταδιακά λόγω της εξάτμισης του νερού και η αντίδραση επιταχύνεται. Όταν οι πόροι έχουν μερικώς πληρωθεί, το φαινόμενο της ενανθράκωσης επιταχύνεται, και αυτός είναι ένας από τους λόγους που

χρησιμοποιούνται αδρανή στα ασβεστοκονιάματα. Με την παρουσία τους δημιουργούν πόρους και έτσι είναι εφικτή η διείδυση του CO₂ στο εσωτερικό τους.

Έτσι, για να ολοκληρωθεί η διαδικασία της σκλήρυνσης, θα πρέπει να έχουμε επαφή όλης της μάζας της κονίας με τον αέρα, δηλαδή με το CO₂, αλλά και να διατηρείται σε σχετικά ξηρό περιβάλλον, ώστε να εξατμίζεται εύκολα το νερό [2].

Η χρήση ασβέστη στην παραγωγή κονιάματος, παρουσιάζει πλεονεκτήματα αφού προκαλεί:

- Αύξηση της ανθεκτικότητας του κονιάματος
- Αύξηση της προσφύσεως του κονιάματος με τα δομικά υλικά της τοιχοποιίας καθώς και των παραγόντων που επηρεάζουν την αντοχή, έκταση και ανθεκτικότητα της προσφύσεως
- Αύξηση της στεγανότητας των τοιχοποιιών
- Αύξηση της εργασιμότητας και της πλαστικότητας
- Εξασφάλιση της ικανότητας για αυτογενή αποκατάσταση των μικρορωγμών
- Μείωση των εξανθημάτων των τοιχοποιιών

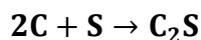
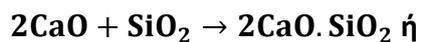
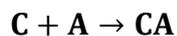
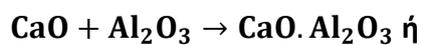
1.1.2.2.3 Υδραυλική Άσβεστος

1.1.2.2.3.1 Γενικά

Υδραυλική άσβεστος είναι η άσβεστος που κυρίως συνίστανται από πυριτικά άλατα του ασβεστίου και του αργιλίου καθώς και υδροξείδιο του ασβεστίου. Παράγεται με έψηση, πλουσίων σε αργίλιο, ασβεστόλιθων και στην συνέχεια σβήσιμο και άλεση ή με την ανάμειξη των κατάλληλων υλικών με υδροξείδιο του ασβεστίου. Οι υδραυλικές κονίες έχουν το κοινό γνώρισμα να μη διαλύονται στο νερό, μπορούν όμως να διαφέρουν ως προς την πήξη και τη σκλήρυνση, π.χ. η υδραυλική άσβεστος πήζει και αρχικά σκληρύνεται στον αέρα, μετά δε από ορισμένο χρονικό διάστημα, μπορεί να διατηρηθεί στο νερό, όπου συνεχίζεται η σκλήρυνση. Το διοξείδιο του άνθρακα συμβάλλει θετικά στην διαδικασία της σκλήρυνσης. Διακρίνεται στην υδραυλική και στην φυσική υδραυλική άσβεστο. Δεν παράγονται βιομηχανικά στην Ελλάδα.

I.1.2.2.3.2 Τεχνολογία όπτησης μαργαϊκών ασβεστόλιθων

Η φυσική υδραυλική άσβεστος προέρχεται από έψηση ειδικών μαργαϊκών ασβεστόλιθων που περιέχουν 5-20% άργιλο. Η έψηση γίνεται σε θερμοκρασίες μικρότερες από αυτές του τσιμέντου και συγκεκριμένα από 900-950°C. Η άσβεστος αυτή έχει υδραυλικές ιδιότητες, που οφείλονται στις ενώσεις του ασβεστίου με το πυρίτιο, το αργίλιο και τον σίδηρο, που αποτελούν τους υδραυλικούς παράγοντες της κονιάς. Μειονεκτεί όμως σημαντικά, λόγω του μεγάλου ποσοστού του ελεύθερου CaO που περισεύει. Κατά τη διάρκεια της έψησης το CaCO₃ αποσυντίθεται σε CaO και ένα μέρος αυτού αντιδρά με το περιεχόμενο Al₂O₃ και SiO₂, που προέρχονται από την άργιλο, σχηματίζοντας αργιλοπυριτικές ενώσεις του ασβεστίου, σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Οι δραστικές ενώσεις που περιέχονται στην υδραυλική άσβεστο είναι το C₂S και το CaO.

Οι υδραυλικές ιδιότητες της ασβέστου οφείλονται στις ενώσεις του ασβεστίου με το πυρίτιο, τον άργιλο και τον σίδηρο. Το ποσοστό του παραγόμενου C₂S και CA εξαρτάται από τις αρχικές συγκεντρώσεις των οξειδίων του πυριτίου και αργιλίου στο πέτρωμα του μαργαϊκού ασβεστόλιθου, το οποίο με την σειρά του αποτελεί ένδειξη της υδραυλικότητας της ασβέστου. Οι άσβεστοι κατατάσσονται με βάση τον δείκτη υδραυλικότητας του Vicat [3, 15]:

$$\text{Δείκτης υδραυλικότητας (i)} = (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3) / (\text{CaO} + \text{MgO})$$

Όσο αυξάνει η τιμή του δείκτη υδραυλικότητας, τόσο πιο υδραυλικός ο χαρακτήρας της ασβέστου:

i=0.00-0.01 , αερική άσβεστος

i=0.10-0.16 , άσβεστος χαμηλής υδραυλικότητας

i=0.16-0.32 , άσβεστος μεσαίας υδραυλικότητας

i=0.31-0.42 , υδραυλική άσβεστος

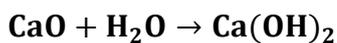
$i=0.42-0.50$, άσβεστος υψηλής υδραυλικότητας

Όταν μια κονία παρουσιάζει δείκτη υδραυλικότητας πάνω από 0.50 θεωρείται τοιμμένο.

I.1.2.2.3.3 Σβέση Υδραυλικής Ασβέστου

Η σβέση αποτελεί ευαίσθητη διεργασία. Υπερβολή στην ποσότητα νερού ή στην διάρκεια της σβέσης μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρη σκλήρυνση των υδραυλικών ενώσεων. Αντίθετα, ημιτελής σβέση παράγει ελεύθερο CaO στην μάζα της κονίας, το οποίο δρα ανασταλτικά στην μετέπειτα συμπεριφορά του κονιάματος [3]. Η μέθοδος της σβέσης που ενδείκνυται, είναι η ξηρή μέθοδος, παρέχοντας το απαραίτητο νερό για την σβέση του CaO. Η αντίδραση που εκφράζει την σβέση υδραυλικής ασβέστου και η οποία οδηγεί σε πήξη και σκλήρυνση του μείγματος, χωρίς να έχει προχωρήσει η ενανθράκωση, εκφράζεται σε δυο στάδια:

- Κατά την διάρκεια της ξηρής έσβεσης, το CaO μετατρέπεται σε Ca(OH)₂.



- Όταν προστεθεί επιπλέον νερό, οι αργιλοπυριτικές ενώσεις ενυδατώνονται, παράγοντας ένυδρο πυριτικό ασβέστιο (CSH) και ένυδρο πυριτικό αργίλιο (CAH). Αυτές οι ενώσεις είναι που προκαλούν και την γρήγορη σκλήρυνση του μείγματος κατά την αντίδραση:



I.1.2.2.3.4 Πήξη και Σκλήρυνση

Κατά την πήξη και σκλήρυνση της υδραυλικής ασβέστου λαμβάνουν χώρα αντιδράσεις με διαφορετικές κινητικές. Όταν το προϊόν της σβέσης έρθει σε επαφή με το CO₂ της ατμόσφαιρας, τότε το Ca(OH)₂ ενανθρακώνεται και σκληραίνει με ιδιαίτερα αργή κινητική, η οποία μπορεί να διαρκέσει και χρόνια, ενώ η δεύτερη αντίδραση είναι σχετικά γρήγορη. Το φαινόμενο εκφράζεται με τις εξής αντιδράσεις [4]:



Η κατάταξη για τις υδραυλικές ασβέστους, φυσικές και τεχνητές, γίνεται σύμφωνα με την αντοχή σε θλίψη που αποκτούν σε 28 μέρες. Υπάρχει η φυσική υδραυλική άσβεστος (NHL2, NHL3.5, NHL5) και η τεχνητή υδραυλική άσβεστος (HL2, HL3.5, HL5) όπου οι δείκτες 2, 3.5, 5

αναφέρονται στην ελάχιστη τιμή της θλιπτικής αντοχής που μπορεί να προσλάβει μέσα σε 28 μέρες μια υδραυλική άσβεστος αυτών των κατηγοριών σύμφωνα με το πρότυπο EN 459-1:2010.

Η υδραυλική άσβεστος μαζί με άμμο δίνει κονιάματα, τα οποία έχουν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από τα κονιάματα της αερικής ασβέστου, υστερούν όμως ως προς τα άλλα υδραυλικά κονιάματα, επειδή περιέχουν σημαντικό ποσοστό ελεύθερης ασβέστου [5].

1.1.2.2.4 Τσιμέντο

1.1.2.2.4.1 Γενικά

Το τσιμέντο είναι τεχνητή λεπτόκοκκη κονία, η οποία παρασκευάζεται με λεπτή άλεση του κλίνκερ. Κλίνκερ ονομάζεται διεθνώς το προϊόν που προκύπτει από την όπτηση μείγματος ασβεστολιθικών και αργιλοπυριτικών πετρωμάτων.

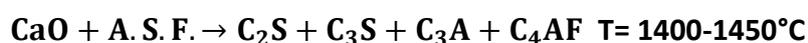
Το τσιμέντο, όταν αναπτυχθεί με νερό, πήζει και σκληραίνει τόσο στον αέρα όσο και μέσα στο νερό. Μετά την σκλήρυνση δεν διαλύεται στο νερό. Συνδυάζει μεγάλη υδραυλική ικανότητα και υψηλές αντοχές, για αυτό έχει ευρεία χρήση στις δομικές κατασκευές, όπως επίσης και στα υδραυλικά έργα [10].

1.1.2.2.4.2 Παρασκευή Τσιμέντου

Οι πρώτες ύλες για την παρασκευή του τσιμέντου αποτελούνται κατά 76% από ασβεστολιθικά και 24% από αργιλοπυριτικά πετρώματα.

Για να έχει το τελικό προϊόν τις επιθυμητές ιδιότητες, ανεξάρτητα από τις πρώτες ύλες που θα χρησιμοποιηθούν, πρέπει να καθοριστούν προσεκτικά οι αναλογίες ανάμιξης των πρώτων υλών.

Οι πρώτες ύλες για την παραγωγή του τσιμέντου υποβάλλονται ξεχωριστά σε ξήρανση και σε λεπτή άλεση (μορφή φαρίνας). Στη συνέχεια αναμιγνύονται πολύ καλά και υποβάλλονται σε όπτηση στους 1400-1450°C, όπου και παράγεται το κλίνκερ σύμφωνα με την αντίδραση:

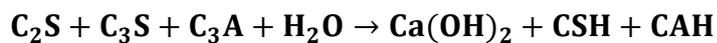


Στην συνέχεια ψύχεται, αναμιγνύεται με διάφορα πρόσθετα, όπως γύψος, ποζολάνες, ιπτάμενη τέφρα, αλέθεται σε λεπτόκοκκη μορφή σε μύλους και αποθηκεύεται σε σάκους

έτοιμο για κατανάλωση. Όταν η σκόνη αυτή έρθει σε επαφή με το νερό, σκληρύνεται αποδίδοντας πολύ υψηλές τιμές αντοχών.

I.1.2.2.4.3 Αντίδραση Τσιμέντου με το νερό

Όταν το τσιμέντο έρθει σε επαφή με το νερό, τα συστατικά του δεσμεύουν το νερό χημικά, παράγοντας τα ένυδρα CSH, CAH, τα οποία σε μορφή gel προσδίδουν γρήγορη σκλήρυνση στο μείγμα, απελευθερώνοντας μεγάλη ποσότητα ενέργειας σύμφωνα με την αντίδραση:



I.1.2.2.4.4 Είδη κονιαμάτων με βάση το τσιμέντο

- Κονιάματα τσιμέντου-ασβέστη για βελτίωση μια σειράς ιδιοτήτων όπως πρόσφυση, στεγανότητα, πλαστικότητα, εργασιμότητα, μείωση πιθανότητας εμφάνισης εξανθημάτων, κ.τ.λ.
- Κονιάματα τσιμέντου-ποζολάνης για μείωση ποσοστού ελεύθερου Ca(OH)_2

Η σύγχρονη τεχνολογία παράγει σήμερα διάφορα είδη τσιμέντου, όπως τσιμέντο υψηλών αντοχών, υψηλής συγκέντρωσης πυριτίου, λευκό τσιμέντο, ανθεκτικό στα θειικά, κ.τ.λ. [4, 11, 20].

I.1.3 Αδρανή

I.1.3.1 Γενικά

Τα αδρανή είναι υλικά, τα οποία προέρχονται από τη φυσική αποσάθρωση ή την τεχνητή θραύση των πετρωμάτων, καθώς και διάφορα υλικά, όπως σκουριές από υψικαμίλους, βιομηχανικά παραπροϊόντα, κ.α. Αποτελούνται από συμπαγείς κόκκους του ίδιου ή διαφορετικού μεγέθους και χρησιμοποιούνται σαν πληρωτικά υλικά (filler) στα κονιάματα. Τα αδρανή ανάλογα με την προέλευσή τους, διακρίνονται σε φυσικά, θραυστά και βιομηχανικά αδρανή [11].

Τα γενικώς χαρακτηριζόμενα ως αδρανή υλικά, ανάλογα με το κατά πόσο συμμετέχουν στην κονία, χωρίζονται σε παθητικά και σε ενεργά. Τα παθητικά υλικά (inert fillers) δεν παρουσιάζουν καμιά αντίδραση με τα υπόλοιπα συστατικά των κονιών σε αντίθεση με τα ενεργά, που αντιδρούν έως κάποιο βαθμό με την κονία.

Στα ανενεργά αδρανή ανήκει η άμμος, προερχόμενη από ποτάμι (κυρίως χαλαζιακής σύστασης) ή θαλάσσιες ακτές (ανθρακικής σύστασης), λατομεία, καθώς και θραύσματα από ασβεστολιθικά πετρώματα, γρανίτες, δολομίτες κ.τ.λ. Κατά τον Βιτρούβιο, η καλύτερη ποιότητα άμμου είναι αυτή που προέρχεται από τα λατομεία, αλλά γνωρίζοντας ότι δεν βρίσκεται εύκολα παντού, δίνει στο έργο του συμβουλές και για τα άλλα είδη άμμου. Αναφέρει ότι η άμμος θαλασσινής προέλευσης πρέπει κατ' αρχάς να κοσκινίζεται, και μετά να πλένεται προσεκτικά, πριν οποιαδήποτε χρήση της, διαφορετικά θα μεταφέρει μέσω του κονιάματος στην τοιχοποιία άλατα, γεγονός το οποίο μπορεί να αποβεί καταστροφικό γι' αυτήν [21].

Στην αρχαιότητα έχουν χρησιμοποιηθεί και θραύσματα κεραμικού ή κίσηρης (ελαφρόπετρα) ως αδρανή στην παρασκευή κονιαμάτων. Γινόταν χρήση των παραπάνω αδρανών, όταν το κονίαμα έπρεπε να είναι ελαφρύ και με μεγαλύτερη ελαστικότητα από το συμβατικό κονίαμα με άμμο. Ταυτόχρονα, εξαιτίας της παρουσίας αργιλοπυριτικών ενώσεων στη μάζα τους, σε επαφή με την υδράσβεστο, ήταν δυνατός ο σχηματισμός ενυδατωμένων αργιλοπυριτικών προϊόντων του ασβεστίου στη διεπιφάνεια συνδετικής ύλης-αδρανούς, προκαλώντας, λόγω δημιουργίας χημικού δεσμού, αύξηση της πρόσφυσης

των αδρανών στη συνδετική κονία με ταυτόχρονη αύξηση της μηχανικής αντοχής του κονιάματος.

Σήμερα, η έρευνα δεν έχει καταλήξει στην προέλευση της άμμου που μπορεί να βελτιώσει τα χαρακτηριστικά του κονιάματος. Σύμφωνα με μια ομάδα ερευνητών, όταν πρόκειται για ασβεστολιθικό κονίαμα, προτιμάται η χρήση ασβεστολιθικής άμμου, καθώς επιτυγχάνεται καλύτερη πρόσφυση της ασβέστου με το αδρανές υλικό, λόγω χημικής συγγένειας. Έτσι, πολύ καλά μηχανικά χαρακτηριστικά έχουν παρουσιάσει στην διάρκεια του χρόνου τα επιφανειακά επιχρίσματα ασβέστη-σκόνης μαρμάρου, ενώ αντίθετα κονίαμα ασβέστη-χαλαζιακής άμμου παρουσίασε μια μέτρια μηχανική συμπεριφορά. Στην περίπτωση υδραυλικής συνδετικής ύλης με ποσότητα SiO₂, η χαλαζιακή άμμος έχει καλή συμπεριφορά και είναι πιο πρακτική λόγω μεγαλύτερης καθαρότητας [5]

I.1.3.2 Αδρανή στα σκυροδέματα

Η καταλληλότητα των αδρανών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή σκυροδέματος προδιαγράφεται από τις απαιτήσεις του ΕΛΟΤ 408 και του ΚΤΣ -97, ενώ αντίστοιχα η καταλληλότητα των αδρανών σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές Προδιαγραφές καθορίζεται στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN12620. Βασική διαφορά των Ευρωπαϊκών από τις Ελληνικές Προδιαγραφές είναι ότι οι πρώτες καθορίζουν περιοχές απαιτήσεων που πρέπει να πληρούν για τις περισσότερες φυσικές απαιτήσεις που πρέπει να πληρούν και όχι μονοσήμαντα όρια όπως οι δεύτερες π.χ. Los Angeles από 15 - 50, αντίσταση σε τριβή και φθορά από 18 - 32%. Οι ιδιότητες που πρέπει να πληρούν ελέγχονται ως προς τα εξής χαρακτηριστικά:

1) *Γεωμετρικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την σύνθεση και την αντλησιμότητα του σκυροδέματος (η συνολική επιφάνεια των αδρανών, το μέγεθος των κόκκων, το σχήμα του κόκκου).* Το μέγεθος του κόκκου d είναι ανάλογο με τη μικρότερη διάσταση D του στοιχείου της κατασκευής που θα σκυροδετηθεί. Πρέπει $D/5 < D/3$. Ανάλογα με το σχήμα τους οι κόκκοι διακρίνονται σε σφαιρικούς, γωνιώδεις, πλακοειδείς, επιμήκεις, ή κυβικούς. Τα γωνιώδη αδρανή χρειάζονται μεγαλύτερη ποσότητα κονίας σε σχέση με τα σφαιρικά, για την ίδια εργασιμότητα του σκυροδέματος αλλά παρουσιάζουν καλύτερη συνοχή μεταξύ τους και καλύτερη πρόσφυση με το κονίαμα.

Το πρότυπο ΕΛΟΤ 408 απαιτεί το ποσοστό των κόκκων με λόγο μεγαλύτερης προς μικρότερη διάσταση 3:1 να μην υπερβαίνει το 50% για χρήση στο σκυροδέμα.

2) *Φυσικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την αντοχή και την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος:*

- Αντοχή μητρικού πετρώματος
- Αντοχή σε επιφανειακή φθορά και κρούση
- Ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση
- Ειδικό βάρος, διακρίνεται σε απόλυτο, φαινόμενο και μικτό με στόχο την μέτρηση των κενών. Οι τιμές του ειδικού βάρους για τα αδρανή του σκυροδέματος πρέπει να βρίσκονται μεταξύ 2.40 και 3.0
- Πορώδες, σημαντική ιδιότητα που είναι σε αντίστροφη αναλογία με την αντοχή και την ανθεκτικότητα τους. Η τιμή του προσδιορίζεται με την μέτρηση της υδατοαπορροφητικότητάς τους.
- Κοκκομετρική διαβάθμιση, δηλαδή την επί της % σύνθεση του αδρανούς σε κόκκους διαφόρων μεγεθών. Τα αδρανή ανάλογα με το μέγεθος τους κατατάσσονται σε 4 βασικές κατηγορίες α) Άμμος (0-4 mm) και β) Ρυζάκι (4- 8mm) γ) Γαρμπίλι (8-16 mm) και δ) Χαλίκι (16-31,5mm). Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN12620 καθιερώνει εκτός των βασικών κόσκινων της σειράς DIN, την οποία υιοθετεί και ενδιάμεσα κοσκινά, σειρές 2, ενώ καταργεί τα Αμερικάνικα κόσκινα και ορίζει την παιπάλη ως το διερχόμενο ποσοστό στο κόσκινο 0,063 αντί 0,075mm. Στο πρότυπο αυτό η ονομασία των αδρανών εξαρτάται από την περιοχή των διερχομένων από τα κόσκινα, κατατάσσοντας τα σε βασικές κατηγορίες (λεπτόκοκκα, χονδρόκοκκο), με την παρατήρηση ότι το 99% των κοκκομετριών θα είναι μέσα στα όρια για το D, d, d/2, όπου D είναι το μεγαλύτερο και d το μικρότερο χρησιμοποιούμενο κόσκινο για την περιγραφή του μεγέθους ενός αδρανούς με τον λόγο D/d όχι μικρότερο του 1.4, ενώ καθορίζει και όρια ανοχών σαν ποσοστά στα ενδιάμεσα κόσκινα ή την παιπάλη. Η άμμος καθορίζεται σαν διερχόμενη 100% από το κόσκινο ανοίγματος οπής 2 D και 85-99% από το D=4mm, ενώ στην κοκκομετρία του προστίθεται ένα επιπλέον κόσκινο των 0,125 mm. Καλά διαβαθμισμένα αδρανή με διαστάσεις κόκκων που καλύπτουν όλο το φάσμα παρουσιάζουν λίγα κενά, απαιτούν μικρότερη ποσότητα συνδετικού ιστού και παρουσιάζουν καλύτερη συνεκτικότητα και εργασιμότητα.

3) Φυσικά - Χημικά χαρακτηριστικά (καθαρότητα). Δεν πρέπει να επηρεάζουν δυσμενώς α) την πήξη β) την σκλήρυνση γ) την αντοχή δ) την σταθερότητα του όγκου και ε) την προστασία του σπλισμού από την διάβρωση.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, στην αρχαιότητα, όπου ήταν επιθυμητό ελαφρύ κονίαμα, γινόταν χρήση θραυσμάτων κεραμικού ή χρήση κίσηρης (ελαφρόπετρα), σαν αδρανή, στην παρασκευή των κονιαμάτων. Σήμερα, για την παρασκευή ελαφρών κονιαμάτων χρησιμοποιούνται η κίσηρης, η διογκωμένη άργιλος, ο διογκωμένος περλίτης, ο βερμικουλίτης κ.α.

I.1.3.3 Έλεγχος αδρανών

Η μοντέρνα τεχνολογία, γνωρίζοντας τη σημασία και τη σπουδαιότητα του ρόλου των αδρανών στη συμπεριφορά των κονιαμάτων, συνιστά κατά την επιλογή, την παραγωγή και τη χρήση των αδρανών να ελέγχονται:

- Η κοκκομετρική διαβάθμιση. Προτιμητέα είναι η χρήση αδρανών με μεγάλο εύρος κόκκων, ώστε να επιτυγχάνεται κάλυψη των κενών που αφήνουν οι μεγάλοι κόκκοι από τους μικρούς κόκκους.
- Η παρουσία αλάτων και προσμίξεων, καθώς και η παρουσία χωματοειδών υλικών, τα οποία καθιστούν δυσχερή την πρόσφυση μεταξύ αδρανούς και συνδετικού υλικού.
- Η παρουσία υγρασίας, την οποία, σύμφωνα με πρότυπες αναλογίες μειγμάτων κονιαμάτων, η άμμος δύναται να περιέχει σε ποσοστό 3%. Αυξημένη ή μειωμένη υγρασία στα αδρανή προκαλεί ογκομετρική μεταβολή στη σύνθεση του κονιάματος και μειώνει την πρόσφυσή τους με το συνδετικό υλικό.

Στα κονιάματα χρησιμοποιούνται αδρανή με μέγεθος κόκκων μικρότερο από 5mm. Όταν τα χρησιμοποιούμενα αδρανή έχουν διάσταση μεγαλύτερη από 5 mm, τότε μιλάμε για σκυρόδεμα [4, 20].

I.1.4 Πρόσθετα

I.1.4.1 Γενικά

Τα πρόσθετα έχουν χρησιμοποιηθεί για την βελτίωση διαφόρων χαρακτηριστικών των κονιαμάτων και των σκυροδεμάτων. Χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με την χημική τους σύσταση:

- Ποζολάνες
- Οργανικά Πρόσθετα

I.1.4.2 Ποζολάνες

Ο επίσημος ορισμός της ποζολάνης δίνεται από τους κανονισμούς ASTM C618, ως "πυριτικό ή αργιλοπυριτικό υλικό, το οποίο καθεαυτό δεν παρουσιάζει υδραυλικές ιδιότητες, αλλά σε λεπτοαλεσμένη μορφή και με την παρουσία υγρασίας, αντιδρά με το $\text{Ca}(\text{OH})_2$ σε συνήθη θερμοκρασία και δημιουργεί ενώσεις με συνδετικές ιδιότητες". Η δραστηριότητα της οφείλεται στο περιεχόμενο άμορφο πυρίτιο και αργίλιο που περιέχει.

Η χρήση των ποζολάνων ήταν γνωστή από την αρχαία Ελλάδα. Η γνώση αυτή μεταφέρθηκε στους Ρωμαίους. Το όνομα προέρχεται από την πιο γνωστή ποζολάνα της εποχής από την πόλη του Pozzuoli. Ο Βιτρούβιος αναφέρει ότι αυτό το υλικό σε συνδυασμό με την άσβεστο έχει καταπληκτικές ιδιότητες, παρέχοντας υλικό καταπληκτικής ανθεκτικότητας με ικανότητα να πήζει και να σκληραίνει ακόμα και κάτω από το νερό. Το ενδιαφέρον για αυτό το υλικό αναζοπυρώνεται στα τέλη του 18^{ου} αιώνα, όπου αρχίζει μια μεγάλη περίοδο έρευνας. Η κατάληξη αυτής της έρευνας είναι η παραγωγή του τσιμέντου [21].

Η προσπάθεια ακριβούς κατηγοριοποίησης των ποζολανικών υλικών είναι δύσκολη, εφόσον πρόκειται για υλικά με πολύ διαφορετική μεταξύ τους χημική σύσταση, ορυκτολογική φύση και γεωλογική προέλευση, τα οποία σχετίζονται μόνο λόγω της κοινής τους ιδιότητας να αντιδρούν και να σκληρύνονται όταν αναμιγνύονται με την υδράσβεστο και το νερό. Ωστόσο, η πλέον κοινά αποδεκτή κατηγοριοποίηση των ποζολανικών υλικών αφορά στην προέλευση τους, οπότε κατατάσσονται στις φυσικές και τις τεχνητές ποζολάνες.

1.1.4.2.1 Φυσικές ποζολάνες

Οι φυσικές ποζολάνες προέρχονται από πυροκλαστικά πετρώματα ηφαιστειακής προελεύσεως, υαλώδους μορφής, με περιεχόμενο ποσοστό ενεργού πυριτίου 45-60%. Στην κατηγορία αυτή των φυσικών ποζολανών ανήκουν τα φυσικά αποθέματα ηφαιστιογενών πηγών (πυροκλαστικά υλικά) που έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε πυριτικά πετρώματα. Ανάλογα με τη φύση των ορυκτολογικών συστατικών τους διακρίνονται σε: ηφαιστιογενείς υάλους, ζεόλιθους ή μερικά ζεολιθοποιημένες υάλους και δραστικές μορφές ένυδρων πυριτικών. Γνωστές φυσικές ποζολάνες είναι η Θηραϊκή γη, οι Ιταλικές ποζολάνες, η ηφαιστειακή τέφρα από την Γαλλία κ.α..

1.1.4.2.2 Τεχνητές ποζολάνες

Οι τεχνητές ποζολάνες, οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί στην αρχαιότητα, είναι λεπτά θραύσματα από κεραμικά, κεραμίδια, πλίνθους, αγγεία, κ.α. Η δραστηριότητα αυτών των ποζολανών εξαρτάται από την αρχική σύνθεση της αργίλου, την θερμοκρασία έψησης, καθώς και από το τελικό μέγεθος των τεμαχίων του. Έρευνες έχουν δείξει ότι όλοι οι άργιλοι δεν είναι το ίδιο δραστικοί. Για παράδειγμα, ο καολινίτης ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) είναι πιο δραστικός από τον μοντμοριλλονίτη ($Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$). Καθίσταται επομένως σαφές, πως η γνώση της ορυκτολογίας των αργίλων είναι απαραίτητη. Έπειτα η κάθε άργιλος έχει διαφορετική βέλτιστη θερμοκρασία έψησης. Για τον καολινίτη η βέλτιστη θερμοκρασία είναι $650^{\circ}C$, για τον μοντμοριλλονίτη $830^{\circ}C$, ενώ για τον ιλλίτη $930^{\circ}C$. Όταν η άργιλος ψηθεί στην σωστή θερμοκρασία, μπορεί μέχρι και να διπλασιαστεί η αντοχή της σε σχέση με την φυσική άργιλο. Το μέγεθος των χρησιμοποιούμενων θραυσμάτων πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερο, καθώς έτσι αυξάνεται η ειδική επιφάνεια της ποζολάνης άρα και η δραστηριότητά της. Οι ποζολάνες δύναται να σχηματίσουν ποζολανικές αντιδράσεις και είναι ενεργές, εφόσον έχουν μέγεθος μικρότερο των $75\mu m$, ενώ σωματίδια μεγέθους μεγαλύτερου των $300\mu m$ δρουν ως αδρανή. Στην περίπτωση αυτή, προστίθενται συνειδητά στο κονίαμα προκειμένου να το καταστήσουν πιο ελαφρύ και πιο ελαστικό.

Οι σημερινές τεχνητές ποζολάνες που εφαρμόζονται είναι ιπτάμενες τέφρες (PFA: pulverised fuel ash), σκωρίες υψικαμίνων (blast furnace slag), πυριτική παιπάλη (silica fume) και ο μετακαολινίτης, ο οποίος προκύπτει από έψηση του καολινίτη.

Πληρωτικό υλικό (Filler)	Βελτίωση σκληρότητας	κόλλα, αραβική μαστίχα, τάλκης, ζάχαρη, χυμούς φρούτων, γλουτένη, ρύζι
Ανθεκτικό στην πήξη του νερού	Αντίσταση στην φθορά από πάγο	ζάχαρη
Πρόσθετο διαστολής	Προκαλεί διαστολή κατά την πήξη	ζωϊκές και φυτικές κόλλες
Μετατροπέας	Μεταβάλλει υπάρχοντα διαλύματα	ασπράδι αυγού, αίμα, αλευρόκολλα, κερατίνη, κολλαγόνο, καζεΐνη, βόραξ, φυτικές ρητίνες
Αναστολέας μεταβολής όγκου	Δρα ανασταλτικά στην συστολή (μεταβολή όγκου)	κερί μέλισσας
Πλαστικοποιητής	Παρέχει πλαστικότητα, μειώνει το εύθρυπτο, αυξάνει την εργασιμότητα	ζάχαρη, γάλα, ασπράδι αυγών, λάδι λιναρόσπορου, λίπος χοίρου, γάλα σύκου, ζωϊκή κόλλα
Επιβραδυντής	Επιβραδύνει την ταχύτητα Πήξης	ζάχαρη, γάλα, ασπράδι αυγών, σακχαρίνη, αλευρόκολλα, βόραξ
Σταθεροποιητής	Αυξάνει την σκληρότητα και την ακαμψία	ζάχαρη, φυτικές και ζωϊκές κόλλες, μελάσα
Πρόσθετο που βελτιώνει τις αντοχές	Αυξάνει την αντοχή του Διαλύματος	κερατίνη, καζεΐνη, τανίνη, κόλλα, λάδι λιναρόσπορου, τρίχες, άχυρο, ρύζι, ζύμη σικάλεως, ίνες βαμβακιού, ζωϊκές κόλλες, χυμός σύκου με κρόκο αυγού, ζάχαρη, ασπράδι αυγού
Πηκτικό Γαλακτώματος	Πήζει το γαλάκτωμα	αίμα, ξυνισμένο γάλα, καζεΐνη, τυρί, κολλαγόνο, ζελατίνη

I.1.5 Φθορά Ιστορικών Σκυροδεμάτων

Η φθορά έχει διάφορες μορφές και είναι συνάρτηση της αλληλεπίδρασης του υλικού με το περιβάλλον, αφού τα υλικά έχουν την τάση να υποβαθμίζονται ενεργειακά στο περιβάλλον, μεταπίπτοντας σε σταθερότερες μορφές. Ωστόσο, τα δομικά υλικά παρουσιάζουν διαφορετική αντίσταση στη φθορά, η οποία εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος και την ίδια τη φύση του υλικού.

Τα αίτια που προκαλούν τη φθορά των σκυροδεμάτων ανάλογα με την φύση τους, μπορούν να καταταγούν στις εξής κατηγορίες: μηχανικές, χημικές και βιολογικές δράσεις.

I.1.5.1 Μηχανικές Δράσεις

Οι μηχανικές δράσεις χωρίζονται σε εξωτερικής και εσωτερικής προέλευσης:

I.1.5.1.1 Εξωτερικής προέλευσης

Μηχανικές δράσεις εξωτερικής προέλευσης θεωρούνται τα φορτία που καταπονούν τα υλικά σαν μέρος του δομικού συνόλου, οι θερμοκρασιακές μεταβολές, ημερήσιες ή εποχιακές, που προκαλούν διαστολές και συστολές στα υλικά, όπως και η διαστολή λόγω προσρόφησης-εξάτμισης της υγρασίας του περιβάλλοντος. Επιπλέον, οι διαφορετικοί συντελεστές θερμικής διαστολής μεταξύ γειτονικών υλικών, που μπορεί να προκαλέσουν ανάπτυξη τάσεων, οι οποίες καταπονούν τα υλικά. Καταπονήσεις που οφείλονται στον κακό σχεδιασμό του οικοδομήματος, λόγω λάθους σχεδιασμού, καθώς και οι καταπονήσεις από φυσικές καταστροφές π.χ. σεισμοί, βομβαρδισμοί, πόλεμοι, κατακλυσμοί, πυρκαγιές, βανδαλισμοί κ.ά.

I.1.5.1.2 Εσωτερικής προέλευσης

Στις μηχανικές δράσεις εσωτερικής προέλευσης κατατάσσονται η φθορά από παγετό, το φαινόμενο το οποίο συνίσταται στη ρήξη της συνοχής του υλικού, όταν η περιεχόμενη

υγρασία μετατραπεί σε πάγο με συνεπαγόμενη διόγκωση, και η κρυστάλλωση των αλάτων, όπου πρόκειται για το φαινόμενο της φθοράς του σκυροδέματος λόγω της μεταφοράς ευδιάλυτων αλάτων και στη συνέχεια, με επικείμενη εξάτμιση, εναπόθεσης κρυστάλλων στο εσωτερικό των πόρων. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η κρυστάλλωση των αλάτων όπως και οι άλλοι τύποι φθοράς, λαμβάνουν χώρα μέσα στους πόρους του υλικού. Οι κύριες πηγές αλάτων είναι η τριχοειδής αναρρίχηση, τα γειτονικά υλικά, όπως το τσιμέντο, αλλά συχνά και το ίδιο το υλικό. Τα σημαντικότερα μακροσκοπικά φαινόμενα διάβρωσης, που έχουν ως αίτιο την κρυστάλλωση των διαλυτών αλάτων, είναι τα παρακάτω:

Εξανθήσεις αλάτων, όταν ο ρυθμός μεταφοράς διαλύματος αλάτων προς το εξωτερικό είναι μεγαλύτερος του ρυθμού ξήρανσης, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη και απόθεση κρυστάλλων στην εξωτερική επιφάνεια του υλικού.

Κρυπτοεξανθήσεις αλάτων, όταν ο ρυθμός μεταφοράς διαλύματος αλάτων προς το εξωτερικό είναι μικρότερος του ρυθμού ξήρανσης, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη των κρυστάλλων στο εσωτερικό (πόροι) του λίθου, με απόθεση διαλύματος αλάτων μέσα στους πόρους.

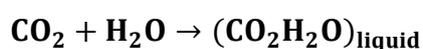
Κυψέλωση, το φαινόμενο κατά το οποίο η επιφάνεια της πέτρας εκφυλίζεται με τη δημιουργία σπηλαιώσεων και εμφανίζεται σε περιοχές που εκτίθενται σε ισχυρούς ανέμους [24, 25, 26].

I.1.5.2 Χημικές Δράσεις

I.1.5.2.1 Φθορά Ασβεστιτικής Κονίας

Τα συστατικά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορούν να διαλυτοποιηθούν μέσω της βροχής (όξινη βροχή) ή της υγρασίας που συμπυκνώνεται πάνω στην επιφάνεια του υλικού και να σχηματίσουν οξέα που έχουν διαλυτική δράση για το ανθρακικό ασβέστιο όπως:

Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂): Το CO₂ διαλυτοποιείται με το νερό της βροχής και σχηματίζει το (CO₂H₂O)_{liquid}, το οποίο στη συνέχεια αντιδρά με το CaCO₃ σχηματίζοντας το Ca(HCO₃)₂ με τις εξής αντιδράσεις:



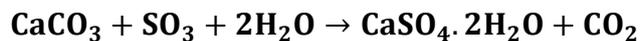


Το $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ είναι προϊόν αρκετά ευδιάλυτο, το οποίο ξεπλένεται εύκολα με το νερό της βροχής με αποτέλεσμα την σταδιακή αποικοδόμηση των υλικών.

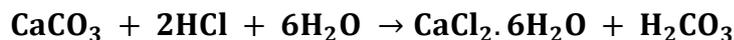
Οξειδία του αζώτου (NO_x): Τα οξειδία του αζώτου προσβάλλουν το ανθρακικό ασβέστιο και παράγεται το αρκετά ευδιάλυτο προϊόν $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ σύμφωνα με την αντίδραση:



Θεική προσβολή (ή Γυψοποίηση) Αναφέρεται στο σχηματισμό γύψου ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) με προσβολή του CaCO_3 από θειικό οξύ. Η γύψος είναι πολύ πιο ευδιάλυτη από το ανθρακικό ασβέστιο, με αποτέλεσμα το υλικό να χάνει την αρχική του συνοχή και να γίνεται πιο ευπαθές στο νερό της βροχής και στους περιβαλλοντολογικούς παράγοντες.



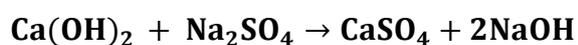
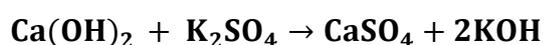
Προσβολή από HCl : Το HCl έχει επίσης διαλυτική δράση στο ανθρακικό ασβέστιο σύμφωνα με την αντίδραση:



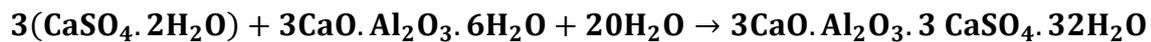
1.1.5.2.2 Φθορά Υδραυλικής Κονίας

Ένας από τους βασικούς παράγοντες φθοράς δομικών υλικών υδραυλικής κονίας είναι η **δημιουργία μεγαλομοριακών ενώσεων**. Τα διαλυτά άλατα K_2SO_4 , Na_2SO_4 τα οποία προέρχονται από πλίνθους, κονιάματα, ακόμα και μέσω της τριχοειδούς αναρρίχησης, μπορούν να αντιδράσουν με την υδράσβεστο ή τις υδραυλικές ενώσεις του σκυροδέματος προς παραγωγή γύψου. Η γύψος αντιδρώντας με τις υδραυλικές ενώσεις και παρουσία υγρασίας, παράγει μεγαλομοριακές ενώσεις (π.χ. ετρινγκίτης, θωμασίτης), που με την διόγκωσή τους, ασκούν τάσεις που μπορεί να ρηγματώσουν το υλικό. Το όλο φαινόμενο εκφράζεται με τις παρακάτω αντιδράσεις:

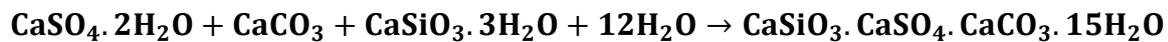
Δημιουργία θειικού ασβεστίου



Δημιουργία μεγαλομοριακών ενώσεων:



ετρινγκίτης



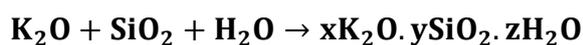
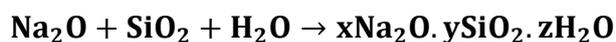
θωμασίτης

Ένας άλλος παράγοντας φθοράς των σκυροδεμάτων υδραυλικής κονίας είναι η **διάσπαση των υδραυλικών φάσεων**. Οι υδραυλικές ενώσεις, όταν έρχονται σε επαφή με το CO_2 , αποικοδομούνται με μια πολύ αργή κινητική που μπορεί να κρατήσει και χιλιάδες χρόνια, σύμφωνα με την αντίδραση:



Άλλοι παράγοντες που προκαλούν χημική φθορά είναι οι:

Αλκαλική προσβολή, κατά την οποία, τα οξείδια του νατρίου και καλίου που προέρχονται είτε από υδραυλικά και τσιμεντιτικά σκυροδέματα, είτε σαν πρόσμιξη στα αδρανή, αντιδρούν με το οξείδιο του πυριτίου, το οποίο βρίσκεται στους πλίνθους της τοιχοποιίας ή στα αδρανή, κατά τις αντιδράσεις:



Παρουσιάζεται έτσι άμεση αύξηση του όγκου, η οποία μπορεί να προκαλέσει ρηγματώσεις στο υλικό.

Κύκλοι ύγρυνσης-ξηράνσης, στην υγρή φάση δημιουργείται ένα φιλμ νερού λόγω συμπύκνωσης, όπου γίνεται διαλυτοποίηση των ρυπαντών της ατμόσφαιρας, ενώ στη συνέχεια εισχωρεί στο εσωτερικό του υλικού. Στην ξηρή φάση, το νερό μετακινείται προς την επιφάνεια του υλικού για να εξατμιστεί. Η εξάτμιση μπορεί να γίνει είτε στο εσωτερικό της μάζας του υλικού, είτε στην επιφάνεια. Αν εξατμιστεί στο εσωτερικό της μάζας, τα άλατα κρυσταλλοποιούνται με αποτέλεσμα να διογκώνονται προκαλώντας τάσεις στο εσωτερικό του υλικού και τελικά την ρήξη του. Αν εξατμιστεί στην επιφάνεια του υλικού, δημιουργούνται εξανθήματα και σκληρή κρούστα.

I.1.5.3 Βιολογικές Δράσεις

Στις βιολογικές δράσεις ανήκουν, κατά κύριο λόγο, οι δράσεις των μυκήτων, βακτηρίων, φυκιών, βρύων, λειχήνων, μανιταριών, καθώς και ανώτερων φυτικών οργανισμών.

Το προϊόν μεταβολισμού των μικροοργανισμών είναι όξινης φύσης και δρα διαλυτικά στα δομικά υλικά. Ορισμένες φορές, η δράση των μικροοργανισμών μπορεί να είναι ευνοϊκή στις χημικές αντιδράσεις φθοράς. Επίσης, οι ανώτεροι φυτικοί οργανισμοί μπορούν να ασκήσουν μηχανικές τάσεις στα υλικά, εάν βρίσκονται σε συνεχή επαφή μαζί τους.

Παρατηρείται λοιπόν, ότι ο ρόλος του νερού στην διαδικασία της φθοράς είναι σημαντικότερος, εφόσον είναι ο κύριος φορέας έκφρασης των μηχανικών δράσεων φθοράς, ενώ η παρουσία νερού-υγρασίας είναι απαραίτητη για την πραγματοποίηση των χημικών αντιδράσεων, έστω και αν είναι παροδική.

Τέλος, συμπεραίνεται, πως η φθορά είναι ένα πολύπλοκο και πολύμορφο φαινόμενο, αφού οι δράσεις των διεργασιών της φθοράς δρουν κατά κύριο λόγο συνδυαστικά [4, 20, 27, 28].

I.1.6 Χαρακτηρισμός Ιστορικών Σκυροδεμάτων

Το σκυρόδεμα είναι σύνθετο υλικό και η τεχνολογία παραγωγής του και οι χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες ποικίλουν ανάλογα την περιοχή, την ιστορική περίοδο και την εφαρμογή-χρήση του. Η μέθοδος που ακολουθείται είναι αντίστοιχη με τη μέθοδο χαρακτηρισμού των ιστορικών κονιαμάτων.

I.1.6.1 Μέθοδοι Χαρακτηρισμού Σκυροδεμάτων

Για τον χαρακτηρισμό των σκυροδεμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες μέθοδοι, οι οποίες εντάσσονται σε πέντε μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα τον σκοπό για τον οποίο χρησιμοποιούνται.

I.1.6.1.1 Πετρογραφική, Ορυκτολογική Μελέτη

Μικροσκόπιο Οπτικών Ινών (FOM), χρησιμοποιείται για την πετρογραφική μελέτη των ορυκτών φάσεων.

Περίθλαση Ακτίνων Χ (XRD), χρησιμοποιείται για την ταυτοποίηση κρυσταλλικών ενώσεων.

I.1.6.1.2 Φυσικές Μέθοδοι

Κοκκομετρική Ανάλυση, μελετάται η αναλογία συνδετικής ύλης/αδρανών και πραγματοποιείται κοκκοδιαβάθμιση των αδρανών.

I.1.6.1.3 Μέθοδοι Ανάλυσης Χημικής Σύστασης

Προσδιορισμός του CO₂ με ογκομετρική μέτρηση, ασβεστιμετρία (Calcimetry), χρησιμοποιείται για την ταυτοποίηση και τον υπολογισμό του περιεχόμενου ποσοστού ανθρακικών ενώσεων.

Θερμικές Μέθοδοι Ανάλυσης (DTA, TG/DTG, DSC), χρησιμοποιούνται για την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση, για τον προσδιορισμό της φύσης των αδρανών και της κόνιας και γίνεται και προσδιορισμός προσθέτων.

Φασματοσκοπία Υπέρυθρης Ακτινοβολίας με μετασχηματισμό Fourier (FTIR), χρησιμοποιείται για την ταυτοποίηση ενώσεων του σκυροδέματος, των προϊόντων της φθοράς και των οργανικών προσθέτων.

Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (SEM-EDX), χρησιμοποιείται για την στοιχειακή ανάλυση μικροδομής.

1.1.6.1.4 Μελέτη Μικροδομής

Πορομετρία Hg, χρησιμοποιείται για την μέτρηση του ανοιχτού πορώδους.

Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (SEM-EDX), χρησιμοποιείται για την μελέτη της μικροδομής, της υφής και της διεπιφάνειας.

Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Διαπερατότητας (TEM)

1.1.6.1.5 Δοκιμές Μηχανικών Αντοχών και Υπερηχοσκόπηση

Εκτίμηση θλιπτικής αντοχής με δοκιμή μονοαξονικής θλίψης και μέτρηση της ταχύτητας διάδοσης υπερήχων. Προσδιορισμός στατικού και δυναμικού μέτρου ελαστικότητας [20, 27].

1.2 Ειδικό Θεωρητικό

1.2.1 Μελέτες Αρχαίου Σκυροδέματος

1.2.1.1 Αρχαίο Ελληνικό Σκυρόδεμα

Το αρχαιότερο δείγμα σκυροδέματος από τον ελλαδικό χώρο που έχει μελετηθεί μέχρι σήμερα, αφορά σκυρόδεμα από δεξαμενή στο ναό της Αθηνάς, στην Αρχαία Κάμιρο της Ρόδου. Η Κάμιρος είναι μία από τις τρεις αρχαίες πόλεις της αρχαίας Ρόδου, μαζί με την Ιαλυσό και την Λίνδο. Είναι από τους πιο αρχαίους οικισμούς, που μπορούμε σήμερα να δούμε το αρχιτεκτονικό σχέδιό του, όπως ήταν τότε. Η αρχαία αυτή πόλη, ήρθε στην ακμή της κατά την Αρχαϊκή εποχή (680-480 π.Χ.). Η δεξαμενή αυτή, χωρητικότητας 600 m³, κατασκευάστηκε τον 6^ο αιώνα π.Χ. και τέθηκε εκτός λειτουργίας τον 3^ο αιώνα όταν κατασκευάστηκε «Δωρική Στοά» 200 m.

Σύμφωνα με τον Efstathiadis (1985) [29], μελετητή του σκυροδέματος από την δεξαμενή της Καμίρου, το αρχαίο ελληνικό σκυρόδεμα (δυναμικής μορφής) προσομοιάζει το σημερινό τσιμέντο Portland, παραγόμενο όμως με άλλη εντελώς διαφορετική τεχνολογία, προσαρμοσμένη στα τότε τεχνολογικά δεδομένα και τις τότε ανάγκες. Σήμερα, η τεχνολογία, χρησιμοποιεί βαριές ογκώδεις εγκαταστάσεις, μη αναγκαίες εκείνη την εποχή, προσαρμοσμένη στα διεθνή τεχνολογικά δεδομένα και στις σημερινές πολύ μεγάλες ποσοτικές κυρίως ανάγκες και ταχύτητες προωθήσεως για περαίωση των έργων. Κοινό γνώρισμα ιδιοτήτων του αρχαίου ελληνικού «δυναμικής μορφής» τσιμέντου και του σημερινού με την ονομασία «τσιμέντο Πόρτλαντ» είναι ότι με την προσθήκη νερού σχηματίζουν και τα δύο τις ίδιες υδραυλικές χημικές ενώσεις, δηλαδή τα ένυδρα πυριτικά ασβέστια. Βασική διαφορά μεταξύ των δύο, σύμφωνα με τον Efstathiadis , είναι ότι στην παραγωγή του σημερινού τσιμέντου χρησιμοποιείται μόνο μία κάμινος, η περιστρεφόμενη. Αντίθετα για την παραγωγή του αρχαίου ελληνικού δυναμικού τσιμέντου χρησιμοποιούνταν δύο κάμινοι, αρχικά το ηφαίστειο, που είναι μία άριστη φυσική και αδάπανη κάμινος, και δεύτερον το ασβεστοκάμινο. Σε καθεμία από τις δύο αυτές κάμινους παραγόταν χωριστά το κάθε ένα από τα δύο χωριστά βασικά συστατικά του δυναμικού τσιμέντου τους και δεν χρειαζόταν περιστρεφόμενη κάμινος. Επιπλέον, για την προετοιμασία των δύο πρώτων υλών

(ασβεστόλιθος-και άργιλος) πριν εισαχθούν στην περιστρεφόμενη κάμινο για να ψηθούν σαν μίγμα (φαρίνα) προηγείται πρώτον ξήρανση της αργίλου για να ακολουθήσει η κονιοποίησή της στους σφαιρόμυλους και άλεση επίσης του ασβεστόλιθου στους σφαιρόμυλους. Ομοίως το τελικό ψημένο υλικό –το κλίνκερ- πρέπει και αυτό να κονιοποιηθεί στους σφαιροφόρους μύλους. Όλα αυτά τα στάδια των εργασιών και των δαπανηρών εγκαταστάσεων δεν χρειάζονταν στο αρχαίο ελληνικό τσιμέντο, δηλαδή ούτε ξηραντήριο ούτε σφαιρόμυλοι. Σημαντική διαφορά αποτελεί επίσης το γεγονός ότι το σημερινό τσιμέντο Πόρτλαντ απαιτεί για τη συσκευασία του στεγανούς σάκους για να μη καταστραφεί από την υγρασία του αέρος κατά την αποθήκευσή τους. Αντίθετα, κανένα από τα δύο χωριστά συστατικά του αρχαίου ελληνικού δομικού υλικού δεν υπόκειται σε καταστροφή όταν βραχεί και για το λόγο αυτό δεν χρειαζόταν τότε στεγανή συσκευασία [29, 30, 32].

1.2.1.1.1 Τεχνολογία παραγωγής σκυροδέματος στην Αρχαία Ελλάδα

Για την παραγωγή του δυαδικού τσιμέντου, οι Έλληνες τεχνικοί χρησιμοποιούσαν δύο επίσης πρώτες ύλες, τις οποίες υπέβαλαν προηγουμένως σε ενδεδειγμένη επεξεργασία, τη φυσική Θηραϊκή γη και τον ασβέστη. Η φυσική Θηραϊκή γη, η οποία εκτινασσόταν από το ηφαιστειό της και κάλυπτε, με την επενέργεια του ανέμου, ολόκληρη την επιφάνεια της νήσου Θήρας. Το υλικό αυτό ήταν ήδη ψημένο μέσα στα έγκατα της γης. Προερχόταν από φυσικά γαιώδη συστατικά, που είχαν ήδη υποστεί υψηλή θερμική κατεργασία, με σχηματισμό νέων «πυροχημικών ενώσεων» πριν εκτιναχθούν από τα βάθη του ηφαιστείου στον ελεύθερο αέρα. Η κοκκομετρική σύσταση της φυσικής αυτής ηφαιστειακής Θηραϊκής γης περιέχει, 20% κατά βάρος περίπου, ιδιαίτερα λεπτότατο συστατικό, που είναι και το σπουδαιότερο. Το υπόλοιπο αποτελείται από κόκκους διαφόρων μεγεθών ελαφρόπετρας (κισσήρεως), αλλά και κόκκους διαφόρων μεγεθών πυκνών βαρέων ηφαιστειακών πετρωμάτων. Από προγενέστερες προφανώς τεχνικές εργασίες τους και από τη μακρά εμπειρία τους οι αρχαίοι Έλληνες μηχανικοί είχαν επισημάνει ότι: το λεπτότατο αυτό φυσικό συστατικό της Θηραϊκής γης, όταν το αναμίγνυαν με ασβέστη, ο οποίος τους ήταν ήδη από παλαιότερα γνωστός, έδινε μετά την πήξη και σκλήρυνσή του μία μάζα η οποία παρουσίαζε καλύτερες ιδιότητες, φυσικές και μηχανικές (τριβής, σκληρότητας κ.λπ.) έναντι άλλων μιγμάτων που περιείχαν όλα τα είδη των συνυπαρχόντων κόκκων βαρέων πετρωμάτων και ελαφρόπετρας στη

Θηραϊκή γη. Έτσι έφτασαν στο σημείο της αναζήτησης μίας μεθόδου διαχωρισμού του σημαντικού λεπτότατου συστατικού της Θηραϊκής γης, από τις υπόλοιπες προσμίξεις. Κατέληξαν να χρησιμοποιήσουν και εδώ μία γνωστή τους ήδη μεθοδολογία που εφάρμοζαν και στη μεταλλουργία για τον καθαρισμό της πρώτης ύλης (των μεταλλευμάτων), αλλά επίσης και για την παραγωγή των λεπτότατων γαιωδών φυσικών τους χρωστικών πρώτων υλών, ξεχωρίζοντάς τη με τη μέθοδο του υδαταιωρήματος από ακατέργαστες γαιώδεις ποικίλου μεγέθους κόκκων πρώτες ύλες, που τους ήταν απαραίτητες για τη βαφή και ζωγραφική των υπέροχων κεραμικών βάζων και αγγείων τους. Η μεθοδολογία του «υδαταιωρήματος» που εφάρμοζαν στην πράξη για τη λήψη του λεπτότατου συστατικού από τη χονδρόκοκκη Θηραϊκή γη ήταν η εξής:

1. Σε μεγάλα δοχεία ή σε κτιστές στο έδαφος δεξαμενές γεμάτες με θαλασσινό νερό προσέθεταν ποσότητα Θηραϊκής γης και την αναμίγνυαν έντονα, ώστε να προκύψει ένα αιώρημα με διαχωρισμένα όλα τα μεγέθη των κόκκων.
2. Απομάκρυναν τα επιπλέοντα στο νερό συστατικά, δηλαδή την ελαφρόπετρα και τα φυτικά υπολείμματα.
3. Ακολουθούσε αμέσως μετάγγιση του θολού αιωρήματος που περιείχε το λεπτότατο μόνο συστατικό της Θηραϊκής γης σε άλλα δοχεία, ή σε χαμηλότερα κειμένη δεξαμενή. Η μετάγγιση αυτή γινόταν χωρίς να παίρνουν το ανεπιθύμητο βαρύτερο κοκκώδες υλικό που είχε καθιζήσει στον πυθμένα του δοχείου ή της πρώτης υψηλότερα κειμένης δεξαμενής, το οποίο όμως το χρησιμοποιούσαν για άλλες τεχνικές τους εργασίες.
4. Άφηναν σε ηρεμία το θολό υδαταιώρημα επί εικοσιτετράωρο. Ακολουθούσε η προσεκτική μετάγγιση και απομάκρυνση μόνο του καθαρού πλέον θαλάσσιου ύδατος, μετά την καθίζηση που είχε μεσολαβήσει του πολύτιμου λεπτότατου συστατικού του αιωρήματος στον πυθμένα της δεξαμενής. Εν συνεχεία, το συνέλεξαν προς φύλαξη, για να χρησιμοποιηθεί ως έχει.

Το πολύτιμο αυτό υλικό Θηραϊκής γης, είναι πλούσιο σε άμορφο πυριτικό οξύ. Αυτό σημαίνει ότι, όταν αναμιχθεί στο έργο με ένα άλλο και σε κατάλληλη αναλογία υλικό (ο γνωστός τους από παλαιότερες ακόμη εποχές ασβέστης) και προστεθεί στο μίγμα το αναγκαίο νερό, τότε σχηματίζονται στη μάζα του δυαδικού αυτού μίγματος κατά τη διάρκεια της πήξης και της συνεχιζόμενης με το χρόνο σκλήρυνσής του, υδραυλικές ενώσεις ένυδρου πυριτικού μονασβεστίου ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Είναι δε ακριβώς ίδιες σαν κι αυτές που σχηματίζονται με

την προσθήκη νερού στο σημερινό από τις τσιμεντοβιομηχανίες παραγόμενο «τσιμέντο Πόρτλαντ».

Με την ανάμιξη των δύο χωριστών αυτών βασικών συστατικών, της Θηραϊκής γης και του ασβέστη, και στην ενδεδειγμένη μεταξύ τους αναλογία, που ήταν απόρροια της εμπειρίας του μηχανικού, ή ακόμη απόρροια πειραματικών προ της εκτέλεσης του έργου προδοκιμών, παρήγαγαν επί τόπου το «δυναμική μορφής ή συστάσεως τσιμέντο τους». Από το τσιμέντο αυτό, στη συνέχεια με προσθήκη και άμμου (φυσικής, θαλάσσης ή ποταμού), ή ακόμη με την προσθήκη επιπλέον και χαλίκων (θαλάσσης ή ποταμού) παρήγαγαν σκυροδέμα [29, 30].

1.2.1.1.2 Φυσικοχημικές και Μηχανικές ιδιότητες Αρχαίου Ελληνικού

Σκυροδέματος

Το 1997, οι Kouι and Ftikos [31], μελέτησαν τις φυσικοχημικές και μηχανικές ιδιότητες δείγματος σκυροδέματος από την δεξαμενή της Αρχαίας Καμίρου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνάς τους, υπολογίστηκε ότι η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος ανέρχεται στα 120 kg/cm², το οποίο, λαμβάνοντας υπόψιν την πάροδο του χρόνου, θεωρείται αρκετά υψηλή τιμή. Επιπλέον, οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας που υπολογίστηκαν, φανερώνουν καλές ελαστικές ιδιότητες. Από τις μετρήσεις του πορώδους βρέθηκε χαμηλή τιμή ολικού πορώδους και υψηλή φαινόμενη πυκνότητα. Όσον αφορά τα αδρανή του σκυροδέματος, μετρήθηκε μέγιστος κόκκος γύρω στα 20 mm και λόγος κονιάς/αδρανών 1/2, ενώ η καμπύλη κατανομής των αδρανών προσομοιάζει τη θεωρητική καμπύλη Fuller, η οποία εισήχθη το 1907. Από τον ορυκτολογικό προσδιορισμό του δείγματος, ανιχνεύτηκαν ως κύρια ορυκτολογική φάση ο ασβεστίτης και ως δευτερεύουσα ο Al tobermorite, ενώ για τα αδρανή ως κύρια ο ασβεστίτης και ως δευτερεύουσες δολομίτης και αντιγορίτης.

Τα συμπεράσματα της έρευνας ήταν ότι χρησιμοποιήθηκαν πυριτικό χαλίκι, ασβεστιτικά αδρανή μεσαίων κόκκων και λεπτόκοκκα ασβεστιτικά, σε τέτοια αναλογία ώστε να παραχθεί μια ιδανική κοκκομετρική διαβάθμιση και μια καμπύλη κατανομής των αδρανών που προσεγγίζουν τις σύγχρονες τεχνικές. Όσον αφορά τη συνδετική κονία, η προέλευση των υδραυλικών ενώσεων δεν ήταν δυνατόν να ταυτιστεί με οποιαδήποτε φυσική ή χημική ανάλυση, ωστόσο η αξιολόγηση διάφορων μορφολογικών παρατηρήσεων και η γνώση ότι η θηραϊκή γη χρησιμοποιούταν ήδη σαν πρόσθετο σε ασβεστοκονιάματα μερικούς αιώνες

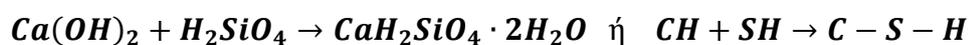
πριν, οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι η κονία που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή της δεξαμενής στην Κάμιρο, ήταν ένα είδος φυσικού τσιμέντου με ασβέστη και ηφαιστειακή γη.

1.2.1.2 Αρχαίο Ρωμαϊκό Σκυροδέμα

Τα υδραυλικά κονιάματα χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα κατά την Ρωμαϊκή εποχή και μπορούν να θεωρηθούν ως μία από τις πιο σημαντικές ανακαλύψεις των Ρωμαίων καθώς είναι το βασικό συστατικό του Ρωμαϊκού σκυροδέματος [32, 33, 34, 35]

1.2.1.2.1 Τεχνολογία παραγωγής Ρωμαϊκού Σκυροδέματος

Κατά τη διάρκεια της Ρωμαϊκής εποχής, η χρήση τοπικών υλικών όπως η ηφαιστειακή άμμος (pozzolana), επέτρεψε την ανάπτυξη ενός πολύ ισχυρού και υψηλής ποιότητας κονιάματος γνωστό ως opus caementicium. Το Ρωμαϊκό σκυροδέμα, δεν προκύπτει από την ανάμειξη σβησμένου ασβέστη με κόκκους χαλαζία, αλλά παράγεται από ανάμειξη σβησμένου ασβέστη με υψηλής ποιότητας αντιδραστική ποζολανική άμμο [36]. Οι άριστες υδραυλικές ιδιότητες του Ρωμαϊκού σκυροδέματος απορρέουν από την χρήση της ποζολάνης (ηφαιστειακή άμμος). Η ποζολάνη είναι κατά βάση ηφαιστειακή τέφρα που περιέχει αργιλοπυριτικές ενώσεις οι οποίες αντιδρούν με το υδροξείδιο του ασβεστίου Ca(OH)_2 παρουσία νερού [33], [37, 38]. Οι αντιδράσεις αυτές παράγουν ένυδρα τσιμεντοειδή προϊόντα [ένυδρο πυριτικό ασβέστιο ($\text{CaH}_2\text{SiO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) και ένυδρο αργιλοπυριτικό ασβέστιο (C_4AH_{13})], τα οποία καθιστούν εφικτή την πήξη και σκλήρυνση του κονιάματος κάτω από το νερό.



Το όνομα ποζολάνη (Pozzolana) προέρχεται από το όνομα της πόλης Pozzuoli που βρίσκεται στις Ιταλικές ακτές κοντά στην πόλη Νάπολη [35]. Η γεωλογική σύσταση της Ιταλικής αυτής περιοχής χαρακτηρίζεται από αδρά κοιτάσματα ηφαιστειακής τέφρας, στην οποία οφείλεται η εκπληκτική αντοχή και ισχύ του Ρωμαϊκού σκυροδέματος. Παράλληλα με την χρήση της ποζολάνης κατά την Ρωμαϊκή εποχή εμφανίστηκε για πρώτη φορά η χρήση θραυσμένου κεραμικού και κεραμάλευρου κυρίως στις υδατοστεγανές δομικές κατασκευές [39, 40].

1.2.1.2.2 Φυσικοχημικές και Μηχανικές ιδιότητες Ρωμαϊκού Σκυροδέματος

Το 2009, οι Marie D. Jackson et al [39], μελέτησαν δείγματα αρχαίου ρωμαϊκού σκυροδέματος από την Μεγάλη Αίθουσα της Αγοράς του Τραϊανού (96- 115 μ.Χ.), η οποία αποτελεί ένα άθικτο παράδειγμα αρχιτεκτονικής με χρήση σκυροδέματος, της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας. Πετρογραφικές, ορυκτολογικές, χημικές αναλύσεις και αναλύσεις με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, αποδεικνύουν ότι το σκυρόδεμα περιέχει αδρανή ηφαιστειακής τέφρας “Pozzolane Rosse”, και *straitlingite*, ένα σύνθετο ένυδρο τσιμέντο αλουμινικού ασβεστίου ($C_2 ASH_8$) που δίνει στα σύγχρονα τσιμέντα καλή ανθεκτικότητα και αντοχή σε θλίψη. Η σχετικά χαμηλή εφελκυστική αντοχή του κονιάματος που υπολογίστηκε και η ελαφρώς μικρή πρόσφυση του στο χονδρόκοκκο αδρανές υποδηλώνει ότι οι Ρωμαίοι κατασκευαστές επέλεξαν τα μίγματα σύνθετων αδρανών για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των σκυροδεμάτων.

1.2.1.2.3 Το Ρωμαϊκό Σκυρόδεμα για θαλάσσιες κατασκευές

Το αρχαίο ρωμαϊκό σκυρόδεμα, ένα εξαιρετικά ανθεκτικό σύνθετο υλικό υψηλής απόδοσης κατασκευασμένο από ασβέστη και πυροκλαστικά πετρώματα, μπορεί να αποτελέσει πηγή πληροφόρησης για την αντιμετώπιση των προβλημάτων μακροζωίας του σύγχρονου τσιμέντου και της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Το ρωμαϊκό σκυρόδεμα, σε αντίθεση με το σημερινό σκυρόδεμα, που μόλις έρθει σε επαφή με το αλμυρό νερό έχει αμέσως απώλεια αλκαλικών στοιχείων και ασβεστοποιείται, αποκτά μεγαλύτερη συμπύκνωση και ανθεκτικότητα με την επαφή του με το θαλασσινό νερό, χάρις στην αντίδρασή του με τα ηφαιστειακά υλικά της σύνθεσής του.

Νέες έρευνες δειγμάτων ρωμαϊκού σκυροδέματος που είχαν χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή λιμανιών, στο εργαστήριο Lawrence Berkeley National Laboratory του πανεπιστημίου Berkeley της Καλιφόρνιας, υπέδειξαν ότι η διαφορά ανάμεσα στο σύγχρονο τσιμέντο και στο ρωμαϊκό έγκειται στο είδος της κονίας που συνδέει τα στοιχεία του σκυροδέματος μαζί. Σε σκυρόδεμα που κατασκευάζεται με τσιμέντο Portland αυτό είναι μια ένωση ένυδρων ασβεστοπυριτικών ($C-S-H$). Το ρωμαϊκό σκυρόδεμα παράγει μια σημαντικά διαφορετική ένωση, με προσθήκη αλουμινίου και λιγότερου πυριτίου. Η προκύπτουσα ένυδρη ασβεστοαργιλοπυριτική ένωση ($C-A-S-H$) είναι ένα εξαιρετικά σταθερό συνδετικό υλικό. Η φασματοσκοπία ακτίνων Χ έδειξε ότι ο ειδικός τρόπος υποκατάστασης του αργιλίου

με το πυρίτιο στο C-A-S-H μπορεί να είναι το κλειδί για τη συνοχή και τη σταθερότητα του σκυροδέματος με τη χρήση θαλάσσιου νερού. Θεωρητικά, το C-S-H σε σκυρόδεμα που κατασκευάζεται με τσιμέντο Portland μοιάζει με συνδυασμό φυσικών μεταβλητών ορυκτών, που ονομάζεται τοβερμοτίτης και (jennite). Δυστυχώς αυτές οι ιδανικές κρυσταλλικές δομές δεν υπάρχουν πουθενά στο συμβατικό σύγχρονο σκυρόδεμα. Επιπλέον, όσον αφορά τα προϊόντα ενυδάτωσης του τσιμέντου, θεωρητικά, το C-S-H σε σκυρόδεμα που κατασκευάζεται με τσιμέντο Portland μοιάζει με συνδυασμό φυσικών μεταβλητών ορυκτών, που ονομάζεται τοβερμορίτης και (jennite). Δυστυχώς αυτές οι ιδανικές κρυσταλλικές δομές δεν υπάρχουν πουθενά στο συμβατικό σύγχρονο σκυρόδεμα. Ωστόσο, ο τοβερμορίτης εμφανίζεται στο κονίαμα του αρχαίου σκυροδέματος θαλασσινού νερού. Τα πειράματα περίθλασης ακτίνων X προσδιόρισαν τις ορυκτολογικές φάσεις και, για πρώτη φορά, διασαφήνισαν το ρόλο του αλουμινίου στο κρυσταλλικό πλέγμα. Ο Al-τοβερμορίτης (Al για το αλουμίνιο) έχει μεγαλύτερη ακαμψία από το ελαφρώς κρυσταλλικό C-A-S-H και παρέχει ένα πρότυπο για τη δύναμη και την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος στο μέλλον. Ουσιαστικά, τα υλικά αυτά ενισχύουν το σκυρόδεμα, αποτρέποντας τη δημιουργία μικρορηγματώσεων, με τη δομή του τσιμέντου να γίνεται πιο ανθεκτική όσο περνά ο καιρός, σε αντίθεση με τα σημερινά σκυροδέματα Πόρτλαντ, που δεν πρέπει να υφίστανται αλλαγές μετά την πήξη τους, με οποιαδήποτε δευτερεύουσα αντίδραση να τους προκαλεί βλάβες [41, 42].

I.2.2 Μυκηναϊκή Αρχιτεκτονική- Μυκηναϊκά Ανάκτορα

Ο μυκηναϊκός πολιτισμός αναπτύχθηκε κατά την περίοδο 1700 – 1001 π.Χ. σε διάφορα μέρη του ελλαδικού χώρου. Αρχαιολογικά ίχνη του εντοπίστηκαν για πρώτη φορά στην περιοχή των Μυκηνών, από όπου και πήρε το όνομά του. Ανάμεσα στα σημαντικότερα ευρήματα συγκαταλέγονται τειχισμένες ακροπόλεις, ανάκτορα, οικισμοί και ταφικά μνημεία. Σύμφωνα με τη μυθολογία, ιδρυτής των Μυκηνών ήταν ο Περσέας, γιος του Δία και της Δανάης, ενώ ο Μυκηναϊκός κόσμος θεωρείται αποδεδειγμένα από τους εξερευνητές του ο πρώτος και σπουδαιότερος ελληνικός πολιτισμός που αναπτύχθηκε στον ελλαδικό χώρο.

Στην αρχή της Μυκηναϊκής εποχής, ιδρύεται στην Πύλο ένα ανάκτορο που παρουσιάζει εμφανείς σχέσεις με τα οικοδομήματα των κρητικών κέντρων. Κατάλοιπα και άλλων μυκηναϊκών ανακτόρων φανερώνουν μια διμερή έδρα του ηγέμονα, με κύριο και δευτερεύον ανάκτορο. Οι αρχιτεκτονικές λειτουργίες αυτής της νέας, τυπικής για την ηπειρωτική Ελλάδα, οικοδομικής μορφής, εξυπηρετούν την οικονομία ανακατανομής αγαθών μέσω μιας κεντρικής εξουσίας, που έκανε την εμφάνισή της στο τέλος των μεσοελλαδικών χρόνων. Γύρω από ένα κεντρικό κτίριο (Μέγαρο), επικοινωνούσαν, με τη βοήθεια ενός συστήματος διαδρόμων, αίθουσες υποδοχής αλλά και απλούστερα διαρρυθμισμένοι χώροι (αποθήκες και εργαστήρια) αποτελώντας όλα μαζί μια αυτάρκη λειτουργική μονάδα. Τέτοιου είδους συγκροτήματα θα γίνουν το κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα των μεταγενέστερων εδρών των ηγεμόνων σε όλη την έκταση, όπου απλώθηκε ο μυκηναϊκός πολιτισμός [43].

I.2.2.1 Ανάκτορο Νέστορος

Το ανάκτορο του μυθικού βασιλιά της Πύλου, Νέστορα, ανήκει στην κατηγορία αυτή των μυκηναϊκών ανακτόρων, και μάλιστα είναι το καλύτερα διατηρημένο από όλα όσα έχουν ανακαλυφθεί σε ολόκληρη την Ελλάδα. Βρίσκεται σε απόσταση 4 χλμ. νότια του χωριού Χώρα, στο λόφο του Επάνω Εγκλιανού, 14 χλμ. από την Πύλο. Το ανάκτορο χτίστηκε από το βασιλιά Νέστορα, το γιο του Νηλέα, ο οποίος μνημονεύεται πολλές φορές από τον Όμηρο, κατέχοντας σημαντική θέση στα ομηρικά έπη. Ο Νέστορας οδήγησε την Πύλο στον Τρωικό

πόλεμο με 90 καράβια και παρουσιάζεται από τον Όμηρο ως συνετός γέροντας, τη γνώμη του οποίου πάντα σέβονταν οι Αχαιοί.

Η ακμή του καλύπτει την περίοδο από το 1300 π.Χ. έως το 1200 π.Χ. περίπου. Καταστράφηκε από μεγάλη πυρκαγιά στα τέλη του 13^{ου} αιώνα π.Χ. ή στις αρχές του 12^{ου} αιώνα π.Χ., σε μια περίοδο που χαρακτηρίζεται από γενικότερες λαϊκές αναστατώσεις και εξεγέρσεις στις έδρες των μυκηναϊκών βασιλείων.

1.2.2.1.1 Ιστορία των Ανασκαφών

Οι πρώτες έρευνες για τον εντοπισμό του μυθικού αυτού ανακτόρου ξεκίνησαν το 1888 από τον Heinrich Schliemann, ο οποίος είχε κάποιες υποψίες σχετικά με την τοποθεσία του, όμως δεν κατόρθωσε να το εντοπίσει.

Στα 1912 και 1926 ο τότε έφορος αρχαιοτήτων Κ. Κουρουνιώτης ανακάλυψε, στην περιοχή βόρεια από τον κόλπο του Ναυαρίνου, δύο θολωτούς τάφους. Οι τάφοι αυτοί αν και είχαν συληθεί στην αρχαιότητα, έδωσαν αξιόλογα ευρήματα: Ο ένας περιείχε τρία διακοσμημένα βάζα και ο άλλος μια συλλογή κυπέλων της πρώιμης μυκηναϊκής περιόδου και της Μέσης Ελλαδικής. Στη γύρω περιοχή, ο Κουρουνιώτης διαπίστωσε την ύπαρξη και άλλων τάφων του ίδιου τύπου.

Ήταν τότε που, με πρωτοβουλία του Κουρουνιώτη, σχηματίστηκε μια Ελληνο-Αμερικανική αποστολή με αντιπρόσωπο της Ελληνικής Αρχαιολογικής Υπηρεσίας τον ίδιο και τον C.W. Blegen του Πανεπιστημίου του Cincinnati. Σκοπός τους ήταν να ερευνήσουν τη δυτική Μεσσηνία και ειδικότερα Μυκηναϊκές τοποθεσίες και νεκροταφεία. Στα 1938, οι δύο συνεργάτες έκαναν μία σύντομη εξερεύνηση στην περιοχή. Πίστευαν πως οι θολωτοί τάφοι ήταν βασιλικές ταφές, επομένως, σε μία περιοχή που είχε πολλούς τέτοιους τάφους, συμπέραναν πως θα έπρεπε να υπάρχει και το ανάκτορο των βασιλέων που τάφηκαν σε αυτούς.

Στα 1939, έγιναν πιο συστηματικές έρευνες στην περιοχή ανατολικά και βόρεια του κόλπου του Ναυαρίνου με τη βοήθεια των κατοίκων, οι οποίοι έδωσαν πληροφορίες και υπέδειξαν τοποθεσίες με αρχαία ερείπια. Μέσα σε δέκα μέρες ανακαλύφθηκαν επτά περίπου θέσεις, που σύμφωνα με την κεραμική που βρέθηκε εκεί ανήκαν στη Μυκηναϊκή περίοδο. Αυτή που

ξεχώρισαν όμως ήταν στον λόφο «Επάνω Εγκλιανό», όπου και αποφάσισαν να ξεκινήσουν τις δοκιμαστικές ανασκαφές.

Στις 4 Απριλίου του 1939, από την πρώτη κιόλας μέρα φανερώθηκαν πέτρινοι τοίχοι με πάχος πάνω από 1 μέτρο, τμήματα από τοιχογραφίες, δάπεδα από κονίαμα, μυκηναϊκή κεραμική και ενεπίγραφες πινακίδες. Οι έρευνες που πραγματοποιήθηκαν τις επόμενες εβδομάδες, φανέρωσαν ότι το κτίριο ήταν σχετικά μεγάλο, σε σύγκριση με τα ως τώρα γνωστά από την Τίρυνθα, τις Μυκήνες και τη Θήβα. Βρέθηκαν περισσότερες από 600 πινακίδες και θραύσματα ενεπίγραφα σε Γραμμική Β γραφή. Η έναρξη του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου κατέστησε αδύνατη την συνέχιση της συστηματικής ανασκαφής που είχε προγραμματιστεί για τον επόμενο χρόνο.

Το 1945 πεθαίνει ο Κουρουνιώτης και το Αρχαιολογικό Συμβούλιο ορίζει ως διάδοχό του τον καθηγητή του Πανεπιστημίου Αθηνών, Σ. Μαρινάτο. Ο καθηγητής πρότεινε να συνεχιστεί η κοινή έρευνα, αλλά ο κάθε συνεργάτης να έχει ανεξάρτητες αρμοδιότητες και ευθύνη για το κομμάτι του στο πρόγραμμα. Ο ίδιος προτίμησε να συγκεντρώσει την προσοχή του στην έρευνα άλλων θέσεων, πέρα από την περιοχή του ανακτόρου, όπου ανακαλύφθηκαν θολωτοί και θαλαμοειδής τάφοι, ενώ η αποστολή του Cincinnati αφοσιώθηκε στην εξερεύνηση του ανακτόρου και της περιοχής γύρω από αυτό.

Οι ανασκαφές για το ανάκτορο ξεκίνησαν στις 30 Μαΐου του 1952, και συνεχίστηκαν για μια δεκαετία, για δύο με τρεις μήνες το χρόνο. Ως αποτέλεσμα είχαν να αποκαλυφθεί σχεδόν ολόκληρο το ανάκτορο. Τις έρευνες χρηματοδότησαν εξ αρχής γενναιόδωρα ο καθηγητής και η κυρία W.T. Semple του Πανεπιστημίου του Cincinnati, που είχαν προηγουμένως οργανώσει και χρηματοδοτήσει τις ανασκαφές του ίδιου Πανεπιστημίου στην Τροία [44, 45, 46].

1.2.2.1.2 Τοποθεσία

Ο λόφος του Επάνω Εγκλιανού βρίσκεται στη δυτική πλευρά του δημόσιου δρόμου, 4 χλμ. περίπου νότια της Χώρας και 17 χλμ. βόρεια της Πύλου. Το ύψωμα, που το μεγαλύτερο μήκος του είναι περίπου 170 μ. από τα νοτιοδυτικά προς τα βορειοανατολικά, και το πλάτος του όχι περισσότερο από 90 μ., ορθώνεται απότομα σε όλες τις πλευρές του, σε ύψος από 4 μέχρι 7 μ. Μόνο στην ανατολικότερη άκρη του, ένα σχετικά στενό πλάτωμα βρίσκεται κάπως

χαμηλότερα, αλλά με δυσκολία ανέβαινε κανείς ακόμη και από εκεί, μέχρι το 1952, οπότε ανοίχτηκε μία ανηφορική πρόσβαση στην απότομη πλευρά του λόφου.

Το ύψωμα αρχικά είχε κατοικηθεί στη Μεσσοελλαδική εποχή, αλλά σίγουρα πριν χτιστεί το ανάκτορο η κορυφή του λαξεύτηκε και ισοπεδώθηκε. Από τότε (αρχές περίπου του 13^{ου} αιώνα π.Χ.), ο λόφος φαίνεται πως προοριζόταν αποκλειστικά για βασιλική εγκατάσταση, με το κύριο συγκρότημα του ανακτόρου και τα βοηθητικά του διαμερίσματα. Πιο κάτω, στις πλαγιές και τα πλατώματα, στα βορειοδυτικά νοτιοδυτικά και νοτιοανατολικά του λόφου απλωνόταν η πόλη. Σε μικρή απόσταση, προς τα βόρεια και νότια της ακρόπολης, υπάρχουν βασιλικοί θολωτοί τάφοι, και σε μια ράχη που κατεβαίνει προς τα δυτικά βρέθηκαν οι θαλαμοειδείς τάφοι των κοινών θνητών.

Το ανάκτορο κατέχει έκταση λίγο μεγαλύτερη από το νοτιοδυτικό μισό του λόφου, ενώ το βορειοανατολικό μέρος φαίνεται πως έμεινε ελεύθερο, χωρίς μεγάλα κτίρια, όπως και στην Τίρυνθα. Οχυρωματικό τείχος, σύγχρονο με το ανάκτορο δε βρέθηκε στον Επάνω Εγκλιανό, αν και υπάρχει ένα αρχαιότερο περιφερικό τείχος στη βορειότερη άκρη του. Τα απότομα όμως άκρα του ίδιου του λόφου σχημάτιζαν από όλες τις πλευρές μια φυσική αμυντική γραμμή που δύσκολα θα μπορούσε να την περάσει ο εχθρός.

1.2.2.1.3 Το Ανάκτορο

Το ανακτορικό συγκρότημα του Εγκλιανού αποτελεί ένα υπερσύνολο μέσα στο οποίο εντάσσονται διάφορα κτίρια, μεταξύ των οποίων 105 ισόγεια διαμερίσματα και άλλοι χώροι. Πέρα από την απουσία ισχυρών οχυρώσεων για την προστασία του Ανακτόρου, που αποτελεί ιδιαίτερο γνώρισμα των προγενεστέρων Κρητικών ανακτόρων, στο ανακτορικό συγκρότημα του Εγκλιανού αναγνωρίζονται πολλά Μινωικά στοιχεία, πιο πολλά απ' όσα στα άλλα γνωστά Μυκηναϊκά ανάκτορα. Αποτελούν επιβιώσεις από την Κρητική ανακτορική αρχιτεκτονική των Νεοανακτορικών χρόνων (1700-1400 π.Χ.). Το Μινωικό στοιχείο στην αρχιτεκτονική παράδοση του Εγκλιανού υποδηλώνεται και από την ύπαρξη χαράγματος διπλού πέλεκου (Κρητικού λατομικού σημείου) σε πώρινο δόμο κάτω από το δάπεδο του Δωματίου (Σχήμα 1.1_7) του Ανακτόρου, που θα ανήκε σε τοίχο παλαιότερου ανακτορικού οικοδομήματος Μινωικής, ίσως, εμφάνισης. Το λαμπρό ανακτορικό συγκρότημα της Μυκηναϊκής Πύλου καταλαμβάνει το ΝΔ τμήμα του λόφου και αποτελείται από τέσσερα αυτοτελή κτιριακά συγκροτήματα: το Νοτιοδυτικό, το Κεντρικό, το Βορειοανατολικό και τις

Αποθήκες οίνου, ελαίου και σιταριού ενώ υπάρχουν και κάποια μικρότερα κτίσματα. Η μεγάλη ορθογώνια «αίθουσα του θρόνου» με την κυκλική εστία, το λουτρό με τον πήλινο λουτήρα και οι αποθήκες με τα πολυάριθμα αποθηκευτικά αγγεία θεωρούνται ως τα πιο σημαντικά διαμερίσματά του.

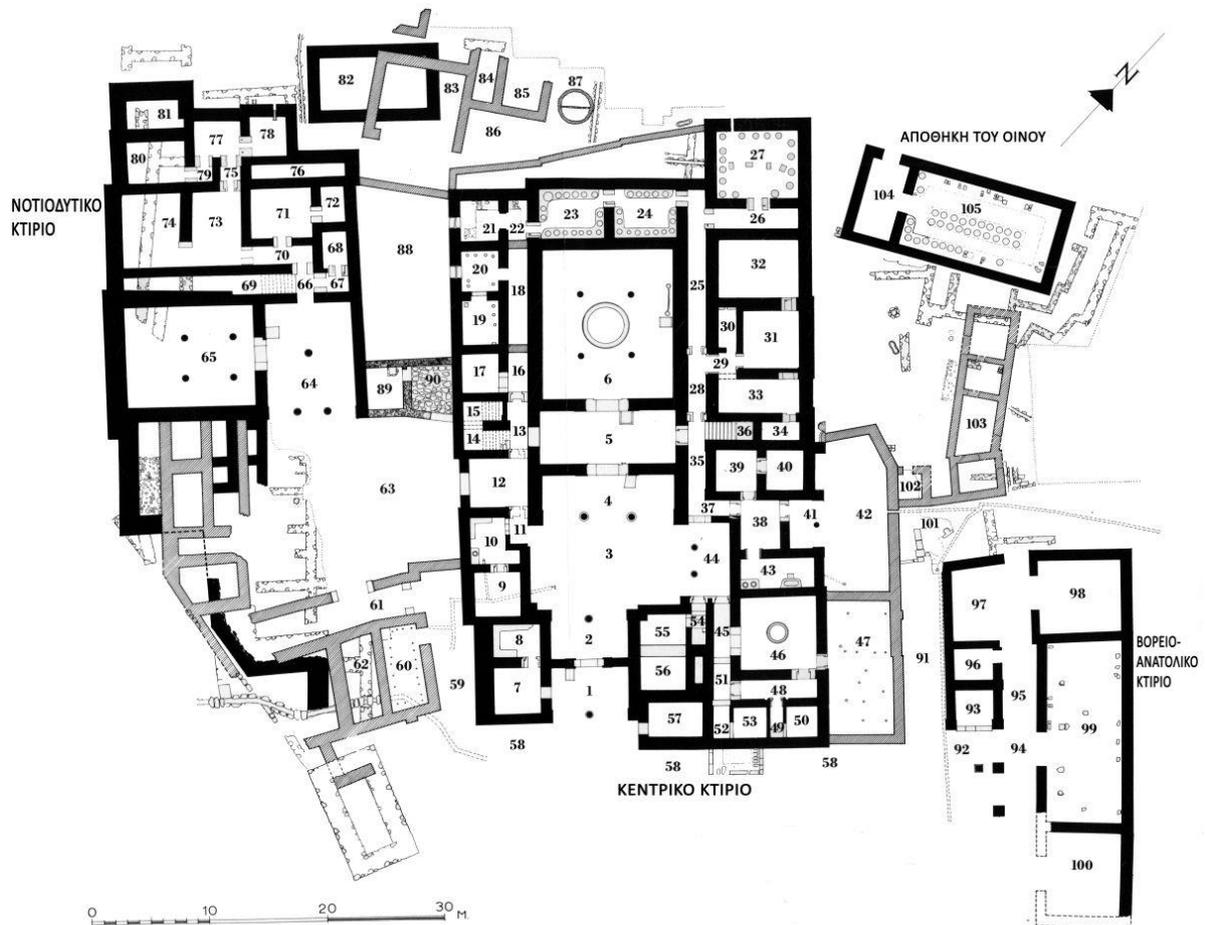
1.2.2.1.4 Αρχιτεκτονική και Δομικά Υλικά

Όσον αφορά στον τρόπο οικοδόμησης των κτιρίων του Ανακτόρου έγινε άφθονη χρήση του ξύλου, τόσο για τις ξυλοδεσιές μέσα στους πέτρινους ή πλίνθινους τοίχους, όσο και για τους κίονες (ραβδωτούς ή απλούς), τα θυρώματα, τα φατνώματα και τις στέγες. Η πληθώρα αυτή του εύφλεκτου υλικού εξηγεί και την καταστρεπτική manía της φωτιάς που αφάνισε το ανάκτορο. Σε όλες τις πλευρές του ανακτόρου, για τις προσόψεις των εξωτερικών τοίχων χρησιμοποιήθηκαν λαξευμένοι ορθογώνιοι πωρόλιθοι. Η επιφάνεια ωστόσο των εσωτερικών τοίχων ήταν συστηματικά επιχρισμένη με ασβεστοκονίαμα, ενώ τις σημαντικές αίθουσες διακοσμούσαν πολύχρωμες νωπογραφίες, που μερικές παριστάνουν λυράρηδες και γρύπες (σύμβολο της εξουσίας του Νέστορα). Τα δύο συγκροτήματα είχαν και δεύτερο όροφο, προσιτό με κλιμακοστάσια. Οι τοίχοι των επάνω ορόφων ήταν χτισμένοι με ωμές πλίνθους βαλμένες και αυτές μέσα σε σκελετό ξυλοδεσιάς. Η στέγη πρέπει να ήταν διαμορφωμένη σε τaráτσες ίσως και σε δύο ή περισσότερα επίπεδα. Πάνω από την αίθουσα του Θρόνου η στέγη σίγουρα θα ήταν ψηλότερη απ' ό,τι στις πλαϊνές πλευρές.

1.2.2.1.4.1 Κεντρικό Κτίριο

Το Κεντρικό Κτίριο που θεωρείται ότι ήταν το Ανάκτορο του Νέστορα, με πρόσοψη 30 μ. και μήκος 75 μ. περίπου και συνολικό εμβαδόν 2.000 τ.μ., καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση του όλου κτιριακού συγκροτήματος του λόφου. Είναι το καλύτερα διατηρημένο μυκηναϊκό ανάκτορο, που μάλιστα σώζεται όχι απλώς στα θεμέλια του, αλλά στην αρχή των τοίχων του, σε ορισμένα σημεία μέχρι και σε ύψος 1 μ. Το συμπαγές αυτό κτιριακό συγκρότημα, εκτός από το κεντρικό αίθριο και τις δύο υπαίθριες αυλές στη βορειοανατολική πλευρά, προσιτές μόνον από το εσωτερικό, περιλάμβανε 50 ανεξάρτητους μικρούς και μεγαλύτερους στεγασμένους χώρους διαφόρων χρήσεων, πάνω από τους οποίους υψωνόταν ο όροφος. Το ανακτορικό συγκρότημα, αυστηρά ορθογώνιο, αντίθετα με τα άλλα μυκηναϊκά σύγχρονά του ανάκτορα, αναπτυσσόταν γύρω από έναν κεντρικό άξονα, συμμετρικά και εύρυθμα

υπηρετώντας προκαθορισμένες ανάγκες. Στον κεντρικό άξονα βρίσκονταν σε σειρά, το Πρότυλο, το Αίθριο και το κυρίαρχο Μέγαρο με το Προστώ, τον Πρόδομο και την Αίθουσα του θρόνου.



Σχήμα Ι.1: Κάτοψη Ανακτόρου Νέστορα με αρίθμηση των χώρων. (φωτ. από το βιβλίο “Το Ανάκτορο του Νέστορος: Σύντομος Οδηγός”, Σχέδιο Ι. Τραυλού) [44]

Νοτιοδυτικό Κτήριο (Southwestern Building)	
Κεντρικό Κτήριο (Main Building)	
Βορειοανατολικό Κτήριο (Northeastern Building)	
Αποθήκη Οίνου (Wine Magazine)	
Κάτω Πόλη (Lower Town)	
1. 2. Πρότυλο (εξωτερικό-εσωτερικό)	54. ΝΑ κλιμακοστάσιο
3. Εσωτερική αυλή	55. Εργαστήριο λιθοξόου
4. Πρόστυλη στοά (αρχ. αίθουσα)	58. Αυλή
5. Πρόδρομος	59. Ανοικτή διάβαση
6. Αίθουσα Θρόνου ή Κυρίως Μέγαρο (αρχ. δόμος)	60. Αποθήκη τροφίμων
7-8 Αρχείο	61. Διάδρομος
9. Αποθήκη τροφίμων	63. Αυλή
10. Δωμάτιο αναμονής	64. Προθάλαμος
11. Προθάλαμος	65. Αίθουσα (συμποσίων;)
12. Πιθανή ΝΔ είσοδος	66. Μικρός προθάλαμος
13. Διάδρομος	67,68. Αποθήκες τροφίμων
14-15. ΝΔ κλιμακοστάσιο	69. Κλιμακοστάσιο
18-22. Αποθήκες	70. Διάδρομος
23,24,32. Αποθήκες ελαίου	75,79. Προθάλαμοι
25,28,35. ΒΔ διάδρομος	76. Φωταγωγός
26. Διάδρομος	78. Λουτρό
27. Βόρεια αποθήκη ελαίου	82. Αποθήκη Οίνου
29. Προθάλαμος	88. Αυλή
36. ΒΔ κλιμακοστάσιο	91. Ανοικτή διάβαση
37. Διάδρομος	92. Αυλή, με τετράγωνο βωμό
38. Προθάλαμος-Αποθήκη ελαίου	93. Ιερό
41. ΒΔ πυλών	94. Προστώο με κιονοστοιχία
42. Αυλή	95. Διάδρομος
43. Δωμάτιο λουτρού	98. Αποθήκη
44. ΒΔ στοά	99. Εργαστήριο
45,51,52. ΝΑ διάδρομος	100. Οπλοθήκη
46. Αίθουσα βασιλίσσας	101. Δρόμος
47. Αυλή	102. Δεξαμενή

Σχήμα Ι.2: Αρίθμηση θέσεων κάτοψης (φωτ. από το βιβλίο “Το Ανάκτορο του Νέστορος: Σύντομος Οδηγός”, Σχέδιο Ι. Τραυλού) [44]

Η κύρια είσοδος προς το Κεντρικό Κτίριο του ανακτόρου βρισκόταν στη νοτιοανατολική πλευρά και έφτανε εκεί περνώντας από μία ευρύχωρη υπαίθρια αυλή στρωμένη με κονίαμα. Η είσοδος ήταν ένα απλό Πρότυλο (Σχήμα Ι.1_1 και 2) με έναν κίονα εμπρός κ άλλον ένα πίσω από κάθε πρόσοψη. Σώζονται οι πέτρινες βάσεις των κίωνων περιτριγυρισμένες με ζώνες από το κονίαμα που διακοσμούσε το κάτω μέρος της κολώνας. Οι κίονες ήταν ξύλινοι, όπως δείχνουν τα αποτυπώματα που έμειναν στα περιζώματα.



Εικόνα I.1: Πρόπυλο (φωτ. από προσωπικό αρχείο)

Καθώς μπαίνει κανείς στο εξωτερικό Πρόπυλο, συναντάται αριστερά η είσοδος σε δύο μικρά συνεχόμενα δωμάτια. Στα δύο αυτά δωμάτια βρέθηκαν σχεδόν χίλιες πήλινες πινακίδες και θραύσματα με επιγραφές στη Γραμμική Β. Τον Ιούνιο του 1952 ο Michael Ventris κατάφερε να αποκρυπτογραφήσει τη Γραμμική Β, που αποδείχτηκε πως ήταν ένα παλαιότερο είδος ελληνικής γραφής. Τα κείμενα, που μπορούν πλέον σε σημαντικό μέρος τους να διαβαστούν, είναι λογιστικές καταστάσεις του διοικητικού γραφείου του ανακτόρου. Περνώντας την είσοδο, μπαίνει κανείς στην εσωτερική υπαίθρια Αυλή (Σχήμα I.1_3) όπου απέναντι υψωνόταν το Προστώ των επίσημων διαμερισμάτων (Σχήμα I.1_4). Αριστερά ήταν άλλα δύο συνεχόμενα δωμάτια, πιθανώς αποθήκη τροφίμων το ένα (Σχήμα I.1_9) και το άλλο δωμάτιο αναμονής (Σχήμα I.1_10). Στο δωμάτιο αναμονής υπήρχε ένα γραφείο που είχε επίχρισμα από κονίαμα με γραπτή διακόσμηση.

Πυρήνας του Κεντρικού κτιρίου ήταν το Μέγαρο του Βασιλιά, αποτελούμενο από την Πρόστυλη Στοά (αίθουσα), τον Πρόδομο και το Κυρίως Μέγαρο ή Αίθουσα του Θρόνου (δόμο), διαστάσεων 12.90x11.20 μ. και πλούσια διακοσμημένη με νωπογραφίες στο δάπεδο, στην οροφή και τους τοίχους. Το δάπεδο ήταν επιχρισμένο με κονίαμα, ζωγραφισμένο σε πυκνές σειρές τετραγώνων, τα οποία εκτός από ένα, που είχε ζωγραφισμένο ένα μεγάλο χταπόδι, ήταν διακοσμημένα με ποικίλα γραμμικά θέματα χρώματος ερυθρού, γαλάζιου,

κίτρινου, άσπρου και μαύρου. Στο κέντρο της αίθουσας του θρόνου, της επίσημης, δηλαδή, αίθουσας ακροάσεων, σώζεται η μεγάλη κυκλική εστία, επιχρισμένη με ζωγραφιστό κονίαμα, η μεγαλύτερη που έχει αποκαλυφθεί έως τώρα σε μέγαρο Μυκηναίου βασιλιά. Η πήλινη εστία έχει διάμετρο 4 μ., ύψος 20 εκ. και ήταν πλούσια διακοσμημένη. Την εστία πλαισιώνουν συμμετρικά γύρω από την περιφέρεια της λίθινες βάσεις 4 ξύλινων κίωνων, με 32 ραβδώσεις ο καθένας, που στήριζαν το υπερώο και το ψηλό οπαίο, που εκτός του ότι φώτιζε την αίθουσα, χρησίμευε και για τη διαφυγή του καπνού. Μεταξύ του δυτικού κίονα και της εστίας βρέθηκε μεγάλη πήλινη επιχρισμένη τράπεζα προσφορών.



Εικόνα 1.2: Εστία στην Αίθουσα του θρόνου (φωτ. από προσωπικό αρχείο)

Στο κέντρο της βορειοανατολικής πλευράς της αίθουσας, αντικριστά στην εστία, βρίσκεται η θέση του βασιλικού θρόνου. Ο θρόνος ήταν κατασκευασμένος από φθαρτό υλικό, μάλλον ξύλο, αναμφίβολα διακοσμημένο με ελεφαντόδοντο ή άλλου είδους ένθετο υλικό που λόγω της πυρκαγιάς δε σώθηκε κανένα ίχνος του. Δίπλα ακριβώς από αυτόν, βρέθηκε μια κατασκευή, που συνδέεται με την τέλεση σπονδών από τον ιερούργο-βασιλιά. Ιδιαίτερα εντυπωσιακές θα ήταν οι τοιχογραφίες, που στόλιζαν τους τοίχους. Όπως προκύπτει από τα θραύσματα: ο θρόνος πλαισιωνόταν από δύο τεράστιους γρύπες που είχαν πίσω τους ένα λιοντάρι, φρουρό (σύμβολο της βασιλικής εξουσίας), ενώ στην ανατολική γωνία της

αίθουσας υπήρχε τοιχογραφία με παράσταση μουσικού καθισμένου σε βράχο να παίζει λύρα.



Εικόνα 1.3: Τοιχογραφία από το παλάτι του Νέστορα (φωτ. από <http://www.dimos-rylou-nestoros.gr>)

Το Μέγαρο, πλαισιώνεται, από στενούς διαδρόμους, προσιτούς από τον προθάλαμο και από το αίθριο, που οδηγούν σε βοηθητικούς και αποθηκευτικούς χώρους του ισογείου, όπως σκευοθήκες και αποθήκες λαδιού, κοινού κι αρωματισμένου, καθώς και στον όροφο, διαμέσου δύο κλιμακοστασίων, όπου προφανώς βρίσκονταν οι βασιλικοί κοιτώνες κι άλλες αποθήκες. Ανάμεσα στους υπόλοιπους χώρους του κτιρίου, που έχει επιβεβαιωθεί η χρήση τους είναι τρία αυτοτελή διαμερίσματα, στα οποία οδηγεί υπόστυλη στοά στα βορειοανατολικά του αίθριου:

α) Μια δώροφη πυργοειδής κατασκευή, με δικό της κλιμακοστάσιο. Ο ανασκαφέας του ανακτόρου C. Blegen, θεώρησε ότι η κατασκευή αυτή ακριβώς στο πρόπυλο του ανακτόρου προοριζόταν για την εγκατάσταση του αρχηγείου της ανακτορικής φρουράς, ήταν δηλαδή το Φρουραρχείο του ανακτόρου.



Εικόνα 1.4: Σκάλες που φανερώνουν την ύπαρξη διώροφης κατασκευής (φωτ. από προσωπικό αρχείο)

β) Δίπλα στο φρουραρχείο βρίσκεται το δεύτερο αυτοτελές διαμέρισμα. Σε αυτό κυριαρχεί ένα σχεδόν τετράγωνο δωμάτιο με τρεις εισόδους, το λεγόμενο Μέγαρο της Βασίλισσας, με την υπαίθρια περικλειστη αυλή, τους εσωτερικούς διαδρόμους και τους βοηθητικούς χώρους της. Ήταν πλούσιο διακοσμημένο με νωπογραφίες στην οροφή και τους τοίχους και με μικρότερη πήλινη κυκλική εστία στο κέντρο με παρόμοια διακόσμηση με φλόγες και σπείρες. Οι νωπογραφίες κι η εστία μαρτυρούν την επισημότητα του χώρου, ο οποίος όμως πρέπει μάλλον να συνδεθεί όχι με τη βασίλισσα, της οποίας τα διαμερίσματα θα βρίσκονταν στον όροφο, αλλά με τον επικεφαλής και τους αξιωματούχους της φρουράς.



Εικόνα 1.5: Μέγαρο της Βασίλισσας (φωτ. από προσωπικό αρχείο)

γ) Το τρίτο αυτόνομο διαμέρισμα χαρακτηρίζεται από ένα μικρό επίμηκες δωμάτιο με μόνιμη πήλινη ασάμινθο (λουτήρα), διακοσμημένο εσωτερικά με γραπτή διακόσμηση και δύο πιθάρια για νερό, ενσωματωμένα σε θρανίο επιχρισμένο με ασβεστοκονίαμα. Πλήρης δηλαδή εγκατάσταση υγιεινής, αν και φορητοί πήλινοι λουτήρες είναι γνωστοί και από άλλες 5 μεσσηνιακές θέσεις. Από τον ανασκαφέα θεωρήθηκε ότι επρόκειτο για το βασιλικό Δωμάτιο του Λουτρού.



Εικόνα 1.6: Μέγαρο Βασίλισσας και Λουτρό (φωτ. από προσωπικό αρχείο)

Άλλοι αυτοτελείς χώροι της κεντρικής πτέρυγας, όλοι κατά μήκος της αριστερής πλευράς της είναι μερικά δικάμαρα διαμερίσματα με εσωτερική επικοινωνία, διαδοχικά τοποθετημένα: σκευοθήκη, όπου βρέθηκαν 6.000 πήλινα αγγεία και οικιακά σκεύη, κυλικείο με αίθουσα αναμονής και το αρχείο.



Εικόνα 1.7: Σκευοθήκη (φωτ. από προσωπικό αρχείο)

Ι.2.2.1.4.2 *Νοτιοδυτικό Κτίριο*

Το Νοτιοδυτικό κτίριο, συνολικού εμβαδού 1.400 τ.μ. περίπου, γειτνιάζει με το πιο πυκνοκατοικημένο τμήμα της Κάτω Πόλης, είναι παλαιότερη βασιλική κατοικία και θεωρείται ως το Ανάκτορο του Νηλέα. Το Ανάκτορο του Νηλέα φαίνεται ότι χτίστηκε πριν την ανέγερση του Κεντρικού κτιρίου, αλλά παρέμεινε σε χρήση ολόκληρο τον 13ο αιώνα π.Χ. μέχρι την τελική καταστροφή του ανακτορικού συγκροτήματος από πυρκαγιά, γύρω στα 1200 π.Χ.

Ο σημαντικότερος και επισημότερος χώρος του, ήταν η μεγάλη επίσημη αίθουσα του Θρόνου, μια μεγάλη αίθουσα με 4 ή 6 εσωτερικούς κίονες για τη στήριξη της οροφής. Στην αίθουσα αυτή οδηγούσε ένας προθάλαμος με δύο κίονες στην ανοιχτή του πλευρά και έναν τρίτο, ανορθόδοξα από στατικής άποψης τοποθετημένο στο κέντρο, ελεύθερα, χωρίς να φτάνει στην οροφή. Την επισημότητα της κεντρικής αίθουσας μαρτυρούν τα ίχνη εστίας, και η χαμηλή κατασκευή για τη θέση του φρουρού στα δεξιά της εισόδου. Η λαμπρότητα του προθαλάμου και της αίθουσας του θρόνου επιβεβαιώνεται από τα θραύσματα των πλούσιων νωπογραφιών που στόλιζαν τους τοίχους.

Ι.2.2.1.4.3 *Βορειοανατολικό Κτίριο*

Η βορειοανατολική πτέρυγα του ανακτόρου χωρίζεται από το κεντρικό τμήμα και τις δύο αυλές του με μια πλατιά ανηφορική διάβαση στρωμένη με κονίαμα (σχ.91). Είναι μια αρκετά μεγάλη κατασκευή που αποτελείται από έξι χώρους με έναν Διάδρομο ανάμεσά τους και πιθανότατα από ένα στεγασμένο Προστώ με κιονοστοιχία. Μπροστά του υπάρχει μικρή Αυλή με ορθογώνιο βωμό. Από τα δωμάτια του κτιρίου, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τρεις χώροι: η Αποθήκη, το Εργαστήριο και η Οπλοθήκη (αντίστοιχη με αυτή του Νεότερου Καδμείου στη Θήβα), μέσα στην οποία βρέθηκαν εκατοντάδες μικρές χάλκινες αιχμές βελών. Από το χώρο του Εργαστηρίου προέρχονται και πήλινες ενεπίγραφες πινακίδες, πολλές από τις οποίες αναφέρονται σε επισκευές δερμάτινων ή μεταλλικών ειδών, σε προμήθειες χαλκού ή δερμάτων και σε εξαρτήματα αρμάτων, απεικονίσεις των οποίων δεν λείπουν κι από τις τοιχογραφίες του Ανακτόρου. Τα παραπάνω στοιχεία σε συνδυασμό με τις αιχμές βελών, που αποκαλύφθηκαν, δείχνουν ότι αυτό το συγκρότημα ήταν εργαστήριο πολεμικών ειδών και οπλοστάσιο του ανακτόρου. Ο πιο ενδιαφέρων όμως χώρος του συγκροτήματος αυτού είναι ένα μικρό τετράγωνο δωμάτιο, ανοιχτό στην πρόσοψή του, ανάμεσα σε δύο

ογκώδεις παραστάδες και με ορθογώνιο λίθινο βωμό απέναντι από την είσοδο. Όπως υποδηλώνει ενεπίγραφη πινακίδα, από αυτές που βρέθηκαν στο χώρο, πρόκειται για Ιερό αφιερωμένο στη θεά Πότνια Ιππία, θεότητα ταυτισμένη με την Αθηνά. Με βάση επιγραφική μαρτυρία από το Κτίριο, είναι πιθανόν η Αποθήκη, το Εργαστήριο και το Οπλοστάσιο να βρίσκονταν κάτω από τη προστασία της Αθηνάς.

1.2.2.1.4.4 Αποθήκη Οίνου

Τέλος, εκτός από τη μακρόστενη Σκευοθήκη μέσα στην οποία φυλάσσονταν πάνω από 850 αγγεία, υπάρχει, σε εκ διαμέτρου αντίθετο σημείο στα βόρεια του Κεντρικού κτιρίου, η μεγάλη κεντρική Αποθήκη Οίνου. Πρόκειται για ένα ανεξάρτητο δικάμαρο κτίσμα, μεγάλων διαστάσεων, εκτός των ορίων του ανακτόρου, εμβαδού 250 τ.μ. Είχε ιδιαίτερο Προθάλαμο, προορισμένο για τον υπεύθυνο της διάθεσης του κρασιού, και κύριο Δωμάτιο, που περιείχε 35 πιθάρια για κρασί, διευθετημένα σε σειρές, που βρίσκονταν στις πλευρές του μεγάλου δωματίου και σε διπλή σειρά κατά μήκος του κεντρικού του άξονα. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε ορισμένα από τα 60 πήλινα σφραγίσματα που βρέθηκαν στην Αποθήκη υπήρχε ιδιαίτερο εγχάρακτο σημείο της Γραμμικής Β Γραφής, δηλωτικό του κρασιού.

1.2.2.1.4.5 Βορειοανατολική πλευρά της Ακρόπολης

Το βορειοανατολικό τμήμα του λόφου είναι φανερό πως έμεινε ελεύθερο και δεν καλύφθηκε από κτίρια την εποχή της ακμής του ανακτόρου. Στην βορειοανατολική άκρη πάντως, αποκαλύφθηκε σύστημα τοίχων, που ανήκει στην πρώιμη Μυκηναϊκή περίοδο, πριν χτιστεί το ανάκτορο. Ό,τι έχει απομείνει, μοιάζει με έναν σχετικά στενό δρόμο, πλασιωμένο και από τις δύο πλευρές με τοίχους σπιτιών που κατευθύνονται από Βορρά προς Νότο. Αυτοί οι τοίχοι φαίνεται πως διατηρήθηκαν, επειδή βρίσκονται σε μια μικρή κοιλάδα της κορυφής του λόφου και δεν κατεδαφίστηκαν όταν το βορειοανατολικό τμήμα του ισοπεδώθηκε.

Βορειότερα, στην απότομη άκρη του λόφου, αποκαλύφθηκαν υπολείμματα μιας πύλης, στην οποία ανεβαίνει κανείς απότομα με ένα πλατύ δρόμο στρωμένο με μεγάλες πέτρινες πλάκες, τοποθετημένες σχεδόν σαν σκαλοπάτια. Σύμφωνα με την κεραμική, η πύλη και κάποια συνεχόμενα τμήματα του τείχους που έχουν αναγνωρισθεί, πρέπει να αποδοθούν στην πρώτη Μυκηναϊκή περίοδο. Αυτή η πύλη και το τείχος είναι φανερό ότι καταστράφηκαν προτού χτιστεί το ανάκτορο της Μυκηναϊκής ΙΙΙ β περιόδου.

1.2.2.1.5 Το τέλος του Ανακτόρου

Το Ανάκτορο του Εγκλιανού καταστράφηκε από μεγάλη πυρκαγιά στα τέλη της Υστεροελλαδικής III-B περιόδου, γύρω στο 1200 π.Χ., που ευνοήθηκε ιδιαίτερα από τις πυκνές ξυλοδεσιές των τοίχων του κτιρίου και τις μεγάλες ποσότητες αποθηκευμένου λαδιού. Όπως συνέβη και με το Μυκηναϊκό ανάκτορο του Βοιωτικού Ορχομενού και αντίθετα με ό,τι συνέβη στο Μυκηναϊκό ανάκτορο των Θηβών (το Νεότερο Καδμείο), οι βασιλικοί ένοικοι φαίνεται ότι είχαν προλάβει να αφαιρέσουν από τα διαμερίσματα του Ανακτόρου τα περισσότερα πολύτιμα αντικείμενα κι έπιπλα πριν την καταστροφή. Ωστόσο, για μερικά από αυτά υπάρχουν ακριβείς περιγραφές στα κείμενα των πινακίδων από το αρχείο του Ανακτόρου ενώ βρέθηκαν ακόμα και κομμάτια ενός ασημένιου κυπέλλου με ένθετη διακόσμηση, από το Πρόπυλο και την Ανωφέρεια (σχ.59).

Κατά την άποψη του Blegen η πυρπόληση του Ανακτόρου γύρω στο 1200 π.Χ. οφείλεται στους Δωριείς. Κατά τον Γεώργιο Μυλωνά η καταστροφή μπορεί να ήταν αποτέλεσμα πειρατικής επιδρομής. Σύμφωνα με άλλους, η καταστροφή του, όπως και οι καταστροφές των άλλων σύγχρονων ανακτόρων της ηπειρωτικής Ελλάδας (Γλας, Ορχομενός, Καδμείο, Μυκήνες, Τίρυνθα), την ίδια περίοδο, πιθανότατα οφείλονται σε γενικότερες λαϊκές αναστατώσεις και εξεγέρσεις στις έδρες των μυκηναϊκών βασιλείων, που οδήγησαν σε πολιτικές ανακατατάξεις. Πάντως, υπάρχουν ισχυρές μαρτυρίες, ότι μετά την καταστροφή, κάποια στιγμή στους σκοτεινούς χρόνους (περίπου 1100-900 π.Χ.), σημειώνεται περιορισμένη επανακατοίκηση του λόφου μέχρι και τη Γεωμετρική εποχή, ιδιαίτερα στον χώρο μεταξύ της Αποθήκης Οίνου, του Βορειοανατολικού και του Κεντρικού Κτιρίου, με σαφή ίχνη ανθρώπινης παρουσίας: κεραμική, εργαλεία και οικοδομικά λείψανα. Το στρώμα αυτό κάλυπτε περίπου το 20% του χώρου του Ανακτόρου [44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51].

1.2.2.2 Αναγνώριση και Χρονολόγηση του Ανακτόρου

Το ανάκτορο όπως έχει αποκαλυφθεί αποτελεί της Μυκηναϊκής περιόδου (1650-1060 π.Χ.) και η ιστορία του τοποθετείται ανάμεσα στα 1300 και 1200 π.Χ. Το ανακτορικό αυτό συγκρότημα απλώνεται πάνω σε μία αρκετά μεγάλη έκταση, εξίσου μεγάλη, ίσως και μεγαλύτερη από αυτή που κατέχουν άλλα ανάκτορα της ίδιας εποχής στην ηπειρωτική Ελλάδα. Ως προς το μέγεθος και η διαρρύθμιση του Κεντρικού Κτιρίου του, παίρνει θέση

κοντά στα σύγχρονα κτίσματα των Μυκηνών και της Τίρυνθας. Παρουσιάζει το ίδιο γενικό σχέδιο με την εξωτερική πύλη της εισόδου, την αυλή, την Αίθουσα, τον Πρόδρομο και την Αίθουσα του Θρόνου με τους εσωτερικούς κίονες και την κεντρική εστία. Είναι φανερό ότι χτίστηκε από έναν πλούσιο και πολιτικά δυνατό ηγέτη. Κανένας βασιλιάς δεν αναφέρεται συγκεκριμένα στις ενεπίγραφες πινακίδες που βρέθηκαν στο ανάκτορο, όμως η μόνη βασιλική δυναστεία αρκετά ισχυρή και πλούσια τον 13^ο αιώνα π.Χ. στην δυτική Μεσσηνία, που θα μπορούσε να χτίσει και να συντηρήσει ένα τέτοιο ανάκτορο, είναι η δυναστεία των Νηλειδών. Ο Νηλεύς, βασιλικός πρίγκηπας από τη Θεσσαλία, ήρθε και κατέκτησε την τοποθεσία και ο γιός του, ο Νέστωρ, που τον διαδέχτηκε, κυβέρνησε επι τρεις γενιές. Ο Νέστωρ, που έλαβε μέρος στην εκστρατεία της Τροίας, πρόσφερε και αρμάτωσε 90 καράβια, δεύτερος μετά τον Αγαμέμνονα που διέθεσε 100. Ο Νέστωρ γύρισε από την Τροία και έζησε για μερικά ακόμα χρόνια. Τον διαδέχτηκαν στη βασιλεία ένας από τους γιούς του, ένας εγγονός και ίσως και ένας δισέγγονος του. Μετά την ολική καταστροφή του ανακτόρου οι κάτοικοι έφυγαν. Μερικοί από τους Νηλείδες κατέφυγαν στην Αθήνα όπου και ίδρυσαν ορισμένες από τις αρχοντικές οικογένειες της Αθήνας, ενώ άλλοι στράφηκαν στη Μικρά Ασία και εγκαταστήθηκαν στην Ιωνία. Η Πύλος δεν κατοικήθηκε ξανά. Τα ερείπια σκεπάστηκαν από τη βλάστηση, έπαψαν να φαίνονται κ έτσι στους κλασσικούς χρόνους κανείς δεν ήξερε που βρισκόταν η Πύλος. Η ελληνική όμως παράδοση και όλοι οι Έλληνες συγγραφείς που αναφέρουν τον Νέστορα, τον θεωρούν Μεσσήνιο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι συγκεκριμένα σημεία της βασιλικής κατοικίας του Νέστορα, που αναφέρονται στην Γραψωδία της Οδύσσειας (Τηλεμάχεια), βρίσκουν κοντινές έως ακριβείς αντιστοιχίες σε ανασκαμμένα τμήματα του Ανακτόρου του Εγκλιανού. Τέτοια είναι το θρανίο (πεζούλι) του Δωματίου 10 (πρβλ. Οδύσσεια γ, 405-412), η Αποθήκη Οίνου 104-105 (πρβλ. Οδύσσεια γ, 390-392) και η εγκατάσταση του Λουτρού 43 (πρβλ. Οδύσσεια γ, 464-469), όπου σύμφωνα με την Ομηρική περιγραφή η κόρη του Νέστορα Πολυκάστη έλουσε τον φιλοξενούμενο Τηλέμαχο. Επομένως, αν ο Νέστωρ υπήρξε ποτέ, σίγουρα θα έζησε στο ανάκτορο του Εγκλιανού που έφτασε στην ακμή του τον 13^ο αιώνα π.Χ. [44, 45].

II. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

II.1 Εισαγωγή

Σκοπός αυτής της ερευνητικής εργασίας, είναι η μελέτη και ο χαρακτηρισμός αρχαίων σκυροδεμάτων από το παλάτι του Νέστορα στην Αρχαία Πύλο. Τα σκυροδέματα είναι σύνθετα υλικά με λειτουργία που μπορεί να ποικίλει (π.χ. σκυροδέματα αρμών, δαπέδων). Η μελέτη τους έχει μεγάλη σημασία καθώς παρέχει ένα ευρύ φάσμα πληροφοριών σχετικά με την τεχνολογία κατασκευής τους, τις πρώτες ύλες και τις αναλογίες ανάμιξής τους, τις φυσικοχημικές και μηχανικές ιδιότητές τους, την κατάσταση διατήρησης, καθώς και την κατανόηση των μηχανισμών φθοράς τους. Όσον αφορά τα αρχαία σκυροδέματα, καθότι δεν υπάρχουν άλλα δείγματα από την μυκηναϊκή περίοδο, ο χαρακτηρισμός τους μπορεί να αποτελέσει πηγή τεχνικών, αρχαιολογικών, ιστορικών και αρχιτεκτονικών πληροφοριών για τα μνημεία.

Για τον χαρακτηρισμό των σκυροδεμάτων χρησιμοποιήθηκαν η οπτική μικροσκοπία (οπτικών ινών και στερεομικροσκοπία) για τη μελέτη της μορφολογίας των κονιαμάτων, η κοκκομετρική ανάλυση για τον προσδιορισμό της κοκκομετρίας των αδρανών και της αναλογίας κονιάς/αδρανών, η διαφορική θερμική και θερμοβαρυμετρική ανάλυση για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό των συστατικών τους, η περίθλαση ακτίνων X για τον προσδιορισμό των ορυκτολογικών φάσεων και η πορομετρία υδραργύρου για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της μικροδομής. Επιπλέον, για τον προσδιορισμό του συντελεστή υδατοαπορρόφησης, έγιναν δοκιμές υδατοαπορρόφησης με τριχοειδή αναρρίχηση, για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής και του στατικού μέτρου ελαστικότητας πραγματοποιήθηκαν δοκιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη και για τον προσδιορισμό της ταχύτητας διάδοσης των υπερήχων και του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας έλαβαν χώρα μετρήσεις υπερηχοσκόπησης. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιήθηκε η φασματοσκοπία Raman για την ανίχνευση ενώσεων που δεν κατέστη δυνατό να ανιχνευτούν με άλλες μεθόδους, ενώ πραγματοποιήθηκε και προσδιορισμός ολικών διαλυτών αλάτων για την μελέτη της φθοράς. Οι τεχνικές αυτές παρουσιάζονται στη συνέχεια.

II.2 Οπτική Μικροσκοπία

II.2.1 Στερεομικροσκοπία

Τα στερεομικροσκόπια κατασκευάζονται για την παρατήρηση έμμορφων στοιχείων, διακριτών δια γυμνού οφθαλμού, επομένως χρησιμοποιούνται για μικρές μεγεθύνσεις από 4x έως 300X. Μία σημαντική διαφορά μεταξύ μικροσκοπίων και στερεομικροσκοπίων, είναι η στερεοσκοπική εικόνα των στερεομικροσκοπίων, η οποία επιτυγχάνεται με την ύπαρξη ζεύγους αντικειμενικών φακών.

Ο καλός φωτισμός είναι πολύ μεγάλης σημασίας και είναι πάντα διπλός, διερχόμενος και προσπίπτων. Ο λόγος είναι ότι στο στερεομικροσκόπιο γίνεται παρατήρηση και διάφανων και αδιάφανων σωμάτων. Στην μεγάλη πλειονότητα το στερεομικροσκόπιο φωτίζεται με ορατό φως από απλή λυχνία αλογόνου χαμηλής τάσης. Για ειδικές απαιτήσεις χρησιμοποιείται ειδικός φωτισμός, όπως ο ψυχρός με οπτικές ίνες, το πολωμένο φως κ.α.

Με το στερεομικροσκόπιο, το οποίο αποτελεί συνέχεια της εξέτασης με γυμνό μάτι, μπορούμε να πάρουμε πληθώρα πληροφοριών, όπως διάγνωση μιας σειράς υλικών, τρόπους κατασκευής ενός αντικειμένου, σύνδεση τμημάτων, ένθετες διακοσμήσεις ή άλλους τρόπους διακόσμησης, επιχρυσώσεις-επαργυρώσεις, προϊόντα διάβρωσης μετάλλων, το είδος της φθοράς και πόσο έχει προχωρήσει αυτή, υπολείμματα οργανικών υλικών από το έδαφος, που βρίσκουμε σε επαφή με τα αντικείμενα, από τα οποία προκύπτουν πολύτιμες ιστορικές μαρτυρίες, όπως ύφασμα, ξύλο κ.λπ. [28, 55].

II.2.2 Μικροσκοπία Οπτικών Ινών

Η μέθοδος της μικροσκοπίας οπτικών ινών, αποτελεί μια νέα μέθοδο που εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια. Η ιδιαίτερη σημασία της μεθόδου συνίσταται στον μη καταστρεπτικό της χαρακτήρα (λόγου φορητότητας), γεγονός πολύ σημαντικό σε περιπτώσεις όπου εξετάζονται υλικά μεγάλης ιστορικής και καλλιτεχνικής αξίας. Οι εκτιμήσεις των αποτελεσμάτων που προέρχονται από την μικροσκοπία οπτικών ινών, σε συνδυασμό με αυτές από άλλες μη καταστρεπτικές μεθόδους εξέτασης των υλικών (θερμογραφία υπερύθρου, υπερηχοσκόπηση, ψηφιακή επεξεργασία εικόνας), παρέχουν σημαντικότερες πληροφορίες για το βαθμό φθοράς των υλικών και τις πιθανές περαιτέρω επεμβάσεις συντήρησης.

Η μέθοδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί ιδιαίτερα για την επί τόπου ταξινόμηση δομικών υλικών, τον έλεγχο ποιότητας σε δομικά υλικά, την εξέταση της μορφολογίας αρχιτεκτονικών επιφανειών, την αναγνώριση της φθοράς, την εκτίμηση των αποτελεσμάτων εφαρμογών μεθόδων συντήρησης, στερέωσης και προστασίας. Επιπλέον, χρησιμοποιείται για την αρχική εκτίμηση της μικροδομής του υλικού, την επί τόπου παρατήρηση σύνθετων υλικών (κονιάματος, χαρτί, κ.ά.) και ως συμπληρωματική της μεθόδου ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας, στα πλαίσια της χαρτογράφησης της φθοράς και της αποτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε αρχιτεκτονικές επιφάνειες.

Αρχή της μεθόδου: Η οπτική μετάδοση προβλέπεται να αντικαταστήσει βαθμιαία την ηλεκτρική μετάδοση. Το γεγονός αυτό, οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως είναι το χαμηλότερο κόστος της πρώτης ύλης που χρησιμοποιείται στις οπτικές ίνες (γυαλί, δηλ. οξείδιο του πυριτίου), αλλά και η ανεξάντλητη διαθεσιμότητά του σε σχέση με το χαλκό. Πρόκειται για σύνθετα κεραμικά υλικά (που περιέχουν βόριο και πυρίτιο), με δομή τέτοια που επιτρέπει την κατευθυνόμενη διάδοση του φωτός. Επιπλέον, από τεχνικής σκοπιάς, οι οπτικές ίνες έχουν τεράστιο εύρος ζώνης (συχνότητες τάξης THz), ελάχιστη απόσβεση (<0,2 dB/km), δεν εμφανίζουν διαφωνία μεταξύ τους ή άλλες ηλεκτρομαγνητικές παρενοχλήσεις και είναι μικρές σε όγκο και βάρος (~0,5 mm με το περίβλημα, ~25g/km).

Οι οπτικές επικοινωνίες χρησιμοποιούν φως αντί ηλεκτρικού ρεύματος ως φορέα των σημάτων και οπτικές ίνες αντί μεταλλικών αγωγών για τη μετάδοσή του. Το ηλεκτρομαγνητικό σήμα που είναι προς μετάδοση (φωνή, εικόνα, δεδομένα κ.τ.λ.), μετατρέπεται στο ένα άκρο της οπτικής ζεύξης, κατά κανόνα, σε ακολουθία ψηφιακών

παλμών που διοχετεύονται στην οπτική ίνα. Στο άλλο άκρο της ζεύξης ανιχνεύονται οι παλμοί και μετατρέπονται στο αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα.

Η οπτική ίνα αποτελείται από υαλώδη κυλινδρικό πυρήνα και περίβλημα από το ίδιο υλικό, με ελαφρά μικρότερο δείκτη διάθλασης από αυτόν του πυρήνα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, όταν η ακτίνα φωτός εισέρχεται στην ίνα υπό κατάλληλη γωνία, να ανακλάται διαδοχικά στο περίβλημα και να μεταδίδεται παγιδευμένη στην ίνα.

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από ένα φορητό μικροσκόπιο, που το καθιστά πολύ εύχρηστο, μιας και μπορεί να γίνει επί τόπου εξέταση ολόκληρης της επιφάνειας ενός ιστορικού συνόλου χωρίς την απαίτηση κάποιας προ-κατεργασίας ή αλλοίωσης των υλικών. Κατά την πειραματική διαδικασία, είναι σημαντικό, το φως να πέφτει κατακόρυφα στην επιφάνεια του δείγματος και να ανακλάται πίσω διαμέσου των αντικειμενικών φακών διαφορετικά, σε πλάγιες θέσεις (σχετικά με τη δέσμη φωτός), τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας δεν είναι ξεκάθαρα. Επομένως, παίζουν ρόλο η μορφή της επιφάνειας και ο βαθμός τραχύτητας αυτής, αφού σε μια επίπεδη επιφάνεια ο φακός του μικροσκοπίου προσπίπτει καλύτερα, με αποτέλεσμα να παίρνουμε καλύτερης ποιότητας εικόνες.

Το μικροσκόπιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το i_score moritex σε μεγεθύνσεις X30 και X50. Η χρήση κάποιου συγκεκριμένου φακού, ώστε να πάρουμε την αντίστοιχη μεγέθυνση, είναι άμεση συνάρτηση του τύπου του εξεταζόμενου υλικού. Το μικροσκόπιο οπτικών ινών διαθέτει έξοδο τυποποιημένου βίντεο σήματος (PAL), παρέχοντας τη δυνατότητα σύνδεσης με video μόνιτορ και συσκευή εγγραφής. Οι εικόνες καταγράφονται σε μαγνητικό μέσο και έτσι μπορούν να αναπαραχθούν ανά πάσα στιγμή στο βίντεο. Η τυποποιημένη έξοδος σήματος επιτρέπει την εισαγωγή της εικόνας και σε υπολογιστή και κατ' επέκταση σε σύστημα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας, (η ψηφιακή ανάλυση εικόνας Pal είναι 768 x 576 pixel), παρέχοντας περαιτέρω δυνατότητες επεξεργασίας [20].

II.3 Κοκκομετρικός προσδιορισμός και αναλογία

κονίας/αδρανών

Ο κοκκομετρικός προσδιορισμός αναφέρεται στον προσδιορισμό του μεγέθους των κόκκων ενός υλικού και της κατανομής τους. Το μέγεθος και η κατανομή μεγέθους των κόκκων έχουν σημαντική επίδραση στην πυκνότητα και στις μηχανικές, ηλεκτρικές και θερμικές ιδιότητες των υλικών. Από την κοκκομετρική κατανομή ενός κονιάματος μπορούμε να γνωρίσουμε τις διαστάσεις των κόκκων των αδρανών ενός κονιάματος και πώς αυτές κατανέμονται στην κοκκομετρική καμπύλη. Με βάση την κοκκομετρική καμπύλη κατανομής των αδρανών, το γεωμετρικό τους μέγεθος και στατιστική επεξεργασία μπορούμε να εξαγάγουμε συμπεράσματα για την προέλευση των αδρανών. Επίσης προσδιορίζεται ο λόγος κονίας/αδρανών, πολύ χρήσιμη παράμετρος για την μελέτη των τεχνικών χαρακτηριστικών των κονιαμάτων, σύμφωνα με το πρότυπο Normal 27/88 [52].

Η τεχνική που χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση της κοκκομετρικής ανάλυσης είναι η μέθοδος του κοσκίνισματος εν ξηρώ. Η τεχνική αυτή συνίσταται στο χειρωνακτικό διαχωρισμό του κονιάματος, εφόσον πρώτα ξηραθεί. με τη βοήθεια νυστεριών και με την ελαφρά τριβή που υφίσταται σε ένα ιγδίο, ούτως ώστε να διαχωριστούν τα συστατικά του κονιάματος. Στη συνέχεια το μερικώς διαχωρισμένο κονίαμα, εφόσον ζυγιστεί, τοποθετείται σε σειρά κοσκίνων για τον διαχωρισμό των διαφόρων κοκκομετρικών κλάσεων. Πριν ζυγιστεί το κάθε κοκκομετρικό κλάσμα, αρχίζοντας από το κόσκινο μεγαλύτερου ανοίγματος οπών, παρατηρείται σε οπτικό μικροσκόπιο για να διαπιστωθεί αν έχει απομακρυνθεί πλήρως η κονία από τα αδρανή, όπως επίσης και μορφολογικές παρατηρήσεις επί των αδρανών. Τέλος, τα αδρανή καθαρίζονται με ένα σκληρό πινέλο πάνω σε κάθε κόσκινο.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, για την κοσκίνιση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν ~60g ανάλογα με το μέγεθος των αδρανών, αφού πρώτα τοποθετήθηκαν σε πυριαντήριο, στους 105°C για μερικές ώρες. Θεωρήθηκε ότι τα αδρανή τα οποία συγκρατούνται στα όρια των οπών του κάθε κόσκινου ανήκουν στα συγκρατούμενα αδρανή αυτής της διαμέτρου. Για την πλήρη αποκόλληση της συνδετικής ύλης από τα αδρανή, χρησιμοποιήθηκε στερεομικροσκόπιο για την οπτική εξέταση των αδρανών και την εξέλιξη του διαχωρισμού τους από αυτήν.

Χρησιμοποιήθηκε σειρά κοσκίνων κατά ISO 565, ανοίγματος οπών 16-8-4-2-1-0,5-0,25-0,125-0,063 mm. Το κλάσμα των δειγμάτων που διήλθε και από το μικρότερο κόσκινο διαμέτρου οπών 63μm αντιστοιχεί στη μάζα της κόνιας που περιέχεται σε καθένα από τα δείγματα των κονιαμάτων, ωστόσο μπορεί να περιέχει πολύ μικρή ποσότητα λεπτόκοκκων αδρανών [4, 27, 28].

II.4 Προσδιορισμός ορυκτολογικών ενώσεων -

Περίθλαση ακτίνων X (XRD)

Η ανάλυση με περίθλαση ακτίνων X δίνει πληροφορίες για την τρισδιάστατη διάταξη των ατόμων ή μορίων σε ένα κρυσταλλικό υλικό συμπληρώνοντας έτσι τη στοιχειακή ανάλυση στην ταυτοποίηση μιας ουσίας. Εφαρμόζεται, τόσο στην έρευνα όσο και στην βιομηχανία, δίνοντας λεπτομερές πληροφορίες για τη δομή και τη χημική σύσταση των ενώσεων.

Η XRD βασίζεται στο φαινόμενο της περίθλασης μονοχρωματικής ακτινοβολίας ακτίνων X, γνωστού μήκους λ , επάνω στα επίπεδα του κρυσταλλικού πλέγματος των εξεταζόμενων ενώσεων και στον προσδιορισμό των διαστημάτων d των κρυσταλλικών επιπέδων, μέσω του προσδιορισμού της περιθλώμενης γωνίας θ της ακτινοβολίας X, σύμφωνα με τον νόμο του Bragg:

$$n\lambda = 2d \cdot \sin\theta$$

Τα κρυσταλλικά επίπεδα d είναι χαρακτηριστικά της κάθε κρυσταλλικής ένωσης επομένως, μέσα από τον προσδιορισμό τους μπορεί να γίνει ποιοτική ανάλυση της εξεταζόμενης ουσίας, ενώ από την ένταση της περιθλώμενης ακτινοβολίας σε μια επιλεγμένη γωνία θ γίνεται η ποσοτική ανάλυση.

Από την περίθλαση ακτίνων X των κονιαμάτων λαμβάνονται αποτελέσματα ουσιαστικά ποιοτικά. Η ποσοτική ανάλυση τόσο πολύπλοκων μειγμάτων είναι αρκετά προβληματική κάνοντας χρήση μεθόδων βαθμονόμησης με πρότυπα, λόγω του διαφορετικού βαθμού κρυσταλλικότητας των ορυκτών φάσεων στα διάφορα κονιάματα. Είναι δυνατόν, όμως, να συνάγουμε συμπεράσματα όσον αφορά στην σχετική ποσότητα (ημιποσοτική) των περιεχομένων ορυκτών φάσεων συγκρίνοντας μεταξύ τους τις εντάσεις των αντίστοιχων κορυφών στα διάφορα φάσματα [4, 27, 57].

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για την ορυκτολογική εξέταση είναι το D8 ADVANCE της Bruker με λάμπα Cu-K.

II.5 Ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός των

συστατικών των σκυροδεμάτων – Θερμική

Ανάλυση

Η θερμική ανάλυση αποτελεί ένα σύνολο τεχνικών, κατά τις οποίες μετράται η ιδιότητα ενός υλικού (φυσική ή χημική), ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, ενώ το δείγμα υποβάλλεται σε θερμοκρασιακό πρόγραμμα υπό ελεγχόμενη ατμόσφαιρα. Το θερμοκρασιακό πρόγραμμα μπορεί να περιλαμβάνει θέρμανση ή ψύξη με καθορισμένο ρυθμό ή ακόμα και διατήρηση του μείγματος σε σταθερή θερμοκρασία ή οποιαδήποτε εναλλαγή αυτών. Επιτρέπουν συνεχή καταγραφή δεδομένων, υπό μορφή θερμικών φασμάτων. Το θερμογράφημα χαρακτηρίζει ένα απλό ή σύνθετο σύστημα υλικών βάσει μεταβολών των θερμοδυναμικών, φυσικών ή μηχανικών ιδιοτήτων τους, των μεταβολών της δομής τους και της κινητικής των χημικών/φυσικοχημικών δράσεων που λαμβάνουν χώρα συναρτήσει της θερμοκρασίας.

Στην παρούσα αναφορά των θερμικών μεθόδων ενδιαφέρουν η διαφορική θερμική ανάλυση (DTA) και η θερμοβαρυμετρική ανάλυση (TG), οι οποίες εξυπηρετούν τις ποιοτικές και ποσοτικές απαιτήσεις χαρακτηρισμού των υλικών αντίστοιχα, την αποτίμηση της συμβατότητας διαφόρων υλικών σε ένα σύστημα [56].

II.5.1 Διαφορική Θερμική Ανάλυση (DTA)

Κατά τη θέρμανση ή ψύξη των υλικών λαμβάνουν χώρα χημικές ή φυσικές μεταβολές, κατά την διάρκεια των οποίων παρατηρούνται ενδόθερμα ή εξώθερμα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας. Οι θερμικές αυτές μεταβολές μπορούν να ανιχνευθούν με τη μέθοδο της διαφορικής θερμικής ανάλυσης.

Η μέθοδος της διαφορικής θερμικής ανάλυσης, βασίζεται στην μέτρηση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του δείγματος και ενός δείγματος αναφοράς, ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, όταν και τα δύο δείγματα υπόκεινται σε ένα προκαθορισμένο θερμοκρασιακό πρόγραμμα.

Όταν σε ένα δείγμα (S) που θερμαίνεται ομοιόμορφα με μια ένωση αναφοράς (R), συνήθως α-αλουμίνα, συμβεί ένα ενδόθερμο φαινόμενο η θερμοκρασία του T_s παρουσιάζει υστέρηση ως προς την θερμοκρασία αναφοράς T_r . Η θερμοκρασιακή διαφορά $\Delta T = T_s - T_r$ καταγράφεται σε σχέση με την θερμοκρασία T_r και λαμβάνεται η καμπύλη DTA. Με το ίδιο σκεπτικό μια εξώθερμη αντίδραση δίνει κορυφή με αντίθετη κατεύθυνση.

Η DTA παρακολουθώντας τη διαφορά θερμοκρασίας ως συνάρτηση του χρόνου ή της θερμοκρασίας μπορεί να αποκαλύψει, για ένα δείγμα, χαρακτηριστικές θερμοκρασίες, μετασχηματισμούς ενώσεων, τη συμπεριφορά τήξης και κρυστάλλωσής του, τη καθαρότητα του, τη κινητική των αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα και τη θερμική του σταθερότητα [27, 56].

II.5.2 Θερμοβαρυμετρική Ανάλυση (Θερμοζυγός-TG)

Η θερμοβαρυμετρική ανάλυση μετρά την μάζα του δείγματος όταν αυτό θερμαίνεται σε ελεγχόμενο περιβάλλον. Το βασικό στοιχείο του οργάνου είναι ένας αναλυτικός ζυγός ο οποίος βρίσκεται μέσα σε έναν φούρνο, για το λόγο αυτό το TG όργανο ονομάζεται και θερμοζυγός.

Η TG είναι μία από τις πιο βασικές θερμικές μεθόδους και χρησιμοποιείται κυρίως για τη μελέτη της θερμικής διάσπασης και της θερμικής σταθερότητας υλικών, όταν αυτά θερμαίνονται κάτω από διάφορες συνθήκες. Μία ακόμα χρήση είναι για την μελέτη της κινητικής των φυσικοχημικών δράσεων, που εμφανίζονται κατά τη θερμική καταπόνηση ενός δείγματος.

Στην TG ανάλυση θερμαίνουμε το δείγμα σε ελεγχόμενες συνθήκες (περιβάλλον αερίου, ρυθμός αύξησης θερμοκρασίας, τελική θερμοκρασία κ.λπ.) ενώ καταγράφεται συνεχώς το βάρος του, η θερμοκρασία του και ο χρόνος.

Η ποιοτική ανάλυση επιτυγχάνεται μέσω μελέτης των θερμογραφημάτων, τα οποία λαμβάνονται και βάση των οποίων υπολογίζεται η ακριβής μεταβολή της μάζας του δείγματος, καθώς και η θερμοκρασία στην οποία πραγματοποιήθηκε. Η δυνατότητα σύνδεσης ηλεκτρονικού υπολογιστή στο θερμοζυγό δίνει ικανότητα περαιτέρω ανάλυσης του λαμβανόμενου θερμογραφήματος, το οποίο παρουσιάζεται σε άξονες με τεταγμένη την (%) απώλεια μάζας και τετμημένη την θερμοκρασία. Φέρνοντας την διαφορική καμπύλη

(DTG) είναι δυνατός ο ακριβής υπολογισμός των δύο βασικών μεγεθών, δηλαδή της μεταβολής της μάζας και της αντίστοιχης θερμοκρασίας στην οποία πραγματοποιήθηκε η μεταβολή.

Η βασική εφαρμογή της ανάλυσης TG είναι ο καθορισμός της θερμικής σταθερότητας συστατικών και μειγμάτων σε διαρκώς ανερχόμενες θερμοκρασίες καθώς και τον καθορισμό κατάλληλων θερμοκρασιών ξήρανσης για ενώσεις, αλλά και μίγματα. Καθίσταται δυνατή μέσω της ανάλυσης TG και η μελέτη των φαινομένων της διάβρωσης. Είναι χρήσιμη επίσης για τον χαρακτηρισμό υλικών και για την μελέτη των κινητικών χαρακτηριστικών κάθε είδους διεργασίας αύξησης ή μείωσης μάζας του προς εξέταση υλικού [27, 56].

II.6 Υδατοαπορρόφηση μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης

Η μέθοδος της υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του ρυθμού με τον οποίο ανέρχεται η υγρασία στα δομικά υλικά. Οι πολύ μικροί πόροι ενός πορώδους μέσου ονομάζονται τριχοειδείς πόροι ή απλά τριχοειδή. Το νερό ανέρχεται μέσα στα τριχοειδή, αν οι δυνάμεις έλξης μεταξύ των μορίων του νερού και των τοιχωμάτων των τριχοειδών είναι ισχυρότερες από αυτές που αναπτύσσονται μεταξύ των μορίων του νερού. Η ένταση της αναρρόφησης εξαρτάται από τη φύση των τριχοειδών και τη διάμετρο τους. Όσο μικρότεροι είναι οι πόροι (μικροπόροι και μικροί μεσοπόροι) τόσο μεγαλύτερη είναι η τάση προς αναρρίχηση. Οι μακροπόροι δεν οδηγούν σε αναρρίχηση, αλλά σε απορρόφηση [59].

Οι δοκιμές υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης πραγματοποιούνται με σκοπό τον υπολογισμό του συντελεστή υδατοαπορρόφησης (C), ο οποίος αποτελεί σημαντική παράμετρο στην εκτίμηση της επιδεκτικότητας των υλικών στη φθορά, το ποσοστό της υγρασίας κορεσμού διαμέσω τριχοειδών πόρων του υλικού ($M_{water\%}$), τον συνολικό προσροφώμενο όγκο νερού ανά g δείγματος (T.C.V.w.) και το ποσοστό του πορώδους που είναι προσβάσιμο στο νερό διαμέσω των τριχοειδών (P%).

Πριν την εκτέλεση των δοκιμών, τα υπό εξέταση δοκίμια τοποθετούνται σε πυριαντήριο θερμοκρασίας 60 °C, όπου παραμένουν για περίπου 24 ώρες προκειμένου να απομακρυνθεί η περιεχόμενη υγρασία τους. Στη συνέχεια μεταφέρονται και παραμένουν σε ξηραντήρα.

Αρχικά, το κάθε δοκίμιο ζυγίζεται για να προσδιοριστεί η ξηρή μάζα του. Στη συνέχεια, τοποθετείται σε δοχείο όπου στον πυθμένα του έχει τοποθετηθεί υδρόφιλο μέσο (απορροφητικό χαρτί), εμποτισμένο με απιονισμένο νερό, το οποίο διαβρέχεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, τα υπό εξέταση δοκίμια βρίσκονται μερικώς βυθισμένα σε βάθος 2 ± 1 mm από την ελεύθερη επιφάνεια του απιονισμένου νερού. Το δοκίμιο ζυγίζεται σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα ενώ το πείραμα ολοκληρώνεται όταν σταθεροποιηθεί η μάζα του δοκιμίου για τρεις συνεχόμενες ζυγίσεις. Κατά την διάρκεια των πειραμάτων, μετρούνται οι συνθήκες θερμοκρασίας του αέρα και του νερού και η σχετική υγρασία [60, 61, 62, 63].

II.7 Προσδιορισμός χαρακτηριστικών μικροδομής -

Πορομετρία Υδραργύρου

Η πορομετρία υδραργύρου είναι μία από τις σημαντικότερες μεθόδους εκτίμησης και ανάλυσης της μικροδομής των πορώδων υλικών και προσδιορισμού του πορώδους τους.

Το δείγμα, πορώδες υλικό, εκκενώνεται αρχικά από αέρα και βυθίζεται βαθμιαία σε υδράργυρο, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η εξωτερική πίεση, και στη συνέχεια απομακρύνεται ο υδράργυρος, καθώς η πίεση ελαττώνεται. Ο υδράργυρος αποτελεί μη διαβρέχον υγρό για το σύνολο σχεδόν των υλικών, επομένως, η επιβολή εξωτερικής πίεσης είναι απαραίτητη για την είσδυση του υδραργύρου στο δείγμα. Με την αύξηση της εξωτερικής πίεσης, αυξάνεται ο υδράργυρος και προοδευτικά εισέρχεται και στους μικρότερους πόρους, έως ότου το πορώδες δείγμα να κορεσθεί από υδράργυρο. Λόγω του κενού αέρος, δεν παρουσιάζεται καμία αντίσταση στην είσδυση του υδραργύρου.

Ύστερα, με την ελάττωση της εξωτερικής πίεσης ο υδράργυρος απομακρύνεται προοδευτικά μέχρι να διακοπεί η συνέχεια του υδραργύρου, σε μία χαμηλή πίεση, και ένα ποσοστό του μένει παγιδευμένο μέσα στην πορώδη δομή.

Η κατανομή των διαμέτρων των πόρων με τον όγκο των κενών είναι ένα δεδομένο χρήσιμο, παρά τους περιορισμούς που προκύπτουν από την μέτρηση που υιοθετεί το κυλινδρικό μοντέλο πόρων. Συγκριτικά όμως, οι κατανομές μπορούν να είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τη διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών των κονιαμάτων. Οι κατανομές μπορούν να διαφοροποιούνται ανάλογα με την φύση της κονιάς (π.χ. τα κονιάματα με τσιμέντο δείχνουν μια υπεροχή σε πολύ μικρούς πόρους, ενώ τα κονιάματα με ασβέστη παρουσιάζουν συνήθως ένα μεγάλο ποσοστό μεγαλύτερων πόρων). Το πορώδες επηρεάζεται αρκετά από τις συνθήκες εφαρμογής του κονιάματος και κυρίως από το νερό ανάμιξης και από την συμπίεση που υφίσταται το κονίαμα κατά την εφαρμογή του. Επίσης το πορώδες των αδρανών επηρεάζει το αποτέλεσμα της μέτρησης. Οι παράμετροι μικροδομής που προσδιορίζονται με την πορομετρία υδραργύρου είναι: ο ολικός ειδικό όγκος (mm^3/g), η φαινόμενη πυκνότητα (g/cm^3), το ολικό πορώδες επί τοις εκατό (%), η μέση ακτίνα πόρων (μm) και η ειδική επιφάνεια (m^2/g) [27].

Το πορόμετρο που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από δύο όργανα: το Pascal 140 και το Porosimeter Pascal 440 της εταιρίας Thermo Electron Corporation. Το πρώτο όργανο χρησιμεύει για τη μέτρηση των μεγάλων πόρων ακτίνας 7,5 – 100 μm και το δεύτερο όργανο για τη μέτρηση μικρότερων πόρων με ακτίνα 37,5 Å – 7,5 μm. Τα δύο όργανα συνδέονται με ηλεκτρονικό υπολογιστή, ο οποίος επεξεργάζεται τα δεδομένα και παρουσιάζει τα αποτελέσματα, δηλαδή της καμπύλες είσδυσης και απομάκρυνσης του υδραργύρου, τον ολικό ειδικό όγκο, τη φαινόμενη πυκνότητα, το ολικό πορώδες, τη μέση ακτίνα πόρων και την ειδική επιφάνεια.

II.8 Προσδιορισμός Μηχανικών Αντοχών και Στατικό

Μέτρο Ελαστικότητας

Ο προσδιορισμός των μηχανικών αντοχών απαιτεί μεγάλη ποσότητα δείγματος, συγκεκριμένων διαστάσεων, γεγονός που καθιστά την μελέτη τους, σε ιστορικά δομικά υλικά, εξαιρετικά δύσκολη.

Στην παρούσα εργασία έγινε μελέτη της θλιπτικής αντοχής των δοκιμίων. Η μέθοδος αυτή συνίσταται στην εφαρμογή ενός αξονικού φορτίου σε ένα δοκίμιο συγκεκριμένων διαστάσεων, που έχει σαν αποτέλεσμα τη βαθμιαία βράχυνσή του. Οι βασικές μετρήσεις που πραγματοποιούνται και καταγράφονται είναι το μέγεθος της αξονικής δύναμης και οι αλλαγές των διαστάσεων ενός μήκους αναφοράς του δοκιμίου. Η συσκευή θραύσης που χρησιμοποιήθηκε είναι η Wykeham Farrance (μέγιστο φορτίο 100 KN, ρυθμός φόρτισης 0.1 mm/min)

Η αντοχή σε θλίψη υπολογίζεται θεωρητικά από τη σχέση:

$$F_c = \frac{P_c}{A}$$

όπου:

F_c: η αντοχή σε θλίψη (MPa)

P_c: το μέγιστο φορτίο στο σημείο θραύσης (N)

A: η επιφάνεια στην οποία ασκείται το φορτίο (mm²).

Το στατικό μέτρο ελαστικότητας ή μέτρο Young, υπολογίζεται από το διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης και αντιστοιχεί στο λόγο δύναμης /παραμόρφωσης στη γραμμική ελαστική περιοχή. Μεγάλη η τιμή του μέτρου ελαστικότητας, συνεπάγεται μικρή ελαστικότητα του υλικού.

II.9 Ταχύτητα Διάδοσης Υπερήχων και Δυναμικό

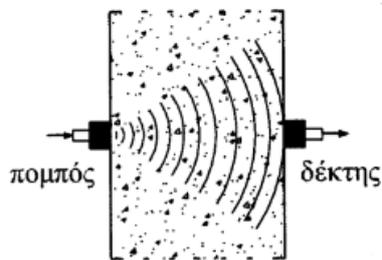
Μέτρο Ελαστικότητας

Η τεχνική των υπερήχων αποτελεί μια έμμεση μη καταστρεπτική μέθοδο ελέγχου των υλικών. Οι υπέρηχοι είναι ηχητικά κύματα με συχνότητες μεγαλύτερες από αυτές που έχει συνηθίσει το ανθρώπινο αυτί (>20kHz). Τα ηχητικά κύματα μεταφέρουν ενέργεια (όχι ύλη) στο χώρο, σε μια χαρακτηριστική ταχύτητα, αλλά απαιτείται ένα μέσο διάδοσης. Η ταχύτητα διάδοσης των υπερήχων είναι συνάρτηση της πυκνότητας και των ελαστικών ιδιοτήτων του εκάστοτε υλικού [64].

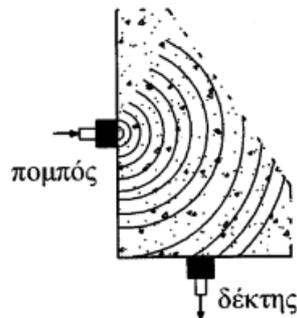
Η μέθοδος των υπερήχων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της ομοιομορφίας ενός στοιχείου, των εντοπισμό ανωμαλιών (ύπαρξη ρωγμών, κοιλοτήτων, πάχος στρώματος που έχει υποστεί φθορά), την εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής, την αποτίμηση του μέτρου ελαστικότητας, της σταθεράς του Poisson, ενώ ύστερα από κατάλληλη βαθμονόμηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση της αντοχής του υλικού.

Οι συσκευές υπερήχων αποτελούνται από ένα πομπό υπερηχητικού κύματος, έναν ελεγκτή συχνότητας, ένα δέκτη του σήματος με ενσωματωμένο ενισχυτή, ένα μετρητή του χρόνου τον οποίο χρειάζεται ο υπέρηχος για να διανύσει το υπό εξέταση στοιχείο και μια οθόνη προβολής δεδομένων. Οι 2 ακροδέκτες αποτελούνται από πιεζοηλεκτρικά κεραμικά στοιχεία τα οποία αλλάζουν μέγεθος όταν τους εφαρμόζεται ηλεκτρικό ρεύμα ή παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα όταν αλλάζουν μέγεθος.

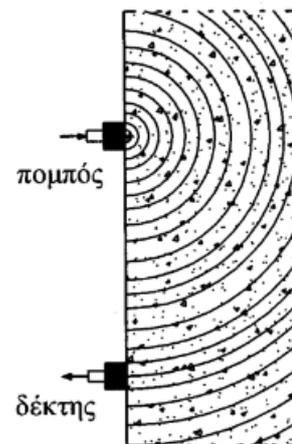
Μετρήσεις με την μέθοδο των υπερήχων μπορούν να γίνουν με τρεις τρόπους. Ο πρώτος είναι τοποθετώντας τους δύο κρυστάλλους σε δύο αντικριστές πλευρές του προς εξέταση δοκιμίου (direct transmission), ο δεύτερος τοποθετώντας τους σε δύο κάθετες μεταξύ τους πλευρές (semi-direct transmission), ενώ στον τρίτο οι κρύσταλλοι τοποθετούνται στην μοναδική προσιτή πλευρά του δομικού στοιχείου (indirect or surface transmission).



Σχ. α. Άμεση μετάδοση του ήχου



Σχ. β. Έμμεση μετάδοση του ήχου



Σχ. γ. Έμμεση μετάδοση του ήχου

Εικόνα II.1: Τρόποι εφαρμογής μεθόδου υπερήχων

Με την άμεση μετάδοση ήχου επιτυγχάνεται η μεταφορά της μέγιστης ενέργειας από τον πομπό στον δέκτη, ενώ ταυτόχρονα η μέτρηση του, διανυόμενου απ' το υπερηχητικό κύμα, μήκους του προς εξέταση υλικού γίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια. Κατά την εφαρμογή της έμμεσης μετάδοσης ήχου (2^{ος} τρόπος), η ακρίβεια των μετρήσεων μειώνεται, καθώς είναι δύσκολο να προσδιοριστεί επακριβώς η πορεία που διατρέχει το υπερηχητικό κύμα μέσα στην μάζα του υλικού και άρα είναι δύσκολο να μετρηθεί το μήκος L . Για απλούστευση θεωρείται ότι το μήκος L που διανύει το κύμα είναι ίσο με την απόσταση μεταξύ των κέντρων των δύο κρυστάλλων. Τέλος, όταν είναι προσιτή η μία μόνον πλευρά του προς εξέταση δοκιμίου, ή όταν αναζητείται το βάθος μιας επιφανειακής ρωγμής χρησιμοποιείται ο τρίτος τρόπος.

Για την καλύτερη επαφή των κρυστάλλων στην επιφάνεια του σκυροδέματος χρησιμοποιείται λιπαντική ουσία, η οποία καλύπτει τις ατέλειες της εξωτερικής επιφάνειας του στοιχείου. Η λιπαντική ουσία μπορεί να είναι γράσο, βαζελίνη ή γενικά κάποιο παράγωγο του πετρελαίου. Πρέπει να τοποθετείται σε μικρή ποσότητα γιατί διαφορετικά προκαλεί αθέλητες διαφοροποιήσεις στην μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων. Κατά την διάρκεια της μέτρησης, θα πρέπει οι κρύσταλλοι να πιέζονται με μεγάλη δύναμη πάνω στην επιφάνεια του υλικού.

Σε μη ομογενή υλικά παρατηρείται το φαινόμενο απώλειας ακουστικής ενέργειας λόγω απορρόφησης ή διασκόρπισης της. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με μείωση της συχνότητας, ωστόσο δυσκολεύει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

Είναι πολύ σημαντικό οι μετρήσεις να μη γίνονται σε ακραίες τιμές υγρασίας και θερμοκρασίας. Όταν, στο δοκιμαζόμενο στοιχείο, το ποσοστό υγρασίας είναι υψηλό παρατηρείται μια αύξηση της μετρούμενης ταχύτητας των υπερήχων. Επίσης, όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη από +5 °C παρατηρείται αύξηση της ταχύτητας των υπερήχων επειδή το νερό των πόρων μετατρέπεται σε πάγο, ενώ όταν η θερμοκρασία είναι ψηλότερη των +30 °C παρατηρείται μείωση της ταχύτητας των υπερήχων η οποία πιθανόν προέρχεται από τις εσωτερικές μικρορηγματώσεις που σημειώνονται στην μάζα των δομικών υλικών σε αυτές τις θερμοκρασίες.

Στην συγκεκριμένη εργασία η τεχνική των υπερήχων χρησιμοποιήθηκε για την αποτίμηση της ταχύτητας διάδοσης των υπερήχων στα δοκίμια των σκυροδεμάτων καθώς και του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας. Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Pundit 6-CNS Farnell, συχνότητα μορφοτροπέων: 54 KHz. Πριν από οποιαδήποτε μέτρηση πραγματοποιείται βαθμονόμηση της συσκευής με ειδική ράβδο βαθμονόμησης στα 25,5μs [65, 66].

II.10 Φασματοσκοπία Raman

Η φασματοσκοπία Raman ανήκει στην κατηγορία των φασματοσκοπικών μεθόδων και χρησιμοποιείται συχνά σε συνδυασμό με άλλες, κυρίως με την φασματοσκοπία υπερύθρων. Όταν μια προσπίπτουσα μονοχρωματική (laser) ακτινοβολία διαχέεται από τα μόρια ενός υλικού, τα περισσότερα φωτόνια διαχέονται ελαστικά. Τα ελαστικά φωτόνια έχουν την ίδια ενέργεια και επομένως και μήκος κύματος με τα προσπίπτοντα φωτόνια. Ένα μικρό κλάσμα διαχέεται ανελαστικά σε συχνότητες διαφορετικές από την συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η διαδικασία της ανελαστικής αυτής διάχυσης ονομάζεται φαινόμενο Raman και ανακαλύφθηκε το 1928, από τον Ινδό φυσικό C. V. Raman. Η διάχυση Raman μπορεί να λάβει χώρα με μεταβολή της δονητικής, περιστροφικής ή ηλεκτρονικής ενέργειας ενός μορίου. Ο χαρακτηρισμός των υλικών αφορά κυρίως το δονητικό φαινόμενο Raman.

Η διαφορά ενέργειας ανάμεσα στο προσπίπτον φωτόνιο και στο κατά Raman διαχεόμενο φωτόνιο, ισούται με την ενέργεια δόνησης ενός μορίου διάχυσης. Το φάσμα Raman είναι ένα διάγραμμα έντασης του διαχεόμενου φωτός σε σχέση με την ενεργειακή αυτή διαφορά.

Η φασματοσκοπία Raman πλεονεκτεί σε σχέση με άλλες φασματοσκοπικές μεθόδους, στην ευκολία προετοιμασίας του δείγματος. Καθώς η Raman είναι τεχνική διάχυσης, ουσιαστικά το δείγμα τοποθετείται στην προσπίπτουσα δέσμη και καταγράφεται το φάσμα διάχυσής του. Ένα άλλο πλεονέκτημα της φασματοσκοπίας Raman, είναι ότι αποτελεί μη καταστρεπτική τεχνική.

Στα φασματόμετρα Raman διασποράς συνήθως χρησιμοποιείται laser ορατής ακτινοβολίας με τυπικά μήκη κύματος 1024nm, 785nm, 633nm, 532nm. Το πλεονέκτημα χρήσης μικρού μήκους κύματος laser είναι η ενίσχυση του σήματος Raman στα μικρά μήκη κύματος, καθώς η απόδοση της διάχυσης Raman είναι ανάλογη του $1/\lambda^4$. Το μειονέκτημα, βέβαια, είναι η ανάπτυξη φθορισμού, η οποία και είναι εντονότερη σε μικρά μήκη κύματος. Γενικά ο φθορισμός εξαρτάται από το μήκος κύματος.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με το όργανο της εταιρείας RENISHAW inVia Raman Microscope [27,58].

II.11 Προσδιορισμός Ολικών Διαλυτών Αλάτων

Η παρουσία ή μη, διαλυτών αλάτων στα δομικά υλικά, δίνει πληροφορίες για τη διάγνωση της κατάστασης διατήρησης των υλικών, τον προσδιορισμό προβλημάτων ανερχόμενης υγρασίας, περιβαλλοντικής φθοράς αλλά και άλλων εξωγενών παραγόντων φθοράς.

Ο προσδιορισμός ολικών διαλυτών αλάτων πραγματοποιείται σε υδατικό διάλυμα με αγωγιμετρία. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στο γεγονός ότι τα άλατα αυξάνουν την κινητικότητα τους στο νερό και συνεπώς αυξάνουν και την αγωγιμότητα του διαλύματος.

Για τον προσδιορισμό των διαλυτών αλάτων χρησιμοποιήθηκε το όργανο EC Meter B240 και εφαρμόστηκε το πρότυπο Normal 13/83 [53].

Σύμφωνα με το πρότυπο, αρχικά ξηραίνεται ποσότητα του δείγματος σε πυριαντήριο στους $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ για εικοσιτέσσερις ώρες και έπειτα τοποθετείται σε ξηραντήρα για 1 ώρα μέχρι να κρυώσει. Στην συνέχεια ζυγίζεται $100\pm 5\text{mg}$ του ξηρού δείγματος σε σκόνη, το οποίο τοποθετείται σε δοχείο πολυαιθυλενίου και προστίθενται 100mL απιονισμένου νερού για εικοσιτέσσερις ώρες. Ως δείγμα αναφοράς (blank), χρησιμοποιείται δοχείο με 100mL απιονισμένο νερό. Ύστερα, μετράται η αγωγιμότητά τους σε μS [54].

III. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

III.1 Κωδικοποίηση Δειγμάτων – Περιγραφή- Θέσεις

Δειγματοληψίας

Η δειγματοληψία στο παλάτι του Νέστορα πραγματοποιήθηκε, υπό την επίβλεψη της κα. Δ. Πίκουλα, προϊσταμένης του τμήματος Αρχαιολογικών Έργων και Μελετών, της Εφορείας Αρχαιοτήτων Μεσσηνίας, στα πλαίσια των έργων: «Κατασκευή Νέου Στεγάστρου Προστασίας του Ανακτόρου του Νέστορος», και «Προστασία και ανάδειξη του Αρχαιολογικού χώρου του Ανακτόρου του Νέστορος». Τα έργα αυτά υλοποιήθηκαν από τη Διεύθυνση Μελετών και Εκτέλεσης Έργων Μουσείων και Πολιτιστικών Κτηρίων του Υπουργείου Πολιτισμού και Αθλητισμού και την Εφορεία Αρχαιοτήτων Μεσσηνίας με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Δυτικής Ελλάδας Πελοποννήσου-Ιονίων Νήσων 2007-2013», με σκοπό την προστασία και ανάδειξη του Ανακτόρου του Νέστορος στον Άνω Εγκλιανό Μεσσηνίας. Το νέο στέγαστρο προστασίας κατασκευασμένο από δομικό χάλυβα, με τη γεωμετρία τόξου κύκλου και φερόμενο από 16 μόνο υποστυλώματα διαμοιρασμένα στις δύο μακρές πλευρές του, καλύπτει ενιαία το κεντρικό ανακτορικό μνημείο σε έκταση 3.185 τ.μ., προστατεύοντάς το με τον πλέον ενδεδειγμένο τρόπο.

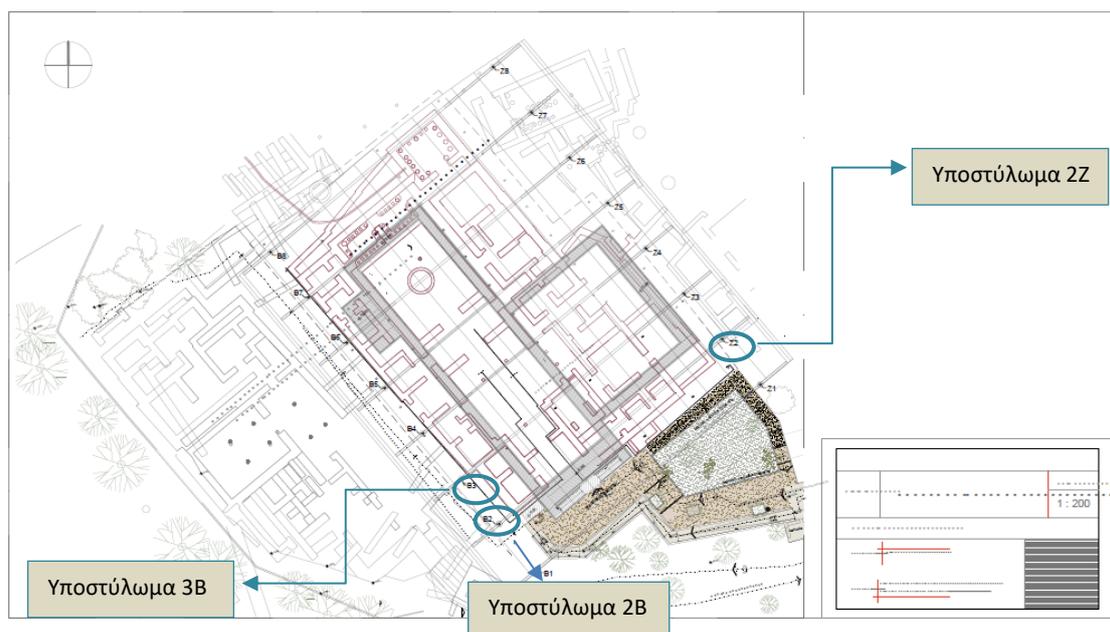
Στον Πίνακα III.1 παρουσιάζεται η κωδικοποίηση των δειγμάτων που εξετάστηκαν, η θέση δειγματοληψίας τους, και η περιγραφή τους. Στο Σχήμα III.1, το οποίο αποτελεί κάτοψη του Ανακτόρου, σημειώνονται οι θέσεις λήψης των δειγμάτων.

Στη συνέχεια στις Εικόνες III.1-2 παρουσιάζονται οι θέσεις δειγματοληψίας όπως είναι σήμερα, μετά την κατασκευή του στεγάστρου.

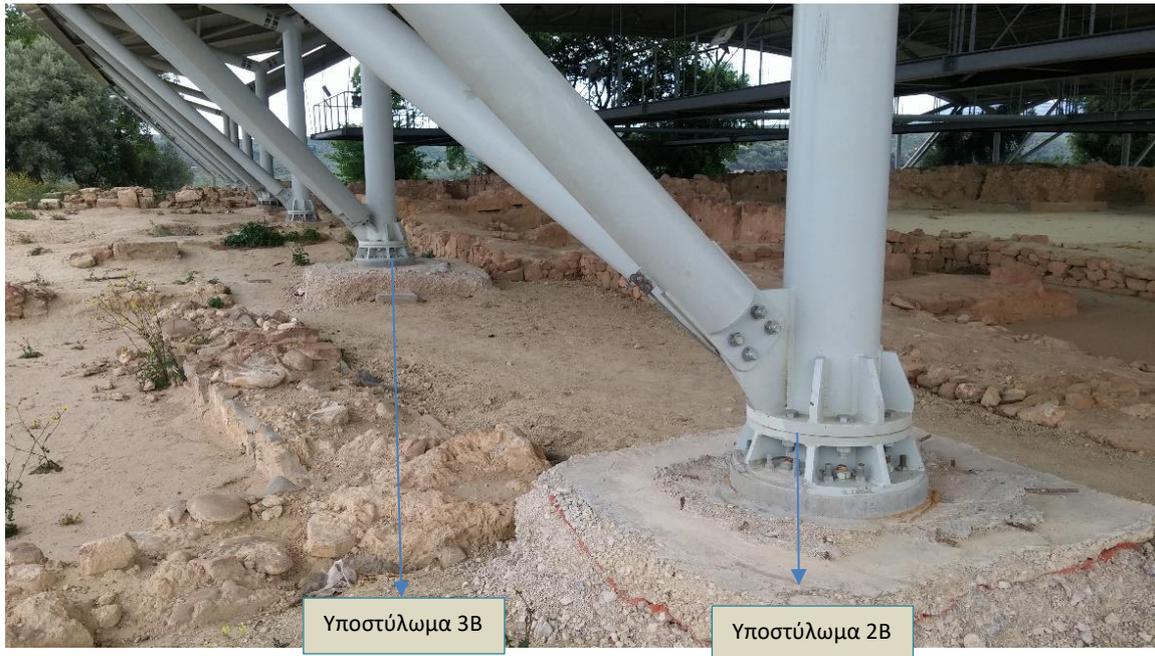
Πίνακας III.1: Κωδικοποίηση δειγμάτων

Δείγμα	Θέση Δειγματοληψίας	Περιγραφή
NP_2B_1	2 ^ο υποστύλωμα δυτικής πλευράς	Συνεκτικό σκυρόδεμα δαπέδου, με διαστρωμάτωση λευκής, φαιάς, καφέ και μπεζ απόχρωσης, διαφορετικής συνοχής. Παρατηρούνται μεγάλα αδρανή.
NP_2B_2	2 ^ο υποστύλωμα δυτικής πλευράς	Γκρι συνεκτικό σκυρόδεμα δαπέδου με διαστρωμάτωση γκρι, φαιάς και λευκής απόχρωσης.
NP_2B_3	2 ^ο υποστύλωμα δυτικής πλευράς	Συνεκτικό σκυρόδεμα δαπέδου, με διαστρωμάτωση λευκής, φαιάς, καφέ και μπεζ απόχρωσης, διαφορετικής συνοχής. Παρατηρούνται μεγάλα αδρανή.
NP_2B_4	2 ^ο υποστύλωμα δυτικής πλευράς	Συνεκτικό σκυρόδεμα δαπέδου, με διαστρωμάτωση λευκής, φαιάς, καφέ και μπεζ απόχρωσης, διαφορετικής συνοχής. Παρατηρούνται μεγάλα αδρανή.
NP_2Z_1	2 ^ο υποστύλωμα ανατολικής πλευράς	Συνεκτικό σκυρόδεμα δαπέδου με διαστρωμάτωση διαφορετικών αποχρώσεων και συνοχής.
NP_2Z_2	2 ^ο υποστύλωμα ανατολικής πλευράς	Συνεκτικό σκυρόδεμα δαπέδου με διαστρωμάτωση διαφορετικών αποχρώσεων και συνοχής.
NP_3B_1	3 ^ο υποστύλωμα δυτικής πλευράς	Μπεζ σκυρόδεμα δαπέδου, μικρής συνεκτικότητας, με μεγάλα αδρανή.
NP_3B_2	3 ^ο υποστύλωμα δυτικής πλευράς.	Μπεζ σκυρόδεμα δαπέδου, μικρής συνεκτικότητας, με μεγάλα αδρανή.

Δείγμα	Θέση Δειγματοληψίας	Περιγραφή
NP_3B_3	3 ^ο υποσύλωμα δυτικής πλευράς	Μπεζ σκυρόδεμα δαπέδου.
NP_3B_4	3 ^ο υποσύλωμα δυτικής πλευράς	Μπεζ σκυρόδεμα δαπέδου, μικρής συνεκτικότητας, με μεγάλα αδρανή.
NP_3B_5	3 ^ο υποσύλωμα δυτικής πλευράς	Μπεζ σκυρόδεμα δαπέδου.
NP_3B_6	3 ^ο υποσύλωμα δυτικής πλευράς	Μπεζ σκυρόδεμα δαπέδου, μικρής συνεκτικότητας, με μεγάλα αδρανή. Πιθανώς να περιέχει άνθρακα.



Σχήμα III.1: Κάτοψη Ανακτόρου Νέστορος



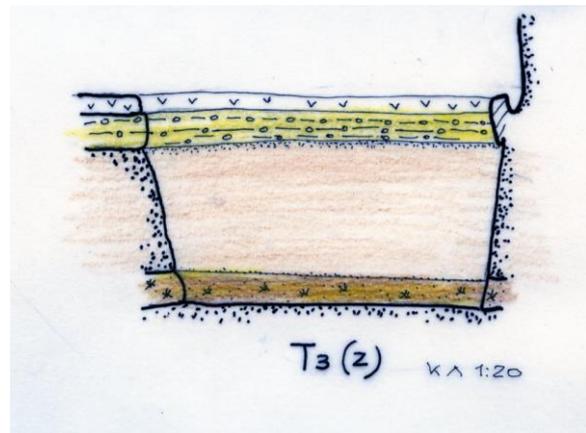
Εικόνα III.1: Δυτική πλευρά του Ανακτόρου του Νέστορα (φωτ. από προσωπικό αρχείο)



Εικόνα III.2: Φωτογραφίες από το αρχαίο πάτωμα (α) θέση δειγματοληψίας 3B, (β) θέση δειγματοληψίας 2B, (γ) σκυρόδεμα από την θέση δειγματοληψίας 2B



Εικόνα III.3: Ανατολική πλευρά του Ανακτόρου του Νέστορα (φωτ. από προσωπικό αρχείο)



Εικόνα III.4: (α) Φωτογραφία από το αρχαίο πάτωμα στη θέση δειγματοληψίας 2Z, (β) σχέδιο τομής υπό κλίμακα

III.2 Φωτογραφική Τεκμηρίωση Δειγμάτων

Παρακάτω παρατίθεται ο Πίνακας III.2 στον οποίο παρουσιάζεται η φωτογραφική τεκμηρίωση των δειγμάτων, όπως πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, και στη συνέχεια ο Πίνακας III.3 όπου παρουσιάζεται η φωτογραφική τεκμηρίωση των δειγμάτων μετά τη μορφοποίησή τους για δοκιμές, η οποία πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο κατεργασίας μαρμάρου του κ. Βιδάλη στο Ζωγράφου.

Πρόέκυψαν ένα (1) δοκίμιο από το NP_2B_1, δύο (2) από το NP_2B_3, τέσσερα (4) από το NP_2B_4, δύο (2) από το NP_2Z_1, δύο (2) από το NP_3B_2, ένα (1) από το NP_3B_3, ένα (1) από το NP_3B_4 και ένα (1) από το NP_3B_5.

Πίνακας III.2: Φωτογραφική τεκμηρίωση δειγμάτων

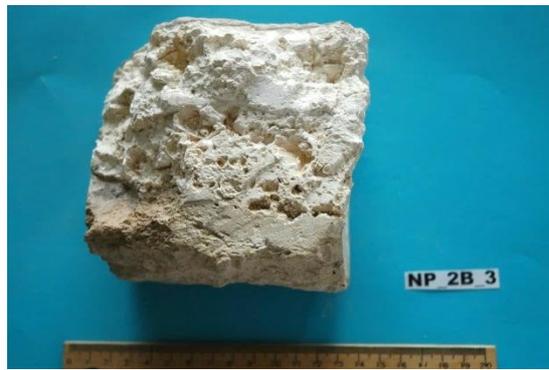
NP_2B_1



NP_2B_2



NP_2B_3





NP_2B_4





NP_2Z_1



NP_2Z_2



NP_3B_1





NP_3B_2



NP_3B_3



NP_3B_4



NP_3B_5



NP_3B_6



Πίνακας III.3: Φωτογραφική τεκμηρίωση των δοκιμίων, μετά τη μορφοποίησή τους.

NP_2B_1



NP_2B_3-1





NP_2B_3-2



NP_2B_4-1



NP_2B_4-2





NP_2B_4-3



NP_2B_4-4



NP_2Z_1-1





NP_2Z_1-2



NP_3B_2-1



NP_3B_2-2





NP_3B_3

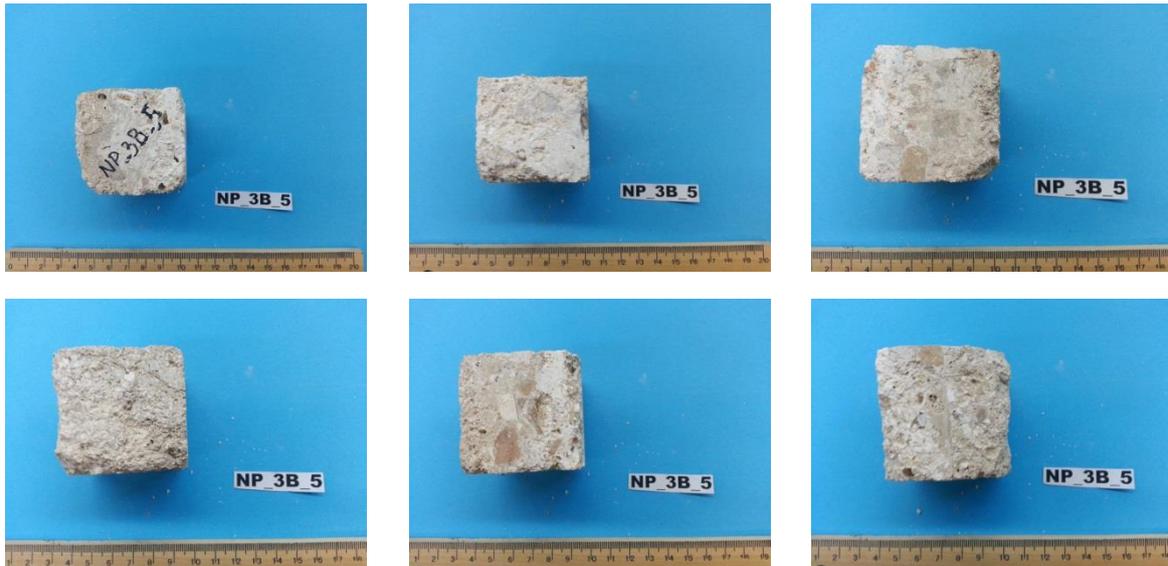


NP_3B_4



NP_3B_5





Σε ορισμένες μεθόδους χρειάστηκε να γίνει κωδικοποίηση των διαφορετικών στρωμάτων του σκυροδέματος τα οποία ονομάστηκαν από (Α-Ε), όπου η περιοχή Α αντιστοιχεί στο ενδότερο και η περιοχή Ε στο ανώτερο, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα III.3).



Εικόνα III.5: Κωδικοποίηση διαστρωμάτωσης σκυροδέματος

IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

IV.1 Οπτική Μικροσκοπία

IV.1.1 Στερεομικροσκοπία

Στη συνέχεια παρατίθενται οι Εικόνες (IV.1-9) που ελήφθησαν από την μορφολογική εξέταση των δοκιμίων με τη χρήση στερεομικροσκοπίου. Τα δοκίμια εξετάστηκαν σε διαφορετικές μεγεθύνσεις 10x, 13x, 16x, 32x, 40x, 51x, 64x. Πιο συγκεκριμένα, για το κάθε δοκίμιο προέκυψαν τα εξής:

NP_2B_1



(α) Περιοχή (C) 13x



(β) Ίχνη ξύλου 51x



(γ) Περιοχή (B) 13x



(δ) Αδρανές 13x



(ε) Περιοχή (C) 16x

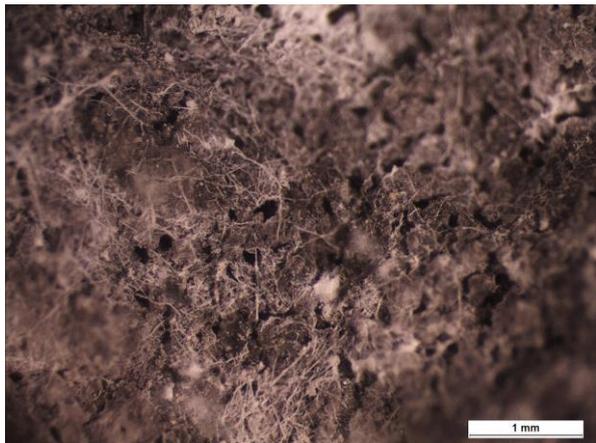


(στ) Διεπιφάνεια (B-C) 10x

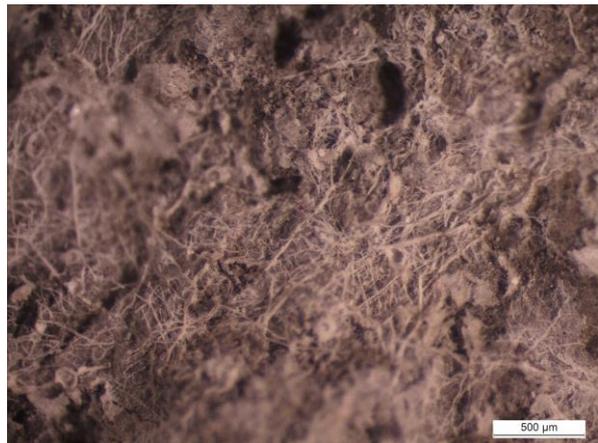
Εικόνα IV.1: Στερεομικροσκοπία για το δείγμα NP_2B_1

Από την εξέταση του δείγματος NP_2B_1 στο στερεομικροσκόπιο, προκύπτει ότι περιέχονται αδρανή μικρότερα του 1 mm κυρίως σε λευκή, υπόλευκη και πορτοκαλί απόχρωση, τα οποία είναι δύσκολο να διακριθούν με το μάτι. Τα μεγαλύτερα αδρανή είναι κυρίως γκρι, μαύρης και καφέ απόχρωσης. Παρατηρούνται μεγάλα συσσωματώματα κονιάς διαμέτρου ~5 mm και ίχνη πιθανόν από ξύλο. Το ανάκτορο του Νέστορα, όπως αναφέρθηκε, ήταν κατά κύριο λόγο ξύλινο. Είναι πιθανόν, κατά την παρασκευή των σκυροδεμάτων να αναμείχθηκαν μικροποσότητες. Η καφέ στρώση, ~1-2 mm, περιέχει λεπτόκοκκα αδρανή και έχει καλή συνάφεια με τις υπόλοιπες στρώσεις. Οι περιοχές (B, C), ίδιας χρωματικής απόχρωσης, διαφέρουν μεταξύ τους στη συνοχή. Η ενδότερη (C) παρουσιάζει μικρές οπές, οι οποίες πιθανότατα οφείλονται σε αποκόλληση αδρανών ή κονιάς, ενώ η άλλη είναι πιο συνεκτική. Επιπρόσθετα, παρατηρείται καλή πρόσφυση μεταξύ κονιάς και αδρανών.

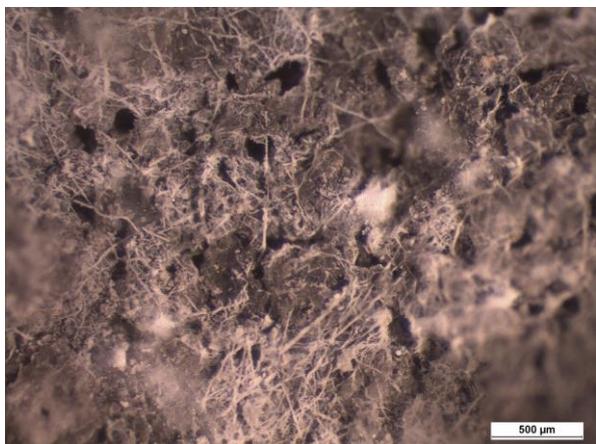
NP_2B_2



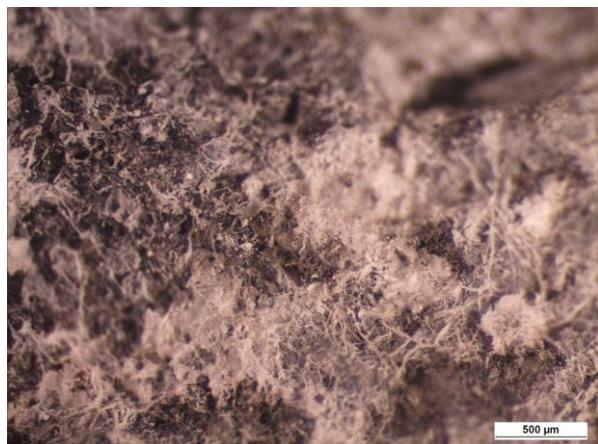
(α) Ριζίδια 40x



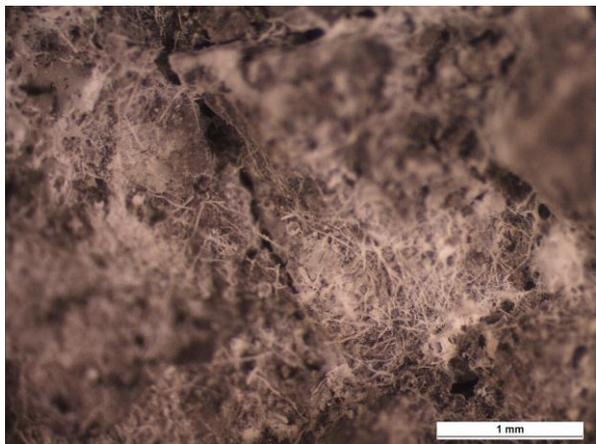
(β) Ριζίδια 64x



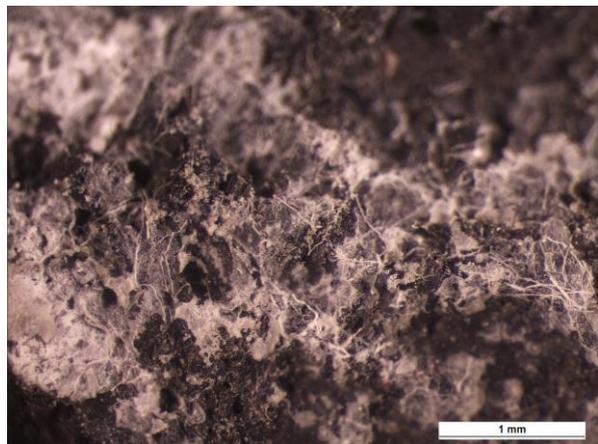
(γ) Ριζίδια 64x



(δ) Ριζίδια 64x



(ε) Ριζίδια 51x



(στ) Ριζίδια 51x

Εικόνα IV.2: Στερεομικροσκοπία για το δείγμα NP_2B_2

Κατά την επεξεργασία του δείγματος NP_2B_2 για τη μελέτη του με ενόργανες μεθόδους που ακολούθησαν, αφαιρέθηκε τμήμα της ανώτερης στρώσης, όπου αποκαλύφθηκε

ανάπτυξη ενός δικτύου ριζιδίων στο εσωτερικό το σκυροδέματος. Τα ριζίδια επεκτείνονται κατά μήκος της στρώσης που αφαιρέθηκε και πιθανότατα οφείλονται σε ανάπτυξη βιολογικής δραστηριότητας.

NP_2B_3



(α) Περιοχή (B) 10x



(β) Περιοχή (C) 13x



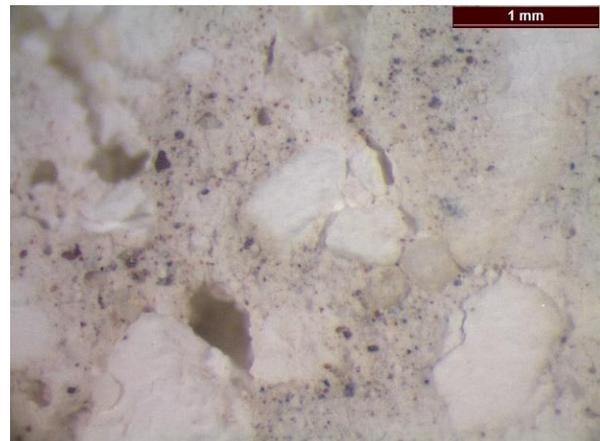
(γ) Περιοχή (C) 13x



(δ) Ίχνη ξύλου 40x



(ε) Συσσωμάτωμα κονίας 40x



(στ) Λεπτόκοκκα αδρανή 51x

Εικόνα IV.3: Στερεομικροσκοπία για το δείγμα NP_2B_3

Για το δείγμα NP_2B_3 παρατηρούνται, ομοίως με το NP_2B_1, αδρανή μικρότερα του 1 mm κυρίως σε λευκή, υπόλευκη και πορτοκαλί απόχρωση, τα οποία είναι δύσκολο να διακριθούν με το μάτι. Τα μεγαλύτερα αδρανή είναι κυρίως γκρι, μαύρης και καφέ απόχρωσης. Εμφανίζονται μεγάλα συσσωματώματα κονιάς διαμέτρου ~4 mm και ίχνη πιθανόν από ξύλο. Η καφέ στρώση, ~1-2 mm, περιέχει λεπτόκοκκα αδρανή και έχει καλή συνάφεια με τις υπόλοιπες στρώσεις. Οι περιοχές (B, C), ίδιας χρωματικής απόχρωσης, διαφέρουν μεταξύ τους στη συνοχή. Η ενδότερη (B) παρουσιάζει μικρές οπές, οι οποίες πιθανότατα οφείλονται σε αποκόλληση αδρανών ή κονιάς, ενώ η άλλη είναι πιο συνεκτική. Στην Εικόνα IV.23 (ε) διακρίνεται η εικόνα ενός συσσωματώματος κονιάς σε μεγέθυνση 40x, ενώ στην Εικόνα IV.23 (στ) παρατηρούνται λεπτόκοκκα αδρανή. Επιπρόσθετα, παρατηρείται καλή πρόσφυση μεταξύ κονιάς και αδρανών.

NP_2B_4



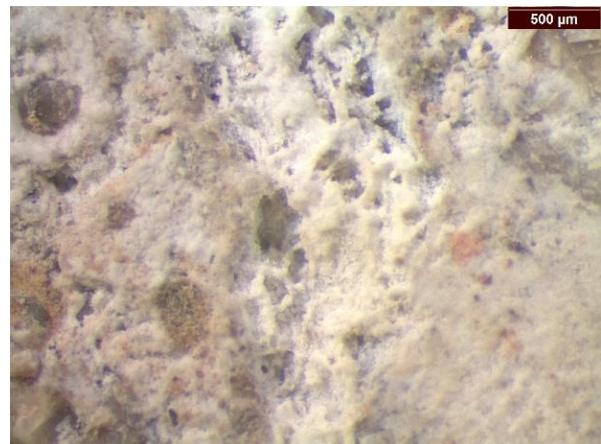
(α) Διεπιφάνεια (C-D-E) 16x



(β) Καφέ στρώση 64x



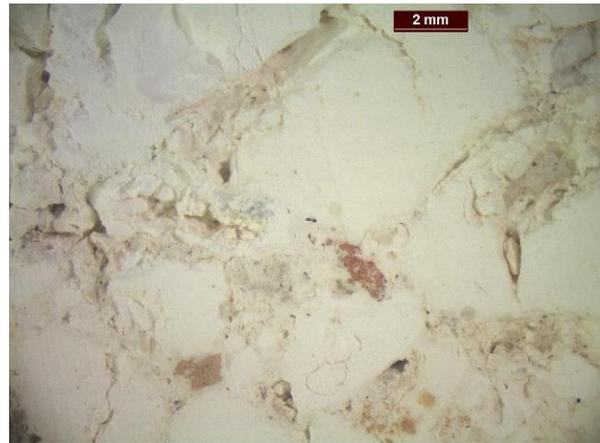
(γ) Περιοχή (E) 16x



(δ) Περιοχή (E) 64x



(ε) Περιοχή (Α) 16x



(στ) Περιοχή (C) 13x

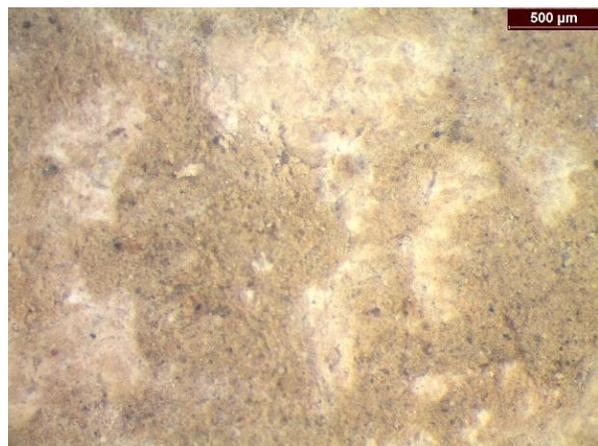
Εικόνα IV.4: Στερεομικροσκοπία για το δείγμα NP_2B_4

Εξετάζοντας το δοκίμιο NP_2B_4 στο στερεομικροσκόπιο, παρατηρείται απολέπιση της ανώτερης επιφάνειας, ενώ διακρίνονται μικρορηγματώσεις και πιθανή ανάπτυξη βιολογικής δραστηριότητας. Η καφέ στρώση, ~1-2 mm, περιέχει λεπτόκοκκα αδρανή και έχει καλή συνάφεια με τις υπόλοιπες στρώσεις. Ομοίως με τα υπόλοιπα δείγματα της θέσης δειγματοληψίας 2B, εμφανίζονται αδρανή μικρότερα του 1mm κυρίως σε λευκή, υπόλευκη και πορτοκαλί απόχρωση, ενώ τα μεγαλύτερα είναι κυρίως γκρι, μαύρης και καφέ απόχρωσης. Και σε αυτή την περίπτωση οι περιοχές (B, C), ίδιας χρωματικής απόχρωσης, διαφέρουν μεταξύ τους στη συνοχή. Όσον αφορά τη σκουρόχρωμη στρώση, παρουσιάζει καλή συνοχή και περιέχει αδρανή σε μεγάλο εύρος μεγεθών και χρωματισμών, ενώ είναι εμφανείς μερικές μικρορηγματώσεις. Σε όλη τη μάζα του σκυροδέματος εμφανίζονται μεγάλα συσσωματώματα κονίας διαμέτρου ~4 mm. Επιπρόσθετα, παρατηρείται καλή πρόσφυση μεταξύ κονίας και αδρανών.

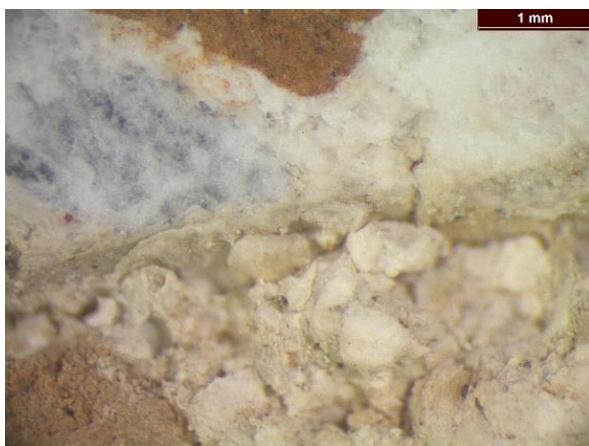
NP_2Z_1



(α) Περιοχή (E) 16x



(β) Περιοχή (E) 64x



(γ) Διεπιφάνεια (B-C) 51x



(δ) Διεπιφάνεια (C-D-E) 64x



(ε) Διεπιφάνεια (B-C) 16x



(στ) Περιοχή (B) 16x

Εικόνα IV.5: Στερεομικροσκοπία για το δείγμα NP_2Z_1

Η ανώτερη πλευρά του δείγματος παρουσιάζει μικρορηγματώσεις. Παρατηρείται η λεπτή καφέ στρώση, ~1-2 mm, με λεπτόκοκκα αδρανή, διαδοχικά ανάμεσα στις στρώσεις του

σκυροδέματος. Εμφανίζονται αδρανή μικρότερα του 1 mm κυρίως σε λευκή, υπόλευκη και πορτοκαλί απόχρωση, ενώ τα μεγαλύτερα είναι κυρίως γκρι, μαύρης και καφέ απόχρωσης. Οι δύο αλληπάλληλες στρώσεις (B, C) είναι πολύ διαφορετικές μεταξύ τους. Η ενδότερη (B) παρουσιάζει πιο πορώδη επιφάνεια, με μικρότερη συνοχή και πιο σκούρο χρώμα σε σχέση με την προηγούμενη. Παρατηρούνται συσσωματώματα κονίας διαμέτρου ~2 mm.

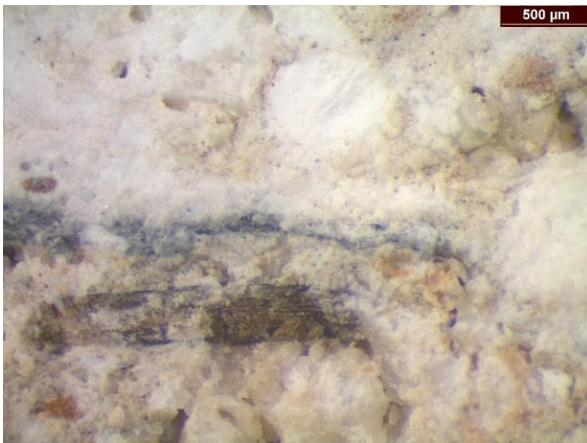
NP_3B_2



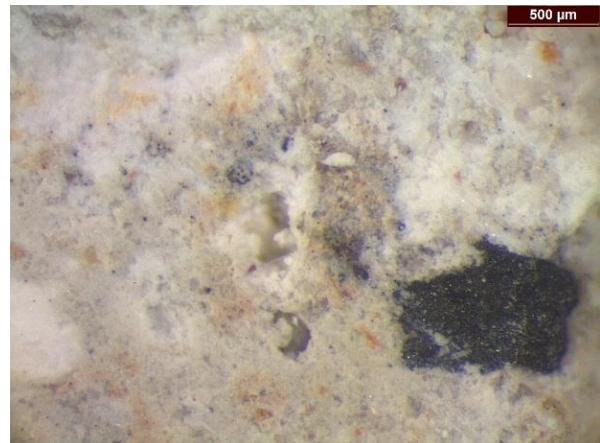
(α) Ίχνη ξύλου 16x



(β) Περιοχή (B) 13x



(γ) Επιμήκη Αδρανή 64x



(δ) Αδρανή 64x



(ε) Περιοχή (B) 10x



(στ) Αδρανές 40x

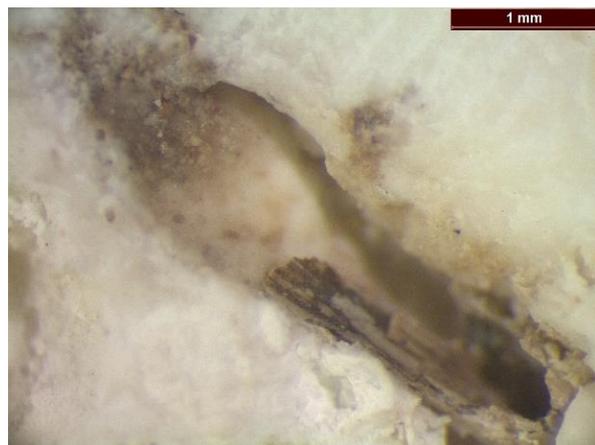
Εικόνα IV.6: Στερεομικροσκοπία για το δείγμα NP_3B_2

Από την εξέταση του δοκιμίου NP_3B_1 στο στερεομικροσκόπιο, προκύπτει ότι περιέχονται αδρανή σε μεγάλο εύρος μεγεθών και χρωματισμών όπως λευκά, υπόλευκα, μαύρα, γκρι, καφέ, κόκκινα και πορτοκαλοκάστανα. Τα αδρανή συναντώνται συχνά και σε επίμηκες σχήμα. Το εσωτερικό του σκυροδέματος πιθανότατα εμφανίζει διαστρωμάτωση, με κάθε στρώση να παρουσιάζει διαφορετική συνοχή και απόχρωση. Παρατηρούνται μεγάλα συσσωματώματα κονίας διαμέτρου ~3 mm και ίχνη πιθανόν άνθρακα.

NP_3B_3



(α) Περιοχή (C) 10x



(β) Ίχνη ξύλου 64x



(γ) Περιοχή (B) x51



(δ) Περιοχή (B) 16x



(ε) Περιοχή (C) 13x



(στ) Περιοχή (B) 16x

Εικόνα IV.7: Στερεομικροσκοπία για το δείγμα NP_3B_3

Στο δείγμα NP_3B_3 περιέχονται αδρανή σε μεγάλο εύρος μεγεθών και χρωματισμών, όπως λευκά, υπόλευκα, μαύρα, γκρι, καφέ, κόκκινα και πορτοκαλοκάστανα. Τα αδρανή συναντώνται συχνά σε επίμηκες σχήμα. Παρατηρούνται μεγάλα συσσωματώματα κονίας διαμέτρου ~3 mm και μικρορηγματώσεις, ενώ είναι εμφανή και ίχνη πιθανόν από ξύλο. Το εσωτερικό του σκυροδέματος παρουσιάζει διαστρωμάτωση, με κάθε στρώση να εμφανίζει διαφορετική συνοχή και απόχρωση. Η περιοχή (C) είναι λευκής απόχρωσης και διαφέρει από τις άλλες ως προς τα αδρανή. Προσομοιάζει περισσότερο τις λευκές περιοχές της θέσης δειγματοληψίας 2B.

NP_3B_4



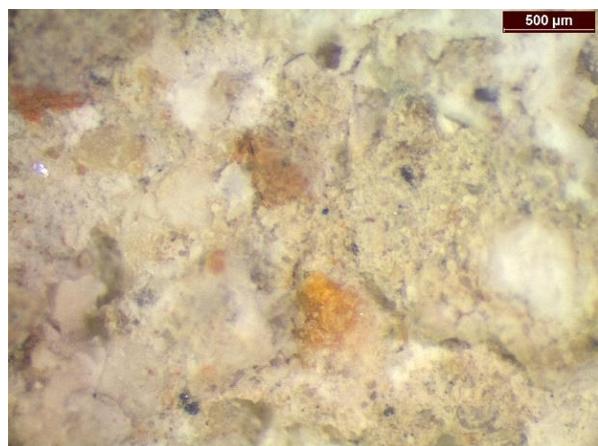
(α) Διεπιφάνεια (C-D-E) 16x



(β) Διεπιφάνεια (C-D-E) 16x



(γ) Ίχνη ξύλου 51x



(δ) Περιοχή (C) 64x



(ε) Περιοχή (B) 13x



(στ) Περιοχή (C) 51x

Εικόνα IV.8: Στερεομικροσκοπία για το δείγμα NP_3B_4

Το συγκεκριμένο δείγμα, ομοίως με τα προηγούμενα της ίδιας θέσης δειγματοληψίας, περιέχει αδρανή σε μεγάλο εύρος μεγεθών και χρωματισμών, όπως λευκά, υπόλευκα,

μαύρα, γκρι, καφέ, κόκκινα και πορτοκαλοκάστανα. Τα αδρανή συναντώνται συχνά σε επίμηκες σχήμα. Παρατηρούνται μεγάλα συσσωματώματα κονίας διαμέτρου ~3mm και μικρορηγματώσεις, ενώ είναι εμφανή και ίχνη πιθανόν από ξύλο. Το εσωτερικό του σκυροδέματος παρουσιάζει διαστρωμάτωση, με κάθε στρώση να εμφανίζει διαφορετική συνοχή και απόχρωση. Στις Εικόνες IV.28 (α) και (β), παρατηρείται λεπτόκοκκη στρώση φαιάς απόχρωσης, την οποία διαδέχεται καφέ στρώση ~1 mm.

NP_3B_5



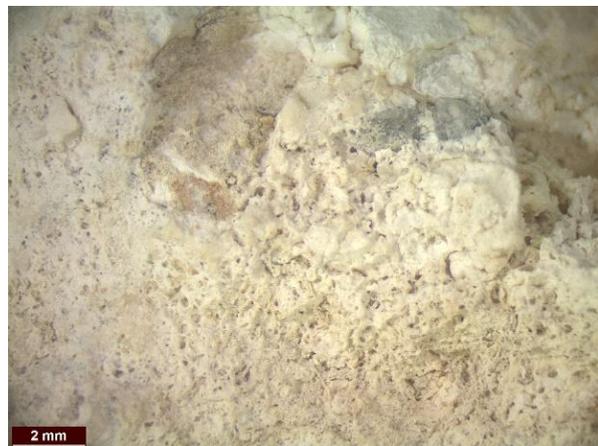
(α) Διεπιφάνεια (C-D-E) 10x



(β) Διεπιφάνεια (C-D-E) 16x



(γ) Ίχνη ξύλου 16x



(δ) Περιοχή (C) 13x



(ε) Διεπιφάνεια (B-C) 10x



(στ) Επίμηκες Αδρανές 10x

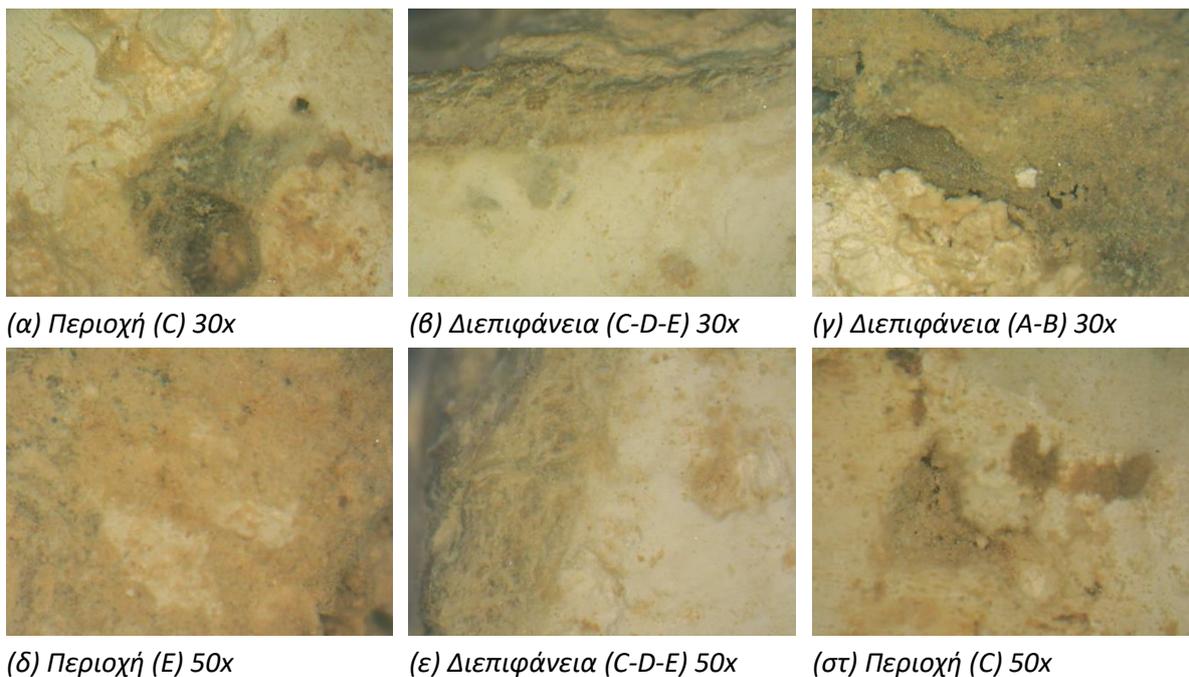
Εικόνα IV.9: Στερεομικροσκοπία για το δείγμα NP_3B_5

Το συγκεκριμένο δείγμα, ομοίως με τα προηγούμενα της ίδιας θέσης δειγματοληψίας, περιέχει αδρανή σε μεγάλο εύρος μεγεθών και χρωματισμών. Τα αδρανή συναντώνται συχνά σε επίμηκες σχήμα. Παρατηρούνται μεγάλα συσσωματώματα κονίας διαμέτρου ~3 mm και μικρορηγματώσεις. Επιπρόσθετα, είναι εμφανή ίχνη πιθανόν από ξύλο και άνθρακα. Διακρίνεται, επίσης, η εσωτερική διαστρωμάτωση του σκυροδέματος και οι διαφορές στον χρωματισμό και τη συνοχή της κάθε στρώσης. Στις Εικόνες IV.29 (α) και (β) παρατηρείται λεπτόκοκκη στρώση φαιάς απόχρωσης, την οποία διαδέχεται καφέ στρώση ~1 mm.

IV.1.2 Μικροσκοπία Οπτικών Ινών

Από την εξέταση των δειγμάτων σε διαφορετικές μεγεθύνσεις 30x, 50x, λαμβάνουν χώρα οι ακόλουθες παρατηρήσεις επί των μορφολογικών χαρακτηριστικών τους:

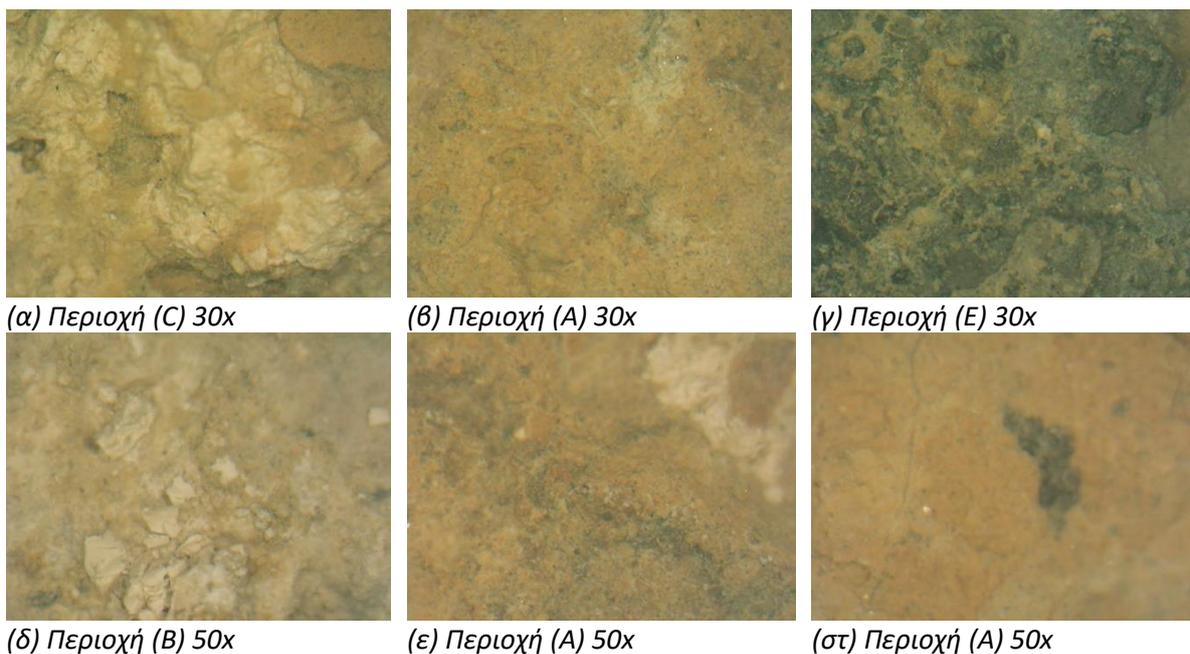
NP_2B_1



Εικόνα IV.10: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_2B_1

Πρόκειται για ένα αρκετά συνεκτικό σκυρόδεμα στο οποίο εμφανίζεται διαστρωμάτωση. Αποτελείται από μία αρκετά συμπαγή, λεπτή, φαιάς απόχρωσης, στρώση (E), την οποία διαδέχεται μια εξαιρετικά λεπτή καφέ στρώση ~1 mm (D), ενώ ακολουθούν αλληπάλληλες στρώσεις λευκού (B, C) και σκούρου μπεζ χρώματος (A), διαφορετικής συνοχής. Περιέχονται φυσικά αδρανή, με αποστρογγυλεμένες γωνίες, διαφόρων μεγεθών και διαφορετικών χρωματικών αποχρώσεων, όπως λευκά, υπόλευκα, μαύρα, γκρι, καφέ και πορτοκαλοκάστανα. Εμφανίζονται μεγάλα συσσωματώματα κονιάς διαμέτρου ~5 mm. Στην επιφάνεια του δείγματος, και κυρίως στη λευκή περιοχή που βρίσκεται ενδότερα (B), παρατηρούνται μικρές οπές, οι οποίες πιθανότατα οφείλονται σε αποκόλληση αδρανών ή κονιάς από συσσωματώματα.

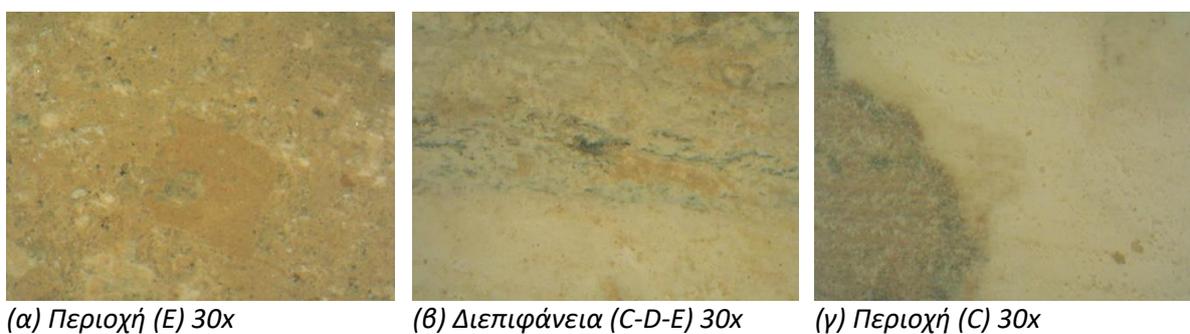
NP_2B_2

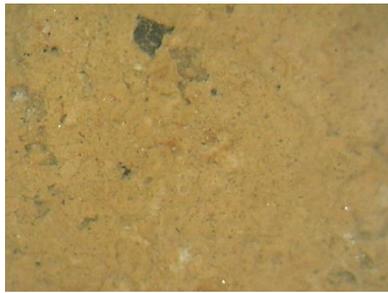


Εικόνα IV.11: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_2B_2

Το δείγμα NP_2B_2 παρόλο που είναι από την ίδια θέση δειγματοληψίας με τα υπόλοιπα 2B, δεν μοιάζει οπτικά με αυτά. Η ανώτερη στρώση είναι γκρι απόχρωσης, ενώ διαδέχονται στρώσεις διαφορετικών χρωματισμών, όπως λευκού, μαύρο-γκρι και καστανού. Περιέχονται φυσικά αδρανή, με αποστρογγυλεμένες γωνίες, διαφόρων μεγεθών και διαφορετικών χρωματικών αποχρώσεων, όπως λευκά, υπόλευκα, μαύρα, γκρι, καφέ και πορτοκαλοκάστανα. Είναι εμφανή μεγάλα συσσωματώματα κόνιας διαμέτρου ~3 mm και ίχνη άνθρακα.

NP_2B_3





(δ) Περιοχή (Α) 50x



(ε) Διεπιφάνεια (C-D-E) 50x



(στ) Περιοχή (C) 50x

Εικόνα IV.12: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_2B_3

Πρόκειται για ένα αρκετά συνεκτικό σκυρόδεμα στο οποίο εμφανίζεται διαστρωμάτωση, όμοιο με το NP_2B_1. Αποτελείται από μία αρκετά συμπαγή, λεπτή, φαιάς απόχρωσης, στρώση (E), την οποία διαδέχεται μια εξαιρετικά λεπτή καφέ στρώση ~1 mm (D), ενώ ακολουθούν αλλεπάλληλες στρώσεις λευκού (B, C) και σκούρου μπεζ χρώματος (A), διαφορετικής συνοχής. Περιέχονται φυσικά αδρανή, με αποστρογγυλεμένες γωνίες, διαφόρων μεγεθών και διαφορετικών χρωματικών αποχρώσεων, όπως λευκά, υπόλευκα, μαύρα, γκρι, καφέ και πορτοκαλοκάστανα. Εμφανίζονται μεγάλα συσσωματώματα κονίας διαμέτρου ~5 mm και πιθανόν άνθρακας. Στην επιφάνεια του δείγματος, και κυρίως στη λευκή περιοχή που βρίσκεται ενδότερα (B), παρατηρούνται μικρές οπές, οι οποίες πιθανότατα οφείλονται σε αποκόλληση αδρανών ή κονίας.

NP_2B_4



(α) Περιοχή (E) 30x



(β) Διεπιφάνεια (C-D-E) 30x



(γ) Περιοχή (C) 30x



(δ) Περιοχή (Α) 50x

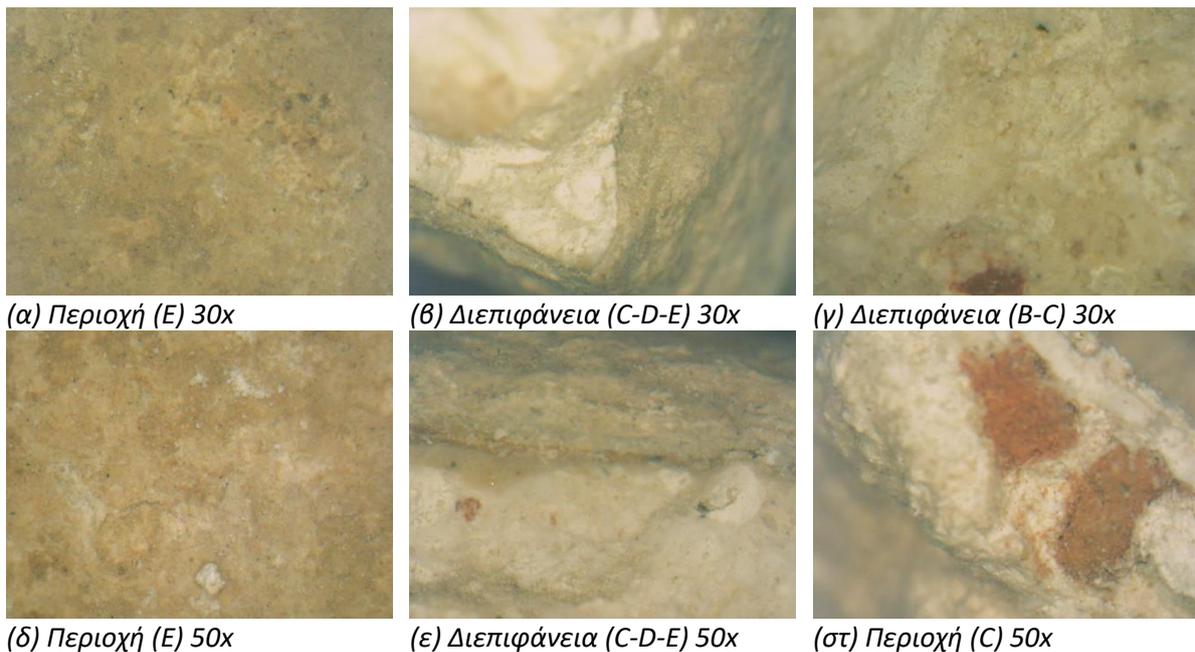
(ε) Διεπιφάνεια (C-D-E) 50x

(στ) Περιοχή (C) 50x

Εικόνα IV.13: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_2B_4

Το σκυρόδεμα αυτό, όπως και τα υπόλοιπα από τη θέση δειγματοληψίας 2B, είναι αρκετά συνεκτικό και εμφανίζει διαστρωμάτωση. Αποτελείται από μία αρκετά συμπαγή, λεπτή, φαιάς απόχρωσης, στρώση (E), που όπως φαίνεται και στην Εικόνα IV.4 (α), περιέχει επικαθίσεις λευκής κονιάς που πιθανότατα ανήκουν σε διαφορετική στρώση, την οποία διαδέχεται μια εξαιρετικά λεπτή καφέ στρώση ~1 mm (D), ενώ ακολουθούν αλληπάλληλες στρώσεις λευκού (B, C) και σκούρου μπεζ χρώματος (A), διαφορετικής συνοχής. Περιέχονται φυσικά αδρανή, με αποστρογγυλεμένες γωνίες, κυρίως μεγάλου μεγέθους και διαφορετικών χρωματικών αποχρώσεων, όπως λευκά, υπόλευκα, μαύρα, γκρι, καφέ και πορτοκαλοκάστανα. Εμφανίζονται μεγάλα συσσωματώματα κονιάς διαμέτρου ~5 mm και πιθανόν άνθρακας. Στην επιφάνεια του δείγματος, και κυρίως στη λευκή περιοχή που βρίσκεται ενδότερα (B), παρατηρούνται μικρές οπές, οι οποίες πιθανότατα οφείλονται σε αποκόλληση αδρανών ή κονιάς.

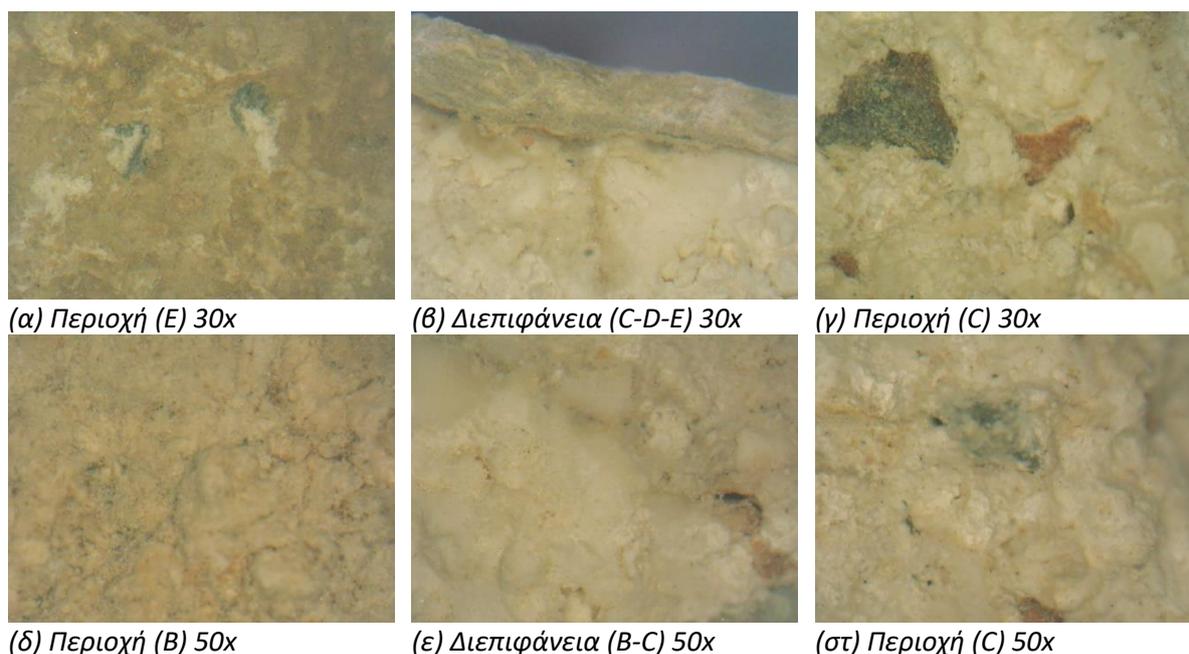
NP_2Z_1



Εικόνα IV.14: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_2Z_1

Το σκυρόδεμα είναι υψηλής συνεκτικότητας και εμφανίζει διαστρωμάτωση. Η ανώτερη στρώση (E), φαιάς απόχρωσης, είναι πιο συμπαγής σε σχέση με τις υπόλοιπες, ενώ καλύπτει και τη μία πλαϊνή πλευρά του δείγματος [Εικόνα IV.5 (β)]. Τη στρώση αυτή διαδέχεται μια εξαιρετικά λεπτή καφέ στρώση ~1 mm (D) και στη συνέχεια αλληπάλληλες στρώσεις χρώματος λευκού (C) και ανοικτού μπεζ (B), [Εικόνα IV.5 (γ)]. Περιέχονται φυσικά αδρανή, με αποστρογγυλεμένες γωνίες, διαφόρων διαστάσεων. Οι κύριες αποχρώσεις εμφάνισης των αδρανών είναι το λευκό, υπόλευκο, μαύρο, γκρι, καφέ, κόκκινο και πορτοκαλοκάστανο. Παρατηρούνται μεγάλα συσσωματώματα κονίας διαμέτρου ~4 mm, ενώ στην επιφάνεια του δείγματος παρατηρούνται μικρές οπές, οι οποίες πιθανότατα οφείλονται σε αποκόλληση αδρανών ή κονίας.

NP_2Z_2

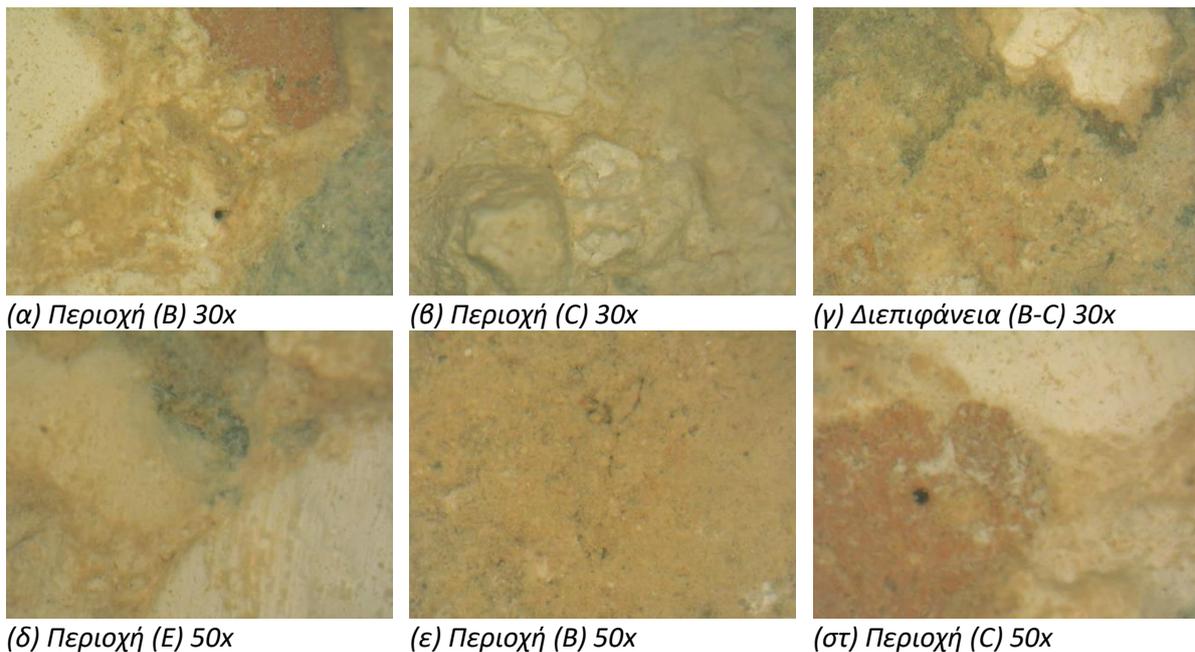


Εικόνα IV.15: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_2Z_2

Το σκυρόδεμα αυτό, ομοίως με το NP_2Z_1, είναι υψηλής συνεκτικότητας και εμφανίζει διαστρωμάτωση. Η ανώτερη στρώση (E), φαιάς απόχρωσης, είναι πιο συμπαγής σε σχέση με τις υπόλοιπες. Τη στρώση αυτή διαδέχεται μια εξαιρετικά λεπτή καφέ στρώση ~1 mm (D) και στη συνέχεια αλληπάλληλες στρώσεις χρώματος λευκού (C) και ανοικτού μπλε (B). Περιέχονται φυσικά αδρανή, με αποστρογγυλεμένες γωνίες, διαφόρων διαστάσεων. Οι κύριες αποχρώσεις εμφάνισης των αδρανών είναι το λευκό, υπόλευκο, μαύρο, γκρι, καφέ, κόκκινο και πορτοκαλοκάστανο. Παρατηρούνται μεγάλα συσσωματώματα κονιάς διαμέτρου ~4 mm, ενώ στην επιφάνεια του δείγματος παρατηρούνται μικρές οπές, οι οποίες πιθανότατα οφείλονται σε αποκόλληση αδρανών ή κονιάς.

Τα δείγματα με κωδικό 3B περιείχαν στην ανώτερη επιφάνειά τους, κολλημένο τμήμα γάζας, το οποίο τοποθετήθηκε εκεί κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας για την διευκόλυνση της εξαγωγής του δείγματος. Επομένως, δεν ήταν δυνατή η παρατήρηση των περιοχών (D, E) με το μικροσκόπιο οπτικών ινών.

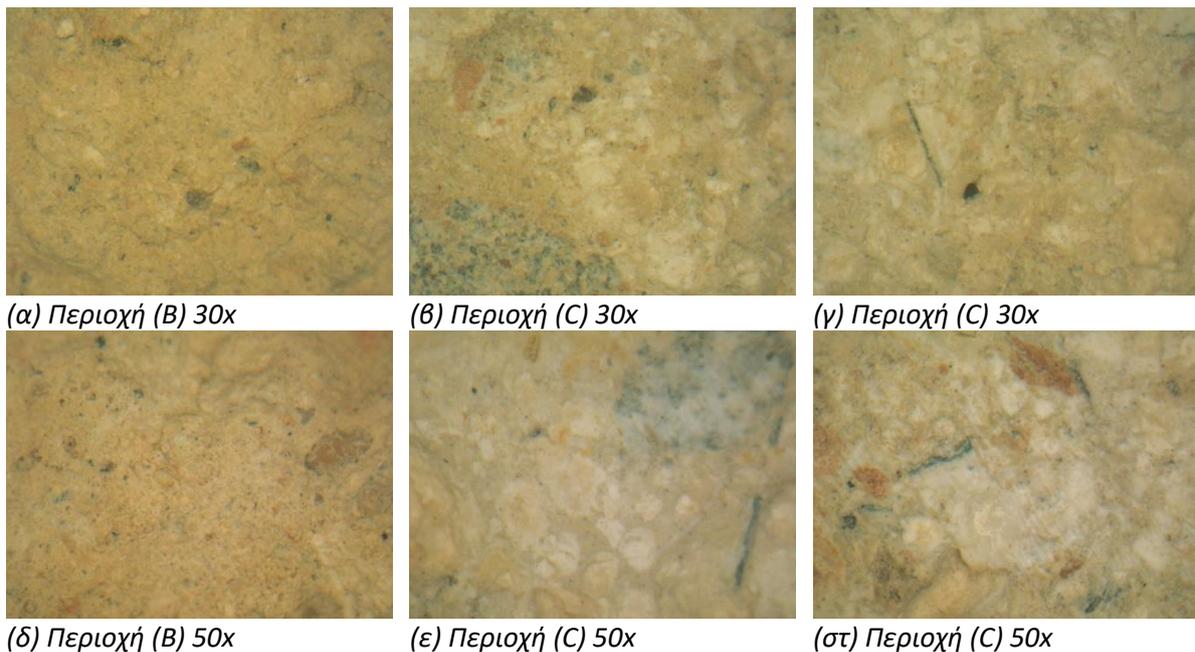
NP_3B_1



Εικόνα IV.16: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_3B_1

Πρόκειται για σκυρόδεμα με καλή συνοχή, χαμηλότερης όμως συνεκτικότητας σε σύγκριση με τα αυτά των θέσεων δειγματοληψίας 2B και 2Z. Η περιοχή (C) είναι υπόλευκης απόχρωσης και περιέχει φυσικά αδρανή με αποστρογγυλεμένες γωνίες, κυρίως μεγάλου μεγέθους, σε διάφορες χρωματικές αποχρώσεις, όπως λευκά, υπόλευκα, μαύρα, γκρι, καφέ, κόκκινα και πορτοκαλοκάστανα. Σε αυτή την στρώση παρατηρούνται μεγάλα συσσωματώματα κονίας διαμέτρου ~3 mm. Η περιοχή (B), χρώματος μπεζ σκούρο, περιέχει αδρανή μικρότερου μεγέθους. Στην επιφάνεια του δείγματος παρατηρούνται μικρές οπές, οι οποίες πιθανότατα οφείλονται σε αποκόλληση αδρανών ή κονίας.

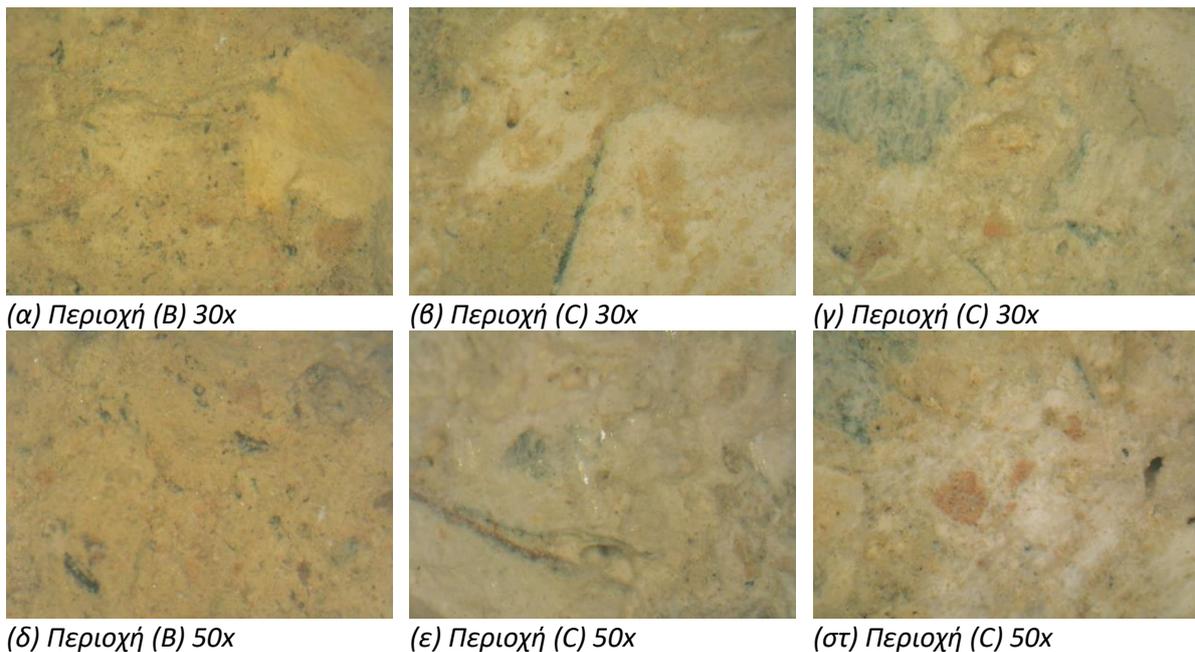
NP_3B_2



Εικόνα IV.17: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_3B_2

Το σκυρόδεμα αυτό έχει καλή συνοχή και εμφανίζει διαστρωμάτωση. Η περιοχή (C) είναι πιο ανοιχτής απόχρωσης του μπεζ από την επόμενη (B) και περιέχει αδρανή μεγαλύτερου μεγέθους, καθώς και μεγάλα συσσωματώματα κονίας διαμέτρου ~3 mm. Στη μάζα του δείγματος, εμφανίζονται μαύρα σημάδια, μικρού μεγέθους, που πιθανότατα να αποτελούν ίχνη άνθρακα. Τα αδρανή είναι φυσικά με αποστρογγυλεμένες γωνίες, ενώ περιέχονται και αδρανή (μαύρα) επιμήκους σχήματος. Επιπρόσθετα, παρουσιάζουν μεγάλο εύρος κατανομής, με κύριες αποχρώσεις το λευκό, υπόλευκο, μαύρο, γκρι, καφέ και πορτοκαλοκάστανο. Στην επιφάνεια του σκυροδέματος, παρατηρούνται μικρορηγματώσεις και μικρές οπές, οι οποίες πιθανότατα οφείλονται σε αποκόλληση αδρανών ή κονίας.

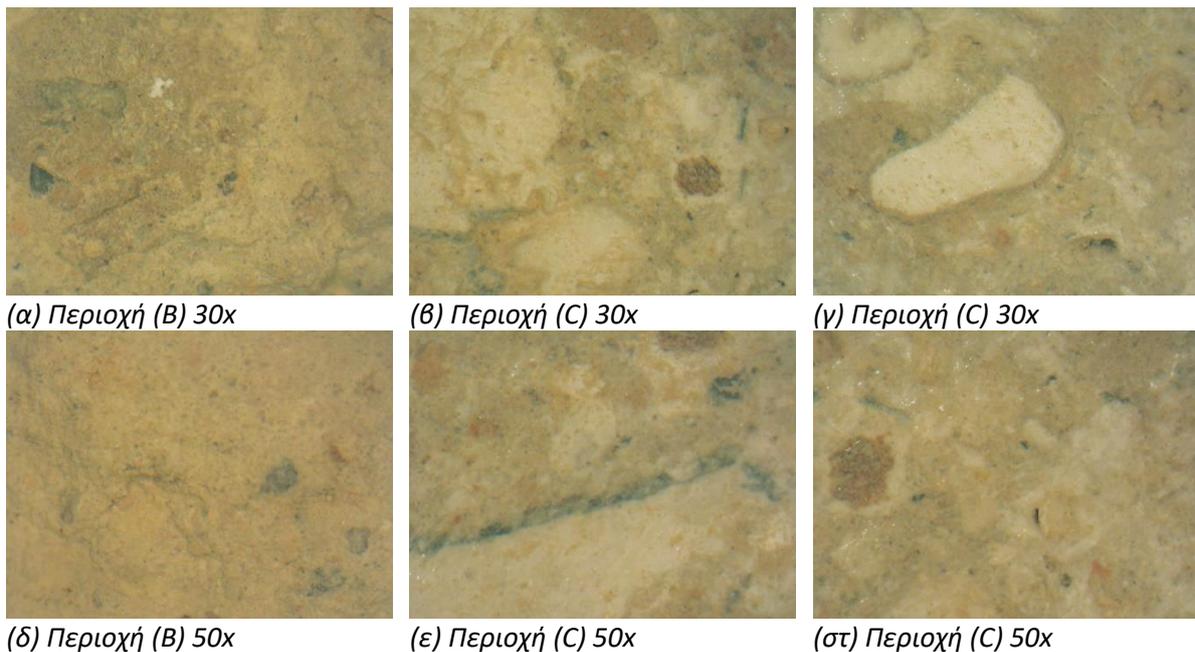
NP_3B_3



Εικόνα IV.18: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_3B_3

Το σκυρόδεμα αυτό έχει καλή συνοχή και παρουσιάζει διαστρωμάτωση. Η περιοχή (C) είναι υπόλευκης απόχρωσης και περιέχει φυσικά αδρανή με αποστρογγυλεμένες γωνίες, κυρίως μεγάλου μεγέθους, σε διάφορες χρωματικές αποχρώσεις, όπως λευκά, υπόλευκα, μαύρα, γκρι, καφέ και πορτοκαλοκάστανα. Σε αυτή τη στρώση παρατηρούνται μεγάλα συσσωματώματα κονιάς διαμέτρου ~3 mm. Η περιοχή (B), χρώματος σκούρου μπεζ, περιέχει αδρανή μικρότερου μεγέθους και πιθανότατα άνθρακα. Στην επιφάνεια του δείγματος παρατηρούνται μικρές οπές, οι οποίες πιθανότατα οφείλονται σε αποκόλληση αδρανών ή κονιάς.

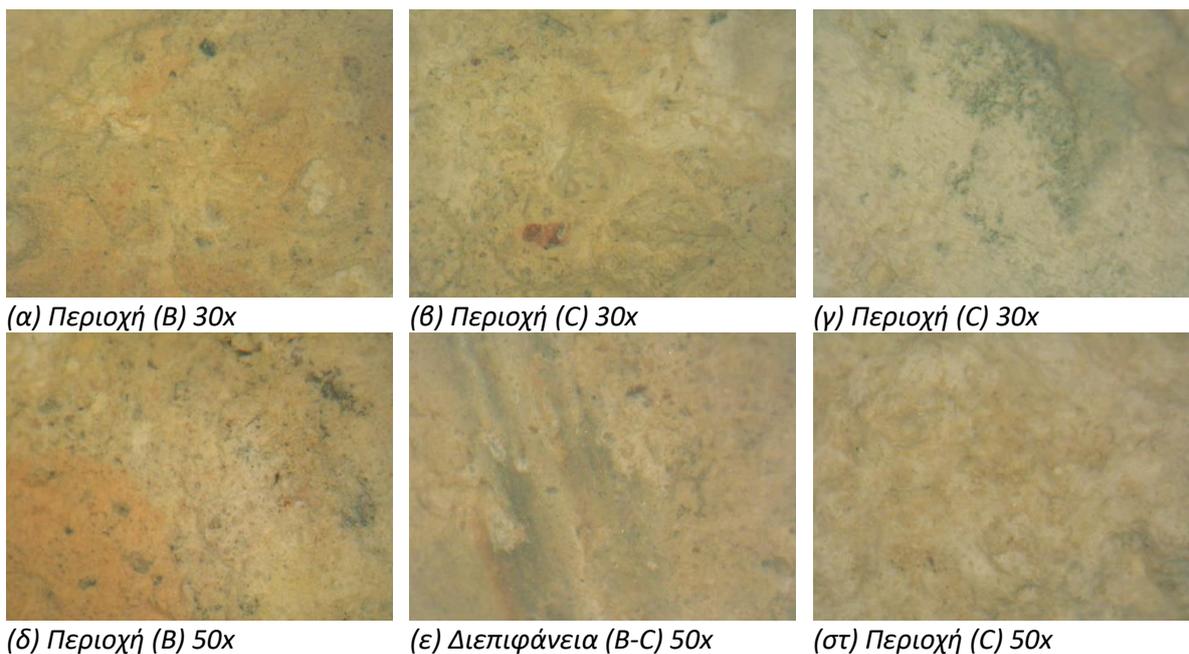
NP_3B_4



Εικόνα IV.19: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_3B_4

Πρόκειται για ένα αρκετά συνεκτικό σκυρόδεμα το οποίο το οποίο εμφανίζει διαστρωμάτωση. Η περιοχή (C) είναι πιο ανοιχτής απόχρωσης του μπεζ από την επόμενη (B) και περιέχει αδρανή μεγαλύτερου μεγέθους, καθώς και μεγάλα συσσωματώματα κονιάς διαμέτρου ~3 mm. Στη μάζα του δείγματος, εμφανίζονται μαύρα σημάδια, μικρού μεγέθους, που πιθανότατα να αποτελούν ίχνη άνθρακα. Τα αδρανή είναι φυσικά με αποστρογγυλεμένες γωνίες, ενώ περιέχονται και αδρανή (μαύρα) επιμήκους σχήματος. Επιπρόσθετα, παρουσιάζουν μεγάλο εύρος κατανομής, με κύριες αποχρώσεις το λευκό, υπόλευκο, μαύρο, γκρι, καφέ και πορτοκαλοκάστανο.

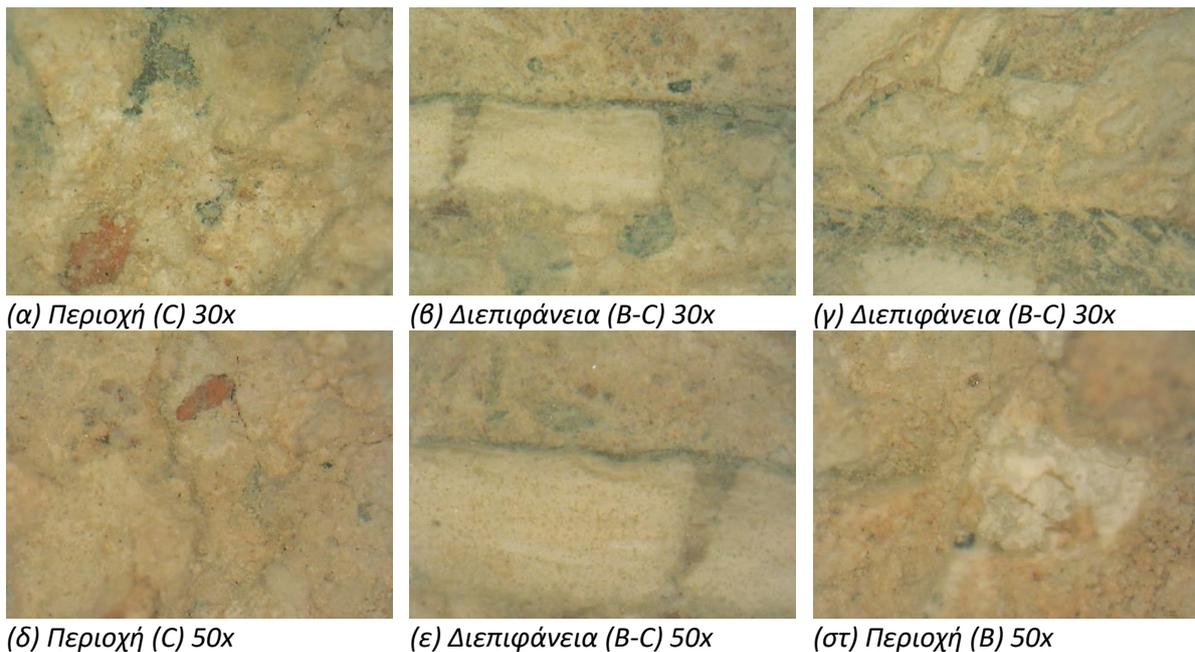
NP_3B_5



Εικόνα IV.20: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_3B_5

Πρόκειται για ένα σκυρόδεμα με καλή συνοχή, μπεζ απόχρωσης. Περιέχει φυσικά αδρανή με αποστρογγυλεμένες γωνίες, με μεγάλο εύρος κατανομής. Οι κυριότερες χρωματικές αποχρώσεις των αδρανών είναι το λευκό, υπόλευκο, μαύρο, γκρι, καφέ κόκκινο και πορτοκαλοκάστανο. Παρατηρούνται, επίσης, μικρά συσσωματώματα κονίας διαμέτρου <1 mm και πιθανότατα άνθρακας.

NP_3B_6

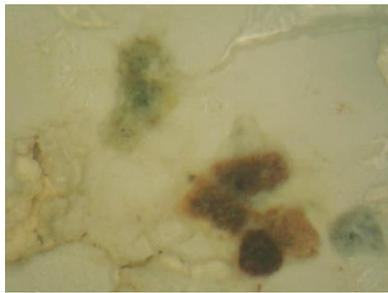


Εικόνα IV.21: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δείγμα NP_3B_6

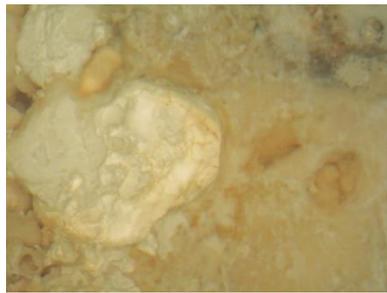
Το σκυρόδεμα αυτό διαφέρει οπτικά σε σχέση με τα υπόλοιπα της ίδιας θέσης δειγματοληψίας. Η περιοχή (C) είναι σαθρή, χαμηλής συνεκτικότητας, απόχρωσης σκούρου μπεζ. Τη στρώση αυτή διαδέχεται μία λεπτή, μαύρη ζώνη, κατά μήκος της μάζας του σκυροδέματος, η οποία ανά σημεία είναι πιο σαθρή. Η περιοχή (B) είναι χρώματος μπεζ και περιέχει μεγάλα συσσωματώματα κονιάς διαμέτρου ~3 mm. Τα αδρανή είναι φυσικά με αποστρογγυλεμένες γωνίες και παρουσιάζουν μεγάλο εύρος κατανομής, με κύριες αποχρώσεις το λευκό, υπόλευκο, μαύρο, γκρι, καφέ, κόκκινο και πορτοκαλοκάστανο. Στην επιφάνεια του σκυροδέματος, παρατηρούνται μικρές οπές, οι οποίες πιθανότατα οφείλονται σε αποκόλληση αδρανών ή κονιάς.

Στη συνέχεια, εξετάστηκαν τα δοκίμια που προέκυψαν από τη μορφοποίηση των δειγμάτων σε διαφορετικές μεγεθύνσεις 30x, 50x, 120x, και προκύπτουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις επί των μορφολογικών χαρακτηριστικών τους:

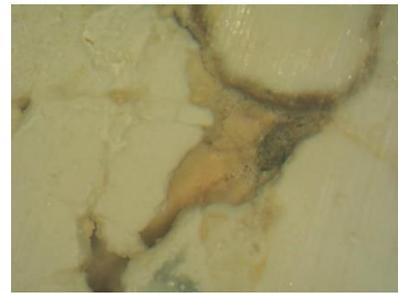
Δοκίμιο NP_2B_1



(α) Περιοχή (C) 30x



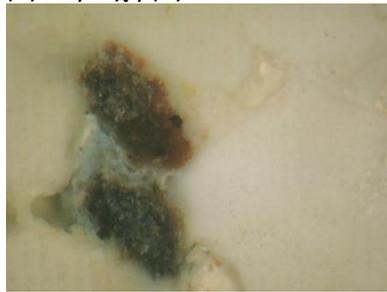
(β) Περιοχή (B) 30x



(γ) Περιοχή (C) 30x



(δ) Περιοχή (C) 50x



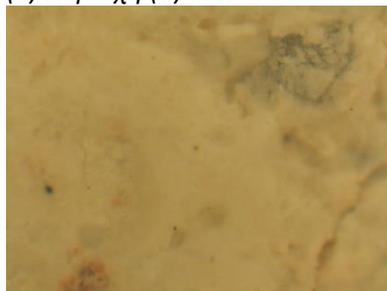
(ε) Περιοχή (C) 50x



(στ) Περιοχή (C) 50x



(ζ) Περιοχή (B) 120x



(η) Περιοχή (C) 120x

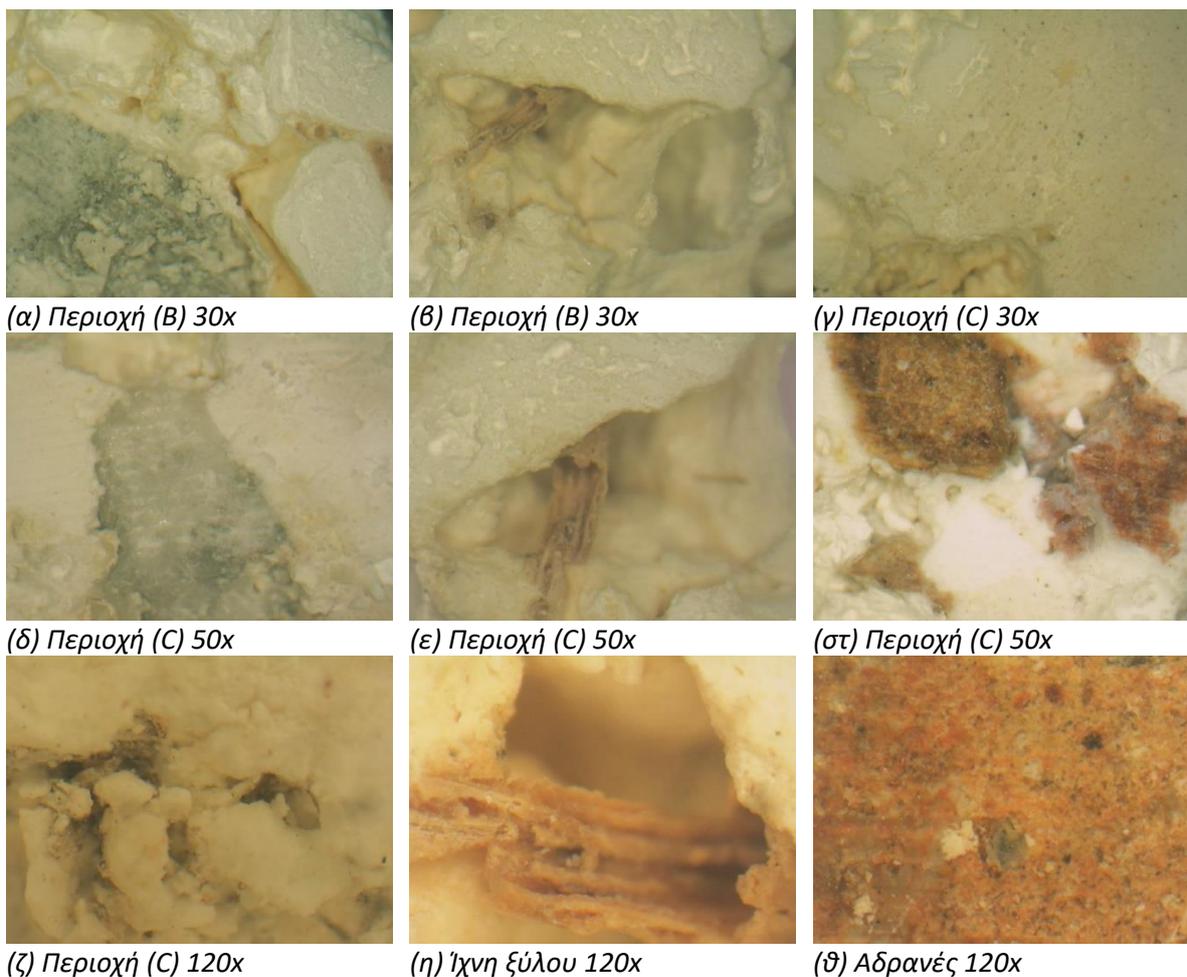


(θ) Περιοχή (B) 120x

Εικόνα IV.22: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δοκίμιο NP_2B_1

Από την εξέταση του δοκιμίου NP_2B_1, προκύπτει ότι τα αδρανή του δείγματος είναι φυσικά, με αποστρογγυλεμένες γωνίες. Τα αδρανή μικρών διαμέτρων είναι κυρίως λευκά και υπόλευκα, γεγονός που καθιστά δύσκολη την παρατήρησή τους σε μικρές μεγεθύνσεις. Παρατηρούνται μεγάλα συσσωματώματα κονιάς. Επιπρόσθετα, εμφανίζεται έντονη πρόσφυση μεταξύ κονιάς και αδρανών.

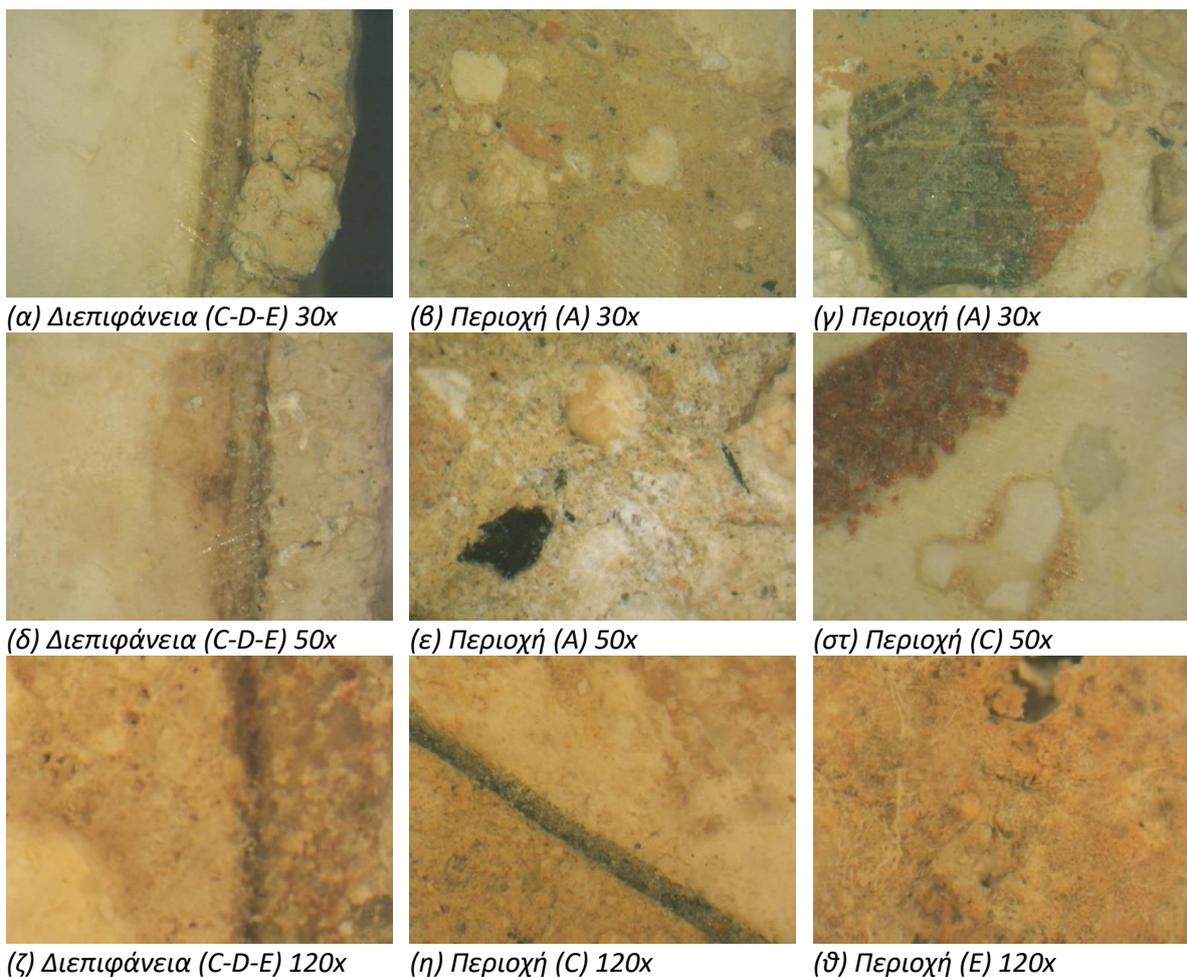
Δοκίμιο NP_2B_3



Εικόνα IV.23: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δοκίμιο NP_2B_3

Από την εξέταση του δοκιμίου NP_2B_3, προκύπτει ότι τα αδρανή του δείγματος είναι φυσικά, με αποστρογγυλεμένες γωνίες. Τα αδρανή μικρών διαμέτρων είναι κυρίως λευκά και υπόλευκα, γεγονός που καθιστά δύσκολη την παρατήρησή τους σε μικρές μεγεθύνσεις. Παρατηρούνται μεγάλα συσσωματώματα κονιάς. Επιπρόσθετα, εμφανίζεται έντονη πρόσφυση μεταξύ κονιάς και αδρανών. Στο εσωτερικό μικρής οπής, παρατηρούνται ίχνη πιθανότατα από ξύλο. Το ανάκτορο του Νέστορα, όπως αναφέρθηκε, ήταν κατά κύριο λόγο ξύλινο. Είναι πιθανόν, κατά την παρασκευή των σκυροδεμάτων να αναμείχθηκαν μικροποσότητες.

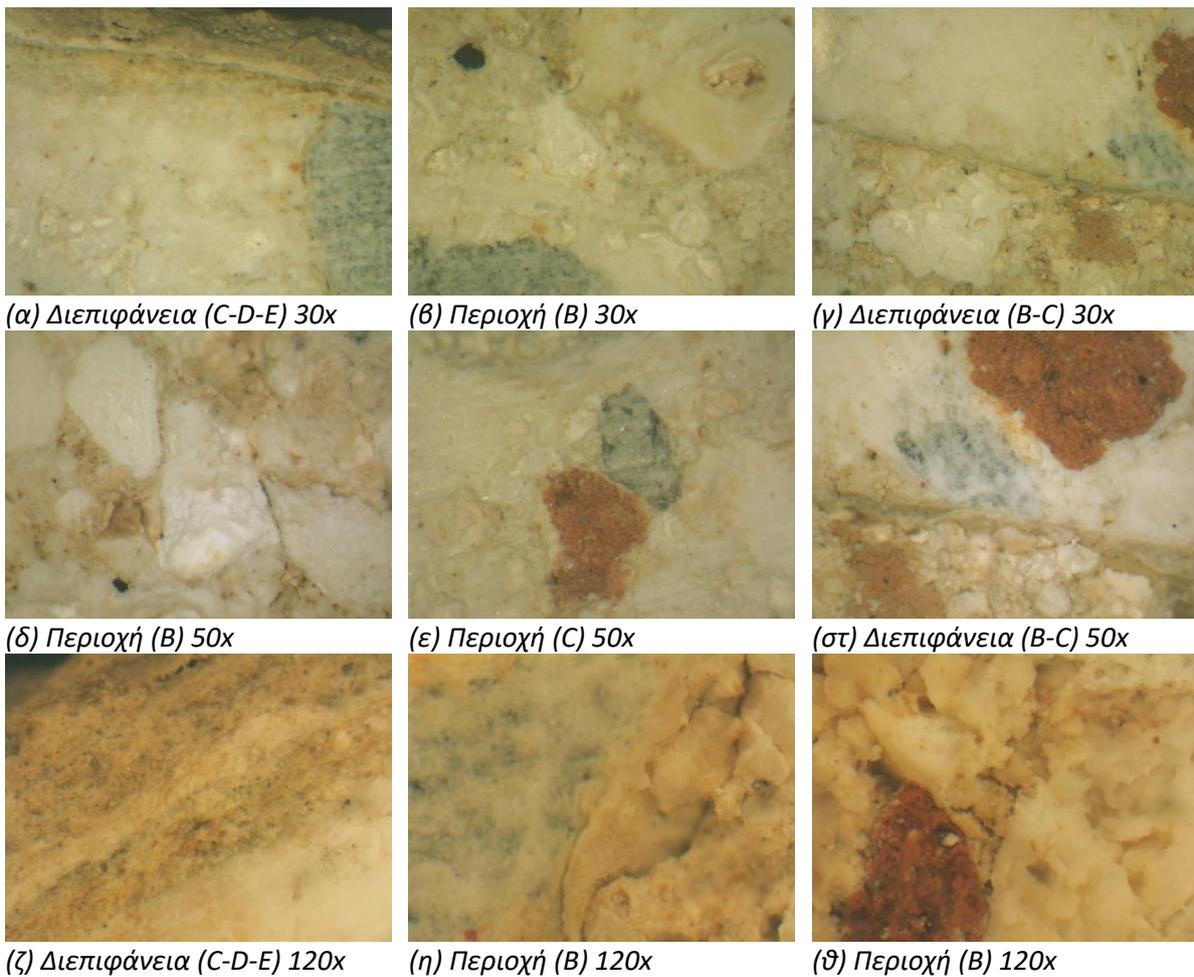
Δοκίμιο NP_2B_4



Εικόνα IV.24: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δοκίμιο NP_2B_4

Από την εξέταση του δοκιμίου NP_2B_4, προκύπτει ότι τα αδρανή του δείγματος είναι φυσικά, με αποστρογγυλεμένες γωνίες, ακαθόριστου σχήματος ενώ εμφανίζονται και αδρανή σε επίμηκες σχήμα. Τα αδρανή μικρών διαμέτρων είναι κυρίως λευκά και υπόλευκα, γεγονός που καθιστά δύσκολη την παρατήρησή τους σε μικρές μεγεθύνσεις. Παρατηρούνται μεγάλα συσσωματώματα κονίας και πιθανότατα άνθρακας. Επιπρόσθετα, εμφανίζεται έντονη πρόσφυση μεταξύ κονίας και αδρανών. Η καφέ στρώση που διαδέχεται την ανώτερη στρώση, σε πολλή μεγάλη μεγέθυνση, παρατηρείται ότι περιέχει λεπτόκοκκα αδρανή. Στην Εικόνα IV.15 (θ), παρατηρείται ένα δίκτυο μικρών ριζών, πιθανώς βιολογικής προέλευσης.

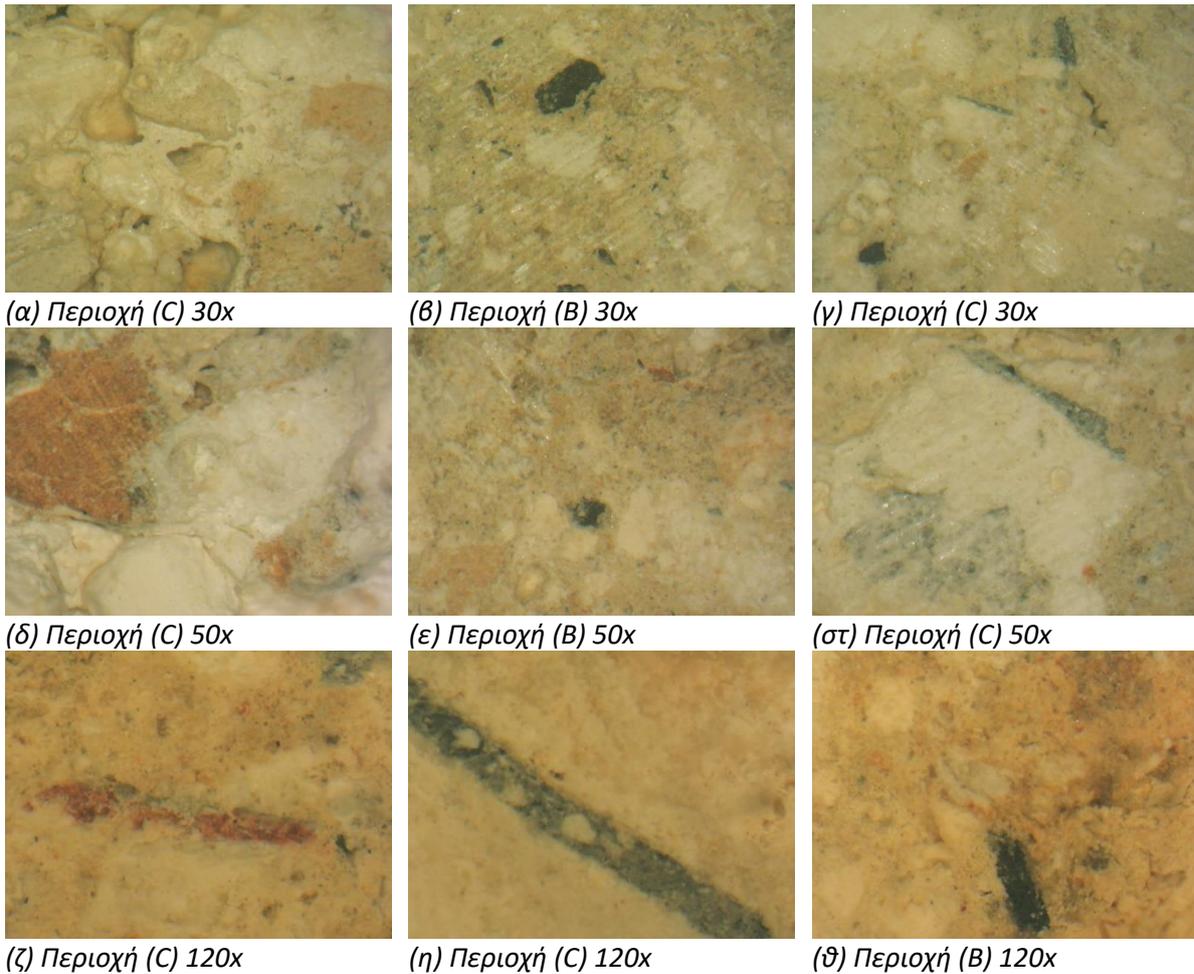
Δοκίμιο NP_2Z_1



Εικόνα IV.25: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δοκίμιο NP_2Z_1

Από την εξέταση του δοκιμίου NP_2Z_1, προκύπτει ότι τα αδρανή του δείγματος είναι φυσικά, με αποστρογγυλεμένες γωνίες. Τα αδρανή μικρών διαμέτρων είναι κυρίως λευκά και υπόλευκα, γεγονός που καθιστά δύσκολη την παρατήρησή τους σε μικρές μεγεθύνσεις. Παρατηρούνται μεγάλα συσσωματώματα κονιάς και πιθανότατα άνθρακας. Επιπρόσθετα, εμφανίζεται έντονη πρόσφυση μεταξύ κονιάς και αδρανών στην περιοχή (C). Στο συγκεκριμένο δοκίμιο, είναι αρκετά ευδιάκριτη η καφέ στρώση ανάμεσα στα ενδότερα στρώματα του σκυροδέματος.

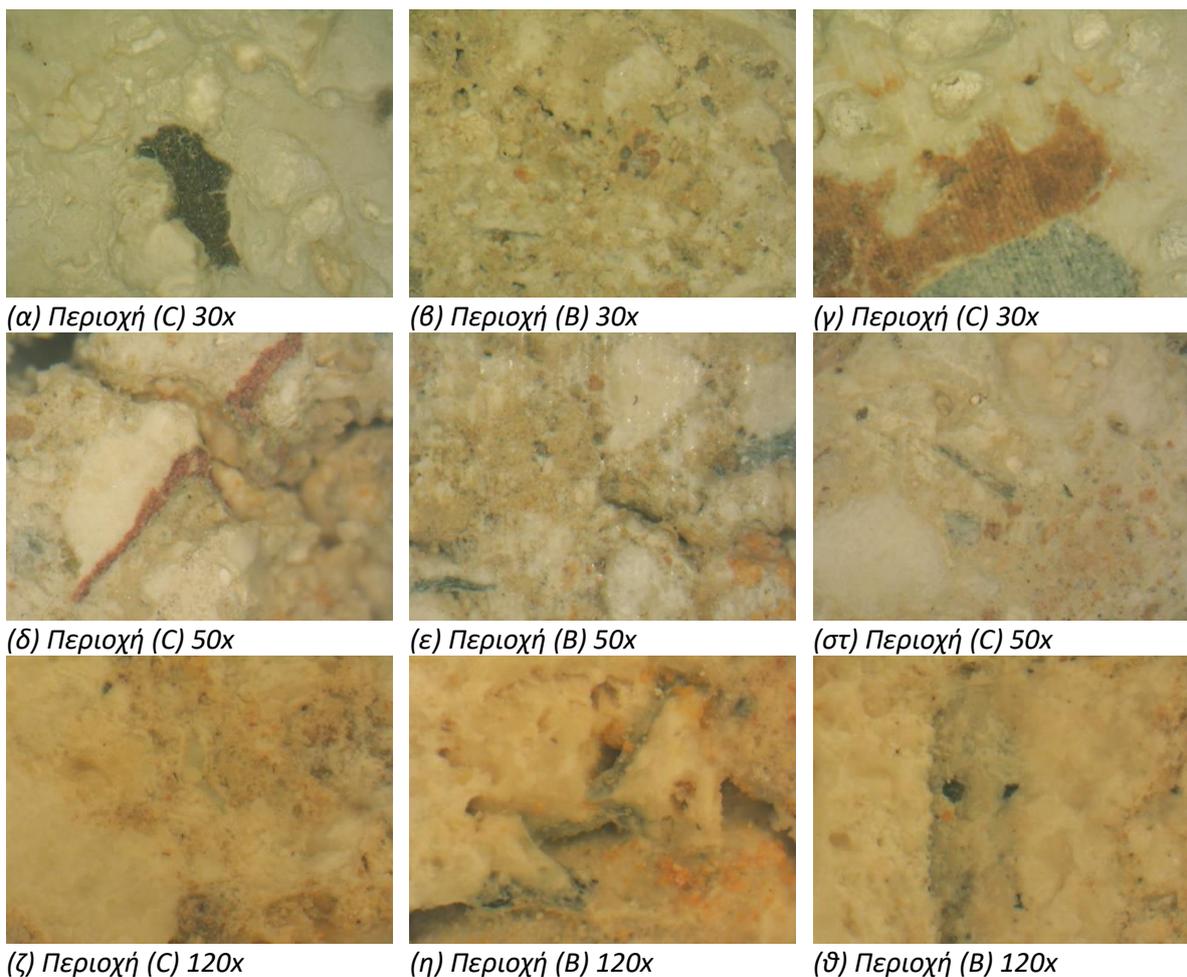
Δοκίμιο NP_3B_2



Εικόνα IV.26: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δοκίμιο NP_3B_2

Από την εξέταση του δοκιμίου NP_3B_2, προκύπτει ότι τα αδρανή του δείγματος είναι φυσικά, με αποστρογγυλεμένες γωνίες, ενώ εμφανίζονται και αδρανή σε επίμηκες σχήμα. Διακρίνεται σχετικά μεγάλο εύρος κατανομής των αδρανών σε σύγκριση με τα δείγματα από τις θέσεις δειγματοληψίας 2B και 2Z. Παρατηρούνται μεγάλα συσσωματώματα κονίας και πιθανότατα άνθρακας. Επιπρόσθετα, εμφανίζεται έντονη πρόσφυση μεταξύ κονίας και αδρανών.

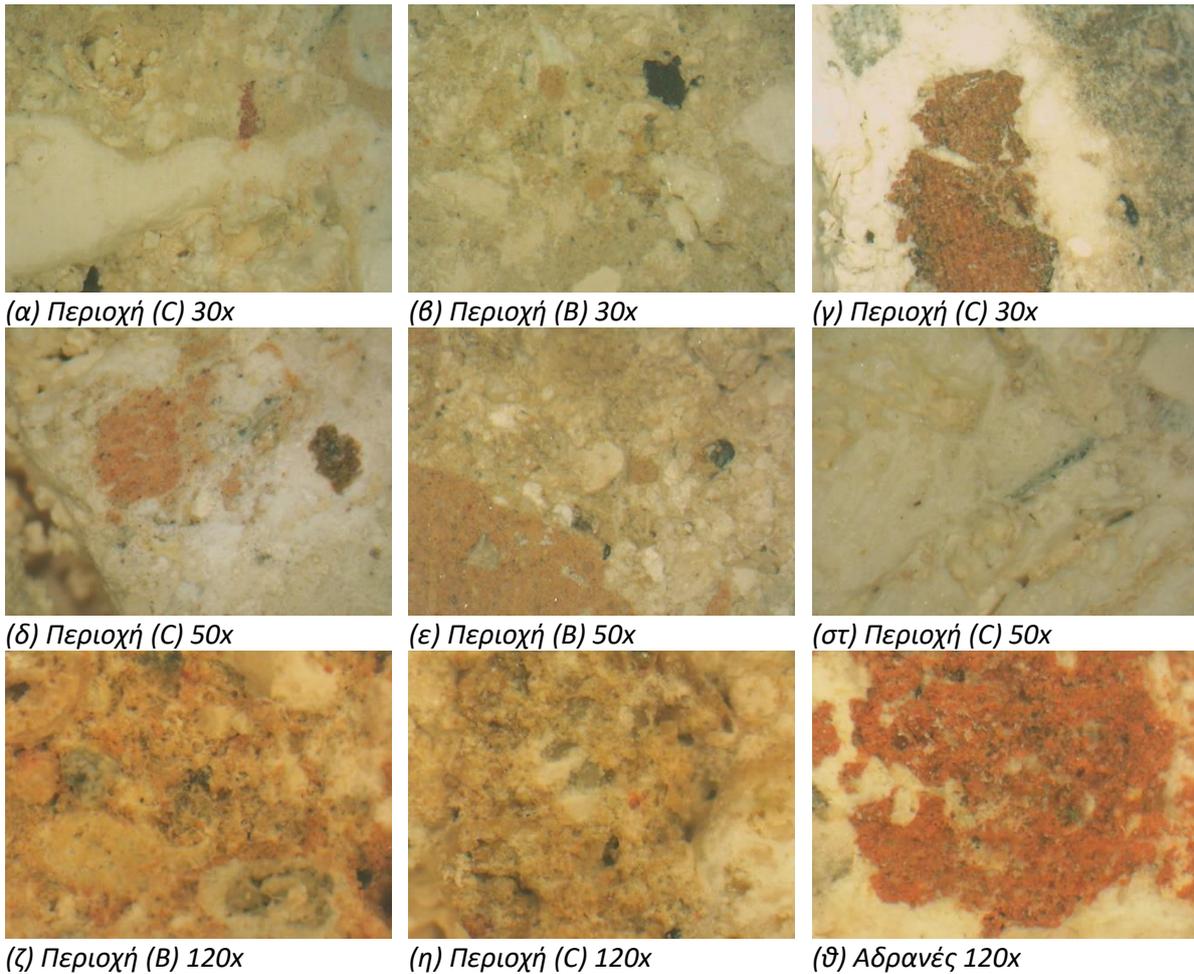
Δοκίμιο NP_3B_3



Εικόνα IV.27: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δοκίμιο NP_3B_3

Από την εξέταση του δοκιμίου NP_3B_3, προκύπτει ότι τα αδρανή του δείγματος είναι φυσικά, με αποστρογγυλεμένες γωνίες, ενώ εμφανίζονται και αδρανή επιμήκους σχήματος. Ομοίως με το NP_3B_2, διακρίνεται σχετικά μεγάλο εύρος κατανομής των αδρανών. Παρατηρούνται μεγάλα συσσωματώματα κονίας και πιθανώς ίχνη άνθρακα. Στην επιφάνεια του δοκιμίου εμφανίζονται μικρορηγματώσεις.

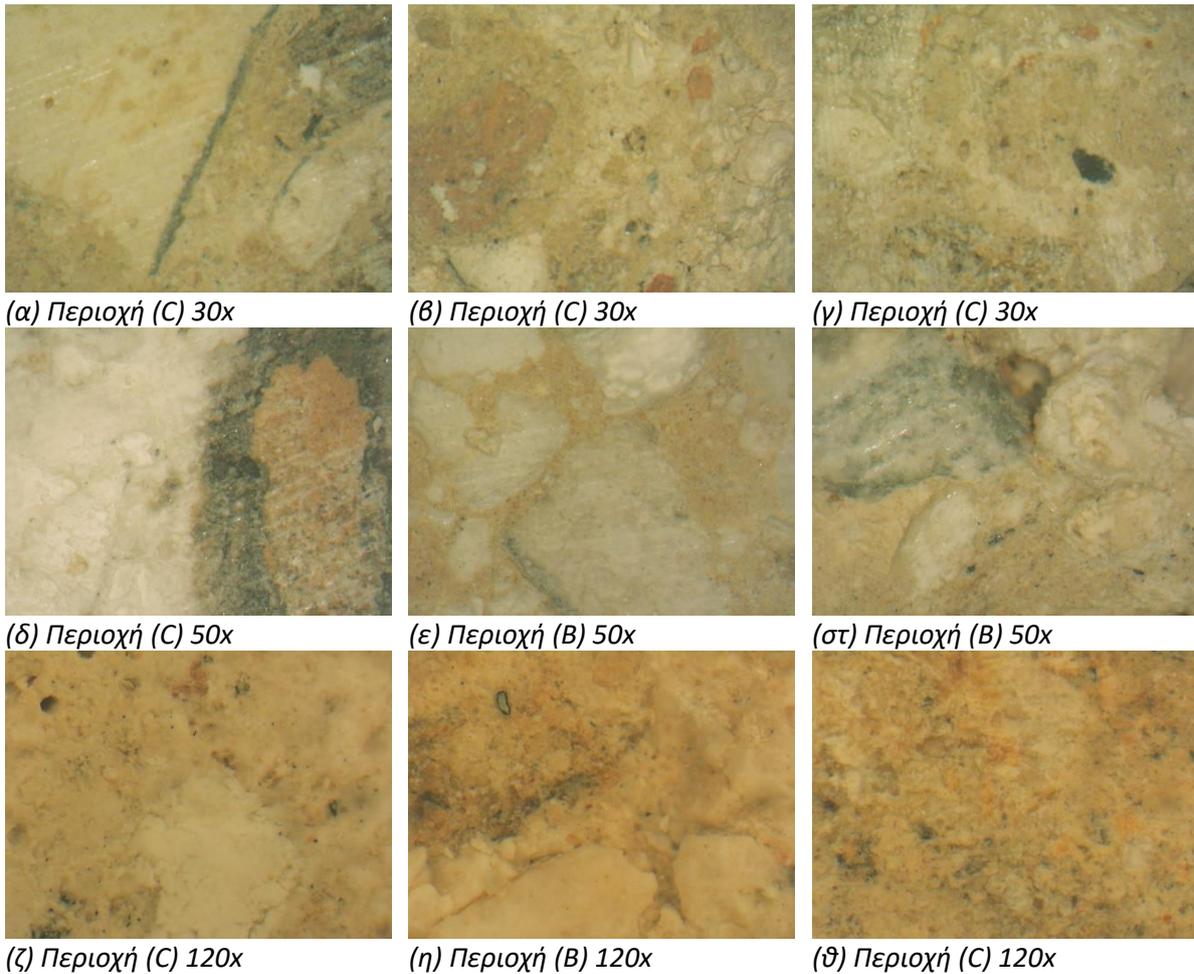
Δοκίμιο NP_3B_4



Εικόνα IV.28: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δοκίμιο NP_3B_4

Από την εξέταση του δοκιμίου NP_3B_4, προκύπτει ότι τα αδρανή του δείγματος είναι φυσικά, με αποστρογγυλεμένες γωνίες, ενώ εμφανίζονται και αδρανή σε επίμηκες σχήμα. Διακρίνεται σχετικά μεγάλο εύρος κατανομής των αδρανών. Παρατηρούνται μεγάλα συσσωματώματα κονίας και πιθανότατα άνθρακας.

Δοκίμιο NP_3B_5



Εικόνα IV.29: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για το δοκίμιο NP_3B_5

Από την εξέταση του δοκιμίου NP_3B_5, προκύπτει ότι τα αδρανή του δείγματος είναι φυσικά, με αποστρογγυλεμένες γωνίες, ακαθόριστου σχήματος ενώ εμφανίζονται και αδρανή σε επίμηκες σχήμα. Διακρίνεται σχετικά μεγάλο εύρος κατανομής των αδρανών. Παρατηρούνται μεγάλα συσσωματώματα κονίας και πιθανώς ίχνη άνθρακα.

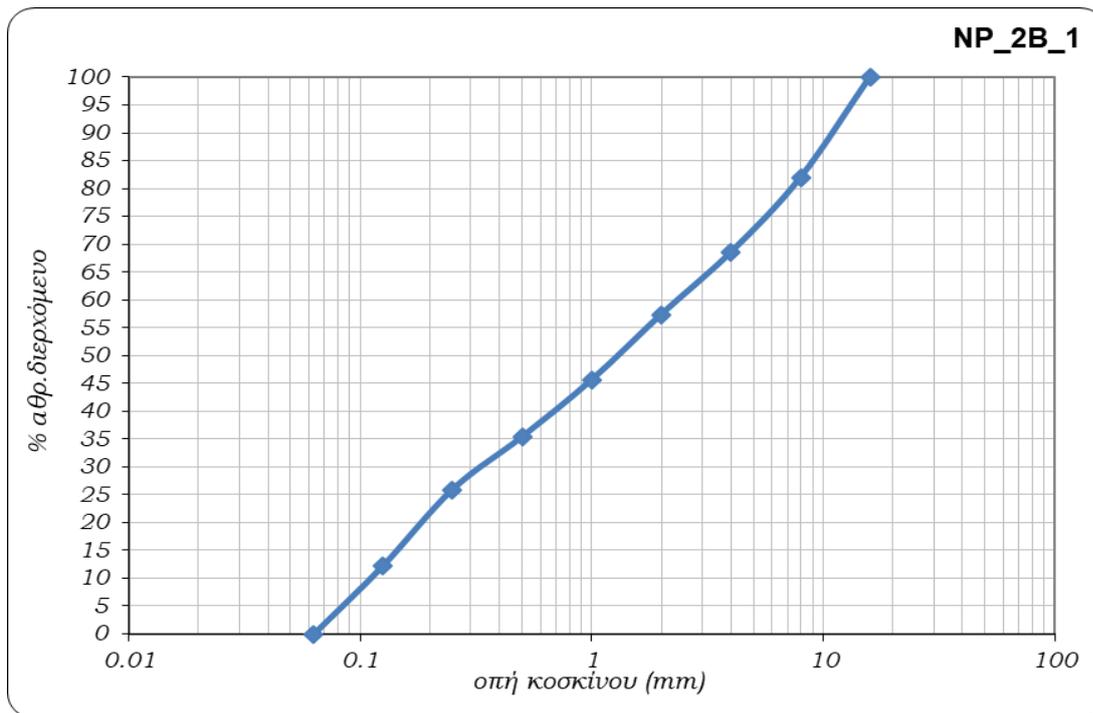
IV.2 Κοκκομετρική Ανάλυση

Πραγματοποιήθηκαν κοκκομετρικές αναλύσεις ενδεικτικά σε ένα δείγμα από κάθε θέση: NP_2B_1, NP_3B_1, NP_2Z_2, σε κόσκινα ανοίγματος οπών 16-8-4-2-1-0,5-0,25-0,125-0,063 mm. Στη συνέχεια ελήφθησαν οι κοκκομετρικές κατανομές των αδρανών των σκυροδεμάτων και προσδιορίστηκε ο μέγιστος κόκκος των αδρανών, ο χαρακτηριστικός λόγος κονιάς/αδρανών, καθώς και το ποσοστό της κονιάς επί του συνολικού δείγματος. Επίσης, αναφέρονται οι παρατηρήσεις που έγιναν, στο στερεομικροσκόπιο, κατά τη διάρκεια της κοκκομετρικής ανάλυσης, στα διάφορα κόσκινα (Πίνακας IV.1). Παρατίθεται παρακάτω το ιστογράμμα κατανομής των αδρανών του δείγματος χωρίς την κονία, η καμπύλη κατανομής του ποσοστού της διερχόμενης μάζας από κάθε κόσκινο σε αθροιστική ημιλογαριθμική κλίμακα για κάθε δείγμα που ελήφθη (Σχήμ. IV.1-6), καθώς και διάγραμμα με τις καμπύλες κατανομής όλων των δειγμάτων σε σύγκριση (Σχήμα IV.9) και διάγραμμα με τα ιστογράμματα κατανομής αδρανών όλων των δειγμάτων σε σύγκριση.

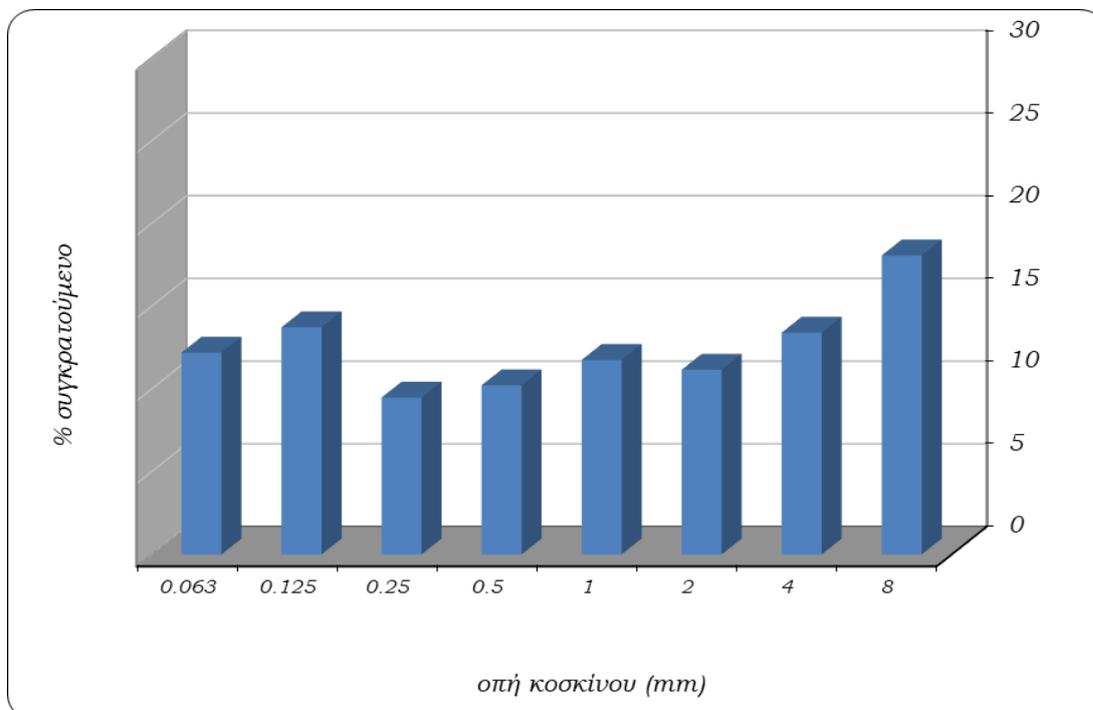
Πίνακας IV.1: Αποτελέσματα Κοκκομετρικής Κατανομής

Δείγμα	Κονία (%)	Λόγος B/A	Dmax (mm)	Παρατηρήσεις
NP_2B_1	33.82	1/2	25	Συνεκτικό κονίαμα. Είναι πολύ δύσκολο να αφαιρεθεί η κονία. Φυσικά αδρανή, με αποστρογγυλεμένες γωνίες, κυρίως λευκά και υπόλευκα (διακρίνονται μόνο στο στερεομικροσκόπιο), γκρι και καφέ. Εμφανίζονται συσσωματώματα κονίας διαμέτρου ~5 mm. Δεν παρατηρήθηκε κεραμικό.
NP_2Z_1	30.51	1/2	21	Συνεκτικό κονίαμα. Είναι πολύ δύσκολο να αφαιρεθεί η κονία. Φυσικά αδρανή, με αποστρογγυλεμένες γωνίες, κυρίως λευκά και υπόλευκα (διακρίνονται μόνο στο στερεομικροσκόπιο), γκρι και καφέ. Παρατηρήθηκαν συσσωματώματα κονίας διαμέτρου ~4 mm.
NP_3B_1	31.00	1/2	25.5	Φυσικά αδρανή, ακανόνιστου σχήματος, γκρι, λευκά, υπόλευκα και πορτοκαλοκάστανα. Παρατηρήθηκαν συσσωματώματα κονίας διαμέτρου ~3 mm.

Αποτελέσματα κοκκομετρίας δείγματος NP_2B_1:

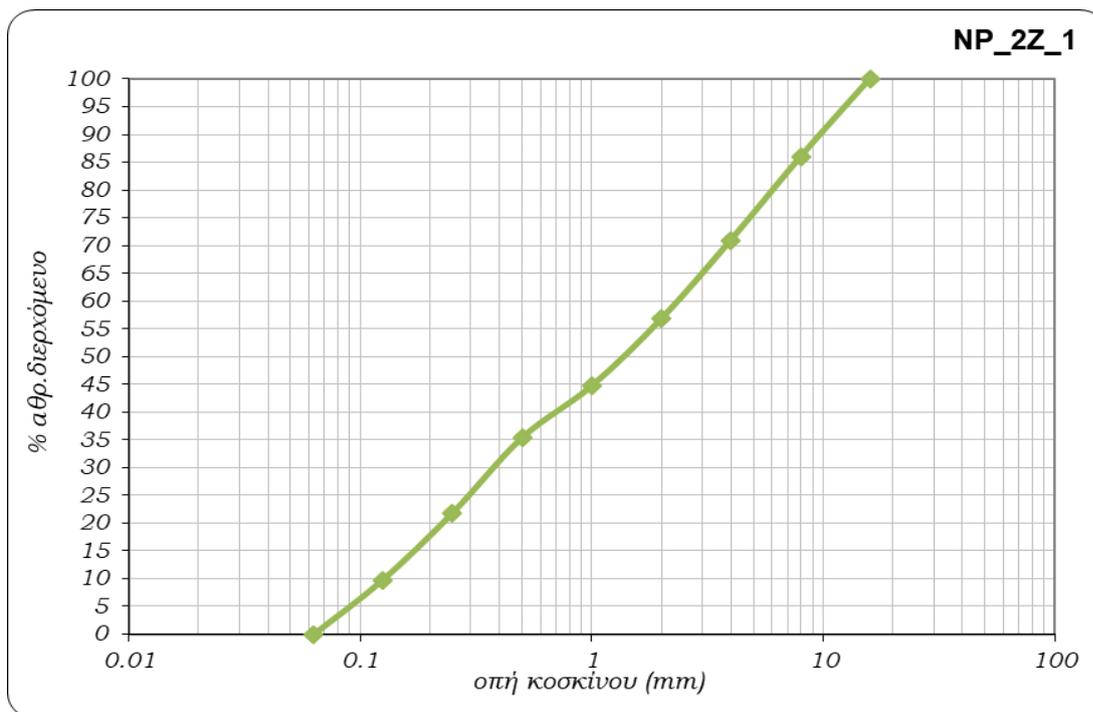


Σχήμα IV.1: Κατανομή διερχόμενων αδρανών δείγματος NP_2B_1 σε αθροιστική ημιλογαριθμική κλίμακα

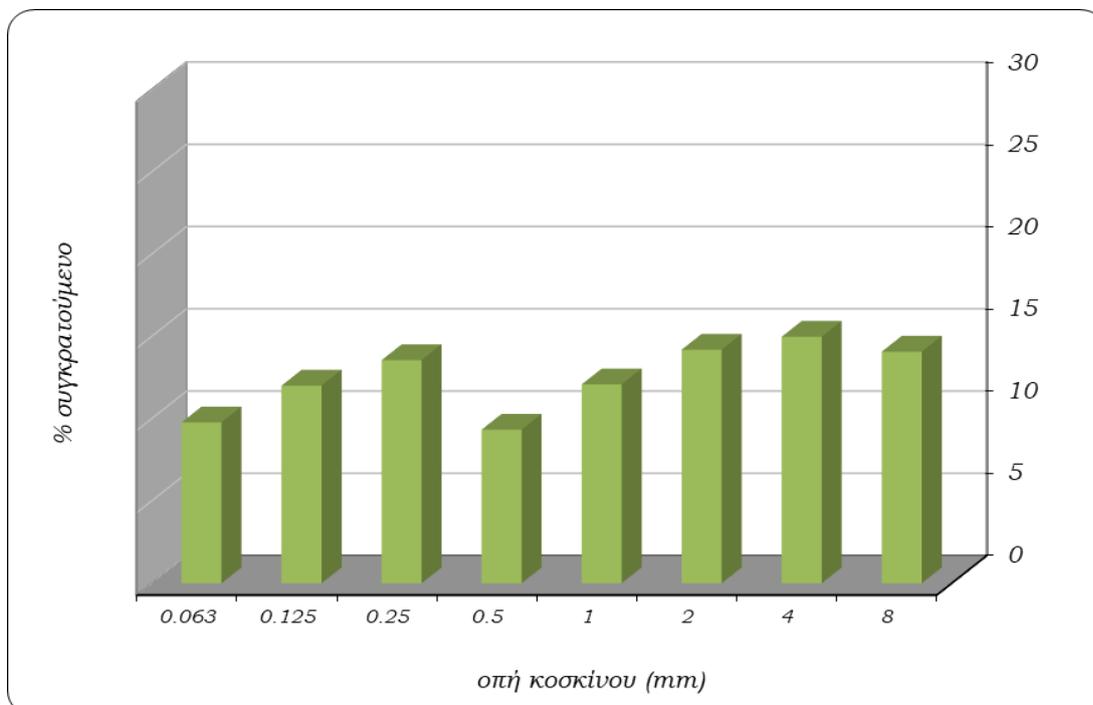


Σχήμα IV.2: Ιστόγραμμα κατανομής συγκρατούμενων αδρανών δείγματος NP_2B_1

Αποτελέσματα κοκκομετρίας δείγματος NP_2Z_1:

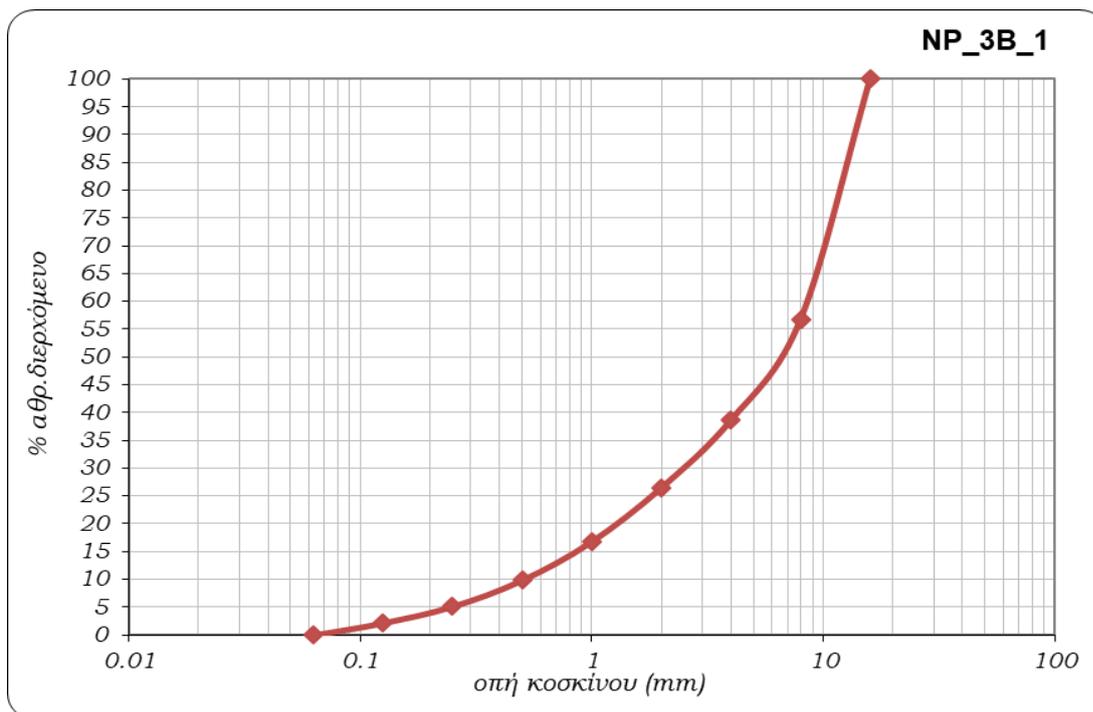


Σχήμα IV.3: Κατανομή διερχόμενων αδρανών δείγματος NP_2Z_1 σε αθροιστική ημιλογαριθμική κλίμακα

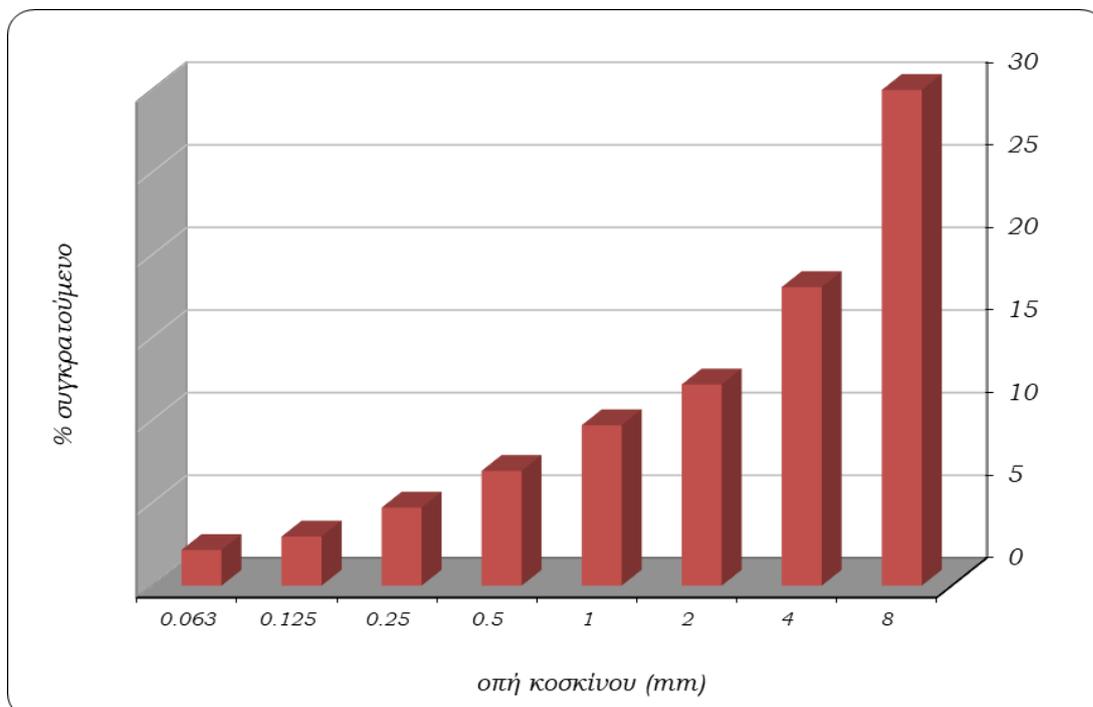


Σχήμα IV.4: Ιστόγραμμα κατανομής συγκρατούμενων αδρανών δείγματος NP_2Z_1

Αποτελέσματα κοκκομετρίας δείγματος NP_3B_1:



Σχήμα IV.5: Κατανομή διερχόμενων αδρανών δείγματος NP_3B_1 σε αθροιστική ημιλογαριθμική κλίμακα



Σχήμα IV.6: Ιστόγραμμα κατανομής συγκρατούμενων αδρανών δείγματος NP_3B_1

Το ποσοστό κονιάς/αδρανών για τα δείγματα NP_2B_1, NP_2Z_1 και NP_3B_1 προσδιορίζεται στο 1/2.

Για το δείγμα NP_2B_1 το ποσοστό της περιεχόμενης κονιάς είναι 33.82% και ο μέγιστος κόκκος των αδρανών προσδιορίστηκε στα 25mm. Στο ιστόγραμμα παρουσιάζεται το εύρος κατανομής του μεγέθους των αδρανών. Η κατανομή του δείγματος NP_2B_1 είναι δικόρυφη με συχνότερη τιμή κατανομής στα 8 mm και στα 0.125 mm.

Για το δείγμα NP_2Z_1 το ποσοστό της περιεχόμενης κονιάς είναι 30.51% και ο μέγιστος κόκκος των αδρανών προσδιορίστηκε στα 21 mm. Η ημιλογαριθμική καμπύλη είναι ομαλή. Η κατανομή είναι δικόρυφη, δικόρυφη με συχνότερη τιμή κατανομής στα 4 mm και στα 0.25 mm.

Για το δείγμα NP_3B_1 το ποσοστό της περιεχόμενης κονιάς είναι 31.00% και ο μέγιστος κόκκος των αδρανών μετρήθηκε 25.5mm. Η ημιλογαριθμική καμπύλη του δείγματος φαίνεται να προσεγγίζει τη θεωρητική καμπύλη Fuller. Η καμπύλη αυτή αποτελεί μία πρόταση για τον προσδιορισμό της βέλτιστης κοκκομετρικής καμπύλης των αδρανών. Ο Fuller πρότεινε την ακόλουθη εξίσωση για τον υπολογισμό της βέλτιστης καμπύλης αδρανών, που εκφράζει εκείνη την κοκκομετρική καμπύλη με το ελάχιστο περιεχόμενο κενών όγκων:

$$P_t = 100 \cdot \sqrt{\frac{d}{D}}$$

Όπου:

P_t: το διερχόμενο (%) ποσοστό από το κόσκινο διαμέτρου d

d: η διάμετρος του κοσκίνου

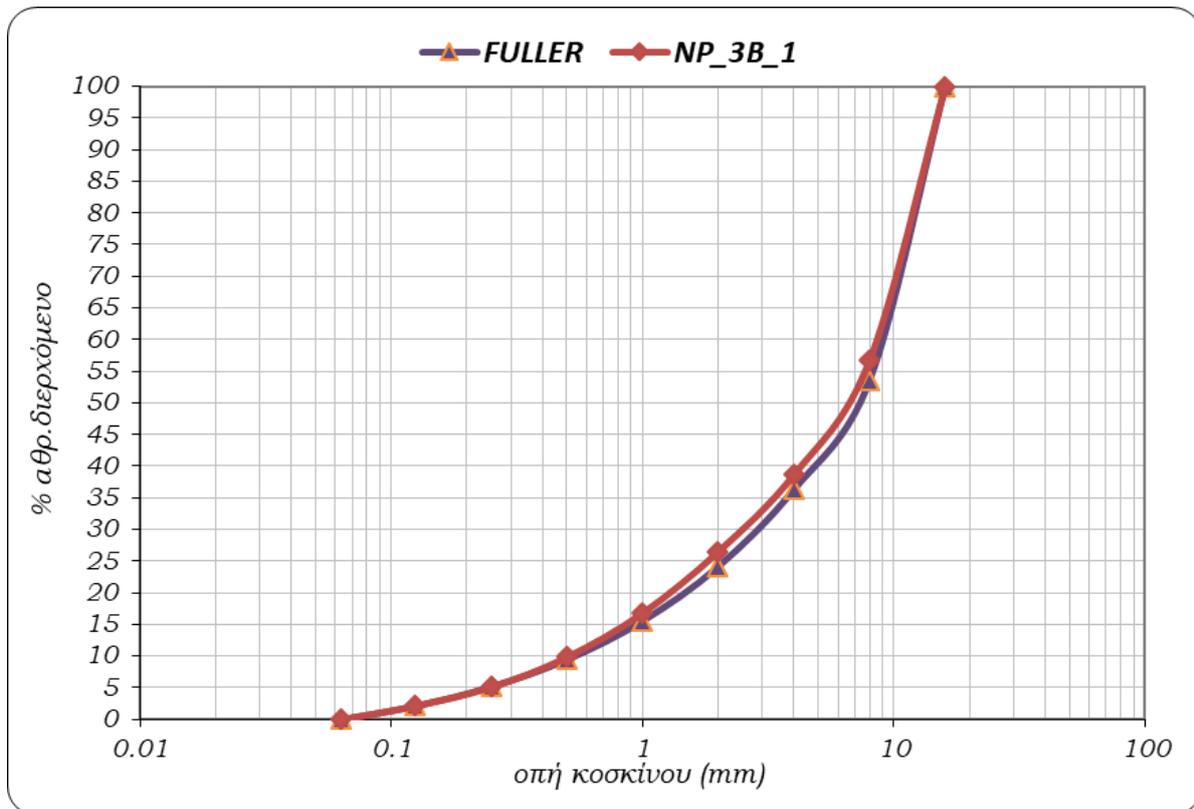
D: η μέγιστη διάμετρος των κόκκων του αδρανούς

Κρίθηκε σκόπιμο να κατασκευαστεί η καμπύλη Fuller για να διαπιστωθεί εάν όντως η καμπύλη του δείγματος NP_3B_1 προσομοιάζει την βέλτιστη καμπύλη [91].

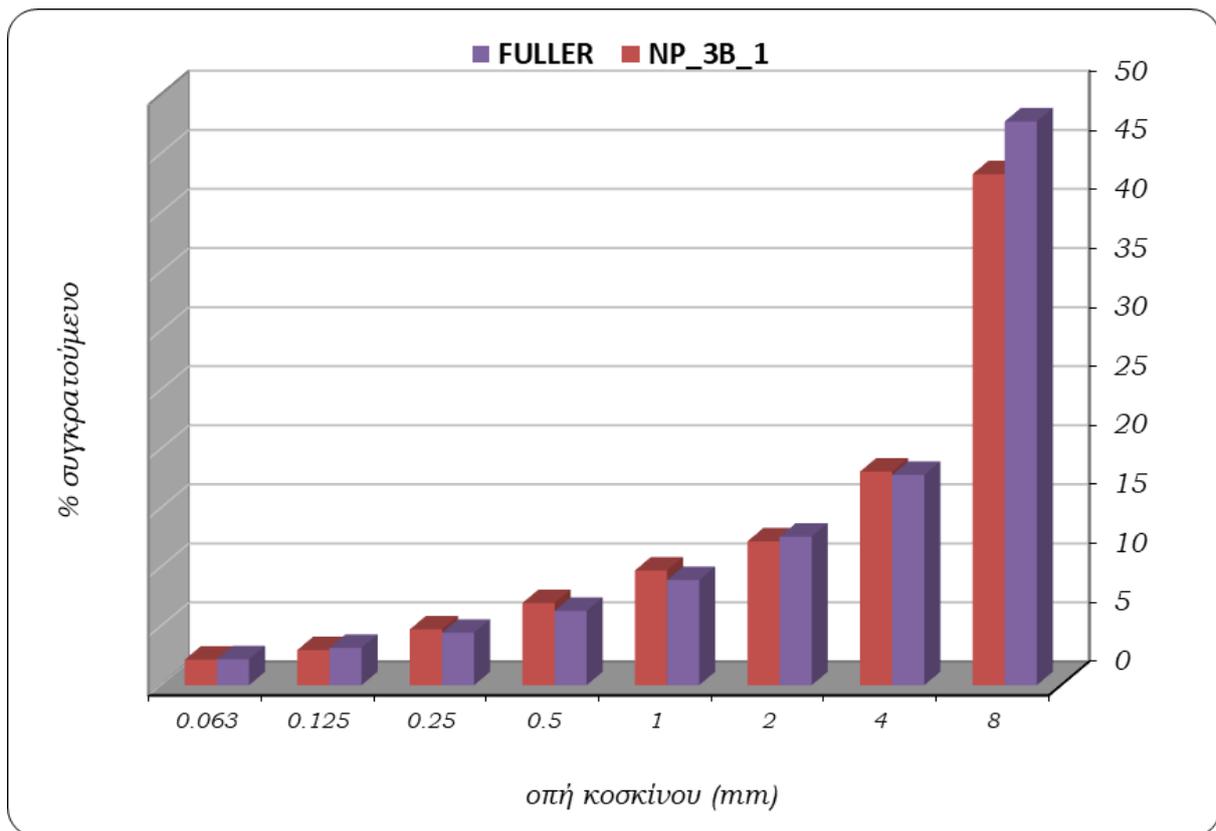
Για μέγιστο κόκκο 25.5 mm, υπολογίσθηκαν μέσω της εξίσωσης τα ποσοστά (%) του αθροιστικά διερχόμενου υλικού από κόσκινα 16-8-4-2-1-0.5-0.25-0.125-0.063 mm. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα αυτά χρησιμοποιούνται για να υπολογισθεί, με τον αντίστροφο τρόπο από ότι προηγουμένως, η μάζα (g) που συγκρατείται σε κάθε κόσκινο, με βάση την

παραδοχή ότι το συνολικό υλικό στα κόσκινα είναι $M=40.58$ g, όση δηλαδή υπολογίστηκε με την κοκκομετρική ανάλυση.

Η καμπύλη Fuller και το ιστόγραμμα κατανομής συγκρατούμενων αδρανών που προέκυψαν σε σύγκριση με το δείγμα NP_3B_1, παρουσιάζονται στα Σχήματα IV.7 και IV.8.



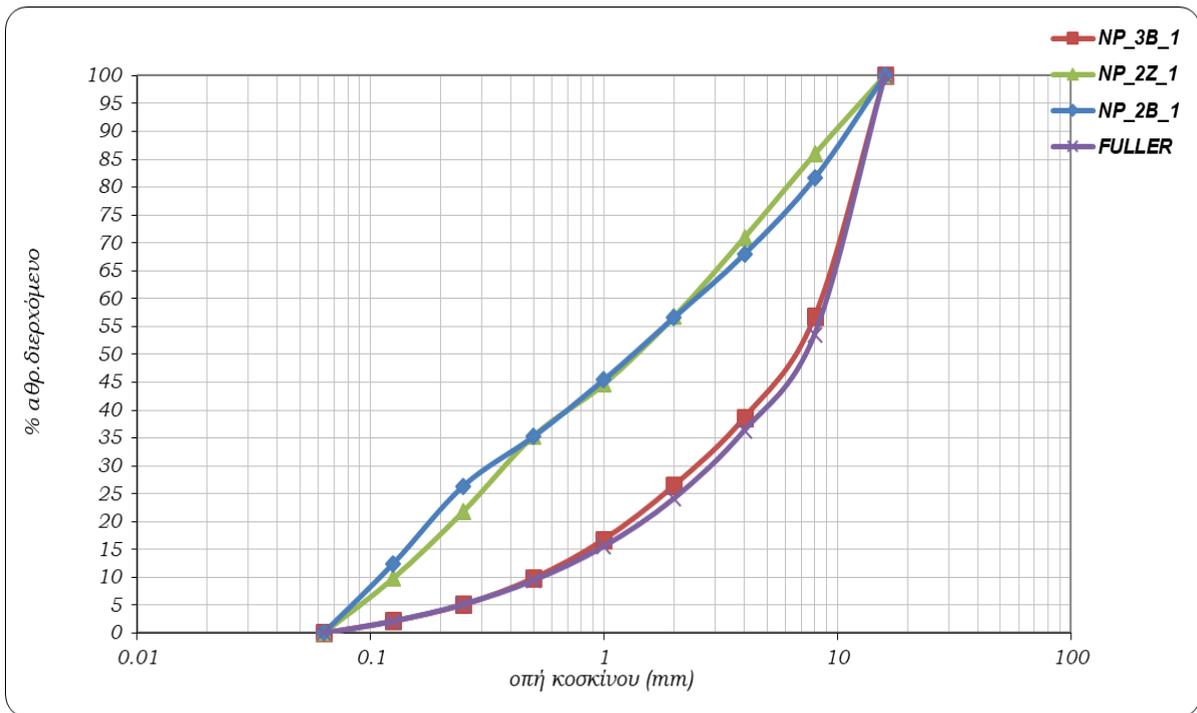
Σχήμα IV.7: Συγκριτική ημιλογαριθμική κλίμακα κατανομής αδρανών NP_3B_1 με θεωρητική καμπύλη FULLER



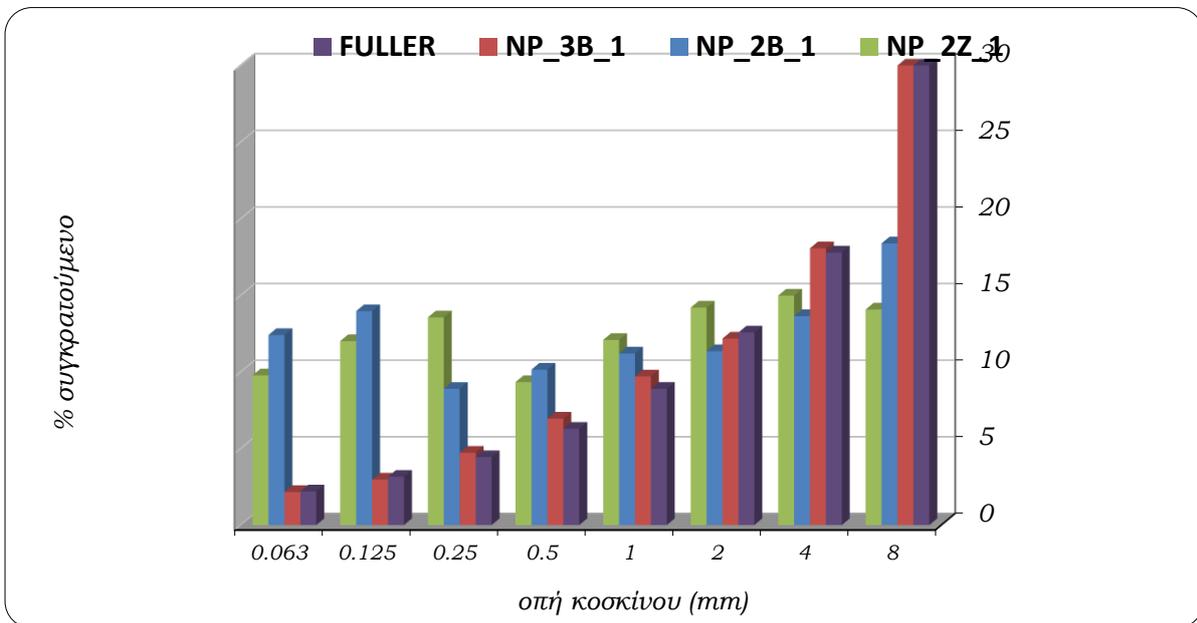
Σχήμα IV.8: Συγκριτικό ιστόγραμμα κατανομής συγκρατούμενων αδρανών δείγματος NP_3B_1- FULLER

Από τα παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα ότι η καμπύλη του δείγματος NP_3B_1 προσομοιάζει την βέλτιστη κοκκομετρική καμπύλη των αδρανών σε ικανοποιητικό βαθμό.

Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση των τεσσάρων διαφορετικών κοκκομετρικών καμπυλών (Σχήμα IV.9) και των ιστογραμμάτων κατανομής συγκρατούμενων αδρανών (Σχήμα IV.10). Όπως παρατηρείται, οι καμπύλες των σκυροδεμάτων που προέρχονται από τις θέσεις δειγματοληψίας 2B και 2Z προσεγγίζουν η μία την άλλη, ενώ για το σκυρόδεμα της θέσης 3B, όπως διαπιστώθηκε παραπάνω, η κοκκομετρική καμπύλη των αδρανών προσεγγίζει την θεωρητική καμπύλη Fuller και διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από τις υπόλοιπες. Συμπεραίνεται ότι τα σκυροδέματα της θέσης 3B παρουσιάζουν διαφορετική κοκκομετρία αδρανών σε σχέση με τα άλλα δύο, και αυτά της θέσης 2B το μεγαλύτερο λόγο κόνιας αδρανών.



Σχήμα IV.9: Συγκριτική ημιλογαριθμική κλίμακα κατανομής αδρανών για τα τρία δείγματα και την θεωρητική καμπύλη Fuller



Σχήμα IV.10: Συγκριτικό ιστόγραμμα κατανομής συγκρατούμενων αδρανών NP_2B_1, NP_2Z_1, NP_3B_1, FULLER

IV.3 Προσδιορισμός των ορυκτολογικών ενώσεων -

Περίθλαση ακτίνων X (XRD)

Στον Πίνακα IV.2 παρατίθενται τα αποτελέσματα του ορυκτολογικού προσδιορισμού στο ολικό δείγμα δια μέσου περίθλασης ακτίνων X (XRD), ενώ στον Πίνακα IV.3 παρουσιάζονται ο χημικός τύπος και η ομάδα στην οποία ανήκουν τα ορυκτά που προσδιορίστηκαν. Τα φάσματα των ακτίνων X των δειγμάτων που εξετάστηκαν παρουσιάζονται στο Παράρτημα Ι.

Πίνακας IV.2: Αποτελέσματα ορυκτολογικού προσδιορισμού

Δείγμα	Ορυκτολογική Σύσταση
NP_2B_1T	Ασβεστίτης (C), Πορτλαντίτης (P), Χαλαζίας (Q), Αλβίτης (Alb)
NP_2B_1D	Ασβεστίτης (C), Χαλαζίας (Q), Αλβίτης (Alb)
NP_2B_2T	Ασβεστίτης (C), Χαλαζίας (Q), Αλβίτης (Alb)
NP_2B_3T	Ασβεστίτης (C), Χαλαζίας (Q), Αλβίτης (Alb), Πορτλαντίτης (P), Μοσχοβίτης (M)
NP_2B_3E	Ασβεστίτης (C), Χαλαζίας (Q), Μοσχοβίτης (M), Αλβίτης (Alb)
NP_2B_4T	Ασβεστίτης (C), Πορτλαντίτης (P), Χαλαζίας (Q), Αλβίτης (Alb)
NP_2Z_1T	Ασβεστίτης (C), Χαλαζίας (Q), Αλβίτης (Alb)
NP_2Z_2T	Ασβεστίτης (C), Χαλαζίας (Q)
NP_3B_1T	Ασβεστίτης (C), Χαλαζίας (Q)
NP_3B_2T	Ασβεστίτης (C), Χαλαζίας (Q), Μοσχοβίτης (M), Αλβίτης (Alb)
NP_3B_3T	Ασβεστίτης (C), Χαλαζίας (Q), Μοσχοβίτης (M)
NP_3B_4T	Ασβεστίτης (C), Χαλαζίας (Q), Αλβίτης (Alb), Μοσχοβίτης (M)
NP_3B_5T	Ασβεστίτης (C), Χαλαζίας (Q), Αλβίτης (Alb), Μοσχοβίτης (M)

Δείγμα	Ορυκτολογική Σύσταση
NP_3B_6T	Ασβεστίτης (C), Χαλαζίας (Q), Αλβίτης (Alb), Μοσχοβίτης (M)

Πίνακας IV.3: Ορυκτά που αναγνωρίστηκαν με χρήση της Περίθλασης Ακτίνων Χ

Ορυκτολογικές Φάσεις	Χημικός Τύπος	Ομάδα
Ασβεστίτης	CaCO ₃	Ασβεστίτη
Πορτλαντίτης	Ca(OH) ₂	—
Χαλαζίας	SiO ₂	Χαλαζία
Αλβίτης	NaAlSi ₃ O ₈	Άστριοι
Μοσχοβίτης	KAl ₂ (AlSi ₃)O ₁₀ (OH) ₂	Μαρμαρυγίες

Για όλα τα δείγματα που εξετάσθηκαν, ανιχνεύθηκε ως κύρια ορυκτολογική φάση ο ασβεστίτης. Στα δείγματα NP_2B_1T, NP_2B_3T και NP_2B_4T, ανιχνεύτηκε πορτλαντίτης, η παρουσία του οποίου οφείλεται στη μη ενανθράκωση της κονιάς. Το γεγονός αυτό μπορεί να συμβαίνει είτε λόγω υψηλής σχετικής υγρασίας, είτε λόγω υψηλής συμπίεσης των διαστρωματώσεων κατά την εφαρμογή τους, με αποτέλεσμα να μην εισέρθει αέρας και να μην ολοκληρωθεί η ενανθράκωση. Ο ασβεστίτης ταυτοποιεί την ασβεστιτική φύση της κονιάς και των αδρανών. Με τη μέθοδο αυτή δεν ανιχνεύονται ορυκτολογικές φάσεις που αποδίδονται σε διαλυτά άλατα.

Συγκεκριμένα, για το δείγμα NP_2B_1T προσδιορίστηκαν οι ορυκτολογικές φάσεις για το ολικό δείγμα (NP_2B_1T), και για την καφέ στρώση D (NP_2B_1D). Ως κύρια ορυκτολογική φάση προκύπτει ο ασβεστίτης και ως δευτερεύουσες φάσεις ανιχνεύτηκαν ο χαλαζίας και ο αλβίτης, ενώ στο ολικό δείγμα ανιχνεύτηκε και πορτλαντίτης.

Το δείγμα NP_2B_2T παρουσιάζει ως κύρια ορυκτολογική φάση τον ασβεστίτη, ενώ ως δευτερεύουσες τον χαλαζία και τον αλβίτη.

Για το δείγμα NP_2B_3 προσδιορίστηκαν οι ορυκτολογικές φάσεις για το ολικό δείγμα (NP_2B_3T), και για την περιοχή E (NP_2B_3E). Ως κύρια ορυκτολογική φάση ανιχνεύτηκε ο

ασβεστίτης και ως δευτερεύουσες ο χαλαζίας, ο μοσχοβίτης και ο αλβίτης. Στο ολικό δείγμα ανιχνεύτηκε και πορτλαντίτης.

Στο δείγμα NP_2B_4T προκύπτει ως κύρια ορυκτολογική φάση ο ασβεστίτης, ενώ ως δευτερεύουσες ο πορτλαντίτης, ο χαλαζίας και ο αλβίτης.

Για τα δείγματα NP_2Z_1T και NP_2Z_2T ανιχνεύτηκε ως κύρια ορυκτολογική φάση ο ασβεστίτης και ως δευτερεύουσα ο χαλαζίας. Στο NP_2Z_1T ανιχνεύτηκε και αλβίτης.

Στο δείγμα NP_3B_1T προκύπτει ως κύρια ορυκτολογική φάση ο ασβεστίτης και ως δευτερεύουσα ο χαλαζίας.

Από τα αποτελέσματα για τα δείγματα NP_3B_2T, NP_3B_4T, NP_3B_5T, NP_3B_6T προκύπτουν οι ίδιες ορυκτολογικές φάσεις. Συγκεκριμένα, ως κύρια ανιχνεύτηκε ο ασβεστίτης και ως δευτερεύουσες ο χαλαζίας, ο μοσχοβίτης και ο αλβίτης.

Για το δείγμα NP_3B_3T ανιχνεύτηκε ως κύρια ορυκτολογική φάση ο ασβεστίτης και ως δευτερεύουσες ο χαλαζίας και ο μοσχοβίτης.

IV.4 Ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός των

συστατικών των σκυροδεμάτων – Θερμική

Ανάλυση (DTA-TG)

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται και συζητούνται τα αποτελέσματα των θερμικών αναλύσεων σε σχέση με την επί τοις εκατό απώλεια μάζας ανά θερμοκρασιακό διάστημα.

Οι απώλειες μάζας στο θερμοκρασιακό διάστημα <120°C αντιστοιχούν στο φυσικά δεσμευμένο νερό των συστατικών του δείγματος, ενώ αυτές στο 120-200°C αντιστοιχούν στα κρυσταλλικά νερά ενυδατωμένων αλάτων που εμπεριέχονται σε αυτό και σε νερό που δεσμεύεται από υδραυλικές ενώσεις. Οι απώλειες βάρους στο διάστημα των 200-600°C που προέρχονται από ενδόθερμες κορυφές αποδίδονται στο χημικά δεσμευμένο νερό των ένυδρων ορυκτών αργιλοπυριτικών ενώσεων του εξεταζόμενου υλικού. Σε αυτό το διάστημα μπορεί να εμφανιστούν και επιπλέον απώλειες βάρους, λόγω ύπαρξης πορτλαντίτη, υδρομαγνησίτη, μαγνησίτη, βρουσίτη αλλά και οργανικών ενώσεων. Οι απώλειες βάρους στο θερμοκρασιακό διάστημα >600°C, αντιστοιχούν στη διάσπαση των ανθρακικών ενώσεων του υλικού, όπως ο ασβεστίτης (CaCO₃). Ο λόγος CO₂/H₂O_{χημικά δεσμευμένο}, που προσδιορίζεται από τις ποσοστιαίες απώλειες βάρους στα διαστήματα >600°C και 200-600°C, ταυτοποιεί την υδραυλικότητα του κονιάματος ανάλογα με την τιμή που λαμβάνει. Τιμές μεγαλύτερες του 10 υποδηλώνουν ασβεστιτικά κονιάματα, ενώ μικρότερες, σε διάφορες κατηγορίες υδραυλικών κονιαμάτων [20].

Η θερμική ανάλυση πραγματοποιήθηκε στο ολικό δείγμα (T) και στο κλάσμα της κονιάς (<63 μm) στα δείγματα στα οποία εκτελέσθηκε διαχωρισμός κονιάς-αδρανών, σε κάποια θραύσματα διαφορετικών χρωματικών αποχρώσεων από διαφορετικές στρώσεις του δείγματος, καθώς και σε συσσωματώματα κονιάς ορισμένων δειγμάτων για να ελεγχθεί η ποιότητα της κονιάς που χρησιμοποιήθηκε. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στους Πίνακες IV.4-7. Τα διαγράμματα βάσει των οποίων προκύπτουν τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Παράρτημα II.

Πίνακας IV.4: Αποτελέσματα θερμοβαρυμετρικής ανάλυσης στο ολικό κονίαμα και σε θραύσματα διαφορετικών αποχρώσεων

Δείγμα	Απώλεια μάζας (%) ανά θερμοκρασιακό διάστημα				CO ₂ /H ₂ O
	<120°C	120-200°C	200-600°C	>600°C	
NP_2B_1T	0.44	0.13	1.81 0.71+1.10	38.96	21.52
NP_2B_2T	0.45	0.29	1.01	36.73	36.37
NP_2B_3T	0.84	0.42	2.24 1.40+0.84	34.61	15.45
NP_2B_4T	0.58	0.35	2.69 1.30+1.39	35.97	13.37
NP_2Z_1T	0.27	0.13	1.34	40.31	30.08
NP_2Z_2T	0.37	0.15	1.30	40.35	31.04
NP_3B_1T	0.44	0.30	0.97	37.36	38.52
NP_3B_2T	0.82	0.53	1.76	32.40	18.41
NP_3B_3T	0.61	0.41	1.70	36.79	21.64
NP_3B_4T	0.59	0.46	1.71	34.70	20.29
NP_3B_5T	0.42	0.25	1.46	26.47	18.13
NP_3B_6T	0.26	0.15	1.17	37.43	31.99
NP_2B_1D	1.26	0.76	2.32	35.78	15.42
NP_2B_3E	0.70	0.33	1.39	32.62	23.47
NP_2B_4A	1.08	0.50	2.18	28.85	13.23
NP_2B_4B	0.09	0.09	0.93	41.91	45.06
NP_2B_4C	0.42	0.27	1.52	38.50	25.32

Δείγμα	Απώλεια μάζας (%) ανά θερμοκρασιακό διάστημα				CO ₂ /H ₂ O
	<120°C	120-200°C	200-600°C	>600°C	
NP_2Z_1A	0.27	0.15	1.60	34.60	21.63
NP_2Z_1E	0.75	0.36	2.46	36.18	14.71
NP_3B_3B	0.67	0.56	1.86	25.10	13.49

Σε όλα τα δείγματα καταγράφεται μικρό ποσοστό φυσικά δεσμευμένου νερού (<1%), υψηλό περιεχόμενο ποσοστό CaCO₃ και αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας μεγαλύτερος της τιμής 10. Πιο συγκεκριμένα, στα δείγματα NP_2B_1T, NP_2B_3T και NP_2B_4T καταγράφεται στο θερμοκρασιακό διάστημα <120°C ποσοστιαία απώλεια μάζας 0.4-0.8%, στο διάστημα 120-200°C απώλεια μάζας 0.1-0.4% και στο διάστημα 200-600°C απώλεια 1.81-2.7%. Στα συγκεκριμένα δείγματα εμφανίστηκε ενδόθερμη κορυφή στους ~470°C, όπου αποδίδεται η αφυδροξυλίωση του Ca(OH)₂. Στους πίνακες που παρατίθενται, η απώλεια μάζας (%) που είναι σημειωμένη με έντονη γραμματοσειρά, αντιστοιχεί στο ποσοστό πορτλαντίτη που ανιχνεύτηκε το οποίο υπολογίζεται ~3.4-5.7%. Στο διάστημα >600°C καταγράφεται απώλεια 36-40% βάσει του οποίου υπολογίζεται το περιεχόμενο ποσοστό CaCO₃, συνυπολογίζοντας το ποσοστό που ενανθρακώθηκε λόγω Ca(OH)₂, 83-95% για τα NP_2B_3T και NP_2B_4T, και 90.1% για το NP_2B_1T. Στο διάγραμμα εμφανίζεται ενδόθερμη κορυφή στους 875°C, που αποδίδεται στη διάσπαση του CaCO₃. Ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας (CO₂/H₂O) είναι μεγαλύτερος του 10 και για τα 3 δείγματα.

Για το δείγμα NP_2B_2T καταγράφεται ποσοστιαία απώλεια μάζας 36.73%, στο θερμοκρασιακό διάστημα >600°C, που αντιστοιχεί σε 83.4% περιεχόμενο ποσοστό CaCO₃. Ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητάς του είναι αρκετά υψηλός.

Για τα δείγματα NP_2Z_1T και NP_2Z_2T καταγράφονται παραπλήσιες απώλειες μάζας, περιεχόμενο ποσοστό CaCO₃ ~92%, ενώ ο λόγος CO₂/H₂O υπολογίζεται πάνω από 30.

Για τα δείγματα NP_3B_1T, NP_3B_3T και NP_3B_6T καταγράφεται ποσοστιαία απώλεια μάζας γύρω στα 37% στο θερμοκρασιακό διάστημα >600°C, που αντιστοιχεί σε περιεχόμενο ποσοστό CaCO₃ 85%. Ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητάς τους είναι αρκετά υψηλότερος της τιμής 10.

Όσον αφορά τα δείγματα NP_3B_2T, NP_3B_4T και NP_3B_5T, παρουσιάζουν την ενδόθερμη κορυφή που αποδίδεται στη διάσπαση του CaCO_3 περί τους 887°C . Το περιεχόμενο ποσοστό του CaCO_3 υπολογίζεται 74%, 79% και 60% αντίστοιχα. Ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητάς τους υπολογίζεται κοντά στην τιμή 19.

Πέρα από το ολικό δείγμα μελετήθηκαν και θραύσματα διαφορετικών χρωματικών αποχρώσεων. Για το NP_2B_1D, που αποτελεί την καφέ στρώση του δείγματος NP_2B_1, καταγράφονται υψηλότερες απώλειες μάζας μέχρι τους 600°C σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα. Το περιεχόμενο ποσοστό του CaCO_3 υπολογίζεται $\sim 81\%$ και ο λόγος $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O} > 15$.

Οι απώλειες μάζας για τα δείγματα NP_2B_3E και NP_2Z_1E είναι παραπλήσιες μέχρι τους 600°C . Στα διαγράμματά τους, εμφανίζεται η ενδόθερμη κορυφή που αποδίδεται στη διάσπαση του CaCO_3 στους 886°C . Το περιεχόμενο ποσοστό του CaCO_3 υπολογίζεται 74% και 81% αντίστοιχα ενώ ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας 23 και 15.

Στο δείγμα NP_2B_4, υπολογίζονται οι ποσοστιαίες απώλειες μάζας, εκτός από το ολικό κονίαμα (T), και για τρεις διαφορετικές περιοχές (A, B, C), καταγράφοντας διαφορετικές τιμές για την καθεμία. Το περιεχόμενο ποσοστό του CaCO_3 υπολογίζεται 65.5% για το NP_2B_4A, 95% για το NP_2B_4B και 87% για το NP_2B_4C. Ο λόγος $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ για την A είναι ~ 13 , ενώ για τις B και C, είναι αρκετά υψηλότερος. Στο διάγραμμα του NP_2B_4A εμφανίζεται ενδόθερμη κορυφή στους 568°C , χωρίς απώλεια μάζας, που αποδίδεται στην αλλαγή φάσης του χαλαζία από α σε β.

Το δείγμα NP_2Z_1A παρουσιάζει παραπλήσιες απώλειες μάζας με το ολικό δείγμα, μέχρι τους 600°C . Από το θερμοκρασιακό διάστημα $>600^\circ\text{C}$, υπολογίζεται περιεχόμενο ποσοστό CaCO_3 78.5%. Ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας προσδιορίζεται ~ 22 .

Για το δείγμα NP_3B_3B καταγράφεται ποσοστιαία απώλεια μάζας 25%, στο θερμοκρασιακό διάστημα $>600^\circ\text{C}$, που αντιστοιχεί σε 57% περιεχόμενο ποσοστό CaCO_3 , ποσοστό χαμηλότερο σε σχέση με τα υπόλοιπα. Ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητάς του είναι ~ 13 .

Πίνακας IV.5: Αποτελέσματα θερμοβαρυμετρικής ανάλυσης στο κλάσμα της κονίας (<63μm)

Δείγμα	Απώλεια μάζας (%) ανά θερμοκρασιακό διάστημα				CO ₂ /H ₂ O
	<120°C	120-200°C	200-600°C	>600°C	
NP_2B_1K Binder	0.00	0.27	2.28 0.71+1.57	38.31	16.80
NP_2Z_1K Binder	0.27	0.13	1.19	40.46	34
NP_3B_1K Binder	0.36	0.20	1.01	37.19	36.82

Από τα αποτελέσματα της θερμικής ανάλυσης για το κλάσμα της κονίας, στα δείγματα που εκτελέστηκε διαχωρισμός κονίας-αδρανών, παρατηρείται μικρή ποσοστιαία απώλεια μάζας μέχρι τους 600°C. Από τις απώλειες μάζας στο διάστημα >600°C, συνυπολογίζοντας το ποσοστό που ενανθρακώθηκε λόγω Ca(OH)₂, προσδιορίζεται το περιεχόμενο ποσοστό CaCO₃, για το δείγμα NP_2B_1K, 95.88% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας 17. Στο διάγραμμα του συγκεκριμένου δείγματος παρατηρείται ενδόθερμη κορυφή που αποδίδεται στην αφυδροξυλίωση του Ca(OH)₂ στους 472°C, από όπου υπολογίζεται το περιεχόμενο ποσοστό πορτλαντίτη ίσο με 6.45%.

Για τα δείγματα NP_2Z_1K και NP_3B_1K προσδιορίζεται το περιεχόμενο ποσοστό CaCO₃ ~92% και ~84% αντίστοιχα, ενώ ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας υπολογίζεται πάνω από 30 και για τα δύο.

Πίνακας IV.6: Αποτελέσματα θερμοβαρυμετρικής ανάλυσης στα συσσωματώματα κονιάς (Lumps)

Δείγμα	Απώλεια μάζας (%) ανά θερμοκρασιακό διάστημα			
	<120°C	120-200°C	200-600°C	>600°C
NP_2B_1L Lumps	0.27	0.17	2.71 0.63+ 2.08	38.20
NP_2B_3L Lumps	0.10	0.07	0.9 0.36+ 0.54	40.63
NP_2Z_1L Lumps	0.22	0.12	1.1 0.73+ 0.37	41.83
NP_2Z_2L Lumps	0.20	0.11	1.00	42.18
NP_3B_1L Lumps	0.28	0.14	0.67	41.62
NP_3B_2L Lumps	0.14	0.09	0.92	42.19
NP_3B_6L Lumps	0.04	0.04	0.38	42.30

Από τα αποτελέσματα της θερμικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε σε συσσωματώματα κονιάς, παρατηρείται ότι οι απώλειες μάζας μέχρι τους 600°C, είναι σχετικά μικρές. Στα διαγράμματα των δειγμάτων NP_2B_1L, NP_2B_2L και NP_2Z_1L, εμφανίζεται ενδόθερμη κορυφή στους ~ 465°C, η οποία αποδίδεται στην αφυδροξυλίωση του Ca(OH)₂. Προσδιορίζεται, για τα τρία αυτά δείγματα, το περιεχόμενο ποσοστό πορτλαντίτη ίσο με 8.55%, 2.22% και 1.52%. Από την ποσοστιαία απώλεια μάζας στο διάστημα >600°C, υπολογίζεται το περιεχόμενο ποσοστό CaCO₃ για κάθε δείγμα αντίστοιχα 95.46%, 95.43%, 97.22%, 95.96%, 94.69%, 95.98% και 96.23%.

Στον παρακάτω Πίνακα IV.7, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά αποτελέσματα για κάθε θέση δειγματοληψίας με το μέσο όρο της απώλειας μάζας για το ολικό δείγμα, καθώς και την τυπική τους απόκλιση.

Πίνακας IV.7.: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων με το μέσο όρο της απώλειας μάζας για το ολικό δείγμα, καθώς και την τυπική τους απόκλιση. (Μ.Ο.=Μέσος Όρος, Τ.Α.=Τυπική Απόκλιση)

Θέση	Απώλεια μάζας (%) ανά θερμοκρασιακό διάστημα								Περιεχόμενο ποσοστό CaCO ₃ (%)		CO ₂ / H ₂ O	
	<120°C		120-200°C		200-600°C		>600°C					
	Μ.Ο	Τ.Α.	Μ.Ο	Τ.Α.	Μ.Ο	Τ.Α.	Μ.Ο	Τ.Α.	Μ.Ο.	Τ.Α	Μ.Ο	Τ.Α.
2B	0.58	0.16	0.30	0.11	1.94	0.62	36.57	1.58	87.63	4.7	21.68	9.0
2Z	0.27	0.00	0.14	0.01	1.32	0.02	40.33	0.02	91.55	0.1	30.92	0.1
3B	0.52	0.18	0.35	0.13	1.46	0.30	34.19	3.88	77.62	8.8	24.83	7.7

Στο θερμοκρασιακό διάστημα <120°C, εμφανίζονται παραπλήσιες απώλειες μάζας για τα σκυροδέματα των θέσεων δειγματοληψίας 2B και 3B και χαμηλότερες για αυτά της θέσης 2Z. Για το θερμοκρασιακό διάστημα 120-200°C εμφανίζονται χαμηλότερες απώλειες μάζας για τα σκυροδέματα της θέσης 2Z. Για τη θέση 2B, οι απώλειες μάζας στους 200-600°C παρατηρούνται ελαφρώς υψηλότερες από τις υπόλοιπες. Το περιεχόμενο ποσοστό CaCO₃, το οποίο υπολογίζεται από τις απώλειες μάζας στο διάστημα >600°C, υπολογίζεται υψηλότερο για τη θέση 2Z και χαμηλότερο για τη θέση 3B. Για τη θέση 2Z, προσδιορίζεται και ο μεγαλύτερος αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, για όλα τα δείγματα που μελετήθηκαν, προσδιορίστηκε μικρό ποσοστό φυσικά δεσμευμένου νερού (<1%), πολύ υψηλό περιεχόμενο ποσοστό CaCO₃ και αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας μεγαλύτερος του 10. Συμπεραίνεται ότι τα σκυροδέματα είναι ασβεστιτικά με αδρανή αβεστολιθικής φύσης και μικρές προσμίξεις αργιλοπυριτικών. Τα σκυροδέματα από τη θέση δειγματοληψίας 2Z εμφανίζουν μεγαλύτερη ομοιογένεια με περισσότερα ασβεστολιθικά αδρανή. Η ποιότητα της κονίας κρίνεται καλή, ενώ η παρουσία πορτλαντίτη φανερώνει ποσοστό κονίας που δεν έχει ενανθρακωθεί μετά την πάροδο τόσων αιώνων.

IV.5 Προσδιορισμός των Υγρομετρικών

Χαρακτηριστικών

IV.5.1 Προσδιορισμός Συντελεστή Υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης

Οι δοκιμές της υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης έγιναν σε δοκίμια διαστάσεων περίπου 5x5x5 cm. Για κάθε δοκίμιο πραγματοποιήθηκαν δύο σειρές μετρήσεων, η πρώτη στην κατεύθυνση της σκυροδετήσεως και η δεύτερη περιστρέφοντας το δοκίμιο κατά 90°, κάθετα στην κατεύθυνση σκυροδετήσεως.

Με βάση τα δεδομένα μάζας- χρόνου που μετρήθηκαν, κατασκευάζεται η καμπύλη υδατοαπορρόφησης με κάθετο άξονα τη διαφορά μάζας ανά μονάδα επιφάνειας [$\Delta B/S$ (g/cm^2)] και οριζόντιο άξονα την τετραγωνική ρίζα του χρόνου [\sqrt{t} ($s^{-1/2}$)].

Ο συντελεστής υδατοαπορρόφησης υπολογίζεται από τον τύπο:

$$C = \frac{\Delta B}{(S \cdot \sqrt{t})}$$

Όπου:

ΔB : Η μάζα νερού που απορροφήθηκε συνολικά (mg),

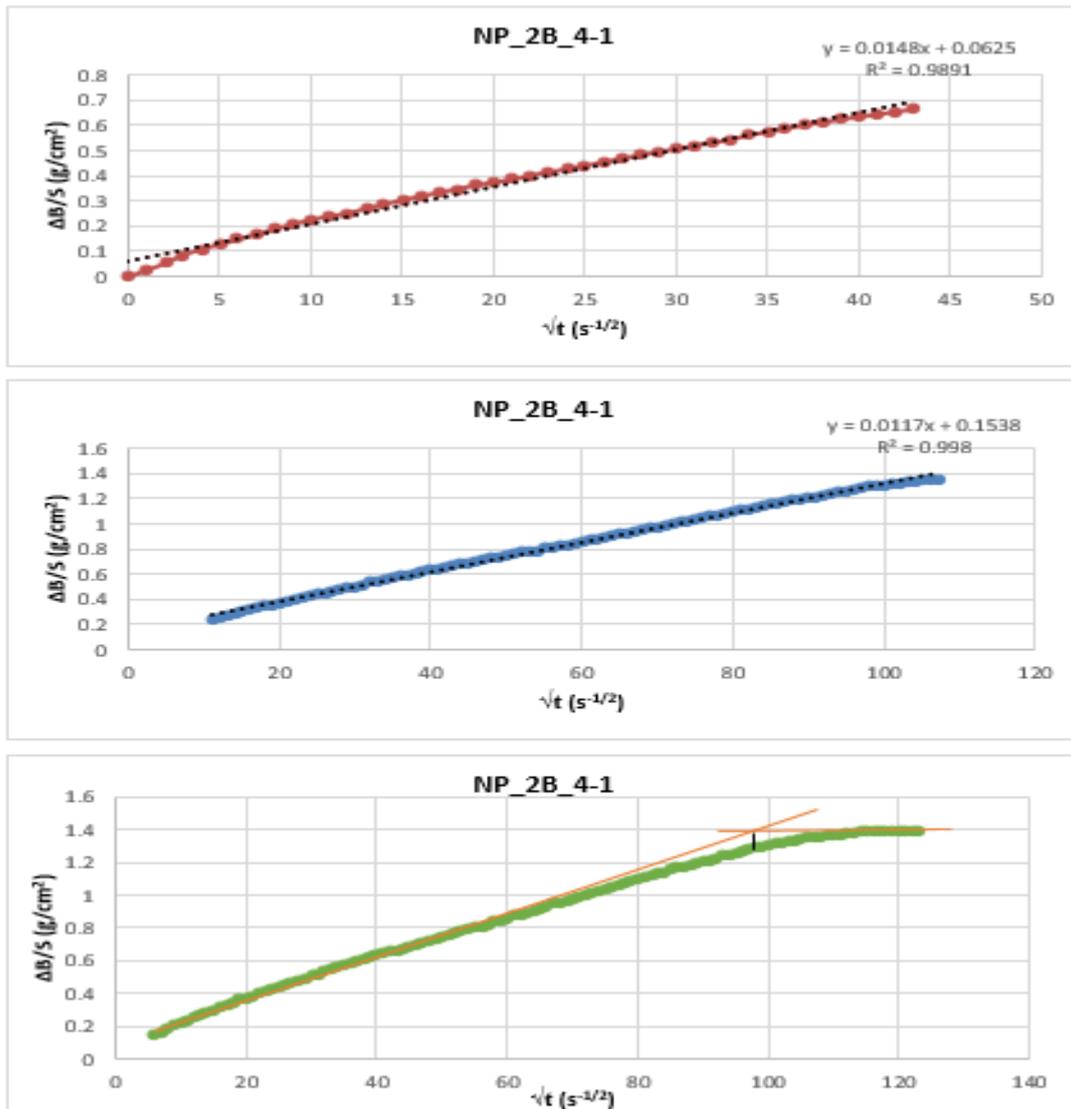
S : Η επιφάνεια του δείγματος που έρχεται σε επαφή με το νερό (cm^2)

t : Ο συνολικός χρόνος απορρόφησης (sec)

Στη συγκεκριμένη εργασία, ο συντελεστής υδατοαπορρόφησης υπολογίστηκε με τρεις διαφορετικούς τρόπους από διαφορετικά πρότυπα [67, 68]:

- α.** Με τη μέθοδο των **30 min** (UNI 10859:2000), από τον αρχικό τύπο για $t=30$ min ($t=1800$ sec). Ο λόγος αντιστοιχεί στην τάση ευθείας που περνάει από την αρχή των αξόνων και το σημείο της καμπύλης για $t=1800$ sec (Σχήμα IV.11 α) [62].
- β.** Με τη μέθοδο του **γραμμικού τμήματος** (EN 15801:2010), από την κλίση του αρχικού τμήματος της καμπύλης (Σχήμα IV.11 β) [61].
- γ.** Με τη μέθοδο των **δύο εφαπτομένων** (Normal 11/85), φέρνοντας δύο εφαπτομένες, μία στις αρχικές τιμές της καμπύλης και μία στις τελικές (γραμμικό μέρος). Από την

τετμημένη του σημείου τομής, υπολογίζεται ο λόγος $\Delta B/(S \cdot \sqrt{t})$ για την συγκεκριμένη τιμή (\sqrt{t}). Ο λόγος αντιστοιχεί στην τάση ευθείας που περνάει από την αρχή των αξόνων και το σημείο της καμπύλης για την συγκεκριμένη τιμή του t (Σχήμα IV.11 γ) [63].

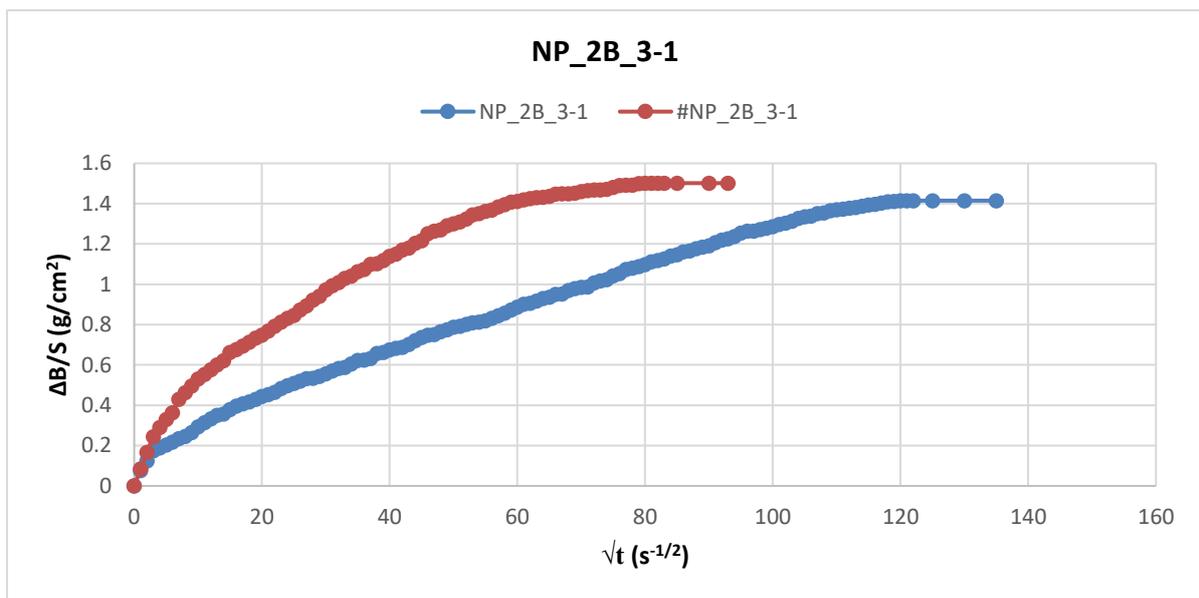


Σχήμα IV.11: Προσδιορισμός του συντελεστή υδατοαπορρόφησης α) στα 30 min, β) με τη μέθοδο του γραμμικού τμήματος, γ) με τη μέθοδο δύο εφαπτομένων

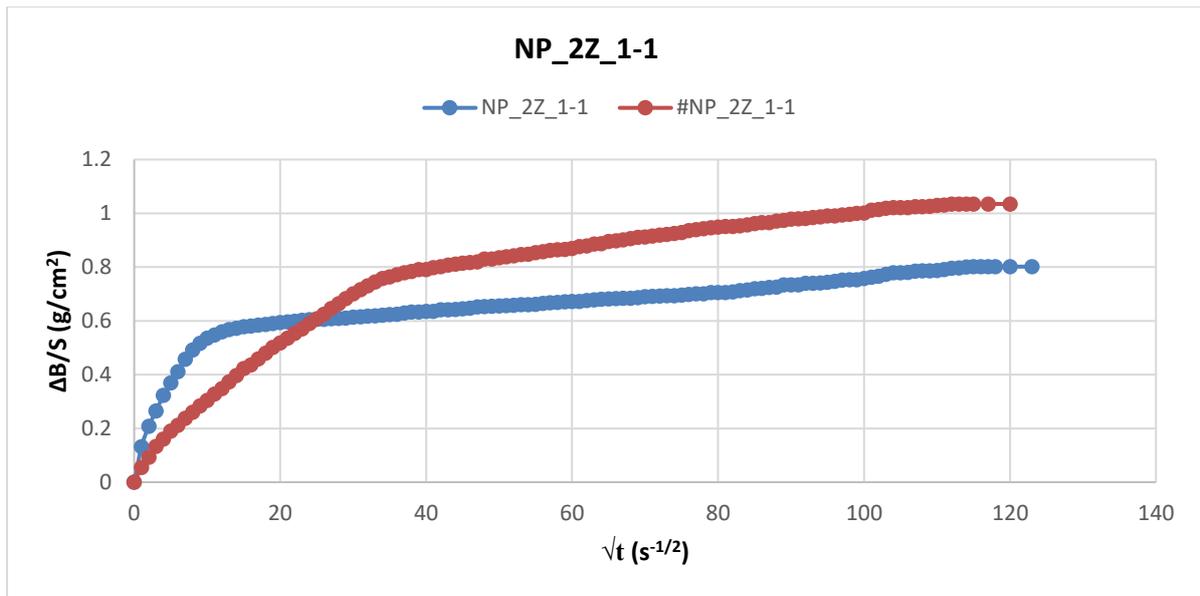
Μετά το τέλος των μετρήσεων, τα δοκίμια παρέμειναν στο νερό και ζυγίστηκαν σε 24h και 48h, για να προσεγγιστεί η πλήρωση των τριχοειδών πόρων. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τις οποίες εκτελέστηκαν οι δοκιμές ήταν ανάλογες, με σχετική υγρασία $RH_1: 45 \pm 5\%$, θερμοκρασία περιβάλλοντος $T_1: 22 \pm 1^\circ C$ και θερμοκρασία νερού γύρω στους 2 βαθμούς

χαμηλότερα, για την πρώτη σειρά μετρήσεων. Η δεύτερη σειρά μετρήσεων πραγματοποιήθηκε σε λίγο πιο υψηλές συνθήκες θερμοκρασίας, με $RH_2: 40 \pm 10\%$, $T_2: 29 \pm 1^\circ C$ και θερμοκρασία νερού 2 βαθμούς χαμηλότερα.

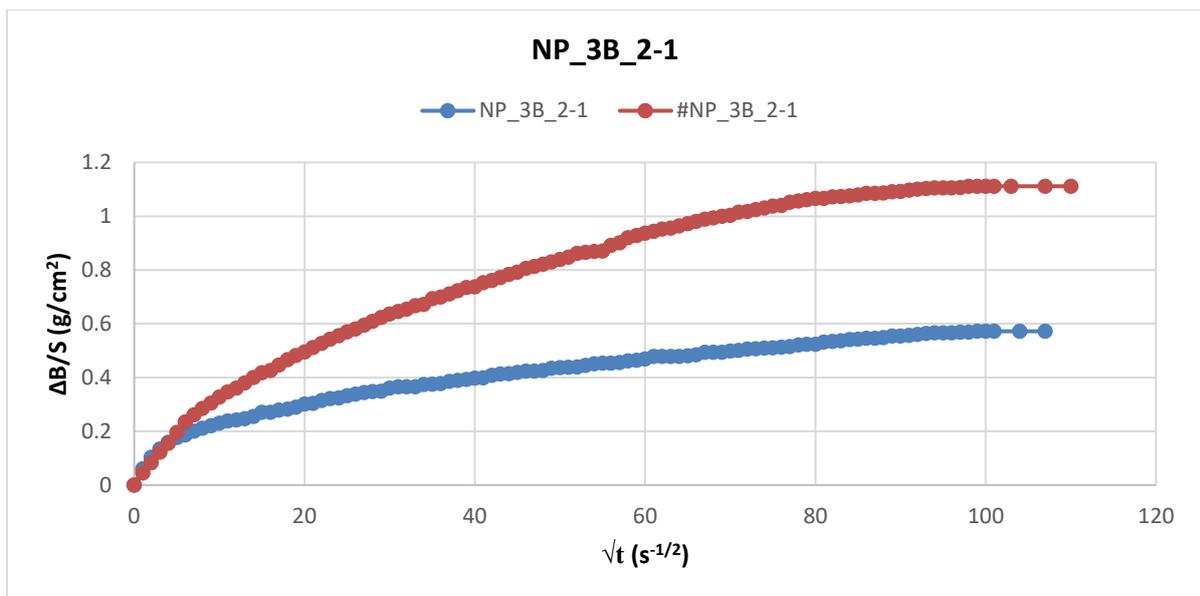
Στο Παράρτημα III παρουσιάζονται όλες οι καμπύλες υδατοαπορρόφησης για τις δύο μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για κάθε δοκίμιο, ενώ παρακάτω παρατίθενται χαρακτηριστικές καμπύλες υδατοαπορρόφησης για κάθε θέση δειγματοληψίας (Σχήματα IV.12-14). Η μέτρηση που έγινε στην κατεύθυνση της σκυροδετήσεως συμβολίζεται με τον κωδικό του δείγματος, ενώ αυτή κάθετα στην κατεύθυνση σκυροδετήσεως συμβολίζεται με “#” και τον κωδικό του δείγματος. Ακολούθως παρατίθεται ο πίνακας με τα αποτελέσματα εύρεσης του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης από τις καμπύλες υδατοαπορρόφησης, με τρεις διαφορετικούς τρόπους εύρεσης (Πίνακας IV.8).



Σχήμα IV.12: Χαρακτηριστική καμπύλη υδατοαπορρόφησης για τα δοκίμια από τη θέση δειγματοληψίας 2B



Σχήμα IV.13: Χαρακτηριστική καμπύλη υδατοαπορρόφησης για τα δοκίμια από τη θέση δειγματοληψίας 2Z



Σχήμα IV.14: Χαρακτηριστική καμπύλη υδατοαπορρόφησης για τα δοκίμια από τη θέση δειγματοληψίας 3B

Από τις καμπύλες υδατοαπορρόφησης, για όλα σχεδόν τα δοκίμια, παρατηρείται ότι στην δεύτερη σειρά δοκιμών, κάθετα στην κατεύθυνση σκυροδετήσεως, η τάση υδατοαπορρόφησης και η συνολική απορρόφηση νερού είναι μεγαλύτερες. Για τα δοκίμια που περιέχουν την καφέ στρώση, παρατηρήθηκε ότι το νερό δεν έφτασε ποτέ στην πάνω επιφάνεια. Πιθανότατα, η καφέ στρώση των 1-2 mm χρησιμοποιήθηκε για να περιορίσει την

άνοδο του νερού. Στα δοκίμια που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ομοιογένεια, και δεν εμφανίζουν διαστρωμάτωση, (NP_2B_1, NP_3B_2-2) οι καμπύλες είναι σχεδόν ταυτόσημες. Την μεγαλύτερη απόκλιση στις καμπύλες υδατοαπορρόφησης, εμφανίζουν τα δείγματα από τη θέση 2Z, καθώς η περιοχή (B) που έρχεται σε επαφή με το νερό, απορροφά νερό με πολύ γρήγορο ρυθμό σε σχέση με τα υπόλοιπα. Συμπεραίνεται ότι, η σκυροδέτηση έχει γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να παρεμποδίζεται η απορρόφηση του νερού.

Πίνακας IV.8: Αποτελέσματα συντελεστή υδατοαπορρόφησης με τρεις διαφορετικές μεθόδους και για τις δύο σειρές μετρήσεων

Δείγμα	Συντελεστής υδατοαπορρόφησης C στα 30 min mg/(cm ² s ^{1/2})	Συντελεστής υδατοαπορρόφησης C με μία επαπτομένη mg/(cm ² s ^{1/2})	Συντελεστής υδατοαπορρόφησης C με δύο επαπτομένες mg/(cm ² s ^{1/2})
NP_2B_1	16.4	7.8	12.0
#NP_2B_1	15.2	10.1	12.1
NP_2B_3-1	14	10.5	12.5
#NP_2B_3-1	24.1	18.1	23.5
NP_2B_3-2	25.9	17.9	25.4
#NP_2B_3-2	22.1	22.4	23.2
NP_2B_4-1	14.8	11.7	12.9
#NP_2B_4-1	26.7	24.9	25.1
NP_2B_4-2	9	4.6	7.1
#NP_2B_4-2	13.3	5.7	9.1
NP_2B_4-3	15.3	12.1	16.4
#NP_2B_4-3	13	8.2	10.9

Δείγμα	Συντελεστής υδατοαπορρόφησης C στα 30 min mg/(cm ² s ^{1/2})	Συντελεστής υδατοαπορρόφησης C με μία επαπτομένη mg/(cm ² s ^{1/2})	Συντελεστής υδατοαπορρόφησης C με δύο επαπτομένες mg/(cm ² s ^{1/2})
NP_2B_4-4	10.5	8.9	10.1
#NP_2B_4-4	16.3	9.8	13.1
NP_2Z_1-1	8.7	2.1	7.1
#NP_2Z_1-1	18.4	20.3	17.8
NP_2Z_1-2	8.4	2.3	5.9
#NP_2Z_1-2	14.2	12	13.8
NP_3B_2-1	7.2	3.7	6.5
#NP_3B_2-1	16.3	9.6	14.3
NP_3B_2-2	12.3	7.1	11.6
#NP_3B_2-2	12.2	6.8	10.8
NP_3B_3	9.3	5.1	7.8
#NP_3B_3	14.2	8.4	12.6
NP_3B_4	9.6	4.5	7.9
#NP_3B_4	11.2	7.1	9.3
NP_3B_5	17.1	12	15.9
#NP_3B_5	22.1	17.9	21.6

Παρατηρώντας τον Πίνακα IV.8, είναι εμφανές ότι υπάρχει μια διαφοροποίηση στις τιμές του συντελεστή υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδών πόρων ανάμεσα στους τρεις διαφορετικούς τρόπους υπολογισμού του. Η μέθοδος των 30 min εμφανίζει τις μεγαλύτερες

τιμές για όλα σχεδόν τα δοκίμια, και με τους δύο τρόπους μέτρησης. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι στην αρχή τα δοκίμια απορροφούν νερό σχετικά γρήγορα, μέχρι να αποκτήσουν έναν πιο σταθερό ρυθμό απορρόφησης. Η μέθοδος της του γραμμικού τμήματος εμφανίζει τις πιο χαμηλές τιμές, ενώ αυτή των δύο εφαπτομένων εμφανίζει τιμές ενδιάμεσα των άλλων δύο.

Λόγω της ανομοιομορφίας των υλικών και της απόκλισης από τη γραμμικότητα στον αρχικό ρυθμό υδατοαπορρόφησης στα πειράματα τριχοειδούς αναρρίχησης, η μέθοδος των 30 min κρίνεται ακατάλληλη για τον υπολογισμό του συντελεστή υδατοαπορρόφησης. Για τον ίδιο λόγο και η μέθοδος του γραμμικού τμήματος δεν υπολογίζει με ακρίβεια την τιμή του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης και αυτό γιατί στα δομικά υλικά με μη γραμμικό αρχικό ρυθμό υδατοαπορρόφησης, η κλίση (άρα και ο συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης) αλλάζει κάθε χρονική στιγμή κατά την εξέλιξη του πειράματος τριχοειδούς αναρρίχησης. Τέλος, με τη μέθοδο των δύο εφαπτομένων αίρεται η μη γραμμικότητα στον αρχικό ρυθμό υδατοαπορρόφησης ορισμένων δομικών υλικών και συνεπώς η μέθοδος αυτή είναι και η πιο ενδεδειγμένη για τον υπολογισμό του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης [60].

Συγκρίνοντας τους συντελεστές υδατοαπορρόφησης για τις δύο διαφορετικές δοκιμές τριχοειδούς αναρρίχησης (στην κατεύθυνση σκυροδετήσεως και κάθετα σε αυτήν), παρατηρείται ότι στα δοκίμια με την μεγαλύτερη ανομοιογένεια και σε αυτά που έχουν απώλειες υλικού, οι διαφορές στον συντελεστή υδατοαπορρόφησης είναι σχετικά μεγάλες. Όσον αφορά τη σύγκριση μεταξύ των συντελεστών υδατοαπορρόφησης (με τη μέθοδο των δύο εφαπτομένων) για κάθε θέση δειγματοληψίας στην κατεύθυνση σκυροδετήσεως, όπως παρατηρείται στον Πίνακα IV.9, τα δοκίμια της θέσης 2B παρουσιάζουν μεγαλύτερο συντελεστή και μεγαλύτερη τυπική απόκλιση, ενώ τα δοκίμια των θέσεων 2Z παρουσιάζουν τον μικρότερο.

Πίνακας IV.9: Πίνακας σύγκρισης συντελεστή υδατοαπορρόφησης με τη μέθοδο των δύο εφαπτομένων για κάθε θέση δειγματοληψίας, στην κατεύθυνση σκυροδετήσεως, με τυπική απόκλιση

Θέση	Συντελεστής υδατοαπορρόφησης C με δύο εφαπτομένες $\text{mg}/(\text{cm}^2\text{s}^{1/2})$ για μέτρηση στην κατεύθυνση σκυροδετήσεως	
	M.O	T.A.
2B	13.77	5.4
2Z	6.50	0.6
3B	7.1	4.5

IV.5.2 Προσδιορισμός του πορώδους προσβάσιμο στο νερό διαμέσω των τριχοειδών

Από τη δοκιμή της υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης, εκτός από το συντελεστή υδατοαπορρόφησης, υπολογίζονται επίσης τα εξής:

1. Η συνολική μεταβολή της μάζας λόγω ρόφησης μέσω τριχοειδών (%), όπου ισοδυναμεί με την συνολική μάζα νερού που απορροφήθηκε (%) ($M_{\text{water}}\%$):

$$M_{\text{water}}\% = \frac{M_{\text{τελ.}} - M_{\text{αρχ.}}}{M_{\text{αρχ.}}} \cdot 100$$

Όπου:

$M_{\text{τελ.}}$: Η τελική μάζα του δοκιμίου σε (g)

$M_{\text{αρχ.}}$: Η αρχική ξηρή μάζα του δοκιμίου σε (g)

2. Ο συνολικός προσροφώμενος όγκος νερού ανά g δείγματος (T.C.V.w., total cumulative volume of water, mm^3/g):

$$\text{T. C. V. w.} = \frac{V_w}{M_{\text{αρχ.}}}$$

Όπου:

V_w : Ο συνολικός προσροφώμενος όγκος νερού σε (mm^3/g), ο οποίος υπολογίζεται από την συνολική ποσότητα σε g του προσροφώμενου νερού, διαιρώντας με την αντίστοιχη πυκνότητα του νερού στην κάθε θερμοκρασία νερού, που μετρήθηκε κατά τη διάρκεια των δοκιμών με θερμόμετρο (οι τιμές για την κάθε πυκνότητα του νερού βρέθηκαν βιβλιογραφικά)

$M_{\text{αρχ.}}$: Η αρχική ξηρή μάζα του δοκιμίου σε (g).

3. Το πορώδες προσβάσιμο στο νερό μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης (%):

$$P\% = \text{T. C. V. w.} \times \text{Φαινόμενη Πυκνότητα}$$

Όπου:

T.C.V.w.: Ο συνολικός προσροφώμενος όγκος νερού ανά g δείγματος σε (mm^3/g)

Φαινόμενη Πυκνότητα: Η φαινόμενη πυκνότητα σε (g/cm^3) η οποία υπολογίζεται από τις διαστάσεις του δοκιμίου προς την αρχική ξηρή μάζα του.

Πίνακας IV.10: Αποτελέσματα υδατοαπορρόφησης με τριχοειδή αναρρίχηση για M_{water} (%), T.C.V.w (mm³/g) και P (%)

Δείγμα	Συνολική απορροφώμενη μάζα νερού (%)	Συνολικός προσροφώμενος όγκος νερού ανά g δείγματος (mm ³ /g)	Ποσοστό πορώδους προσβάσιμο στο νερό διαμέσω τριχοειδών (%)
NP_2B_1	18.62	186.46	30.58
#NP_2B_1	19.12	191.82	31.46
NP_2B_3-1	23.03	230.61	37.36
#NP_2B_3-1	23.13	231.41	37.49
NP_2B_3-2	22.73	227.88	36.69
#NP_2B_3-2	23.50	235.81	37.97
NP_2B_4-1	19.15	191.76	32.22
#NP_2B_4-1	19.34	194.12	32.61
NP_2B_4-2	11.13	111.50	17.84
#NP_2B_4-2	15.97	160.22	25.64
NP_2B_4-3	14.85	148.70	23.94
#NP_2B_4-3	17.03	170.75	27.49
NP_2B_4-4	16.35	163.70	28.43
#NP_2B_4-4	15.02	150.57	25.60
NP_2Z_1-1	9.67	96.83	16.72
#NP_2Z_1-1	12.60	126.44	21.81

Δείγμα	Συνολική απορροφώμενη μάζα νερού (%)	Συνολικός προσροφώμενος όγκος νερού ανά g δείγματος (mm ³ /g)	Ποσοστό πορώδους προσβάσιμο στο νερό διαμέσω τριχοειδών (%)
NP_2Z_1-2	12.22	122.38	20.68
#NP_2Z_1-2	12.74	127.73	21.59
NP_3B_2-1	11.16	111.83	19.12
#NP_3B_2-1	14.25	143.02	24.46
NP_3B_2-2	13.08	131.07	22.02
#NP_3B_2-2	13.18	132.32	22.23
NP_3B_3	7.12	71.32	12.31
#NP_3B_3	11.04	110.65	18.85
NP_3B_4	12.04	120.65	20.51
#NP_3B_4	12.48	125.11	21.27
NP_3B_5	19.22	192.57	31.20
#NP_3B_5	19.26	193.23	31.30

Από τα αποτελέσματα των δοκιμών υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης (Πίνακας IV.10), παρατηρείται ότι για τα περισσότερα δοκίμια η συνολική απορροφώμενη μάζα νερού (%), τόσο για τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στην κατεύθυνση της σκυροδετήσεως, όσο και για αυτές που πραγματοποιήθηκαν κάθετα σε αυτήν, υπολογίζεται περίπου η ίδια. Ομοίως και το ποσοστό πορώδους που είναι προσβάσιμο στο νερό διαμέσω των τριχοειδών. Αποκλίσεις εμφανίζουν τα δοκίμια NP_2B_4-2, NP_2B_4-3, NP_2Z_1-1, NP_3B_2-1 και το NP_3B_3. Το γεγονός αυτό οφείλεται πιθανότατα στην καφέ στρώση που παρεμποδίζει την απορρόφηση του νερού, στην ανομοιογένεια του υλικού αλλά και στην

ανομοιομορφία των δοκιμών. Στα δοκίμια που περιέχουν την καφέ στρώση, παρατηρήθηκε ότι το νερό δεν έφτασε ποτέ στην ανώτερη επιφάνεια.

Τα δοκίμια από τη θέση δειγματοληψίας 2B, όπως φαίνεται στον Πίνακα IV.11 εμφανίζουν μεγάλο ποσοστό πορώδους που ξεπερνά το 30% για τα περισσότερα από αυτά. Τα δοκίμια από τη θέση 2Z, παρουσιάζουν τα μικρότερα ποσοστά πορώδους σε σχέση με τα υπόλοιπα, ~ 20%. Οι τιμές του πορώδους για τα δείγματα των θέσεων 2B και 3B εμφανίζουν τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις μεταξύ τους. Τα δείγματα της θέσης 3B παρουσιάζουν τον μικρότερο συνολικό προσροφώμενο όγκο, και της 2B τον μεγαλύτερο.

Πίνακας IV.11: Συγκεντρικός πίνακας αποτελεσμάτων ολικού πορώδους προσβάσιμου στο νερό μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης και συνολικού προσροφώμενου όγκου νερού ανά g δείγματος, ανάλογα με τη θέση δειγματοληψίας, με τον μέσο όρο και την τυπική απόκλιση

Θέση	Ολικό πορώδες προσβάσιμο στο νερό διαμέσω τριχοειδών (%)		Συνολικός προσροφώμενος όγκος νερού ανά g δείγματος (mm ³ /g)	
	Μ.Ο	Τ.Α.	Μ.Ο	Τ.Α.
2B	30.38	8.8	185.38	35.9
2Z	20.20	1.7	118.20	12.6
3B	22.33	7.0	133.18	35.0

IV.6 Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών

μικροδομής - Πορομετρία Υδραργύρου

Στα ληφθέντα δείγματα εφαρμόστηκε η τεχνική της πορομετρίας Hg (MIP) για τη μελέτη των χαρακτηριστικών της μικροδομής των σκυροδεμάτων. Στην παρούσα ενότητα παρατίθενται συγκεντρωτικά και συζητούνται τα αποτελέσματα που ελήφθησαν. Υπολογίζονται τα μεγέθη ολικό ανοιχτό πορώδες (%), φαινόμενη πυκνότητα του δείγματος (g/cm^3), ολικός ειδικός όγκος (mm^3/g) του Hg που εισδύει στους πόρους του δείγματος, ειδική επιφάνεια (m^2/g) των πόρων του δείγματος και μέση τιμή των ακτίνων των πόρων (μm) (Πίνακας IV.12). Παρατίθενται, επίσης, ο συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων Πορομετρίας Υδραργύρου ανάλογα με τη θέση, ενώ καταγράφεται και η τυπική απόκλιση των τιμών (Πίνακας IV.13). Τα διαγράμματα κατανομής του ολικού ειδικού όγκου των κενών με την ακτίνα των πόρων παρουσιάζονται στο Παράρτημα IV.

Πίνακας IV.12: Παράμετροι μικροδομής προσδιορισμένοι με την πορομετρία υδραργύρου

Δείγμα	Ολικός ειδικός όγκος (mm^3/g)	Φαινόμενη πυκνότητα (g/cm^3)	Ολικό πορώδες (%)	Μέση ακτίνα πόρων (μm)	Ειδική επιφάνεια (m^2/g)
NP_2B_1	168.49	1.73	29.13	0.20	4.65
NP_2B_2	142.00	1.88	26.69	0.99	2.60
NP_2B_3	144.33	1.78	25.97	0.14	5.13
NP_2B_4	201.34	1.70	34.11	0.26	3.45
NP_2Z_1	135.98	1.91	25.97	0.32	4.05
NP_2Z_2	145.20	1.88	27.36	0.53	2.57
NP_3B_1	261.02	1.53	40.03	0.28	5.23
NP_3B_2	79.11	2.11	16.68	0.02	8.77
NP_3B_3	162.08	1.80	29.14	0.07	9.34

Δείγμα	Ολικός ειδικός όγκος (mm ³ /g)	Φαινόμενη πυκνότητα (g/cm ³)	Ολικό πορώδες (%)	Μέση ακτίνα πόρων (μm)	Ειδική επιφάνεια (m ² /g)
NP_3B_4	216.04	1.60	34.64	0.05	17.21
NP_3B_5	163.52	1.76	28.71	0.10	12.72
NP_3B_6	141.63	1.87	26.56	0.34	3.35

Για το δείγμα NP_2B_1, το ολικό πορώδες προσδιορίζεται 29.13%, ο ολικός ειδικός όγκος 168.49 mm³/g η φαινόμενη πυκνότητα 1.73, η μέση ακτίνα πόρων 0.20 μm και η ειδική επιφάνεια 4.65 m²/g. Στο διάγραμμα κατανομής του ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων, παρατηρείται μονοκόρυφη κατανομή με συχνότερη τιμή κατανομής του όγκου κενών στα 0.4 μm. Για τα δείγματα NP_2B_2 και NP_2B_3 υπολογίζεται ολικό πορώδες 26.69% και 25.97%, ενώ για το πρώτο καταγράφεται υψηλότερη τιμή μέσης ακτίνας πόρων, σε σχέση με τα υπόλοιπα, και κατανομή δικόρυφη, μετατοπισμένη σε μεγαλύτερες ακτίνες πόρων. Η κατανομή στο διάγραμμα του NP_2B_3 είναι μονοκόρυφη με συχνότερη τιμή κατανομής του όγκου κενών στα 0.4 μm. Για το δείγμα NP_2B_4 προσδιορίζεται υψηλότερη τιμή ολικού ειδικού όγκου, 201.34 mm³/g, ενώ στο διάγραμμα κατανομής παρατηρείται μονοκόρυφη κατανομή με συχνότερη τιμή κατανομής στα 0.5 μm.

Τα δείγματα NP_2Z_1 και NP_2Z_2 παρουσιάζουν αντίστοιχες τιμές παραμέτρων μικροδομής, με ολικό πορώδες ~ 26%, ενώ το NP_2Z_1 εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές ειδικής επιφάνειας. Στο διάγραμμα κατανομής παρατηρείται και για τα δύο δικόρυφη κατανομή με συχνότερη τιμή κατανομής στα 0.6 μm και 9 μm και 0.7 μm και 4 μm αντίστοιχα.

Για το δείγμα NP_3B_1 υπολογίζεται η υψηλότερη τιμή ολικού ειδικού όγκου (261.02 mm³/g), η μικρότερη τιμή φαινόμενης πυκνότητας (1.53 g/cm³) και το υψηλότερο ποσοστό πορώδους (40.03%), σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα δείγματα. Αυτό πιθανότατα οφείλεται σε συσσωμάτωμα κόνιας που υπήρχε στο δείγμα που μελετήθηκε. Το διάγραμμα κατανομής παρουσιάζει μονοκόρυφη κατανομή με τη μεγαλύτερη κορυφή να αντιστοιχεί σε ακτίνα πόρων 0.4 μm. Αντίθετα, το δείγμα NP_3B_2 παρουσιάζει διαφορετική μικροδομή με τα υπόλοιπα, υπολογίστηκε η μικρότερη τιμή ολικού ειδικού όγκου (79.11 mm³/g), η υψηλότερη τιμή φαινόμενης πυκνότητας (2.11 g/cm³), το μικρότερο ποσοστό πορώδους

(16.68%) και η μικρότερη μέση ακτίνα πόρων (0.02 μm). Το δείγμα αυτό περιείχε μεγάλο τμήμα από την καφέ στρώση, η οποία πιθανότατα χρησιμοποιήθηκε για να παρεμποδίσει την άνοδο του νερού. Το διάγραμμα κατανομής παρουσιάζει μονοκόρυφη κατανομή, μετατοπισμένη προς μικρότερες ακτίνες πόρων με ανοδική τάση. Το σκυρόδεμα αυτό προσομοιάζει σκυρόδεμα με βάση το τσιμέντο.

Στα δείγματα NP_3B_3 και NP_3B_5 παρατηρούνται αντίστοιχες τιμές παραμέτρων μικροδομής μεταξύ τους, με το δεύτερο να εμφανίζει υψηλότερη ειδική επιφάνεια, γεγονός που υποδεικνύει ότι στο δείγμα που εξετάστηκε, πιθανότατα υπήρχε κάποιο πορώδες υλικό (π.χ. συσσωμάτωμα κονίας, πορώδες αδρανές). Το διάγραμμα κατανομής του NP_3B_3 παρουσιάζει μονοκόρυφη κατανομή, μετατοπισμένη προς μικρότερες ακτίνες πόρων, ενώ η κορυφή του αντιστοιχεί σε ακτίνα πόρων 0.05 μm ενώ του NP_3B_5 παρουσιάζει σχετικά ομοιόμορφη κατανομή.

Το δείγμα NP_3B_4 παρουσιάζει εντελώς διαφορετική μικροδομή από τα υπόλοιπα, με μεγαλύτερες τιμές ολικού ειδικού όγκου, πορώδους και ειδικής επιφάνειας και μικρότερες τιμές μέσης ακτίνας πόρων και φαινόμενης πυκνότητας. Η καμπύλη στο διάγραμμα κατανομής είναι μετατοπισμένη σε μικρότερες ακτίνες πόρων.

Στο δείγμα NP_3B_6 παρατηρείται μεγαλύτερη τιμή μέσης ακτίνας πόρων και μικρότερη ειδική επιφάνεια σε σχέση με τα υπόλοιπα της ίδιας θέσης δειγματοληψίας, ενώ το ολικό πορώδες προσδιορίζεται ~27%. Το διάγραμμα κατανομής του NP_3B_6 παρουσιάζει δικόρυφη κατανομή, με συχνότερη τιμή κατανομής του όγκου κενών στα 0.4 μm με 60 μm .

Πίνακας IV.13: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων Πορομετρίας Υδραργύρου ανάλογα με τη θέση δειγματοληψίας, με τον μέσο όρο και την τυπική απόκλιση

Θέση	Ολικός ειδικός όγκος (mm^3/g)		Φαινόμενη πυκνότητα (g/cm^3)		Ολικό πορώδες (%)		Μέση ακτίνα πόρων (μm)		Ειδική επιφάνεια (m^2/g)	
	Μ.Ο	Τ.Α.	Μ.Ο	Τ.Α.	Μ.Ο	Τ.Α.	Μ.Ο	Τ.Α.	Μ.Ο	Τ.Α.
2B	164.04	23.90	1.77	0.07	28.98	3.19	0.40	0.34	3.96	0.99
2Z	140.59	4.61	1.90	0.02	26.67	0.70	0.43	0.11	3.31	0.74

Θέση	Ολικός ειδικός όγκος (mm ³ /g)		Φαινόμενη πυκνότητα (g/cm ³)		Ολικό πορώδες (%)		Μέση ακτίνα πόρων (μm)		Ειδική επιφάνεια (m ² /g)	
	Μ.Ο	Τ.Α.	Μ.Ο	Τ.Α.	Μ.Ο	Τ.Α.	Μ.Ο	Τ.Α.	Μ.Ο	Τ.Α.
3B	170.57	57.12	1.78	0.19	29.29	7.20	0.14	0.12	9.44	4.59

Από τον συγκεντρωτικό πίνακα αποτελεσμάτων της πορομετρίας υδραργύρου, παρατηρείται ότι τα σκυροδέματα και από τις τρεις θέσεις δειγματοληψίας παρουσιάζουν υψηλό ολικό πορώδες 27-29%. Τα δείγματα της θέσης 3B παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τυπικές αποκλίσεις, ιδίως όσον αφορά την ειδική επιφάνεια και την φαινόμενη πυκνότητα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μερικά δείγματα από αυτή τη θέση περιείχαν πορώδη υλικά ή την καφέ στρώση.

Τα χαρακτηριστικά μικροδομής όλων των δειγμάτων, με εξαίρεση το NP_3B_2, καθώς και τα διαγράμματα κατανομής του ολικού ειδικού όγκου των κενών με την ακτίνα πόρων, εμπίπτουν στα σκυροδέματα ασβεστιτικής κονίας. Τα χαρακτηριστικά μικροδομής του NP_3B_2 προσομοιάζουν σκυρόδεμα με βάση το τσιμέντο.

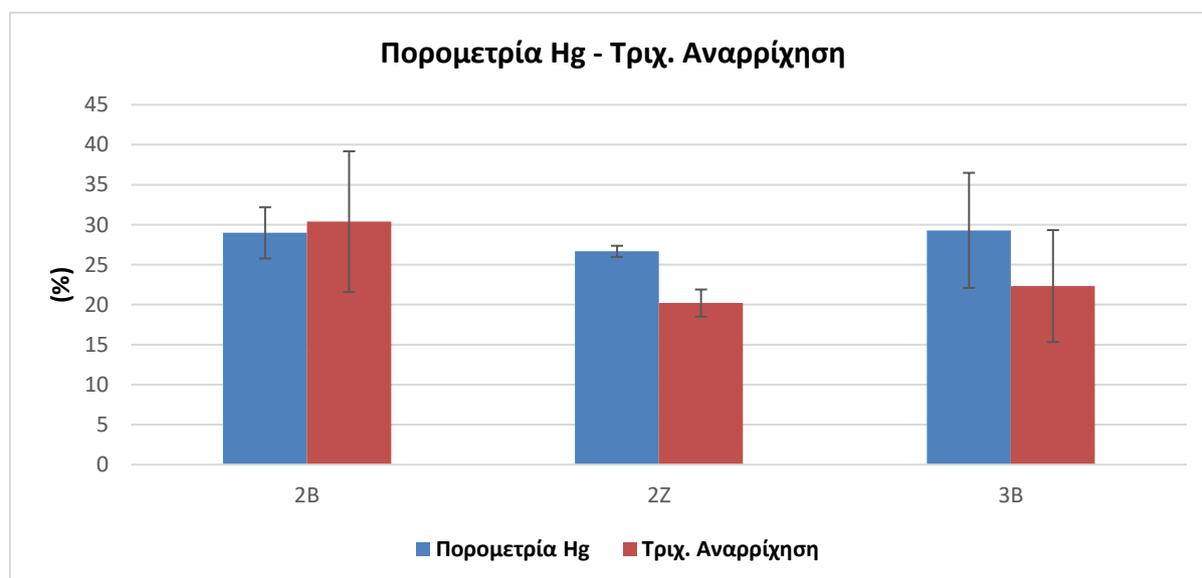
Σύγκριση Ποσοστού Ολικού Πορώδους μέσω της Πορομετρίας Υδραργύρου και προσβάσιμου στο νερό διαμέσω των τριχοειδών

Από τις τιμές του ποσοστού ολικού πορώδους που υπολογίζονται με τις δύο μεθόδους, παρατηρείται ότι οι τιμές για τις θέσεις δειγματοληψίας 2Z και 3B είναι μεγαλύτερες με τη μέθοδο της πορομετρίας υδραργύρου. Η πορομετρία υδραργύρου καταρχήν δίνει μεγαλύτερες τιμές πορώδους από ότι η υδατοαπορρόφηση μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης. Για τα σκυροδέματα των θέσεων 2B το ποσοστό πορώδους μέσω υδατοαπορρόφησης με τριχοειδή αναρρίχηση είναι ελάχιστα πιο υψηλό. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο ότι τα σκυροδέματα που εξετάζονται είναι ανομοιογενή. Στην πορομετρία υδραργύρου εξετάζεται

μόνο ένα δείγμα μικρών διαστάσεων (<2g), το οποίο μπορεί να μην αντιπροσωπεύει ολόκληρο το δείγμα. Παρακάτω παρατίθενται ο πίνακας και το διάγραμμα σύγκρισης του ποσοστού ολικού πορώδους με τις δύο μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν. (Πίνακας IV.14, Σχήμα IV.15)

Πίνακας IV.14: Πίνακας σύγκρισης Ποσοστού Ολικού Πορώδους μέσω της Πορομετρίας Υδραργύρου και μέσω της Υδατοαπορρόφησης με τριχοειδή αναρρίχηση

Θέση	Ολικό πορώδες μέσω Πορομετρίας Υδραργύρου (%)		Ολικός ειδικός όγκος (mm ³ /g)		Ολικό πορώδες προσβάσιμο στο νερό διαμέσω τριχοειδών (%)		Συνολικός προσροφώμενος όγκος νερού ανά g δείγματος (mm ³ /g)	
	Μ.Ο	Τ.Α.	Μ.Ο	Τ.Α.	Μ.Ο	Τ.Α.	Μ.Ο	Τ.Α.
2B	28.98	3.2	164.04	23.9	30.38	8.8	185.38	35.9
2Z	26.67	0.7	140.59	4.6	20.20	1.7	118.20	12.6
3B	29.29	7.2	170.57	57.1	22.33	7.0	133.18	35.0



Σχήμα IV.15: Διάγραμμα σύγκρισης Ποσοστού Ολικού Πορώδους μέσω της Πορομετρίας Υδραργύρου και μέσω της Υδατοαπορρόφησης με τριχοειδή αναρρίχηση, με τυπική απόκλιση

IV.7 Προσδιορισμός Θλιπτικής Αντοχής και Στατικού

Μέτρου Ελαστικότητας

Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται μετά το πέρας των δοκιμών σε μονοαξονική θλίψη, είναι μετρήσεις φορτίου - βράχυνσης. Για την μετατροπή τους σε αποτελέσματα τάσης - παραμόρφωσης πραγματοποιούνται τα παρακάτω βήματα.

Η μετατροπή του φορτίου σε τάση σ γίνεται ως :

$$x(\text{kN}) \rightarrow \left[\frac{x}{\text{εμβαδόν}} \right] (\text{MPa})$$

Η μετατροπή της επιμήκυνσης σε παραμόρφωση ϵ γίνεται ως:

$$\Delta L(\text{mm}) \rightarrow \frac{(\Delta L - L_0)}{\text{ύψος}} (\text{mm})$$

Η τιμή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη F_c ισούται με τη μέγιστη τιμή της τάσης που παραλαμβάνει το δοκίμιο.

Το στατικό μέτρο ελαστικότητας E_{st} υπολογίζεται από το διάγραμμα - τάσης παραμόρφωσης σύμφωνα με το πρότυπο [ASTM C 469-94].

$$E_{st}(\text{MPa}) = \left[\frac{\sigma(\text{MPa})}{\epsilon} \right]$$

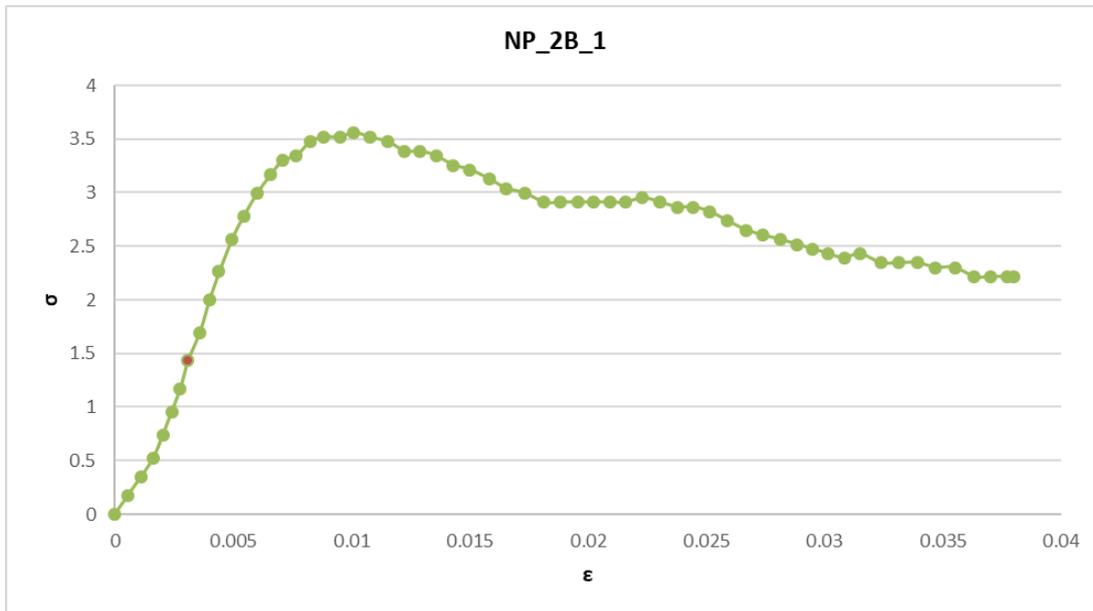
Στον Πίνακα IV.15 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών θλιπτικής αντοχής για κάθε δοκίμιο και συγκεντρωτικά για κάθε θέση, και στα Σχήμ. IV. 16-21 οι καμπύλες τάσης - παραμόρφωσης. Στη συνέχεια παρατίθενται φωτογραφίες των δοκιμών μετά την εφαρμογή των δοκιμών θλιπτικής αντοχής (Εικ. IV.30-35) [70, 73, 74].

Πίνακας IV.15: Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής F_c και στατικού μέτρου ελαστικότητας E_{st} για κάθε δοκίμιο και συγκεντρωτικά για κάθε θέση

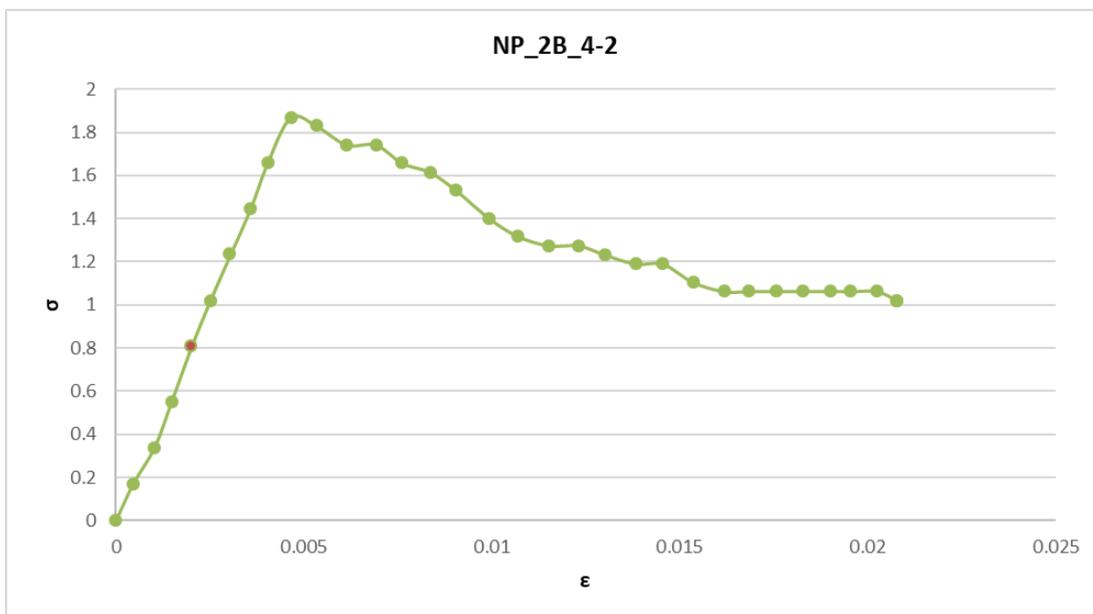
Δείγμα	F_c (MPa)	F_c για κάθε θέση (MPa)		E_{st} (MPa)	E_{st} για κάθε θέση (MPa)	
		Μ.Ο.	Τ.Α.		Μ.Ο.	Τ.Α.
NP_2B_1	3.56	2.72	0.9	477.4	440.7	36.7
NP_2B_4-2	1.87			404.0		
NP_2Z_1-1	4.81	3.91	0.9	458.4	485.9	27.5
NP_2Z_1-2	3.00			513.3		
NP_3B_3	4.70	3.90	0.5	271.2	282.2	11.0
NP_3B_4	3.10			293.2		

Από τα αποτελέσματα των δοκιμών θλιπτικής αντοχής προκύπτουν χαμηλές θλιπτικές αντοχές, 1.9-4.8 MPa και χαμηλά μέτρα ελαστικότητας. Το στατικό μέτρο ελαστικότητας είναι πιο χαμηλό για τα δοκίμια από τη θέση δειγματοληψίας 3B σε σχέση με τα υπόλοιπα, ενώ δεν παρατηρείται αναλογία με την θλιπτική αντοχή. Για τις θέσεις δειγματοληψίας 2B και 2Z παρατηρούνται μεγάλες αποκλίσεις λόγω ανομοιογένειας και ανομοιομορφίας των δοκιμών. Χαμηλά μέτρα ελαστικότητας αντιστοιχούν σε παραμορφώσιμα υλικά. Αυτό επιβεβαιώνεται από τις καμπύλες τάσης - παραμόρφωσης που φανερώνουν πλαστική συμπεριφορά. Για το δοκίμιο NP_3B_3 παρατηρείται μικρότερο μέτρο ελαστικότητας σε σχέση με τα υπόλοιπα, ενώ είναι εμφανής στο διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσής του, η συνεχής ανοδική πορεία της καμπύλης.

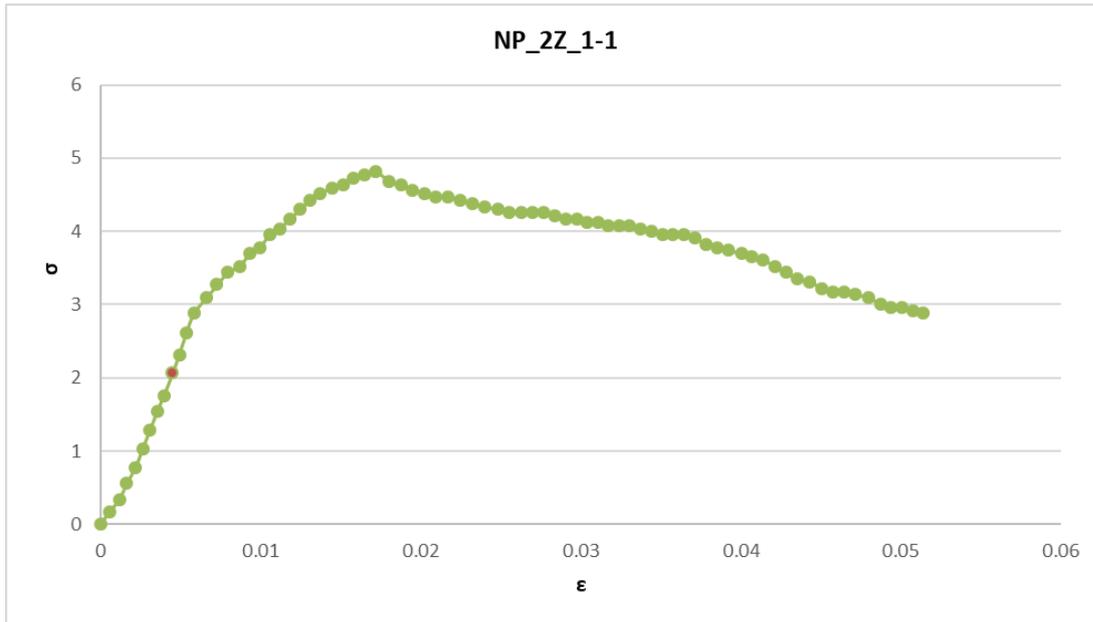
Διαγράμματα Τάσης- Παραμόρφωσης



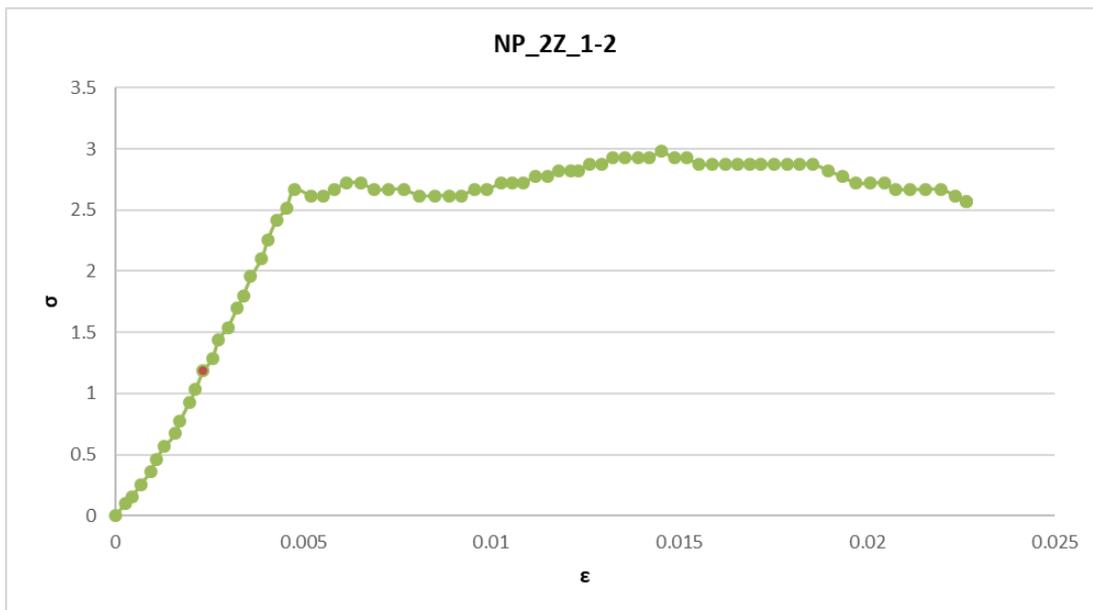
Σχήμα IV.16: Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το δείγμα NP_2B_1



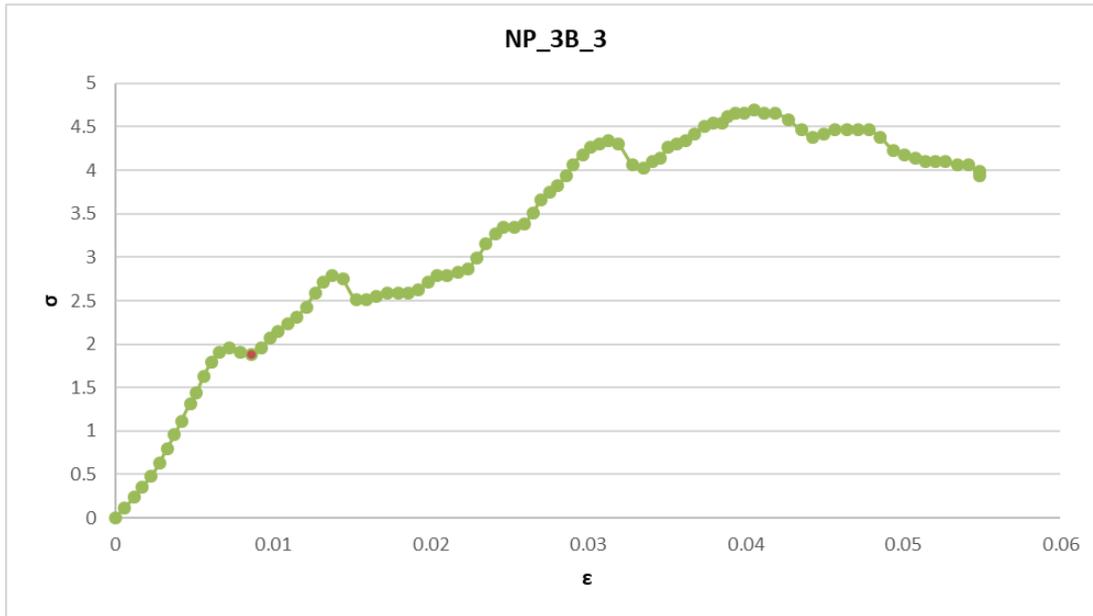
Σχήμα IV.17: Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το δείγμα NP_2B_2-1



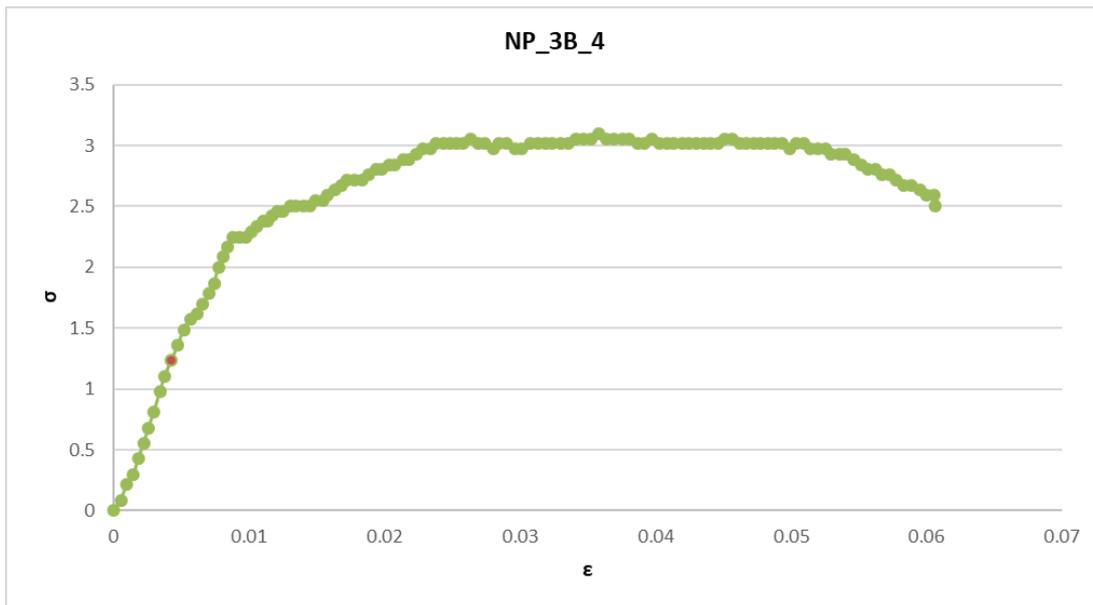
Σχήμα IV.18: Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το δείγμα NP_2Z_1-1



Σχήμα IV.19: Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το δείγμα NP_2Z_1-2



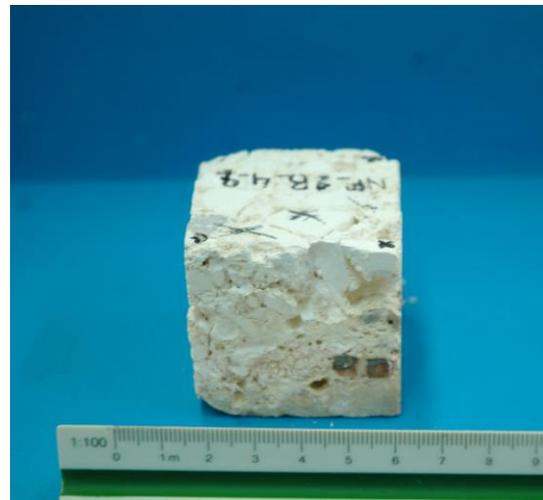
Σχήμα IV.20: Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το δείγμα NP_3B_3



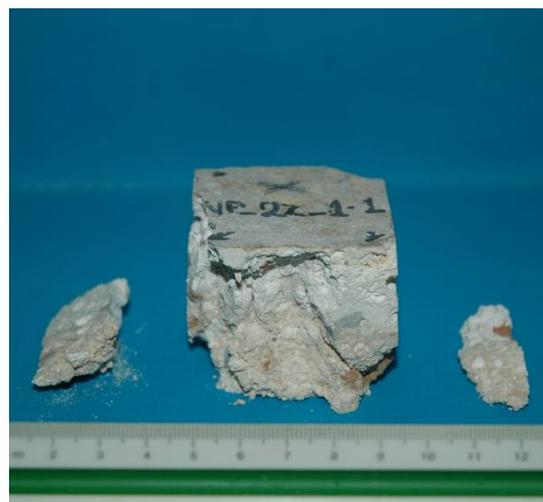
Σχήμα IV.21: Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το δείγμα NP_3B_4



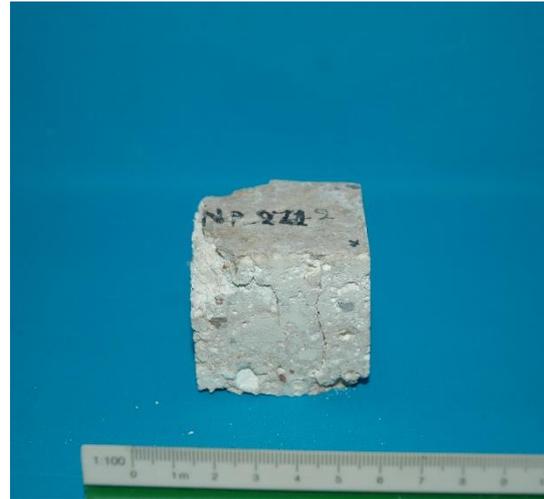
Εικόνα IV.30: Εικόνες του δοκιμίου NP_2B_1 μετά τη δοκιμή της μονοαξονικής θλίψης



Εικόνα IV.31: Εικόνες του δοκιμίου NP_2B_4-2 μετά τη δοκιμή της μονοαξονικής θλίψης



Εικόνα IV.32: Εικόνες του δοκιμίου NP_2Z_1-1 μετά τη δοκιμή της μονοαξονικής θλίψης



Εικόνα IV.33: Εικόνες του δοκιμίου NP_2Z_1-2 μετά τη δοκιμή της μονοαξονικής θλίψης



Εικόνα IV.34: Εικόνες του δοκιμίου NP_3B_3 μετά τη δοκιμή της μονοαξονικής θλίψης



Εικόνα IV.35: Εικόνες του δοκιμίου NP_3B_4 μετά τη δοκιμή της μονοαξονικής θλίψης

IV.8 Προσδιορισμός Ταχύτητας Διάδοσης Υπερήχων και Δυναμικού Μέτρου Ελαστικότητας

Για κάθε δοκίμιο που εξετάστηκε προσδιορίστηκαν οι ταχύτητες διάδοσης των διαμήκων υπερηχητικών κυμάτων στις τρεις διευθύνσεις του.

Η ταχύτητα διάδοσης των υπερηχητικών κυμάτων (διαμήκων) για ισότροπο, ελαστικό μέσο, απείρων διαστάσεων σχετίζεται με την φαινόμενη πυκνότητα του υλικού και τις ελαστικές του σταθερές (δυναμικό μέτρο ελαστικότητας (E_d)) σύμφωνα με τον τύπο:

$$E_d = \rho V^2 \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

Όπου:

V: Η ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων υπερηχητικών κυμάτων

E_d : Το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας

ρ : Η φαινόμενη πυκνότητα

ν : Ο λόγος Poisson

Χρησιμοποιώντας τους παραπάνω τύπους, υπολογίστηκε το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας, γνωρίζοντας την ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων (V) και την φαινόμενη πυκνότητα των σκυροδεμάτων (ρ). Όσον αφορά τον λόγο Poisson (ν) χρησιμοποιήθηκε τιμή 0.30, που χρησιμοποιείται για σκυροδέματα χαμηλής αντοχής, ενώ η φαινόμενη πυκνότητα σε (g/cm^3) υπολογίζεται από τις διαστάσεις του δοκιμίου προς την αρχική ξηρή μάζα του [5, 71, 72].

Στον Πίνακα IV.16 παρουσιάζονται οι ταχύτητες διάδοσης των υπερήχων έτσι όπως υπολογίστηκαν και στις τρεις διευθύνσεις και στον Πίνακα IV.17 η μέση ταχύτητα διάδοσης των υπερήχων και το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας, καθώς και συγκεντρωτικά αποτελέσματα για κάθε θέση δειγματοληψίας με την τυπική απόκλιση.

Πίνακας IV.16: Ταχύτητες Διάδοσης των υπερήχων στις τρεις πλευρές των δοκιμίων και ο μέσος όρος των τριών τιμών.

Δείγμα	V ₁ (m/s)	V ₂ (m/s)	V ₃ (m/s)	V (M.O.) (m/s)
NP_2B_1	2401	2450	2450	2434
NP_2B_3-1	2374	2384	2386	2381
NP_2B_4-1	2426	2437	2426	2430
NP_2Z_1-1	2442	2439	2414	2432
NP_2Z_1-2	2413	2474	2449	2445
NP_3B_2-1	2401	2428	2406	2412
NP_3B_3	2465	2498	2488	2484
NP_3B_4	2386	2386	2386	2386

Πίνακας IV.17: Αποτελέσματα φαινόμενης πυκνότητας, ταχύτητας διάδοσης υπερήχων και δυναμικού μέτρου ελαστικότητας κάθε δοκιμίου και συγκεντρωτικά για κάθε θέση δειγματοληψίας με την τυπική απόκλιση

Δείγμα	ρ (g/cm ³)	V (m/s)	V για κάθε θέση (m/s)		E _d (MPa)	E _d για κάθε θέση (MPa)	
			M.O.	T.A.		M.O.	T.A.
NP_2B_1	1.64	2434			7216		
NP_2B_3-1	1.62	2381	2415	24.1	6824	7136	228.8
NP_2B_4-1	1.68	2430			7367		
NP_2Z_1-1	1.73	2416	2431	14.5	7599	7620	20.5
NP_2Z_1-2	1.72	2445			7640		

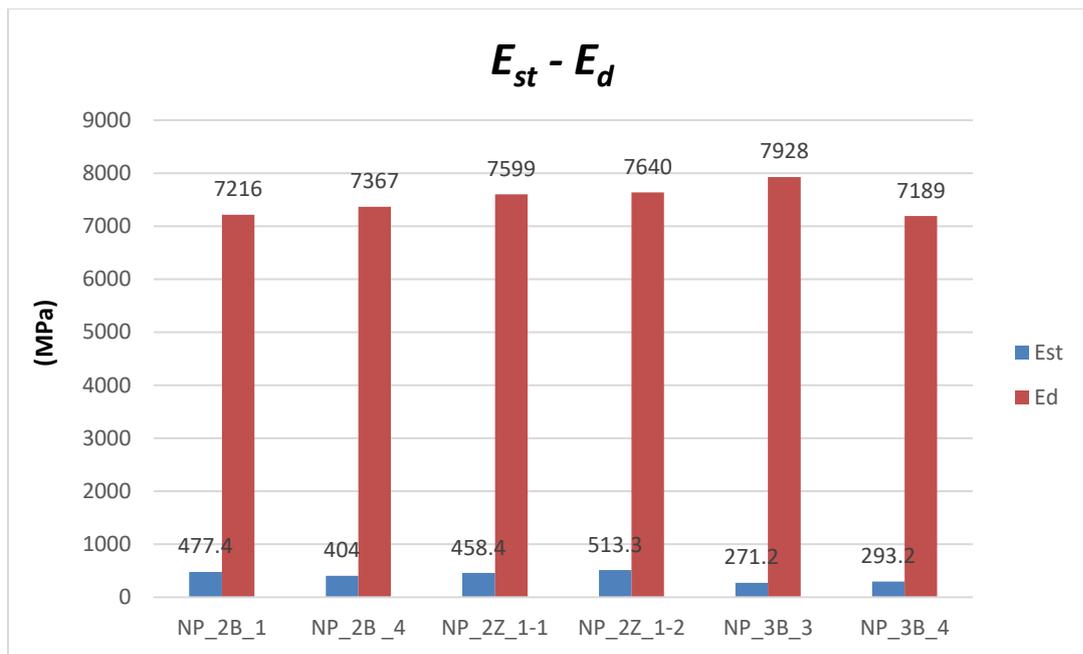
Δείγμα	ρ (g/cm ³)	V (m/s)	V για κάθε θέση (m/s)		E _d (MPa)	E _d για κάθε θέση (MPa)	
			M.O.	T.A.		M.O.	T.A.
NP_3B_2-1	1.71	2412	2427	29.3	7388	7502	220.8
NP_3B_3	1.73	2484			7928		
NP_3B_4	1.70	2386			7189		

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων της ταχύτητας διάδοσης των υπερήχων, παρατηρείται ότι οι τιμές της ταχύτητας για όλα τα δοκίμια είναι παραπλήσιες, με μεγαλύτερη αυτή του δοκιμίου NP_3B_3 και μικρότερη του NP_2B_3-1. Οι τιμές του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας E_d υπολογίζονται αρκετά χαμηλές, της τάξης των 7.5 GPa. Τα δοκίμια από τη θέση δειγματοληψίας 2Z εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές δυναμικού μέτρου ελαστικότητας, ακολουθούν αυτά της θέσης 3B και τελευταία της 2B, με μικρές διαφορές μεταξύ τους. Οι χαμηλές τιμές του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας, επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα των δοκιμών θλιπτικής αντοχής, όπου συνάγεται το συμπέρασμα ότι πρόκειται για παραμορφώσιμα δομικά υλικά.

Σύγκριση Στατικού (E_{st}) και Δυναμικού (E_d) Μέτρου Ελαστικότητας

Από τις τιμές του στατικού και δυναμικού μέτρου ελαστικότητας που προσδιορίζονται, παρατηρείται ότι η τιμή του δυναμικού μέτρου είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από αυτή του στατικού. Στο Σχήμα IV.22, γίνεται σύγκριση των δύο μέτρων ελαστικότητας και είναι εμφανές ότι οι δύο τιμές δεν είναι απαραίτητα ανάλογες. Τα δοκίμια από τη θέση δειγματοληψίας 2Z παρουσιάζουν υψηλές τιμές στατικού και δυναμικού μέτρου σε σχέση με τα υπόλοιπα. Το δοκίμιο NP_3B_3 παρουσιάζει την μεγαλύτερη τιμή δυναμικού και την μικρότερη τιμή στατικού μέτρου ελαστικότητας ενώ το δοκίμιο NP_2B_1 παρουσιάζει υψηλή τιμή στατικού και μικρή τιμή δυναμικού μέτρου ελαστικότητας.

Η διαφορά ανάμεσα σε στατικό και δυναμικό ελαστικό μέτρο έχει βρεθεί ότι συνδέεται με την ανομοιογένεια της μικροδομής των υλικών [75, 76, 77, 78].

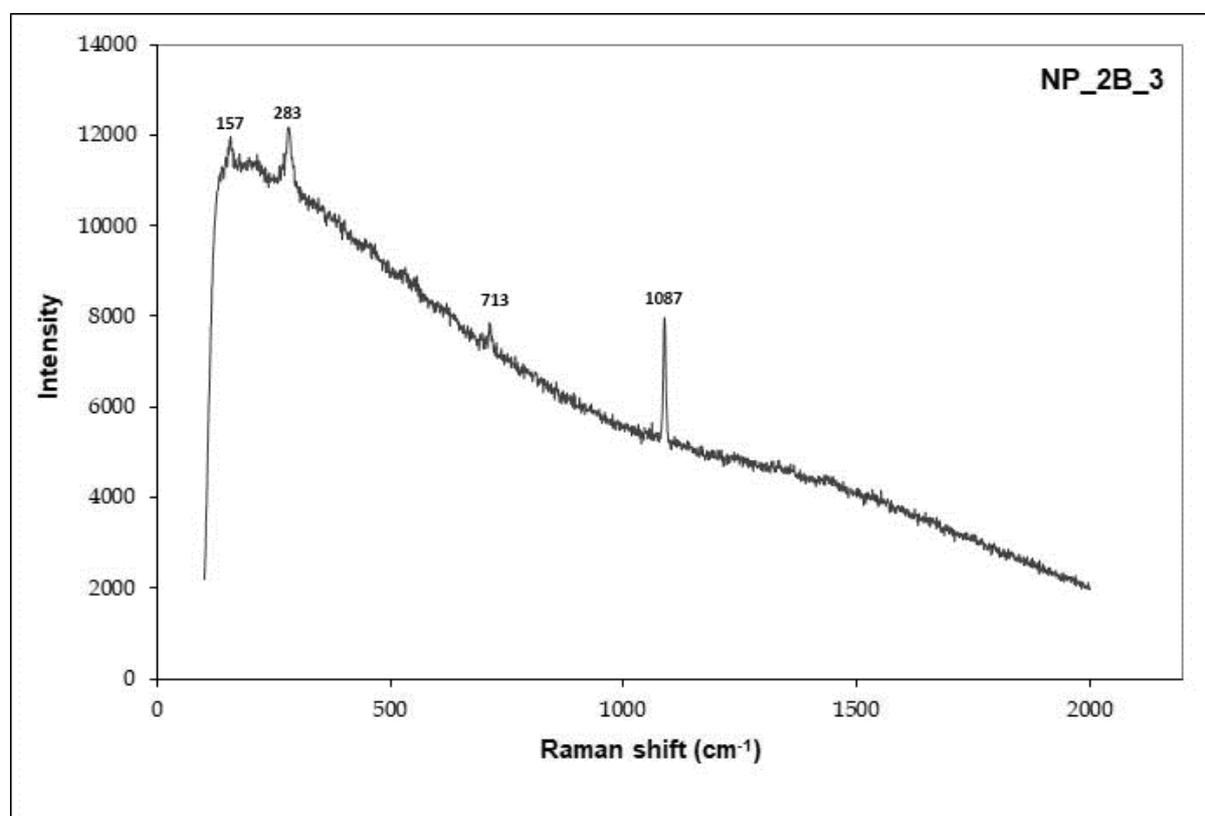


Σχήμα IV.22: Διάγραμμα σύγκρισης στατικού και δυναμικού μέτρου ελαστικότητας

IV.9 Φασματοσκοπία Raman

Με την φασματοσκοπία Raman, εξετάστηκαν δείγματα από την καφέ στρώση των σκυροδεμάτων καθώς και μαύρα, καστανά και λευκά σημεία από τη μάζα των σκυροδεμάτων. Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για τον χαρακτηρισμό των υλικών είναι τύπου RENISHAW inVia Raman Microscope, με μήκος κύματος διέγερσης λέιζερ στα 785 nm, ισχύ 0.1 έως 0.05%, φασματική κλίμακα 100-2000 Raman Shift/cm⁻¹, και χρόνο έκθεσης 10s. Χρησιμοποιήθηκε αντικειμενικός φακός 20x.

Πραγματοποιήθηκαν πολλές προσπάθειες σε διαφορετικές εντάσεις λόγω υψηλού φθορισμού και κόρου. Για την καφέ στρώση και για τα μαύρα και καστανά σημεία, ήταν αδύνατη η λήψη φάσματος. Για τα λευκά σημεία ταυτοποιήθηκε ασβεστίτης με κορυφές στα 1087cm⁻¹, την ενδιάμεση στα 283cm⁻¹, και τις πιο ασθενείς κορυφές στα 157cm⁻¹ και 713cm⁻¹, όπως φαίνεται στο Σχήμα IV.23.



Σχήμα IV.23: Φάσμα Raman

Για την καφέ στρώση ~1-2 mm, για την οποία η μέθοδος Raman δεν έδωσε φάσματα διαπιστώθηκε μέσω της σταγόνας απορρόφησης, η οποία απλώθηκε, ότι δεν περιέχει οργανικές ενώσεις.

IV.10 Προσδιορισμός Ολικών Διαλυτών Αλάτων

Για τον προσδιορισμό των ολικών διαλυτών αλάτων ζυγίστηκαν 100 ± 5 mg σκόνη για κάθε ξηρό δείγμα και στη συνέχεια το κάθε δείγμα διαλύθηκε σε 100 mL απιονισμένου νερού. Εικοσιτέσσερις ώρες μετά την παρασκευή μετρήθηκε η αγωγιμότητα του κάθε δείγματος καθώς και του δείγματος αναφοράς (blank). Ο προσδιορισμός της επί τοις εκατό περιεκτικότητας (SST%) του κάθε δείγματος σε διαλυτά άλατα δίνεται από τον ακόλουθο τύπο, σύμφωνα με το πρότυπο Normal 13/83 [53]:

$$\text{SST}\% = \frac{C * 6.88}{m}$$

C: η αγωγιμότητα του προς εξέταση δείγματος σε μS

m: το βάρος του προς εξέταση δείγματος σε mg

Η θερμοκρασία όλων των διαλυμάτων και του διαλύματος αναφοράς κατά τη μέτρηση της αγωγιμότητάς τους, ήταν 23-24°C. Στον Πίνακα IV.18 παρουσιάζεται το ποσοστό των ολικών διαλυτών αλάτων, όπως υπολογίστηκε για κάθε δείγμα.

Πίνακας IV.18: Αποτελέσματα Ολικών Διαλυτών Αλάτων

Δείγμα	Αγωγιμότητα (μS)	Ολικά Διαλυτά Άλατα (%)
NP_2B_1	89.5	6.14
NP_2B_2	42.1	2.89
NP_2B_3	83.5	5.74
NP_2B_4	30.8	2.11
NP_2Z_1	46.5	3.19
NP_2Z_2	43.5	2.99
NP_3B_1	42.3	2.90
NP_3B_2	42.9	2.94

Δείγμα	Αγωγιμότητα (μS)	Ολικά Διαλυτά Άλατα (%)
NP_3B_3	45.5	3.12
NP_3B_4	42.8	2.93
NP_3B_5	42.8	2.93
NP_3B_6	41.2	2.83

Όπως παρατηρείται, το ποσοστό των ολικών διαλυτών αλάτων για τα περισσότερα δείγματα βρίσκεται περίπου στο 3%. Συμπεραίνεται ότι σε αυτά τα δείγματα, το ποσοστό των περιεχόμενων διαλυτών αλάτων είναι χαμηλό και δε συμβάλλει στη διαδικασία της φθοράς. Για τα δείγματα NP_2B_1 και NP_2B_3 μετρήθηκαν ποσοστά 6.14% και 5.74%, γεγονός το οποίο αποδίδεται στην παρουσία πορτλαντίτη παρά σε διαλυτά άλατα.

Το χαμηλό ποσοστό ολικών διαλυτών αλάτων, ενδεχομένως, αποδίδεται στην τεχνική σκυροδετήσεως με διαστρωμάτωση 5-10 cm παρεμβάλλοντας στρώσεις 1-2 mm, που παρεμποδίζει την άνοδο της υγρασίας και διαλυμάτων που περιέχουν διαλυτά άλατα, αλλά και στη γεωλογία του περιβάλλοντος.

V. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Τα σκυροδέματα που μελετήθηκαν στη συγκεκριμένη εργασία, είναι σκυροδέματα δαπέδου, τριών διαφορετικών θέσεων δειγματοληψίας (2B, 2Z, 3B), από το Ανάκτορο του Νέστορα, το οποίο βρίσκεται στον Άνω Εγκλιανό Μεσσηνίας.

Με βάση τα αποτελέσματα από το χαρακτηρισμό των κονιαμάτων των αρχαίων σκυροδεμάτων, τα οποία εξετάστηκαν εφαρμόζοντας συνδυασμό τεχνικών, εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Πρόκειται για αρκετά συνεκτικά σκυροδέματα με διαστρωμάτωση διαφορετικών αποχρώσεων και συνοχής, ενώ είναι ευδιάκριτη μία λεπτόκοκκη στρώση, καφέ χρωματισμού ~ 1-2 mm, ανάμεσα στις αλληπάλληλες στρώσεις του σκυροδέματος. Μορφολογικά τα δείγματα των θέσεων δειγματοληψίας 2B και 2Z μοιάζουν αρκετά, ενώ αυτά από την θέση 3B εμφανίζονται σε πιο σκούρες αποχρώσεις κονίας και αδρανών. Για κάθε θέση δειγματοληψίας ο λόγος κονίας/αδρανών προσδιορίζεται ~1/2 και ο μέγιστος κόκκος 21-26 mm, όμως εμφανίζονται διαφοροποιήσεις στην τεχνολογία παρασκευής, με διαφορετικό εύρος κατανομής αδρανών. Οι καμπύλες κατανομής των αδρανών είναι αντίστοιχες για τις θέσεις 2B και 2Z, ενώ η καμπύλη της θέσης 3B προσομοιάζει τη θεωρητική καμπύλη Fuller, που εκφράζει εκείνη την κοκκομετρική καμπύλη με το ελάχιστο περιεχόμενο κενών όγκων.

Για όλα τα δείγματα προσδιορίστηκε μικρό ποσοστό φυσικά δεσμευμένου νερού (<1%) και αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας πάνω από 10. Για τα δείγματα της θέσης 2B προσδιορίστηκε το υψηλότερο ποσοστό χημικά δεσμευμένου νερού, σε σχέση με τα υπόλοιπα, και περιεχόμενο ποσοστό του CaCO_3 για το ολικό δείγμα ~ 88%. Σε ορισμένα δείγματα αυτής της θέσης, εμφανίστηκε ενδόθερμη κορυφή που αποδίδεται στην αφυδροξυλίωση του Ca(OH)_2 , γεγονός το οποίο συμφωνεί με τα αποτελέσματα του ορυκτολογικού προσδιορισμού, όπου ανιχνεύτηκε πορτλαντίτης. Για τα δείγματα της θέσης 2Z, προσδιορίστηκε το υψηλότερο περιεχόμενο ποσοστό του CaCO_3 ~ 92%, ενώ για αυτά της θέσης 3B το μικρότερο, ~ 78%. Το υψηλό περιεχόμενο ποσοστό του CaCO_3 στο κλάσμα της κονίας αλλά και στα συσσωματώματα, φανερώνει κονία καλής ποιότητας.

Ως κύρια ορυκτολογική φάση, για το σύνολο των δειγμάτων, ανιχνεύτηκε ο ασβεστίτης και ως δευτερεύουσα ο χαλαζίας, ενώ σε ορισμένα δείγματα ανιχνεύτηκαν ο αλβίτης και ο

μοσχοβίτης. Ο πορτλαντίτης ανιχνεύτηκε ως δευτερεύουσα ορυκτολογική φάση μόνο σε δείγματα της θέσης 2B.

Τα δείγματα της θέσης 3B παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές ολικού ειδικού όγκου, ολικού πορώδους και ειδικής επιφάνειας και τη μικρότερη τιμή μέσης ακτίνας πόρων, σε σύγκριση με τα υπόλοιπα. Το ολικό πορώδες για τα δείγματα των θέσεων 2B, 2Z και 3B προσδιορίστηκε 28,98%, 26.67% και 29.29% αντίστοιχα. Για τα σκυροδέματα της θέσης 2B, εμφανίστηκε ο μεγαλύτερος συντελεστής υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης, σε σχέση με τα υπόλοιπα, και το υψηλότερο πορώδες προσβάσιμο στο νερό διαμέσω τριχοειδών. Η καφέ στρώση διαπιστώθηκε ότι χρησιμοποιήθηκε με σκοπό να παρεμποδίσει την άνοδο του νερού. Ο συντελεστής υδατοαπορρόφησης για τα σκυροδέματα της θέσης 2Z, προσδιορίστηκε κατά μέσο όρο περίπου ίδιος με αυτόν που προσδιορίστηκε για αυτά της θέσης 3B, ενώ το πορώδες προσβάσιμο στο νερό διαμέσω των τριχοειδών προσδιορίστηκε περίπου 20%, ποσοστό μικρότερο από τα υπόλοιπα.

Για όλα τα σκυροδέματα προσδιορίστηκαν μικρές τιμές θλιπτικής αντοχής, με τα δείγματα των θέσεων 2Z και 3B να εμφανίζουν την ίδια τιμή, ενώ αυτά της θέσης 2B μικρότερη.

Επιπρόσθετα, προσδιορίστηκαν μικρές τιμές στατικού και δυναμικού μέτρου ελαστικότητας, για το σύνολο των δειγμάτων που εξετάστηκαν, με τα σκυροδέματα της θέσης 2Z να εμφανίζουν τη μικρότερη τιμή στατικού και τη μεγαλύτερη τιμή δυναμικού μέτρου ελαστικότητας σε σχέση με τα υπόλοιπα.

Δεν ανιχνεύτηκε σημαντικό ποσοστό περιεχόμενων διαλυτών αλάτων, ενώ με τη φασματοσκοπία Raman δεν κατέστη δυνατή η ταυτοποίηση θραυσμάτων διαφορετικών αποχρώσεων από τη μάζα του σκυροδέματος.

Από τα παραπάνω συνάγεται ότι όλα τα σκυροδέματα που μελετήθηκαν ταυτοποιούνται ως ασβεστιτικά σκυροδέματα, καλής ποιότητας κονίας, με ασβεστολιθικά αδρανή με μικρές προσμίξεις αργιλοπυριτικών. Εμφανίζουν μεγάλη ανομοιογένεια μικροδομής, χαμηλή θλιπτική αντοχή και χαμηλό μέτρο ελαστικότητας (στατικό και δυναμικό). Η σκυροδέτηση πραγματοποιήθηκε με τέτοια τεχνική ώστε να παρεμποδίζεται η απορρόφηση του νερού, με αλληπάλληλες στρώσεις σκυροδέματος ~5 cm που διαδέχονται στρώσεις καφέ απόχρωσης ~1-2 mm, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για να παρεμποδίσουν την άνοδο του νερού. Για κάθε θέση δειγματοληψίας ο λόγος κονίας/αδρανών υπολογίζεται ~1/2 όμως εμφανίζονται

διαφοροποιήσεις στην τεχνολογία παρασκευής, με διαφορετικό εύρος κατανομής αδρανών και κονία διαφορετικών αποχρώσεων.

Το χαμηλό ποσοστό ολικών διαλυτών αλάτων, ενδεχομένως, αποδίδεται στην τεχνική σκυροδετήσεως με διαστρωμάτωση, που παρεμποδίζει τη διείσδυση υγρασίας και διαλυμάτων που περιέχουν διαλυτά άλατα αλλά και στη γεωλογία του περιβάλλοντος. Η παρουσία πορτλαντίτη αποδίδεται στην τεχνική που χρησιμοποιήθηκε, όπου η υψηλή συμπίεση των διαστρωματώσεων κατά την εφαρμογή τους, είχε ως αποτέλεσμα να μην εισέρθει αέρας και να μην πραγματοποιηθεί ενανθράκωση της κονιάς.

Προοπτικές

Κατά τη διεξαγωγή της συγκεκριμένης εργασίας, ελήφθησαν δείγματα από την καφέ στρώση, αλλά και από άλλες περιοχές που κρίθηκε απαραίτητο (π.χ. μαύρες και καστανές), για τον έλεγχο τους με χρήση της Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης με Μικροανάλυση Ακτίνων Χ (SEM-EDEX). Όμως δεν κατέστη δυνατή η εξέταση τους λόγω βλάβης του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης της Σχολής Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π..

Σε συνέχεια της παρούσας εργασίας προτείνονται τα εξής:

- Μελέτη των δειγμάτων με την Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης με Μικροανάλυση Ακτίνων Χ (SEM-EDEX) για τη στοιχειακή ανάλυση και ταυτοποίησή τους.
- Χρήση τεχνικών όπως η Φωτοηλεκτρονική Φασματοσκοπία Ακτίνων Χ (XPS) για ταυτοποίηση και μελέτη της διεπιφάνειας των στρωμάτων.
- Χρονολόγηση των δειγμάτων για τον εντοπισμό της χρονολογικής περιόδου κατασκευής και για να διαπιστωθεί εάν όλα τα δείγματα είναι της ίδιας περιόδου ή αποτελούν δείγματα αποκαταστάσεων.

VI. ***ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ***

- [1] Α. Ορλάνδος, “Τα υλικά δομής των Αρχαίων Ελλήνων και οι τρόποι εφαρμογής αυτών κατά τους συγγραφείς, τας επιγραφάς και τα μνημεία”, Αρχαιολογική Εταιρεία, Αθήνα, 1955-1958.
- [2] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, [Ηλεκτρονικό], www.tee.gr.
- [3] Α. Μοροπούλου, Α. Βακόλας, Σ. Αναγνωστοπούλου, “Composite materials in ancient structures”, *Cement & Concrete Composites*, 27 (2005) 295-300.
- [4] Α. Μπακόλας-Καραγιάννης, “Κριτήρια και Μέθοδοι Χαρακτηρισμού Ιστορικών Κονιαμάτων”, Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2002.
- [5] Ε. Αγγελικοπούλου, “Κριτήρια και Μέθοδοι Αποτίμησης Φυσικοχημικών και Μηχανικών Χαρακτηριστικών κατά την διερεύνηση Αριστοποίησης Συμβατών Κονιαμάτων και Σκυροδεμάτων Αποκατάστασης Ιστορικών Τοιχοποιιών, με έμφαση στις ποζολανικές πρώτες ύλες”, Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2006.
- [6] Μ. Στεφανίδου, “Μελέτη Μικροδομής και Μηχανικών Χαρακτηριστικών Παραδοσιακών Κονιαμάτων”, Διδακτορική Διατριβή Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 2000.
- [7] Hellenic Cement Industry Association, “Τσιμέντο- Σκυρόδεμα”, [Ηλεκτρονικό].
<http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/history/>
- [8] The Concrete Society, “Cement History”, [Ηλεκτρονικό].
<http://www.concrete.org.uk/fingertips-nuggets.asp?cmd=display&id=286>
- [9] Α. Μοροπούλου, Κ. Λαμπρόπουλος, “Δομικά Υλικά: Τσιμέντο & Σκυρόδεμα”, 9^ο Εξάμηνο Χημικών Μηχανικών, NTUA Academic Open Sources
- [10] ΤΕΕ, “ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ” [Ηλεκτρονικό].
http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_KONIAMATA/ko1.htm.
- [11] Α. Κορωναίος και Γ. Πουλάκος, “Τεχνικά Υλικά”, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2006.

- [12] V. Gottardi, "Tecnologia dei materiali e chimica applicata", Sesta Edizione, Patron Editore, Bologna, 1992.
- [13] T. Turco, "Il gesso ", Seconda Edizione, Hoepli, Milano, 1990.
- [14] TEE, " 3.2.2.2.1. Η Υδράσβεστος σε σκόνη" [Ηλεκτρονικό].
http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_KONIAMATA/ko1.htm.
- [15] J. Vicat, "Recherches Experimental sur les Chaux Hydrauliques, les Betons et les Mortier Ordinaires" , 1818.
- [16] V. Furlan, "Crepis pour Batiments Anciens", Lausanne, 1979.
- [17] P. Brown, J. Clifton, "Mechanisms of Deterioration in Cement-Based Materials and Lime Mortars", Durability of Building Materials, 5 (1998) 409-420.
- [18] Omiros.eu, "ΚΟΝΙΕΣ - ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ- ΤΣΙΜΕΝΤΑ- ΑΣΒΕΣΤΗΣ" [Ηλεκτρονικό].
www.omiros.eu.
- [19] H. Taylor, "Cement Chemistry", Academic Press, New York, 1990.
- [20] Α. Μοροπούλου, Γ. Μπατής, "Δομικά Υλικά", 9ο Εξάμηνο Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2012.
- [21] Vitruvius, "The Ten Books on Architecture", M.H. Morgan Trans. Dover Publications, New York, 1964.
- [22] C. He, B. Osbaeck, E. Makovicky, "Pozzolanic Reactions of six principal clay minerals: Activation, Reactivity Assesments and technological Effects", Cement and Concrete Research, 5 (1995) 1691-1702.
- [23] L. Binda, G. Baronio, "Study of the Pozzolanicity of some bricks and clays, Studies on Mortars sampled fron Historic Buildings", Milan, 1996.
- [24] A. Moropoulou, P. Theoulakis, T. Chrysophakis, "Correlation between stone weathering and environmental factors in marine atmosphere" Atmospheric Environment, 29 (1995) 895-903.
- [25] E. Winkler, "Stone in Architecture", Springer, 1997.

- [26] W. Scherer, "Stress from crystallization of salt" *Cement and Concrete Research*, 34 (2004) 1613-1624.
- [27] Α. Μοροπούλου, "Χαρακτηρισμός, Έλεγχος Ποιότητας, Διάγνωση Φθοράς και Συντήρηση Δομικών Υλικών/ Μεθοδολογία Ενόργανων και Μη Καταστρεπτικών Τεχνικών/ Επιστήμη και Τεχνική Υλικών 7ου Εξαμήνου Χ.Μ Ε.Μ.Π.", Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2012.
- [28] Β. Γκουζούνη, "Χαρακτηρισμός των Κονιαμάτων των Προπυλαίων της Ακρόπολης", Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2015
- [29] E. Efstathiadis, 'Greek Concrete of Three Millenniums', Technical Report, Research Center of the Hellenic Ministry of Public Works, Athens (1978).
- [30] Ε. Ευσταθιάδης, "Παγκοσμίως Πρωτοποριακή η Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία Υλικών Κατασκευών και οι εφαρμογές της στα Τεχνικά Έργα: 1. Αρχαίο Ελληνικό Τσιμέντο, 2. Αρχαίο Ελληνικό Μπετόν 3000 χρόνων, 3. Βυζαντινά Κεραμοκονιάματα και Κεραμομπετόν και εφαρμογές τους στην κατασκευή «υποθερμαινόμενων δαπέδων»", *Τεχνικά Χρονικά*, Μάιος- Ιούνιος 2004.
- [31] M. Kouï, Ch. Ftikos, "The ancient Kamirian water storage tank: A proof of concrete technology and durability for three millenniums", *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, Vol. 31, November 1998, pp 623-627
- [32] N. Davey, "A History of Building Materials", Phoenix House Publication, London, 1961.
- [33] B. Dix, "The manufacture of lime and its uses in the Western Roman Provinces", *Oxford Journal of Archaeology* 33 (1982) 1-345.
- [34] J.C. Brandon, "How Did the Romans form Concrete Underwater?", 2nd Historic Mortars Conference and RILEM TC 203-RHM Final Workshop HMC2010 Prague, Czech Republic 22-24 September 2010 Edited by J. Válek, C. Groot and J. J. Hughes, RILEM Publications S.A.R.L. (2010) 73-81.
- [35] DA Silva, HR. Wenk, PJM. Monteiro, "Comparative Investigation of Mortars from Roman Colosseum and Cistern", *Thermochimica Acta* 438 (2005) 35-40.

- [36] H.N. Lechtman, L.W. Hobbs, "Roman Concrete and the Roman Architectural Revolution, Ceramics and Civilization VII: High Technology Ceramics, past, present and future, the Nature of Innovation and Change in Ceramic Technology", Kingery W.D. (ed) American Ceramic Society Inc, USA (1986) 81-128.
- [37] M. Jackson, F. Marra, D. Deocampo, A. Vella, C. Kosso, R. Hay, "Geological Observations of Excavated Sand (harenae fossiciae) used as Fine Aggregate in Roman Pozzolanic Mortars", *Journal of Roman Archaeology* 20 (2007) 25-53.
- [38] F. Massazza, "Pozzolana and Pozzolanic Cements", Hewlett PC (ed) *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*, 4th ed. Elsevier, UKM (2007) 471–602.
- [39] M. D. Jackson, J. M. Logan, B. E. Scheetz, D.M. Deocampo, C. G. Cawood, F. Marra, M. Vitti, L. Ungaro, "Assessment of material characteristics of ancient concretes", Grande Aula, Markets of Trajan, Rome, *Journal of Archaeological Science* 36 (2009) 2481–2492.
- [40] Δ. Κυροπούλου, "Τεχνολογική εξέλιξη και παθογένειες ιστορικών κονιαμάτων", Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη 2016.
- [41] M. D. Jackson, S. R. Chae, S. R. Mulcahy, C. Meral, R. Taylor, Penghui Li, A. HamidEmwa, J. Moon, S. Yoon, G. Vola, H.R Wenk, P. J.M. Monteiro, "Unlocking the secrets of Al-tobermorite in Roman seawater concrete", *American Mineralogist*, Volume 98, pages 1669–1687, 2013.
- [42] R. Tišlova, A. Kozłowska, R. Kozłowski, D. Hughes, "Porosity and specific surface area of Roman cement pastes *Cement and Concrete Research*", *Cement and Concrete Research* 39 (2009) 950-956.
- [43] K. Kilian, "Ο Μυκηναϊκός Κόσμος: Πέντε Αιώνες Πρώιμου Πολιτισμού", Υπουργείο Πολιτισμού- Ελληνικό Τμήμα ICOM, Αθήνα, 1988.
- [44] C. W. Blegen, M. Rawson, "Το Ανάκτορο του Νέστορος: Σύντομος Οδηγός", Γεν. Διεύθυνσις Αρχαιοτήτων και Αναστηλώσεως, 1970.
- [45] C. W. Blegen, "The Palace of Nestor at Pylos in Western Messenia", Vols I-II-III, Princeton 1966, 1969, 1973.

- [46] Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού: Άνω Εγκλιανός Μεσσηνίας - Ανάκτορο Νέστορος, [Ηλεκτρονικό].
http://odysseus.culture.gr/h/3/gh352.jsp?obj_id=2562
- [47] Γ. Λώλος, “Πύλος ημαθόεις: Η πρωτεύουσα του Νέστορος και η γύρω περιοχή”, Οικονόμος, Αθήνα, 2004.
- [48] Γ. Λώλος, “Το ανάκτορον του Νέστορος”, το Ελληνικό Βιβλίο, Αθήνα, 1972.
- [49] Σημειώσεις περιήγησης αρχαιολογικού χώρου του Ανακτόρου του Νέστορα, Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού, Εφορεία Αρχαιοτήτων Μεσσηνίας
- [50] J. L. Davis, “Sandy Pylos: An Archaeological History from Nestor to Navarino”, Paperback, 1998.
- [51] C.W. Shelmerdine, T. G. Palaima “Pylos Comes Alive, Industry and Administration in a Mycenaean Palace”, Antiquités mycéniennes – Congrès, 1984
- [52] Normal 27/88 : Caratterizzazione di una malta Roma CNR ICR, 1988
- [53] Normal 13/83, “Dosaggio dei sali solubili”, CNR-ICR, 1983.
- [54] Αποστολοπούλου Μ., “Συμβολή στον χαρακτηρισμό των δομικών υλικών και πρόταση συμβατών επεμβάσεων αποκατάστασης του Ιερού Ναού της Παρηγορήτισσας στην Άρτα”, Μεταπτυχιακή Εργασία, Δ.Π.Μ.Σ. Προστασία Μνημείων, Ε.Μ.Π., 2007.
- [55] Μ. Λυκιαρδοπούλου-Πέτρου, “Η συμβολή των μεθόδων ανάλυσης και εξέτασης στην εξέλιξη της συντήρησης”, [Ηλεκτρονικό].
<http://www.typologos.com>
- [56] Α. Παππά, “Φυσικές Μέθοδοι Ανάλυσης: Χρωματογραφικές, Θερμικές, Ηλεκτρομετρικές, Φασματομετρία Μάζας”, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2004.
- [57] Μ. Ώξενκιουν- Πετροπούλου, “Φυσικές Μέθοδοι Ανάλυσης, Φασματομετρικές Μέθοδοι”, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 2006.
- [58] Π. Μούνδουλας, Ε. Αγγελικοπούλου, Κονιάματα Αποκατάστασης Ιστορικών Τοιχοποιιών Ιούνιος 2004. [Ηλεκτρονικό].

http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/EKDILOSEIS_P/EPISTHMONIKES_EVENTS/PARADOSIAKA%20KONIAMATA/114/TEEE%20Total%20Presentation.pdf.

- [59] Ε. Ξινοπούλου, “Τροποποιημένα σωματιδιακά σύνθετα υλικά ως συμβατά και επιτελεστικά υλικά επεμβάσεων στερέωσης”, Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2015
- [60] Ν. Καραγιάννης, “Η μικροδομή ως κρίσιμος παράγοντας της υδροθερμικής συμπεριφοράς των δομικών υλικών”, Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2017
- [61] UNI EN 15801 (2010) Conservation of cultural property - Test methods- Determination of water absorption by capillarity.
- [62] UNI 10859 (2000) Cultural Heritage - Natural And Artificial Stones - Determination Of Water Absorption By Capillarity.
- [63] Normal 11/85(1985):Assorbimento d’ acqua per capillarità –Coefficiente di assorbimento capillare, CNR-ICR.
- [64] Σ. Ορφανουδάκης, Κ. Μαριάς, “Σημειώσεις ΙΙΙ: Βασικές Αρχές Υπερήχων”, ΗΥ 673– Ιατρική Απεικόνιση, Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Σεπτέμβριος 2013- Φεβρουάριος 2014
- [65] Α. Μοροπούλου, “1.2.3. Μη καταστρεπτικές και ενόργανες μέθοδοι διάγνωσης της φθοράς και ελέγχου υλικών και επεμβάσεων συντήρησης”, Σημειώσεις Δ.Π.Μ.Σ. "Προστασία Μνημείων", Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2005.
- [66] Φ. Β. Καραντώνης, “Κατασκευές από Τοιχοποιία, Σχεδιασμός και Επισκευές”, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2004.
- [67] Ν. Karagiannis, Μ. Karoglou, Α. Bakolas and Α. Moropoulou, “Building Materials Capillary Rise Coefficient: Concepts, Determination and Parameters Involved”, J.M.P.Q. Delgado (ed.), New Approaches to Building Pathology and Durability, Building Pathology and Rehabilitation 6, Springer Science+Business Media Singapore 2016

- [68] N.Karagiannis, M. Karoglou, A. Bakolas and A. Moropoulou, "Effect of temperature on water capillary rise coefficient of building Materials", *Building and Environment* 106 (2016) 402-408
- [69] E. Aggelakopoulou, P. Charles, M.E. Acerra, A.I. Garcia, R.J. Flatt, G.W. Scherer, "Rheology Optimization of Particle Modified Consolidants", *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 712, Materials Research Society (2002)
- [70] ASTM C 469-94" Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression
- [71] A. Moropoulou, A. Bakolas, E. Aggelakopoulou, A. Odatzidou, C. Teas, D. Papageorgiou, "Estimation of elastic constants of restoration mortars, used on historic masonries restoration interventions, via ultrasonic technique and correlation to their mechanical and microstructure parameters", *Materials issues in Art and Archaeology VII*, vol. 852, eds P.Vandiver, J.L. Mass and A. Murray, Materials Research Society, Pittsburgh, 2005, pp.115-120.
- [72] Moropoulou A., Bakolas A., Aggelakopoulou E., Pineli T., Prassianakis I. "Estimation of Elastic constants of stones, used in historic monuments, using ultrasonic technique and correlation to their microstructure parameters ", *The 3rd International Conference on Non-Destructive Testing of the Hellenic Society for NDT*, 15-18 October 2003, Chania, Crete, Greece.
- [73] Τ. Χ. Πινέλη, "Συσχέτιση Αποτελεσμάτων δοκιμών Υπερηχοσκόπησης, Μηχανικών Αντοχών και Χαρακτηριστικών μικροδομής δομικών λίθων ιστορικών τοιχοποιιών", *Μεταπτυχιακή Εργασία, Δ.Π.Μ.Σ. Προστασία Μνημείων, Ε.Μ.Π.*
- [74] Ν. Πρασιανάκης, Π. Γκιόκας, "Προσδιορισμός Μηχανικών Χαρακτηριστικών Σκυροδέματος Ηλικίας 28 Ημερών και 28 Ετών με Καταστροφικές Μεθόδους και Υπερήχους", *Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, Ι, τεύχ. 1-2 2002, Tech. Chron. Sci. J. TCG, Ι, No 1-2.*
- [75] J. A. Bogas, A. Gomes, "Static and dynamic modulus of elasticity of structural lightweight and modified density concrete with and without nanosilica—characterization and normalization", *International Journal of civil Engineering.*

- [76] P. P. Chavhan, M. R. Vyawahare, “Correlation of Static and Dynamic modulus of Elasticity for Different SCC Mixes”, *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication* ISSN: 2321-8169 Volume: 3 Issue: 74914-4919.
- [77] M. Słota-Valim, “Static and dynamic elastic properties, the cause of the difference and conversion methods – case study”, *Oil and Gas Institute – National Research Institute, NAFTA-GAZ*, Year LXXI, No. 11 / 2015
- [78] V. Brotons . R. Toma´s . S. Ivorra . A. Grediaga . J. Mart´inez-Mart´inez . D. Benavente . M. Gomez-Heras, “Improved correlation between the static and dynamic elastic modulus of different types of rocks”, *Materials and Structures* (2016) 49:3021–3037
- [79] C. Giosuè D , M. Pierpaoli , A. Mobili ID , M. L. Ruello ID and F.Tittarelli , “Influence of Binders and Lightweight Aggregates on the Properties of Cementitious Mortars: From Traditional Requirements to Indoor Air Quality Improvement Materials
- [80] M. Gul, A. Bashir, J. A Naqash, «Study of Modulus of Elasticity of Steel Fiber Reinforced Concrete», *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, ISSN: 2249 – 8958, Volume-3, Issue-4, April 2014.
- [81] O. López-Zaldívar, R. Lozano-Díez, S. Herrero del Cura, P. Mayor-Lobo, F. Hernández-Olivares, “ Effects of water absorption on the microstructure of plaster with end-of-life tire rubber mortars” *Construction and Building Materials*.
- [82] A. Μοροπούλου, Ε. Αγγελικοπούλου, Εφαρμογές της Θερμικής Ανάλυσης, “Ιστορικά Υλικά για την Προστασία της Πολιτιστικής Κληρονομιάς”, 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Θερμικής Ανάλυσης, Θεσσαλονίκη, 2002.
- [83] P. Maravelaki-Kalaitzaki, A. Bakolas, A. Moropoulou, “Physico-chemical study of Cretan ancient mortars”, *Cement and Concrete Research*, 3 (2003) 651-661.
- [84] A. Moropoulou, K. Polikreti, A. Bakolas, P. Michailidis, “Correlation of physicochemical and mechanical properties of historical mortars and classification by multivariate statistics”, *Cement and Concrete Research*, 33 (2003) 891-898.
- [84] G. Biscotin, A. Bakolas, A. Moropoulou, E. Zendri, “Microstructural characterization of the historical mortars of Venice”, 3rd International Symposium on the Conservation of

Monuments in the Mediterranean Basin, ed. V. Fassina, H. Ott & F. Zezza, Publ. Soprintendenza ai Beni Artistici e Storici di Venezia, 1994, pp. 405-410.

- [85] A. Moropoulou, K. Labropoulos, E. Delegou, M. Karoglou, A. Bakolas, “Non-destructive techniques as a tool for the protection of built cultural heritage”, *Construction and Building Materials*, 48 (2013) 1222-1239.
- [86] L. Bertolini, M. Carsana, M. Gastaldi, F. Lollini, E. Redaelli, “Binder characterisation of mortars used at different ages in the San Lorenzo church in Milan”, *Materials Characterization*, 80 (2013) 9-20.
- [87] J.-W. Ahn, K.-S. You, G.-C. Han, N.-I. Um, H.-C. Cho, “Advanced Process for Recovery of High Quality Recycled Aggregate from Waste Concrete”, *Geosystem Engineering*, 9 (2006) 45-48.
- [88] A. Moropoulou, A. Bakolas, K. Bisbikou, “Characterization of ancient, byzantine and later historic mortars by thermal and X-ray diffraction techniques”, *Thermochimica Acta*, 269/270 (1995) 779-795.
- [89] A. Bakolas, G. Biscontin, V. Contardi, E. Franceschi, A. Moropoulou, D. Palazzi, E. Zendri, “Thermoanalytical research on traditional mortars in Venice”, *Thermochimica Acta*, 269/270, (1995) 817-828.
- [90] C. Corti, L. Rampazzi, R. Bugini, A. Sansonetti, M. Biraghi, L. Castelletti, I. Nobile, C. Orsenigo, “Thermal analysis and archaeological chronology: The ancient mortars of the site of Baradello (Como, Italy)”, *Thermochimica Acta*, 572, (2013) 71-84.
- [91] Σ. Αναγνωστοπούλου, “Μεθοδολογία αποτίμησης του ρόλου των αδρανών για τον επιτελεστικό σχεδιασμό κονιαμάτων αποκατάστασης”, *Διδακτορική Διατριβή*, Ε.Μ.Π.
- [92] P. Degryse, J. Elsen, M. Waelkens, “Study of ancient mortars from Sagalassos (Turkey) in view of their conservation”, *Cement and Concrete Research*, 32 (2002) 1457-1463.
- [93] S. Q. Fang, H. Zhang, Bing Jian Zhang, Ye Zheng, “The identification of organic additives in traditional lime mortar”, *Journal of Cultural Heritage*, 15 (2014) 144-150.
- [94] J. Sanjurjo-Sánchez, M.J. Trindade, R. Blanco-Rotea, R. Benavides Garcia, D. Fernández Mosquera, C. Burbidge, M.I. Prudêncio, M.I. Dias, “Chemical and mineralogical

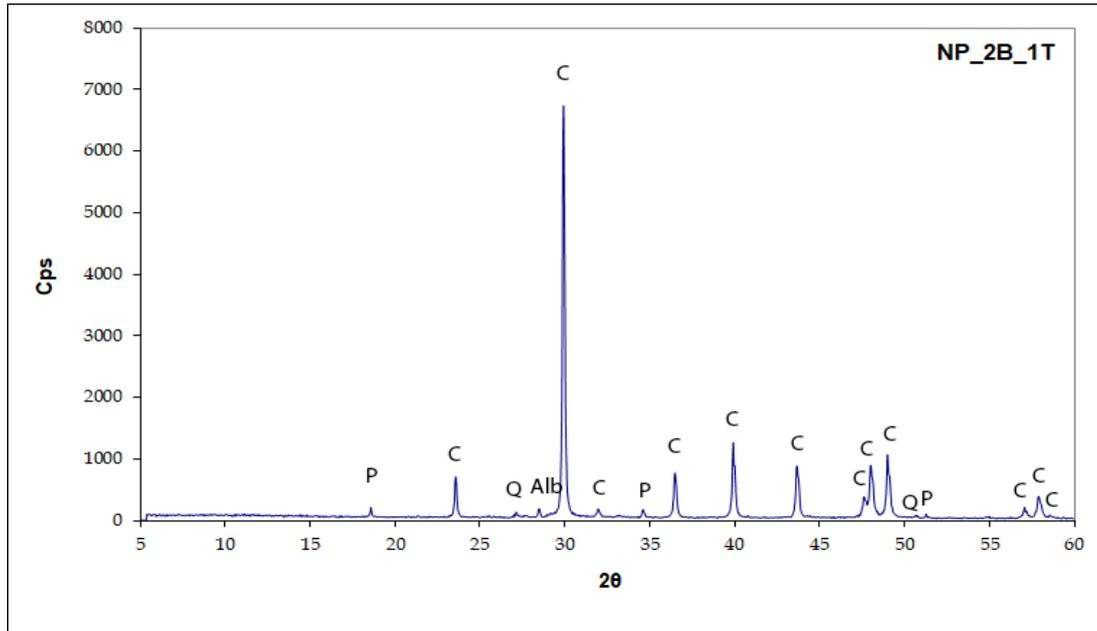
- characterization of historic mortars from the Santa Eulalia de Bóveda temple, NW Spain”, *Journal of Archaeological Science*, 37 (2010) 2346-2351.
- [95] M. Lezzerini, S. Legnaioli, G. Lorenzetti, V. Palleschi, M. Tamponia, “Characterization of historical mortars from the bell tower of St. Nicholas church (Pisa, Italy)” *Construction and Building Materials*, 69 (2014) 203-212.
- [96] G. Bianchini, E. Marrocchino, C. Vaccaro, “Chemical and mineralogical characterisation of historic mortars in Ferrara (northeast Italy)”, *Cement and Concrete Research*, 34 (2004) 1471-1475.
- [97] M. Drdácáký, F. Fratini, D. Frankeová, Z. Slížková, “ The Roman mortars used in the construction of the Ponte di Augusto (Narni, Italy) – A comprehensive assessment”, *Construction and Building Materials*, 38 (2013) 1117-1128.
- [98] P. Bruno, D. Calabrese, M. D. Pierro, A. Genga, C. Laganara, D.A.P. Manigrassi, A. Traini, P. Ubbriaco, “Chemical–physical and mineralogical investigation on ancient mortars from the archaeological site of Monte Sannace (Bari—Southern Italy), *Thermochimica Acta*, 418 (2004) 131-141.
- [99] S. Kramar, V. Zalar, M. Urosevic, W. Körner, A. Mauko, B. Mirtič, J. Lux, A. Mladenović, “Mineralogical and microstructural studies of mortars from the bath complex of the Roman villa rustica near Mošnje (Slovenia)”, *Materials Characterization*, 62 (2011) 1042-1057.
- [100] J.I Alvarez, I Navarro, A Martín, P.J García Casado, “A study of the ancient mortars in the north tower of Pamplona's San Cernin church”, *Cement and Concrete Research*, 30 (2000) 1413-1419.
- [101] H. Binici, J. Arocena, S. Kapur, O. Aksogan, H. Kaplan, “Investigation of the physico-chemical and microscopic properties of Ottoman mortars from Erzurum (Turkey)”, *Construction and Building Materials*, 24 (2010) 1995-2002.
- [102] G.M. Ingo, I. Fragalà, G. Bultrini, T. de Caro, C. Riccucci, G. Chiozzini, “Thermal and microchemical investigation of Phoenician–Punic mortars used for lining cisterns at Tharros (western Sardinia, Italy)”, *Thermochimica Acta*, 418 (2004) 53-60.

- [103] P.J.P. Gleize, E.V. Motta, D.A. Silva, H.R. Roman, "Characterization of historical mortars from Santa Catarina (Brazil)", *Cement and Concrete Composites*, 31 (2009) 342-346.
- [104] P. Adriano, A. Santos Silva, R. Veiga, J. Mirão, A.E. Candeias, "Microscopic characterisation of old mortars from the Santa Maria Church in Évora", *Materials Characterization*, 60 (2009) 610-620.
- [105] S. Vecchio, A. La Gmestra, A. Frezza, C. Ferragina, "The use of thermoanalytical techniques in the characterization of ancient mortars", *Thermochimica Acta*, 227 (1993) 215-223.
- [106] J.I Alvarez, I Navarro, P.J García Casado, "Thermal, mineralogical and chemical studies of the mortars used in the cathedral of Pamplona (Spain)", *Thermochimica Acta*, 365 (2000) 177-187.
- [107] A. Moropoulou, A. Bakolas, E. Aggelakopoulou, "Evaluation of pozzolanic activity of natural and artificial pozzolans by thermal analysis", *Thermochimica Acta*, 420 (2004) 135-140.
- [108] P. Maravelaki-Kalaitzaki, A. Bakolas, I. Karatasios, V. Kilikoglou, "Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete", *Cement and Concrete Research*, 35 (2005) 1577-1586.
- [109] A. Bakolas, G. Biscontin, A. Moropoulou, E. Zendria, "Characterization of the lumps in the mortars of historic masonry", *Thermochimica Acta*, 269-270 (1995) 809-816.
- [110] A. Moropoulou, Th. Tsiourva, K. Bisbikou, G. Biscontin, A. Bakolas, E. Zendri, "Hot lime technology imparting high strength to historic mortars", *Construction and Building Materials*, 10 (1996) 151-156.
- [111] F. Pintér, I. Vidovszky, J. Weber, K. Bayer, "Mineralogical and microstructural characteristics of historic Roman cement renders from Budapest, Hungary", *Journal of Cultural Heritage*, 15 (2014) 219-226.
- [112] J. Meinhardt, M. Zötzl, "Analyses in monument preservation - Characterisation of historical mortar and concrete by microscopy", 34th International Conference on Cement Microscopy, 2012, pp.222-226.

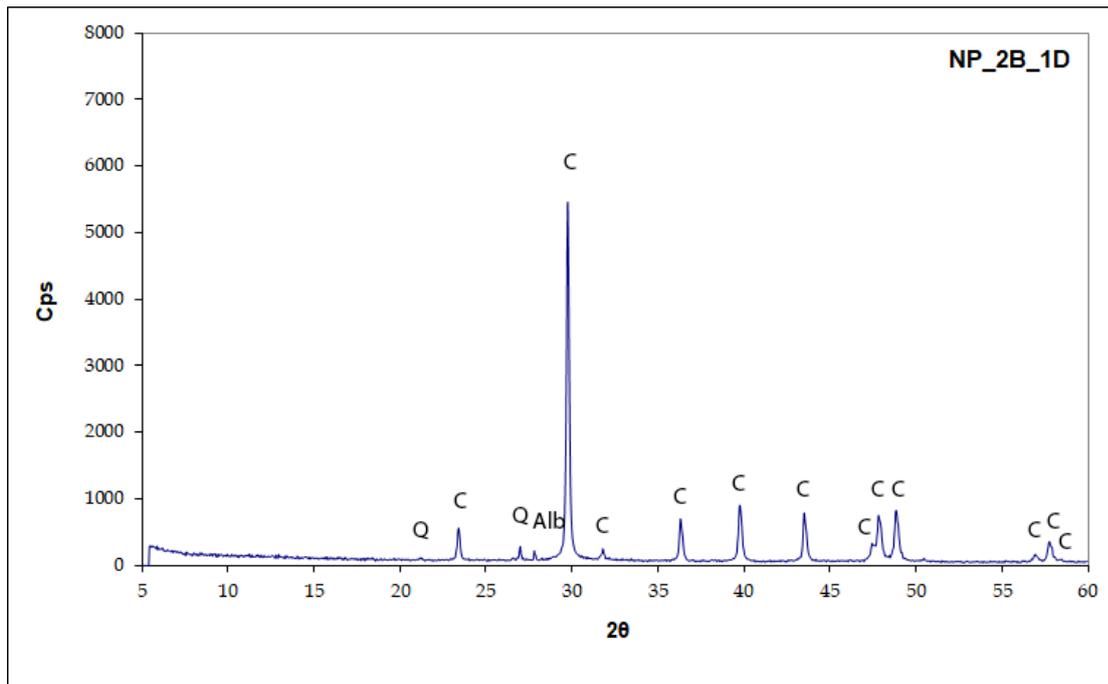
- [113] E.U. Sağın, H. Böke, N. Aras, S. Yalçın, “Determination of CaCO₃ and SiO₂ content in the binders of historic lime mortars”, *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 45 (2012) 841-849.
- [114] S. Maria, “Methods for porosity measurement in lime-based mortars”, *Construction and Building Materials*, 24 (2010) 2572-2578.
- [115] A. Moropoulou, A. Bakolas, K. Bisbikou, “Investigation of the technology of historic mortars”, *Journal of Cultural Heritage*, 1 (2000) 45-48.
- [116] J. Elsen, “Microscopy of historic mortars—a review”, *Cement and Concrete Research*, 36 (2006) 1416 –1424.
- [117] V. Nežerka, J. Zeman, J. Němeček, “Micromechanics-based simulations of compressive and tensile testing on lime-based mortars”, *Mechanics of Materials*, Volume 105, February 2017, Pages 49-60.
- [118] A. M. Conte, L. Corda, D. Esposito, E. Giorgi, “Characterization of mortars from the medieval Abbey of Cerrate (southern Italy)”, *Journal of Archaeological Science: Reports* Volume 12, April 2017, Pages 463-479.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

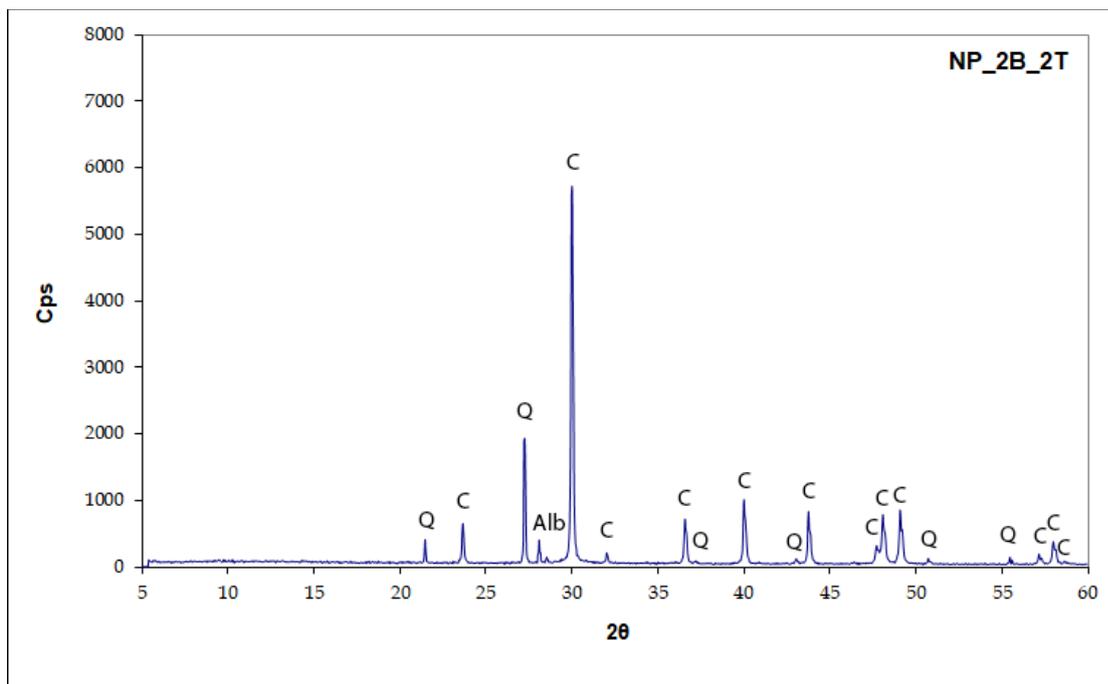
Διαγράμματα XRD



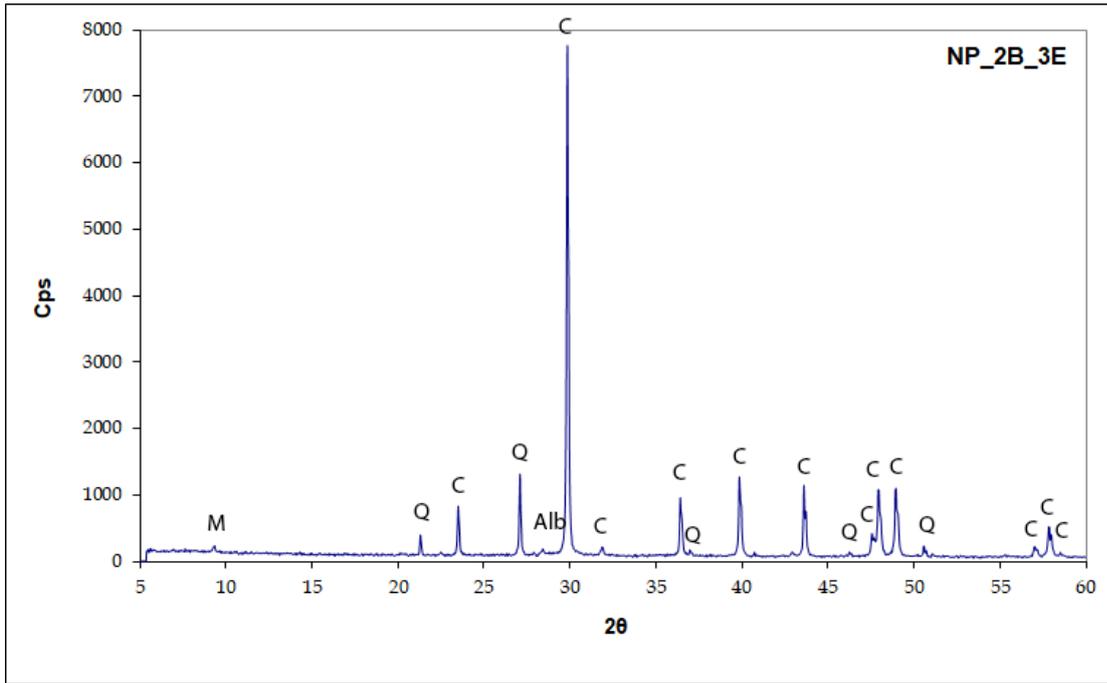
Σχήμα ΠΙ.ΒΙ.1: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_2B_1T



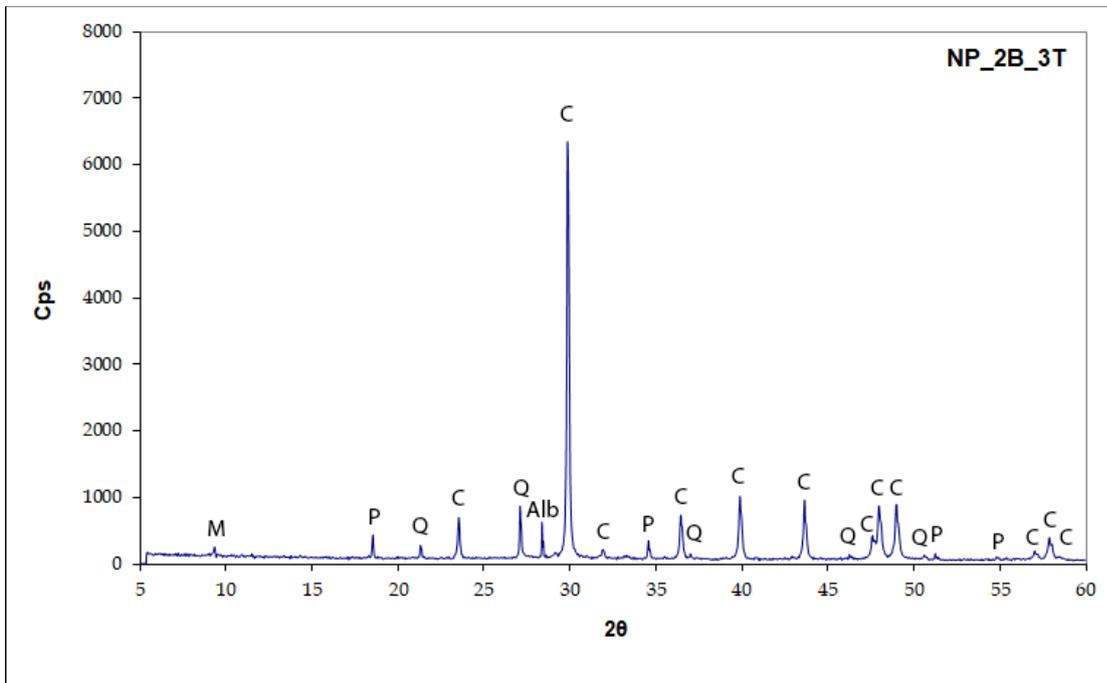
Σχήμα ΠΙ.ΒΙ.2: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_2B_1D



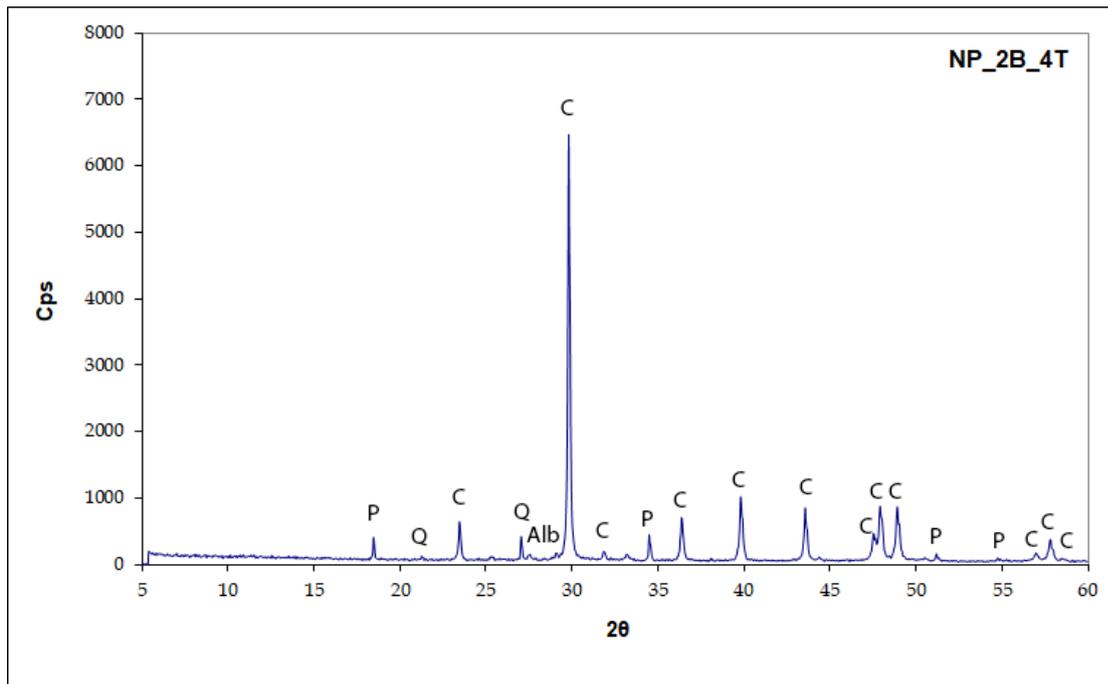
Σχήμα ΠΝ.ΒΙ.3: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_2B_2T



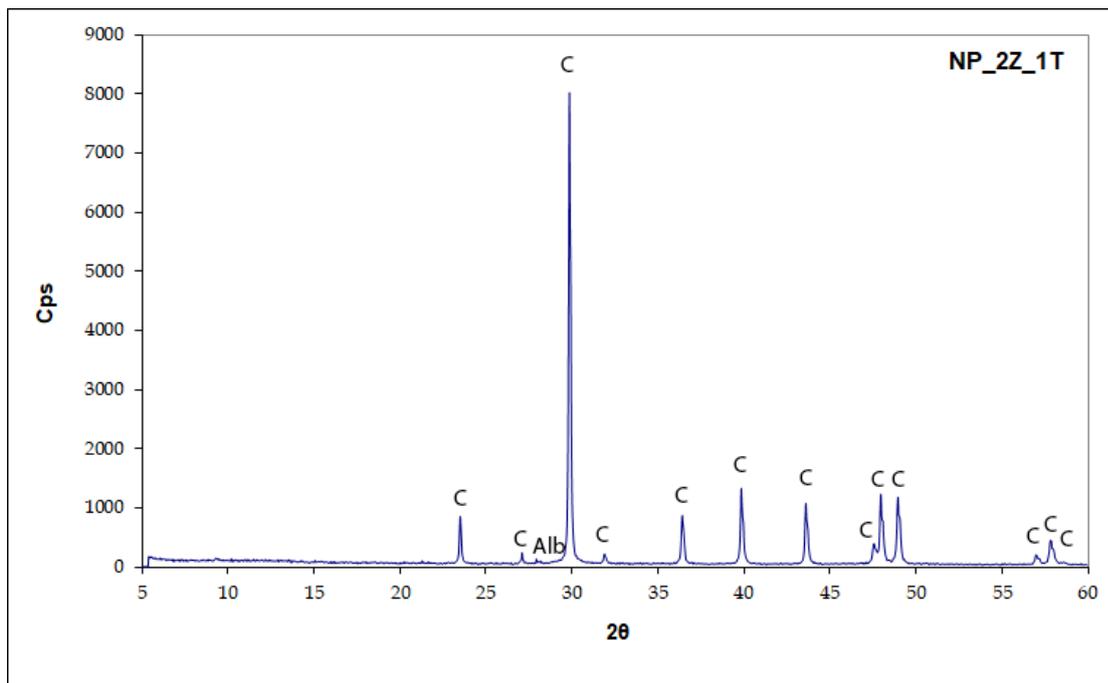
Σχήμα ΠΙ.ΒΙ.4: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_2B_3E



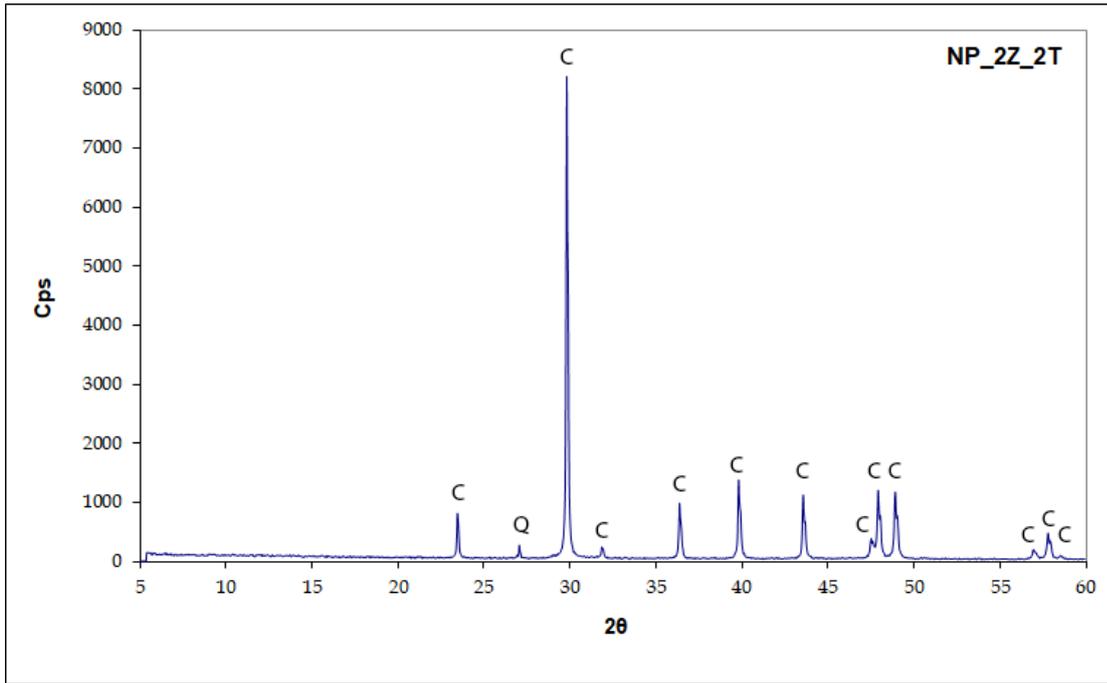
Σχήμα ΠΙ.ΒΙ.5: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_2B_3T



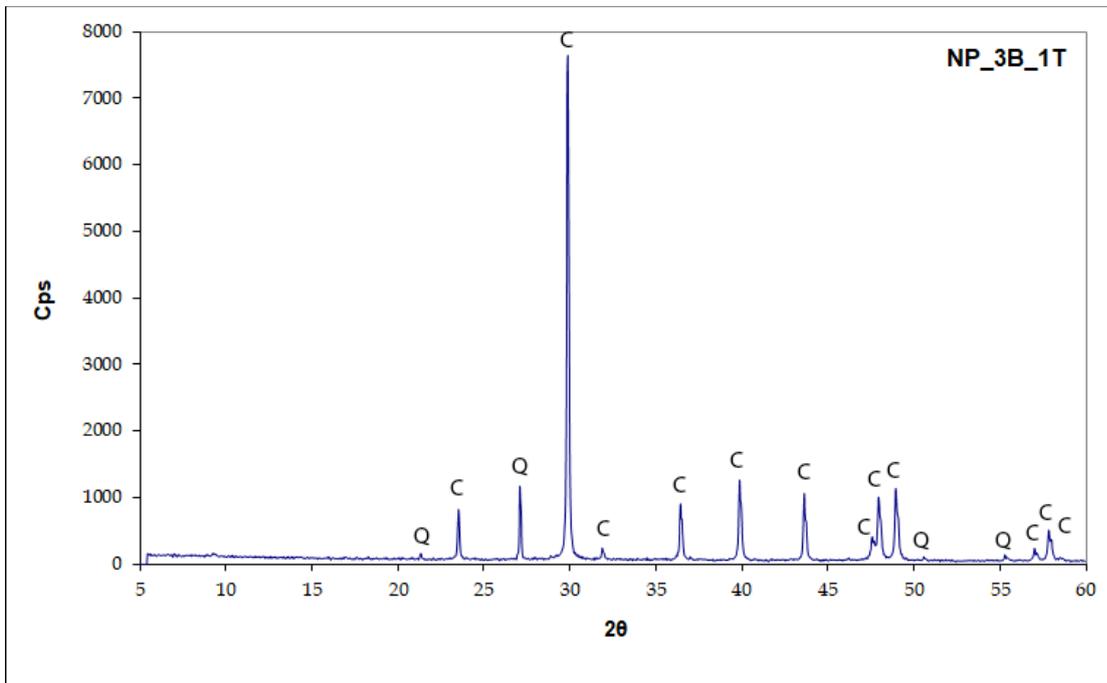
Σχήμα ΠΙ.ΒΙ.6: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_2B_4T



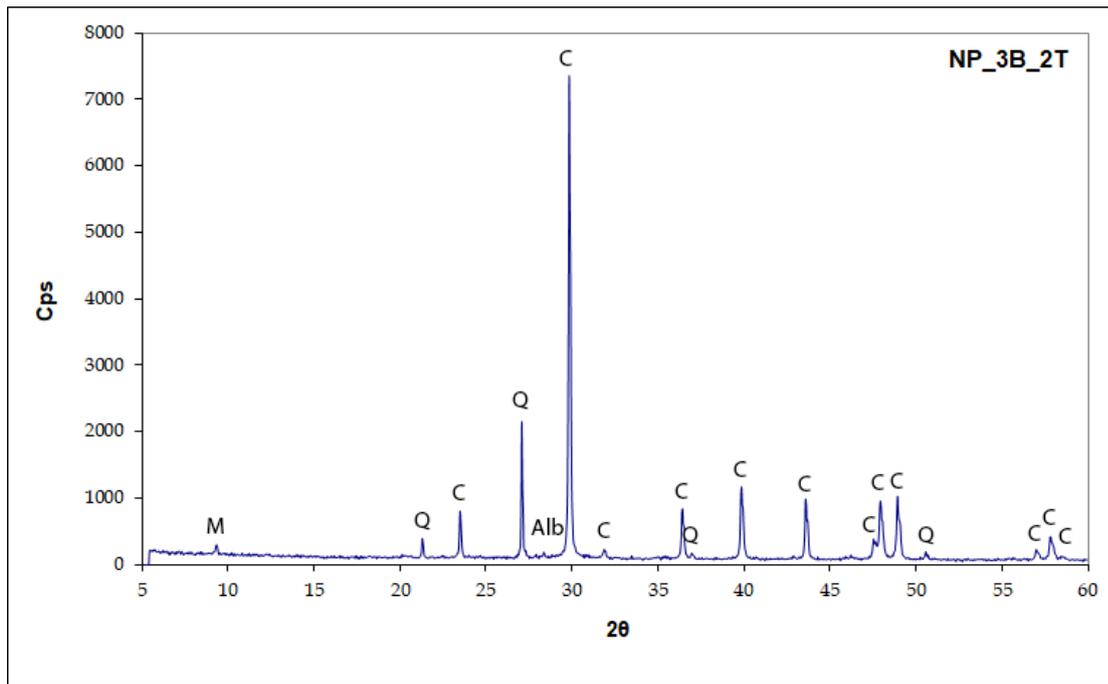
Σχήμα ΠΙ.ΒΙ.7: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_2Z_1T



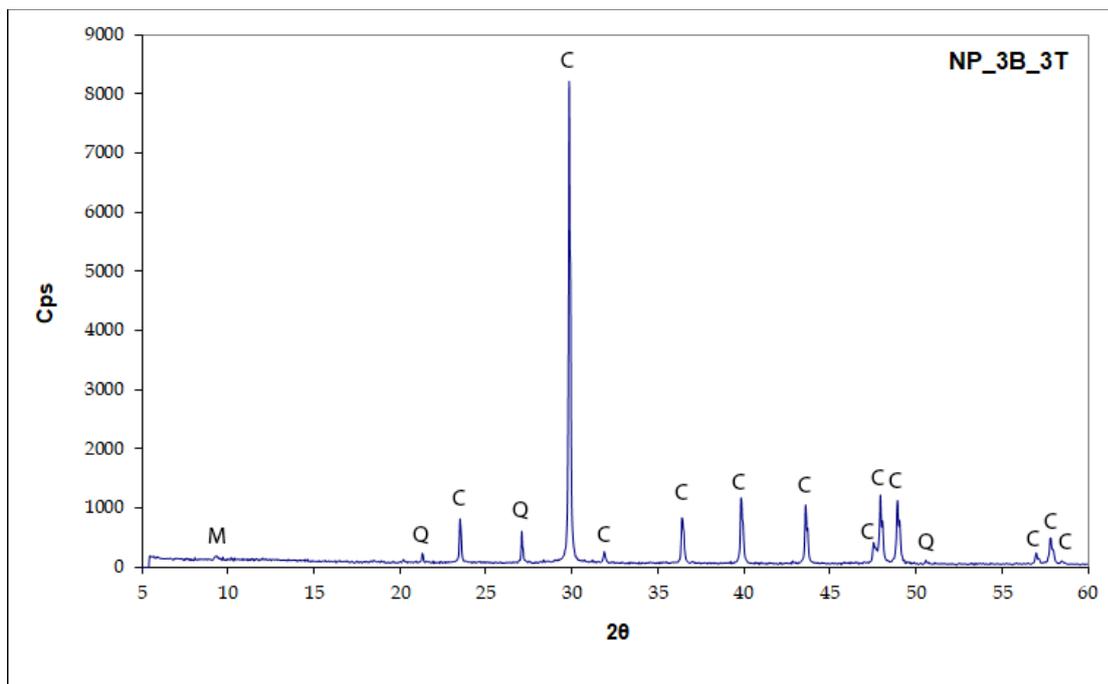
Σχήμα ΠΙ.ΒΙ.8: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_2Z_2T



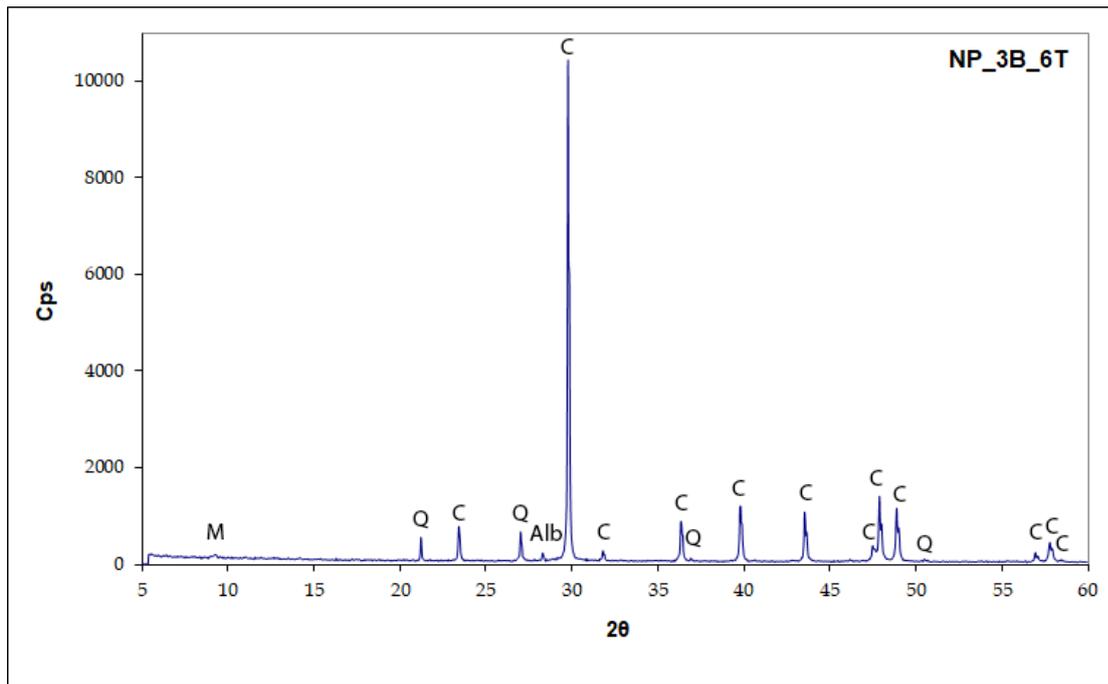
Σχήμα ΠΙ.ΒΙ.9: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_3B_1T



Σχήμα ΠΙ.ΒΙ.10: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_3B_2T



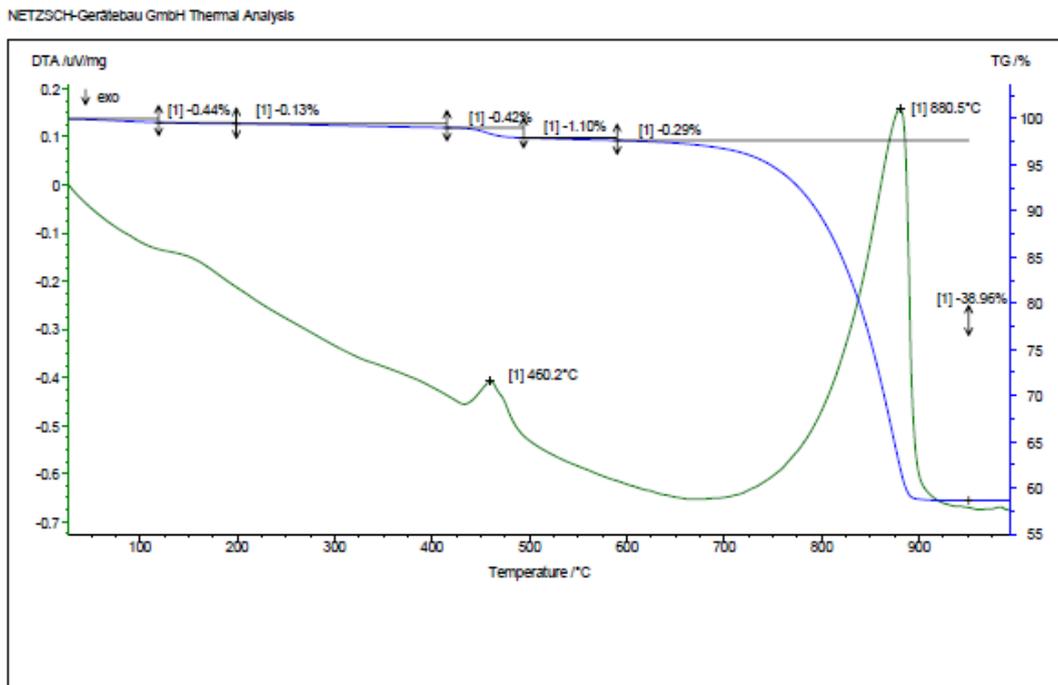
Σχήμα ΠΙ.ΒΙ.11: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_3B_3T



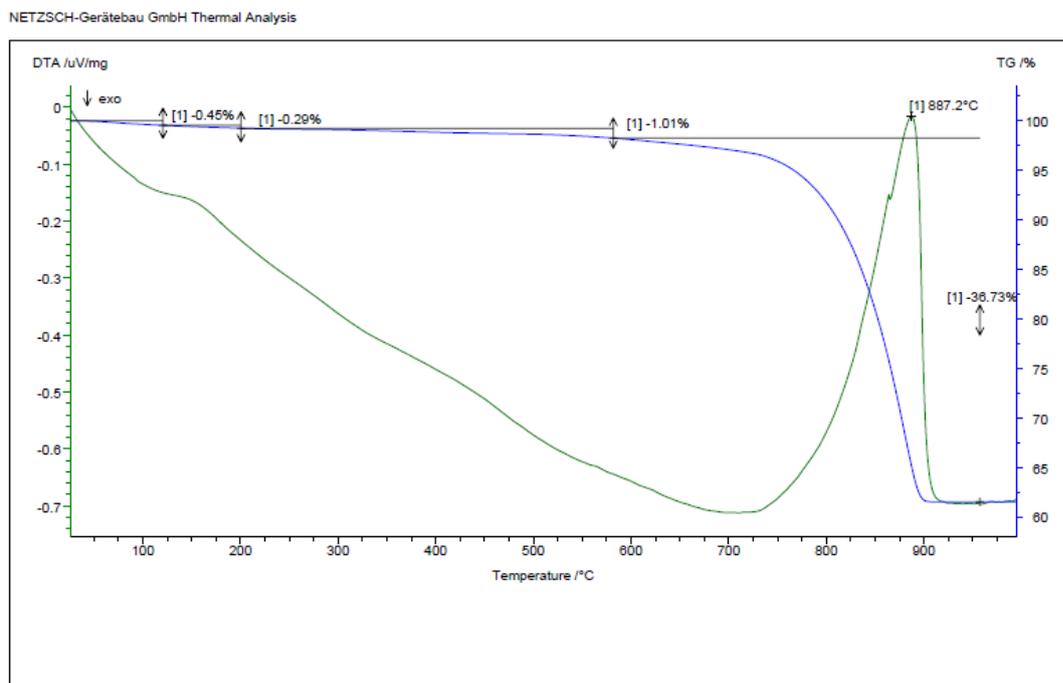
Σχήμα ΠΙ.ΒΙ.14: Φάσμα Περίθλασης Ακτίνων Χ για το δείγμα NP_3B_6T

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

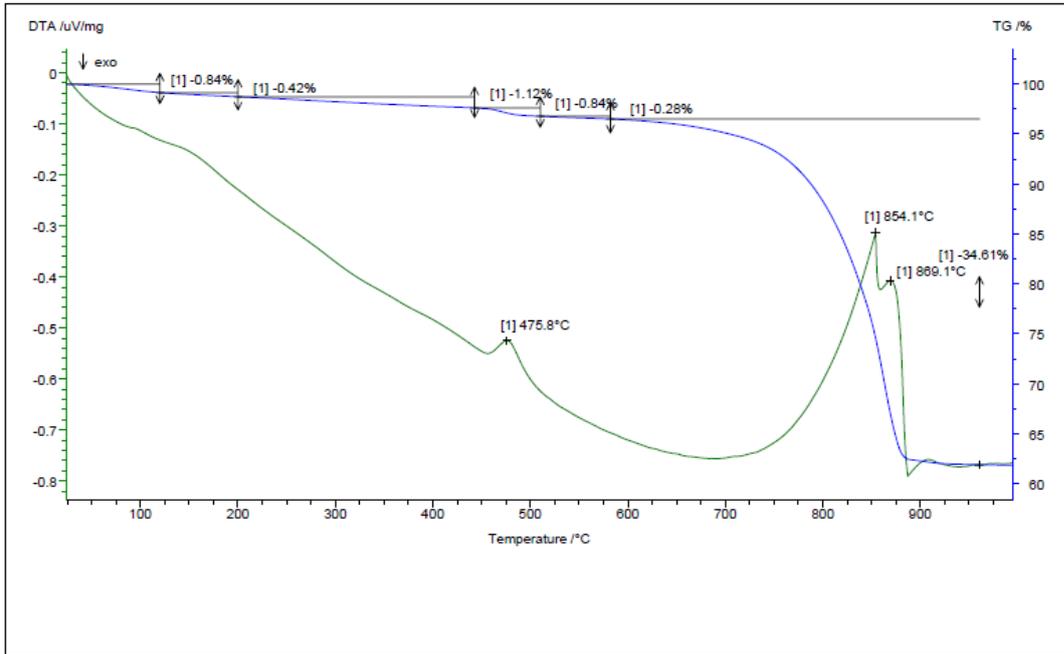
Πίνακας ΠΙΙ.ΥΙ.1: Διαγράμματα DTA-TG ολικού δείγματος και θραυσμάτων διαφορετικών αποχρώσεων



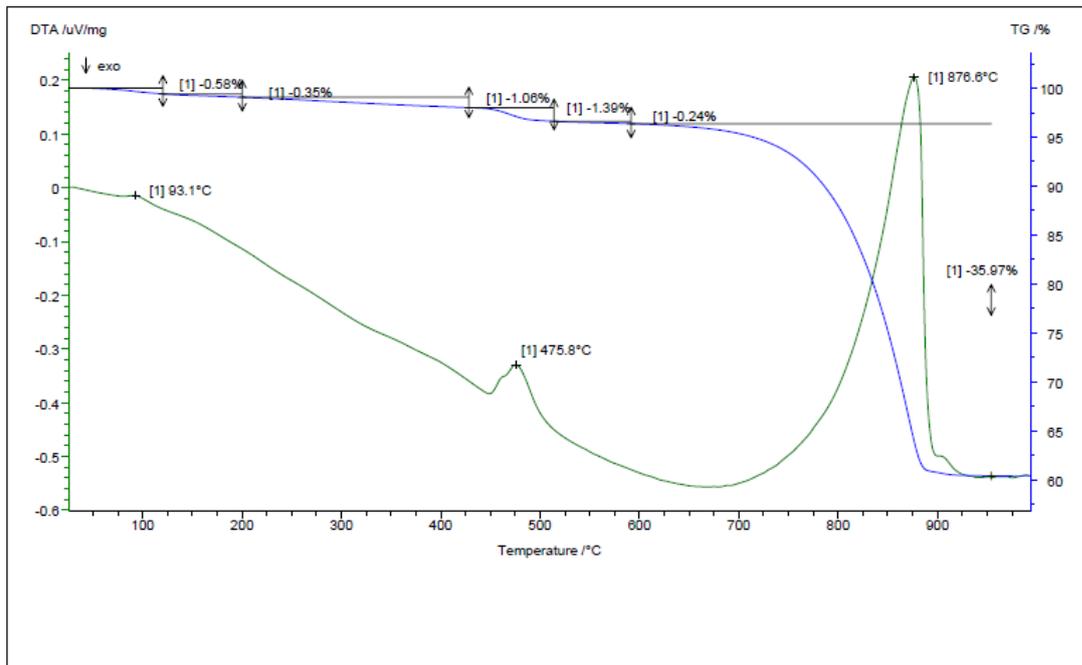
NP_2B_1T



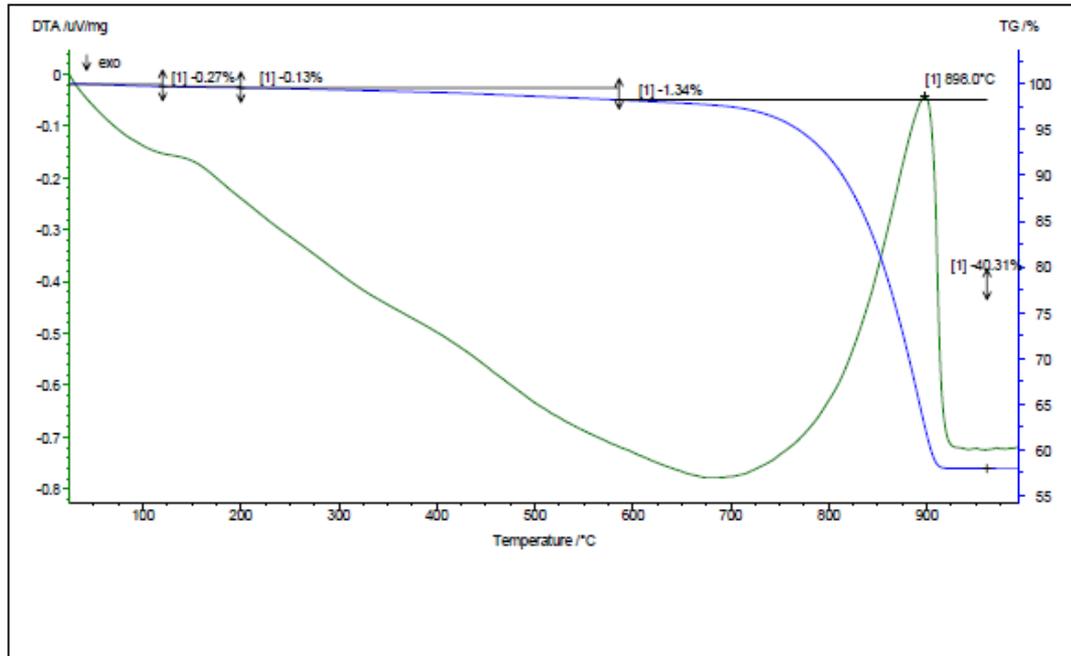
NP_2B_2T



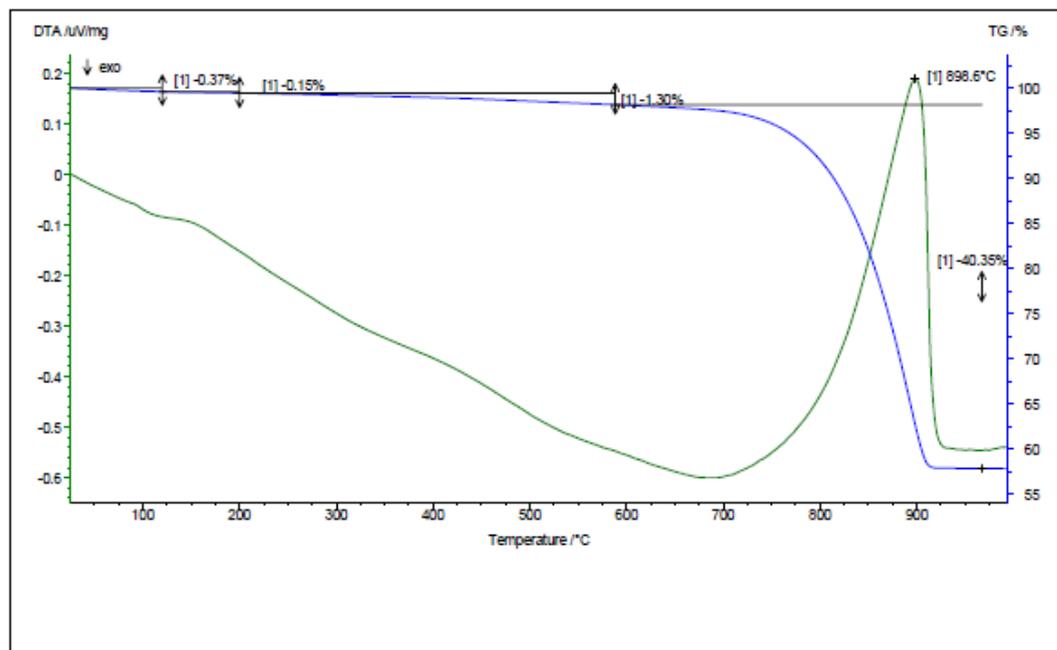
NP_2B_3T



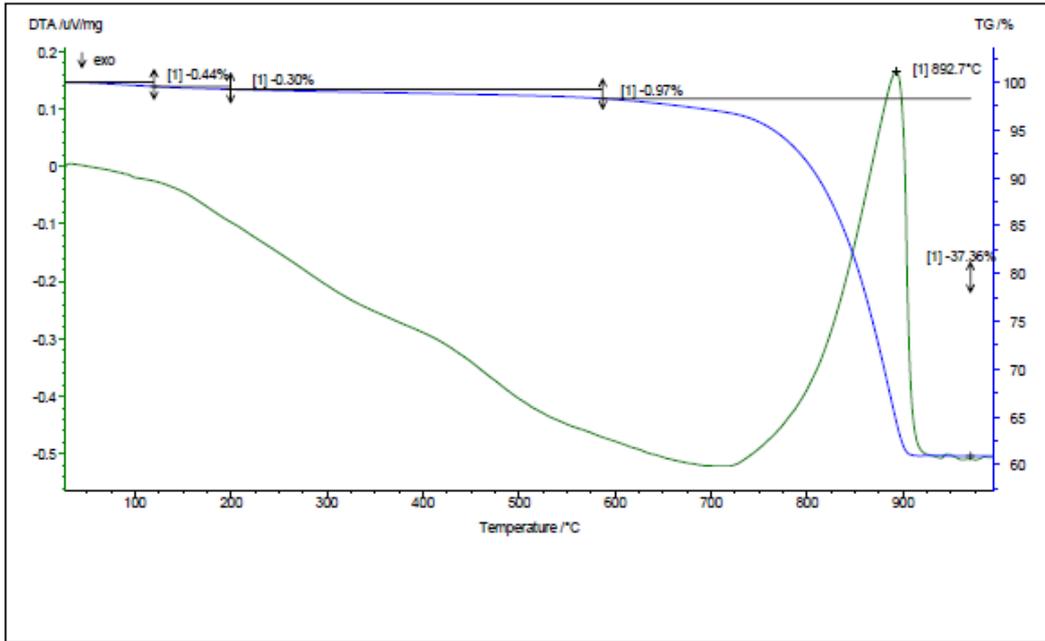
NP_2B_4T



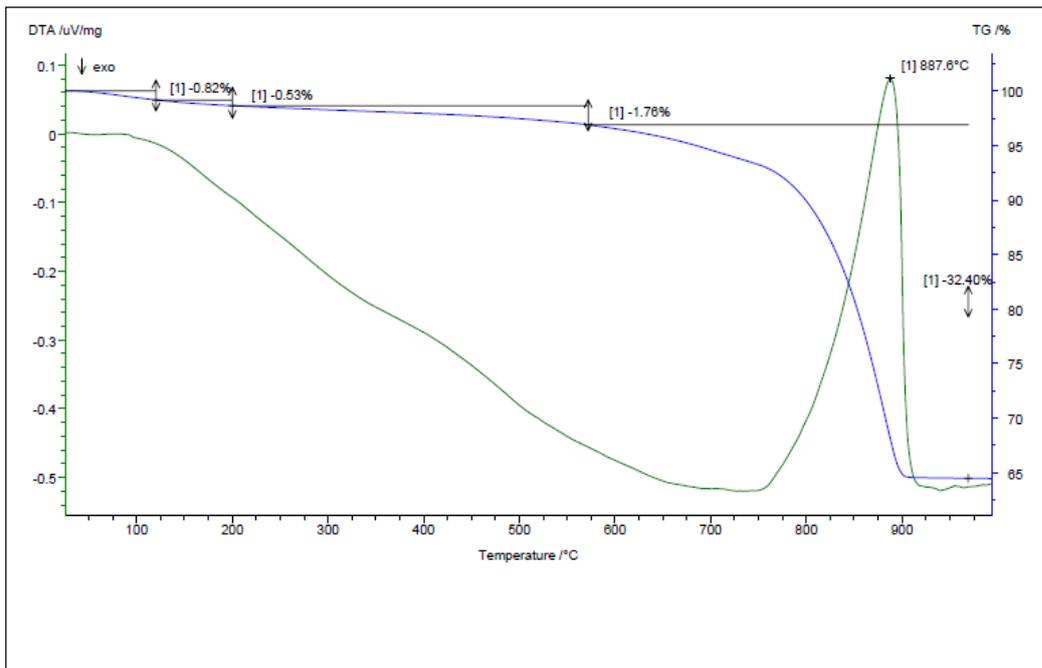
NP_2Z_1T



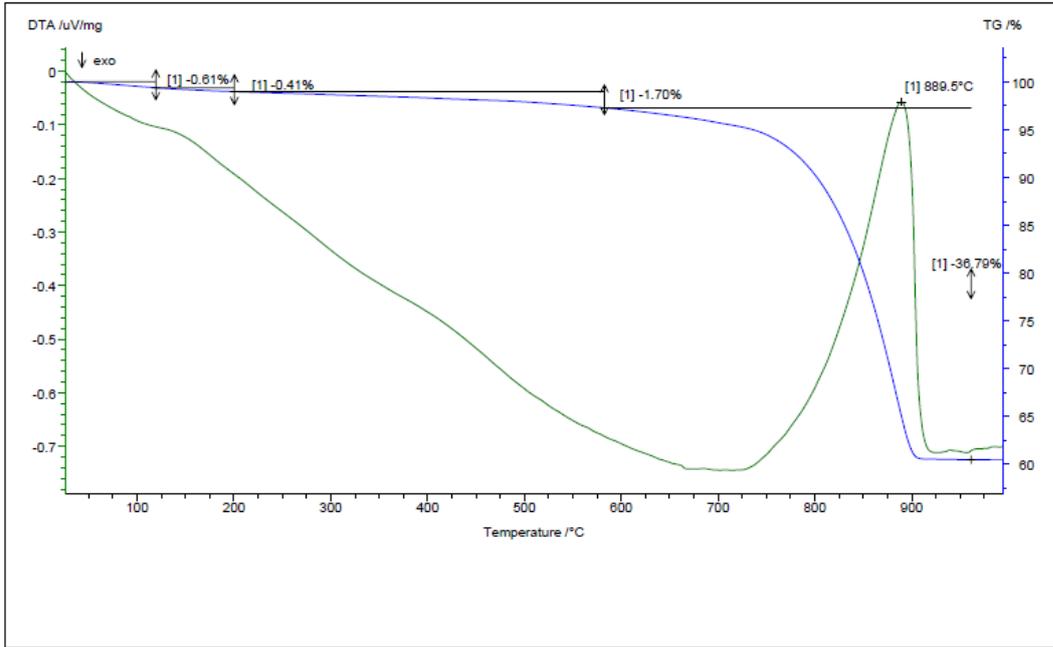
NP_2Z_2T



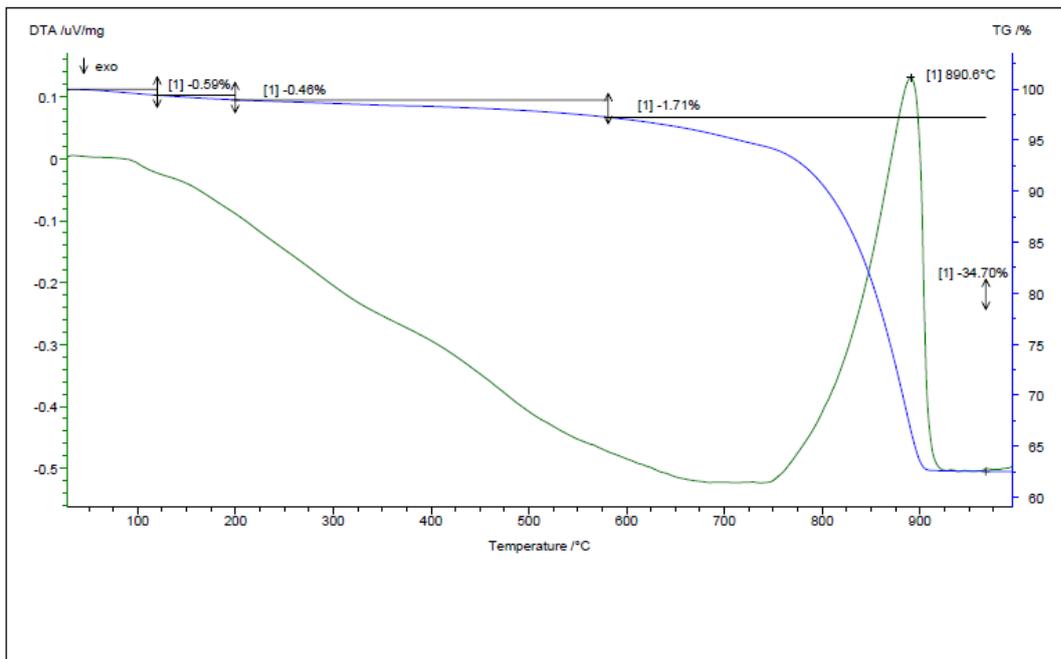
NP_3B_1T



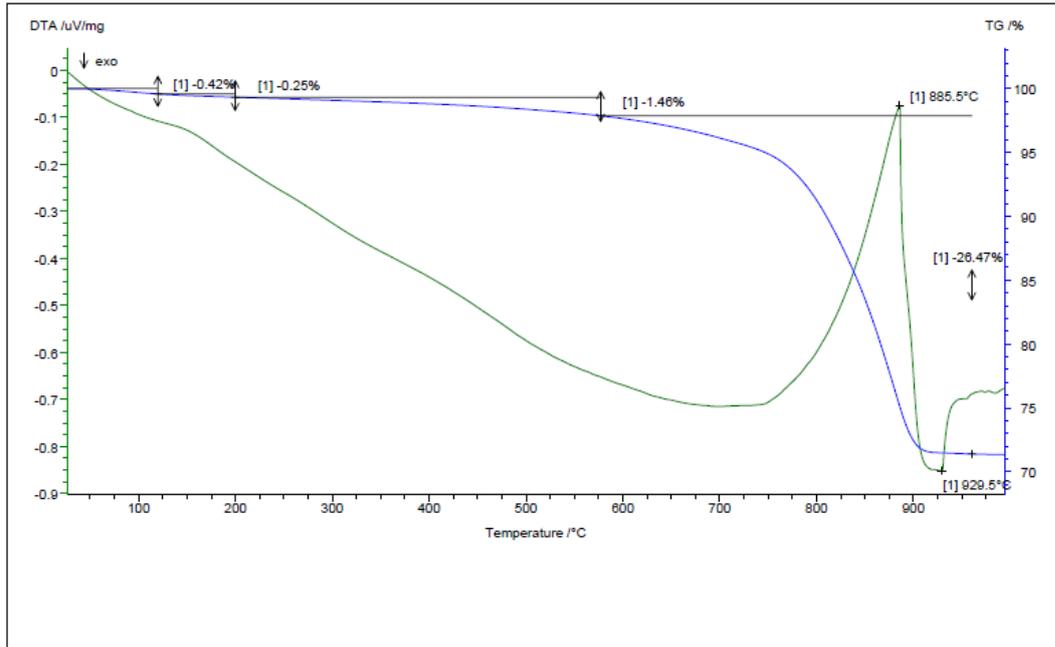
NP_3B_2T



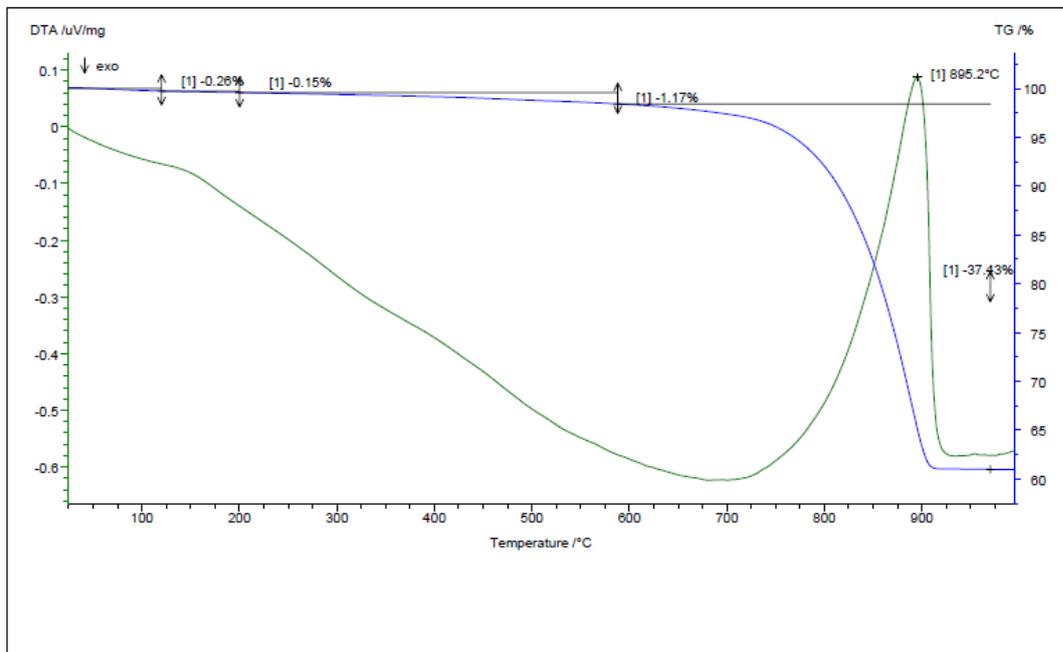
NP_3B_3T



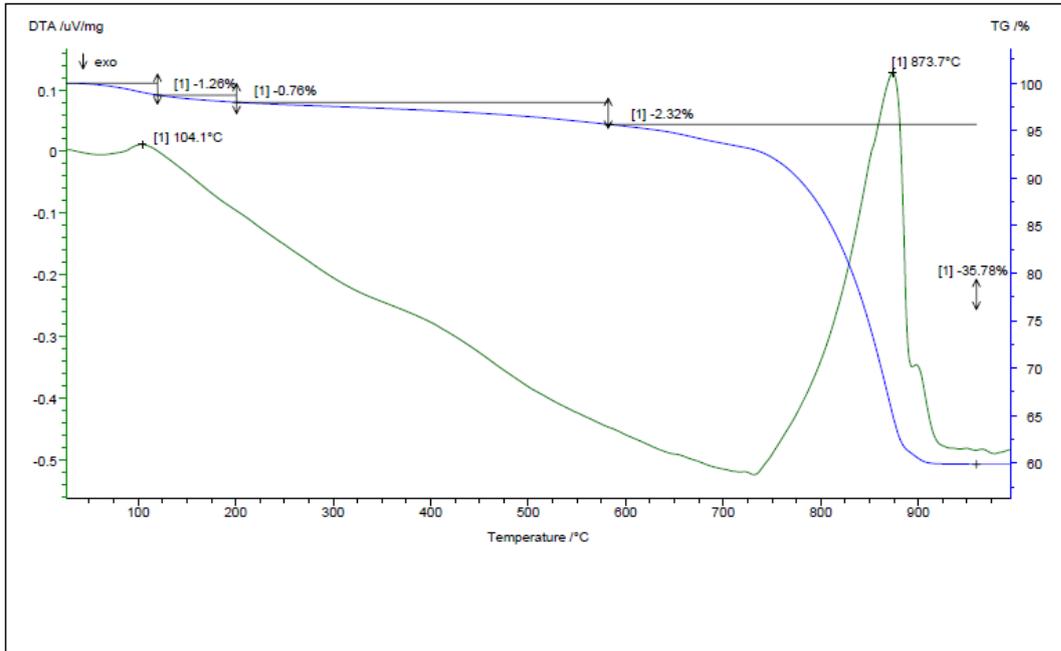
NP_3B_4T



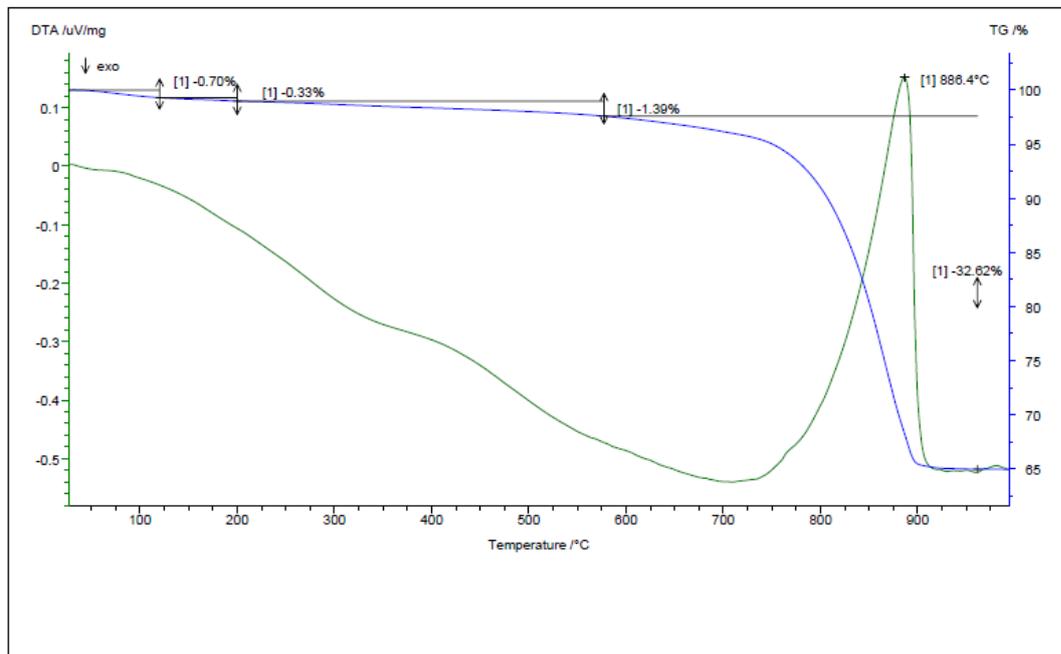
NP_3B_5T



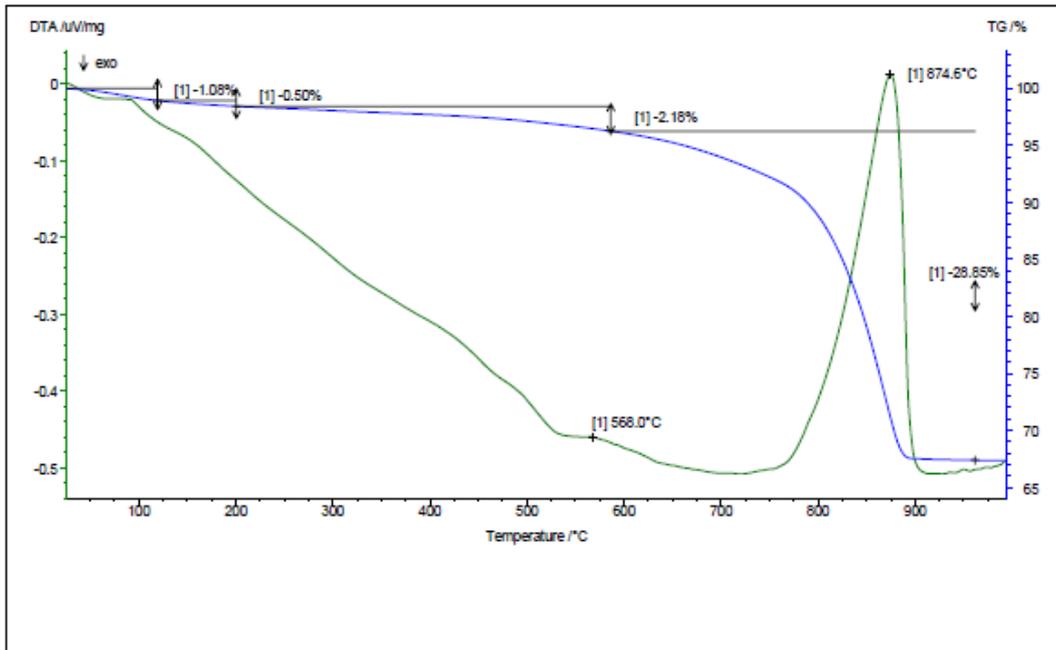
NP_3B_6T



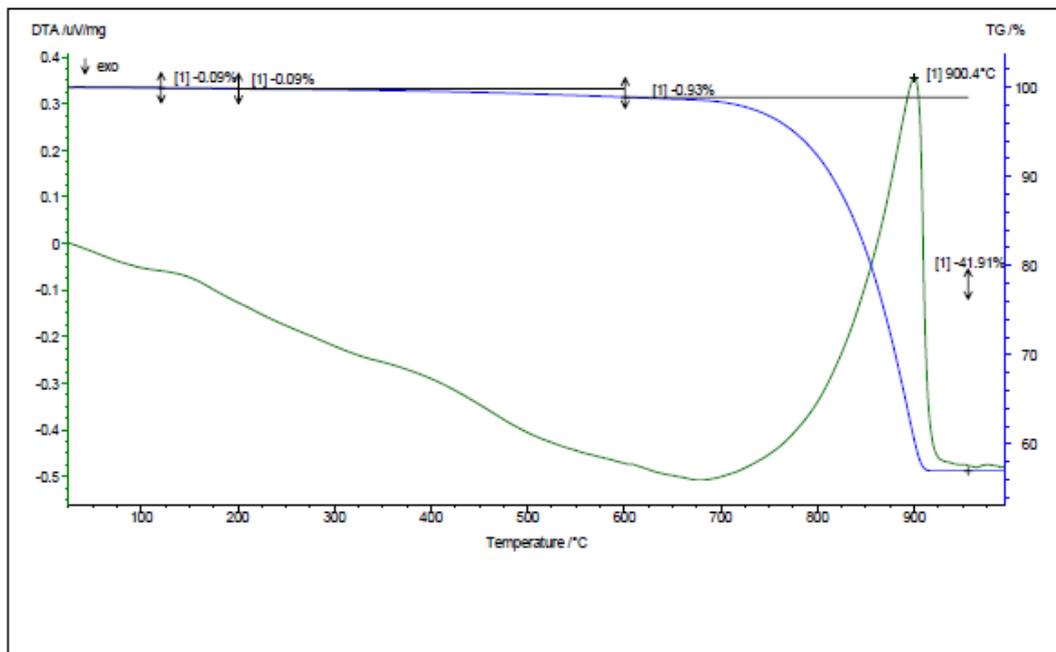
NP_2B_1D



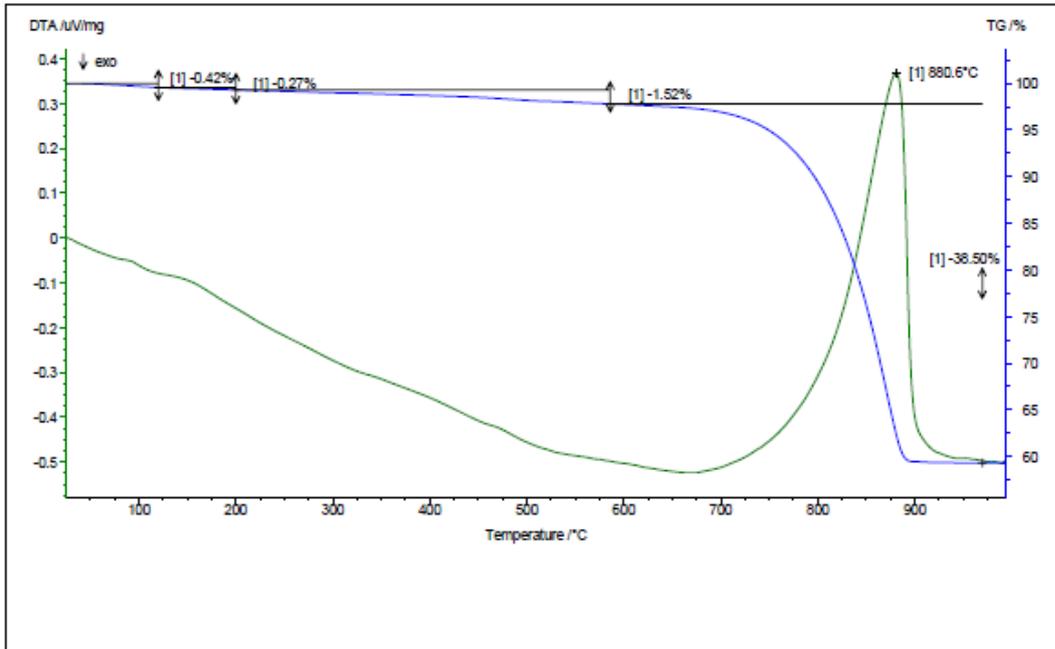
NP_2B_3E



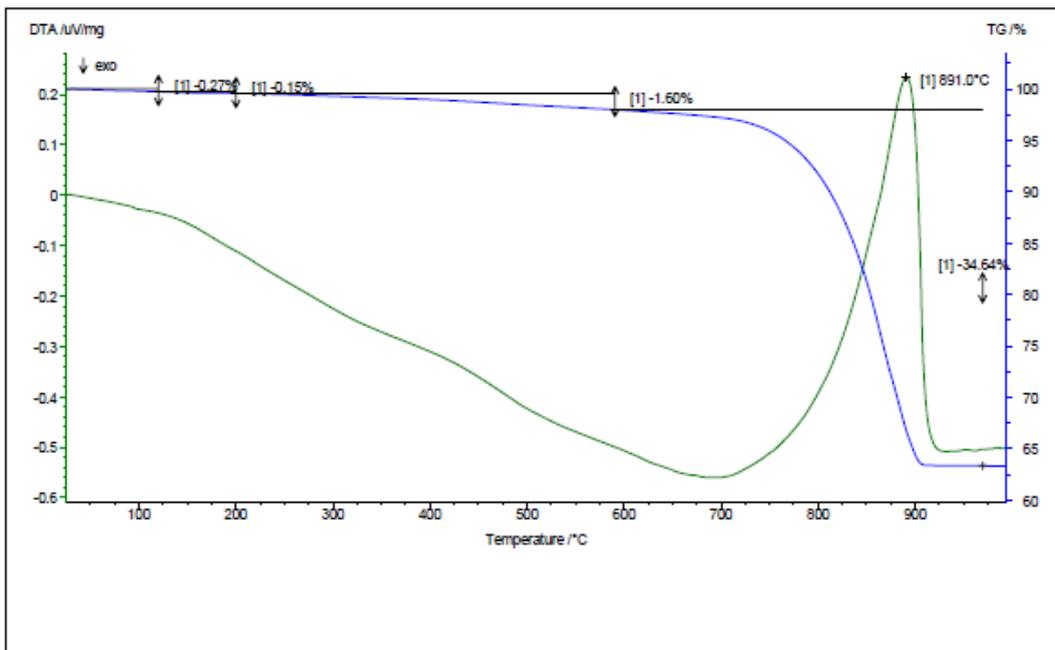
NP_2B_4A



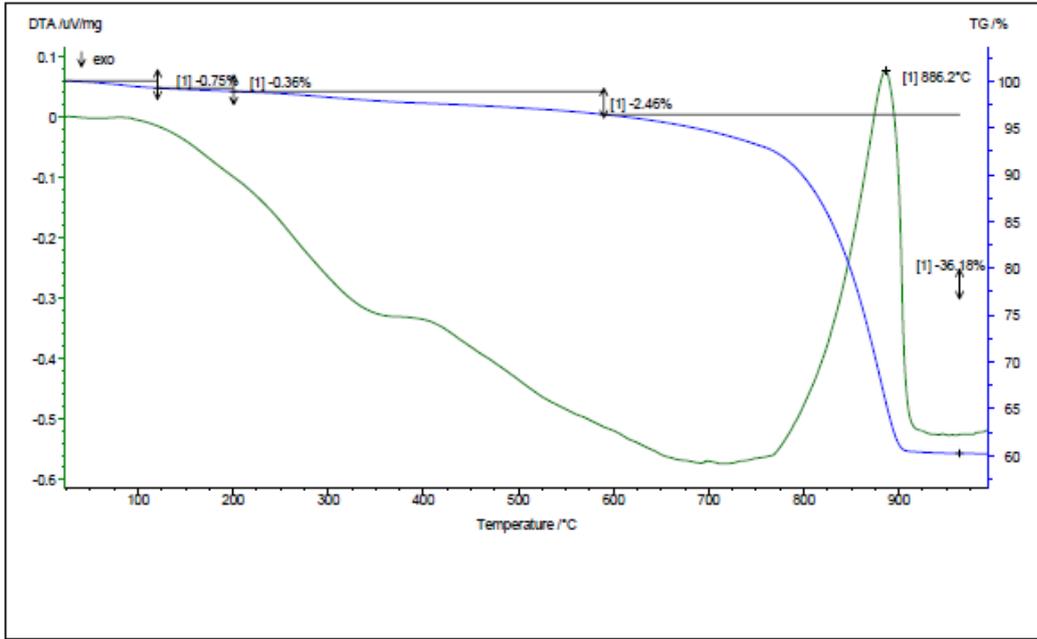
NP_2B_4B



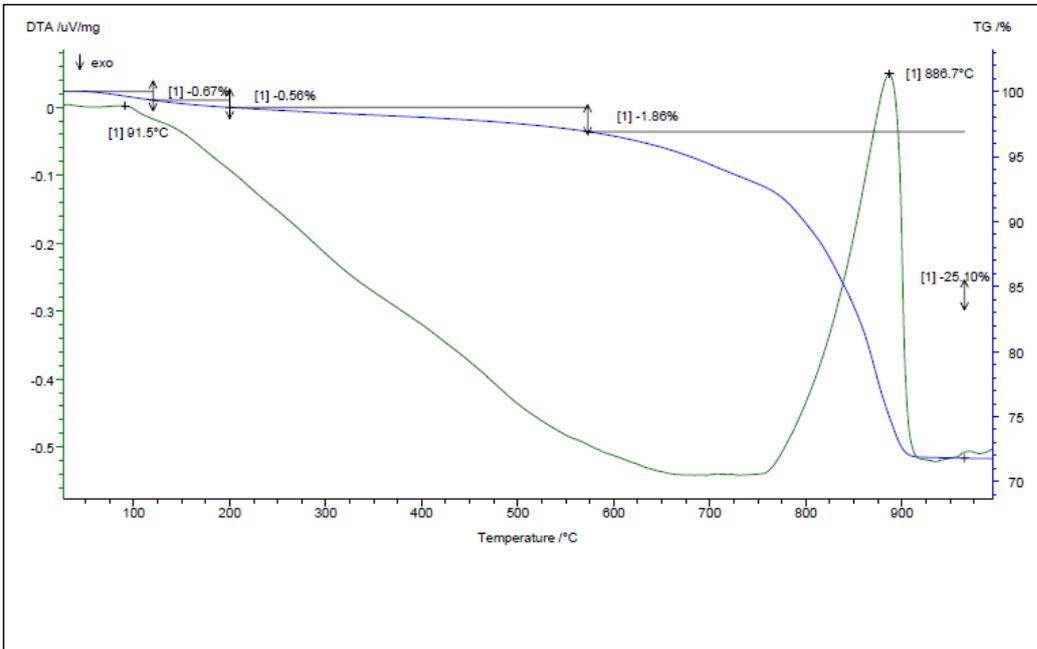
NP_2B_4C



NP_2Z_1A



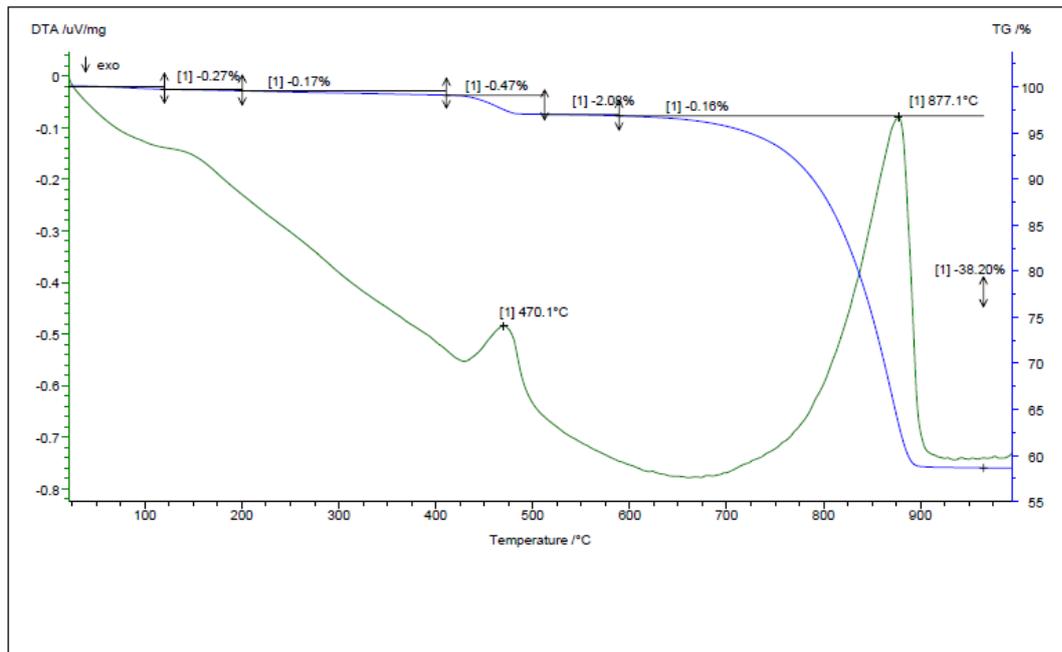
NP_2Z_1E



NP_3B_3B

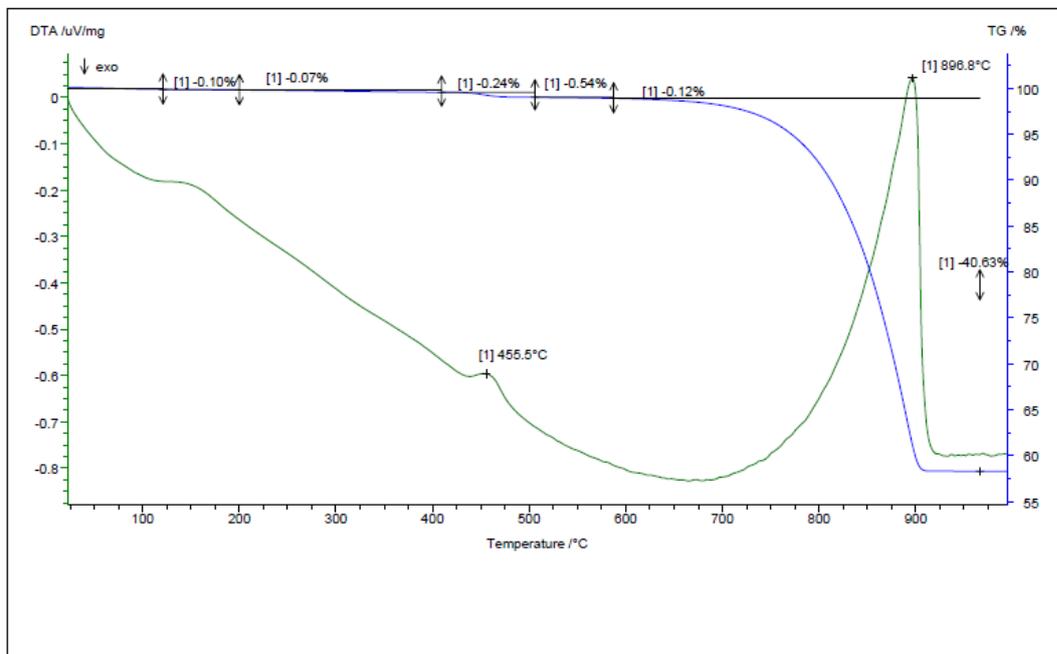
Πίνακας ΠΙΙ.VI.2: Διαγράμματα DTA-TG συσσωματωμάτων κόνιας (lumps)

NETZSCH-Gerätebau GmbH Thermal Analysis

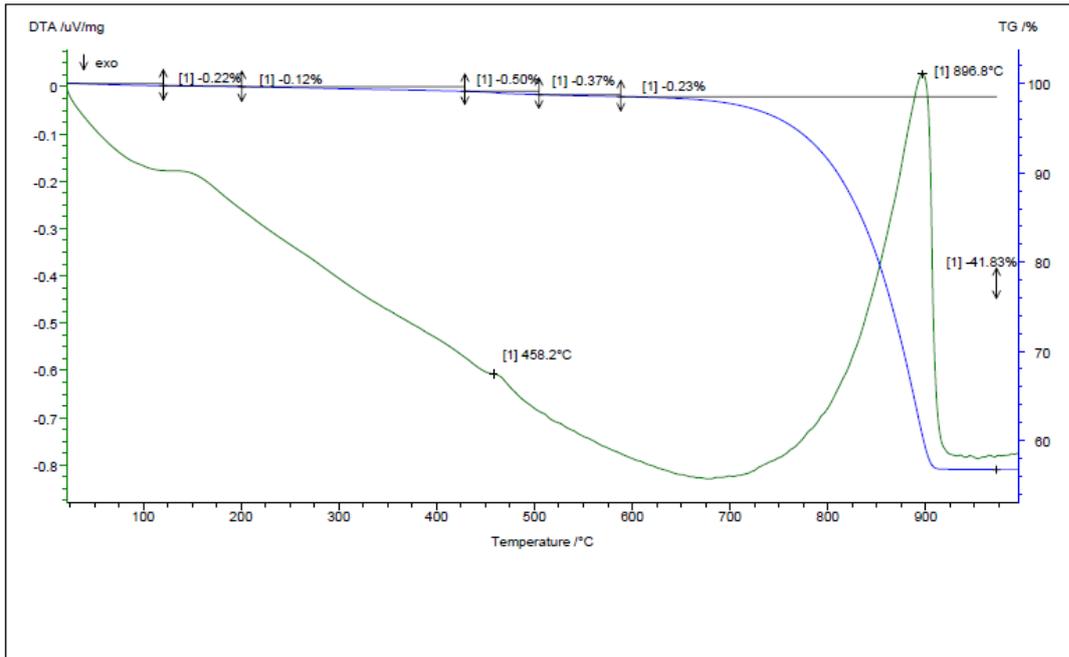


NP_2B_1L

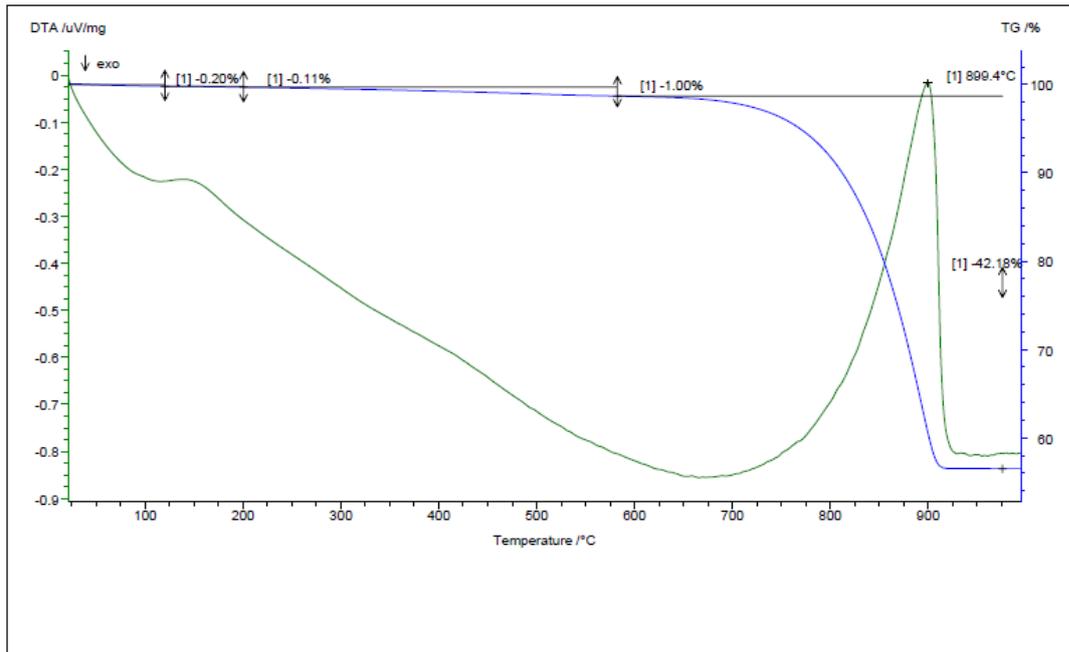
NETZSCH-Gerätebau GmbH Thermal Analysis



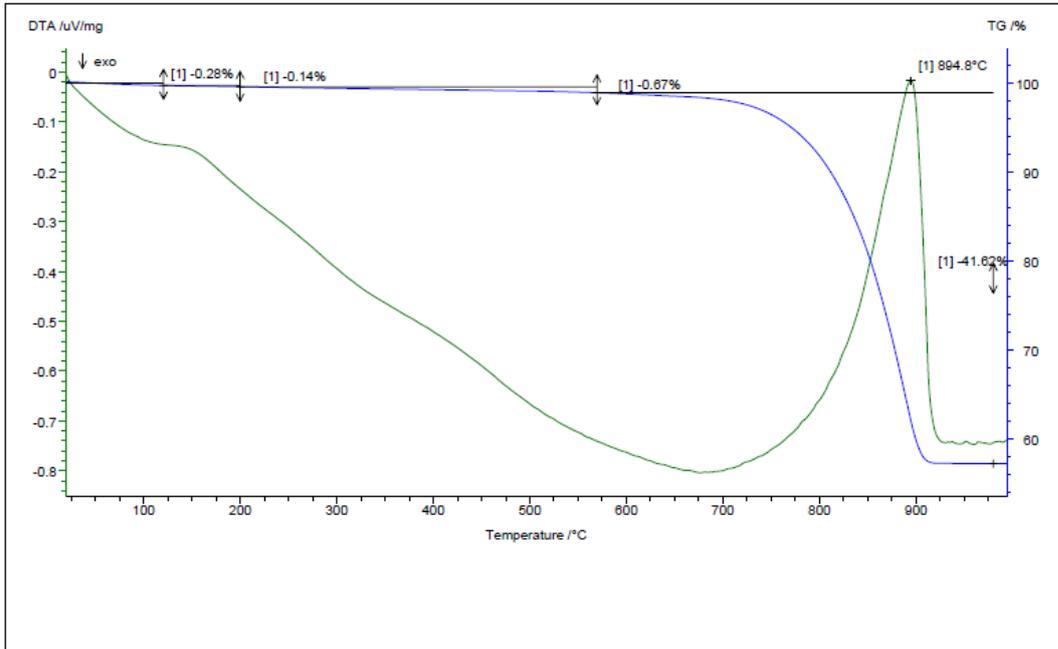
NP_2B_3L



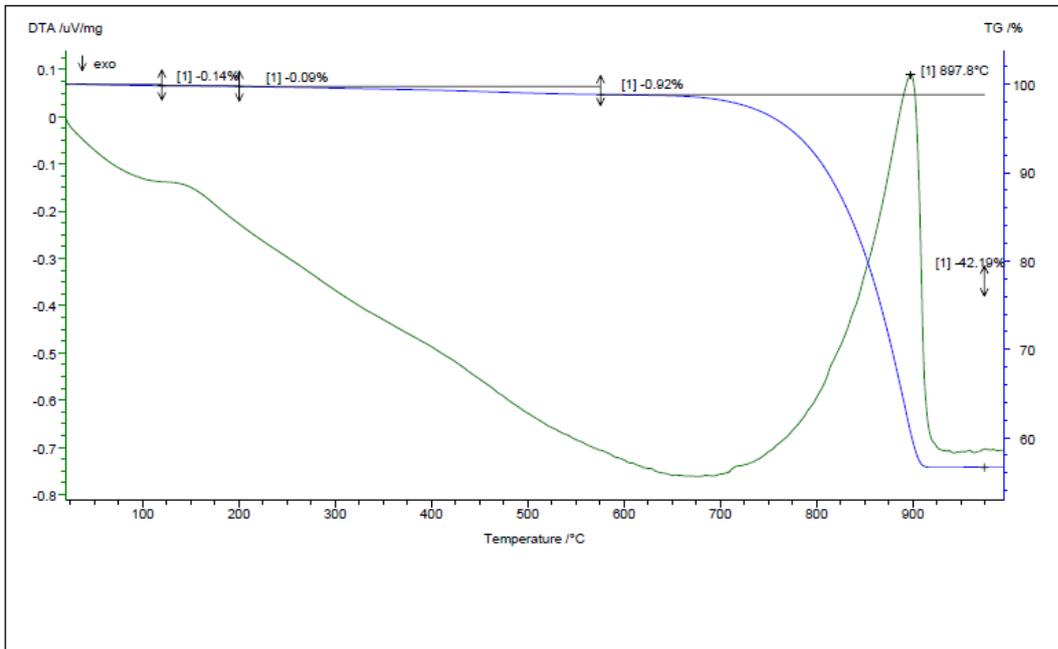
NP_2Z_1L



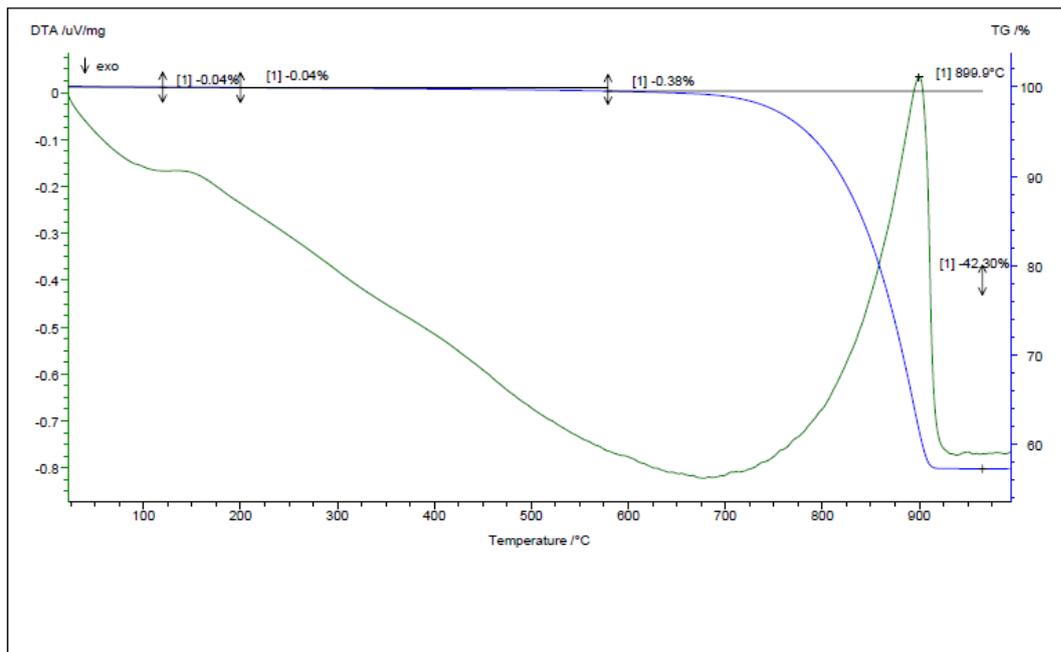
NP_2Z_2L



NP_3B_1L

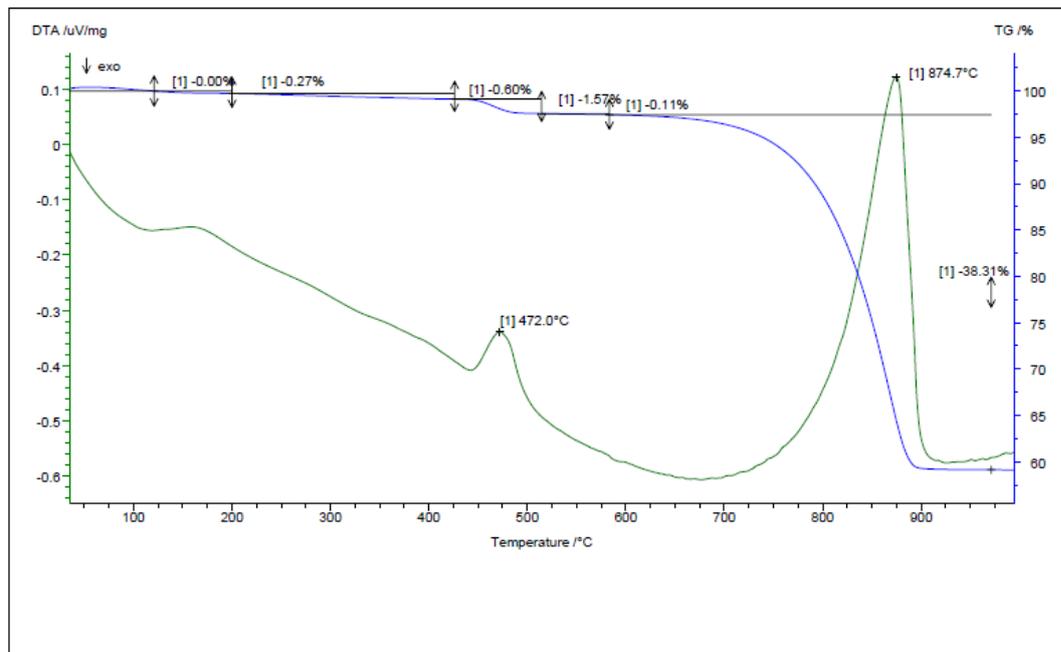


NP_3B_2L

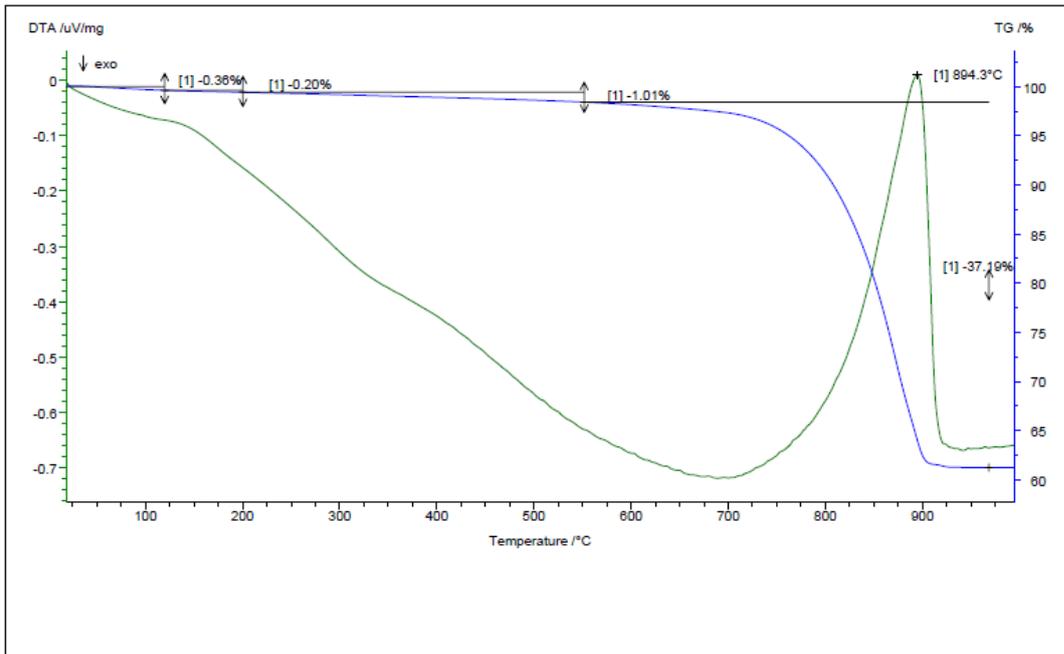


NP_3B_6L

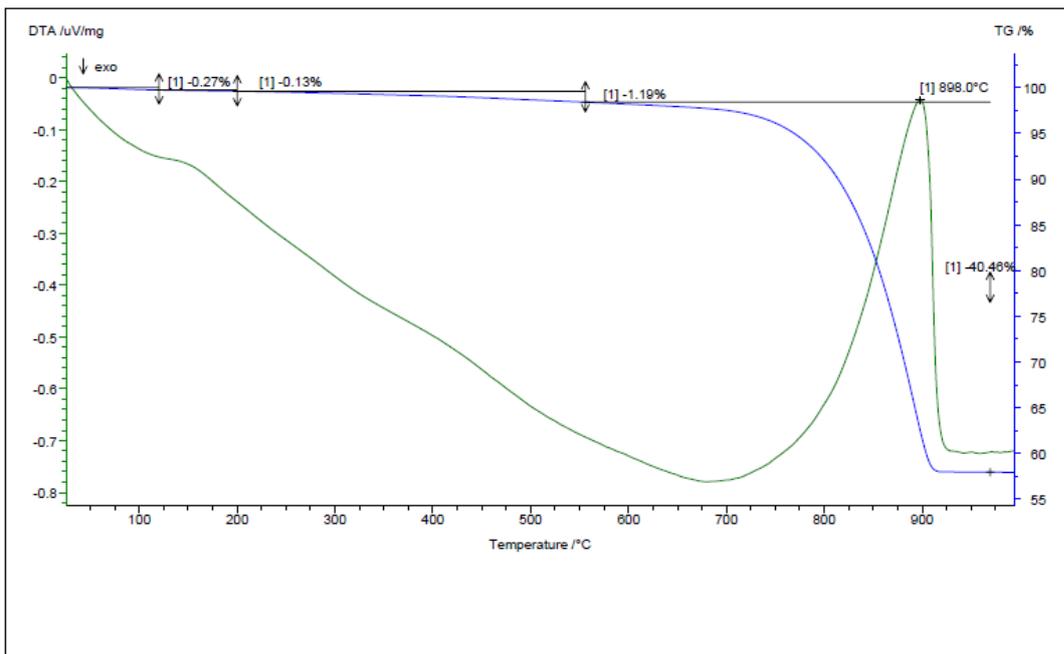
Πίνακας ΠΙΙ.VI.3: Διαγράμματα DTA-TG κλάσματος κονιάς



NP_2B_1K



NP_3B_1K

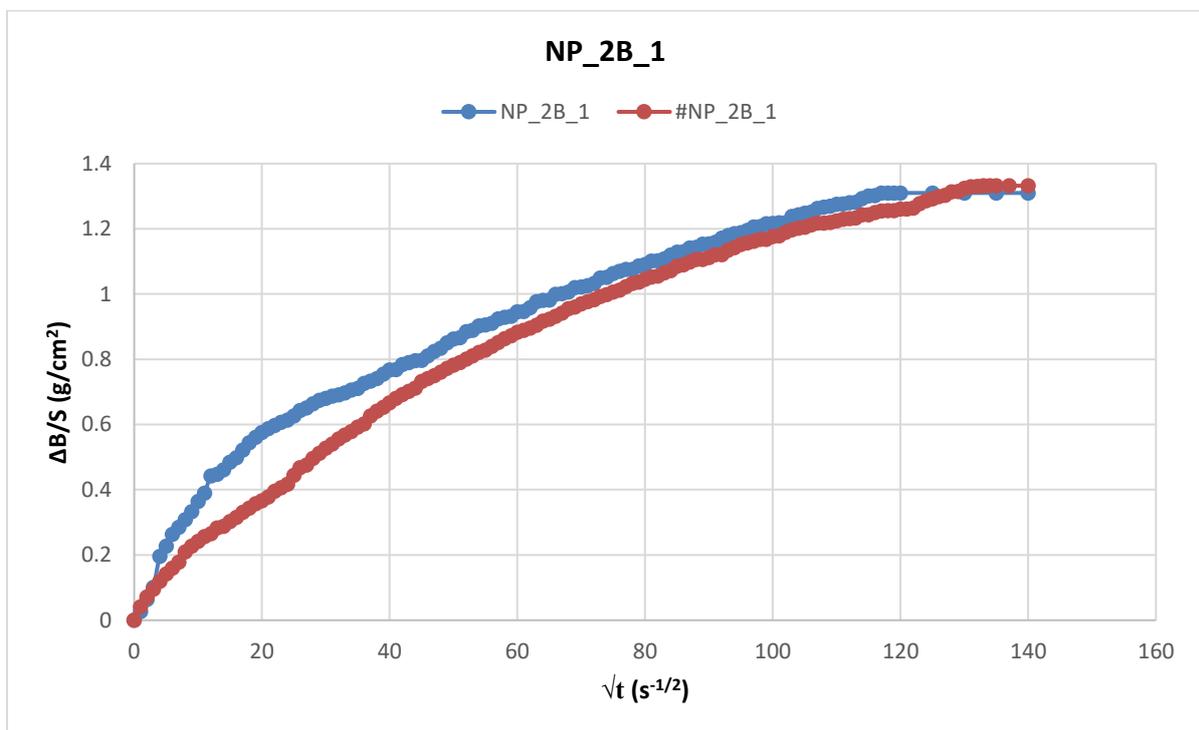


NP_2Z_1K

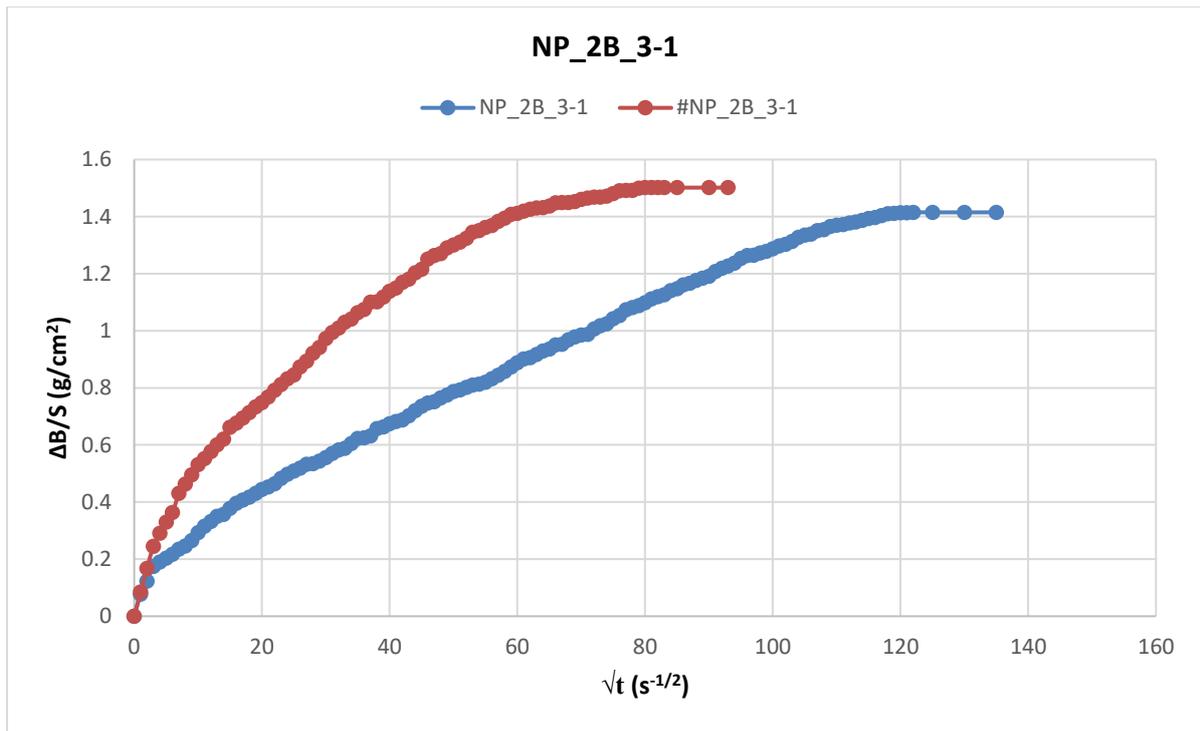
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ

ΔΙΑΜΕΣΩ ΤΩΝ ΤΡΙΧΟΕΙΔΩΝ ΠΟΡΩΝ

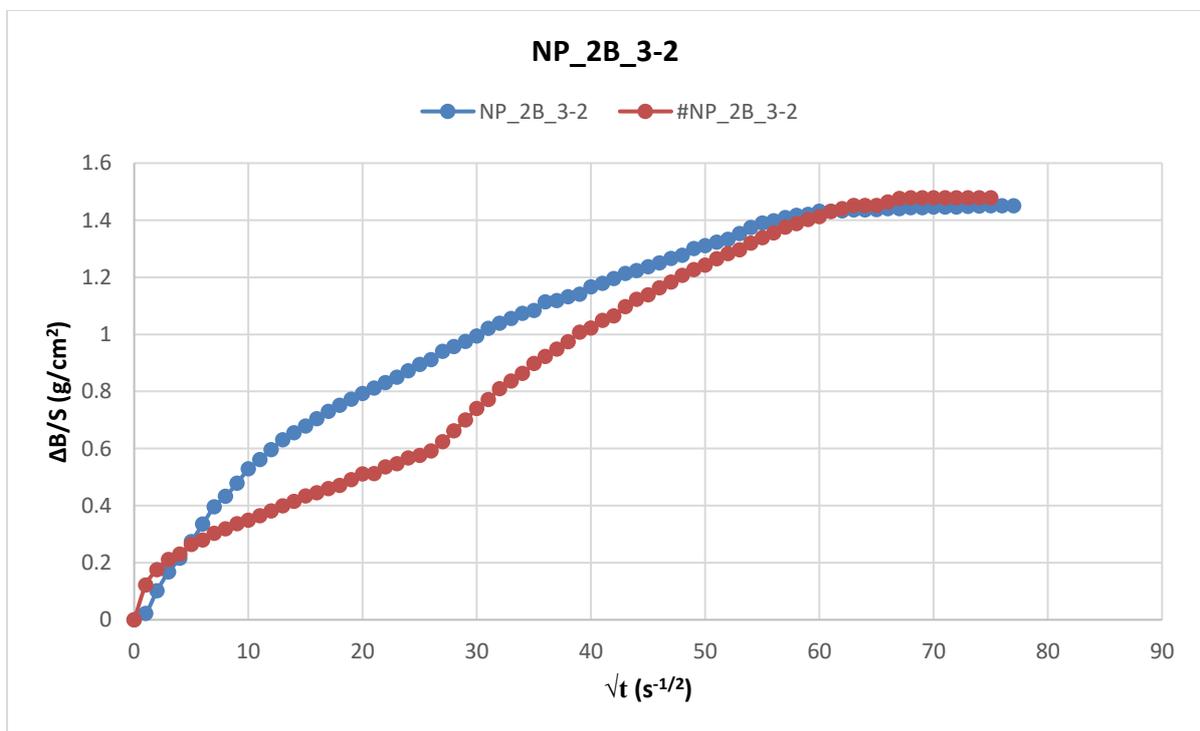
Διαγράμματα Υδατοαπορρόφησης διαμέσω των τριχοειδών



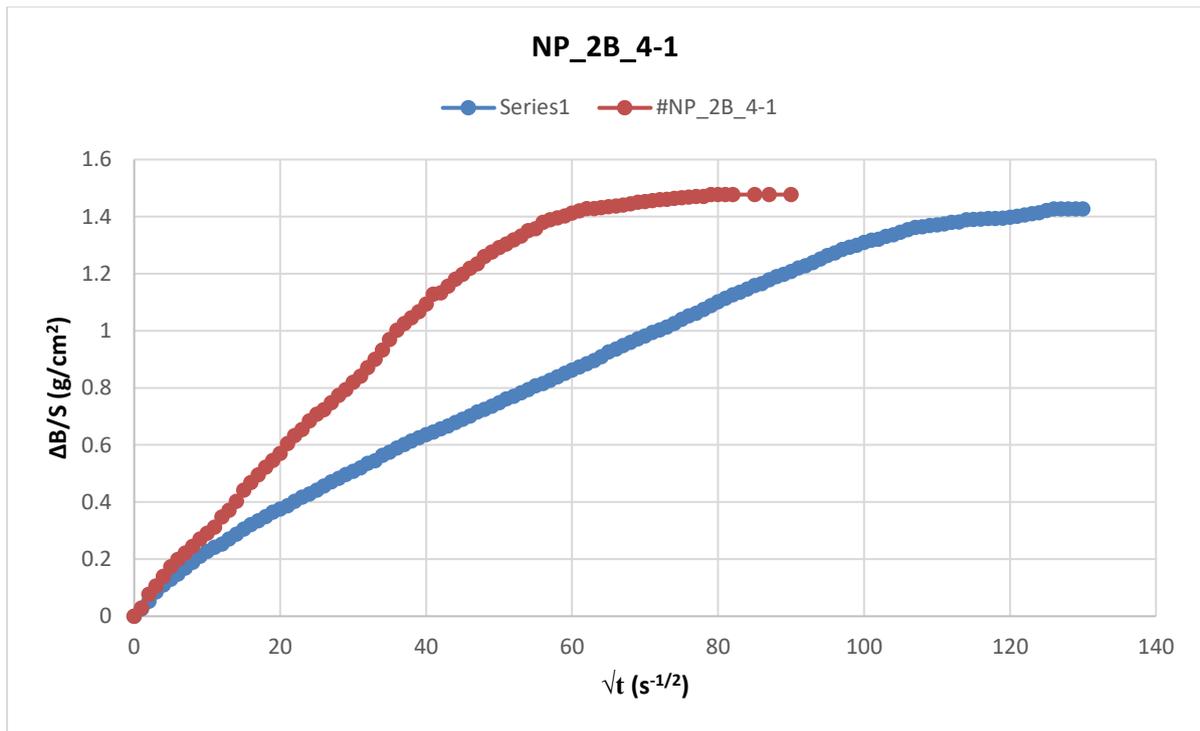
Σχήμα ΠΙΙΙ.1: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_2B_1



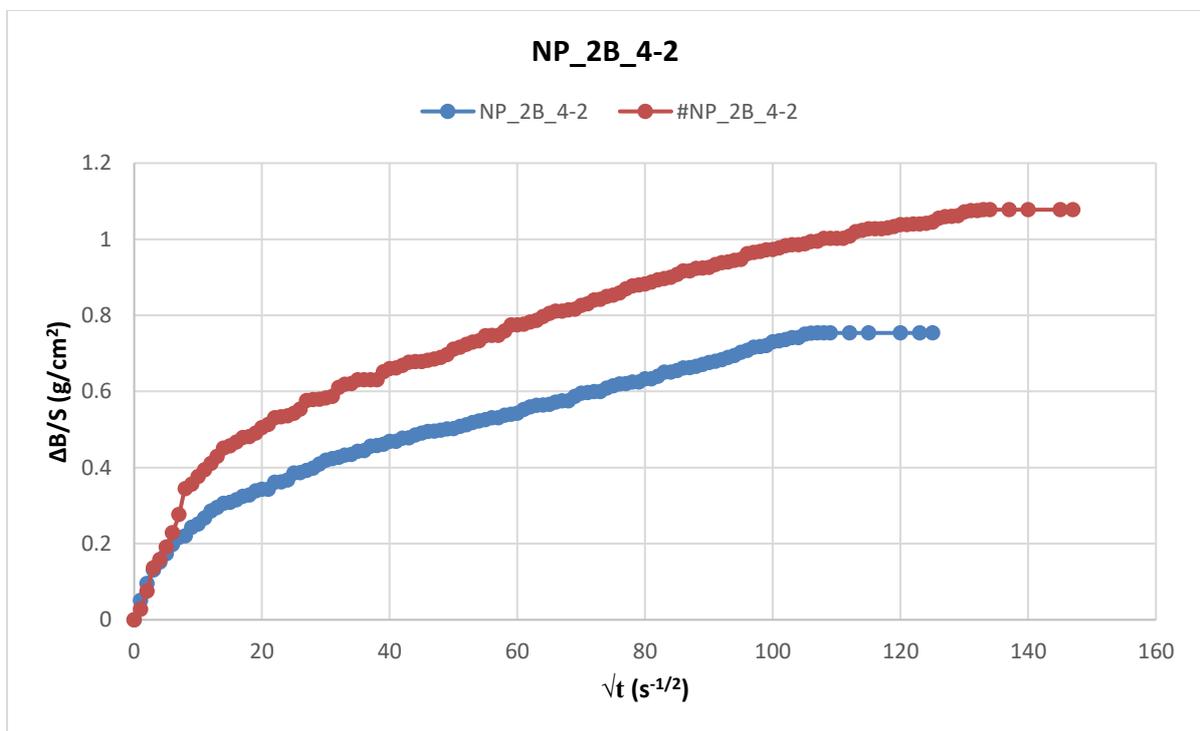
Σχήμα ΠΙΙΙ.ΒΙ.15: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_2B_3-1



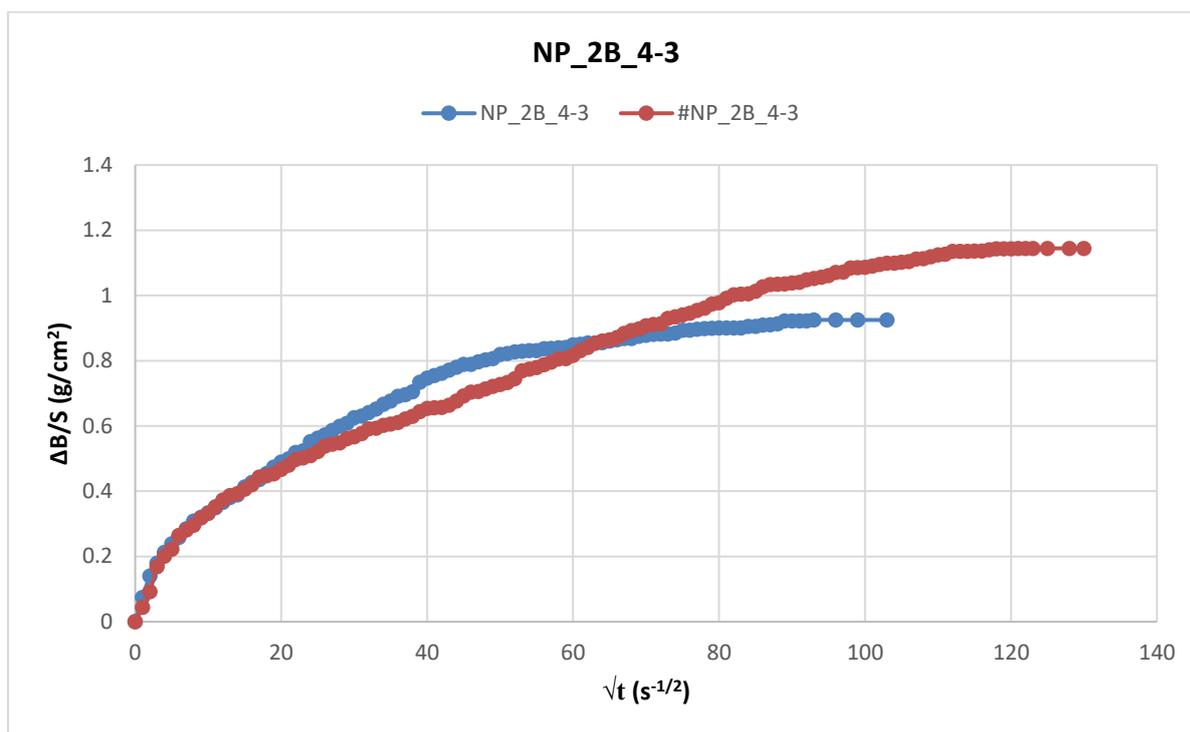
Σχήμα ΠΙΙΙ.ΒΙ.16: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_2B_3-2



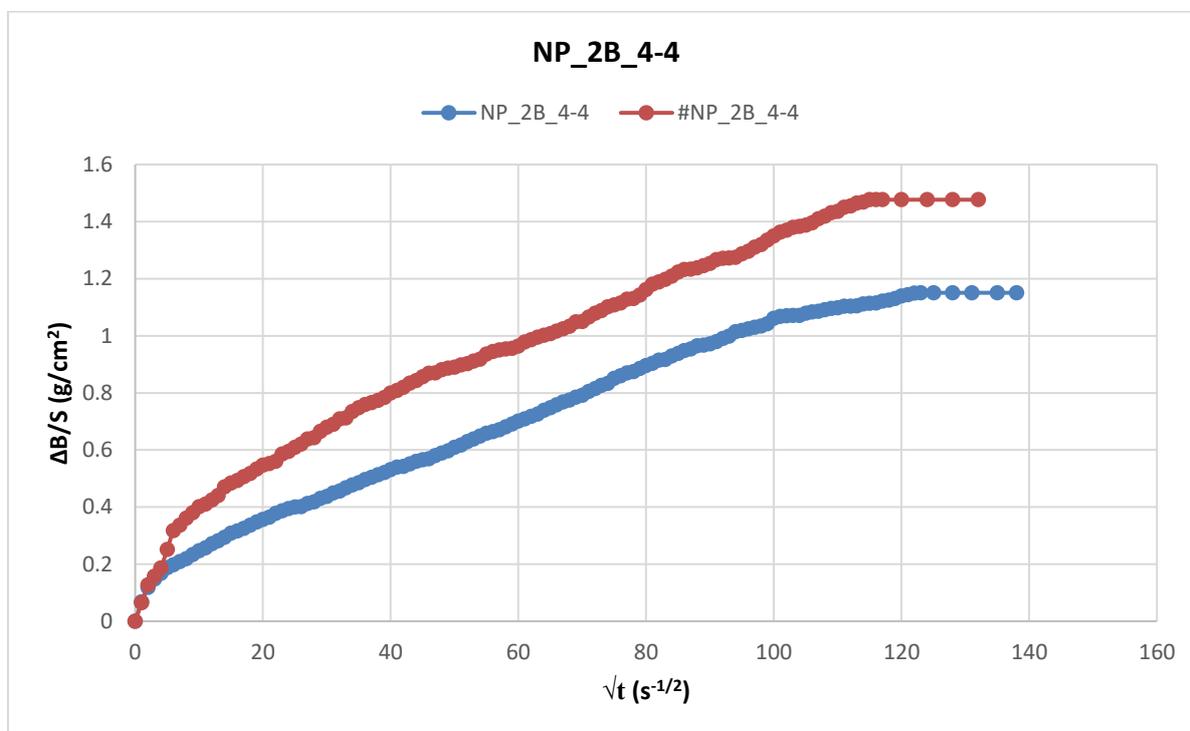
Σχήμα ΠΙΙΙ.ΒΙ.17: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_2B_4-1



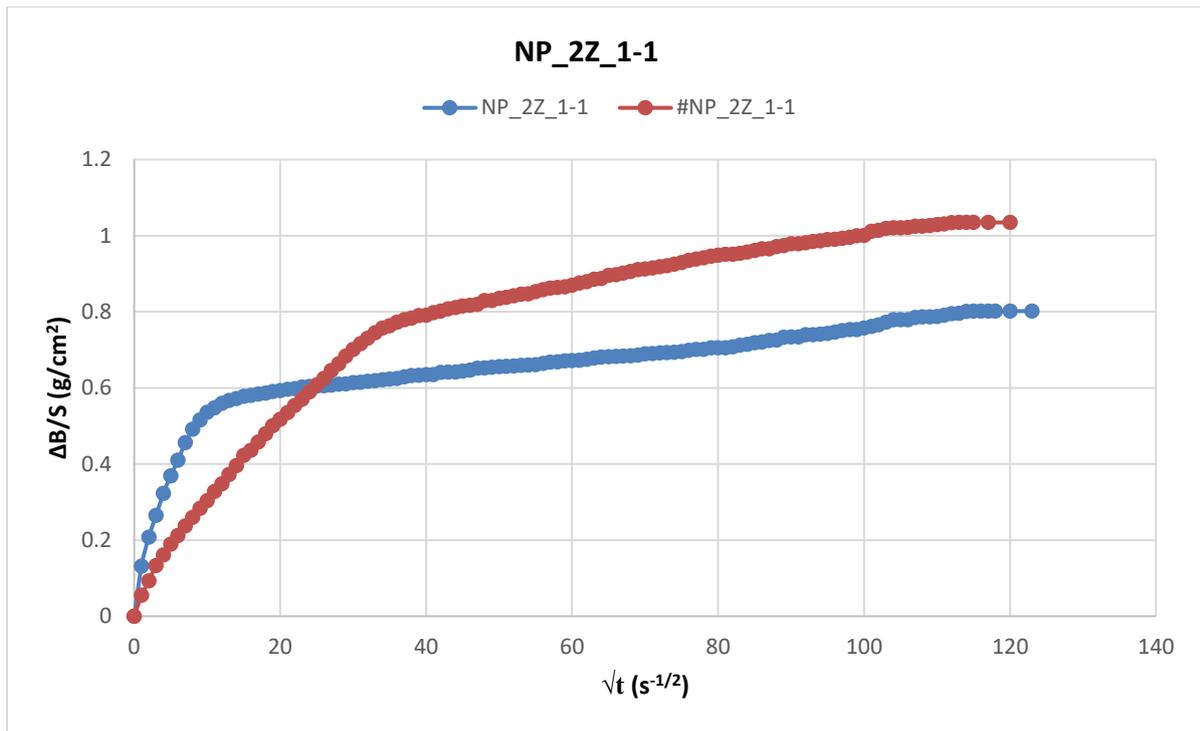
Σχήμα ΠΙΙΙ.ΒΙ.18: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_2B_4-2



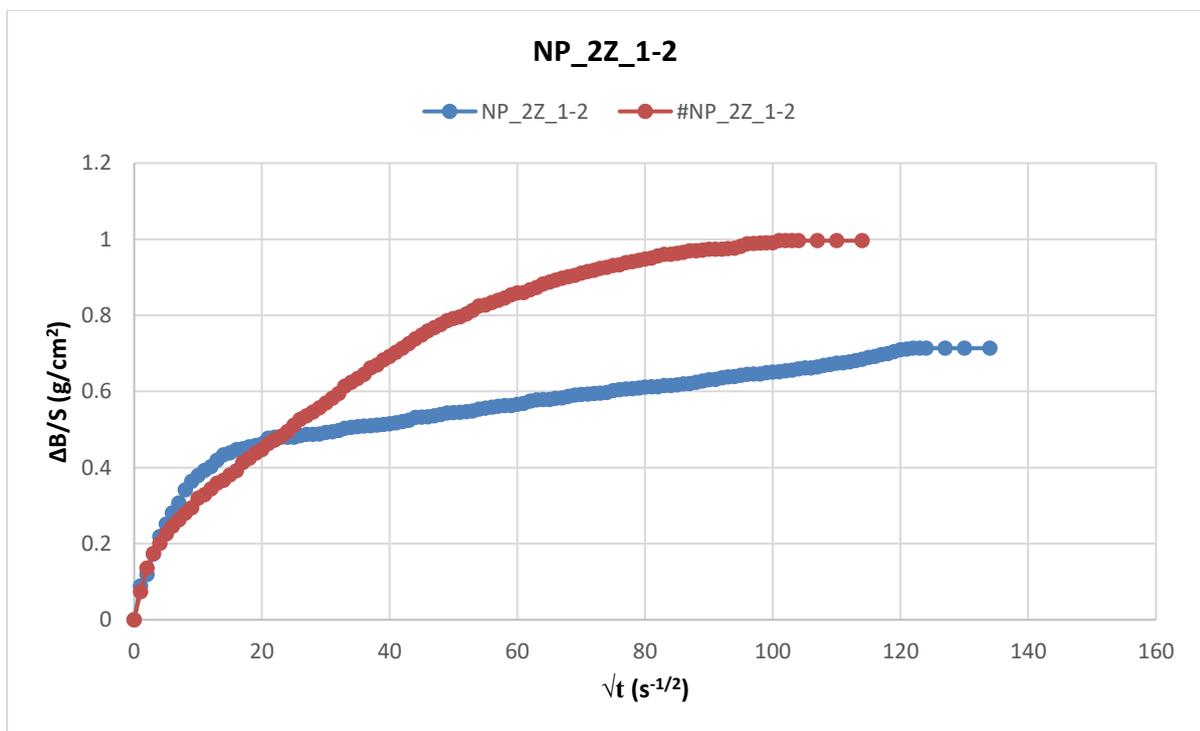
Σχήμα ΠΙΙΙ.ΒΙ.19: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_2B_4-3



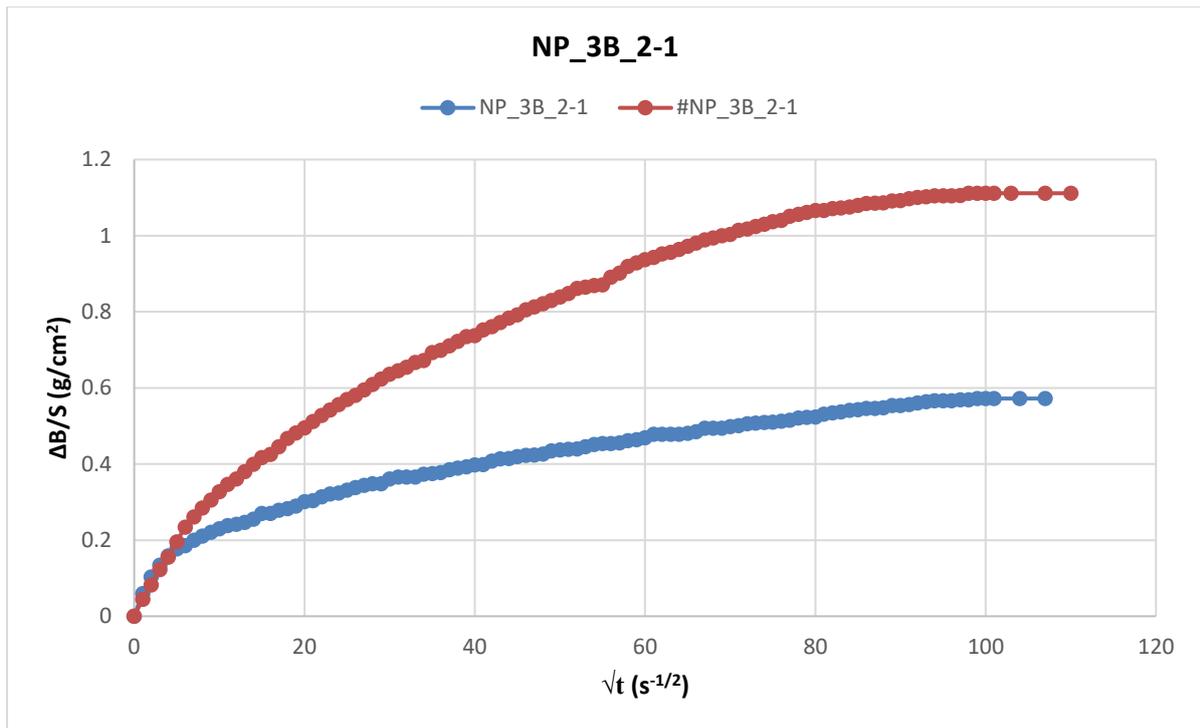
Σχήμα ΠΙΙΙ.ΒΙ.20: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_2B_4-4



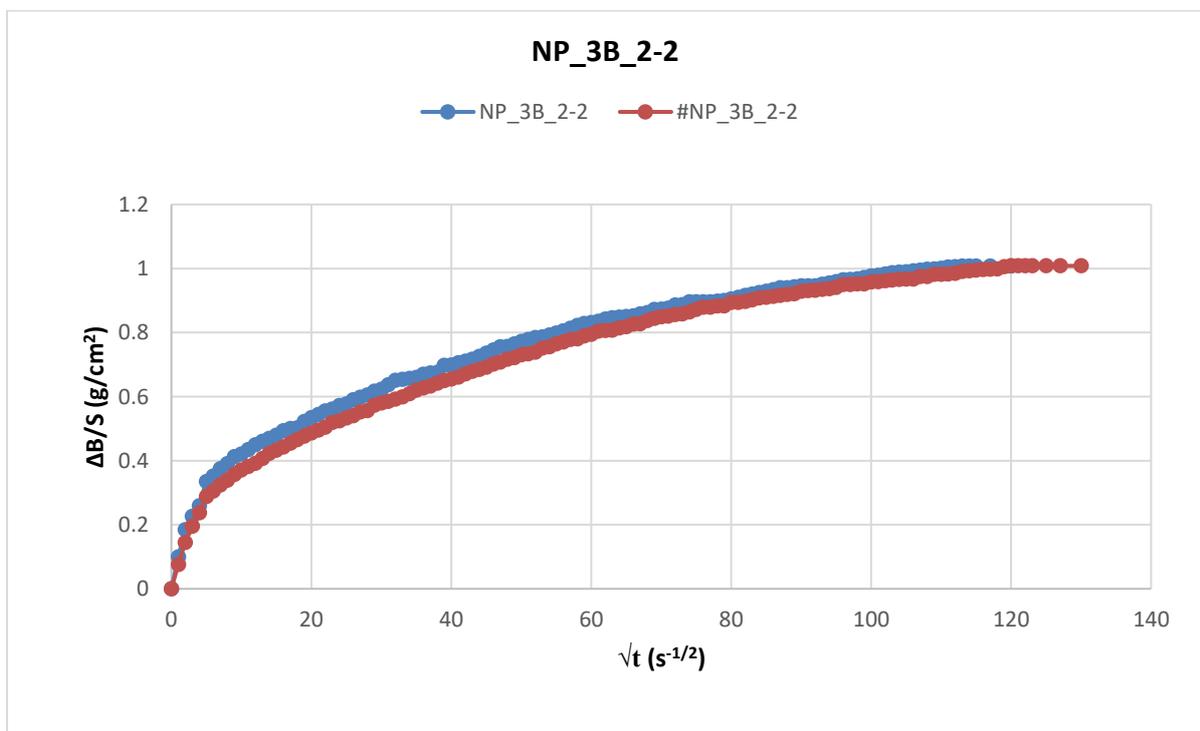
Σχήμα ΠΙΙΙ.ΒΙ.21: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_2Z_1-1



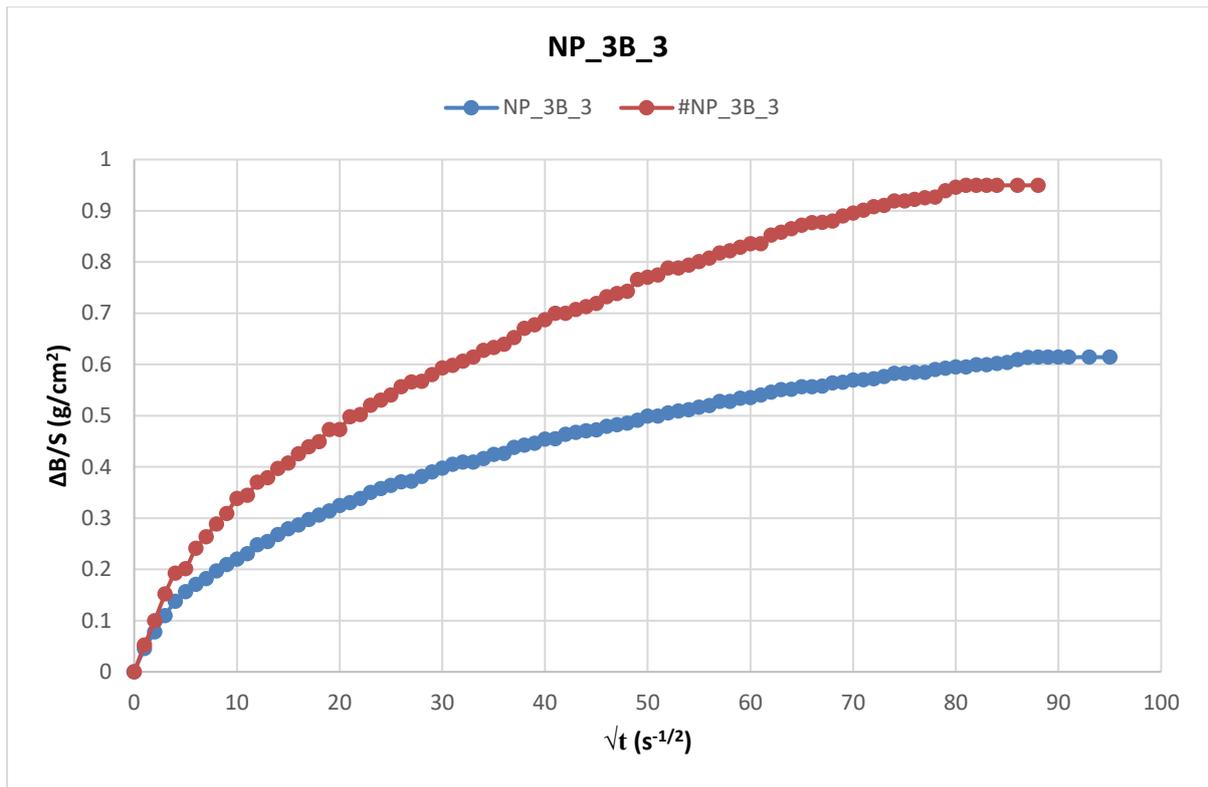
Σχήμα ΠΙΙΙ.ΒΙ.22: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_2Z_1-2



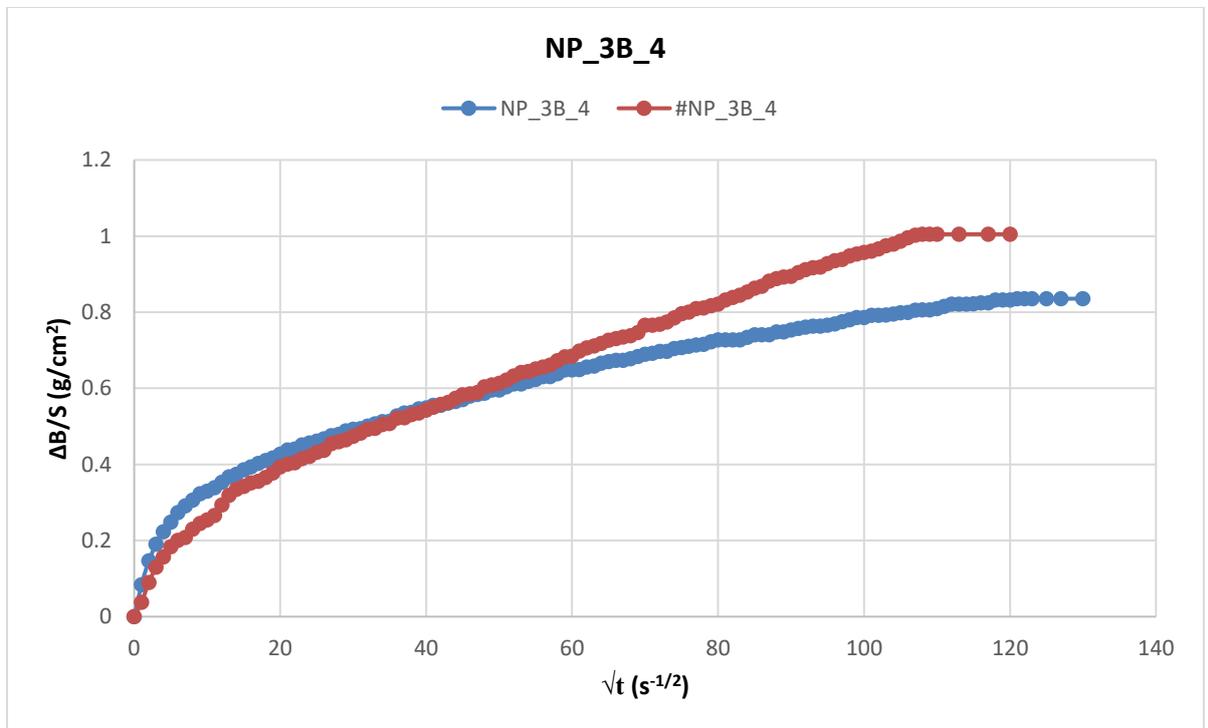
Σχήμα ΠΙΙΙ.ΒΙ.23: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_3B_2-1



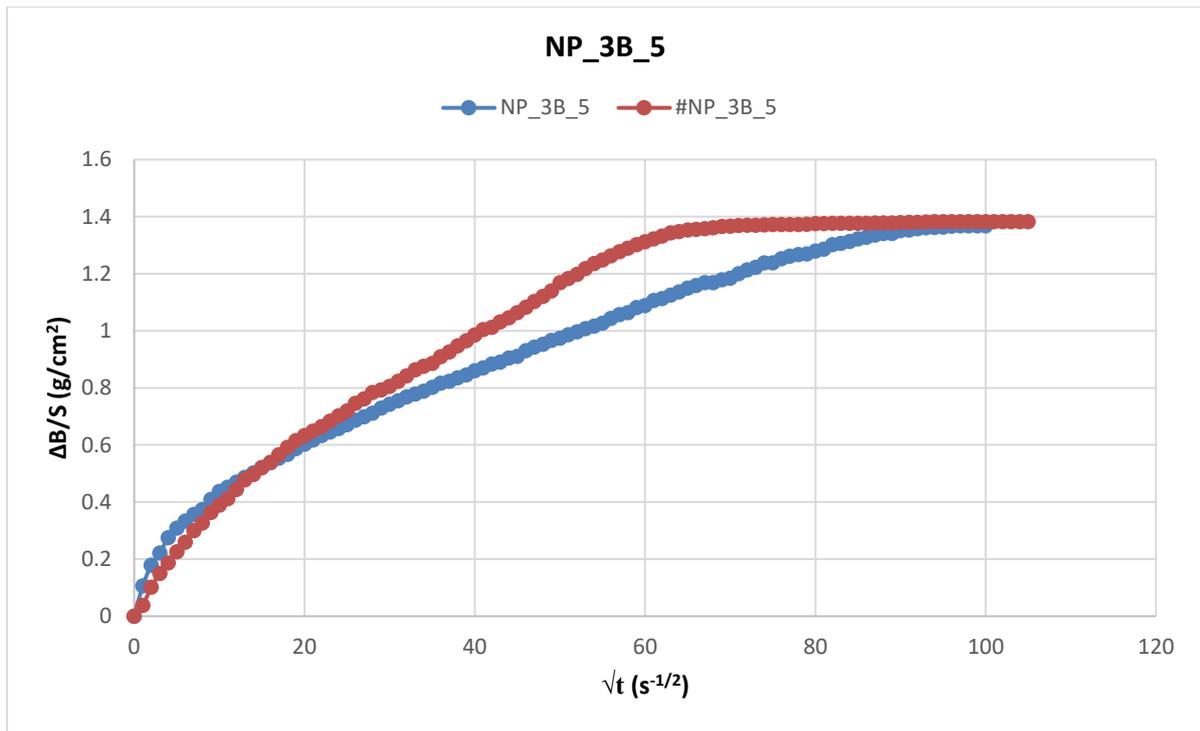
Σχήμα ΠΙΙΙ.ΒΙ.24: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_3B_2-2



Σχήμα ΠΙΙΙ.ΒΙ.25: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_3B_3



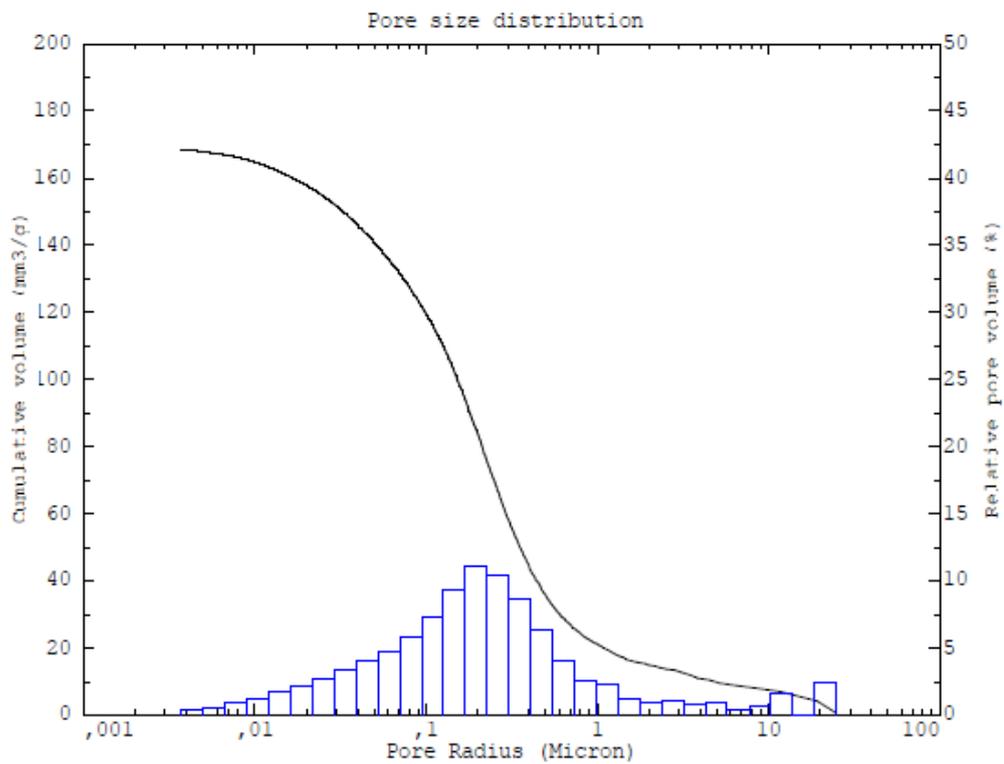
Σχήμα ΠΙΙΙ.ΒΙ.26: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_3B_4



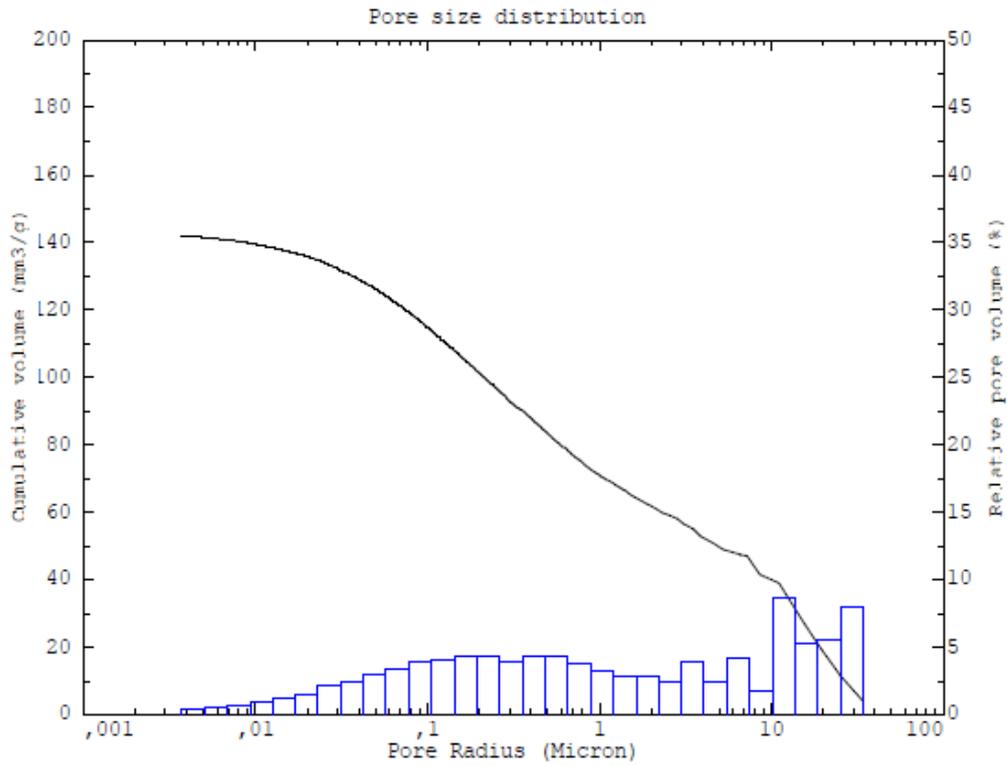
Σχήμα ΠΙΙΙ.ΒΙ.27: Διάγραμμα υδατοαπορρόφησης για το δοκίμιο NP_3B_5

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV: ΠΟΡΟΜΕΤΡΙΑ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ

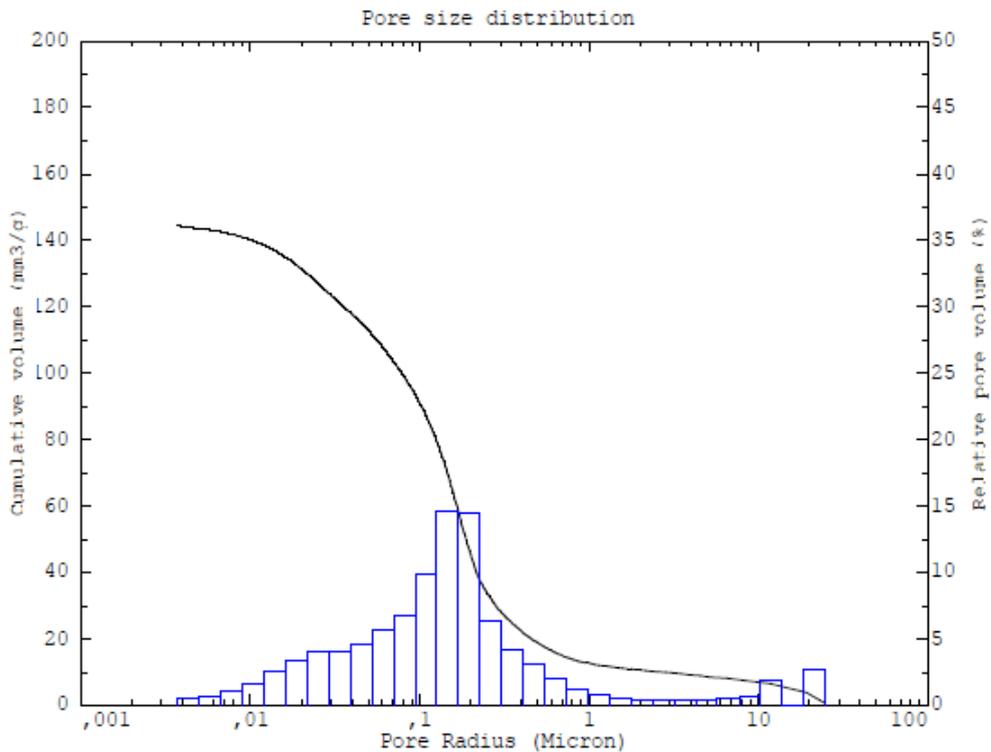
Διαγράμματα Πορομετρίας Υδραργύρου



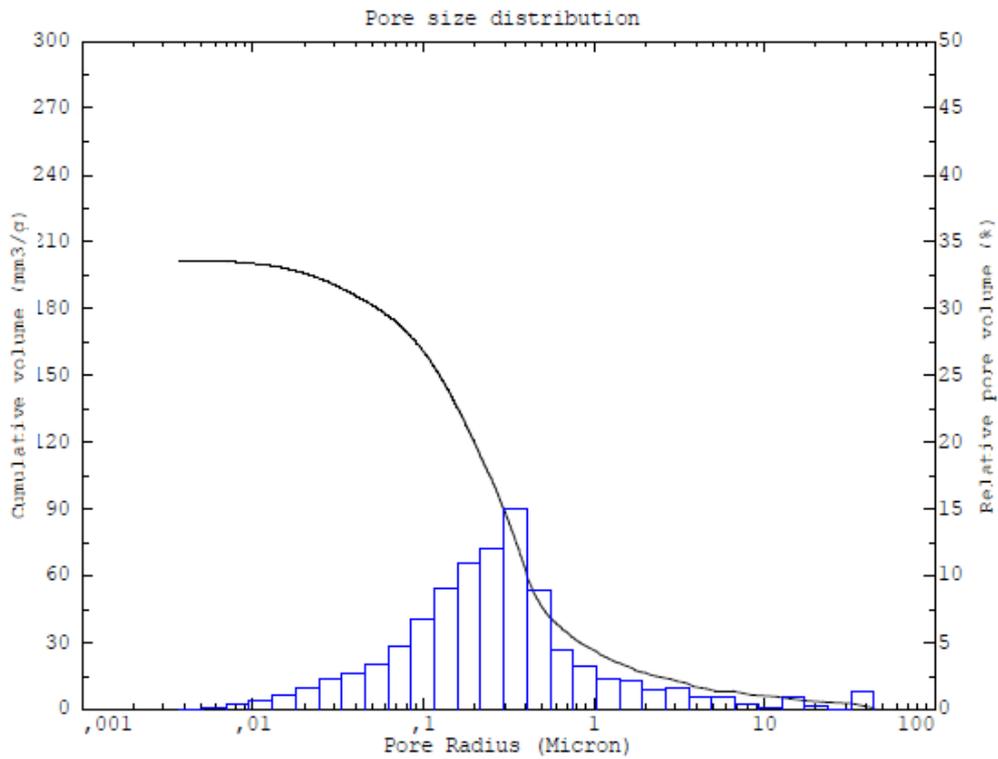
Σχήμα ΠΙV.VI.28: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_2B_1



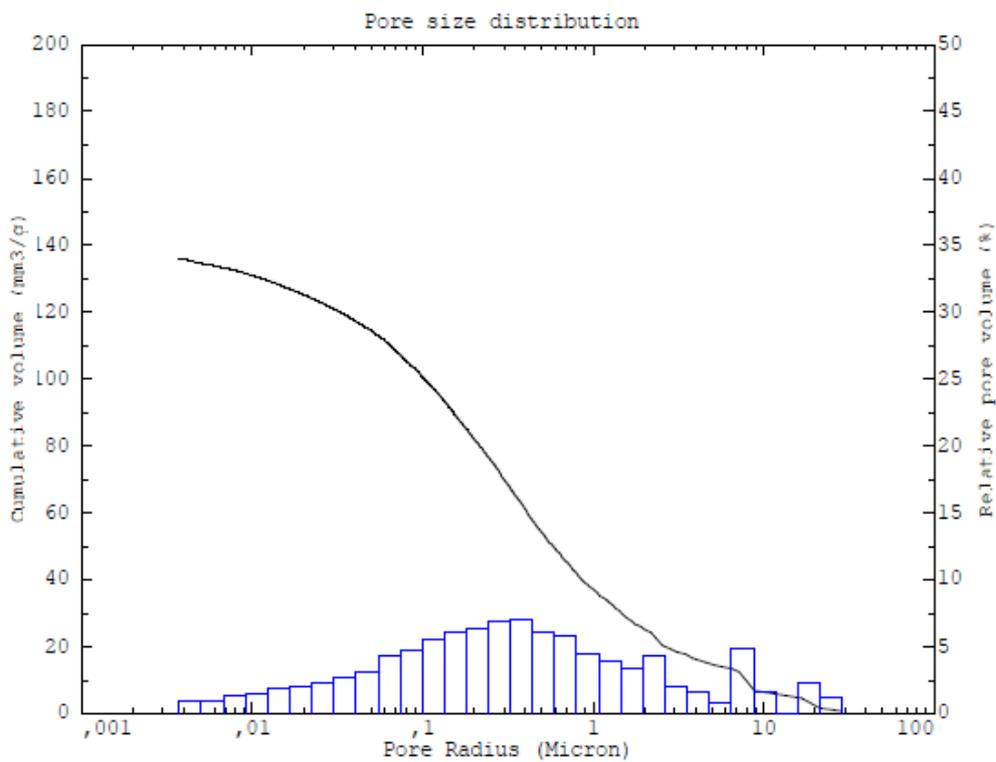
Σχήμα ΠΙV.VI.29: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_2B_2



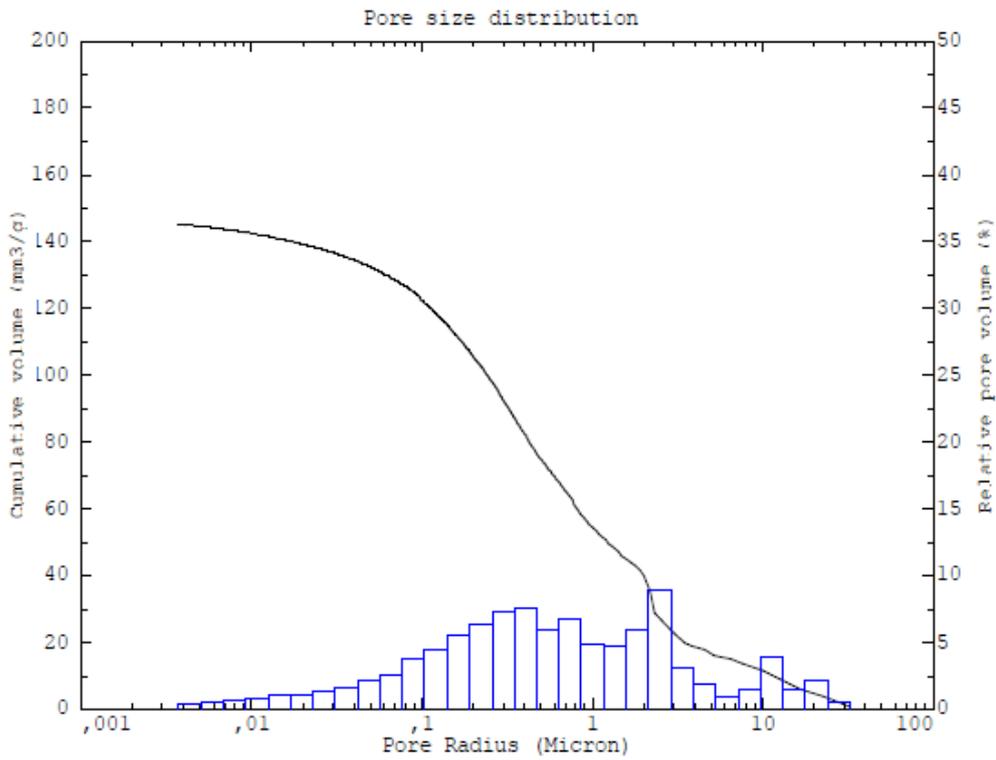
Σχήμα ΠΙV.VI.30: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_2B_3



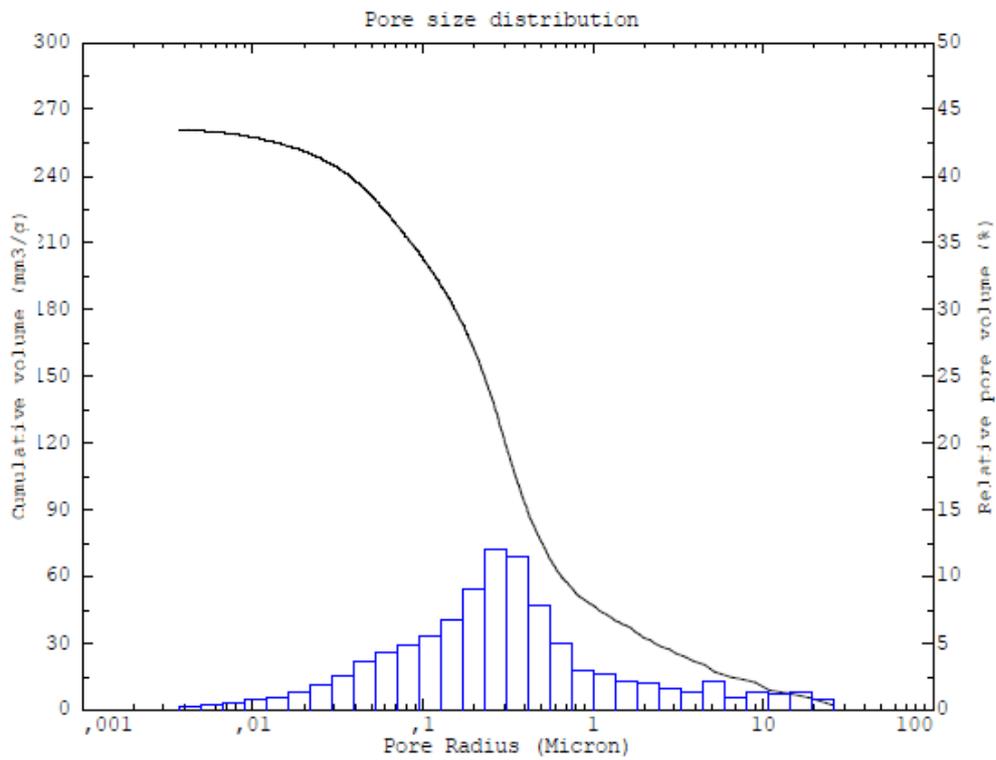
Σχήμα ΠΙV.VI.31: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_2B_4



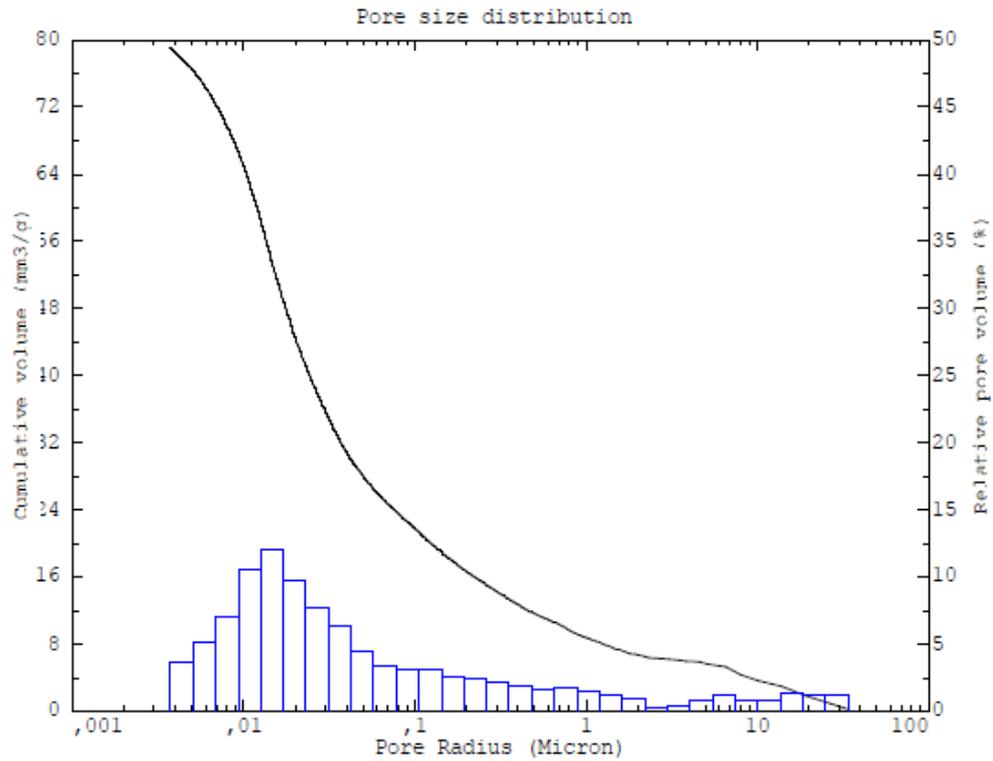
Σχήμα ΠΙV.VI.32: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_2Z_1



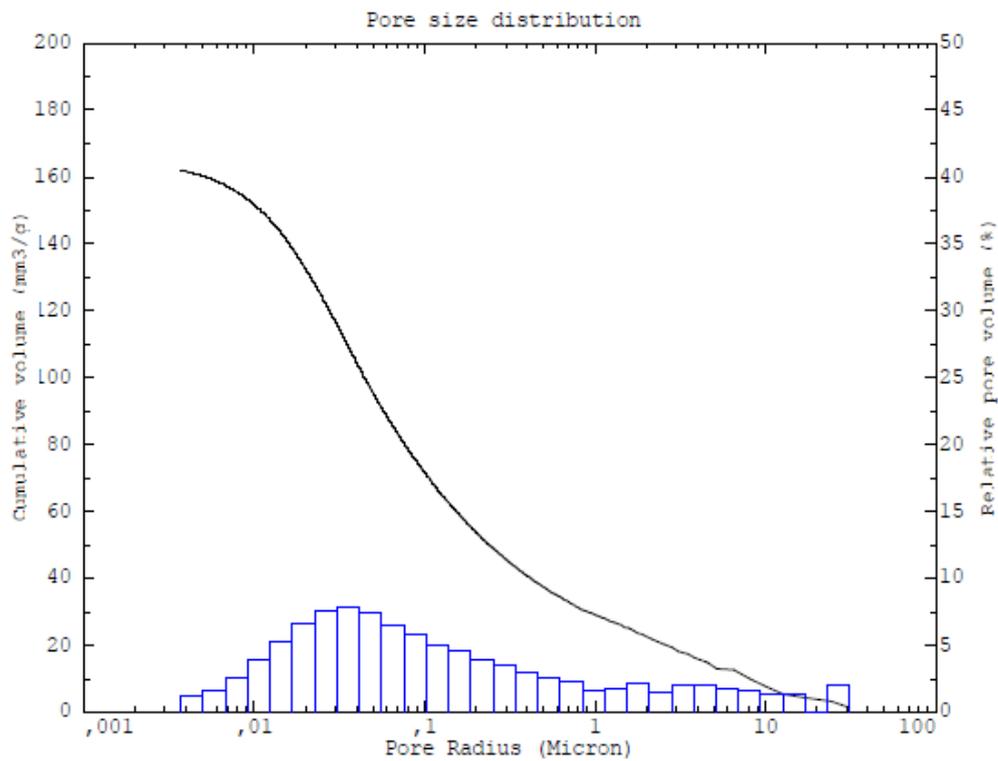
Σχήμα ΠΙV.VI.33: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_2Z_2



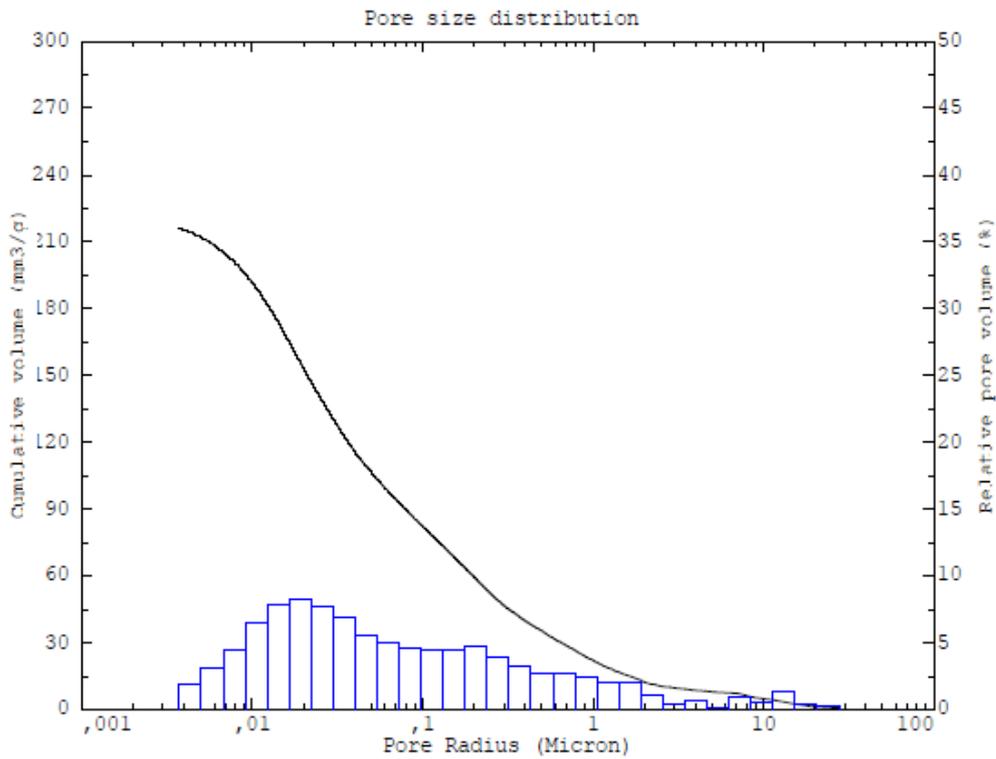
Σχήμα ΠΙV.VI.34: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_3B_1



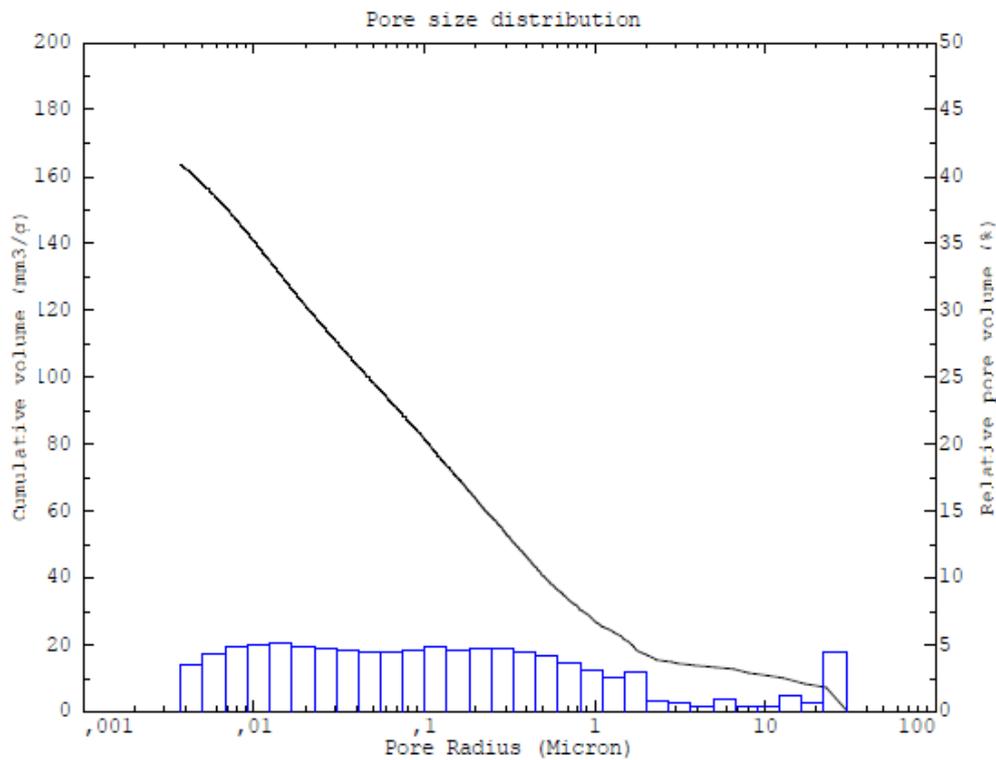
Σχήμα ΠΙV.VI.35: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_3B_2



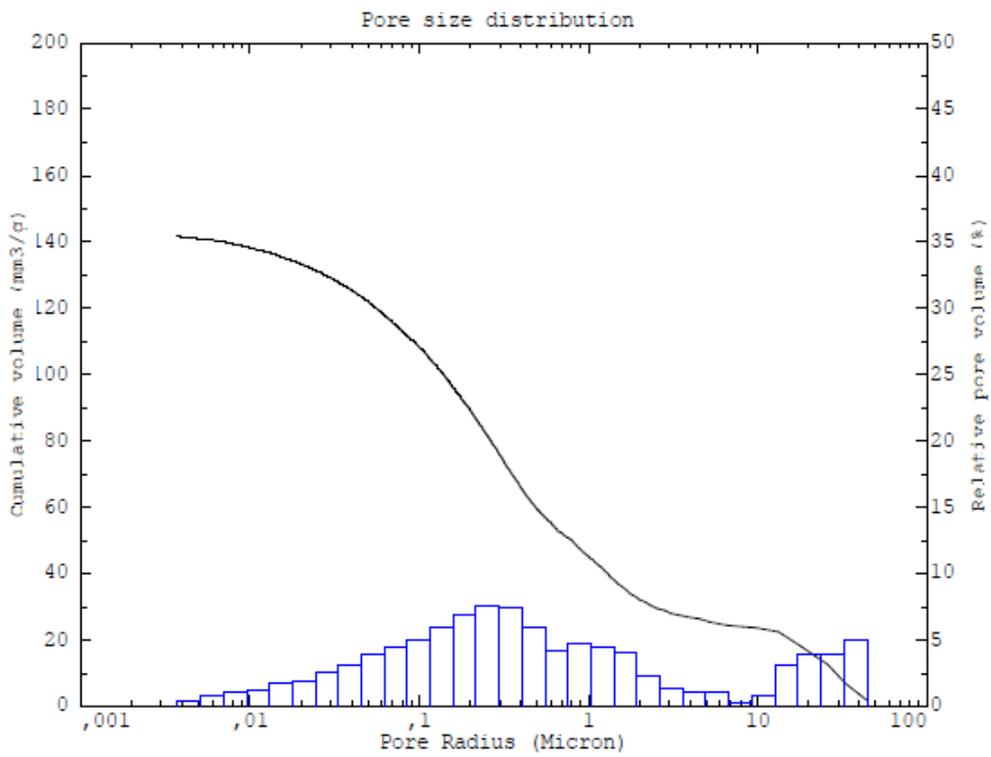
Σχήμα ΠΙV.VI.36: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_3B_3



Σχήμα ΠΙV.VI.37: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_3B_4



Σχήμα ΠΙV.VI.38: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_3B_5



Σχήμα ΠΙV.VI.39: Διάγραμμα κατανομής ειδικού όγκου με την ακτίνα των πόρων για το δείγμα NP_3B_6