



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ ΤΗΣ
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΚΑΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΟΨΗΣ ΤΟΥ ΙΕΡΟΥ ΚΟΥΒΟΥΚΛΙΟΥ ΤΟΥ
ΠΑΝΑΓΙΟΥ ΤΑΦΟΥ ΣΤΑ ΙΕΡΟΣΟΛΥΜΑ

ΚΑΛΟΦΩΝΟΥ ΜΥΡΤΩ

Επιβλέπουσα: Καθηγήτρια Αντωνία Μοροπούλου

Σχολή Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2017

Επιτροπή Υποστήριξης

Καθ. Α.Μοροπούλου, Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. (επιβλέπουσα)

Καθ. Α. Γεωργόπουλος, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π

Επικ. Καθ. Χ. Μουζάκης, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π

Δρ. Αικ. Δελέγκου, ΕΔΙΠ, Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π

ΥΔ Μαρία Αποστολοπούλου, Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π

Επιτροπή Εξέτασης

Καθ. Α.Μοροπούλου, Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π (επιβλέπουσα)

Καθ. Ν. Παπαγιαννάκος, Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π

Επικ. Καθ. Α. Μπακόλας, Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π

Πρόλογος

Ο σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι ο χαρακτηρισμός και η μελέτη ιστορικών κονιαμάτων από την δυτική και ανατολική όψη του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου στα Ιεροσόλυμα. Οι μέθοδοι ανάλυσης που πραγματοποιήθηκαν έγιναν στο Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών. Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στο πλαίσιο του έργου της Συντήρησης, Ενίσχυσης και Αποκατάστασης του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου στα Ιεροσόλυμα, το οποίο ολοκληρώθηκε και παραδόθηκε πρόσφατα στις τρεις Χριστιανικές Κοινοότητες. Το έργο διεξήχθη βάσει της ολοκληρωμένης διεπιστημονικής μελέτης της Διεπιστημονικής Ομάδας του ΕΜΠ με Επιστημονικά Υπεύθυνη την Καθ. ΕΜΠ Α. Μοροπούλου, κατόπιν πρωτοβουλίας της Μακαριότητάς του, Πατριάρχη Ιεροσολύμων, Θεόφιλου ΙΙΙ, με την κοινή συναίνεση των τριών Χριστιανικών Κοινοτήτων. Η Συντήρηση, Ενίσχυση και Αποκατάσταση του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου στα Ιεροσόλυμα ολοκληρώθηκε υπό την ευθύνη της επιστημονικής επιστασίας της Διεπιστημονικής Ομάδας του ΕΜΠ (Καθ. Ε. Κορρές, Καθ. Α. Γεωργόπουλος, Καθ. Α. Μοροπούλου, Καθ. Κ. Σπυράκος, Αν. Καθ. Χ. Μουζάκης) με Επιστημονικά Υπεύθυνη την Καθ. ΕΜΠ Α. Μοροπούλου και τη διαρκή συνεργασία με τους προκαθήμενους των τριών Χριστιανικών Κοινοτήτων: τον Πατριάρχη Ιεροσολύμων, Θεόφιλο ΙΙΙ, τον Κουστωδό της Αγίας Γης του Τάγματος των Φραγκισκανών, Pierbattista Pizzaballa (έως Μάιο 2016), σημερινό Λατίνο Πατριάρχη στα Ιεροσόλυμα, και Fransesco Patton (από Ιούνιο 2016), καθώς και τον Αρμένιο Πατριάρχη στα Ιεροσόλυμα, κ.κ. Nourhan Manougian.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου προς την κυρία Α. Μοροπούλου, καθηγήτρια της σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την ανάθεση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, όπως επίσης για την αμέριστη υποστήριξη και τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Με τη δική της βοήθεια και καθοδήγηση απέκτησα τον ενθουσιασμό, τη θέληση και τη γνώση για να αναπτύξω το θέμα της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω από καρδιάς την Υποψήφια Διδάκτορα κυρία Μ. Αποστολοπούλου για τη βοήθειά της κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας, γιατί δίχως αυτήν δε θα ήταν δυνατή η πραγματοποίησή της. Με την εμπειρία, τη γνώση της και τον πάντα χαρούμενο χαρακτήρα της μου έδωσε τα εργαλεία για να ολοκληρώσω τη διπλωματική μου αυτή εργασία.

Ακόμη, θα ήθελα να επισημάνω τις σημαντικές υποδείξεις, συμβουλές και την διορατικότητά της Δρ. Αικ. Δελέγκου που με κατεύθυναν σ' ένα σωστό τρόπο σκέψης, ο οποίος με βοήθησε να φέρω εις πέρας αυτή μου την εργασία. Την ευχαριστώ πολύ για αυτό.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ Νίκο Παναγιώτου για τις πολύτιμες συμβουλές και γνώσεις του κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων στο XRD.

Και τέλος, οφείλω ένα μεγάλο 'ευχαριστώ' στους γονείς μου, που με στήριξαν σε όλα τα χρόνια των σπουδών μου και μου έμαθαν όλα όσα χρειαζόμουν για να γίνω σωστός άνθρωπος. Και φυσικά δεν ξεχνώ τους φίλους μου που μου συμπαραστάθηκαν ολόψυχα σε όλη την σπουδαστική μου πορεία και τα παιδιά από το εργαστήριο της ηλεκτροχημείας για την παρέα τους κατά τη διάρκεια της δακτυλογράφησης της εργασίας.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και ο χαρακτηρισμός ιστορικών κονιαμάτων του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου στα Ιεροσόλυμα. Τα εξεταζόμενα κονιάματα ανήκουν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τη χρήση τους στο μνημείο, σε κονιάματα γεμίματος και κονιάματα αρμολόγησης (ή αρμού), τα οποία προέρχονται από την ανατολική (νοτιοανατολική και βορειοανατολική) και δυτική όψη του μνημείου και αντιστοιχούν σε διαφορετικά ύψη της τοιχοποιίας. Ο προσδιορισμός των μορφολογικών και φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των κονιαμάτων έλαβε χώρα με τη χρήση των παρακάτω τεχνικών: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών, Κοκκομετρική Ανάλυση, Περίθλαση Ακτίνων Χ (XRD), Θερμοβαρυμετρική και Διαφορική Θερμική Ανάλυση (TG-DTA), Δοκιμές Εμβάπτισης σε Νερό για τον Προσδιορισμό του Ολικού Ανοιχτού Πορώδους Προσβάσιμου στο Νερό και του Ποσοστού Ροφημένου Νερού, Προσδιορισμός διαλυτών αλάτων (TSS%), Ποιοτική Ανίχνευση Ανιόντων και Χρωματομετρία.

Τα εξεταζόμενα κονιάματα ανήκουν στις κατηγορίες των ασβεστιτικών κονιαμάτων και μεικτών κονιαμάτων (ασβέστη-γύψου ή γύψου-ασβέστη), όπου σε κάποια δείγματα υπερिशύει ο ασβεστίτης και σε άλλα ο γύψος, παρουσιάζοντας διαφοροποιήσεις στη χημική-ορυκτολογική σύσταση. Οι δοκιμές εμβάπτισης κατηγοριοποιούν τα κονιάματα σε τρεις ομάδες, βάση του ολικού ποσοστού ρόφησης του νερού και του ολικού πορώδους που είναι προσβάσιμο στο νερό, δίνοντας παράλληλα πληροφορίες για την επιδεκτικότητά τους στη φθορά από τη δράση του νερού. Τα μεικτά κονιάματα εμφάνισαν μεγαλύτερη ευθρυπτότητα καθώς και επιδεκτικότητα στη φθορά από το νερό. Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης έδειξαν ότι τα κονιάματα διαθέτουν υψηλό λόγο κονιάς/αδρανών, τόσο για τα κονιάματα γεμίματος όσο και για τα κονιάματα αρμού. Από τη χρωματομετρία προκύπτουν ομοιότητες ως προς το συνολικό χρώμα, με τα μεικτά κονιάματα να εμφανίζουν ελαφρώς υψηλότερες τιμές κορεσμού. Η πλειονότητα των εξεταζόμενων κονιαμάτων παρουσιάζουν πολύ υψηλά ποσοστά ολικών διαλυτών αλάτων, υποδεικνύοντας την κακή κατάσταση διατήρησής τους. Τα υψηλά ποσοστά των ολικών διαλυτών αλάτων στα μεικτά κονιάματα ασβέστη-γύψου και γύψου-ασβέστη δεν μπορούν να αποδοθούν μόνο στη φθορά τους, αλλά προέρχονται και από την υψηλή σχετικά περιεκτικότητά τους σε γύψο που είναι αρχικό συστατικό τους. Τα κονιάματα παρουσιάζουν χλωριόντα και θειικά ιόντα στην συντριπτική τους πλειοψηφία, ενώ τα νιτρικά ιόντα εμφανίζονται σε πολύ λίγες περιπτώσεις.

Τα κονιάματα αρμολόγησης στο δυτικό φάτνωμα είναι μεικτά κονιάματα γύψου-ασβέστη ή ασβέστη-γύψου, ενώ τα κονιάματα αρμολόγησης του νοτιοανατολικού φάτνωματος είναι ασβέστη. Τα κονιάματα αρμολόγησης στο βορειοανατολικό φάτνωμα παρουσιάζουν δύο ζώνες καθ' ύψος σε σχέση με τη χημική σύσταση. Πιο συγκεκριμένα, τα κονιάματα αρμολόγησης στο κάτω μέρος είναι ασβέστη, ενώ στο μεσαίο και στο πάνω τμήμα τους είναι ασβέστη-γύψου. Τα κονιάματα γεμίματος και των τριών φάτνωμάτων παρουσιάζουν διαφορετική σύσταση καθ' ύψος και εναλλάσσονται σε ζώνες από κονιάματα γύψου-ασβέστη σε ασβέστη.

Η διαφοροποίηση των κονιαμάτων πιθανότατα να οφείλεται στις επεμβάσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε διαφορετικές οικοδομικές φάσεις του μνημείου, χωρίς όμως κάποιος να μπορεί να αποκλείσει την πιθανότητα να προέρχονται όλα από την αποκατάσταση του Κομνηνού.

Abstract

The main goal of this thesis is the examination and characterization of historic mortar samples from the Holy Aedicule of the Holy Sepulchre in Jerusalem. The samples were taken from the East and West side of the monument, from different predefined heights. Various analytical methods were used for the examination of the mortar samples in order to determine their morphological, chemical and physical characteristics. The methods that were used are Fiber Optical Microscopy (FOM), Sieve Analysis for the examination of Grain Size Distribution, X-Ray Diffraction (XRD), Thermal Analysis (DTA-TG), Total Immersion in Water Test for the determination of the Total Open Porosity Accessible to Water and the Percentage of the Water Absorption Capacity, Total Soluble Salts (TSS%), Spot tests and Colorimetry.

The mortars that were tested belong to the category of lime mortars and mixed mortars (lime-gypsum and gypsum-lime); in the latter category, in some cases the lime content prevails, while in others the gypsum content prevails, thus presenting distinct differences in the chemical-mineral composition. The total immersion tests enabled the categorization of the mortars in three groups according to their water capacity absorption and to their percentage of open porosity accessible to water and provided information regarding their susceptibility to decay from the corrosive action of water. The mixed mortars appear to have larger decay from the corrosive action of water as well as larger friability. The Grain Size Distribution Analysis revealed that the mortars have a high binder to aggregate ratio. In the case of the filling mortar it is a logical outcome, because of the use of the mortar, but in the case of the joint mortar this high ratio gives interesting technological information in relation to the construction phases of the monument. The Colorimetry reveals similarities in their overall color and the mixed mortars appear to have larger saturation values. The majority of the tested mortars present very high percentages of total soluble salts, indicating their bad conservation state. The high percentages of TSS that appear in the lime-gypsum and gypsum-lime mortars do not derive totally from the decay of the mortar, but from the high concentration of gypsum, which is a main component of the original mortar mix and not a decay product. The mortars appear to have mainly chlorite ions and sulphate ions, however nitrate ions were also detected in very few samples.

The joint mortars of the west facade are mixed gypsum-lime or lime-gypsum mortars, while the joint mortars of the southwest facade are lime mortars. The joint mortars of the northwest facade appear to have two zones in relation to their chemical composition. In further detail, the joint mortars of the lowest zone are lime mortars, of middle zone and upper zone are lime-gypsum. The filling mortars of all three facades appear to have different composition in different heights and they differentiate in zones of gypsum-lime mortars and lime mortars.

The large differentiation of the mortars is possible to be the result of different restoration interventions during the different building phases of the monument, but one must not exclude the possibility that all the mortars come from the restoration of architect Komnenos.

Πίνακας περιεχομένων

1. Γενικό Θεωρητικό Μέρος.....	1
1.2. Είδη Κονίας- Αδρανών- Προσθέτων	2
1.2.1. Είδη κονιών	2
1.2.1.1. Αερικές Κονίες.....	2
1.2.1.2. Υδραυλικές Κονίες	5
1.2.2. Αδρανή.....	7
1.2.2.1. Κατηγορίες Αδρανών	8
1.2.3. Πρόσθετα-Πρόσμεικτα.....	9
1.2.3.1. Ποζολάνες.....	9
1.2.3.2. Οργανικά Πρόσθετα	10
1.3. Είδη ιστορικών κονιαμάτων	10
1.3.1. Γενική Ιστορική Αναδρομή.....	10
1.3.2. Είδη Κονιαμάτων.....	13
1.3.2.1. Ασβεστιτικά Κονιάματα.....	13
1.3.2.2. Κονιάματα τεχνολογίας θερμού ασβεστίτη	14
1.3.2.3. Κονίαμα Ασβεστίτη-Ποζολάννας	14
1.3.2.4. Κονιάματα θρυμματισμένου τούβλου-ασβεστίτη	14
1.3.2.5. Κονιάματα Τοιχοποιίας.....	15
1.4. Φθορά κονιαμάτων.....	15
1.4.1. Μηχανικές Δράσεις.....	15
1.4.1.1. Εξωτερικής προέλευσης.....	15
1.4.1.2. Εσωτερικής προέλευσης	16
1.4.2. Χημικές Δράσεις.....	16
1.4.2.1. Ασβεστιτικά Κονιάματα.....	16
1.4.2.2. Υδραυλικά κονιάματα	17
1.4.2.3. Άλλοι παράγοντες χημικής φθοράς:.....	17
1.4.3. Βιολογικές Δράσεις	18
2. Ειδικό Θεωρητικό Μέρος.....	18
2.1. Βιβλιογραφική ανασκόπηση χαρακτηρισμού ιστορικών κονιαμάτων.....	18
2.1.1. Πετρογραφική, Ορυκτολογική Μελέτη.....	18
2.1.2. Φυσικές Μέθοδοι	19
2.1.3. Μέθοδοι Ανάλυσης Χημικής Σύστασης.....	19
2.1.4. Χημικές Μέθοδοι	19
2.1.5. Μελέτη Μικροδομής.....	20

2.1.6.	Δοκιμές Μηχανικών Αντοχών.....	20
2.2.	Ιστορική ανασκόπηση των οικοδομικών φάσεων του κτηρίου	20
3.	Πειραματικό Μέρος.....	29
3.1.	Αρχές Μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν.....	29
3.1.1.	Μικροσκοπία Οπτικών Ινών.....	29
3.1.2.	Κοκκομετρική ανάλυση.....	30
3.1.3.	Θερμική Ανάλυση	31
3.1.4.	Περίθλαση ακτίνων X-XRD (X-Ray Diffraction)	32
3.1.5.	Δοκιμές Ολικής Εμβάπτισης σε Νερό	33
3.1.6.	Προσδιορισμός ολικών διαλυτών αλάτων- Ποιοτική Ανίχνευση Ανιόντων 35	
3.1.7.	Χρωματομετρία.....	36
3.2.	Παρουσίαση Δειγματοληψίας σε αρχιτεκτονικά σχέδια.....	39
4.	Παρουσίαση και συζήτηση αποτελεσμάτων	43
4.1	Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση των δειγμάτων των ιστορικών κονιαμάτων	43
4.2	Κοκκομετρική Ανάλυση	71
4.2.1.	Αποτελέσματα Κοκκομετρικής Ανάλυσης	71
4.2.2.	Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Κοκκομετρικής Ανάλυσης.....	75
4.3	Αποτελέσματα Ορυκτολογικής Ανάλυσης με Περίθλαση Ακτίνων X (XRD).....	78
4.3.1.	Γωνιογράμματα των κονιαμάτων.....	78
4.3.2.	Επεξεργασία των γωνιαγραμμάτων	95
4.4	Θερμοβαρυσμετρική και Διαφορική Θερμική Ανάλυση (DTA-TG).....	103
4.4.1.	Θερμογραφήματα που λήφθηκαν από τα εξεταζόμενα δείγματα.....	104
4.4.2.	Επεξεργασία Αποτελεσμάτων της DTA-TG	113
4.4.3.	Συνολικός σχολιασμός των αποτελεσμάτων της DTA-TG των κονιαμάτων ανά φάτνωμα	124
4.5	Δοκιμές Ολικής Εμβάπτισης σε Νερό	127
4.5.1.	Απορρόφηση Νερού.....	127
4.5.2.	Εκρόφηση Νερού	128
4.5.3.	Μετρούμενα Χαρακτηριστικά	129
4.6	Ολικά Διαλυτά Άλατα.....	135
4.6.1.	Αποτελέσματα Διαλυτών Αλάτων και Spot Test	135
4.6.2.	Συνολικός σχολιασμός διαλυτών αλάτων ανά φάτνωμα.....	141
5.	Συμπεράσματα – Προοπτικές	152
5.1.	Συνολικός χαρακτηρισμός και διάγνωση της φθοράς ανά δείγμα.....	152

5.1.1 Δυτικό Φάτνωμα.....	152
5.1.1.1. Κονιάματα Γεμίματος.....	152
5.1.1.2. Κονιάματα Αρμού	155
5.1.2 Νοτιοανατολικό Φάτνωμα	158
5.1.2.1. Κονιάματα Γεμίματος.....	158
5.1.2.2. Κονιάματα Αρμού	160
5.1.3. Βορειοανατολικό Φάτνωμα.....	162
5.1.3.1. Κονιάματα Γεμίματος.....	162
5.1.3.2. Κονιάματα Αρμού	164
5.2. Συμπεράσματα.....	168
5.3. Προοπτικές.....	180
6 Βιβλιογραφία.....	181

1. Γενικό Θεωρητικό Μέρος

1.1. Κονιάματα

Ορισμός

Κονιάματα ονομάζονται τα μείγματα που αποτελούνται από μία ή περισσότερες συνδετικές ύλες (κονίες), λεπτόκοκκα αδρανή (διάμετρος $\leq 4\text{mm}$) και νερό. Εάν τα μείγματα αυτά περιέχουν πιο χονδρόκοκκα αδρανή ονομάζονται κονιοδέματα ή σκυροδέματα. Οι ιδιότητες του νωπού και του σκληρυμένου κονιάματος εξαρτώνται από το είδος και τις αναλογίες των πρώτων υλών, από τον τρόπο ανάμειξης και εφαρμογής και από τις συνθήκες που επικρατούν και εφαρμόζονται κατά την διάρκεια της σκλήρυνσης. (1)

Κατηγορίες Κονιαμάτων (2)

- Ανάλογα με τον τρόπο πήξης και σκλήρυνσης που εξαρτάται από το είδος της κονιάς:
 - **Υδραυλικά**, πήζουν και σκληρύνονται με την παρουσία νερού, με ή χωρίς την παρουσία αέρα και παραμένουν σκληρές ακόμα και κάτω από το νερό (υδραυλική άσβεστος, τσιμέντο).
 - **Αερικά**, πήζουν και σκληρύνονται μόνο όταν έρχονται σε επαφή με τον αέρα (γύψος, αερική άσβεστος).
- Ανάλογα με το φαινόμενο βάρος τους :
 - ελαφριά ($<1500\text{Kg/m}^3$)
 - βαριά ($>1500\text{Kg/m}^3$)
- Ανάλογα με το είδος της κονιάς ή των αδρανών:
 - Τσιμεντοκονιάματα με συνδετική ύλη το τσιμέντο
 - Ασβεστοκονιάματα με συνδετική ύλη τον πολτό ασβέστου ή την κονιοποιημένη υδράσβεστο.
 - Τσιμεντοασβεστοκονιάματα ή μεικτά κονιάματα με μείγμα τσιμέντου και άσβεστου ως συνδετική ύλη.
 - Ποζολανικά κονιάματα με συνδετική ύλη άσβεστο (με μερική υποκατάσταση με τσιμέντο) και ποζολάνη (φυσική ή τεχνητή).
 - Μαρμαροκονιάματα με κύριο αδρανές την 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:
 - κονιάματα δόμησης ή κονιάματα τοιχοποιίας,
 - κονιάματα επιχρισμάτων,
 - ισοπεδωτικά ή κονιάματα εξίσωσης δαπέδων
 - συγκολλητικά όπου υπάγονται οι διάφορες κόλλες
 - θερμομονωτικά,
 - ηχομονωτικά,
 - πυράντοχα

Τα κονιάματα που προορίζονται για τα διάφορα δομικά έργα, έχουν ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών χρήσεων, ανάλογα με τις επιδιωκόμενες ιδιότητες που εξαρτώνται από την σύνθεση και την ποσοστιαία αναλογία των πρώτων υλών αλλά και τον τρόπο παρασκευής τους. Τα σημεία ακριβώς αυτά είναι που διαφοροποιούν τα κονιάματα από τις υπόλοιπες

κατηγορίες δομικών προϊόντων. Στα κονιάματα και σε μικρότερο βαθμό στα σκυροδέματα, ο μηχανικός δεν καλείται να επιλέξει από μία κατηγορία παρεμφερών έτοιμων δομικών προϊόντων αυτό που καλύπτει τις ιδιότητες του έργου του, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις, συνεκτιμώντας πολλές παραμέτρους, σχεδιάζει ή επιλέγει το καταλληλότερο για την περίπτωση του.

Το κονίαμα, προορίζεται για να συνδέσει μεταξύ τους τα διάφορα στοιχεία για δημιουργία μιας ενιαίας μονολιθικής μάζας να αντέχει σε υψηλά φορτία, άρα είναι απαραίτητο να αναπτύσσει ικανοποιητικές αντοχές με μεγάλο συντελεστή ασφαλείας. Παράλληλα με τις αντοχές θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και άλλες σημαντικές τους ιδιότητες οι οποίες καθορίζουν την ποιότητα του κονιάματος και τα πεδία εφαρμογής του. Οι επιπλέον αυτές ιδιότητες είναι η εργασιμότητα για τα νωπά κονιάματα και η πρόσφυση και η ανθεκτικότητα για τα σκληρυμένα. (3)

Χρόνος εργασιμότητας μπορεί να οριστεί ως το χρονικό διάστημα από την πλήρη ανάμιξη του νωπού κονιάματος, κατά το οποίο το κονίαμα δόμησης διατηρείται εργάσιμο προς εφαρμογή.

1.2. Είδη Κονίας- Αδρανών- Προσθέτων

1.2.1. Είδη κονιών

Κονίες ονομάζονται τα υλικά, τα οποία μετά από ανάμιξη με κάποιο ρευστό μέσο γίνονται εύπλαστος πολτός με συγκολλητικές ιδιότητες. Η πλειοψηφία αυτών των υλικών αποκτούν πλαστικότητα μετά από ανάμιξη με νερό και στερεοποιούνται λόγω εξάτμισης αυτού (π.χ. πηλός) ή λόγω χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα (π.χ. τσιμέντο). Το νερό παίζει μεγάλο ρόλο τόσο στην πλαστικότητα και εργασιμότητα του κονιάματος, όσο και στην σκλήρυνσή του. (4)

1.2.1.1. Αερικές Κονίες

Οι αερικές κονίες σκληραίνουν στον αέρα υπό την επίδραση διοξειδίου του άνθρακα (αερική άσβεστος, άργιλος, πηλός, γύψος). Η υδραυλικότητα οφείλεται σε ορισμένες ενώσεις με κυριότερες του πυριτίου, του αργιλίου και του σιδήρου.

Γύψος

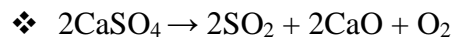
Το θεικό ασβέστιο βρίσκεται είτε στην άνυδρη (CaSO_4), είτε στην διένυδρη μορφή του ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), που βρίσκεται με την μορφή ορυκτών στην φύση και μπορεί να περιέχουν προσμίξεις (CaCO_3 , MgCO_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 κ.α.).

Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την έψηση-όπτηση του $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ είναι:

- ❖ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O} + 3/2\text{H}_2\text{O}$, -19.8 Kcal , $T=128 \text{ }^\circ\text{C}$
- ❖ $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 + 1/2\text{H}_2\text{O}$, -7.5 Kcal , $T=163 \text{ }^\circ\text{C}$

Από την πρώτη αντίδραση λαμβάνεται ημυδρίτης ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$). Ονομάζεται, επίσης, πλαστική γύψος και χρησιμοποιείται ευρέως στην οικοδομική, χάρη στην ιδιότητα της, όταν αναμειγνύεται με νερό, να σκληρύνεται γρήγορα και να μεταπίπτει πάλι σε γύψο. Το προϊόν της δεύτερης αντίδρασης είναι ο ανυδρίτης, ο οποίος με περεταίρω θέρμανση μεταπίπτει σε

νεκρά γύψο. Σε ακόμα υψηλότερες θερμοκρασίες (>700 °C) η γύψος διασπάται σύμφωνα με την αντίδραση:



Τα προϊόντα της όπτησης ολοκληρώνονται σε δύο στάδια την πήξη και την σκλήρυνση. Η αντοχές του υλικού επηρεάζονται από την ποσότητα του νερού, τον τρόπο ανάμειξης καθώς και από την θερμοκρασία. Κατά τη διαδικασία της πήξης του ημιδρύτη μπορεί να παρατηρηθεί εμφανής αύξηση της θερμοκρασίας καθώς και διόγκωση της μάζας. Με ανάμιξη του ανυδρίτη ή του ημιυδρίτη με 60-70 % κ.β. νερό παρατηρείται πήξη της κονιάς. Το CO₂ του αέρα δεν συμμετέχει στην σκλήρυνση της κατατάσσεται στις αερικές κονίες, διότι δεν διατηρείται σε υγρό περιβάλλον. Ο χρόνος πήξης και σκλήρυνσης μπορεί να ελεγχθεί με χρήση πρόσθετων υλικών (επιταχυντών ή επιβραδυντών), ενώ με προσθήκη λεπτής άμμου μπορούμε να αυξήσουμε τις αντοχές του κονιάματος.

Οι κυριότερες χρήσεις της γύψου είναι στα κονιάματα επιχρισμάτων και αρμών, στην κατασκευή και την ένωση δομικών πλακών, σε διακοσμητικά στοιχεία και ψευδοροφές, αλλά και σε αντικείμενα που μορφοποιούνται σε καλούπια (2)

Αερική Άσβεστος (CaO):

Παράγεται με έψηση-όπτηση ασβεστολιθικών πετρωμάτων (>900 °C) που μπορεί να είναι μορφές καθαρών (CaCO₃) ή δολομιτικών (CaMg(CO₃)₂). Ανάλογα με την μορφή του αρχικού πετρώματος λαμβάνεται διαφορετική ποιότητα ασβέστη. Κατά κανόνα δεν σκληραίνονται κάτω από το νερό καθώς δεν έχουν υδραυλικές ιδιότητες.

Η παραγωγή της γίνεται σε 3 στάδια:

1. Έψηση-όπτηση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων και παραγωγή του CaO
2. Σβέση του CaO και παραγωγή του Ca(OH)₂
3. Πήξη και σκλήρυνση του Ca(OH)₂ και παραγωγή του CaCO₃

Η έψηση ασβεστολιθικών πετρωμάτων γίνεται με την ενδόθερμη αντίδραση:



Ανάλογα με το περιεχόμενο ποσοστό σε MgCO₃ στον αρχικό ασβεστόλιθο παράγεται άσβεστος πλούσια σε Ca (2-5%), παράγεται μαγνησιακή (δολομιτική) άσβεστος (>5%). Χωρίς περαιτέρω επεξεργασία, η άσβεστος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή ασβεστοπυριτικών πλίνθων και αεριοσκυροδεμάτων.

Στη συνέχεια η σβέση της παραγόμενης ασβέστου και παραγωγή της υδρασβέστου γίνεται με την εξώθερμη αντίδραση:



Ανάλογα με την ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται η σβέση διακρίνεται σε υγρή και ξηρή. Στην υγρή σβέση, η παραγόμενη υδράσβεστος είναι υπό μορφή πολτού, ενώ στην ξηρή σβέση προκύπτει ως σκόνη με μικρό ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας (<1% κ.β.)

Η ποιότητα του ασβέστη μπορεί να χαρακτηριστεί ανάλογα με το δείκτη απόδοσης R που υπολογίζεται από τη σχέση:

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

Εάν:

- ❖ $R > 2.5$, παράγεται παχιά άσβεστος υψηλής ποιότητας
- ❖ $R = 1.5-2.5$, παράγεται ισχνή άσβεστος χαμηλής ποιότητας
- ❖ $R < 1.5$, η παραγόμενη άσβεστος είναι ακατάλληλη για δομική χρήση

Τέλος η πήξη και σκλήρυνση της υδρασβέστου (ενανθράκωση) γίνεται με την αντίδραση:



Μετά το πέρας της σκλήρυνσης, η άσβεστος μετατρέπεται σε στερεό και αποκτά τις τελικές αντοχές της. Οι απαραίτητες προϋποθέσεις για την σκλήρυνση είναι η παρουσία CO_2 και το ξηρό περιβάλλον για την εξάτμιση του νερού.

Η αερική άσβεστος δίνει εύπλαστα κονιάματα, ενώ παρουσιάζει καλή εργασιμότητα και υψηλή πρόσφυση. Χρησιμοποιείται ευρέως στην κατασκευή κονιαμάτων τοιχοδομών και επιχρισμάτων, είτε αυτούσια, είτε σε συνδυασμό με τσιμέντο γύψο ή ποζολάνη. (5) (2)

Άργιλος:

Εκτός από καθαρό λευκό καολίνη ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) περιέχει λίγο ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), οξείδια του σιδήρου (Fe) και άλλες προσμίξεις που καθορίζουν το χρώμα του. Χρησιμοποιείται για τα πυρίμαχα επιχρίσματα. (3)

Πηλός:

Φυσικό μείγμα από άργιλο και λεπτόκοκκα έως μεσόκοκκα αμμόδη συστατικά. Με την ξήρανση σκληρύνεται και συστέλλεται τόσο περισσότερο όσο πιο παχύ είναι, δηλαδή όσο περισσότερη άργιλο περιέχει. Ο πηλός στην τελική ξηρά κατάσταση έχει καλές ηχομονωτικές και θερμομονωτικές ιδιότητες, αλλά είναι ευαίσθητος στο νερό και στον παγετό. Είναι από τις παλαιότερες κονίες που χρησιμοποιήθηκαν. (3)

Δομικοί γύψοι:

Πρόερχονται από τον ορυκτό γύψο (CaSO_4) μετά από μερική ή ολική αφυδάτωσή του. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε κονιάματα επιχρισμάτων και πολλές φορές αναμιγνύονται με ειδικά πρόσθετα τα οποία βελτιώνουν ορισμένες ιδιότητες (συνεκτικότητα, χρόνος πήξεως, πρόσφυση, κλπ.). Ο κοινός γύψος (ανυδρίτης) πήζει πολύ γρήγορα (αρχή μεταξύ 8 και 20min – τέλος μεταξύ 20 και 60min). (3)

Οι δομικοί γύψος είναι σκόνη συνήθως λευκή, υπόλευκη ή κιτρινωπή. Παραδίνεται κυρίως σε σάκους αλλά και χύμα σε σιλό. Όπως οι άλλες κονίες πρέπει να αποθηκεύεται οπωσδήποτε σε στεγνό χώρο. Χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για εργασίες στόκου, σε κονιάματα επιχρισμάτων σε επιχρίσματα επί μεταλλικών πλεγμάτων, για την κατασκευή δομικών πλακών και σωμάτων καθώς και για την κατασκευή δαπέδων.

Κονίες ανυδρίτη:

Είναι μη υδραυλικές συνδετικές ύλες που παρασκευάζονται με συνάλεση ή ανάμιξη ανυδρίτη και διεγέρτη. Ως ανυδρίτης χρησιμοποιείται φυσικό ή συνθετικό CaSO_4 με περιεκτικότητα

τουλάχιστον 85% CaSO₄. Ως διεγέρτες χρησιμεύουν ύλες με βασικές ιδιότητες (άσβεστοι ή τσιμέντα Πόρτλαντ) ή διάφορα άλατα καθώς και μείγματα μεταξύ τους. Η πήξη τους αρχίζει αφού περάσουν τουλάχιστον 20min από την παρασκευή τους και πρέπει να λήξει τις επόμενες 12 ώρες. Πρέπει να έχουν σταθερότητα όγκου και δεν επιτρέπεται η ανάμιξή τους με υδραυλικές κονίες για να αποφευχθεί η διόγκωση κατά την πήξη. Χρησιμοποιούνται κυρίως για δάπεδα και διακοσμητικά επιχρίσματα. (3)

Οι ιπτάμενες τέφρες:

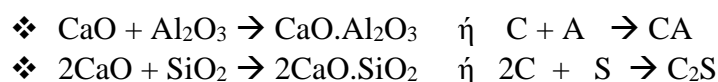
Οι ιπτάμενες τέφρες αποτελούν λεπτά αλεσμένες τέφρες παραγόμενες κατά την καύση κονιοποιημένου άνθρακα σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας και απομακρύνονται από το στάδιο της συμπύκνωσης των αερίων. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας καύσης του άνθρακα, τα περισσότερα από τα ορυκτά συστατικά που περιέχονται στον άνθρακα τήκονται και σχηματίζουν μικρές φυσαλίδες. Η απότομη ψύξη που ακολουθεί κατά την διεργασία τις μετατρέπει μερικώς ή ολικώς σε σφαιρικά υαλώδη σωματίδια. (3)

1.2.1.2. Υδραυλικές Κονίες

Υδραυλική άσβεστος

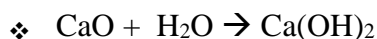
Είναι άσβεστος που κυρίως συνίστανται από πυριτικά άλατα του ασβεστίου και του αργιλίου καθώς και υδροξείδιο του ασβεστίου. Παράγονται με έψηση πλουσίων σε αργίλιο ασβεστόλιθων και στην συνέχεια σβήσιμο και άλεση ή με την ανάμειξη των κατάλληλων υλικών με υδροξείδιο του ασβεστίου. Έχουν την ιδιότητα να πήζουν και να σκληραίνουν όταν έρχονται σε επαφή με το νερό. Το διοξείδιο του άνθρακα συμβάλλει θετικά στην διαδικασία της σκλήρυνσης. Διακρίνονται στις υδραυλικές και στις φυσικές υδραυλικές ασβέστους. Οι υδραυλικές ιδιότητες της οφείλονται στις διάφορες προσμίξεις της, κυρίως το πυρίτιο, το αργίλιο και τον σίδηρο, τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο και στην πήξη.

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 900-1300°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 κονίας. Μειονεκτεί όμως σημαντικά λόγω του μεγάλου ποσοστού του ελεύθερου CaO που περισεύει. Για τον λόγο αυτόν δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτούσια στα διάφορα κονιάματα, αλλά απαιτεί ποζολάνες ώστε να δεσμευτεί το ελεύθερο CaO με το ενεργό SiO₂ που αυτές ως γνωστόν έχουν. Οι παρακάτω χημικές αντιδράσεις περιγράφουν το φαινόμενο που παρατηρείται κατά την έψηση των πετρωμάτων ανθρακικού ασβεστίου και αργίλου (μάργες): (5) (2)



Τα ποσοστά των παραγόμενων CA και C₂S εξαρτώνται από τις αρχικές συγκεντρώσεις των οξειδίων του αργιλίου και του πυριτίου στο πέτρωμα του μαργαϊκού ασβεστόλιθου και αποτελούν ένδειξη της υδραυλικότητας της ασβέστου.

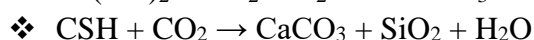
Η διαδικασία της σβέσης της υδραυλικής ασβέστου είναι η εξής. Κατά το πρώτο στάδιο, δηλαδή κατά την διάρκεια της ξηρής σβέσης, το CaO μετατρέπεται σε Ca(OH)₂ κατά την οποία προστίθεται νερό 60-65% κατά βάρος.



Κατά το δεύτερο στάδιο, και όταν προστεθεί επιπλέον νερό οι αργιλοπυριτικές ενώσεις ενυδατώνονται και παράγουν ένυδρο πυριτικό ασβέστιο (CSH) και ένυδρο πυριτικό αργίλιο (CAH). Αυτές οι ενώσεις είναι που προκαλούν και την γρήγορη σκλήρυνση του μείγματος κατά την αντίδραση:



Η διαδικασία της ενανθράκωσης (πήξης και σκλήρυνσης) του προϊόντος περιγράφεται με τις παρακάτω αντιδράσεις:



Μπορεί να γίνει κατάταξη των ασβέστων με βάση τον δείκτη υδραυλικότητας Vicat ο οποίος υπολογίζεται μέσω του τύπου:

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

Ανάλογα με την τιμή του i γίνεται η εξής κατάταξη:

Πίνακας 1 Χαρακτηρισμός υδραυλικότητας κονιών

Δείκτης υδραυλικότητας i	Χαρακτηρισμός
0.00-0.01	αερική άσβεστος
0.10-0.16	άσβεστος χαμηλής υδραυλικότητας
0.16-0.32	άσβεστος μεσαίας υδραυλικότητας
0.32-0.42	υδραυλική άσβεστος
0.42-0.50	άσβεστος υψηλής υδραυλικότητας
>0.5	τσιμέντο

Η υδραυλική άσβεστος συνήθως αναμιγνύεται με ποζολάνες και χρησιμοποιείται κυρίως σε κονιάματα επισκευών (επίστρωση, αρμολόγημα, επιχρίσματα), κυρίως σε κατασκευές μνημειακού χαρακτήρα.

Τέλος, οι υδραυλικοί άσβεστοι διακρίνονται στις εξής τρεις κατηγορίες:

- NHL: Πρόκειται για φυσικές υδραυλικές άσβεστοι, χωρίς προσθήκη άλλων υλικών.
- FHL: Πρόκειται για τεχνητές υδραυλικές άσβεστους, οι οποίες αποτελούνται από αερική άσβεστο και/ή υδραυλική άσβεστο και πρόσθετα υλικά που βελτιώνουν τις υδραυλικές ιδιότητες και/ή ποζολάνη.
- HL: Πρόκειται για άσβεστους με προσθήκη υλικών, όπως τσιμέντο, ιπτάμενη τέφρα κ.α.. (2) (5)

Τσιμέντο:

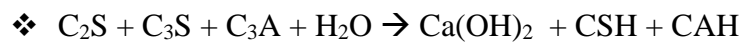
Τσιμέντο ονομάζεται η τεχνητή, λεπτόκοκκη κονία που παρασκευάζεται με άλεση του κλίνκερ, όπως ονομάζεται διεθνώς είναι προϊόν της όπτησης μείγματος ασβεστολιθικών και αργιλοπυριτικών πετρωμάτων σε ποσοστό.

Η παραγωγή του τσιμέντου γίνεται με τα εξής βήματα. Αρχικά, πραγματοποιείται η εξόρυξη πρώτων υλών (ασβεστόλιθος και άργιλος). Στη συνέχεια γίνεται η άλεση και η παραγωγή φαρίνας. Έπειτα, γίνεται η έψησή της σε υψικάμινο σε θερμοκρασίες 1400-1450 °C και η παραγωγή κλίνκερ, όπου όλο το CaO δεσμεύεται από τις αργιλοπυριτικές ενώσεις, σε αντίθεση με την υδραυλική άσβεστο, που μετά την έψηση περιέχει ελεύθερο CaO το οποίο πρέπει να σβηστεί. Η διαδικασία γίνεται σύμφωνα με την αντίδραση:



Στη συνέχεια, ακολουθεί η ανάμιξη με διάφορα πρόσθετα (κυρίως γύψος, αλλά και ποζολάνες, ιπτάμενη τέφρα). Τέλος, πραγματοποιείται η άλεση και παραγωγή λεπτόκοκκης σκόνης (τσιμέντο).

Κατά την αντίδραση του τσιμέντου με το νερό λαμβάνει χώρα παραγωγή των ένυδρων CSH, CAH, τα οποία με την μορφή gel προσδίδουν πολύ γρήγορη σκλήρυνση στο μείγμα. Η χημική αντίδραση που εκφράζει το φαινόμενο είναι:



Τα είδη κονιαμάτων με βάση το τσιμέντο είναι κονιάματα τσιμέντου-ασβέστη για την βελτίωση μια σειρά ιδιοτήτων όπως η πρόσφυση, η στεγανότητα, η πλαστικότητα, η εργασιμότητα, η μείωση πιθανότητας εμφάνισης εξανθημάτων, κ.τ.λ. και κονιάματα τσιμέντου-ποζολάνης για τη μείωση ποσοστού ελευθέρου Ca(OH)₂ όπως επίσης και τσιμέντο υψηλών αντοχών, υψηλής συγκέντρωση πυριτίου, λευκό τσιμέντο, ανθεκτικό στα θειικά, κ.τ.λ.

Η πήξη του τσιμέντου προκαλείται λόγω των αλληλοεμπλεκόμενων δομών των προϊόντων ενυδάτωσης. Το χρονικό διάστημα μεταξύ της ενυδάτωσης και της σκλήρυνσης του τσιμέντου ονομάζεται χρόνος πήξης (setting time). Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο πήξης είναι η λεπτότητα του τσιμέντου, τα ποσοστά του αργιλικού τριασβεστίου (C₃A) και της ελεύθερης ασβέστου (% CaO) καθώς και από το λόγο W/C (νερό/τσιμέντο). Η ρύθμιση του χρόνου πήξης πραγματοποιείται με την προσθήκη γύψου κατά την άλεση του κλίνκερ. (6)

1.2.2. Αδρανή

Τα αδρανή είναι υλικά τα οποία προέρχονται από την φυσική αποσάθρωση ή την τεχνητή θραύση των πετρωμάτων, καθώς και διάφορα υλικά, όπως σκουριές από υψικάμινους, βιομηχανικά παραπροϊόντα, κ.α. Αποτελούνται από κόκκους ίδιου ή διαφορετικού μεγέθους και χρησιμοποιούνται σαν πληρωτικά υλικά στα κονιάματα. Κατά την σκλήρυνση της κονίας οι κόκκοι αυτοί συνδέονται μεταξύ τους κι έτσι προκύπτει ένα στερεό σώμα κατάλληλο για κατασκευές, του οποίου οι ιδιότητες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το είδος της κονίας.

Η άμμος είναι το συνηθέστερο αδρανές υλικό που χρησιμοποιείται στα κονιάματα. Δεν πρέπει να περιέχει προσμίξεις που να είναι ικανές να προκαλέσουν μείωση της αντοχής και της σταθερότητας των κονιαμάτων, να επηρεάσουν δυσμενώς άλλες ιδιότητες των και να προκαλέσουν επιβλαβείς χημικές αντιδράσεις με την εκάστοτε συνδετική ύλη.

Πιο συγκεκριμένα κατά την επιλογή και την χρήση των αδρανών, έμφαση δίνεται :

α) στην κοκκομετρική διαβάθμιση όπου προτιμάται η χρήση αδρανών με σχετικά μεγάλο εύρος προκειμένου να καλύπτουν οι μικροί κόκκοι τα κενά που αφήνουν οι μεγαλύτεροι. Επιδιώκεται το <math><250\mu\text{m}</math> κλάσμα να είναι το 10-25% του συνολικού βάρους της άμμου. Εάν το κλάσμα αυτό αντιπροσωπεύει ποσοστό μικρότερο του 10%, τότε θα υπάρχουν κενά και τότε θα πρέπει να προστεθεί κονία για να βελτιωθεί η εργασιμότητα. Αυξημένο, όμως, ποσοστό κονίας μπορεί να οδηγήσει σε ρωγμές, λόγω της αυξημένης συστολής ξήρανσης. Όταν όμως υπάρχουν αδρανή υλικά με αυξημένο λεπτόκοκκο κλάσμα (δηλαδή με μέγεθος κόκκου μικρότερο των 63 μm) σε ποσοστό μεγαλύτερο του 5%, τότε δημιουργείται έντονο πρόβλημα, καθόσον καλύπτονται οι κόκκοι του αδρανούς και εμποδίζεται η ένωση του με τον πολτό. Το λεπτόκοκκο αυτό κλάσμα λέγεται παιπάλη.

β) Στην παρουσία αλάτων και άλλων προσμίξεων καθώς και στην παρουσία χωματοειδών υλικών που καθιστούν δύσκολη την πρόσφυση μεταξύ αδρανούς και συνδετικού υλικού. Στα επιβλαβή συστατικά περιλαμβάνονται φυτικές και χημικές ουσίες, τεμάχια άνθρακα, τέφρες κλπ

γ) Στην υγρασία όπου οι αναλογίες μίξης των συστατικών των κονιαμάτων που δίνονται στα διάφορα πρότυπα, ισχύουν με την προϋπόθεση ότι η άμμος περιέχει υγρασία περίπου 3%. Ιδιαίτερα ξηρές ή πολύ υγρές άμμοι καταλαμβάνουν διαφορετικό χώρο. Για τον λόγο αυτό κατά τον καθορισμό των αναλογιών ενός κονιάματος οι ποσότητες των άμμων πρέπει να διορθώνονται ανάλογα με την υγρασία που έχουν. (3)

1.2.2.1. Κατηγορίες Αδρανών

Η κατηγοριοποίηση των αδρανών μπορεί να γίνει με βάση συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που αναπτύσσονται παρακάτω.

- Ανάλογα με την φύση τους σε:
 - ❖ Φυσικά αδρανή, όπως πέτρες, βότσαλα, χαλίκια χωρίς επεξεργασία ή θραυσμένα.
 - ❖ Βιομηχανικά αδρανή, όπως διογκωμένη άργιλος, διογκωμένος περλίτης, βερμικουλίτης κ.τ.λ.
 - ❖ Ανακυκλωμένα που προκύπτουν από ανακύκλωση (επεξεργασία και επανάχρηση) δομικών υλικών που έχουν ληφθεί από άλλες κατασκευές, όπως υλικά κατεδαφίσεως τοιχοποιιών.

- Ανάλογα την πηγή λήψης τους:
 - ❖ Φυσικά ή Συλλεκτά, όπως υλικά κοίτης ποταμού, υλικά αναβαθμίδων, κορήματα κλιτύων.
 - ❖ Αδρανή Λατομείων

- Ανάλογα με το μέγεθός τους:
 - ❖ Λεπτόκοκκα αδρανή ($D < 4\text{mm}$, άμμοι)
 - ❖ Χονδρόκοκκα αδρανή ($D > 4\text{mm}$, κροκάλες, γαρμπίλι, χαλίκια, σκύρα)
 - ❖ Παιπάλη (filler) ($D < 2\text{mm}$, $70 - 100\% < 0,063\text{ mm}$)

- Ανάλογα με το ειδικό βάρος τους:
 - ❖ Κανονικού ειδικού (2-3 g/cm^3)
 - ❖ Ελαφροβαρή (<math><2\text{g/cm}^3</math>), Φυσικά ελαφρά αδρανή, επεξεργασμένα, παραπροϊόντα, επεξεργασμένα μονωτικά, υπέρλαφρα.

- ❖ Βαρέα (>3 g/cm³) Προέρχονται από ορυκτά, όπως ο βαρύτης, μαγνητίτης, αιματίτης, ιλμενίτη
 - Ανάλογα με τη χρήση τους:
 - ❖ Αδρανή για σκυρόδεμα
 - ❖ Σκύρα έρματος σιδηροδρομικών γραμμών
 - ❖ Αδρανή για ασφαλτομείγματα
 - ❖ Αδρανή με ή χωρίς συνδετικά υλικά για βάσεις και υποβάσεις
 - ❖ Ελαφρά αδρανή
 - ❖ Αδρανή για κονιάματα (2) (7)

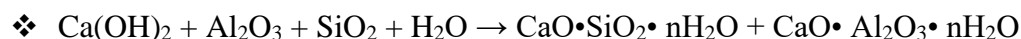
Συνηθισμένα αδρανή που χρησιμοποιούνται στα δομικά υλικά είναι, άμμος (θαλασσινή-ανθρακική σύστασης, ποταμίσια-χαλαζιακής σύστασης, λατομείου), θραύσματα από ασβεστολιθικά πετρώματα, από γρανίτες, δολομίτες, χαλαζία κ.τ.λ., θραύσματα κεραμικού για τη δημιουργία ενυδατωμένων αργιλοπυριτικών προϊόντων του ασβεστίου τα οποία έχουν καλύτερη πρόσφυση και καλύτερες μηχανικές αντοχές, κίσηρη για την παραγωγή ελαφρού κονιάματος το οποίο έχει μεγαλύτερη ελαστικότητα.

1.2.3. Πρόσθετα-Πρόσμεικτα

Πρόκειται για τα υλικά που προστίθενται στο κονίαμα σε μικρές ποσότητες (<2%) σε σχέση με τη μάζα της κονίας με σκοπό να τροποποιήσουν τις ιδιότητες κυρίως του νωπού, αλλά και του σκληρυμένου κονιάματος. Τα υλικά αυτά βελτιώνουν την ρευστότητα, την πλαστικότητα και επιβραδύνουν ή επιταχύνουν την πήξη του κονιάματος. Μπορούν να διαχωριστούν σε ανόργανα και οργανικά. Η κυριότερη κατηγορία πρόσθετων με εκτεταμένη χρήση στις κατασκευές είναι οι ποζολάνες οι οποίες ανήκουν στη κατηγορία των ανόργανων. (2)

1.2.3.1. Ποζολάνες

Είναι τα ορυκτά αργιλοπυριτικής σύστασης, τα οποία σε φυσική κατάσταση δεν παρουσιάζουν υδραυλικές ιδιότητες (ή παρουσιάζουν σε μικρή έκταση), αλλά σε λεπτοαλεσμένη μορφή, παρουσία υγρασίας, αντιδρούν με το Ca(OH)₂ σε συνήθη θερμοκρασία, σχηματίζοντας ενώσεις με υδραυλικές ιδιότητες. Η δράση της ποζολάνης στον ασβέστη δίνεται με την αντίδραση:



Όπου CaO•SiO₂•nH₂O και CaO•Al₂O₃•nH₂O γράφονται και ως CSH και CAH αντίστοιχα και είναι υπεύθυνα για την γρήγορη σκλήρυνση του κονιάματος και συμβάλλει στην ανάπτυξη υψηλών αντοχών.

Οι ποζολάνες μπορούν να διαχωριστούν περεταίρω σε φυσικές και τεχνητές.

Οι φυσικές ποζολάνες προέρχονται από πυροκλαστικά πετρώματα (υλικά ηφαιστειακής προέλευσης), υαλώδους μορφής με περιεχόμενο ποσοστό ενεργού πυριτίου 45-60%. Ανάλογα με τη φύση των ορυκτολογικών συστατικών τους μπορεί να είναι ηφαιστειογενείς ύαλοι, ζεόλιθοι ή μερικά ζεολιθοποιημένοι ύαλοι ή δραστικές μορφές ένυδρων πυριτικών. Κύριες φυσικές ποζολάνες είναι η Θηραϊκή γη, οι Ιταλικές ποζολάνες και η ηφαιστειακή τέφρα από τη Γαλλία.

Οι τεχνητές ποζολάνες είναι τα αργιλοπυριτικά υλικά που λαμβάνονται μετά από συγκεκριμένη θερμική κατεργασία. Κυριότερα παραδείγματα αποτελούν οι ιπτάμενες τέφρες, οι σκωρίες υψικαμίνων, η πυριτική παιπάλη και ο μετακαολινίτης,, που προκύπτει από έψηση του καολινίτη. Στην αρχαιότητα χρησιμοποιούνταν ως τεχνητές ποζολάνες θραύσματα από κεραμικά, κεραμίδια, πλίνθους, αγγεία κ.α., η δραστηκότητα των οποίων εξαρτάται από την αρχική σύνθεση της αργίλου , τη θερμοκρασία έψησης και το μέγεθος των τεμαχιδίων. (2) (5)

1.2.3.2. Οργανικά Πρόσθετα

Η πρόσθεση ενώσεων οργανικής φύσης έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση μιας σειράς ιδιοτήτων όπως η εργασιμότητα, οι μηχανικές αντοχές, η ανθεκτικότητα στον πάγο κ.τ.λ. Παρακάτω εμφανίζονται τα κυριότερα πρόσθετα που έχουν χρησιμοποιηθεί:

- Αερακτικό Σταθεροποιητής: Βελτιώνει την ανθεκτικότητα και σε μικρές ποσότητες λειτουργεί σαν σταθεροποιητής (βύνη, μύρα, δέρμα ζώων κρόκος αυγού, λίπη, κερι).
- Filler: Βελτιώνει την σκληρότητα (κόλλα, αράβικη μαστίχα, αλκής, ζάχαρη, χυμός φρούτων, γλουτένη, ρύζι, ζάχαρη).
- Πρόσθετο Διαστολής: Προκαλεί διαστολή κατά την πήξη (ζωϊκές και φυτικές κόλλες).
- Μετατροπέας: Βελτιώνει τις συγκολλητικές ιδιότητες (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 την ψαθυρότητα, 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 αγελάδος/βοδιού/ανθρώπου, άχυρο, ρύζι, ζύμη σικάλεως, ίνες βαμβακιού, ζωϊκές κόλλες, χυμός σύκου με κρόκο αυγού, ζάχαρη, ασπράδι αυγού).
- Πηκτικό γαλακτώματος: Επιταχύνει την πήξη του μείγματος (αίμα, ξυνισμένο γάλα, καζεΐνη, τυρί, κολλαγόνο, ζελατίνη). (8) (1)

1.3. Είδη ιστορικών κονιαμάτων

1.3.1. Γενική Ιστορική Αναδρομή

Τα ιστορικά κονιάματα είναι σύνθετα υλικά που αποτελούνται από υδραυλικά ή εναέρια συνδετικά υλικά ή μείγμα συνδετικών υλικών, αδρανών και παθητικών ή ενεργών προσθέτων, τα οποία αντιδρούν με το συνδετικό υλικό και τροποποιούνται κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης και γήρανσης, σύμφωνα με διαδικασίες που δεν είναι ακόμη γνωστές. (9) (10)

Τα κονιάματα που έχουν ενταχθεί σε αρχαίες κατασκευές είναι σύνθετα υλικά τα οποία έχουν παρουσιάσει εξαιρετική αντοχή στο πέρασμα του χρόνου. Χρησιμοποιήθηκαν ως υποστρωματικά υλικά σε κύστες, πηγάδια αποχετεύσεις και υδραγωγεία, ως στηρικτικά υλικά

σε μωσαϊκά και πεζοδρόμια, ως πλάστες (σοβάδες) εσωτερικά και εξωτερικά σε τοίχους και ως συνδετικά υλικά σε τοιχοποιίες (αρμοί). (11)

Η πρώτη χρήση κατασκευαστικών κονιαμάτων από σε τοιχοποιίες εμφανίζονται την 8^η χιλιετία π.Χ. στη Μεσοποταμία και τη Βαβυλωνία, όπου είχαν παρόμοια ίδιες πρώτες ύλες με πήλινα τούβλα, αλλά διαφορετική επεξεργασία. (12)

Η λάσπη φαίνεται να είναι το πρώτο συνδετικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή κονιαμάτων σε αρχαία κτίρια, η οποία χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα σε ορισμένες περιοχές σε όλο τον κόσμο. Στην αρχαία Αίγυπτο χρησιμοποιήθηκαν κονιάματα λάσπης για την σύνδεση των πλίνθων λάσπης, ενώ για την σύνδεση σκαλισμένων πέτρινων πλίνθων προτιμώταν ο γύψος. Τα κονιάματα γύψου, που τοποθετήθηκαν μεταξύ των προσεκτικά τετραγωνισμένων τετραγωνικών λίθων, δεν χρησιμοποιήθηκαν στην πραγματικότητα ως αρμοί, αλλά κυρίως ως λιπαντικό υλικό για να τοποθετηθούν με ακρίβεια οι πέτρινοι πλίνθοι στη κατασκευή. Υλικά, όπως άργιλοι και η λάσπη, που αναμειγνύονταν με ψιλοκομμένο άχυρο ή ζαχαροκάλαμο, χρησιμοποιήθηκαν στην αρχαιότητα για την παρασκευή κονιάματος στη Μέση Ανατολή, που μέχρι σήμερα θεωρούνται τυπικά παραδοσιακά κονιάματα. (11)

Τουλάχιστον από το 3000 π.Χ. ασφατικές κονίες εμφανίζονται στη Μεσοποταμία ως κονιάματα αρμών. Σε μετέπειτα κατασκευές κατά την περίοδο του Ναβουχοδονόσορ στη Βαβυλώνα οι άσφαλτοι αντικαθίστανται από κονιάματα υδράσβεστου, στα οποία προστίθενται πηλός, στάχτη, άσφαλτος και άλλα υλικά. Φαίνεται ότι η πρακτική της ασβεστολιθικής ασβεστοποίησης ήταν γνωστή ακόμα και από το 2450 π.Χ. στην αρχαία Μεσοποταμία, ενώ στο Khafaje βρέθηκαν τα ερείπια ενός φούρνου, που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ασβέστη. Επιπλέον, η χρήση γυψοσανίδων στη Μέση Ανατολή διήρκεσε πάνω από 4000 χρόνια. Θεωρείται ότι η τεχνολογία των κονιαμάτων διαδόθηκε στους Έλληνες και μετά στους Ρωμαίους από την περιοχή της Μέσης Ανατολής. Η περίοδος κατά την οποία χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά άσβεστος στα κονιάματα δεν έχει προσδιοριστεί ακόμη, αν και πιθανές ημερομηνίες μπορούν να βρεθούν από ιστορικές πηγές. (11)

Στην Ελλάδα, τα πρώτα παραδείγματα χρονολογούνται κατά τη διάρκεια της 6^{ης} χιλιετίας π.Χ. στους Νεολιθικούς οικισμούς Σέσκλο και Διμήνι. Τα κονιάματα κατασκευάζονταν κοντά στα κατασκευαστικά έργα και ο πηλός συχνά αναμειγνύονταν με οργανικά (βότανα, ρίζες, άχυρα και καλάμια) και ανόργανα (άμμο, χαλίκια) πρόσθετα, προκειμένου να αυξηθεί η μαζική σταθερότητα και ανθεκτικότητά τους. (12)

Μεταξύ άλλων, οι Ρωμαίοι ανέπτυξαν κυρίως την εκτεταμένη χρήση κονιαμάτων και σκυροδέματος για οικοδομικούς σκοπούς. Το σκυροδέμα ή «opus caementitium», θεωρείται ότι είναι ρωμαϊκή διαδικασία. Η χρήση κονιαμάτων και σοβάδων σε ελληνικά κτίρια δείχνει ότι το σκυροδέμα ήταν πιθανότατα γνωστό στις προ-ρωμαϊκές περιόδους. Μελέτες της δεξαμενής νερού στην Κάμειρο της Ρόδου (500 π.Χ.), όπου οι τοίχοι του ήταν κατασκευασμένοι από ποζολανικό τσιμέντο, επιβεβαιώνουν αυτή την υπόθεση. (11)

Πριν από τους Ρωμαίους, οι Έλληνες χρησιμοποιούσαν τη Θηραϊκή Γη για την οικοδόμηση. Τα ποζολανικά κονιάματα, που βρέθηκαν σε παλιές κατασκευές στο νησί της Δήλου, κοντά στο νησί Θήρα, χρονολογούνται από τον 2ο αιώνα π.Χ. Στη ρωμαϊκή περίοδο η τεχνική της προσθήκης ποζολανικών υλικών σε ασβεστοκονιάματα και σκυροδέματα με βάση το ασβέστιο εξαπλώθηκε σε όλη την αυτοκρατορία. (11)

Οι αρχαίες διατριβές (μελέτες), περιγράφουν τη χρήση θρυμματισμένων τούβλων σε ασβεστοκονιάματα. Αυτά τα υλικά υποδείχθηκαν με διάφορα ονόματα, όπως το *opus testaceum*, το οποίο φαίνεται να είναι το πιο σημαντικό. Οι Ρωμαίοι εξάπλωσαν τη χρήση τους σε όλη την αυτοκρατορία τους στην Ευρώπη, τη Βόρεια Αφρική και τη Δυτική Ασία (Τουρκία). Αυτά τα υλικά χρησιμοποιήθηκαν για διάφορους σκοπούς. Η σκόνη τούβλων χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την επίστρωση και για τα ανώτερα στρώματα των δαπέδων, αλλά συντριμμένα τούβλα με μεγάλο μέγεθος κόκκων δεν χρησιμοποιήθηκαν μόνο για τοιχοποιίες, καμάρες και θεμέλια, όπου υπήρχε υψηλή υγρασία ή νερό, αλλά και για τη βελτίωση των επιδόσεων κονιαμάτων υπό κανονικές συνθήκες. (11)

Κατά τη διάρκεια της ρωμαϊκής περιόδου (2^{ος} αι. π.Χ. - 3^{ος} αι. μ.Χ.), η χρήση ασβεστίου και ποζολάνης κυριαρχούσε στις κατασκευές, ενώ άρχισε να χρησιμοποιείται σκόνη από τούβλα και θρυμματισμένο τούβλο. Σύμφωνα με τον Vitruvius, κατασκευάστηκαν δομικά κονιάματα με 1 μέρος ασβέστη και 3 μέρη ποταμίσιας άμμου, ή 1 μέρος ασβέστη, 2 μέρη ποταμίσιας άμμου και 1 μέρος θρυμματισμένου τούβλου. Στο Galerius Palace (Θεσσαλονίκη, 3ος αι. μ.Χ.) τα δομικά κονιάματα αποτελούνται από ασβέστη, ποζολάνη και φυσικά αδρανή (κοκκομετρική διαβάθμιση 0-8mm) σε λόγο κονιάς/αδρανών από 1:2 έως 1:2,5, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις σκόνη από τούβλα και θρυμματισμένα τούβλα ανιχνεύθηκαν επίσης. (12)

Στη βυζαντινή εποχή γίνεται εμφανής η χρήση θρυμματισμένων τούβλων και κονιάς ασβεστίτη και χαρακτηρίζονται από το κοκκινωπό χρώμα τους. Αυτά τα κονιάματα, που εμφανίζονται στην Αγία Σοφία και σε άλλα βυζαντινά μνημεία, περιέχουν υδραυλικούς άμορφους αλκαλικούς και πυριτικούς σχηματισμούς, που είναι ο λόγος που παρουσιάζουν μεγάλη μηχανική αντοχή και είναι ανθεκτικά στο χρόνο. Για αυτό το λόγο μπορούν να θεωρηθούν ως πρώιμα παραδείγματα οπλισμένου σκυροδέματος. (10) Ακόμη, εμφανίζονται σε αυτήν την εποχή διάφορες τεχνολογίες παραγωγής κονιαμάτων με λόγους κονιάς/αδρανών να κυμαίνονται από 1:4 μέχρι και 1:2. Να σημειωθεί ότι λόγω φθοράς και απομάκρυνσης της κονιάς με την πάροδο του χρόνου είναι ο λόγος για τον οποίο εμφανίζονται οι τιμές 1:4 του λόγου κονιάς/αδρανών συνεπώς δεν είναι απαραίτητο να ληφθεί το συμπέρασμα ότι γινόταν χρήση κονιαμάτων φτωχών σε κονία. Ο πιο αντιπροσωπευτικός λόγος κονιάς/αδρανών είναι ο 1:3, καθώς αυτός εμφανίζεται σε πολλά μνημεία που κατασκευάστηκαν εκείνη την περίοδο στην Ρόδο και στην Κρήτη, όπως επίσης και στην Αγία Σοφία. (13)

Κατά τη διάρκεια της οθωμανικής περιόδου (15^{ος} - 19^{ος} αιώνας), τα δομικά κονιάματα κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας συχνά τις διαθέσιμες πρώτες ύλες. Αποτελούνταν κυρίως ασβέστιο (καθαρός ασβέστης ή άσβεστος με πηλό), ενώ σε ειδικές κατασκευές που απαιτούσαν αντοχή στην υγρασία (λουτρά, δεξαμενές), γινόταν προσθήκη επίσης ποζολάνης και σκόνης από τούβλα. Τα αδρανή ήταν φυσικής προέλευσης (σε μερικές περιπτώσεις προστέθηκε επίσης θρυμματισμένο τούβλο), με κοκκομετρία 0-8mm και λόγο κονιάς/αδρανών 1:2. Στα μεσαιωνικά (15^{ος}-19^{ος} μ.Χ.) ελληνικά μνημεία (Δωδεκάνησα, Ιόνια νησιά, Κρήτη), τα δομικά κονιάματα αποτελούνταν κυρίως από ασβέστη (σε ορισμένες περιπτώσεις προστέθηκε ποζολάνη), φυσικά ή θρυμματισμένα αδρανή και θρυμματισμένο τούβλο σε διαβαθμίσεις στη κοκκομετρία 0-4mm έως 0-8mm και λόγο κονιάς/αδρανών από 1:1 έως 1:2. Όπως αποδείχθηκε από έρευνες, τα κονιάματα αυτά είχαν καλή αντίσταση στο θαλάσσιο περιβάλλον, στο οποίο έχουν εκτεθεί εδώ και αιώνες. (12) (13)

Την περίοδο του Μεσαίωνα τα κονιάματα ήταν κατά βάση ασβεστιτικά, τα οποία περιείχαν φυσικά αδρανή και σπασμένα κεραμίδια, καθώς και ποζολάνη, σε ορισμένες περιπτώσεις, αλλά για την παραγωγή τους χρησιμοποιούνταν πρώτες ύλες χαμηλής ποιότητας, γεγονός που οδήγησε στην υποβάθμιση της ποιότητας του τελικού προϊόντος. (11)

Αναγεννησιακές μελέτες φαίνεται να προτείνουν πάλι τις απόψεις του Vitruvius σχετικά με την επιλογή και την προετοιμασία των πρώτων υλών, με μικρές αποκλίσεις όσον αφορά τους συντελεστές συνθέσεως των μειγμάτων και τις τεχνικές εφαρμογής. Οι μελέτες αναφέρονται επίσης στη χρήση λευκού ασβεστίου που προέρχεται από την πύρωση των βότσαλων του ποταμού και στη χρήση σκούρου ασβεστίου (υδραυλικό ασβέστη) που λαμβάνεται από την πύρωση γκρίζων και σκοτεινών ασβεστόλιθων ως υποκατάστατων των ποζολάνων. (11)

Οι φωτιστικές και νεοκλασικές μελέτες του 18^{ου} αιώνα, που αφορούσαν πάντοτε τις τεχνικές κατασκευής των προηγούμενων χρόνων, πρότειναν και πάλι την αρχαία τεχνολογία. Κατά τη διάρκεια του 19ου αιώνα ανακαλύφθηκε το τσιμεντοκονίαμα, τα εγχειρίδια εξακολουθούν να υποδεικνύουν τη χρήση παραδοσιακών υλικών, αλλά μόνο μετά από την εξήγηση σε επαγγελματίες για τη σωστή χρήση, σύνθεση και εφαρμογή τους. Χάρη στις μελέτες της γαλλικής εταιρίας τσιμέντου Vicat υπήρχαν πλέον τα κατάλληλα επιστημονικά όργανα, αλλά και οι παράμετροι για ευκολότερη διάκριση αερικών και υδραυλικών κονιών, που μέχρι τότε γίνονταν μόνο εμπειρικά. Μέχρι και τις αρχές του 20^{ου} αιώνα στις κατασκευές χρησιμοποιούνταν διάφορα είδη κονιαμάτων, ανάλογα με τον τόπο και το είδος του κτιρίου. Τα σπίτια κατασκευάζονταν κυρίως από κονίαμα με βάση άσβεστο ή πηλό ή συνδυασμό των δύο, ενώ σε σημαντικά κτίρια τα κονιάματα ήταν υψηλότερης ποιότητας με βάση την άσβεστο και περιείχαν ποζολάνη. (11)

Στο τέλος του 20^{ου} αιώνα στις κατασκευές επικρατεί το τσιμέντο Portland που αποτελείται από άσβεστο, άμμο, κονιοποιημένα αδρανή και νερό. Το Portland αποτελεί ένα πολύ ισχυρό κονίαμα γι' αυτό και είναι μέχρι και σήμερα το πλέον διαδεδομένο κονίαμα της οικοδομικής βιομηχανίας. Κονιάματα που παράγονταν πριν την εμφάνιση του τσιμέντου Portland στον κατασκευαστικό τομέα, αναφέρονται ως ιστορικά κονιάματα. (12)

Τα ιστορικά κονιάματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν πιο αναλυτικά ανάλογα με τη σύστασή τους τόσο της κονιάς όσο και των αδρανών τους.

1.3.2. Είδη Κονιαμάτων

1.3.2.1. Ασβεστιτικά Κονιάματα

Τα ασβεστιτικά κονιάματα παράγονται με ασβεστίτη ως υλικό κονιάς και ασβεστιτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά ως αδρανή. Ο λόγος κονιάς/αδρανή με τον οποίων αναμειγνύονται τα υλικά κυμαίνεται από 1:1 μέχρι 1:4 με μέσο όρο 1:3, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν υψηλή περιεκτικότητα σε CO₂ μεγαλύτερη του 30% και έως και το 40% σε μερικές περιπτώσεις. Το υδροσκοπικό νερό παρουσιάζεται σε τιμές μικρότερες του 1%, το χημικά δεσμευμένο νερό το οποίο υπάρχει σε αδρανή και όχι στην κονία κυμαίνεται στα 2 με 4% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας παίρνει τιμές μεγαλύτερες του 8,5.

Τα δεδομένα της μικροδομής έχουν φαινόμενη πυκνότητα 1,5-1,8 g/cm³, πραγματικό όγκο 170-320 mm³/g, μέση διάμετρο πόρων 0,8-3,3 μm, ειδική επιφάνεια 1,3-3,3 m²/g και ολικό πορώδες 18-40%. (9)

1.3.2.2. Κονιάματα τεχνολογίας θερμού ασβεστίτη

Τα κονιάματα θερμού ασβεστίτη παράγονται με αερική άσβεστο ως υλικό κονιάς και ασβεστιτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά ως αδρανή. Ο λόγος κονιάς/αδρανή με τον οποίων αναμειγνύονται τα υλικά κυμαίνεται από 1:2 μέχρι 14 με μέσο όρο 1:3.

Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν περιεκτικότητα σε CO₂ μεγαλύτερη του 25% κυμαίνεται σε τιμές 27,5-34,5%. Το υγροσκοπικό νερό παρουσιάζεται σε τιμές 0,7% με 1,5%, το περιεχόμενο υδραυλικό νερό που είναι δεσμευμένο στον ασβέστη και στα μαγνησιακά και αργιλοπυριτικά συστατικά κυμαίνεται στις τιμές 2 με 4,6% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας παίρνει τιμές ανάμεσα στις τιμές 6 και 15.

Τα δεδομένα της μικροδομής έχουν φαινόμενη πυκνότητα 1,7-1,9 g/cm³, πραγματικό όγκο 110-180 mm³/g, μέση διάμετρο πόρων 0,3-0,8 μm, ειδική επιφάνεια 2,5-4,7 m²/g και ολικό πορώδες 20-30%. Η μετρημένη εφελκυστική τάση κυμαίνεται μεταξύ των 0,85 και 1,5MPa. (9)

1.3.2.3. Κονίαμα Ασβεστίτη-Ποζολάννας

Τα κονιάματα ασβεστίτη-ποζολάννας παράγονται με ασβεστίτη και φυσική ποζολάνα ως υλικό κονιάς και ασβεστιτικά ή αργιλοπυριτικά αδρανή. Τα κονιάματα αυτής της κατηγορίας παρουσιάζουν υδραυλικά χαρακτηριστικά λόγω των ποζολανικών αντιδράσεων, που λαμβάνουν χώρα μεταξύ του ασβεστίτη και της φυσικής ποζολάνας. Ο λόγος κονιάς/αδρανή με τον οποίων αναμειγνύονται τα υλικά κυμαίνεται από 1:2 μέχρι 1:4 με μέσο όρο 1:3.

Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν περιεκτικότητα σε CO₂ μικρότερη του 22% κυμαίνεται σε τιμές 4,8-21,8%. Το υγροσκοπικό νερό παρουσιάζεται σε τιμές 2% με 4%, το περιεχόμενο υδραυλικό νερό που είναι δεσμευμένο στον ασβέστη και στα μαγνησιακά και αργιλοπυριτικά συστατικά κυμαίνεται στις τιμές 3,3 με 5,4% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας παίρνει τιμές ανάμεσα στις τιμές 1,3 και 5,1.

Τα δεδομένα της μικροδομής έχουν φαινόμενη πυκνότητα 1,6-1,9 g/cm³, πραγματικό όγκο 160-265mm³/g, μέση διάμετρο πόρων 0,1-1,5 μm, ειδική επιφάνεια 3-14m²/g και ολικό πορώδες 30-42%. (9)

1.3.2.4. Κονιάματα θρυμματισμένου τούβλου-ασβεστίτη

Τα κονιάματα αυτής της κατηγορίας παράγονται με ασβεστίτη και σκόνη τούβλου, που λειτουργεί ως ποζολάνη ως υλικό κονιάς και θρυμματισμένο τούβλο ως αδρανή, όπως επίσης και ασβεστιτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά. Τα κονιάματα αυτής της κατηγορίας παρουσιάζουν υδραυλικά χαρακτηριστικά λόγω των ποζολανικών αντιδράσεων, που λαμβάνουν χώρα στη διεπιφάνεια της κονιάς και των κεραμικών. Ο λόγος κονιάς/αδρανή με τον οποίων αναμειγνύονται τα υλικά κυμαίνεται από 1:2 μέχρι 1:4 με μέσο όρο 1:3.

Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν περιεκτικότητα σε CO₂ μικρότερη του 20% κυμαίνεται σε τιμές 9,8-19,5%. Το υγροσκοπικό νερό παρουσιάζεται σε τιμές 1,5% με 4,5%, το περιεχόμενο υδραυλικό νερό που είναι δεσμευμένο στον ασβέστη και στα αργιλοπυριτικά συστατικά κυμαίνεται στις τιμές 2,3 με 5,3% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας παίρνει τιμές ανάμεσα στις τιμές 3,2 και 6,5.

Τα δεδομένα της μικροδομής έχουν φαινόμενη πυκνότητα 1,5-1,9 g/cm³, πραγματικό όγκο 170-290mm³/g, μέση διάμετρο πόρων 0,1-0,8 μm, ειδική επιφάνεια 3,5-15 m²/g και ολικό πορώδες 32-43%. Η μετρημένη εφελκυστική τάση κυμαίνεται μεταξύ των 0,5 και 1,2MPa. (9)

1.3.2.5. Κονιάματα Τοιχοποιίας

Τα κονιάματα τοιχοποιίας είναι ειδικά κονιάματα κατασκευασμένα για μια συγκεκριμένη τεχνική κατασκευής, όπου το κονίαμα συνθέτει τον πυρήνα ενός οικοδομικού συστήματος χτισμένου τριγύρω. Τα αυτά παράγονται με υδραυλική άσβεστο ή τα υλικά που αναφέρθηκαν στη τεχνολογία της θερμής ασβέστου ως υλικό κονιάς και ασβεστιτικά ή αργιλοπυριτικά αδρανή διάφορης κοκκομετρικής διάταξης που αποτελούνται από άμμο, χαλίκια, θραυσμένους λίθους, κτλ. Σε αυτή την κατηγορία δεν εφικτό να εκτιμηθεί ο λόγος κονιάς/αδρανή, καθώς παρουσιάζεται μεγάλη ανισοτροπία σε αυτά τα κονιάματα.

Για αυτό το λόγο τα δεδομένα που αναφέρονται στη συνέχεια αφορούν μόνο τη μήτρα των κονιαμάτων αυτών.

Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν περιεκτικότητα σε CO₂ μικρότερη του 30% κυμαίνεται σε τιμές 19,8-29,5%. Το περιεχόμενο υδραυλικό νερό που είναι δεσμευμένο στον ασβέστη και στα αργιλοπυριτικά συστατικά κυμαίνεται στις τιμές 5,6 με 5,9% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας παίρνει τιμές ανάμεσα στις τιμές 3,36 και 5,13.

Τα δεδομένα της μικροδομής έχουν φαινόμενη πυκνότητα 1,79-2,12 g/cm³, πραγματικό όγκο 117-220mm³/g, μέση διάμετρο πόρων 0,2-20,6 μm, ειδική επιφάνεια 1,2-4,7 m²/g και ολικό πορώδες 25-39%. (9)

1.4. Φθορά κονιαμάτων

Η φθορά των κονιαμάτων είναι η αλλοίωση των συστατικών τους με την αλληλεπίδρασή τους με το περιβάλλον, η οποία γίνεται εμφανής με την πάροδο του χρόνου και επηρεάζει την λειτουργικότητα του υλικού και την αισθητική της κατασκευής. Λόγω της διαφορετικής σύστασης των δομικών υλικών, παρουσιάζουν και διαφορετική αντίσταση στη φθορά η οποία εξαρτάται από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται το υλικό, καθώς και από τη φύση του υλικού. Οι παράγοντες που προκαλούν την φθορά των κονιαμάτων είναι πολυάριθμοι, αλλά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τη φύση τους στις εξής τρεις κατηγορίες: μηχανικές ή φυσικές, χημικές και βιολογικές δράσεις. Αυτοί οι παράγοντες δρουν είτε μεμονωμένα είτε συνδυαστικά και μπορεί να είναι ενδογενείς ή εξωγενείς. (2)

1.4.1. Μηχανικές Δράσεις

1.4.1.1. Εξωτερικής προέλευσης

Πρόκειται για τα τις καταπονήσεις του υλικού από:

- Τα φορτία που καταπονούν τα υλικά σαν μέρος του δομικού συνόλου,
- Τις θερμοκρασιακές μεταβολές που μπορεί να είναι ημερήσιες ή εποχιακές.
- Τις διαστολές και συστολές στα υλικά,
- Τους διαφορετικούς συντελεστές θερμικής διαστολής μεταξύ γειτονικών υλικών.
- Την ανάπτυξη τάσεων που καταπονούν τα υλικά,
- Τη διαστολή λόγω προσρόφησης - εξάτμισης της υγρασίας του περιβάλλοντος,

- Τις καταπονήσεις που οφείλονται στον κακό σχεδιασμό του οικοδομήματος που προκαλούν γρήγορη αστοχία του υλικού
- Τις καταπονήσεις από φυσικές καταστροφές όπως σεισμοί, βομβαρδισμοί, πόλεμοι, κατακλυσμοί, πυρκαγιές, βανδαλισμοί, κ.τ.λ. (2)

1.4.1.2. Εσωτερικής προέλευσης

Υπάρχουν δύο μηχανικές δράσεις εσωτερικής προέλευσης, ο παγετός και η κρυστάλλωση των αλάτων.

- Παγετός: Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο η κατακρατούμενη από το υλικό υγρασία μετατρέπεται σε πάγο όταν η θερμοκρασία κατέβει κάτω του μηδενός και με αποτέλεσμα να διογκώνεται το υλικό προκαλώντας τάσεις στο κονίαμα.
- Κρυστάλλωση των αλάτων: Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο υγρασία που διεισδύει στο κονίαμα μεταφέρει διαλυτά άλατα, τα οποία κρυσταλλώνονται μέσα στους πόρους του κονιάματος και έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τάσεων στο εσωτερικό του και εξανθήσεων, εάν η εξάτμιση του νερού γίνει κοντά στην επιφάνεια. Οι πηγές της υγρασίας μπορεί να είναι τριχοειδής αναρρίχηση (από το έδαφος), γειτονικά υλικά όπως το τσιμέντο, από το ίδιο το κονίαμα, από τη βροχή και από τον ατμοσφαιρικό αέρα. (2) (14)

1.4.2. Χημικές Δράσεις

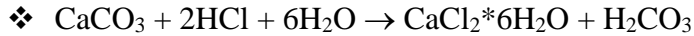
Ανάλογα με το είδος του κονιάματος και το περιβάλλον στο οποίο εκτίθεται, λαμβάνουν χώρα διαφορετικές χημικές δράσεις.

1.4.2.1. Ασβεστιτικά Κονιάματα

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂): Το διοξείδιο του άνθρακα όταν διαλυτοποιείται στο νερό δίνει (CO₂*H₂O) και στη συνέχεια αντιδρά με το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO₃) και σχηματίζεται το Ca(HCO₃)₂, που είναι προϊόν αρκετά ευδιάλυτο, το οποίο ξεπλένεται εύκολα με το νερό της βροχής με αποτέλεσμα την σταδιακή αποικοδόμηση των κονιαμάτων, σύμφωνα με τις αντιδράσεις: (2)
 - ❖ $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O})_{\text{liq}}$
 - ❖ $\text{CaCO}_3 + (\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O})_{\text{liq}} \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
- Οξειδία του αζώτου (NO_x): Τα οξειδία του αζώτου μετατρέπονται σε NO₂, το οποίο διαλυτοποιείται στο νερό σχηματίζοντας νιτρικό οξύ (HNO₃) και αντιδρά με το ανθρακικό ασβέστιο, παράγοντας το επίσης ευδιάλυτο Ca(NO₃)₂. Η δράση αυτή λαμβάνει χώρα σύμφωνα με την αντίδραση: (2)
 - ❖ $\text{CaCO}_3 + 2 \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- Διοξείδιο του θείου (SO₂): Πρόκειται για το φαινόμενο της γυψοποίησης κατά το οποίο το CaCO₃ προσβάλλεται από SO₂ με αποτέλεσμα την παραγωγή γύψου. Ο γύψος είναι πιο ευδιάλυτος από το CaCO₃, με αποτέλεσμα το κονίαμα να χάσει την αρχική του συνοχή και γίνεται ευπαθές στην βροχή και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Το φαινόμενο πραγματοποιείται σύμφωνα με τις αντιδράσεις: (2)

- ❖ $\text{SO}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_3$
- ❖ $\text{CaCO}_3 + \text{SO}_3 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

➤ Προσβολή από HCl: Το HCl έχει διαλυτική δράση στο ανθρακικό ασβέστιο η οποία πραγματοποιείται σύμφωνα με την αντίδραση:



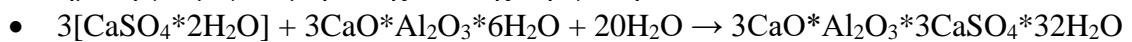
1.4.2.2. Υδραυλικά κονιάματα

➤ Δημιουργία μεγαλομοριακών ενώσεων: Κατά το φαινόμενο αυτό η υδράσβεστος και οι υδραυλικές ενώσεις των κονιαμάτων αντιδρούν με τα διαλυτά άλατα K_2SO_4 και Na_2SO_4 που προέρχονται από λίθους, κονιάματα ή και το νερό που εισέρχεται μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης με αποτέλεσμα την παραγωγή γύψου. Έπειτα, ο γύψος αντιδρά με τις υδραυλικές ενώσεις παρουσία υγρασίας και δημιουργεί τις μεγαλομοριακές ενώσεις του ετριγκίτη και θαυμασίτη. Η διόγκωση των ενώσεων αυτών ασκεί τάσεις στο υλικό που είναι δυνατό να οδηγήσουν σε ρηγματώσεις. Το φαινόμενο πραγματοποιείται σύμφωνα με τις αντιδράσεις: (2)

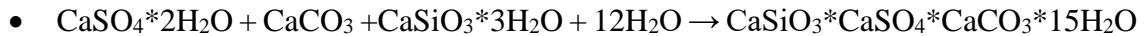
- ❖ Παραγωγή γύψου:

- $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 + 2\text{KOH}$
- $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 + 2\text{NaOH}$
- $\text{CSH} + \text{MgSO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{SiO}_2 + \text{Mg}(\text{OH})_2$

- ❖ Δημιουργία μεγαλομοριακής ένωσης ετριγκίτη:



- ❖ Δημιουργία μεγαλομοριακής ένωσης θαυμασίτη:

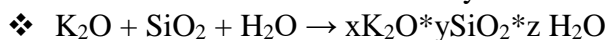
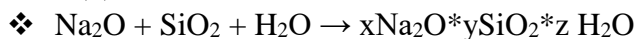


➤ Διάσπαση υδραυλικών φάσεων: Οι υδραυλικές ενώσεις όταν έρχονται σε επαφή με το CO_2 αποικοδομούνται σύμφωνα με μια αντίδραση με πολύ αργή κινητική η οποία μπορεί να κρατήσει και χιλιάδες χρόνια. Η αντίδραση αυτή είναι: (2)



1.4.2.3. Άλλοι παράγοντες χημικής φθοράς:

➤ Αλκαλική προσβολή: Κατά το φαινόμενο αυτό τα οξειδία του νατρίου, καλίου που περιέχονται σε υδραυλικά, τιμμεντιτικά κονιάματα ή σαν πρόσμιξη στα αδρανή αντιδρούν με το οξείδιο του πυριτίου που υπάρχει στους πλίνθους της τοιχοποιίας ή στα αδρανή του κονιάματος. Μετά την πραγματοποίηση του φαινομένου ακολουθεί αύξηση του όγκου, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε δημιουργία ρωγμών. Η αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι: (2)



➤ Κύκλοι ύγρανσης-ξήρανσης: Υπάρχουν δύο φάσεις στο φαινόμενο αυτό. Η υγρή φάση κατά την οποία λαμβάνει χώρα η δημιουργία ενός φιλμ νερού λόγω συμπίκνωσης και η ταυτόχρονη διαλυτοποίηση ρυπαντών. Το νερό εισχωρεί στο εσωτερικό του υλικού. Και η ξηρή φάση κατά την οποία λαμβάνει χώρα η μετακίνηση νερού προς την επιφάνεια του υλικού και η εξάτμισή του. Υπάρχουν δύο δυνατότητες εξάτμισης. Η πρώτη συμβαίνει η

στο εσωτερικό της μάζας του υλικού. Ως αποτέλεσμα πραγματοποιείται κρυστάλλωση αλάτων με συνέπεια την διόγκωση του υλικού, την δημιουργία τάσεων και τέλος την ρήξη του υλικού. Η δεύτερη συμβαίνει στην επιφάνεια του υλικού με συνέπεια την δημιουργία εξανθημάτων και την δημιουργία σκληρής κρούστας. (2)

1.4.3. Βιολογικές Δράσεις

Τα βακτήρια κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες. Τα αυτότροφα τα οποία λαμβάνουν τον άνθρακα από το CO₂ και παράγουν ενέργεια μέσω του φωτός και τα ετερότροφα που χρησιμοποιούν οργανικές ουσίες για να λάβουν την ποσότητα άνθρακα που χρειάζονται. Έχει παρατηρηθεί ότι σε υλικό που έχει ήδη υποστεί φθορά υπάρχει υψηλός αριθμός βακτηριδίων σε σύγκριση με ένα υλικό το οποίο δεν έχει υποστεί φθορά το οποίο διαθέτει χαμηλό αριθμό βακτηριδίων. Έτσι συνάγεται το συμπέρασμα ότι τα βακτήρια παίζουν ρόλο στην αποσύνθεση των δομικών υλικών αν και έχει υποθεί ότι τα βακτήρια έχουν προτίμηση σε υλικά τα οποία έχουν ήδη υποστεί φθορά.

Τα προϊόντα του μεταβολισμού των μικροοργανισμών είναι όξινα και δρα διαλυτικά για τα κονιάματα. Σε συνδυασμό η παρουσία μικροοργανισμών είναι επιζήμια, καθώς μπορεί να δράσει καταλυτικά σε κάποιες χημικές δράσεις που οδηγούν στη φθορά του υλικού. Ακόμη οι ανώτεροι φυτικοί οργανισμοί έχουν τη δυνατότητα να ασκήσουν μηχανικές τάσεις στο υλικό εάν βρίσκονται σε συνεχή επαφή με αυτούς. (15)

2. Ειδικό Θεωρητικό Μέρος

2.1. Βιβλιογραφική ανασκόπηση χαρακτηρισμού ιστορικών κονιαμάτων

Τα ιστορικά κονιάματα αφορούν τα "διαταραγμένα" συστήματα, που βρίσκονται εδώ και δεκάδες αιώνες κάτω από σοβαρές μηχανικές και περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις. Ως εκ τούτου, ο χαρακτηρισμός τέτοιων υλικών μπορεί να επιτευχθεί με την σωστή ενσωμάτωση των αποτελεσμάτων των διαφόρων μεθόδων μερικής ανάλυσης, προκειμένου να κατανοηθούν οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των τελικών σύνθετων υλικών και η φύση των φυσικοχημικών δεσμών που αναπτύσσονται μεταξύ των συστατικών τους.

Τα χαρακτηριστικά ενός κονιαμάτος επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, όπως η τεχνολογία παραγωγής και εφαρμογής, οι περιβαλλοντικές συνθήκες, η πρόσφυση κονιάς με τα αδρανή κ.α. Συνεπώς, προτού πραγματοποιηθεί μια επέμβαση συντήρησης σε ένα μνημείο, είναι ζωτικής σημασίας να γίνει πρώτα χαρακτηρισμός των κονιαμάτων για να βεβαιωθεί η συμβατότητα μεταξύ των υλικών της επέμβασης με τα υλικά του μνημείου. Για τον χαρακτηρισμό των κονιαμάτων χρησιμοποιούνται συνδυαστικά διάφορες μέθοδοι οι οποίες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την ιδιότητα την οποία εξετάζουν η οποία αναπτύσσεται παρακάτω. (16) (17) (18) (10) (9) (13)

2.1.1. Πετρογραφική, Ορυκτολογική Μελέτη

- Οπτική Μικροσκοπία: Χρησιμοποιείται για την πετρογραφική μελέτη των ορυκτών φάσεων των κονιαμάτων και αποτελείται από την Μικροσκοπία Οπτικών Ινών (FOM) και Στερεομικροσκοπία οι οποίες εφαρμόζονται για την μορφολογική εξέταση των κονιαμάτων (μορφολογία αδρανών, συνεκτικότητα κονιάς κ.α.)

- Περίθλαση Ακτίνων Χ (XRD): Με την οποία προσδιορίζονται οι κύριες και οι δευτερεύουσες ορυκτολογικές φάσεις των κονιαμάτων, έτσι εξάγονται συμπεράσματα για τη φύση της κονιάς και την αδρανών.

2.1.2. Φυσικές Μέθοδοι

- Κοκκομετρική Ανάλυση: Με αυτήν γίνεται φυσικός διαχωρισμός της κονιάς και των αδρανών με αυτόν τον τρόπο παρέχονται πληροφορίες για την κατανομή των αδρανών και προσδιορίζεται ο λόγος συνδετικής ύλης (κονιάς) / αδρανών
- Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας: Με αυτήν καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός διάφορων παραμέτρων, όπως η αναλογία κονιάς/αδρανών, η κατανομή των αδρανών, η μέγιστη, μέση και ελάχιστη διάμετρος κ.α.

2.1.3. Μέθοδοι Ανάλυσης Χημικής Σύστασης

- Ασβεστιμετρία (Calcimetry): Σύμφωνα με την οποία προσδιορίζεται το περιεχόμενο CO₂ με ογκομετρική μέτρηση και έτσι χρησιμοποιείται για την ταυτοποίηση και τον προσδιορισμό του περιεχόμενου ποσοστού ανθρακικών ενώσεων.
- Θερμικές Μέθοδοι Ανάλυσης (DTA, TG/DTG, DSC, TMA): Αυτές εφαρμόζονται με στόχο την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των συστατικών των κονιαμάτων. Με αυτές τις τεχνικές προσδιορίζονται η φύση των αδρανών και της κονιάς, τα πρόσθετα που μπορεί να περιέχονται στο κονίαμα, αλλά και η αερική ή υδραυλική φύση ενός κονιάματος.
- Φασματοσκοπία Υπέρυθρης Ακτινοβολίας με μετασχηματισμό Fourier (FT-IR): χρησιμοποιείται για τον ποιοτική ταυτοποίηση των ενώσεων του κονιάματος, των προϊόντων φθοράς και των οργανικών προσθέτων
- Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (SEM-EDX): Με αυτήν πραγματοποιείται στοιχειακή ανάλυση της μικροδομής.
- Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Διαπερατότητας (TEM): Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό ύπαρξης υδραυλικών ενώσεων.

2.1.4. Χημικές Μέθοδοι

- Υγρός χημικός διαχωρισμός για τον προσδιορισμό των αδρανών και της κονιάς: Η διάλυση-διαχωρισμός της κονιάς από τα αδρανή είναι η απλούστερη μέθοδος και επιτρέπει τον προσδιορισμό της χημικής σύνθεσης του συνδετικού μέσου που είναι διαλυτό στο οξύ και, μετά τον διαχωρισμό, πληροφορίες σχετικά με τα αδρανή του κονιάματος.
- Ουσίες διαλυτές στο νερό: Γίνεται ο προσδιορισμός των διαλυτών αλάτων
- Προσδιορισμός υγρασίας: Γίνεται ο προσδιορισμός του φυσικά και χημικά δεσμευμένου νερού.
- Χαρακτηρισμός των οργανικών ουσιών που περιέχουν πρωτεΐνες: Συστατικά όπως τα μαλλιά, το άχυρο ή ο άνθρακας μπορούν να παρατηρηθούν μακροσκοπικά μετά τη διάλυση του συνδετικού υλικού ή με μικροσκόπιο, όμως οι ουσίες που περιέχουν πρωτεΐνες που υποδηλώνουν την χρήση καζεΐνης, ορού γάλακτος ή ορού αίματος μπορεί να προσδιοριστεί ποιοτικά μόνο με συγκεκριμένο είδος ανάλυσης.
- Χαρακτηρισμός χρωστικών ουσιών: Οι ανόργανες χρωστικές ουσίες υπάρχουν σε χαμηλές συγκεντρώσεις στο κονίαμα. Μπορούν να βρεθούν μόνο με συγκεκριμένες

αναλύσεις αν είναι ποιοτικά και κατασκευαστικά διαφορετικές από την κονία ή τα αδρανή.

2.1.5. Μελέτη Μικροδομής

- Πορομετρία Υδραργύρου: Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για την μελέτη των χαρακτηριστικών της μικροδομής των κονιαμάτων, δηλαδή τη μελέτη του πορώδους του υλικού.
- Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (SEM-EDX): Χρησιμοποιείται για τη μελέτη της μικροδομής, της υφής και των διεπιφανειών του υλικού.
- Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Διαπερατότητας (TEM)

2.1.6. Δοκιμές Μηχανικών Αντοχών

- Εκτίμηση της εφελκυστικής αντοχής του κονιάματος με δοκιμή μονοαξονικού εφελκυσμού επί θραυσμάτων κονιαμάτων.

2.2. Ιστορική ανασκόπηση των οικοδομικών φάσεων του κτηρίου

Μπορούν να διακριθούν επτά ιστορικές περίοδοι του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου στα Ιεροσόλυμα (19) :

1. Η Ιουδαϊκή Χριστιανική περίοδος όπου έγινε η κατασκευή και η χρήση του αρχικού βράχου ως ταφικός θάλαμος μέχρι την κάλυψή του από τις εργασίες του Αδριανού το 135.
2. Η ρωμαϊκή περίοδος όπου ο τάφος καλύπτεται από το 135 έως το 325-6 από τις εργασίες του Αδριανού.
3. Η βυζαντινή περίοδος όπου το Κουβούκλιο δημιουργείται από τον Κωνσταντίνο γύρω από τον τάφο μέχρι την καταστροφή του από τον Αλ-Χακίμ το 1009.
4. Η σταυροφορική περίοδος όπου το Κουβούκλιο κατασκευάζεται- επισκευάζεται από τους Σταυροφόρους (3^η Οικοδομική Φάση), στην αρχή του 11^{ου} αιώνα. Σε αυτή την περίοδο το μνημείο υποστεί αρκετές φθορές, χωρίς να έχουν γίνει εκτεταμένες επεμβάσεις έως την ανακατασκευή του το 1555.
5. Η μεσαιωνική-αναγεννησιακή περίοδος κατά την οποία το Κουβούκλιο επισκευάστηκε από τον Μπονιφάτσιο το 1555 και η μορφή διατηρήθηκε έως το 1808 όπου υπόκειται ζημιές από πυρκαγιά.
6. Αρχές του 19^{ου} αιώνα, το Κουβούκλιο επισκευάζεται από τον Έλληνα αρχιτέκτονα Κομνηνό το 1809-10.
7. Η σύγχρονη περίοδος όπου έγινε πλήρης αναστήλωση του μνημείου από το Ε.Μ.Π. με ολοκλήρωση του έργου τον Μάρτιο του 2017.

Ιουδαϊκή Χριστιανική Περίοδος 33-135μ.Χ.

Αυτή την περίοδο δεν υπάρχουν χριστιανικά κτήρια, καθώς τα θρησκευτικά καθήκοντα λαμβάνουν χώρα σε ιδιωτικούς χώρους. Θρησκευτικές τελετές γίνονται στον Γολγοθά με τη λατρεία του Σταυρού ο οποίος έχει τοποθετηθεί πάνω στον Βράχο. Αυτό γίνεται έως το 135μ.Χ. όπου καταστέλλεται η επανάσταση των Ιουδαίων οι οποίοι τελούν υπό την καθοδήγηση του Βαρ Κοχέβα. Ο Αδριανός απαγόρευσε τη χριστιανική λατρεία με θανατική ποινή. (20)

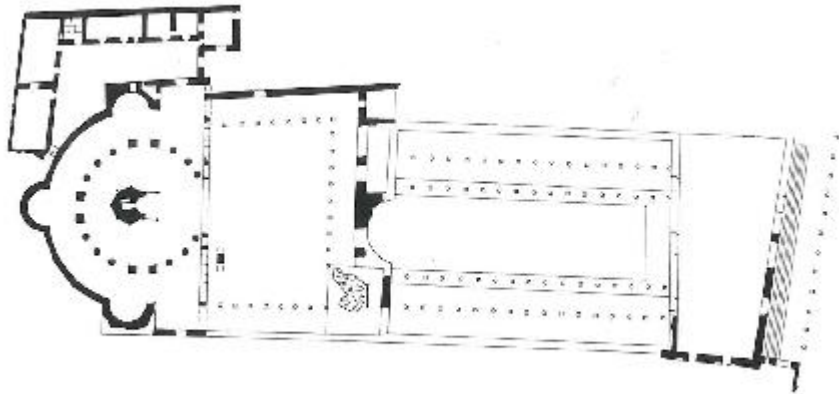
Ρωμαϊκή- Ειδωλολατρική Περίοδος 135-325/6μ.Χ.

Η πόλη των Ιεροσολύμων, αυτή τη χρονική περίοδο κατοικείται από Ρωμαίους ειδωλολάτρες και ευγενείς χριστιανούς. Για την εξάλειψη του χριστιανισμού ο Αδριανός καλύπτει τον Πανάγιο Τάφο και τον Γολγοθά με μεγαλοπρεπείς ειδωλολατρικούς ναούς. Πιο συγκεκριμένα, στον Πανάγιο Τάφο κατασκευάστηκε ένα Καπιτώλιο, όπου λατρεύονταν οι θεότητες του Δία, της Αθηνάς και της Ήρας, ενώ στην κορυφή του Γολγοθά λατρεύεται το άγαλμα της Αφροδίτης. (20)

Βυζαντινή Περίοδος 325/6-1009μ.Χ.

Μετά την Οικουμενική Σύνοδο στη Νίκαια στις 25 Αυγούστου του 325μ.Χ. η χριστιανική θρησκεία γίνεται επίσημη και ο αυτοκράτορας Κωνσταντίνος δίνει εντολή να αποκαλυφθούν οι Άγιοι Τόποι, και ο Πατριάρχης Μακάριος επιχειρεί την κατεδάφιση του Καπιτωλίου. Με την απομάκρυνση των ειδωλολατρικών κατασκευών αποκαλύπτεται ο Πανάγιος Τάφος και το σημείο του Γολγοθά. Στα δύο αυτά σημεία χτίστηκαν τα κωνσταντίνια οικοδομήματα. (20)

Τα οικοδομήματα χτίστηκαν στη βάση του λόφου Gareb και αποτελούνταν από πέντε κτήρια: το ανατολικό αίθριο, το Μαρτύριο ή Βασιλική, το Τρικάμαρο, τη Ροτόντα και το Πατριαρχείο. Το συγκρότημα αυτό είχε συνολικό μήκος 150 μέτρα και πλάτος 59 μέτρα. Οι αρχιτέκτονες του Κωνσταντίνου έσκαψαν σε βάθος 8 με 9 μέτρα από τη στάθμη του Πανάγιου Τάφου για την εξασφάλιση της θεμελίωσης των κτηρίων. Ο Γολγοθάς λαξεύτηκε ακόμα περισσότερο στη νότια και δυτική πλευρά του για την ενσωμάτωση του Τρικάμαρου. Στην είσοδο βρισκόταν το εξωτερικό κλιμακοστάσιο που οδηγούσε στο Αίθριο. Το Αίθριο με τη σειρά του οδηγούσε στη Βασιλική που ήταν πεντάκλιτη με διπλούς γυναικωνίτες. (20)



Εικόνα 1 1η Οικοδομική Φάση της εποχής του Μ. Κωνσταντίνου.

Η μορφή αυτή διατηρήθηκε για 278 χρόνια. Τον Μάιο του 614μ.Χ. περσικά στρατεύματα του βασιλιά Χοσρόη Β' εισβάλουν στα Ιεροσόλυμα και καταστρέφουν το συγκρότημα. Το 622μ.Χ. με διάταγμα του Χοσρόη επιτρέπεται η ανοικοδόμηση των κατεστραμμένων εκκλησιών. Ο ηγούμενος Μόδεστος το 617μ.Χ. οργανώνει αναστήλωση των προσκνημάτων, αλλά δεν ολοκληρώνει το έργο και περιορίζεται στη Ροτόντα και την εκκλησία του Γολγοθά και του Τίμιου Σταυρού. (20)

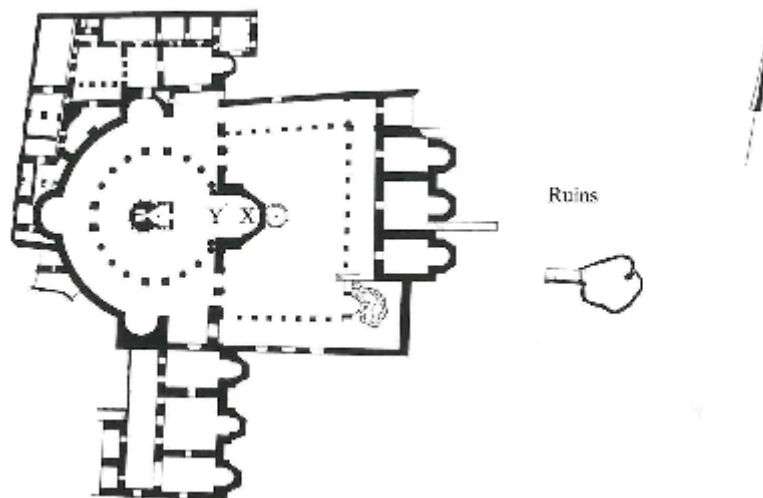
Το Κουβούκλιο αποτελούνταν από δύο μέρη. Στο μπροστινό μέρος υπήρχε αυλή που στηριζόταν με τέσσερις πυλώνες με ένα αέτωμα και σκεπαστή οροφή. Πίσω βρισκόταν ο Ταφικός Θάλαμος ο οποίος ήταν στρογγυλός ή πολυγωνικός καλυμμένος με μάρμαρο και διακοσμημένος με πέντε πυλώνες και σκεπασμένος από κωνική οροφή και σταυρό στην κορυφή. (19)



Εικόνα 2 Απεικόνιση 1η Οικοδομικής Φάσης του Κουβουκλίου.

Το συγκρότημα πλήττεται από καταστροφικούς σεισμούς του 746μ.Χ., 1016μ.Χ. και 1033μ.Χ, ενώ το 938μ.Χ. και 966μ.Χ. πλήττεται από εμπρησμούς από φανατικούς μουσουλμάνους οι οποίοι καταλαμβάνουν το Αίθριο και τη Βασιλική.

Το 1009μ.Χ. λαμβάνει χώρα η μεγαλύτερη καταστροφή των προσκυνημάτων από τον χαλίφη της Αιγύπτου Al-Hakem σε βαθμό που ο Ναός, αλλά τας της Αναστάσεως καταλήγει σε ερείπια. Υπήρξαν προσπάθειες για αναστήλωση των μνημείων, αλλά ήταν περιορισμένες λόγω έλλειψης χρηματικών πόρων. Επί της βασιλείας του Κωνσταντίνου του Μονομάχου και επί της πατριαρχίας του Νικηφόρου έγινε η ανοικοδόμηση των μνημείων η οποία σε βασικές γραμμές ακολούθησε τα σχέδια του Μόδεστου. Αυτή αποτελεί τη 2^η οικοδομική φάση του μνημείου. (20)



Εικόνα 3 2η Οικοδομική Φάση της εποχής του Κωνσταντίνου του Μονομάχου

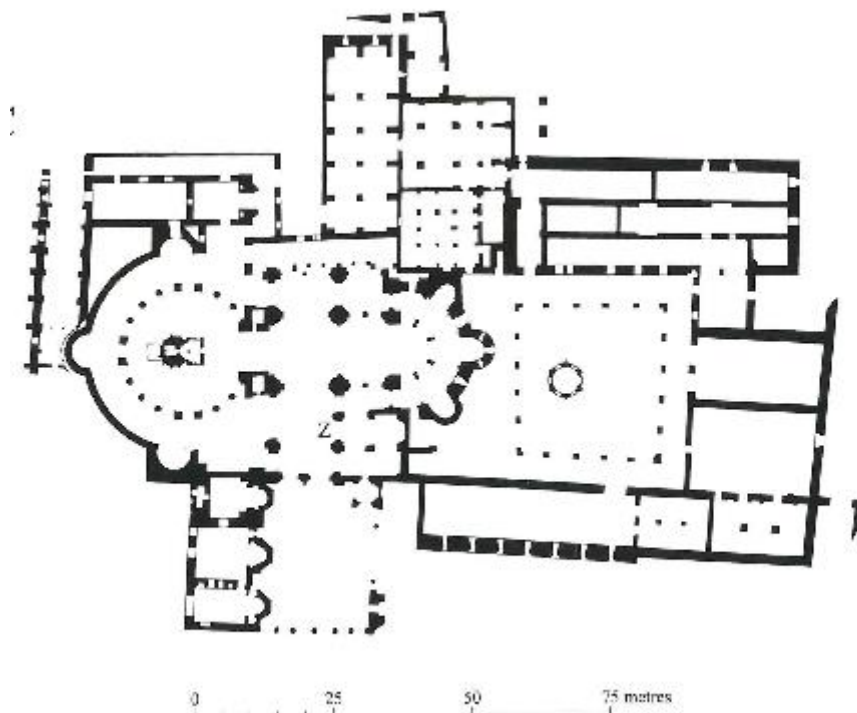
Στο Κουβούκλιο οι αλλαγές που έγιναν είναι οι εξής. Αρχικά, στην ανατολική πλευρά προσαρμόστηκε μία κατασκευή η οποία στο μέλλον θα γίνει το Παρεκκλήσι των Αγγέλων. Στη συνέχεια, ο τρούλλος στηρίζεται σε πυλώνες και τοποθετείται πάνω από την δυτική κατασκευή πάνω από τον Ταφικό Θάλαμο. Μετά, στη δυτική πλευρά προστέθηκε ένα Παρεκκλήσι που στο μέλλον θα γίνει το Παρεκκλήσι των Κοπτών. Τέλος, προστέθηκαν πάγκοι στην μπροστινή πόρτα του Κουβουκλίου. (19)



Εικόνα 4 Απεικόνιση 2η Οικοδομικής Φάσης του Κουβουκλίου.

Σταυροφορική Περίοδος-3^η Οικοδομική Φάση

Στις 15 Ιουλίου του 1099 γίνεται η κατάληψη της Ιερουσαλήμ και το 1140μ.Χ.-1149μ.Χ επιχειρείται ανοικοδόμηση του Ναού της Αναστάσεως από τους Σταυροφόρους. Οι επεμβάσεις των σταυροφόρων έχουν ρωμαϊκή τεχνοτροπία και όλα τα προσκυνήματα ενσωματώνονται σε ένα οικοδόμημα. Διατηρείται η προηγούμενη οικοδομική φάση αλλά το Τρικάμαρο αντικαθίσταται με το Καθολικό. Το 1119μ.Χ. το Κουβούκλιο επισκευάζεται από τον Renghiera Renghieri, όπου προστίθεται και ο κλειστός πλέον προθάλαμος του Παρεκκλησίου των Αγγέλων. (19)

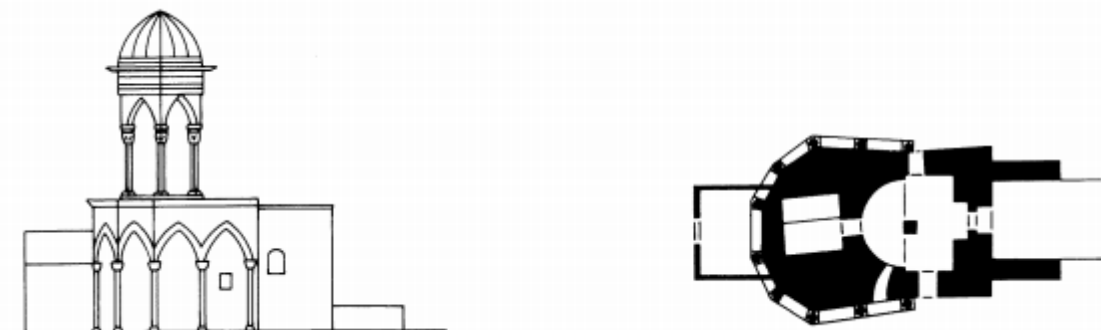


Εικόνα 5 3η Οικοδομική Φάση της εποχής των Σταυροφόρων

Μεσαιωνική Περίοδος-Επισκευές του Μπονιφάτσιο 1555μ.Χ.

Η ανακατασκευή του Κουβουκλίου από τον Μπονιφάτσιο το 1555μ.Χ. χαρακτηρίζεται ως δευτερεύουσας σημασίας. Παρά το γεγονός ότι χρησιμοποίησε κάποια προηγούμενα στοιχεία το έργο του Μπονιφάτσιο φαίνεται να εμπεριέχει την κατεδάφιση και την ανακατασκευή του. Ο Μπονιφάτσιο ανακαίνισε το θόλο της Ροτόντας κάτι που υποδηλώνει ότι ξανάχτισε και τον τρούλλο πάνω από το Κουβούκλιο, σύμφωνα με τον Αναγεννησιακό διάκοσμο.

Κατά το πέρασμα των αιώνων το Κουβούκλιο υποβλήθηκε σε φθορές. Κάποιους από τους λίθους αποκολλήθηκαν ή απομακρύνθηκαν. Τον Μάιο του 1728 οι Φράγκοι έκαναν κάποιες επισκευές στο εσωτερικό του Ταφικού Θαλάμου οι οποίες δε διήρκησαν για μεγάλο χρονικό διάστημα, αλλά δεν είναι σίγουρο σε ποια σημεία και από ποιον έγιναν οι επισκευές αυτές. (19)



Εικόνα 6 Απεικόνιση του Κουβουκλίου μετά τις εργασίες του Μπονιφάτσιο

Ανακατασκευές Νικόλαου Κομνηνού- 1809/10.

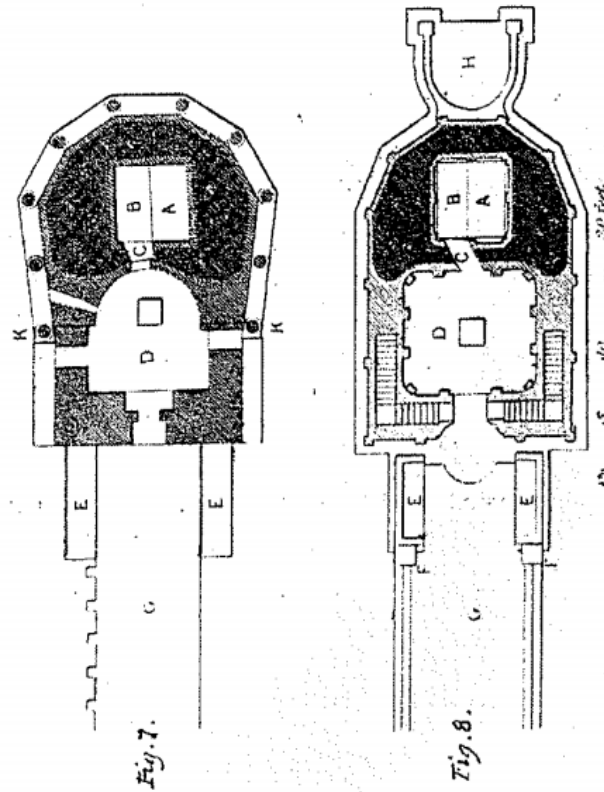
Το 1808 η εκκλησία του Παναγίου Τάφου καταστράφηκε εκτενώς από πυρκαγιά. Η οροφή της Ροτόντας κατέρρευσε πάνω στο Κουβούκλιο με αποτέλεσμα να καταστραφεί ο τρούλλος του και αρκετό από το μάρμαρο και την ασβεστολιθική επένδυση, αφήνοντας όμως σχετικά άθικτο το εσωτερικό του. Η πόρτα του Κουβουκλίου, όμως δεν καταστράφηκε από την πυρκαγιά και διατηρείται μέχρι σήμερα στο μουσείο του Ελληνικού Ορθόδοξου Πατριαρχείου. Η πόρτα αυτή αν και μαυρισμένη και ελαφρώς καμένη στο εξωτερικό κάτω μέρος της, φαίνεται να προστάτευε το εσωτερικό από την υψηλή θερμοκρασία και τον καπνό της πυρκαγιάς. Παρ'όλ'αυτά, οι μισές κρεμασμένες απεικονίσεις του Παρεκκλησίου των Αγγέλων υπέστησαν φθορές. (19)

Το Μάρτιο του 1809 η Ελληνική Ορθόδοξη Κοινότητα απέκτησε από τον Σουλτάνο Μαχμούντ τον 2^ο (1809-39) άδεια που επέτρεπε την ανακατασκευή της εκκλησίας. Το έργο ολοκληρώθηκε μέσα στον επόμενο χρόνο κάτω από την διεύθυνση (επίβλεψη) του Έλληνα αρχιτέκτονα από την Κωνσταντινούπολη, Νικόλαου Κομνηνού. Ο Νικόλαος Κομνηνός (1770-1821) είχε καταγωγή από τη Μυτιλήνη και εργάστηκε στην Κωνσταντινούπολη από το 1790 για την αποκατάσταση της εκκλησίας Ζωοδόχου Πηγής (Balıklı Kilesi) το 1797, και το 1807 στην εκκλησία της Παναγίας (Παρθένου της Πέρα) καθώς και στην κατασκευή άλλων μεγάλων δημόσιων και ιδιωτικών κτηρίων. Ακόμη ήταν ένα από τα πρώτα μέλη της Φιλικής Εταιρείας και δολοφονήθηκε από τον όχλο στην Κωνσταντινούπολη μαζί με τον Πατριάρχη Γεώργιο τον 5^ο και μέλη της ελληνικής κοινότητας στις 21 Απριλίου 1821 την επομένη ημέρα που έφτασαν τα νέα της ελληνικής επανάστασης στην πόλη. (19)

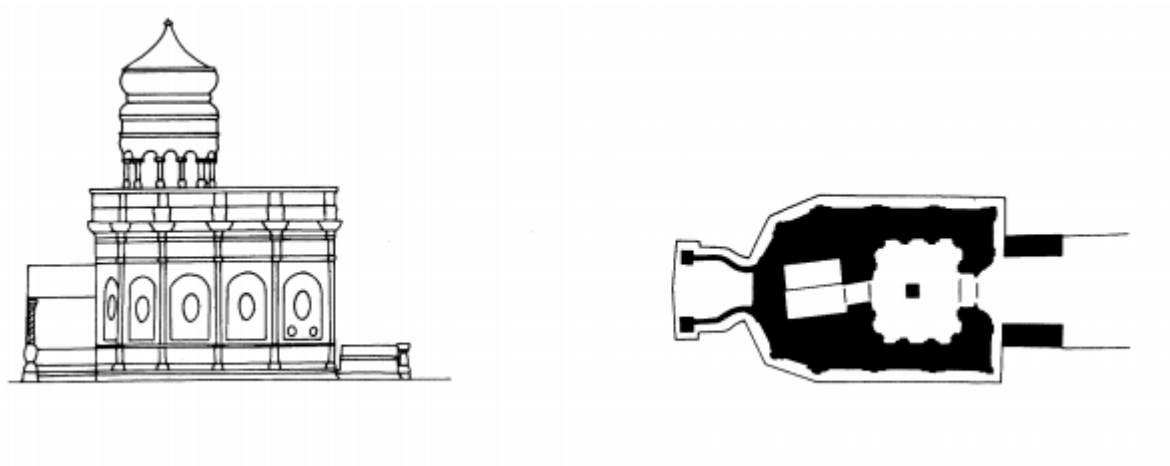
Ο Κομνηνός έφυγε από την Κωνσταντινούπολη στις 3 Μαΐου του 1809 και ολοκλήρωσε το έργο στις 13 Σεπτεμβρίου του 1810. Το έργο εκτελέστηκε από ορθόδοξους τεχνίτες του Πατριαρχείου των Ιεροσολύμων με την επίβλεψη του Κομνηνού και του Δράκου, ενός αρχιτέκτονα από τη Ρόδο. Στις επιγραφές του Κουβουκλίου αναφέρονται και οι Αντώνογλου Πότος από τον Άγιο Στέφανο στην Καισαρεία, Λάζος γιός του Θεόδωρου από το χωριό του Λούδρου και Κουλούμογλου Πότος από την Καππαδοκία. (19)

Η αναστήλωση της εκκλησίας του Παναγίου Τάφου επί του Κομνηνού ήταν εκτενής και αποτελούνταν από το καθολικό, την ανατολική του αψίδα που ξαναχτίστηκε σε σχήμα κογχυλίου και την Ροτόντα. Οι κολώνες και οι πεσσοί της Ροτόντας που ασβεστοποιήθηκαν στην πυρκαγιά καλύφθηκαν με κονίαμα από χαλίκια, ο θόλος ξαναχτίστηκε και το εσωτερικό ξαναδιακοσμήθηκε. Η κεντρική επιγραφή στην κορυφή του ανατολικού μετώπου του Κουβουκλίου αναφέρει ότι το Κουβούκλιο ξαναχτίστηκε εξ ολοκλήρου από τα θεμέλιά του τον Μάρτιο του 1810. Μόνο η μαρμάρινη επένδυση του Ταφικού Θαλάμου και του χαμηλότερου εξωτερικού σημείου δεν αποκαταστάθηκαν. Το Παρεκκλήσι των Αγγέλων, οι θόλοι πάνω από τον Ταφικό Θάλαμο και πάνω από το Παρεκκλήσι, οι εξωτερικοί τοίχοι και ο τρούλλος ξαναχτίστηκαν με καινούρια σχέδια. (19)

Το Παρεκκλήσι των Κοπτών φαίνεται να παραλείφθηκε κατά την αναστήλωση του 1809-10. Οι αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες του δυτικού φανώματος του Κουβουκλίου συνεχίζονται χωρίς να διακόπτονται πίσω από το παρεκκλήσι, το οποίο είναι ευθύγραμμο ενωμένο με το Κουβούκλιο και διαφέρει ελαφρώς από αυτό στο προφίλ των γείσων του. Το Παρεκκλήσι των Κοπτών πρέπει να κατασκευάστηκε πριν το 1818, καθώς εμφανίζεται πριν σε σχέδια του Κουβουκλίου το 1825 από τον αρχιτέκτονα J.J. Scoles. (19)



Εικόνα 7 Απεικόνιση του Κουβουκλίου πριν και μετά την πυρκαγιά του 1808 από τον J.J. Scoles



Εικόνα 8 Απεικόνιση του Κουβουκλίου μετά τις εργασίες του Κομνηνού

Σύγχρονη Περίοδος-Σημερινή Κατάσταση του Κουβουκλίου

Στο τέλος του 20^ο και στον 21^ο αιώνα το Ιερό Κουβούκλιο ήταν φανερό ότι είχε υποστεί πολλές φθορές και παρουσίαζε έντονες παραμορφώσεις οι οποίες είχαν μεγάλη επίδραση στην στατικότητα του μνημείου σε σημείο που το 1947 προστέθηκε εξωτερικός μεταλλικός σκελετός από την Βρετανική Αρμοστεία για την στήριξή του. Επιπρόσθετα, τα φατνώματα του

μνημείου και οι εσωτερικοί τοίχοι ήταν καλυμμένα από επικαθήσεις αιθάλης από το συνεχές κάψιμο κεριών στο εσωτερικό και εξωτερικό του Ιερού Κουβούκλιου κάτι που επηρέαζε την όψη και τη λειτουργικότητα του μνημείου. Ήταν λοιπόν εμφανώς απαραίτητη η αναστήλωση του μνημείου.

Έτσι, με την πρωτοβουλία του Μακαριότατου, Πατριάρχη Ιεροσολύμων, Θεόφιλου ΙΙΙ. ξεκίνησαν οι εργασίες τον Μάρτιο του 2016 στο Ιερό Κουβούκλιο για τη συντήρησή του. Πιο συγκεκριμένα, έγινε η Συντήρηση, Ενίσχυση και Αποκατάσταση του Ιερού Κουβούκλιου του Παναγίου Τάφου στα Ιεροσόλυμα, οι εργασίες ολοκληρώθηκαν και το Ιερό Κουβούκλιο παραδόθηκε πρόσφατα στις τρεις Χριστιανικές Κοινότητες. Το έργο διεξήχθη βάσει της ολοκληρωμένης διεπιστημονικής μελέτης της Διεπιστημονικής Ομάδας του ΕΜΠ με Επιστημονικά Υπεύθυνη την Καθ. ΕΜΠ Α. Μοροπούλου, κατόπιν πρωτοβουλίας της Μακαριότητάς του, Πατριάρχη Ιεροσολύμων, Θεόφιλου ΙΙΙ, με την κοινή συναίνεση των τριών Χριστιανικών Κοινοτήτων. Η Συντήρηση, Ενίσχυση και Αποκατάσταση του Ιερού Κουβούκλιου του Παναγίου Τάφου στα Ιεροσόλυμα ολοκληρώθηκε υπό την ευθύνη της επιστημονικής επιστασίας της Διεπιστημονικής Ομάδας του ΕΜΠ (Καθ. Ε. Κορρές, Καθ. Α. Γεωργόπουλος, Καθ. Α. Μοροπούλου, Καθ. Κ. Σπυράκος, Αν. Καθ. Χ. Μουζάκης) με Επιστημονικά Υπεύθυνη την Καθ. ΕΜΠ Α. Μοροπούλου και τη διαρκή συνεργασία με τους προκαθήμενους των τριών Χριστιανικών Κοινοτήτων: τον Πατριάρχη Ιεροσολύμων, Θεόφιλο ΙΙΙ, τον Κουστωδό της Αγίας Γης του Τάγματος των Φραγκισκανών, Pierbattista Pizzaballa (έως Μάιο 2016), σημερινό Λατίνο Πατριάρχη στα Ιεροσόλυμα, και Fransesco Patton (από Ιούνιο 2016), καθώς και τον Αρμένιο Πατριάρχη στα Ιεροσόλυμα, κ.κ. Nourhan Manougian.

Για την σωστή συντήρηση, αποκατάσταση και ενίσχυση του μνημείου έγινε επιλογή και εφαρμογή συμβατών και επιτελεστικών υλικών, με σκοπό την επίτευξη της αειφορίας των εργασιών συντήρησης & αποκατάστασης. Αυτό αποτελεί σημαντική καινοτομία και καθιστά το έργο αυτό ως υπόδειγμα καινοτόμου σχεδιασμού με βάση τα υλικά. Η δομοστατική ακεραιότητα του μνημείου έχει πλέον επανέλθει και έχει επιτευχθεί η αποκάλυψη και διατήρηση των αξιών. Για την διασφάλιση της αειφόρου ισορροπίας του Ιερού Κουβούκλιου με το περιβάλλον του, είναι απαραίτητη η παρακολούθησή του. Στο μέλλον, είναι αναγκαίο να προβλεφθεί μια περίοδος πέντε ετών για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος και την απόκριση του μνημείου. Η παρακολούθηση θα επιτρέψει την επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων και θα δώσει κατευθύνσεις για τη διασφάλιση της αειφορίας.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το Ιερό Κουβούκλιο μετά την ολοκλήρωση του έργου.



Εικόνα 9 Κατάσταση Κουβουκλίου μετά από την τελευταία αναστήλωση

3. Πειραματικό Μέρος

3.1. Αρχές Μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη των ιστορικών κονιαμάτων του Κουβουκλίου του Πανάγιου Τάφου στα Ιεροσόλυμα ώστε να αποκομίσουμε πληροφορίες για την κατασκευή (πρώτες ύλες, αναλογίες), τις ιδιότητες (μηχανικές και φυσικοχημικές) και την κατάσταση των υλικών του μνημείου.

Για τον χαρακτηρισμό των κονιαμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι εξής τεχνικές:

- Μικροσκόπιο οπτικών ινών (FOM), για την μελέτη της μορφολογίας των εξεταζόμενων κονιαμάτων.
- Κοκκομετρική ανάλυση, για τον προσδιορισμό της κατανομής των αδρανών και της αναλογία κονίας αδρανών
- Θερμική Ανάλυση (DTA-TG), για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό των συστατικών των κονιαμάτων
- Περίθλαση ακτίνων X, XRD (X-Ray Diffraction), για τον προσδιορισμό των ορυκτολογικών φάσεων.
- Δοκιμές Ολικής Εμβάπτισης σε Νερό
- Προσδιορισμός υδατοδιαλυτών αλάτων - Ποιοτική Ανίχνευση Ανιόντων, για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των κονιαμάτων σε ολικά διαλυτά άλατα και σε επιβλαβή χλωριόντα, θειικά και νιτρικά ιόντα.
- Χρωματομετρία

Οι τεχνικές αυτές αναλύονται εκτενώς στη συνέχεια.

3.1.1. Μικροσκοπία Οπτικών Ινών

Η μικροσκοπία οπτικών ινών (FOM: Fiber Optics Microscopy) αποτελεί μια νέα μη καταστρεπτική μέθοδο εξέτασης επιφανειών, η οποία παρέχει μια αρχική εκτίμηση της μικροδομής των υλικών και σύνθετων υλικών. Καθώς πρόκειται για φορητή διάταξη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επί τόπου παρατήρηση, για την αναγνώριση των τύπων φθοράς και την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας μεθόδων συντήρησης, καθαρισμού και προστασίας του υλικού. Οι εκτιμήσεις των αποτελεσμάτων της μεθόδου αυτής χρησιμοποιούνται συνδυαστικά και με άλλες μη καταστρεπτικές μεθόδους οι οποίες μπορούν να παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για το δομικό υλικό. Πιο συγκεκριμένα, αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την διάκριση των κονιαμάτων ανάλογα με τα μορφολογικά χαρακτηριστικά και την υφή, αλλά και τον έλεγχο ποιότητας των δομικών υλικών.

Η αρχή της μεθόδου είναι η εξής. Οι οπτικές ίνες αποτελούνται από υαλώδη κυλινδρικό πυρήνα και περίβλημα από το ίδιο υλικό με ελαφρά μικρότερο δείκτη διάθλασης από εκείνον του πυρήνα. Συνεπώς, όταν μια ακτίνα φωτός εισέλθει στην ίνα υπό κατάλληλη γωνία ανακλάται διαδοχικά στο περίβλημα και μεταδίδεται μέσα στην ίνα. Η οπτική μετάδοση χρησιμοποιεί φως ως φορέα των σημάτων, αντί για ηλεκτρικό ρεύμα. Το προς μετάδοση ηλεκτρικό σήμα μετατρέπεται σε ακολουθία ψηφιακών παλμών, η οποία μεταδίδεται μέσω της οπτικής ίνας και στη συνέχεια οι παλμοί αυτοί μετατρέπονται και πάλι σε ηλεκτρικό σήμα.

Η διάταξη της μικροσκοπίας οπτικών ινών που χρησιμοποιήθηκε είναι το i_scope moritex σε μεγεθύνσεις x30. Κατά την εξέταση των δειγμάτων παίζουν μεγάλο ρόλο η μορφή και ο

βαθμός τραχύτητας της επιφάνειας, καθώς το φως πρέπει να προσπίπτει στην επιφάνεια κατακόρυφα και να ανακλάται πίσω διαμέσου των αντικειμενικών φακών, ώστε να λαμβάνονται εικόνες καλύτερης ποιότητας. Άρα είναι σημαντικό κατά την πειραματική διαδικασία το φως να πέφτει κατακόρυφα στην επιφάνεια του δείγματος. Το μικροσκόπιο διαθέτει έξοδο τυποποιημένου βίντεο σήματος (PAL) που επιτρέπει την εισαγωγή εικόνας και σε Η/Υ με περαιτέρω δυνατότητες επεξεργασίας. (2)

3.1.2. Κοκκομετρική ανάλυση

Τα κονιάματα αποτελούνται κυρίως από κονία και αδρανή υλικά, τα οποία συναντώνται σε διαφορετικά μεγέθη κόκκου. Με την κοκκομετρική ανάλυση μπορεί να προσδιοριστεί το μέγεθος και η κατανομή των κόκκων, τα οποία επηρεάζουν σημαντικά τόσο την πυκνότητα όσο και τις μηχανικές και θερμικές ιδιότητες του κονιάματος. Η ανάλυση πραγματοποιείται με διάφορες τεχνικές, μεταξύ των οποίων ο χειρωνακτικός διαχωρισμός εν ξηρώ που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη περίπτωση.

Η κοκκομετρική ανάλυση έγινε σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο Determination of Particle size distribution (by sieve analysis): EN 1015-1:1999. Με τη συγκεκριμένη δοκιμή γίνεται η κατανομή ενός υλικού σε κλάσματα μεγέθους μέσω της διέλευσης του από κόσκινα με μειούμενη διάμετρο, στη συνέχεια ζυγίζεται η ποσότητα του υλικού σε κάθε κόσκινο και με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν να υπολογιστεί η κατανομή μεγέθους σωματιδίων (ταξινόμηση) στο κάθε δείγμα. Τα αποτελέσματα της δοκιμής απεικονίζονται σε λογαριθμική κλίμακα για την παραγωγή ενός διαγράμματος κατανομής. Το προς εξέταση δείγμα τοποθετείται στο κόσκινο με μεγαλύτερη οπή το οποίο ανάλογα με το είδος του δείγματος, διέρχεται όλη η ποσότητα. Στη συνέχεια, με οριζόντιες και κάθετες κινήσεις με σκληρό πινέλο, που περιοδικά συνοδεύονται με προσεκτικές ανακινήσεις του δείγματος, γίνεται το κοσκίνισμα του υλικού. Το υλικό που διέρχεται από κάθε κόσκινο συλλέγεται σε κατάλληλους πλατύστομους συλλέκτες. Το κοσκίνισμα θεωρείται ότι έληξε όταν τοποθετώντας ένα άσπρο χαρτί κάτω από το κόσκινο διαπιστώνεται ότι δεν διέρχεται άλλο υλικό. Τα κόσκινα που χρησιμοποιήθηκαν (ISO 565) είχαν άνοιγμα οπών 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0.5mm, 0.25mm, 0.125mm και 0.063mm.

Η ποσότητα του υλικού που παραμένει σε κάθε κόσκινο καλείται συγκρατούμενο και αυτή που πέρασε διερχόμενο. Τα συγκρατούμενα σε κάθε κόσκινο ζυγίζονται με ακρίβεια και στη συνέχεια μέσω υπολογισμών προσδιορίζεται το διερχόμενο βάρος και το ποσοστό (%) του διερχόμενου. Ο υπολογισμός του % διερχόμενου υλικού στο κόσκινο i δίνεται από τη σχέση:

$$\text{διερχόμενο \% στο κόσκινο } i = \frac{\text{διερχόμενο στο κόσκινο } i}{\text{αρχικό βάρος δείγματος}} * 100$$

Τα αποτελέσματα αποτυπώνονται σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα. Στο διάγραμμα στον οριζόντιο άξονα x εμφανίζεται η διάμετρος της οπής των κοσκίνων και στον κατακόρυφο άξονα y το ποσοστό του διερχόμενου υλικού. Ο οριζόντιος άξονας είναι σε λογαριθμική κλίμακα δεδομένου ότι είναι επιθυμητή η ανάπτυξη της περιοχής των μικρών διαμέτρων. Η συνένωση των σημείων του διαγράμματος δίνει μια πολυγωνική γραμμή που καλείται κοκκομετρική καμπύλη.

Στη συνέχεια, από τα αποτελέσματα γίνεται και ο προσδιορισμός του ποσοστού επί τοις εκατό της σύνθεσης του αδρανούς σε κόκκους διαφόρων μεγεθών. Ο υπολογισμός του % διερχόμενου υλικού στο κόσκινο i προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\text{Συγκρατούμενο \% στο κόσκινο } i = \frac{\text{συγκρατούμενο στο κόσκινο } i}{\text{αρχικό βάρος δείγματος}} * 100$$

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης αποτυπώνονται και σε ιστόγραμμα κατανομής κόκκων. Στο διάγραμμα στον οριζόντιο άξονα x εμφανίζεται διάμετρος της οπής των κοσκίων (mm) κοσκίων και στον κατακόρυφο άξονα y το ποσοστό (%) του συγκρατούμενου υλικού σε κάθε κόσκινο.

Από τις κατανομές συχνότητας των στατιστικά μεταβλητών χαρακτήρων λαμβάνονται ποσοτικά δεδομένα και ειδικότερα υπολογίζονται οι εξής κρίσιμοι δείκτες:

MEDIA : Το κέντρο βαρύτητας της κατανομής των κόκκων ενός αδρανούς υλικού

MEDIANA: Διάμεση ή διχοτόμος τιμή, που υπολογίζεται γραφικά από την κοκκομετρική καμπύλη, ως η διάμετρος των κόκκων που αντιστοιχεί στο 50% του αθροιστικά διερχόμενου υλικού και αφορά ουσιαστικά στο γεωμετρικό κέντρο της καμπύλη

MODA: Η συχνότερη ή πιθανότερη τιμή, η οποία αντικατοπτρίζει την τιμή της μέγιστης συχνότητας μιας κλάσης κόκκων.

Q3: Δείκτης που υπολογίζεται γραφικά από την κοκκομετρική καμπύλη και αφορά στο μέγεθος των κόκκων σε mm που αντιστοιχεί στο 75% του αθροιστικά διερχόμενου υλικού.

Q1: Δείκτης που υπολογίζεται γραφικά από την κοκκομετρική καμπύλη και αφορά στο μέγεθος των κόκκων σε mm που αντιστοιχεί στο 25% του αθροιστικά διερχόμενου υλικού.

So: Δείκτης ταξινόμησης (Sorting Index) ο οποίος υπολογίζεται ως το κλάσμα των συντελεστών Q3/Q1.

D60: Δείκτης που υπολογίζεται γραφικά από την κοκκομετρική καμπύλη και αφορά στο μέγεθος των κόκκων σε mm που αντιστοιχεί στο 60% του αθροιστικά διερχόμενου υλικού.

D10: Δείκτης που υπολογίζεται γραφικά από την κοκκομετρική καμπύλη και αφορά στο μέγεθος των κόκκων σε mm που αντιστοιχεί στο 10% του αθροιστικά διερχόμενου υλικού.

Cu: Συντελεστής ομοιομορφίας (uniformity coefficient) ο οποίος υπολογίζεται ως το κλάσμα των συντελεστών D60/D10.

σ: Η τυπική απόκλιση του ιστογράμματος κατανομής κόκκων (2) (7)

3.1.3. Θερμική Ανάλυση

Οι μέθοδοι θερμικής ανάλυσης μελετούν την συμπεριφορά ενός υλικού (φυσική ή χημική) συνάρτηση της θερμοκρασίας, όταν αυτό υποβάλλεται σε θερμοκρασιακό πρόγραμμα υπό ελεγχόμενη ατμόσφαιρα. Το θερμοκρασιακό πρόγραμμα μπορεί να περιέχει ψύξη ή θέρμανση του δείγματος με καθορισμένο ρυθμό. Το θερμοκρασιακό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε κατά την πραγματοποίηση των αναλύσεων είναι η αύξηση της θερμοκρασίας με 10°C/min από τους 25°C έως τους 1000°C. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε μορφή διαγράμματος, το οποίο ονομάζεται θερμογράφημα και είναι χαρακτηριστικό του κάθε υλικού. Με τη μελέτη του θερμογραφήματος λαμβάνονται πληροφορίες για την δομή του δείγματος και τις αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε αυτό κατά την εκάστοτε θερμοκρασιακή μεταβολή, οπότε χρησιμοποιείται ευρύτατα για τον χαρακτηρισμό υλικών. Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν η Διαφορική Θερμική Ανάλυση (DTA) και η

Θερμοβαρυντική ανάλυση- Θερμοζυγός (TG) οι οποίες εξυπηρετούν τις απαιτήσεις που είναι απαραίτητες για την αποτίμηση των κονιαμάτων.

Διαφορική Θερμική Ανάλυση (DTA)

Όταν ένα υλικό υπόκειται σε θέρμανση ή ψύξη λαμβάνουν χώρα χημικές ή φυσικές μεταβολές κατά την διάρκεια των οποίων παρατηρούνται ενδόθερμα ή εξώθερμα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας. Η Διαφορική Θερμική Ανάλυση ή DTA (Differential Thermal Analysis) μετρά την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της εξεταζόμενης ουσίας και ενός υλικού αναφοράς (T_R) ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, όταν τα δυο υλικά υπόκεινται σε προγραμματισμένη θερμοκρασιακή μεταβολή (συνήθως θέρμανση, γραμμικά με το χρόνο). Το όργανο καταγράφει την διαφορά $\Delta T = T_S - T_R$ και την παρουσιάζει σε θερμογράφημα ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του δείγματος (T_S). Οι κορυφές ενός θερμογραφήματος αντιστοιχούν σε φυσικές ή χημικές μεταβολές του υλικού κατά την θέρμανσή του και η κατεύθυνση των κορυφών αυτών εξαρτάται από το αν η μεταβολή είναι εξώθερμη ή ενδόθερμη. Φυσικές ενδόθερμες μεταβολές είναι η τήξη, η εξάτμιση, η εξάχνωση, η απορρόφηση και η εκρόφηση, ενώ εξώθερμες είναι η προσρόφηση και η κρυστάλλωση. Αντίστοιχα, χημικές ενδόθερμες μεταβολές αποτελούν η αφυδάτωση, η διάσπαση και η αναγωγή, ενώ η οξείδωση, ο πολυμερισμός και οι καταλυτικές αντιδράσεις αποτελούν εξώθερμες. Η DTA χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό σημείων βρασμού και τήξης, τον εντοπισμό μετασχηματισμών φάσεων, και γενικότερα για τη μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς και της σύνθεσης υλικών.

Θερμοβαρυντική ανάλυση- Θερμοζυγός (TG)

Κατά την θερμοβαρυντική ανάλυση γίνεται συνεχής καταγραφή της μάζας του δείγματος ως συνάρτηση της θερμοκρασίας ή του χρόνου, καθώς το δείγμα υποβάλλεται σε αύξηση της θερμοκρασίας με συγκεκριμένο θερμοκρασιακό πρόγραμμα, σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα. Η διάταξη αποτελείται από αναλυτικό ζυγό τοποθετημένο μέσα σε φούρνο, του οποίου το εσωτερικό ρυθμίζεται σε αδρανή ή και δραστική ατμόσφαιρα, ανάλογα με το δείγμα. Το σύστημα αυτό συνδέεται με H/Y για έλεγχο του οργάνου και συλλογή δεδομένων, τα οποία παρουσιάζει σε μορφή θερμογραφήματος. Τα θερμογραφήματα ονομάζονται και καμπύλες θερμικής διάσπασης και είναι διαγράμματα που απεικονίζουν το ποσοστό απώλειας μάζας συναρτήσει της θερμοκρασίας. Βασικότερες εφαρμογές της μεθόδου είναι η μελέτη θερμικής σταθερότητας και θερμικής διάσπασης, αλλά αποτελεί χρήσιμο εργαλείο και για τον χαρακτηρισμό υλικών. Με τη δημιουργία της διαφορικής καμπύλης (DTG) είναι δυνατός και ο ακριβής υπολογισμός της μεταβολής της μάζας και της αντίστοιχης θερμοκρασίας στην οποία έγινε η μεταβολή.

3.1.4. Περίθλαση ακτίνων X-XRD (X-Ray Diffraction)

Η συγκεκριμένη μέθοδος δίνει πληροφορίες για την τρισδιάστατη διάταξη των ατόμων ή μορίων σε ένα κρυσταλλικό υλικό πραγματοποιώντας με αυτόν τον τρόπο μία στοιχειακή ή ορυκτολογική σε αυτή την περίπτωση ανάλυση. Η μέθοδος εφαρμόζεται σε ερευνητικό και βιομηχανικό επίπεδο, παρέχοντας εκτενής πληροφορίες για τη δομή και χημικοί σύσταση διάφορων υλικών. Η αρχή της μεθόδου αναπτύσσεται παρακάτω.

Οι ακτίνες X είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος (περιοχή 10-5-100Å), η οποία παράγεται μετά την επιβράδυνση ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας ή κατά τις ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις στις εσωτερικές στοιβάδες των ατόμων. Κατά την πρόσκρουση ακτινοβολίας X σε μια επιφάνεια με γωνία θ , τμήμα της σκεδάζεται από το επιφανειακό

στρώμα ατόμων και τμήμα εισέρχεται στο υλικό, το οποίο με τη σειρά του αλληλεπιδρά με το δεύτερο στρώμα ατόμων κ.ο.κ.. Το αθροιστικό αποτέλεσμα της σκέδασης από τα τακτικά χωροθετημένα κέντρα του κρυστάλλου ονομάζεται περίθλαση. Η θέση περίθλασης εξαρτάται από το μέγεθος και τη μορφή της επαναλαμβανόμενης δομικής μονάδας του κρυστάλλου, ενώ η ένταση της εξαρτάται από το είδος των ατόμων και τη θέση τους στη δομική μονάδα. Επομένως είναι αδύνατο δύο ουσίες να παρουσιάζουν το ίδιο μοτίβο περίθλασης, έτσι αποτελεί δακτυλικό αποτύπωμα της ένωσης. Η μέθοδος XRD βασίζεται στην περίθλαση μονοχρωματικής ακτινοβολίας ακτίνων X, γνωστού μήκους κύματος λ , στα επίπεδα του κρυσταλλικού πλέγματος. Προσδιορίζει την γωνία θ της περιθλώμενης ακτινοβολίας και υπολογίζει τα διαστήματα των κρυσταλλικών επιπέδων (d), μέσω του νόμου Bragg:

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

Με τον προσδιορισμό των κρυσταλλικών επιπέδων γίνεται ποιοτική ανάλυση, αφού είναι χαρακτηριστικά της ένωσης, ενώ η ποιοτική ανάλυση γίνεται μέσω της έντασης της περιθλώμενης ακτινοβολίας για συγκεκριμένη γωνία θ . Κατά την ανάλυση πολύπλοκων μιγμάτων όπως τα κονιάματα η ποσοτική ανάλυση είναι δύσκολη, οπότε στην ουσία γίνεται μόνο ποιοτική. Είναι, όμως, δυνατό να εξαγάγουμε συμπεράσματα για τη σχετική ποσότητα των ορυκτών φάσεων με την σύγκριση των κορυφών τους στα φάσματα.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το όργανο D 5000 X-Ray Diffractometer της εταιρείας Siemens. (21) (22)

3.1.5. Δοκιμές Ολικής Εμβάπτισης σε Νερό

Ρόφηση νερού με ολική βύθιση δείγματος σε νερό

Ο στόχος της συγκεκριμένης μέτρησης είναι ο χαρακτηρισμός του πορώδους προσβάσιμο στο νερό των δειγμάτων.

Αρχικά, τα δείγματα πλύθηκαν με απιονισμένο νερό για τη μείωση σκόνης από την επιφάνεια του κάθε δείγματος. Στη συνέχεια, ακολούθησε η ξήρανση των δειγμάτων σε φούρνο στους 60°C για 24 ώρες και μετά τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα με silica gel για την μείωση της θερμοκρασίας τους. Έπειτα, ακολουθεί η ζύγιση των ξηρών δειγμάτων (m_0) και η τοποθέτησή τους σε γυάλινα δοχεία (ποτήρια ζέσεως). Στη συνέχεια, τοποθετείται απιονισμένο νερό σε κάθε δοχείο μέχρι την πλήρη κάλυψη του κάθε δείγματος. Μετά από καθορισμένα χρονικά διαστήματα, που εμφανίζονται στους παρακάτω πίνακες, τα δείγματα απομακρύνονται από τα δοχεία, σκουπίζονται γρήγορα με καθαρό πανί και καταγράφεται η μάζα τους (m_i) και ο χρόνος στον οποίο πάρθηκε η μέτρηση. Τα δείγματα, έπειτα, επανατοποθετούνται στα αντίστοιχα δοχεία με απιονισμένο νερό και οι μετρήσεις συνεχίζονται έως ότου να υπάρχει διαφορά μικρότερη του 1% του απορροφούμενου νερού.

Στη συνέχεια, καταγράφηκε ο φαινόμενος όγκος των δειγμάτων (V_a). Σε έναν ογκομετρικό κύλινδρο των 500mL τοποθετήθηκε συγκεκριμένη ποσότητα απιονισμένου νερού. Μετά, τοποθετήθηκε το δείγμα με προσοχή μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο και σημειώθηκε η διαφορά ύψους του νερού πριν και μετά την τοποθέτηση του δείγματος.

Μετά το πέρας αυτής της διαδικασίας τα δείγματα ξηράθηκαν πάλι σε φούρνο στους 60°C για 24 ώρες και τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα με silica gel για την μείωση της θερμοκρασίας τους. Τέλος καταγράφηκε η τελική μάζα των δειγμάτων (m_d) και ακολούθησαν οι κατάλληλοι υπολογισμοί.

Οι υπολογισμοί που έγιναν είναι οι εξής. Αρχικά υπολογίστηκε η ποσότητα του νερού που απορροφήθηκε στη ξηρή μάζα του δείγματος σε ποσοστό, μέσω του τύπου:

$$M_i\% = 100 * (m_i - m_o)/m_o$$

Τα αποτελέσματα τοποθετήθηκαν σε γραφική παράστασή με τον άξονα τον x να αναπαριστά τον χρόνο και τον άξονα των y να αναπαριστά το $M_i\%$.

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε το ποσοστό του ροφημένου νερού κατά τη δοκιμή ολικής εμβάπτισης του δείγματος σε νερό (water absorption capacity, WAC), μέσω του τύπου:

$$WAC = 100 * (m_{max} - m_d)/m_d$$

Όπου m_{max} είναι η μέγιστη μάζα του απορροφημένου νερού.

Ακόμα υπολογίστηκε ο όγκος του ανοιχτού πορώδους. Καθώς η πυκνότητα του νερού στους 4°C είναι 1g/cm^3 ο όγκος υπολογίζεται μέσω του τύπου:

$$V_{op} = m_{max} - m_o$$

Στη συνέχεια υπολογίστηκε το ποσοστό του ανοιχτού πορώδους σύμφωνα με τον τύπο:

$$\% \text{ open porosity} = 100 * \left(\frac{V_{op}}{V_a}\right)$$

Τέλος υπολογίστηκε η φαινόμενη πυκνότητα των δειγμάτων μέσω του τύπου:

$$\rho_\phi = m_o/V_a$$

Εκρόφηση νερού

Ο στόχος της συγκεκριμένης μέτρησης είναι ο χαρακτηρισμός της ικανότητας ξήρανσης των δειγμάτων υπό συγκεκριμένες συνθήκες.

Τα δείγματα τα οποία επιλέχθηκαν βυθίστηκαν σε απιονισμένο νερό έως ότου να υπάρχει διαφορά μικρότερη του 1% της μάζας του απορροφούμενου νερού. Στη συνέχεια, τα δείγματα σκουπίστηκαν γρήγορα με πανί και καταγράφηκε η αρχική μάζα τους (m_o). Έπειτα, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα με silica gel σε θερμοκρασία δωματίου (20°C). Μετά από καθορισμένα χρονικά διαστήματα, τα δείγματα απομακρύνονται από τον ξηραντήρα και καταγράφεται η μάζα τους (m_i) και ο χρόνος στον οποίο πάρθηκε η μέτρηση. Στη συνέχεια τα δείγματα επανατοποθετούνται στον ξηραντήρα και η μετρήσεις συνεχίζονται μέχρι τα δείγματα να φτάσουν σε σταθερό βάρος.

Μετά το πέρας αυτής της διαδικασίας τα δείγματα ξηράθηκαν πάλι σε φούρνο στους 60°C για 24 ώρες και τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα με silica gel για την μείωση της θερμοκρασίας τους. Τέλος καταγράφηκε η τελική μάζα των δειγμάτων (m_d) και ακολούθησαν οι κατάλληλοι υπολογισμοί.

Αρχικά, υπολογίστηκε το ποσοστό του εναπομείναντος νερού Q_i σε κάθε χρονικό διάστημα μέσω του τύπου:

$$Q_i = 100 * (m_i - m_d)/m_d$$

Τα αποτελέσματα τοποθετήθηκαν σε γραφική παράστασή με τον άξονα τον x να αναπαριστά τον χρόνο και τον άξονα των y να αναπαριστά το Q_i . (23)

3.1.6. Προσδιορισμός ολικών διαλυτών αλάτων- Ποιοτική Ανίχνευση Ανιόντων

Ένας από του κυριότερους παράγοντες φθοράς των δομικών υλικών είναι τα διαλυτά άλατα μαζί με το νερό έναν από τους κυριότερους παράγοντες φθοράς των δομικών υλικών. Τα άλατα αυτά μπορεί είναι θειικά, νιτρικά, ανθρακικά, χλωριούχα αλκάλια και αλκαλικές γαίες, τα οποία μπορεί να προέρχονται από υπόγεια νερά με τριχοειδή αναρρίχηση, τους όξινους ατμοσφαιρικούς ρυπαντές που προσβάλλουν τα δομικά υλικά, τη θάλασσα με τη βοήθεια του ανέμου. Τα κυριότερα από αυτά που συναντώνται στα μνημεία είναι τα θειικά, χλωριούχα, νιτρικά και ανθρακικά και η παρουσία τους είναι καταστρεπτική για τα υλικά. Πιο συγκεκριμένα, αυτά παγιδεύονται στο εσωτερικό των δομικών υλικών και μέσω της κρυστάλλωσης και ανακρυστάλλωσης τους μπορούν να προκαλέσουν εκτεταμένη φθορά.

Η δράση των θεικών αλάτων εκδηλώνεται είτε ως σταδιακή απώλεια μάζας και αντοχών του κονιάματος είτε λόγω της διόγκωσης, που οφείλεται στη δημιουργία ογκωδών προϊόντων, και της συνεπακόλουθης μείωσης της ανθεκτικότητας της κατασκευής λόγω εσωτερικών ρηγματώσεων. Τα χλωριόντα υπάρχουν στο κονίαμα είτε από τις πρώτες ύλες (π.χ. άμμος θαλάσσης, χαλίκια ποτάμου) ή μεταφέρονται στο εσωτερικό του από το περιβάλλον. Δεν έχουν αξιόλογη δυνατότητα διάβρωσης του κονιάματος, αλλά έχουν μεγάλη διαβρωτική ικανότητα στους μεταλλικούς συνδέσμους που τοποθετούνται στην πλειοψηφία των μνημείων του ελλαδικού χώρου για την στήριξή τους κατά τη διάρκεια επεμβάσεων συντήρησης.

Για τον προσδιορισμό των διαλυτών αλάτων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της αγωγιμομετρίας, σύμφωνα με το ιταλικό πρότυπο "Dosaggio dei sali solubili, Normal 13/83" και για τον προσδιορισμό του είδους των αλάτων που βρίσκονται στα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν οι δοκιμές ποιοτικής χημικής ανίχνευσης (spot tests).

Για τη μέθοδο προσδιορισμού των διαλυτών αλάτων λαμβάνει χώρα ζύγιση 100 ± 5 mg ξηρού δείγματος σε σκόνη, το οποίο διαλύεται σε 100 ml απιονισμένου νερού. Παράλληλα, παρασκευάζεται και ένα διάλυμα blank, το οποίο περιέχει μόνο 100ml απιονισμένο νερό. Εικοσιτέσσερις ώρες μετά την παρασκευή των διαλυμάτων μετρείται η αγωγιμότητά τους, η οποία εκφράζεται σε $\mu\text{Siemens}$. Ο προσδιορισμός της επί τοις εκατό περιεκτικότητας του κάθε δείγματος σε διαλυτά άλατα δίνεται από τον ακόλουθο τύπο: (24)

$$SST\% = (C * 6,88)/m$$

όπου:

C: η αγωγιμότητα του προς εξέταση δείγματος σε μS με αφαιρεμένη την αγωγιμότητα του blank.

m: το βάρος του προς εξέταση δείγματος σε mg

Η θερμοκρασία όλων των διαλυμάτων και του τυφλού ήταν $20 - 21$ °C κατά τη μέτρηση της αγωγιμότητάς τους.

Συμπληρωματικά του προσδιορισμού των ολικών διαλυτών αλάτων πραγματοποιήθηκαν δοκιμές ποιοτικής χημικής ανίχνευσης χλωριούχων (Cl^-), θεικών αλάτων (SO_4^{2-}) και νιτρικών αλάτων (NO_2^-), δεδομένης της καθοριστικής συμβολής τους στη φθορά των υλικών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα υδατικά διαλύματα βάσει των οποίων έγινε ο

προσδιορισμός της αγωγιμότητας. Γενικά, για την παρασκευή των διαλυμάτων απαιτείται η χρήση απιονισμένου νερού υψηλής καθαρότητας.

Για τον προσδιορισμό των χλωριούχων αλάτων κάθε δείγματος τοποθετήθηκε μέρος του υδατικού του διαλύματος εντός δοκιμαστικού σωλήνα και προστέθηκε μικρή ποσότητα (λίγες σταγόνες) νιτρικού αργύρου (AgNO_3) 0,1 N. Παρουσία χλωριόντων σχηματίζεται χλωριούχος άργυρος (AgCl) που δημιουργεί χαρακτηριστικό λευκό θόλωμα. Η ποσότητα των περιεχομένων χλωριόντων καθορίζει την ένταση του παρατηρούμενου θολώματος.

Για τον προσδιορισμό των θεικών ιόντων προστέθηκε, βάσει της ίδιας διαδικασίας, μικρή ποσότητα χλωριούχου βαρίου (BaCl_2) 0,1 M. Παρουσία θεικών ιόντων παράγεται θεικό βάριο (BaSO_4), που και αυτό προκαλεί λευκό θόλωμα. Η ποσοτική παρουσία των θεικών ιόντων καθορίζει την ένταση του θολώματος.

Για τον προσδιορισμό των νιτρικών ιόντων προστέθηκε βάση της διαδικασίας μικρή ποσότητας διαλύματος διφενυλαμίνης το οποίο παρασκευάστηκε στο εργαστήριο. Πιο συγκεκριμένα, 0,5g διφενυλαμίνης (Diphenylamine) προστέθηκαν σε 20mL απιονισμένου νερού και 100mL πυκνού θεικού οξέος. Η παρουσία νιτρικών ιόντων οξειδώνει την διφενυλαμίνη δίνοντάς της χαρακτηριστικό μπλε χρώμα στο μνήσκο του δοκιμαστικού σωλήνα. Η ένταση του μπλε χρώματος δεν καθορίζει την ποσότητα των ιόντων στο διάλυμα.

3.1.7. Χρωματομετρία

Το χρώμα είναι μια φυσική ιδιότητα των σωμάτων, η οποία γίνεται μεν κατανοητή με απόλυτη ακρίβεια από το ανθρώπινο μάτι, πλην όμως δεν είναι δυνατό να μετρηθεί. Η ακρίβεια μεγέθους αντίληψης της ιδιότητας αυτής εξαρτάται όχι μόνο από την ακρίβεια διέγερσης των φωτοευαίσθητων κυττάρων του παρατηρητή, αλλά και από τον τρόπο φωτισμού και τις συνθήκες παρατήρησης.

Η χρωματομετρία ως επιστήμη εμφανίστηκε το 1930 από την Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού CIE (COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE) με την διεξαγωγή πειραμάτων οπτικής. Τα χρωματομετρικά συστήματα της CIE είναι τα μόνα παγκοσμίως αποδεκτά για την μέτρηση του χρώματος με συνέπεια όλα τα διεθνή πρότυπα να είναι βασισμένα σε αυτά που ορίζονται από αυτή.

Το χρώμα εκφράζεται από την CIE με μαθηματικές τιμές οι οποίες προκύπτουν από μαθηματικές εξισώσεις. Η προσπάθεια να προσδιοριστεί επακριβώς το χρώμα ξεκίνησε στις αρχές του 19^{ου} αιώνα με την δημιουργία χρωματικών μοντέλων, χώρων δηλαδή που σε κάθε χρώμα αντιστοιχούν αριθμητικές συντεταγμένες. Τελικά, περίπου το 1930, η CIE εισαγάγει το χρωματικό μοντέλο RGB με βάση την αρχή των τριών διεγέρσεων του ανθρώπινου οφθαλμού στο κόκκινο (Red) στο πράσινο (Green) και στο μπλε (Blue).

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε το χρωματικό μοντέλο CIELab το οποίο περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω.

Μοντέλο CIELab

Το χρωματικό μοντέλο CIELab ή L^* , a^* , b^* παρουσιάστηκε από την CIE το 1976. Πρόκειται για ένα ομοιόμορφο οπτικά χρωματικό χώρο (uniform color space) ο οποίος προσομοιάζει καλύτερα από όλα τα χρωματικά συστήματα ή μοντέλα στην ανθρώπινη αντίληψη των χρωματικών διαφορών. Το κάθε χρώμα περιγράφεται από 3 κανάλια ή συντεταγμένες ή

παράγοντες όπως και στον χρωματικό χώρο RGB. Στο CIELab χρωματικό μοντέλο ή σύστημα οι χρωματικές συντεταγμένες ή χρωματικοί παράγοντες ονομάζονται L^* , a^* και b^* , (γι' αυτό και η ονομασία) και απεικονίζονται σε τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Ο παράγοντας L^* (Lightness) αποθηκεύει όλη την πληροφορία φωτεινότητας της εικόνας παίρνοντας τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό) ενώ οι παράγοντες a^* και b^* την πληροφορία χρώματος χωρίς να υπάρχουν για αυτά κάποια αριθμητικά όρια. Θετικές τιμές του a^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κόκκινου. Αρνητικές τιμές του a^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του πράσινου. Θετικές τιμές του b^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κίτρινου. Αρνητικές τιμές b^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του μπλε.

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό αυτού του χρωματικού μοντέλου είναι η ανεξαρτησία των πληροφοριών φωτεινότητας και χρώματος, που μας δίνει πάρα πολλές δυνατότητες. Ο παράγοντας L^* δηλαδή περιγράφει την άσπρη μαύρη εκδοχή του προς εξέταση αντικειμένου με διευρυμένο συνήθως φάσμα.

Το μοντέλο CIELab είναι ένας τεράστιος χρωματικός χώρος. Είναι υπερσύνολο όλων των υπόλοιπων χρωματικών μοντέλων. Αν φτάσουμε στα όριά του, προκύπτουν χρώματα πρωτόγνωρα ή εξωπραγματικά, έξω από τις δυνατότητες πολλών συσκευών απεικόνισης. Τέλος πολύ σημαντικό είναι ότι το χρωματικό μοντέλο CIELab είναι 'device independent' ανεξάρτητο δηλαδή από ιδιότητες συσκευών καταγραφής ή απεικόνισης κάτι που δεν συμβαίνει με τα υπόλοιπα χρωματικά μοντέλα.

Το χρωματικό μοντέλο που περιγράφεται CIELab, μπορεί να αναπαρασταθεί και σε κυλινδρικό σύστημα πολικών συντεταγμένων με το μοντέλο CIE L^* , C^* , h , όπου:

- ❖ L^* είναι η φωτεινότητα (Lightness)
- ❖ C^* (Chroma): Χρωματική πυκνότητα: Προσδιορίζει την συγκέντρωση δηλαδή την ένταση ή την καθαρότητα του χρώματος ή αλλιώς τη σχέση μεταξύ της έντασης και της φωτεινότητας της μελετώμενης απόχρωσης. Ο παράγοντας αυτός μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με τη σχέση:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

- ❖ Χροιά h (hue angle): Μετρείται σε μοίρες και προσδιορίζει την απόχρωση παίρνοντας τιμές 0° για το κόκκινο-πορφυρό, 90° για το κίτρινο, 180° για το γαλαζοπράσινο και 270° για το μπλε. Για τον υπολογισμό του υπάρχουν οι εξής περιπτώσεις:

- $h = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$, όταν $a^* > 0$ και $b^* \geq 0$
- $h = 0^\circ$, όταν $a^* = 0$ και $b^* = 0$
- $h = 90^\circ$, όταν $a^* = 0$ και $b^* > 0$
- $h = 180^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$, όταν $a^* < 0$
- $h = 270^\circ$, όταν $a^* = 0$ και $b^* < 0$
- $h = 360^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$, όταν $a^* > 0$ και $b^* < 0$

Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής. Σε κάθε δείγμα λήφθηκε μέτρηση με την συσκευή σε 5 αντιπροσωπευτικά σημεία του δείγματος. Εάν κάποιο δείγμα εμφάνισε περιοχές με εμφανές διαφορετικά χρώμα (π.χ. περιοχές διάβρωσης, περιοχές με κάποια επικάλυψη) λήφθηκαν διαφορετικές μετρήσεις για κάθε μία από αυτές τις επιφάνειες. Στη συνέχεια λήφθηκε ο μέσος όρος των μετρήσεων αυτών και με βάση τα τελικά αποτελέσματα

έγινε ο προσδιορισμός των υπόλοιπων παραμέτρων σύμφωνα με τις παραπάνω μαθηματικές εξισώσεις.

Κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων για να γίνει μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση του χρώματος που κατείχαν τα δείγματα και ψηφιακά, έγινε μετατροπή των τιμών L, a, b σε ψηφιακή εικόνα. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με δωρεάν λογισμικό από το διαδίκτυο και πιο συγκεκριμένα το pix Color Sensor. Το πρόγραμμα αυτό σαν είσοδο δέχεται τις τιμές L, a, b που εμφάνισε το δείγμα όπως επίσης και τη γωνία αναφοράς και παρατηρητή που προσδιορίζονται από το όργανο που χρησιμοποιήθηκε. Ως έξοδο, το πρόγραμμα δίνει τις τιμές RGB, τον αριθμό HEX του χρώματος, και τις τιμές των μοντέλων CMYK, CIELAB, XYZ και φυσικά την ψηφιακή εικόνα του χρώματος. (25) (26) (27)

3.2. Παρουσίαση Δειγματοληψίας σε αρχιτεκτονικά σχέδια

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια των εργασιών συντήρησης, ενίσχυσης και αποκατάστασης του Ιερού Κουβουκλίου από την ομάδα αναστηλωτών του έργου. Ελήφθησαν εικοσιεπτά (27) δείγματα κονιαμάτων από τη δυτική και ανατολική όψη του μνημείου. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε πριν την αναστήλωση του μνημείου που ξεκίνησε τον Μάρτιο του 2016.

Ο κωδικός των δειγμάτων αποτελείται από τέσσερα μέρη. Το 1^ο μέρος αναφέρεται στο μνημείο από το οποίο πάρθηκαν τα δείγματα JHS: το οποίο είναι ένα ακρώνυμο για την φράση: Jerusalem Holy Sepulchre. Το 2^ο μέρος χαρακτηρίζει από ποιο στοιχείο του μνημείου πάρθηκε το δείγμα και από ποια πλευρά του μνημείου πάρθηκε. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει η κωδικοποίηση MW: Masonry West, η κωδικοποίηση MES: Masonry East South και η κωδικοποίηση MEN: Masonry East North. Το 3^ο μέρος χαρακτηρίζει το είδος του στοιχείου που λήφθηκε από το μνημείο το οποίο μπορεί να είναι fm: filling mortar που αναφέρεται σε κονίαμα γεμίματος και jm: joint mortar που αναφέρεται σε κονίαμα αρμού δομικών στοιχείων. Τέλος, το 4^ο μέρος χαρακτηρίζει το ύψος από το οποίο πάρθηκαν τα δείγματα από τη βάση του φάτνωματος. Τα δείγματα λήφθηκαν σε ύψη 50cm, 85cm, 135cm, 200cm και στην περίπτωση του δείγματος JHS_MW_fm_280 στα 280cm από το σημείο Γ όπως εμφανίζεται στην εικόνα δειγματοληψίας του δυτικού φάτνωματος. Συνεπώς, τα δείγματα που λήφθηκαν από το μνημείο είναι:

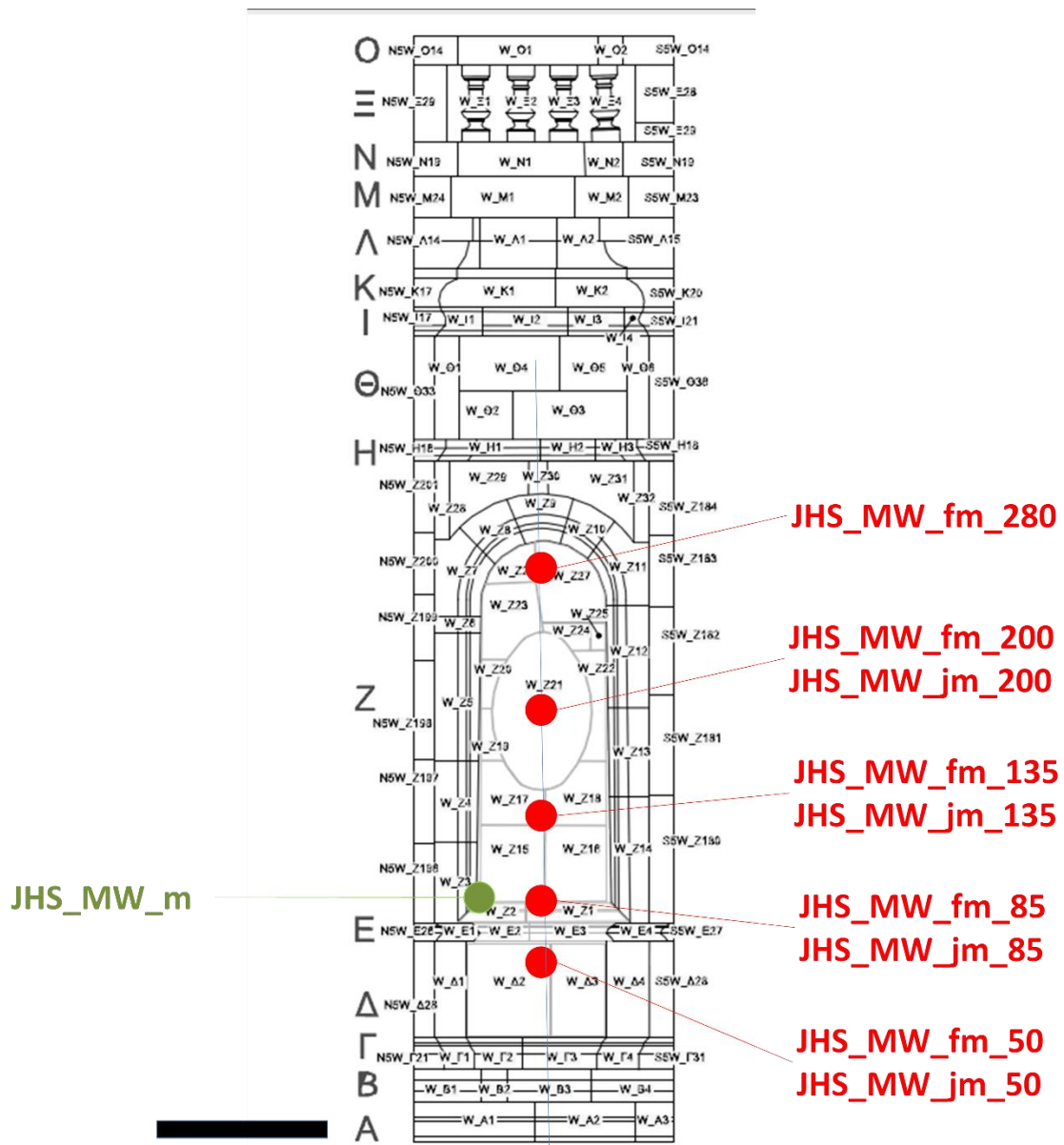
Πίνακας 2 Περιγραφή Δειγμάτων

Δείγμα	Σημείο Δειγματοληψίας	Περιγραφή Δείγματος
JHS_MW_fm_50	Δυτικό φάτνωμα στα 50cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα γεμίματος λευκού χρώματος
JHS_MW_fm_85	Δυτικό φάτνωμα στα 85cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα γεμίματος λευκού-μπεζ χρώματος
JHS_MW_fm_135	Δυτικό φάτνωμα στα 135cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα γεμίματος λευκού χρώματος
JHS_MW_fm_200	Δυτικό φάτνωμα στα 200cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα γεμίματος λευκού-γκρίζου χρώματος
JHS_MW_fm_280	Δυτικό φάτνωμα στα 280cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα γεμίματος λευκού χρώματος
JHS_MW_jm_50	Δυτικό φάτνωμα στα 50cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα αρμού λευκού χρώματος
JHS_MW_jm_85	Δυτικό φάτνωμα στα 85cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα αρμού μπεζ χρώματος
JHS_MW_jm_135	Δυτικό φάτνωμα στα 135cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα αρμού μπεζ χρώματος
JHS_MW_jm_200	Δυτικό φάτνωμα στα 200cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα αρμού λευκού-γκρίζου χρώματος

JHS_MES_fm_50	Νοτιο-ανατολικό φάτνωμα στα 50cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα γεμίματος μπεζ χρώματος
JHS_MES_fm_85	Νοτιο-ανατολικό φάτνωμα στα 85cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα γεμίματος λευκού-μπεζ χρώματος
JHS_MES_fm_135	Νοτιο-ανατολικό φάτνωμα στα 135cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα γεμίματος λευκού-γκρίζου χρώματος
JHS_MES_fm_200	Νοτιο-ανατολικό φάτνωμα στα 200cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα γεμίματος λευκού χρώματος
JHS_MES_jm_50	Νοτιο-ανατολικό φάτνωμα στα 50cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα αρμού λευκού-μπεζ χρώματος
JHS_MES_jm_85	Νοτιο-ανατολικό φάτνωμα στα 85cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα αρμού λευκού-γκρίζου χρώματος
JHS_MES_jm_135	Νοτιο-ανατολικό φάτνωμα στα 135cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα αρμού γκρίζου χρώματος
JHS_MES_jm_200	Νοτιο-ανατολικό φάτνωμα στα 200cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα αρμού λευκού χρώματος
JHS_MEN_fm_50	Βορειο-ανατολικό φάτνωμα στα 50cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα γεμίματος γκρίζου-μπεζ χρώματος
JHS_MEN_fm_85	Βορειο-ανατολικό φάτνωμα στα 85cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα γεμίματος λευκού-μπεζ χρώματος
JHS_MEN_fm_135	Βορειο-ανατολικό φάτνωμα στα 135cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα γεμίματος γκρίζου-μπεζ χρώματος
JHS_MEN_fm_200	Βορειο-ανατολικό φάτνωμα στα 200cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα γεμίματος λευκού χρώματος
JHS_MEN_jm_50	Βορειο-ανατολικό φάτνωμα στα 50cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα αρμού γκρίζου χρώματος
JHS_MEN_jm_85	Βορειο-ανατολικό φάτνωμα στα 85cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα αρμού λευκού-μπεζ χρώματος
JHS_MEN_jm_135	Βορειο-ανατολικό φάτνωμα στα 135cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα αρμού μπεζ-ερυθρού χρώματος
JHS_MEN_jm_200	Βορειο-ανατολικό φάτνωμα στα 200cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα αρμού γκρίζου χρώματος
JHS_MW_m	Δυτικό φάτνωμα στα 85cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα αποκατάστασης λευκού και ερυθρού χρώματος
JHS_FEN_rm	Βορειο-ανατολικό φάτνωμα στα 80cm από το σημείο αναφοράς	Κονίαμα αποκατάστασης γκρίζου χρώματος με ερυθρή επικάλυψη

Να σημειωθεί ότι τα δύο τελευταία δείγματα κατέχουν διαφορετικούς σχετικά κωδικούς διότι πρόκειται για διαφορετικά είδη κονιαμάτων (σύγχρονα κονιάματα αποκατάστασης).

Παρακάτω εμφανίζονται οι τοποθεσίες από τις οποίες ελήφθησαν τα δείγματα.

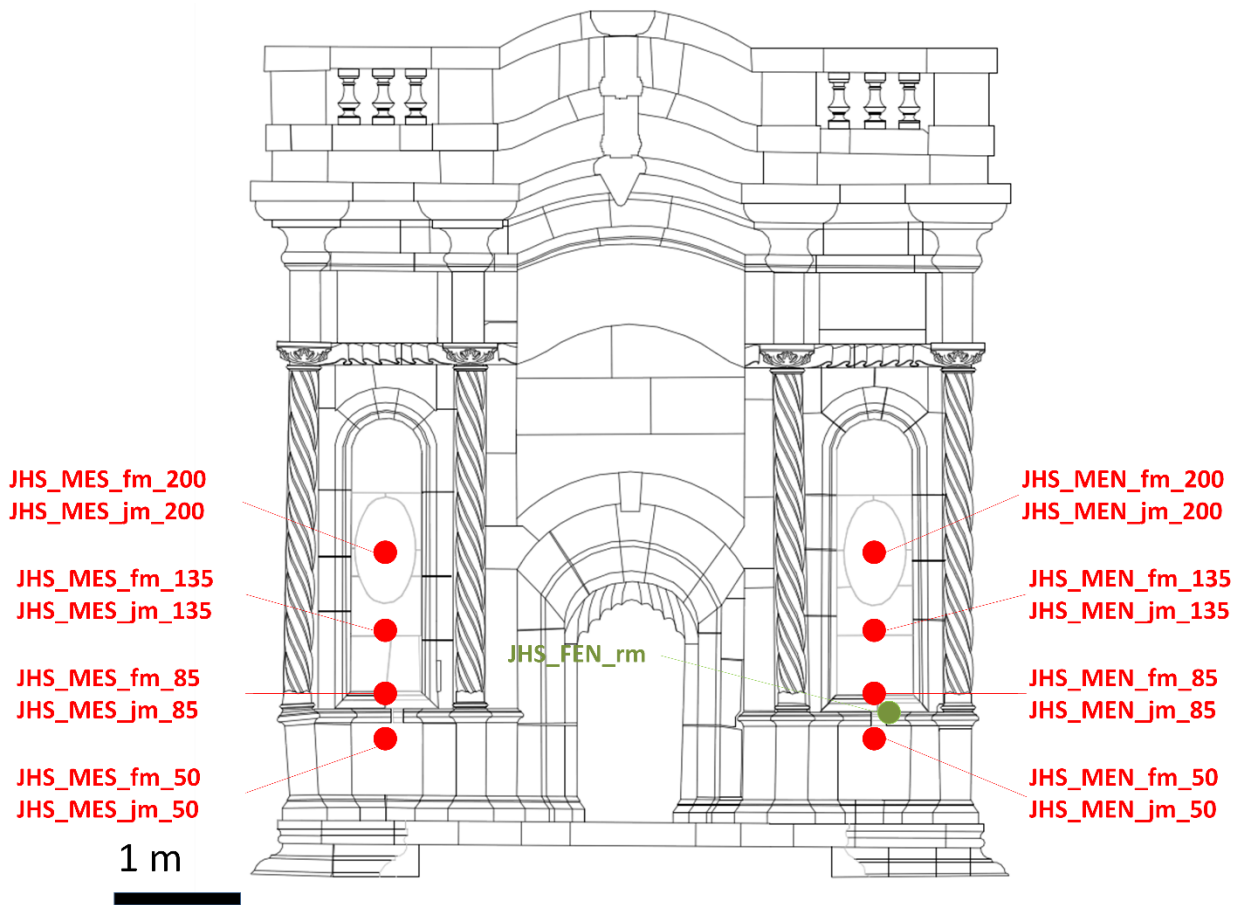


Εικόνα 10 Θέσεις δειγματοληψίας του δυτικού φατνώματος

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα και στον παραπάνω πίνακα από το δυτικό φάτνωμα πάρθηκαν συνολικά δέκα δείγματα. Τα πέντε είναι κονιάματα γεμίματος, τα τέσσερα είναι κονιάματα αρμών και το τελευταίο είναι κονίαμα αποκατάστασης.

Ακόμη, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα και στον παραπάνω πίνακα από το ανατολικό φάτνωμα πάρθηκαν συνολικά δεκαεπτά δείγματα. Από αυτά οκτώ είναι κονιάματα γεμίματος εκ των οποίων τα τέσσερα βρίσκονται στη νότια πλευρά και τέσσερα στη βόρεια πλευρά. Ακόμη, οκτώ είναι κονιάματα αρμών, όπου και πάλι τα τέσσερα βρίσκονται στη νότια πλευρά και τέσσερα στη βόρεια πλευρά, και τέλος από την βόρεια πλευρά αυτού του φατνώματος λήφθηκε και ένα δείγμα κονιάματος αποκατάστασης το οποίο διαθέτη και ερυθρή επικάλυψη,

πιθανώς για το χρωματισμό του κονιάματος. Κάτω από τα σχέδια της δειγματοληψίας εμφανίζεται και εικόνα από την περιοχή δειγματοληψίας του εν λόγω κονιάματος.



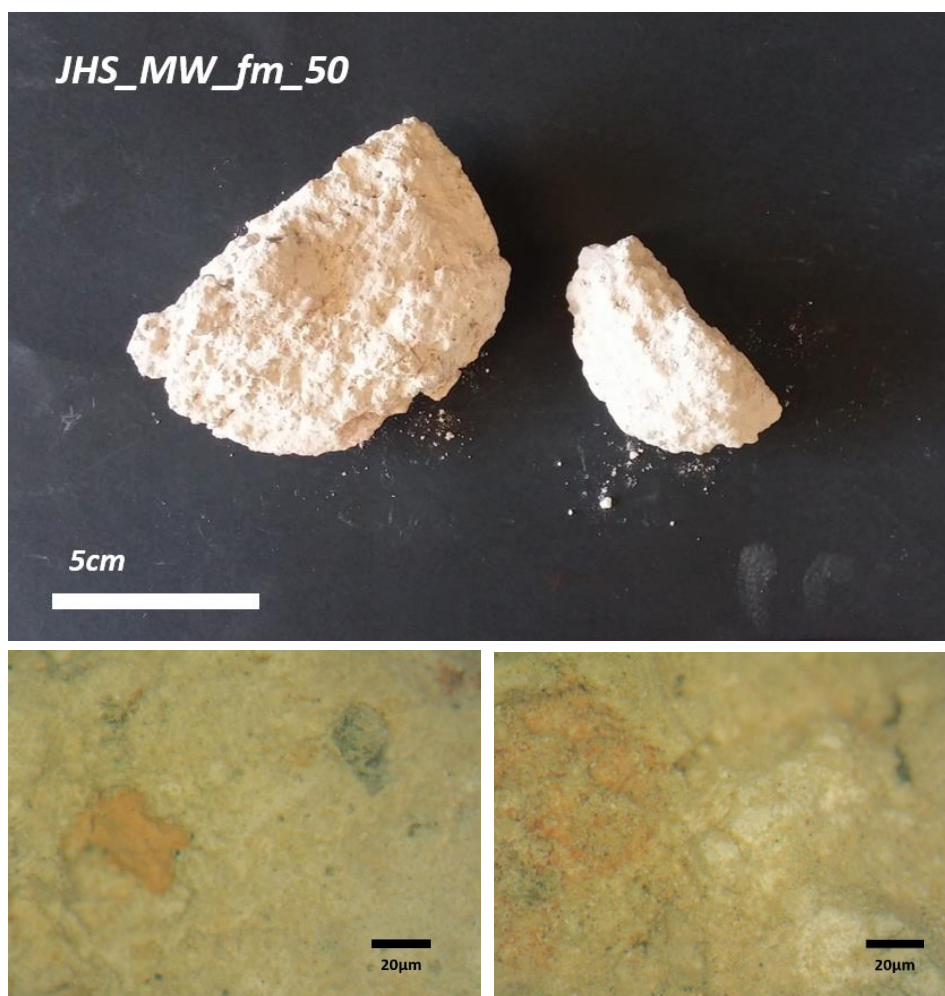
Εικόνα 12 Περιοχή δειγματοληψίας κονιάματος JHS_FEN_rm

4. Παρουσίαση και συζήτηση αποτελεσμάτων

4.1 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση των δειγμάτων των ιστορικών κονιαμάτων

Μετά από παρατήρηση των δειγμάτων σε μεγεθύνσεις x30 γίνεται μια αρχική εκτίμηση των μορφολογικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων.

JHS_MW_fm_50

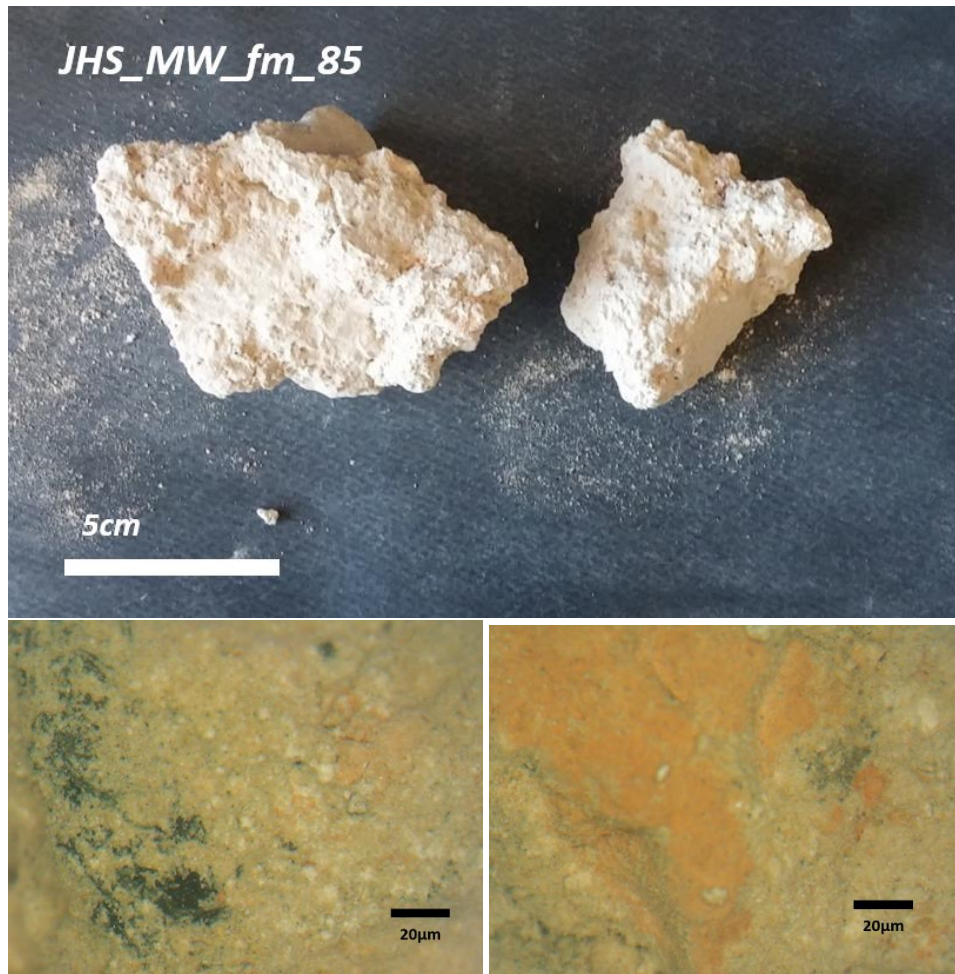


Εικόνα 13 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος *JHS_MW_fm_50*

Μετά από την εξέταση του δείγματος *JHS_MW_fm_50* μέσω Μικροσκοπίου Οπτικών Ινών παρατηρείται ότι πρόκειται για κονίαμα λευκού χρώματος. Το συγκεκριμένο δείγμα εμφανίζει σποραδικά κεραμικά μεγάλου μεγέθους, συσσωματώματα κονίας και σωματίδια κάρβουνου. Συγκριτικά μεταξύ τους τα συσσωματώματα κονίας είναι μεγαλύτερα και ακολουθούν τα κομμάτια κεραμικών και οι σωματίδια κάρβουνου. Εμφανίζεται να υπάρχουν αδρανή γκρίζου και μαύρου χρώματος. Το κονίαμα παρουσιάζει οπές μεσαίου μεγέθους. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι εύθρυπτο συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

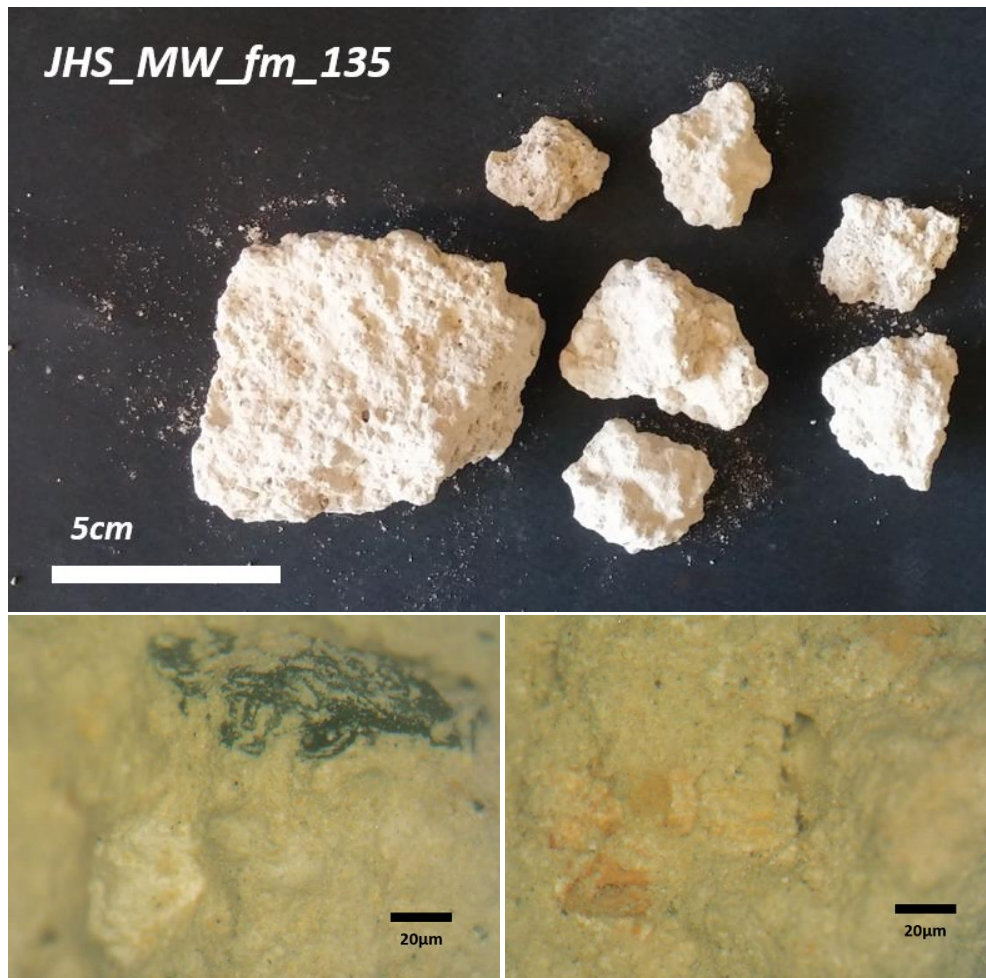


JHS_MW_fm_85



Εικόνα 14 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MW_fm_85

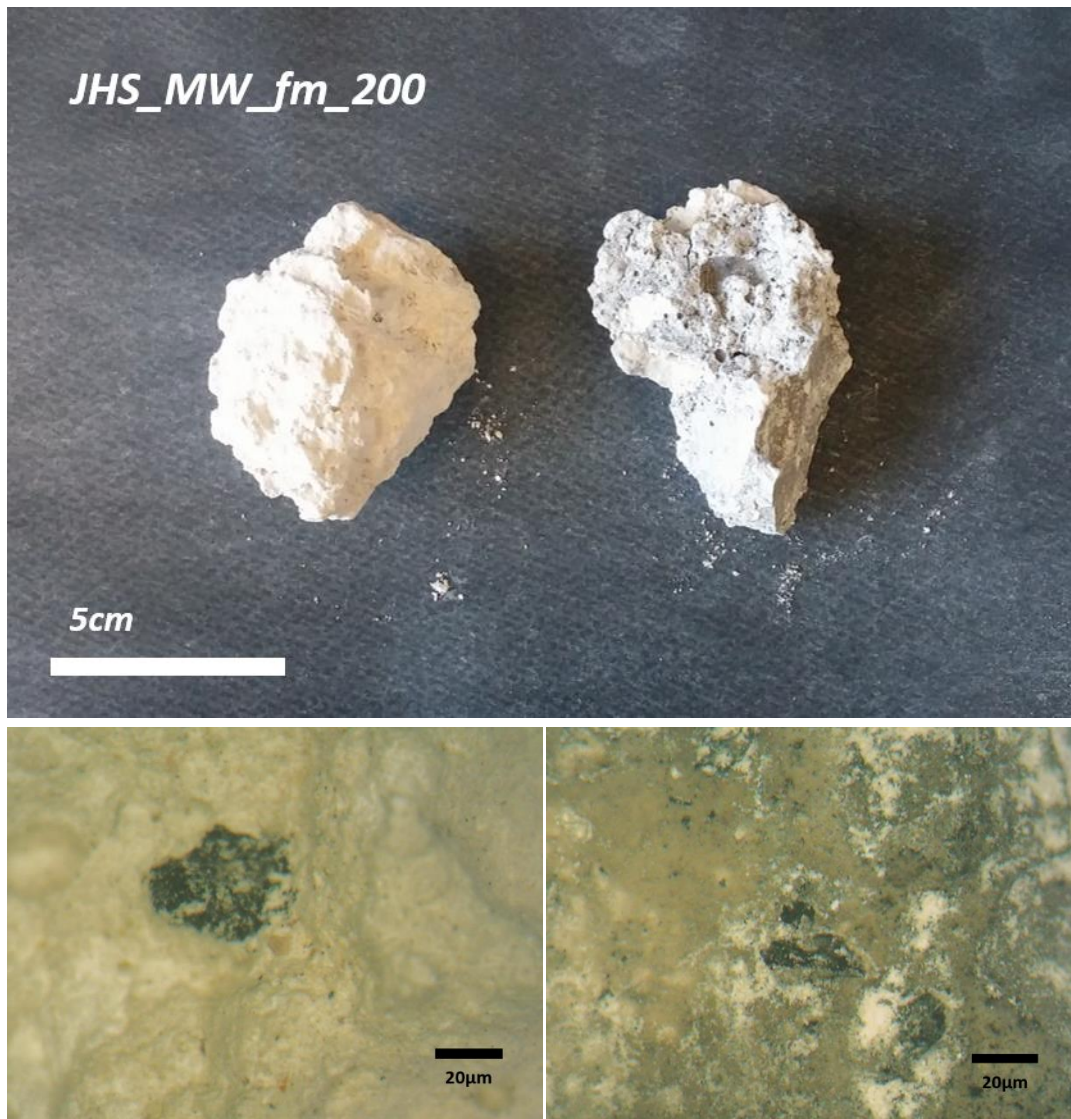
Το δείγμα JHS_MW_fm_85 μετά από την εξέτασή του με τις μακροσκοπικές μεθόδους παρατηρήθηκε ότι πρόκειται για κονίαμα λευκού προς μπλε χρώματος. Το δείγμα περιέχει φυσικά γκριζα αδρανή σχετικά μεγάλου μεγέθους, αλλά όχι πολλά σε ποσότητα. Ακόμη, εμφανίζει μικρή ποσότητα συσσωματωμάτων κονίας μεγάλου μεγέθους. Όσον αφορά τα κεραμικά εμφανίζεται να είναι σε διάφορα μεγέθη, μικρά και μεγάλα και σε μεγάλη ποσότητα. Εμφανίζονται αρκετά σωματίδια κάρβουνου, άλλα σε μικρότερη ποσότητα από τα κεραμικά. Παρατηρείται το δείγμα να έχει λίγο περισσότερες σπές. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι εύθρυπτο συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.



Εικόνα 15 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MW_fm_135

Μετά την εξέταση του δείγματος JHS_MW_fm_135 με τις μακροσκοπικές μεθόδους παρατηρήθηκε ότι το κονίαμα είναι λευκού χρώματος, εμφανίζει φυσικά αδρανή σχετικά σε μαύρο και κόκκινο χρώμα και εμφανίζονται κεραμικά μικρού και μεγάλου μεγέθους και αρκετά σποραδικά. Ακόμη, τα συσσωματώματα του κονιάς είναι μικρά σε μέγεθος και αραιά μέσα στο δείγμα. Εμφανίζονται σωματίδια κάρβουνου μικρού μεγέθους αλλά σε αρκετά μικρή ποσότητα και πολύ αραιά μέσα στο δείγμα. Επιπλέον, παρατηρούνται σπές μεσαίου μεγέθους στο δείγμα, αλλά σε αραιά σημεία, οι οποίες πιθανότατα οφείλονται σε αποκόλληση αδρανών. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι εύθρυπτο συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

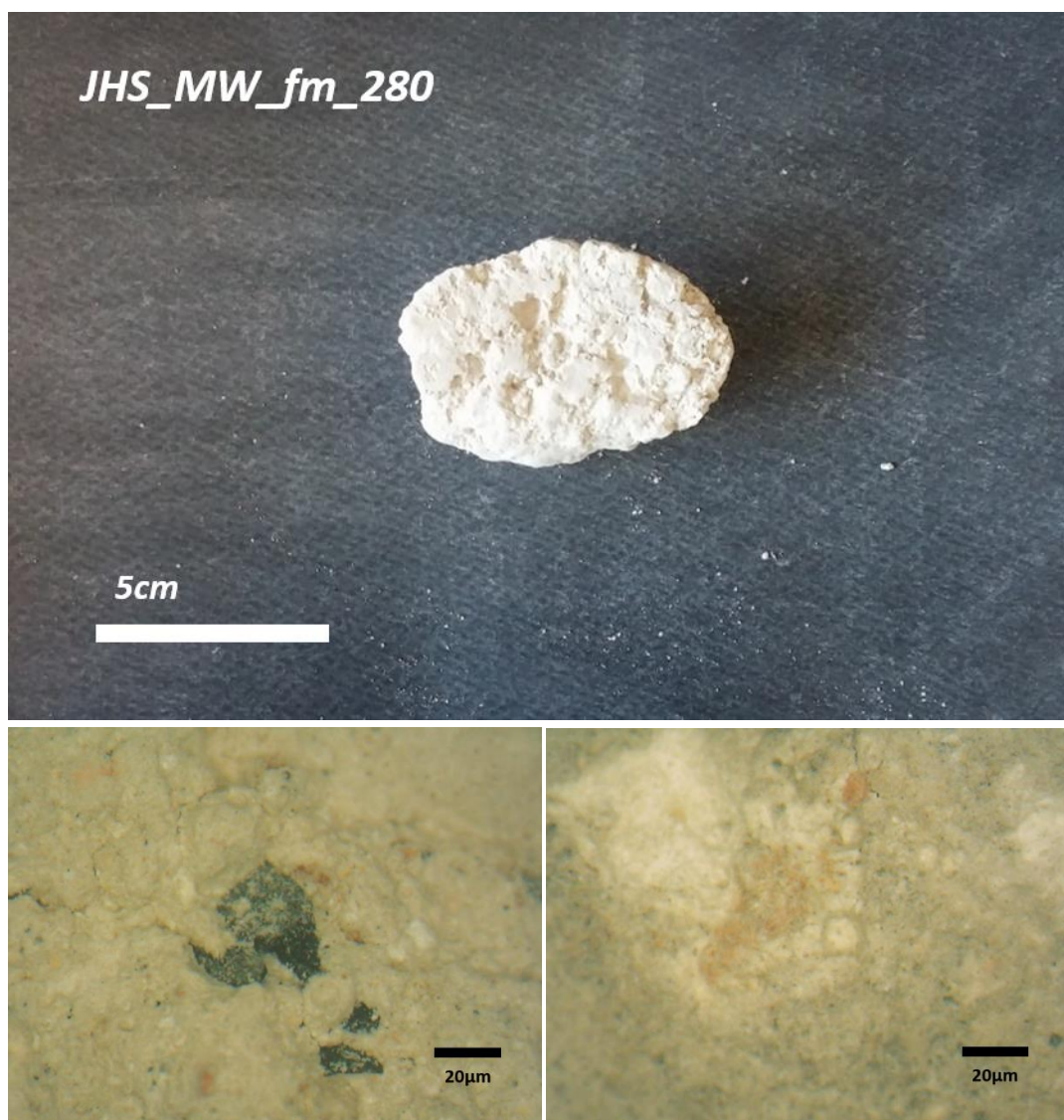
JHS_MW_fm_200



Εικόνα 16 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος *JHS_MW_fm_200*

Το δείγμα *JHS_MW_fm_200* μετά την εξέτασή του με μακροσκοπικές μεθόδους, παρατηρήθηκε ότι πρόκειται για κονίαμα λευκού προς γκρίζου χρώματος. Περιέχει αδρανή μικρού μεγέθους μαύρου χρώματος και συσσωματώματα κονίας σε διάφορα μεγέθη και σε αρκετή ποσότητα, αλλά δεν παρατηρούνται κεραμικά. Ακόμη παρατηρείται μικρή ποσότητα σωματίδια κάρβουνου. Το δείγμα εμφανίζει επιφάνεια με επικαθήσεις. Οι οπές που παρατηρούνται στο δείγμα είναι μικρού και μεγάλου μεγέθους και υπάρχουν σποραδικά. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

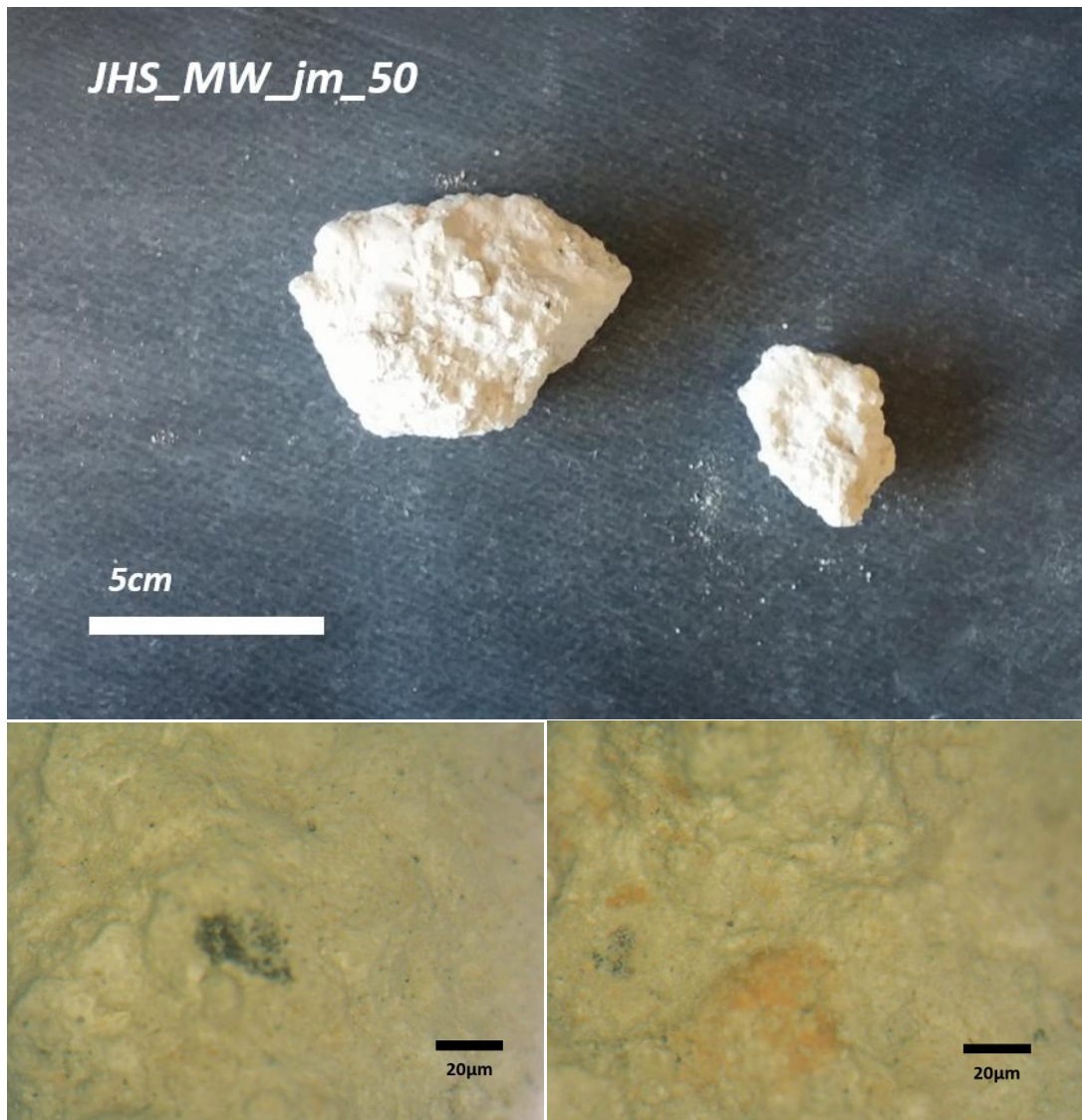
JHS_MW_fm_280



Εικόνα 17 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MW_fm_280

Κατά την εξέταση του δείγματος JHS_MW_fm_280 με Μικροσκόπιο Οπτικών Ινών παρατηρήθηκε ότι είναι κονίαμα λευκού χρώματος. Στη μάζα του δείγματος εμφανίζονται σποραδικά αδρανή μπεζ και μαύρου χρώματος και συσσωματώματα κονίας διάφορων μεγεθών. Παρατηρούνται στο δείγμα και κεραμικά μεσαίου μεγέθους αρκετά σε ποσότητα, αλλά λιγότερα από τα συσσωματώματα κονίας. Στο δείγμα εμφανίζονται οπές και ρωγμές, αλλά είναι μικρού μεγέθους. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

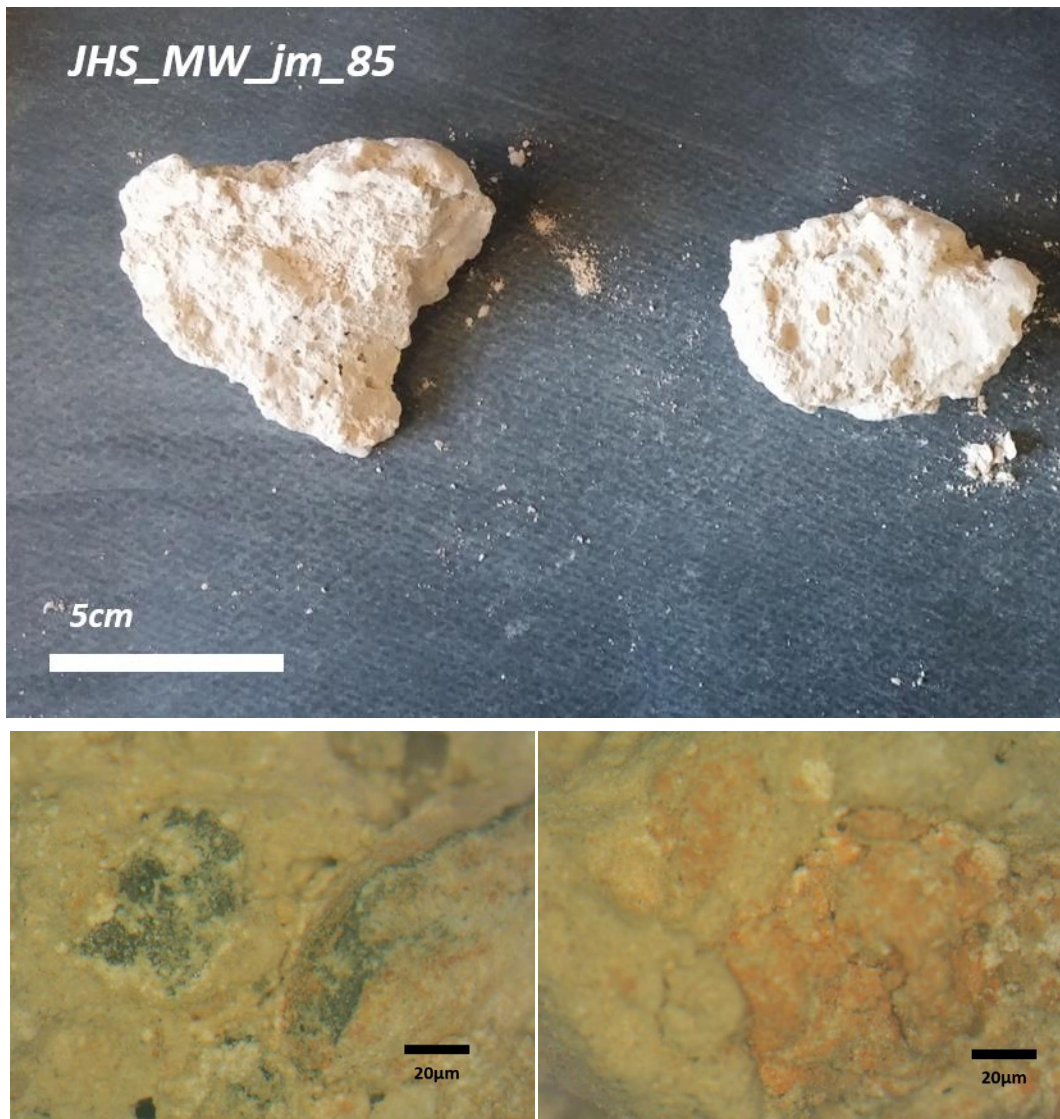
JHS_MW_jm_50



Εικόνα 18 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MW_jm_50

Μετά από την επεξεργασία του δείγματος JHS_MW_jm_50 με τις μακροσκοπικές μεθόδους συνάγεται το συμπέρασμα ότι πρόκειται για κονίαμα λευκού χρώματος. Περιέχει σποραδικά αδρανή μικρού μεγέθους και σε χρώματα μπλε και μαύρο. Τα σωματίδια κάρβουνου βρίσκονται σε μικρή ποσότητα στο συγκεκριμένο δείγμα, αλλά υπάρχουν. Εμφανίζονται κεραμικά μεσαίου και μικρού μεγέθους, αλλά σε μεγάλη ποσότητα, όπως στο δείγμα JHS_MW_fm_85. Παρατηρούνται στο δείγμα συσσωματώματα κονίας σε διάφορα μεγέθη. Ακόμη, εμφανίζονται οπές στο δείγμα, αλλά σχετικά μικρές. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι εύθρυπτο συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

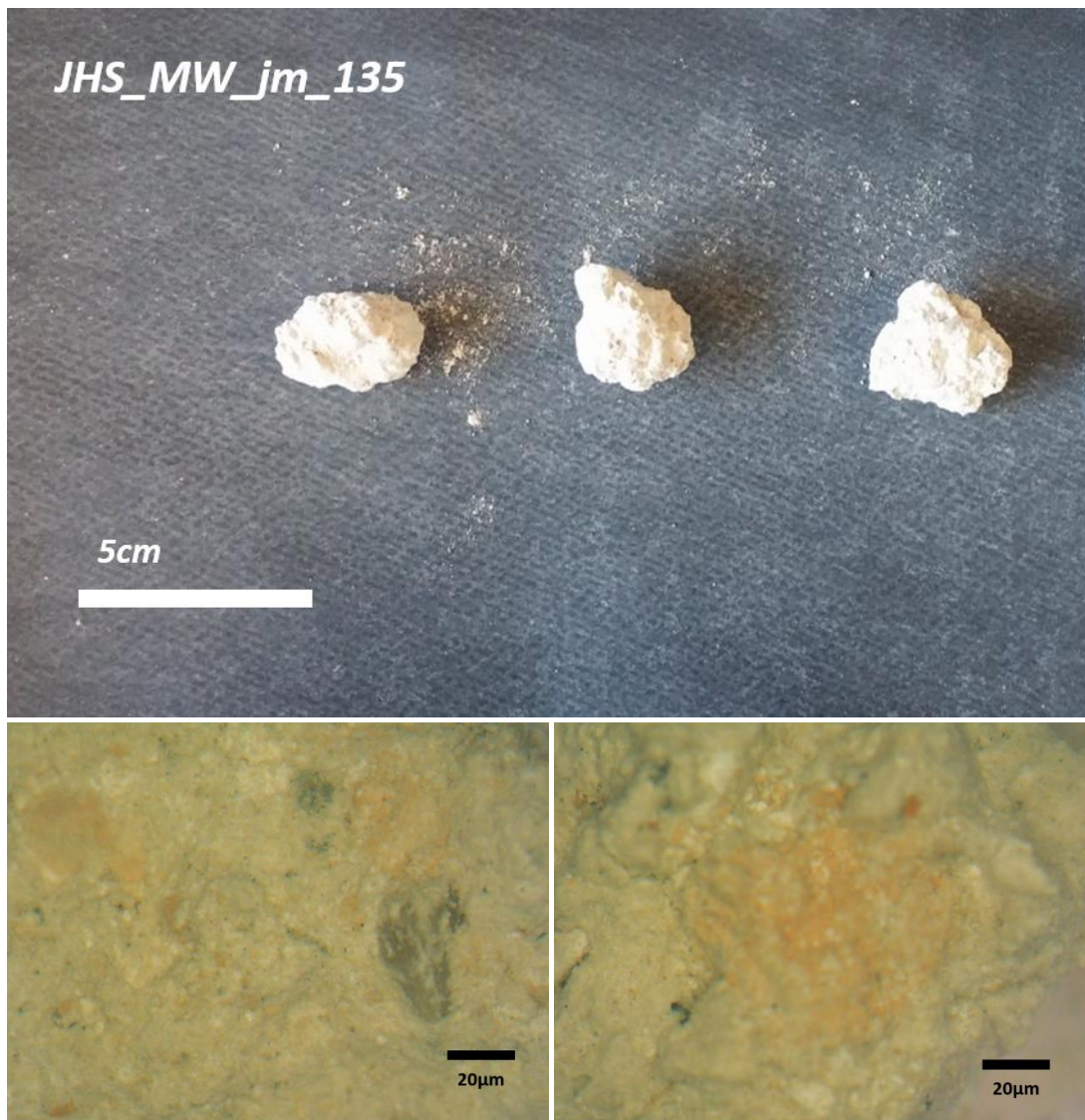
JHS_MW_jm_85



Εικόνα 19 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MW_jm_85

Μετά από την επεξεργασία του δείγματος JHS_MW_jm_85 με τις μακροσκοπικές μεθόδους συνάγεται το συμπέρασμα ότι πρόκειται για κονίαμα μεζ χρώματος. Το δείγμα περιέχει αδρανή σε κόκκινο και μαύρο χρώμα. Υπάρχουν συσσωματώματα κονιάς, κεραμικών και σωματίδια κάρβουνου στο δείγμα, αλλά εμφανίζονται σε αραιά σημεία. Το δείγμα παρουσιάζει αρκετά μεγάλες σπές και ρωγμές, οι οποίες πιθανότατα οφείλονται σε αποκόλληση αδρανών. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

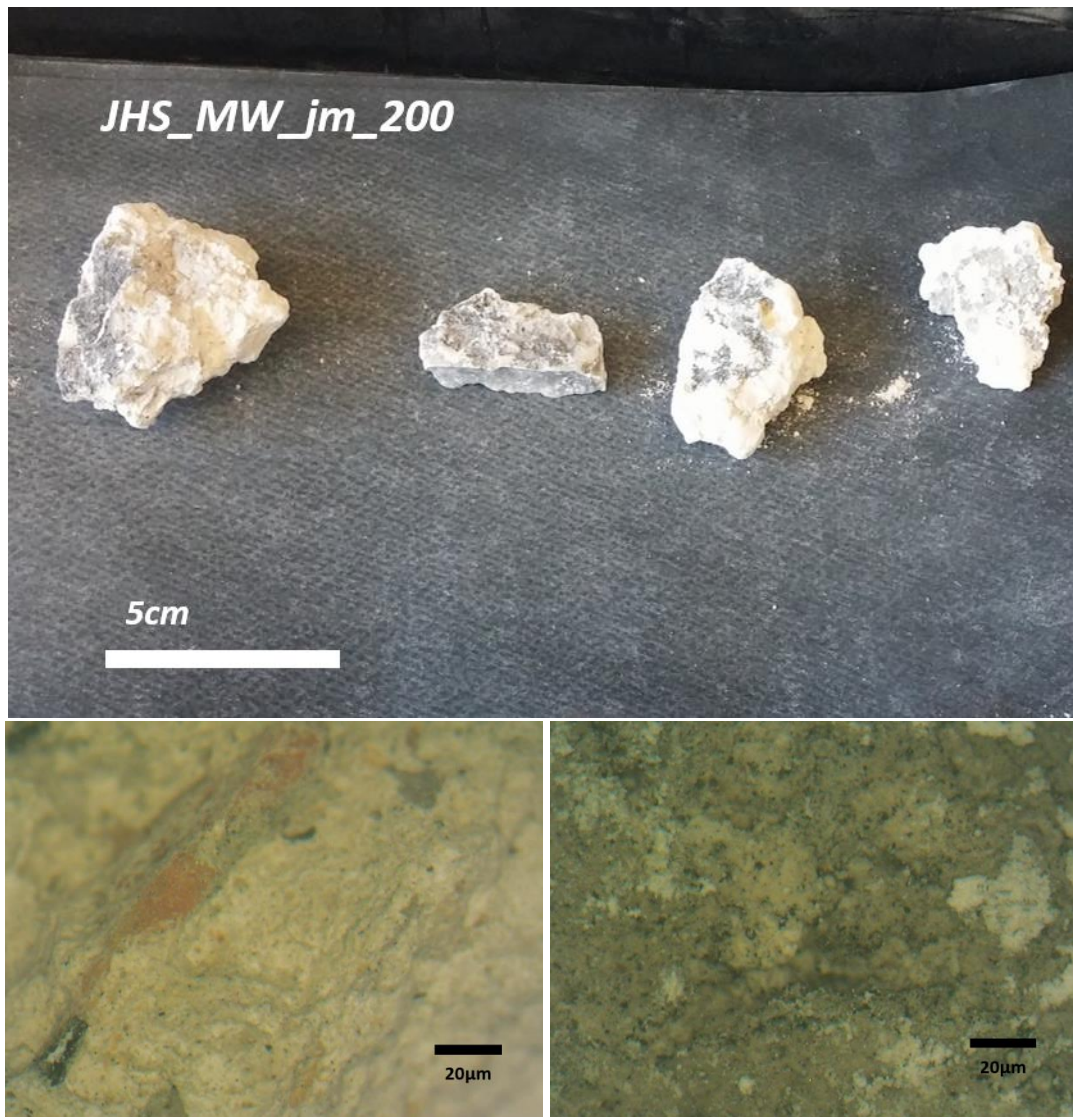
JHS_MW_jm_135



Εικόνα 20 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MW_jm_135

Μετά από την επεξεργασία του δείγματος JHS_MW_jm_135 με τις μακροσκοπικές μεθόδους παρατηρείται ότι πρόκειται για κονίαμα μπεζ χρώματος. Περιέχει φυσικά αδρανή μικρού μεγέθους κυρίως μαύρου χρώματος. Τα κεραμικά που περιέχονται είναι αρκετά σε ποσότητα και εμφανίζονται σποραδικά σε μικρά κυρίως μεγέθη και χρώματα του κόκκινου και πορτοκαλί. Ταυτόχρονα, δεν εμφανίζει συσσωματώματα κονίας παρά λίγα μικρού μεγέθους. Τα σωματίδια κάρβουνου που παρατηρούνται είναι αρκετά λίγα μέσα στο δείγμα. Δεν εμφανίζει πολλές σπές και ρωγμές. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

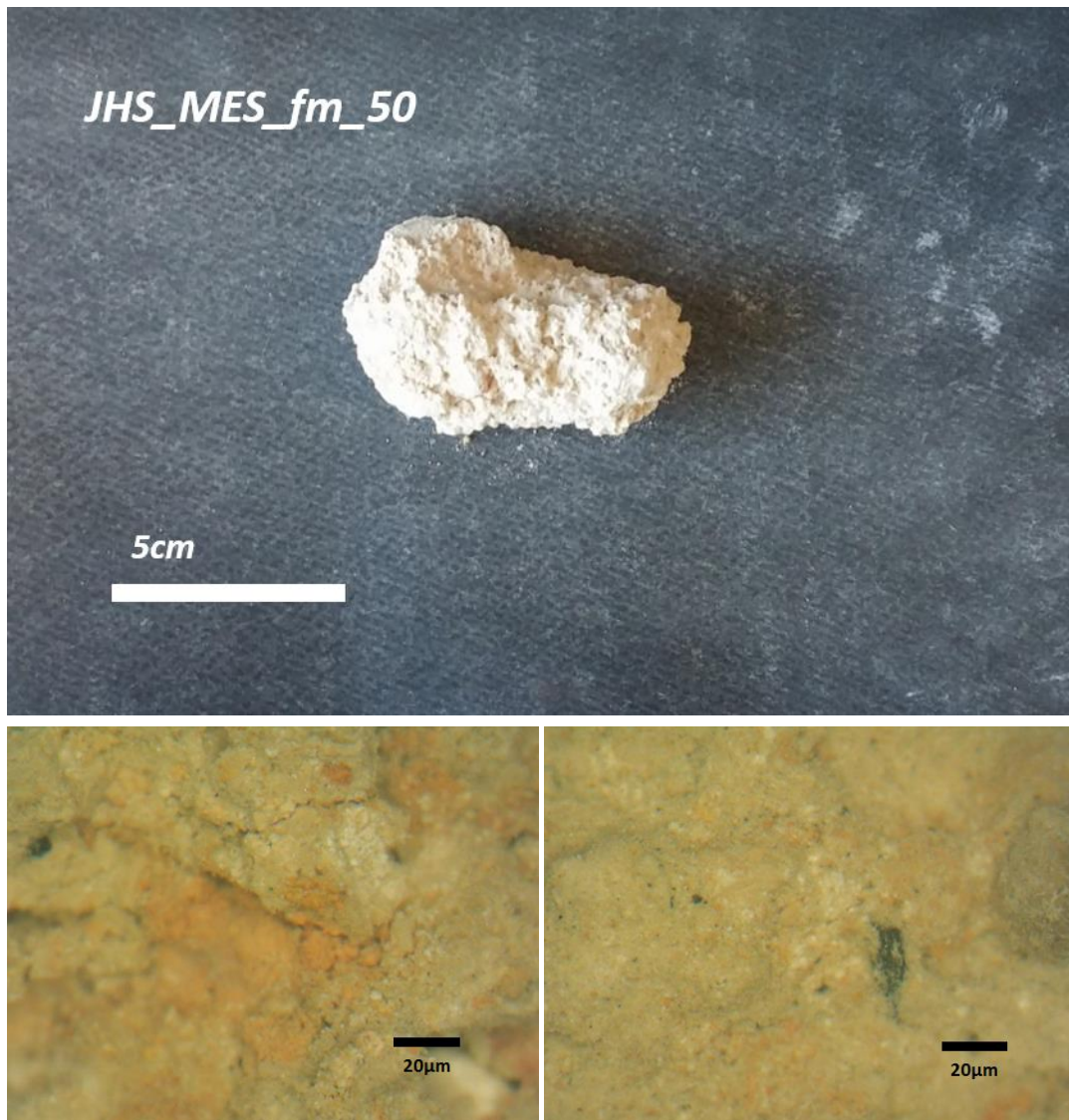
JHS_MW_jm_200



Εικόνα 21 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MW_jm_200

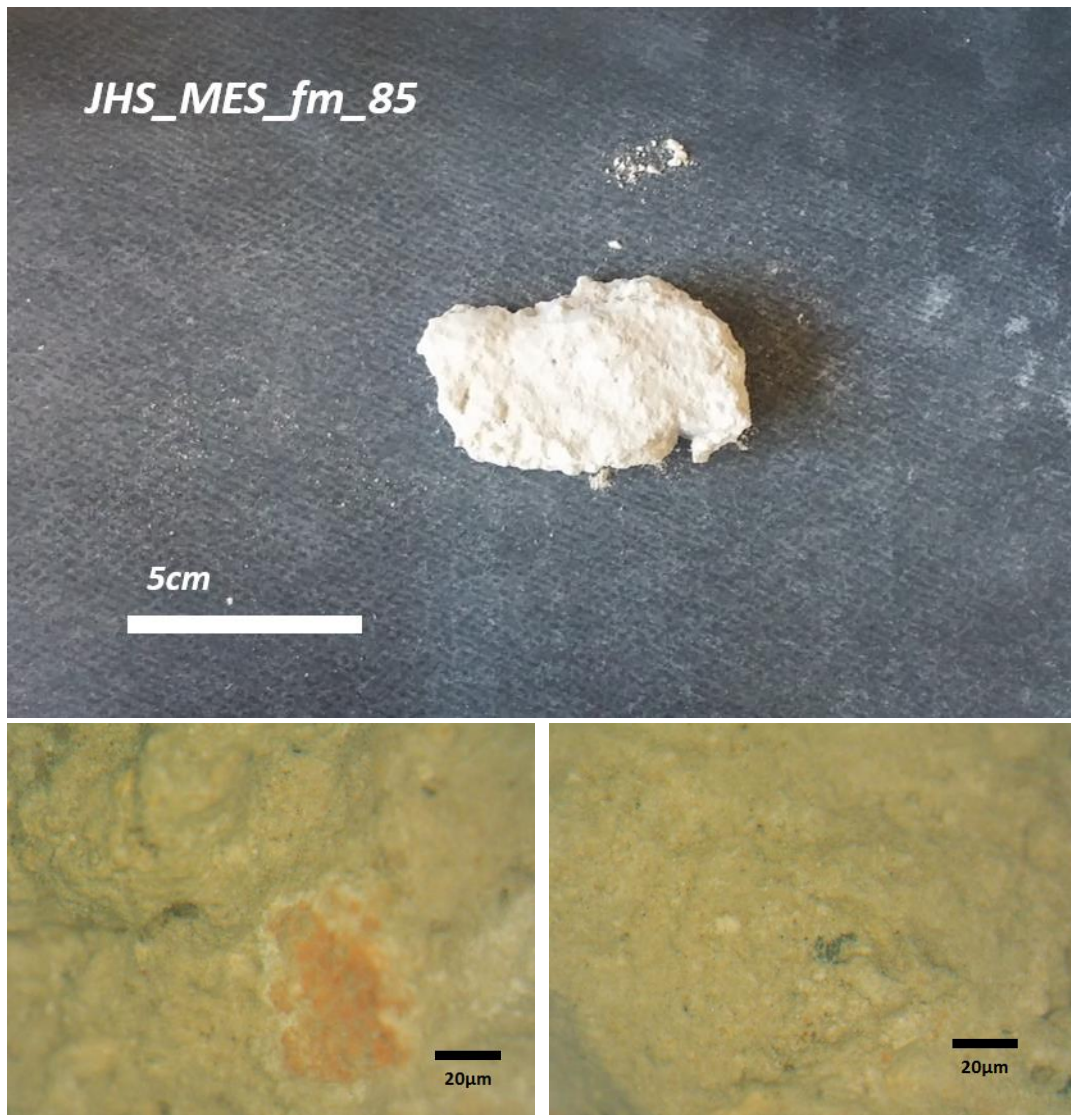
Μετά από την επεξεργασία του δείγματος JHS_MW_jm_200 με τις μακροσκοπικές μεθόδους παρατηρείται ότι πρόκειται για κονίαμα λευκού προς γκριζου χρώματος. Στο δείγμα περιέχονται αδρανή μεσαίου το οποία είναι κόκκινου, μαύρου, γκριζου και μπεζ χρώματος. Κάποια αδρανή μπορεί να είναι και λίθος slayeb κεραμιδί χρώματος. Στο δείγμα δεν εμφανίζονται κεραμικά. Εμφανίζονται σποραδικά σωματίδια κάρβουνου, αλλά δεν βρίσκονται σε μεγάλη ποσότητα. Δεν εμφανίζει πολλές οπές και ρωγμές. Τέλος, το δείγμα παρουσιάζει επιφάνεια με επικαθήσεις η οποίες οφείλονται λόγω διάχυσης του μολύβδου από τους εσωτερικούς συνδέσμους. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

JHS_MES_fm_50



Εικόνα 22 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MES_fm_50

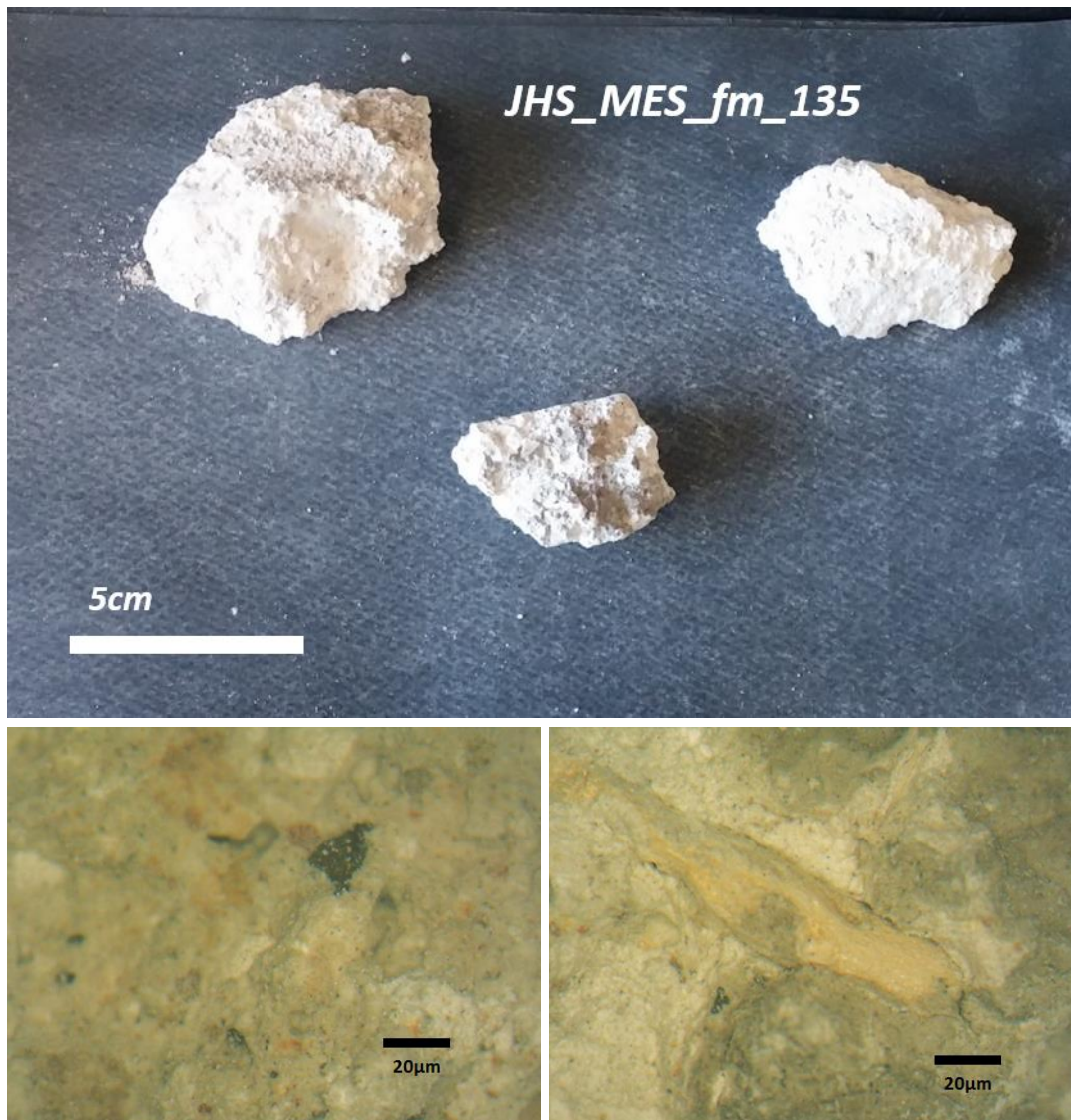
Μετά από την επεξεργασία του δείγματος JHS_MES_fm_50 με τις μακροσκοπικές μεθόδους παρατηρείται ότι πρόκειται για κονίαμα μπεζ χρώματος. Παρατηρούνται αδρανή μαύρου και μπεζ χρώματος, μικρού και μεσαίου μεγέθους. Επίσης, παρατηρούνται σχετικά μικρή ποσότητα σωματιδίων κάρβουνου. Εμφανίζονται αρκετά κομμάτια κεραμικών σε διάφορα μεγέθη, καθώς επίσης εμφανίζονται και συσσωματώματα κονίας σε διάφορα μεγέθη, αλλά σε μικρότερη ποσότητα από τα κεραμικά. Ακόμη, εμφανίζονται κάποιες οπές και ρωγμές στο κονίαμα, αλλά δεν είναι πολλές σε ποσότητα. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι πολύ εύθρυπτο συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.



Εικόνα 23 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MES_fm_85

Μετά από την επεξεργασία του δείγματος JHS_MES_fm_85 με τις μακροσκοπικές μεθόδους παρατηρείται ότι πρόκειται για κονίαμα ανοιχτού μπεζ χρώματος. Στη μάζα του κονιάματος παρατηρείται μικρή ποσότητα σωματιδίων κάρβουνου και φυσικών αδρανών γκρίζου και μπεζ χρώματος. Παρατηρούνται όμως κομμάτια κεραμικών, αλλά όχι πολλά σε ποσότητα και σποραδικά συσσωματώματα κονίας μικρού μεγέθους. Παρατηρείται ότι υπάρχουν οπές και ρωγμές οι οποίες πιθανότατα οφείλονται σε αποκόλληση αδρανών. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

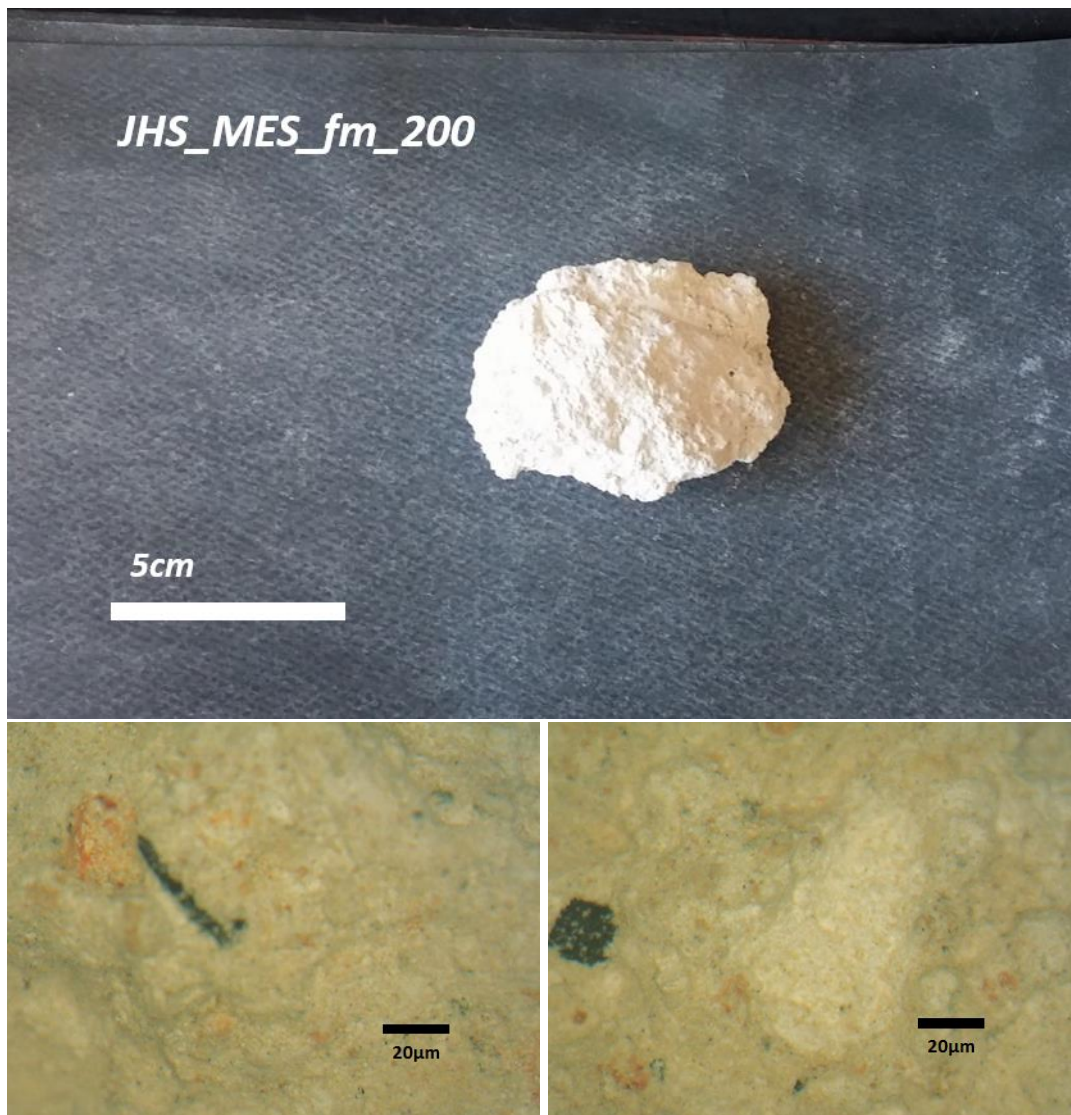
JHS_MES_fm_135



Εικόνα 24 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MES_fm_135

Κατά την φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MES_fm_135 παρατηρείται ότι πρόκειται για κονίαμα μπεζ προς γκρίζου χρώματος. Ακόμη, το κονίαμα περιέχει μεγάλη ποσότητα φυσικών αδρανών σε διάφορα μεγέθη και χρώματα. Στη μάζα του το δείγμα παρουσιάζει κομμάτια κεραμικών σε μεγάλα και μικρά μεγέθη, αλλά σε σχετικά μικρή ποσότητα. Τα συσσωματώματα κονιάς και οι οπές που παρατηρούνται είναι αρκετά και σε διάφορα μεγέθη. Το δείγμα παρουσιάζει να έχει γκρίζα περιοχή. Ακόμη, το δείγμα εμφανίζει μεγάλα σωματίδια κάρβουνου, αλλά λίγα σε ποσότητα. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

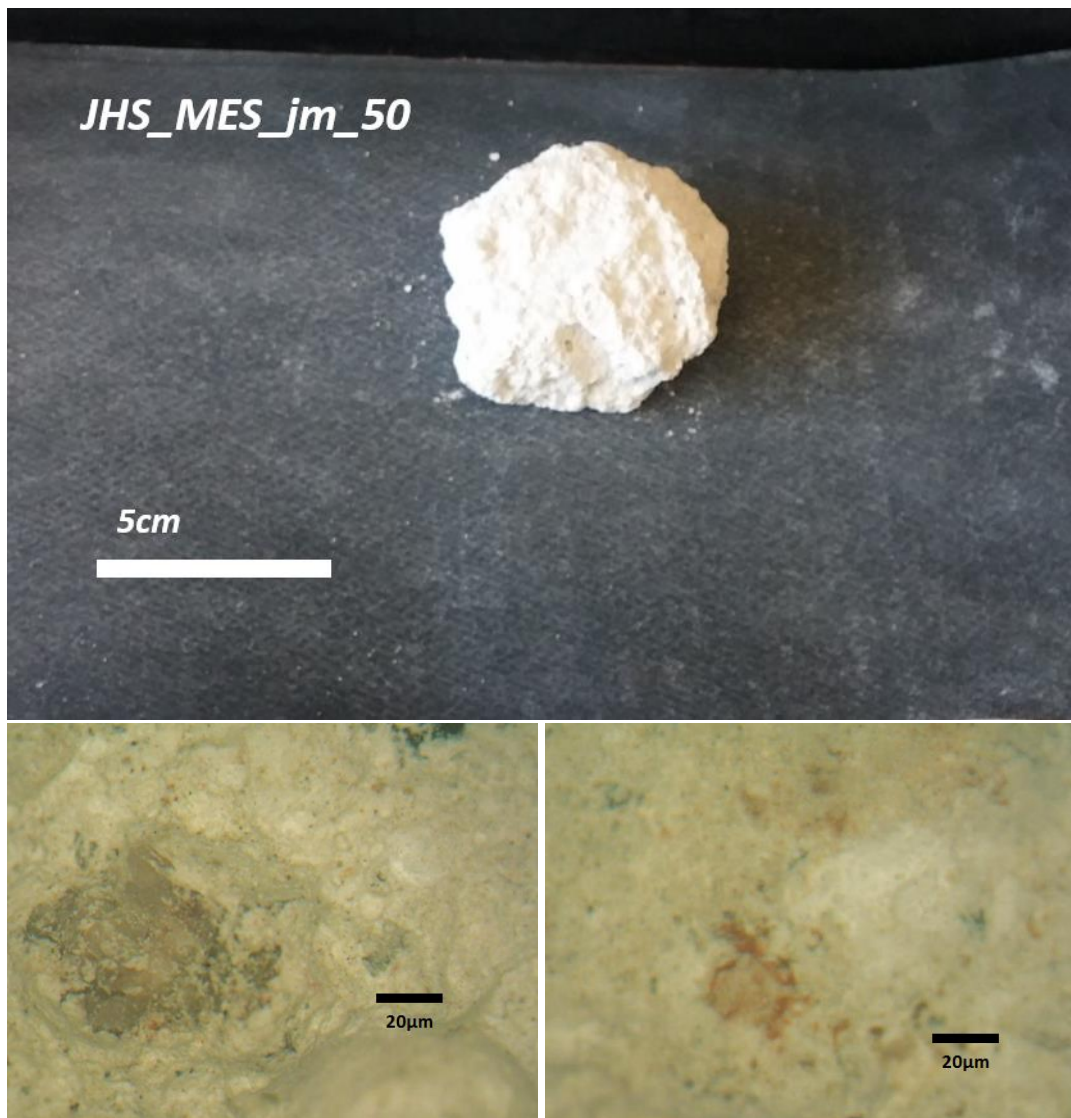
JHS_MES_fm_200



Εικόνα 25 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MES_fm_200

Με την φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MES_fm_200 διαπιστώνεται ότι πρόκειται για δείγμα λευκού χρώματος. Στη μάζα του δείγματος εμφανίζονται μεγάλα και πολλά συσσωματώματα κονίας. Τα αδρανή του κονιάματος είναι μεσαία σε μέγεθος σε διάφορα χρώματα, στα οποία παρατηρείται να υπάρχει έγχρωμος λίθος και λίθος slayeb. Ακόμη, εμφανίζονται λίγα κομμάτια κεραμικών στο δείγμα σε διάφορα μεγέθη. Στο δείγμα υπάρχουν σωματίδια κάρβουνου, αλλά είναι αρκετά λίγα σε ποσότητα. Ακόμη, το δείγμα δεν εμφανίζει πολλές οπές. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

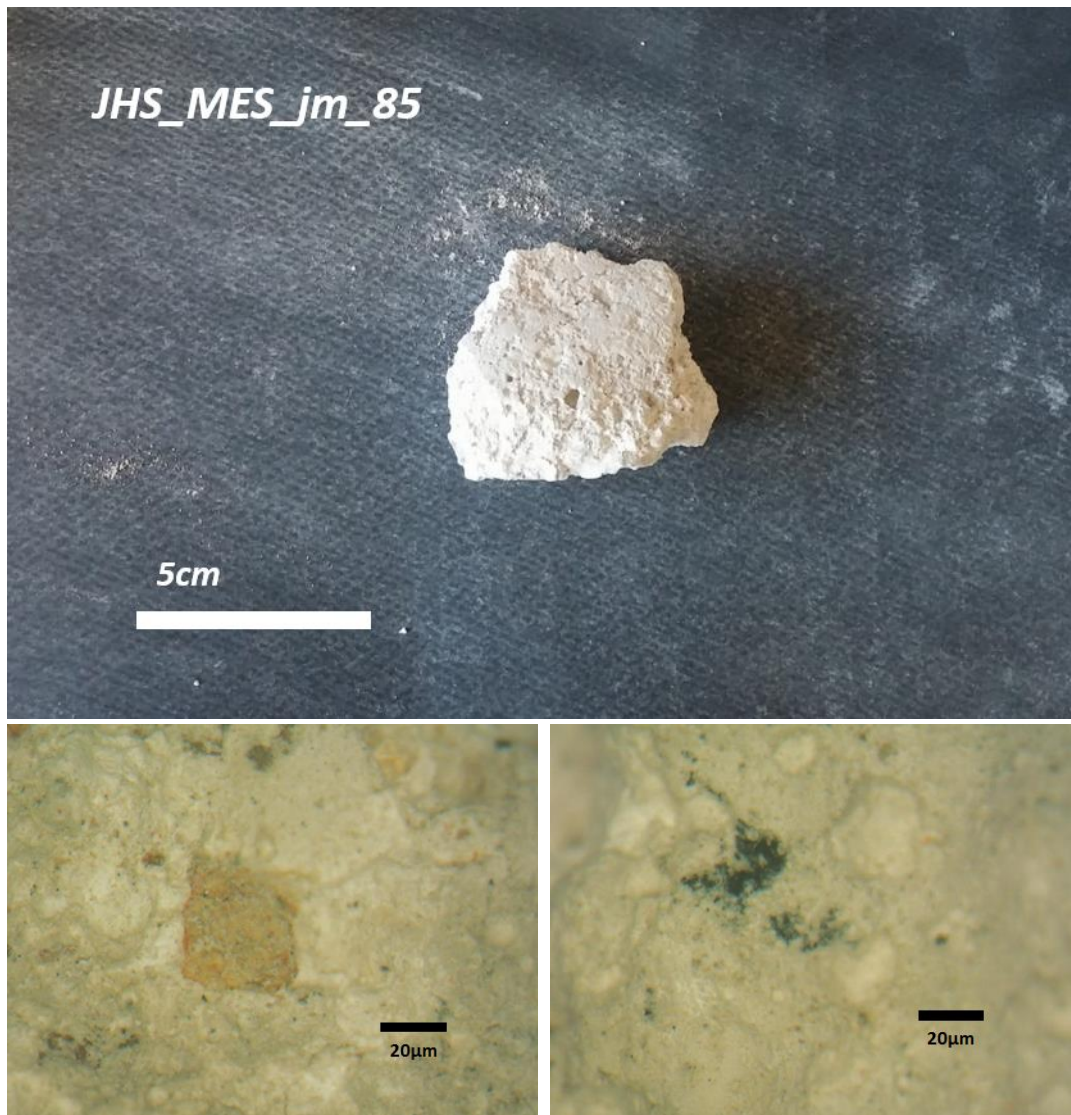
JHS_MES_jm_50



Εικόνα 26 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MES_jm_50

Με την φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MES_jm_50 παρατηρήθηκε ότι πρόκειται για κονίαμα λευκού και λίγο μπεζ χρώματος. Επιπρόσθετα, παρατηρούνται φυσικά αδρανή μεσαίου και μεγάλου μεγέθους σε πολλά χρώματα, καθώς και κεραμικά μεσαίου και μικρού μεγέθους σε λίγη ποσότητα μέσα στο δείγμα. Εμφανίζεται μια μικρή ποσότητα σωματιδίων κάρβουνου διάσπαρτα και σε διάφορα μεγέθη. Επίσης, το δείγμα εμφανίζει αρκετά μεγάλα συσσωματώματα κόνιας, αλλά δεν εμφανίζει οπές ή ρωγμές. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

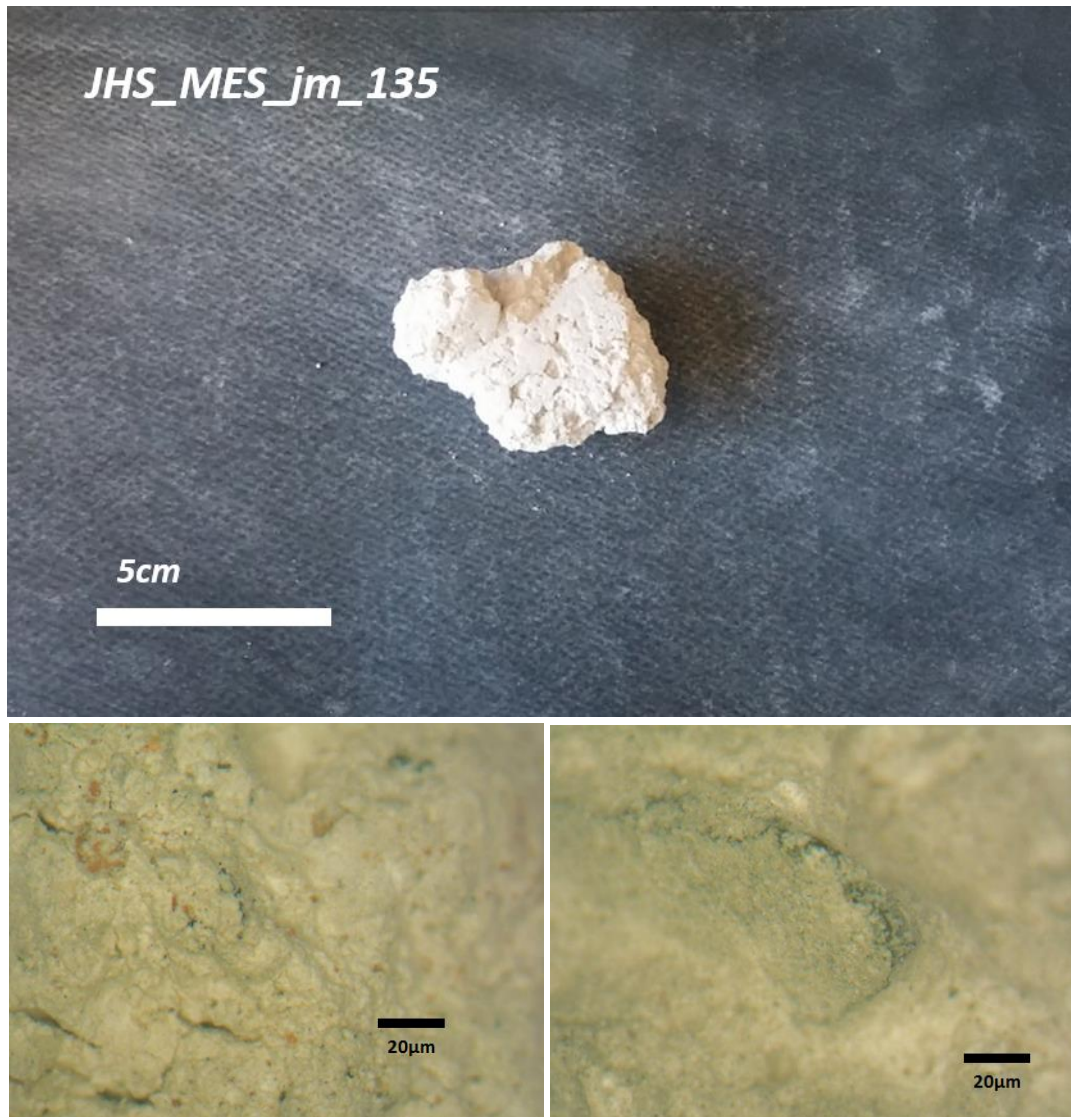
JHS_MES_jm_85



Εικόνα 27 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MES_jm_85

Μετά την επεξεργασία του δείγματος JHS_MES_jm_85 με φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση συνάγεται το συμπέρασμα ότι πρόκειται για κονίαμα λευκού προς γκριζού χρώματος. Η μάζα του δείγματος περιέχει φυσικά αδρανή μεσαίου μεγέθους, αλλά όχι σε μεγάλη ποσότητα. Διάσπαρτα εμφανίζονται και σωματίδια κάρβουνου. Υπάρχει μια μικρή ποσότητα σε μεσαία και μεγάλα κεραμικά κομμάτια και εμφανίζεται αρκετή ποσότητα συσσωματωμάτων κονίας σε διάφορα μεγέθη. Ακόμη, το δείγμα περιέχει αρκετές οπές που πιθανώς οφείλονται σε αποκόλληση αδρανών. Το δείγμα είναι αρκετά όμοιο με το JHS_MES_jm_50 μόνο που εμφανίζει λιγότερο συσσωματώματα κονίας από αυτό. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

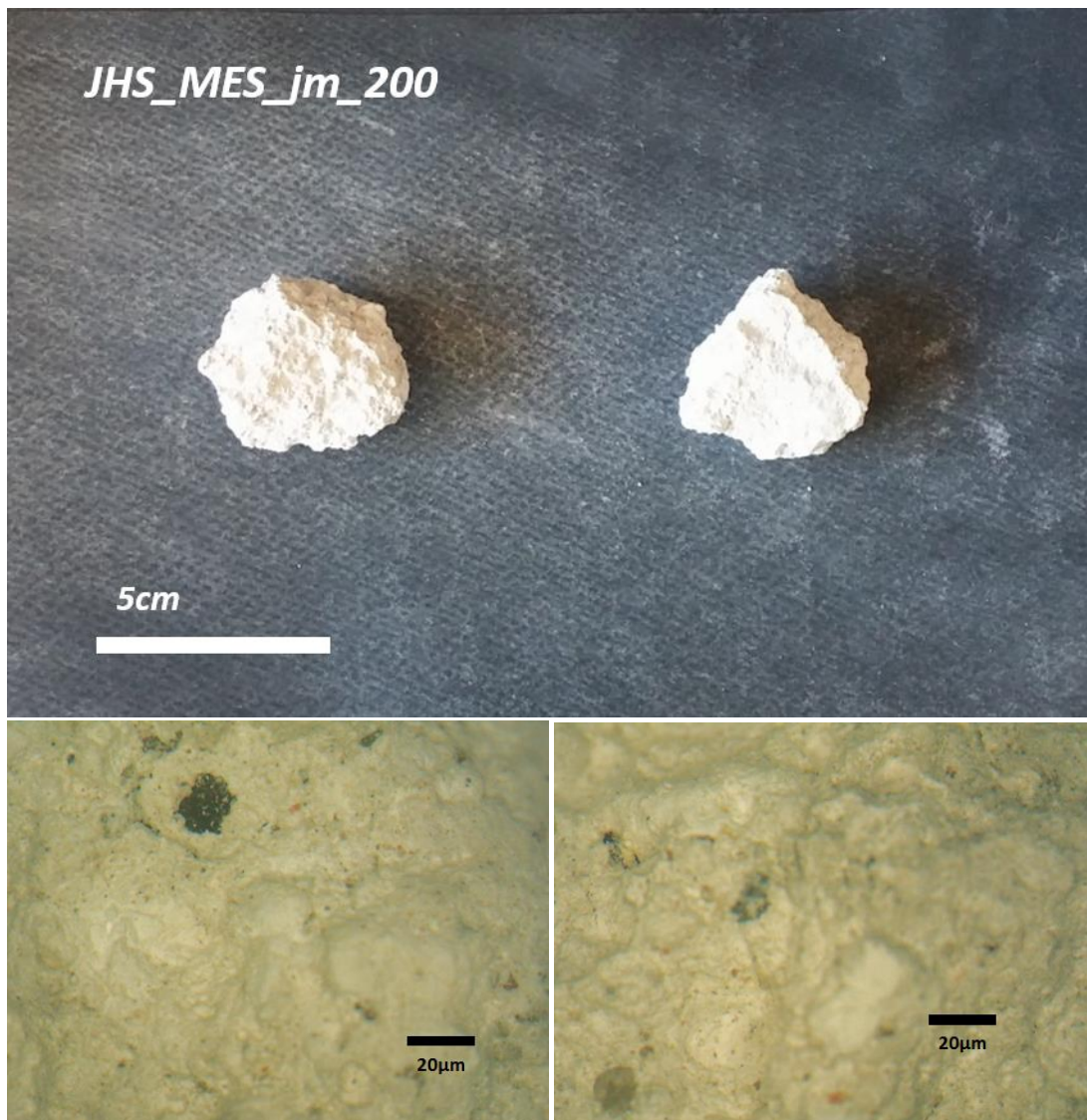
JHS_MES_jm_135



Εικόνα 28 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος *JHS_MES_jm_135*

Μετά την επεξεργασία του δείγματος *JHS_MES_jm_135* παρατηρείται ότι πρόκειται για ένα πιο γκρίζο κονίαμα. Το δείγμα περιέχει αρκετά αδρανή και συσσωματώματα κονίας σε διάφορα μεγέθη. Στη μάζα του δείγματος εμφανίζονται κεραμικά, αλλά μικρού σχετικά μεγέθους. Οι σωματίδια κάρβουνου που υπάρχουν στο δείγμα είναι σε αρκετά μικρή ποσότητα. Ακόμα, το δείγμα εμφανίζει αρκετές οπές και ρωγμές. Το δείγμα είναι αρκετά όμοιο με το *JHS_MES_jm_50* μόνο που εμφανίζει πιο μεγάλα αδρανή από αυτό. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

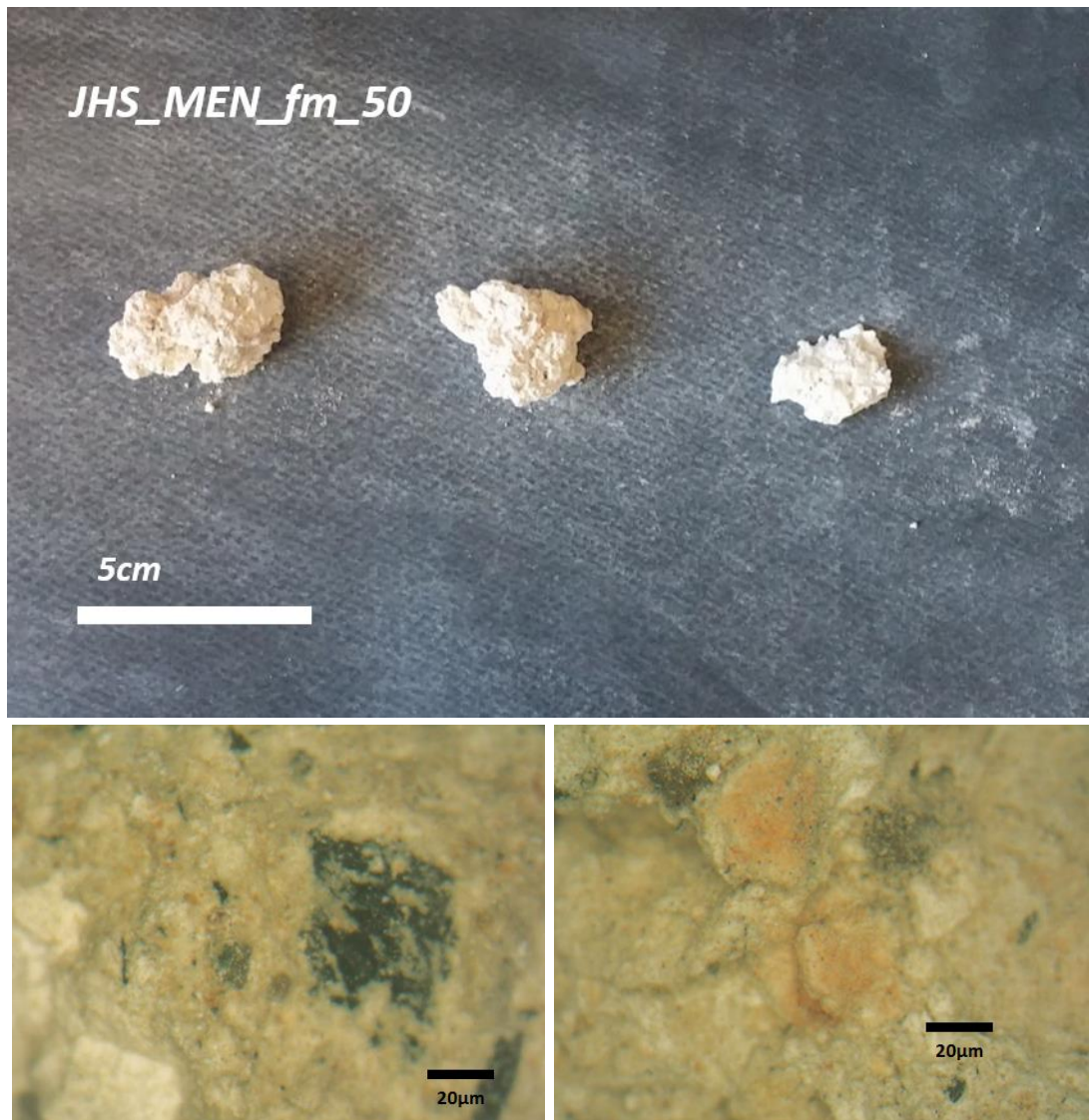
JHS_MES_jm_200



Εικόνα 29 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MES_jm_200

Μετά την επεξεργασία του δείγματος JHS_MES_jm_200 με φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση συνάγεται το συμπέρασμα ότι πρόκειται για ένα κονίαμα λευκού χρώματος. Το δείγμα περιέχει στη μάζα του αδρανή σε μεσαίο μέγεθος μαύρου χρώματος, αλλά και λευκού. Σποραδικά στο δείγμα εμφανίζονται μικρά κομμάτια κεραμικών, αλλά είναι αρκετά ελάχιστα σε ποσότητα. Τα συσσωματώματα κονιάς που υπάρχουν στο δείγμα είναι αρκετά και σε διάφορα μεγέθη. Ακόμη, στη μάζα του δείγματος εμφανίζονται διάσπαρτα και σωματίδια κάρβουνου σε μεγάλη ποσότητα, όπως επίσης εμφανίζεται και μία ποσότητα αχύρου. Ακόμη, το δείγμα παρουσιάζει αρκετές οπές και ρωγμές. Το δείγμα είναι αρκετά όμοιο με το JHS_MES_jm_50 μόνο που εμφανίζει περισσότερα σωματίδια κάρβουνου από αυτό. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

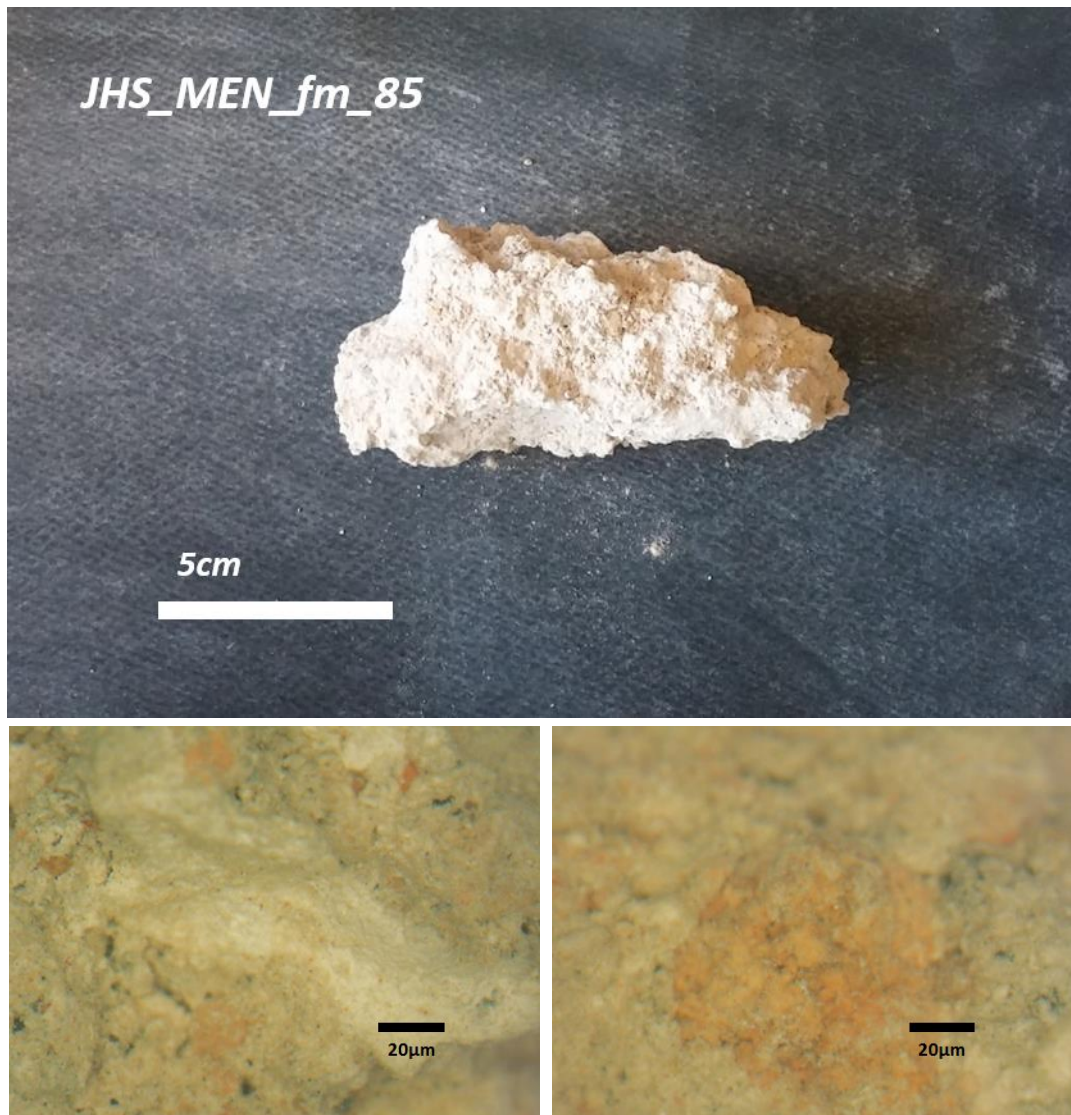
JHS_MEN_fm_50



Εικόνα 30 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MEN_fm_50

Μετά την φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MEN_fm_50 παρατηρείται ότι πρόκειται για κονίαμα μπεζ προς γκριζου χρώματος. Το δείγμα περιέχει στη μάζα του αδρανή μεσαίου μεγέθους σε αρκετή ποσότητα σε πολλά χρώματα και μεγάλα κομμάτια κεραμικών, αλλά σε λιγότερη ποσότητα. Ακόμη, εμφανίζονται στο κονίαμα αρκετά συσσωματώματα κονιάς σε διάφορα μεγέθη. Τέλος, το δείγμα εμφανίζει μια μικρή ποσότητα σωματιδίων κάρβουνου και αρκετά λίγες οπές. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι εύθρυπτο συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

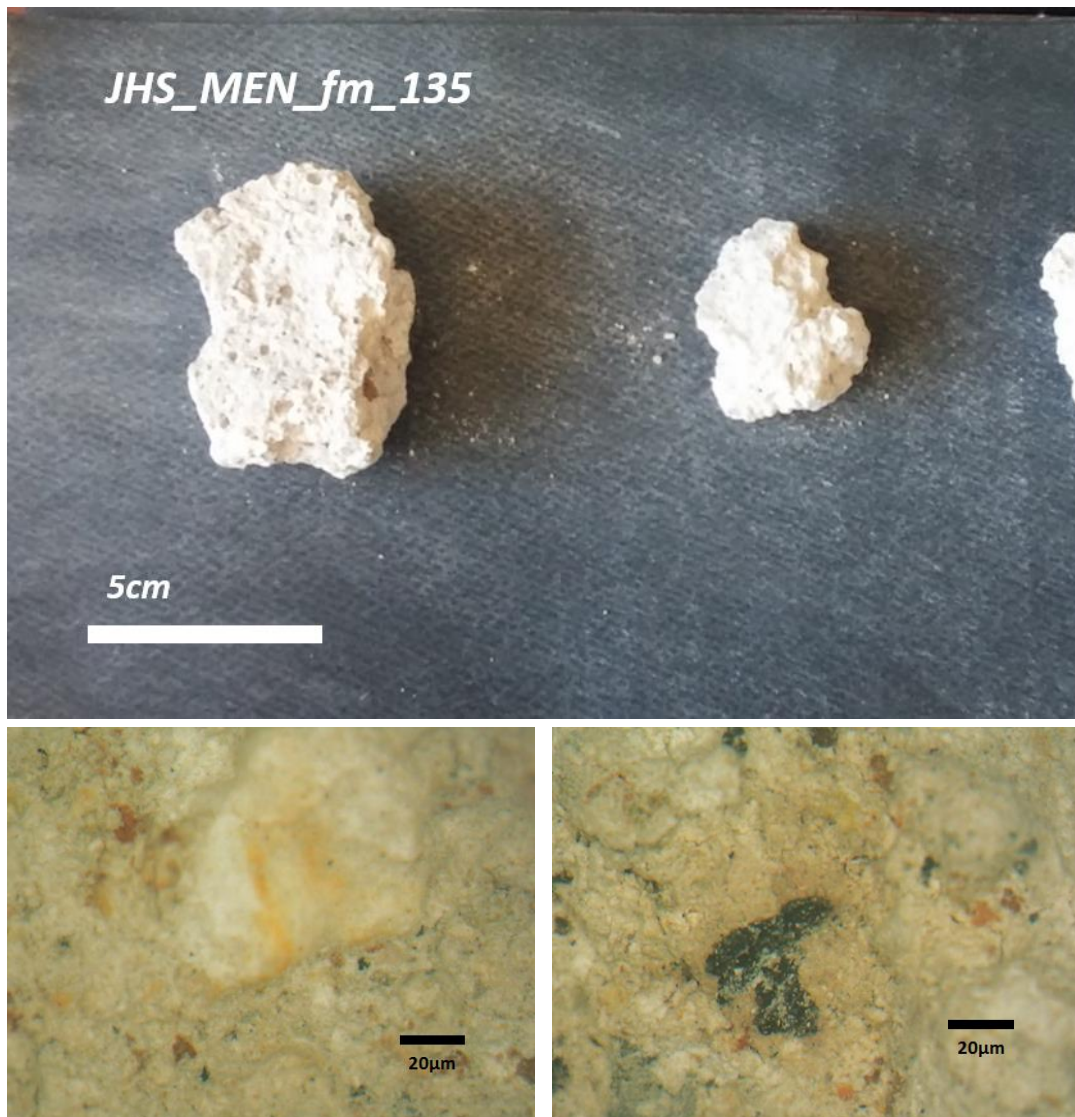
JHS_MEN_fm_85



Εικόνα 31 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος *JHS_MEN_fm_85*

Μετά την φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος *JHS_MEN_fm_85* παρατηρείται ότι πρόκειται για κονίαμα λευκό προς μπεζ χρώματος. Το δείγμα είναι όμοιο με τα *JHS_MW_fm_80*, *JHS_MW_fm_50* και *JHS_MEN_fm_50*. Το δείγμα εμφανίζει αδρανή μαύρα και έγχρωμα, αλλά υπάρχει αρκετά μεγάλη ποσότητα κεραμικών σε διάφορα μεγέθη. Ακόμη, παρατηρείται ότι υπάρχουν συσσωματώματα κονίας σε διάφορα μεγέθη, αλλά σχετικά πιο αραιά. Το δείγμα εμφανίζει μια μεσαία ποσότητα σωματιδίων κάρβουνου και δεν εμφανίζονται πολλές σπές. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι εύθρυπτο συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

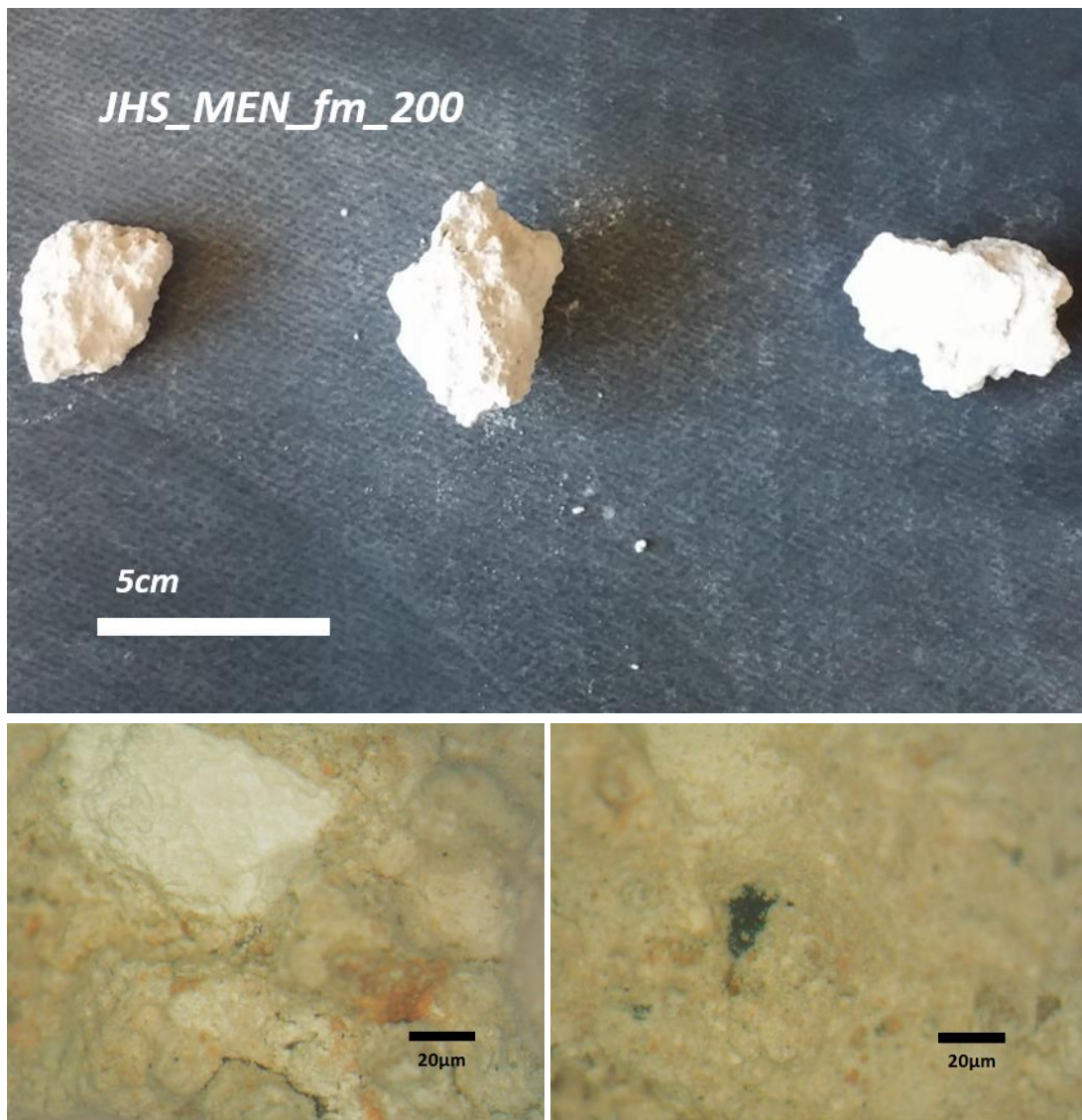
JHS_MEN_fm_135



Εικόνα 32 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MEN_fm_135

Μετά την φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MEN_fm_135 παρατηρείται ότι πρόκειται για κονίαμα λευκού και λίγο γκριζού χρώματος. Επίσης, το δείγμα περιέχει σποραδικά αδρανή μεσαίου μεγέθους σε μαύρο, λευκό, κόκκινο και μπλε χρώμα και μικρά και μεσαία κομμάτια κεραμικών σε μικρότερη ποσότητα. Ακόμη, το κονίαμα εμφανίζει αρκετά και λίγο μεγαλύτερα σωματίδια κάρβουνου. Παρατηρείται ότι στο δείγμα υπάρχει αρκετή ποσότητα μικρών και μεγάλων συσσωματωμάτων κονίας και αρκετή ποσότητα οπών. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

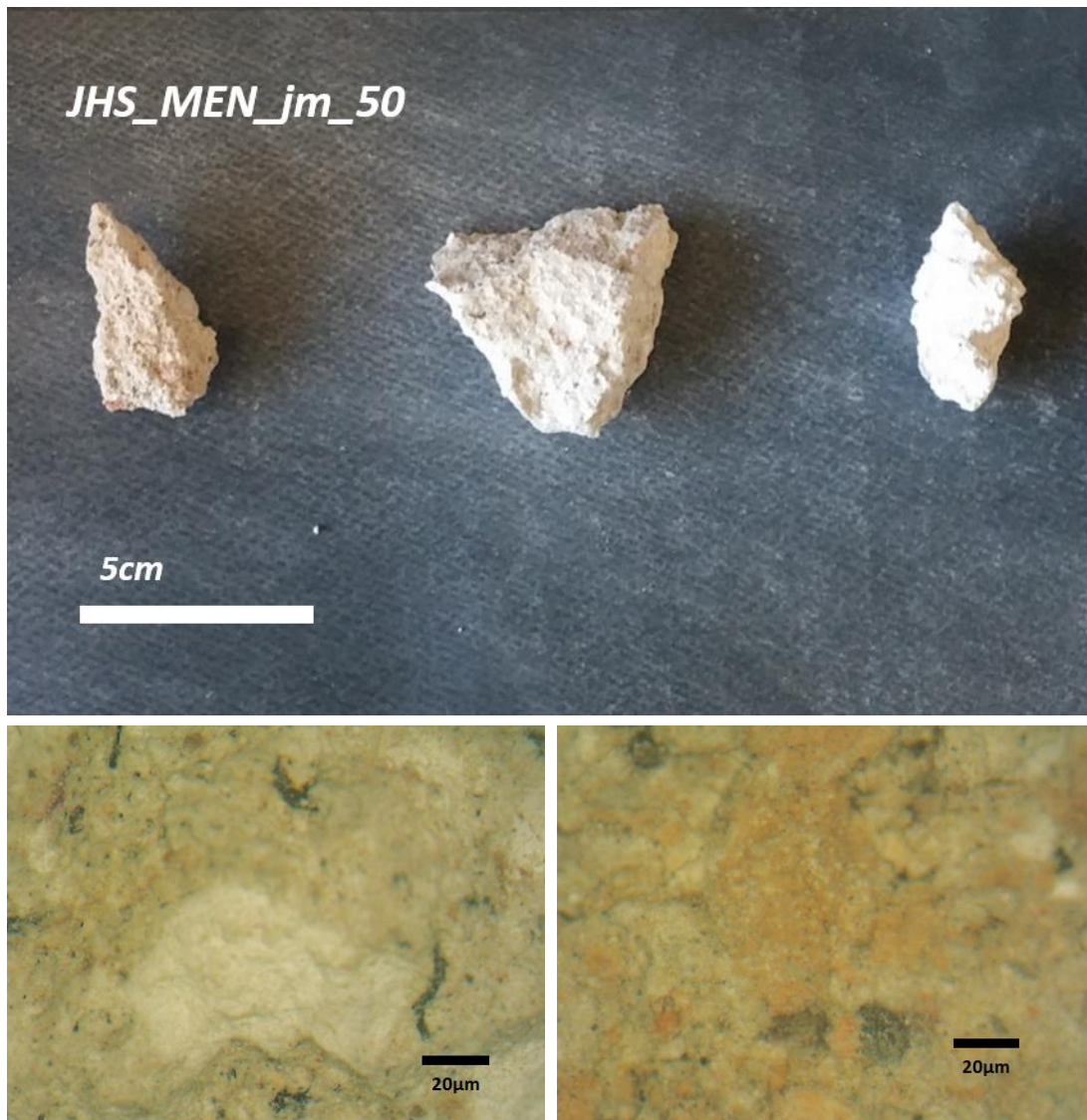
JHS_MEN_fm_200



Εικόνα 33 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MEN_fm_200

Μετά την φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MEN_fm_200 παρατηρείται ότι πρόκειται για κονίαμα λευκού χρώματος. Στο δείγμα παρατηρείται ότι περιέχονται αδρανή σε διάφορα χρώματα με λιγότερο να εμφανίζεται το μαύρο χρώμα και πολύ μικρή ποσότητα σωματιδίων κάρβουνου. Αντιθέτως, το κονίαμα έχει αρκετά μεγάλα συσσωματώματα κονιάς. Τα κομμάτια κεραμικών που υπάρχουν στο δείγμα είναι μεγάλα και μεσαίου μεγέθους και εμφανίζονται αραιά μέσα στο δείγμα. Τέλος, το κονίαμα δεν παρουσιάζει πολλές οπές. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι εύθρυπτο συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

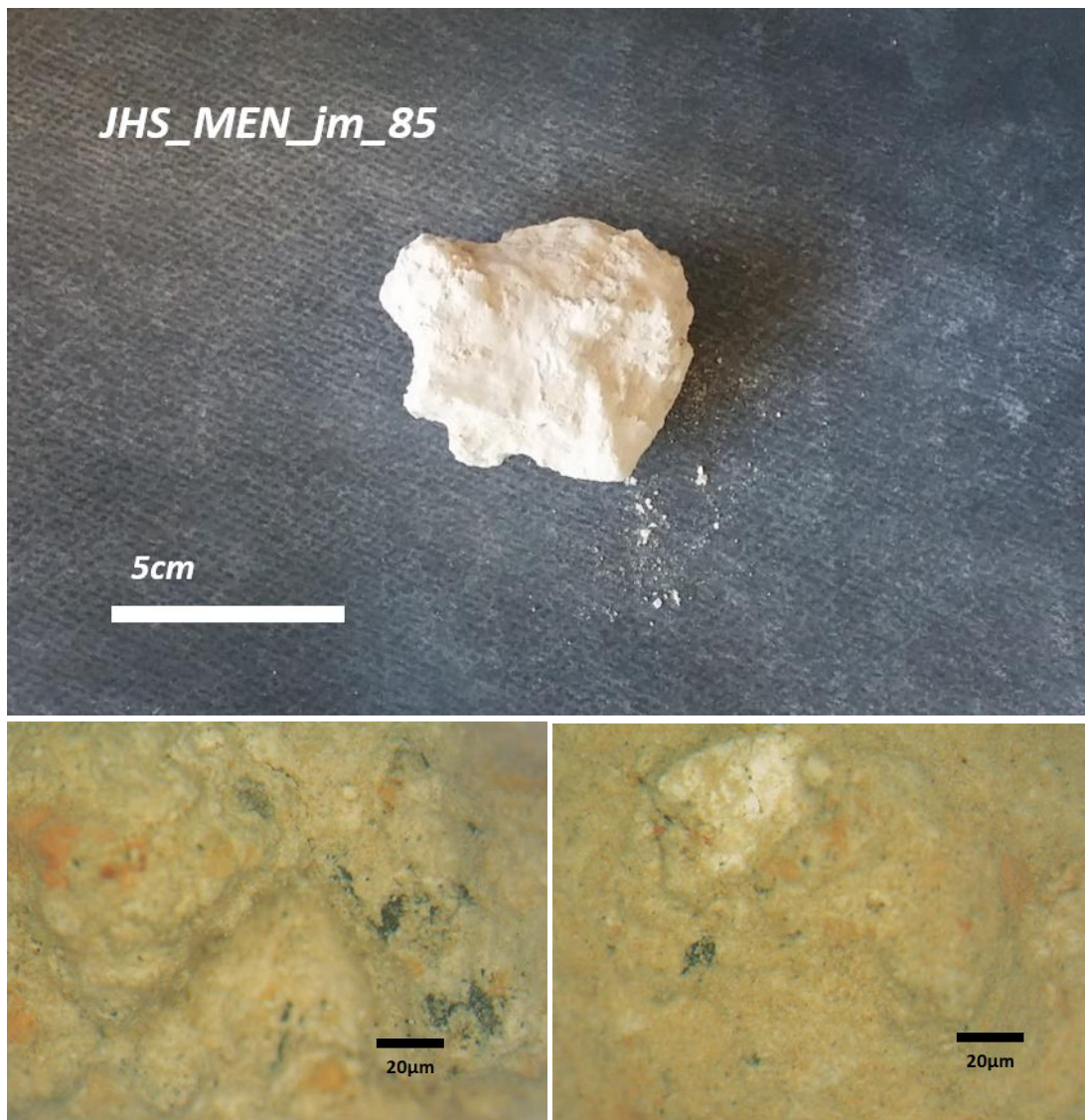
JHS_MEN_jm_50



Εικόνα 34 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MEN_jm_50

Μετά την φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MEN_jm_50 παρατηρείται ότι πρόκειται για κονίαμα λευκού προς γκρίζου χρώματος. Επιπρόσθετα, το δείγμα περιέχει σποραδικά αδρανή μικρού και μεσαίου μεγέθους σε διάφορα χρώματα με το πιο συχνό να είναι το μαύρο και μια μικρότερη σχετικά ποσότητα σωματιδίων κάρβουνου. Ακόμη, στη μάζα του δείγματος εμφανίζονται και κομμάτια κεραμικών σε διάφορα μεγέθη, τα οποία είναι λιγότερη σε ποσότητα. Το κονίαμα περιέχει μεγάλα και μικρά συσσωματώματα κονίας σε αρκετή ποσότητα. Τέλος, το δείγμα δεν έχει πολλές οπές, αλλά εμφανίζει μια μικρή γκρίζα επιφάνεια. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

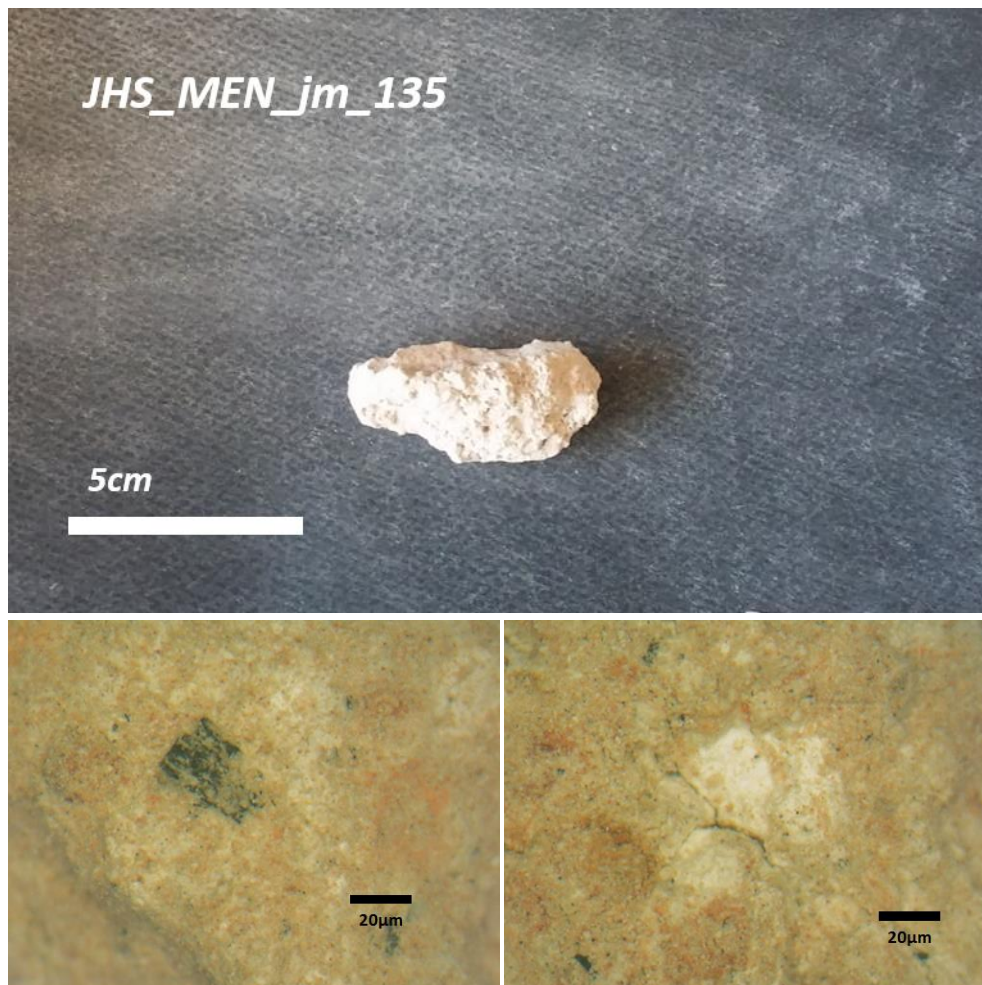
JHS_MEN_jm_85



Εικόνα 35 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MEN_jm_85

Μετά την φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MEN_jm_85 παρατηρείται ότι πρόκειται για κονίαμα λευκού προς μπεζ χρώματος. Το δείγμα περιέχει αραιά αδρανή σε διάφορα μεγέθη και διάφορα χρώματα, κυρίως μπεζ. Ακόμη, στο κονίαμα υπάρχει λίγο λιγότερη ποσότητα σωματιδίων κάρβουνου. Επίσης, παρατηρούνται στο δείγμα αρκετά μεγάλα και λιγότερα μικρά κομμάτια κεραμικών, όπως επίσης και μεσαία συσσωματώματα κονίας. Επίσης, το δείγμα εμφανίζει αρκετά λίγες οπές. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

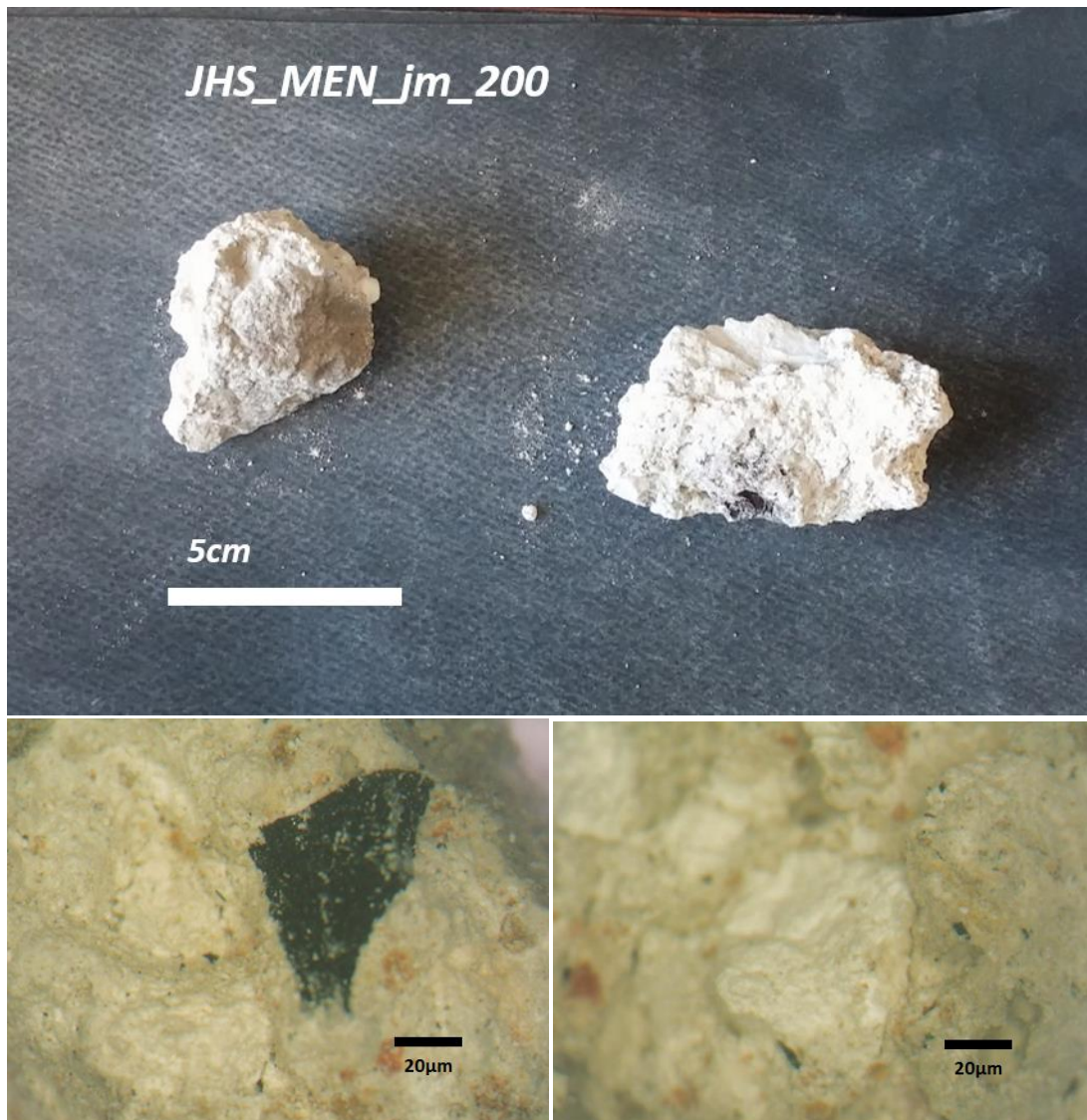
JHS_MEN_jm_135



Εικόνα 36 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MEN_jm_135

Μετά την φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MEN_jm_135 παρατηρείται ότι πρόκειται για κονίαμα μπεζ προς ερυθρού χρώματος. Το δείγμα περιέχει λίγα αδρανή μικρού μεγέθους κυρίως μαύρα και σχεδόν καθόλου σωματίδια κάρβουνου. Επιπλέον, το δείγμα περιέχει μία μεγάλη ποσότητα κεραμικών σε διάφορα μεγέθη και πιο συγκεκριμένα εμφανίζονται πολλά κομμάτια κεραμικών μικρού μεγέθους. Ακόμη, παρατηρούνται στο δείγμα διάφορα μεγέθη συσσωματωμάτων κονίας σε ποσότητα λιγότερη των κεραμικών. Επίσης, το δείγμα δεν εμφανίζει πολλές οπές. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι πολύ εύθρυπτο συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

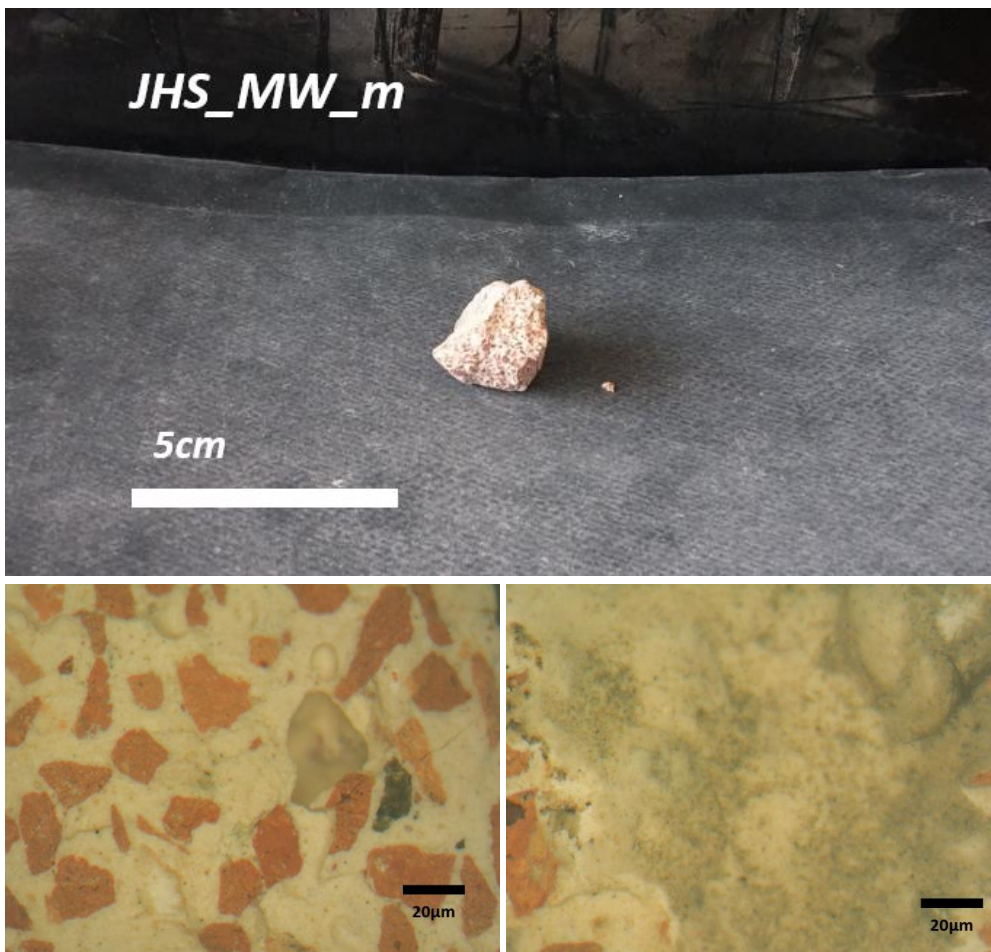
JHS_MEN_jm_200



Εικόνα 37 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MEN_jm_200

Μετά την φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MEN_jm_200 παρατηρείται ότι πρόκειται για κονίαμα γκρίζου χρώματος. Ακόμη, το δείγμα περιέχει λίγη ποσότητα μεγάλων αδρανών σε διάφορα χρώματα εκ των οποίων κάποια πρέπει να είναι και λίθος slayeb. Επιπρόσθετα, παρατηρείται στο δείγμα αρκετή ποσότητα συσσωματωμάτων κονίας σε διάφορα μεγέθη. Στο δείγμα παρατηρείται μεγάλη ποσότητα σωματιδίων κάρβουνου. Επιπλέον, το δείγμα περιέχει και λίγα κομμάτια κεραμικών. Ακόμη, το κονίαμα έχει αρκετές οπές και εμφανίζει μια γκρίζα επιφάνεια. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

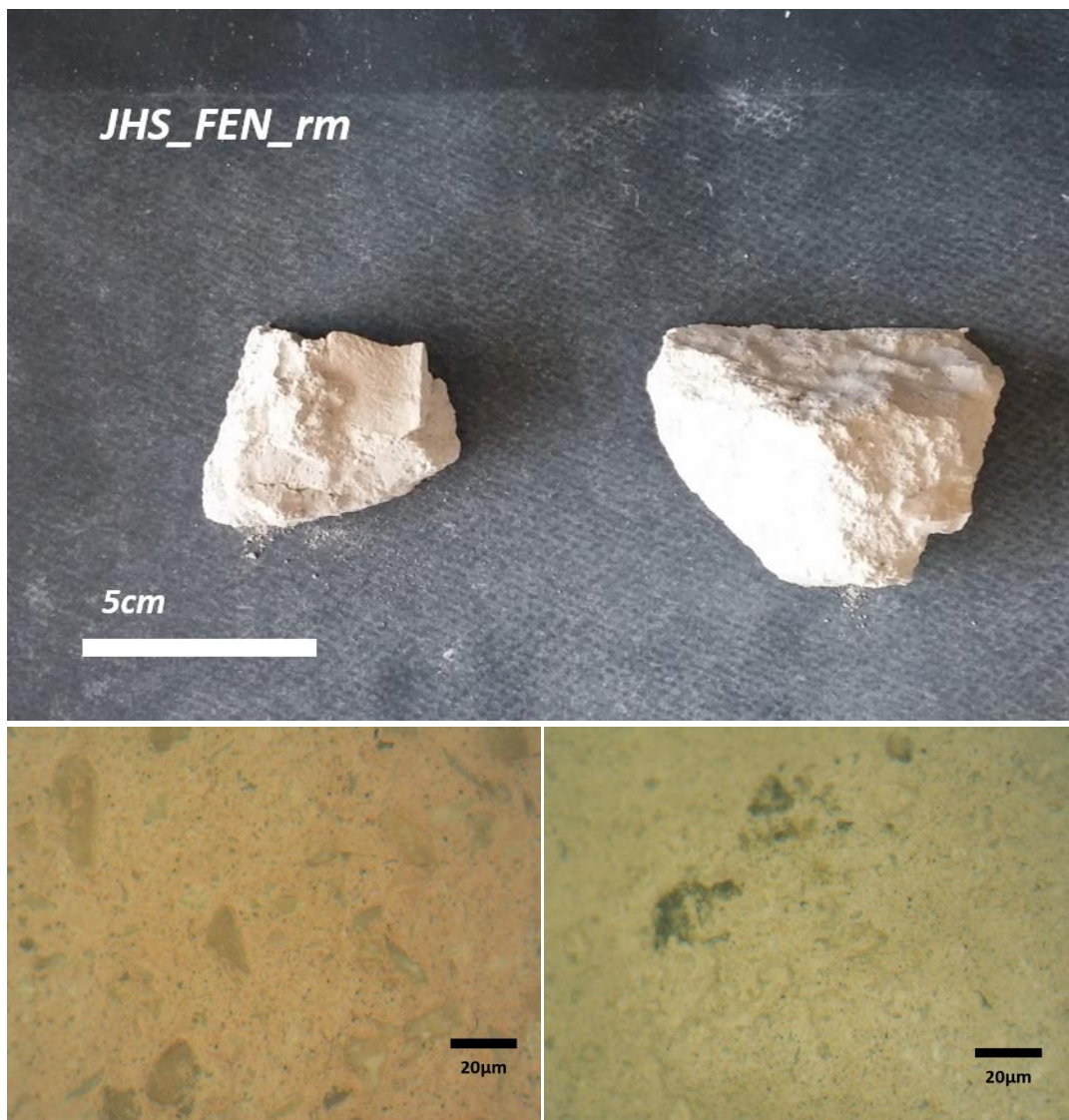
JHS_MW_m



Εικόνα 38 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MW_m

Μετά την φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_MW_m παρατηρείται ότι πρόκειται για κονίαμα λευκού και ερυθρού χρώματος. Το βασικό χαρακτηριστικό που παρατηρείται στο κονίαμα είναι η μεγάλη ποσότητα σε μεγάλα κομμάτια κεραμικών. Ακόμη, εμφανίζονται πάρα πολύ λίγα φυσικά αδρανή. Υπάρχει μια περιοχή στο δείγμα η οποία εμφανίζει έλλειψη κεραμικών και ίσως μια μικρή επιφάνεια φθοράς. Δεν εμφανίζεται να υπάρχουν συσσωματώματα κονίας. Ακόμη, στη μάζα του κονιάματος εμφανίζονται πολύ λίγες σπές. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι εξαιρετικά συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

JHS_FEN_rm



Εικόνα 39 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_FEN_rm

Μετά την φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση του δείγματος JHS_FEN_rm παρατηρείται ότι πρόκειται για κονίαμα γκριζου χρώματος το οποίο έχει μια ερυθρή επιφάνεια πιθανώς λόγω κάποιας επίστρωσης χρώματος. Ακόμη, το κονίαμα περιέχει αρκετά αδρανή σε διάφορα μεγέθη. Επιπλέον, παρουσιάζονται κάποιοι σωματίδια κάρβουνου, αλλά είναι λίγοι σε ποσότητα. Το δείγμα δεν περιέχει καθόλου κεραμικά κομμάτια και συσσωματώματα κονίας. Τέλος, το δείγμα εμφανίζει πάρα πολύ μικρή ποσότητα οπών και ρωγμών. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται ότι είναι εξαιρετικά συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Παρακάτω ακολουθεί πίνακας που αναφέρει τα δείγματα με εμφανή ποσότητα σωματιδίων κάρβουνου, κομμάτια κεραμικών και συσσωματώματα κονίας αντιστοίχως.

Πίνακας 3 Έντονα χαρακτηριστικά των δειγμάτων.

Σωματίδια Κάρβουνου	Παρουσία Κεραμικών	Συσσωματώματα Κονιάς
JHS_MW_jm_200	JHS_MW_fm_85	JHS_MW_fm_50
JHS_MES_fm_135	JHS_MW_jm_50	JHS_MW_fm_85
JHS_MES_jm_85	JHS_MW_jm_135	JHS_MW_fm_200
JHS_MES_jm_200	JHS_MES_fm_50	JHS_MW_fm_280
JHS_MEN_fm_85	JHS_MEN_fm_85	JHS_MES_fm_135
JHS_MEN_fm_135	JHS_MEN_jm_85	JHS_MES_fm_200
JHS_MEN_jm_200	JHS_MEN_jm_135	JHS_MES_jm_50
	JHS_MW_m	JHS_MES_jm_85
		JHS_MES_jm_200
		JHS_MEN_fm_50
		JHS_MEN_fm_135
		JHS_MEN_fm_200
		JHS_MEN_jm_50
		JHS_MEN_jm_200

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται αντιληπτό ότι τα περισσότερα δείγματα εμφανίζουν συσσωματώματα κονιάς (ή αδρανή γύψου) και σε όλες τις όψεις του μνημείου. Κυρίως παρατηρείται ότι τα συσσωματώματα κονιάς εμφανίζονται στα κονιάματα γεμίματος, παρά στα κονιάματα αρμού, εκτός από δύο κονιάματα αρμού του νοτιοανατολικού φατνώματος. Συγκριτικά εμφανίζονται αρκετά λιγότερα δείγματα κομμάτια κεραμικών. Παρατηρείται ότι υπάρχει μια μικρή πλειονότητα στα κονιάματα αρμού που περιέχουν κομμάτια κεραμικών σε σχέση με τα κονιάματα γεμίματος. Το ίδιο εμφανίζεται και στα κονιάματα που περιέχουν αρκετή ποσότητα σωματιδίων κάρβουνου.

4.2 Κοκκομετρική Ανάλυση

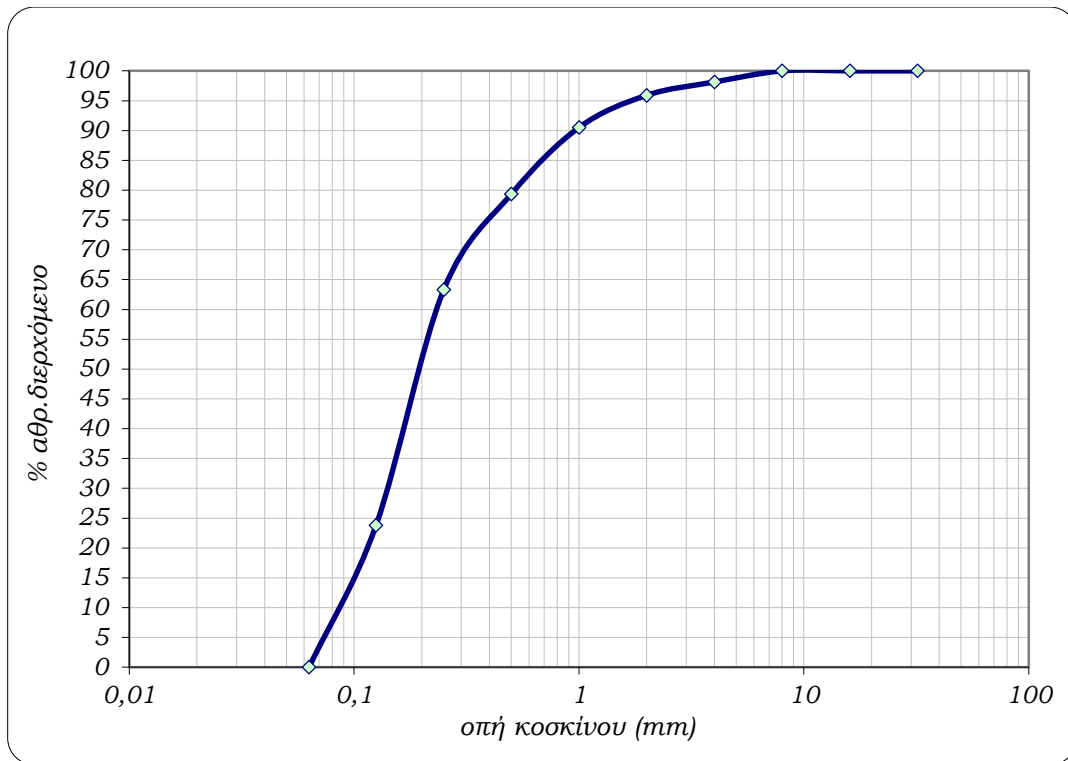
4.2.1. Αποτελέσματα Κοκκομετρικής Ανάλυσης

Η κοκκομετρική ανάλυση έγινε σε δύο δείγματα τα JHS_MW_fm_50 και JHS_MW_jm_50, τα αποτελέσματα των οποίων εμφανίζονται παρακάτω:

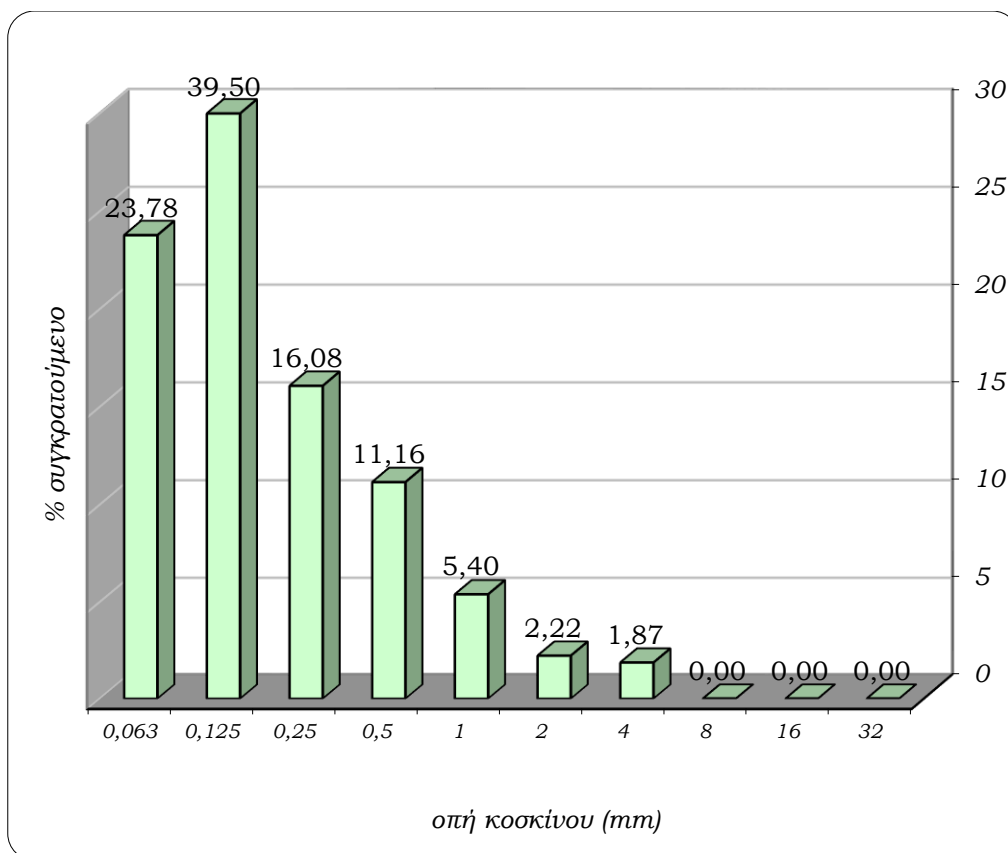
Για το δείγμα JHS_MW_fm_50:

Πίνακας 4 Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης δείγματος JHS_MW_fm_50

Gradation Curve δείγματος JHS_MW_fm_50 (ASTM)				
Μάζα αρχική (g)	73,33			
<i>οπή κοσκίνου (mm)</i>	<i>συγκρατούμενη ποσότητα</i>	<i>% συγκρατούμενο</i>	<i>% αθροιστικά συγκρατούμενο</i>	<i>% αθροιστικά διερχόμενο</i>
32	0	0,00	0,00	100,00
16	0	0,00	0,00	100,00
8	0	0,00	0,00	100,00
4	0,47	1,87	1,87	98,13
2	0,56	2,22	4,09	95,91
1	1,36	5,40	9,49	90,51
0,5	2,81	11,16	20,64	79,36
0,25	4,05	16,08	36,72	63,28
0,125	9,95	39,50	76,22	23,78
0,063	5,99	23,78	100,00	0,00
<0,063	44,58	63,90		
Σύνολο	69,77			
Συνολικά αδρανή	25,19	<i>κονία (g)</i>	48,14	
απώλειες (g)	3,56	<i>κονία (%)</i>	65,65	
απώλειες (%)	4,85	<5%		



Διάγραμμα 1 Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος JHS_MW_fm_50.



Διάγραμμα 2 Ιστόγραμμα κατανομής κόκκων δείγματος JHS_MW_fm_50.

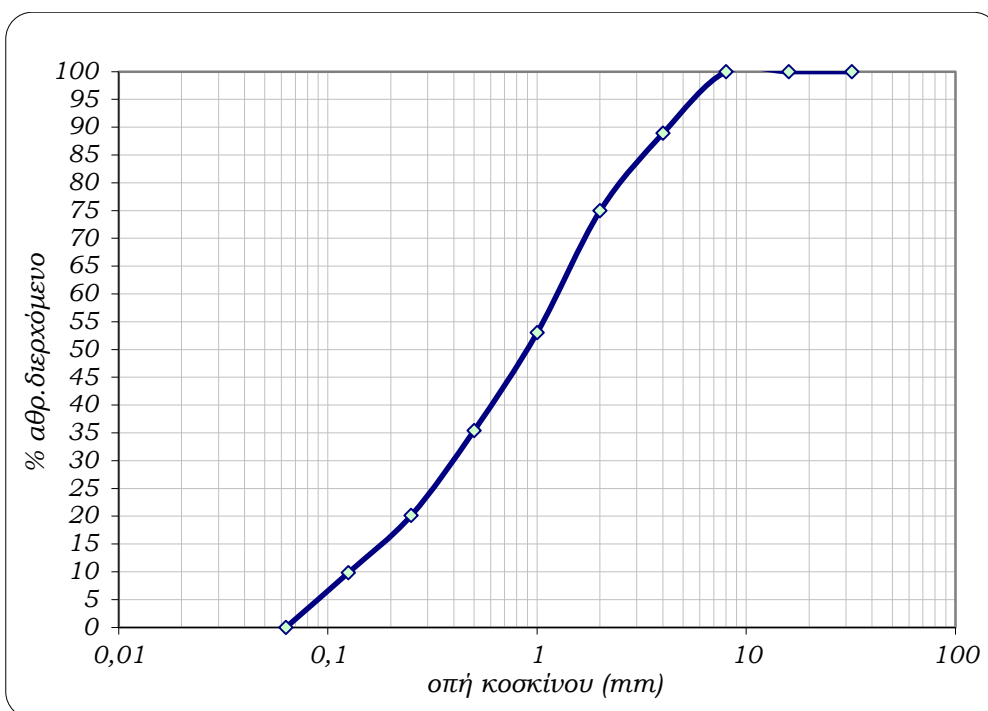
Πίνακας 5 Κρίσιμοι δείκτες δείγματος JHS_MW_fm_50.

MEDIA	6,304
MEDIANA	0,20
MODA	0,125
Dmax(cm)	1,30
Q3	0,40
Q1	0,13
So	3,08
D30	0,15
D60	0,20
D10	0,09
Cu	2,22
Cc	1,25
σ	3,30
Binder/Aggr	2:1

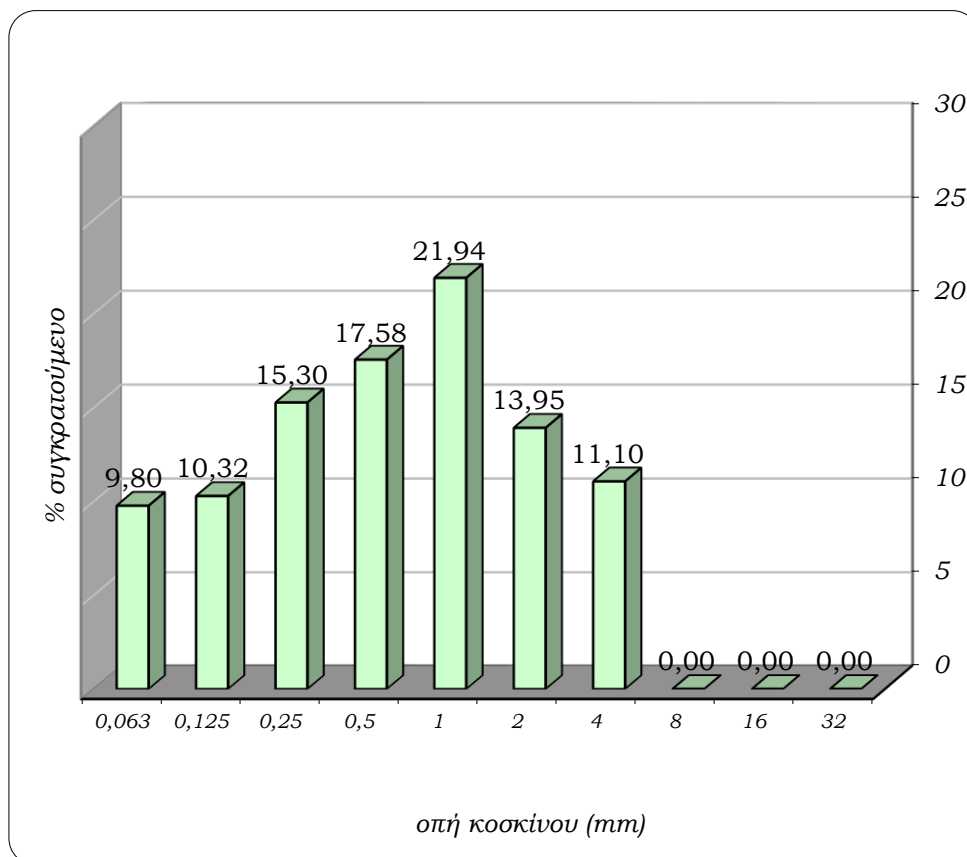
Για το δείγμα JHS_MW_fm_50:

Πίνακας 6 Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης δείγματος JHS_MW_fm_50

Gradation Curve δείγματος JHS_MW_fm_50 (ASTM)				
Μάζα αρχική (g)	47,65			
<i>οπή κοσκίνου (mm)</i>	<i>συγκρατούμενη ποσότητα</i>	<i>% συγκρατούμενο</i>	<i>% αθροιστικά συγκρατούμενο</i>	<i>% αθροιστικά διερχόμενο</i>
32	0	0,00	0,00	100,00
16	0	0,00	0,00	100,00
8	0	0,00	0,00	100,00
4	2,14	11,10	11,10	88,90
2	2,69	13,95	25,05	74,95
1	4,23	21,94	46,99	53,01
0,5	3,39	17,58	64,57	35,43
0,25	2,95	15,30	79,88	20,12
0,125	1,99	10,32	90,20	9,80
0,063	1,89	9,80	100,00	0,00
<0,063	25,99	57,41		
Σύνολο	45,27			
Συνολικά αδρανή	19,28	<i>κονία (g)</i>	28,37	
απώλειες (g)	2,38	<i>κονία (%)</i>	59,54	
απώλειες (%)	4,99	<5%		



Διάγραμμα 3 Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος JHS_MW_jm_50



Διάγραμμα 4 Ιστόγραμμα κατανομής κόκκων δείγματος JHS_MW_jm_50.

Πίνακας 7 Κρίσιμοι δείκτες δείγματος JHS_MW_fm_50.

MEDIA	2,98
MEDIANA	0,90
MODA	1,00
Dmax(cm)	1,1
Q3	2,00
Q1	0,32
So	6,25
D30	0.4
D60	1,40
D10	0,13
Cu	10,77
Cc	0,88
σ	0,83
Binder/Aggr	3:2

4.2.2. Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Κοκκομετρικής Ανάλυσης

Στη συνέχεια, ακολουθεί ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων της κοκκομετρικής ανάλυσης.

Στην κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος JHS_MW_fm_50 μπορεί να διαπιστωθεί ότι δεν εμφανίζεται σιγμοειδή καμπύλη, όπως εμφανίζεται στα περισσότερα κονιάματα. Αντιθέτως το δείγμα JHS_MW_fm_50 παρατηρείται να προσεγγίζει περισσότερο τη σιγμοειδή μορφή. Στο διάγραμμα του JHS_MW_fm_50 παρατηρείται αρχικά μία έντονη κλίση της καμπύλης που οδηγεί σε έντονη αλλαγή καμπυλότητας. Μετά τα 3mm είναι εμφανείς η ομαλή μείωση της κλίσης της καμπύλης. Αντιθέτως, στη κοκκομετρική καμπύλη του JHS_MW_fm_50 παρατηρείται λιγότερο απότομη κλίση στην αρχή της καμπύλης από αυτή του JHS_MW_fm_50, παρ'όλ'αυτά μπορεί να χαρακτηριστεί και αυτή ως απότομη. Στη συνέχεια, η καμπύλη έχει σχεδόν ευθεία δομή και στο τέλος της καμπύλης παρατηρείται απότομη αλλαγή της κλίσης προς οριζόντια διεύθυνση.

Το μεγαλύτερο αδρανές που εμφανίζεται στο δείγμα JHS_MW_fm_50 έχει μεγαλύτερες διαστάσεις από αυτό του JHS_MW_fm_50.

Τα αδρανή του JHS_MW_fm_50 εμφανίζεται να έχουν διάφορα χρώματα. Πιο συγκεκριμένα, στα πιο μεγάλα κλάσματα, πάνω από 500 μ m φαίνεται να υπάρχει αρκετή ποσότητα μαύρων, κόκκινων, μπεζ και λευκών αδρανών. Το μεγαλύτερο αδρανές είναι λευκού χρώματος. Στα κλάσματα όμως μικρότερου μεγέθους εμφανίζεται μία αύξηση στα αδρανή λευκού και μπεζ χρώματος, ενώ τα υπόλοιπα χρώματα μειώνονται. Η κονία του δείγματος φαίνεται να είναι λευκή. Αντιστοίχως, στο δείγμα JHS_MW_fm_50 εμφανίζεται μια παρόμοια ποικιλία χρωμάτων στα αδρανή με την διαφορά όμως ότι και στα πιο μικρά κλάσματα είναι αρκετή η ποσότητα των αδρανών γκριζου, μαύρου και κόκκινου χρώματος.

Ο λόγος κονιάς/αδρανή είναι και στα δύο δείγματα αρκετά υψηλός με το δείγμα JHS_MW_fm_50 να έχει τον υψηλότερο από τους δύο. Αυτό δηλώνει ότι το μεγαλύτερο μέρος των κονιαμάτων αποτελείται από κονία και όχι από αδρανή, ενώ συνήθως στα κονιάματα

συμβαίνει το αντίθετο. Αυτό μπορεί να είναι χαρακτηριστικό της εποχής αυτής, καθώς μπορεί να υπήρχαν οθωμανικές επιρροές, όπου τα κονιάματα παρουσίαζαν τέτοια μορφή.

Στο ιστόγραμμα των δύο δειγμάτων μπορεί να παρατηρηθεί ότι και τα δύο εμφανίζουν μόνο μια κορυφή, αλλά η κορυφή του JHS_MW_fm_50 βρίσκεται πιο αριστερά και πιο ψηλά από αυτή του JHS_MW_jm_50. Ακόμη, το δείγμα JHS_MW_jm_50 εμφανίζει μια πιο συμμετρική κατανομή κόκκων από το JHS_MW_fm_50, κάτι που θα εξεταστεί περαιτέρω με τα στατιστικά δεδομένα.

Ακόμη, το δείγμα JHS_MW_fm_50 κατέχει αρκετά μικρότερη τυπική απόκλιση από ότι το δείγμα JHS_MW_jm_50, που σημαίνει ότι τα αδρανή του 1^{ου} δείγματος είναι πιο κοντά σε μέγεθος από ότι του 2^{ου} ή αλλιώς το 2^ο δείγμα εμφανίζει μία μεγαλύτερη διαφοροποίηση όσον αφορά το μέγεθος των αδρανών του.

Οι κύριοι συντελεστές που μπορούν να μελετηθούν είναι αυτοί στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 8 Σύγκριση δεικτών κοκκομετρικής ανάλυσης.

	JHS_MW_fm_50	JHS_MW_jm_50
MEDIA	6,12	2,98
MEDIANA	0,20	0,90
MODA(mm)	0,125	1,00
Dmax(cm)	1,30	1,10
So	3,08	6,25
Cu	2,22	10,77
Cc	1,25	0,88
Binder/Aggr	2:1	3:2

Αρχικά, παρατηρείται το δείγμα JHS_MW_fm_50 έχει μικρότερη τιμή της MODA από το δείγμα JHS_MW_jm_50 που σημαίνει ότι το 1^ο δείγμα διαθέτει λεπτότερα αδρανή. Είναι λογικό το κονίαμα γεμίσματος να έχει αυτό το χαρακτηριστικό καθώς λειτουργεί σαν επίχρισμα.

Ομοίως, το δείγμα JHS_MW_fm_50 έχει μικρότερη τιμή της MEDIANA από ότι το JHS_MW_jm_50 αν και δεν έχουν την ίδια διαφορά που είχαν στην τιμή της MODA. Αυτό σημαίνει ότι το δείγμα JHS_MW_jm_50 έχει μετατόπιση προς πιο μεγάλους κόκκους.

Αντιθέτως, το δείγμα JHS_MW_fm_50 εμφανίζει μεγαλύτερη τιμή της MEDIA και είναι σχεδόν διπλάσια του άλλου δείγματος. Η MEDIA αντιπροσωπεύει την μέση τιμή της κατανομής των αδρανών.

Μπορούν και οι τρεις παράμετροι να χρησιμοποιηθούν μαζί για τον χαρακτηρισμό των κονιαμάτων αυτών. Πιο συγκεκριμένα, διάμεση (MEDIANA) και μέση τιμή (MEDIA) απέχουν τόσο πιο πολύ μεταξύ τους όσο πιο ασύμμετρη είναι η καμπύλη κατανομής. Γενικώς, η μέση τιμή μεταφέρεται προς την “ουρά” ενώ η διάμεση τιμή μένει πιο κοντά στην συχνότερη τιμή, κάτι που συμβαίνει και στα δύο δείγματα. Μόνο στην περίπτωση τέλει συμμετρίας οι τρεις παράμετροι συμπίπτουν. Στην περίπτωση αυτή η καμπύλη χαρακτηρίζεται ως κανονική κατανομή ή κατανομή Gauss. Στις συγκεκριμένες περιπτώσεις Διαπιστώνεται ότι αυτό δε

συμβαίνει σε καμία από τις δύο καμπύλες, αλλά παρατηρείται ότι οι παράμετροι του δείγματος JHS_MW_jm_50 έχουν πιο κοντινές τιμές μεταξύ τους. Συνεπώς η καμπύλη του μπορεί να χαρακτηριστεί ως πιο συμμετρική από του JHS_MW_fm_50, κάτι που παρατηρήθηκε και παραπάνω.

Στη συνέχεια, το δείγμα JHS_MW_fm_50 παρουσιάζει μικρότερο δείκτη ταξινόμησης (So) ο οποίος μάλιστα βρίσκεται μέσα στο διάστημα {2.5-4.5} που σημαίνει ότι τα αδρανή είναι κανονικά ταξινομημένα. Σε αντίθεση, το δείγμα JHS_MW_jm_50 που έχει δείκτη ταξινόμησης (So) μεγαλύτερο του 4,5 σημαίνει ότι έχει αδρανή που είναι κακώς ταξινομημένα.

Ακόμη, το δείγμα JHS_MW_fm_50 εμφανίζει μικρότερο συντελεστή ομοιομορφίας (Cu) και πιο συγκεκριμένα μικρότερο της τιμής 4 που σημαίνει ότι τα αδρανή του συγκεκριμένου δείγματος δεν είναι καλώς κοκκοδιαβαθμισμένα. Σε αντίθεση, το δείγμα JHS_MW_jm_50 εμφανίζει πολύ μεγαλύτερο συντελεστή ομοιομορφίας που σημαίνει ότι τα αδρανή του συγκεκριμένου δείγματος είναι καλώς κοκκοδιαβαθμισμένα.

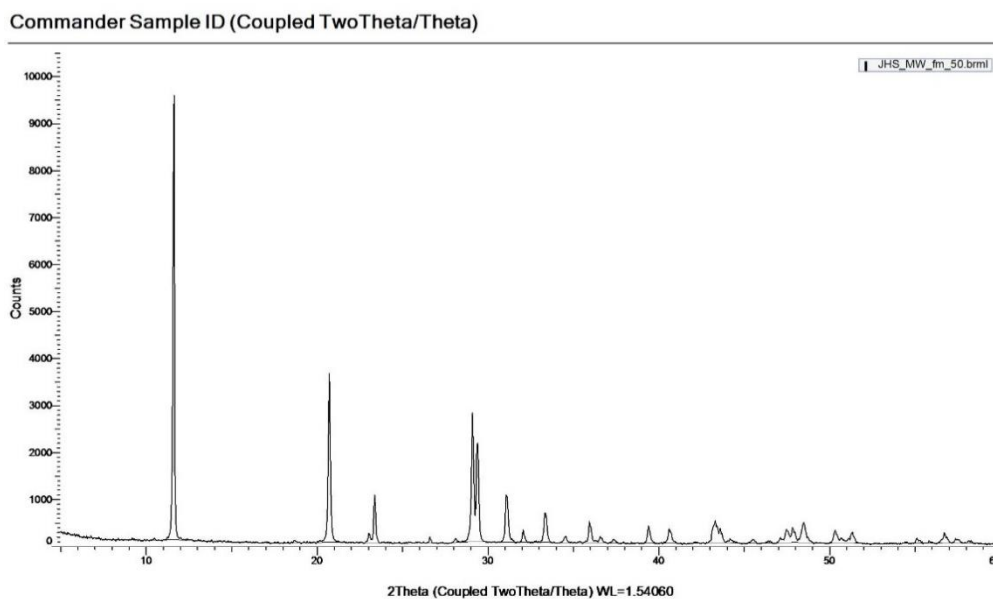
Τέλος, το δείγμα JHS_MW_fm_50 εμφανίζει υψηλότερο συντελεστή καμπυλότητας (Cc). Σε αντίθεση, το δείγμα JHS_MW_jm_50 εμφανίζει λίγο μικρότερο συντελεστή καμπυλότητας.

4.3 Αποτελέσματα Ορυκτολογικής Ανάλυση με Περίθλαση Ακτίνων Χ (XRD)

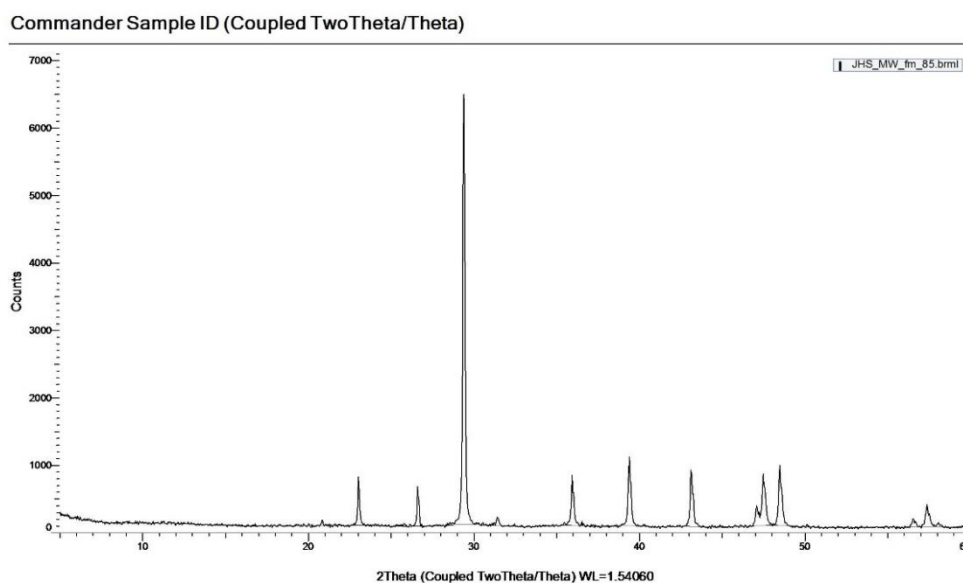
Η διαδικασία Ορυκτολογικής Ανάλυση με Περίθλαση Ακτίνων Χ έγινε για όλα τα δείγματα, όπως επίσης και για κάθε κλάσμα που προέκυψε από τον φυσικό διαχωρισμό μέσω κοκκομετρικής διαβάθμισης που έγινε σε δύο δείγματα.

4.3.1. Γωνιογράμματα των κονιαμάτων

Παρακάτω εμφανίζονται τα γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων Χ που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία για κάθε δείγμα.

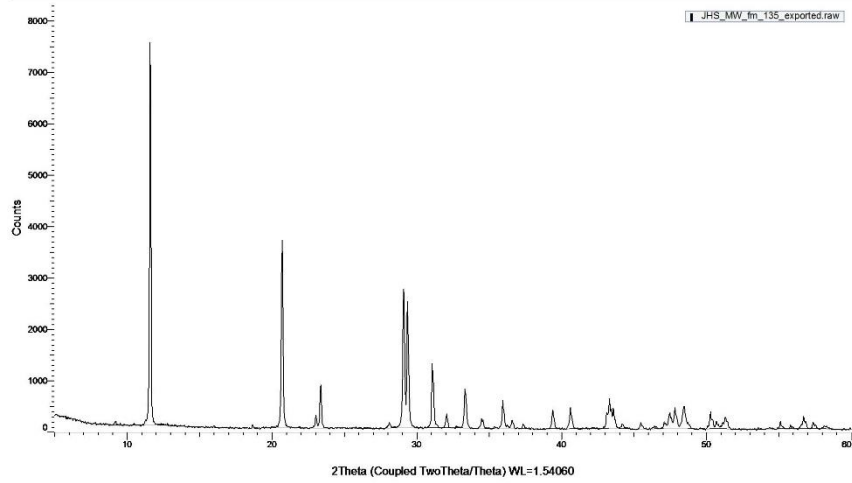


Διάγραμμα 5 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_fm_50



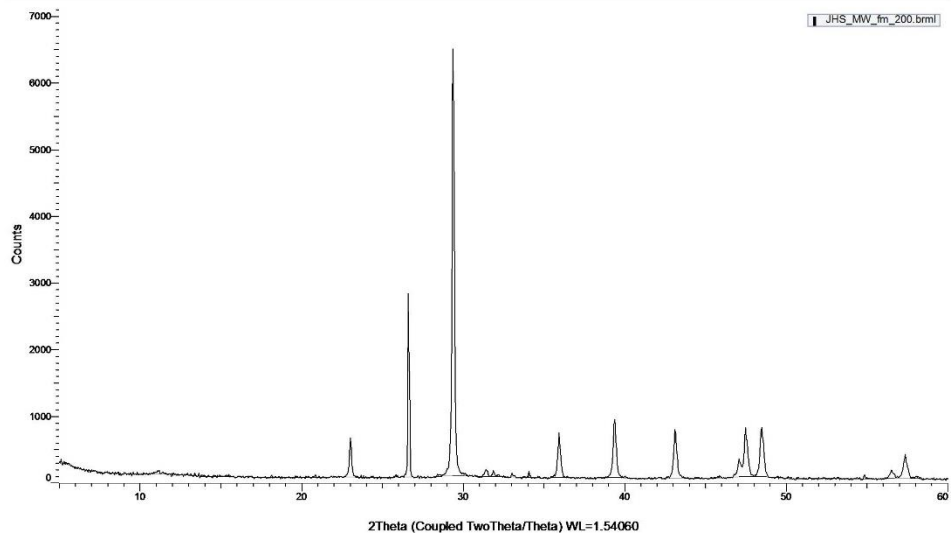
Διάγραμμα 6 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_fm_85

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



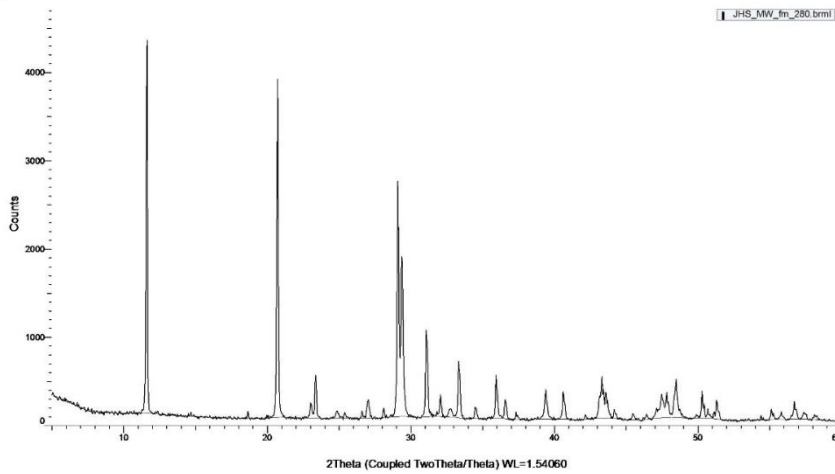
Διάγραμμα 7 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_fm_135

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



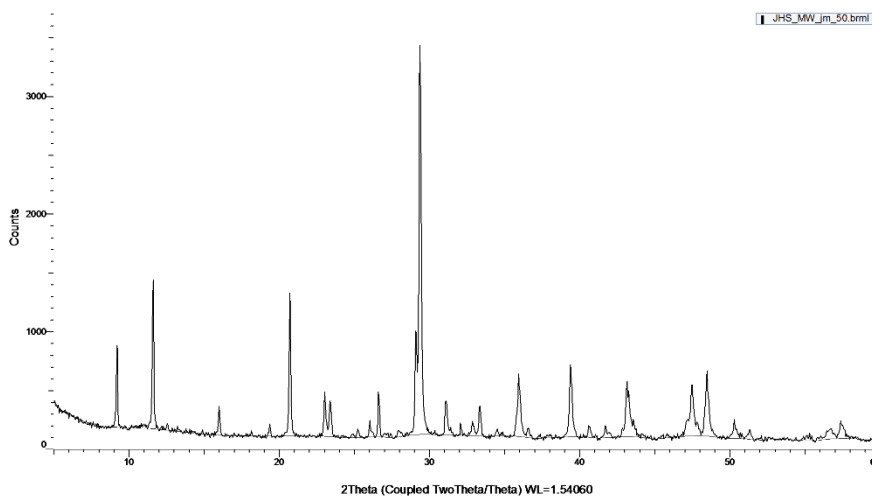
Διάγραμμα 8 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_fm_200

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



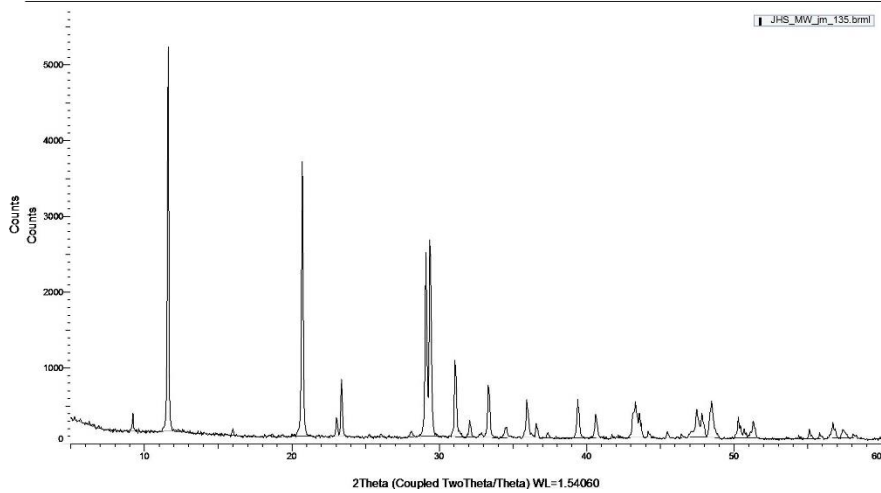
Διάγραμμα 9 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_fm_280

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



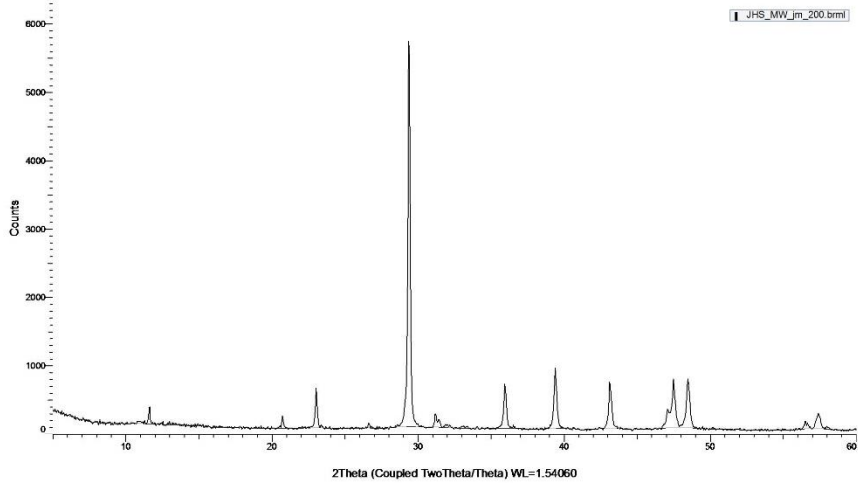
Διάγραμμα 10 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_fm_50

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)
— Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



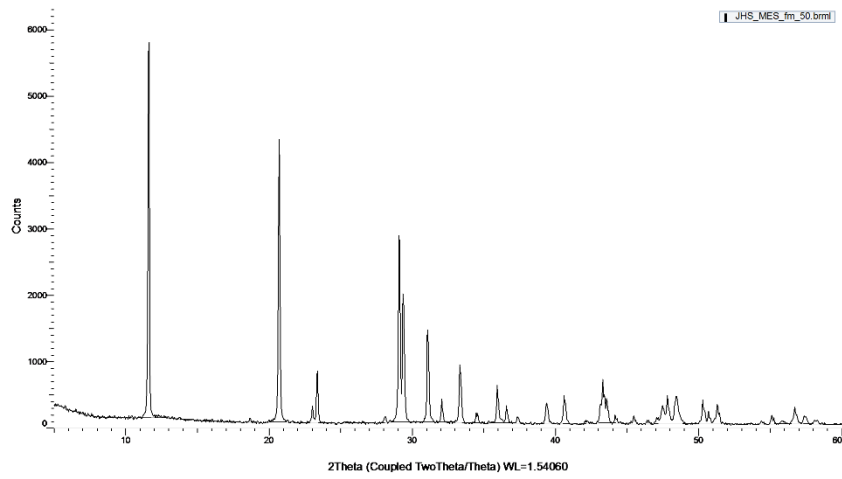
Διάγραμμα 12 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_fm_135

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



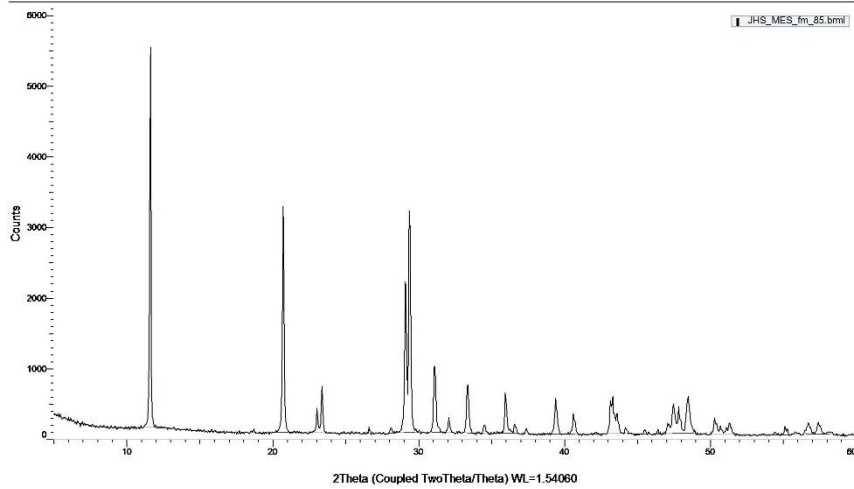
Διάγραμμα 13 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_fm_200

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



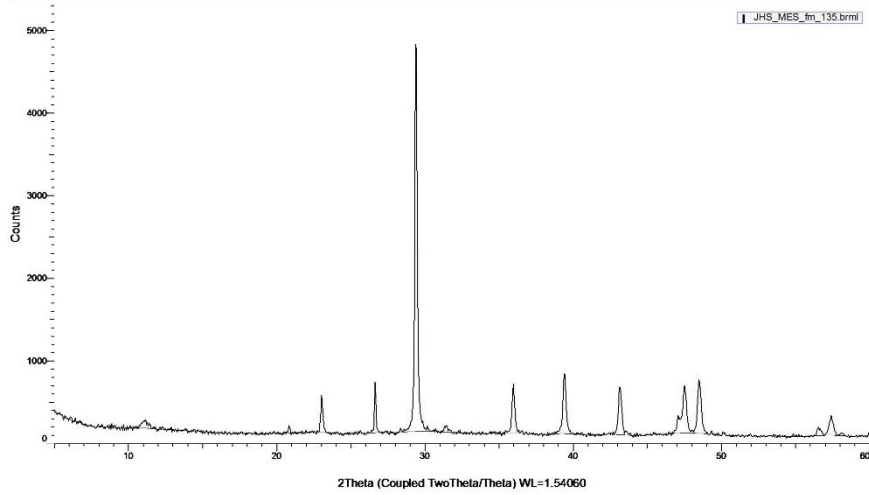
Διάγραμμα 14 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MES_fm_50

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

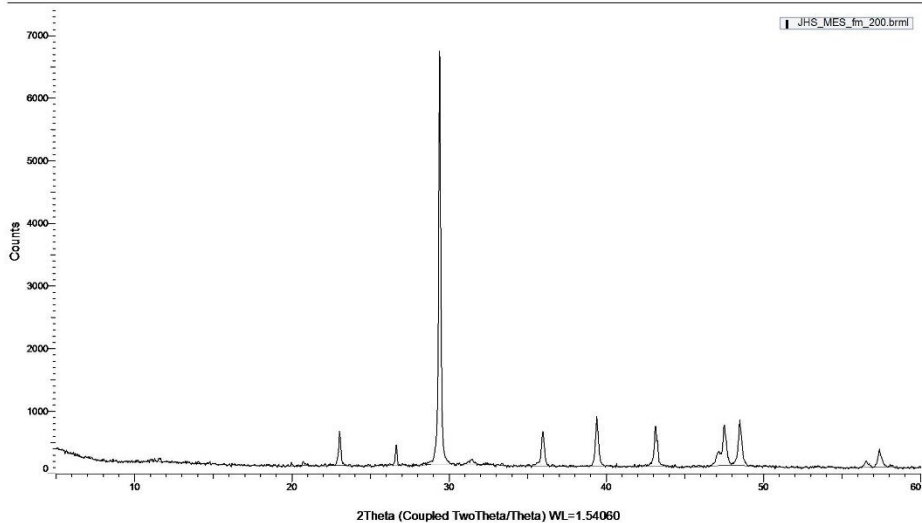


Διάγραμμα 15 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MES_fm_85

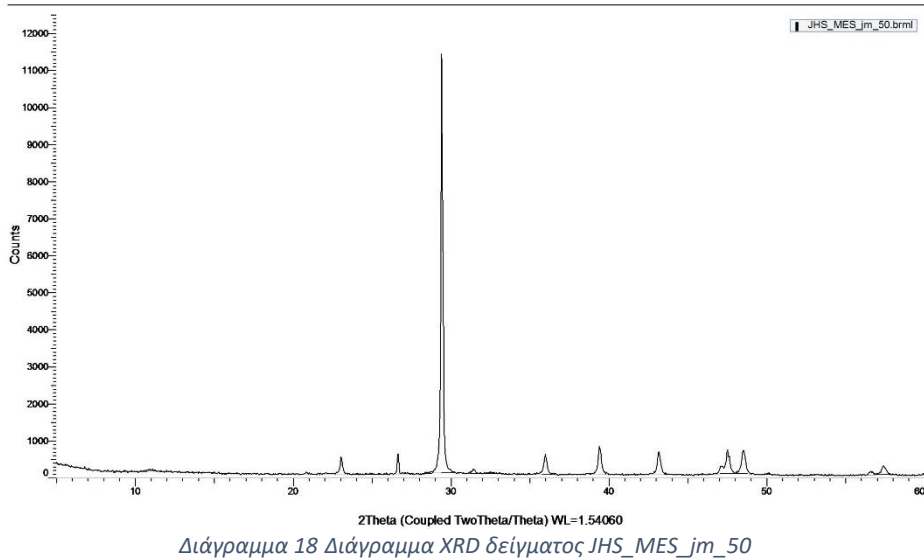
Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



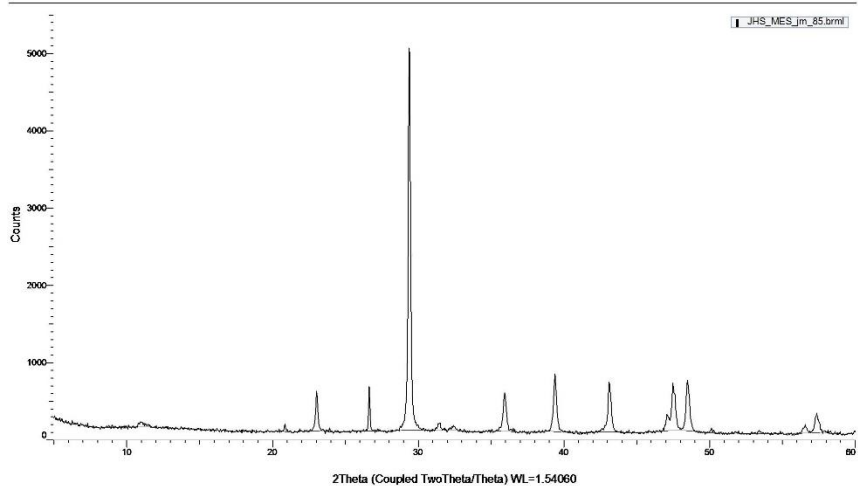
Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

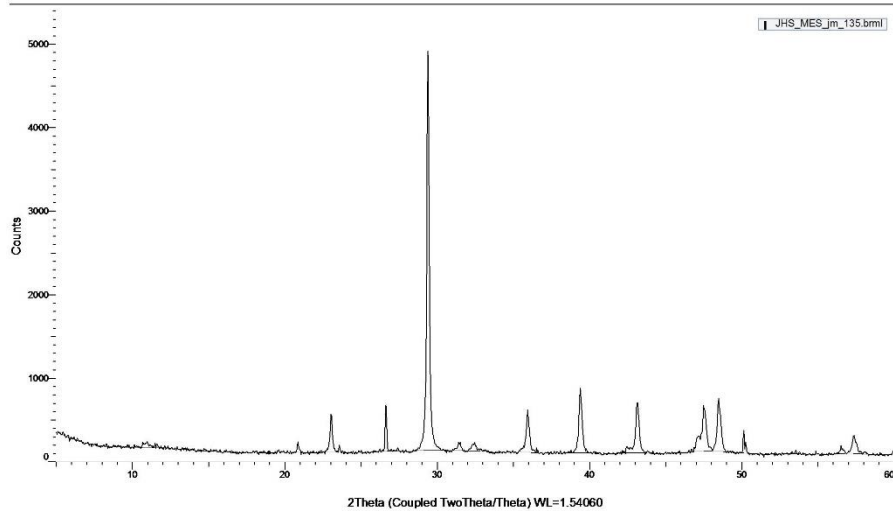


Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



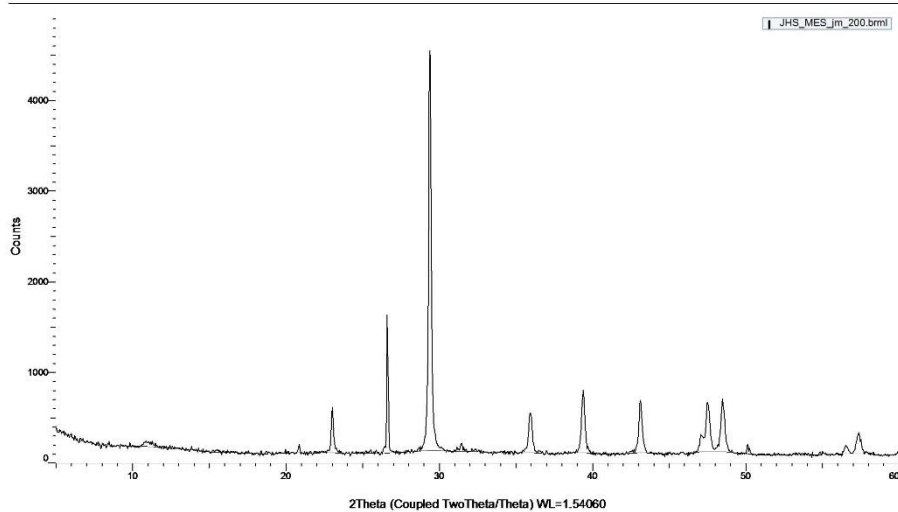
Διάγραμμα 19 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MES_fm_85

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



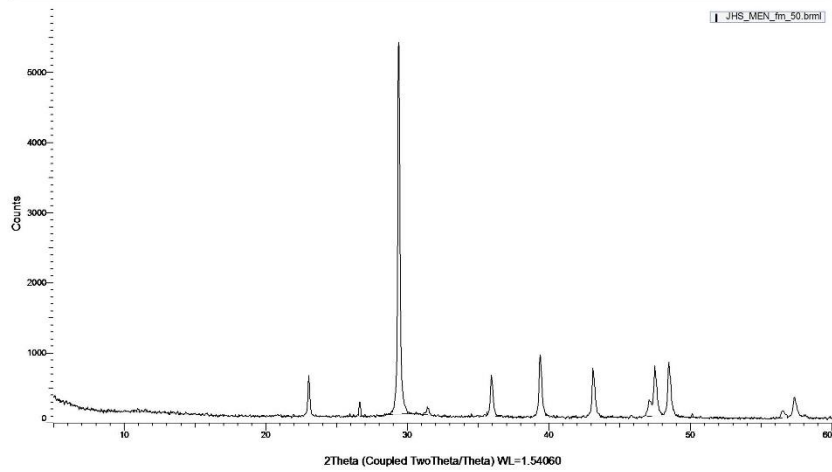
Διάγραμμα 20 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MES_fm_135

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



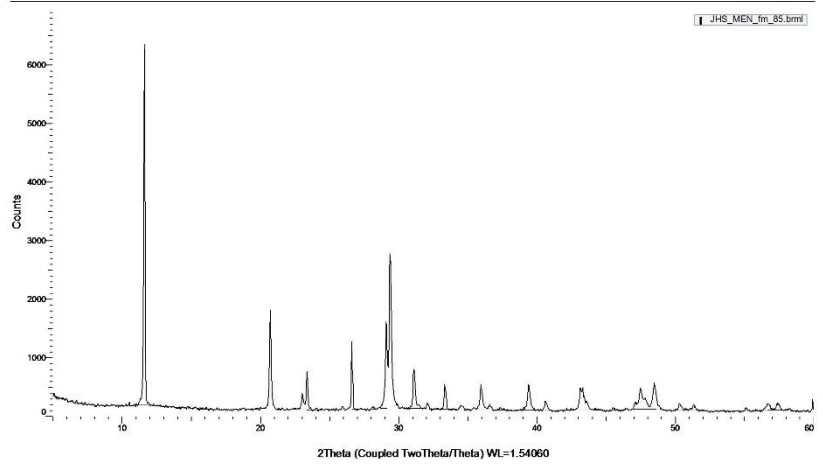
Διάγραμμα 21 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MES_fm_200

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



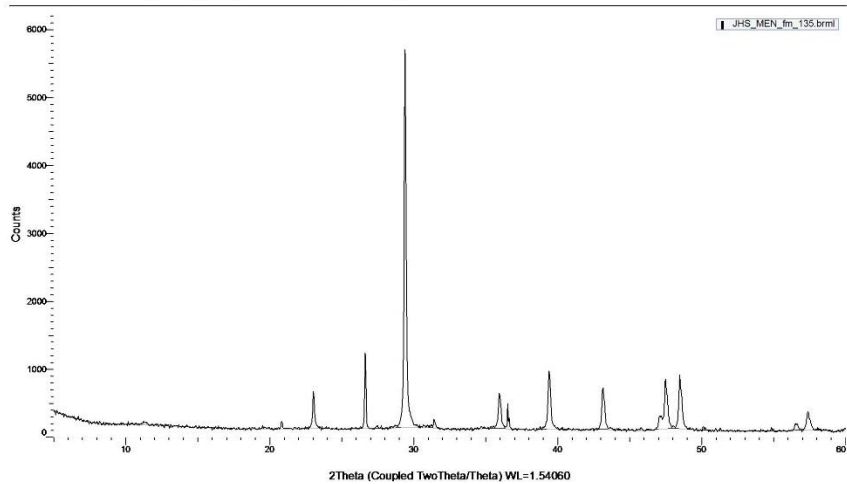
Διάγραμμα 22 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MEN_fm_50

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



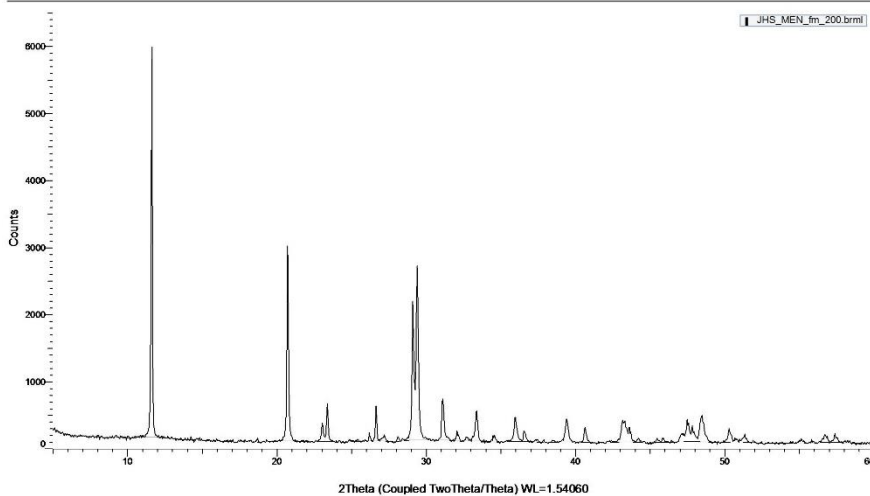
Διάγραμμα 23 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MEN_fm_85

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



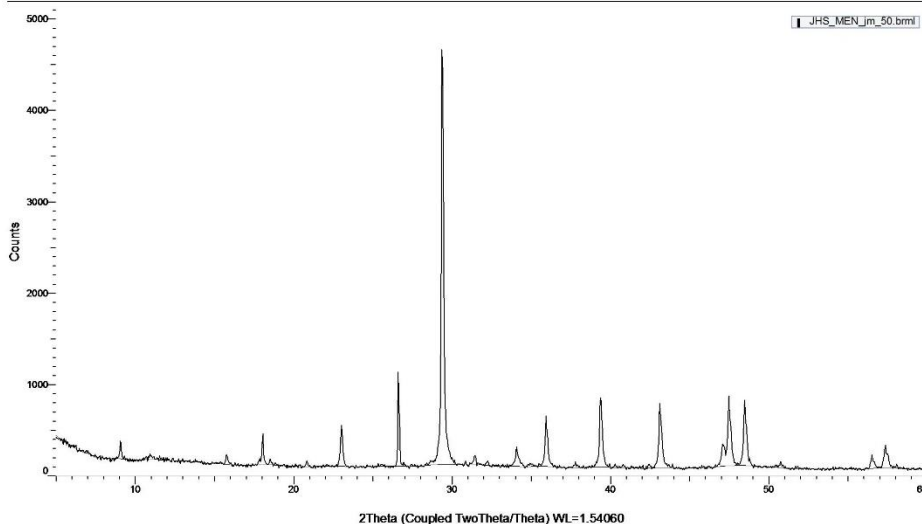
Διάγραμμα 24 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MEN_fm_135

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



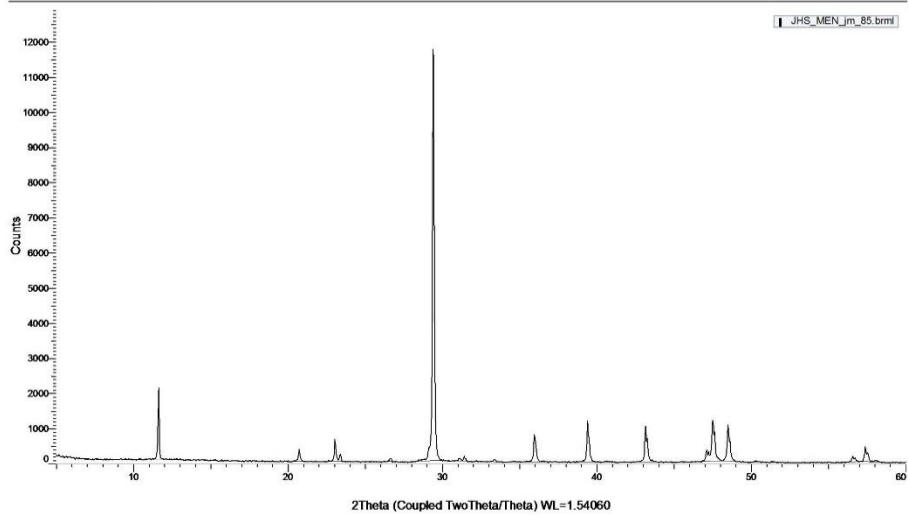
Διάγραμμα 25 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MEN_fm_200

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



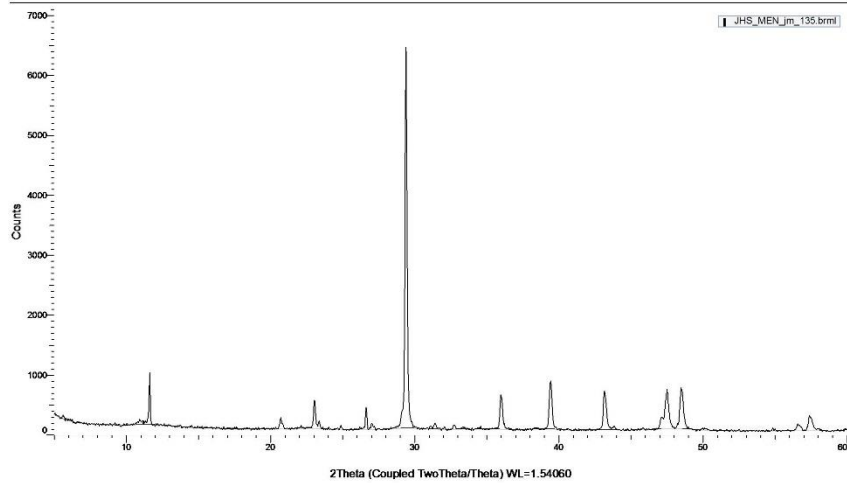
Διάγραμμα 26 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MEN_fm_50

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



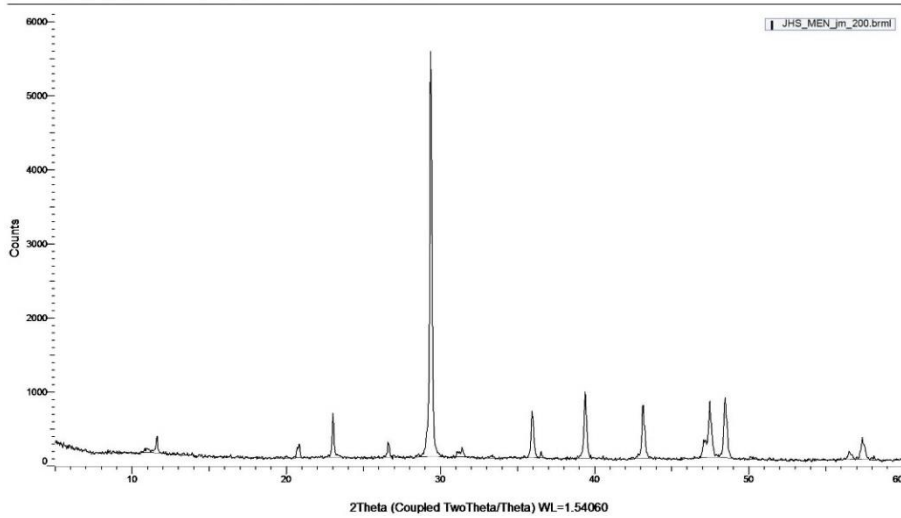
Διάγραμμα 27 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MEN_jm_85

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



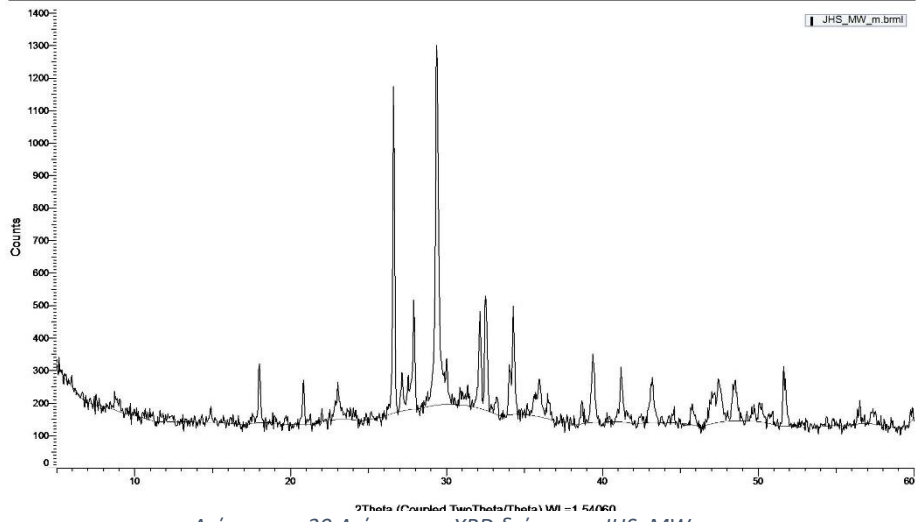
Διάγραμμα 28 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MEN_jm_135

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



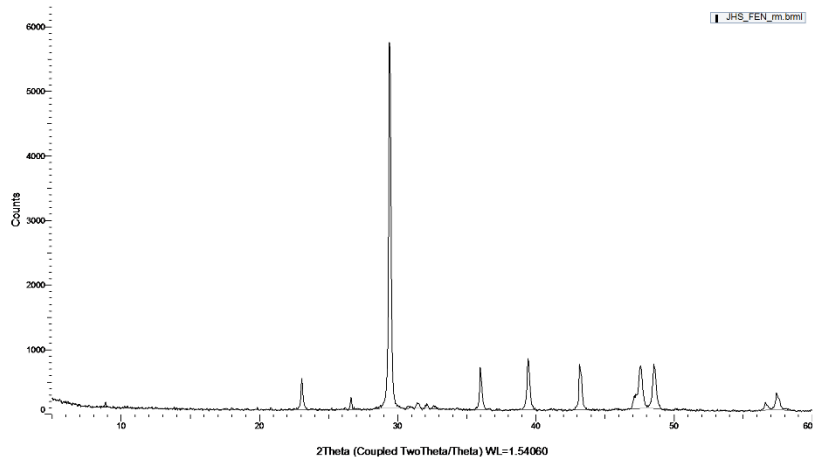
Διάγραμμα 29 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MEN_jm_200

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Διάγραμμα 30 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_m

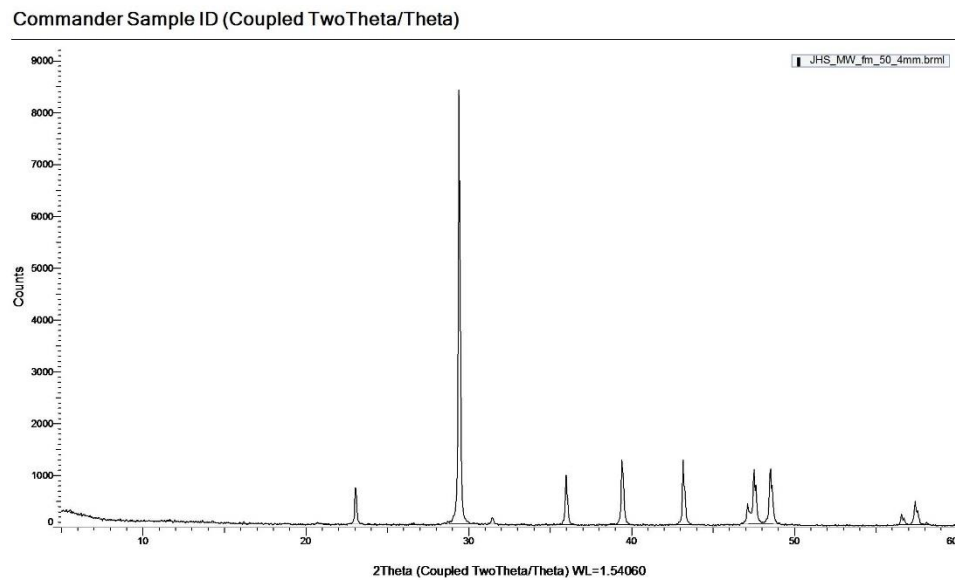
Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



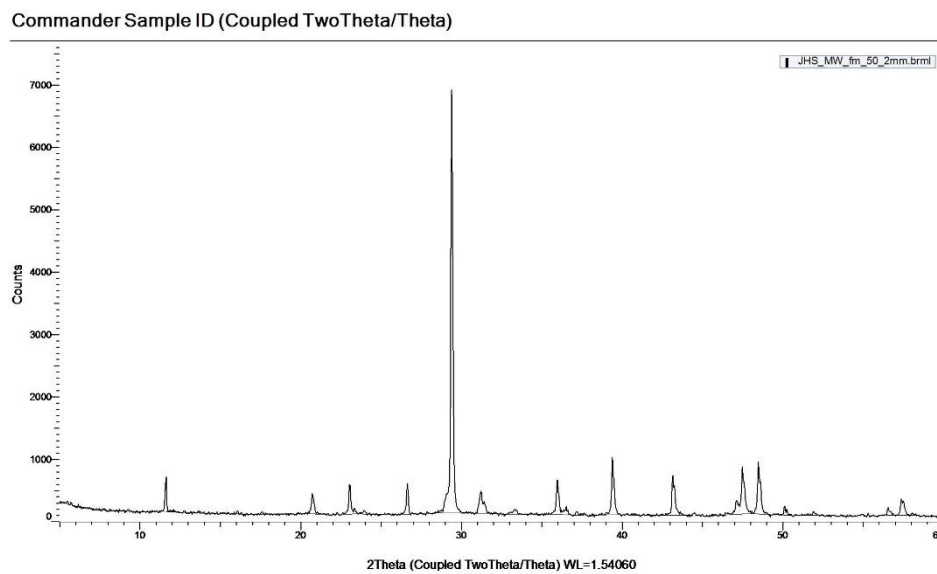
Διάγραμμα 31 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_FEN_m

Παρακάτω ακολουθούν τα διαγράμματα από τα αδρανή και τις κονιές των κοκκομετρικών αναλύσεων που έγιναν.

Δείγμα JHS_MW_fm_50

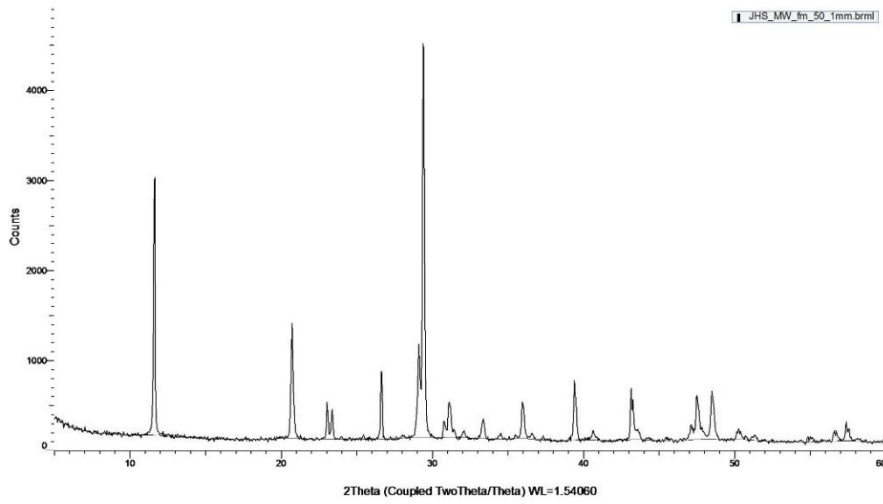


Διάγραμμα 32 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_fm_50 του κοσκίνου 4mm



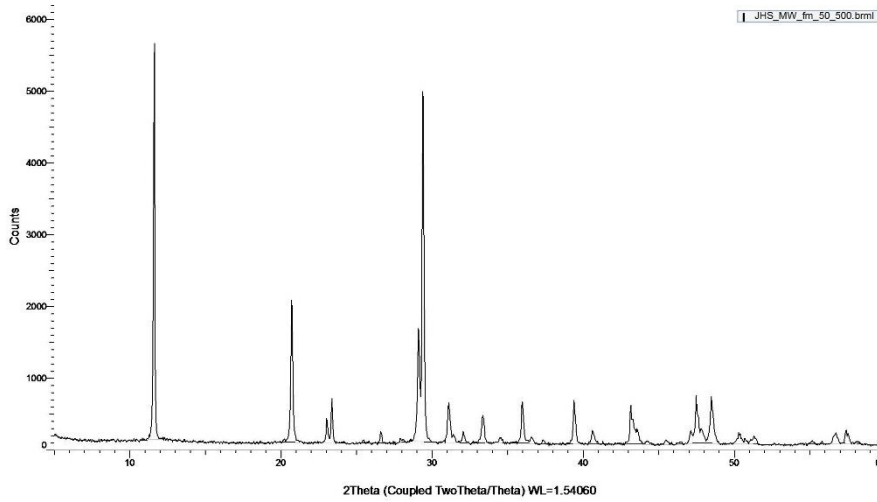
Διάγραμμα 33 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_fm_50 του κοσκίνου 2mm

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



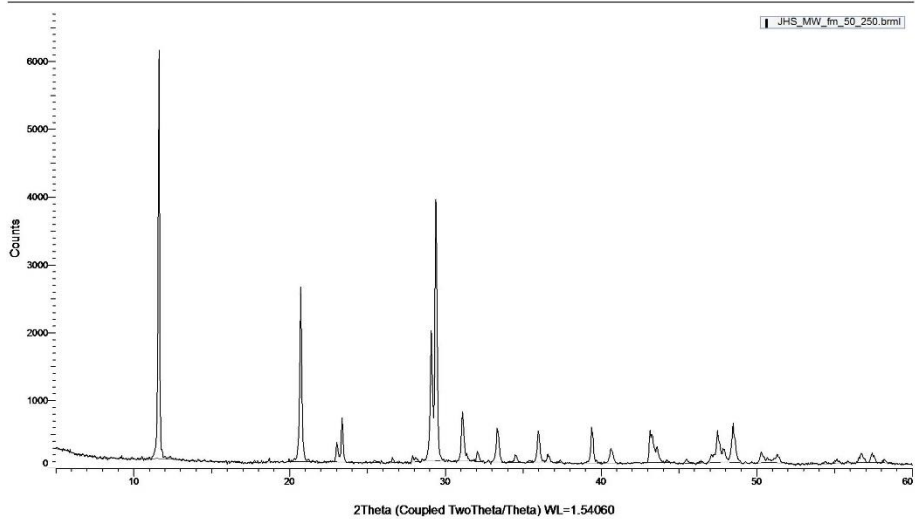
Διάγραμμα 34 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_fm_50 του κοσκίνου 1mm

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



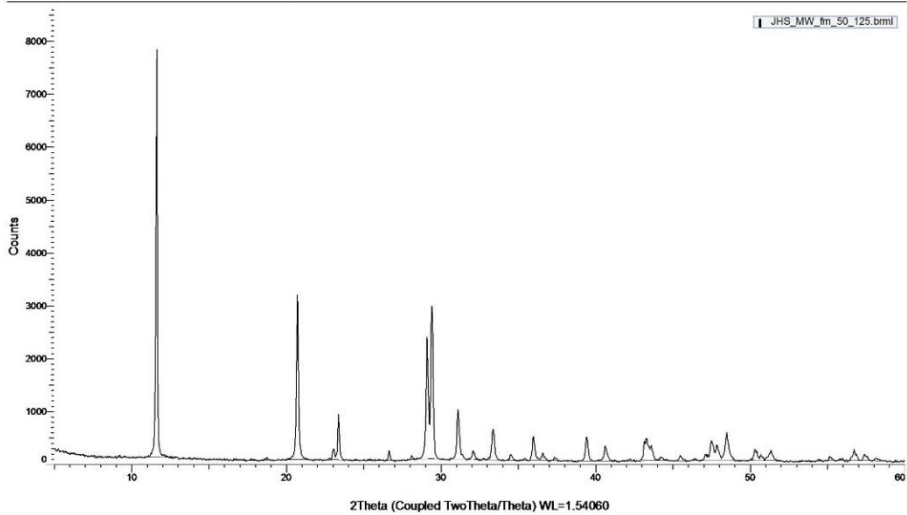
Διάγραμμα 35 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_fm_50 του κοσκίνου 500μm

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



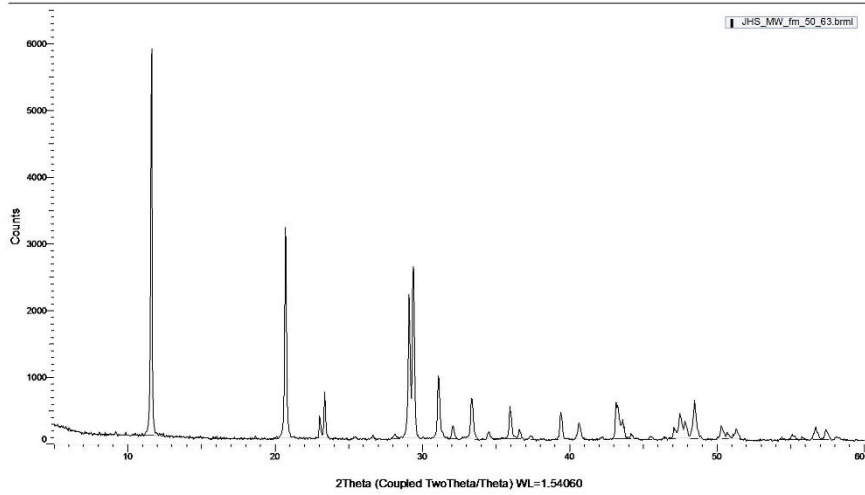
Διάγραμμα 36 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_fm_50 του κοσκίνου 250μm

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



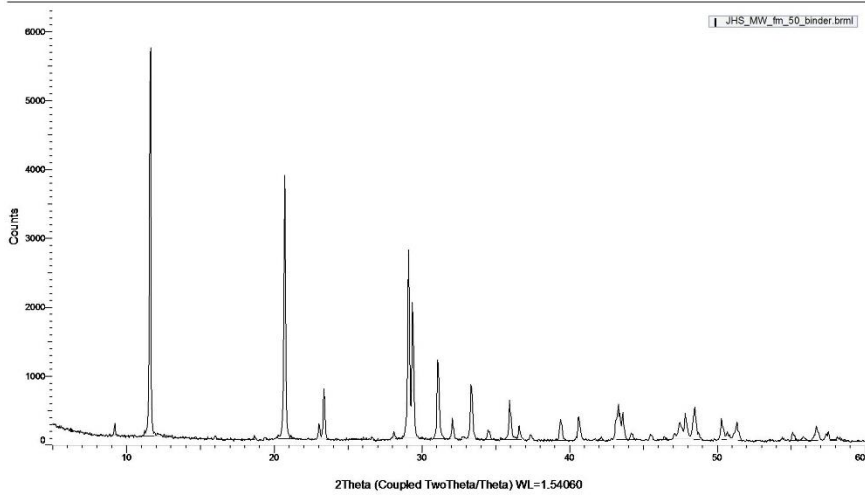
Διάγραμμα 37 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_fm_50 του κοσκίνου 125μm

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Διάγραμμα 38 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_fm_50 του κοσκίνου 63μm

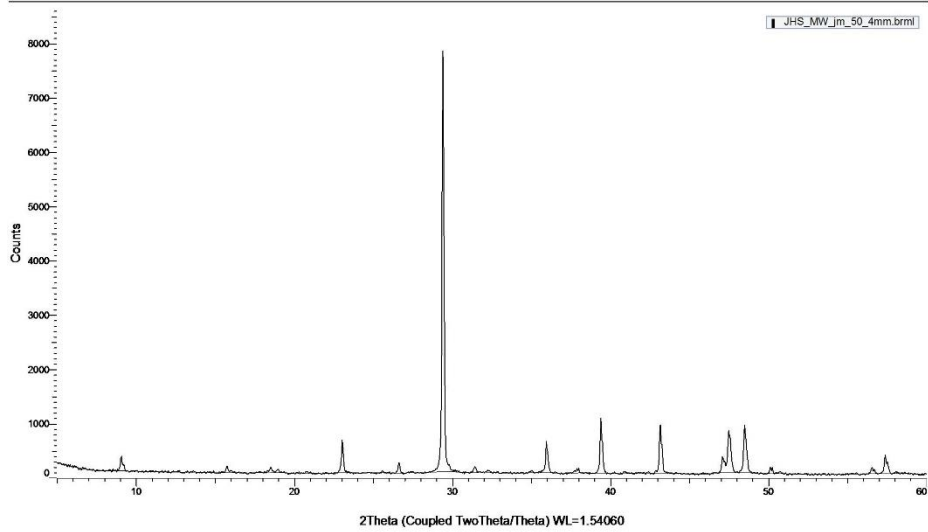
Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Διάγραμμα 39 Διάγραμμα XRD της κονιάς δείγματος JHS_MW_fm_50

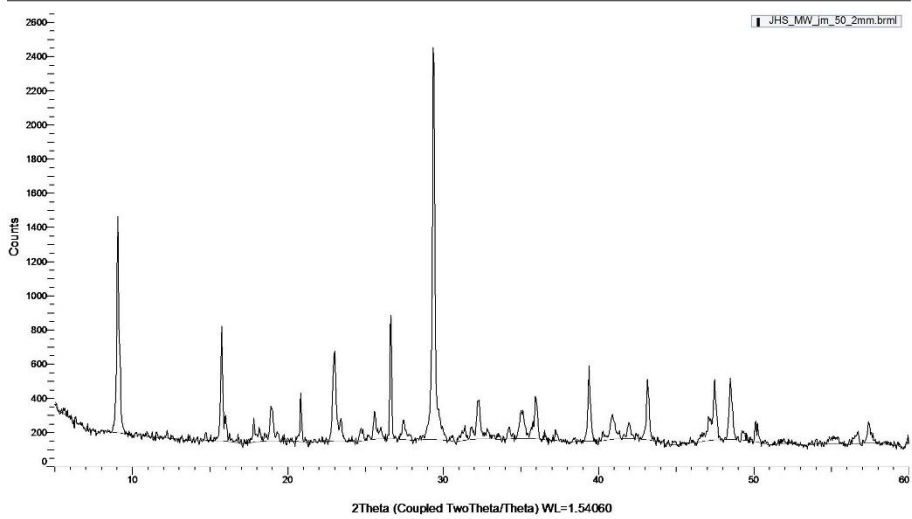
JHS_MW_jm_50

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



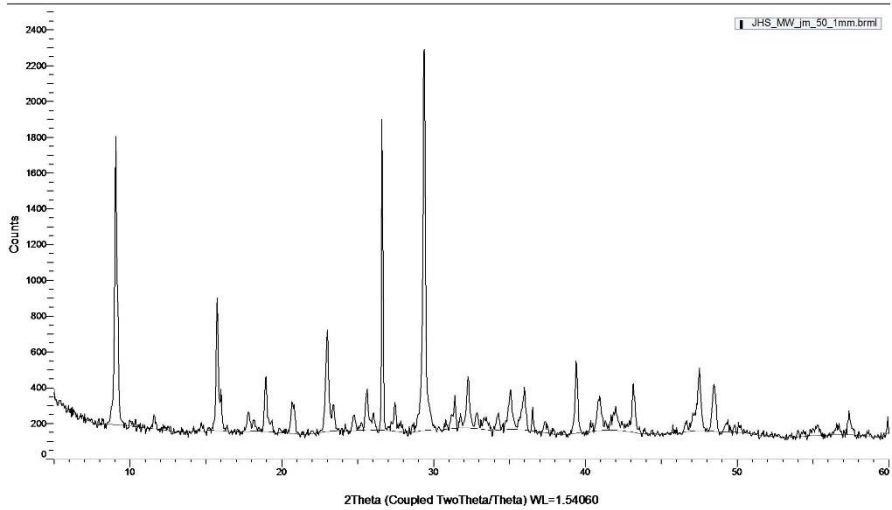
Διάγραμμα 40 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_jm_50 του κοσκίνου 4mm

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



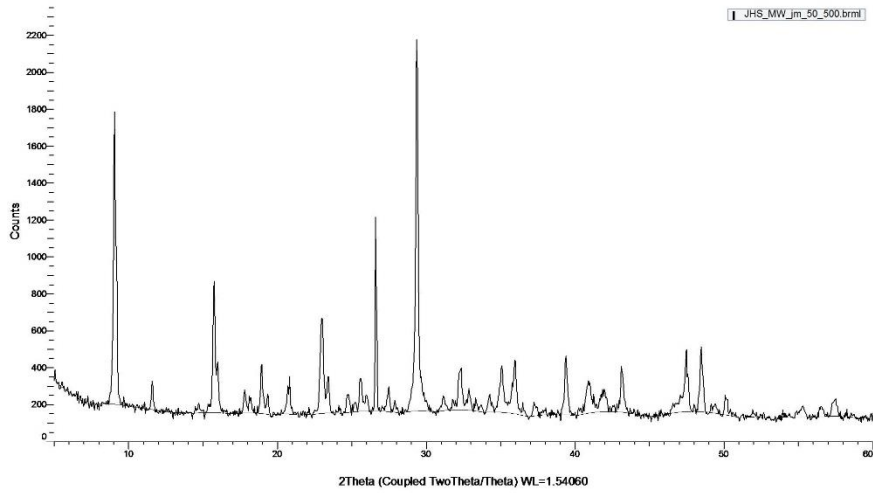
Διάγραμμα 41 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_jm_50 του κοσκίνου 2mm

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



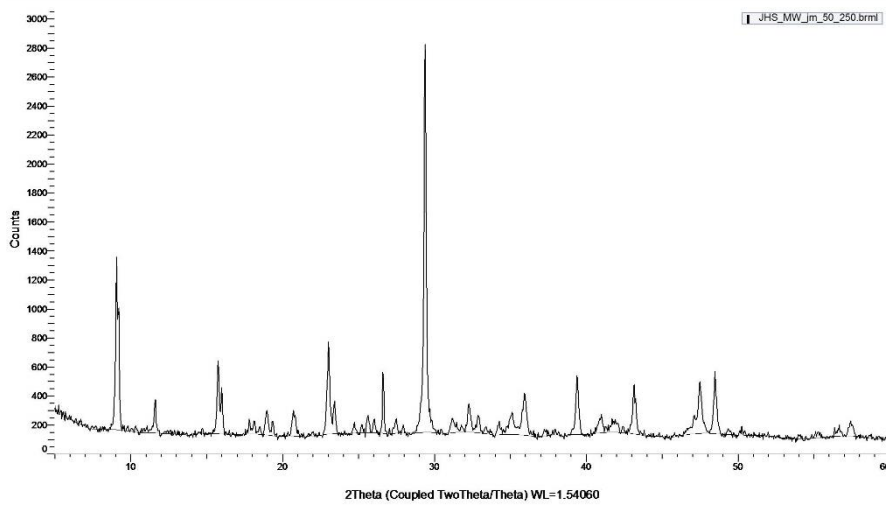
Διάγραμμα 42 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_jm_50 του κοσκίνου 1mm

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



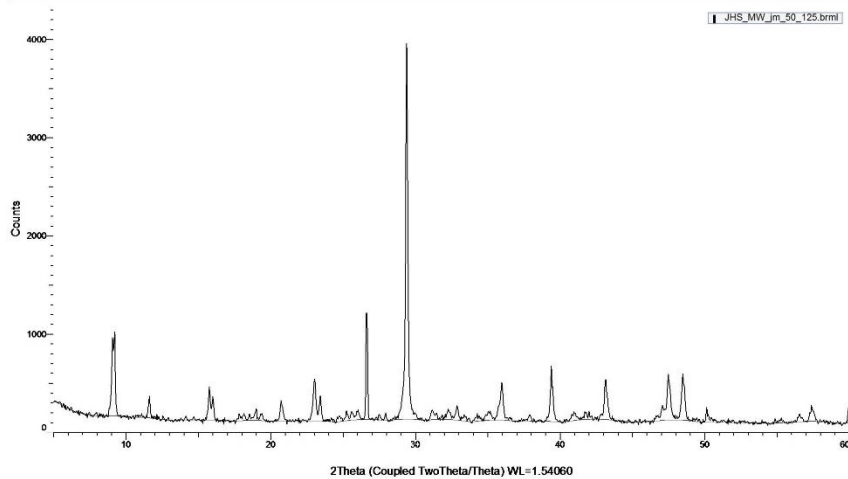
Διάγραμμα 43 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_jm_50 του κοσκίνου 500μm

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



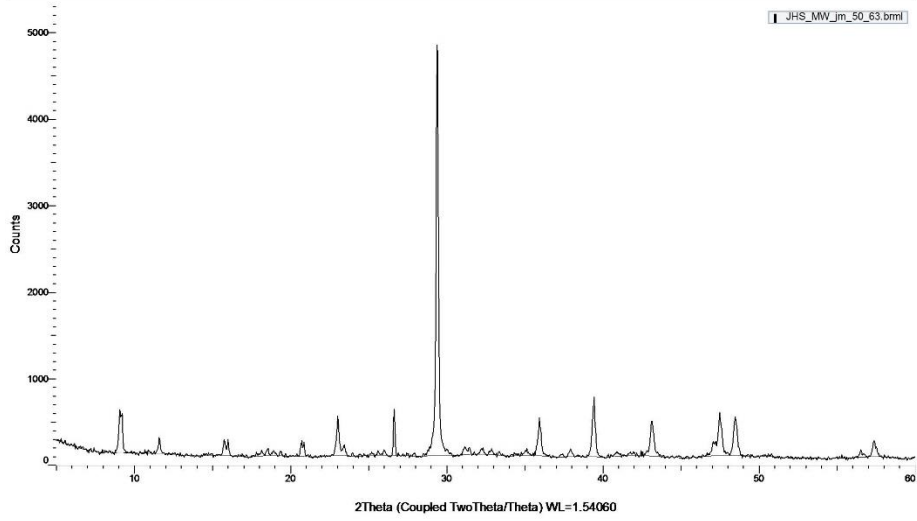
Διάγραμμα 44 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_jm_50 του κοσκίνου 250μm

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



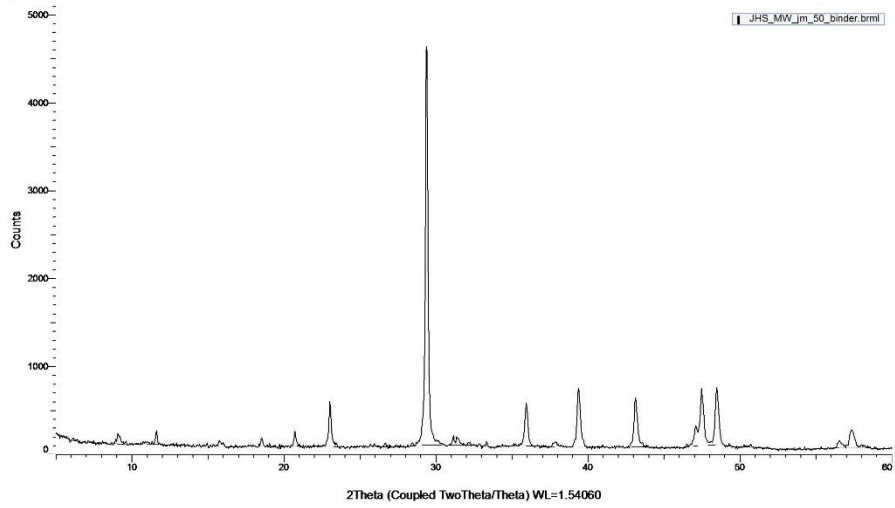
Διάγραμμα 45 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_jm_50 του κοσκίνου 125μm

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Διάγραμμα 46 Διάγραμμα XRD δείγματος JHS_MW_jm_50 του κοσκίνου 63μm

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Διάγραμμα 47 Διάγραμμα XRD της κονίας δείγματος JHS_MW_jm_50

4.3.2. Επεξεργασία των γωνιαγραμμάτων

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα της περίθλασης ακτίνων X για κάθε δείγμα με τις κύριες και δευτερεύουσες ορυκτολογικές ενώσεις που παρατηρήθηκαν.

Πίνακας 9 Αποτελέσματα ορυκτολογικού προσδιορισμού των δειγμάτων

Δείγμα	Κορυφές XRD
JHS_MW_fm_50	Γύψος, Ασβεστίτης, Χαλαζίας
JHS_MW_fm_85	Ασβεστίτης, Χαλαζίας
JHS_MW_fm_135	Γύψος, Ασβεστίτης
JHS_MW_fm_200	Ασβεστίτης
JHS_MW_fm_280	Γύψος, Ασβεστίτης
JHS_MW_jm_50	Ασβεστίτης, Γύψος, Θωμασίτης, Εντριγκίτης, Χαλαζίας
JHS_MW_jm_85	Γύψος, Ασβεστίτης, Θωμασίτης, Χαλαζίας
JHS_MW_jm_135	Γύψος, Ασβεστίτης, Ζουραυσκίτης
JHS_MW_jm_200	Ασβεστίτης, Γύψος, Χαλαζίας,
JHS_MES_fm_50	Γύψος, Ασβεστίτης
JHS_MES_fm_85	Γύψος, Ασβεστίτης, Χαλαζίας
JHS_MES_fm_135	Ασβεστίτης, Χαλαζίας,
JHS_MES_fm_200	Ασβεστίτης, Χαλαζίας
JHS_MES_jm_50	Ασβεστίτης, Χαλαζίας
JHS_MES_jm_85	Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Γελενίτης
JHS_MES_jm_135	Ασβεστίτης, Χαλαζίας
JHS_MES_jm_200	Ασβεστίτης, Χαλαζίας
JHS_MEN_fm_50	Ασβεστίτης, Χαλαζίας
JHS_MEN_fm_85	Γύψος, Ασβεστίτης, Χαλαζίας,
JHS_MEN_fm_135	Ασβεστίτης, Χαλαζίας
JHS_MEN_fm_200	Γύψος, Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Αραγονίτης
JHS_MEN_jm_50	Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Πορτλαντίτης, Εντριγκίτης
JHS_MEN_jm_85	Ασβεστίτης, Γύψος, Χαλαζίας
JHS_MEN_jm_135	Ασβεστίτης, Γύψος, Χαλαζίας
JHS_MEN_jm_200	Ασβεστίτης, Γύψος, Χαλαζίας
JHS_MW_m	Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Πυριτικό Ασβέστιο, Αλβίτης
JHS_FEN_rm	Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Χλωριούχο Νάτριο, Δολομίτης, Μίκα

Πίνακας 10 Αποτελέσματα ορυκτολογικού προσδιορισμού των κλασμάτων της κοκκομετρικής ανάλυσης

Δείγμα/Κλάσμα Κοκκομετρίας	Κορυφές XRD
JHS_MW_fm_50_4mm	Ασβεστίτης
JHS_MW_fm_50_2mm	Ασβεστίτης, Γύψος, Χαλαζίας
JHS_MW_fm_50_1mm	Ασβεστίτης, Γύψος, Χαλαζίας, Δολομίτης
JHS_MW_fm_50_500μm	Γύψος, Ασβεστίτης, Χαλαζίας
JHS_MW_fm_50_250μm	Γύψος, Ασβεστίτης, Χαλαζίας
JHS_MW_fm_50_125μm	Γύψος, Ασβεστίτης, Χαλαζίας
JHS_MW_fm_50_63μm	Γύψος, Ασβεστίτης, Χαλαζίας
JHS_MW_fm_50_binder	Γύψος, Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Θωμασίτης
JHS_MW_jm_50_4mm	Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Εντρινγκίτης, Θωμασίτης, Ασβεστίτης, Εντρινγκίτης, Θωμασίτης, Χαλαζίας, Γύψος
JHS_MW_jm_50_2mm	Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Εντρινγκίτης, Θωμασίτης
JHS_MW_jm_50_1mm	Ασβεστίτης, Εντρινγκίτης, Θωμασίτης, Χαλαζίας, Γύψος
JHS_MW_jm_50_500μm	Ασβεστίτης, Εντρινγκίτης, Θωμασίτης, Χαλαζίας, Γύψος
JHS_MW_jm_50_250μm	Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Εντρινγκίτης, Θωμασίτης, Γύψος
JHS_MW_jm_50_125μm	Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Εντρινγκίτης, Θωμασίτης, Γύψος
JHS_MW_jm_50_63μm	Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Εντρινγκίτης, Θωμασίτης, Γύψος
JHS_MW_jm_50_binder	Ασβεστίτης, Γύψος, Χαλαζίας, Εντρινγκίτης, Θωμασίτης

Δείγματα

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MW_fm_50** αποτελεί ο γύψος, ενώ ως δευτερεύουσες ανιχνεύονται ο χαλαζίας και ο ασβεστίτης, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 5. Το ποσοστό του γύψου είναι υψηλό και συμπεραίνεται ότι η κονία του δείγματος είναι γύψου.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MW_fm_85** αποτελεί ο ασβεστίτης, ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο χαλαζίας, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 6.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MW_fm_135** αποτελεί ο γύψος, ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο ασβεστίτης, στο συγκεκριμένο δείγμα δεν ανιχνεύεται χαλαζίας, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 7.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MW_fm_200** αποτελεί ο ασβεστίτης, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 8.

Κύριες ορυκτολογικές φάσεις του δείγματος **JHS_MW_fm_200** αποτελούν ο γύψος και ο ασβεστίτης, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 9. Δεν ανιχνεύεται χαλαζίας.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MW_jm_50** αποτελεί ο ασβεστίτης, ενώ ως δευτερεύουσες ανιχνεύονται ο γύψος και ο θωμασίτη, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα

10. Στο διάγραμμα εμφανίζονται επίσης και ίχνη χαλαζία. Ο θωμασίτης μπορεί να είναι είτε προϊόν διάβρωσης, είτε να βρίσκεται ως λίθος στα αδρανή. Αυτό θα εξεταστεί αργότερα κατά την ανάλυση των κοκκομετρικών κλασμάτων.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MW_jm_85** αποτελεί ο γύψος, ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο ασβεστίτης, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 11. Στο διάγραμμα εμφανίζονται επίσης και ίχνη θωμασίτη και χαλαζία. Ο θωμασίτης πρέπει να είναι προϊόν διάβρωσης, καθώς βρίσκεται σε μικρή ποσότητα.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MW_jm_135** αποτελεί ο γύψος, ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο ασβεστίτης, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 12. Στο διάγραμμα εμφανίζονται επίσης και ίχνη Ζουραυσκίτης. Ο Ζουραυσκίτης πρέπει να είναι προϊόν διάβρωσης, καθώς βρίσκεται σε μικρή ποσότητα.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MW_jm_200** αποτελεί ο ασβεστίτης, ενώ ανιχνεύονται επίσης και ίχνη γύψου και χαλαζία, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 13.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MES_fm_50** αποτελεί ο γύψος, ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο ασβεστίτης, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 14.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MES_fm_85** αποτελεί ο γύψος, ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο ασβεστίτης, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 15. Στο διάγραμμα εμφανίζονται επίσης και ίχνη χαλαζία.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MES_fm_135** αποτελεί ο ασβεστίτης, ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο χαλαζίας, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 16.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MES_fm_200** αποτελεί ο ασβεστίτης, ενώ σε ίχνη ανιχνεύεται ο χαλαζίας, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 17.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MES_jm_50** αποτελεί ο ασβεστίτης, ενώ σε ίχνη ανιχνεύεται ο χαλαζίας, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 18.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MES_jm_85** αποτελεί ο ασβεστίτης ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο χαλαζίας, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 19. Στο διάγραμμα εμφανίζονται επίσης και ίχνη Gehlenite.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MES_jm_135** αποτελεί ο ασβεστίτης ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο χαλαζίας, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 20.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MES_jm_200** αποτελεί ο ασβεστίτης ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο χαλαζίας, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 21.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MEN_fm_50** αποτελεί ο ασβεστίτης, ενώ σε ίχνη ανιχνεύεται ο χαλαζίας, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 22.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MEN_fm_85** αποτελεί ο γύψος, ενώ ως δευτερεύουσες ανιχνεύονται ο ασβεστίτης και ο χαλαζίας, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 23.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MEN_fm_135** αποτελεί ο ασβεστίτης ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο χαλαζίας, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 24.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MEN_fm_200** αποτελεί ο γύψος, ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο ασβεστίτης, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 25. Στο διάγραμμα εμφανίζονται επίσης και ίχνη χαλαζίας και αραγονίτη.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MEN_jm_50** αποτελεί ο ασβεστίτης ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο χαλαζίας, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 26. Στο διάγραμμα εμφανίζονται επίσης και ίχνη πορτλαντίτη και εντριγκίτη.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MEN_jm_85** αποτελεί ο ασβεστίτης ενώ ως δευτερεύουσες ανιχνεύονται ο γύψος και ο χαλαζίας, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 27.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MEN_jm_135** αποτελεί ο ασβεστίτης ενώ ως δευτερεύουσες ανιχνεύονται ο γύψος και ο χαλαζίας, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 28.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MEN_jm_200** αποτελεί ο ασβεστίτης ενώ ως δευτερεύουσες ανιχνεύονται ο γύψος και ο χαλαζίας, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 29.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_MW_m** αποτελεί ο ασβεστίτης ενώ ως δευτερεύουσες ανιχνεύονται ο χαλαζίας, το Calcium Silicate και ο αλβίτης, όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 30.

Κύρια ορυκτολογική φάση του δείγματος **JHS_FEN_rm** αποτελεί ο ασβεστίτης ενώ ως δευτερεύουσες ανιχνεύονται ο χαλαζίας, το Sodium Chlorite, ο δολομίτης και το Lepidotite (Mica), όπως προκύπτουν από το Διάγραμμα 31.

Κοκκομετρικά Κλάσματα

JHS_MW_fm_50

Αρχικά στο κλάσμα του κοσκίνου των 4mm το αδρανές που υπάρχει είναι καθαρός ασβεστίτης. Καθώς όμως στα κόσκινα μειώνεται το μέγεθος των σπών εμφανίζεται μία σταδιακή αύξηση της ποσότητας του γύψου. Μέχρι τα 1mm ο ασβεστίτης είναι η κύρια ορυκτολογική φάση, αν και στο κόσκινο των 1mm βρίσκονται σχεδόν στην ίδια ποσότητα ο ασβεστίτης και ο γύψος, αλλά από τα 500μm και μετά ο γύψος είναι η κύρια ορυκτολογική φάση. Στα 1mm υπάρχουν επίσης και ίχνη δολομίτη που στο ολικό διάγραμμα δεν εμφανίζονται γιατί πιθανός σε όλο το δείγμα υπάρχει σε ποσότητα κάτω από 5%, συνεπώς το όργανο δεν μπόρεσε να τον ανιχνεύσει. Το ίδιο ισχύει και για τον θωμασίτη που εμφανίζεται στην κονία, ο οποίος πρέπει να είναι προϊόν διάβρωσης. Σε όλα τα κλάσματα, εκτός του 1^ο εμφανίζεται και ο χαλαζίας σε ίχνη.

JHS_MW_jm_50

Όλα τα κλάσματα των κοσκίνων έχουν ως κύρια ορυκτολογική φάση των ασβεστίτη, από τα πιο μεγάλα αδρανή μέχρι την κονία. Ως δεύτερη ορυκτολογική φάση εμφανίζεται ο θωμασίτης και ο εντριγκίτης. Πιο συγκεκριμένα στο 1^ο κλάσμα των 4mm εμφανίζεται σε πολύ χαμηλή ποσότητα και αυξάνονται συστηματικά έως τα 500μm, στη συνέχεια αρχίζουν να μειώνονται καθώς μειώνεται το μέγεθος των σπών μέχρι που στην κονία βρίσκονται σε ίχνη. Ακόμη ως δεύτερη ορυκτολογική φάση εμφανίζεται ο χαλαζίας, ο οποίος βρίσκεται στη μέγιστη ποσότητά του στα 1mm και 500μm και η μικρότερη ποσότητά όπου πρακτικά βρίσκεται σε ίχνη είναι στα 4mm, 63μm και στην κονία. Σε κάποια κλάσματα των αδρανών και στην κονία εμφανίζεται και μια μικρή ποσότητα γύψου σε ίχνη η οποία πρέπει να οφείλεται σε διάβρωση. Συνεπώς, εάν ληφθεί υπόψη και η παρατήρηση που έγινε και στην κοκκομετρική ανάλυση, τα

αδρανή με διαφορετικά χρώματα που εμφανίστηκαν σε όλα τα κλάσματα του δείγματος, σε αντίθεση με το αντίστοιχο κονίαμα γεισίματος, πρέπει να πρόκειται για αδρανή του εντριγγίτη και του θωμασίτη. Το ορυκτό του εντριγγίτη είναι διαδεδομένο σε φλέβες και κοιλότητες του σχηματισμού Hatrurim του Ισραήλ και προκύπτει από τη διάβρωση κρουστών των λαρνιτικών πετρωμάτων. Ο εντριγγίτη συνήθως απαντάται ως προϊόν διάβρωσης του τσιμέντου, όμως εφόσον τα κονιάματα του Ιερού Κουβουκλίου δεν είναι τσιμεντιτικά, συμπεραίνεται ότι ο λίθος που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή αυτών των κονιαμάτων πρέπει να ήταν πλούσιος σε ορυκτό εντριγγίτη και συνεπώς πρέπει να έχει εξορυχτεί από τον σχηματισμό Hatrurim. (28)

Με βάση τα αποτελέσματα της μεθόδου τα κονιάματα μπορούν να διαχωριστούν σε τρία είδη κονιαμάτων:

- Κονιάματα Ασβέστη
- Μεικτά κονιάματα:
 - ❖ Ασβέστη-Γύψου
 - ❖ Γύψου-Ασβέστη

Κονιάματα που περιέχουν γύψο εμφανίζονται σε ιστορικά κτήρια (σε μεγαλύτερη συχνότητα ως επιχρίσματα (29). Τα μεικτά κονιάματα γύψου και ασβέστη παρουσιάζουν κάποιες ιδιότητες βελτιωμένες σε σχέση με τα κονιάματα γύψου.

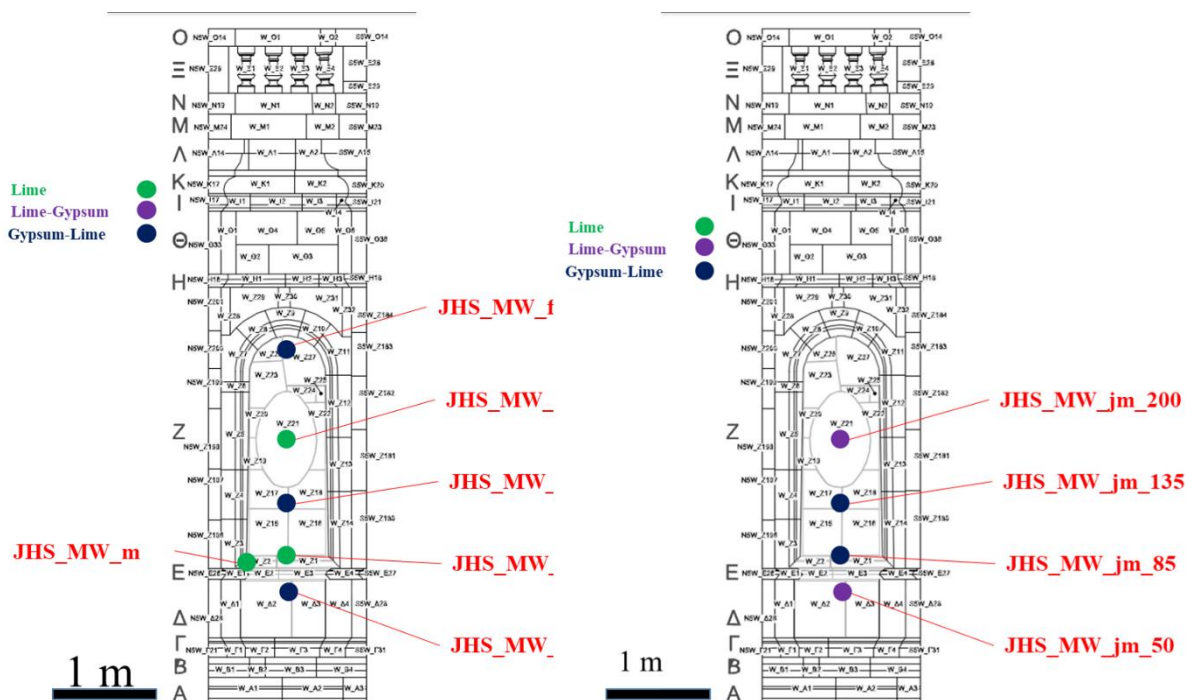
Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζεται ο χαρακτηρισμός κάθε δείγματος:

Πίνακας 11 Ορυκτολογικός Χαρακτηρισμός Κονιαμάτων Μνημείου

Δείγμα	Χαρακτηρισμός Κονιάματος
JHS_MW_fm_50	Γύψου-Ασβέστη
JHS_MW_fm_85	Ασβέστη
JHS_MW_fm_135	Γύψου-Ασβέστη
JHS_MW_fm_200	Ασβέστη
JHS_MW_fm_280	Γύψου-Ασβέστη
JHS_MW_jm_50	Ασβέστη-Γύψου
JHS_MW_jm_85	Γύψου-Ασβέστη
JHS_MW_jm_135	Γύψου-Ασβέστη
JHS_MW_jm_200	Ασβέστη-Γύψου
JHS_MES_fm_50	Γύψου-Ασβέστη
JHS_MES_fm_85	Γύψου-Ασβέστη
JHS_MES_fm_135	Ασβέστη
JHS_MES_fm_200	Ασβέστη
JHS_MES_jm_50	Ασβέστη
JHS_MES_jm_85	Ασβέστη
JHS_MES_jm_135	Ασβέστη
JHS_MES_jm_200	Ασβέστη
JHS_MEN_fm_50	Ασβέστη
JHS_MEN_fm_85	Γύψου-Ασβέστη
JHS_MEN_fm_135	Ασβέστη

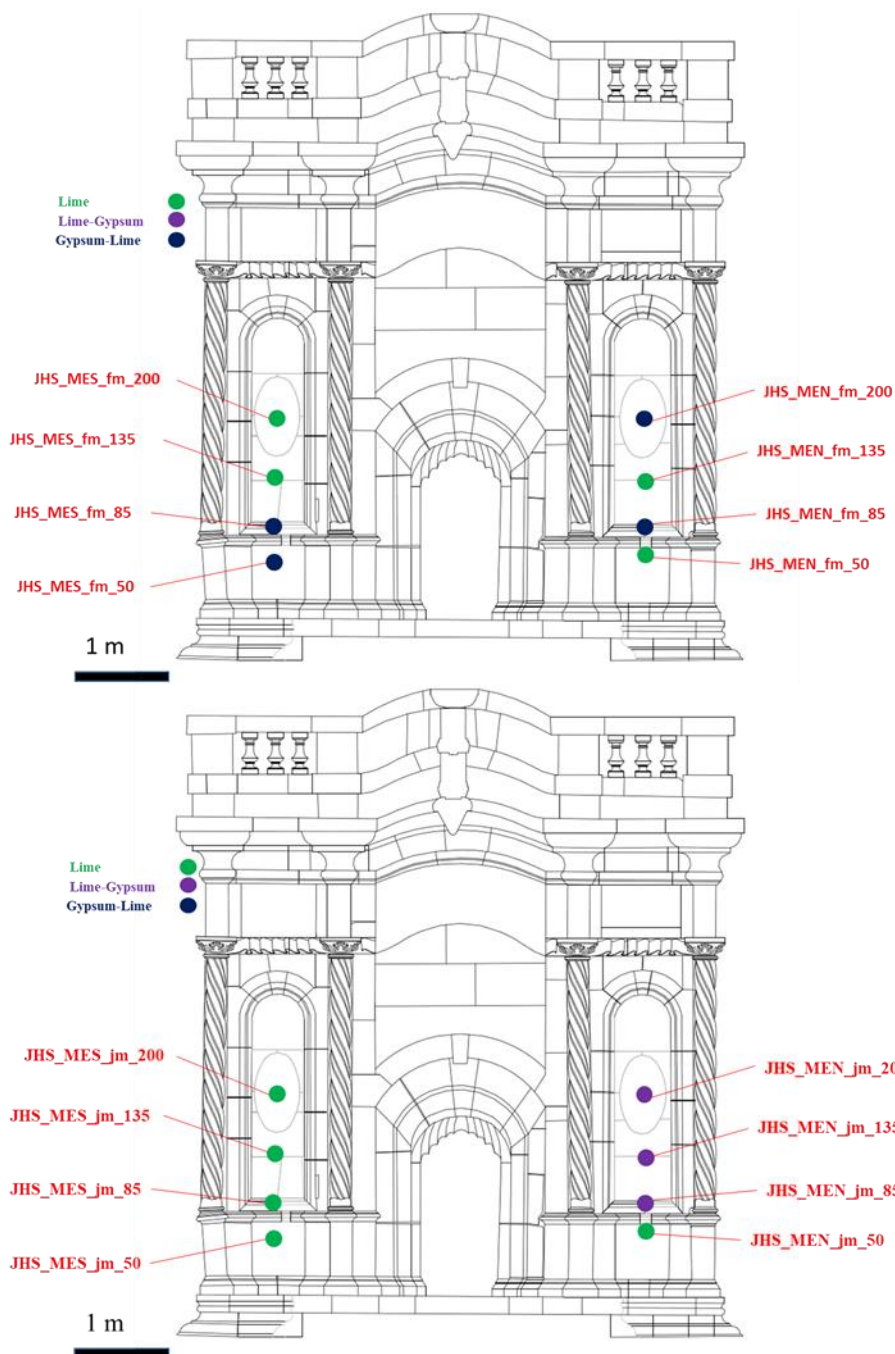
JHS_MEN_fm_200	Γύψου-Ασβέστη
JHS_MEN_jm_50	Ασβέστη
JHS_MEN_jm_85	Ασβέστη-Γύψου
JHS_MEN_jm_135	Ασβέστη-Γύψου
JHS_MEN_jm_200	Ασβέστη-Γύψου
JHS_MW_m	Ασβέστη
JHS_FEN_rm	Ασβέστη

Παρακάτω εμφανίζεται η βασική χαρακτηρισμός των δειγμάτων πάνω στο μνημείο, όπου με πράσινο χρώμα εμφανίζονται τα κονιάματα **Ασβέστη** (Lime) με ιώδες χρώμα εμφανίζονται τα κονιάματα **Ασβέστη-Γύψου** (Lime –Gypsum) και με μπλε χρώμα τα κονιάματα **Γύψου-Ασβέστη** (Gypsum-Lime).



Εικόνα 40 Κύριες Ορυκτολογικές ενώσεις των δειγμάτων στο δυτικό φάτνωμα

Στα δείγματα του δυτικού φαντώματος βλέπουμε ότι στα κατά το ύψος υπάρχει εναλλαγή της κύριας ορυκτολογικής φάσης και στα κονιάματα γεμίματος (filling mortar) και στα κονιάματα σύνδεσης (joint mortar). Όσον αφορά στα δείγματα κονιαμάτων γεμίματος και σύνδεσης στο ίδιο ύψος, τα κονιάματα εμφανίζουν την ίδια κύρια ορυκτολογική ένωση εκτός από το δείγμα στο ύψος των 85cm όπου το κονίαμα γεμίματος είναι ασβεστίτη, ενώ αυτό της σύνδεσης είναι γύψου.



Εικόνα 41 Κύριες ορυκτολογικές ενώσεις στο ανατολικό φάτνωμα

Στο νοτιοανατολικό φάτνωμα τα δείγματα γεμίσματος είναι σε ζεύγη, δηλαδή τα δύο υψηλότερα έχουν τον ασβεστίτη ως κύρια ορυκτολογική ένωση και τα δύο χαμηλότερα έχουν τον γύψο αντίστοιχα. Σε αντίθεση, στο βορειοανατολικό φάτνωμα τα δείγματα γεμίσματος κατά το ύψος υπάρχει εναλλαγή της κύριας ορυκτολογικής φάσης.

Ομοιογένεια εμφανίζουν τα δείγματα σύνδεσης του ανατολικού φατνώματος κατά το ύψος, καθώς όλα έχουν σαν κύρια ορυκτολογική ένωση τον ασβεστίτη. Σε αντίθεση δεν εμφανίζει ομοιογένεια με όλα τα κονιάματα γεμίσματος του αντίστοιχου ύψους, εκτός από τα δύο υψηλότερα του νοτιοανατολικού φατνώματος και τα κονιάματα στα 50cm και 135cm του βορειοανατολικού φατνώματος.

4.4 Θερμοβαρουμετρική και Διαφορική Θερμική Ανάλυση (DTA-TG)

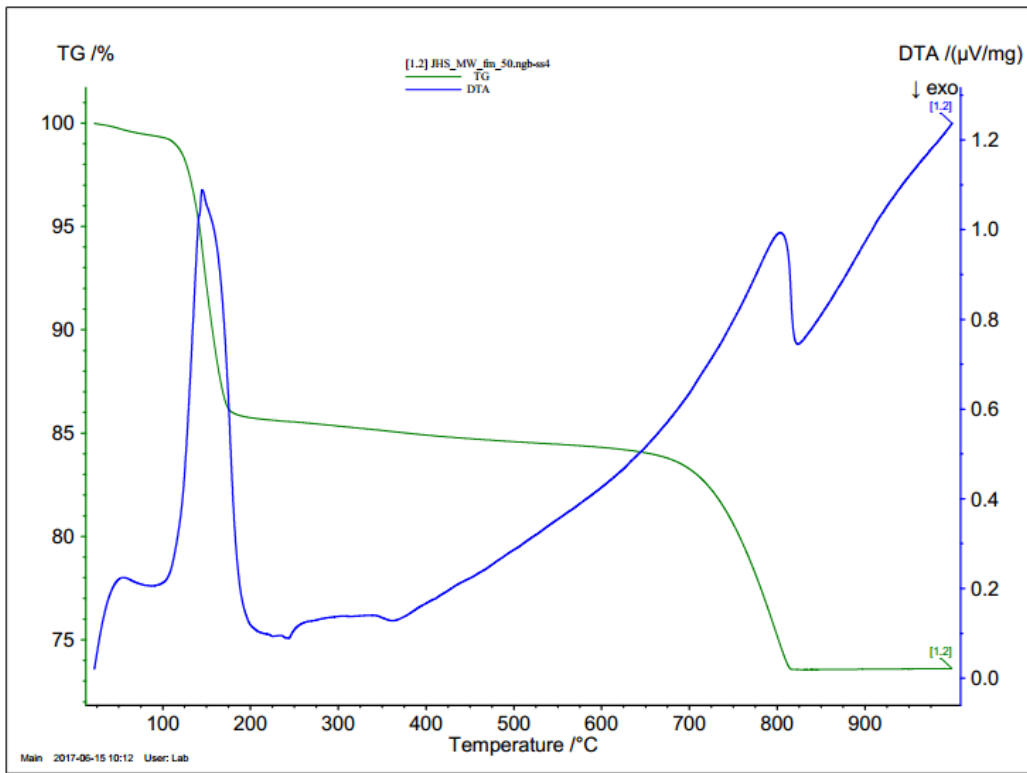
Η μέθοδος DTA-TG εφαρμόστηκε σε επιλεγμένα αντιπροσωπευτικά δείγματα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των θερμικών αναλύσεων σε σχέση με την επί της εκατό απώλεια μάζας ανά θερμοκρασιακό διάστημα για κάθε δείγμα που εξετάστηκε:

Πίνακας 12 Αποτελέσματα Θερμικής Βαρομετρικής Ανάλυσης

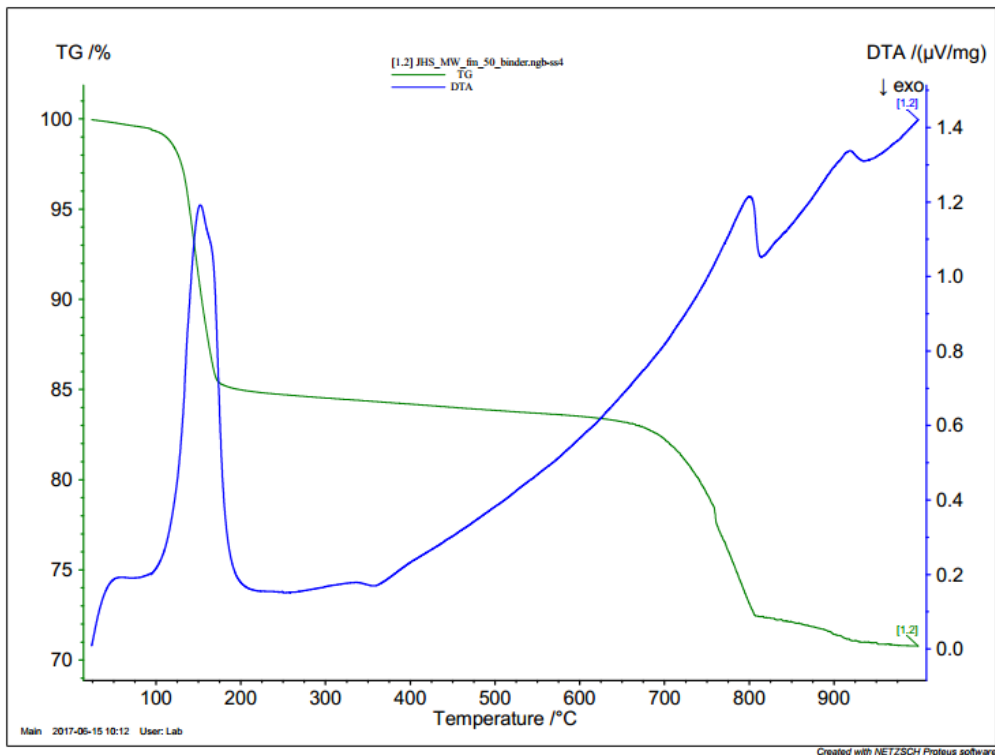
Κωδικός Δείγματος	Απώλεια μάζας (%) ανά θερμοκρασιακό διάστημα (°C)			
	<120°C	120-200°C	200-600°C	>600°C
JHS_MW_fm_50	0,67	13,56	1,44	10,71
JHS_MW_fm_50_binder	0,43+0,22	14,33	1,47	12,74
JHS_MW_fm_200	1,21	0,60	3,86	34,22
JHS_MW_jm_50	1,03	8,71	4,32	21,64
JHS_MW_jm_50_binder	0,95	3,93	6,06	30,28
JHS_MW_jm_135	0,59	12,51	2,12	13,74
JHS_MW_jm_200	1,10	1,28	3,26	32,04
JHS_MES_fm_85	0,68	11,04	2,29	15,29
JHS_MES_fm_135	3,29	1,06	8,31	27,17
JHS_MES_jm_85	1,46	1,11	7,34	30,34
JHS_MES_jm_135	1,66	1,42	8,90	26,64
JHS_MES_jm_200	1,73	1,03	7,52	29,43
JHS_MEN_fm_85	1,48	7,46	4,49	17,39
JHS_MEN_fm_135	2,68	0,70	6,35	29,26
JHS_MEN_jm_50	3,00	1,42	4,45	30,56
JHS_MEN_jm_135	1,19	1,94	4,10	31,32
JHS_MW_m	3,02	1,85	3,80	10,29
JHS_FEN_rm	0,62	0,30	1,14	37,06

Το θερμοκρασιακό διάστημα μεταξύ 25 - 120 °C αντιστοιχεί στο φυσικά προσροφημένο νερό των συστατικών του δείγματος, ενώ αυτό των 120 - 200 °C αντιστοιχεί στα κρυσταλλικά νερά ενυδατωμένων αλάτων που περιέχονται στο μείγμα. Οι απώλειες βάρους στο διάστημα των 200 – 600 °C που προέρχονται από ενδόθερμες κορυφές αποδίδονται στο χημικά δεσμευμένο νερό που μπορεί να προέρχεται από τις υδραυλικές ενώσεις του ένυδρου αργιλοπυριτικού ασβεστίου της κονίας, από ένυδρες ορυκτές φάσεις των αδρανών, από τον πορτλαντίτη (Ca(OH)₂), και από το βρουσίτη (Mg(OH)₂). Στο ίδιο θερμοκρασιακό διάστημα απώλειες βάρους που προέρχονται από εξώθερμες κορυφές αντιστοιχούν σε οργανικά συστατικά του δείγματος. Τέλος, οι απώλειες βάρους στο θερμοκρασιακό διάστημα 600 – 1000 °C, αντιστοιχούν στη διάσπαση των ανθρακικών ενώσεων του μείγματος, όπως ο ασβεστίτης (CaCO₃) και ο δολομίτης (CaMg(CO₃)₂), καθώς και σε μερικό διαχωρισμό του θειικού ασβεστίου (έως 3%).

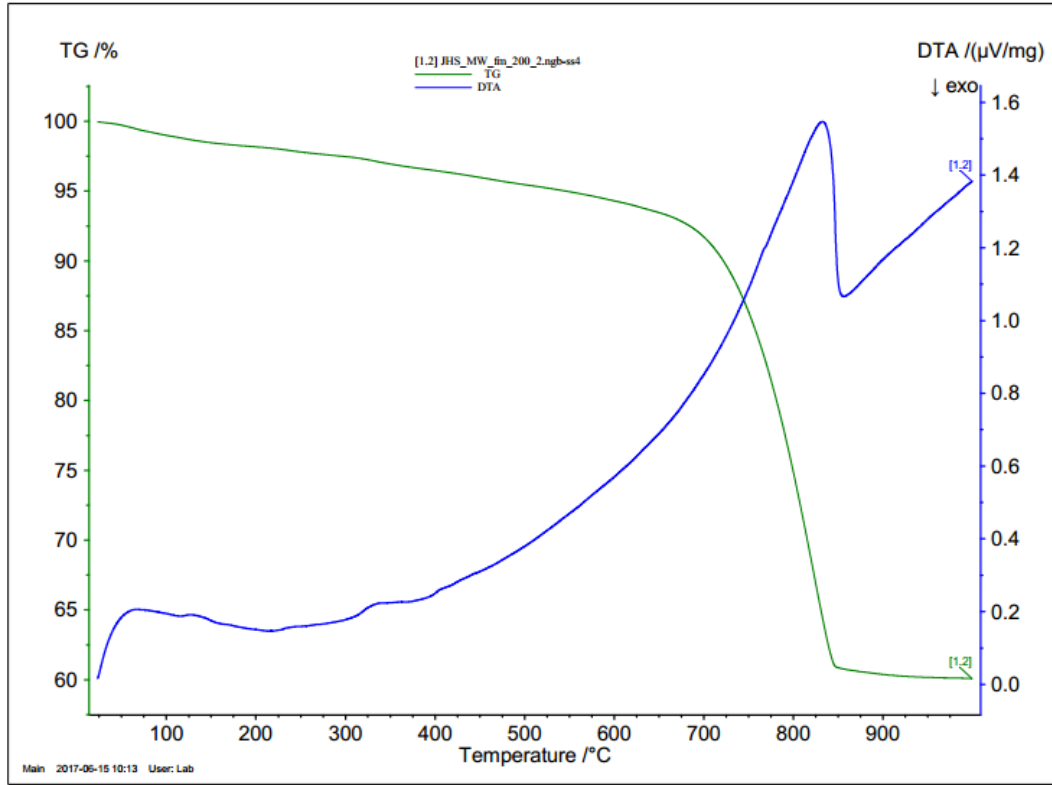
4.4.1. Θερμογραφήματα που λήφθηκαν από τα εξεταζόμενα δείγματα.



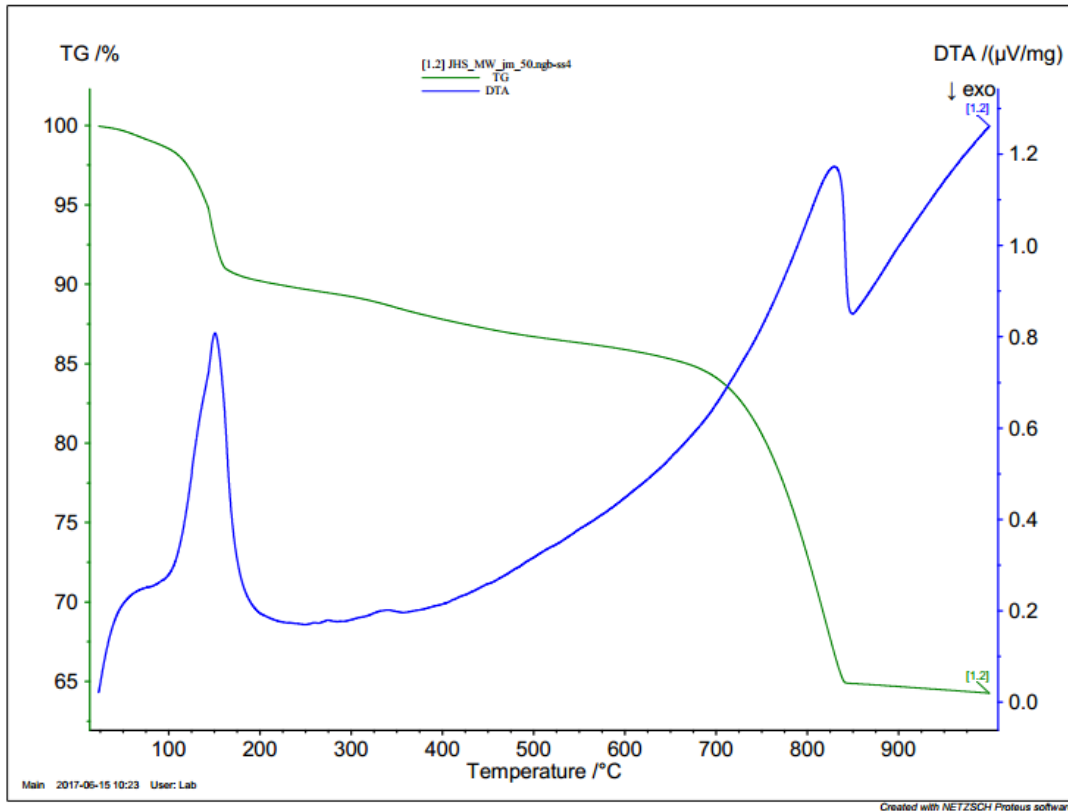
Διάγραμμα 48 Θερμογραφήματα δείγματος JHS_MW_fm_50



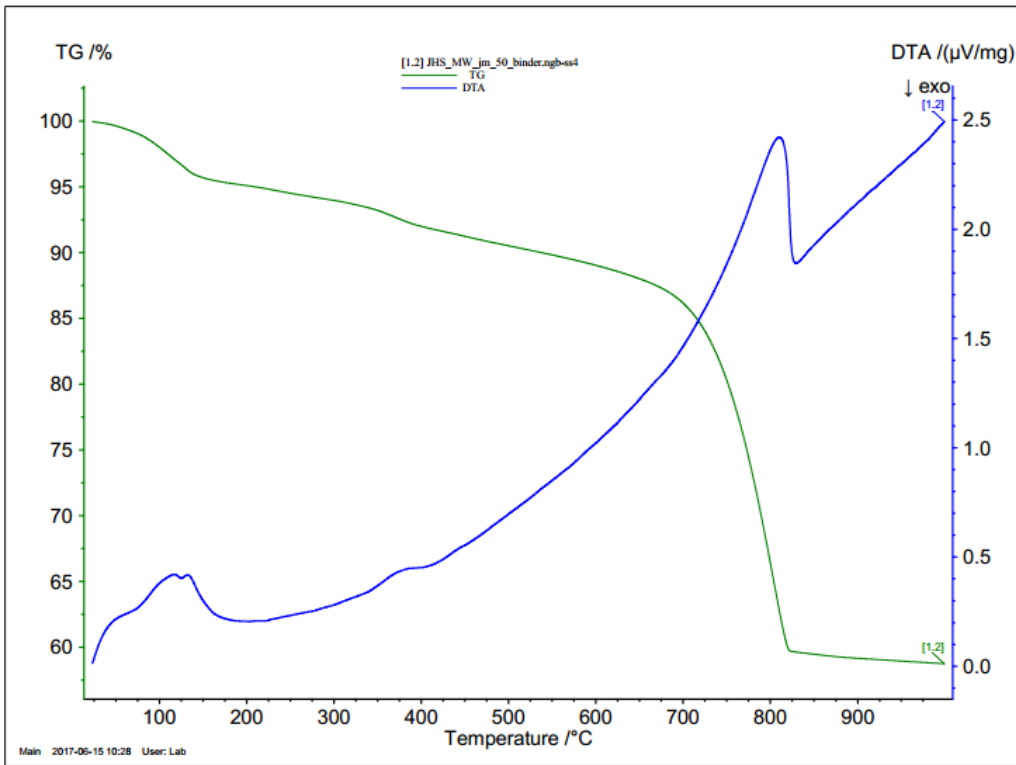
Διάγραμμα 49 Θερμογραφήματα δείγματος JHS_MW_fm_50_binder



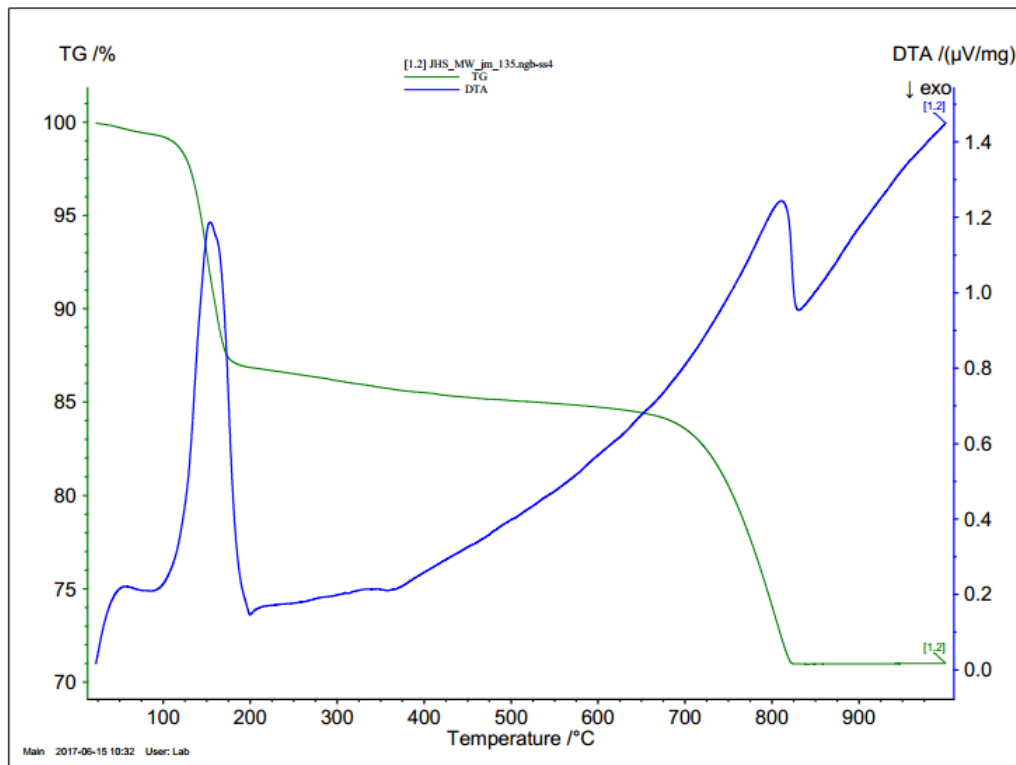
Διάγραμμα 50 Θερμογραφήματα δείγματος JHS_MW_fm_200



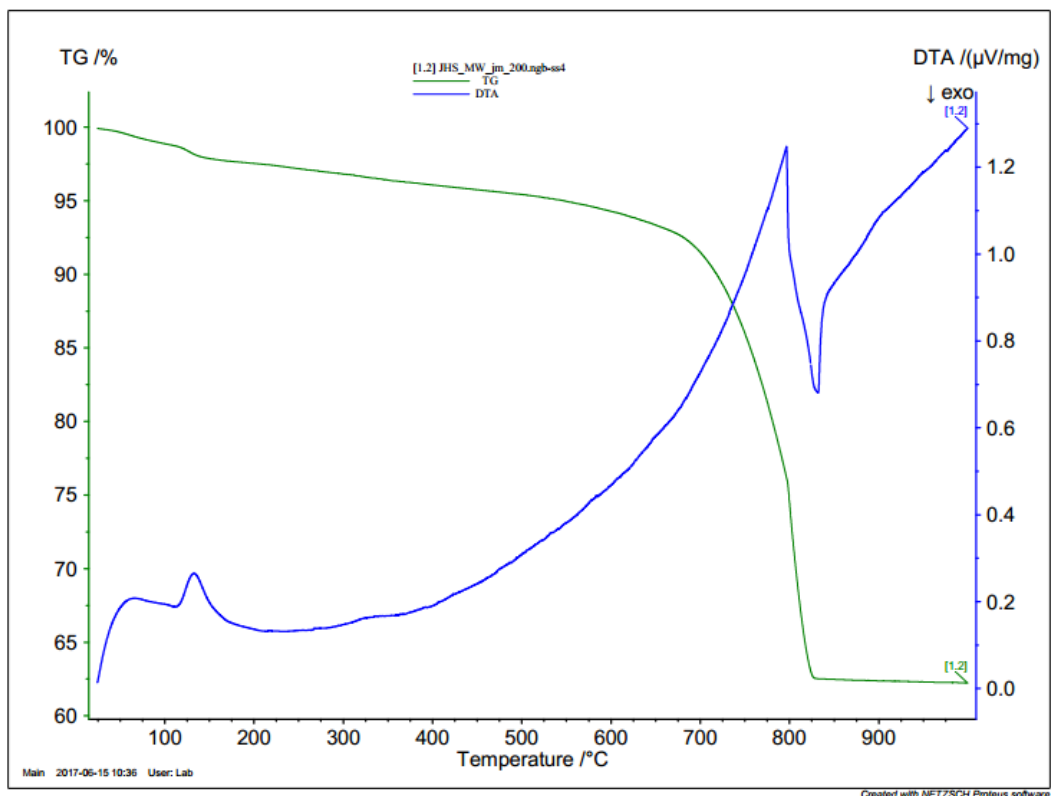
Διάγραμμα 51 Θερμογραφήματα δείγματος JHS_MW_fm_50



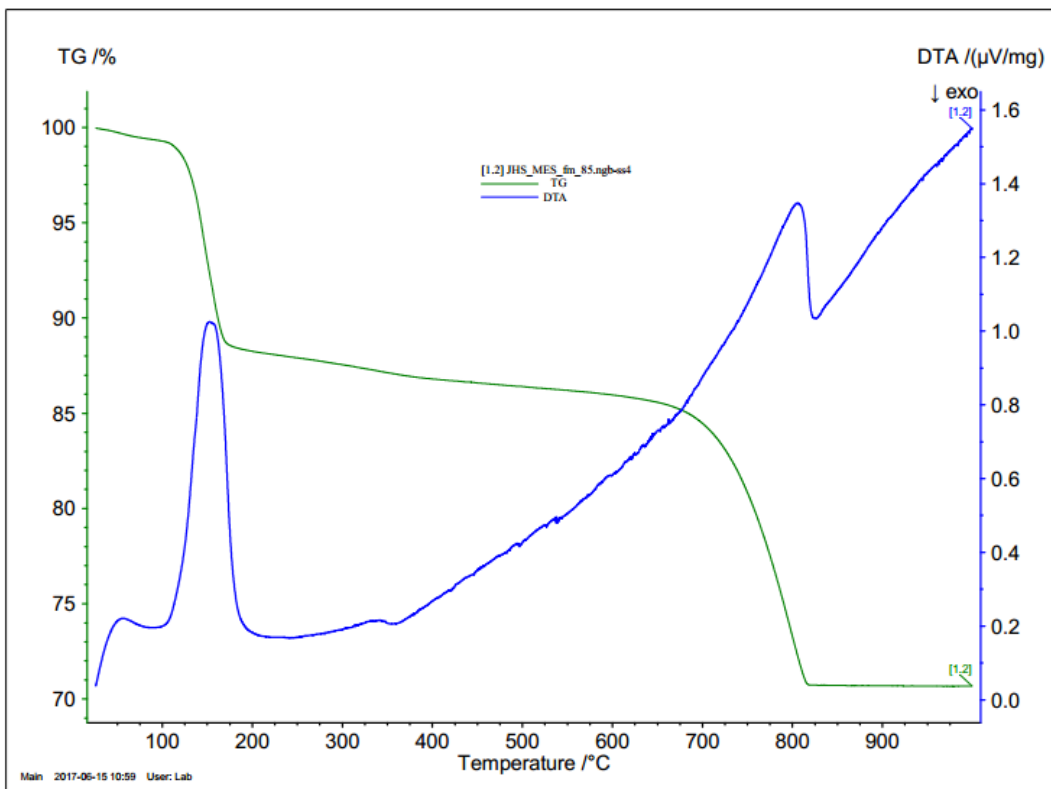
Διάγραμμα 52 Θερμογραφήματα δείγματος JHS_MW_jm_50_binder



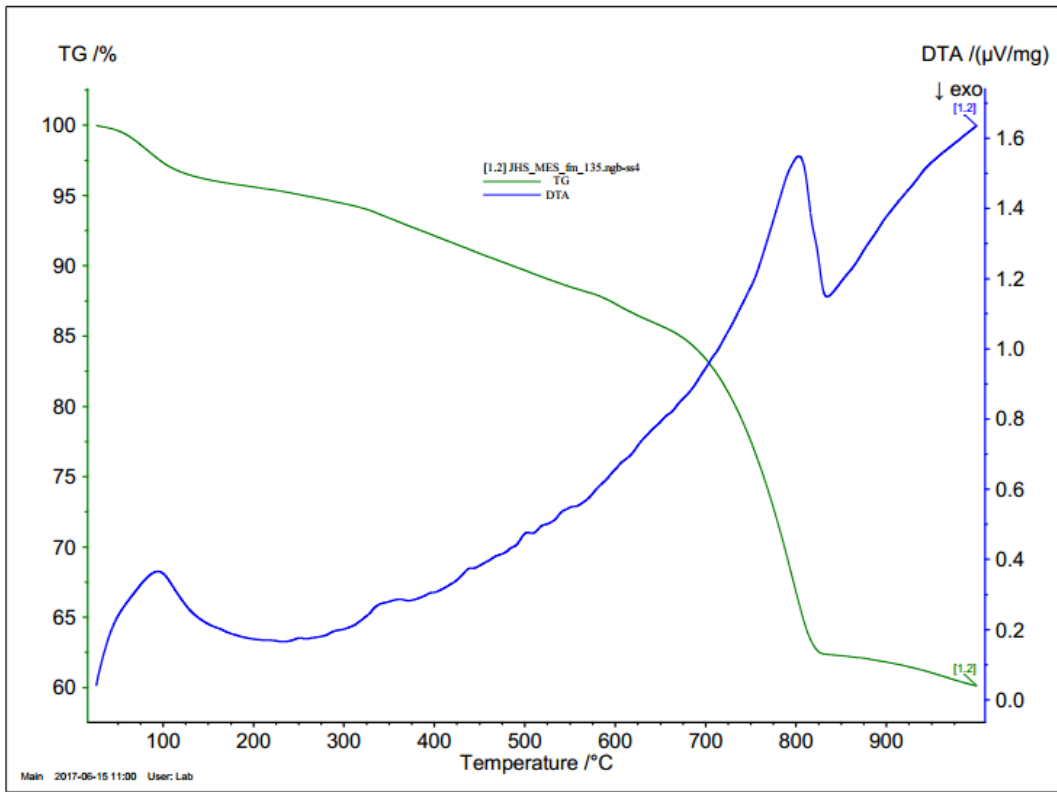
Διάγραμμα 53 Θερμογραφήματα δείγματος JHS_MW_jm_135



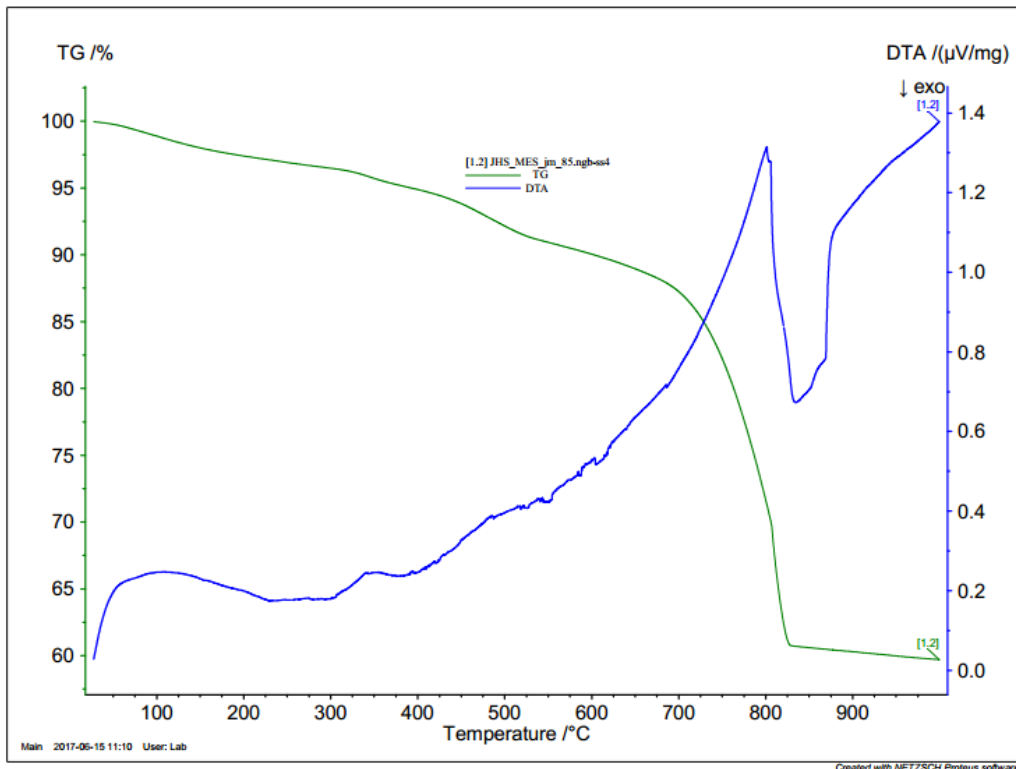
Διάγραμμα 54 Θερμογραφήματα δείγματος JHS_MW_fm_200



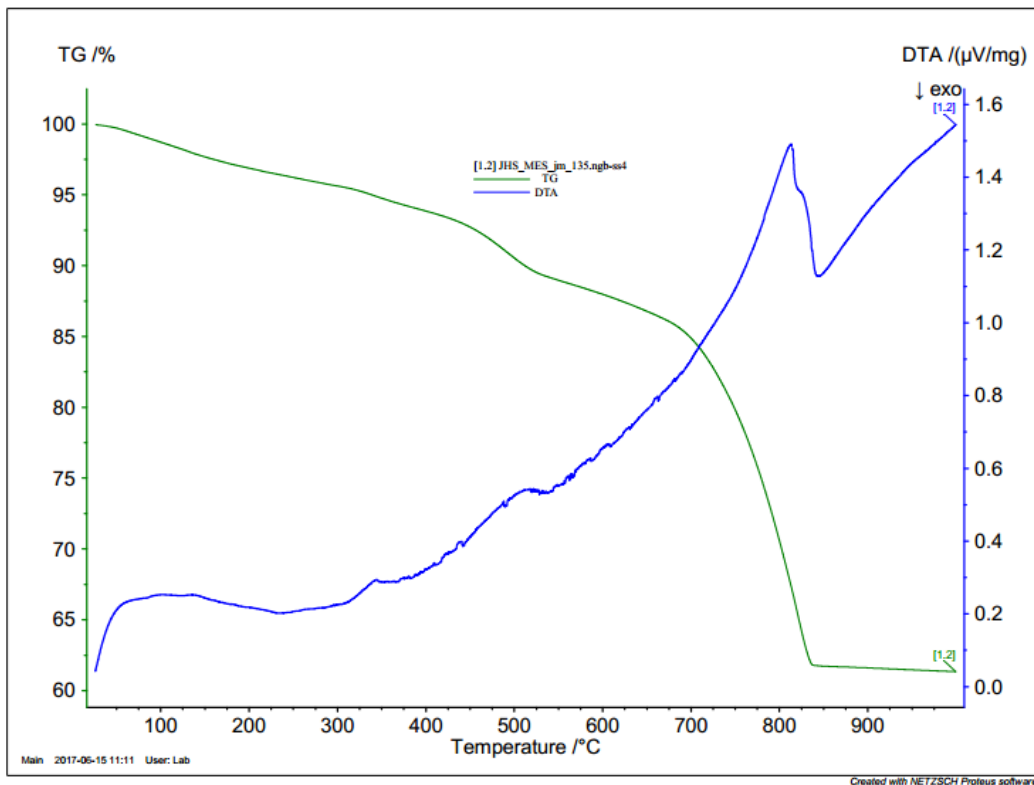
Διάγραμμα 55 Θερμογραφήματα δείγματος JHS_MES_fm_85



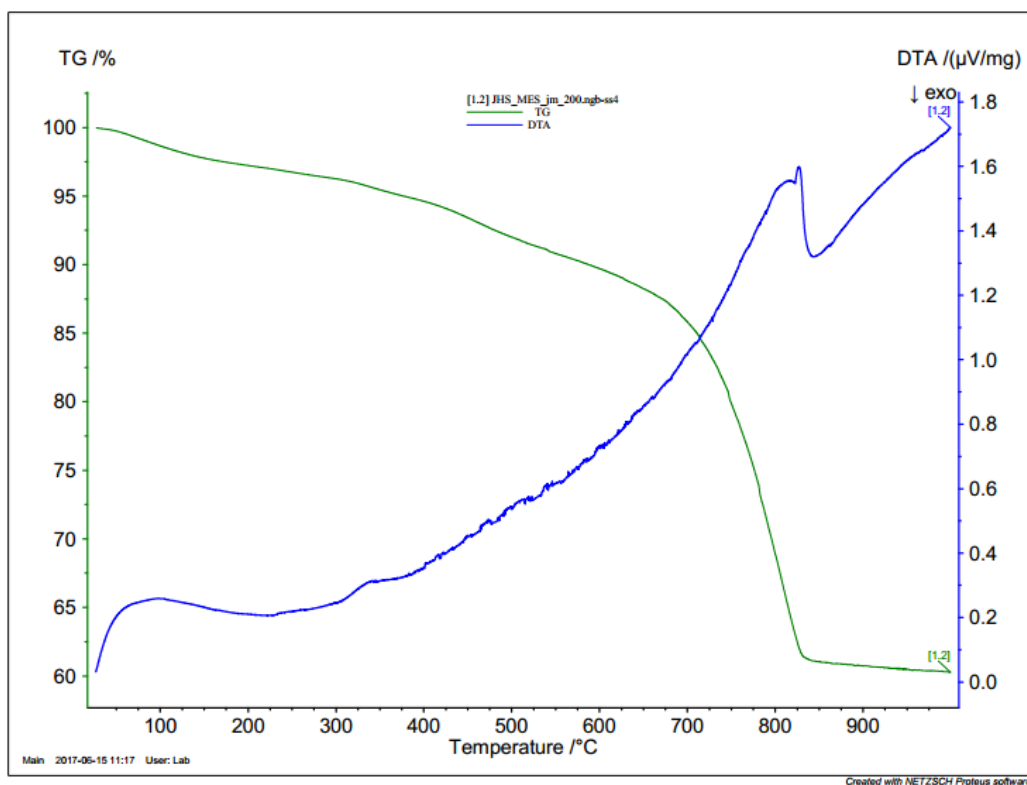
Διάγραμμα 56 Θερμογραφήματα δείγματος JHS_MES_fm_135



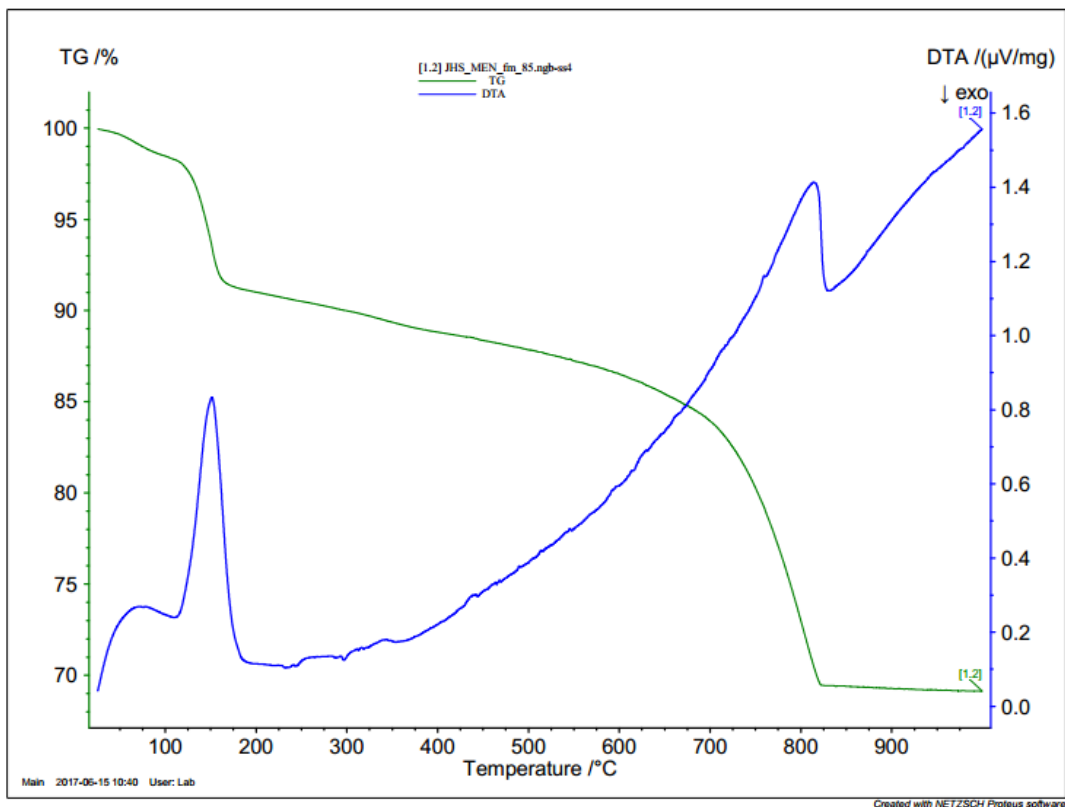
Διάγραμμα 57 Θερμογραφήματα δείγματος JHS_MES_fm_85



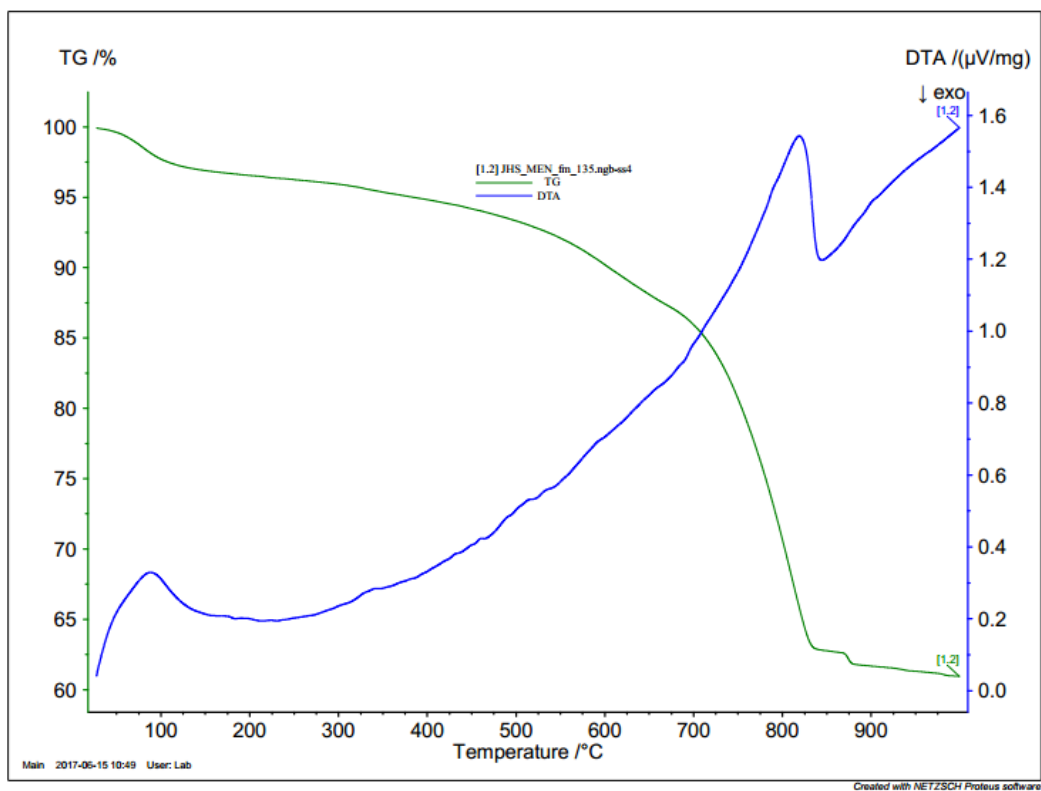
Διάγραμμα 58 Θερμογραφήματα δείγματος JHS_MES_jm_135



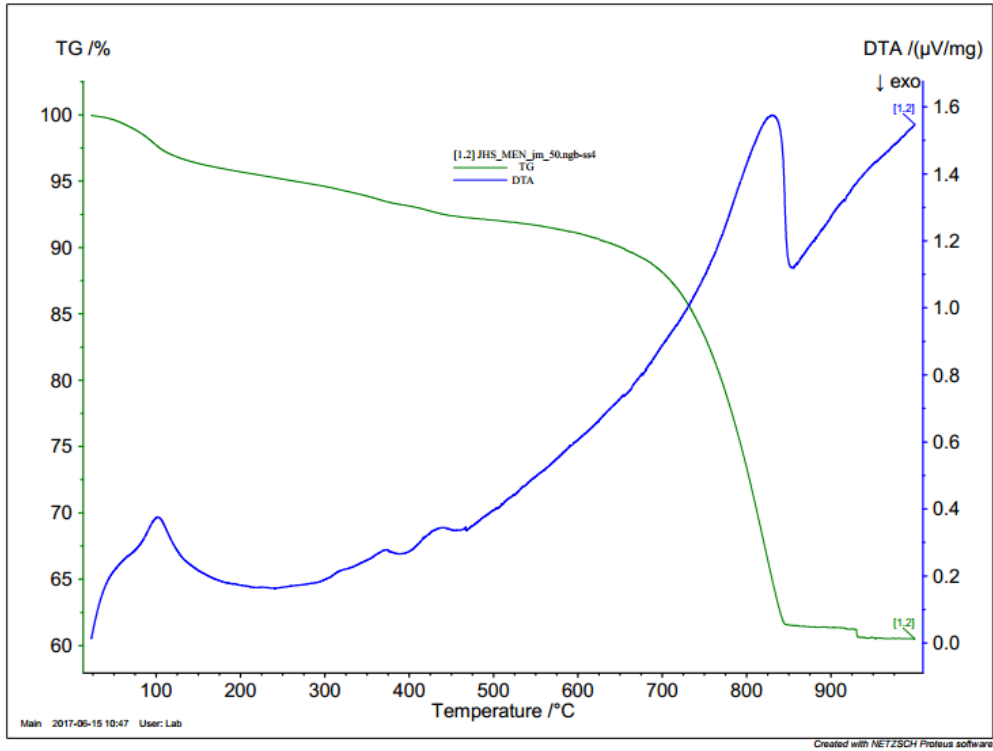
Διάγραμμα 59 Θερμογραφήματα δείγματος JHS_MES_jm_200



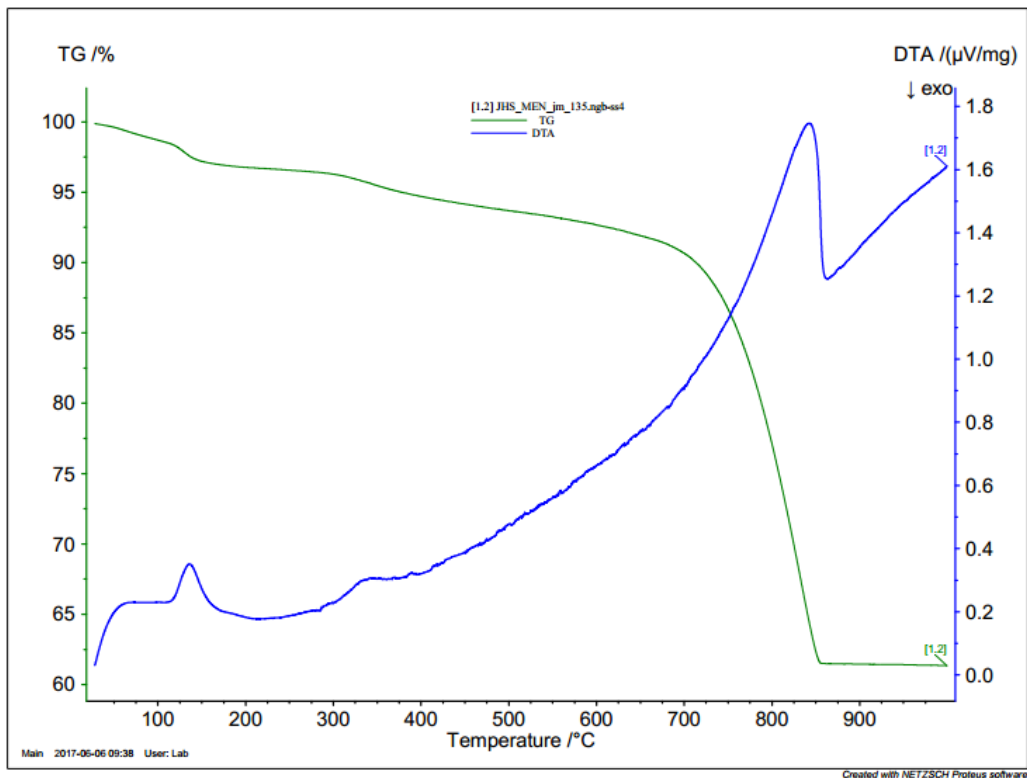
Διάγραμμα 60 Θερμογραφήματα δείγματος JHS_MEN_fm_85



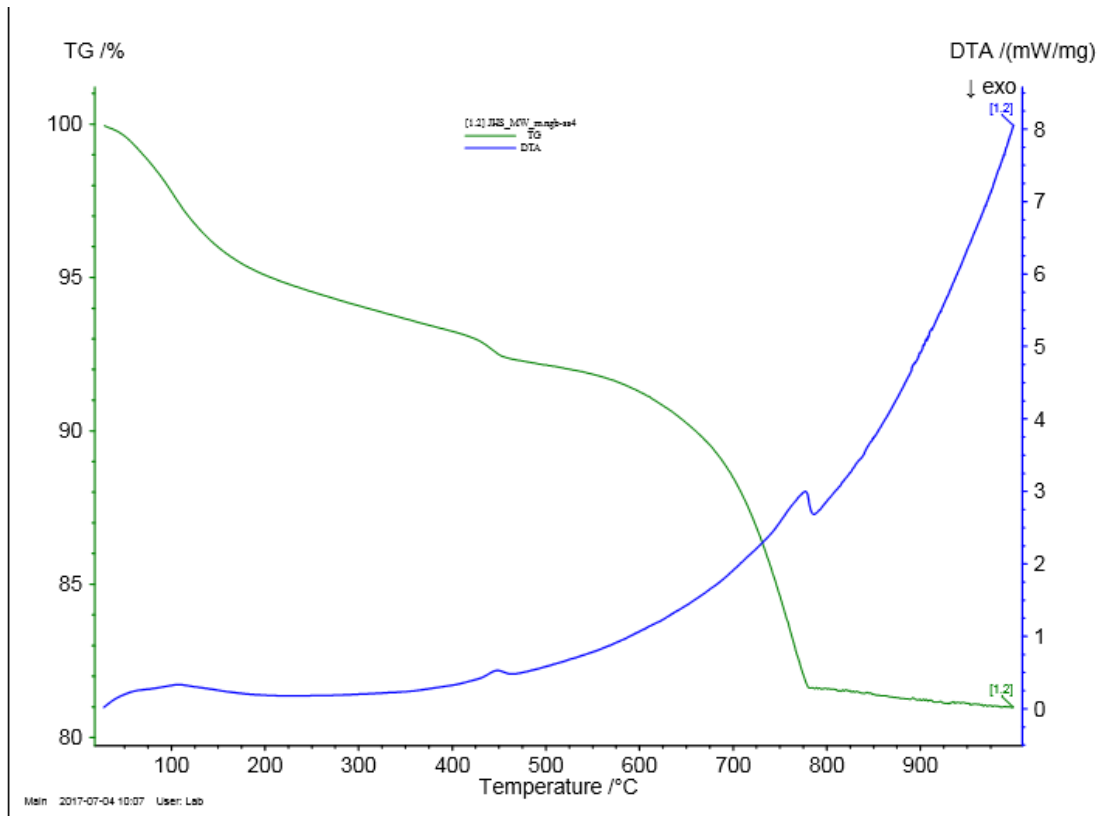
Διάγραμμα 61 Θερμογραφήματα δείγματος JHS_MEN_fm_135



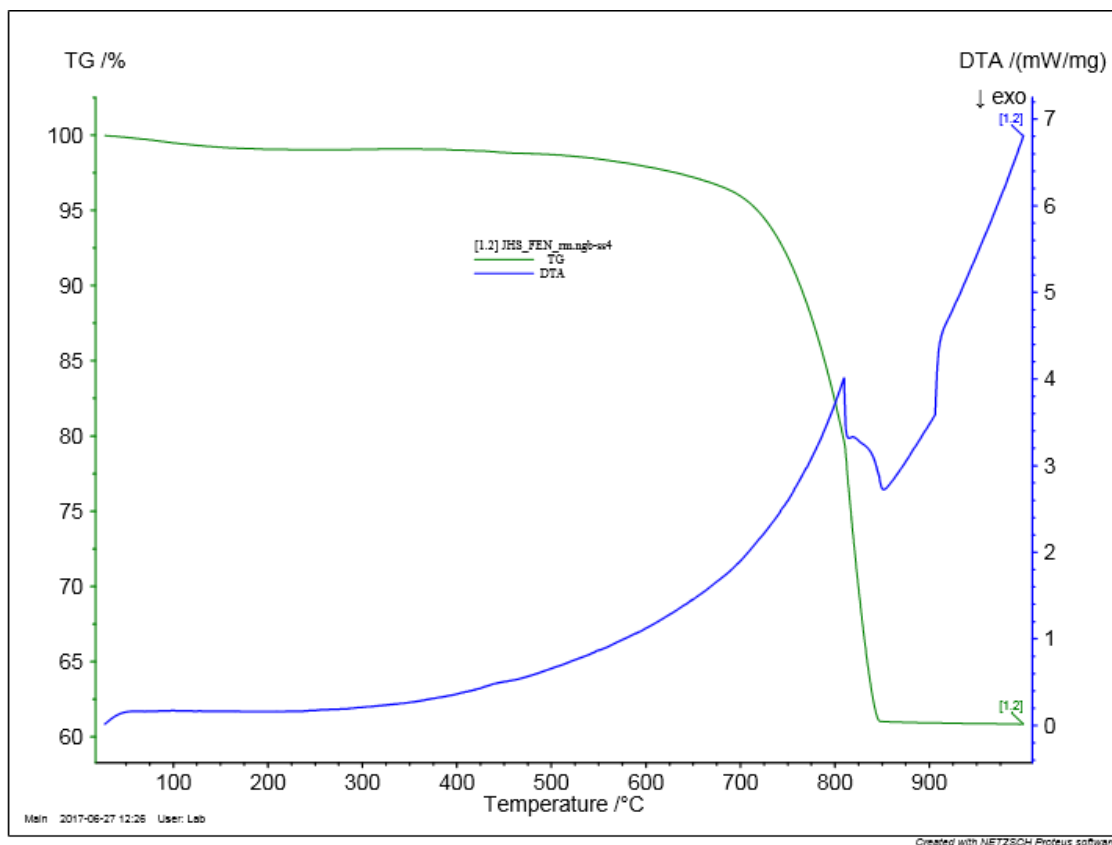
Διάγραμμα 62 Θερμογραφήματα δείγματος JHS_MEN_jm_50



Διάγραμμα 63 Θερμογραφήματα δείγματος JHS_MEN_jm_135



Διάγραμμα 65 Θερμογραφήματα δείγματος MW_m



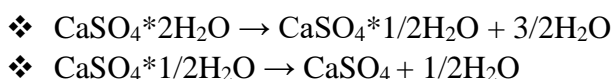
Διάγραμμα 64 Θερμογραφήματα δείγματος JHS_FEN_rm

4.4.2. Επεξεργασία Αποτελεσμάτων της DTA-TG

Από τις ποσοστιαίες απώλειες μάζας στα δύο τελευταία διαστήματα, οι οποίες αντιστοιχούν στην μάζα του χημικά δεσμευμένου νερού και του διοξειδίου του άνθρακα που αποδεσμεύεται από τη διάσπαση των ανθρακικών ενώσεων, υπολογίζεται η αναλογία CO₂ /H₂O χημικά δεσμευμένο, που ταυτοποιεί την υδραυλικότητα του κονιάματος. Υψηλές τιμές υποδηλώνουν μη υδραυλικά κονιάματα (τιμή υψηλότερη του 7,5), ενώ χαμηλές υδραυλικά κονιάματα. Βέβαια, εδώ πρέπει να ληφθεί υπόψη εάν το δείγμα περιέχει και άλλες ενώσεις που περιέχουν χημικά δεσμευμένο νερό οι οποίες πρέπει να αφαιρεθούν από το ποσοστό των χημικών νερών πριν τον υπολογισμό του αντίστροφου δείκτη υδραυλικότητας.

Ακόμη από τις ποσοστιαίες απώλειες μάζας μπορεί να υπολογιστεί το ποσοστό γύψου και ασβεστίτη που περιέχεται στα δείγματα. Το ποσοστό αυτό, έχει υπολογιστεί στα δείγματα που εμφάνισαν γύψο στο XRD και θεωρώντας ότι όλη η ποσότητα της απώλειας μάζας στο διάστημα 120-200°C προέρχεται από την αφυδάτωση του γύψου, ενώ στην πραγματικότητα, είναι πιθανό να υπάρχει και ποσοστό ημιυδρίτη και ως εκ τούτοις η ποσότητα να είναι ακόμα μεγαλύτερη. Παράλληλα, το ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου έχει υπολογιστεί από την απώλεια μάζας λόγω διάσπασης και έκλυσης του CO₂ θεωρώντας ότι προέρχεται όλο από αυτήν την ένωση, ενώ στην πραγματικότητα, υπάρχουν και μικρές προσμίξεις δολομίτη σε κάποιες περιπτώσεις, που είναι ωστόσο δύσκολο να διαχωριστούν, και παράλληλα κάποιο ποσοστό της απώλειας μάζας οφείλεται και σε μερική διάσπαση του ανυδρίτη σε αυτές τις θερμοκρασίες.

Στα διαγράμματα των δειγμάτων που περιέχουν γύψο παρουσιάζονται δύο ενδόθερμες κορυφές στο διάστημα θερμοκρασιών 120-200°C που ταυτοποιούν την διάσπαση γύψου σύμφωνα με τις αντιδράσεις:

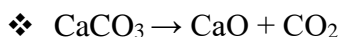


Μέσω της στοιχειομετρίας των αντιδράσεων και των μοριακών βαρών των στοιχείων το ποσοστό του γύψου μπορεί να υπολογιστεί από το ποσοστό του απομακρυσμένου νερού μέσω του τύπου:

$$m_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} \% = \frac{172}{36} * m_{\text{H}_2\text{O}} \%$$

Ο υπολογισμός αυτός έγινε στα δείγματα τα οποία εμφάνισαν ύπαρξη γύψου στη διαδικασία της περίθλασης ακτίνων X.

Αντίστοιχα, στο διάγραμμα των δειγμάτων που περιέχουν ασβεστίτη παρουσιάζεται μία ενδόθερμη κορυφή στο θερμοκρασιακό διάστημα >600°C. Με τη θεώρηση που έγινε παραπάνω ταυτοποιείται η διάσπαση ασβεστίτη μέσω της αντίδρασης:



Μέσω της στοιχειομετρίας της αντίδρασης και των μοριακών βαρών των στοιχείων το ποσοστό του ασβεστίτη μπορεί να υπολογιστεί από το ποσοστό του απομακρυσμένου CO₂ μέσω του τύπου:

$$m_{CaCO_3}\% = \frac{100}{44} * m_{CO_2}\%$$

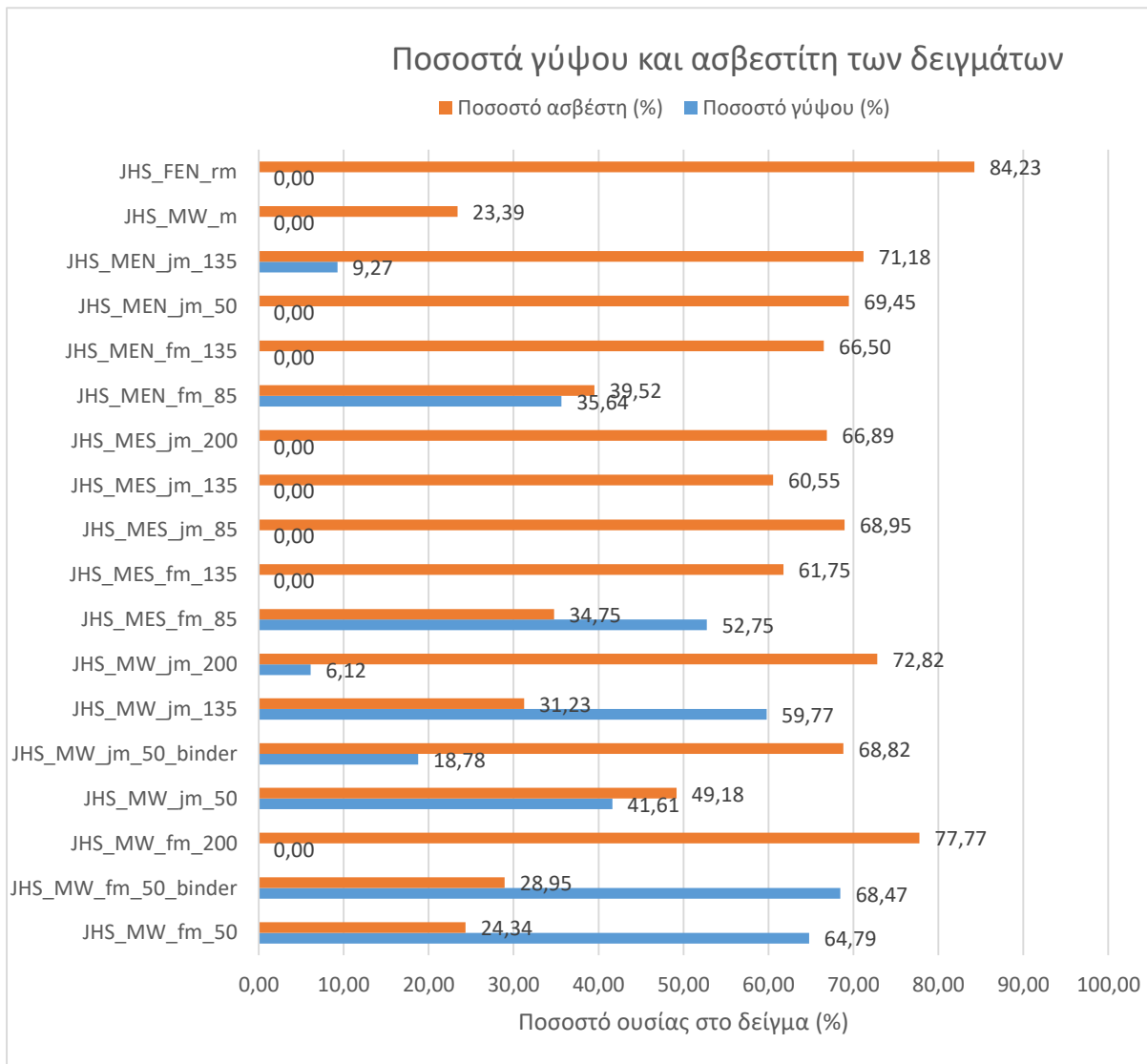
Σύμφωνα, λοιπόν, με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω και με τους αντίστοιχους υπολογισμούς κατασκευάστηκε ο παρακάτω πίνακας.

Πίνακας 13 Ποσοστά γύψου και ασβεστίτη και Αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας των δειγμάτων

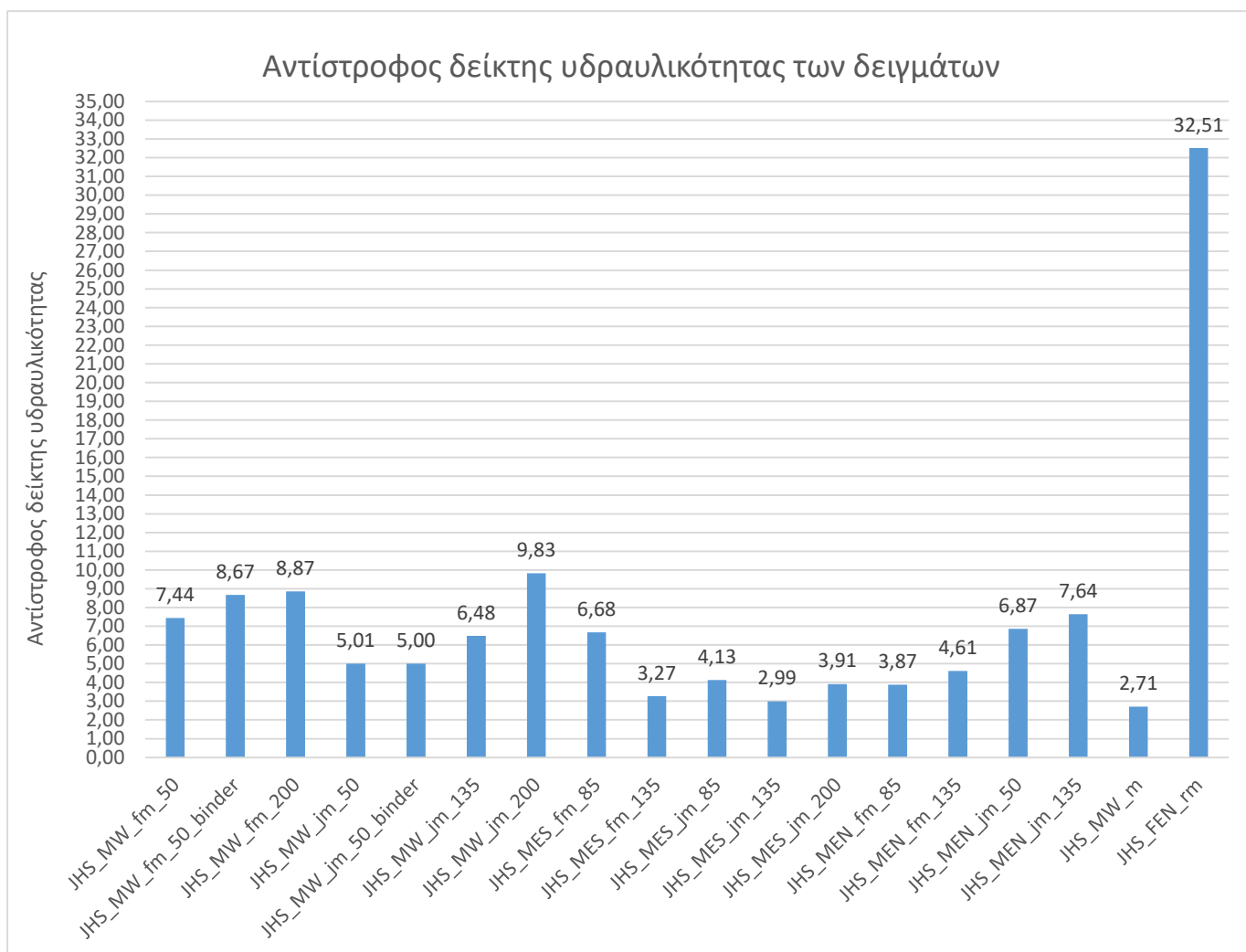
Κωδικός Δείγματος	Ποσοστό γύψου (%)	Ποσοστό ασβέστη (%)	Αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας
JHS_MW_fm_50	64,79	24,34	7,44
JHS_MW_fm_50_binder	68,47	28,95	8,67
JHS_MW_fm_200	-	77,77	8,87
JHS_MW_jm_50	41,61*	49,18	5,01
JHS_MW_jm_50_binder	18,78*	68,82	5,00
JHS_MW_jm_135	59,77	31,23	6,48
JHS_MW_jm_200	6,12	72,82	9,83
JHS_MES_fm_85	52,75	34,75	6,68
JHS_MES_fm_135	-	61,75	3,27
JHS_MES_jm_85	-	68,95	4,13
JHS_MES_jm_135	-	60,55	2,99
JHS_MES_jm_200	-	66,89	3,91
JHS_MEN_fm_85	35,64	39,52	3,87
JHS_MEN_fm_135	-	66,50	4,61
JHS_MEN_jm_50	-	69,45	6,87
JHS_MEN_jm_135	9,27	71,18	7,64
JHS_MW_m	-	23,39	2,71
JHS_FEN_rm	-	84,23	32,51

*Να σημειωθεί ότι στις περιπτώσεις των δειγμάτων JHS_MW_jm_50 και JHS_MW_jm_50_binder έχει γίνει υπερεκτίμηση του ποσοστού γύψου, καθώς ανάμεσα στη θερμοκρασιακό διάστημα 120 °C με 200 °C πραγματοποιούνται οι απώλειες βάρους των κρυσταλλικών νερών του εντρινγκίτη και του γύψου. Λόγω υπερεπικάλυψης της κορυφής του εντρινγκίτη από την κορυφή του γύψου, ο επιμέρους υπολογισμός δεν ήταν δυνατός. Συνεπώς η ποσότητα γύψου που εκτιμήθηκε είναι αρκετά μεγαλύτερη από την πραγματική, καθώς συμπεριλαμβάνει και την απώλεια μάζας που οφείλεται στην απομάκρυνση των κρυσταλλικών του εντρινγκίτη.

Στα παρακάτω γραφήματα απεικονίζονται τα παραπάνω αποτελέσματα.



Διάγραμμα 66 Ραβδόγραμμα ποσοστού γύψου των δειγμάτων μέσω της μεθόδου DTA-TG



Διάγραμμα 67 Ιστόγραμμα του αντίστροφου δείκτη υδραυλικότητας των δειγμάτων

Από αυτά τα αποτελέσματα γίνεται αντιληπτό η πλειονότητα των δειγμάτων που εξετάστηκαν με τη συγκεκριμένη μέθοδο είναι ασβεστίτικα, αλλά ταυτόχρονα αρκετά από τα δείγματα παρουσιάζουν μεγάλη ποσότητα γύψου. Επίσης, λίγα από τα δείγματα μπορούν να χαρακτηριστούν υδραυλικά. Αυτά είναι τα JHS_MES_fm_135, JHS_MES_fm_85, JHS_MES_fm_135, JHS_MES_fm_200, JHS_MEN_fm_135 και JHS_MW_fm το οποίο περιέχει μεγάλη ποσότητα κεραμικών.

Στη συνέχεια ακολουθεί σχολιασμός των κορυφών της μεθόδου DTA για κάθε δείγμα.

JHS_MW_fm_50

Το δείγμα JHS_MW_fm_50 παρουσιάζει αρχικά μία ενδόθερμη κορυφή στους 54,6 °C λόγω της απομάκρυνσης των ροφημένων νερών από το δείγμα. Στη συνέχεια, εμφανίζονται δύο ενδόθερμες κορυφές λόγω της απομάκρυνσης των κρυσταλλικών νερών στους 145°C και 157,3 °C. Τέλος, ακολουθεί μία ενδόθερμη κορυφή στους 803,7 °C λόγω της διάσπασης ανθρακικών ενώσεων.

JHS_MW_fm_50_binder

Πρόκειται για την επεξεργασία της κονιάς του προηγούμενου δείγματος, όπως προέκυψε από τη μέθοδο της κοκκομετρίας. Το δείγμα παρουσιάζει αρχικά μία ενδόθερμη κορυφή στους 60 °C λόγω της απομάκρυνσης των ροφημένων νερών. Στη συνέχεια, εμφανίζονται δύο ενδόθερμες κορυφές λόγω της απομάκρυνσης των κρυσταλλικών νερών στους 152,4°C και 164,3 °C. Έπειτα, ακολουθούν μία ενδόθερμη και μία εξώθερμη κορυφή στους 335,6 °C και 356,3 °C αντίστοιχα που μπορεί να οφείλονται στη διάσπαση οργανικών ουσιών και χημικά δεσμευμένων νερών από υδραυλικές ενώσεις μέσα στο δείγμα. Τέλος, ακολουθούν δύο ενδόθερμες κορυφές στους 800,2 °C και 919,6 °C λόγω της διάσπασης ανθρακικών ενώσεων.

JHS_MW_fm_200

Το δείγμα JHS_MW_fm_200 παρουσιάζει αρχικά μία ενδόθερμη κορυφή στους 66,4 °C λόγω της απομάκρυνσης των ροφημένων νερών. Στη συνέχεια, εμφανίζεται μία ενδόθερμη κορυφή λόγω της απομάκρυνσης των κρυσταλλικών νερών στους 126,6°C Έπειτα, ακολουθούν δύο ενδόθερμες κορυφές στους 340,1 °C και 406,9 °C που μπορεί να οφείλονται σε χημικά δεσμευμένα νερά από υδραυλικές ενώσεις μέσα στο δείγμα. Τέλος, ακολουθούν δύο ενδόθερμες κορυφές στους 767,2 °C και 832,9°C λόγω της διάσπασης ανθρακικών ενώσεων.

JHS_MW_jm_50

Το δείγμα JHS_MW_jm_50 παρουσιάζει αρχικά μία ενδόθερμη κορυφή στους 65,3°C λόγω της απομάκρυνσης των ροφημένων νερών από το δείγμα. Στη συνέχεια, εμφανίζονται δύο ενδόθερμες κορυφές λόγω της απομάκρυνσης των κρυσταλλικών νερών στους 128,8°C και 150,9°C. Έπειτα, ακολουθούν τρεις ενδόθερμες κορυφές στους 274,9 °C, 341,3 °C και 411,7°C που μπορεί να οφείλονται σε χημικά δεσμευμένα νερά από υδραυλικές ενώσεις μέσα στο δείγμα. Τέλος, ακολουθεί μία ενδόθερμη κορυφή στους 829,1 °C λόγω της διάσπασης ανθρακικών ενώσεων.

JHS_MW_jm_50_binder

Πρόκειται για την επεξεργασία της κονιάς του προηγούμενου δείγματος, όπως προέκυψε από τη μέθοδο της κοκκομετρίας. Το δείγμα παρουσιάζει αρχικά μία ενδόθερμη κορυφή στους 55.5 °C λόγω της απομάκρυνσης των ροφημένων νερών. Στη συνέχεια, εμφανίζονται δύο ενδόθερμες κορυφές λόγω της απομάκρυνσης των κρυσταλλικών νερών στους 116,9°C και 132,3 °C. Έπειτα, ακολουθούν μία εξώθερμη και μία ενδόθερμη κορυφή στους 392,1 °C και 445,2 °C αντίστοιχα που μπορεί να οφείλονται στη διάσπαση οργανικών ουσιών και χημικά δεσμευμένων νερών από υδραυλικές ενώσεις μέσα στο δείγμα. Τέλος, ακολουθεί μία ενδόθερμη κορυφή στους 810,2 °C λόγω της διάσπασης ανθρακικών ενώσεων.

JHS_MW_jm_135

Το δείγμα JHS_MW_jm_135 παρουσιάζει αρχικά μία ενδόθερμη κορυφή στους 56,2 °C λόγω της απομάκρυνσης των ροφημένων νερών. Στη συνέχεια, εμφανίζονται δύο ενδόθερμες κορυφές λόγω της απομάκρυνσης των κρυσταλλικών νερών στους 153,9°C και 165,0 °C. Έπειτα, ακολουθούν μία ενδόθερμη και μία εξώθερμη κορυφή στους 221,6 °C και 357,3 °C αντίστοιχα που μπορεί να οφείλονται στη διάσπαση οργανικών ουσιών και χημικά δεσμευμένων νερών από υδραυλικές ενώσεις μέσα στο δείγμα. Τέλος, ακολουθεί μία ενδόθερμη κορυφή στους 810,6 °C λόγω της διάσπασης ανθρακικών ενώσεων.

JHS_MW_jm_200

Το δείγμα JHS_MW_jm_200 παρουσιάζει αρχικά μία ενδόθερμη κορυφή στους 65,8 °C λόγω της απομάκρυνσης των ροφημένων νερών. Στη συνέχεια, εμφανίζεται μία ενδόθερμη κορυφή λόγω της απομάκρυνσης των κρυσταλλικών νερών στους 132,7°C Έπειτα, ακολουθεί μία ενδόθερμη κορυφή στους 341,7 °C που μπορεί να οφείλεται σε χημικά δεσμευμένα νερά από υδραυλικές ενώσεις μέσα στο δείγμα. Μετά υπάρχει μία ενδόθερμη κορυφή στους 583,3 °C λόγω μεταβολής φάσης του χαλαζία από α σε β. Τέλος ακολουθούν μία ενδόθερμη και μία εξώθερμη κορυφή στους 796,6 °C και 832 °C αντίστοιχα λόγω της διάσπασης ανθρακικών ενώσεων.

JHS_MES_fm_85

Το δείγμα JHS_MES_fm_85 παρουσιάζει αρχικά μία ενδόθερμη κορυφή στους 56,9 °C λόγω της απομάκρυνσης των ροφημένων νερών. Στη συνέχεια, εμφανίζονται δύο ενδόθερμες κορυφές λόγω της απομάκρυνσης των κρυσταλλικών νερών στους 149.1°C και 161.6 °C. Στη συνέχεια, ακολουθούν πολλές ενδόθερμες και εξώθερμες κορυφές που μπορεί να οφείλονται στη διάσπαση οργανικών ουσιών και χημικά δεσμευμένων νερών από υδραυλικές ενώσεις μέσα στο δείγμα.. Οι ενδόθερμες είναι στους 340,8 °C , 420,8 °C και 679,6 °C, και οι εξώθερμες είναι στους 496,7 °C , 526,6 °C και 586,8 °C. Τέλος, ακολουθεί μία ενδόθερμη κορυφή στους 805,1 °C λόγω της διάσπασης ανθρακικών ενώσεων.

JHS_MES_fm_135

Το δείγμα JHS_MES_fm_135 παρουσιάζει αρχικά μία ενδόθερμη κορυφή στους 94,2°C λόγω της απομάκρυνσης των ροφημένων νερών. Στο συγκεκριμένο δείγμα δεν εμφανίζονται ενδόθερμες κορυφές λόγω της απομάκρυνσης των κρυσταλλικών νερών. Στη συνέχεια, ακολουθούν πολλές ενδόθερμες κορυφές στους 251,3°C , 340,8°C, 439,9°C, 503,2 °C, 518,2 °C και 549,5 °C που μπορεί να οφείλονται σε χημικά δεσμευμένα νερά από υδραυλικές ενώσεις μέσα στο δείγμα. Τέλος, ακολουθεί μία ενδόθερμη κορυφή στους 803 °C λόγω της διάσπασης ανθρακικών ενώσεων.

JHS_MES_jm_85

Το δείγμα JHS_MES_jm_85 παρουσιάζει αρχικά μία ενδόθερμη κορυφή στους 107.3°C λόγω της απομάκρυνσης των ροφημένων νερών. Στο συγκεκριμένο δείγμα δεν εμφανίζονται ενδόθερμες κορυφές λόγω της απομάκρυνσης των κρυσταλλικών νερών. Στη συνέχεια, ακολουθούν πολλές ενδόθερμες κορυφές και μία εξώθερμη που μπορεί να οφείλονται σε χημικά δεσμευμένα νερά από υδραυλικές ενώσεις μέσα στο δείγμα. Οι ενδόθερμες είναι στους 307,6 °C, 343,1 °C, 394,3 °C, 485 °C, 540,8 °C, 603,2 °C και 681,8 °C και η εξώθερμη είναι στους 424,6 °C. Τέλος ακολουθούν δύο ενδόθερμες και μία εξώθερμη κορυφή στους 801,4 °C, 805,6 °C και 868,7 °C αντίστοιχα λόγω της διάσπασης ανθρακικών ενώσεων.

JHS_MES_jm_135

Στο δείγμα JHS_MES_jm_135 δεν εμφανίζονται ενδόθερμες κορυφές λόγω της απομάκρυνσης των ροφημένων και κρυσταλλικών νερών. Εμφανίζονται στο διάγραμμα πολλές ενδόθερμες κορυφές στους 344,1°C , 440,2°C, 516,3°C και 603,8 °C που μπορεί να οφείλονται σε χημικά

δεσμευμένα νερά από υδραυλικές ενώσεις μέσα στο δείγμα. Τέλος ακολουθούν δύο ενδόθερμες κορυφές στους 811,1 °C και 829,3 °C λόγω της διάσπασης ανθρακικών ενώσεων.

JHS_MES_jm_200

Το δείγμα JHS_MES_jm_200 παρουσιάζει αρχικά μία ενδόθερμη κορυφή στους 98,7°C λόγω της απομάκρυνσης των ροφημένων νερών. Στο συγκεκριμένο δείγμα δεν εμφανίζονται ενδόθερμες κορυφές λόγω της απομάκρυνσης των κρυσταλλικών νερών. Στη συνέχεια, εμφανίζονται στο διάγραμμα πολλές ενδόθερμες κορυφές στους 339,5°C , 447,2°C, 469,5°C, 506,9 °C, 537,2 °C και 595,1°C που μπορεί να οφείλονται σε χημικά δεσμευμένα νερά από υδραυλικές ενώσεις μέσα στο δείγμα. Η τελευταία μπορεί να οφείλεται λόγω μεταβολής φάσης του χαλαζία από α σε β. Τέλος ακολουθούν δύο ενδόθερμες κορυφές στους 814,4 °C και 825,6 °C λόγω της διάσπασης ανθρακικών ενώσεων.

JHS_MEN_fm_85

Το δείγμα JHS_MEN_fm_85 παρουσιάζει αρχικά μία ενδόθερμη κορυφή στους 78.3°C λόγω της απομάκρυνσης των ροφημένων νερών. Στη συνέχεια, εμφανίζεται μία ενδόθερμη κορυφή λόγω της απομάκρυνσης των κρυσταλλικών νερών στους 151,5°C. Στη συνέχεια, ακολουθούν πολλές ενδόθερμες και εξώθερμες κορυφές που μπορεί να οφείλονται στη διάσπαση οργανικών ουσιών και χημικά δεσμευμένων νερών από υδραυλικές ενώσεις μέσα στο δείγμα. Οι ενδόθερμες είναι στους 343.7 °C , 441 °C, 514,2 °C, και 545,8 °C και οι εξώθερμες είναι στους 231,4 °C και 297.1 °C. Μετά υπάρχει μία ενδόθερμη κορυφή κορυφή στους 594,7 °C λόγω μεταβολής φάσης του χαλαζία από α σε β. Τέλος ακολουθούν δύο ενδόθερμες κορυφές στους 758°C και 813,7 °C λόγω της διάσπασης ανθρακικών ενώσεων.

JHS_MEN_fm_135

Το δείγμα JHS_MEN_fm_135 παρουσιάζει αρχικά δύο ενδόθερμες κορυφές στους 53,2 °C και 88,1 °C λόγω της απομάκρυνσης των ροφημένων νερών. Στη συνέχεια, εμφανίζεται μία ενδόθερμη κορυφή λόγω της απομάκρυνσης των κρυσταλλικών νερών στους 183,2°C. Στη συνέχεια, εμφανίζονται στο διάγραμμα πολλές ενδόθερμες κορυφές στους 342,2°C , 461,2°C, 512,6°C, 533,1 °C, 592,7°C και 695,1°C που μπορεί να οφείλονται σε χημικά δεσμευμένα νερά από υδραυλικές ενώσεις μέσα στο δείγμα. Μία από τις δύο τελευταίες μπορεί να οφείλεται λόγω μεταβολής φάσης του χαλαζία από α σε β. Τέλος ακολουθούν δύο ενδόθερμες κορυφές στους 790,4°C και 819 °C λόγω της διάσπασης ανθρακικών ενώσεων.

JHS_MEN_jm_50

Το δείγμα JHS_MEN_jm_50 παρουσιάζει αρχικά δύο ενδόθερμες κορυφές στους 64,1 °C και 102 °C λόγω της απομάκρυνσης των ροφημένων νερών. Στο συγκεκριμένο δείγμα δεν εμφανίζονται ενδόθερμες κορυφές λόγω της απομάκρυνσης των κρυσταλλικών νερών. Στη συνέχεια εμφανίζονται δύο ενδόθερμες και μία εξώθερμη κορυφή στους 372,7 °C, 440,2°C και 467,7 °C αντίστοιχα κορυφές που μπορεί να οφείλονται στη διάσπαση οργανικών ουσιών και χημικά δεσμευμένων νερών από υδραυλικές ενώσεις μέσα στο δείγμα, εδώ είναι εμφανής και η παρουσία πορτλαντίτη, που έγινε αντιληπτή και μέσω της μεθόδου XRD. Τέλος, ακολουθεί μία ενδόθερμη κορυφή στους 831 °C λόγω της διάσπασης ανθρακικών ενώσεων.

JHS_MEN_jm_135

Το δείγμα JHS_MEN_jm_135 παρουσιάζει αρχικά μία ενδόθερμη κορυφή στους 71,7°C λόγω της απομάκρυνσης των ροφημένων νερών. Στη συνέχεια, εμφανίζεται μία ενδόθερμη κορυφή λόγω της απομάκρυνσης των κρυσταλλικών νερών στους 136,1°C. Στη συνέχεια ακολουθούν δύο ενδόθερμες κορυφές στους 345,5 °C και 559 °C που μπορεί να οφείλονται σε χημικά δεσμευμένα νερά από υδραυλικές ενώσεις μέσα στο δείγμα. Τέλος, ακολουθεί μία ενδόθερμη κορυφή στους 842,6 °C λόγω της διάσπασης ανθρακικών ενώσεων.

JHS_MW_m

Το δείγμα JHS_MW_m παρουσιάζει αρχικά δύο ενδόθερμες κορυφές στους 66,6 °C και 108,4 °C λόγω της απομάκρυνσης των ροφημένων νερών. Σε αυτό το δείγμα δεν εμφανίζονται οι κορυφές των κρυσταλλικών νερών, καθώς δεν υπάρχει γύψος στο δείγμα. Έπειτα, ακολουθούν μία ενδόθερμη στους 448,4 °C που οφείλονται στα χημικά δεσμευμένων νερών από υδραυλικές ενώσεις μέσα στο δείγμα. Τέλος, ακολουθεί μία ενδόθερμη κορυφή στους 777,1 °C λόγω της διάσπασης ανθρακικών ενώσεων.

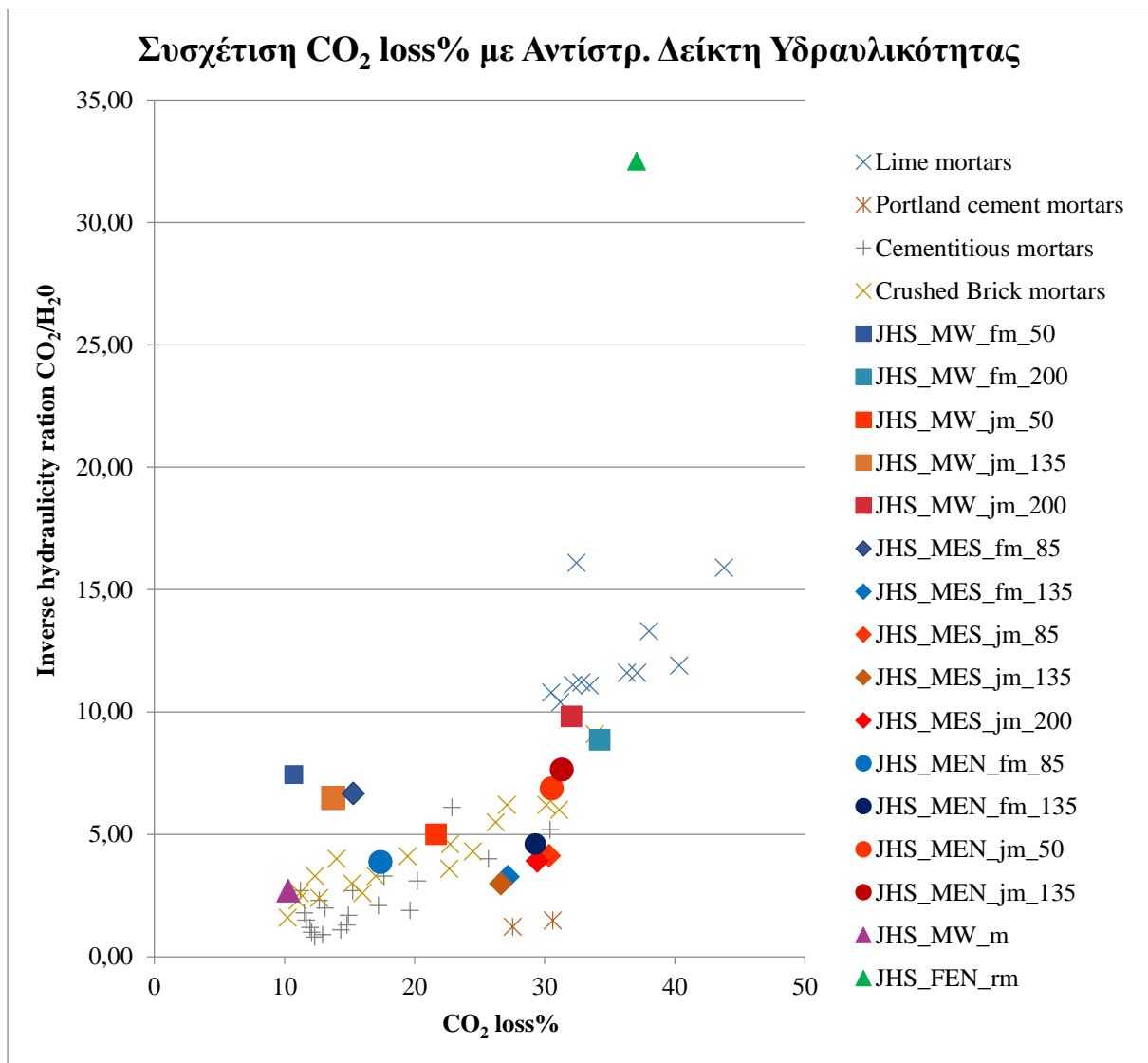
JHS_FEN_rm

Το δείγμα JHS_FEN_rm παρουσιάζει αρχικά μία ενδόθερμη κορυφή στους 59,3°C λόγω της απομάκρυνσης των ροφημένων νερών. Στο δείγμα δεν παρουσιάζονται κορυφές κρυσταλλικών νερών, ούτε υδραυλικών και οργανικών ενώσεων. . Τέλος, ακολουθούν πολλές ενδόθερμες και μία εξώθερμη, λόγω της διάσπασης του ασβεστίτη Οι ενδόθερμες είναι στους 809,6 °C, 822,0 °C, και 835,0 °C τέλος η εξώθερμη είναι στους 902,8 °C.

Να σημειωθεί ότι στα δείγματα που δεν ανιχνεύτηκε γύψος από την ανάλυση XRD δεν εμφανίστηκαν και κρυσταλλικά νερά στο θερμογράφημα DTA στο θερμοκρασιακό διάστημα 120-200 °C που επιβεβαιώνει ότι τα δείγματα αυτά δεν περιέχουν γύψο.

Δημιουργήθηκαν τα παρακάτω διαγράμματα για μία συσχέτιση των δειγμάτων:

Αρχικά, έγινε αναπαράσταση των δειγμάτων σε διάγραμμα όπου στον οριζόντιο άξονα τοποθετήθηκε το ποσοστό CO₂ που απελευθερώθηκε στο θερμοκρασιακό διάστημα 600-100°C και στον κάθετο άξονα τοποθετήθηκε ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας.



Διάγραμμα 68 Ποσοστό CO₂ που απελευθερώθηκε των δειγμάτων- Αντίστροφος δείκτης Υδραυλικότητας

Στο παραπάνω διάγραμμα έχουν τοποθετηθεί και χαρακτηριστικές τιμές κονιαμάτων από ασβεστίτη, από συνδυασμό ασβεστίτη και ποζολάνης, από τσιμέντο και από θρυμματισμένο τούβλο.

Από το παραπάνω διάγραμμα συνάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα.

1. Το δείγμα JHS_MW_m βρίσκεται στην περιοχή που βρίσκονται και τα κονιάματα με θρυμματισμένο τούβλο που είναι απόλυτα λογικό καθώς έχει κεραμικά, πιο συγκεκριμένα έχει χαμηλό αντίστροφο δείκτη υδραυλικότητας και ποσοστό απελευθερωμένου CO₂.
2. Το δείγμα JHS_FEN_rm βρίσκεται αρκετά πιο πάνω από οποιαδήποτε κατηγορία καθώς έχει πολύ μεγάλο και αντίστροφο δείκτη υδραυλικότητας και ποσοστό απελευθερωμένου CO₂.
3. Τα δείγματα JHS_MW_fm_50, JHS_MW_jm_135 και JHS_MES_fm_85 βρίσκονται ίσο πιο πάνω από την περιοχή των κονιαμάτων με θρυμματισμένο τούβλο και των τσιμεντιτικών κονιαμάτων, δηλαδή έχουν χαμηλό αντίστροφο δείκτη υδραυλικότητας

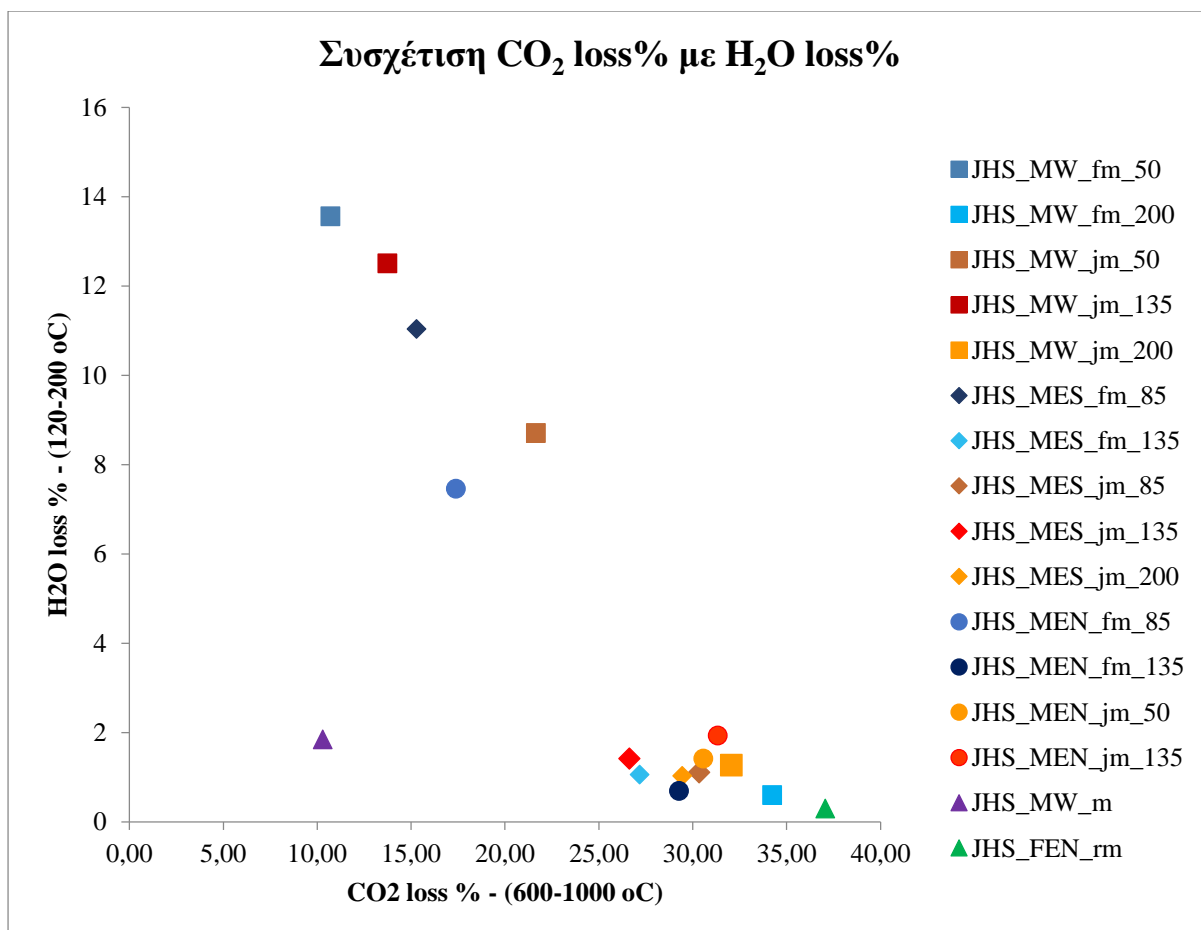
και ποσοστό απελευθερωμένου CO₂, αλλά με μεγαλύτερες τιμές από το δείγμα JHS_MW_m.

4. Τα δείγματα JHS_MW_jm_50, JHS_MES_jm_135, JHS_MES_fm_135, JHS_MES_jm_85, JHS_MES_jm_200, JHS_MEN_fm_135 βρίσκονται σε περιοχή στην δεξιά και χαμηλή περιοχή των κονιαμάτων με θρυμματισμένο τούβλο και των τσιμεντιτικών κονιαμάτων, δηλαδή έχουν χαμηλό αντίστροφο δείκτη υδραυλικότητας και σχετικά υψηλότερο ποσοστό απελευθερωμένου CO₂.

Τέλος, τα δείγματα JHS_MEN_jm_50, JHS_MEN_jm_135, JHS_MW_fm_200, JHS_MW_jm_200 βρίσκονται ανάμεσα στην περιοχή των κονιαμάτων με θρυμματισμένο τούβλο και των τσιμεντιτικών κονιαμάτων και στην περιοχή των ασβεστιτικών κονιαμάτων, πιο συγκεκριμένα τα τρία πρώτα είναι ακριβώς πάνω από την περιοχή των κονιαμάτων με θρυμματισμένο τούβλο και των τσιμεντιτικών κονιαμάτων και τα δύο τελευταία ακριβώς κάτω από την περιοχή των ασβεστιτικών κονιαμάτων, δηλαδή έχουν χαμηλό αντίστροφο δείκτη υδραυλικότητας, κοντά στον δείκτη που είχαν τα δείγματα της 3^{ης} παρατήρησης, και σχετικά υψηλότερο ποσοστό απελευθερωμένου CO₂.

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι τα κονιάματα που περιέχουν γύψο δεν μπορούν να συγκριθούν με συμβατικά κονιάματα. Για αυτό το λόγο έγινε η εξέταση με άλλου είδους διάγραμμα.

Συνεπώς, έγινε αναπαράσταση των δειγμάτων σε διάγραμμα όπου στον οριζόντιο άξονα τοποθετήθηκε το ποσοστό CO₂ που απελευθερώθηκε στο θερμοκρασιακό διάστημα 600-100°C και στον κάθετο άξονα το ποσοστό του χημικά δεσμευμένο νερού που απελευθερώθηκε στο θερμοκρασιακό διάστημα 120-200°C.



Διάγραμμα 69 Ποσοστό CO₂ - Ποσοστό του χημικά δεσμευμένο νερού που απελευθερώθηκε στο θερμοκρασιακό διάστημα 120-200°C των δειγμάτων

Από το διάγραμμα μπορεί να παρατηρηθεί η εξής κατηγοριοποίηση:

1. Τα δείγματα JHS_MW_fm_50, JHS_MW_jm_135, JHS_MES_jm_85, JHS_MEN_fm_85 και JHS_MW_jm_50 που παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά του χημικά δεσμευμένο νερού που απελευθερώθηκε και χαμηλά ποσοστά και του CO₂ που απελευθερώθηκε, τα οποία, όπως δείχθηκε με τη μέθοδο XRD, όλα εμφανίζουν σαν κύρια ορυκτολογική ένωση τον γύψο.
2. Το δείγμα JHS_MW_m το οποίο βρίσκεται σε αρκετά διαφορετική θέση από υπόλοιπα, δηλαδή χαμηλά ποσοστά και του CO₂ και του χημικά δεσμευμένο νερού που απελευθερώθηκαν. Αυτό πρέπει να οφείλεται στα κεραμικά που υπάρχουν μέσα στο δείγμα.
3. Μετά ακολουθούν τα υπόλοιπα δείγματα τα οποία έχουν υψηλά ποσοστά και του CO₂ που απελευθερώθηκε και χαμηλά ποσοστά του χημικά δεσμευμένο νερού που απελευθερώθηκε. Τα δείγματα αυτά, όπως δείχθηκε με τη μέθοδο XRD, έχουν σαν κύρια ορυκτολογική ένωση τον ασβεστίτη.

Από αυτή την αναπαράσταση είναι διακριτός ο διαχωρισμός των κονιαμάτων που περιέχουν αρκετή ποσότητα γύψου. (Κονιάματα Ασβέστη-Γύψου και Γύψου-Ασβέστη).

4.4.3. Συνολικός σχολιασμός των αποτελεσμάτων της DTA-TG των κονιαμάτων ανά φάτνωμα

Δυτικό Φάτνωμα (JHS_MW)

Στα κονιάματα γεμίματος είναι φανερό ότι από τα 50cm στα 200cm υπάρχει σημαντική αύξηση του ποσοστού ασβεστίτη και μείωση του ποσοστού γύψου, κάτι που ταιριάζει και με τα ποιοτικά δεδομένα της ορυκτολογικής ανάλυσης μέσω της μεθόδου XRD που αναλύθηκε πιο πριν. Η κονία του χαμηλότερου δείγματος περιέχει τη μεγαλύτερη ποσότητα γύψου, όπως εμφανίστηκε και στη μέθοδο XRD, συνεπώς ο γύψος στο κονίαμα γεμίματος στα 50cm βρίσκεται στη κονία και όχι στα αδρανή. Ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας αυξήθηκε από τα 50cm στα 200cm.

Στα κονιάματα αρμού υπάρχει μέγιστο του ποσοστού γύψου στα 135cm και μέγιστο ασβεστίτη στα 200cm, όπου αντίστοιχα τα κονιάματα αυτά χαρακτηρίζονται ως γύψου και ασβεστιτικό αντίστοιχα με τη μέθοδο XRD, και συγκριτικά όντως στα 135cm των κονιαμάτων αυτών εμφανίζεται η μέγιστη κορυφή του γύψου. Η κονία του χαμηλότερου δείγματος (50cm) εμφανίζει χαρακτηριστικά μικρότερο ποσοστό γύψου σε σχέση με το ολικό δείγμα. Αυτό είναι ένδειξη ότι μέρος του γύψου στο ολικό δείγμα προέρχεται από τα αδρανή του. Το ποσοστό γύψου στη κονία είναι ακόμα χαμηλότερο, καθώς στο θερμοκρασιακό διάστημα που υπολογίζεται ένα τμήμα της απώλειας μάζας αντιστοιχεί στην παρουσία εντριγκίτη και θωμασίτη (τα οποία εντοπίζονται μέσω του XRD). Όσον αφορά τον αντίστροφο δείκτη υδραυλικότητας, παρουσιάζει το ίδιο μοτίβο με τα κονιάματα γεμίματος, όπου υπάρχει σταδιακή αύξηση από τα χαμηλότερα στα υψηλότερα κονιάματα με τη διαφορά ότι τα κονιάματα αρμού ξεκινάνε από χαμηλότερες τιμές του δείκτη αυτού και καταλήγουν σε υψηλότερες.

Στο ύψος των 50cm είναι φανερό ότι τα κονιάματα γεμίματος και αρμού είναι εντελώς διαφορετικά μεταξύ τους, καθώς το ένα έχει κυρίως γύψο και το άλλο έχει κυρίως ασβεστίτη. Στο κονίαμα αρμού το ποσοστό γύψου πρέπει να οφείλεται είτε στα αδρανή είτε σε φθορά του κονιαματος, λόγω της μικρής ποσότητάς του. Στο ύψος των 200cm είναι φανερό ότι και το κονίαμα γεμίματος και το κονίαμα αρμού αποτελούνται κυρίως από ασβεστίτη με το κονίαμα αρμού να εμφανίζει ένα μικρό ποσοστό γύψου που πιθανώς οφείλεται σε φθορά του κονιαματος.

Στο Διάγραμμα 68 Ποσοστό CO₂ - Ποσοστό του χημικά δεσμευμένο νερού που απελευθερώθηκε παρατηρείται ότι τα δείγματα στο ίδιο ύψος βρίσκονται σε αρκετά διαφορετικές περιοχές μεταξύ τους, πιο συγκεκριμένα το κονίαμα γεμίματος εμφανίζει να έχει μεγαλύτερο ποσοστό χημικά δεσμευμένου νερού, ενώ το κονίαμα αρμού βρίσκεται σε μία ενδιάμεση κατάσταση. Αντίστοιχα, στα 200cm τα δείγματα φαίνεται να έχουν παρόμοια συμπεριφορά μεταξύ τους, δηλαδή και τα δύο δείγματα εμφανίζουν αρκετά μεγαλύτερο ποσοστό CO₂ συγκριτικά με το του χημικά δεσμευμένο νερού που απελευθερώθηκε. Το δείγμα αρμού στα 135cm φαίνεται να έχει όμοια συμπεριφορά με το δείγμα γεμίματος στα 50cm, δηλαδή εμφανίζει να έχει μεγαλύτερο ποσοστό χημικά δεσμευμένου νερού.

Η ίδια κατά κάποιο τρόπο συμπεριφορά εμφανίζεται και στο Διάγραμμα 69 Ποσοστό CO₂ που απελευθερώθηκε των δειγμάτων- Αντίστροφος δείκτης Υδραυλικότητας. Πιο συγκεκριμένα, το δείγμα στα 50cm γεμίματος εμφανίζει όμοια συμπεριφορά με αυτό στα 135cm του αρμού στην περιοχή πάνω από τα θραυσμένα κεραμικά, το δείγμα στα 50cm του αρμού βρίσκεται σε

μια ενδιάμεση κατάσταση κοντά στην περιοχή των κονιαμάτων με θραυσμένα κεραμικά και τα δείγματα στα 200cm είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους λίγο κάτω από την περιοχή των ασβεστιτικών κονιαμάτων.

Το κονίαμα αποκατάστασης (MW_m) εμφανίζει αρκετά μικρό ποσοστό ασβεστίτη που πρέπει να οφείλεται στο ότι το μεγαλύτερο μέρος του κονιάματος αποτελείται από κεραμικά αδρανή. Επίσης, από όλα τα κονιάματα εμφανίζει τον χαμηλότερο αντίστροφο δείκτη υδραυλικότητας, και χαρακτηρίζεται ως υδραυλικό, το οποίο είναι λογικό αφού τα κεραμικά προσδίδουν στο κονίαμα υδραυλικές ιδιότητες. Επίσης, στο Διάγραμμα 68 Ποσοστό CO₂ - Ποσοστό του χημικά δεσμευμένο νερού που απελευθερώθηκε το δείγμα βρίσκεται αρκετά μακριά από τα υπόλοιπα δείγματα και πιο συγκεκριμένα είναι το μόνο δείγμα που έχει χαμηλά ποσοστά και CO₂ και χημικά δεσμευμένου νερού. Τέλος, στο Διάγραμμα 69 Ποσοστό CO₂ που απελευθερώθηκε - Αντίστροφος δείκτης Υδραυλικότητας, όπως είναι αναμενόμενο βρίσκεται κοντά στην περιοχή των κονιαμάτων με θραυσμένα κεραμικά.

Νοτιοανατολικό Φάτνωμα (JHS_MES)

Στα κονιάματα γεμίματος αυτού του φατώματος είναι εμφανές ότι μόνο το χαμηλότερο κονίαμα (85cm) από αυτά που εξετάστηκαν έχει μεγάλη ποσότητα ποσοστού γύψου. Ακόμη, το συγκεκριμένο δείγμα εμφανίζει παρόμοια ποσοστά με το δείγμα JHS_MW_jm_135 που εμφανίζουν και αρκετές ομοιότητες και στο γωνιόγραμμα XRD τους. Στα 135cm το κονίαμα γεμίματος έχει κυρίως ασβεστίτη και παράλληλα εμφανίζεται μεγάλη μείωση στον αντίστροφο δείκτη υδραυλικότητας.

Όλα τα κονιάματα αρμού εμφανίζουν μεγάλα ποσοστά ασβεστίτη και καθόλου γύψο με το μέγιστο να βρίσκεται στα 85cm, σε αντίθεση με το αντίστοιχο κονίαμα γεμίματος. Καθ' ύψος τα κονιάματα αυτά εμφανίζουν μείωση και μετά αύξηση του ποσοστού ασβεστίτη που περιέχουν, ενώ ισχύει ακριβώς το ίδιο για τον δείκτη υδραυλικότητας. Ακόμη τα κονιάματα αυτά εμφανίζουν αρκετά μικρότερες τιμές του δείκτη αυτού, σύμφωνα με τον οποίο μπορούμε να χαρακτηρίσουμε τα κονιάματα αυτά ως υδραυλικά. Γενικώς δεν παρατηρείται κάποιο μοτίβο αύξησης ή μείωσης του αντίστροφου δείκτη υδραυλικότητας, αλλά εμφανίζεται μέγιστο στα 135cm.

Τα κονιάματα αρμού και γεμίματος δεν εμφανίζουν μεγάλες διαφορές, με εξαίρεση το κονίαμα γεμίματος στα 85cm το οποίο εμφανίζει αρκετά μεγαλύτερη ποσότητα γύψου και αυξημένο αντίστροφο δείκτη υδραυλικότητας.

Στο Διάγραμμα 68 Ποσοστό CO₂ - Ποσοστό του χημικά δεσμευμένο νερού που απελευθερώθηκε παρατηρείται ότι όλα σχεδόν τα δείγματα βρίσκονται στην ίδια περιοχή του διαγράμματος εκτός από το δείγμα γεμίματος στα 85cm, το οποίο όπως αναφέρθηκε προηγουμένως είναι και το πιο διαφοροποιημένο. Όλα τα δείγματα εμφανίζουν αρκετά μεγαλύτερο ποσοστό CO₂ που απελευθερώθηκε συγκριτικά με το αντίστοιχο δεσμευμένο νερό. Σε αντίθεση το δείγμα γεμίματος στα 85cm εμφανίζει μεγαλύτερο ποσοστό απελευθέρωσης χημικά δεσμευμένου νερού.

Η ίδια συμπεριφορά εμφανίζεται και στο Διάγραμμα 69 Ποσοστό CO₂ που απελευθερώθηκε των δειγμάτων- Αντίστροφος δείκτης Υδραυλικότητας. Πιο συγκεκριμένα, όλα τα δείγματα βρίσκονται λίγο κάτω από την περιοχή των κονιαμάτων με θραυσμένα κεραμικά, εκτός από το κονίαμα γεμίματος στα 85cm το οποίο βρίσκεται πάνω από αυτή την περιοχή.

Βορειοανατολικό Φάτνωμα (JHS_MEN)

Σε αυτό το φάτνωμα τα κονιάματα γεμίσματος εμφανίζουν μεγάλη αύξηση στο ποσοστό ασβεστίτη και μεγάλη μείωση στο ποσοστό γύψου καθ' ύψος κάτι το οποίο επιβεβαιώνεται και από τη μέθοδο XRD που ακολουθήθηκε. Ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας αυξήθηκε καθ' ύψος του φατνώματος στα κονιάματα αυτά κάτι που παρατηρήθηκε και στα κονιάματα του δυτικού φατνώματος.

Στα κονιάματα αρμού εμφανίζεται πάλι η τάση αύξησης του ποσοστού ασβεστίτη καθ' ύψος αλλά όχι σε τόσο μεγάλο βαθμό. Αντίθετα, ενώ χαμηλά δεν παρατηρείται γύψος, στα 135cm εμφανίζεται σε σχετικά μικρή ποσότητα σε σύγκριση με τα υπόλοιπα δείγματα γύψου-ασβεστίτη των φατνωμάτων. Και σε αυτά τα κονιάματα εμφανίζεται η τάση αύξησης του αντίστροφου δείκτη υδραυλικότητας.

Συγκριτικά μεταξύ τους τα δείγματα δεν εμφανίζουν μεγάλες διαφορές πέρα από το δείγμα στα 85cm στα κονιάματα γεμίσματος. Οι δείκτες υδραυλικότητας εμφανίζουν μία διαφοροποίηση, καθώς είναι μεγαλύτερος στα κονιάματα αρμού, αλλά εμφανίζεται το ίδιο μοτίβο μεταξύ τους, δηλαδή υπάρχει αύξηση καθ' ύψος και στις δύο περιπτώσεις.

Στο Διάγραμμα 68 Ποσοστό CO₂ - Ποσοστό του χημικά δεσμευμένο νερού που απελευθερώθηκε παρατηρείται ότι όλα σχεδόν τα δείγματα βρίσκονται στην ίδια περιοχή του διαγράμματος εκτός από το δείγμα γεμίσματος στα 85cm, ακριβώς όπως εμφανίστηκε και στο νοτιοανατολικό φάτνωμα. Όλα τα δείγματα εμφανίζουν αρκετά μεγαλύτερο ποσοστό CO₂ που απελευθερώθηκε συγκριτικά με το αντίστοιχο δεσμευμένο νερό. Σε αντίθεση το δείγμα γεμίσματος στα 85cm εμφανίζει μια ενδιάμεση κατάσταση.

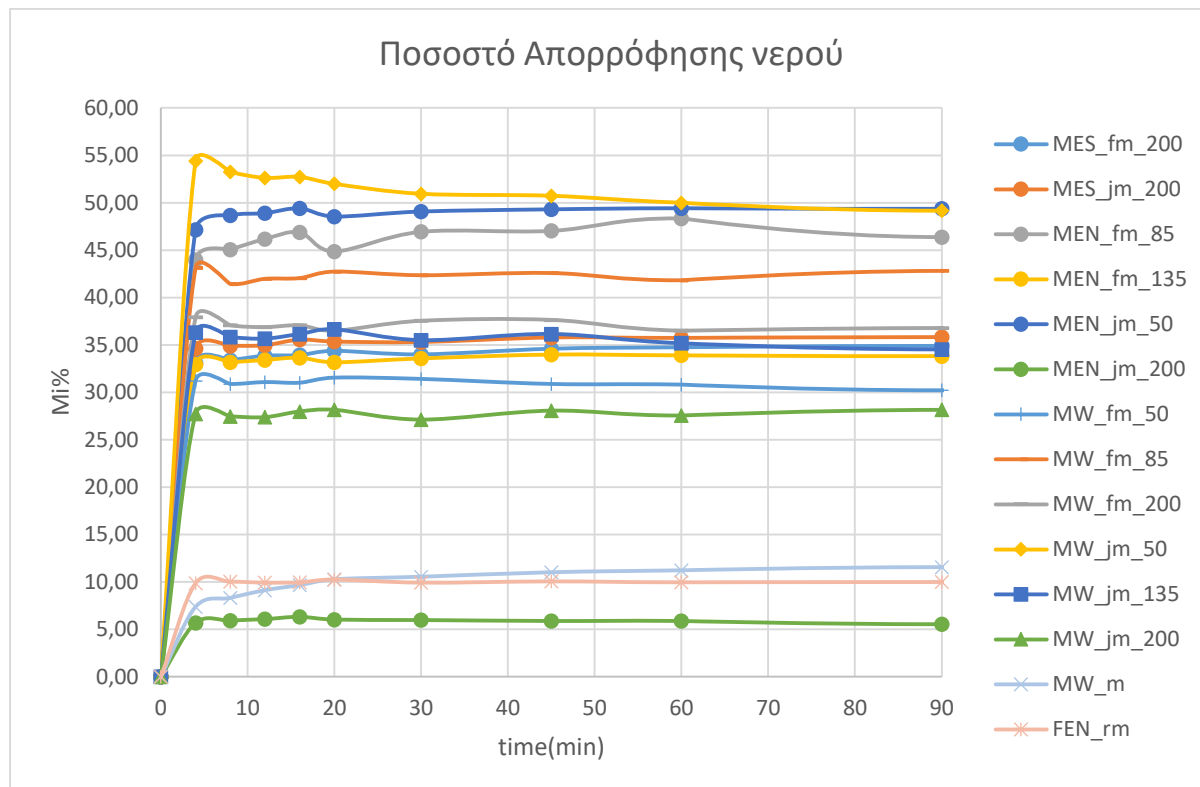
Η ίδια συμπεριφορά εμφανίζεται και στο Διάγραμμα 69 Ποσοστό CO₂ που απελευθερώθηκε των δειγμάτων- Αντίστροφος δείκτης Υδραυλικότητας. Η διαφορά με το νοτιοανατολικό φάτνωμα είναι ότι αυτή τη φορά η πλειονότητα των δειγμάτων βρίσκεται ανάμεσα στην περιοχή των ασβεστοκονιαμάτων και των θρυμματισμένων κεραμικών και το κονίαμα γεμίσματος στα 85cm βρίσκεται μέσα στην περιοχή των κονιαμάτων με θραυσμένα κεραμικά.

Το κονίαμα αποκατάστασης (FEN) εμφανίζει πάρα πολύ μεγάλο ποσοστό ασβεστίτη, το μέγιστο όλων των δειγμάτων, και παράλληλα εμφανίζει και μεγάλη διαφορά στον αντίστροφο δείκτη υδραυλικότητας ο οποίος είναι πάρα πολύ υψηλός. Στο Διάγραμμα 68 Ποσοστό CO₂ - Ποσοστό του χημικά δεσμευμένο νερού που απελευθερώθηκε το κονίαμα αποκατάστασης δεν εμφανίζει σχεδόν καθόλου απελευθερωμένο χημικά δεσμευμένο νερό, αλλά αρκετά μεγάλο ποσοστό CO₂. Και τέλος, στο Διάγραμμα 69 Ποσοστό CO₂ που απελευθερώθηκε των δειγμάτων- Αντίστροφος δείκτης Υδραυλικότητας δεν βρίσκεται μέσα σε συγκεκριμένη περιοχή, αλλά βρίσκεται πάρα πολύ πιο ψηλά από την περιοχή των ασβεστοτικών κονιαμάτων.

4.5 Δοκιμές Ολικής Εμβάπτισης σε Νερό

4.5.1. Απορρόφηση Νερού

Παρακάτω ακολουθούν τα αποτελέσματα τις πειραματικής διαδικασίας και το διάγραμμα ποσοστού απορρόφησης νερού για κάθε δείγμα.



Διάγραμμα 70 Ποσοστό απορρόφησης νερού στο χρόνο

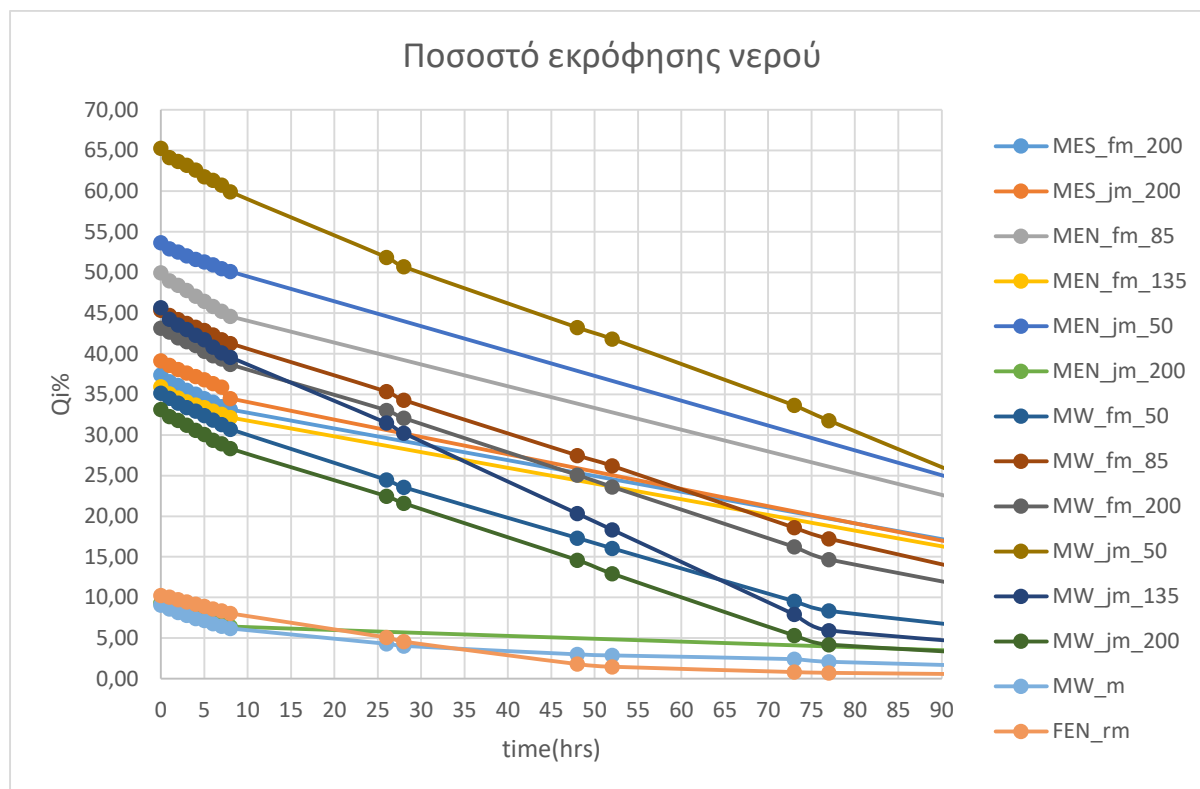
Από το παραπάνω διάγραμμα γίνεται αντιληπτό ότι όλα τα δείγματα εμφανίζουν έντονη αρχική κλίση με το δείγμα JHS_MW_jm_50 να εμφανίζει την πιο έντονη κλίση και το δείγμα JHS_MEN_jm_200 να εμφανίζει τη λιγότερο έντονη κλίση.

Στη συνέχεια, παρατηρείται ότι οι συγκεκριμένες ομάδες δειγμάτων που παρουσιάζουν παρόμοια υγροσκοπική συμπεριφορά είναι :

1. Τα δείγματα JHS_MW_jm_50, JHS_MEN_jm_50 και JHS_MEN_fm_85, τα οποία παρουσιάζουν την μέγιστη απορρόφηση νερού.
2. Το δείγμα JHS_MW_fm_85 έχει λίγο μικρότερα ποσοστά απορρόφησης νερού, αλλά εξακολουθεί να έχει μεγάλα ποσοστά συγκριτικά με όλα τα δείγματα.
3. Τα δείγματα JHS_MW_fm_200, JHS_MW_jm_135, JHS_MES_fm_200, JHS_MEN_fm_135, JHS_MW_fm_50 και JHS_MW_jm_200, τα οποία εμφανίζουν ενδιάμεσα ποσοστά απορρόφησης νερού.
4. Τα δείγματα JHS_MW_m, JHS_FEN_rm και JHS_MEN_jm_200, τα οποία εμφανίζουν την ελάχιστη απορρόφηση νερού.

4.5.2. Εκρόφηση Νερού

Παρακάτω ακολουθούν τα αποτελέσματα τις πειραματικής διαδικασίας και το διάγραμμα ποσοστού εκρόφησης νερού για κάθε δείγμα που μελετήθηκε.



Διάγραμμα 71 Ποσοστό εκρόφησης νερού στο χρόνο

Από τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας μπορούν να συναχθούν μερικά συμπεράσματα. Αρχικά, το μεγαλύτερο αρχικό ποσοστό απορροφούμενου νερού διαθέτει το δείγμα JHS_MW_jm_50 το οποίο έχει και την πιο απότομη κλίση. Κατά τη διεκπεραίωση του πειράματος όμως (μετά τις 100 ώρες) το δείγμα JHS_MEN_jm_50 φαίνεται να συγκρατεί το μεγαλύτερο ποσοστό νερού. Στη συνέχεια, το λιγότερο αρχικά απορροφούμενο νερό κατέχει το δείγμα JHS_MW_m, αλλά κατά τη διαδικασία της εκρόφησης στο τέλος του πειράματος το δείγμα JHS_FEN_rm κατέχει τα μικρότερα ποσοστά καθώς επίσης εμφανίζει και την πιο ομαλή (χαμηλή) κλίση.

Όπως και κατά τη πειραματική διαδικασία της απορρόφησης, έτσι και στη διαδικασία της εκρόφησης παρουσιάζονται ομάδες δειγμάτων με παρόμοια υδροσκοπική συμπεριφορά και αυτά είναι:

1. Τα δείγματα JHS_MW_jm_50, JHS_MEN_jm_50 και JHS_MEN_fm_85 τα οποία εμφανίζουν τις μεγαλύτερες κλίσεις εκρόφησης.
2. Ακολουθούν τα δείγματα JHS_MW_fm_85 και JHS_MW_fm_200. Τα δείγματα αυτά κατέχουν το περισσότερο αρχικό συγκρατούμενο νερό μετά τα δείγματα που αναφέρθηκαν ακριβώς παραπάνω.
3. Στη συνέχεια, παρόμοια συμπεριφορά εμφανίζουν τα JHS_MES_jm_200, JHS_MES_fm_200 και JHS_MEN_fm_135.

4. Έπειτα, ακολουθούν τα δείγματα JHS_MW_fm_50 και JHS_MW_jm_200
5. Το δείγμα JHS_MW_jm_135 αρχικά ακολουθεί την υγροσκοπική συμπεριφορά των JHS_MW_fm_85 και JHS_MW_fm_200, αλλά μετά τις 30 ώρες περίπου αλλάζει συμπεριφορά και εντάσσεται στη συμπεριφορά των δειγμάτων JHS_MW_fm_50 και JHS_MW_jm_200.
6. Τέλος, τα δείγματα που παρουσιάζουν την πιο μικρή αλλαγή κατά την εκρόφιση της υγρασίας τους είναι τα δείγματα JHS_FEN_rm, JHS_MW_m και JHS_MEN_jm_200.

Εδώ μπορεί να παρατηρηθεί ότι τα δείγματα JHS_MW_fm_85 και JHS_MW_fm_200 μετά τις 60 ώρες περίπου αρχίζουν να χάνουν μεγαλύτερο ποσοστό της υγρασίας τους.

Από τη συνολική υγροσκοπική συμπεριφορά των δειγμάτων μπορεί να παρατηρηθεί ότι υπάρχει μία συνοχή στη συμπεριφορά των δειγμάτων κατά την απορρόφιση και εκρόφιση. Η μόνη διαφορά είναι ότι κατά την εκρόφιση μπορεί να γίνει πιο λεπτομερής παρατήρηση στο ποια δείγματα είναι όμοια, καθώς είναι πιο διακριτή η συμπεριφορά τους.

4.5.3. Μετρούμενα Χαρακτηριστικά

Τα περαιτέρω αποτελέσματα που υπολογίστηκαν από την πειραματική διαδικασία εμφανίζονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 14 Πειραματικοί υπολογισμοί της απορρόφησης νερού

Δείγματα	Vapp(mL)	md(g)	WAC(%)	Open Porosity(%)	ρφ(g/mL)	mass loss (%)
JHS_MW_fm_50	13,0	14,11	38,48	41,77	1,09	5,68
JHS_MW_fm_85	11,0	12,20	55,25	61,27	1,11	6,73
JHS_MW_fm_200	10,0	10,17	44,54	45,30	1,02	3,33
JHS_MW_jm_50	10,0	8,48	67,45	57,20	0,85	10,92
JHS_MW_jm_135	5,0	5,52	48,01	53,00	1,10	10,10
JHS_MW_jm_200	10,0	11,34	33,69	38,20	1,13	2,66
JHS_MES_fm_200	14,0	13,08	39,22	36,64	0,93	2,46
JHS_MES_jm_200	20,0	22,85	39,30	44,90	1,14	1,72
JHS_MEN_fm_85	20,0	19,58	56,03	54,85	0,98	1,51
JHS_MEN_fm_135	10,5	12,18	38,34	44,48	1,16	1,22
JHS_MEN_jm_50	18,0	16,86	56,11	52,56	0,94	2,20
JHS_MEN_jm_200	14,0	20,01	11,59	16,57	1,43	1,96
JHS_MW_m	7,0	14,77	12,86	27,14	2,11	0,14
JHS_FEN_rm	15,0	30,39	10,86	22,00	2,03	0,46

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται παραπάνω μπορούν να γίνουν οι εξής σχολιασμοί.

1. Αρχικά, όλα τα δείγματα εμφάνισαν απώλεια στη μάζα τους κατά τη διάρκεια ενός μόνο κύκλου ύγρανσης-ξήρανσης. Πιο συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερη απώλεια έχουν τα δείγματα, τόσο πιο επιδεκτικά είναι στη φθορά από το νερό. Το χαρακτηριστικό

αυτό έχει σχέση και με τη συνεκτικότητα των κονιαμάτων. Τη μεγαλύτερη επιδεκτικότητα στη διαβρωτική δράση του νερού έχουν τα δείγματα JHS_MW_jm_50 και JHS_MW_jm_135. Τη μεγάλη διαφορά αυτή πρέπει να την παρουσιάζουν τα δείγματα λόγω της χημικής σύστασής τους. Στη συνέχεια, με αρκετή επιδεκτικότητα στη φθορά από το νερό ακολουθούν τα JHS_MW_fm_85 και JHS_MW_fm_50. Μεσαία επιδεκτικότητα παρουσιάζουν τα δείγματα JHS_MW_fm_200, JHS_MW_jm_200, JHS_MES_fm_200, JHS_MEN_jm_50, JHS_MEN_jm_200, JHS_MES_jm_200, JHS_MEN_fm_85 και JHS_MEN_fm_135. Τέλος, τα λιγότερα επιδεκτικά στη φθορά από το νερό εμφανίζεται να είναι τα δείγματα JHS_MW_m και JHS_FEN_fm το οποίο είναι λογικό καθώς πρόκειται για κονιάματα αποκατάστασης τα οποία έχουν εφαρμοστεί τα τελευταία χρόνια.

2. Λόγω του μεγάλου ποσοστού απώλειας μάζας των δειγμάτων κατά των υπολογισμό των WAC αντί της μεγαλύτερης μάζας ροφημένου νερού χρησιμοποιήθηκε η τελευταία μάζα που μετρήθηκε κατά τη διαδικασία της απορρόφησης, δηλαδή η m_s (saturated). Αυτό έγινε επειδή δεν είναι γνωστό σε ποια χρονικά διαστήματα έγινε η απώλεια αυτή. Για τα δείγματα με μικρή απώλεια μάζας υπολογίστηκε ο συντελεστής αυτός και με τη μέγιστη μάζα και διαπιστώθηκε ότι δεν παρουσιάζεται μεγάλη διαφορά μεταξύ των δύο συντελεστών WAC που υπολογίστηκαν. Για αντίστοιχους λόγους κατά τον υπολογισμό του ποσοστού πορώδους προσβάσιμου στο νερό και της φαινόμενης πυκνότητας αντί της αρχικής ξηρής μάζας των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε η ξηρή μάζα που μετρήθηκε μετά το πέρας του πειράματος κατά τη 2^η ξήρανσή του (m_d).
3. Μπορεί να γίνει σύγκριση των δειγμάτων ανάλογα με τον συντελεστή WAC:
 - ❖ Τα δείγματα με το μεγαλύτερο συντελεστή WAC είναι με φθίνουσα σειρά τα JHS_MW_jm_50, JHS_MEN_jm_50, JHS_MEN_fm_85, JHS_MW_fm_85 και JHS_MW_jm_135 με περίπου 10% διαφορά το 1^ο από το τελευταίο δείγμα, αν και πρέπει να σημειωθεί ότι το 1^ο με το 2^ο δείγμα έχουν διαφορά περίπου 17%.
 - ❖ Το δείγμα JHS_MW_fm_200 εμφανίζει ενδιάμεσο συντελεστή WAC και δεν εντάσσεται συγκεκριμένα σε μια ομάδα δειγμάτων. Ίσως μπορεί να ενταχθεί στην παρακάτω ομάδα.
 - ❖ Τα επόμενα δείγματα πάλι με φθίνοντα συντελεστή WAC είναι τα JHS_MES_jm_200, JHS_MES_fm_200, JHS_MW_fm_50 και JHS_MEN_fm_135 με το 1^ο και τελευταίο δείγμα να έχουν διαφορά λιγότερη από 1% και το 1^ο δείγμα να έχει διαφορά από το δείγμα MW_fm_200 περίπου 6%.
 - ❖ Τα τελευταία δείγματα πάλι με φθίνοντα συντελεστή WAC είναι τα JHS_MW_m, JHS_MEN_jm_200 και JHS_FEN_fm.

Οι συντελεστές που έχουν τα δείγματα ανταποκρίνονται σχεδόν τέλεια με την υγροσκοπική συμπεριφορά της εκρόφησης που εμφανίζεται στο παραπάνω αντίστοιχο διάγραμμα. Είναι απόλυτα φυσιολογικό το δείγμα JHS_MW_fm_200 να εμφανίζει ενδιάμεσο συντελεστή WAC, καθώς η συμπεριφορά του αλλάζει κατά τη διεκπεραίωση του πειράματος

4. Μπορεί να γίνει σύγκριση των δειγμάτων ανάλογα με το ανοιχτό πορώδες το οποίο είναι προσβάσιμο στο νερό:
 - ❖ Τα δείγματα με το μεγαλύτερο πορώδες σε φθίνουσα σειρά εμφανίζεται να είναι τα JHS_MW_fm_85, JHS_MW_jm_50, JHS_MEN_fm_85, JHS_MW_jm_135 και το JHS_MEN_jm_50. Το 1^ο από το τελευταίο δείγμα της συγκεκριμένης ομάδας έχουν διαφορά 7%.

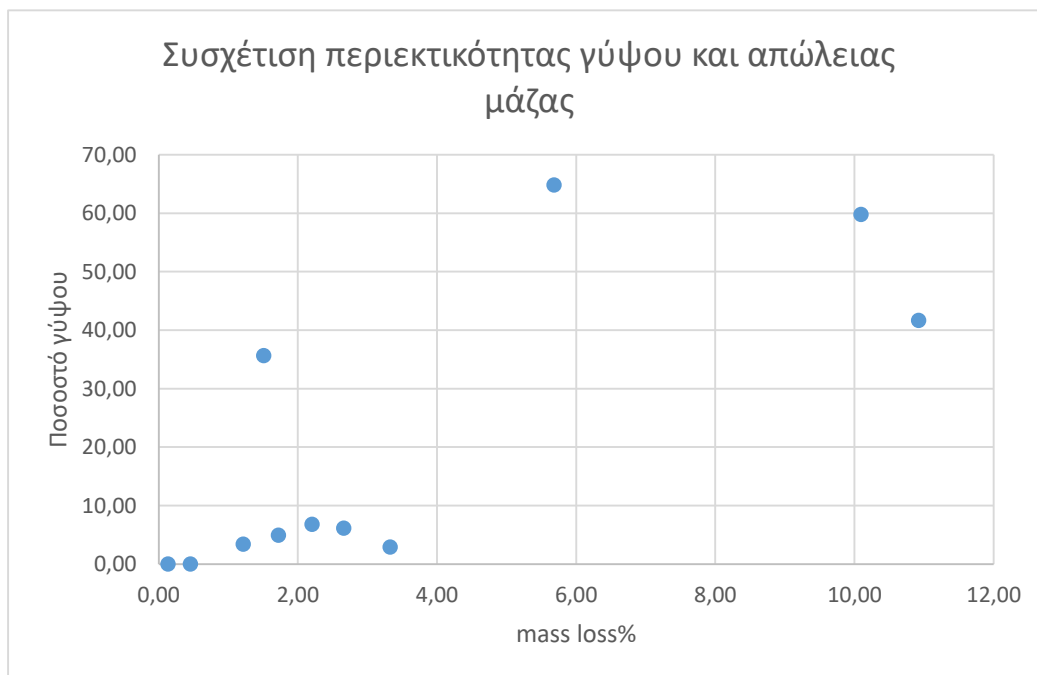
- ❖ Τα επόμενα δείγματα πάλι με φθίνον πορώδες είναι τα JHS_MW_fm_200, JHS_MES_jm_200 και τέλος JHS_MEN_fm_135. Το 1^ο από το τελευταίο δείγμα της συγκεκριμένης ομάδας έχουν διαφορά περίπου 6 με 2%.
- ❖ Τα επόμενα δείγματα πάλι με φθίνον πορώδες είναι τα JHS_MW_fm_50, JHS_MW_jm_200 και JHS_MES_fm_200. Το 1^ο από το τελευταίο δείγμα της ομάδας αυτής έχουν διαφορά 2 με 3% περίπου.
- ❖ Τα τελευταία δείγματα με το μικρότερο πορώδες και με φθίνον σειρά είναι τα JHS_MW_m, JHS_FEN_fm και JHS_MEN_jm_200. Το 1^ο από το τελευταίο δείγμα της ομάδας αυτής έχουν διαφορά 12% περίπου με τα δύο πρώτα δείγματα να έχουν διαφορά περίπου 5%.

Το πορώδες προσβάσιμο στο νερό είναι και αυτό ένα χαρακτηριστικό των κονιαμάτων για το αν είναι επιδεκτικά στην υγρασία. Σε βασικά πλαίσια το πορώδες ακολουθεί την συμπεριφορά που παρατηρείται και με βάση το WAC και τα διαγράμματα της απορρόφησης και εκρόφησης.

Μπορεί να γίνει σχολιασμός των δειγμάτων ανάλογα με τη φαινόμενη πυκνότητά τους:

- ❖ Αρχικά τα πιο 'βαριά' δείγματα είναι τα JHS_MW_m και JHS_FEN_fm κάτι που είναι λογικό καθώς εμφανίζουν μικρό πορώδες και καλή υδροσκοπική συμπεριφορά.
- ❖ Μετά ακολουθούν τα JHS_MEN_jm_200 και JHS_MW_jm_135 τα οποία έχουν μια ενδιάμεση φαινόμενη πυκνότητα
- ❖ Στη συνέχεια, ακολουθούν τα δείγματα MW_fm_85, MW_jm_200, JHS_MEN_fm_135, JHS_MES_jm_200, JHS_MW_fm_50 και JHS_MW_fm_200.
- ❖ Τέλος, τα πιο ελαφριά δείγματα είναι τα JHS_MEN_fm_135, JHS_MES_fm_200, JHS_MEN_jm_50 και JHS_MW_jm_50.

Τέλος, κατασκευάστηκε διάγραμμα για την εξέταση της σχέσης μεταξύ ποσοστού γύψου και απώλειας μάζας. Το διάγραμμα εμφανίζεται παρακάτω:



Διάγραμμα 72 Συσχέτιση Ποσοστού γύψου-Απώλεια μάζας

Από το παραπάνω διάγραμμα συνάγεται το συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένη σχέση μεταξύ των δύο ποσοτήτων (π.χ. γραμμική ή εκθετική), αλλά είναι εμφανές ότι τα κονιάματα με αυξημένη ποσότητα γύψου (άνω των 40%) παρουσιάζουν και μεγάλη απώλεια μάζας. Πιο συγκεκριμένα, τα κονιάματα με μεγάλη περιεκτικότητα γύψου έχουν και μεγάλη επιδεκτικότητα στη φθορά από το νερό.

Εδώ να σημειωθεί ότι κατά την επιλογή των δειγμάτων για την πραγματοποίηση της πειραματικής διαδικασίας επιλέχθηκαν δείγματα στα οποία μπορούσε να πραγματοποιηθεί η πειραματική διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα, αρκετά από τα δείγματα είτε δεν βρίσκονταν σε επαρκή ποσότητα, είτε ήταν η συνεκτικότητά τους τόσο μικρή που δεν ήταν εφικτή η πραγματοποίηση του πειράματος, χωρίς την απώλεια μεγάλης ποσότητας δείγματος κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Η πλειονότητα αυτών ανήκαν στη κατηγορία των μεικτών κονιαμάτων γύψου-ασβέστη (όπου υπερτερεί το ποσοστό του γύψου έναντι του ασβέστη).

Σαν τελικό συμπέρασμα μπορεί να ληφθεί ότι τα κονιάματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις κατηγορίες σύμφωνα με τον συντελεστή WAC τους και σε τέσσερις κατηγορίες ως προς την επιδεκτικότητά τους στη φθορά από το νερό. Όσον αφορά την κατηγοριοποίηση με τον δείκτη WAC, η 1^η ομάδα με τα μεγαλύτερα ποσοστά WAC κυμαίνεται από το 50% μέχρι και πάνω από 70%. Η 2^η ομάδα με ενδιάμεσα ποσοστά WAC κυμαίνεται ανάμεσα στις τιμές 30% και 50%. Τέλος, η 3^η ομάδα με τα χαμηλότερα ποσοστά WAC κυμαίνεται στις τιμές 10% έως 15%. %.

Με παρόμοιο τρόπο μπορεί να γίνει και διαχωρισμός των κονιαμάτων με το ολικό ανοιχτό πορώδες προσβάσιμο στο νερό. Οι ομάδες που διακρίθηκαν είναι 1^η τα κονιάματα με πορώδες άνω του 50%, η 2^η με πορώδες ανάμεσα στις τιμές 30% και 50% και τέλος η 3^η με πορώδες από 10% με 30%. Να σημειωθεί ότι υπάρχει αντιστοιχία των δειγμάτων στις ομάδες των WAC και πορώδους, δηλαδή τα δείγματα που ανήκουν στην 1^η, 2^η και 3^η ομάδα των WAC είναι τα ίδια (αλλά με διαφορετική σειρά) που ανήκουν στις ίδιες ομάδες του ανοιχτού πορώδους.

Στην περίπτωση της κατηγοριοποίησης σύμφωνα με την απώλεια μάζας τα κονιάματα χαρακτηρίζονται ως πολύ (ή με μεγάλη) (>7%), αρκετά (4%-7%), μέτρια (1%-4%) και ελαφρώς (<1%) επιδεκτικά στη φθορά από νερό.

4.5.4. Συνολικός σχολιασμός των υδροσκοπικών χαρακτηριστικών ανά φάτνωμα

Δυτικό Φάτνωμα

Όσον αφορά τις καμπύλες απορρόφησης των κονιαμάτων γεμίματος αυτό που έχει τα μεγαλύτερα ποσοστά απορρόφησης είναι αυτό στα 85cm και μετά ακολουθούν αυτό στα 200cm με αυτό στα 50cm τα οποία είναι και στην ίδια κατηγορία, δηλαδή έχουν παρόμοιες καμπύλες σε αντίθεση με αυτό στα 85cm. Συνεπώς δεν εμφανίζεται κάποια αύξηση ή μείωση στα ποσοστά απορρόφησης. Το κονίαμα αποκατάστασης εμφανίζει το πιο μικρό ποσοστό απορρόφησης από τα υπόλοιπα κονιάματα του δυτικού φάτνωματος.

Στις καμπύλες εκρόφησης των ίδιων δειγμάτων το κονίαμα στα 85cm πάλι εμφανίζει να έχει το περισσότερο συγκρατούμενο νερό και εμφανίζει τη μεγαλύτερη κλίση από αυτά τα κονιάματα. Η διαφορά με τις καμπύλες απορρόφησης είναι ότι το δείγμα στα 200cm ακολουθεί αυτή τη φορά τη συμπεριφορά του κονιαματος στα 85cm. Τέλος ακολουθεί το κονίαμα στα 50cm. Τα δείγματα ακολουθούν την ίδια σειρά στις καμπύλες απλώς αυτό στα 2 μέτρα έχει

την τάση να ακολουθήσει το κονίαμα στα 85cm. Στα κονιάματα αρμών οι καμπύλες απορρόφησης δείχνουν ότι το κονίαμα στα 50cm έχει τα μεγαλύτερα ποσοστά απορρόφησης, ακόμα και από το κονίαμα γεμίματος στα 85cm. Μετά ακολουθεί το δείγμα στα 135cm.

Τα κονιάματα αρμού εμφανίζουν αρκετά μεγάλες διαφορές μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα, την καμπύλη με τα μεγαλύτερα ποσοστά απορρόφησης εμφανίζει το κονίαμα αρμού στα 50cm. Στη συνέχεια, ακολουθεί το κονίαμα στα 135cm το οποίο εμφανίζει όμοια αποτελέσματα με κονίαμα αρμού στο νοτιοανατολικό φάτνωμα στα 200cm. Τέλος, σε ακόμα πιο χαμηλά ποσοστά απορρόφησης εμφανίζεται το κονίαμα στα 200cm. Άρα καθ' ύψος τα ποσοστά απορρόφησης μειώνονται.

Αντιστοίχως, στις καμπύλες εκρόφησης νερού ακολουθείται η ίδια κατάταξη. Πιο συγκεκριμένα το κονίαμα αρμού στα 50cm εμφανίζει τα μεγαλύτερα ποσοστά εκρόφησης και ακολουθεί αρκετά πιο χαμηλά το κονίαμα αρμού στα 135cm και τέλος στα 200cm.

Συγκριτικά τα κονιάματα γεμίματος και αρμού στα ίδια ύψη εμφανίζουν αρκετές διαφορές. Στα 50cm το κονίαμα αρμού εμφανίζει στην καμπύλη απορρόφησης και εκρόφησης αρκετά μεγαλύτερα ποσοστά. Σε αντίθεση, τα κονιάματα στα 200cm εμφανίζει ανάποδη συμπεριφορά, δηλαδή το κονίαμα γεμίματος εμφανίζει μεγαλύτερα ποσοστά.

Όσον αφορά τα υπόλοιπα υδροσκοπικά χαρακτηριστικά τους τα κονιάματα γεμίματος δεν εμφανίζουν κάποιο μοτίβο στον συντελεστή WAC(%), αλλά εμφανίζεται μέγιστο στα 85cm, ενώ στα κονιάματα αρμού εμφανίζεται σταδιακή μείωση του συντελεστή καθ' ύψος. Συγκριτικά μεταξύ τους η μέγιστη διαφορά εμφανίζεται στα 50cm, όπου το κονίαμα αρμού εμφανίζει αρκετά μεγαλύτερο συντελεστή. Κάτι παρόμοιο εμφανίζεται και στο πορώδες προσβάσιμο στο νερό όπου πάλι τα κονιάματα γεμίματος εμφανίζουν μέγιστο στα 85cm και τα κονιάματα αρμού έχουν σταδιακή μείωση του ποσοστού καθ' ύψος. Και σε αυτό το χαρακτηριστικό παρατηρείται μεγάλη διαφορά μεταξύ των κονιαμάτων γεμίματος και αρμού στα 50cm. Το ίδιο μοτίβο ακολουθείται και στη φαινόμενη πυκνότητα όσον αφορά τα κονιάματα γεμίματος, αλλά ακριβώς το αντίθετο στα κονιάματα αρμού, δηλαδή υπάρχει αύξηση καθ' ύψος. Ομοίως και στο ποσοστό απώλειας βάρους όπου τα κονιάματα γεμίματος εμφανίζουν μέγιστο στα 85cm και τα κονιάματα αρμού εμφανίζουν σταδιακή μείωση του καθ' ύψος. Και πάλι η μεγαλύτερη διαφορά εμφανίζεται στα 50cm όπου φαίνεται ότι στα 50cm και στα 135cm τα κονιάματα αρμού έχουν τη μεγαλύτερη επιδεκτικότητα στο νερό.

Νοτιοανατολικό Φάτνωμα

Στα κονιάματα αυτά εξετάστηκαν μόνο τα κονιάματα στα 200 cm. Πιο συγκεκριμένα, από τις καμπύλες απορρόφησης των κονιαμάτων συμπεραίνεται ότι το κονίαμα γεμίματος στο συγκεκριμένο ύψος εμφανίζει αρκετά μεγαλύτερο ποσοστό απορρόφησης από το αντίστοιχο κονίαμα αρμού το οποίο εμφανίζει ένα από τα χαμηλότερα ποσοστά απορρόφησης. Το ίδιο ισχύει και στις καμπύλες εκρόφησης.

Όσον αφορά τα υδροσκοπικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων ο συντελεστής WAC(%) είναι αρκετά όμοιος, το δείγμα του αρμού εμφανίζει μεγαλύτερο πορώδες προσβάσιμο στο νερό και μεγαλύτερη φαινόμενη πυκνότητα, αλλά μικρότερο ποσοστό απώλειας μάζας.

Βορειοανατολικό Φάτνωμα

Από τις καμπύλες απορρόφησης γίνεται αντιληπτό ότι τη μεγαλύτερη ποσότητα νερού την απορροφά το κονίαμα στα 85cm όσον αφορά τα κονιάματα γεμίματος. Ακολουθούν στη

συνέχεια το κονίαμα στα 135cm. Τα δύο δείγματα εμφανίζουν αρκετά μεγάλη διαφοροποίηση. Παρόμοια συμπεριφορά εμφανίζουν και στις καμπύλες εκρόφησης. Αντιστοίχως, στα κονιάματα αρμού τις καμπύλες απορρόφησης το κονίαμα με το μεγαλύτερο ποσοστό απορρόφησης είναι αυτό στα 50 cm. Ακολουθεί, αρκετά πιο κάτω το υψηλότερο δείγμα στα 200 cm το οποίο συμπεριφέρεται σα το κονίαμα αποκατάστασης. Το κονίαμα αποκατάστασης του φατνώματος αυτού έχει μία από τις μικρότερες απορροφήσεις νερού μαζί με το κονίαμα αρμού στα 200 cm. Παρόμοια συμπεριφορά εμφανίζεται και στις καμπύλες εκρόφησης.

Όσον αφορά τα υγροσκοπικά χαρακτηριστικά τα κονιάματα γεμίματος εμφανίζουν μείωση καθ' ύψος του συντελεστή WAC(%), του πορώδους προσβάσιμο στο νερό και του ποσοστού απώλειας μάζας ενώ εμφανίζεται αύξηση της φαινόμενης πυκνότητας. Την ίδια συμπεριφορά έχουν και τα κονιάματα αρμού. Η συμπεριφορά αυτή είναι η ίδια που εμφανίστηκε και στα υπόλοιπα φατνώματα.

4.6 Ολικά Διαλυτά Άλατα

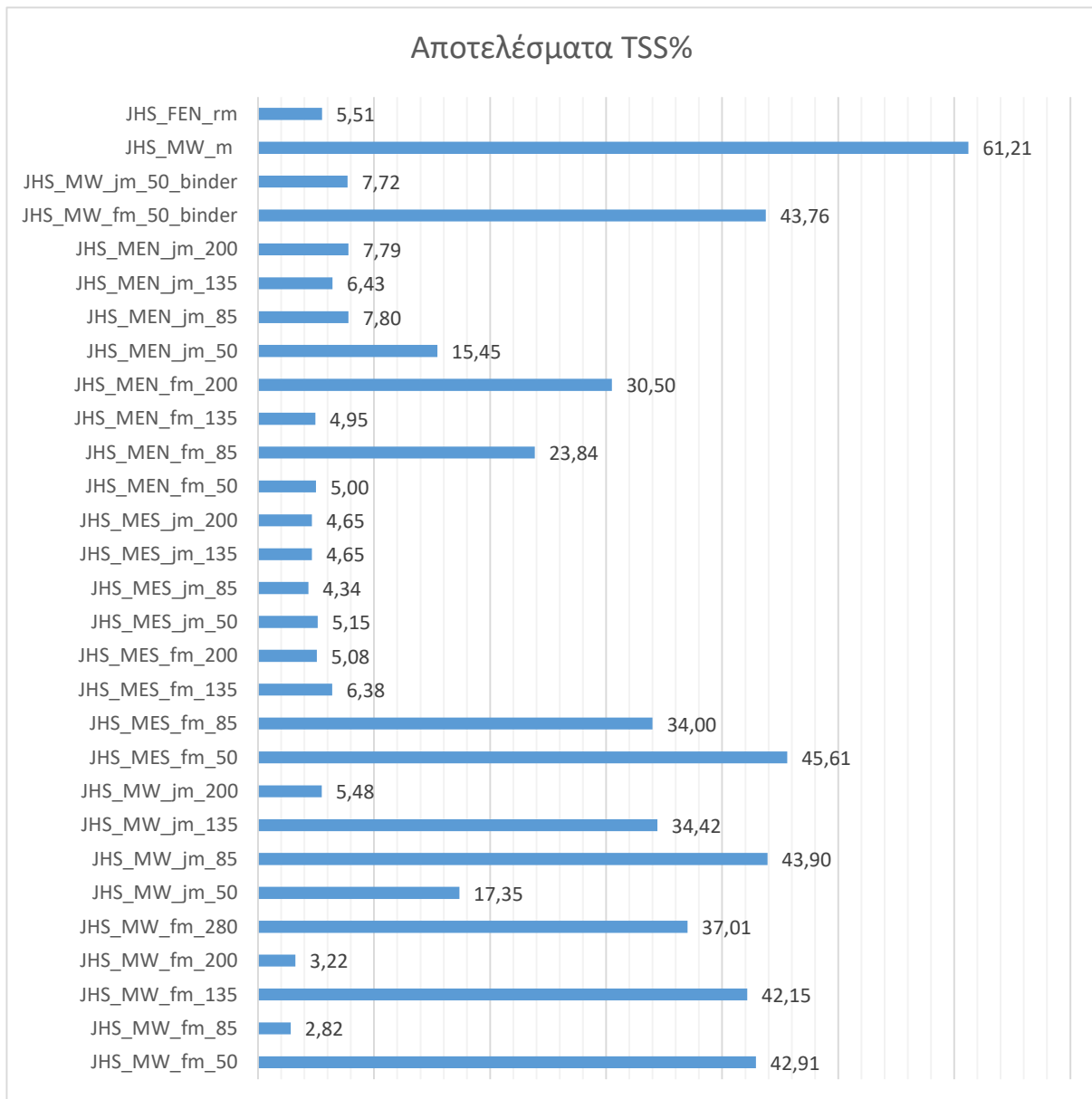
4.6.1. Αποτελέσματα Διαλυτών Αλάτων και Spot Test

Ο προσδιορισμός των ολικών διαλυτών αλάτων έγινε σύμφωνα με το πρότυπο Normal 13/83 και εφαρμόστηκε σε όλα τα δείγματα τα οποία είναι διαθέσιμα καθώς επίσης και στις κόνιες των δειγμάτων στα οποία έγινε η πειραματική διαδικασία της κοκκομετρίας. Οι μάζες των κονιαμάτων και οι μετρήσεις αγωγιμότητας κάθε διαλύματος συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα, καθώς και το ποσοστό διαλυτών αλάτων σε καθένα από αυτά, το οποίο θα υπολογιστεί με βάση τον τύπο που αναφέρθηκε παραπάνω.

Πίνακας 15 Αποτελέσματα προσδιορισμού διαλυτών αλάτων

Δείγμα	Μάζα m (mg)	Αγωγιμότητα		
		Blanc(μS)	C(μS)	SST%
JHS_MW_fm_50	98,8	6,75	623	42,91
JHS_MW_fm_85	98,2	6,75	47	2,82
JHS_MW_fm_135	98,3	6,75	609	42,15
JHS_MW_fm_200	98,5	6,75	52,9	3,22
JHS_MW_fm_280	99,5	6,75	542	37,01
JHS_MW_jm_50	99,4	6,75	257,4	17,35
JHS_MW_jm_85	100,5	6,75	648	43,90
JHS_MW_jm_135	99,0	6,75	502	34,42
JHS_MW_jm_200	98,8	6,75	85,5	5,48
JHS_MES_fm_50	99,3	6,75	665	45,61
JHS_MES_fm_85	100,0	6,75	501	34,00
JHS_MES_fm_135	102,1	6,75	101,5	6,38
JHS_MES_fm_200	103,8	2,68	79,3	5,08
JHS_MES_jm_50	98,4	2,68	76,3	5,15
JHS_MES_jm_85	99,1	2,68	65,2	4,34
JHS_MES_jm_135	100,6	2,68	70,6	4,65
JHS_MES_jm_200	99,5	2,68	69,9	4,65
JHS_MEN_fm_50	102,3	2,68	77,1	5,00
JHS_MEN_fm_85	98,2	2,68	343	23,84
JHS_MEN_fm_135	98,4	2,68	73,5	4,95
JHS_MEN_fm_200	99,1	2,68	442	30,50
JHS_MEN_jm_50	99,0	2,68	225	15,45
JHS_MEN_jm_85	100,0	4,01	117,4	7,80
JHS_MEN_jm_135	98,6	4,01	96,1	6,43
JHS_MEN_jm_200	101,5	4,01	118,9	7,79
JHS_MW_fm_50_binder	104,9	4,73	672	43,76
JHS_MW_jm_50_binder	99,2	4,73	116	7,72
JHS_MW_m	100,4	4,73	898	61,21
JHS_FEN_rm	104,0	4,73	88	5,51

Παρακάτω ακολουθεί και ένα ιστόγραμμα στο οποίο παρουσιάζονται συγκριτικά τα αποτελέσματα όλων των δειγμάτων.

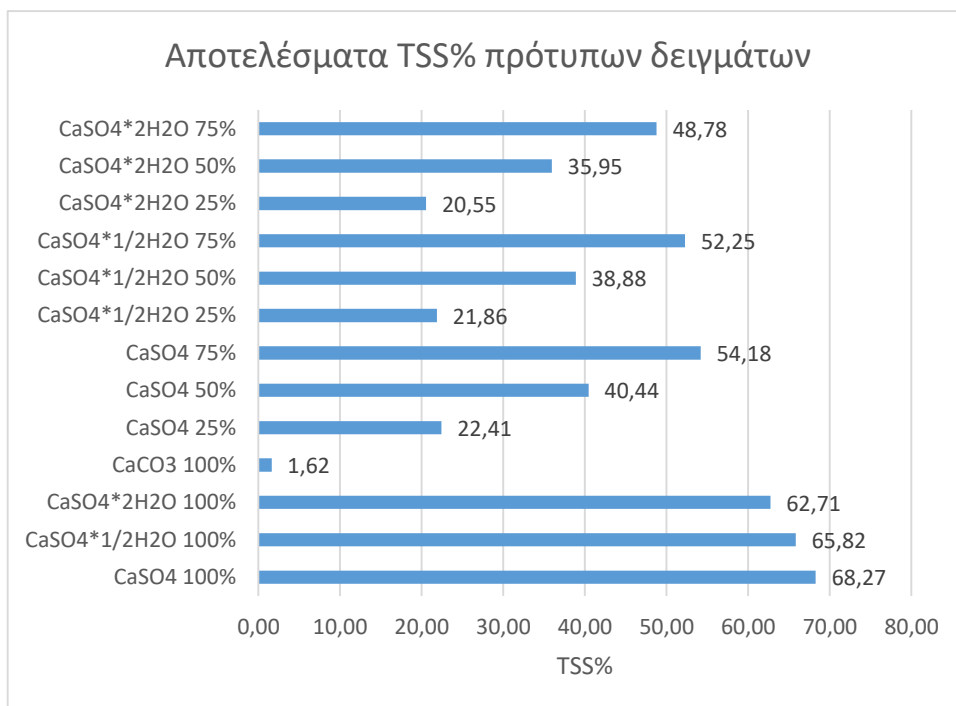


Διάγραμμα 73 Αποτελέσματα ποσοστού διαλυτών αλάτων των δειγμάτων

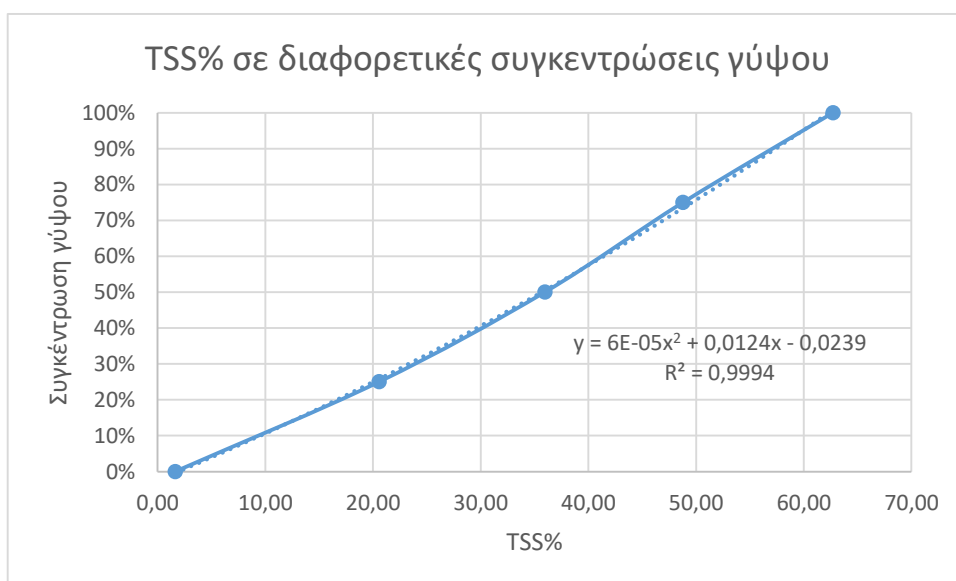
Από τα αποτελέσματα που λήφθηκαν από την πειραματική διαδικασία μπορεί να γίνει αντιληπτό ότι τα δείγματα με αυξημένο ποσοστό διαλυτών αλάτων (άνω του 10%) περιέχουν αρκετή ποσότητα γύψου και μπορούν να καταταχθούν ως κονιάματα γύψου, κάτι το οποίο μπορεί να αποδειχθεί και σε συνδυασμό με τις άλλες μεθόδους που διεξάχθηκαν. Ακόμη, τα υψηλά ποσοστά διαλυτών αλάτων στα κονιάματα με γύψο εμφανίζεται και στη βιβλιογραφία. (30) Έτσι, παρόμοια διαδικασία έγινε και σε πρότυπα μείγματα καθαρού ασβέστη και γύψου σε διάφορες αναλογίες μεταξύ τους για να εξεταστεί αυτή η σχέση μεταξύ συγκέντρωσης γύψου και ποσοστό διαλυτών αλάτων. Τα αποτελέσματα αυτών εμφανίζονται και σε παρακάτω πίνακα και ιστόγραμμα. Ακόμη, παρακάτω εμφανίζεται το διάγραμμα των ολικών αλάτων σε σχέση με τη συγκέντρωση που υπήρχε στο πρότυπο δείγμα. Από αυτό το διάγραμμα μπορεί να γίνει μια εκτίμηση της ποσότητας γύψου που υπάρχει μόνο στα κονιάματα που εμφανίζουν γύψο, μέσω πολυωνυμικής γραμμής τάσης που προκύπτει από το διάγραμμα. Να σημειωθεί όμως ότι αυτό πρόκειται για εκτίμηση καθώς τα άλατα που υπάρχουν στα κονιάματα δεν είναι μόνο θειικά και επίσης μπορεί να υπάρχουν και ίχνη άλλων μορφών του γύψου (ανυδρίτη ή ημιδρίτη). Έτσι στους παρακάτω πίνακες εμφανίζεται και μια ποσοτική εκτίμηση για το ποσοστό του γύψου στα δείγματα.

Πίνακας 16 Αποτελέσματα TSS% των πρότυπων δειγμάτων

Δείγμα	Μάζα m	Αγωγιμότητα		SST%
	(mg)	Blank (μS)	C(μS)	
CaSO ₄	100,2	4,7	999,0	68,27
CaSO ₄ *1/2H ₂ O	100,8	4,7	969,0	65,82
CaSO ₄ *2H ₂ O	102,5	4,7	939,0	62,71
CaCO ₃	100,0	4,7	28,3	1,62
CaSO₄/CaCO₃				
25/75	100,0	2,8	328,5	22,41
50/50	100,6	2,8	594,0	40,44
75/25	100,6	2,8	795,0	54,18
CaSO₄*1/2H₂O/CaCO₃				
25/75	100,0	2,8	320,5	21,86
50/50	100,3	2,8	569,5	38,88
75/25	100,1	2,8	763,0	52,25
CaSO₄*2H₂O/CaCO₃				
25/75	99,7	2,8	300,5	20,55
50/50	101,0	2,8	530,5	35,95
75/25	100,6	2,8	716,0	48,78



Διάγραμμα 74 TSS% των πρότυπων δειγμάτων.



Διάγραμμα 75 Ποσοστό διαλυτών αλάτων των πρότυπων διαλυμάτων

Πίνακας 17 Ποσοτική εκτίμηση περιεκτικότητας γύψου

Δείγμα	Περιεκτικότητα γύψου %
JHS_MW_fm_50	61,9
JHS_MW_fm_135	60,5
JHS_MW_fm_280	51,7
JHS_MW_jm_50	20,9
JHS_MW_jm_85	63,6

JHS_MW_jm_135	47,4
JHS_MW_jm_200	4,6
JHS_MES_fm_50	66,6
JHS_MES_fm_85	46,7
JHS_MEN_fm_50	4,0
JHS_MEN_fm_85	30,6
JHS_MEN_fm_135	3,9
JHS_MEN_fm_200	41,0
JHS_MEN_jm_85	7,6
JHS_MEN_jm_135	5,8
JHS_MEN_jm_200	7,6
JHS_MW_fm_50_binder	63,4
JHS_MW_jm_50_binder	7,5

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας των αποτελεσμάτων του ποιοτικού ελέγχου (spot tests).

Πίνακας 18 Ποιοτικός προσδιορισμός θειικών, χλωριόντων και νιτρικών

Δείγμα	Παρουσία Cl ⁻	Παρουσία SO ₄ ²⁻	Παρουσία NO ₃ ⁻¹
JHS_MW_fm_50	-	+++++	-
JHS_MW_fm_85	+++	+	-
JHS_MW_fm_135	-	++++	-
JHS_MW_fm_200	++	-	-
JHS_MW_fm_280	++++	+++++	-
JHS_MW_jm_50	+	++	√
JHS_MW_jm_85	-	+++++	-
JHS_MW_jm_135	+	++++	-
JHS_MW_jm_200	++	+	-
JHS_MES_fm_50	+	+++++	-
JHS_MES_fm_85	-	++++	-
JHS_MES_fm_135	++++	-	√
JHS_MES_fm_200	++	+	-
JHS_MES_jm_50	+++++	+	-
JHS_MES_jm_85	++++	-	-
JHS_MES_jm_135	++++	-	-
JHS_MES_jm_200	++++	-	-
JHS_MEN_fm_50	++++	-	-
JHS_MEN_fm_85	+	++++	-
JHS_MEN_fm_135	++++	++	√
JHS_MEN_fm_200	++	+++++	-
JHS_MEN_jm_50	Κίτρινο	+	-
JHS_MEN_jm_85	-	+++	-
JHS_MEN_jm_135	-	++	-
JHS_MEN_jm_200	+++	+	-
JHS_MW_fm_50_binder	-	+++++	√
JHS_MW_jm_50_binder	++++	+++	√

JHS_MW_m	Κίτρινο-Καφέ	+	-
JHS_FEN_rm	++++	+	-

Αντιστοίχως, για τα πρότυπα δείγματα παρουσιάζεται ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 19 Ποιοτικός προσδιορισμός θεικών, χλωριόντων και νιτρικών σε πρότυπα δείγματα

Δείγμα	Spot Test		
	Cl ⁻	SO ⁻² ₄	NO ₃ ⁻²
CaSO ₄	++	+++++++	-
CaSO ₄ *1/2H ₂ O	-	+++++++	-
CaSO ₄ *2H ₂ O	-	+++++++	-
CaCO ₃	++	-	-
CaSO₄/CaCO₃			
25/75	-	+++	-
50/50	+	+++++	-
75/25	++	+++++	-
CaSO₄*1/2H₂O/CaCO₃			
25/75	-	+++++	-
50/50	-	+++++	-
75/25	-	+++++	-
CaSO₄*2H₂O/CaCO₃			
25/75	-	++++	-
50/50	-	+++++	-
75/25	-	+++++	-

Η κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε για τον χαρακτηρισμό των δειγμάτων εμφανίζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 20 Κλίμακα Περιεκτικότητας Ιόντων

Κλίμακα περιεκτικότητας	
+++++++	Πολύ υψηλή
+++++	Υψηλή
++++	Μέτρια
+++	Χαμηλή
++	Πολύ χαμηλή
+	Ίχνη
√	Παρουσία
-	Καθόλου

Να σχολιαστεί ότι στον παραπάνω πίνακα οι θετικές σημειώσεις στην στήλη των νιτρικών ιόντων δηλώνει την ύπαρξη ή μη νιτρικών ιόντων στο δείγμα, καθώς η μέθοδος spot test με διάλυμα διφενυλαμίνης δεν δίνει ένδειξη για την ποσότητα των ιόντων που υπάρχουν στο διάλυμα για αυτό χρησιμοποιείται και διαφορετικός συμβολισμός.

Ακόμη, να σχολιαστεί ότι στη διαδικασία spot test για την ανίχνευση χλωριόντων σε δύο δείγματα το χρώμα του διαλύματος που προέκυψε δεν ήταν γαλακτερό, όπως στα υπόλοιπα, αλλά υπήρχαν αποχρώσεις του κίτρινου και του καφέ. Αυτό αποδεικνύει ότι στα διαλύματα αυτά υπάρχουν ιόντα σιδήρου και πιο συγκεκριμένα στο δείγμα JHS_MW_m παρουσιάζεται μεγαλύτερη ποσότητά τους από του JHS_MEN_jm_50.

Από τον παραπάνω πίνακα του ποιοτικού προσδιορισμού ιόντων μπορεί να επιβεβαιωθεί ότι όντως τα δείγματα με υψηλά ποσοστά διαλυτών αλάτων περιέχουν και αρκετή ποσότητα θεικών ιόντων. Παρ'όλ'αυτά σε αρκετά δείγματα είναι εμφανής η παρουσία χλωριόντων και σε λιγότερα δείγματα η παρουσία νιτρικών. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να γίνει και η παρατήρηση ότι στα δείγματα JHS_MES_jm_50 με 200 παρ'όλο που δεν εμφανίζονται θεικά ιόντα, αλλά είναι εμφανής η παρουσία των χλωριόντων, τα δείγματα διατηρούν χαμηλά ποσοστά διαλυτών αλάτων. Συνεπώς, μπορεί να παρθεί θεμιτά μια εκτίμηση για την ποσότητα του γύψου στα δείγματα, που έχει αποδειχθεί με άλλες μεθόδους ότι περιέχουν γύψο, με τη μέθοδο που εφαρμόστηκε παραπάνω.

4.6.2. Συνολικός σχολιασμός διαλυτών αλάτων ανά φάτνωμα

Δυτικό Φάτνωμα

Στο δυτικό φάτνωμα είναι φανερό ότι στα κονιάματα γεμίσματος δεν υπάρχει αύξηση ή μείωση του ποσοστού των διαλυτών αλάτων καθ' ύψος αλλά υπάρχει εναλλαγή. Αυτό συμβαίνει λόγω της περιεκτικότητας σε γύψο που έχουν κάποια από τα κονιάματα και πιο συγκεκριμένα στα κονιάματα στα 50, 135 και 280cm. Στα 280cm εμφανίζεται μικρότερο ποσοστό, συγκριτικά με τα γυσοκονιάματα αυτού του φατνώματος, κάτι το οποίο μπορεί να οφείλεται και σε τριχοειδής αναρρίχηση υγρασίας καθώς δεν έχει φτάσει σε ανώτερα κονιάματα. Με παρόμοιο τρόπο εμφανίζονται και τα είδη ιόντων, δηλαδή υπάρχει έντονη παρουσία θεικών στα 50, 85 και 280cm. Στα 280cm εμφανίζεται μία αύξηση στα χλωριόντα.

Σε σύγκριση με τα κονιάματα αρμού του ίδιου φατνώματος είναι φανερό ότι λόγω της χημικής σύστασης δεν ακολουθεί την ίδια τάση με τα κονιάματα γεμίσματος. Πιο συγκεκριμένα, τα τρία χαμηλότερα κονιάματα εμφανίζουν μεγαλύτερα ποσοστά συγκριτικά με το τελευταίο. Το μέγιστο ποσοστό εμφανίζεται στα 85cm, που είναι λογικό καθώς εκεί εμφανίζει μία από τις μεγαλύτερες περιεκτικότητες σε γύψο. Συγκριτικά με τα δείγματα γεμίσματος εμφανίζουν μικρότερη παρουσία σε χλωριόντα και επίσης το δείγμα στα 50cm περιέχει και νιτρικά ιόντα.

Η μέγιστη διαφορά ποσοστών καθ' ύψος μεταξύ κονιαμάτων γεμίσματος και αρμού βρίσκεται στα 85cm που μπορεί να οφείλεται σε είτε στη χημική σύσταση του δείγματος είτε στη θέση του συγκεκριμένου δείγματος. Το δείγμα βρίσκεται στο κάτω μέρος της κορνίζας του φατνώματος το οποίο είναι ευάλωτο σχετικά σημείο. Τα επόμενα δείγματα με μεγάλη διαφορά είναι αυτά στα 50cm όπου υπάρχει το αντίστροφο φαινόμενο, δηλαδή το κονίαμα αρμού έχει μικρότερο ποσοστό, το οποίο πρέπει να οφείλεται στο ότι το συγκεκριμένο κονίαμα είναι κυρίως ασβεστίτικο σε σύγκριση με το αντίστοιχο κονίαμα γεμίσματος που είναι κυρίως γύψου. Τα υψηλότερα δείγματα στα 200cm εμφανίζουν αρκετά χαμηλό ποσοστό που πρέπει να οφείλεται στο γεγονός ότι η τριχοειδής αναρρίχηση δεν έχει φτάσει ακόμα σε αυτό το ύψος.

Το κονίαμα αποκατάστασης εμφανίζει μεγάλο ποσοστό διαλυτών αλάτων που πρέπει να οφείλεται στα κεραμικά αδρανή που περιέχει. Το συγκεκριμένο δείγμα περιέχει και αρκετά ιόντα σιδήρου που μπορεί να εξηγεί το υψηλό ποσοστό.

Νοτιοανατολικό Φάτνωμα

Τα κονιάματα γεμίματος εμφανίζουν και αυτά διαφοροποίηση καθ' ύψος η οποία ταιριάζει με τη χημική τους σύσταση. Τα δύο χαμηλότερα κονιάματα περιέχουν περισσότερο γύψο και εμφανίζουν υψηλότερο ποσοστό διαλυτών αλάτων. Το δείγμα στα 50cm εμφανίζει μεγαλύτερο ποσοστό από αυτό στα 85cm, το οποίο πρέπει να οφείλεται στην αναρριχόμενη υγρασία η οποία μειώνεται καθ' ύψος λόγω βαρύτητας. Τα δύο ψηλότερα δείγματα τα οποία αποτελούνται κυρίως από ασβεστίτη έχουν εμφανή διαφορά στο ποσοστό διαλυτών αλάτων, αλλά ακολουθούν και αυτά το ίδιο μοτίβο όπου το χαμηλότερο δείγμα έχει υψηλότερο ποσοστό. Τα είδη των ιόντων ακολουθούν τη χημική σύσταση τα δύο χαμηλότερα διαθέτουν αρκετά θειικά και τα δύο υψηλότερα έχουν αυξημένα χλωριόντα.

Τα κονιάματα αρμού έχουν όλα χαμηλά ποσοστά καθώς είναι όλα ασβεστιτικά, αλλά ακολουθούν και αυτά το ίδιο μοτίβο όπου το χαμηλότερο έχει λίγο υψηλότερη τιμή του ποσοστού διαλυτών αλάτων. Στα είδη των ιόντων είναι αυξημένα τα χλωριόντα και δεν εμφανίζονται θειικά που είναι λογικό, από τη χημική σύσταση. Εμφανίζει την ίδια τάση με το δυτικό φάτνωμα όπου τα κονιάματα αρμού έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε χλωριόντα. Στα 135cm εμφανίζονται και νιτρικά.

Συγκριτικά για τα κονιάματα γεμίματος και αρμού, τα δύο χαμηλότερα δείγματα είναι εντελώς διαφορετικά όσον αφορά το ποσοστό των διαλυτών αλάτων, λόγω της σύστασης των δειγμάτων, αλλά και τα δύο υψηλότερα εμφανίζουν μία μικρή διαφοροποίηση με τα κονιάματα γεμίματος να έχουν λίγο υψηλότερες τιμές.

Βορειοανατολικό Φάτνωμα

Πάλι και σε αυτό το φάτνωμα οι χημική σύσταση ακολουθεί το ποσοστό των διαλυτών αλάτων. Πιο συγκεκριμένα τα φάτνωμα στα 85 και 200cm τα οποία περιέχουν μεγάλη ποσότητα γύψου εμφανίζουν μεγαλύτερα ποσοστά διαλυτών αλάτων σε σχέση με τα άλλα δύο με αυτό στα 200cm να είναι μεγαλύτερο, που είναι λογικό καθώς συγκριτικά περιέχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα γύψου. Τα ιόντα που περιέχονται είναι κυρίως θειικά αν και υπάρχουν και αρκετά χλωριόντα συγκριτικά με τα υπόλοιπα κονιάματα γεμίματος με μέγιστα να υπάρχουν στα 50 και 135cm. Τα θειικά ακολουθούν την χημική σύσταση των κονιαμάτων. Στα 135cm εμφανίζονται και νιτρικά, όπως στο νοτιοανατολικό φάτνωμα.

Σε αντίθεση, όλα τα κονιάματα αρμού είναι όλα ασβεστιτικά συνεπώς έχουν αρκετά χαμηλότερα ποσοστά. Από τα χαμηλότερα στα υψηλότερα υπάρχει εμφανής μείωση του ποσοστού, όπως εμφανίστηκε σε άλλα δείγματα. Τα ασβεστιτικά κονιάματα γεμίματος εμφανίζουν χαμηλότερα ποσοστά διαλυτών αλάτων συγκριτικά με αυτά του αρμού. Όσον αφορά τα είδη ιόντων δεν εμφανίζουν την ίδια τάση με το δυτικό και νοτιοανατολικό φάτνωμα όπου τα κονιάματα αρμού έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε χλωριόντα, αλλά υπάρχουν περισσότερα θειικά, σε αρκετά χαμηλή περιεκτικότητα όμως καθώς είναι κυρίως ασβεστιτικά τα κονιάματα. Επίσης, το χαμηλότερο δείγμα περιέχει και μια ποσότητα ιόντων σιδήρου.

Η μεγαλύτερη διαφορά ανάμεσα στα κονιάματα γεμίματος και αρμού εμφανίζεται στα 200cm και μετά στα 85cm. Η διαφορά αυτή πρέπει να οφείλεται στην περιεκτικότητα σε γύψο καθώς τα κονιάματα γεμίματος μπορούν να χαρακτηριστούν ως γυψοκονιάματα.

Το κονίαμα αποκατάστασης εμφανίζει μικρό ποσοστό διαλυτών αλάτων που είναι λογικό και γιατί έχει τοποθετηθεί πιο πρόσφατα και γιατί είναι ασβεστιτικό. Τα είδη ιόντων που εμφανίζονται στο κονίαμα αυτό είναι κυρίως χλωριόντα που είναι λογικό καθώς δεν υπάρχει μέσα στο κονίαμα γύψος.

4.7 Αποτελέσματα Χρωματομετρίας

Έγινε χρωματομετρία σε όλα τα δείγματα. Με τη διάταξη του χρωματόμετρου πάρθηκαν πέντε μετρήσεις από κάθε δείγμα, σε διάφορα σημεία του δείγματος και στη συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος όρος των μετρήσεων. Έπειτα, σύμφωνα με το χρωματικό μοντέλο CIELab που περιεγράφηκε παραπάνω υπολογίστηκαν οι συντελεστές C* (Chroma) κορεσμός και χροιά h (hue angle). Έπειτα, με υπολογιστικό πρόγραμμα του διαδικτύου και τις τιμές L, a, b βρέθηκε η ακριβής απόχρωση των δειγμάτων σε μορφή εικόνας. Όλα τα αποτελέσματα που περιεγράφηκαν παραπάνω εμφανίζονται στους πίνακες και στις εικόνες παρακάτω.

Πίνακας 21 Αποτελέσματα χρωματικού μοντέλου CIELab των δειγμάτων.

Δείγμα	L	a	b	C*	h*
JHS_MW_fm_50	77,49	2,50	10,12	10,43	1,33
JHS_MW_fm_85	69,17	2,98	10,11	10,54	1,28
JHS_MW_fm_135	74,09	2,06	10,27	10,48	1,37
JHS_MW_fm_200	78,60	0,58	5,57	5,60	1,47
JHS_MW_fm_280	77,86	1,30	7,19	7,31	1,39
JHS_MW_jm_50	81,22	1,08	5,93	6,03	1,39
JHS_MW_jm_85	70,85	3,49	10,26	10,83	1,24
JHS_MW_jm_135	76,60	1,95	9,13	9,34	1,36
JHS_MW_jm_200	76,39	0,96	5,52	5,60	1,40
JHS_MES_fm_50	64,96	2,66	10,72	11,04	1,33
JHS_MES_fm_85	71,46	2,32	9,67	9,94	1,34
JHS_MES_fm_135	74,15	1,31	5,61	5,76	1,34
JHS_MES_fm_200	79,26	1,75	6,40	6,63	1,30
JHS_MES_jm_50	78,65	1,42	5,65	5,83	1,33
JHS_MES_jm_85	78,30	0,96	4,91	5,00	1,38
JHS_MES_jm_135	74,44	1,10	4,52	4,65	1,33
JHS_MES_jm_200	75,56	0,99	5,12	5,21	1,38
JHS_MEN_fm_50	71,13	2,28	8,34	8,64	1,30
JHS_MEN_fm_85	67,79	3,63	10,66	11,26	1,24
JHS_MEN_fm_135	72,07	1,93	6,93	7,20	1,30
JHS_MEN_fm_200	80,71	2,48	7,51	7,91	1,25
JHS_MEN_jm_50	71,09	1,80	7,51	7,72	1,34
JHS_MEN_jm_85	73,23	2,90	11,94	12,29	1,33
JHS_MEN_jm_135	69,18	4,48	9,56	10,56	1,13
JHS_MEN_jm_200	74,60	1,40	5,58	5,75	1,32
JHS_MW_m	67,38	7,18	10,79	12,96	0,98
JHS_FEN_rm_grey	70,174	1,4	7,548	7,68	1,39
JHS_FEN_rm_red	64,48	8,468	8,076	11,70	0,76

Παρακάτω ακολουθούν οι ψηφιακές εικόνες που προέκυψαν από το υπολογιστικό πρόγραμμα μέσω των παραμέτρων L, a, b.



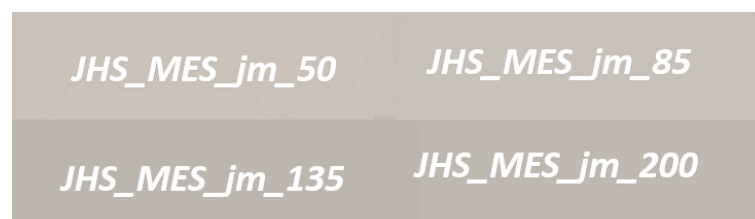
Εικόνα 42 Εικονική απεικόνιση του χρώματος των δειγμάτων JHS_MW_fm μέσω των δεικτών L, a, b



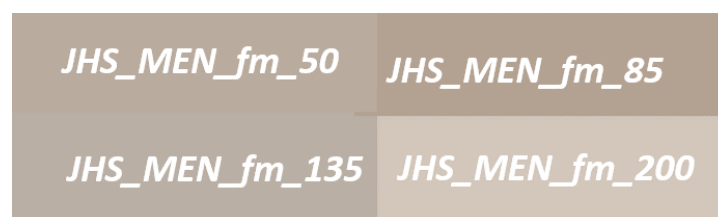
Εικόνα 43 Εικονική απεικόνιση του χρώματος των δειγμάτων JHS_MW_jm μέσω των δεικτών L, a, b



Εικόνα 44 Εικονική απεικόνιση του χρώματος των δειγμάτων JHS_MES_fm μέσω των δεικτών L, a, b



Εικόνα 45 Εικονική απεικόνιση του χρώματος των δειγμάτων JHS_MES_jm μέσω των δεικτών L, a, b



Εικόνα 46 Εικονική απεικόνιση του χρώματος των δειγμάτων JHS_MEN_fm μέσω των δεικτών L, a, b

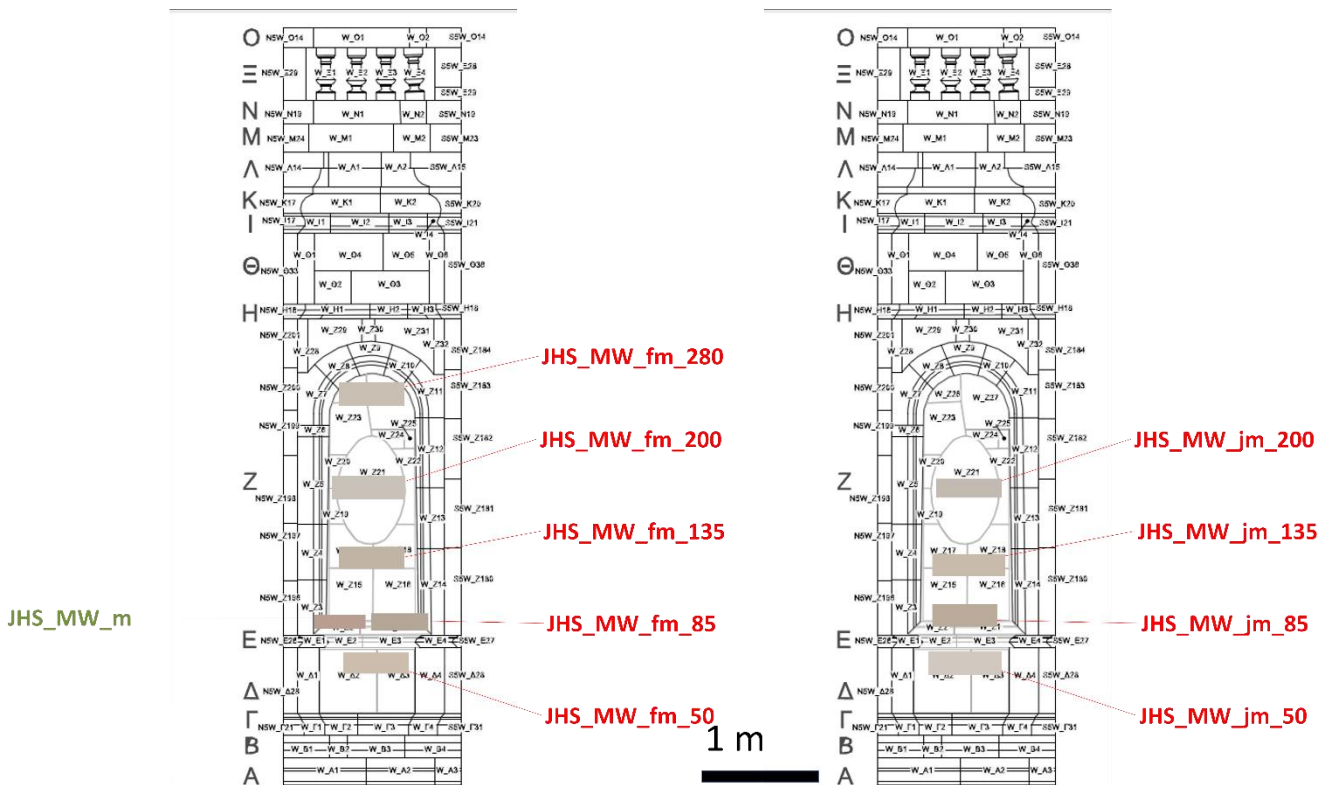


Εικόνα 47 Εικονική απεικόνιση του χρώματος των δειγμάτων *JHS_MEN_jm* μέσω των δεικτών L, a, b

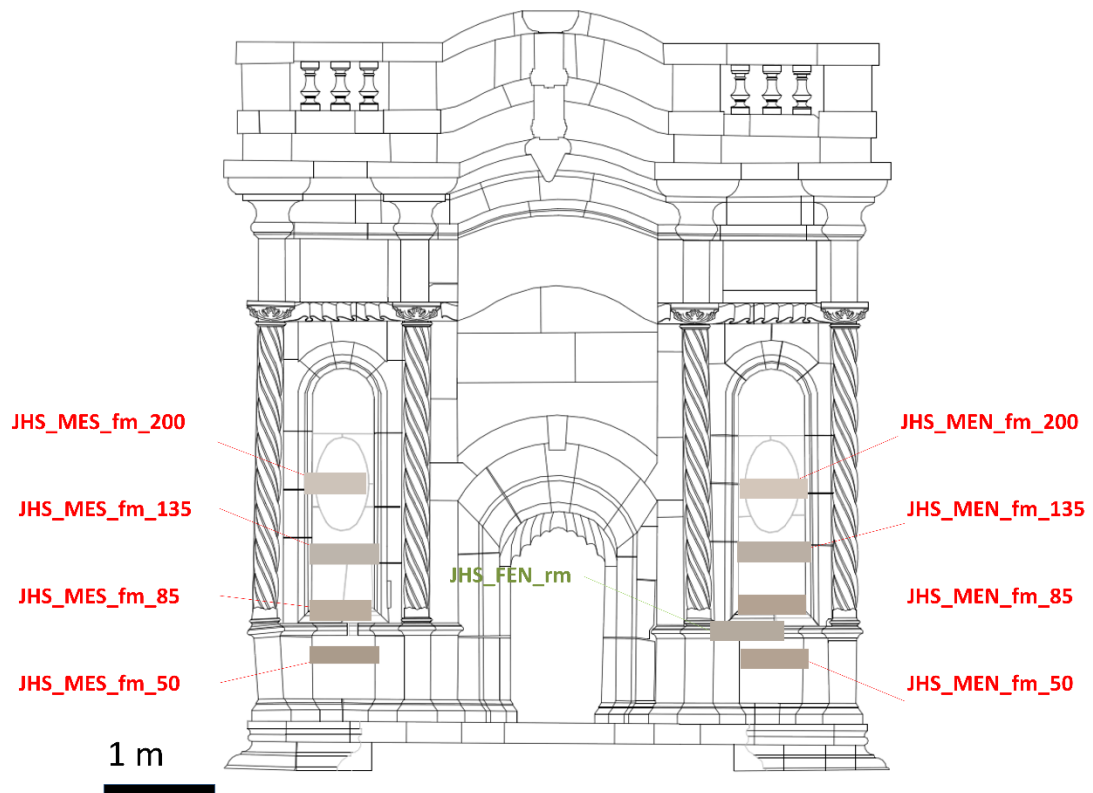


Εικόνα 48 Εικονική απεικόνιση του χρώματος των κονιαμάτων αποκατάστασης μέσω των δεικτών L, a, b

Παρακάτω εμφανίζεται η παλέτα των χρωμάτων πάνω στα αρχιτεκτονικά σχέδια του μνημείου.

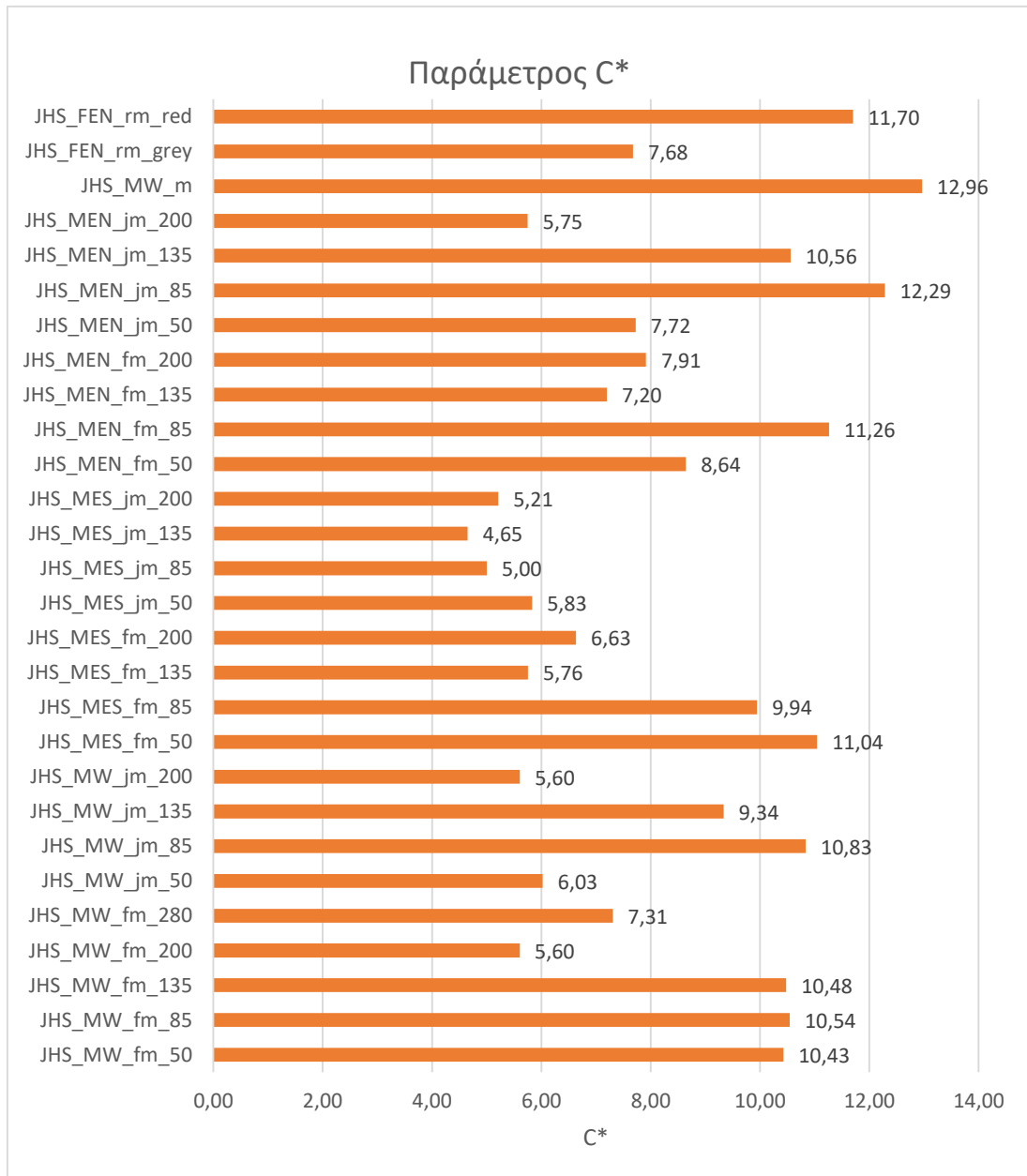


Εικόνα 49 Χρώματα στα αρχιτεκτονικά σχέδια των δυτικών φατνωμάτων

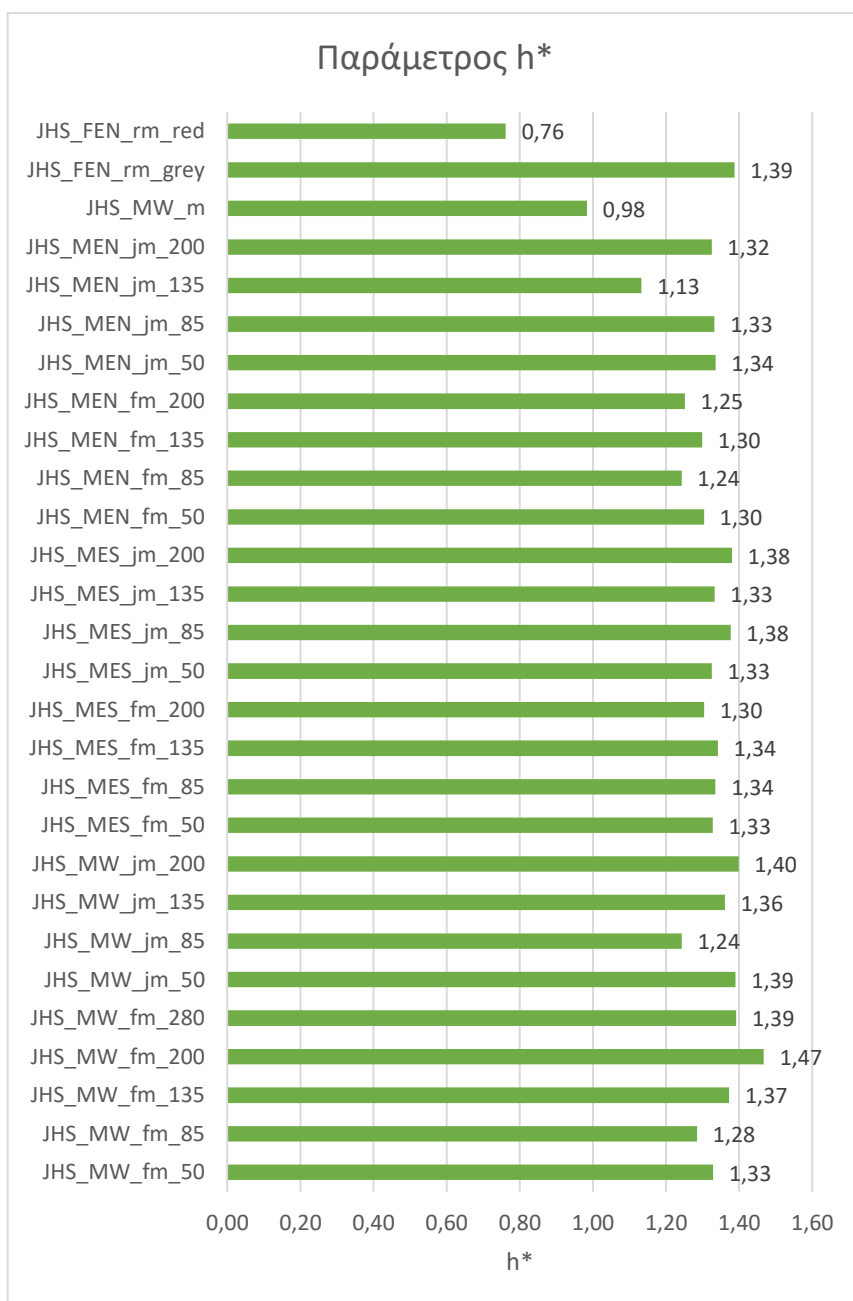


Εικόνα 50 Χρώματα στα αρχιτεκτονικά σχέδια των ανατολικών φατνωμάτων

Παρακάτω ακολουθούν διαγράμματα που δείχνουν την εξέλιξη των δύο παραμέτρων σε σχέση με τα δείγματα.



Διάγραμμα 76 Ραβδόγραμμα τιμών κορεσμού των δειγμάτων



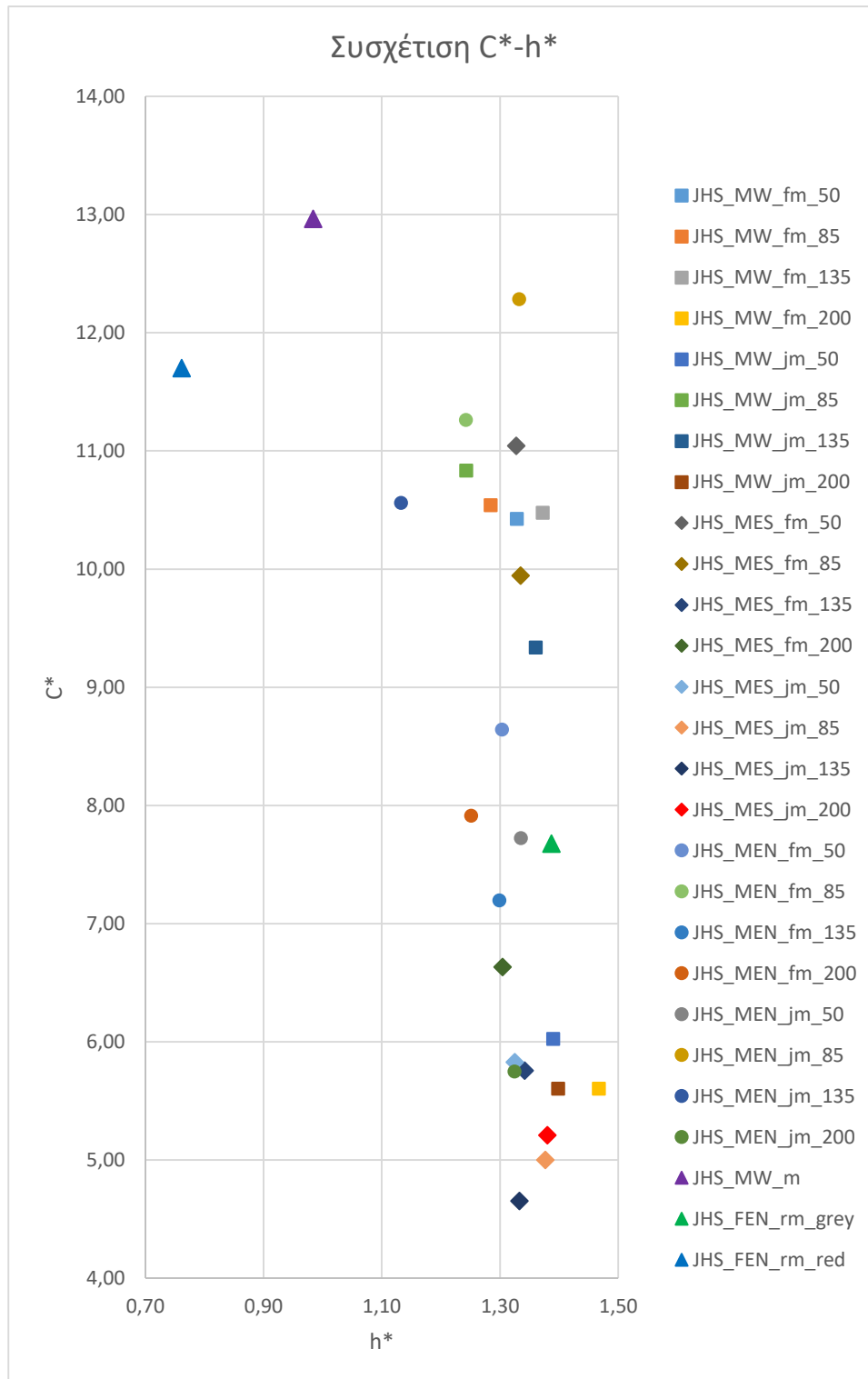
Διάγραμμα 77 Ραβδογραμμα τιμών χροιάς των τιμών

Τα συμπεράσματα που λαμβάνονται από το 1^ο διάγραμμα είναι ότι εμφανίζεται μία επαναληψιμότητα στις τιμές των δειγμάτων. Πιο συγκεκριμένα, οι ακριανές τιμές των δειγμάτων, δηλαδή πολύ ψηλά και πολύ χαμηλά στα 50 και 200 μέτρα αντίστοιχα, είναι σχετικά χαμηλές, ενώ οι ενδιάμεσες είναι αρκετά ψηλές. Εξαίρεση αποτελούν τα δείγματα JHS_MES_jm που όλα εμφανίζουν σχετικά χαμηλές και σταθερές τιμές. Προφανώς τα τελευταία δείγματα δεν ακολουθούν αυτή την επαναληψιμότητα καθώς πρόκειται για διαφορετικού είδους δείγματα, αφού υπάρχουν περισσότερα κεραμικά στο ένα και το άλλο διαθέτη μια πλευρά με κάποιου είδους επίστρωση. Στο 2^ο διάγραμμα δεν εμφανίζονται πολλές διακυμάνσεις πέρα από το δείγμα JHS_MW_jm_85 που έχει μια λίγο μικρότερη τιμή h^* . Τα

τελευταία δείγματα εμφανίζουν μεγάλες διαφορές, το οποίο όπως αναφέρθηκε και πριν είναι λογικό.

Από τις τιμές των h^* μπορεί να ληφθεί το συμπέρασμα ότι η πλειονότητα των δειγμάτων κυμένεται στις ίδιες αποχρώσεις. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές των δειγμάτων ξεκινάνε από τις $0,76^\circ$ έως και το $1,47^\circ$. Έχοντας υπόψη ότι από τις 0° είναι τα πορφυρά χρώματα και στους 90° είναι τα κίτρινα, γίνεται αντιληπτό ότι τα δείγματα κυμένονται στις αποχρώσεις του πορτοκαλί και μάλιστα περισσότερο προς το πορφυρό. Το οποίο είναι λογικό καθώς αρκετά από τα δείγματα χαρακτηρίστηκαν ως μπεζ. Ακόμη τις μικρότερες τιμές, οι οποίες είναι και χαμηλότερες της μονάδας, τις εμφάνισαν τα δείγματα τα οποία έχουν ξεκάθαρο πορφυρό χρώμα τα οποία είναι το JHS_MW_m το οποίο διαθέτει μεγάλα κόκκινα κεραμικά στη μάζα του, και η πλευρά με την κόκκινη επικάλυψη του δείγματος JHS_FEN_fm.

Η τιμές του C^* εκφράζουν την εντονότητα του χρώματος του δείγματος. Συνεπώς, αυτή η παράμετρος είναι που δείχνει ότι τα δείγματα δεν έχουν έντονα χρώματα καθώς οι τιμές τις παραμέτρου είναι αρκετά μικρές. Η υψηλότερη είναι το 12,96 που ανήκει στο δείγμα JHS_MW_m το οποίο όντως κατέχει πολύ έντονα σε χρώμα αδρανή και η μικρότερη είναι το 4,52 το δείγμα JHS_MES_jm_135 που όντως έχει αχνό χρώμα. Μπορεί να γίνει και μία μικρή παρατήρηση σε αυτό το σημείο, όπου τα δείγματα με μικρές τιμές της παραμέτρου C^* , έως 7 περίπου, έχουν σαν κύρια ορυκτολογική ένωση τον ασβεστίτη μετά όσο ανεβαίνουν οι τιμές του C^* από 7 έως 10 περίπου εμφανίζονται περισσότερα δείγματα με κύρια ορυκτολογική ένωση τον γύψο και τέλος από 10 έως 12 περίπου η πλειονότητα των δειγμάτων έχει κύρια ορυκτολογική ένωση τον γύψο. Να σημειωθεί βέβαια ότι στο δείγμα JHS_MW_m το χρώμα οφείλεται στα κεραμικά αδρανή και η κονία έχει πιο αχνό χρώμα.



Διάγραμμα 78 Συσχέτιση C*-h*

Από το παραπάνω διάγραμμα συνάγεται το συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση στο συντελεστή h^* , αλλά υπάρχει μεγάλη διαφορά στο συντελεστή C^* . Πιο συγκεκριμένα, τα περισσότερα δείγματα εμφανίζονται ανάμεσα στις τιμές των 10 με 11 και 5 με 6 και κυρίως από το δυτικό και νοτιοανατολικό φάτνωμα. Το βοριοανατολικό φαίνεται να εμφανίζει αρκετά διαφοροποιημένες τιμές.

5. Συμπεράσματα – Προοπτικές

5.1. Συνολικός χαρακτηρισμός και διάγνωση της φθοράς ανά δείγμα

Παρακάτω ακολουθεί ο συνολικός χαρακτηρισμός των κονιαμάτων.

5.1.1 Δυτικό Φάτνωμα

5.1.1.1. Κονιάματα Γεμίματος

JHS_MW_fm_50

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο δυτικό φάτνωμα του μνημείου 50cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα γεμίματος. Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι χρώματος κατέχει κυρίως συσσωματώματα κονίας και κομμάτια κεραμικών. Εμφανίζεται να υπάρχουν αδρανή γκρίζου και μαύρου χρώματος και το δείγμα είναι εύθρυπτο συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Στο συγκεκριμένο δείγμα έγινε και ο φυσικός διαχωρισμός αδρανών-κονίας μέσω κοκκομετρικής ανάλυσης και συνάχθηκε το συμπέρασμα ότι δεν εμφανίζεται σιγμοειδή κοκκομετρική καμπύλη, το ιστόγραμμα που εμφανίζεται είναι μονοκόρυφο, τα αδρανή του έχουν διάφορα χρώματα στα μεγάλα κλάσματα κυρίως, ο λόγος κονίας προς αδρανή είναι αρκετά μεγάλος στο 1,91 αν και αυτό το αποτέλεσμα είναι αναμενόμενο λόγω της λειτουργίας των κονιαμάτων γεμίματος.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο γύψος, ενώ ως δευτερεύουσες ανιχνεύονται ο χαλαζίας και ο ασβεστίτης. Συνεπώς, το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως μεικτό κονίαμα γύψου-ασβέστη. Στα κοκκομετρικά κλάσματα διαπιστώθηκε ότι καθώς στα κόσκινα μειώνεται το μέγεθος των οπών εμφανίζεται μία σταδιακή αύξηση της ποσότητας του γύψου με την περισσότερη ποσότητα να βρίσκεται στην κονία.

Από τη μέθοδο της TG συνάχθηκε το συμπέρασμα ότι το δείγμα έχει ποσοστό γύψου 64,79%, ποσοστό ασβεστίτη 24,34% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι 7,44 και δεν κατατάσσεται ως υδραυλικό.

Από τη μέθοδο της TG που διεξάχθηκε στην κονία του δείγματος συνάχθηκε το συμπέρασμα ότι το δείγμα έχει ποσοστό γύψου 68,47%, ποσοστό ασβεστίτη 28,95% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι 8,67 και δεν κατατάσσεται ως υδραυλικό.

Από τη μέθοδο της απορρόφησης και εκρόφησης νερού διαπιστώθηκε ότι ο συντελεστής WAC είναι 38,48%, άρα ανήκει στην ενδιάμεση (2^η) ομάδα των κονιαμάτων, το ποσοστό του πορώδους προσβάσιμο στο νερό είναι 41,77% η φαινόμενη πυκνότητα είναι 1,09g/mL και το ποσοστό απώλειας μάζας από την πειραματική διαδικασία είναι 5,68%, επομένως παρουσιάζει αρκετή επιδεκτικότητα στη φθορά από το νερό.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 42,91% και αντιστοίχως η κονία έχει 43,76% και περιέχει θεϊκά ιόντα σε μεγάλη ποσότητα. Επίσης, το ποσοστό του γύψου που προσεγγίστηκε από τη μέθοδο είναι 61,9%. Αντιστοίχως η κονία έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 43,76% και περιέχει θεϊκά ιόντα

σε μεγαλύτερη ποσότητα. Επίσης, το ποσοστό του γύψου που προσεγγίστηκε από τη μέθοδο είναι 63,4%. Η διαφορά του ποσοστού γύψου που υπολογίστηκε από αυτή τη μέθοδο και από τη μέθοδο TG δεν είναι υψηλότερη του 5% που υποδεικνύει ότι δεν υπάρχουν μεγάλα ποσοστά άλλων διαλυτών αλάτων και ότι δεν περιέχονται άλλες ενώσεις όμοιες με αυτές του γύψου στο κονίαμα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 10,43 και του δείκτη h* 1,33.

JHS_MW_fm_85

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο δυτικό φάτνωμα του μνημείου 85cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα γεμίματος.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι μπεζ χρώματος κατέχει κυρίως γκρίζα αδρανή σχετικά μεγάλου μεγέθους, κεραμικά και σωματίδια κάρβουνου, επίσης, το δείγμα είναι εύθρυπτο συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο ασβεστίτης, ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο χαλαζίας. Συνεπώς το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως ασβεστοκονίαμα.

Από τη μέθοδο της απορρόφησης και εκρόφησης νερού διαπιστώθηκε ότι ο συντελεστής WAC είναι 55,25%, άρα κατατάσσεται στην υψηλότερη (1^η) ομάδα κονιαμάτων, το ποσοστό του πορώδους προσβάσιμο στο νερό είναι 61,27% η φαινόμενη πυκνότητα είναι 1,11g/mL και το ποσοστό απώλειας μάζας από την πειραματική διαδικασία είναι 6,73%, επομένως το κονίαμα είναι αρκετά επιδεκτικό στη φθορά από νερό.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 2,82% και περιέχει ιόντα χλωρίου και θεικών με του χλωρίου να είναι σε μεγαλύτερη περιεκτικότητα. Τα TSS% είναι αρκετά χαμηλά σε αυτό το δείγματα συγκριτικά με τα άλλα, ακόμη και με τα αντίστοιχα ασβεστοκονιάματα, που υποδεικνύει τη μικρότερη προσβολή από διαλυτά άλατα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 10,54 και του δείκτη h* 1,28.

JHS_MW_fm_135

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο δυτικό φάτνωμα του μνημείου 135cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα γεμίματος.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι λευκού χρώματος κατέχει κυρίως αδρανή σε μαύρο και κόκκινο χρώμα και το δείγμα είναι εύθρυπτο συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο γύψος, ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο ασβεστίτης, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως μεικτό κονίαμα γύψου-ασβέστη.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 42,15% και περιέχει θειικά ιόντα σε μεγάλη ποσότητα. Επίσης, το ποσοστό

του γύψου που προσεγγίστηκε από τη μέθοδο είναι 60,5%. Το γεγονός ότι έχει υψηλό ποσοστό γύψου δεν μπορεί να δώσει σαφή αποτελέσματα για την φθορά που έχει υποστεί το κονίαμα από διαλυτά άλατα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 10,48 και του δείκτη h* 1,37 .

JHS_MW_fm_200

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο δυτικό φάτνωμα του μνημείου 200cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα γεμίματος.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι γκρίζου χρώματος κατέχει κυρίως συσσωματώματα κονιάς. Το δείγμα εμφανίζει επιφάνεια με επικαθήσεις και είναι συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο ασβεστίτης, συνεπώς το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως ασβεστοκονίαμα.

Από τη μέθοδο της TG συνάχθηκε το συμπέρασμα ότι το δείγμα έχει ποσοστό ασβεστίτη 77,77% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι 8,87 και δεν κατατάσσεται ως υδραυλικό.

Από τη μέθοδο της απορρόφησης και εκρόφησης νερού διαπιστώθηκε ότι ο συντελεστής WAC είναι 44,54%, άρα κατατάσσεται στην ενδιάμεση (2^η) ομάδα κονιαμάτων, το ποσοστό του πορώδους προσβάσιμο στο νερό είναι 45,30% η φαινόμενη πυκνότητα είναι 1,02g/mL και το ποσοστό απώλειας μάζας από την πειραματική διαδικασία είναι 3,33%, επομένως είναι ελαφρώς επιδεικτικό στη φθορά από νερό.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 3,22% και περιέχει χλωριόντα, αλλά όχι σε μεγάλη περιεκτικότητα. Τα TSS% είναι αρκετά χαμηλά σε αυτό το δείγματα συγκριτικά με τα άλλα, ακόμη και με τα αντίστοιχα ασβεστοκονιάματα, που υποδεικνύει τη μικρότερη προσβολή από διαλυτά άλατα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 5,60 και του δείκτη h* 1,47 .

JHS_MW_fm_280

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο δυτικό φάτνωμα του μνημείου 280cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα γεμίματος.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι λευκού χρώματος κατέχει κυρίως συσσωματώματα κονιάς και κεραμικά. Το δείγμα είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί αποτελούν ο γύψος και ο ασβεστίτης, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως μεικτό κονίαμα γύψου-ασβέστη.

Από τη μέθοδο της TG συνάχθηκε το συμπέρασμα ότι το δείγμα έχει ποσοστό γύψου 18,78%, ποσοστό ασβεστίτη 68,82% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι 5,00 και δεν κατατάσσεται ως υδραυλικό.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 37,01% και περιέχει ιόντα χλωρίου και θειικά και τα δύο σε μεγάλη περιεκτικότητα. Επίσης, το ποσοστό του γύψου που προσεγγίστηκε από τη μέθοδο είναι 51,7%. Το ποσοστό του γύψου που υπολογίστηκε από αυτή τη μέθοδο είναι αρκετά μεγαλύτερο από αυτό που υπολογίστηκε από τη μέθοδο TG, αυτό σημαίνει ότι το κονίαμα έχει προσβληθεί και από διαλυτά άλατα. Αυτό γίνεται αντιληπτό και από τα spot test καθώς εμφανίζονται και ιόντα χλωρίου σε μεγάλη περιεκτικότητα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 7,31 και του δείκτη h* 1,39.

5.1.1.2. Κονιάματα Αρμού

JHS_MW_jm_50

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο δυτικό φάτνωμα του μνημείου 50cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα αρμού.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι λευκού χρώματος κατέχει κυρίως κεραμικά. Το δείγμα είναι εύθρυπτο συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Στο συγκεκριμένο δείγμα έγινε και ο φυσικός διαχωρισμός αδρανών-κονίας μέσω κοκκομετρικής ανάλυσης και συνάχθηκε το συμπέρασμα ότι δεν εμφανίζεται σιγμοειδή κοκκομετρική καμπύλη αν και την προσεγγίζει, το ιστόγραμμα που εμφανίζεται είναι μονοκόρυφο, τα αδρανή του έχουν διάφορα χρώματα σε όλα τα κλάσματα, ο λόγος κονίας προς αδρανή είναι αρκετά μεγάλος στο 1,47 κάτι που δεν είναι αναμενόμενο για κονίαμα αρμού. Συνάγεται το συμπέρασμα επομένως ότι πρόκειται για κατασκευαστικό χαρακτηριστικό του κονιάματος αυτού.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο ασβεστίτης, ενώ ως δευτερεύουσες ανιχνεύονται ο γύψος και ο θωμασίτης, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως μεικτό κονίαμα ασβέστη-γύψου. Στα κοκκομετρικά κλάσματα διαπιστώθηκε στα πρώτα κλάσματα εμφανίζεται αύξηση της 2^{ns} ορυκτολογικής φάσης του θωμασίτη και εντριγγίτη με μέγιστο στα 500μm και στη συνέχεια σταδιακή μείωση των ενώσεων αυτών. Ως συμπέρασμα λήφθηκε ότι, τα αδρανή με διαφορετικά χρώματα πρέπει να πρόκειται για αδρανή του εντριγγίτη και του θωμασίτη. (28)

Από τη μέθοδο της TG συνάχθηκε το συμπέρασμα ότι το δείγμα έχει ποσοστό γύψου 41,61%, ποσοστό ασβεστίτη 49,18% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι 5,01 και δεν κατατάσσεται ως υδραυλικό.

Από τη μέθοδο της TG που διεξάχθηκε στην κονία του δείγματος συνάχθηκε το συμπέρασμα ότι το δείγμα έχει ποσοστό γύψου 18,78%, ποσοστό ασβεστίτη 68,82% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι 5,00 και δεν κατατάσσεται ως υδραυλικό.

Από τη μέθοδο της απορρόφησης και εκρόφησης νερού διαπιστώθηκε ότι ο συντελεστής WAC είναι 67,45%, άρα κατατάσσεται στην υψηλότερη (1^η) ομάδα κονιαμάτων, το ποσοστό του πορώδους προσβάσιμο στο νερό είναι 57,20% η φαινόμενη πυκνότητα είναι 0,85g/mL και το ποσοστό απώλειας μάζας από την πειραματική διαδικασία είναι 10,92%, συνεπώς είναι πολύ επιδεκτικό στη φθορά από νερό.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 17,35% και περιέχει θειικά ιόντα σε χαμηλή περιεκτικότητα, χλωριόντα σε ίχνη και έχει παρουσία νιτρικών ιόντων. Επίσης, το ποσοστό του γύψου που προσεγγίστηκε από τη μέθοδο είναι 20,9%. Το ποσοστό αυτό είναι αρκετά μικρότερο από αυτό που υπολογίζεται από τη μέθοδο TG που υποδεικνύει ότι πρέπει να περιλαμβάνεται και άλλου είδους ένωση παρόμοια του γύψου μέσα στο κονίαμα. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τη μέθοδο XRD, όπου ανιχνεύονται και οι ενώσεις του εντρινγκίτη και του θωμασίτη.

Αντιστοίχως η κονία έχει ποσοστό διαλυτών 7,72% και περιέχει θειικά ιόντα σε χαμηλή περιεκτικότητα, χλωριόντα σε εμφανή μεγαλύτερη περιεκτικότητα και έχει παρουσία νιτρικών ιόντων. Επίσης, το ποσοστό του γύψου που προσεγγίστηκε από τη μέθοδο είναι 7,5%.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 6,03 του δείκτη h* 1,39.

JHS_MW_jm_85

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο δυτικό φάτνωμα του μνημείου 85cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα αρμού.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι μπεζ χρώματος κατέχει κυρίως αδρανή σε κόκκινο και μαύρο χρώμα. Το δείγμα είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο γύψος, ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο ασβεστίτης και σε ίχνη εμφανίζονται ο θωμασίτης και ο χαλαζίας, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως μεικτό κονίαμα γύψου-ασβέστη.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 43,90% και περιέχει θειικά ιόντα σε μεγάλη περιεκτικότητα. Επίσης, το ποσοστό του γύψου που προσεγγίστηκε από τη μέθοδο είναι 63,6%. Το γεγονός ότι έχει υψηλό ποσοστό γύψου δεν μπορεί να δώσει σαφή αποτελέσματα για την φθορά που έχει υποστεί το κονίαμα από διαλυτά άλατα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 10,83 και του δείκτη h* 1,24.

JHS_MW_jm_135

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο δυτικό φάτνωμα του μνημείου 135cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα αρμού.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι μπεζ χρώματος κατέχει κυρίως κεραμικά και το δείγμα παρατηρείται ότι είναι συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί και ο γύψος, ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο ασβεστίτης σε ίχνη εμφανίζεται ο ζουραβσκίτης (Jouravskite), άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως μεικτό κονίαμα γύψου-ασβέστη.

Από τη μέθοδο της TG συνάχθηκε το συμπέρασμα ότι το δείγμα έχει ποσοστό γύψου 59,77%, ποσοστό ασβεστίτη 31,23% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι 6,48 και δεν κατατάσσεται ως υδραυλικό.

Από τη μέθοδο της απορρόφησης και εκρόφησης νερού διαπιστώθηκε ότι ο συντελεστής WAC είναι 48,01%, άρα κατατάσσεται στην ενδιάμεση (2^η) ομάδα κονιαμάτων, το ποσοστό του πορώδους προσβάσιμο στο νερό είναι 53,00% η φαινόμενη πυκνότητα είναι 1,10g/mL και το ποσοστό απώλειας μάζας από την πειραματική διαδικασία είναι 10,10%, επομένως το κονίαμα είναι πολύ επιδεκτικό στην φθορά από νερό.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 34,24% και περιέχει θεικά ιόντα και ίχνη από χλωρίοντα. Επίσης, το ποσοστό του γύψου που προσεγγίστηκε από τη μέθοδο είναι 47,4%. Το ποσοστό αυτό είναι αρκετά μικρότερο από αυτό που υπολογίζεται από τη μέθοδο TG που υποδεικνύει ότι πρέπει να περιλαμβάνεται και άλλου είδους ένωση που διασπάται στο θερμοκρασιακό διάστημα που διασπάται ο γύψος μέσα στο κονίαμα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 9,34 και του δείκτη h* 1,36 .

JHS_MW_jm_200

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο δυτικό φάτνωμα του μνημείου 200cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα αρμού.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι γκρίζου χρώματος κατέχει κυρίως αδρανή που είναι κόκκινου, μαύρου, γκρίζου και μπλε χρώματος. Το δείγμα παρουσιάζει επιφάνεια με επικαθήσεις και είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση ο ασβεστίτης, ενώ ανιχνεύονται επίσης και ίχνη γύψου και χαλαζία, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως μεικτό κονίαμα ασβέστη-γύψου.

Από τη μέθοδο της TG συνάχθηκε το συμπέρασμα ότι το δείγμα έχει ποσοστό γύψου 6,12%, ποσοστό ασβεστίτη 72,82% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι 9,83 και δεν κατατάσσεται ως υδραυλικό.

Από τη μέθοδο της απορρόφησης και εκρόφησης νερού διαπιστώθηκε ότι ο συντελεστής WAC είναι 33,69%, άρα κατατάσσεται στην ενδιάμεση (2^η) ομάδα κονιαμάτων, το ποσοστό του πορώδους προσβάσιμο στο νερό είναι 38,20% η φαινόμενη πυκνότητα είναι 1,13g/mL και το ποσοστό απώλειας μάζας από την πειραματική διαδικασία είναι 2,66%, συνεπώς είναι ελαφρώς επιδεκτικό στη φθορά από νερό.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 5,48% και εμφανίζει παρουσία σε θεικά ιόντα και χλωρίοντα. Επίσης, το ποσοστό του γύψου που προσεγγίστηκε από τη μέθοδο είναι 4,6%. Η διαφορά του ποσοστού γύψου που υπολογίστηκε από αυτή τη μέθοδο και από τη μέθοδο TG δεν είναι υψηλότερη του 5% που υποδεικνύει ότι δεν υπάρχουν μεγάλα ποσοστά άλλων διαλυτών αλάτων και ότι δεν περιέχονται άλλες ενώσεις όμοιες με αυτές του γύψου στο κονίαμα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 5,60 και του δείκτη h* 1,40.

JHS_MW_m

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο δυτικό φάτνωμα του μνημείου 85cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα αποκατάστασης.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι λευκού και ερυθρού χρώματος κατέχει κυρίως μεγάλα κομμάτια κεραμικών και ότι είναι εξαιρετικά συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο ασβεστίτης ενώ ως δευτερεύουσες ανιχνεύονται ο χαλαζίας, το Calcium Silicate και ο αλβίτης, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως ασβεστοκονίαμα.

Από τη μέθοδο της TG συνάχθηκε το συμπέρασμα ότι το δείγμα έχει ποσοστό ασβεστίτη 23,39% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι 2,71 και κατατάσσεται ως υδραυλικό, που είναι λογικό λόγω των κεραμικών που διαθέτει.

Από τη μέθοδο της απορρόφησης και εκρόφησης νερού διαπιστώθηκε ότι ο συντελεστής WAC είναι 12,86%, άρα κατατάσσεται στην χαμηλότερη (3^η) ομάδα κονιαμάτων, το ποσοστό του πορώδους προσβάσιμο στο νερό είναι 27,14% η φαινόμενη πυκνότητα είναι 2,11g/mL και το ποσοστό απώλειας μάζας από την πειραματική διαδικασία είναι 0,14%, επομένως το κονίαμα είναι ελαφρώς επιδεκτικό στη φθορά από νερό.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 61,21% και περιέχει ιόντα σιδήρου σε μεγάλη ποσότητα και έχει ίχνη από θειικά ιόντα..

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 12,96 και του δείκτη h* 0,98.

5.1.2 Νοτιοανατολικό Φάτνωμα

5.1.2.1. Κονιάματα Γεμίματος

JHS_MES_fm_50

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο νοτιοανατολικό φάτνωμα του μνημείου 50cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα γεμίματος.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι μπεζ χρώματος κατέχει κυρίως κομμάτια κεραμικών και συσσωματώματα κονίας. Το δείγμα είναι πολύ εύθρυπτο συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο γύψος, ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο ασβεστίτης, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως μεικτό κονίαμα γύψου-ασβέστη.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 45,61% και περιέχει θειικά ιόντα σε μεγάλη περιεκτικότητα και έχει ίχνη

από χλωριόντα. Επίσης, το ποσοστό του γύψου που προσεγγίστηκε από τη μέθοδο είναι 66,6%. Το γεγονός ότι έχει υψηλό ποσοστό γύψου δεν μπορεί να δώσει σαφή αποτελέσματα για την φθορά που έχει υποστεί το κονίαμα από διαλυτά άλατα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 11,04 και του δείκτη h* 1,33 .

JHS_MES_fm_85

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο νοτιοανατολικό φάτνωμα του μνημείου 85cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα γεμίσματος.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι μπεζ χρώματος κατέχει κυρίως κομμάτια κεραμικών και το δείγμα παρατηρείται ότι είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο γύψος, ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο ασβεστίτης, εμφανίζονται επίσης και ίχνη χαλαζία, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως μεικτό κονίαμα γύψου-ασβέστη.

Από τη μέθοδο της TG συνάχθηκε το συμπέρασμα ότι το δείγμα έχει ποσοστό γύψου 52,75%, ποσοστό ασβεστίτη 34,75% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι 6,68 και δεν κατατάσσεται ως υδραυλικό.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 34,00% και περιέχει θεικά ιόντα σε αρκετή ποσότητα. Επίσης, το ποσοστό του γύψου που προσεγγίστηκε από τη μέθοδο είναι 46,7%. Το ποσοστό αυτό είναι λίγο μικρότερο από αυτό που υπολογίζεται από τη μέθοδο TG που υποδεικνύει ότι πρέπει να περιλαμβάνεται, έστω σε κάποια μικρή ποσότητα, και άλλου είδους ένωση μέσα στο κονίαμα., που διασπάται στο θερμοκρασιακό διάστημα που διασπάται ο γύψος.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 9,94 και του δείκτη h* 1,34.

JHS_MES_fm_135

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο νοτιοανατολικό φάτνωμα του μνημείου 135cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα γεμίσματος.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι μπεζ προς γκριζού χρώματος κατέχει κυρίως συσσωματώματα κονίας. Το δείγμα παρουσιάζει να έχει γκριζα περιοχή και είναι συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο ασβεστίτης, ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο χαλαζίας, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως ασβεστοκονίαμα.

Από τη μέθοδο της TG συνάχθηκε το συμπέρασμα ότι το δείγμα έχει ποσοστό ασβεστίτη 61,75% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι 3,27 και κατατάσσεται ως υδραυλικό.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 6,38% και περιέχει αρκετά χλωριόντα και έχει παρουσία νιτρικών ιόντων.

Τα TSS% είναι μεγαλύτερο του 3%, που σημαίνει ότι πρέπει να έχει προσβληθεί από διαλυτά άλατα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 5,76 και του δείκτη h* 1,34.

JHS_MES_fm_200

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο νοτιοανατολικό φάτνωμα του μνημείου 200cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα γεμίματος.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι λευκού χρώματος κατέχει κυρίως συσσωματώματα κονίας και αδρανή σε διάφορα χρώματα. Το δείγμα είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο ασβεστίτης, ενώ σε ίχνη ανιχνεύεται ο χαλαζίας, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως ασβεστοκονίαμα.

Από τη μέθοδο της απορρόφησης και εκρόφησης νερού διαπιστώθηκε ότι ο συντελεστής WAC είναι 39,22%, άρα κατατάσσεται στην ενδιάμεση (2^η) ομάδα κονιαμάτων, το ποσοστό του πορώδους προσβάσιμο στο νερό είναι 36,64% η φαινόμενη πυκνότητα είναι 0,93g/mL και το ποσοστό απώλειας μάζας από την πειραματική διαδικασία είναι 2,46%, επομένως το κονίαμα είναι μέτρια επιδεκτικό στη φθορά από νερό.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 5,08% και περιέχει ίχνη από θειικά ιόντα και χλωριόντα. Τα TSS% είναι μεγαλύτερο του 3%, που σημαίνει ότι πρέπει να έχει προσβληθεί από διαλυτά άλατα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 6,63 και του δείκτη h* 1,30.

5.1.2.2. Κονιάματα Αρμού

JHS_MES_jm_50

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο νοτιοανατολικό φάτνωμα του μνημείου 50cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα αρμού.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι λευκού και λίγο μπεζ χρώματος κατέχει κυρίως συσσωματώματα κονίας και , αδρανή σε διάφορα χρώματα. Το δείγμα είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο ασβεστίτης, ενώ σε ίχνη ανιχνεύεται ο χαλαζίας, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως ασβεστοκονίαμα.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 5,15% και περιέχει χλωριόντα σε μεγάλη περιεκτικότητα και εμφανίζει ίχνη θεικών. Τα TSS% είναι μεγαλύτερο του 3%, που σημαίνει ότι πρέπει να έχει προσβληθεί από διαλυτά άλατα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 5,83 και του δείκτη h* 1,33.

JHS_MES_jm_85

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο νοτιοανατολικό φάτνωμα του μνημείου 85cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα αρμού.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι λευκού προς γκρίζου χρώματος κατέχει κυρίως συσσωματώματα κονιάς και σωματίδια κάρβουνου. Το δείγμα είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο ασβεστίτης ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο χαλαζίας, εμφανίζονται επίσης και ίχνη Γελενίτη, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως ασβεστοκονίαμα.

Από τη μέθοδο της TG συνάχθηκε το συμπέρασμα ότι το δείγμα έχει ποσοστό ασβεστίτη 68,95% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι 4,13 και κατατάσσεται ως υδραυλικό.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 4,34% και περιέχει χλωριόντα σε μεγάλη περιεκτικότητα. Τα TSS% είναι ελαφρώς μεγαλύτερο του 3%, που σημαίνει ότι πρέπει να έχει προσβληθεί ελαφρώς από διαλυτά άλατα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 5,00 και του δείκτη h* 1,38.

JHS_MES_jm_135

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο νοτιοανατολικό φάτνωμα του μνημείου 135cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα αρμού.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι γκρίζου χρώματος κατέχει κυρίως συσσωματώματα κονιάς και είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο ασβεστίτης ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο χαλαζίας, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως ασβεστοκονίαμα.

Από τη μέθοδο της TG συνάχθηκε το συμπέρασμα ότι το δείγμα έχει ποσοστό ασβεστίτη 60,55% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι 2,99 και κατατάσσεται ως υδραυλικό.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 4,65% και περιέχει χλωριόντα σε μεγάλη περιεκτικότητα. Τα TSS% είναι ελαφρώς μεγαλύτερο του 3%, που σημαίνει ότι πρέπει να έχει προσβληθεί ελαφρώς από διαλυτά άλατα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 4,65 και του δείκτη h* 1,33.

JHS_MES_jm_200

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο νοτιοανατολικό φάτνωμα του μνημείου 200cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα αρμού.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι λευκού χρώματος κατέχει κυρίως συσσωματώματα κονιάς και σωματίδια κάρβουνου. Το δείγμα είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο ασβεστίτης ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο χαλαζίας, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως ασβεστοκονίαμα.

Από τη μέθοδο της TG συνάχθηκε το συμπέρασμα ότι το δείγμα έχει ποσοστό ασβεστίτη 66,89% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι 3,91 και κατατάσσεται ως υδραυλικό.

Από τη μέθοδο της απορρόφησης και εκρόφησης νερού διαπιστώθηκε ότι ο συντελεστής WAC είναι 39,30%, άρα κατατάσσεται στην ενδιάμεση (2^η) ομάδα κονιαμάτων, το ποσοστό του πορώδους προσβάσιμο στο νερό είναι 44,90% η φαινόμενη πυκνότητα είναι 1,14g/mL και το ποσοστό απώλειας μάζας από την πειραματική διαδικασία είναι 1,72%, επομένως το κονίαμα είναι μέτρια επιδεκτικό στη φθορά από νερό.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 4,65% και περιέχει χλωριόντα σε μεγάλη περιεκτικότητα. Τα TSS% είναι ελαφρώς μεγαλύτερο του 3%, που σημαίνει ότι πρέπει να έχει προσβληθεί ελαφρώς από διαλυτά άλατα..

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 5,21 και του δείκτη h* 1,38.

5.1.3. Βορειοανατολικό Φάτνωμα

5.1.3.1. Κονιάματα Γεμίματος

JHS_MEN_fm_50

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο βορειοανατολικό φάτνωμα του μνημείου 50cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα γεμίματος.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι μπεζ προς γκρίζου χρώματος κατέχει κυρίως αδρανή σε πολλά χρώματα και συσσωματώματα κονιάς. Το δείγμα παρατηρείται ότι είναι εύθρυπτο συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο ασβεστίτης, ενώ σε ίχνη ανιχνεύεται ο χαλαζίας, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως ασβεστοκονίαμα.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 5,00% και περιέχει χλωριόντα σε αρκετή ποσότητα. Τα TSS% είναι μεγαλύτερο του 3%, που σημαίνει ότι πρέπει να έχει προσβληθεί από διαλυτά άλατα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 8,64 και του δείκτη h* 1,30.

JHS_MEN_fm_85

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο βορειοανατολικό φάτνωμα του μνημείου 85cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα γεμίματος.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι λευκό προς μπλε χρώματος κατέχει κυρίως κομμάτια κεραμικών και σωματίδια κάρβουνου. Το δείγμα παρατηρείται ότι είναι εύθρυπτο συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο γύψος, ενώ ως δευτερεύουσες ανιχνεύονται ο ασβεστίτης και ο χαλαζίας, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως μεικτό κονίαμα γύψου-ασβέστη.

Από τη μέθοδο της TG συνάχθηκε το συμπέρασμα ότι το δείγμα έχει ποσοστό γύψου 35,64%, ποσοστό ασβεστίτη 39,52% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι 3,87 και δεν κατατάσσεται ως υδραυλικό.

Από τη μέθοδο της απορρόφησης και εκρόφησης νερού διαπιστώθηκε ότι ο συντελεστής WAC είναι 56,03%, άρα κατατάσσεται στην υψηλότερη (1^η) ομάδα κονιαμάτων, το ποσοστό του πορώδους προσβάσιμο στο νερό είναι 54,85% η φαινόμενη πυκνότητα είναι 0,98g/mL και το ποσοστό απώλειας μάζας από την πειραματική διαδικασία είναι 1,51%, επομένως το κονίαμα είναι μέτρια επιδεκτικό στη φθορά από νερό.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 23,84% και περιέχει θειικά ιόντα σε μεγάλη περιεκτικότητα και ίχνη από χλωριόντα. Επίσης, το ποσοστό του γύψου που προσεγγίστηκε από τη μέθοδο είναι 30,6%. Το ποσοστό αυτό είναι λίγο μικρότερο από αυτό που υπολογίζεται από τη μέθοδο TG που υποδεικνύει ότι πρέπει να περιλαμβάνεται σε μικρή ποσότητα και άλλου είδους ένωση μέσα στο κονίαμα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 11,26 και του δείκτη h* 1,24 .

JHS_MEN_fm_135

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο βορειοανατολικό φάτνωμα του μνημείου 135cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα γεμίματος.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι λευκού και λίγο γκριζού χρώματος κατέχει κυρίως συσσωματώματα κονιάς και αδρανή σε διάφορα χρώματα. Το δείγμα είναι συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο ασβεστίτης ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο χαλαζίας, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως ασβεστοκονίαμα.

Από τη μέθοδο της TG συνάχθηκε το συμπέρασμα ότι το δείγμα έχει ποσοστό ασβεστίτη 66,50% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι 4,61 και κατατάσσεται ως υδραυλικό.

Από τη μέθοδο της απορρόφησης και εκρόφησης νερού διαπιστώθηκε ότι ο συντελεστής WAC είναι 38,34%, άρα κατατάσσεται στην ενδιάμεση (2^η) ομάδα κονιαμάτων, το ποσοστό του πορώδους προσβάσιμο στο νερό είναι 44,48% η φαινόμενη πυκνότητα είναι 1,16g/mL και το ποσοστό απώλειας μάζας από την πειραματική διαδικασία είναι 1,22%, επομένως το κονίαμα είναι μέτριαεπιδεκτικό στη φθορά από νερό.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 4,95% και περιέχει χλωριόντα και ίχνη από θειικά ιόντα και υπάρχει παρουσία νιτρικών ιόντων. Τα TSS% είναι ελαφρώς μεγαλύτερο του 3%, που σημαίνει ότι πρέπει να έχει προσβληθεί ελαφρώς από διαλυτά άλατα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 7,20 και του δείκτη h* 1,30.

JHS_MEN_fm_200

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο βορειοανατολικό φάτνωμα του μνημείου 200cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα γεμίσματος.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι λευκού χρώματος κατέχει κυρίως συσσωματώματα κονιάς και αδρανή σε διάφορα χρώματα. Το δείγμα είναι εύθρυπτο συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο γύψος, ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο ασβεστίτης, εμφανίζονται επίσης και ίχνη χαλαζία και αραγονίτη, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως μεικτό κονίαμα γύψου-ασβέστη.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 30,50% και περιέχει θειικά ιόντα σε μεγάλη ποσότητα και έχει ίχνη από χλωριόντα. Επίσης, το ποσοστό του γύψου που προσεγγίστηκε από τη μέθοδο είναι 41,0%. Το γεγονός ότι έχει υψηλό ποσοστό γύψου δεν μπορεί να δώσει σαφή αποτελέσματα για την φθορά που έχει υποστεί το κονίαμα από διαλυτά άλατα, ειδικά σε αυτή την περίπτωση που ανιχνεύεται και μεγάλη ποσότητα σε χλωριόντα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 7,91 και του δείκτη h* 1,25.

5.1.3.2. Κονιάματα Αρμού

JHS_MEN_jm_50

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο βορειοανατολικό φάτνωμα του μνημείου 50cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα αρμού.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι λευκού προς γκρίζου χρώματος κατέχει κυρίως συσσωματώματα κονιάς και αδρανή σε διάφορα χρώματα. Το δείγμα είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο ασβεστίτης ενώ ως δευτερεύουσα ανιχνεύεται ο χαλαζίας, εμφανίζονται επίσης και ίχνη πορτλαντίτη και εντριγκίτη, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως ασβεστοκονίαμα.

Από τη μέθοδο της TG συνάχθηκε το συμπέρασμα ότι το δείγμα έχει ποσοστό ασβεστίτη 69,45% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι 6,87 και δεν κατατάσσεται ως υδραυλικό.

Από τη μέθοδο της απορρόφησης και εκρόφησης νερού διαπιστώθηκε ότι ο συντελεστής WAC είναι 56,11%, άρα κατατάσσεται στην υψηλότερη (1^η) ομάδα κονιαμάτων, το ποσοστό του πορώδους προσβάσιμο στο νερό είναι 52,56% η φαινόμενη πυκνότητα είναι 0,94g/mL και το ποσοστό απώλειας μάζας από την πειραματική διαδικασία είναι 2,20%, επομένως το κονίαμα είναι μέτρια επιδεκτικό στη φθορά από νερό.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 15,45% και περιέχει ιόντα σιδήρου και ίχνη από θειικά ιόντα. Τα TSS% είναι μεγαλύτερο του 3%, που σημαίνει ότι πρέπει να έχει προσβληθεί από διαλυτά άλατα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 7,72 και του δείκτη h* 1,34.

JHS_MEN_jm_85

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο βορειοανατολικό φάτνωμα του μνημείου 85cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα αρμού.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι λευκού προς μπεζ χρώματος κατέχει κυρίως κομμάτια κεραμικών και μεσαία συσσωματώματα κονιάς. Το δείγμα είναι πολύ συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί αποτελεί ο ασβεστίτης ενώ ως δευτερεύουσες ανιχνεύονται ο γύψος και ο χαλαζίας, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως μεικτό κονίαμα ασβέστη-γύψου.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 7,80% και περιέχει θειικά ιόντα σε λίγη ποσότητα. Επίσης, το ποσοστό του γύψου που προσεγγίστηκε από τη μέθοδο είναι 7,6%. Το γεγονός ότι το κονίαμα έχει ένα ποσοστό γύψου δεν μπορεί να δώσει σαφή αποτελέσματα για την φθορά που έχει υποστεί το κονίαμα από διαλυτά άλατα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 12,29 και του δείκτη h* 1,33.

JHS_MEN_jm_135

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο βορειοανατολικό φάτνωμα του μνημείου 135cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα αρμού.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι μπεζ προς ερυθρού χρώματος κατέχει κυρίως κεραμικά και είναι πολύ εύθρυπτο συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο ασβεστίτης ενώ ως δευτερεύουσες ανιχνεύονται ο γύψος και ο χαλαζίας, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως μεικτό κονίαμα ασβέστη-γύψου.

Από τη μέθοδο της TG συνάχθηκε το συμπέρασμα ότι το δείγμα έχει ποσοστό γύψου 9,27%, ποσοστό ασβεστίτη 71,18% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι 7,64 και δεν κατατάσσεται ως υδραυλικό.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 6,43% και περιέχει ίχνη από θειικά ιόντα. Επίσης, το ποσοστό του γύψου που προσεγγίστηκε από τη μέθοδο είναι 5,8%. Η διαφορά του ποσοστού γύψου που υπολογίστηκε από αυτή τη μέθοδο και από τη μέθοδο TG δεν είναι υψηλότερη του 5% που υποδεικνύει ότι δεν υπάρχουν μεγάλα ποσοστά άλλων διαλυτών αλάτων και ότι δεν περιέχονται άλλες ενώσεις όμοιες με αυτές του γύψου στο κονίαμα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 10,56 και του δείκτη h* 1,13.

JHS_MEN_jm_200

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο βορειοανατολικό φάτνωμα του μνημείου 200cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα αρμού.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι γκριζου χρώματος κατέχει κυρίως συσσωματώματα κονιάς και σωματίδια κάρβουνου. Το δείγμα είναι συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο ασβεστίτης ενώ ως δευτερεύουσες ανιχνεύονται ο γύψος, άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως μεικτό κονίαμα ασβέστη-γύψου.

Από τη μέθοδο της απορρόφησης και εκρόφησης νερού διαπιστώθηκε ότι ο συντελεστής WAC είναι 11,59%, άρα κατατάσσεται στην χαμηλότερη (3^η) ομάδα κονιαμάτων, το ποσοστό του πορώδους προσβάσιμο στο νερό είναι 16,57% η φαινόμενη πυκνότητα είναι 1,43g/mL και το ποσοστό απώλειας μάζας από την πειραματική διαδικασία είναι 1,96%, επομένως το κονίαμα είναι μέτρια επιδεκτικό στη φθορά από νερό. Το κονίαμα αυτό παρουσιάζει αρκετά όμοια υγροσκοπικά χαρακτηριστικά με τα δύο κονιάματα αποκατάστασης.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 7,79% και περιέχει ίχνη από θειικά ιόντα και έχει παρουσία χλωριόντων. Επίσης, το ποσοστό του γύψου που προσεγγίστηκε από τη μέθοδο είναι 7,6%. Το γεγονός ότι το κονίαμα έχει ένα ποσοστό γύψου δεν μπορεί να δώσει σαφή αποτελέσματα για την φθορά που έχει υποστεί το κονίαμα από διαλυτά άλατα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C* 5,75 και του δείκτη h* 1,32.

JHS_FEN_rm

Το συγκεκριμένο δείγμα βρισκόταν στο βορειοανατολικό φάτνωμα του μνημείου κοντά στα 80cm από το σημείο αναφοράς και πρόκειται για κονίαμα αποκατάστασης.

Από τις μακροσκοπικές αναλύσεις διαπιστώνεται ότι το δείγμα είναι γκριζου χρώματος κατέχει κυρίως αδρανή σε διάφορα μεγέθη. Το δείγμα είναι εξαιρετικά συνεκτικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

Από την ανάλυση με XRD διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα κύρια ορυκτολογική φάση αποτελεί ο ασβεστίτης ενώ ως δευτερεύουσες ανιχνεύονται ο χαλαζίας, το Sodium Chlorite, ο δολομίτης και το Μίκα (Lepidotite (Mica)), άρα το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως ασβεστοκονίαμα.

Από τη μέθοδο της TG συνάχθηκε το συμπέρασμα ότι το δείγμα έχει ποσοστό ασβεστίτη 84,23% και ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι 32,51 και δεν κατατάσσεται ως υδραυλικό.

Από τη μέθοδο της απορρόφησης και εκρόφησης νερού διαπιστώθηκε ότι ο συντελεστής WAC είναι 10,86%, άρα κατατάσσεται στην χαμηλότερη (3^η) ομάδα κονιαμάτων, το ποσοστό του πορώδους προσβάσιμο στο νερό είναι 22,00% η φαινόμενη πυκνότητα είναι 2,03g/mL και το ποσοστό απώλειας μάζας από την πειραματική διαδικασία είναι 0,46%, επομένως το κονίαμα είναι ελαφρώς επιδεκτικό στη φθορά από νερό.

Από τη μέθοδο της αγωγιμομετρίας και spot test διαπιστώθηκε ότι το δείγμα έχει ποσοστό διαλυτών αλάτων 5,51% και περιέχει χλωριόντα σε μεγάλη περιεκτικότητα και εμφανίζει ίχνη από θειικά ιόντα. Τα TSS% είναι μεγαλύτερο του 3%, που σημαίνει ότι πρέπει να έχει υποστεί φθορά από διαλυτά άλατα.

Από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας προέκυψε ότι το δείγμα έχει τιμή του δείκτη C*7,68 και του δείκτη h* 1,39. Αντιστοίχως η επιφάνεια με την κόκκινη επίστρωση έχει τιμή του δείκτη C*11,70 και του δείκτη h* 0,76.

5.2. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε χαρακτηρισμός δειγμάτων από κονιάματα του δυτικού, νοτιοανατολικού και βορειοανατολικού φατνώματος του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου στα Ιεροσόλυμα.

Από τη μακροσκοπική παρατήρηση τα περισσότερα κονιάματα εμφανίζουν να περιέχουν είτε κομμάτια κεραμικών, είτε συσσωματώματα κονιάς, είτε σωματίδια κάρβουνου. Από την εξέταση γίνεται αντιληπτό ότι τα περισσότερα δείγματα εμφανίζουν συσσωματώματα κονιάς (ή αδρανή γύψου) και σε όλες τις όψεις του μνημείου. Κυρίως παρατηρείται ότι τα συσσωματώματα κονιάς εμφανίζονται στα κονιάματα γεμίσματος, παρά στα κονιάματα αρμού, εκτός από δύο κονιάματα αρμού του νοτιοανατολικού φατνώματος. Συγκριτικά, θραυστά κεραμικά εμφανίζονται σε αρκετά λιγότερα δείγματα, ενώ η παρουσία τους είναι πιο συνήθης στα κονιάματα αρμού παρά στα κονιάματα γεμίσματος. Η ίδια παρατήρηση ισχύει και για την παρουσία σωματιδίων κάρβουνου.

Όσον αφορά την συνεκτικότητα των κονιαμάτων που εξετάστηκε, έγινε η παρατήρηση ότι τα μεικτά κονιάματα είναι πιο εύθρυπτα από τα καθαρά κονιάματα ασβέστη, πλην κάποιων εξαιρέσεων. Το συμπέρασμα αυτό εμφανίζεται και στον παρακάτω πίνακα.

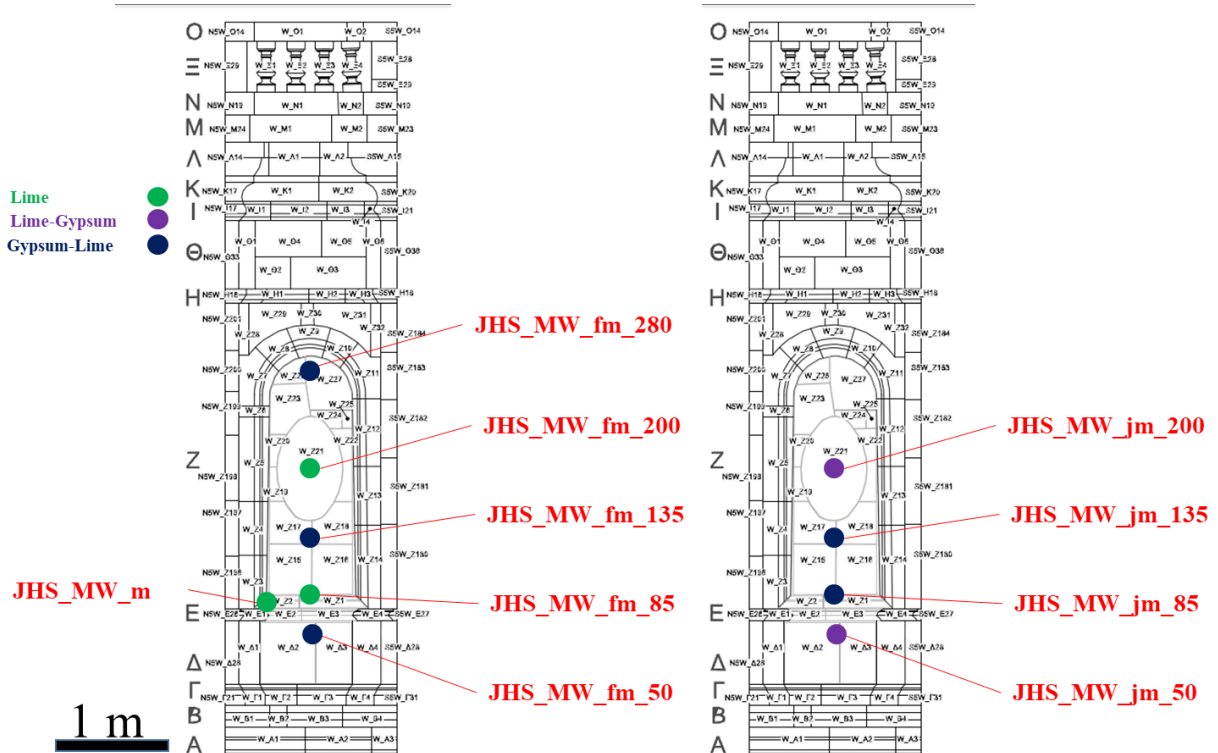
Πίνακας 22 Σύγκριση συνεκτικότητας δειγμάτων

Δείγμα	Ορυκτ. Χαρακτ.	Εξαιρετικά συνεκτικό	Πολύ συνεκτικό	Συνεκτικό	Εύθρυπτο	Πολύ εύθρυπτο
JHS_MW_fm_50	Γύψου-Ασβέστη				√	
JHS_MW_fm_85	Ασβέστη				√	
JHS_MW_fm_135	Γύψου-Ασβέστη				√	
JHS_MW_fm_200	Ασβέστη			√		
JHS_MW_fm_280	Γύψου-Ασβέστη		√			
JHS_MW_jm_50	Ασβέστη-Γύψου				√	
JHS_MW_jm_85	Γύψου-Ασβέστη		√			
JHS_MW_jm_135	Γύψου-Ασβέστη			√		
JHS_MW_jm_200	Ασβέστη-Γύψου		√			
JHS_MES_fm_50	Γύψου-Ασβέστη					√
JHS_MES_fm_85	Γύψου-Ασβέστη		√			
JHS_MES_fm_135	Ασβέστη			√		
JHS_MES_fm_200	Ασβέστη		√			
JHS_MES_jm_50	Ασβέστη		√			

JHS_MES_jm_85	Ασβέστη		✓			
JHS_MES_jm_135	Ασβέστη		✓			
JHS_MES_jm_200	Ασβέστη		✓			
JHS_MEN_fm_50	Ασβέστη				✓	
JHS_MEN_fm_85	Γύψου-Ασβέστη				✓	
JHS_MEN_fm_135	Ασβέστη			✓		
JHS_MEN_fm_200	Γύψου-Ασβέστη				✓	
JHS_MEN_jm_50	Ασβέστη		✓			
JHS_MEN_jm_85	Ασβέστη-Γύψου		✓			
JHS_MEN_jm_135	Ασβέστη-Γύψου					✓
JHS_MEN_jm_200	Ασβέστη-Γύψου			✓		
JHS_MW_m	Ασβέστη	✓				
JHS_FEN_RM	Ασβέστη	✓				

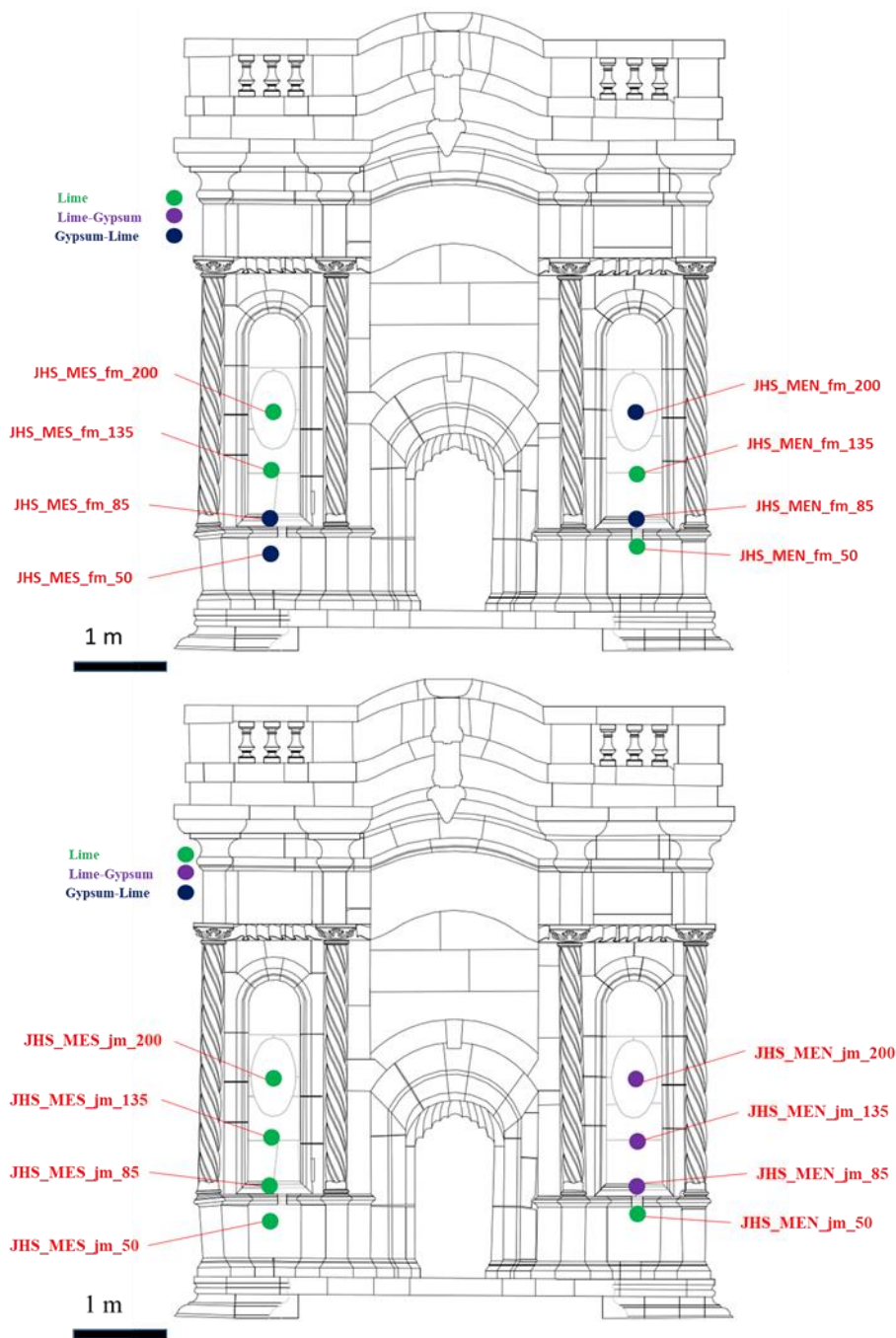
Από τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης συνάγεται το συμπέρασμα ότι και το κονίαμα γεμίματος και το κονίαμα αρμού διαθέτουν υψηλό λόγο κονιάς/αδρανών (2:1 και 3:2 αντίστοιχα, ενώ στη βιβλιογραφία σαν συνήθης τιμές κονιαμάτων εμφανίζονται λόγοι από 1:1 έως 1:4) (13) (12). Για το κονίαμα γεμίματος είναι αναμενόμενο ο λόγος αυτός να είναι υψηλός, λόγω της λειτουργίας του κονιάματος στην τοιχοποιία, όμως το γεγονός ότι μία τέτοια αναλογία εμφανίζεται και στο κονίαμα αρμού προκαλεί εντύπωση. Η αντιστροφή που παρατηρείται στον λόγο κονιάς/αδρανών πιθανότατα συνδέεται με την τεχνολογία παρασκευής του κονιάματος. Επιπρόσθετα, εμφανίζεται διαφοροποίηση του είδους των αδρανών στα δύο κονιάματα που εξετάστηκαν. Το κονίαμα γεμίματος εμφανίζει ασβεστιτικά αδρανή στα κλάσματα με μεγαλύτερη διάμετρο και μείξη ασβεστιτικών και γύψινων αδρανών στα πιο λεπτά κλάσματα. Σε αντίθεση, τα αδρανή του κονιάματος αρμού παρουσιάζονται να είναι ασβεστιτικά, εντριγκίτη και θωμασίτη, τα οποία αποτελούν ορυκτά κλίνκερ που εμφανίζονται στη λεκάνη του Ισραήλ, από τον σχηματισμό Hatgurim. (28). Αυτό αποτελεί ενδιαφέρον για τη διερεύνηση του λατομείου προέλευσης των αδρανών του κονιάματος.

Από την ορυκτολογική ανάλυση μέσω XRD και τον χαρακτηρισμό μέσω της θερμικής ανάλυσης (DTA-TG) βρέθηκε ότι τα κονιάματα είναι ασβεστιτικά και μεικτού τύπου ασβέστη-γύψου ή γύψου ασβέστη, ανάλογα του ποιας φάσης υπερισχύει στο κονίαμα. Παρακάτω εμφανίζεται σε αρχιτεκτονικά σχέδια τα είδη των κονιαμάτων που υπάρχουν στα φατνώματα, ανά ύψος και είδος κονιάματος (γεμίματος και αρμολόγησης)



Εικόνα 51 Χαρακτηρισμός κονιαμάτων στο δυτικό φάτνωμα

Από την παραπάνω εικόνα είναι εμφανές ότι στα κονιάματα γεμίματος υπάρχει εναλλαγή ζωνών από κονιάματα γύψου-ασβέστη και ασβέστη. Και σε αντίθεση με τα κονιάματα αρμού, τα οποία είναι όλα μεικτά κονιάματα, εμφανίζεται μεσαία ζώνη με κονιάματα γύψου-ασβέστη, ενώ οι άνω και κάτω ζώνες αποτελούνται από κονιάματα ασβέστη-γύψου.



Εικόνα 52 Χαρακτηρισμός κονιαμάτων στο ανατολικό φάτνωμα

Στα κονιάματα γεμίματος του νοτιοανατολικού φανώματος εμφανίζονται δύο ζώνες, με την κάτω να αποτελείται από κονιάματα γύψου-ασβέστη και την άνω να αποτελείται από κονιάματα ασβέστη. Αντιθέτως, τα κονιάματα αρμού αυτού του φανώματος είναι όλα ασβέστη.

Στα κονιάματα γεμίματος του βορειοανατολικού φανώματος εμφανίζεται εναλλαγή ζωνών, όπως και στο δυτικό φάτνωμα στρωμάτων από κονιάματα γύψου-ασβέστη και ασβέστη. Αντιθέτως, στα κονιάματα αρμού παρατηρούνται δύο ζώνες με την κάτω να αποτελείται από κονιάματα ασβέστη και την άνω από κονιάματα ασβέστη-γύψου.

Αξίζει εδώ να γίνει η παρατήρηση ότι σε όλα τα κονιάματα αρμού του ανατολικού φατνώματος, σαν πρώτη ορυκτολογική φάση εμφανίζεται ο ασβεστίτης (κονιάματα κυρίως ασβέστη).

Ακόμη, η μελέτη των υγροσκοπικών χαρακτηριστικών, πέρα από φυσικές ιδιότητες των κονιαμάτων που μελετήθηκαν, έδωσε αποτελέσματα για την επιδεκτικότητά τους στο νερό. Από τη μέθοδο αυτή τα κονιάματα κατηγοριοποιήθηκαν σε κατηγορίες ως προς το ποσοστό νερού που μπορούν να απορροφήσουν και να εκροφήσουν. Τα κονιάματα κατηγοριοποιήθηκαν σε τρεις ομάδες σύμφωνα με τον συντελεστή WAC τους και σε τέσσερις κατηγορίες ως προς την επιδεκτικότητά τους στη φθορά από το νερό. Όσον αφορά την κατηγοριοποίηση με τον δείκτη WAC, η 1^η ομάδα με τα μεγαλύτερα ποσοστά WAC κυμαίνεται από το 50% μέχρι και πάνω από 70%. Η 2^η ομάδα με ενδιάμεσα ποσοστά WAC κυμαίνεται ανάμεσα στις τιμές 30% και 45%. Τέλος, η 3^η ομάδα με τα χαμηλότερα ποσοστά WAC κυμαίνεται στις τιμές 10% έως 15%. Με παρόμοιο τρόπο μπορεί να γίνει και διαχωρισμός των κονιαμάτων με το ολικό ανοιχτό πορώδες προσβάσιμο στο νερό. Οι ομάδες που διακρίθηκαν είναι 1^η τα κονιάματα με πορώδες άνω του 50%, η 2^η με πορώδες ανάμεσα στις τιμές 30% και 50% και τέλος η 3^η με πορώδες από 10% με 30%. Να σημειωθεί ότι υπάρχει αντιστοιχία των δειγμάτων στις ομάδες των WAC και πορώδους, δηλαδή τα δείγματα που ανήκουν στην 1^η, 2^η και 3^η ομάδα των WAC είναι τα ίδια (αλλά με διαφορετική σειρά) που ανήκουν στις ίδιες ομάδες του ανοιχτού πορώδους. Στη συνέχεια ήταν δυνατή η εξέταση των κονιαμάτων ως προς την επιδεκτικότητά τους στο νερό. Έτσι έγινε κατηγοριοποίηση σύμφωνα με την απώλεια μάζας τα κονιάματα χαρακτηρίζονται ως πολύ (ή με μεγάλη) (>7%), αρκετά (4%-7%), μέτρια (1%-4%) και ελαφρώς (<1%) επιδεκτικά στη φθορά από νερό. Κάποια δείγματα, η πλειονότητα των οποίων ήταν μεικτού τύπου γύψου-ασβέστη, με μεγαλύτερο το ποσοστό του γύψου, παρουσίαζαν υπερβολικά μικρή συνοχή και για το λόγο αυτό δεν μπορούσε να πραγματοποιηθεί η δοκιμή εμβάπτισης. Όλα τα κονιάματα παρουσίασαν απώλεια μάζας κατά τη δοκιμή εμβάπτισης σε απιονισμένο νερό, επομένως χαρακτηρίζονται ως επιδεκτικά στη φθορά από την επίδραση της υγρασίας.

Στους παρακάτω πίνακες εμφανίζονται οι ομαδοποιήσεις των δειγμάτων μαζί με των ορυκτολογικό χαρακτηρισμό τους και την συνεκτικότητά τους.

Πίνακας 23 Ομαδοποίηση με τον δείκτη WAC%

Κατηγοριοποίηση WAC%				
	Δείγματα	Συνεκτικότητα	Ορυκτ. Χαρακτηρ.	WAC(%)
1η ομάδα (>50%)	JHS_MW_jm_50	Εύθρυπτο	Ασβέστη-Γύψου	67,45
	JHS_MEN_jm_50	Πολύ συνεκτικό	Ασβέστη	56,11
	JHS_MEN_fm_85	Εύθρυπτο	Γύψου-Ασβέστη	56,03
	JHS_MW_fm_85	Εύθρυπτο	Ασβέστη	55,25
	JHS_MW_jm_135	Συνεκτικό	Γύψου-Ασβέστη	48,01
2η ομάδα (30%-50%)	JHS_MW_fm_200	Συνεκτικό	Ασβέστη	44,54
	JHS_MES_jm_200	Πολύ συνεκτικό	Ασβέστη	39,30
	JHS_MES_fm_200	Πολύ συνεκτικό	Ασβέστη	39,22
	JHS_MW_fm_50	Εύθρυπτο	Γύψου-Ασβέστη	38,48
	JHS_MEN_fm_135	Συνεκτικό	Ασβέστη	38,34
	JHS_MW_jm_200	Πολύ συνεκτικό	Ασβέστη-Γύψου	33,69
3η ομάδα (10%-15%)	JHS_MW_m	Εξαιρετικά συνεκτικό	Ασβέστη	12,86
	JHS_MEN_jm_200	Συνεκτικό	Ασβέστη-Γύψου	11,59
	JHS_FEN_rm	Εξαιρετικά συνεκτικό	Ασβέστη	10,86

Πίνακας 24 Ομαδοποίηση με το ανοιχτό πορώδες προσβάσιμο στο νερό

Κατηγοριοποίηση Open Porosity%				
	Δείγματα	Συνεκτικότητα	Ορυκτ. Χαρακτηρ.	Open Porosity(%)
1η ομάδα (>50%)	JHS_MW_fm_85	Εύθρυπτο	Ασβέστη	61,27
	JHS_MW_jm_50	Εύθρυπτο	Ασβέστη-Γύψου	57,20
	JHS_MEN_fm_85	Εύθρυπτο	Γύψου-Ασβέστη	54,85
	JHS_MW_jm_135	Συνεκτικό	Γύψου-Ασβέστη	53,00
	JHS_MEN_jm_50	Πολύ συνεκτικό	Ασβέστη	52,56
2η ομάδα (30%-50%)	JHS_MW_fm_200	Συνεκτικό	Ασβέστη	45,30
	JHS_MES_jm_200	Πολύ συνεκτικό	Ασβέστη	44,90
	JHS_MEN_fm_135	Συνεκτικό	Ασβέστη	44,48
	JHS_MW_fm_50	Εύθρυπτο	Γύψου-Ασβέστη	41,77

	JHS_MW_jm_200	Πολύ συνεκτικό	Ασβέστη- Γύψου	38,20
	JHS_MES_fm_200	Πολύ συνεκτικό	Ασβέστη	36,64
3η ομάδα (10%-30%)	JHS_MW_m	Εξαιρετικά συνεκτικό	Ασβέστη	27,14
	JHS_FEN_rm	Εξαιρετικά συνεκτικό	Ασβέστη	22,00
	JHS_MEN_jm_200	Συνεκτικό	Ασβέστη- Γύψου	16,57

Πίνακας 25 Ομαδοποίηση σύμφωνα με την επιδεκτικότητα στη φθορά από το νερό

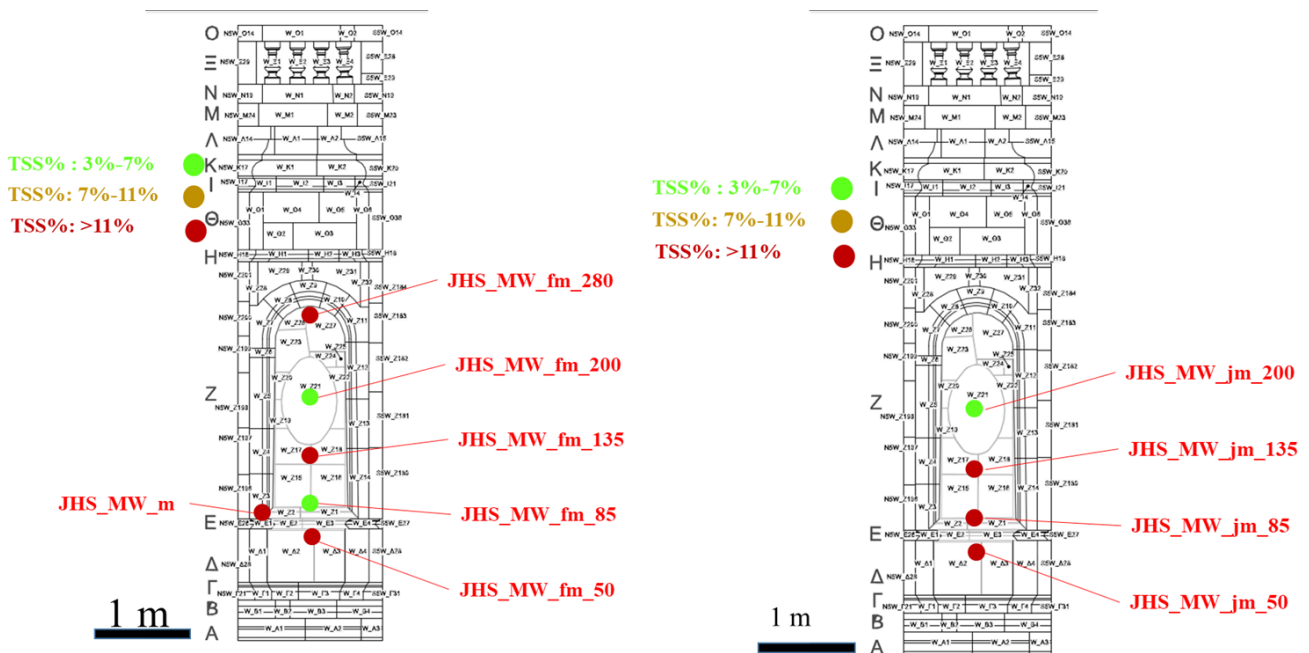
		Κατηγοριοποίηση Mass loss%		
Επιδεκτικότητα	Δείγματα	Συνεκτικότητα	Ορυκτ. Χαρακτηρ.	mass loss (%)
Μεγάλη	JHS_MW_jm_50	Εύθρυπτο	Ασβέστη-Γύψου	10,92
	JHS_MW_jm_135	Συνεκτικό	Γύψου-Ασβέστη	10,10
Αρκετή	JHS_MW_fm_85	Εύθρυπτο	Ασβέστη	6,73
	JHS_MW_fm_50	Εύθρυπτο	Γύψου-Ασβέστη	5,68
Μέτρια	JHS_MW_fm_200	Συνεκτικό	Ασβέστη	3,33
	JHS_MW_jm_200	Πολύ συνεκτικό	Ασβέστη-Γύψου	2,66
	JHS_MES_fm_200	Πολύ συνεκτικό	Ασβέστη	2,46
	JHS_MEN_jm_50	Πολύ συνεκτικό	Ασβέστη	2,20
	JHS_MEN_jm_200	Συνεκτικό	Ασβέστη-Γύψου	1,96
	JHS_MES_jm_200	Πολύ συνεκτικό	Ασβέστη	1,72
	JHS_MEN_fm_85	Εύθρυπτο	Γύψου-Ασβέστη	1,51
	JHS_MEN_fm_135	Συνεκτικό	Ασβέστη	1,22
Χαμηλή	JHS_FEN_rm	Εξαιρετικά συνεκτικό	Ασβέστη	0,46
	JHS_MW_m	Εξαιρετικά συνεκτικό	Ασβέστη	0,14

Από τους δύο πρώτους πίνακες (23 και 24) γίνεται αντιληπτό ότι στην 1^η ομάδα υπάρχουν κυρίως εύθρυπτα κονιάματα, πλην μίας εξαίρεση, και περνώντας προς την 3^η ομάδα εμφανίζονται πιο συνεκτικά κονιάματα. Το ίδιο ισχύει και για την ορυκτολογική φάση των κονιαμάτων προς την 1^η ομάδα εμφανίζονται μεικτά κονιάματα (γύψου-ασβέστη κυρίως, αλλά και ασβέστη-γύψου) και προς την 3^η ομάδα εμφανίζονται κονιάματα ασβέστη, πλην του κονιαμάτος JHS_MW_fm_50.

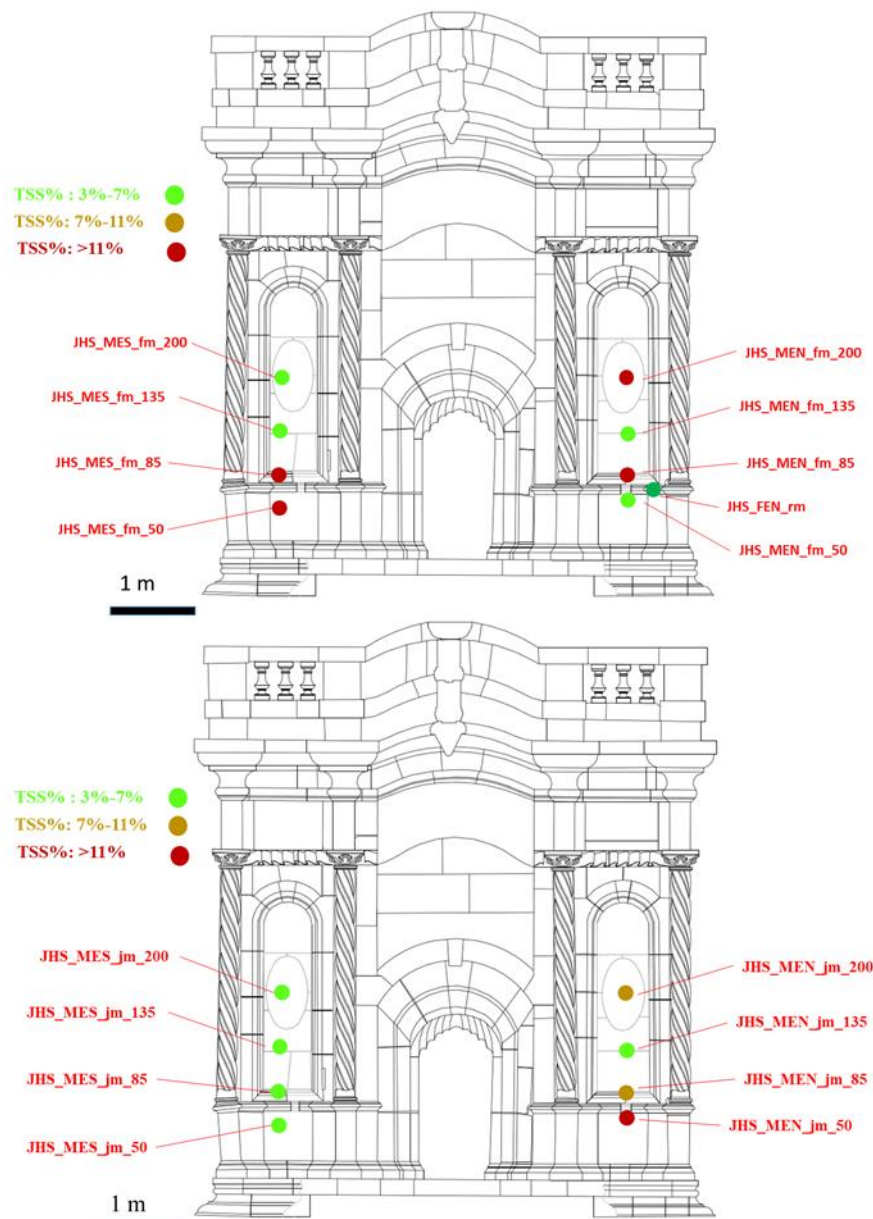
Από τον 3^ο πίνακα (25) στις 2 πρώτες ομάδες (Μεγάλη και Αρκετή Επιδεκτικότητα) εμφανίζονται κυρίως εύθρυπτα κονιάματα, πλην του JHS_MW_jm_135, και περνώντας προς τη μέτρια και χαμηλή επιδεκτικότητα περνάμε σε συνεκτικά και εξαιρετικά συνεκτικά κονιάματα. Το ίδιο ισχύει και για τα ορυκτολογικά χαρακτηριστικά τους, δηλαδή στις πρώτες ομάδες υπάρχουν κυρίως μεικτά κονιάματα (γύψου-ασβέστη κυρίως, αλλά και ασβέστη-γύψου) και μετά εμφανίζονται κονιάματα ασβέστη, πλην του JHS_MEN_fm_85.

Μεγάλο ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζουν και τα αποτελέσματα του προσδιορισμού των διαλυτών αλάτων. Πιο αναλυτικά, όλα περισσότερα τα κονιάματα εμφανίζουν περιεκτικότητα πάνω από 3% σε διαλυτά άλατα, κάτι το οποίο σημαίνει ότι η κατασκευή έχει υποστεί σημαντική φθορά λόγω των αλάτων. Δύο κονιάματα αποτελούν εξαίρεση τα JHS_MW_fm_85 και JHS_MW_fm_200 που εμφανίζουν τις πιο χαμηλές ωστόσο γύρω στο 3%. Αυτό δείχνει ότι τα κονιάματα γεμίματος του δυτικού φατνώματος δεν έχουν προσβληθεί σε μεγάλο βαθμό από διαλύματα διαλυτών αλάτων από το περιβάλλον. Το είδος των ιόντων από τα spot test ποικίλει σε θειικά, νιτρικά ιόντα και χλωριόντα. Σε πολλές περιπτώσεις το ποσοστό των διαλυτών αλάτων είναι σημαντικά αυξημένο, το οποίο, όπως εξετάστηκε παραπάνω, οφείλεται στην περιεκτικότητα του γύψου που εμφανίζεται σε πολλά δείγματα.

Στις παρακάτω εικόνες εμφανίζονται τα εύρη τιμών των διαλυτών αλάτων στα αρχιτεκτονικά σχέδια.



Εικόνα 53 Διαλυτά άλατα κονιαμάτων στο δυτικό φατνώμα



Εικόνα 54 Διαλυτά άλατα κονιαμάτων στο ανατολικό φάτνωμα

Σε σύγκριση με τον ορυκτολογικό χαρακτηρισμό, γίνεται αντιληπτό ότι η φθορά έχει σχέση κυρίως με τη σύσταση των κονιαμάτων παρά με τη θέση τους. Πιο συγκεκριμένα, τα μεικτά κονιάματα είναι αυτά που εμφανίζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά TSS%, ειδικά αυτά του γύψου-ασβέστη, όπως διαπιστώθηκε και πιο πάνω σε αυτή την εργασία.

Τέλος, από τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας συνάγεται το συμπέρασμα ότι τα περισσότερα δείγματα είναι ομοιόμορφα μεταξύ τους όσον αφορά στο χρώμα. Το χρώμα τους κυμαίνεται από μπεζ μέχρι ανοιχτό ερυθρό και γκριζο με μικρές διαφοροποιήσεις στον κορεσμό και στην χροιά τους. Τη μεγαλύτερη διαφοροποίηση εμφανίζουν τα κονιάματα αποκατάστασης, πιο αναλυτικά αυτό στο δυτικό φάτνωμα είναι αρκετά ερυθρό λόγω των κεραμικών που περιέχει και αυτό στο βορειοανατολικό φάτνωμα είναι αρκετά γκριζο λόγω της μεγάλης ποσότητας ασβεστίτη που περιέχει και το είδος των αδρανών του.

Στους παρακάτω πίνακες εμφανίζονται με φθίνουσα σειρά ο κορεσμός και οι χροιά των δειγμάτων, μαζί με τον ορυκτολογικό χαρακτηρισμό τους.

Πίνακας 26 Σύγκριση κορεσμού και χροιάς με ορυκτολογική φάση κονιαμάτων

Δείγμα	Ορυκτ. Χαρακτ.	C*	Δείγμα	Ορυκτ. Χαρακτ.	h*
JHS_MW_m	Ασβέστη	12,96	JHS_MW_fm_200	Ασβέστη	1,47
JHS_MEN_jm_85	Ασβέστη- Γύψου	12,29	JHS_MW_jm_200	Ασβέστη- Γύψου	1,40
JHS_MEN_fm_85	Γύψου- Ασβέστη	11,26	JHS_MW_fm_280	Γύψου- Ασβέστη	1,39
JHS_MES_fm_50	Ασβέστη	11,04	JHS_MW_jm_50	Ασβέστη- Γύψου	1,39
JHS_MW_jm_85	Γύψου- Ασβέστη	10,83	JHS_FEN_rm_grey	Ασβέστη	1,39
JHS_MEN_jm_135	Ασβέστη- Γύψου	10,56	JHS_MES_jm_200	Ασβέστη	1,38
JHS_MW_fm_85	Ασβέστη	10,54	JHS_MES_jm_85	Ασβέστη	1,38
JHS_MW_fm_135	Γύψου- Ασβέστη	10,48	JHS_MW_fm_135	Γύψου- Ασβέστη	1,37
JHS_MW_fm_50	Γύψου- Ασβέστη	10,43	JHS_MW_jm_135	Ασβέστη	1,36
JHS_MES_fm_85	Ασβέστη	9,94	JHS_MES_fm_135	Ασβέστη	1,34
JHS_MW_jm_135	Γύψου- Ασβέστη	9,34	JHS_MEN_jm_50	Ασβέστη	1,34
JHS_MEN_fm_50	Ασβέστη	8,64	JHS_MES_fm_85	Γύψου- Ασβέστη	1,34
JHS_MEN_fm_200	Γύψου- Ασβέστη	7,91	JHS_MES_jm_135	Ασβέστη	1,33
JHS_MEN_jm_50	Ασβέστη	7,72	JHS_MEN_jm_85	Ασβέστη- Γύψου	1,33
JHS_FEN_rm_grey	Ασβέστη	7,68	JHS_MW_fm_50	Γύψου- Ασβέστη	1,33
JHS_MW_fm_280	Γύψου- Ασβέστη	7,31	JHS_MES_fm_50	Ασβέστη	1,33
JHS_MEN_fm_135	Ασβέστη	7,20	JHS_MES_jm_50	Ασβέστη	1,33
JHS_MES_fm_200	Ασβέστη	6,63	JHS_MEN_jm_200	Ασβέστη- Γύψου	1,32
JHS_MW_jm_50	Ασβέστη- Γύψου	6,03	JHS_MES_fm_200	Ασβέστη	1,30
JHS_MES_jm_50	Ασβέστη	5,83	JHS_MEN_fm_50	Ασβέστη	1,30
JHS_MES_fm_135	Ασβέστη	5,76	JHS_MEN_fm_13	Ασβέστη	1,30
JHS_MEN_jm_200	Ασβέστη- Γύψου	5,75	JHS_MW_fm_85	Ασβέστη	1,28
JHS_MW_jm_200	Ασβέστη- Γύψου	5,60	JHS_MEN_fm_20	Ασβέστη	1,25
			0		

JHS_MW_fm_200	Ασβέστη	5,60	JHS_MW_jm_85	Γύψου- Ασβέστη	1,24
JHS_MES_jm_200	Ασβέστη	5,21	JHS_MEN_fm_85	Γύψου- Ασβέστη	1,24
JHS_MES_jm_85	Ασβέστη	5,00	JHS_MEN_jm_135	Ασβέστη- Γύψου	1,13
JHS_MES_jm_135	Ασβέστη	4,65	JHS_MW_m	Ασβέστη	0,98

Από τους παραπάνω πίνακες λαμβάνεται το συμπέρασμα ότι τα μεικτά κονιάματα έχουν μία τάση να εμφανίζουν μεγαλύτερο κορεσμό από τα κονιάματα ασβέστη, ενώ δεν εμφανίζεται τέτοια συσχέτιση με τις τιμές της χροιάς.

Από όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω σαν τελικό συμπέρασμα μπορεί να συναχθεί ότι το μνημείο πριν τις τελικές επεμβάσεις βρισκόταν σε κρίσιμη κατάσταση, κάτι που επηρέαζε τόσο την ασφάλεια των επισκεπτών όσο και τις αξίες που φέρει το μνημείο. Επομένως, οι επεμβάσεις που έγιναν από την διεπιστημονική ομάδα του ΕΜΠ ήταν απαραίτητες. Οι επεμβάσεις αυτές έδωσαν νέο κύρος στο μνημείο και επιτρέπει πλέον στους πιστούς και στους επισκέπτες να θαυμάσουν και να αξιοποιήσουν το μνημείο στο πέρασμα των ετών.

5.3. Προοπτικές

Από την επεξεργασία των δειγμάτων του μνημείου και τα συμπεράσματα που λήφθηκαν από τα αποτελέσματα των μεθόδων μπορούν να γίνουν προτάσεις για περαιτέρω επεξεργασία στο μέλλον.

- Αρχικά θα ήταν χρήσιμο να ακολουθηθούν οι ίδιες μέθοδοι και στα υπόλοιπα φαντώματα του μνημείου έτσι ώστε να υπάρξει μία ολοκληρωμένη εικόνα για όλη την κατασκευή.
 - Μία συγκριτική μελέτη όλων των φαντωμάτων μπορεί να δώσει πληροφορίες για τις κατασκευαστικές φάσεις του μνημείου.
 - Μετά τη μελέτη αυτή μπορούν να επιλεχθούν δείγματα που παρουσιάζουν έντονες διαφοροποιήσεις, ώστε να γίνει αρχαιομετρικός προσδιορισμός για τη σύνδεση μεταξύ των κονιαμάτων και της οικοδομικής φάσης από την οποία προέρχονται.
 - Θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μελέτη των χαρακτηριστικών της μικροδομής με Ποροσιμετρία Υδραργύρου ώστε να γίνει συσχέτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων από την εμφάνιση σε νερό και των εν λόγω χαρακτηριστικών.
 - Καθώς η κοκκομετρική ανάλυση έδωσε ενδιαφέροντα αποτελέσματα και υπέδειξε διαφοροποιήσεις προτείνεται να πραγματοποιηθεί κοκκομετρική ανάλυση και σε περαιτέρω επιλεγμένα δείγματα.
- ❖ Η εργασία αυτή δείχνει ότι το πρότυπο με το οποίο γίνεται ο υπολογισμός των διαλυτών αλάτων παρουσιάζει δυσκολίες όταν εφαρμόζεται στα μεικτά κονιάματα ασβέστη-γύψου και γύψου-ασβέστη, λόγω της υψηλής ειδικής αγωγιμότητας του γύψου. Επομένως, στη μέθοδο των διαλυτών αλάτων πρέπει να δημιουργηθεί μία διαδικασία κανονικοποίησης των δειγμάτων, σύμφωνα με την οποία δε θα λαμβάνεται υπόψη το ποσοστό γύψου που εμφανίζεται στο ποσοστό των διαλυτών αλάτων, έτσι ώστε να υπάρχει μια πιο αντικειμενική εικόνα όσον αφορά τη φθορά που έχουν υποστεί τα δείγματα από αναρριχόμενη υγρασία. Αυτό μπορεί στο μέλλον να γίνει με τη βοήθεια του ποσοστού του γύψου που υπολογίζεται και από τις θερμικές μεθόδους. Πιο συγκεκριμένα, θα μπορούσε από το ποσοστό του γύψου που υπολογίζεται από την DTA-TG και την καμπύλη αναφοράς που προκύπτει από τα δείγματα αναφοράς (Διάγραμμα 75), να υπολογίζεται το ποσοστό των TSS% που οφείλεται στην περιεκτικότητα σε γύψο και αυτό στη συνέχεια να αφαιρείται από το ποσοστό που υπολογίζεται από την αγωγιμομετρία.
- ❖ Επιβεβαιώνεται από αυτή την εργασία ότι η υγρασία (αναρριχόμενη ή μη) είναι σημαντικός παράγοντας φθοράς του μνημείου, συνεπώς πρέπει στο μέλλον να παρθούν κατάλληλες ενέργειες για την προστασία του από αυτή.

6 Βιβλιογραφία

1. Α. Μοροπούλου, Γ. Μπατής. *Δομικά Υλικά*. Αθήνα : 9ο Εξάμηνο Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., 2012.
2. Μπακόλας-Καραγιάννης, Α. *Κριτήρια και Μέθοδοι Χαρακτηρισμού Ιστορικών Κονιαμάτων*. Αθήνα : Διδακτορική Διατριβή, 2002.
3. http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_KONIAMATA/ko1.htm. [Ηλεκτρονικό]
4. Τριανταφύλλου, Αθανάσιος Χ. *Δομικά υλικά*, 10η έκδοση. Πάτρα : s.n., 2013.
5. Τζιότζιου, Μαρία. *Μελέτη του Μηχανισμού Πήξης Κονιαμάτων Τύπου Ασβέστη- Φυσικής Ποζολάνης*. Πολυτεχνείο Κρήτης : Διδακτορική Διατριβή, 2013.
6. Σ. Τσίμας, Σ. Τσιβιλής. *Επιστήμη και Τεχνολογία Τσιμέντου*. Αθήνα : Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π, 2010.
7. Αναγνωστοπούλου, Σοφία Ηλ. *Μεθοδολογία Αποτίμησης του Ρόλου των Αδρανών για τον Επιτελεστικό Σχεδιασμό Κονιαμάτων Αποκατάστασης*. Αθήνα : Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π, 2012.
8. Shi Qiang Fanga, Hui Zhang, Bing Jian Zhanga, Ye Zhenga. The identification of organic additives in traditional lime mortar.
9. Moropoulou, A. Reverse engineering to discover traditional TECHNOLOGIES: A proper approach for compatible restoration mortars.
10. A. Moropoulou, A. Bakolas, P. Moundoulas, E. Aggelakopoulou. Reverse engineering: A proper METHODOLOGY for compatible restoration mortars mortars.
11. Moropoulou, A. Bakolas, S. Anagnostopoulou. 'Composite Materials in Ancient Structures', Cement and Concrete Composites. 2005.
12. Ioanna Papayianni, Vasiliki Pachta, Maria Stefanidou. Analysis of ancient mortars and design of compatible repair mortars: The case study of Odeion of the archaeological site of Dion. 2013.
13. A. Moropoulou, A. Bakolas, P. Moundoulas, A.S.Cakmak. COMPATIBLE RESTORATION MORTARS, PREPARATION, AND EVALUATION FOR HAGIA SOPHIA EARTHQUAKE PROTECTION.
14. Ngoma, Athuman M. K. *Characterisation and Consolidation of Historical Lime Mortars in Cultural Heritage Buildings*, Διδακτορική Διατριβή. 2009.
15. —. *Characterisation and Consolidation of Historical Lime Mortars in Cultural Heritage Buildings and Associated Structures in East Africa*. Stockholm : Doctoral Thesis, 2009.
16. A. Moropoulou, A. Bakolas , K. Bisbikou. Characterization of ancient, byzantine and later historic mortars by thermal and X-ray diffraction techniques.
17. B. Middendorf, J. J. Hughes , K. Callebaut , G. Baronio and I. Papayianni. Investigative methods for the characterisation of historic mortars – Part 1: Mineralogical characterisation.
18. —. Investigative methods for the characterisation of historic mortars – Part 2: Chemical characterisation.
19. Biddle, Martin. *The Tomb of Christ*. s.l. : SUTTON PUBLISHING , 1999.

20. Μητρόπουλος, Θεοδόσιος Γ. *Ο Πανίερος Ναός της Αναστάσεως Ιεροσολύμων Το έργο του Κάλφα Κομνηνού 1808-1810*. Θεσσαλονίκη : Ευρωπαϊκό Κέντρο Βυζαντινών και Μεταβυζαντινών Μνημείων, 2009.
21. Οξένκιουν-Πετροπούλου, Μ. *Φασματομετρικές μέθοδοι*. Αθήνα : Εκδόσεις Συμμετρία, 2008.
22. *Normal 34/91: Analysis of Clay Materials by XRD Rome 1991*.
23. Editors: Christopher McDowall, Cynthia Rockwell. *Concervation of architectural heritage, Historic structures and materials*. s.l. : ICCROM , ARC Laboratory Handbook Vol. 1/99, 1999.
24. *Normal 13/83, Dosaggio dei Sali Solubili, CNR-ICR*.
25. Anonymous. *CIE L* a * b* Color Scale, HunterLab, Applications Note, Vol. 8, No. 7*. 1996.
26. —. *What is color and How is Measured?, HunterLab The Color Management Company, Applications Note, Vol. 12, No. 5*. 2000.
27. —. *The Basics Of Color Perception and Measurements, HunterLab Presents, Version 1.4, www.hunterLab.com*. 2001.
28. Gross, Shulamit. *Petrographic atlas of the Hatrurim Formation*. Israel : Geological Survey of Israel, Ministry of National infrastructures, Energy and Water Resources, 2016.
29. Da Silveira, P. M., do Rosário Veiga, M., & de Brito, J. . Gypsum coatings in ancient buildings. *Construction and Building Materials*. 2007.
30. Genestar, C., & Pons, C. Ancient covering plaster mortars from several convents and Islamic and Gothic palaces in Palma de Mallorca (Spain). Analytical characterisation. *Journal of Cultural Heritage*,. 2003.