



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΕ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΞΟΧΙΚΗ ΝΕΟΚΛΑΣΙΚΗ  
ΟΙΚΙΑ “ΚΟΛΥΜΒΟΣ” ΣΤΗΝ ΚΗΦΙΣΙΑ ΤΟΥ ΣΤΕΦΑΝΟΥ ΔΡΑΓΟΥΜΗ**

**ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ: ΚΟΝΤΟΓΙΑΝΝΗ ΒΑΡΒΑΡΑ**

**ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΦΑΚΟΡΕΛΛΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2024**

## Πτυχιακή Εργασία

Τίτλος εργασίας: Διερεύνηση με φυσικοχημικές μεθόδους της τεχνολογίας κατασκευής επιχρισμάτων τσιμέντου από την εξοχική νεοκλασική οικία “Κόλυμβος” στην Κηφισιά.

Συγγραφέας: Κοντογιάννη Βαρβάρα

ΑΜ: 52014029

Επιβλέπων: Γεώργιος Φακορέλλης

## Diploma Thesis

Investigation with physicomaterial methods of cement mortars from the neoclassical country house “Kolymvos” of Stefanos Dragoumis in Kifissia.

Student: Kontogianni Varvara

Registration Number: 52014029

Supervisor: Yorgos Facorellis

Τίτλος εργασίας: Διερεύνηση με φυσικοχημικές μεθόδους της τεχνολογίας κατασκευής επιχρισμάτων τσιμέντου από την εξοχική νεοκλασική οικία "Κόλυμβος" στην Κηφισιά.

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

<b>A/α</b>	<b>ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
1	ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΦΑΚΟΡΕΛΛΗΣ	
2	ΣΤΑΜΑΤΙΟΣ ΜΠΟΓΙΑΤΖΗΣ	
3	ΑΛΕΞΙΟΣ ΣΤΕΦΑΝΗΣ	

### ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Κοντογιάννη Βαρβάρα του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 14029 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως σκοπό τη μελέτη και την τεχνολογία κατασκευής των κονιαμάτων. Συγκεκριμένα το δείγμα προέρχεται από την τοιχοποιία του νεοκλασικού κτιρίου της οικίας Δραγούμη "Κόλυμβος" στην Κηφισιά. Ουσιαστικά το δείγμα αναλύθηκε με φυσικοχημικές μεθόδους έτσι ώστε να παρατηρηθεί, να μελετηθεί και να προσδιοριστεί η χημική σύσταση και η τεχνολογία κατασκευής του. Οι φυσικοχημικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι: Οπτικό μικροσκόπιο, ηλεκτρονική μικροσκοπία (SEM/EDS), περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD), ποροσιμετρία διείσδυσης υδραργύρου (MIP), φασματοσκοπία υπερύθρου με μετασχηματισμό Fourier (FTIR) και κοκκομετρική ανάλυση.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το κονίαμα αποτελείται από τσιμέντο. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα κονίαμα όπου λόγω της χρονολογίας κατασκευής του (1908) αποτελεί μια από τις πρώτες περιπτώσεις χρήσης τσιμέντου στην Ελλάδα ως συνδετικό υλικό της τοιχοποιίας.

## ABSTRACT

The aim of this thesis is the study and technology of mortar manufacturing. In particular, the sample comes from the masonry of the neoclassical building of the Dragoumi house "Kolymvos" in Kifissia. Essentially, the sample was analyzed by physicochemical methods in order to study, observe and determine its chemical composition. The physicochemical methods used are: optical microscope, electron microscopy (SEM/EDS), X-ray diffraction (XRD), mercury infiltration porosimetry (MIP), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and particle size analysis.

The results showed that the mortar is composed of cement. Essentially, it is a mortar where its construction is the first use of cement in Greece as a binding material for masonry.

## Πίνακας περιεχομένων

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	9
ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	10
Η ΚΗΦΙΣΙΑ .....	10
ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΤΗΣ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑΣ ΔΡΑΓΟΥΜΗ .....	11
Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ 19ΟΥ ΚΑΙ 20ΟΥ ΑΙΩΝΑ .....	12
ΟΙΚΙΑ ΔΡΑΓΟΥΜΗ .....	13
ΘΕΩΡΙΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ .....	16
ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ .....	17
ΠΟΖΟΛΑΝΗ .....	18
❖ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ .....	18
ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ (FTIR) .....	18
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ (SEM/EDS) .....	19
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	20
ΠΟΡΟΣΙΜΕΤΡΙΑ ΔΙΕΙΣΔΥΣΕΙΣ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ (Hg) .....	21
ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ .....	22
ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ .....	23
❖ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	29
XRD .....	29
FTIR .....	31
SEM/EDS .....	35
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	45
ΠΟΡΟΣΙΜΕΤΡΙΑ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ (MIP) .....	50
❖ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	52
❖ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ-ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ .....	52
❖ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	53
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: .....	56



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκαν αναλυτικές φυσικοχημικές μέθοδοι σε κονίαμα και στη ζωγραφική επιφάνεια από την νεοκλασική κατοικία "Κόλυμβος" της οικογένειας Δραγούμη στην Κηφισιά. Το δείγμα αποτελείται από δύο στρώματα κονιάματος και τη ζωγραφική επιφάνεια. Το συγκεκριμένο κονίαμα επιλέχθηκε με σκοπό τον προσδιορισμό της τεχνολογίας κατασκευής του και την μελλοντική συντήρηση της οικίας.

Όλες οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με τον εργαστηριακό εξοπλισμό του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής (ΠΑ.Δ.Α).

## ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εργασία έχει ως σκοπό τη μελέτη της τεχνολογίας κατασκευής του κονιαμάτος από τη νεοκλασική κατοικία Κόλυμβος της οικογένειας Δραγούμη στην Κηφισιά. Η παρούσα μελέτη παρουσιάζει τη χημική σύσταση του κονιάματος και την τεχνολογία των υλικών που απαρτίζουν το κονίαμα. Η τεχνολογία κατασκευής του κονιάματος είναι σημαντική καθώς πιθανώς πρόκειται για μια από τις πρώτες περιπτώσεις χρήσης τσιμέντου στην Ελλάδα. Επιπλέον, θα μελετηθεί και η βαμμένη του επιφάνεια με σκοπό τον προσδιορισμό της φύσης της χρωστικής του.

## ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

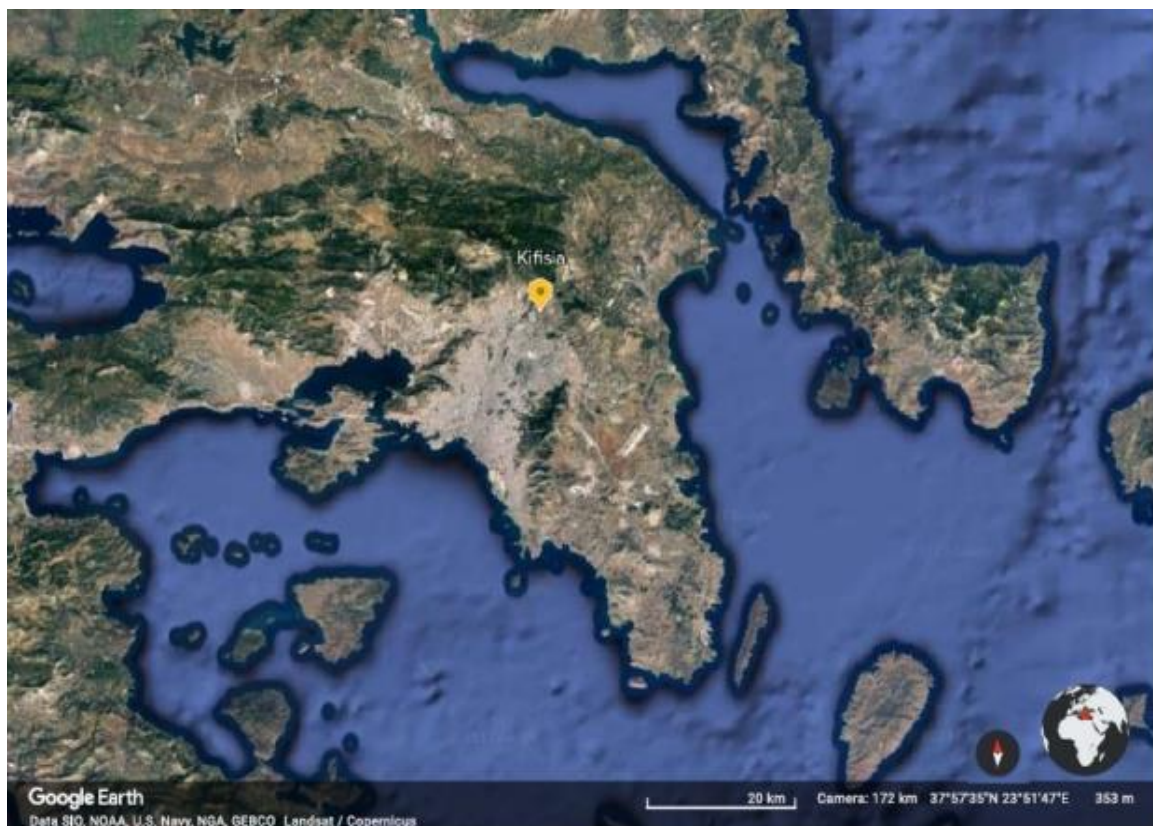
### Η ΚΗΦΙΣΙΑ

Η ιστορία της Κηφισιάς ξεκινάει από την αρχαϊκή περίοδο ως ένας μικρός αγροτικός οικισμός (Σκούφιας κ.ο 2009).

Η Κηφισιά βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα του λεκανοπεδίου Αττικής και συνορεύει με τους Δήμους Ν. Ερυθραίας, Μελισσίων, Αμαρουσίου, Πεύκης, Μεταμόρφωσης καθώς και Αχαρνών. Επιπλέον συνορεύει και με την κοινότητα της Λυκόβρυσης.

Η οικιστική ανάπτυξη της περιοχής αρχίζει από τα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Εύποροι Αθηναίοι επέλεξαν να χτίσουν εντυπωσιακές βίλες, ως μια εύκολη διαφυγή από την πρωτεύουσα από τη μια αλλά και ως ένα είδος εντυπωσιασμού της υψηλής κοινωνίας από την άλλη. Συνεπώς η περιοχή αναπτύχθηκε ως θέρετρο πλούσιων αστών, πολιτικών και προσωπικοτήτων στο πέρασμα του χρόνου μέχρι το 1970. Παράδειγμα μιας μεγάλης πολιτικής προσωπικότητας του 20<sup>ου</sup> αιώνα που αποφάσισε να χτίσει την εξοχική του κατοικία στην Κηφισιά είναι ο Ίωνας Δραγούμης.

Ωστόσο ο Δήμος Κηφισιάς ξεκινάει να υφίστανται από το έτος 1942. Η Κηφισιά πλέον θεωρούνταν ένας προνομιακός τόπος κατοικίας (Σκούφιας κ.ο. 2009). Από το 1971 έως και το 1981 παρατηρείται μια σημαντική αύξηση του πληθυσμού της περιοχής λόγω υποβάθμισης της ποιότητας ζωής στο κέντρο της Αθήνας



Εικόνα 1. Η περιοχή της Κηφισιάς μέσω του Google Earth (Google Earth)



Εικόνα 2. Η Κηφισιά και οι περιοχές με τις οποίες συνορεύει (Google Earth)

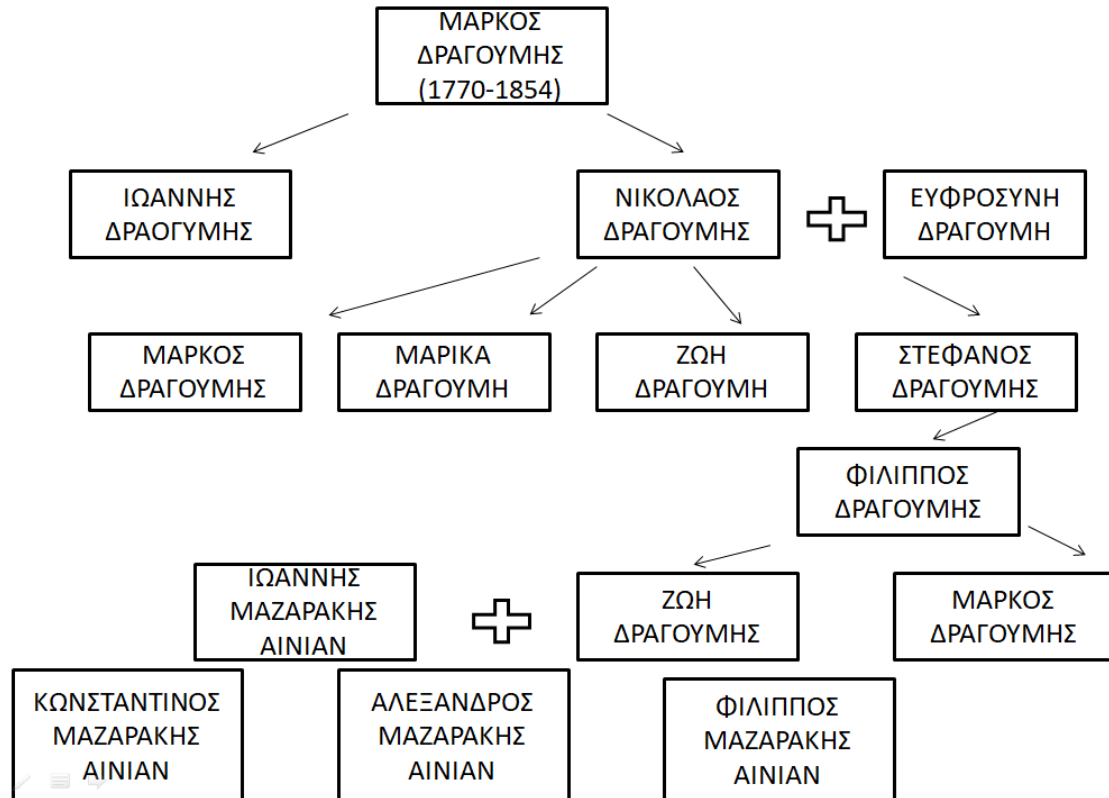
Το κλίμα που επικρατεί στην περιοχή της Κηφισιάς χαρακτηρίζεται από ένα δροσερό καλοκαίρι σε αντίθεση με τις υπόλοιπες περιοχές της Αττικής όπου το κλίμα είναι ξερό και ζεστό και από βροχερούς χειμώνες. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 400 mm και η μέση σχετική υγρασία είναι 63% (Meteoblue).

## ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΤΗΣ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑΣ ΔΡΑΓΟΥΜΗ

Η οικογένεια Δραγούμη αποτελεί μια από τις σημαντικότερες ελληνικές οικογένειες πολιτικών και λογίων με καταγωγή από τη Βόρεια Ελλάδα (Βογάτσικο) (Ελληνογερμανική Αγωγή, 2024, Βασιλειάδου 2021). Το έργο πολλών μελών της υπήρξε ιδιαίτερα σημαντικό όπως αυτό του Ίων Δραγούμη (πολιτικός), του Φίλιππου Δραγούμη (βουλευτής και διπλωμάτης) και Στέφανο Δραγούμη (πρωθυπουργό) (Καθημερινή, 2020) .

Γενάρχης του αθηναϊκού κλάδου της οικογένειας Δραγούμη υπήρξε ο Μάρκος. Ο Μάρκος απέκτησε δύο γιούς, τον Ιωάννη και τον Νικόλαο. Ο Νικόλαος με τη γυναίκα του Ευφροσύνη Δραγούμη απέκτησαν τέσσερα παιδιά, την Μαρίκα, τον Μάρκο, τη Ζωή και τον Στέφανο. Ο Στέφανος με τη σύζυγό του έκαναν οκτώ παιδιά εκ των οποίων ένα από αυτά ήταν ο Φίλιππος. Εκείνος με τη σειρά του απέκτησε επίσης δύο παιδιά τον Μάρκο και τη Ζωή. Τέλος η Ζωή παντρεύτηκε τον Ιωάννη Μαζαράκη - Αινιάν και απέκτησαν τρία παιδιά, τον Κωνσταντίνο, τον

Αλέξανδρο και τον Φίλιππο. Στην Εικόνα 3 υπάρχει και σχεδιαστική αναπαράσταση μέρους του γενεαλογικού δέντρου της οικογένειας Δραγούμη.



Εικόνα 3. Μέρος από το γενεαλογικό δέντρο της οικογένειας Δραγούμη.

Προς τιμή της οικογένειας Δραγούμη στην Κηφισιά υπάρχει και δρόμος κάθετος στην οικία Κόλυμβος όπου φέρει το συγκεκριμένο όνομα (Εικόνα 4).



Εικόνα 4. Οδός Δραγούμη στην Κηφισιά (Β. Κοντογιάννη, 2024).

## Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ 19ου ΚΑΙ 20ου ΑΙΩΝΑ

Η αρχιτεκτονική που επικρατεί στο τέλος του 19ου αιώνα και στις αρχές του 20ου διατυπώνει μορφολογικές διακυμάνσεις. Οι νέες τάσεις που δημιουργούνται και

οι νέες ιδέες που υλοποιούνται συνδέονται άμεσα με την Βιομηχανική επανάσταση και την παρουσία νέων υλικών (Παπαλού, 2017).

Πιο συγκεκριμένα στην Κηφισιά επειδή πρόκειται για δεύτερη και όχι κύρια κατοικία η αρχιτεκτονική διαφέρει από το αστικό Αθηναϊκό τοπίο. Οι οικογένειες της ανώτερης αστικής τάξης θέλοντας να ξεφύγουν από τη νεοκλασική αρχιτεκτονική υιοθέτησαν έναν νέο τύπο κατοικίας που εφάρμοσαν βασικά στις εξοχικές τους κατοικίες. Αυτός ο τύπος κατοικίας έπρεπε να είναι κλασικιστικός και να αντανakλά το ρομαντικό στοιχείο της εποχής αλλά με τρόπο διαφορετικό από αυτό της πρωτεύουσας (Σκουφιάς κ.ο, 2009). Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα ο νεοκλασικιστικός ρυθμός φτάνει στο τέλος του δίνοντας τη θέση του σε έντονους όγκους, στη μείξη επιμέρους στοιχείων και στην παραμόρφωση των λεπτομερειών (Σκουφιάς κ.ο 2009).

Μια αρχιτεκτονική φάση της εποχής είναι τα λεγόμενα follies που συναντιούνται συνήθως σε κτίσματα κήπων και δημιουργήθηκαν για να ενισχύουν και να ζωντανεύουν το περιβάλλον γύρω τους. Αυτός ο ρυθμός σε συνδυασμό με τον ρομαντικό χαρακτήρα διαφοροποιούν την πρώτη κατοικία της αστικής Αθηναϊκής τάξης από αυτή της δεύτερης.

Νεοκλασικές βίλες του 20ου αιώνα

Οι νεοκλασικές βίλες, όπως και πολλά ιστορικά κτίρια, κατασκευάζονταν συχνά χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό διαφορετικών οικοδομικών υλικών, συμπεριλαμβανομένου του τσιμέντου και του κονιάματος. Ωστόσο, ο συγκεκριμένος τύπος τσιμέντου και κονιάματος που χρησιμοποιούνταν στις νεοκλασικές βίλες διέφερε ανάλογα με τη χρονική περίοδο στην οποία χτίστηκαν και τις τοπικές οικοδομικές παραδόσεις.

Στις αρχές του 20ου αιώνα, όταν κατασκευάστηκαν πολλές νεοκλασικές βίλες στην Ελλάδα, το πιο κοινό είδος κονιάματος που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα μείγμα τσιμέντου, άμμου και νερού (Palomo 2014). Αυτός ο τύπος κονιάματος χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία δομικών στοιχείων του κτιρίου, όπως η θεμελίωση, οι κολώνες και τα δοκάρια. Η οικία Κόλυμβος θεωρείται πως ήταν η πρώτη κατοικία που χρησιμοποιήθηκε ο συγκεκριμένος τύπος κονιάματος για την κατασκευή της.

## **ΟΙΚΙΑ ΔΡΑΓΟΥΜΗ**

Η Νεοκλασική κατοικία “Κόλυμβος” είναι ένα ιστορικό αρχοντικό που βρίσκεται στο προάστιο της Κηφισιάς στην Αθήνα, στην οδό Όθωνος 87 και Αμαλίας. Χτίστηκε στις αρχές του 20ου αιώνα (1909-1910) από τον αρχιτέκτονα Φίλιππο

Οικονόμου σε νεοκλασικό ρυθμό και θεωρείται ένα από τα πιο εντυπωσιακά δείγματα του είδους του στην περιοχή όπως φαίνεται στην Εικόνα 4 (Καραβιά Μ., 1989).



Εικόνα 5. Έπαυλη Κόλυμβος ("Όμορφιά και μνήμη", Καραβιά Μ.)

Η βίλα κατασκευάστηκε αρχικά για την οικογένεια Δραγούμη και χρησιμοποιούνταν ως εξοχική κατοικία όπως έχει ήδη αναφερθεί (βλ. σελ. ). Έκτοτε στην κατοικία έχουν κατοικήσει όλες οι γενιές απογόνων της οικογένειας Δραγούμη. Η βίλα πλέον ανήκει εξ ημισείας στον Αλέξανδρο Μαζαράκη –Αινιάν και στον αδερφό του Φίλιππο Μαζαράκη – Αινιάν, που είναι απόγονοι της οικογένειας Δραγούμη, αποτελώντας ιδιωτικές κατοικίες μη ανοιχτές στο ευρύ κοινό. Τα τελευταία χρόνια, το κτίριο έχει υποβληθεί σε εκτεταμένες εργασίες ανακαίνισης και αποκατάστασης για να διατηρήσει τα ιστορικά χαρακτηριστικά και το μεγαλείο του.

Ωστόσο, οι επισκέπτες μπορούν να θαυμάσουν το όμορφο εξωτερικό του από το δρόμο και να εκτιμήσουν την αρχιτεκτονική του σημασία στο πλαίσιο της γύρω γειτονιάς, η οποία είναι γνωστή για τις πολλές κομψές βίλες και τους κήπους της (Εικόνα 5, 6).

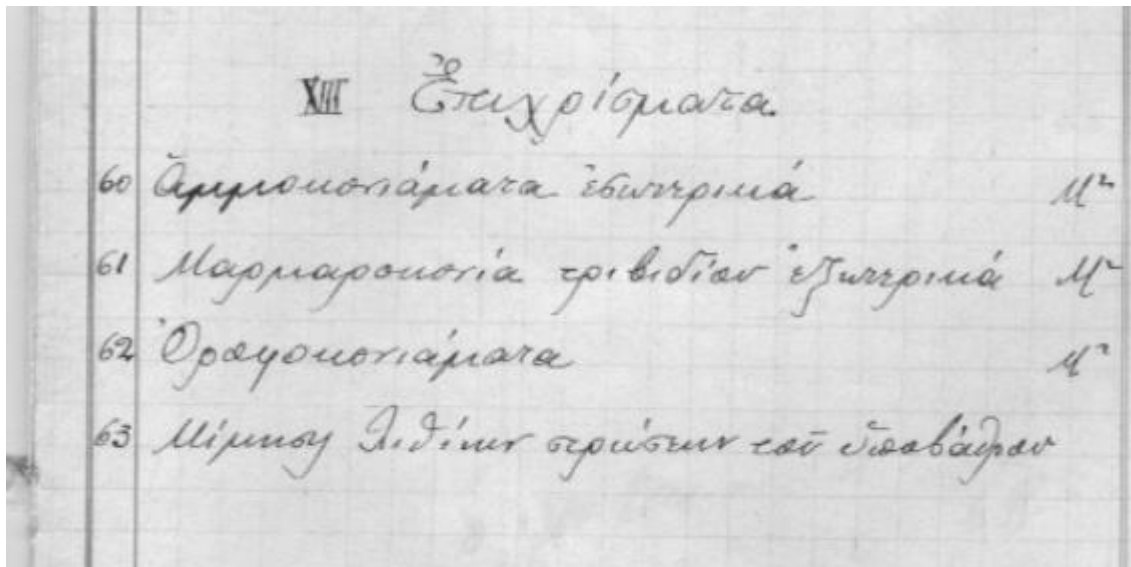


Εικόνα 6. Οικία Κόλυμβος (“Η κηποτεχνία στην Ελλάδα”, Σκουφιάς Α.)



Εικόνα 7. Η οικία Κόλυμβος σήμερα (Β. Κοντογιάννη, 2024).

Τα δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν σύμφωνα με αρχεία τα οποία έχει στην κατοχή της η οικογένεια Μαζαράκη-Αινιάν είναι αμμοκονιάματα, μαρμαροκονιάματα και οροφοκονιάματα (Εικ. 7).



Εικόνα 8. Τα επιχρίσματα που χρησιμοποιήθηκαν σύμφωνα με τα ιστορικά αρχεία που έχει στην κατοχή της η οικογένεια Μαζαράκη-Αινιάν. (Μαζαράκης-Αινιάν Α.)

## ΘΕΩΡΙΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Τα κονιάματα αποτελούν βασικό δομικό στοιχείο των κτισμάτων από την αρχαιότητα έως σήμερα. Η τεχνολογία κατασκευής του ποικίλει με την πάροδο των χρόνων και η σύνθεση τους αποτελείται από τη συνδετική κονία, τα αδρανή υλικά καθώς και πρόσθετα άλλα υλικά.

Τα πρώτα κονιάματα στην Ελλάδα εμφανίζονται κατά την 6η χιλιετία π.Χ όπου προορίζονταν για την κατασκευή τοιχοποιίας (Παχτά και Παπαγιάννη 2013). Η χρήση πηλού για την κατασκευή κονιαμάτων είναι η πρώτη που παρατηρήθηκε εξαιτίας της αφθονίας του στη φύση και στην εύκολη χρήση του. Με την πάροδο των χρόνων η τεχνολογία κατασκευής τους εξελίχθηκε με σκοπό την καλύτερη αντοχή και ανθεκτικότητα καθώς αποτέλεσε αντικείμενο διαρκούς πειραματισμού. Ουσιαστικά η εξέλιξη αυτή έγινε εμπειρικά από τους τεχνίτες της εποχής και από τα υλικά που υπήρχαν διαθέσιμα. Ωστόσο κάποια υλικά χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα όπως το τσιμέντο, που σύμφωνα με βιβλιογραφικές πηγές εμφανίζεται για πρώτη φορά στο Ισραήλ πριν από 12000 από το σήμερα παρόλο που η χρήση του ξεκινά να εμφανίζεται αρκετά αργότερα (Kirca, 2005).

Το κονίαμα που χρησιμοποιούταν διέφερε ανάλογα την χρονική περίοδο, την αναλογία των υλικών και τις τοπικές παραδόσεις. Το βασικό δομικό υλικό στις νεοκλασικές βίλες ήταν το τσιμέντο ειδικά από τα τέλη του 19ου αιώνα και μετά όπου η χρήση του ήταν πιο διαδεδομένη. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι νεοκλασικές βίλες μπορεί να χρησιμοποιούσαν επίσης ένα είδος κονιάματος που ονομάζεται «ποζολανικό» το οποίο κατασκευάστηκε με ανάμειξη ηφαιστειακής



τέφρας με ασβέστη και νερό (Mehta and Monteiro, 2001). Αυτός ο τύπος σκυροδέματος ήταν γνωστός για την αντοχή του και η χρήση του ξεκίνησε σε αρχαία ρωμαϊκά κτίρια.

## ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Ως δομικό υλικό ορίζεται κάθε προϊόν που χρησιμοποιείται σε κατασκευαστικά έργα μετά από ή χωρίς επεξεργασία (Παχτά και Παπαγιάννη, 2013). Το κονίαμα δόμησης είναι ένα μίγμα δομικών υλικών που εφαρμόζεται ως συνδετικό μεταξύ των δομικών στοιχείων (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2024). Κονία ονομάζεται το υλικό που χρησιμοποιείται για να επιτευχθεί η συγκράτηση των υπόλοιπων υλικών που αποτελούν το κονίαμα (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2024). Τα αδρανή αποτελούν επίσης βασικό συστατικών των κονιαμάτων που ενισχύουν την αντοχή τους. Αυτά μπορεί να είναι θραύσματα πετρωμάτων, όπως η άμμος που αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα αδρανή από την αρχαιότητα (Μαρινάκη, 2004).

Τα κονιάματα μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες σύμφωνα με το RILEM. Πρώτον σχετικά με τη λειτουργία και την τεχνική τους εφαρμογή και δεύτερον σύμφωνα με τη φύση του συνδετικού υλικού (Artioli et al. 2019, Balksten 2010, Elsen et al. 2010, Rossi-Doria 1990).

## ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Η πρώτη εφαρμογή του τσιμέντου τον 19ο αιώνα αντικατέστησε σταδιακά τη χρήση άλλων συνδετικών όπως ήταν ο ασβέστης, η γύψος κ.α (Palomo et al., 2014, Varas et al. 2005). Το τσιμέντο μπορεί να είναι είτε φυσικό είτε τεχνητό (portland), με το πρώτο να προηγείται χρονικά (Varas et al. 2005). Το φυσικό τσιμέντο αποτελείται από ανθρακικά άλατα και άργιλο που υπάρχουν στη μάργα (από ιζηματογενές πέτρωμα ή από το έδαφος) (Varas et al. 2005). Δύο σημαντικά πλεονεκτήματα που έχει το φυσικό τσιμέντο, σε σύγκριση με τα άλλα υδραυλικά συνδετικά είναι ότι η διαδικασία ενυδάτωσης και πήξης λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα. Με τη πάροδο του χρόνου τα πλεονεκτήματα του φυσικού τσιμέντου βελτιώθηκαν οδηγώντας στην παραγωγή του portland cement (τεχνητό) (Artioli et al. 2019, Varas et al. 2005).

## ΠΟΖΟΛΑΝΗ

Η ποζολάνη αποτελείται από πυριτικά και αργυλοπυριτικά συστατικά τα οποία μπορεί να είναι είτε φυσικά είτε τεχνητά (Karatasios et al. 2014, Nezerka 2015).

## ❖ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

### ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΜΕΤΡΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ X (XRD)

Η περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD) είναι η μέθοδος που δίνει πληροφορίες για την τρισδιάστατη διάταξη των ατόμων ή μορίων σε ένα κρυσταλλικό υλικό. Η κρυσταλλική διάταξη προσδιορίζει τις ιδιότητες του υλικού. Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό πετρωμάτων, ορυκτών, χρωστικών και κρυσταλλικών φάσεων και προϊόντων οξειδωσης ανόργανων υλικών. Η XRD βασίζεται στο φαινόμενο της περίθλασης μονοχρωματικής ακτινοβολίας ακτίνων X γνωστού μήκους κύματος  $\lambda$ , πάνω στα επίπεδα του κρυσταλλικού πλέγματος και στον προσδιορισμό των διαστημάτων  $d$  των κρυσταλλικών επιπέδων μέσω του προσδιορισμού της περιθλωμένης γωνίας  $\theta$  της ακτινοβολίας X σύμφωνα με τον νόμο του Bragg.

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

όπου  $n$ =ακέραιος αριθμός

$\lambda$ =το μήκος κύματος

$d$ =η απόσταση μεταξύ των επιπέδων των ατόμων

$\theta$ =η συμπληρωματική της γωνίας πρόσπτωσης

### ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ (FTIR)

Η φασματοσκοπία υπέρυθρου με μετασχηματισμό Fourier (FTIR Fourier-Transform Infrared Spectroscopy) είναι μια μοριακή τεχνική ανάλυσης που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της χημικής σύνθεσης και των δομικών ιδιοτήτων των χημικών ενώσεων με βάση την απορρόφηση στο υπέρυθρο.

Στην υπέρυθρη φασματοσκοπία, η απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας από ένα δείγμα μελετάται ως συνάρτηση της συχνότητας. Η αρχή της απορρόφησης στο υπέρυθρο φάσμα είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τα ηλεκτρικά δίπολα των μορίων. Η υπέρυθρη ακτινοβολία δεν επηρεάζει τη δομή των ατόμων (Derrick et al. 1999). Επιπλέον, κάθε υλικό έχει ένα μοναδικό υπέρυθρο φάσμα (ταυτότητα) που

προσδιορίζει τη χημική του σύνθεση (Derrick et al. 1999). Αν και η υπέρυθρη φασματοσκοπία χρησιμοποιείται κυρίως για οργανικές ενώσεις, ως τεχνική μοριακής ανάλυσης, μπορεί να παρέχει μεγάλο όγκο πληροφοριών για την ανίχνευση ανόργανων ενώσεων ως συμπληρωματική μέθοδος.

Η υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος εκτείνεται από το τέλος του ορατού φάσματος έως την περιοχή των μικροκυμάτων, 0,7  $\mu\text{m}$  έως 300  $\mu\text{m}$ , και διακρίνεται σε τρεις περιοχές:

στο εγγύς υπέρυθρο (NIR) (14.000-4.000  $\text{cm}^{-1}$ ), στο μέσο υπέρυθρο (MIR) (4.000-400  $\text{cm}^{-1}$ ) και στο άπω υπέρυθρο (FIR) (400-10  $\text{cm}^{-1}$ ).

## ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ (SEM/EDS)

Η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM/EDS) πραγματοποιεί στοιχειακή ανάλυση με σκοπό να καθορίσει τη μορφολογία και τη σύσταση της επιφάνειας ενός δείγματος (Vernon-Parry, 2000, Schreiner, 2007). Ένα ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης λειτουργεί με δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας με αποτέλεσμα να μπορεί να επιτευχθεί μεγέθυνση έως και 100.000 φορές.

Αρχή λειτουργίας:

Όταν μια δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας φτάσει σε μια επιφάνεια, τα άτομα του δείγματος ionίζονται και τα ηλεκτρόνια διασκορπίζονται (Phrikhodko and Kakouli 2018). Τα άτομα εκπέμπουν σήματα των ακόλουθων κατηγοριών: δευτερεύοντα ηλεκτρόνια (SE), οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια (BSE), χαρακτηριστικές ακτίνες X, ηλεκτρόνια Auger, ορατό φως και ακτίνες X Bremsstrahlung (Phrikhodko and Kakouli 2018). Παρόλα αυτά ο μικροαναλυτής μπορεί να αναγνωρίσει μόνο τα σήματα SE και BSE. Οι δευτερεύουσες εικόνες χρησιμοποιούνται για την τοπογραφία περιοχής του δείγματος και παράγονται από ηλεκτρόνια χαμηλής ενέργειας (Joy 1987). Από την άλλη πλευρά, οι οπισθοσκεδασμένες εικόνες σχηματίζονται από ηλεκτρόνια υψηλής ενέργειας και δίνουν πληροφορίες για τη χημική σύνθεση μιας επιφάνειας (Joy 1987).

Σύμφωνα με τους Dunlap και Adaskaveg 1997, το σύστημα SEM/EDS αποτελείται από:

1. Το σύστημα κενού όπου είναι απαραίτητο για να διαμορφωθούν οι κατάλληλες συνθήκες ώστε η δέσμη ηλεκτρονίων να φθάσει άθικτη στο δείγμα.
2. Σύστημα παραγωγής δέσμης ηλεκτρονίων.
3. Σύστημα χειρισμού δέσμης ηλεκτρονίων όπου οι ηλεκτρομαγνητικοί φακοί υπάρχουν για να ελέγχουν τα χαρακτηριστικά των παραγόμενων ηλεκτρονίων και να τα προστατεύουν από ηλεκτροστατικά και μαγνητικά πεδία όπου είναι πιθανό να επηρεαστούν.

4. Σύστημα αλληλεπίδρασης δείγματος δέσμης όπου είναι υπεύθυνο για την αλληλεπίδραση μεταξύ της δέσμης ηλεκτρονίων και του δείγματος, μαζί με τα σήματα που λαμβάνει ο ανιχνευτής.
5. Σύστημα ανίχνευσης το οποίο αποτελείται από έναν σημαντικό αριθμό ανιχνευτών ώστε να μπορούν να διακρίνουν οποιοδήποτε σήμα.
6. Σύστημα επεξεργασίας ηλεκτρονικού σήματος με το οποίο μπορεί ο χρήστης να επεξεργαστεί το σήμα.
7. Σύστημα οθόνης και εγγραφής με το οποίο επιτυγχάνεται η οπτικοποίηση του ηλεκτρονικού σήματος.

## ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η κοκκομετρική ανάλυση πραγματοποιείται με σκοπό την εύρεση της κατανομής μεγέθους των κόκκων ενός αδρανούς υλικού (με την κατασκευή κοκκομετρική καμπύλης). Ο πρωταρχικός στόχος αυτής της ανάλυσης είναι ο διαχωρισμός ενός υλικού μέσω μιας διαδοχής κοσκίνων σε πολλαπλές ταξινομήσεις μεγέθους αδρανών που προοδευτικά μικραίνουν (European Committee for Standardization, 1997). Η μέθοδος του κοσκινίσματος χρησιμοποιείται με σκοπό τον προσδιορισμό του πραγματικού μεγέθους των σωματιδίων και τον υπολογισμό του συντελεστή ομοιομορφίας (Cu) και του βαθμού διαβάθμισης (Cc).

### Παιπάλη

Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 12620 ως παιπάλη ορίζεται το διαβαθμισμένο λεπτομερές αδρανές υλικό με μέγιστο κόκκο 2mm, και το οποίο διέρχεται σε ποσοστό 70-100% από το κόσκινο 0,063mm.

### Μερικό συγκρατούμενο

Πρόκειται για το υλικό που απομένει στο κάθε κόσκινο. Κατά τη διαδικασία της ανάλυσης ζυγίζονται όλα τα συγκρατούμενα από όλα τα κόσκινα και υπολογίζεται το ολικό συγκρατούμενο. Επίσης, υπολογίζεται το επί τοις εκατό συγκρατούμενο %R και το επί τοις εκατό διερχόμενο %P κάθε κοσκίνου.

Στο διάγραμμα που προκύπτει από τις μετρήσεις ο οριζόντιος άξονας (x) εκπροσωπεί την διάμετρο της σπής των κοσκίνων mm και ο κατακόρυφος άξονας (y) παρουσιάζει το ποσοστό (%) του διερχόμενου υλικού σε κάθε κόσκινο.

Διερχόμενο % στο κόσκινο  $i = (\text{διερχόμενο κόσκινο } i / \text{αρχικό βάρος δείγματος}) * 100$

Όλα τα συγκρατούμενα (κλάσματα) από κάθε κόσκινο και κάθε δείγμα παρατηρήθηκαν στο στερεομικροσκόπιο και φωτογραφήθηκαν. Επίσης οι κοκκομετρικές καμπύλες βοήθησαν στον υπολογισμό του συντελεστή ομοιομορφίας και στον βαθμό διαβάθμισης των κονιαμάτων.

Ο συντελεστής ομοιομορφίας ( $C_u$ ) δηλώνει την ποικιλία των εγκλεισμάτων του κονιάματος και ορίζεται ως η αναλογία  $D_{60}$  προς  $D_{10}$  (Geo Engineer) σύμφωνα με τον τύπο:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Οι τιμές  $D_{10}$  και  $D_{60}$  υπολογίζονται από την κοκκομετρική καμπύλη.

Όταν ο συντελεστής ομοιομορφίας είναι μεγαλύτερος από 4 τότε το κονίαμα είναι καλά κατανεμημένο, ενώ όταν είναι μικρότερος από 4 τότε χαρακτηρίζεται ως μη καλά βαθμονομημένο (Geo Engineer).

Βαθμός διαβάθμισης ( $C_c$ ) είναι μια παράμετρος που χρησιμοποιείται για τον βαθμό των σωματιδίων σε σχήμα καμπύλης, επιτρέποντας την αναγνώριση αλλαγών στη συμπεριφορά κάθε μεμονωμένου σωματιδίου και ολόκληρου του συνόλου (Azevedo A.R.G. et al., 2020). Ο υπολογισμός του βαθμού διαβάθμισης προκύπτει από τον τύπο:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

## ΠΟΡΟΣΙΜΕΤΡΙΑ ΔΙΕΙΣΔΥΣΕΙΣ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ (Hg)

Η ποροσιμέτρία διείσδυσης Hg εφαρμόζεται σε πορώδη υλικά (ξύλο, κονιάματα) με σκοπό να εξεταστούν τα χαρακτηριστικά τους όπως: η κατανομή των πόρων, το μέγεθος των πόρων, ο όγκος και η πυκνότητα τους.

Ως πορώδες ορίζεται ο λόγος του όγκου των πόρων της μάζας ενός πετρώματος προς το συνολικό του όγκο σε ποσοστό επί τοις εκατό.

Το πορώδες διακρίνεται σε πρωτογενές (τρόπος σχηματισμού του πετρώματος) και σε δευτερογενές (οφείλεται στη δημιουργία ρωγμών και διακλάσεων του πετρώματος λόγω τεκτονικής καταπόνησης).

$$\eta = \frac{\gamma - \gamma_{\varphi}}{\gamma} * 100 (\%)$$

Όπου,  $\eta$  = πορώδες

$\gamma$  = ειδικό βάρος του πετρώματος

$\gamma_{\varphi}$  = φαινόμενο βάρος του πετρώματος

Το πορώδες χωρίζεται σε ανοιχτό, κλειστό και συνολικό πορώδες.

Το ανοιχτό πορώδες αποτελείται από ους πόρους που επικοινωνούν με την επιφάνεια του υλικού ενώ το κλειστό πορώδες είναι αυτό που είναι απομονωμένο και δεν επικοινωνεί με την επιφάνεια. Το συνολικό πορώδες αποτελείται από το ανοιχτό και το κλειστό πορώδες (Mehta and Monteiro, 2001).

Η συμπεριφορά των υλικών καθώς και οι φυσικές ιδιότητες του αλλάζουν ανάλογα με το πορώδες του εκάστοτε υλικού. Η μέθοδος της ποροσιμετρίας πρακτικά πραγματοποιείται με την διείδυση υδραργύρου σε μία πορώδη δομή κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.

Η σχέση η οποία περιγράφει την πίεση αυτή είναι η εξίσωση Washburn (Quantachrome instruments).

$$D = \frac{-4Y (\cos\theta)}{P}$$

Όπου, D = διάμετρος πόρων

P = εφαρμοσμένη πίεση

Y = επιφανειακή ένταση του υδραργύρου

θ = γωνία επαφής μεταξύ υδραργύρου και πόρων

Ο υδράργυρος στη συγκεκριμένη ανάλυση έχει ορισμένες ιδιότητες οι οποίες είναι αρκετά σημαντικές στη μέθοδο της ποροσιμετρίας.

Η καταλληλότητα του υδράργυρου για την κατανομή των πόρων οφείλεται στο ότι είναι υδρόφοβος και εμφανίζει υψηλή επιφανειακή τάση (Micromeritics Instrument Corporation, 2009).

## ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα από τον εξωτερικό τοίχο της οικίας Δραγούμη. Το δείγμα αυτό συλλέχθηκε μετά από το μεγάλο σεισμό της Αθήνας το 1999 όταν η οικία χαρακτηρίστηκε κίτρινη από εξειδικευμένη επιτροπή μηχανικών και ως χρήζουσα εργασιών επισκευής και ανακαίνισης. Από το συγκεκριμένο δείγμα διαχωρίστηκαν τέσσερα θραύσματα (2 κονιάματος και 2 χρωστικών) ώστε να αναλυθούν ξεχωριστά.



Εικόνα 9. Εμπρόσθια όψη δείγματος



Εικόνα 10. Οπίσθια όψη δείγματος



Εικόνα 11. Πλάγια όψη δείγματος



Εικόνα 12. Πλάγια όψη δείγματος

Τα κονιάματα υποβλήθηκαν σε οπτική παρατήρηση, σε ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης, κοκκομετρική διαβάθμιση, ποροσιμετρία διείσδυσης υδραργύρου και φασματοσκοπία υπερύθρων με μετασχηματισμό Fourier. Τα δείγματα χρωστικής αναλύθηκαν με ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης.

## ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

### Προετοιμασία δειγμάτων για την ηλεκτρονική μικροσκοπία:

Αρχικά τέσσερα μικρά θραύσματα του δείγματος αποσπάστηκαν από το δείγμα ώστε κάθε ένα από αυτά να φέρει μέρος της στρωματογραφίας. Στη συνέχεια τοποθετούνται σε ειδικά καλούπια στα οποία έχει τοποθετηθεί βαζελίνη για ευκολότερη αποκόλληση. Κατόπιν, προστίθεται εποξειδική ρητίνη (Εικ. 10) και αφήθηκαν για 24 ώρες έως ότου το κάθε δείγμα να σταθεροποιηθεί πλήρως (Facorellis et al. 2016). Για την παρασκευή της ρητίνης χρησιμοποιήθηκε η αναλογία ρητίνη/καταλύτη 25/3 κατά βάρος.



Εικόνα 13. Εποξειδική ρητίνη

Μετά το πέρας των 24 ωρών τα καλούπια αφαιρούνται και μένει μόνο η ρητίνη με το δείγμα όπου έχει πάρει το σχήμα του καλουπιού. Η επόμενη διαδικασία είναι η λείανση των δειγμάτων. Σε λειαντικό τροχό τοποθετούνται διαδοχικά γυαλόχαρτα από μεγαλύτερη σε μικρότερη τραχύτητα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν γυαλόχαρτα καρβιδίου – πυριτίου, νούμερο : 500, 800, 1000, 2000 και τέλος το βελούδο. Με τη χρήση δίσκου βελούδου και υδατικό διάλυμα αλουμίνας ( $Al_2O_3$ ) το δείγμα λειαινεται και στυλβώνεται. Καθ' όλη την διάρκεια χρήσης του λειαντικού τροχού υπάρχει και τρεχούμενο νερό πάνω στους δίσκους ώστε να αποφευχθεί η αύξηση της θερμοκρασίας λόγω της τριβής.

Ο τύπος του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης που χρησιμοποιήθηκε είναι JEOL JSM 6510 LV (SEM Scanning Electron Microscope) (Εικ. 11) το οποίο συνοδεύεται από έναν ανιχνευτή ενεργειακής διασποράς ακτίνων X, Pentafet 6587 EDS (INCA analysis system, Oxford Instruments) (Εικ. 12). Ορισμένα χαρακτηριστικά του είναι η δυνατότητα μεγέθυνσης από 5 έως 100.000 φορές καθώς και η λήψη εικόνων μεγάλης ευκρίνειας δευτερογενών και οπισθοσκεδαζομένων ηλεκτρονίων. Το SEM/EDS εκτός από την οπτική πληροφορία και την δυνατότητα ποσοτικών και ποιοτικών αναλύσεων επιτρέπει και τη στοιχειακή χαρτογράφηση της κατανομής των στοιχείων (element mapping) της επιφάνειας των δειγμάτων.





Εικόνα 14. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (ΠΑ.Δ.Α.)



Εικόνα 15. Μικροαναλυτής EDS (ΠΑ.Δ.Α.)

### **Προετοιμασία δειγμάτων για την κοκκομετρική ανάλυση:**

Αρχικά γίνεται διαχωρισμός των αδρανών εγκλεισμάτων του δείγματος από το συνδετικό κονίαμα. Στη διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται γουδί είτε από πορσελάνη ή από αχάτη. Ο διαχωρισμός γίνεται με αργές κινήσεις και ελεγχόμενη κίνηση έτσι ώστε να αποκολληθούν σωστά τα αδρανή υλικά από το συνδετικό κονίαμα χωρίς να σπάσουν.

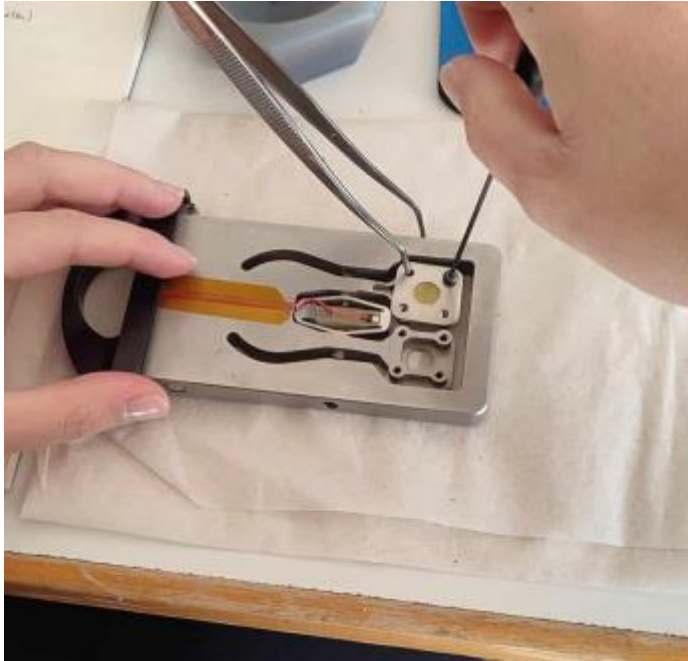
Το δείγμα τοποθετείται σε περιαντήριο στους 70°C για μία ώρα για να γίνει η ξήρανση του μέχρι να σταθεροποιηθεί το βάρος του. Στη συνέχεια το δείγμα ζυγίζεται σε αναλυτικό ζυγό. Η κοκκομετρική διαβάθμιση του δείγματος εκτελείται σε ειδικό μηχάνημα (πύργο)κοσκίνων (sieve shaker) με μηχανικό αναδευτήρα κοσκίνων. Τα κόσκινα φέρουν οπές με διαφορετική διάμετρο το καθένα ξεκινώντας από 10mm έπειτα 8mm, 6,3mm 4mm, 2mm, 1mm, 500μm, 250μm, 125μm και 63μm. Στο τελευταίο κόσκινο των 63μm τοποθετείται ένα ταψί για να συλλεχθεί η διερχόμενη σκόνη η παιπάλη. Τα κόσκινα κατανέμονται στο μηχάνημα από το μικρότερο στο μεγαλύτερο ανάλογα με τη διάμετρο που έχουν οι οπές του. Έπειτα το δείγμα τοποθετείται στα κόσκινα και για 10' εκτελείται μηχανική ανάδευση. Ο τρόπος αυτός εξυπηρετεί στην επιτάχυνση του κοσκινίσματος.



Εικόνα 16. Πύργος κοσκίνων (ΠΑ.Δ.Α.)

## Προετοιμασία δειγμάτων για XRD:

Αρχικά για την ανάλυση των δειγμάτων έπρεπε να γίνει η κονιορτοποίηση σε γουδί από αχάτη. Το δείγμα πριν τοποθετηθεί στον ειδικό υποδοχέα του μηχανήματος περνάει από κόσκινο με μέγεθος οπών 100  $\mu\text{m}$ . Μόνο το δείγμα που θα περάσει από το κόσκινο αυτό τοποθετείται στη συσκευή XRD. Στη συνέχεια, το δείγμα τοποθετείται στο δειγματοφορέα του μηχανήματος (Εικ. 9), ο οποίος με τη σειρά του τοποθετείται στην ειδική υποδοχή πριν να ξεκινήσει η ανάλυση. Καθόλη τη διάρκεια της ανάλυσης ο δειγματοφορέας δονείται με σκοπό οι κόκκοι του δείγματος να αλλάζουν συνέχεια θέση έτσι ώστε ένας μεγάλος αριθμός από αυτούς να προσανατολίζεται κατάλληλα ώστε να ικανοποιεί τη συνθήκη του Bragg (Porpe 2015). Για την περιθλασιμετρία ακτινών X χρησιμοποιείται λυχνία χαλκού ή κοβαλτίου. Στην συσκευή που χρησιμοποιήθηκε πιο συγκεκριμένα ήταν λυχνία κοβαλτίου. Έγιναν αναλύσεις XRD τόσο σε όλο το δείγμα όσο και στην παιπάλη που προέκυψε από την κοκκομετρική ανάλυση.



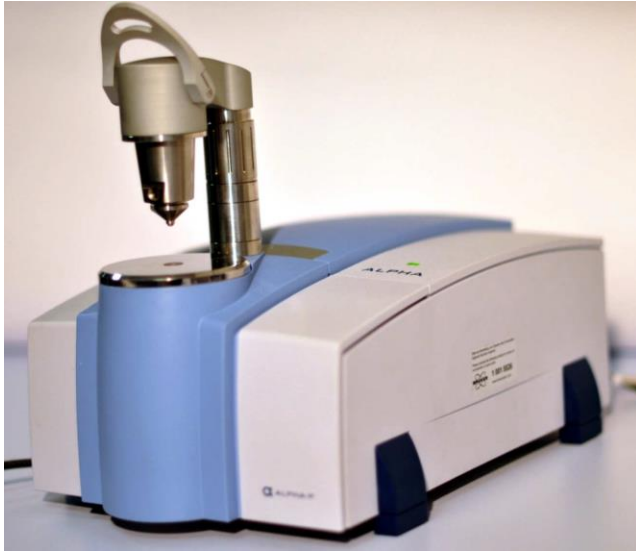
Εικόνα 17. Τοποθέτηση δείγματος στο δειγματοφορέα.

Για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα X Powder Ver. 2010.01.12 PRO.

### Προετοιμασία δειγμάτων για FTIR:

Για την ανάλυση του FTIR χρησιμοποιήθηκε η παιπάλη η οποία προκύπτει από την κοκκομετρία και το κλάσμα των 500μm όπου κονιοροτοποιήθηκε σε γουδί από αχάτι. Τα δείγματα τοποθετούνται σε ειδικό δειγματοφορέα του μηχανήματος και πραγματοποιείται η φασματοσκοπική μέτρηση μέσω της τεχνικής της φασματοσκοπίας υπερύθρου μετασχηματισμού Fourier. Το φάσμα λαμβάνεται με μορφή:  $T \% = f(\lambda)$ .

Για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SpectraGryph 1.2. Ο τύπος του FTIR είναι Bruker Alpha P spectrometer with DGTS detector and diamond ATR accessory όπως φαίνεται στην Εικόνα 16.



Εικόνα 18. FTIR (<https://www.imperial.ac.uk/vibrational-spectroscopy-and-chemical-imaging/facilities/ftir-spectrometers/>)

### Προετοιμασία δειγμάτων για MIP:

Αρχικά το δείγμα ζυγίζεται και καταγράφεται το βάρος του. Το δείγμα τοποθετείται στο ειδικό γυάλινο δειγματοφορέα. Στο στόμιο του τοποθετείται βαζελίνη προκειμένου να εξασφαλιστεί η στεγανότητα και εν συνεχεία σφραγίζεται βιδώνοντας το ειδικό καπάκι. Το δείγμα ζυγίζεται εκ νέου μαζί με το δειγματοφορέα του. Ο τύπος του ποροσίμετρου που χρησιμοποιήθηκε είναι Quantachrome Poremaster 60 Instrument όπως φαίνεται και στην Εικόνα 17.



Εικόνα 19. Ποροσίμετρο (Φωτογραφία από σημειώσεις μαθήματος Επιστήμης Ανόργανων Υλικών, Φακορέλλης)

Μέτρηση με χαμηλή πίεση :

Αρχικά προστίθεται σε ειδικό δοχείο Dewar ποσότητα υγρού αζώτου (N) μέσα στο οποίο εμβαπτίζεται ένας γυάλινος σωλήνας της συσκευής σχήματος U προκειμένου να παγιδευτεί εκεί ενδεχόμενη υγρασία. Εν συνεχεία ανοίγει το μηχανήμα και αφαιρείται το προστατευτικό του υποδοχέα. Τοποθετείται ο δειγματοφορέας στον υποδοχέα του μηχανήματος και σφραγίζεται ξανά.

Εφόσον τελειώσει η διαδικασία μέτρησης με χαμηλή πίεση (low pressure) περνάμε στη μέτρηση με υψηλή πίεση (high pressure).

Τα στάδια προετοιμασίας του μηχανήματος για μέτρηση με υψηλή πίεση έχουν ως εξής :

Ζυγίζεται το δείγμα μαζί με το δειγματοφορέα και τον υδράργυρο που προστέθηκε κατά την προηγούμενη πίεση έπειτα από τις πρώτες μετρήσεις σε low pressure. Προετοιμάζεται ο δεύτερος υποδοχέας για τη μέτρηση σε υψηλή πίεση. Ξεβιδώνεται και αφαιρείται το προστατευτικό του. Ο συγκεκριμένος υποδοχέας περιέχει στο εσωτερικό του λάδι για την καλύτερη διείσδυση του υδραργύρου στο δείγμα. Το λάδι βοηθάει να εξασκηθεί υψηλή πίεση. Τοποθετείται ο δειγματοφορέας στον υποδοχέα και συμπληρώνεται εάν χρειάζεται η απαραίτητη ποσότητα λαδιού. Ασφαλίζεται ο υποδοχέας και ξεκινάει η μέτρηση.

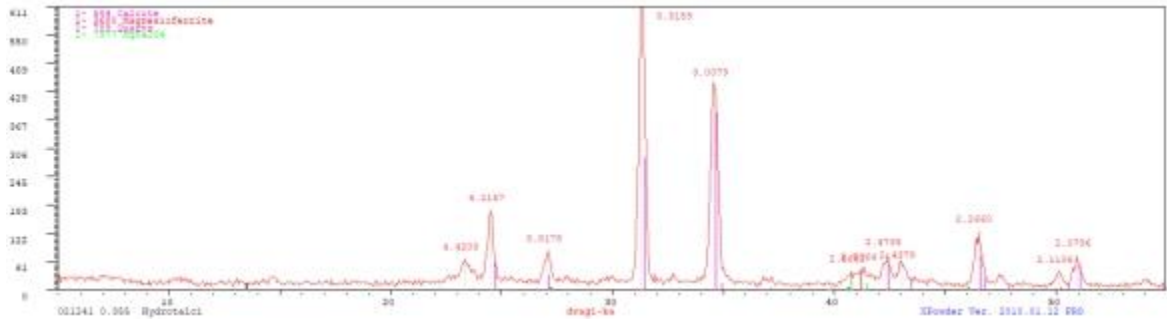
Τέλος, το δείγμα αφαιρείται με ιδιαίτερη προσοχή από το δειγματοφορέα μιας που πλέον στο εσωτερικό και των δύο υπάρχει υδράργυρος. Σε ειδικό δοχείο και με τη χρήση ακετόνης απορρίπτεται τόσο το δείγμα όσο και ο υδράργυρος και ο δειγματοφορέας καθαρίζεται πολύ καλά.

## ❖ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### XRD

Τα αποτελέσματα του XRD παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες και διαγράμματα.

Drag-1:

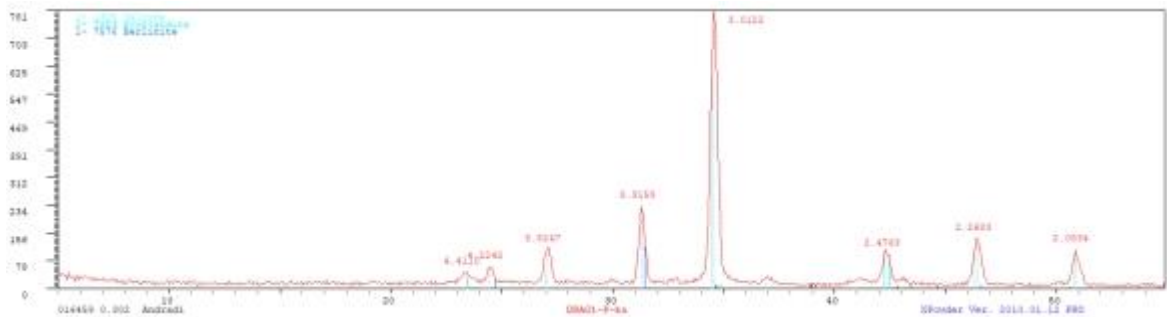


Διάγραμμα 1. Ανάλυση του κονιάματος DRAG-1 (φάσμα από το XPowder).

Πίνακας 1. Κατάλογος ορυκτών δείγματος DRAG-1.

Ορυκτό	Χημικός τύπος	Κατηγορία ορυκτού
Ασβεστίτης	$\text{CaCO}_3$	Ορυκτό του ασβεστίου
Μαγνησιοφερρίτης	$\text{MgFe}_2\text{O}_4$	Ορυκτά οξειδίων
Χαλαζίας	$\text{SiO}_2$	Πυριτιτικό ορυκτό

Drag-2:

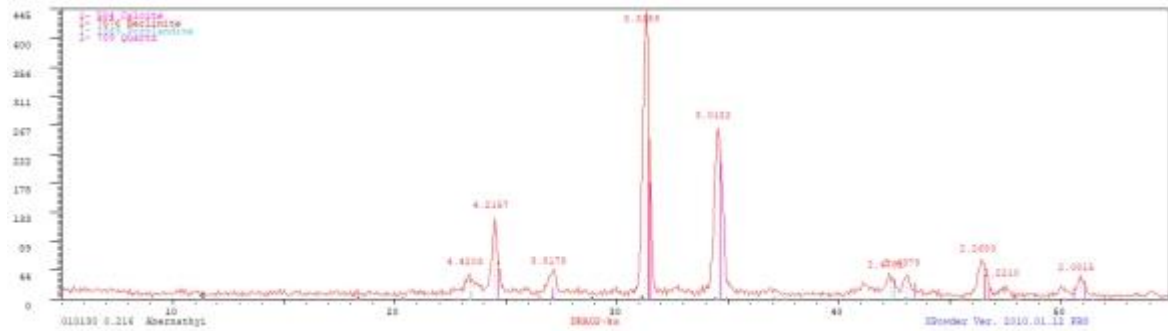


Διάγραμμα 2. Ανάλυση του κονιάματος DRAG-2 (φάσμα από το XPowder).

Πίνακας 2. Κατάλογος ορυκτών δείγματος DRAG-2.

Ορυκτό	Χημικός τύπος	Κατηγορία
Ασβεστίτης	$\text{CaCO}_3$	Ορυκτό του ασβεστίου
Πορτλαντίτης	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Ορυκτά οξειδίων
Μπερλινίτης	$\text{AlPO}_4$	Φωσφορικό ορυκτό

Παιπάλη:



Διάγραμμα 3. Ανάλυση της παιπάλης του κονιάματος (φάσμα από το XPowder).

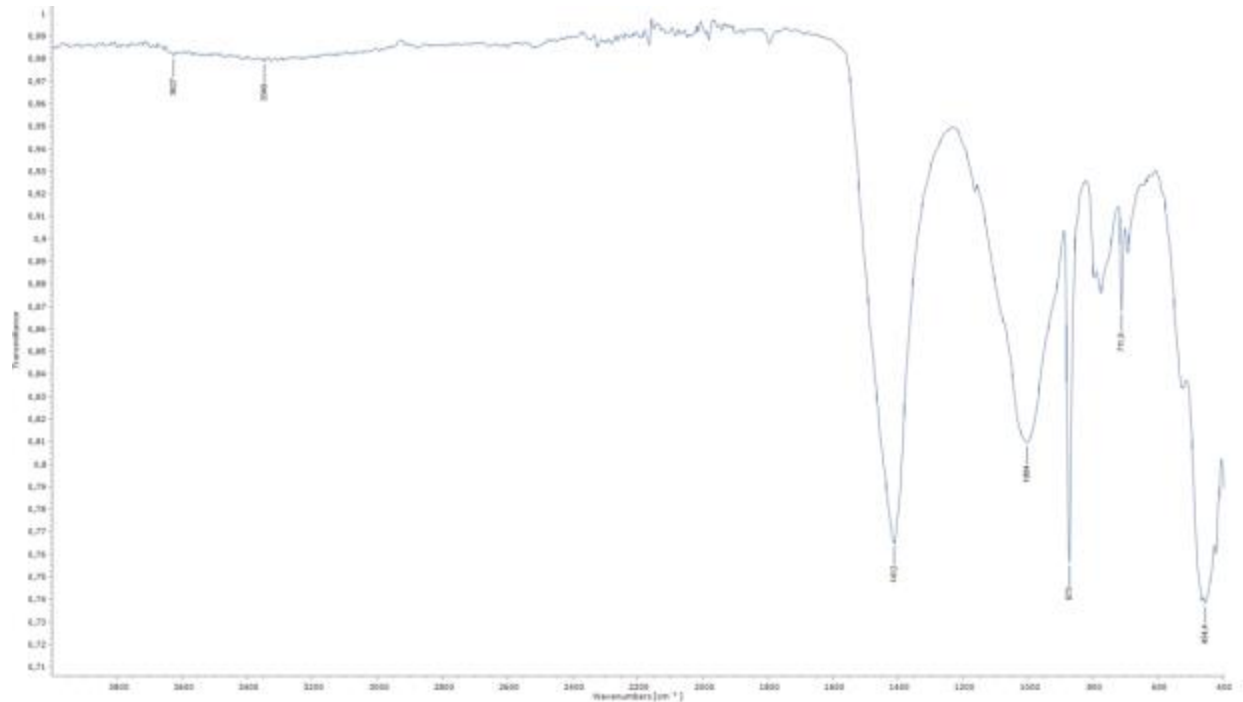
Πίνακας 3. Κατάλογος ορυκτών της παιπάλης.

Ορυκτό	Χημικός τύπος	Κατηγορία
Ασβεστίτης	CaCO <sub>3</sub>	Ορυκτό του ασβεστίου
Πορτλαντίτης	Ca(OH) <sub>2</sub>	Ορυκτά οξειδίων
Μπερλινίτης	AlPO <sub>4</sub>	Φωσφορικό ορυκτό
Χαλαζίας	SiO <sub>2</sub>	Πυρριτικό ορυκτό

Στις αναλύσεις του κονιάματος κυρίαρχη κρυσταλλική φάση είναι η ασβεστιτική με έντονη παρουσία ασβεστίτη (CaCO<sub>3</sub>) καθώς και υδροξείδιο του ασβεστίου (πορτλαντίτη). Επιπλέον περιέχονται πυριτικά ορυκτά όπως ο χαλαζίας (SiO<sub>2</sub>) αλλά και φωσφορικά ορυκτά όπως ο μπερλινίτης (AlPO<sub>4</sub>).

## FTIR

Το φάσμα του FTIR από το δείγμα DRAG-1 περιέχει ανθρακικό ασβέστιο, πυριτικές ενώσεις (Si-O) και αλκοόλες (Διάγραμμα 4 και Πίνακας 4).



Διάγραμμα 4. Φάσμα του δείγματος DRAG-1 με τις κορυφές του.

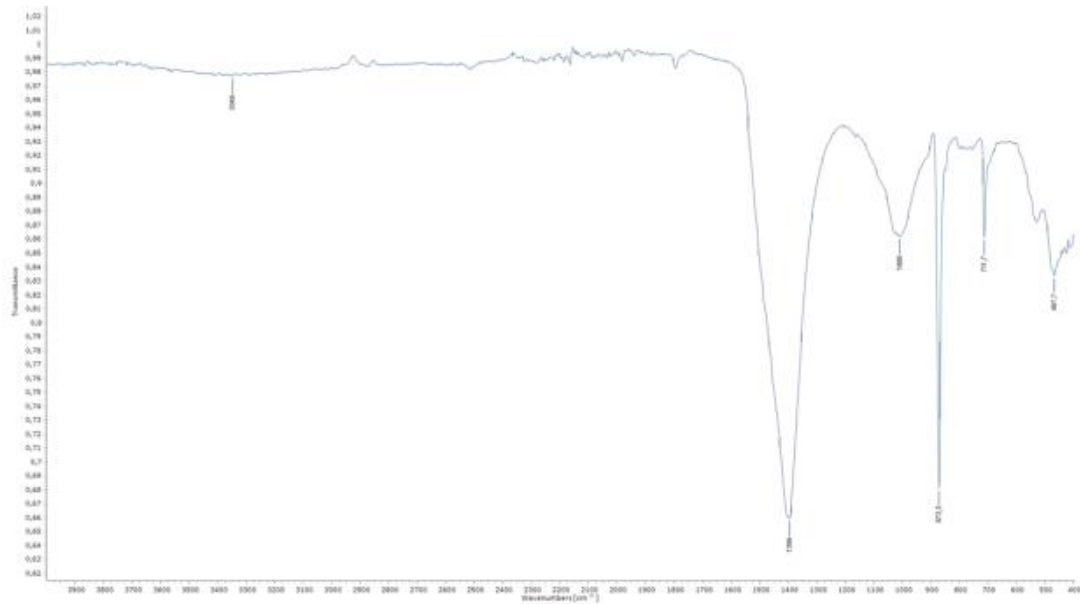
Πίνακας 4. Πίνακας αποτελεσμάτων FTIR του δείγματος DRAG-1.

Drag-1	Κορυφές (cm <sup>-1</sup> )	Παρατηρήσεις
Ανθρακικό ασβέστιο (CaCO <sub>3</sub> )	1412 - 454,5	
Πυριτικές ενώσεις(Si- O) αλκοόλες(-OH)	1004 - 873 - 711 3627 - 3349	

#### Drag-1 παιπάλη

Το φάσμα του FTIR από την παιπάλη του δείγματος DRAG-1 περιέχει ανθρακικό ασβέστιο (CaCO<sub>3</sub>), πυριτικές ενώσεις (Si-O και υδροξύλια (O-H) τα οποία προσδίδουν την παρουσία χαρακτηριστικού νερού δηλαδή την παρουσία ένυδρης γύψου (Διάγραμμα 5 και Πίνακας 5).





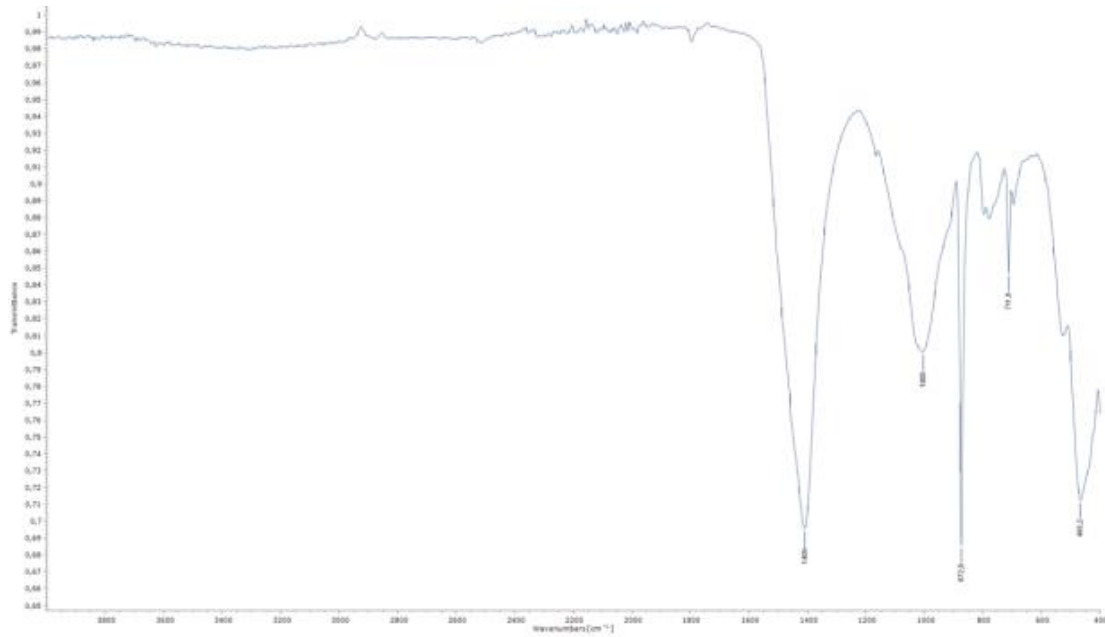
Διάγραμμα 5. Φάσμα της παιπάλης του δείγματος DRAG-1 με τις κορυφές του.

Πίνακας 5. Πίνακας αποτελεσμάτων FTIR της παιπάλης του δείγματος DRAG-1.

Drag-1 παιπάλη	Κορυφές (cm <sup>-1</sup> )	Παρατηρήσεις
Ανθρακικό ασβέστιο (CaCO <sub>3</sub> )	1397	
Υδροξύλια (O-H)	3384 - 3302	Χαρακτηριστικά νερά
Πυριτικές ενώσεις (Si-O)	1011 - 872 - 711 - 469	

## Drag-2

Το φάσμα του FTIR από το δείγμα DRAG-2 περιέχει ανθρακικό ασβέστιο (CaCO<sub>3</sub>), οξείδια του πυριτίου (SiO<sub>2</sub>) και νιτρικά άλατα (Διάγραμμα 6 και Πίνακας 6).



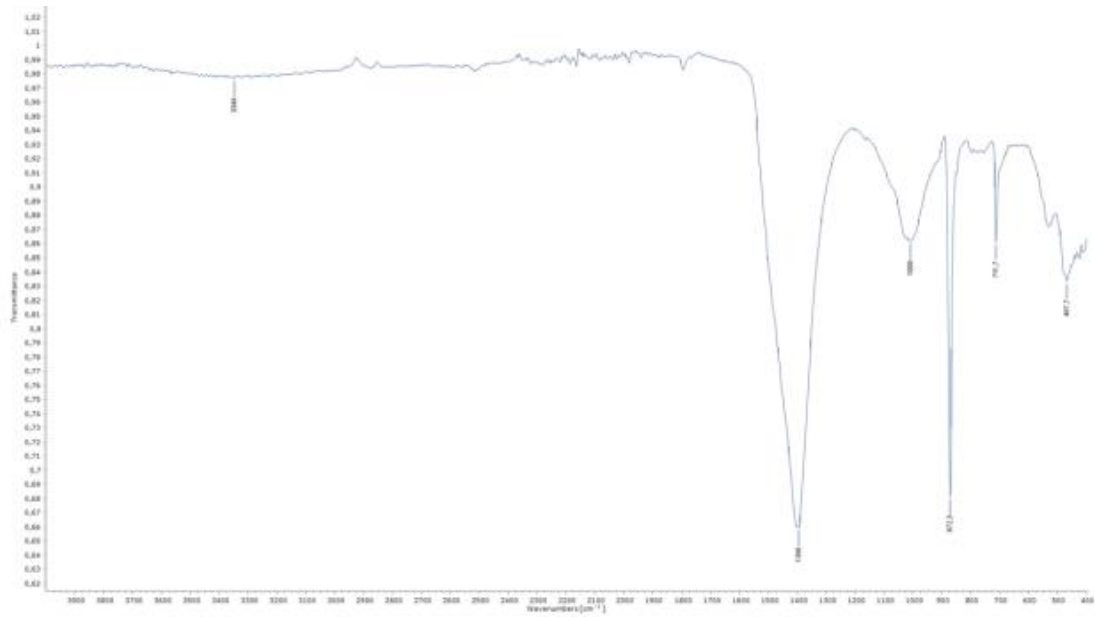
Διάγραμμα 6. Φάσμα του δείγματος DRAG-2 με τις κορυφές του.

Πίνακας 6. Πίνακας αποτελεσμάτων FTIR του δείγματος DRAG-2.

Drag-2	Κορυφές (cm <sup>-1</sup> )	Παρατηρήσεις
Ανθρακικό ασβέστιο (CaCO <sub>3</sub> )	465	
Οξείδια του πυριτίου (SiO <sub>2</sub> )	1005 - 872 - 711	
Νιτρικά άλατα	1409	Βιολογική φθορά από νιτροπαραγωγικά βακτήρια

### Drag-2 παιπάλη

Το φάσμα του FTIR από την παιπάλη του δείγματος DRAG-2 περιέχει ανθρακικό ασβέστιο (CaCO<sub>3</sub>), οξείδια του πυριτίου (SiO<sub>2</sub>) και υδροξύλια (O-H) τα οποία προσδίδουν την ύπαρξη χαρακτηριστικού νερού δηλαδή της ένυδρης γύψου (Διάγραμμα 7 και Πίνακας 7).

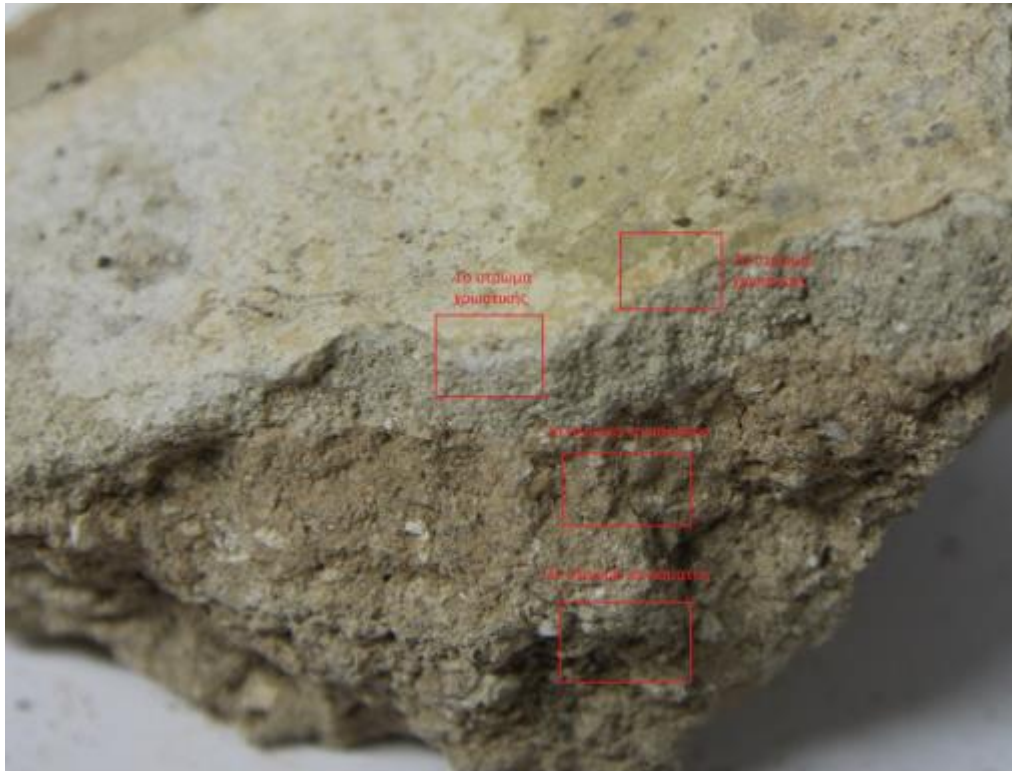


Διάγραμμα 7. Φάσμα της παιπάλης του δείγματος DRAG-2 με τις κορυφές του.

Πίνακας 7. Πίνακας αποτελεσμάτων FTIR της παιπάλης του δείγματος DRAG-2.

Drag-2 παιπάλη	Κορυφές (cm <sup>-1</sup> )	Παρατηρήσεις
Ανθρακικό ασβέστιο (CaCO <sub>3</sub> )	2515 - 1799 - 1432 - 875 - 713	
Οξείδια πυριτίου(SiO <sub>2</sub> ) του	1008 - 872 - 711 - 467	
Υδροξύλια (O-H)	3349	Χαρακτηριστικά νερά

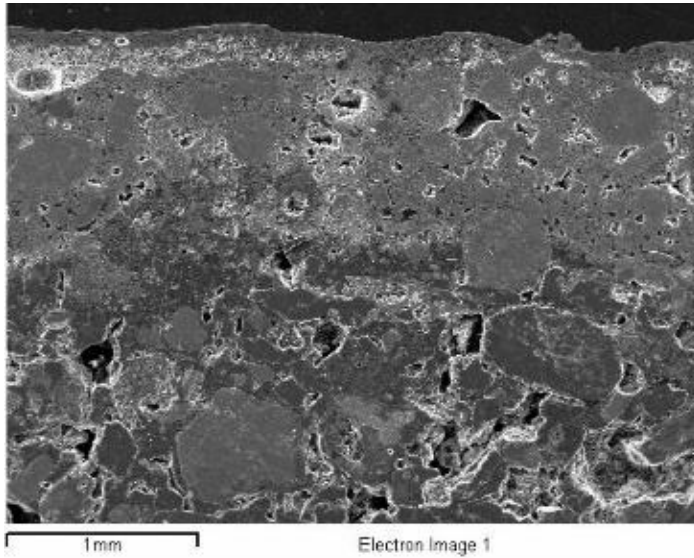
Στην Εικ. 11 φαίνεται το συνολικό δείγμα και η στρωματογραφία των διαφορετικών κονιαμάτων και των χρωστικών.



Εικόνα 20. Στρωματογραφία του δείγματος και τα σημεία όπου εγκιβωτίστηκαν για το SEM/EDS.

Γενική ανάλυση:

Στην γενική ανάλυση του δείγματος εμφανίζεται ως κύρια στοιχεία το ασβέστιο (Ca), το πυριτίο (Si), το αργίλιο (Al) και ο σίδηρος (Fe). Επιπλέον εντοπίζονται και δευτερεύοντα στοιχεία σε μικρότερες συγκεντρώσεις, όπως το Mg, που θα αναλυθούν στο κάθε στρώμα (Εικόνα 18 και Πίνακας 8) .



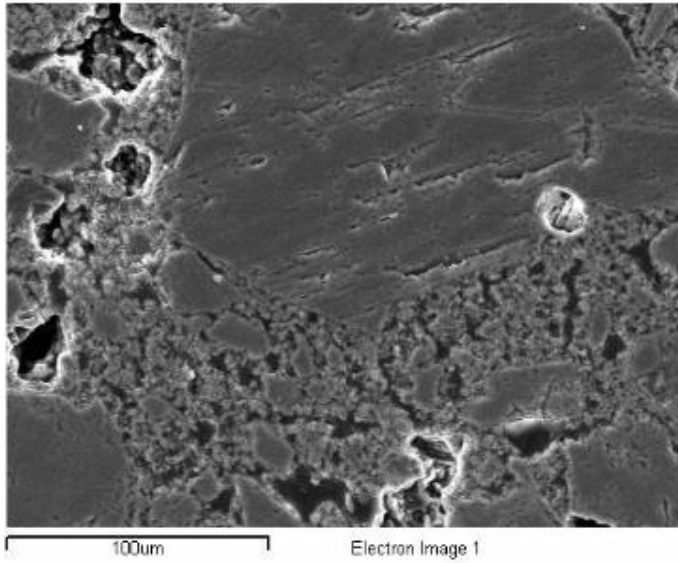
Εικόνα 21. Γενική ανάλυση δείγματος.

Πίνακας 8. Στοιχεία που περιέχονται στη γενική ανάλυση.

Στοιχείο	Περιεκτικότητα (%)
Ca	43,96
Si	13,26
Al	2,00
Fe	1,83
Mg	1,07

Παρακάτω παραθέτονται οι αναλύσεις του κάθε στρώματος κονιάματος.

Το δείγμα Drag-1 που είναι το 1ο στρώμα κονιάματος:

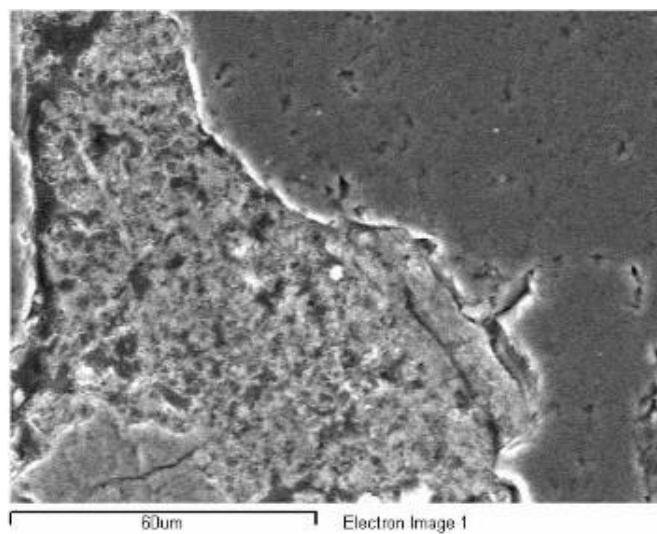


Εικόνα 22. Στρώμα κονιάματος Drag-1.

Πίνακας 9. Στοιχεία που περιέχονται στην ανάλυση του 1<sup>ου</sup> στρώματος κονιάματος (Drag-1).

Στοιχείο	Περιεκτικότητα (%)
Ca	61,55
Mg	3,26
Si	3,24
Al	0,26

2ο στρώμα κονιάματος (Drag-2):



Εικόνα 23. Στρώμα κονιάματος Drag-2.

Πίνακας 10. Στοιχεία που περιέχονται στην ανάλυση του 2<sup>ου</sup> στρώματος κονιάματος (Drag-2).

Στοιχείο	Περιεκτικότητα (%)
Ca	58,38
Si	3,82
Al	2,52
Fe	1,15
Mg	0,98
Mn	0,48
K	0,32
Ti	0,13

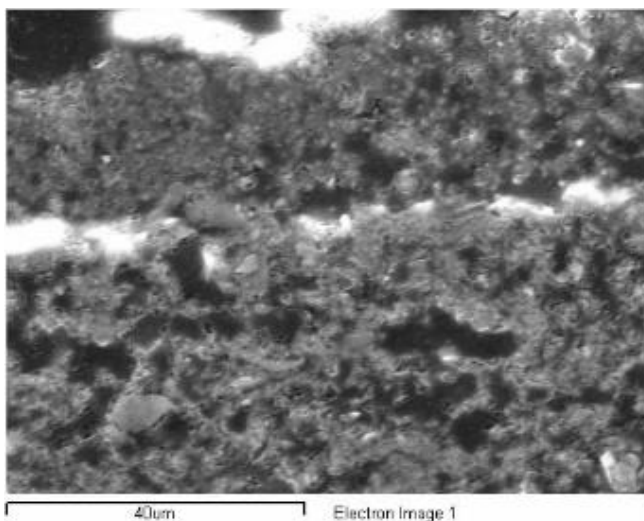
Σύγκριση των δύο κονιαμάτων:

Τα κύρια χημικά στοιχεία του δείγματος Drag-1 είναι το ασβέστιο (Ca), το μαγνήσιο (Mg) και το πυρίτιο (Si) ενώ στο δείγμα Drag-2 βασικά χημικά στοιχεία είναι το ασβέστιο (Ca), το αργίλιο (Al) και το πυρίτιο (Si). Το δείγμα Drag-2 επίσης περιέχει σίδηρο (Fe), κάλιο (K) και μαγγάνιο (Mn). Σε πολύ μικρή συγκέντρωση περιέχεται επίσης και τιτάνιο (Ti).

Το δείγμα Drag-1 είναι ασβεστιτικό κονίαμα που επιβεβαιώνεται με την παρουσία Ca ενώ το δείγμα Drag-2 είναι υδραυλικό ασβεστιτικό κονίαμα λόγω της πιο έντονης παρουσίας Si και Al.

Επιπλέον αναλύθηκαν και οι στρώσεις χρωστικής του δείγματος ώστε να προκύψει ένα συμπέρασμα σχετικά με το χρώμα.

DRAG-3 (1ο στρώμα χρωστικής):

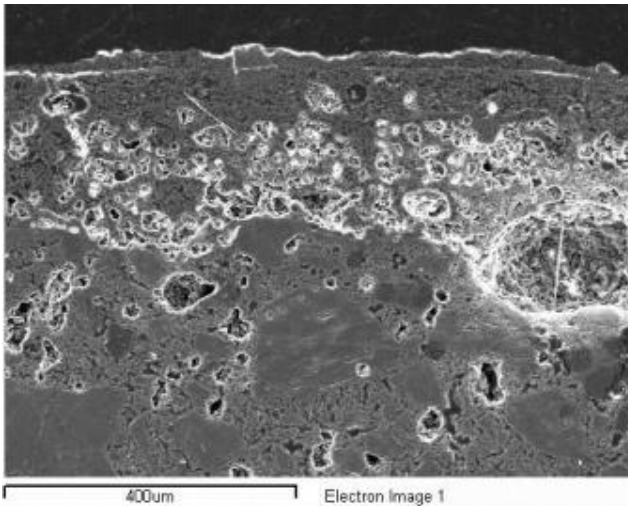


Εικόνα 24. 1<sup>ο</sup> στρώμα χρωστικής.

Πίνακας 11. Στοιχεία που περιέχονται στο 1<sup>ο</sup> δείγμα της χρωστικής.

Στοιχείο	Περιεκτικότητα (%)
Ca	52,36
Si	3,01
Fe	2,71
P	2,39
S	1,81
Mg	1,62
Al	1,35

DRAG-4 (2ο στρώμα χρωστικής):



Εικόνα 25. 2<sup>ο</sup> στρώμα χρωστικής.

Πίνακας 12. Στοιχεία που περιέχονται στο 2<sup>ο</sup> δείγμα της χρωστικής.

Στοιχείο	Περιεκτικότητα (%)
Ca	53,65
Si	5,59
Mg	2,07
Al	1,40
Fe	1,30
P	1,07
S	0,60

Σύγκριση των χρωστικών:

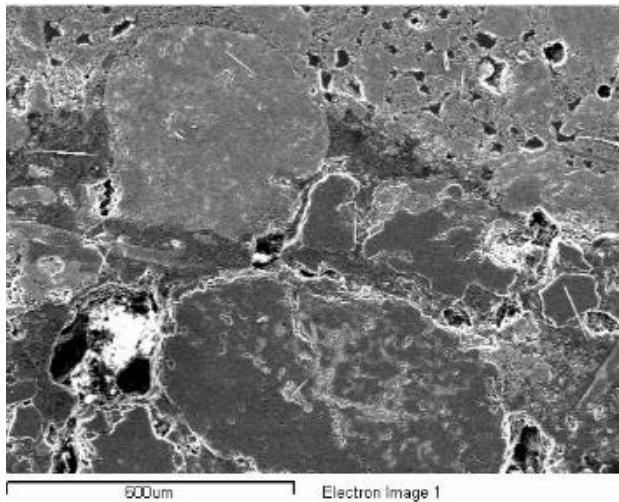
Η βασική διαφορά των δύο χρωστικών εντοπίζεται στον σίδηρο (Fe). Τα



υπόλοιπα χημικά στοιχεία έχουν παρόμοιες συγκεντρώσεις και στα δύο δείγματα (Πίνακας 11 και 12). Η παρουσία σιδήρου μπορεί να υποδηλώνει την ύπαρξη οξειδίων και υδροξειδίων του τρισθενούς σιδήρου (Overbeek K.H., 1998). Η ύπαρξη οξειδίων και υδροξειδίων υποδηλώνει τη παρουσία λειμωνίτη ( $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) γεγονός που σημαίνει πως το χρώμα που προκύπτει να είχε το δείγμα είναι καφέ (Mindat, 2024). Το DRAG-3 που έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση Fe έχει πιο σκούρα απόχρωση της ώχρας ενώ το DRAG-4 έχει μια πιο ανοιχτή απόχρωση κίτρινου-μπεζ χρώματος.

Επίσης έγιναν αναλύσεις και στα αδρανή με σκοπό να γίνει ο προσδιορισμός τους.

Το πρώτο αδρανές είναι πυριτικό λόγω του βασικού του στοιχείου που είναι το Si, ενώ τα δευτερεύοντα είναι σε πολύ μικρότερη ποσότητα (Ti και Ca) όπως φαίνεται στον Πίνακα 13.

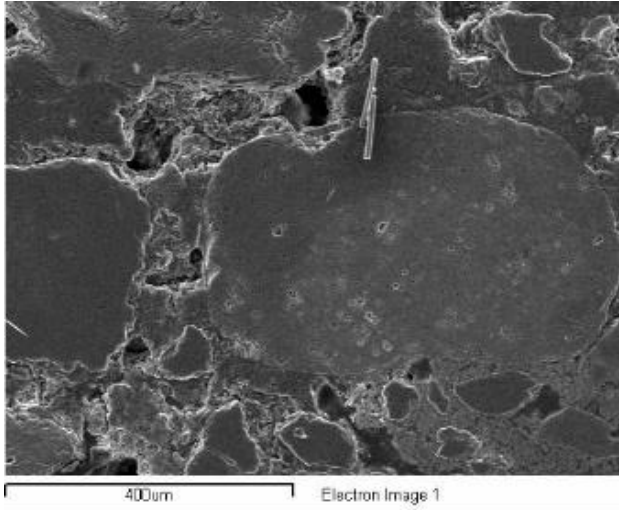


Εικόνα 26.Αδρανές 1 δείγματος.

Πίνακας 13. Στοιχεία που περιέχονται στο αδρανές 1.

Στοιχείο	Περιεκτικότητα (%)
Si	46,32
Ti	0,45
Ca	0,11

Το Αδρανές 2 είναι επίσης πυριτικό λόγω της ύπαρξης Si και της έλλειψης άλλων στοιχείων (Πίνακας 14).

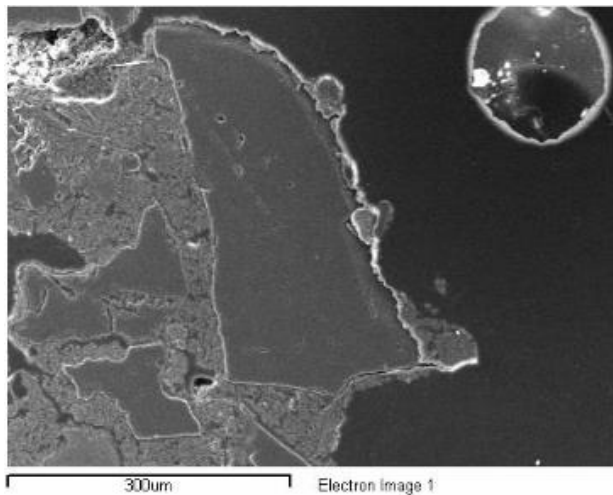


Εικόνα 27. Αδρανές 2 του δείγματος.

Πίνακας 14. Στοιχείο που περιέχεται στο Αδρανές 2.

Στοιχείο	Περιεκτικότητα (%)
Si	46,72

Το τρίτο αδρανές που αναλύθηκε είναι επίσης πυριτικό (Πίνακας 15).



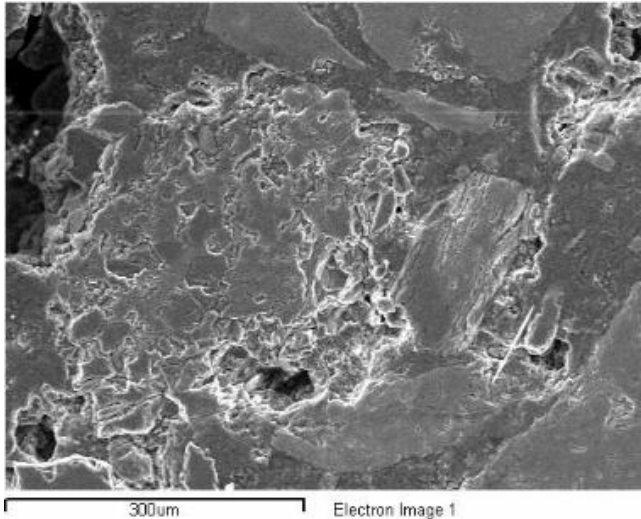
Εικόνα 28. Αδρανές 3.

Πίνακας 15. Στοιχείο που περιέχεται στο Αδρανές 3.

Στοιχείο	Περιεκτικότητα (%)
Si	46,74

Συνεπώς τα αδρανή 1, 2 και 3 είναι πυριτικά αδρανή ( $\text{SiO}_2$ ).

Παρακάτω παρουσιάζεται η ανάλυση του Αδρανές 4.



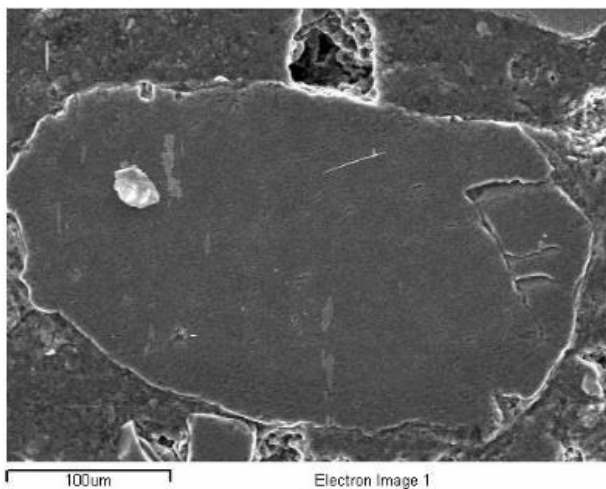
Εικόνα 29. Αδρανές 4 του δείγματος.

Πίνακας 16. Στοιχείο που περιέχεται στο Αδρανές 4.

Στοιχείο	Περιεκτικότητα (%)
Si	25,49
Al	11,59
Ca	7,62
Fe	4,55
Na	3,66

Το συγκεκριμένο αδρανές είναι άστριος ( $KAlSi_3O_8$ ) σύμφωνα με τον Πίνακα 16.

Το αδρανές 5 είναι αργιλοπυριτικό διότι τα κύρια στοιχεία του είναι το Si και το Al σύμφωνα με τον Πίνακα 17.

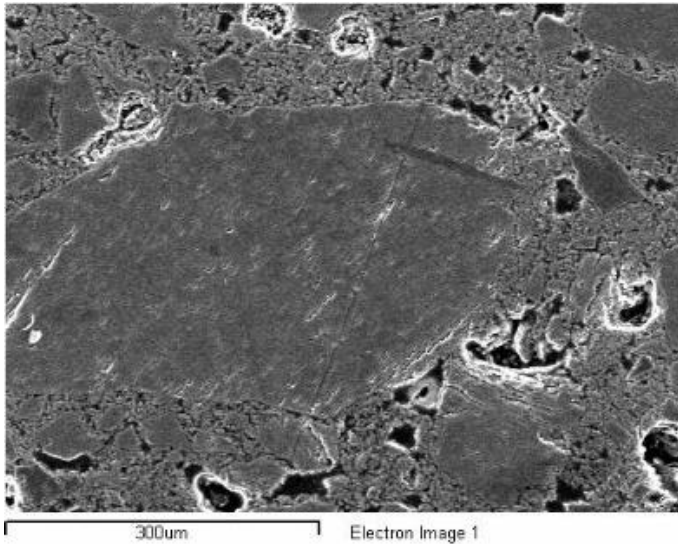


Εικόνα 30. Αδρανές 5.

Πίνακας 17. Στοιχεία που περιέχονται στο αδρανές 5.

Στοιχείο	Περιεκτικότητα (%)
Si	33,01
Al	9,80
Na	7,35
Ti	0,32
Ca	0,30

Παρακάτω παρουσιάζεται η ανάλυση του αδρανούς 6.



Εικόνα 31. Αδρανές 6.

Πίνακας 18. Στοιχεία που περιέχονται στο αδρανές 6.

Στοιχείο	Περιεκτικότητα (%)
Ca	69,97
Mg	1,01
Si	0,20

Το αδρανές 6 είναι ασβεστιτικό.

Τα αδρανή του κονιάματος είναι κατά βάση πυριτικά ( $\text{SiO}_2$ ). Ωστόσο περιέχονται κι άλλα αδρανή όπως είναι οι άστριοι (Αδρανές 4), αργυλοπυριτικά (Αδρανές 5) και ασβεστιτικά (Αδρανές 6).

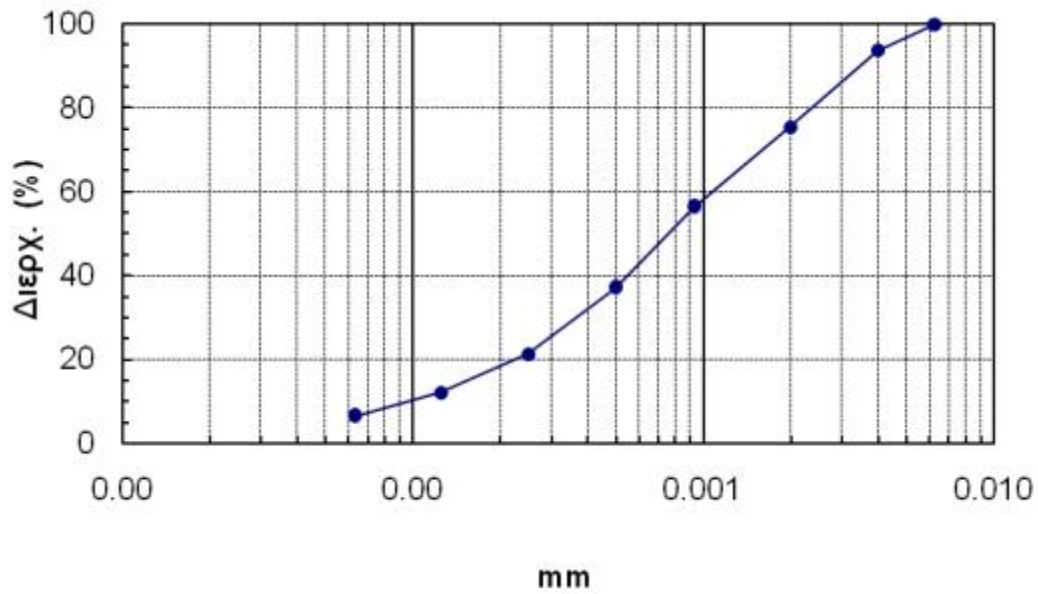
## ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Δείγμα DRAG-1

Στο δείγμα Drag-1 ο διαχωρισμός των αδρανών έγινε με σχετική ευκολία.

Πίνακας 19. Δείγμα DRAG-1

Βάρος	$M_1$	104,980	g
Βάρος μετά τη ξήρανση	$M_2$	103,610	g
Μάζα κλάσματος <63 $\mu\text{m}$	$P + M_1 - M_2$	7,0	g
Ποσοστό κλάσματος <63 $\mu\text{m}$	$f$	6,7	%
<b>κόσκινο</b> <b>mm</b>	<b>Εναπομείναν</b> <b>ποσοστό</b>	<b>Διερχόμενο ποσοστό</b>	
	<b>g</b>	<b>%</b>	<b>g</b>
			<b>%</b>
6,3	0	0,0	105,0
4	6,48	6,2	98,500
2,0	19,206	18,3	79,3
1	20,074	19,1	59,2
0,500	20,278	19,3	38,9
0,250	16,667	15,9	22,3
0,125	9,59	9,1	12,7
0,063	5,963	5,7	6,7
Ταψί (P)	5,622	5,4	



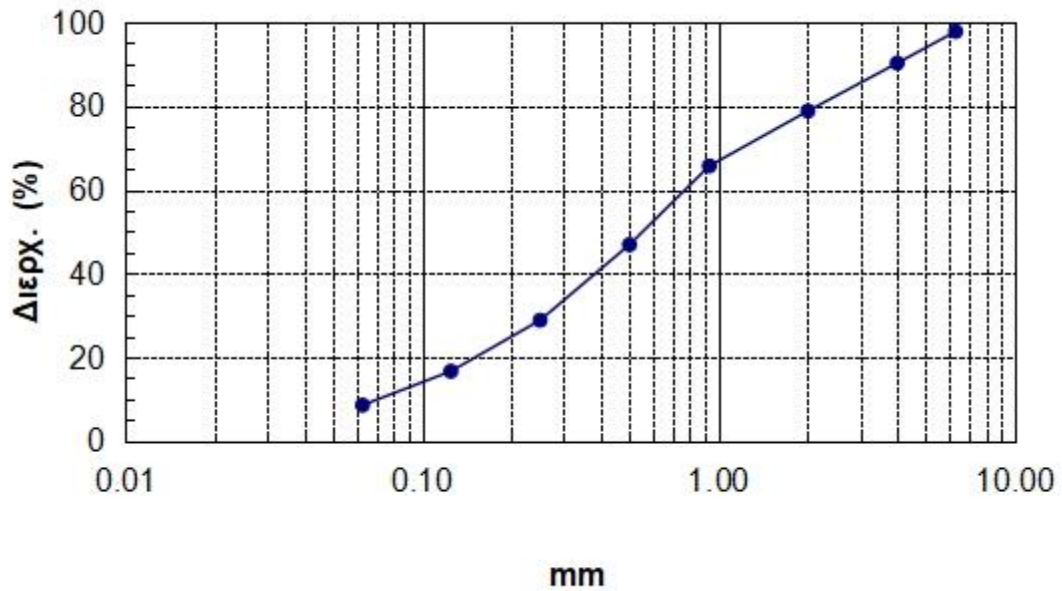
Διάγραμμα 8. Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος DRAG-1.

Δείγμα DRAG-2

Πίνακας 20. Δείγμα DRAG-2

Weight	$M_1$	100,540	g	
Weight after the drying	$M_2$	99,944	g	
Μάζα κλάσματος <63 $\mu\text{m}$	$P + M_1 - M_2$	8,6	g	
Ποσοστό κλάσματος <63 $\mu\text{m}$	$f$	8,6	%	
<b>SIEVE</b>	<b>Retained material</b>		<b>Cumulative percentages passing</b>	
<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>%</b>	<b>g</b>	<b>%</b>
6,3	2,188	2,2	98,4	97,8
4	7,5995	7,6	90,753	90,3
2,0	11,4978	11,4	79,3	78,8
1	13,1994	13,1	66,1	65,7
0,500	18,9143	18,8	47,1	46,9
0,250	18,138	18,0	29,0	28,8
0,125	12,2499	12,2	16,8	16,7










0,063	8,1375	8,1	8,6	8,6
Ταψί (P)	8,019	8,0		



Διάγραμμα 9. Κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος DRAG-2.

Ακολουθεί συγκριτικός πίνακας με φωτογραφίες από το κάθε κλάσμα που προκύπτει από την κοκκομετρική διαβάθμιση των δειγμάτων (Πίνακας 21).

Πίνακας 21. Συγκριτικός πίνακας αποτελεσμάτων κοκκομετρικής ανάλυσης.

Μέγεθος κόκκων	DRAG 1	DRAG 2
6,3mm		
4mm		
2mm		
1mm		
500μm		



250 $\mu$ m



125 $\mu$ m



63 $\mu$ m



παιπάλη



Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης των δύο δειγμάτων παρουσιάζουν μια εμφανή χρωματική διαφορά στα αδρανή καθώς και στην παιπάλη. Τα αδρανή του δείγματος Drag-2 είναι πιο κοκκινωπά συγκριτικά με τα αδρανή του δείγματος Drag-1 που είναι πιο υπόλευκα με έναν πιο πράσινο χρωματικό τόνο. Η διαφορά αυτή είναι εμφανής και στην οπτική παρατήρηση του δείγματος όπου ο διαχωρισμός των δύο κονιαμάτων είναι διακριτός (βλ. Σελ. ).

Πίνακας 22. Συντελεστής ομοιομορφίας και βαθμός διαβάθμισης των δειγμάτων.

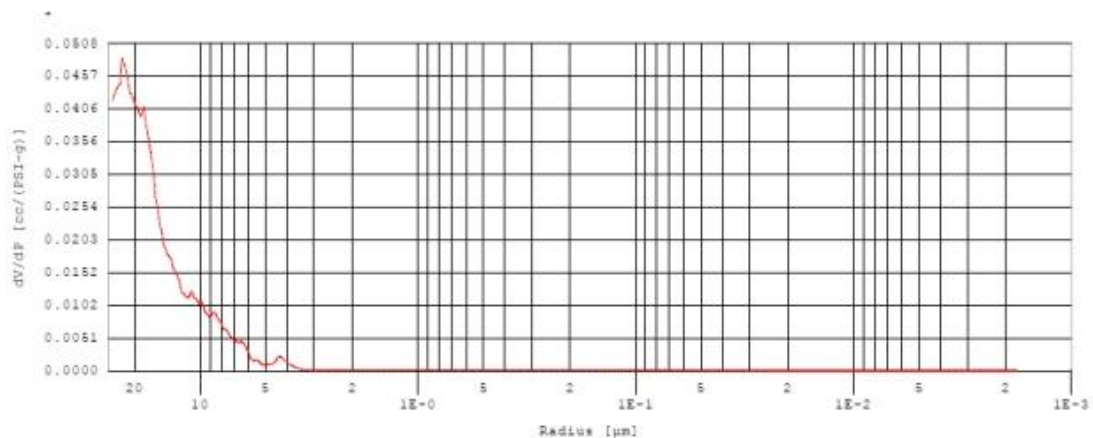
Δείγμα	Συντελεστής ομοιομορφίας (Cu)	Βαθμός διαβάθμισης (Cc)
DRAG-1	3,14	0,01
DRAG-2	2,96	0,02

Τα δύο δείγματα παρουσιάζουν αδρανή παρόμοιας ορυκτολογικής σύστασης και χαρακτηρίζονται ως μη καλά κατανεμημένα λόγω του συντελεστή ομοιομορφίας (βλ. Σελ. 17). Σύμφωνα με το βαθμό διαβάθμισης τα κονιάματα ορίζονται ως μη καλά κλασματοποιημένα (gar-graded) (βλ. Σελ. 17). Οι παραπάνω ατέλειες προκύπτουν λόγω της έλλειψης τεχνογνωσίας της εποχής επηρεάζοντας το κονιάμα και τις αντοχές του (Mehta and Monteiro 2001).

## ΠΟΡΟΣΙΜΕΤΡΙΑ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ (MIP)

DRAG-1

Κάτω στρώμα κονιάματος

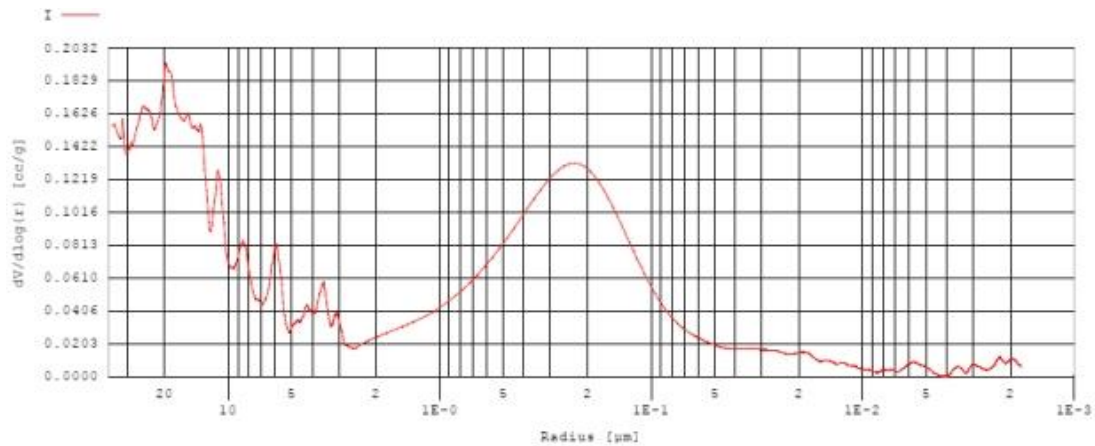


Διάγραμμα 10. Δείγμα DRAG-1.

Η διάμετρος των πόρων του κονιάματος είναι λίγο μεγαλύτερη από 20μm και στη συνέχεια μειώνεται έως ότου φτάσει τα 5μm όπου πλέον δεν υπάρχουν πόροι στο δείγμα.

DRAG-2

Τσιμέντο

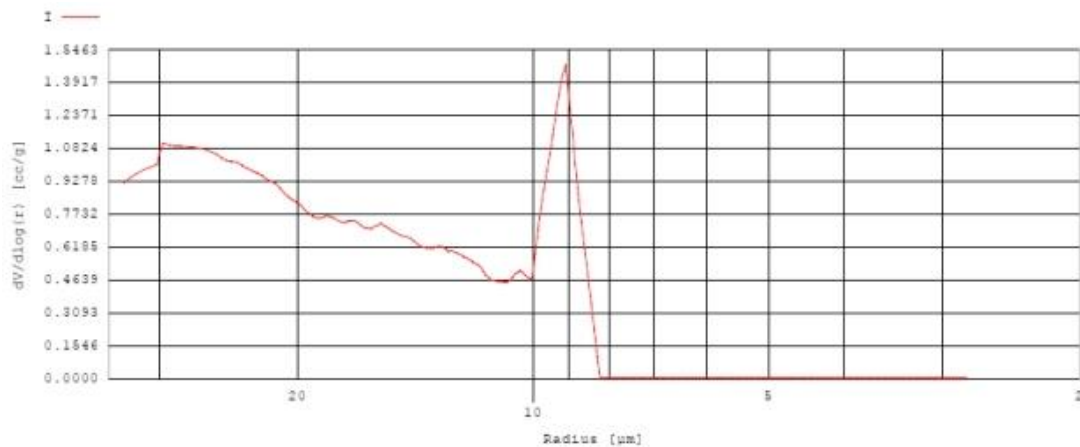


Διάγραμμα 11. Δείγμα DRAG-2.

Όπως διακρίνεται στο διάγραμμα η διάμετρος των πόρων του τσιμέντου δεν έχει μια σταθερή διαβάθμιση. Ξεκινώντας από τα 20-22 $\mu\text{m}$  η διάμετρος αυξάνεται για να φτάσει στο σημείο να μειώνεται από τα 20 στα 10 $\mu\text{m}$ . Η διάμετρος των πόρων του τσιμέντου δεν είναι καλά διαβαθμισμένη.

### DRAG-3

Ζωγραφική επιφάνεια.



Διάγραμμα 12. Δείγμα DRAG-3 (ζωγραφική επιφάνεια)

Η ακτίνα πόρων του δείγματος ξεκινάει λίγο πιο πάνω από τα 30 $\mu\text{m}$  στη συνέχεια μειώνεται με μη συστηματικό τρόπο, μετά εμφανίζει μια έντονη αύξηση και τέλος μια απότομη μείωση. Συνεπώς, η ακτίνα των πόρων παρουσιάζει μια έντονη αύξηση στα 9-10 $\mu\text{m}$  και από τα 9 $\mu\text{m}$  που φτάνει στο ανώτερο σημείο πέφτει κατακόρυφα (8-9 $\mu\text{m}$ ).

## ❖ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων των δειγμάτων μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

Όσον αφορά τη σύνθεση των κονιαμάτων το δείγμα Drag 1 περιέχει ασβεστίτη και μαγνήσιο ενώ περιέχει επίσης και πυρίτιο. Το δείγμα Drag 2 περιέχει ασβεστίτη και εμφανίζει πιο έντονη παρουσία πυριτίου και αργιλίου, όπου σχετίζονται με υδραυλικές ιδιότητες. Συνεπώς το δείγμα Drag 1 θεωρείται ασβεστιτικό κονίαμα ενώ το δείγμα Drag 2 είναι υδραυλικό ασβεστιτικό, δηλαδή τσιμέντο. Τα δύο κονιάματα φαίνεται να διαφέρουν κυρίως στη σύνθεσή τους και στις χημικές τους ιδιότητες.

Τα δύο κονιάματα χαρακτηρίζονται ως μη καλά κλασματοποιημένα και χωρίς ομοιομορφία στα αδρανή τους. Συνεπώς τα αδρανή τους δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα σε σχέση με τα μεγέθη τους. Επιπλέον, εμφανίζουν πόρους με διαφορετικές διαμέτρους, που κυμαίνονται από 5μm έως 20μm. Η μη επαρκής γνώση και εμπειρία στην κατασκευή του κονιάματος οδήγησε σε μη καλή κλασματοποίηση και έλλειψη ομοιομορφίας στα αδρανή. Επιπρόσθετα, και η διάμετρος των πόρων δεν φαίνεται να έχει μια σταθερή διαβάθμιση. Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι αυτές οι ατέλειες να επηρεάζουν αρνητικά τις μηχανικές ιδιότητες και την ανθεκτικότητα του κονιάματος, καθιστώντας το πιο ευάλωτο σε περιβαλλοντικές επιδράσεις και φθορές.

Όσον αφορά στη βαμμένη επιφάνεια ανοιχτού καφέ χρώματος, η παρουσία σιδήρου υποδεικνύει τη χρήση οξειδίων σιδήρου όπως ο λειμωνίτης  $[\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}]$  που συνήθως χρησιμοποιείται σε καφέ χρωστικές. Οι πόροι της βαμμένης επιφάνειας ακολουθούν ένα ιδιαίτερο πρότυπο το οποίο μπορεί να επηρεάσει εμφάνιση της εξωτερικής επιφάνειας.

## ❖ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ-ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Για έναν πιο ολοκληρωμένο χαρακτηρισμό του κονιάματος και για τον χαρακτηρισμό της υδραυλικότητάς του προτείνεται η χρήση Θερμικών τεχνικών, όπως Θερμοσταθμική ανάλυση (TG) και Διαφορική θερμική ανάλυση (DTA). Η Θερμοσταθμική ανάλυση χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας του δείγματος σε νερό, άνθρακα και οργανικά.

## ❖ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

- Βασιλειάδου Μ., 2021, "Διαδικτυακή έκθεση: Η ιστορία του Ίωνος Δραγούμη", Καθημερινή, <https://www.kathimerini.gr/culture/561323056/diadiktyaki-ekthesi-istoria-toy-ionos-dragoymi/>
- Καραβιά Μ., 1989, "Κηφισιά - Ομορφιά και μνήμη", Εκδόσεις Πολιτείας
- Μαρινάκη, Α., Σεπτέμβριος 2004, "Αξιολόγηση πρώτων υλών και κονιαμάτων που χρησιμοποιούνται σε εργασίες Συντήρησης και Αναστήλωσης", Χανιά.
- Παπαλού Ε., 2017, "Οι εξοχικές επαύλης της Κηφισιάς στα τέλη του 19ου και στις αρχές του 20ου αιώνα", Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη
- Πάχτα Β., Παπαγιάννη Ι., Μάρτιος 2013, "Ιστορική εξέλιξη κονιαμάτων δόμησης", Θεσσαλονίκη
- Σκούφιας Α., Τζιουβέλης Σπ., Χουλιάρα Π., 2009, "Η κηποτεχνία στην Ελλάδα τον 19ο και 20ο αιώνα, το παράδειγμα της Κηφισιάς", Αθήνα

### ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Azavedo A.R.G., Vieira C.M.F., Ferreira W..M, Faria K.C.P., Pedroti L.G., Mendes B.C., 2020, "Potential use of ceramic waste as precursor in the geopolymerization reaction for the production of ceramic roof tiles", ELSEVIER, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101156>
- Artioli G., Secco M., Addis A., 2019, "The Vitruvian legacy: mortars and binders before and after the Roman world", EMU Notes in Mineralogy, Vol. 20, Chapter 4, 151-202
- Balksten K., (2010), "Understanding historic mortar and their variations - a condition for performing restorations with traditional materials",
- Derrick, M., R., Stulik, D., Landry, J., M, 1999, << Scientific Tools for Conservation>>, Getty Conservation Institute, Los Angeles
- Dunlap M. and Adaskaveg J.E, 1997, Introduction to the Scanning Electron Microscope. Theory, Practice and Procedures, Facility for advanced instrumentation, U.C.Davis
- Elsen J., Van Balen K., Mertens G., 2010, Hydraulicity in Historic Lime Mortars: A Review", 2nd Historic Mortar Conference 2010, Czech Republic
- European Committee for Standardization, 1997, "Tests or geometrical properties of aggregates – Part 1: Determination of particle size distribution – Sieving method", EN 933-1.

- Karatasios I., Alexiou K., Müller N.S., Day P.M., Kilikoglou V., 2014, "The second life of ceramics: a new home in a lime environment", InMMartinón-Torres (Ed.), *Craft and science: International perspectives on archaeological ceramics*. Doha, Qatar: Bloomsbury Qatar Foundation <http://dx.doi.org/10.5339/uclq.2014.cas.ch29>
- Kirca , O., 2005, "Ancient binding materials, mortars and concrete technology : history and durability aspects" , Turkey.
- Joy D.C., 1987, A model for calculating secondary and backscattered electron yields, *Journal of Microscopy*,<https://doi.org/10.1111/j.1365-2818.1987.tb02817.x>
- Liritzis, I., Laskaris, N., Vafiadou A., Karapanagiotis I., Volonakis, P., Papageorgopoulou,
- Mehta P.K. and Monteiro P.J.M., 2001, "Concrete: Microstructure, Properties and Materials"
- Micromeritics Instrument Corporation, 2009, << Mercury Intrusion Porosimetry theory>>, poster
- Nezerka V., Nemecek J., Slizkova Z., Tesarek P., 2015, "Investigation of crushed brick-matrix interface in lime-based ancient mortar by microscopy and nanoindentation", Czech Republic.
- Overbeek K. H., 1998, "The Coloration of Domestic Cement by Iron Oxide Pigments", *Journal of the Society of Dyers and Colourists*
- Palomo A., Blanco-Varela M. T., Martinez-Ramirez S., Puertas F. and Fortes C., 2014, "Historic Mortars: Characterization and Durability. New Tendencies for Research"
- Poppe L.J., Paskevich V.F., Hatheway J.C., Blackwood D.S., 2001, "A laboratory manual for X-ray powder diffraction", <https://doi.org/10.3133/ofr0141>
- Prikhodko S.V. and Kakouli I., 2018, *Electron Microscopy in Conservation, The Encyclopedia of archaeological science*, <https://doi.org/10.1002/9781119188230.saseas0210>
- Rossi-Doria P. R., (1990), "Ancient Mortars and Mortars for Restoration", *RILEM Workshop, Materials and Structures* 23, 235–238, <https://doi.org/10.1007/BF02473024>
- Schreiner M., Melcher M., Uhlir K., 2007, "Scanning electron microscopy and energy dispersive analysis. Applications in the field of cultural heritage", *Research Gate*, <https://doi.org/10.1007/s00216-006-0718>
- Varas M.J., Alvarez de Buergo M., Fort R., 2005, "Natural cement as the precursor of Portland cement: Methodology for its identification", *Cement and Concrete Research*, Volume 35, Issue 11, 2055-2065, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.10.045>
- Vernon-Parry K.D., 2000, *Scanning Electron Microscopy: an Introduction*, Centre for Electronic Materials, ELSEVIER, p. 40-44, [https://doi.org/10.1016/S0961-1290\(00\)80006-X](https://doi.org/10.1016/S0961-1290(00)80006-X)

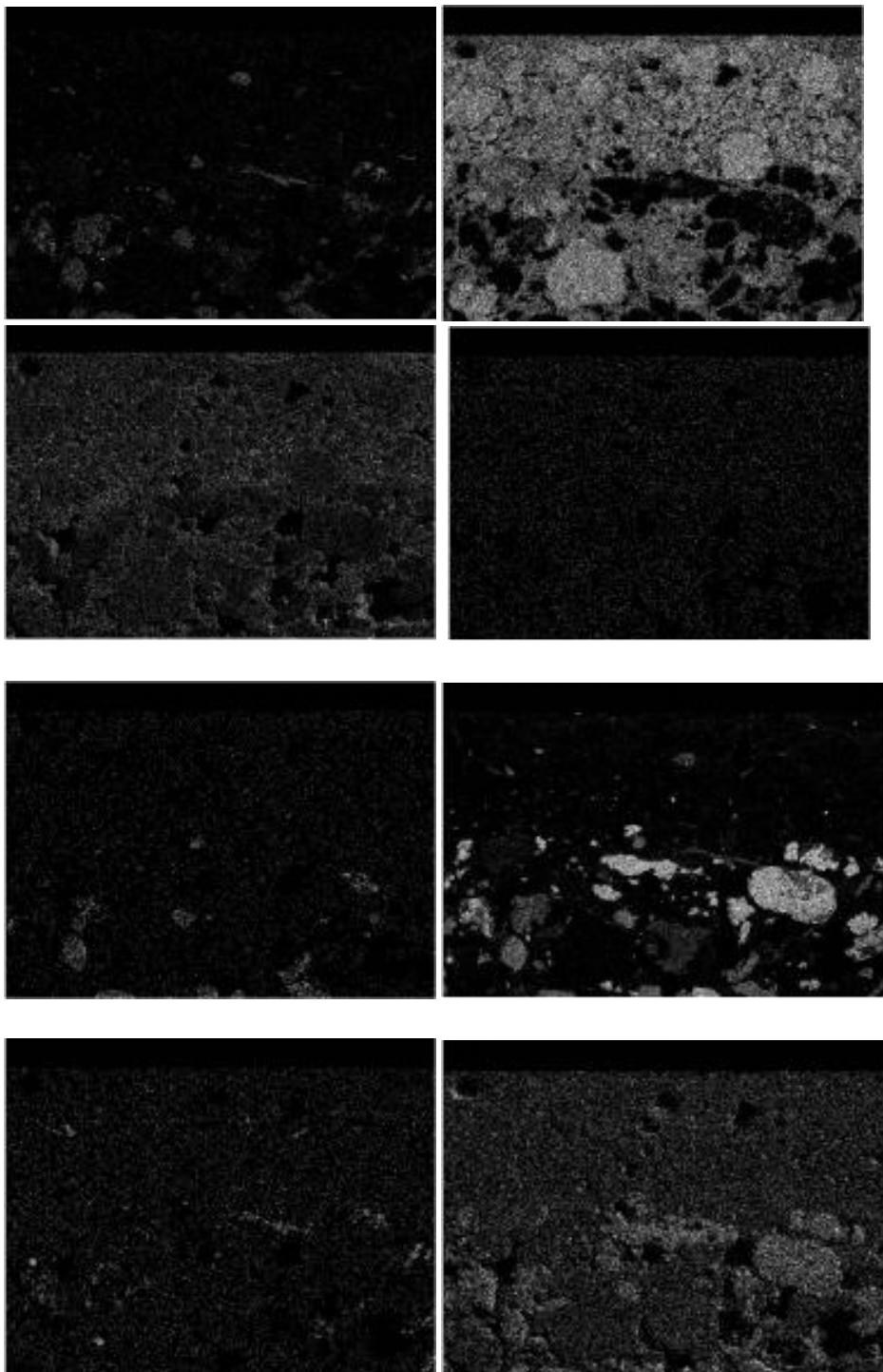
## LINKS

- <https://www.geoengineer.org/education/laboratory-testing/step-by-step-guide-for-grain-size-analysis>
- [https://www.meteoblue.com/el/%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CF%81%CF%8C%CF%82/historyclimate/climatemodelled/%CE%9A%CE%B7%CF%86%CE%B9%CF%83%CE%B9%CE%AC%CE%95%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1\\_259824](https://www.meteoblue.com/el/%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CF%81%CF%8C%CF%82/historyclimate/climatemodelled/%CE%9A%CE%B7%CF%86%CE%B9%CF%83%CE%B9%CE%AC%CE%95%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1_259824)
- <https://unitechlink.com/ftir-analysis/>
- <https://www.sigmaaldrich.com/GR/en/technical-documents/technical-article/analytical-chemistry/photometry-and-reflectometry/ir-spectrum-table>
- Mindat.org, 2024, <https://www.mindat.org/min-2402.html>
- Ελληνογερμανική Αγωγή, 2024, "Η οικογένεια Δραγούμη", [https://www.exdsathen.gr/ekdoseis/5998-oikogeneia\\_dragoymi/](https://www.exdsathen.gr/ekdoseis/5998-oikogeneia_dragoymi/)
- Καθημερινή, 2020, "Ίων Δραγούμης: Ο αταξινόμητος", Η καθημερινή, <https://www.kathimerini.gr/culture/561120259/ion-dragoymis-o-ataxinomitou/>
- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (ΤΕΕ), 2024, [https://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/P\\_KONIAMATA/ko2.1.htm](https://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_KONIAMATA/ko2.1.htm)

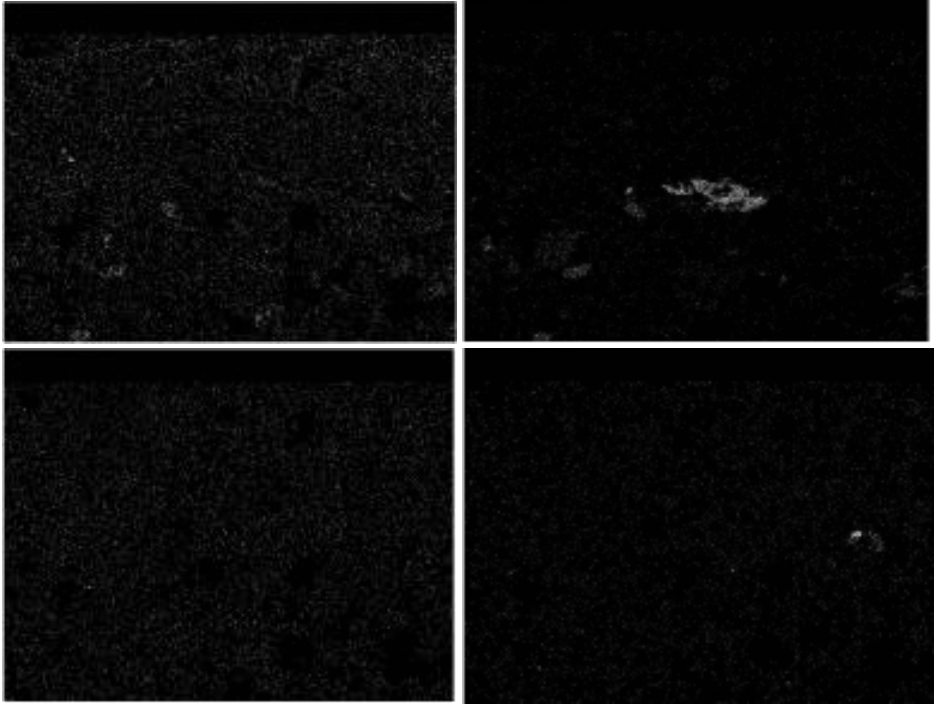
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ:

SEM/EDS

Γενική ανάλυση κονιάματος :

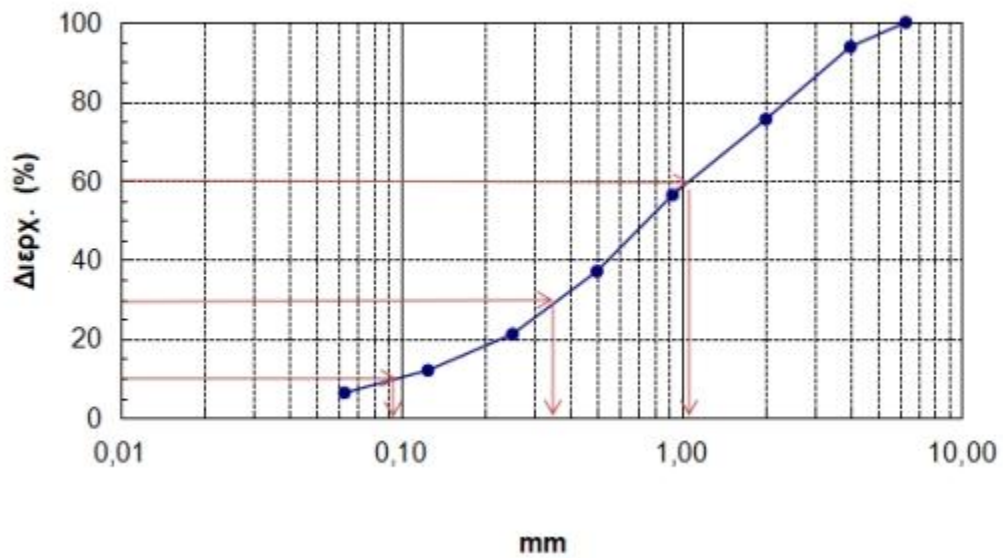






Κοκκομετρικές αναλύσεις:

DRAG-1



D10	0,09
D30	0,35
D60	1,1

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \Rightarrow$$

$$Cu = \frac{1,1}{0,09} \Rightarrow$$

$$Cu = 003,14 \text{ mm}$$

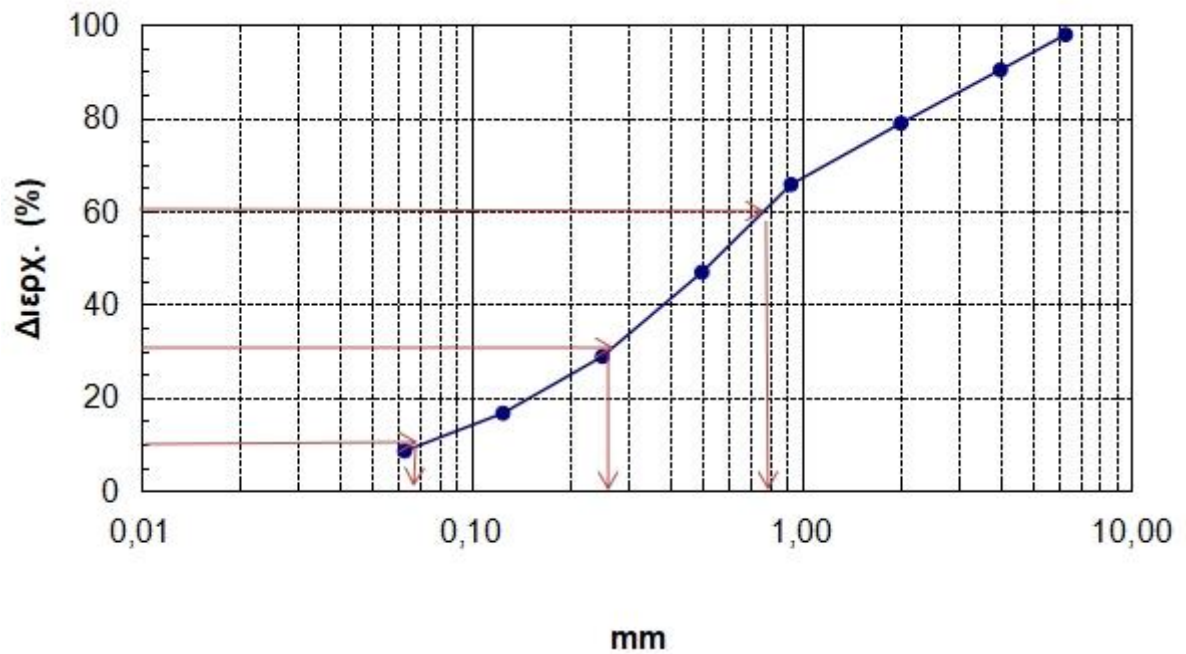
$$Cc = \frac{D^2_{30}}{D_{10} \times D_{60}} \Rightarrow$$

$$Cc = \frac{0,35^2}{0,09 \times 1,1} \Rightarrow$$

$$Cc = \frac{0,1225}{0,09} \Rightarrow Cc$$

$$= 0,010 \text{ mm}$$

## DRAG-2



D10 0,07

D30 0,27

D60 0,8

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \Rightarrow Cu$$

$$= \frac{0,8}{0,07} \Rightarrow$$

$$Cu = 2,96 \text{ mm}$$

$$Cc = \frac{D^2_{30}}{D_{10} \times D_{60}} \Rightarrow$$

$$Cc = \frac{0,27^2}{0,07 \times 0,8} \Rightarrow$$

$$Cc = \frac{0,0729}{0,056} \Rightarrow$$

$$Cc = 0,02 \text{ mm}$$