



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΑΘΗΝΑΣ
• ΣΧΟΛΗ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΛΙΘΟΥ

Οδός Αγ. Σπυρίδωνος, 12210, Αιγάλεω, Τ: 210 5385417, F: 210 5385406,
mail:stonelab@teiath.gr URL: www.teiath.gr/sgtks/stonelab

**ΜΕΛΕΤΗ IN SITU ΣΤΕΡΕΩΣΗΣ
ΤΩΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΠΗΛΙΝΩΝ ΕΥΡΗΜΑΤΩΝ
ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΣΚΑΦΗ ΤΟΥ ΝΕΟΛΙΘΙΚΟΥ ΟΙΚΙΣΜΟΥ ΣΤΟ
ΔΙΣΠΗΛΙΟ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ**

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ: Δρ Π. ΘΕΟΥΛΑΚΗΣ, Καθηγητής

ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ: Δρ Α. ΣΤΕΦΑΝΗΣ
Γ. ΓΕΡΟΓΙΑΝΝΗΣ, MSc

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2010

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	3
2. Στόχος Μελέτης	5
2.1 Μεθοδολογία	5
3. Επιτόπια Καταγραφή και Μελέτη Αρχαιολογικού Υλικού	8
3.1 Μακροσκοπική μελέτη θραυσμάτων στο πεδίο	8
3.2 Δειγματοληψία.....	9
ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ.....	10
4. Χαρακτηρισμός του Υλικού	10
4.1 Ο πηλός.....	10
4.2 Μικροσκοπική παρατήρηση	11
4.3 Ορυκτολογική εξέταση.....	13
5. Περιγραφή της Παθολογίας- Αίτια και Μηχανισμοί Διάβρωσης.....	17
5.1 Η δράση του νερού στον πηλό	18
5.2 Διόγκωση των αργίλων- Θιξοτροπία.....	19
5.3 Διαλυτά Άλατα	19
6. Φυσικά Χαρακτηριστικά πριν από την κατεργασία	23
6.1 Πορώδες.....	23
6.2 Τριχοειδής αναρρίχηση	24
6.3 Υδαταπορρόφηση- Ξήρανση.....	27
6.4 Χρώμα	29
6.5 Μηχανικές Αντοχές	31
7. Δοκιμές Στερέωσης.....	33
7.1 Υλικά κατεργασίας	33
7.2 Μέθοδοι κατεργασίας	35
8. Αποτελέσματα κατεργασιών	39
8.1 Εργαστηριακά δοκίμια.....	39
8.2 Πιλοτικά ξηρά δοκίμια.....	42
8.3 Πιλοτικά υγρά δοκίμια.....	45
9. Φυσικά χαρακτηριστικά μετά την κατεργασία	49
9.1 Ενεργό πορώδες	49
9.2 Τριχοειδής αναρρίχηση μετά την κατεργασία	50
9.3 Υδαταπορρόφηση – Ξήρανση	52
9.4 Το χρώμα	54
9.5 Μηχανικές Αντοχές	55
10. Ανθεκτικότητα των δοκιμίων σε κύκλους τεχνητής γήρανσης.....	56
10.1 Τεχνητή γήρανση σε κύκλους κρυστάλλωσης θειικού νατρίου	56
10.2 Τεχνητή γήρανση σε κύκλους παγετού (ψύξης – απόψυξης).....	59
11. Αποτίμηση.....	62
11.1 Πορώδες.....	62
11.2 Τριχοειδής Αναρρίχηση	63
11.3 Υδαταπορρόφηση – Ξήρανση	65
11.4 Χρώμα.....	66
11.5 Μηχανικές αντοχές	69
Συμπεράσματα.....	71
Βιβλιογραφία	75

1. Εισαγωγή

Στην παρούσα μελέτη, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του έργου «Μελέτη στερέωσης *in situ* των νεολιθικών πήλινων ευρημάτων από την ανασκαφή του Δισπηλιού Καστοριάς», που ανέλαβε το Εργαστήριο Συντήρησης Λίθου του ΤΕΙ Αθήνας σε συνεργασία με τις Ανασκαφές Δισπηλιού.

Η ανασκαφή στη θέση «Νησί» του Δισπηλιού Καστοριάς ξεκίνησε το 1992, υπό τη διεύθυνση του Ομότιμου Καθηγητή της Προϊστορικής Αρχαιολογίας του Α.Π.Θ., κ. Γ.Χ. Χουρμουζιάδη με σκοπό τον εντοπισμό, την αποκάλυψη, τη μελέτη και την ανάδειξη του προϊστορικού λιμναίου οικισμού (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Γενική άποψη της ανασκαφής.

Βασικός στόχος της επιστημονικής ομάδας του Δισπηλιού είναι η αποκατάσταση ενός συνεχούς αρχαιολογικού σώματος, όπου τα επιμέρους δεδομένα θα ανασυνθέσουν το αρχικό πολιτιστικό σύνολο. Ο στόχος αυτός προωθείται με το εκτεταμένο πρόγραμμα συντήρησης και αποκατάστασης των ανασκαφικών ευρημάτων. Παράλληλα κρίθηκε σκόπιμο ο χώρος της ανασκαφής να είναι επισκέψιμος και τα αρχαιολογικά ευρήματα να διατηρηθούν *in situ*. Για να επιτευχθεί το παραπάνω, είναι απαραίτητη η κατεργασία των ευρημάτων. Η συγκεκριμένη μελέτη ερευνά αυτό το τμήμα του εγχειρήματος.

Στόχος της παρούσας μελέτης, είναι η *in situ* διατήρηση των πήλινων αρχιτεκτονικών στοιχείων που βρίσκονται στην ανασκαφή του νεολιθικού οικισμού. Η μελέτη οργανώνεται σε έξι κύρια τμήματα, στα οποία παρουσιάζονται η

καταγραφή και προκαταρκτική εξέταση του αρχαιολογικού υλικού, ο χαρακτηρισμός των δειγμάτων και ο προσδιορισμός των φυσικών χαρακτηριστικών, η εφαρμογή των υλικών κατεργασίας σε εργαστηριακή κλίμακα, ο προσδιορισμός εκ νέου των φυσικών χαρακτηριστικών, οι μέθοδοι της τεχνητής γήρανσης και τα αποτελέσματα των δοκιμών με τις προτάσεις.

Στο πρώτο μέρος της έρευνας παρουσιάζονται, ο χαρακτηρισμός του υλικού και η παθολογία των ευρημάτων στον χώρο της ανασκαφής. Επιπλέον, αναπτύσσεται η μεθοδολογία της μελέτης. Στο δεύτερο μέρος, αναλύεται η εργαστηριακή πειραματική διαδικασία, η οποία πραγματοποιήθηκε σε αρχαιολογικά δείγματα από τον χώρο της ανασκαφής. Σκοπός είναι η εξεύρεση του καταλληλότερου μέσου κατεργασίας των πηλών που θα τους προσδώσει ικανοποιητική αντοχή. Δοκιμάστηκαν πέντε υλικά κατεργασίας και αποτιμήθηκε η αποδοτικότητά τους. Η αποτίμηση βασίστηκε στην εξέταση της μεταβολής των φυσικών ιδιοτήτων των δοκιμίων (πορώδες, τριχοειδής αναρρίχηση, υδαταπορρόφηση, μηχανική αντοχή, χρώμα), καθώς και στη μελέτη της αντοχής των δοκιμίων πηλού σε κύκλους επιταχυνόμενης γήρανσης (κύκλοι κρυστάλλωσης θειικού νατρίου και κύκλοι ψύξης-απόψυξης). Η πλήρης αποτίμηση των κατεργασιών επιτυγχάνεται με την συνολική εκτίμηση των αποτελεσμάτων που έχουν συγκεντρωθεί.

Οι δοκιμές κατεργασίας και η αποτίμησή τους, πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Συντήρησης Λίθου, του Α.Τ.Ε.Ι Αθήνας, χρησιμοποιώντας τον εξοπλισμό και τις αναλυτικές συσκευές του Εργαστηρίου. Η ορυκτολογική εξέταση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με το τμήμα Αρχαιομετρίας από τον Δρ Ι. Καρατάσιο, με τον εξοπλισμό του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος. Στο έργο συμμετείχαν επίσης οι φοιτήτριες του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, Κατερίνα Ζιώγα και Κατερίνα Χατζή.

2. Στόχος της μελέτης

Ο στόχος της παρούσας μελέτης, είναι ο χαρακτηρισμός του αρχαιολογικού υλικού και η εξεύρεση της καταλληλότερης κατεργασίας για την διατήρησή του.

Ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει την επιλογή του υλικού κατεργασίας, είναι η *in situ* διατήρηση των πήλινων ευρημάτων. Μελετήθηκαν τα χαρακτηριστικά του υλικού από την ανασκαφή, πριν και μετά την κατεργασία, προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδραση του υλικού κατεργασίας σε αυτά. Ως κατάλληλο θα κριθεί το υλικό το οποίο, θα αναστείλει τη διάβρωση που οφείλεται κυρίως στους περιβαλλοντικούς παράγοντες και θα αποκαθιστά την αρχική συνοχή και ανθεκτικότητα των δειγμάτων (Rodríguez, 1992).



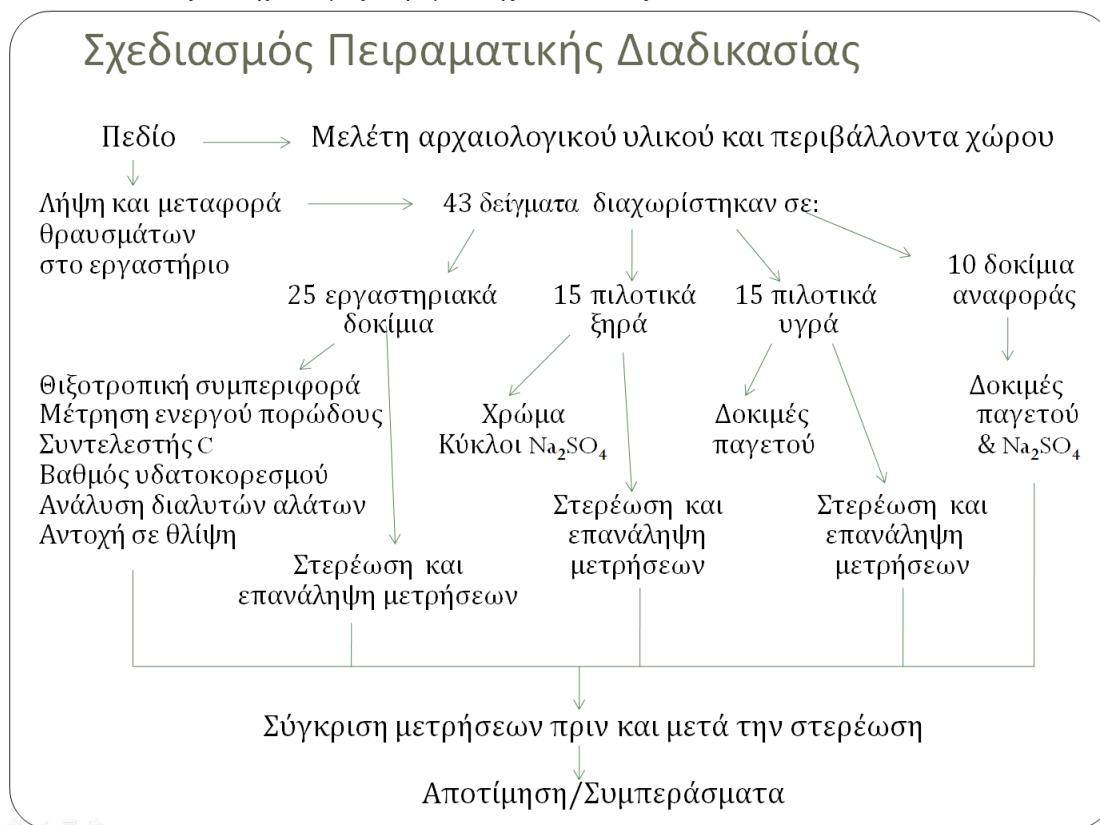
Εικόνα 2.1 Ευρήματα που χρήζουν *in situ* διατήρηση.

2.1 Μεθοδολογία

Η έρευνα οργανώνεται σε έξι κύρια τμήματα, στα οποία παρουσιάζονται η καταγραφή και προκαταρκτική εξέταση του αρχαιολογικού υλικού, ο χαρακτηρισμός των δειγμάτων και ο προσδιορισμός των φυσικών χαρακτηριστικών, η εφαρμογή των υλικών κατεργασίας σε εργαστηριακή κλίμακα, ο προσδιορισμός εκ νέου των φυσικών χαρακτηριστικών, οι μέθοδοι της επιταχυνόμενης γήρανσης και τα αποτελέσματα των δοκιμών με τις προτάσεις συντήρησης. Αναλυτικότερα, περιλαμβάνονται:

- Η καταγραφή και η προκαταρκτική εξέταση των θραυσμάτων, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν κατά την πρώτη αποστολή της ομάδας μελέτης στο Δισπηλιό Καστοριάς.
- Ο χαρακτηρισμός του αρχαιολογικού υλικού και ο προσδιορισμός των φυσικών χαρακτηριστικών του, όπως προέκυψαν από την μελέτη των δειγμάτων που ελήφθησαν από το πεδίο. Η πολυπλοκότητα του προβλήματος της *in situ* διατήρησης των πήλινων ευρημάτων και η σημαντικότητά τους, επέβαλε την συγκέντρωση μεγάλου αριθμού δεδομένων που αφορούσαν στην κατάσταση διατήρησης του υλικού και στα φυσικά χαρακτηριστικά του. Η μελέτη στηρίχθηκε στα δεδομένα που ελήφθησαν κατά την εξέταση των θραυσμάτων στο Εργαστήριο Συντήρησης Λίθου του Α.Τ.Ε.Ι. Αθήνας.
- Η εφαρμογή των υλικών κατεργασίας σε εργαστηριακή κλίμακα. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται το θεωρητικό μέρος, στο οποίο αναπτύσσονται οι γενικές αρχές των κατεργασιών στερέωσης και υδροφοβίωσης, καθώς και η περιγραφή των τρόπων εφαρμογής. Επιπλέον, αναπτύσσεται η πειραματική και πιλοτική διαδικασία που ακολουθήθηκε στο εργαστήριο.
- Ο προσδιορισμός εκ νέου των φυσικών χαρακτηριστικών, που αποσκοπεί στην μελέτη της επίδρασης των υλικών κατεργασίας στα αρχικά φυσικά χαρακτηριστικά.
- Οι μέθοδοι της τεχνητής γήρανσης, μέσω των οποίων εξετάζεται, με δύο τρόπους, η ανθεκτικότητα των κατεργασμένων δοκιμίων, σε σύγκριση με τα μη κατεργασμένα δοκίμια. Πραγματοποιήθηκε επιταχυνόμενη γήρανση σε επαναλαμβανόμενους κύκλους κρυστάλλωσης θειικού νατρίου και επιταχυνόμενη γήρανση σε κύκλους ψύξης- απόψυξης.
- Η προσδιορισμός της αντοχής σε θλίψη, πριν και μετά την κατεργασία, που αποσκοπεί στην μελέτη της επίδρασης των υλικών κατεργασίας στην αντοχή των δοκιμίων.
- Τα αποτελέσματα των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν σε εργαστηριακή κλίμακα. Η μελέτη ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των γενικών συμπερασμάτων και των προτάσεων κατεργασίας των θραυσμάτων.

Πίνακας 2.1 Σχεδιασμός πειραματικής διαδικασίας



Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα, για την πραγματοποίηση της πειραματικής έρευνας, επιλέχθηκαν σπαράγματα του αυθεντικού υλικού από τον ανασκαφικό χώρο, τα οποία μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο. Το υλικό που συλλέχθηκε διαχωρίστηκε σε τέσσερις κατηγορίες δοκιμίων, ανάλογα με την χρήση που θα είχαν κατά την διάρκεια των πειραματικών διαδικασιών. Στη συνέχεια μελετήθηκαν τα φυσικά χαρακτηριστικά των δοκιμίων και έπειτα εφαρμόστηκαν σε αυτά τα υλικά κατεργασίας. Αφού επαναλήφθηκαν οι μετρήσεις των φυσικών χαρακτηριστικών και πραγματοποιήθηκαν οι κύκλοι επιταχυνόμενης γήρανσης, συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα όλων των διαδικασιών για να ώστε να προκριθεί το καταλληλότερο υλικό κατεργασίας .

3. Επιτόπια Καταγραφή και Μελέτη Αρχαιολογικού Υλικού

3.1 Μακροσκοπική μελέτη θραυσμάτων στο πεδίο

Δομικά στοιχεία από πηλό βρίσκονται σε σχετικά μεγάλες ποσότητες στην ανασκαφή του Δισπηλιού. Για τον χαρακτηρισμό του υλικού, αρχικά συλλέχθηκαν δείγματα από τα σπαράγματα του αυθεντικού υλικού που βρίσκονται στον χώρο της ανασκαφής, καθώς και από αυτά που έχουν συλλεχθεί και φυλάσσονται σε ξύλινα κιβώτια στις αποθήκες της ανασκαφής. Τα δείγματα επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι όσο δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικά για το σύνολο του υλικού.

Μετά την συλλογή των σπαραγμάτων από την ανασκαφή, αυτά διαχωρίστηκαν σε τρεις βασικές κατηγορίες ανάλογα με το χρώμα και την υφή του πηλού από τον οποίο κατασκευάστηκαν. Έτσι, προέκυψαν οι εξής κατηγορίες: φαιοί, κόκκινοι και τεφροί πηλοί (Εικ. 3.1).



Εικόνα 3.1 Η κατηγοριοποίηση των πηλών: Από αριστερά τεφρός, φαιός κόκκινος.

Τα δείγματα που λήφθηκαν, αξιοποιήθηκαν για τη μελέτη των φυσικών χαρακτηριστικών, της αντοχής σε θλίψη (προσδιορισμός μηχανικής αντοχής), του χρώματος και της κοκκομετρίας.

Στη συνέχεια τα δοκίμια κατεργάστηκαν με υλικά στερέωσης και υδροφοβίωσης και αποτιμήθηκε η συμπεριφορά τους, ώστε να προκριθεί το καταλληλότερο υλικό κατεργασίας.

Εξετάζοντας το υλικό μακροσκοπικά, διαπιστώνεται η ποικιλομορφία του πηλού, ως προς την υφή, τη σύστασή και το χρώμα. Εκτός από τα χαρακτηριστικά αυτά, σε μερικά από τα δείγματα, διακρίνονται ίχνη καύσης στην επιφάνειά τους. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η εντελώς επίπεδη επιφάνεια κάποιων δειγμάτων, η οποία διαφοροποιείται από πολύ λεία ως πολύ τραχιά. Σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχει ένα είδος επιχρίσματος στην επιφάνεια.

3.2 Δειγματοληψία

Για την εκπόνηση της μελέτη του υλικού αρχικά συλλέχθηκαν δείγματα από τα σπαράγματα του αυθεντικού υλικού που βρίσκονται στον χώρο της ανασκαφής, καθώς και από αυτά που έχουν συλλεχθεί και φυλάσσονται σε ξύλινα κιβώτια στις αποθήκες. Τα δείγματα επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι όσο δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικά του σύνολο του υλικού.

Για την μελέτη των φυσικών χαρακτηριστικών του πηλού απαιτούνται κυβικά δοκίμια, τα οποία προέκυψαν από την μόρφωση των σπαραγμάτων. Επιλέχθηκαν τριάντα σπαράγματα τα οποία, μορφοποιήθηκαν σε κυβικά δοκίμια διαστάσεων 4x4x4 cm. Είκοσι πέντε από αυτά, αποτελούν την ομάδα των εργαστηριακών δοκιμίων και τα πέντε είναι δοκίμια αναφοράς. Στα εργαστηριακά δοκίμια εφαρμόστηκε η πειραματική διαδικασία για τη μελέτη των φυσικών ιδιοτήτων.

Στην συνέχεια τα δείγματα, μεγέθους περίπου 1,5 cm³ αξιοποιήθηκαν για την μελέτη της ορυκτολογικής σύστασης, της μικροδομής και των φυσικών χαρακτηριστικών του αυθεντικού υλικού. Οι μελέτες αυτές αποσκοπούν στην κατανόηση των φυσικών ιδιοτήτων των πηλών και των ενδογενών παραμέτρων που επηρεάζουν την συμπεριφορά τους, αλλά και την εξέλιξη των φαινομένων διάβρωσης σε διάφορες συνθήκες.



Εικόνα 3.2 Σπαράγματα του αυθεντικού υλικού.



Εικόνα 3.3 Κατά την δειγματοληψία.

ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

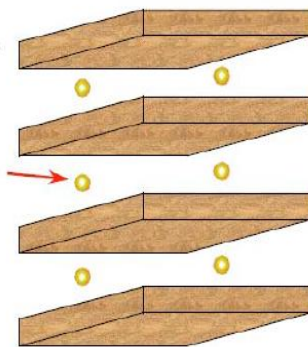
4. Χαρακτηρισμός του Υλικού

4.1 Ο πηλός

Ο πηλός είναι μια σύνθετη ουσία, η οποία χρησιμοποιείται σε ποικίλους τομείς. Μπορεί να οριστεί ως μια λεπτόκοκκη, γαιώδης ουσία, η οποία γίνεται εύπλαστη όταν έρχεται σε επαφή με νερό. Πιο συγκεκριμένα, ο πηλός περιέχει αργιλοπυριτικά ορυκτά (Rice, 1987).

Η κρυσταλλική δομή των αργιλοπυριτικών ορυκτών βασίζεται στην ένωση SiO_4 , η οποία σχηματίζει ένα τετράεδρο. Το τετράεδρο αυτό είναι η βασική δομική μονάδα όλων των πυριτικών πετρωμάτων (Limbreys, 1975).

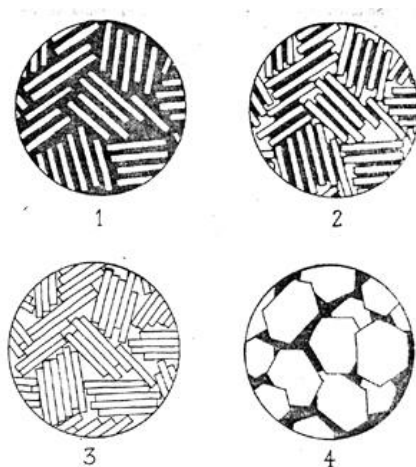
Τα αργιλοπυριτικά ορυκτά και οι πηλοί τους, ανήκουν στην ομάδα των κολλοειδών ουσιών. Τα κολλοειδή χαρακτηρίζονται ουσιαστικά από το μικρό μέγεθος τους (διάμετρος $< 2 \mu\text{m}$), το οποίο τους επιτρέπει να έχουν πολύ μεγάλη εξωτερική επιφάνεια. Μερικά από τα αργιλοπυριτικά κολλοειδή, λόγω της φυλλώδους δομής τους, χαρακτηρίζονται και από την μεγάλη τους εσωτερική επιφάνεια.



Εικόνα 4.1 Η δομή του πηλού (O'Sullivan, 2007).

Άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό των κολλοειδών είναι η ηλεκτρική φόρτιση, είτε αρνητική είτε θετική, των εξωτερικών και εσωτερικών επιφανειών. Η φόρτιση αυτή επιτρέπει την έλξη διάφορων κατιόντων αλλά και μορίων νερού τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του υλικού. Το νερό που υπάρχει ανάμεσα στα στρώματα του πηλού, δρα σαν λιπαντικό και δημιουργεί

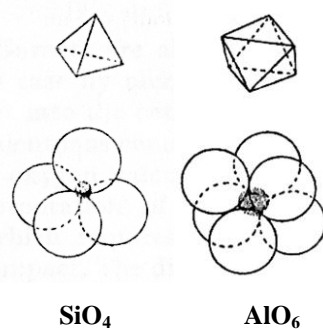
ολίσθηση στους κρυστάλλους προσδίδοντας πλαστικές ιδιότητες στον πηλό (Brady, 1990).



Εικόνα 4.2 Διαδοχικά στάδια ενυδάτωσης (1-3), Φυλλοειδής κρυσταλλική δομή (4) (Brady, 1990).

Εξ' άλλου επειδή οι άκρες των μορίων των πηλών είναι ηλεκτρικά ακόρεστες, τείνουν να ενωθούν εύκολα με άλλα στοιχεία (Brady, 1990).

Τα βασικά δομικά στοιχεία των αργιλοπυριτικών κρυστάλλων είναι τα τετράεδρα SiO_4 , και τα οκτάεδρα AlO_6 (Limbrej, 1975).



Εικόνα 4.3 Τετράεδρο SiO_4 και οκτάεδρο AlO_6 (Brady, 1990).

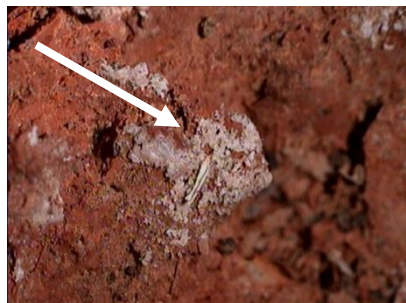
4.2 Μικροσκοπική παρατήρηση

Για τη μελέτη των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε μικροσκοπική παρατήρηση στο στερομικροσκόπιο. Παρατηρήθηκε η ύπαρξη εγκλεισμάτων στους πηλούς όλων των κατηγοριών (Εικόνα 4.4), διαπιστώθηκε η παρουσία διαλυτών αλάτων (Εικόνα 4.5), ενώ σε ορισμένα δείγματα υπάρχει φυσική πάτινα (Εικόνα 4.6). Στους πηλούς τεφρού

χρώματος, διακρίνονται σημεία που έχουν υποστεί καύση και σημεία που διατηρούν το αρχικό τους χρώμα (Εικόνα 4.7).



Εικόνα 4.4 Δείγμα 60A_1_E (x80)
Παρατηρούνται ίχνη από άχυρο.



Εικόνα 4.5 Δείγμα 25A_5_Φ (x120)
Διαπιστώνεται η παρουσία αλάτων.



Εικόνα 4.6 Δείγμα 25A_1_Φ (x120)
Παρατηρείται φυσική πάτινα.



Εικόνα 4.7 Δείγμα 15Δ_2_Δ (x250)
Ο τεφρός χρωματισμός της επιφάνειας έχει επέλθει από καύση του δείγματος.

Μερικά δείγματα κονιορτοποιήθηκαν για την μελέτη της κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών. Υποβλήθηκαν σε κοκκομετρική ανάλυση με πρότυπα κόσκινα Matest BS410-1:2000 για το διαχωρισμό των συστατικών ανάλογα με το μέγεθος τους.



Εικόνα 4.8 Έγκλεισμα 2mm.



Εικόνα 4.9 Έγκλεισμα 1mm.



Εικόνα 4.10 Πηλός 63 μm.

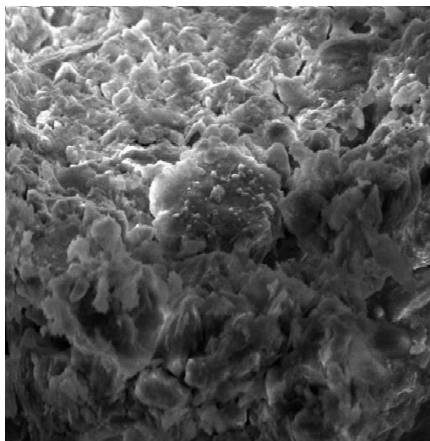
Τα εγκλείσματα που βρέθηκαν κατά την κοκκομετρική διαβάθμιση είναι κυρίως πέτρες της τάξης των ενός και δύο mm (Εικόνες 4.8 και 4.9).

4.3 Ορυκτολογική εξέταση

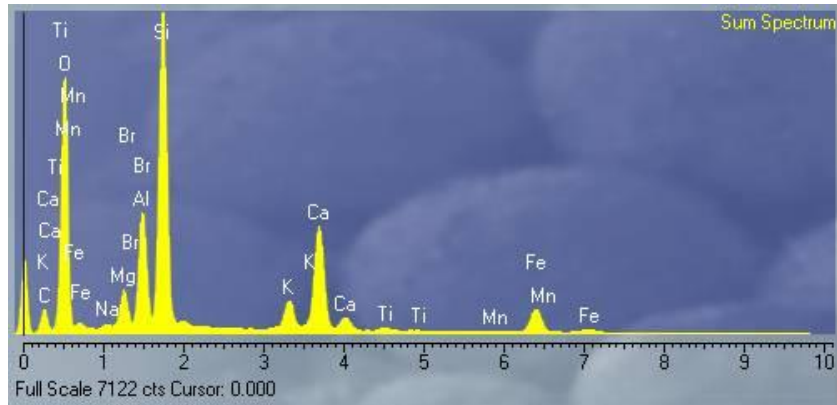
Στο πλαίσιο της ορυκτολογικής μελέτης, ο πηλός αναλύθηκε στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, σε συνδυασμό με μικροαναλυτή ακτίνων X (SEM/EDX), ενώ παράλληλα προσδιορίστηκε η σύσταση του με περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD). Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, έδωσαν πληροφορίες για τη χημική και ορυκτολογική σύσταση καθώς και για τις προσμίξεις.

Τα αποτελέσματα των στοιχειακών αναλύσεων χαρακτηρίζονται από την μεγάλη περιεκτικότητα σε πυρίτιο (Si), το οποίο και αποτελεί το κύριο στοιχείο. Επιπλέον υπάρχουν τα στοιχεία: αργίλιο (Al) σε μεγάλη περιεκτικότητα, και ακολουθούν τα στοιχεία: σίδηρος (Fe), μαγνήσιο (Mg) και ασβέστιο (Ca), ενώ τέλος παρουσιάζονται τα άλατα Κάλιο (K) και σε μικρότερη περιεκτικότητα Νάτριο (Na) (Εικόνες 4.12, 4.14)

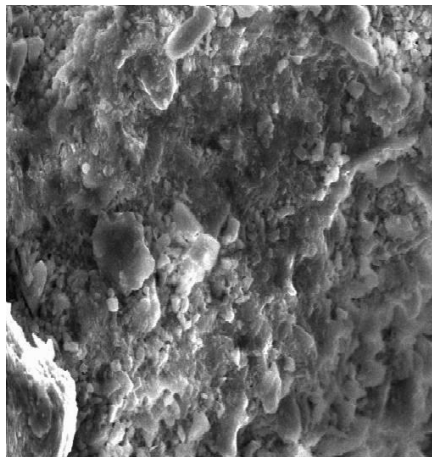
Αναφορικά με τα εγκλείσματα, κατά την παρατήρηση των δειγμάτων διαπιστώθηκε πως πρόκειται κυρίως για αποτυπώματα-υπολείμματα οργανικής φύσεως. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτών των υπολειμμάτων, είναι ίχνος το οποίο διακρίνεται από κυτταρική δομή, που υποδηλώνει φυτικές ίνες ή κυτταρική δομή ξύλου.



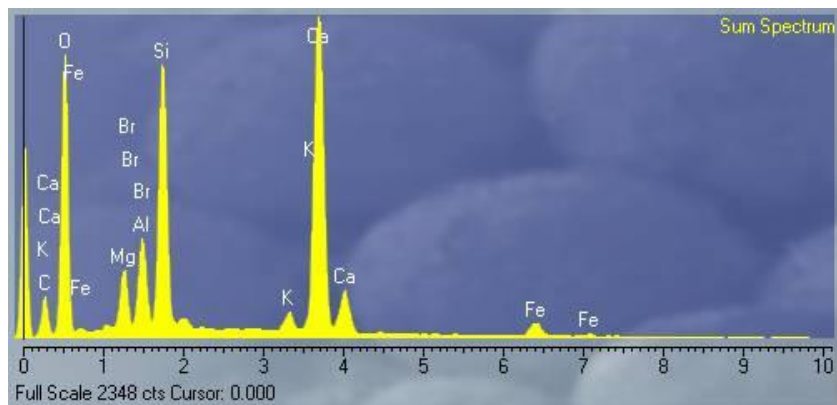
Εικόνα 4.11 Δοκίμιο Φαίο_1 (x 1500) στο SEM.



Εικόνα 4.12 Δοκίμιο Φαίο_1. Φάσμα EDX της σύστασης του πηλού.



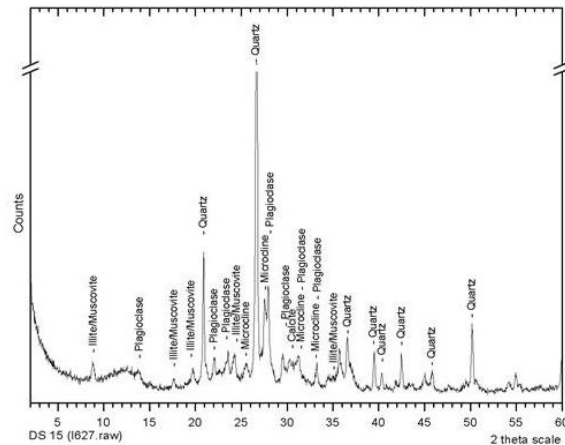
Εικόνα 4.13 Δοκίμιο Κόκκινο_1 (x 2000) στο SEM.



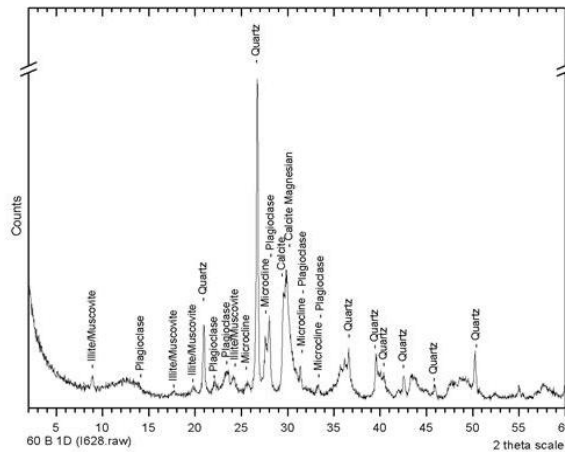
Εικόνα 4.14 Δοκίμιο Κόκκινο_1. Φάσμα EDX σύστασης του πηλού.

Για την ορυκτολογική ανάλυση με την μέθοδο του XRD, επιλέχθηκαν ενδεικτικά δείγματα από όλες τις κατηγορίες πηλού. Όλα τα δείγματα παρουσίασαν μεγάλη περιεκτικότητα σε χαλαζία (Quartz). Επίσης σε όλα τα δείγματα υπήρχαν αστρίοι αλκαλιούχοι (Microcline), πλαγιόκλαστα (Plagioclase) και μικρή περιεκτικότητα σε ιλλίτη ή μοσχοβίτη (Illite/Muscovite) (Εικόνες 4.15, 4.16, 4.17), γεγονός που

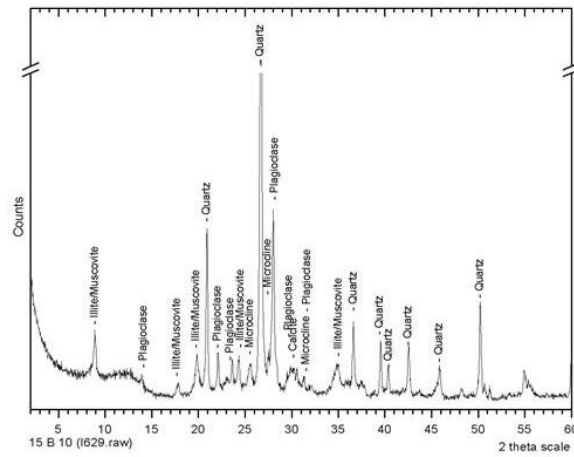
επιβεβαιώνεται και από την αυξημένη παρουσία αργιλίου στην στοιχειακή ανάλυση στο SEM/EDX. Το δείγμα κόκκινου πηλού (60_B_1D) ξεχώρισε λόγω της αυξημένης ποσότητας ασβεστίτη (Calcite Magnesium) που περιείχε. Συνολικά δεν παρουσιάστηκαν ορυκτά που δημιουργούνται σε υψηλές θερμοκρασίες (άνω των 250°C) όπως α-κρυστοβαλίτης ή α-τριδυμίτης, και έτσι αποκλείστηκαν οι συνθήκες έντονης καύσης.



Εικόνα 4.15 Φαίο δοκίμιο. Φάσματα της ανάλυσης XRD. Τα φάσματα ανήκουν στα ορυκτά: χαλαζιάς (**Q** quartz), πλαγιόκλαστο (**P** plagioclase), ασβεστίτης (**C** calcite), ιλλίτης/μουσκοβίτης (**I/M** illite/muscovite), άστριος.



Εικόνα 4.16 Κόκκινο δοκίμιο. Φάσματα της ανάλυσης XRD. Τα φάσματα ανήκουν στα ορυκτά: χαλαζιάς (**Q** quartz), πλαγιόκλαστο (**P** plagioclase), ασβεστίτης (**C** calcite), ιλλίτης/μουσκοβίτης (**I/M** illite/muscovite), άστριος.



Εικόνα 4.17 Τεφρό δοκίμιο. Φάσματα της ανάλυσης XRD.
 Τα φάσματα ανήκουν στα ορυκτά: χαλαζίας (**Q** quartz), πλαγιόκλαστο (**P** plagioclase), ασβεστίτης (**C** calcite), ιλλίτης/μουσκοβίτης (**I/M** illite/muscovite), άστριος.

Μετά την ολοκλήρωση της ορυκτολογικής μελέτης είναι φανερό ότι το διαφορετικό χρώμα των δειγμάτων, δεν οφείλεται σε διαφορά στη σύστασή τους. Όπως έδειξαν οι στοιχειακές αναλύσεις στο SEM, διαφορετικό χρώμα πηλού στο ίδιο δείγμα είχε ακριβώς την ίδια χημική σύσταση. Ακόμα, μέσω των αναλύσεων με XRD αποδείχτηκε ότι σε κανένα από τα δείγματα δεν υπήρχε ίχνος ψημένου πηλού.

5. Περιγραφή της Παθολογίας- Αίτια και Μηχανισμοί Διάβρωσης

Από την επίσκεψη στον χώρο της ανασκαφής, παρατηρείται πως τα δομικά στοιχεία από πήλο παρουσιάζουν εκτεταμένη και ακανόνιστη αποσάθρωση. Υπάρχει απώλεια υλικού, η οποία έχει επιφέρει σταδιακή αλλοίωση στην μορφή και το σχήμα των πήλινων αντικειμένων. Η αποσάθρωση των πηλών και η εκτεταμένη απώλεια του υλικού, οδηγούν σταδιακά στην ολική κατάρρευση τους.



Εικόνα 5.1 Κατάσταση διατήρησης των πήλινων ευρημάτων στο χώρο της ανασκαφής.

Αυτό το είδος της φθοράς, είναι συνέπεια της σύστασης του υλικού σε συνδυασμό με τις περιβαλλοντικές συνθήκες όπου βρίσκεται. Η συμπεριφορά των αργιλοπυριτικών υλικών στις δεδομένες περιβαλλοντικές συνθήκες και η μικροδομή των πήλινων ευρημάτων, σε συνδυασμό με την επίδραση της σχετικής υγρασίας και της μεταβολής της θερμοκρασίας, συντελούν στην διάβρωση των δομικών στοιχείων. Οι φθορές εξαρτώνται επίσης, από τη γεωγραφική θέση, τον προσανατολισμό και την έκθεση στο περιβάλλον (Clark, 1992).



Εικόνα 5.2 Τμήματα πήλινων ευρημάτων που παρουσιάζουν εκτεταμένη αποσάθρωση.



Εικόνα 5.3 Τμήματα πήλινων ευρημάτων που παρουσιάζουν εκτεταμένη αποσάθρωση.

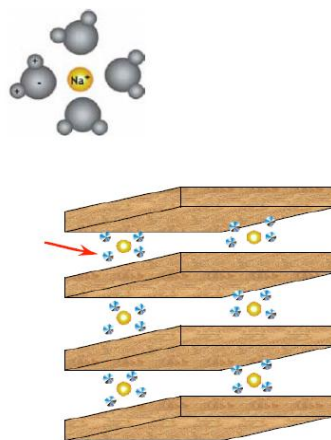
5.1 Η δράση του νερού στον πηλό

Η άργιλος χαρακτηρίζεται από την ικανότητα του να αποκτά πλαστικές ικανότητες όταν έρχεται σε επαφή με το νερό. Η δομή του μορίου του νερού είναι κατά κάποιον τρόπο όμοια με αυτή του πυριτίου γιατί, τα άτομα του πυριτικού άλατος σχηματίζουν τετράεδρα με το οξυγόνο και στη συνέχεια συνδυάζονται σε εξαγωνούς δακτυλίους τετράεδρων. Τα μόρια του νερού σχηματίζουν, επίσης τετράεδρα τα οποία ενώνονται σε εξαγωνικούς δακτυλίους. Τα μόρια του νερού που απορροφούνται από τα ιόντα είναι σε μια κατάσταση «ακινήσιας» με αποτέλεσμα τα αργιλοπυριτικά στοιχεία να συγκρατούνται από ένα φιλμ νερού (Rice, 1987).

Η κυκλοφορία του νερού μέσα στον πηλό καθορίζεται από το πορώδες του υλικού και από το φαινόμενο της τριχοειδούς αναρρίχησης, ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τα πορώδη υλικά. Το νερό εισχωρεί από τους πόρους στο εσωτερικό του πηλού με τους εξής τρόπους:

- ως υγρασία λόγω συμπύκνωσης των υδρατμών της ατμόσφαιρας
- ως βρόχινο νερό
- από τα υπόγεια ύδατα με το φαινόμενο της τριχοειδούς αναρρίχησης (Λαμπρόπουλος, 1993).

Επιπλέον, το νερό που έχει διεισδύσει στο εσωτερικό του πηλού, στους 0 °C θα γίνει στερεό με αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου του. Όμως με την αύξηση του όγκου ασκείται πίεση στο αντικείμενο με αποτέλεσμα τις ρηγματώσεις και την αποσάθρωση του πηλού. Αυτού του είδους η φθορά παρατηρείται κυρίως στις περιοχές όπου η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από τους 0 °C για μεγάλα χρονικά διαστήματα (Buys and Oakley, 1993).



Εικόνα 5.4 Εισβολή του νερού στον πηλό (O'Sullivan, 2007).

5.2 Διόγκωση των αργίλων- Θιξοτροπία

Ο πηλός είναι μίγμα αργιλοπυριτικών συστατικών και άλλων ενώσεων. Τα στοιχεία αυτά έχουν την ιδιότητα όταν προσροφούν νερό να διογκώνονται. Η διόγκωση τους, έχει ως συνέπεια την ανάπτυξη ισχυρών τάσεων στο εσωτερικό των πηλών που τελικά οδηγούν στην διάρρηξη τους. Στη συνέχεια κατά την ξήρανση που αποβάλλεται το νερό, οι άργιλοι συρρικνώνονται και χάνουν τις συνεκτικές τους ιδιότητες. Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται θιξοτροπία. και οφείλεται στο ότι, τα αιωρούμενα αργιλικά σωματίδια, σταδιακά, παίρνουν τέτοιες θέσεις, έτσι ώστε τα μόρια του νερού εγκλωβίζονται στα κενά που δημιουργούνται ανάμεσα στα αργιλικά ορυκτά και δεν μπορούν να κινηθούν ελεύθερα. Το ποσοστό του H₂O που προσροφάται εξαρτάται, κυρίως, από το είδος του αργιλικού ορυκτού και από την κοκκομετρία του (Rice, 1987; Chiang, 1996).

5.3 Διαλυτά Άλατα

5.3.1 Δράση Διαλυτών Αλάτων

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες διάβρωσης των πηλών που ανασκάπτονται από το Δισπηλιό, είναι η δράση των διαλυτών αλάτων.

Η παρουσία διαλυτών αλάτων στο αντικείμενο, εξαρτάται από την ποιότητα του νερού, από το υλικό του αντικειμένου κι από το περιβάλλον όπου βρίσκεται. Τα ιόντα των αλάτων εισάγονται στο αντικείμενο και σε συγκεκριμένη συγκέντρωση, δημιουργούν στερεό αλάτι. (Teutonico, 1988).

Τα άλατα είναι πιθανό να προκαλέσουν φθορά στο αντικείμενο. Όταν στους πόρους ενός υλικού, γίνεται διάλυση διαφόρων αλάτων, σε κατάσταση κορεσμού ή υπερκορεσμού, αρχίζουν να δημιουργούνται κρύσταλλοι των αλάτων. Οι κρύσταλλοι αυτοί αυξάνονται και ασκούν πίεση στα τοιχώματα των πόρων. Η πίεση είναι ανάλογη της σχέσης της υπάρχουσας συγκέντρωσης του άλατος και της συγκέντρωση κορεσμού του (Mogoroulou et al. 2003). Το αποτέλεσμα αυτής της δράσης είναι η πρόκληση μικρορηγματώσεων, η απώλεια της συνοχής του υλικού, η απολέπιση, η διάρρηξη υλικού, η αποφλοίωση, η κυψέλωση. Επιπλέον, τα άλατα μπορεί να δημιουργήσουν αδιαφανή κρούστα στην επιφάνεια του αντικειμένου (Λαμπρόπουλος, 2003a).

Τα άλατα που συνήθως συναντώνται σε αυτό το είδος διάβρωσης είναι τα θειικά, τα χλωρίδια και τα νιτρικά. Τα θειικά (SO₄) υπάρχουν στο έδαφος, σε

μικροοργανισμούς, στην ατμοσφαιρική ρύπανση (SO_2) και στο νερό. Όταν εισχωρήσουν στο αντικείμενο, σε συνδυασμό με το νερό, έχουν έντονη αύξηση όγκου και ασκούν σημαντικές πιέσεις (Andrés et al., 2009). Τα χλωροϊόντα (Cl^-), που υπάρχουν στα νερά του εδάφους, όταν διεισδύουν στους πόρους του πηλού, κρυσταλλώνονται και αλλοιώνουν τις κρυσταλλικές δομές. Παράλληλα, προκαλούν τη διάλυση των κολλοειδών αργίλων στο νερό και διευκολύνουν την διάλυση του μαγνησίου που περιέχεται. Τα νιτρικά ιόντα προέρχονται από την αποσύνθεση των ζώντων οργανισμών (Buys and Oakley, 1993).



Εικόνα 5.5 Εξανθήσεις αλάτων 12xΑ.

5.3.2. Προσδιορισμός Διαλυτών Αλάτων

Για την ποιοτική και ημιποσοτική ανάλυση των διαλυτών αλάτων, χρησιμοποιήθηκαν δείγματα πηλού και χώματος από την ανασκαφή.

Το είδος και η συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων δίνουν πληροφορίες σχετικά με το μηχανισμό και την ένταση φθοράς των ευρημάτων. Οι πληροφορίες αξιολογούνται σε σχέση με το μικροκλίμα της ανασκαφής.

Ο προσδιορισμός των ιόντων των διαλυτών αλάτων έγινε με την χρήση χρωματικών τεστ της Merck (*Merckoquant test strips*) για την ανίχνευση των ιόντων χλωρίου (Cl^-), νιτρικών (NO_3^-), νιτρωδών (NO_2^-) και θεικών (SO_4^{2-}). Παράλληλα μετρήθηκε και η αγωγιμότητα.

Πίνακας 5.1 Περιεκτικότητα των δειγμάτων σε ιόντα διαλυτών αλάτων

Δείγματα	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	Αγωγιμότητα mS/cm	pH
25A_3_Φ, Φαιό (8,7 g) σε 150ml H ₂ O	0	800	0	500	2,3	7
25A_2_Φ, Κόκκινο (20,8 g) σε 150ml H ₂ O	0	800	0	500	2,9	7
ΔΣ 25, Τεφρό (45 g) σε 150ml H ₂ O	0	<200	10	50	0,45	7
Χώμα (50 g) σε 150ml H ₂ O	500	>1600	100	500	6,0	7

Παρατηρείται ότι υπάρχουν ιόντα χλωρίου (Cl⁻) και νιτρώδη ιόντα (NO₂⁻) στο χρώμα της ανασκαφής, σε αντίθεση με τα πηλίνα δείγματα. Οι ίδιες ποσότητες νιτρικών ιόντων (NO₃⁻) παρατηρούνται στα δείγματα χρώματος φαιού και κόκκινου πηλού, με εξαίρεση αυτό του τεφρού χρώματος. Η ποσότητα των θειικών ιόντων (SO₄²⁻) του χρώματος είναι διπλάσια από αυτή των δειγμάτων, εκτός από αυτό τεφρού δοκιμίου. Το τεφρό δοκίμιο, παρουσιάζει διαφορετικές τιμές συγκέντρωσης αλάτων.

Η αγωγιμότητα είναι μεγαλύτερη στο χρώμα από ότι στα δοκίμια. Η αγωγιμότητα του εδάφους επηρεάζει την κινητικότητα και τη σταθερότητα των χημικών στοιχείων. Όσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα, τόσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων (Λαμπρόπουλος, 2003b) Για αυτό τον λόγο, το χρώμα παρουσιάζει μεγαλύτερη συγκέντρωση αλάτων, εξαιτίας της υψηλής του αγωγιμότητας. Σε αντίθεση με το τεφρό δοκίμιο, το οποίο παρουσιάζει την χαμηλότερη αγωγιμότητα και την χαμηλότερη συγκέντρωση αλάτων.



Εικόνα 5.6 Μέτρηση αγωγιμότητας με αγωγιμόμετρο HI 8733.

Ο προσδιορισμός του pH έγινε με την χρήση pH-μετρικών ταινιών Chemicalien της Roth. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε δοχεία με απιονισμένο νερό και αφέθηκαν εκεί για 3 ημέρες. Στην συνέχεια το pH προσδιορίστηκε με την εμβάπτιση των ταινιών στα δοχεία με τα δείγματα. Το pH είναι ουδέτερο, για όλα τα δείγματα.



Εικόνα 5.7 Μέτρηση pH με τη χρήση pH-μετρικών ταινιών.

6. Φυσικά Χαρακτηριστικά πριν από την κατεργασία

Οι φυσικές ιδιότητες των πηλών επηρεάζουν την συμπεριφορά τους και την εξέλιξη των φαινομένων διάβρωσης σε διάφορες συνθήκες.

Η μελέτη των φυσικών χαρακτηριστικών περιλαμβάνει:

- Την μέτρηση του ενεργού πορώδους.
- Τον προσδιορισμό του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης.
- Τον προσδιορισμό του συντελεστή υδαταπορρόφησης.
- Τον προσδιορισμό του βαθμού υδατοκορεσμού.
- Τη μέτρηση των παραμέτρων του χρώματος.

6.1 Πορώδες

Το πορώδες ορίζεται ως το επί τις εκατό ποσοστό των πόρων σε δεδομένο όγκο του υλικού. Είναι ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν την συμπεριφορά των αντικειμένων στο εκάστοτε διαβρωτικό περιβάλλον, καθώς επηρεάζει την απορροφητικότητα (Borelli, 1999). Για τον υπολογισμό του πορώδους η μέθοδος που ακολουθήθηκε είναι η μέτρηση πορώδους σε υποκενό (Εικόνα 6.1). Η πειραματική μεθοδολογία βασίστηκε στο πρότυπο της RILEM CPC 11.3.

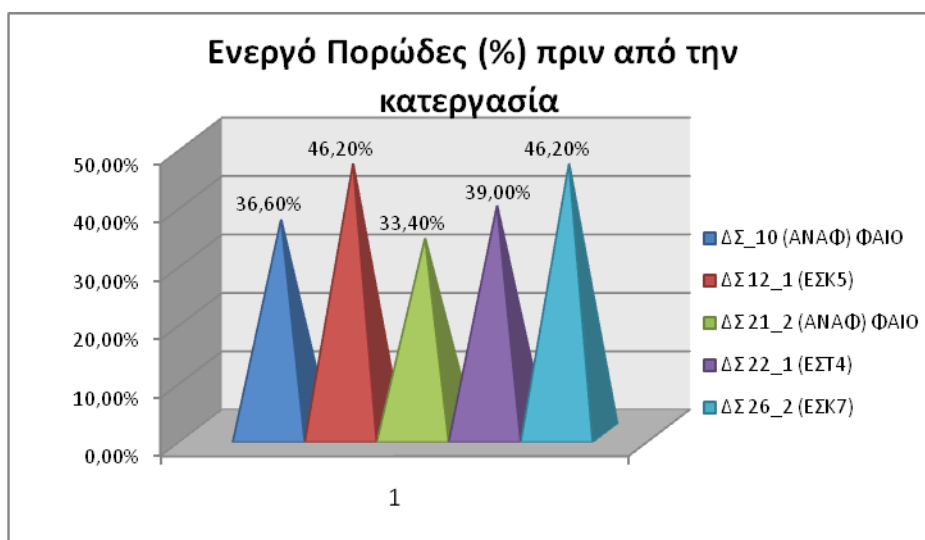


Εικόνα 6.1 Διάταξη της συσκευής, όπου μετρήθηκε το πορώδες των δοκιμίων σε υποκενό.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μετρήσεις του ενεργού πορώδους σε υποκενό σε εργαστηριακά δοκίμια πριν από την κατεργασία.

Πίνακας 6.1 Μέτρηση πορώδους σε υποκενό πριν τις κατεργασίες.

Δείγματα	Αρχικό Βάρος	Τελικό Βάρος	Διαφορά Βάρους	Πορώδες (%)
ΔΣ 10_2	78,4	107,1	28,7	36,6
ΔΣ 12_1 ΕΣΚ5	48,1	69,9	21,8	45,3
ΔΣ 21_2	57,8	76,7	19,2	33,4
ΔΣ 22_1 ΕΣΤ4	47,0	64,5	17,5	37,2
ΔΣ 26_2 ΕΣΚ7	46,5	68,0	21,5	46,2



Διάγραμμα 6.1 Ενεργό πορώδες (%) πριν την κατεργασία.

Παρατηρείται ότι το ενεργό πορώδες των δοκιμίων πριν από την κατεργασία κυμαίνεται μεταξύ 33,4% έως 45,3%.

6.2 Τριχοειδής αναρρίχηση

Η τριχοειδής αναρρίχηση είναι το φαινόμενο κατά το οποίο το νερό κινείται στους πόρους των πηλών μέσω ροφητικών δυνάμεων (Bear, 1988) (Εικόνα 6.2). Ακολουθούν οι μετρήσεις τριχοειδούς αναρρίχησης για κάθε δοκίμιο πριν την κατεργασία με τα υλικά στερέωσης. Η πειραματική μεθοδολογία βασίστηκε σε αυτή που περιγράφεται από την Teutonico (1988).

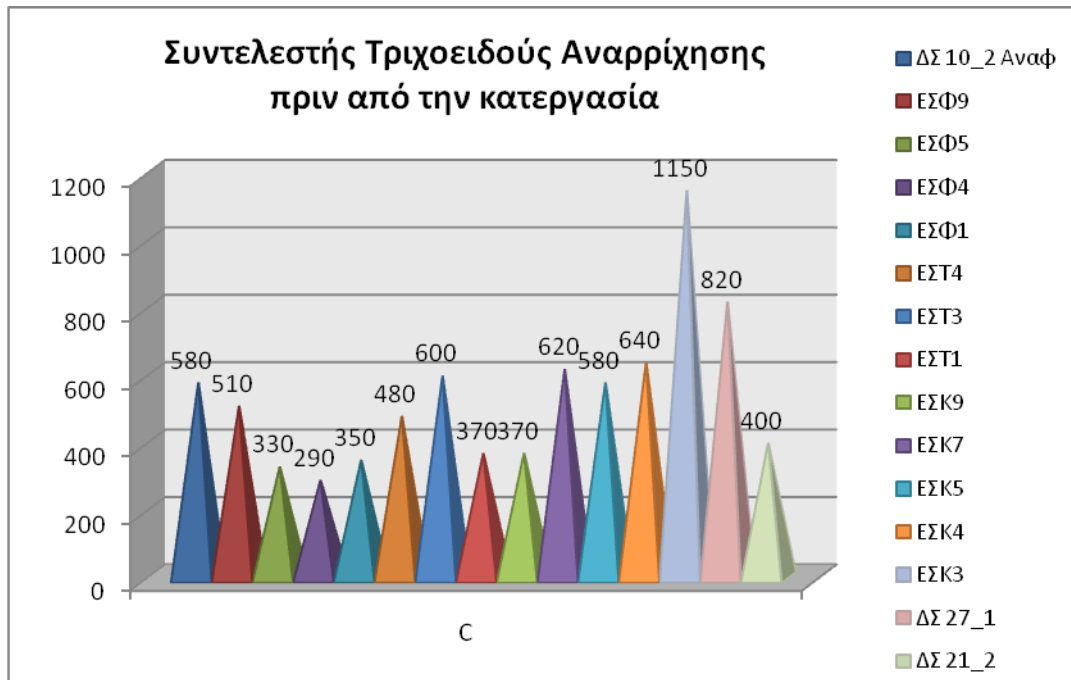


Εικόνα 6.2 Τα δοκίμια κατά την μελέτη του φαινομένου της τριχοειδούς αναρρίχησης.

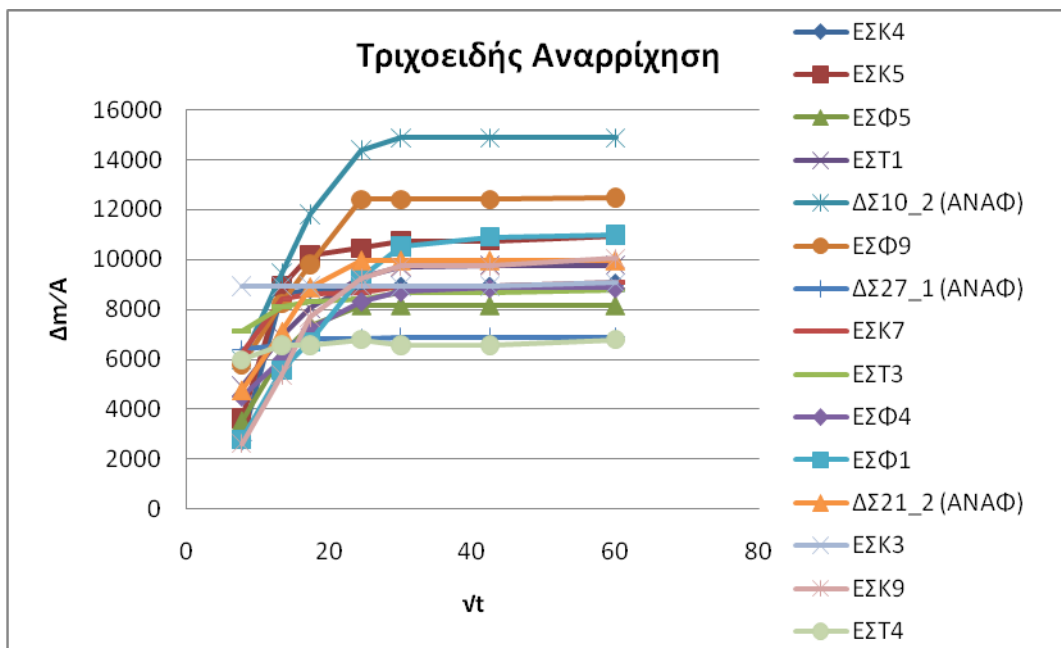
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μετρήσεις του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης σε εργαστηριακά δοκίμια πριν από την κατεργασία.

Πίνακας 6.2 Συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης πριν από την κατεργασία.

ΔΟΚΙΜΙΟ	C
ΔΣ 10_2 Αναφ	580
ΕΣΦ9	510
ΕΣΦ5	330
ΕΣΦ4	290
ΕΣΦ1	350
ΕΣΤ4	480
ΕΣΤ3	600
ΕΣΤ1	370
ΕΣΚ9	370
ΕΣΚ7	620
ΕΣΚ5	580
ΕΣΚ4	640
ΕΣΚ3	1150
ΔΣ 27_1	820
ΔΣ 21_2	400



Διάγραμμα 6.2 Συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης των δοκιμίων πριν από την κατεργασία.



Διάγραμμα 6.3 Συγκεντρωτικό διάγραμμα τριχοειδούς αναρρίχησης πριν από την κατεργασία.

Παρατηρείται ότι τα κόκκινα δοκίμια έχουν μεγαλύτερο συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης (μεταξύ 370 και 1150), ενώ ο συντελεστής των υπολοίπων κυμαίνεται μεταξύ 290 και 510 για τα φαία και μεταξύ 370 και 600 για τα τεφρά.

6.3 Υδαταπορρόφηση- Ξήρανση

Η μέτρηση της υδαταπορρόφησης συνίσταται στη μέτρηση της ποσότητας του νερού που απορροφά ένα δοκίμιο, μέσω του φαινομένου της τριχοειδούς αναρρίχησης. Επίσης, προσδιορίζεται η σχέση ανάμεσα στην απορροφούμενη ποσότητα νερού και στον αντίστοιχο χρόνο που διαρκεί η επαφή δοκιμίου-νερού. Η πειραματική μεθοδολογία περιγράφεται από την Teutonico J.M. (1988).

Για την καλύτερη κατανόηση του ρυθμού με τον οποίο τα πηλίνα στοιχεία απορροφούν και αποβάλλουν το νερό κατά την ύγρανση και ξήρανσή τους αντίστοιχα, πραγματοποιήθηκαν κύκλοι ύγρανσης – ξήρανσης (Εικόνα 6.3).



Εικόνα 6.3 Τα δοκίμια κατά την μελέτη του φαινομένου της υδαταπορρόφησης.

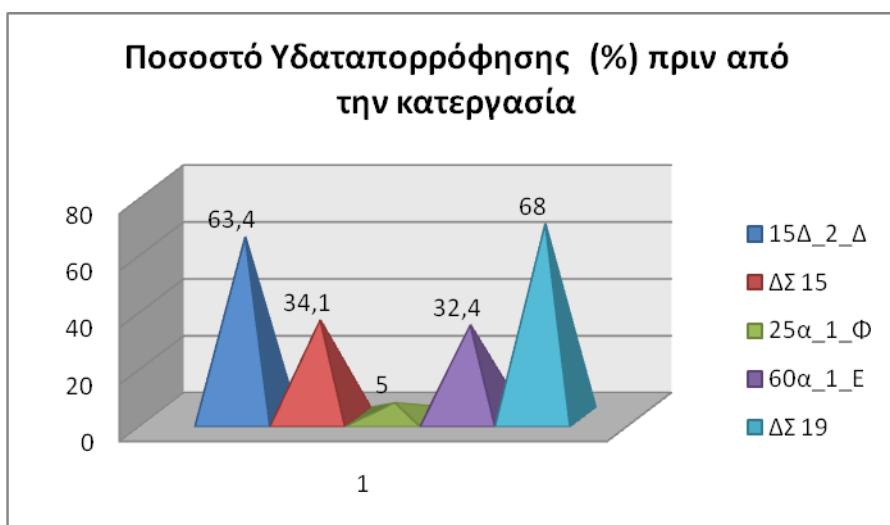
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μετρήσεις και το ποσοστό της υδαταπορρόφησης των εργαστηριακών δοκιμίων πριν από την κατεργασία.

Πίνακας 6.3 Μάζα των δοκιμίων κατά τη μέτρηση της υδαταπορρόφησης πριν από την κατεργασία.

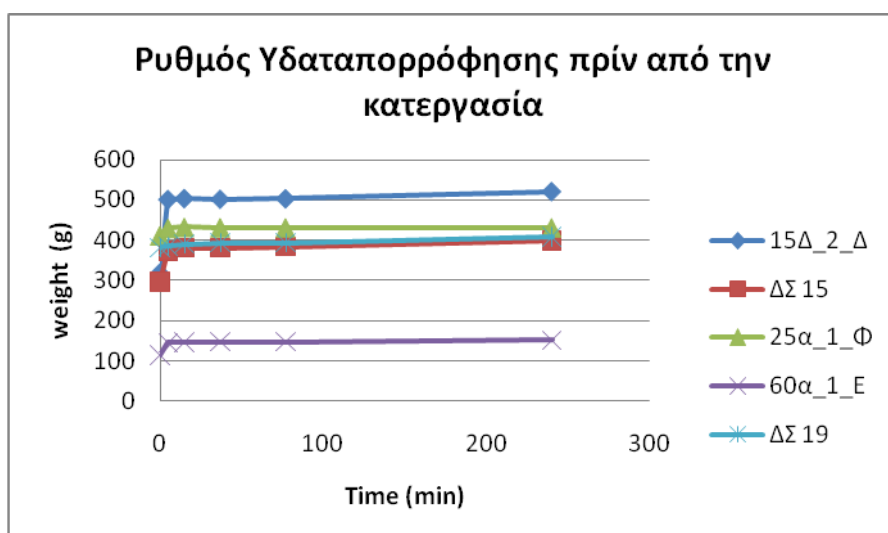
Κωδικός δείγματος	M0 (Ξήρανση) (g)	M1 (5') (g)	M2 (15') (g)	M3 (37') (g)	M4 (77') (g)	M5 (40h) (g)
15Δ_2_Δ	319,3	501,9	504,3	502,4	503,6	521,5
ΔΣ 15	296,8	373,3	380,7	381,0	384,4	397,9
25α_1_Φ	411,0	429,8	432,5	431,8	431,4	431,5
60α_1_E	114,5	144,7	146,3	147,5	147,5	151,5
ΔΣ 19	381,7	384,7	390,7	393,3	393,9	407,5

Πίνακας 6.4 Ποσοστό Υδαταπορρόφησης: $(M5-M0)/M0 \cdot 100$

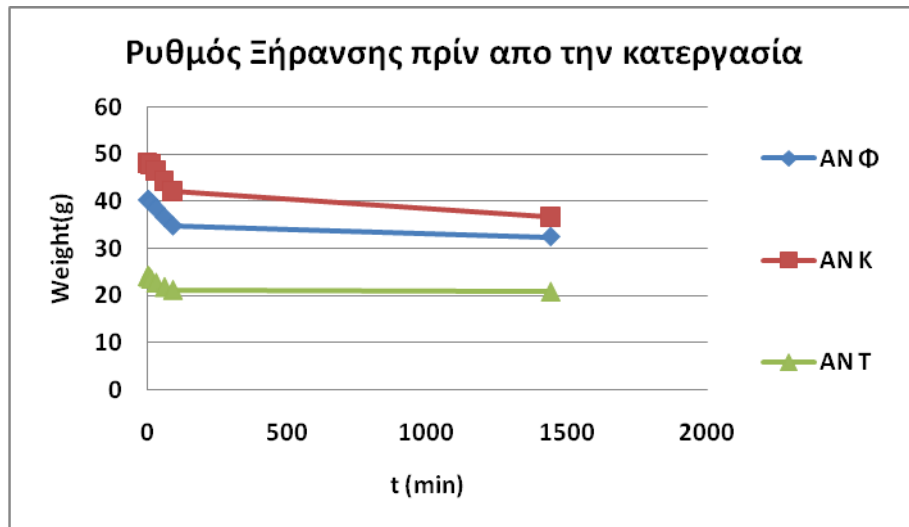
Κωδικός Δείγματος	Ποσοστό Υδαταπορρόφησης Δm%
15Δ_2_Δ	63,4
ΔΣ 15	34,1
25α_1_Φ	5,0
60α_1_Ε	32,4
ΔΣ 19	6,8



Διάγραμμα 6.4 Ποσοστό υδαταπορρόφησης % πριν από την κατεργασία.



Διάγραμμα 6.5 Ρυθμός υδαταπορρόφησης πριν από την κατεργασία.



Διάγραμμα 6.6 Ρυθμός ξήρανσης πριν την κατεργασία.

Όπως παρατηρείται από τα παραπάνω διαγράμματα τα δοκίμια παρουσιάζουν μεγάλο ποσοστό υδαταπορρόφησης (5% έως 68%) ενώ το σύνολο του νερού το απορροφούν ή το χάνουν αντίστοιχα, άμεσα.

6.4 Χρώμα

Ο προσδιορισμός του χρώματος είναι χρήσιμος για την αποτίμηση των εργασιών συντήρησης των αρχαιολογικών αντικειμένων καθώς αυτές δεν πρέπει να αλλοιώνουν χρώμα τους. Για την μέτρηση αυτή η πειραματική μεθοδολογία βασίστηκε στην χρήση χρωματόμετρου σε συνδυασμό με τον χρωματικό μοντέλο CIELab. Σε αυτό το χρωματικό μοντέλο ή σύστημα, οι χρωματικές συντεταγμένες ονομάζονται L^* , a^* και b^* , και απεικονίζονται σε τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων (HunterLab, 2001; Fischer, 1988). Οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν και μετά τη στερέωση των δοκιμίων για να διαπιστωθεί η διαφοροποίησή τους.



Εικόνα 6.4 Μέτρηση χρώματος με χρήση της συσκευής DR LANGE Labor – Ladestation LDC 20-II Micro Color II.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μετρήσεις των συντεταγμένων του χρώματος L^* , a^* , b^* στα ξηρά δοκίμια πριν από την κατεργασία.

Πίνακας 6.5 Μετρήσεις χρώματος Ξηρών Πιλοτικών Δοκιμίων

Πριν από την κατεργασία			
Δείγματα	L	a	b
ΠΣΦ1	46,6	9,7	12,7
ΠΣΦ2	50,8	12,3	21,2
ΠΣΦ3	52,5	9,8	21,4
ΠΣΦ4	50,9	8,5	20,2
ΠΣΦ5	51,3	9,4	20,0
ΠΣΚ1	41,6	18,7	11,1
ΠΣΚ2	50,4	16,9	17,7
ΠΣΚ3	46,9	15,9	12,7
ΠΣΚ4	39,3	14,2	10,5
ΠΣΚ5	35,9	1,7	8,6
ΠΣΤ1	36,6	-3,0	6,9
ΠΣΤ2	32,6	-3,7	7,4
ΠΣΤ3	35,3	-5,2	6,4
ΠΣΤ4	24,7	1,3	18,7
ΠΣΤ5	40,2	5,8	5,9

6.5 Μηχανικές Αντοχές

Η μέτρηση των μηχανικών αντοχών είναι απαραίτητη για την αποτίμηση των κατεργασιών των αρχαιολογικών αντικειμένων, προκειμένου να εκτιμηθεί η επίδραση των υλικών κατεργασίας στην μηχανική αντοχή των δοκιμίων. Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις των μηχανικών αντοχών σε πρέσα μονοαξονικής θλίψης INSTRON, σε κατεργασμένα δοκίμια και αναφοράς (Εικ. 6.6). Η μελέτη πραγματοποιήθηκε βάσει του προτύπου The European Standard EN 196-1:1995 “Methods of testing cement – Part I: 2 Determination of strength”. Σύμφωνα με αυτό τα δοκίμια πρέπει να είναι κυβικά με ακριβείς διαστάσεις 4x4x4 cm. Ωστόσο, δεν ήταν εφικτό να τεμαχιστούν τα δοκίμια σε αυτές τις διαστάσεις, γιατί ήταν ιδιαίτερα εύθρυπτα και δεν επέτρεπαν την περαιτέρω επεξεργασία. Για αυτό το λόγο το αρχικό αρχαιολογικό δείγμα τεμαχίστηκε στις παραπάνω διαστάσεις κατά προσέγγιση. Στη συνέχεια εγκιβωτίστηκαν σε γύψο, προκειμένου να αποκτήσουν το επιθυμητό σχήμα. Υπολογίστηκε να χρησιμοποιηθεί η ίδια ποσότητα γύψου σε κάθε δοκίμιο. Επιλέχθηκε το συγκεκριμένο υλικό, γιατί είναι σκληρότερος των δοκιμίων όπως απαιτείται (A. Magalhães R. Veiga), αλλά και επειδή ήταν το μόνο διαθέσιμο χυτό υλικό με μηχανικές αντοχές σχετικά κοντινές με αυτές των δοκιμίων. Ο εγκιβωτισμός πραγματοποιήθηκε σε μήτρες των απαιτούμενων διαστάσεων (Εικ.6.5).



Εικόνα 6.5 Εγκιβωτισμός σε πρότυπες μήτρες διαστάσεων 4x4x4 cm.



Εικόνα 6.6 Δοκίμιο κατά την διαδικασία μέτρησης αντοχής σε θλίψη.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη που πραγματοποιήθηκε σε εργαστηριακά δοκίμια πριν από την κατεργασία.

Πίνακας 6.6 Μετρήσεις αντοχής σε θλίψη των δοκιμίων αναφοράς.

	Δοκίμια (Φαιά)	Αντοχή σε Θλίψη (MPa)	Δοκίμια (Κόκκινα)	Αντοχή σε Θλίψη (MPa)	Δοκίμια (Γεφρά)	Αντοχή σε Θλίψη (MPa)	Αντοχή Γύψου σε Θλίψη (MPa)
Δοκίμια Αναφοράς	ΑΦ1	2,74	ΑΚ1	2,68	ΑΤ	12,18**	7,41
	ΑΦ2	2,78	ΑΚ2	1,58	-	-	

**Η τιμή του μη κατεργασμένου δοκιμίου, δεν λαμβάνεται υπόψη, καθώς αποτελεί τμήμα εστίας και η μία επιφάνεια του έχει υποστεί όπτηση. Το αποτέλεσμα της καύσης του είναι η μετατροπή του σε κεραμικό υλικό και η αντοχή του να είναι αντίστοιχη με αυτή των κεραμικών αντικειμένων.

7. Δοκιμές Στερέωσης

Για την αναζήτηση του κατάλληλου υλικού κατεργασίας πραγματοποιήθηκαν εφαρμογές (εμποτισμοί) διαφόρων υλικών σε δοκίμια πηλού. Ως κριτήρια για την επιλογή, πέραν της γενικής απαίτησης για αύξηση της συνοχής, αναφέρονται η ικανότητα του στερεωτικού να εμποτίζει στο επιθυμητό βάθος, να προσδίδει μηχανική αντοχή στο αντικείμενο και ανθεκτικότητα στον χρόνο, να αποτρέπει την κρυστάλλωση των αλάτων και τη δράση του φαινομένου του παγετού, να επιτρέπει τη διάχυση των υδρατμών στο εσωτερικό του αντικειμένου και να μην δημιουργεί επιφανειακό στρώμα (φιλμ). Τέλος, να εφαρμόζεται εύκολα και να μην προκαλεί χρωματική ή άλλη αισθητική αλλοίωση (Favaro et al., 2006, Tsakalof et al., 2003, Cacca et al., 2004).

7.1. Υλικά κατεργασίας

Τα υλικά κατεργασίας που επιλέχθηκαν στην συγκεκριμένη μελέτη καλύπτουν μια ευρεία γκάμα στερεωτικών, από κολλοειδή αιωρήματα (νανοδιασπορές) ανόργανων βάσεων $[Ca(OH)_2]$, έως διαλύματα οργανικών ενώσεων του πυριτίου (αλκοξυσιλάνια).

Συγκεκριμένα, για τις δοκιμές στερέωσης εξετάστηκαν τα παρακάτω είδη στερεωτικών :

- Κολλοειδή αιωρήματα (νανοδιασπορές) $Ca(OH)_2$
 - Calosil E25, νανοδιασπορά υδροξειδίου του ασβεστίου $[Ca(OH)_2]$ 25g/l, σε αιθυλική αλκοόλη.
 - CaLoSiL IP25, νανοδιασπορά υδροξειδίου του ασβεστίου $[Ca(OH)_2]$ 25g/l, σε ισοπροπανόλη.
- Ακρυλικό γαλάκτωμα
 - Lascaux Hydrogrund 5% κ.ο. σε νερό
- Οργανικές ενώσεις του πυριτίου
 - Funcosil Steinfestiger 100 (αλκοξυσιλάνιο)
 - Funcosil SL (μικρού μοριακού βάρους αλκυλ- αλκοξυ - σιλοξάνιο)

7.1.1 Κατεργασία με Nano-διασπορά Υδροξειδίου του Ασβεστίου

- Calosil E25 (25 g/l nanolime in ethanol).

Το Calosil E 25 είναι διάλυμα 25 g/l υδροξειδίου του ασβεστίου σε αιθανόλη.

- Calosil IP25 25 g/l nanolime in iso-propanol.

Το Calosil IP 25 είναι διάλυμα του υδροξειδίου ασβεστίου σε ισοπροπανόλη.

Η σταθεροποίηση του αντικειμένου με τα συγκεκριμένα στερεωτικά επιτυγχάνεται με τον σχηματισμό κρυστάλλων ανθρακικού ασβεστίου (Jimenez et al., 2007). Τα στερεωτικά Calosil E25 και Calosil IP25, περιέχουν ως διαλύτες την αιθανόλη ή την προπανόλη, αντίστοιχα. Μετά τον κορεσμό του αντικειμένου με Calosil, ο διαλύτης εξατμίζεται και το υδροξείδιο του ασβεστίου μετατρέπεται σε ανθρακικό άλας ασβεστίου από την αντίδραση του με το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας (IBZ-Freiberg, 2003).

7.1.2 Κατεργασία με ακρυλικά πολυμερή (Hydrogrund 5% κ.ο. σε νερό)

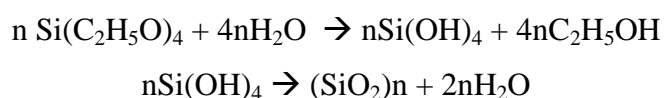
Το Hydrogrund είναι ακρυλική ρητίνη. Πρόκειται για ένα υδρόλυμα (γαλάκτωμα) στο οποίο το ακρυλικό πολυμερές κολλοειδών διαστάσεων είναι διασκορπισμένο σε υδατική φάση. Αποτίθεται με εξάτμιση του διαλύτη (Carreti, 2004).

Το Hydrogrund αυξάνει την αντοχή του αντικειμένου, προσδίδει χημική σταθερότητα, μειώνει την υδαταπορροφητικότητα και αποτρέπει την ανάπτυξη βιολογικών μικροοργανισμών. Σε σχέση με τα υπόλοιπα θερμοπλαστικά πολυμερή, δεν απορροφά στο υπεριώδες (Lascaux, 1963).

7.1.3 Κατεργασία με αλκοξυσιλάνια (Funcosil Steinfestiger 100, Funcosil SL)

Τα αλκοξυσιλάνια είναι οργανικές ενώσεις του πυριτίου (εστέρες του πυριτικού οξέος), οι οποίες αρχικά υδρολύονται και κατόπιν συμπυκνώνονται με αποτέλεσμα να προκαλούν στερέωση και ήπια υδροφοβίωση στο αντικείμενο.

Το Funcosil Steinfestiger 100, αντιδρά με το νερό που υπάρχει στο πορώδες του αντικειμένου ή με την υγρασία της ατμόσφαιρας σύμφωνα με την αντίδραση:



Κατά την διάρκεια της αντίδρασης παράγεται άμορφο ένυδρο οξείδιο του πυριτίου (SiO_2 (aq) silica gel) το οποίο εναποτίθεται και παίζει το ρόλο του συνδετικού. Η στερέωση οφείλεται στο σχηματισμό τελικά αλυσίδων $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-$ που συνδέουν τους κρυστάλλους του πηλού μεταξύ τους. Η ταχύτητα της αντίδρασης εξαρτάται από την θερμοκρασία και την υγρασία. Σε κανονικές συνθήκες (20°C , $50\%\text{RH}$) η εναπόθεση ολοκληρώνεται ύστερα από τρεις εβδομάδες (Wheeler, 2005).

Το Funcosil SL είναι ολιγομερές διάλυμα αλκυλ-αλκοξυ-σιλοξανίου. Η παρουσία των αλκυλίων που συνδέονται απευθείας με τα άτομα του πυριτίου προσδίδουν σημαντικές υδρόφοβες ιδιότητες στο τελικώς παραγόμενο πολυσιλοξάνιο. Ο πολυμερισμός του ολιγομερούς ξεκινά στο εσωτερικό του υποστρώματος με την παρουσία υγρασίας. Συνεπώς, το συγκεκριμένο στερεωτικό εμφανίζει μεγάλη διεισδυτικότητα. Επιπλέον, προτιμάται για τη στερέωση αντικειμένων που βρίσκονται σε εξωτερικούς χώρους γιατί το παραγόμενο πολυσιλοξάνιο εμφανίζει ανθεκτικότητα στις καιρικές συνθήκες, στην υπεριώδη ακτινοβολία και είναι ένα εξαιρετικό υδρόφοβο.

Μετά την εφαρμογή του τα συστατικά του αποτίθενται στα εσωτερικά κενά του υποστρώματος με την μορφή μακρομοριακών στρωμάτων τα οποία δεν επιτρέπουν την διάχυση του νερού (Remmers, 2009).

7.2 Μέθοδοι κατεργασίας

Η εφαρμογή των υλικών κατεργασίας, πραγματοποιήθηκε με δύο τρόπους: με φυσική ρόφηση και με ψεκάσμο, με τη βοήθεια του φαινομένου της τριχοειδούς αναρρίχησης. Η περίπτωση της εμβάπτισης δεν προτείνεται καθώς είναι δύσκολο να εφαρμοστεί στα ευρήματα, διότι είναι αναπόσπαστα από τον χώρο της ανασκαφής.

Για τις δοκιμές στερέωσης χρησιμοποιήθηκαν κυβικά δοκίμια διαστάσεων $4 \times 4 \times 4$ εκ. και ακανόνιστα δοκίμια πηλού της ανασκαφής με διαστάσεις από $3 \times 3 \times 3$ εκ. έως $5 \times 5 \times 5$ εκ.. Για κάθε κατεργασία χρησιμοποιήθηκαν πέντε κυβικά δοκίμια και έξι ακανόνιστα.

7.2.1 Εμποτισμός με φυσική απορρόφηση μέσω των τριχοειδών

Τα δοκίμια ξηράθηκαν στο πυριατήριο στους 80°C για 22h, και ακολούθως τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα μέχρι να αποκτήσουν θερμοκρασία δωματίου, οπότε

μετρήθηκε το ξηρό τους βάρος. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε πλαστικό δοχείο, όπου το διάλυμα υλικού κατεργασίας κάλυπτε 1εκ. της βάσης τους. Το δοχείο σκεπάστηκε για να εμποδιστεί η εξάτμιση του διαλύτη. Τα δοκίμια αφέθηκαν να ροφήσουν φυσικά το στερεωτικό διάλυμα, μέσω του φαινομένου της τριχοειδούς αναρρίχησης. Ανά 30 min αλλάζονταν οι πλευρές των δοκιμίων που ήταν βυθισμένες στο υλικό κατεργασίας. (Εικόνα 7.1) Όταν όλες οι πλευρές των δοκιμίων είχαν διαβραχεί, αυτά απομακρύνθηκαν από το δοχείο και αφέθηκαν να στεγνώσουν σε κλειστό χώρο σε δύο φάσεις: για τις πρώτες 24h με ελάχιστο αερισμό (Εικόνα 7.2) και στη συνέχεια, για άλλες 24h με πλήρη αερισμό. Η διαδικασία επαναλήφθηκε δύο φορές (σύνολο: δύο κύκλοι κατεργασίας). Τα δοκίμια ζυγίζονταν μετά από κάθε κύκλο.

Ακολούθως, τα δοκίμια αφέθηκαν για 30 ημέρες προκειμένου να εξατμιστεί φυσικά ο διαλύτης, ζυγίστηκαν και υπολογίστηκε η ποσότητα του υλικού που απορροφήθηκε. Μετά την κατεργασία μελετήθηκε η επίδραση κάθε υλικού στα φυσικά χαρακτηριστικά, στις μηχανικές αντοχές και στην ανθεκτικότητα των πηλών.



Εικόνα 7.1 Κατεργασία δοκιμίων με φυσική ρόφιση του στερεωτικού.



Εικόνα 7.2 Τα δοκίμια κατά τη διάρκεια της εξάτμισης του διαλύτη των στερεωτικών.

7.2.2. Εφαρμογή με ψεκασμό

Τα δοκίμια ξηράθηκαν στο πυριατήριο στους 80°C για 24h, και ακολούθως τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα μέχρι να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος, οπότε μετρήθηκε το ξηρό τους βάρος. Στη συνέχεια, τα δοκίμια ψεκάστηκαν με το υλικό κατεργασίας (Εικόνα 7.3) και μετά αφέθηκαν να ροφήσουν φυσικά το στερεωτικό διάλυμα.

Ανά 30min αλλάζονταν οι πλευρές των δοκιμίων που ψεκάστηκαν με το υλικό κατεργασίας. Όταν όλες οι πλευρές των δοκιμίων είχαν πλέον διαβραχεί, αυτά αφέθηκαν να στεγνώσουν σε κλειστό χώρο. Ειδικότερα, για τη στερέωση των νωπών δειγμάτων η διαδικασία δεν περιελάμβανε ξήρανση.

Τα δοκίμια ζυγίζονταν μετά από κάθε κύκλο στερέωσης, καθώς και μετά την παρέλευση 48 ωρών. Ακολούθως, τα δοκίμια αφέθηκαν για 30 ημέρες προκειμένου να εξατμιστεί φυσικά ο διαλύτης, ζυγίσθηκαν και υπολογίσθηκε η ποσότητα του υλικού που απορροφήθηκε.



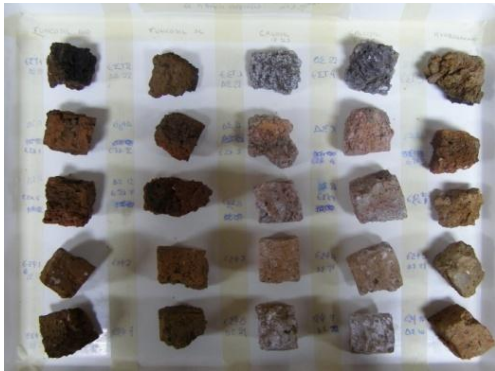
Εικόνα 7.3 Εφαρμογή υλικού κατεργασίας με ψεκασμό.

Για τις δοκιμές στερέωσης χρησιμοποιήθηκαν εικοσιπέντε κυβικά δοκίμια πηλού, διαστάσεων 4x4x4cm, που αποτελούν την ομάδα των εργαστηριακών δοκιμίων, στα οποία εφαρμόστηκαν σε δύο κύκλους τα πέντε στερεωτικά υλικά, με φυσική ρόφηση (Εικόνα 5.4). Κάθε είδος στερεωτικού εφαρμόστηκε σε δύο κόκκινα, δύο φαιά και ένα τεφρό.

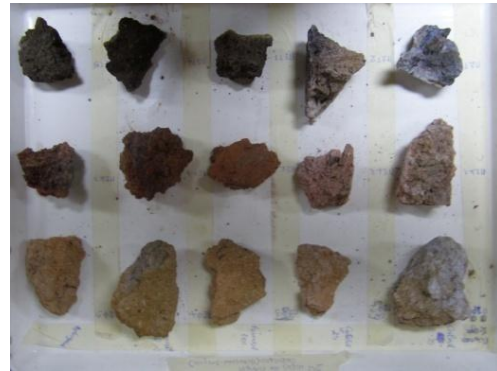
- Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν ακανόνιστα δοκίμια διαστάσεων από 5x5x5 έως 3x3x3, τα οποία χωρίστηκαν σε: δεκαπέντε πιλοτικά ξηρά (εφαρμόστηκαν 2 κύκλοι στερεωτικού με ψεκασμό, ενώ ήταν ξηρά).
- δεκαπέντε πιλοτικά νωπά [εφαρμόστηκαν 2 κύκλοι στερεωτικού με ψεκασμό, (Εικόνα 7.5)]

Τα δεύτερα χρησιμοποιήθηκαν νωπά, γιατί στην ανασκαφή τα ευρήματα είναι συνήθως νωπά.

Στα πιλοτικά δοκίμια κάθε είδος στερεωτικού μέσου εφαρμόστηκε σε ένα κόκκινο, ένα φαιό, ένα τεφρό.



Εικόνα 7.4 Κυβικά δοκίμια πηλού κατά τη διάρκεια των δοκιμών στερέωσης.



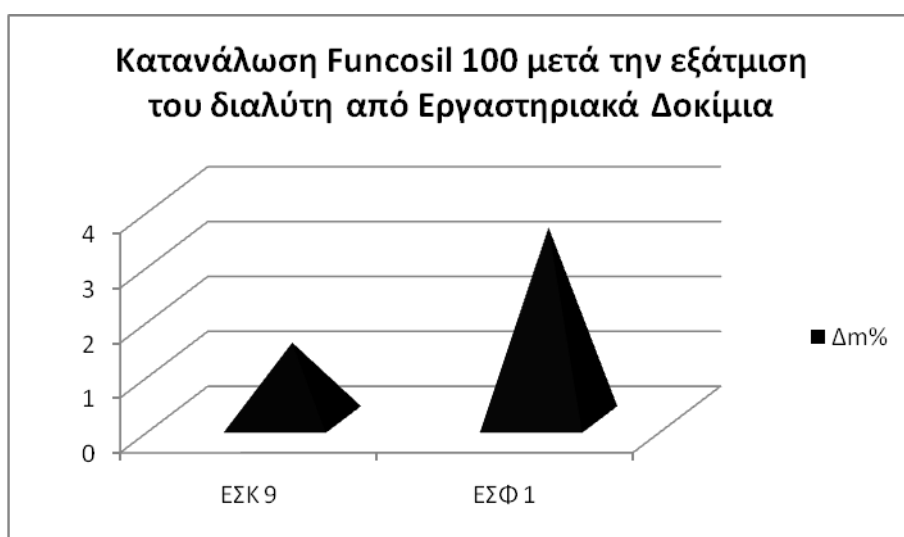
Εικόνα 7.5 Ακανόνιστα δοκίμια πηλού (Πιλοτικά Νωπά) κατά τη διάρκεια των δοκιμών στερέωσης.

8. Αποτελέσματα κατεργασιών

Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα κατανάλωσης των υλικών κατεργασίας. Η κατανάλωση του υλικού από κάθε δοκίμιο υπολογίστηκε κατόπιν της εξάτμισης του διαλύτη που αποτελεί συστατικό του κάθε υλικού κατεργασίας.

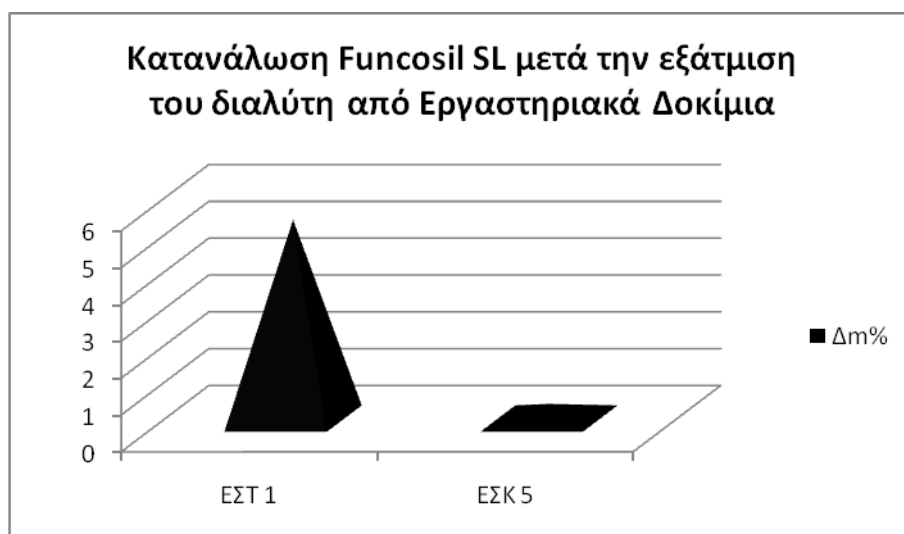
8.1 Εργαστηριακά δοκίμια

Στα εργαστηριακά δοκίμια τα υλικά κατεργασίας έχουν εφαρμοστεί με φυσική ρόφηση.



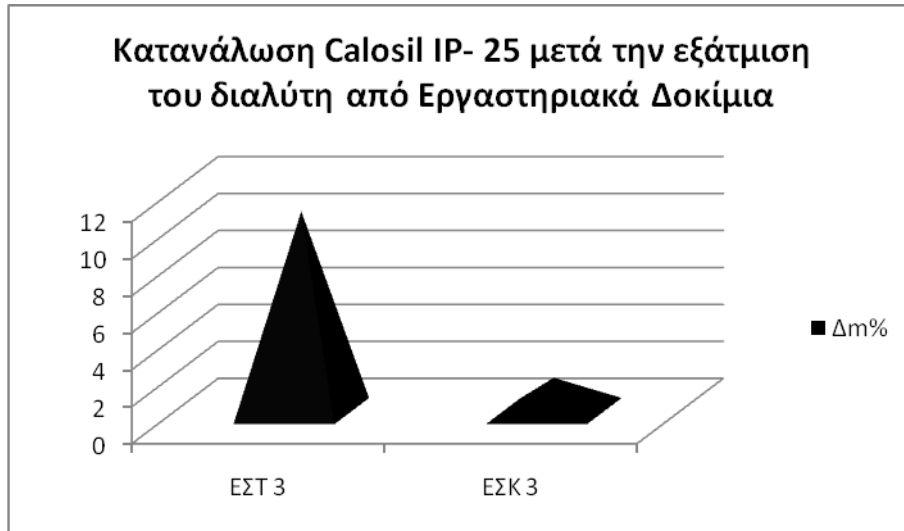
Διάγραμμα 8.1 Κατανάλωση Funcosil 100 μετά την εξάτμιση του διαλύτη από τα Εργαστηριακά Δοκίμια.

Το φαιό δοκίμιο (ΕΣΦ1) απορρόφησε τριπλάσια ποσότητα Funcosil 100 από το κόκκινο δοκίμιο (ΕΣΚ9). Οι τιμές είναι περίπου 3% και 1% αντίστοιχα.



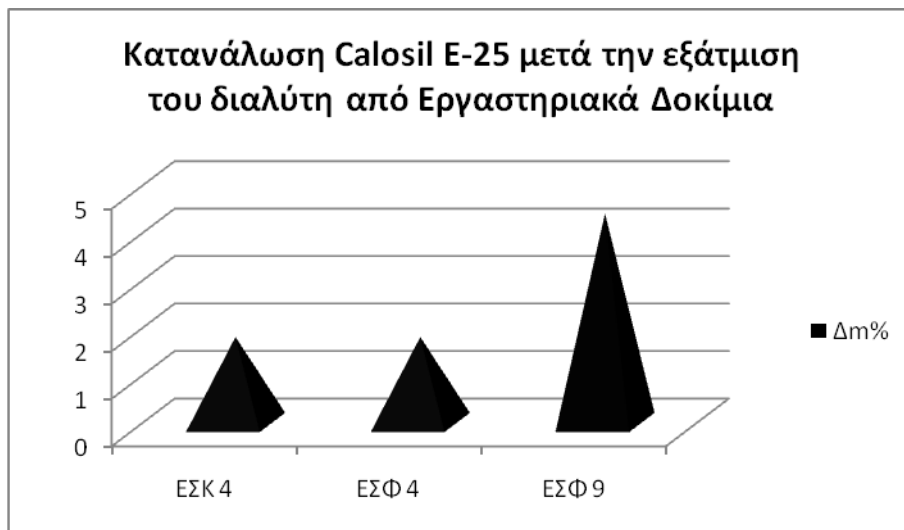
Διάγραμμα 8.2 Κατανάλωση Funcosil SL μετά την εξάτμιση του διαλύτη από τα Εργαστηριακά Δοκίμια.

Το τεφρό δοκίμιο (ΕΣΤ1) απορρόφησε τετραπλάσια ποσότητα Funcosil SL από το κόκκινο δοκίμιο (ΕΣΚ5). Οι τιμές είναι 4,5% και 0,5% αντίστοιχα.



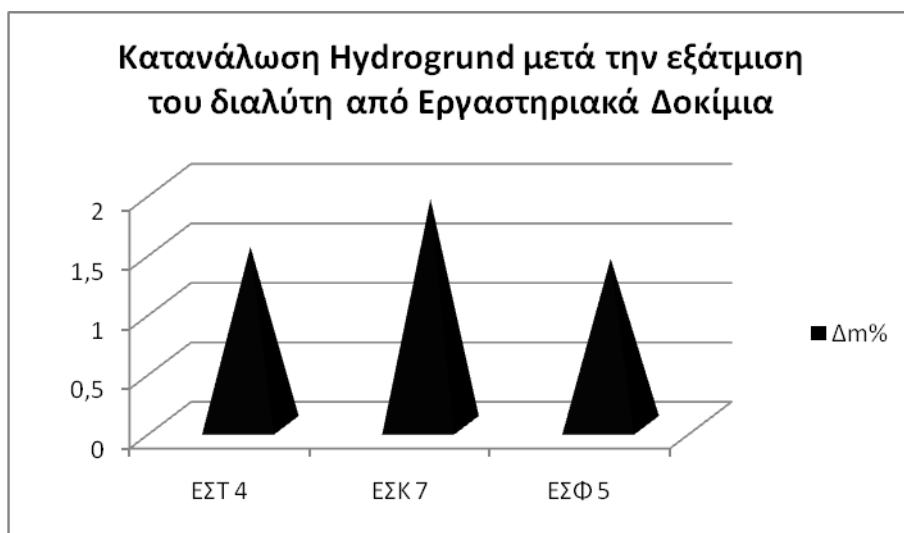
Διάγραμμα 8.3 Κατανάλωση Calosil IP-25 μετά την εξάτμιση του διαλύτη από τα Εργαστηριακά Δοκίμια.

Το τεφρό δοκίμιο (ΕΣΤ3) απορρόφησε ενιαπλάσια ποσότητα Calosil IP25 από το κόκκινο δοκίμιο (ΕΣΚ3). Οι τιμές είναι περίπου 9% και 1% αντίστοιχα.



Διάγραμμα 8.4 Κατανάλωση Calosil E-25 μετά την εξάτμιση του διαλύτη από τα Εργαστηριακά Δοκίμια.

Τα φαιά δοκίμια (ΕΣΦ4, ΕΣΦ9) απορρόφησαν ποσότητα Calosil E25 από 1,2% έως 3,8%. Το κόκκινο δοκίμιο (ΕΣΚ4) απορρόφησε 1,2%.



Διάγραμμα 8.5 Κατανάλωση Hydrogrund μετά την εξάτμιση του διαλύτη από τα Εργαστηριακά Δοκίμια.

Το φαιό δοκίμιο (ΕΣΦ5) απορρόφησε ποσότητα Hydrogrund 1,2%, το τεφρό (ΕΣΤ4) 1,3% έως 3,8% και το κόκκινο δοκίμιο (ΕΣΚ7) απορρόφησε 1,6%.

Στα δοκίμια με κωδικό ΕΣΦ1, ΕΣΚ9 έχει εφαρμοστεί Funcosil 100

Στα δοκίμια με κωδικό ΕΣΤ1, ΕΣΚ5 έχει εφαρμοστεί Funcosil SL

Στα δοκίμια με κωδικό ΕΣΤ3, ΕΣΚ3 , έχει εφαρμοστεί Calosil IP 25

Στα δοκίμια με κωδικό ΕΣΚ4, ΕΣΦ4, ΕΣΦ9 , έχει εφαρμοστεί Calosil E 25

Στα δοκίμια με κωδικό ΕΣΦ5, ΕΣΚ7, ΕΣΤ4 έχει εφαρμοστεί Hydrogrund,

Παρατηρήσεις:

- Τα δοκίμια που στερεώθηκαν με **Hydrogrund**:
 - απέβαλαν την περίσσεια του στερεωτικού.
 - μετά την 4^η ημέρα του 2^{ου} κύκλου στερέωσης, τα δοκίμια ήταν νωπά.
- Τα δοκίμια που στερεώθηκαν με **Calosil** παρουσίασαν λευκές αποθέσεις (Εικόνα 8.1).



Εικόνα 8.1 Εργαστηριακό δοκίμιο κατεργασμένο με Calosil IP 25.

- Μερικά από τα δοκίμια που στερεώθηκαν με **Funcosil** μετά την τέταρτη μέρα του δεύτερου κύκλου στερέωσης ήταν ακόμα νωπά.
- Τα δοκίμια που στερεώθηκαν με **Funcosil 100** σημείωσαν την μεγαλύτερη απορρόφηση, αλλά σε μερικά σχηματίστηκε τοπικά, επιφανειακό φιλμ. Αυτό συνέβη εξαιτίας της απότομης εξάτμισης του διαλύτη.

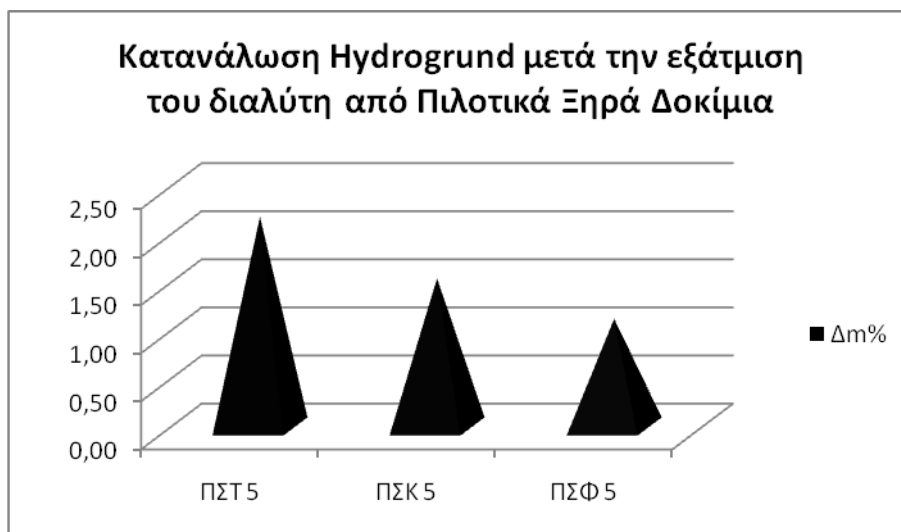


Εικόνα 8.2 Εργαστηριακό δοκίμιο κατεργασμένο με Funcosil 100.

- Τα δοκίμια που παρουσίασαν μεγαλύτερη κατανάλωση στερεωτικού με εμφάνιση στο υλικό κατεργασίας, ήταν αυτά που κατεργάστηκαν με Calosil IP-25, Funcosil 100 ή Funcosil SL.

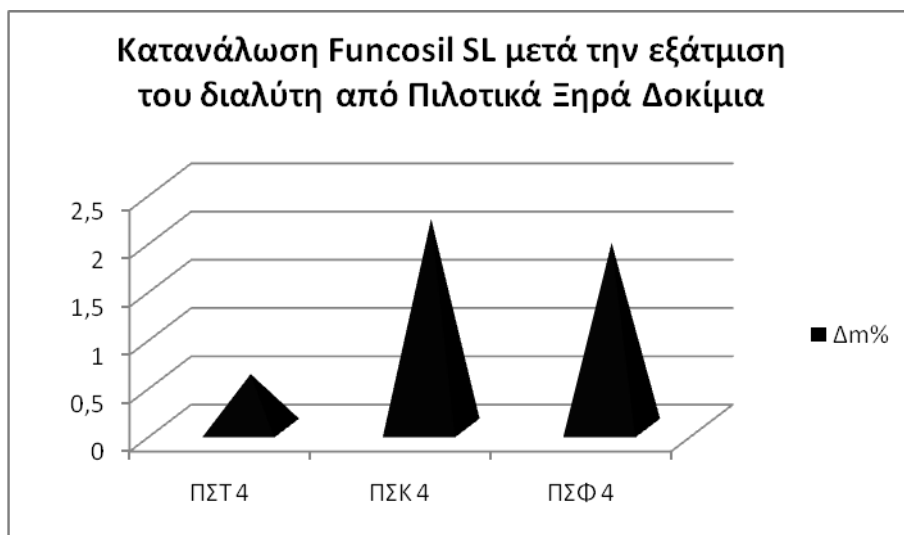
8.2 Πιλοτικά ξηρά δοκίμια

Στα ξηρά πιλοτικά δοκίμια τα υλικά κατεργασίας εφαρμόστηκαν με ψεκασμό.



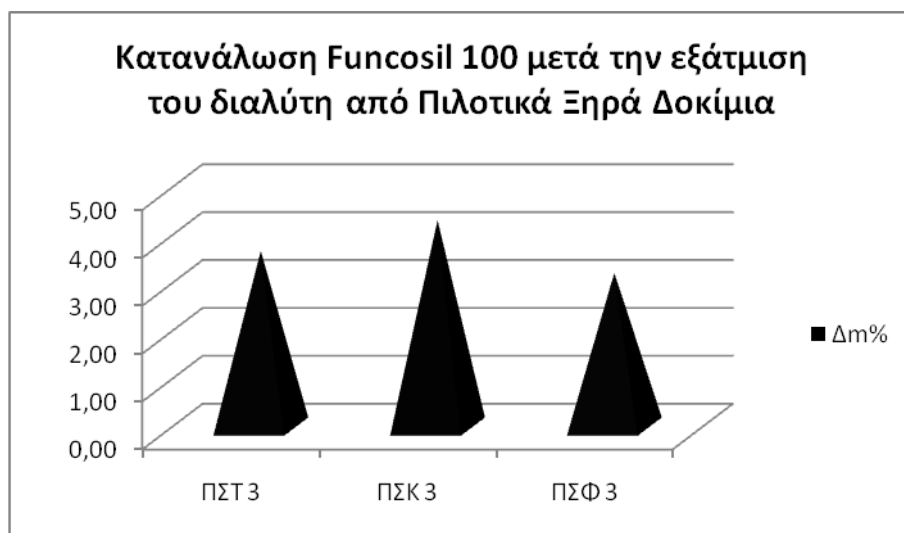
Διάγραμμα 8.6 Κατανάλωση Hydrogrund μετά την εξάτμιση του διαλύτη από τα Πιλοτικά Ξηρά Δοκίμια.

Την μεγαλύτερη κατανάλωση Hydrogrund, παρουσιάζει το τεφρό δοκίμιο (ΠΣΤ5) 1,9% κι ακολουθούν το κόκκινο (ΠΣΚ5) με 1,3% και το φαιό (ΠΣΦ5) με 0,8%.



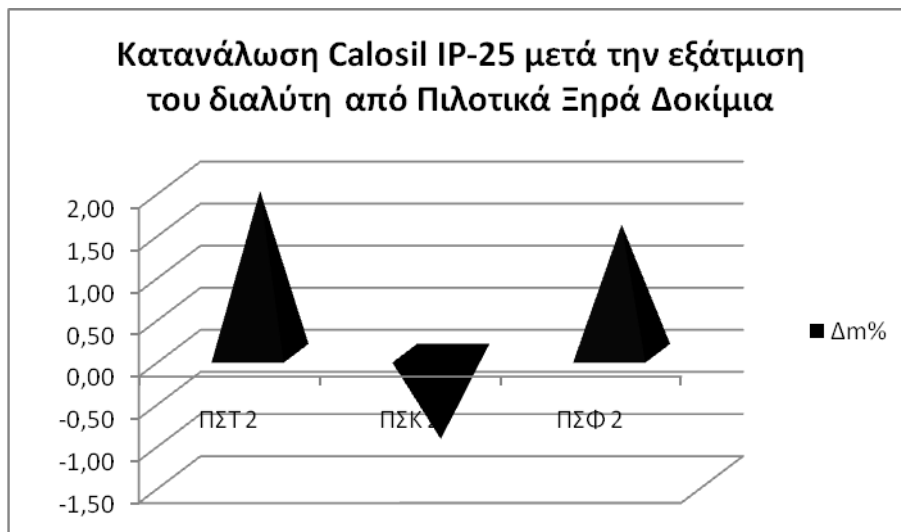
Διάγραμμα 8.7 Κατανάλωση Funcosil SL μετά την εξάτμιση του διαλύτη από τα Πιλοτικά Ξηρά Δοκίμια.

Την μεγαλύτερη κατανάλωση Funcosil SL, παρουσιάζει το κόκκινο δοκίμιο (ΠΣΚ4) με ποσοστό 1,9% κι ακολουθούν το φαιό (ΠΣΦ4) με 1,6% και το τεφρό (ΠΣΤ4) με 0,3%.



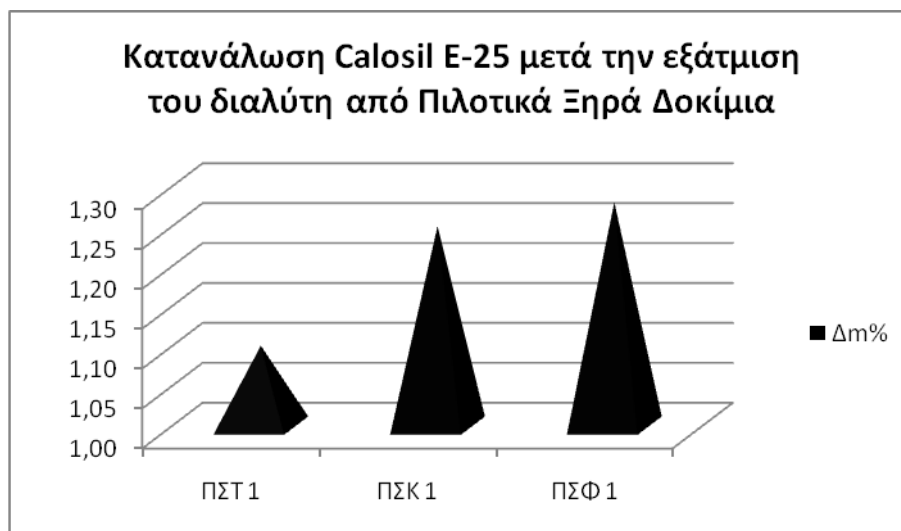
Διάγραμμα 8.8 Κατανάλωση Funcosil 100 μετά την εξάτμιση του διαλύτη από τα Πιλοτικά Ξηρά Δοκίμια.

Την μεγαλύτερη κατανάλωση Funcosil 100, παρουσιάζει το κόκκινο δοκίμιο (ΠΣΚ4) με ποσοστό 3,9% κι ακολουθούν το τεφρό (ΠΣΤ4) με 3,1% και το φαιό (ΠΣΦ4) με 2,8%.



Διάγραμμα 8.9 Κατανάλωση Calosil IP-25 μετά την εξάτμιση του διαλύτη από τα Πιλοτικά Ξηρά Δοκίμια.

Την μεγαλύτερη κατανάλωση Calosil IP25, παρουσιάζει το τεφρό δοκίμιο (ΠΣΤ2) με 1,6% κι ακολουθεί το φαιό (ΠΣΦ2) με 1,3%. Το κόκκινο δοκίμιο (ΠΣΚ2) παρουσιάζει αρνητική τιμή, η οποία δεν λαμβάνεται υπόψη, γιατί κατά την διαδικασία του πειράματος αποσπάστηκε τμήμα της επιφάνειάς του, με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτός ο υπολογισμός της κατανάλωσης του στερεωτικού.



Διάγραμμα 8.10 Κατανάλωση Calosil E25 από μετά την εξάτμιση του διαλύτη από τα Πιλοτικά Ξηρά Δοκίμια.

Την μεγαλύτερη κατανάλωση Calosil E25, παρουσιάζει το φαιό δοκίμιο (ΠΣΦ1) με ποσοστό 1,25%. Ακολουθούν το κόκκινο (ΠΣΚ1) με 1,2% και το τεφρό (ΠΣΤ1) με περίπου 1,1%

Στα δοκίμια με κωδικό ΠΣΦ1, ΠΣΤ1, ΠΣΚ1 έχει εφαρμοστεί Calosil E-25
Στα δοκίμια με κωδικό ΠΣΦ2, ΠΣΤ2, ΠΣΚ2 έχει εφαρμοστεί Calosil IP-25
Στα δοκίμια με κωδικό ΠΣΦ3, ΠΣΤ3, ΠΣΚ3 έχει εφαρμοστεί Funcosil 100
Στα δοκίμια με κωδικό ΠΣΤ4, ΠΣΚ4, ΠΣΦ4 έχει εφαρμοστεί Funcosil SL
Στα δοκίμια με κωδικό ΠΣΤ5, ΠΣΚ5, ΠΣΦ5 έχει εφαρμοστεί Hydrogrund.

Παρατηρήσεις:

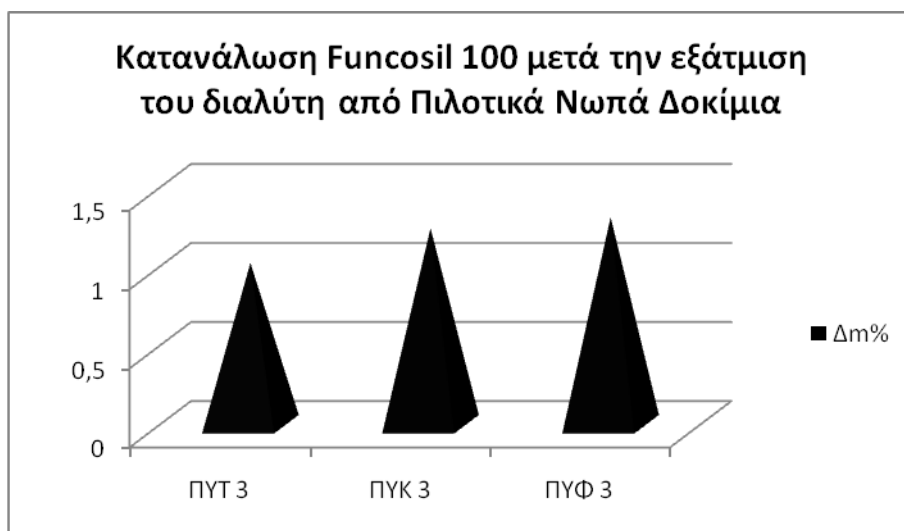
- Τα δοκίμια που στερεώθηκαν με **Hydrogrund** απαιτούν περισσότερο χρόνο κατά τη φάση της ξήρανσης, κατά την δεύτερη εφαρμογή δεν απορροφούν γρήγορα και του τεφρού χρώματος δεν απορροφούν.
- Τα δοκίμια που στερεώθηκαν με **Calosil** παρουσίασαν λευκές επικαθίσεις.
- Τα δοκίμια που στερεώθηκαν με **Funcosil** απέκτησαν πιο σκούρο χρώμα.
- Τα δοκίμια που παρουσίασαν μεγαλύτερη κατανάλωση στερεωτικού με ψεκάσμο του υλικού κατεργασίας, ήταν αυτά που κατεργάστηκαν με Funcosil 100 ή Funcosil SL.



Εικόνα 8.3 Πιλοτικά ξηρά δοκίμια στο τέλος του πρώτου κύκλου κατεργασίας. Τα δοκίμια της 1^{ης} και 2^{ης} στήλης από αριστερά είναι κατεργασμένα με Calosil, της 3^{ης} και 4^{ης} με Funcosil και της 5^{ης} με Hydrogrund

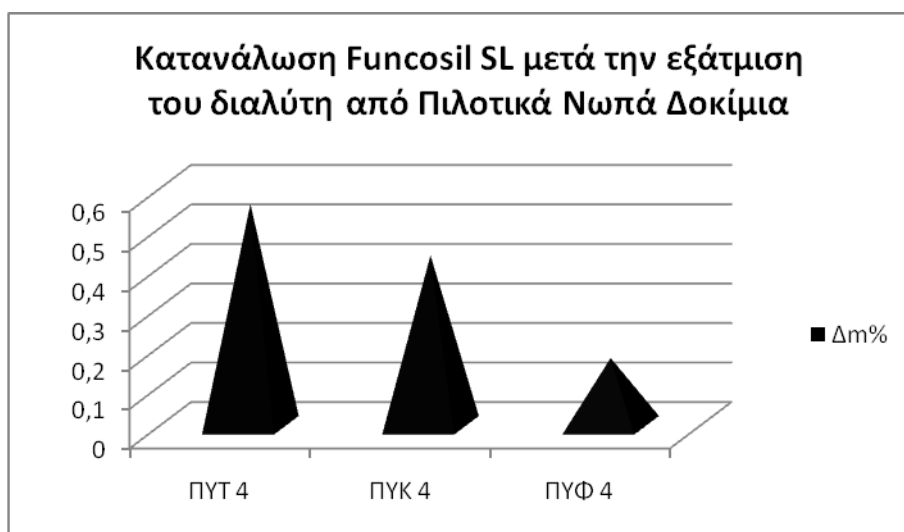
8.3 Πιλοτικά υγρά δοκίμια

Αυτή η κατηγορία δοκιμίων κατεργάστηκε με ψεκάσμο των υλικών σε νωπό πηλό, προκειμένου να προσομοιωθούν οι συνθήκες τις ανασκαφής.



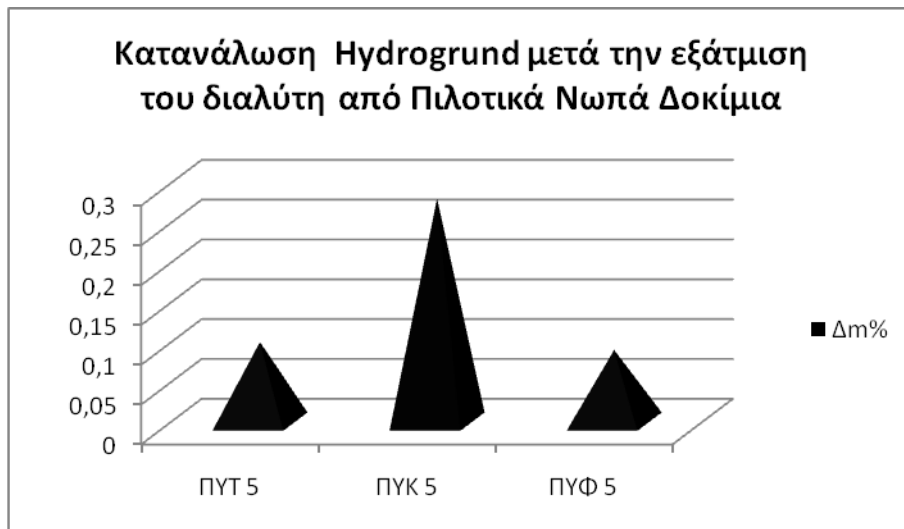
Διάγραμμα 8.11 Κατανάλωση Funcosil 100 μετά την εξάτμιση του διαλύτη από τα Πιλοτικά Νωπά Δοκίμια.

Το φαιό δοκίμιο (ΠΥΦ3) και το κόκκινο (ΠΥΚ3) παρουσιάζουν κατανάλωση Funcosil 100 περίπου 1% και το τεφρό (ΠΥΤ3) λιγότερο από 1%.



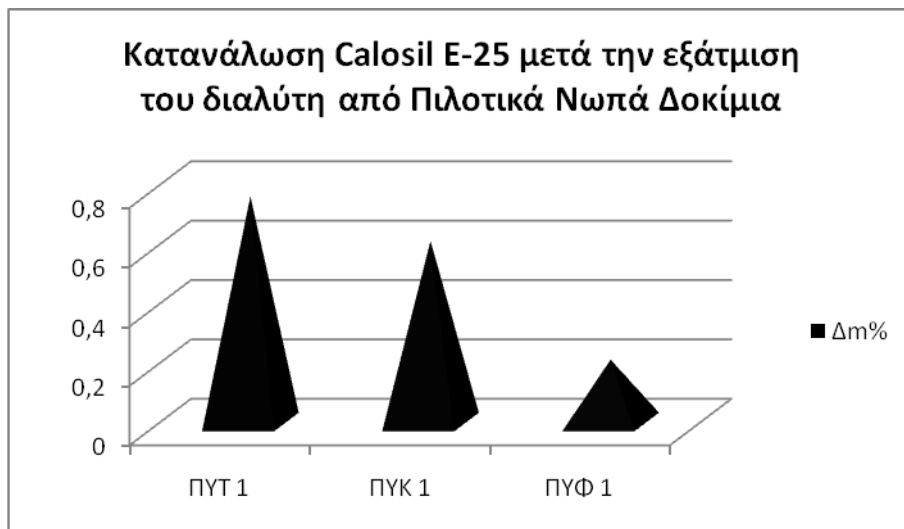
Διάγραμμα 8.12 Κατανάλωση Funcosil SL μετά την εξάτμιση του διαλύτη από τα Πιλοτικά Νωπά Δοκίμια.

Το φαιό δοκίμιο (ΠΥΦ4) παρουσιάζει κατανάλωση Funcosil SL 0,1%. Το κόκκινο (ΠΥΚ4) και το τεφρό (ΠΥΤ4) παρουσιάζουν κατανάλωση 0,35% και 0,5% αντίστοιχα.



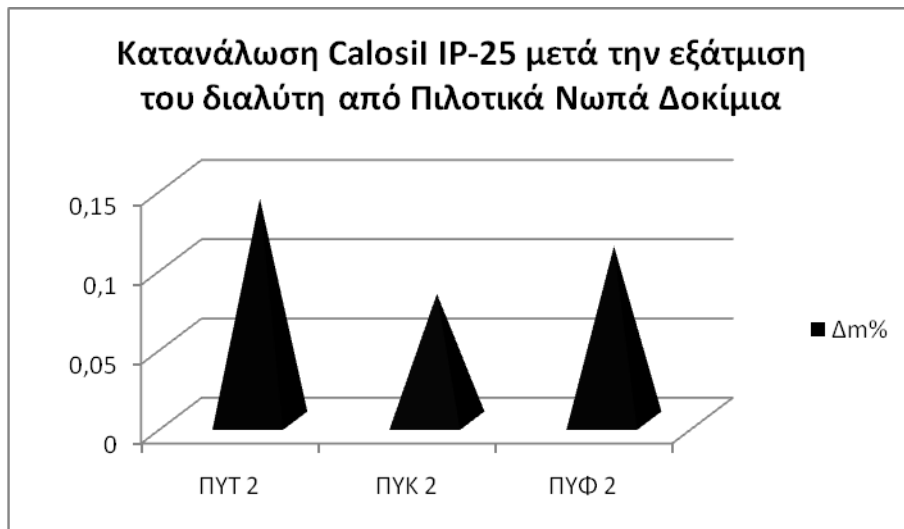
Διάγραμμα 8.13 Κατανάλωση Hydrogrund μετά την εξάτμιση του διαλύτη από τα Πιλοτικά Νωπά Δοκίμια.

Το κόκκινο δοκίμιο (ΠΥΚ5) παρουσιάζει κατανάλωση Hydrogrund 0,1%. Το φαιό (ΠΥΦ5) και το τεφρό (ΠΥΤ5) παρουσιάζουν κατανάλωση περίπου 0,05%.



Διάγραμμα 8.14 Κατανάλωση Calosil E-25 μετά την εξάτμιση του διαλύτη από τα Πιλοτικά Νωπά Δοκίμια.

Το κόκκινο δοκίμιο (ΠΥΚ5) παρουσιάζει κατανάλωση Hydrogrund 0,1%. Το φαιό (ΠΥΦ5) και το τεφρό (ΠΥΤ5) παρουσιάζουν κατανάλωση περίπου 0,05%.



Διάγραμμα 8.15 Κατανάλωση Calosil E-25 μετά την εξάτμιση του διαλύτη από τα Πιλοτικά Νωπά Δοκίμια.

Στα δοκίμια με κωδικό ΠΥΦ1, ΠΥΤ1, ΠΥΚ1 έχει εφαρμοστεί Calosil E-25

Στα δοκίμια με κωδικό ΠΥΦ2, ΠΥΚ2, ΠΥΤ2 έχει εφαρμοστεί Calosil IP-25

Στα δοκίμια με κωδικό ΠΥΦ3, ΠΥΚ3, ΠΥΤ3 έχει εφαρμοστεί Funcosil 100

Στα δοκίμια με κωδικό ΠΥΦ4, ΠΥΚ4, ΠΥΤ4 έχει εφαρμοστεί Funcosil SL

Στα δοκίμια με κωδικό ΠΥΦ5, ΠΥΚ5, ΠΥΤ5 έχει εφαρμοστεί Hydrogrund

Παρατηρήσεις:

- Μακροσκοπικά το **Calosil E-25** απορροφάται πιο γρήγορα.
- Τα δοκίμια που στερεώθηκαν με **Calosil** παρουσίασαν λευκές επικαθίσεις.
- Τα δοκίμια που στερεώθηκαν με **Funcosil** απέκτησαν πιο σκούρο χρώμα.

9. Φυσικά χαρακτηριστικά μετά την κατεργασία

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μετρήσεις των φυσικών χαρακτηριστικών μετά την διαδικασία της κατεργασίας των πήλινων δοκιμίων με τα υλικά κατεργασίας. Για τη μελέτη των φυσικών χαρακτηριστικών των κατεργασμένων δοκιμίων πραγματοποιήθηκαν οι ίδιες μεθοδολογίες που πραγματοποιήθηκαν και για την μέτρηση των μη κατεργασμένων δοκιμίων στο 6^ο κεφάλαιο.

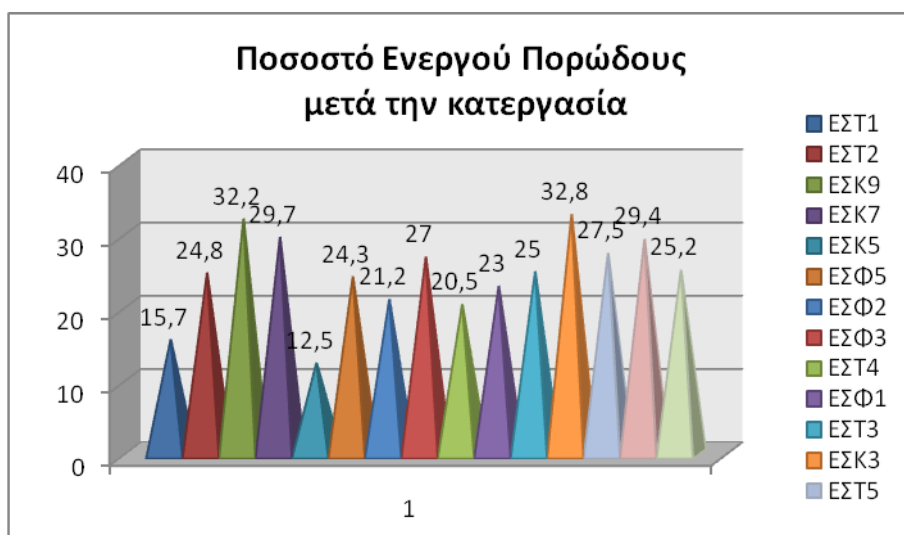
9.1 Ενεργό πορώδες

Για την μέτρηση του ενεργού πορώδους, η πειραματική διαδικασία βασίστηκε στο πρότυπο της RILEM CPC 11.3, βάσει του οποίου τα δοκίμια τοποθετήθηκαν στην αντλία κενού για 1h και σε πίεση -0,9 bar.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μετρήσεις του πορώδους σε υποκενό σε εργαστηριακά δοκίμια μετά την κατεργασία.

Πίνακας 9. 1 Μέτρηση ενεργού πορώδους σε υποκενό μετά την κατεργασία.

Δείγματα	Αρχικό Βάρος (g)	Τελικό Βάρος (g)	Διαφορά Βάρους (g)	Πορώδες %
ΕΣΤ1	41,39	47,9	6,51	15,7
ΕΣΤ2	42,95	53,6	10,65	24,8
ΕΣΚ9	51,52	68,1	16,58	32,2
ΕΣΚ7	49,81	64,6	14,79	29,7
ΕΣΚ5	55,00	61,9	6,90	12,5
ΕΣΦ5	50,46	62,7	12,24	24,3
ΕΣΦ2	51,40	62,3	10,90	21,2
ΕΣΦ3	58,92	74,8	15,88	27,0
ΕΣΤ4	50,72	61,1	10,38	20,5
ΕΣΦ1	66,09	81,3	15,21	23,0
ΕΣΤ3	32,71	40,9	8,19	25,0
ΕΣΚ3	41,78	55,5	13,72	32,8
ΕΣΤ5	48,61	62,0	13,39	27,5
ΕΣΚ4	58,71	76,0	17,29	29,4
ΕΣΦ4	59,27	74,2	14,93	25,2



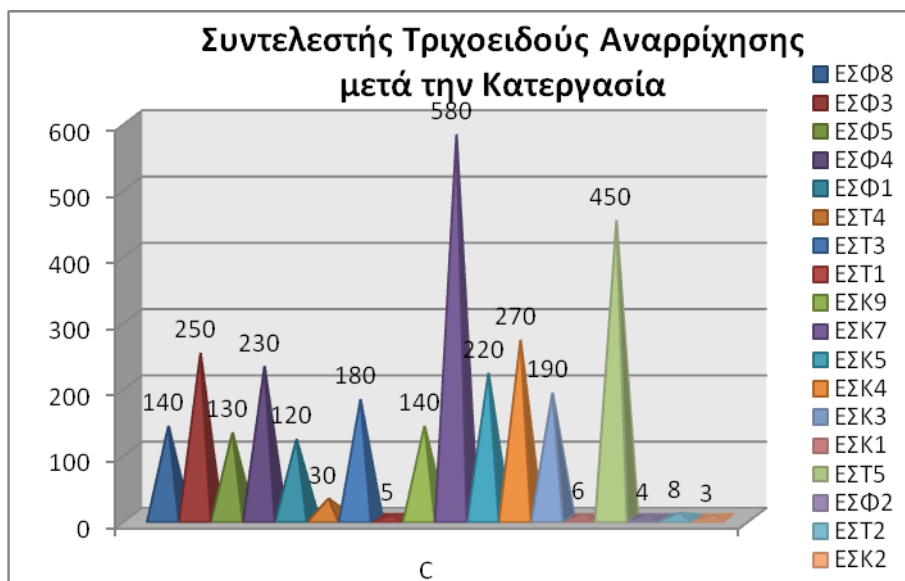
Διάγραμμα 9.1 Ποσοστό ενεργού πορώδους μετά την κατεργασία.

9.2 Τριχοειδής αναρρίχηση μετά την κατεργασία

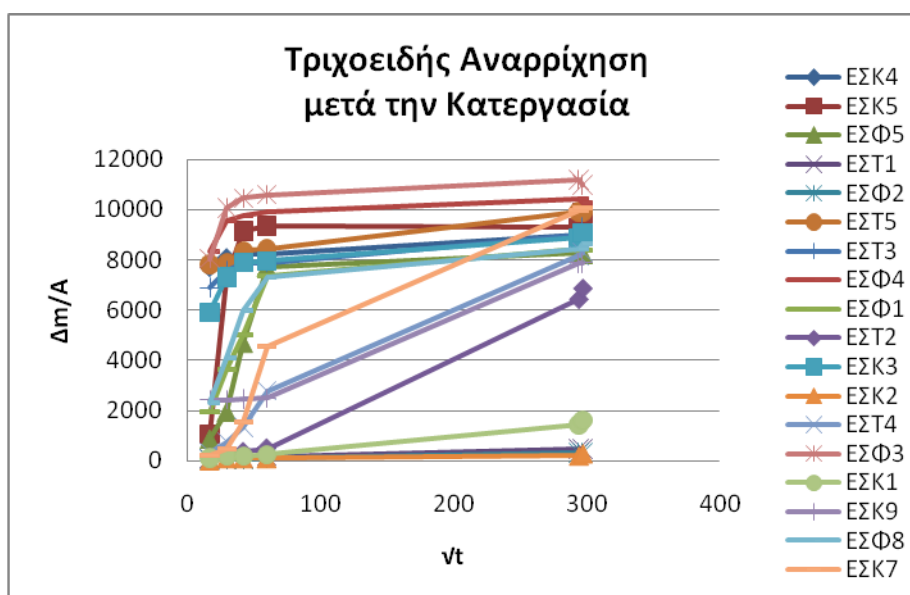
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μετρήσεις του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης σε εργαστηριακά δοκίμια μετά την κατεργασία.

Πίνακας 9.2 Συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης μετά την κατεργασία

ΔΟΚΙΜΙΟ	C
EΣΦ8	140
EΣΦ3	205
EΣΦ5	130
EΣΦ4	230
EΣΦ1	120
EΣΤ4	030
EΣΤ3	180
EΣΤ1	5
EΣΚ9	140
EΣΚ7	580
EΣΚ5	220
EΣΚ4	270
EΣΚ3	190
EΣΚ1	6
EΣΤ5	450
EΣΦ2	4
EΣΤ2	8
EΣΚ2	3



Διάγραμμα 9.2 Συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης μετά την κατεργασία



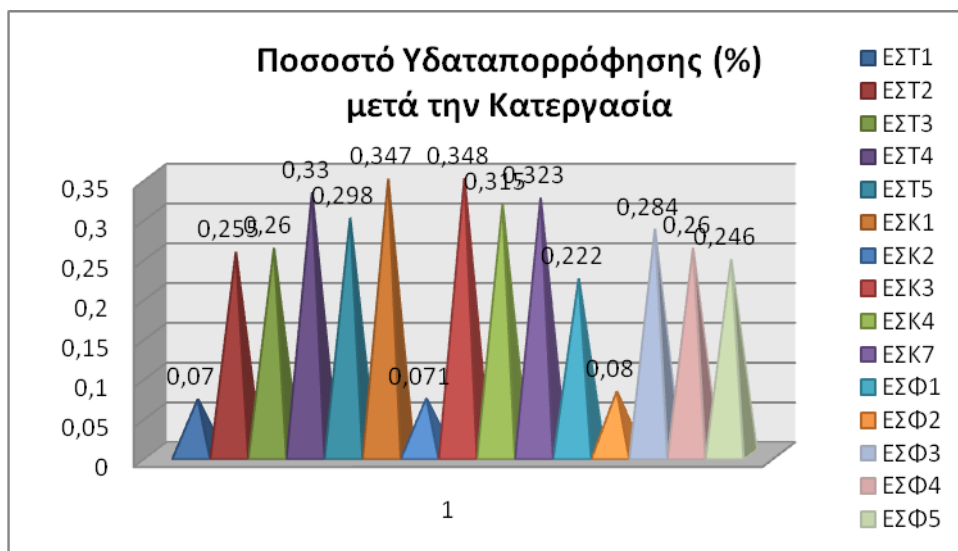
Διάγραμμα 9.3 Τριχοειδούς αναρρίχησης μετά την κατεργασία.

9.3 Υδαταπορρόφηση – Ξήρανση

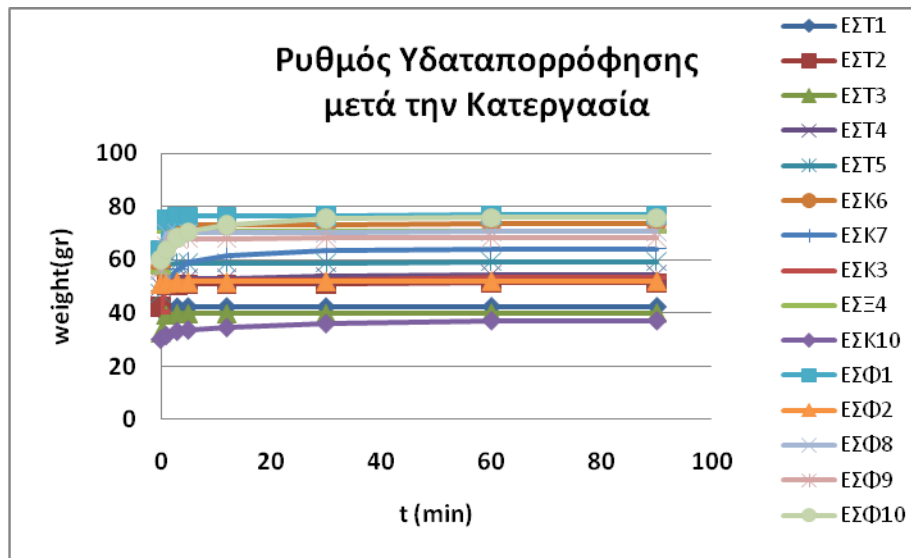
Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μετρήσεις και το ποσοστό της υδαταπορρόφησης σε εργαστηριακά δοκίμια πριν από την κατεργασία.

Πίνακας 9.3 Ποσοστό υδαταπορρόφησης μετά την κατεργασία.

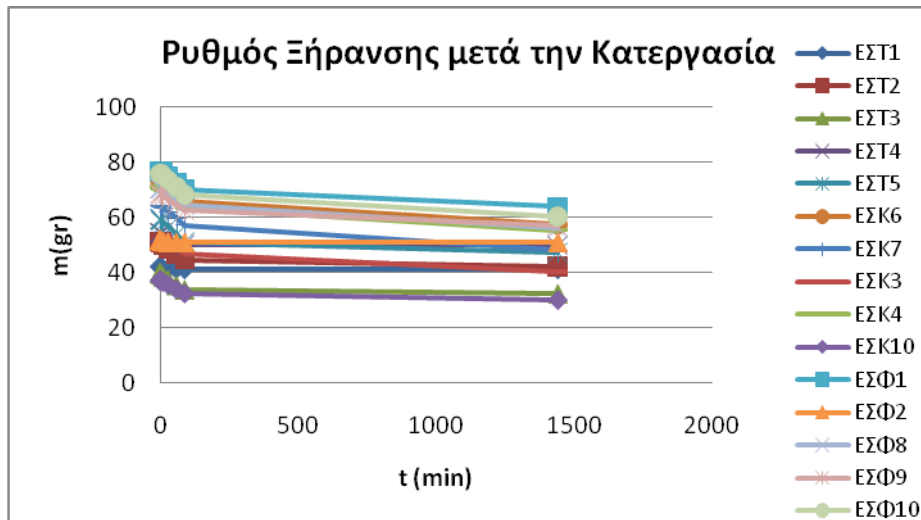
Κωδικός δείγματος	M0 (g)	Τελικό Βάρος M5 (g)	Ποσοστό Υδαταπορρόφησης %
ΕΣΤ1	41,5	44,4	7,0
ΕΣΤ2	42,8	53,7	25,5
ΕΣΤ3	32,7	41,2	26,0
ΕΣΤ4	46,7	62,1	33,0
ΕΣΤ5	47,7	61,9	29,8
ΕΣΚ1	45,8	61,7	34,7
ΕΣΚ2	30,8	33,0	7,1
ΕΣΚ3	40,5	54,6	34,8
ΕΣΚ4	55,5	73,0	31,5
ΕΣΚ7	48,3	63,9	32,3
ΕΣΦ1	64,5	78,8	22,2
ΕΣΦ2	51,1	55,2	8,0
ΕΣΦ3	56,3	72,3	28,4
ΕΣΦ4	57,2	72,1	26,0
ΕΣΦ5	49,6	61,8	24,6



Διάγραμμα 9.4 Ποσοστό υδαταπορρόφησης (%) μετά την κατεργασία



Διάγραμμα 9.5 Ρυθμός υδαταπορρόφησης μετά την κατεργασία



Διάγραμμα 9.6 Ρυθμός ξήρανσης μετά την κατεργασία

9.4 Το χρώμα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μετρήσεις των συντεταγμένων του χρώματος L, a, b στα ξηρά πιλοτικά δοκίμια μετά την κατεργασία.

Πίνακας 9.4 Μετρήσεις χρώματος ξηρών πιλοτικών δοκιμίων μετά την κατεργασία

Μετά την κατεργασία			
Δείγματα	L	a	b
ΠΣΦ1	31,8	-0,9	17,3
ΠΣΦ2	36,3	6,6	17,8
ΠΣΦ3	40,1	15,5	17,2
ΠΣΦ4	40,5	10,5	16,3
ΠΣΦ5	41,4	20,8	14,9
ΠΣΚ1	34,7	10,7	13
ΠΣΚ2	38,8	12,5	12,1
ΠΣΚ3	49,8	15,3	15,9
ΠΣΚ4	38,0	7,8	10,6
ΠΣΚ5	28,0	5,6	24,8
ΠΣΤ1	27,1	-1,0	2,5
ΠΣΤ2	25,7	2,4	3,7
ΠΣΤ3	27,5	0,3	9,1
ΠΣΤ4	24,4	3,3	12,1
ΠΣΤ5	31,6	-2,3	7,3

*Η τιμή του δοκιμίου ΕΣΦ10 διαφέρει από των υπολοίπων, γιατί η αντοχή του σε θλίψη πραγματοποιήθηκε χωρίς τον εγκιβωτισμό του σε γύψο.

9.5 Μηχανικές Αντοχές

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντοχής σε θλίψη που πραγματοποιήθηκε σε εργαστηριακά δοκίμια μετά από την κατεργασία.

Πίνακας 9.5 Μετρήσεις αντοχής σε θλίψη των κατεργασμένων δοκιμίων.

Υλικά κατεργασίας	Δοκίμια (Φαιά)	Αντοχή σε Θλίψη (MPa)	Δοκίμια (Κόκκινα)	Αντοχή σε Θλίψη (MPa)	Δοκίμια (Τεφρά)	Αντοχή σε Θλίψη (MPa)	Αντοχή Γύψου σε Θλίψη (MPa)
Calosil E-25	ΕΣΦ4	5,59	ΕΣΚ4	2,20	ΕΣΤ5	3,75	7,41
	ΕΣΦ9	7,55	ΕΣΚ6	3,02	-	-	
Calosil IP-25	ΕΣΦ3	5,62	ΕΣΚ3	4,08	ΕΣΤ3	3,90	
	ΕΣΦ8	5,49	ΕΣΚ8	2,00	-	-	
Funcosil 100	ΕΣΦ1	6,60	ΕΣΚ1	2,95	ΕΣΤ2	2,18	
	ΕΣΦ6	5,94	ΕΣΚ9	2,64	-	-	
Funcosil SL	ΕΣΦ2	3,14	ΕΣΚ2	3,13	ΕΣΤ1	2,08	
	ΕΣΦ7	3,36	ΕΣΚ5	2,73	-	-	
Hydrogrund	ΕΣΦ5	5,23	ΕΣΚ7	4,78	ΕΣΤ4	2,18	
	ΕΣΦ10	0,77*	ΕΣΚ10	2,59	-	-	

*Η τιμή του δοκιμίου ΕΣΦ10 διαφέρει από των υπολοίπων, γιατί η αντοχή του σε θλίψη πραγματοποιήθηκε χωρίς τον εγκιβωτισμό του σε γύψο.

Παρατηρείται ότι τα δοκίμια που έχουν κατεργαστεί με Calosil E-25 παρουσιάζουν την μεγαλύτερη αντοχή (2,20-7,55). Οι τιμές των δοκιμίων που επεξεργάστηκαν με Calosil IP-25 ή Funcosil 100 κυμαίνονται από 2,00 έως 5,62 και 2,18 έως 6,60 αντίστοιχα. Τέλος οι μετρήσεις των δοκιμίων που έχουν κατεργαστεί με Hydrogrund έχουν τιμές μεταξύ 2,18 και 5,23, ενώ οι τιμές αυτών που κατεργάστηκαν με Funcosil SL είναι μεταξύ 2,08 και 3,36.

10. Ανθεκτικότητα των δοκιμίων σε κύκλους τεχνητής γήρανσης

Προκειμένου να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητα των υλικών κατεργασίας σε βάθος χρόνου, πραγματοποιήθηκαν επαναλαμβανόμενοι κύκλοι επιταχυνόμενης γήρανσης με θειικό νάτριο (Na_2SO_4) 14% w/w και επαναλαμβανόμενοι κύκλοι επιταχυνόμενης γήρανσης σε κλιματικό θάλαμο ψύξης-απόψυξης.

10.1 Τεχνητή γήρανση σε κύκλους κρυστάλλωσης θειικού νατρίου

Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε στο εργαστήριο είχε ως σκοπό την προσομοίωση των συνθηκών διάβρωσης των πηλών στο χώρο της ανασκαφής (θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, μεταβολές της σχετικής υγρασίας, παρουσία διαλυτών αλάτων).

Κατεργασμένα δοκίμια και δοκίμια αναφοράς τοποθετήθηκαν σε κλίνη με διάλυμα θειικού νατρίου, το οποίο τα καλύπτει πλήρως (Εικόνα 10.1). Τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε επαναλαμβανόμενους κύκλους εμποτισμού με θειικό νάτριο σε 25°C και ξήρανσης σε πυριατήριο σε θερμοκρασία 80°C .

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε βασίστηκε στο πρότυπο RILEM test n. V Ib: Crystallization test by total immersion (for treated stone).



Εικόνα 10.1 Τα δοκίμια στο διάλυμα Na_2SO_4



Εικόνα 10.2 Αστοχία κατεργασμένου δοκιμίου κατά τη διάρκεια κύκλων κρυστάλλωσης Na_2SO_4

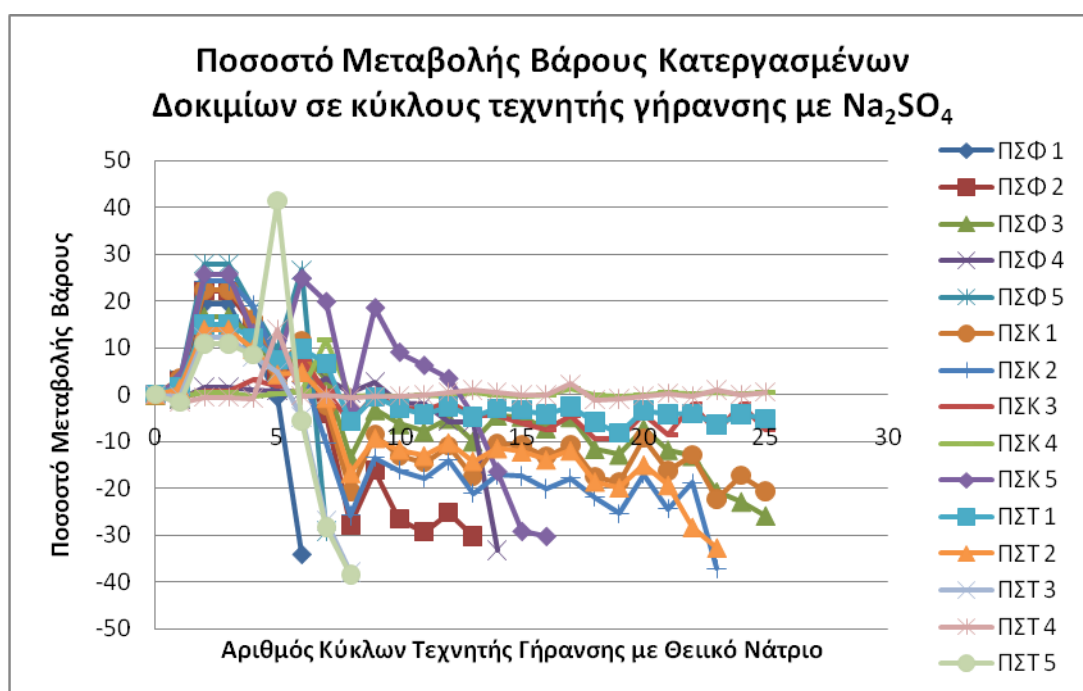


Εικόνα 10.3 Κατάρρευση κατεργασμένου δοκιμίου κατά τη διάρκεια κύκλων κρυστάλλωσης Na_2SO_4 .

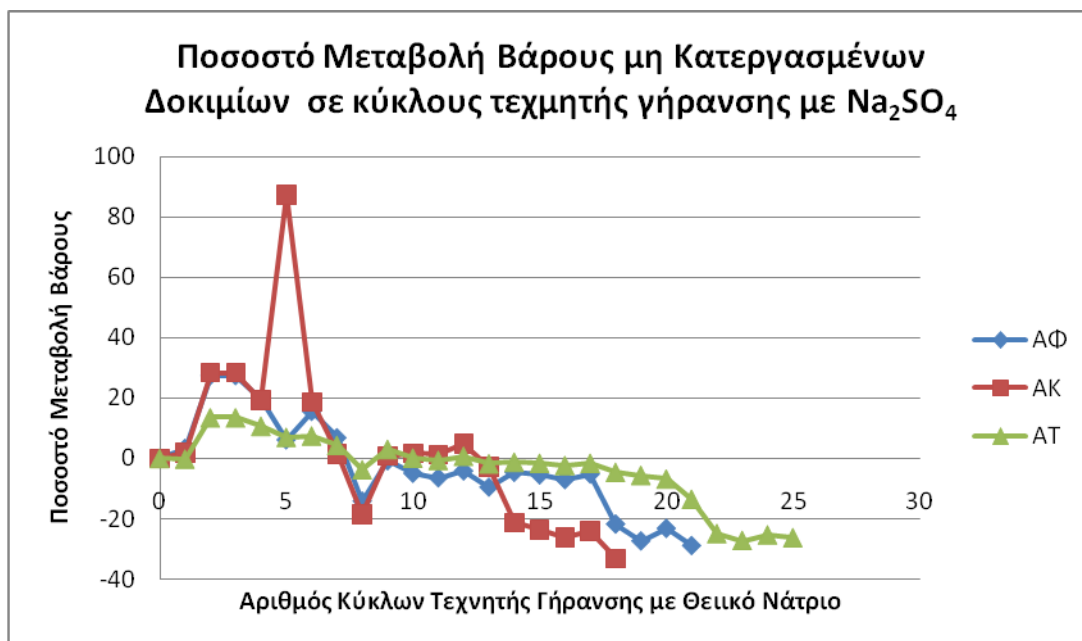


Εικόνα 10.4 Εξανθήσεις Na_2SO_4 στην επιφάνεια των δοκιμίων.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η μεταβολή του βάρους των κατεργασμένων δοκιμίων και των δοκιμίων αναφοράς, κατά την διάρκεια των κύκλων κρυστάλλωσης θειικού νατρίου.



Διάγραμμα 10.1 Ποσοστό μεταβολή βάρους κατεργασμένων δοκιμίων σε κύκλους τεχνητής γήρανσης με θειικό νάτριο (Na_2SO_4).



Διάγραμμα 10.2 Μεταβολή βάρους μη κατεργασμένων δοκιμίων σε κύκλους τεχνητής γήρανσης με θειικό νάτριο(Na₂SO₄).

Τα δοκίμια που έχουν κατεργαστεί με Funcosil SL και Funcosil 100 παρουσιάζουν μικρότερο ποσοστό μεταβολής βάρους κατά την διάρκεια των κύκλων τεχνητής γήρανσης με κρυστάλλωση θειικού νατρίου. Αντίθετα αυτά που κατεργάστηκαν με Hydrogrund παρουσιάζουν εντονότερη μεταβολή του ποσοστού βάρους.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η αντοχή των κατεργασμένων δοκιμίων και των δοκιμίων αναφοράς σε αριθμούς κύκλων κρυστάλλωσης θειικού νατρίου καθώς και ο κύκλος κατά τον οποίο κατέρρευσαν τα δοκίμια.

Πίνακας 10.1 Αντοχή δοκιμίων σε αριθμούς κύκλων γήρανσης με θειικό νάτριο.

Υλικά Κατεργασίας	Δοκίμια (Φαιά)	Κύκλοι	Δοκίμια (Κόκκινα)	Κύκλοι	Δοκίμια (Τεφρά)	Κύκλοι
Calosil E-25	ΠΣΦ 1	6	ΠΣΚ 1	Δεν Κατ.	ΠΣΤ 1	Δεν Κατ.
Calosil IP-25	ΠΣΦ 2	13	ΠΣΚ 2	23	ΠΣΤ 2	23
Funcosil 100	ΠΣΦ 3	25	ΠΣΚ 3	Δεν Κατ.	ΠΣΤ 3	8
Funcosil SL	ΠΣΦ 4	14	ΠΣΚ 4	Δεν Κατ.	ΠΣΤ 4	Δεν Κατ.
Hydrogrund	ΠΣΦ 5	7	ΠΣΚ 5	16	ΠΣΤ 5	8
Αστερέωτα	ΑΦ	21	ΑΚ	18	ΑΤ	Δεν Κατ.

Παρατηρήσεις:

- Στο δοκίμιο ΠΣΦ4 παρατηρήθηκαν ρηγματώσεις μετά τον 7^ο κύκλο. Το Funcosil SL σχηματίζει επιφανειακό φιλμ στην επιφάνεια του δοκιμίου, το οποίο δεν επιτρέπει την αποβολή του νερό που έχει απορροφηθεί. Αποτέλεσμα της εσωτερικής τάσης που ασκεί το νερό είναι οι ρηγματώσεις.
- Το δοκίμιο ΠΣΤ4 έχει σχηματίσει φιλμ και έχει αδιαβροχοποιηθεί. Παρατηρούνται επιφανειακές κρούστες άλατος.
- Την μεγαλύτερη αντοχή παρουσιάζουν τα δοκίμια που έχουν κατεργαστεί με Funcosil SL. Ακολουθούν αυτά στα οποία εφαρμόστηκε Funcosil 100 ή Calosil E-25.

10.2 Τεχνητή γήρανση σε κύκλους παγετού (ψύξης – απόψυξης)

Μελετώντας τις κλιματικές μεταβολές του νομού Καστοριάς, που περιλαμβάνουν μηνιαίες μετρήσεις σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας, παρατηρήθηκε πως κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών η θερμοκρασία βρίσκεται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα με ταυτόχρονη παρουσία υψηλής σχετικής υγρασίας. Πιο συγκεκριμένα η θερμοκρασία πολύ συχνά κυμαίνεται μεταξύ $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ενώ η σχετική υγρασία κυμαίνεται μεταξύ 63 – 73 % (Πίνακας 10.2). Επομένως κρίθηκε σκόπιμο να μελετηθεί η αντοχή των κατεργασμένων δοκιμίων και σε κύκλους ψύξης – απόψυξης.

Πίνακας 10.2 Θερμοκρασιακά δεδομένα Νομού Καστοριάς

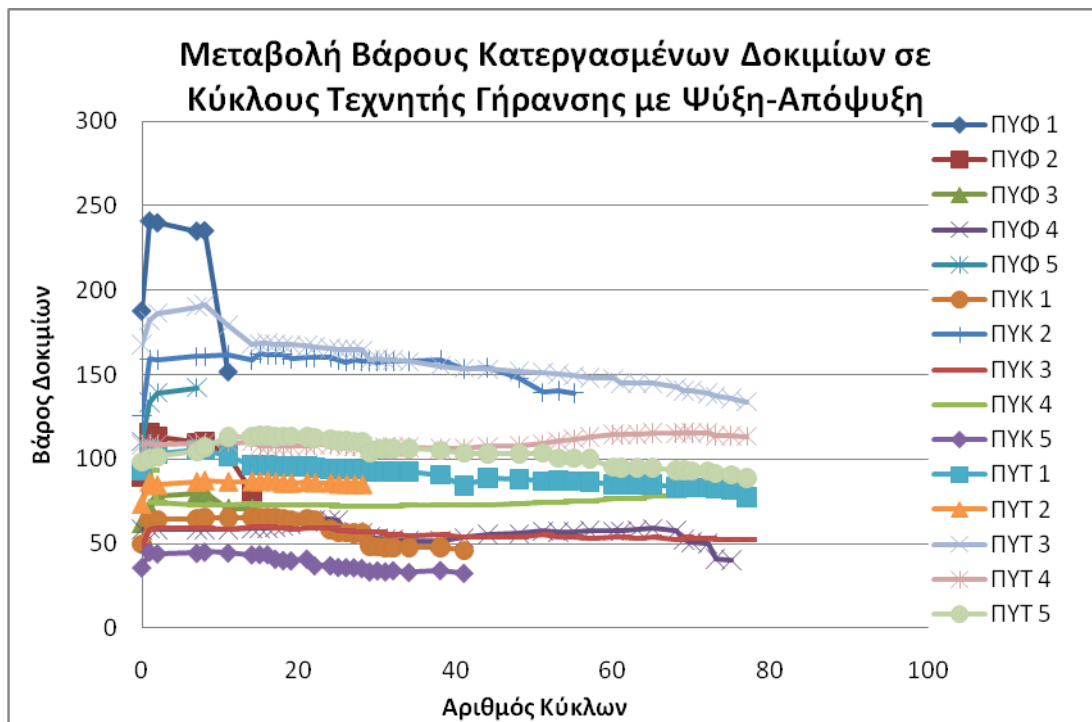
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ								
Μήνας	Έτος	Μέση μέγιστη τιμή	Μέση ελάχιστη τιμή	Απόλυτη μέγιστη τιμή	Ημέρα	Απόλυτη ελάχιστη τιμή	Ημέρα	Βροχή
Οκτώβριος	2008	19,1	6,7	22,5	17	3,2	7	55,2
Νοέμβριος	2008	13,2	4,4	23,7	1	-2,3	23	60,0
Δεκέμβριος	2008	7,6	0,1	17,3	4	-11,2	31	80,8
Ιανουάριος	2009	6,6	0,4	12,3	19	-12,6	1	99,8
Φεβρουάριος	2009	7,5	0,9	13,8	5	-6,2	17	24,4
Απρίλιος	2009	17,3	6,0	22,9	17	1,5	5	49,0

Πηγή: www.meteo.gr

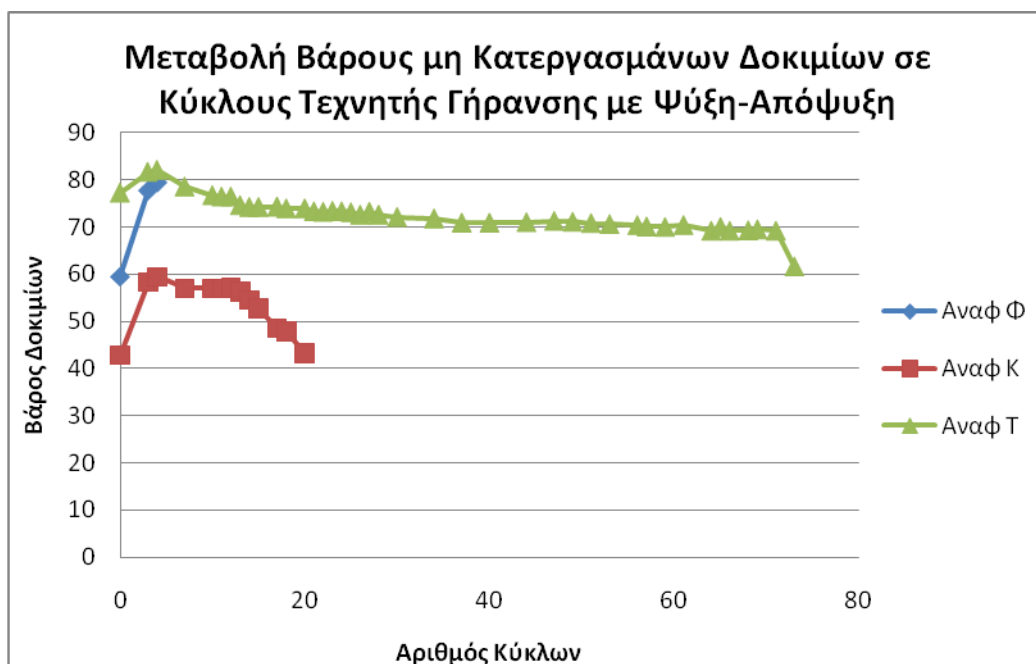
Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε με επαναλαμβανόμενη μεταβολή της θερμοκρασίας, παρουσία νερού. Σειρά κατεργασμένων δοκιμίων και δοκιμίων αναφοράς τοποθετήθηκε σε κλίνη με απιονισμένο νερό το οποίο κάλυπτε περίπου 1-3 mm της βάσης τους. Τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε κύκλους ψύξης - απόψυξης με μεταβολή της θερμοκρασίας από -18°C έως 4°C.

Η πειραματική μεθοδολογία βασίστηκε στο πρότυπο της ASTM C666/C666 M – 06: Standard Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται το βάρος των κατεργασμένων δοκιμίων και των δοκιμίων αναφοράς κατά την διάρκεια των κύκλων ψύξης – απόψυξης.



Διάγραμμα 10.3 Μεταβολή βάρους κατεργασμένων δοκιμίων σε κύκλους τεχνητής γήρανσης με ψύξη απόψυξη.



Διάγραμμα 10.4 Μεταβολή βάρους μη κατεργασμένων δοκιμίων σε κύκλους τεχνητής γήρανσης με ψύξη-απόψυξη.

Τα δοκίμια που έχουν κατεργαστεί με Funcosil SL, Funcosil 100 και Calosil E25 παρουσιάζουν μικρότερη μεταβολή βάρους κατά την διάρκεια των κύκλων τεχνητής γήρανσης με ψύξη απόψυξη. Παρατηρείται ότι τα τεφρά δοκίμια, κατεργασμένα και αναφοράς, παρουσιάζουν ελάχιστη μεταβολή βάρους.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η αντοχή των κατεργασμένων δοκιμίων και των δοκιμίων αναφοράς σε αριθμούς κύκλων ψύξης - απόψυξης καθώς και ο κύκλος κατά τον οποίο κατέρρευσαν τα δοκίμια.

Πίνακας 10.3 Αντοχή δοκιμίων σε αριθμούς κύκλων γήρανσης με ψύξη-απόψυξη.

Υλικά Κατεργασίας	Δοκίμια (Φαιά)	Κύκλοι	Δοκίμια (Κόκκινα)	Κύκλοι	Δοκίμια (Τεφρά)	Κύκλοι
Calosil E-25	ΠΥΦ 1	14	ΠΥΚ 1	38	ΠΥΤ 1	Δεν Κατ.
Calosil IP-25	ΠΥΦ 2	18	ΠΥΚ 2	53	ΠΥΤ 2	28
Funcosil 100	ΠΥΦ 3	14	ΠΥΚ 3	Δεν Κατ.	ΠΥΤ 3	Δεν Κατ.
Funcosil SL	ΠΥΦ 4	73	ΠΥΚ 4	Δεν Κατ.	ΠΥΤ 4	Δεν Κατ.
Hydrogrund	ΠΥΦ 5	7	ΠΥΚ 5	38	ΠΥΤ 5	77
Αστερέωτα	ΑΦ	4	ΑΚ	21	ΑΤ	74

Παρατηρήσεις:

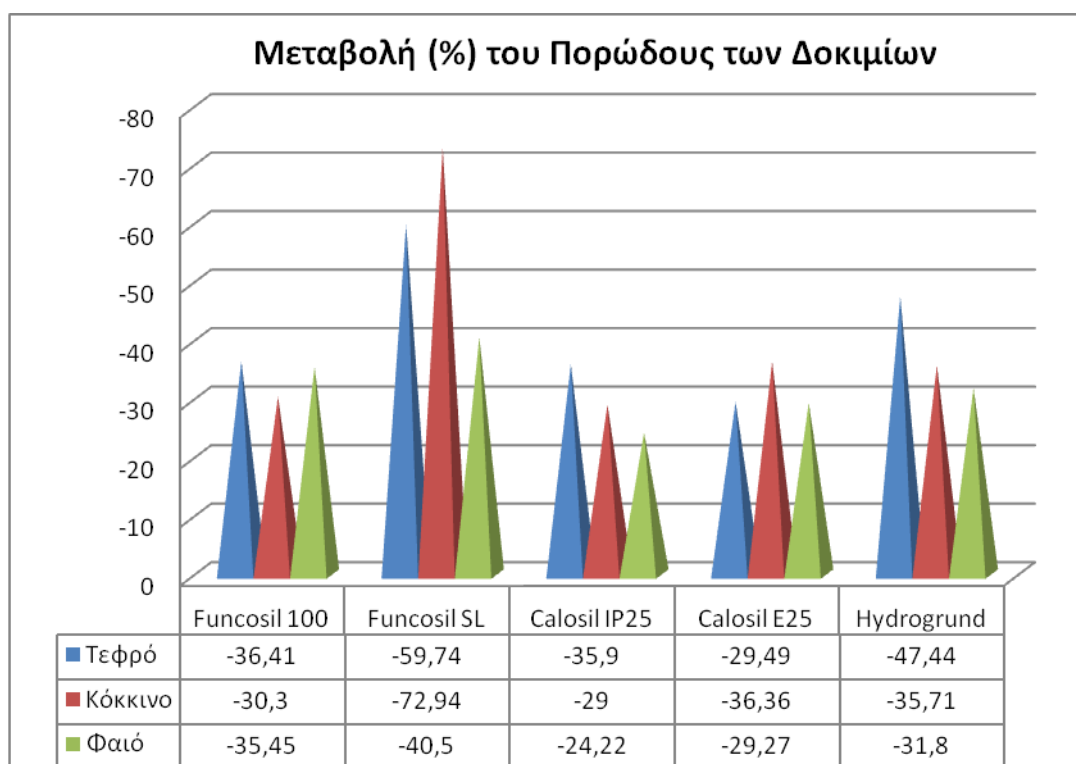
- Την μεγαλύτερη αντοχή παρουσιάζουν τα δοκίμια που έχουν κατεργαστεί με Funcosil SL. Ακολουθούν αυτά στα οποία εφαρμόστηκε Funcosil 100.

11. Αποτίμηση

Η αποτίμηση πραγματοποιήθηκε βάσει της μεταβολής των φυσικών χαρακτηριστικών των κατεργασμένων δοκιμίων, σε σχέση με τα αρχικά φυσικά χαρακτηριστικά.

11.1 Πορώδες

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή του ενεργού πορώδους ανάλογα με το υλικό κατεργασίας.



Διάγραμμα 11. 1 Μεταβολή (%) του πορώδους των δοκιμίων.

Παρατηρήσεις:

- Το ενεργό πορώδες σε όλα τα δοκίμια έχει μειωθεί σε ποσοστό 24,22 % έως 72,94% .
- Το Funcosil 100 επέφερε μείωση από 30,3% έως 36,41% .
- Το Funcosil SL επέφερε μείωση από 40,5% έως 72,94%.
- Το Calosil IP 25 επέφερε μείωση από 24,22 % έως 35,9%.
- Το Calosil E 25 επέφερε μείωση από 29,27 % έως 36,36%.
- Το Hydrogrund επέφερε μείωση από 31,8% έως 47,44%.

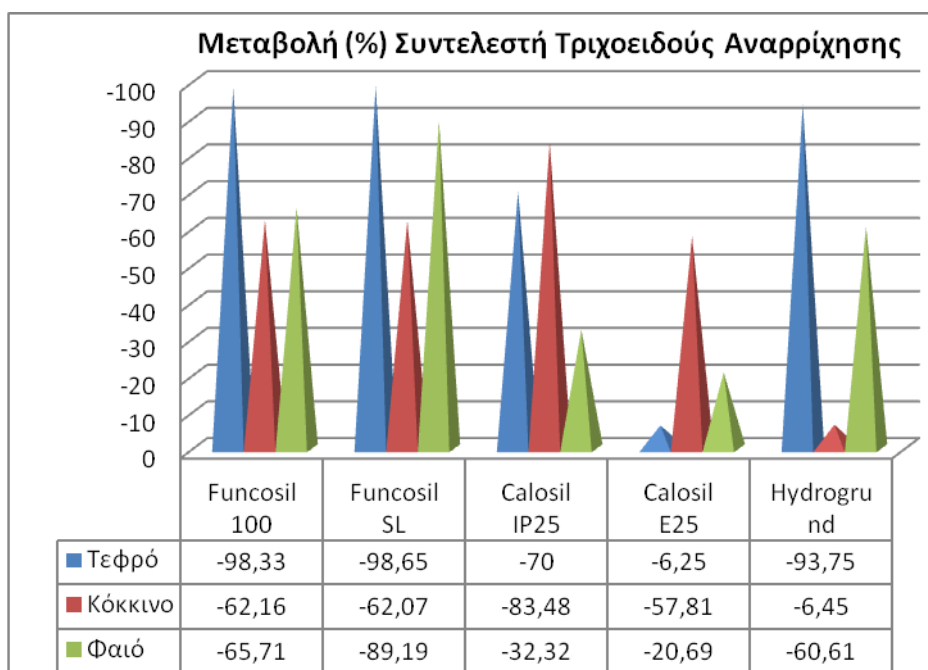
- Από τα παραπάνω δοκίμια, αυτά που έχουν την μεγαλύτερη μεταβολή πορώδους είναι αυτά που έχουν κατεργαστεί με Funcosil SL. Ικανοποιητικά αποτελέσματα έχουν και αυτά στα οποία εφαρμόστηκε Hydrogrund ή Funcosil 100.

11.2 Τριχοειδής Αναρρίχηση

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης C.

Πίνακας 12. 1 Μεταβολή (%) του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης (C) των δοκιμίων

Δοκίμια	C1	C2	ΔC%
ΕΣΦ5	330	130	-60,61
ΕΣΦ4	290	230	-20,69
ΕΣΦ1	350	120	-65,71
ΕΣΤ4	480	30	-93,75
ΕΣΤ3	600	180	-70,00
ΕΣΤ1	370	5	-98,65
ΕΣΚ9	370	140	-62,16
ΕΣΚ7	620	580	-6,45
ΕΣΚ5	580	220	-62,07
ΕΣΚ4	640	270	-57,81
ΕΣΚ3	1150	190	-83,48
ΕΣΤ2	480	8	-98,33
ΕΣΦ2	370	40	-89,19
ΕΣΦ3	370	250	-32,43
ΕΣΤ5	480	450	-6,25



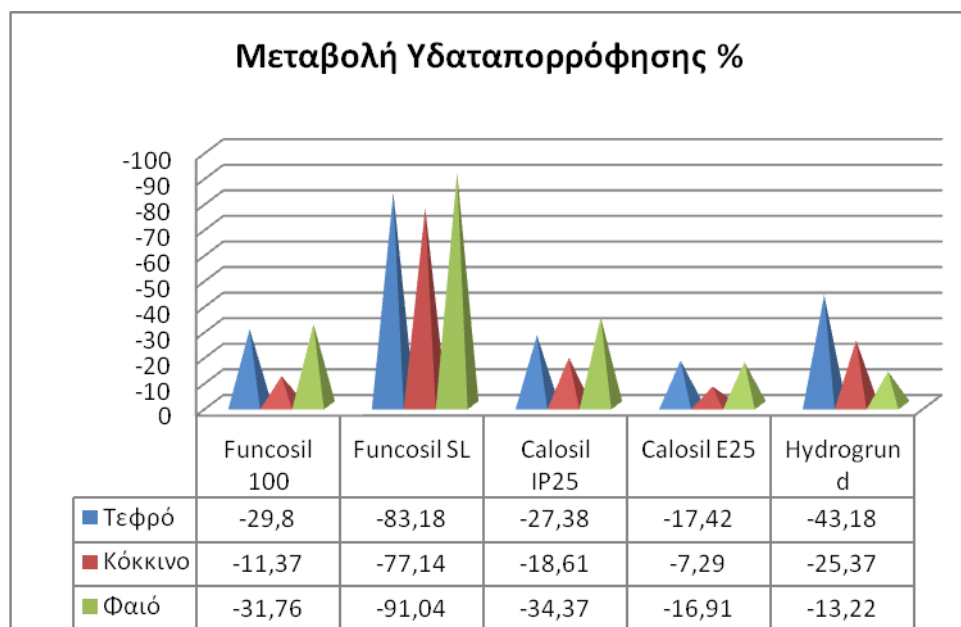
Διάγραμμα 11.2 Μεταβολή (%) του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης.

Παρατηρήσεις:

- Ο συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης έχει μειωθεί σε ποσοστό 6,25 % έως 98,65%.
- Το Funcosil 100 επέφερε μείωση από 62,16 % έως 98,33% .
- Το Funcosil SL επέφερε μείωση από 62,07% έως 98,65%.
- Το Calosil IP 25 επέφερε μείωση από 32,32 % έως 83,48%.
- Το Calosil E 25 επέφερε μείωση από 6,25 % έως 57,81%.
- Το Hydrogrund επέφερε μείωση από 6,45 % έως 93,75%.
- Από τα παραπάνω δοκίμια, αυτά που έχουν την μεγαλύτερη μεταβολή του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης είναι αυτά που έχουν κατεργαστεί με Funcosil SL. Ικανοποιητικά αποτελέσματα έχουν και αυτά στα οποία εφαρμόστηκε Funcosil 100.

11.3 Υδαταπορρόφηση – Ξήρανση

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή της υδαταπορρόφησης ανάλογα με το υλικό κατεργασίας.



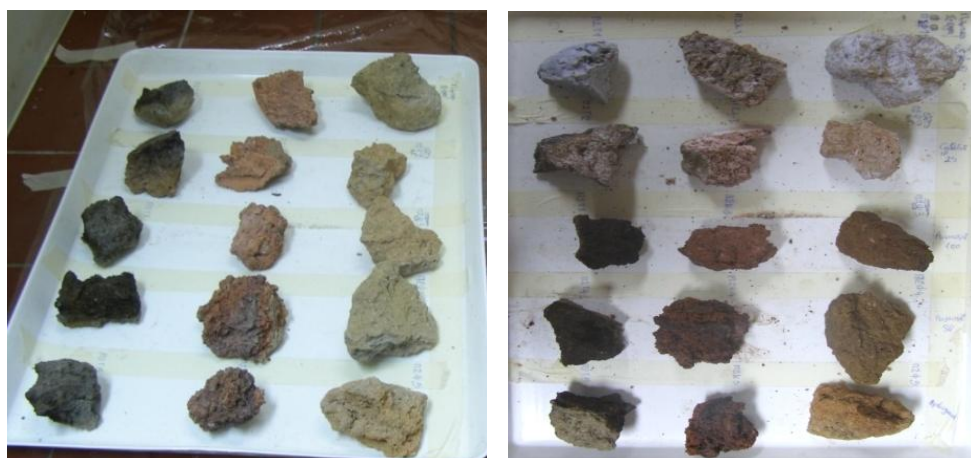
Διάγραμμα 11.3 Μεταβολή (%) της υδαταπορρόφησης των δοκιμίων.

Παρατηρήσεις:

- Η υδαταπορρόφηση έχει μειωθεί σε ποσοστό 7,29% έως 91,04%.
- Το Funcosil 100 επέφερε μείωση από 11,37% έως 31,76% .
- Το Funcosil SL επέφερε μείωση από 77,14% έως 91,04%.
- Το Calosil IP 25 επέφερε μείωση από 18,61% έως 34,37%.
- Το Calosil E 25 επέφερε μείωση από 7,29 % έως 17,42%.
- Το Hydrogrund επέφερε μείωση από 13,22 % έως 43,18%.
- Τα δοκίμια που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη μεταβολή υδαταπορρόφησης είναι αυτά που έχουν κατεργαστεί με Funcosil SL. Ικανοποιητικά αποτελέσματα έχουν και αυτά στα οποία εφαρμόστηκε Hydrogrund ή Calosil IP 25 .

11.4 Χρώμα

11.4.1 Μακροσκοπική Παρατήρηση



Εικόνα 9.1 Πιλοτικά στεγνά δοκίμια μετά τους 2 κύκλους εφαρμογής στερεωτικού

Η 1^η σειρά από πάνω έχει στερεωθεί με Calosil E-25 Και αντίστοιχα:

Η 2^η σειρά από πάνω με Calosil IP-25.

Η 3^η σειρά από πάνω με Funcosil-100.

Η 4^η σειρά από πάνω με Funcosil SL.

Η 5^η σειρά από πάνω με Hydrogrund.

Με μακροσκοπική παρατήρηση, διαπιστώνεται ότι το υλικό κατεργασίας που επηρεάζει λιγότερο την όψη των δοκιμίων είναι το Funcosil SL (Εικ. 9.1 4^η σειρά από κάτω) και έπειτα το Hydrogrund (5^η σειρά από κάτω). Τα δοκίμια που έχουν στερεωθεί με Calosil (1^η, 2^η σειρά από κάτω) έχουν άσπρες ασβεστιτικές αποθέσεις και αυτά που είναι με Funcosil (3^η, 4^η σειρά από κάτω) έχουν πιο σκούρο τόνο.

11.4.2 Χρωματικό μοντέλο CIELab

Στο CIELab χρωματικό μοντέλο, οι χρωματικές συντεταγμένες L^* , a^* και b^* , ερμηνεύονται ως εξής: η συντεταγμένη L^* (Lightness), αποθηκεύει όλη την πληροφορία φωτεινότητας της εικόνας, παίρνοντας τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό), ενώ οι συντεταγμένες a^* και b^* αποθηκεύουν την πληροφορία χρώματος, χωρίς να υπάρχουν για αυτές κάποια αριθμητικά όρια. Οι θετικές τιμές του a^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κόκκινου, ενώ οι αρνητικές τιμές του, αντιστοιχούν σε αποχρώσεις του πράσινου. Όσον αφορά το b^* , οι θετικές τιμές του

αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κίτρινου, ενώ οι αρνητικές τιμές του αντιστοιχούν σε αποχρώσεις του μπλε.(HunterLab, 2001)

Υπολογίζοντας τις τιμές της κάθε συντεταγμένης πριν και μετά την κατεργασία, παρατηρείται ότι τα φαιά δοκίμια παρουσιάζουν την μεγαλύτερη μεταβολή τονικότητας που έχει ως αποτέλεσμα να φαίνονται σκουρότερα. Στα κόκκινα δοκίμια μειώνεται η συντεταγμένη του κόκκινου χρώματος και αυξάνεται η συντεταγμένη του κίτρινου χρώματος. Οι λιγότερες τονικές και χρωματικές αλλοιώσεις παρατηρούνται στα τεφρά.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζεται η μεταβολή των συντεταγμένων L, a, b ανάλογα με το υλικό κατεργασίας.

Πίνακας 11.1 Μεταβολή των συντεταγμένων L,a,b στα φαιά στα δοκίμια.

Υλικά Κατεργασίας	Φαιά Δοκίμια	ΔL	Δa	Δb
Calosil E-25	ΠΣΦ1	-14,8	-10,6	+4,6
Calosil IP-25	ΠΣΦ2	-14,5	-5,7	-3,4
Funcosil 100	ΠΣΦ3	-12,4	+5,7	-4,2
Funcosil SL	ΠΣΦ4	-10,4	+2,0	-3,9
Hydrogrund	ΠΣΦ5	-9,9	+11,4	-5,1

Πίνακας 11.2 Μεταβολή των συντεταγμένων L,a,b στα κόκκινα δοκίμια.

Υλικά Κατεργασίας	Κόκκινα Δοκίμια	ΔL	Δa	Δb
Calosil E-25	ΠΣΚ1	-6,9	-8,0	+1,9
Calosil IP-25	ΠΣΚ2	-11,6	-4,4	-5,6
Funcosil 100	ΠΣΚ3	2,9	-0,6	+3,2
Funcosil SL	ΠΣΚ4	-1,3	-6,4	+0,1
Hydrogrund	ΠΣΚ5	-7,9	3,9	+16,2

Πίνακας 11.3 Μεταβολή των συντεταγμένων L,a,b στα τεφρά δοκίμια.

Υλικό Κατεργασίας	Τεφρά Δοκίμια	ΔL	Δa	Δb
Calosil E-25	ΠΣΤ1	-9,5	+2,0	-4,4
Calosil IP-25	ΠΣΤ2	-6,9	+6,1	-3,7
Funcosil 100	ΠΣΤ3	-7,8	+5,5	+2,7
Funcosil SL	ΠΣΤ4	-0,7	+2,5	-4,8
Hydrogrund	ΠΣΤ5	-8,6	-8,1	+1,4

Για τον υπολογισμό της συνολικής μεταβολής των τριών συντεταγμένων, χρησιμοποιείται ο τύπος $\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$, βάσει του οποίου διαπιστώνεται ότι τα δοκίμια που έχουν στερεωθεί με Funcosil SL, υφίστανται τις λιγότερες τονικές και χρωματικές διαφοροποιήσεις.

Πίνακας 11.4 Συνολική μεταβολή ΔΕ των τριών συντεταγμένων.

Υλικό Κατεργασίας	Φαία ΔΕ	Τεφρά ΔΕ	Κόκκινα ΔΕ
Calosil E-25	18,78	10,73	10,66
Calosil IP-25	15,95	13,61	9,93
Funcosil 100	14,28	4,36	9,92
Funcosil SL	11,29	6,53	5,46
Hydrogrund	15,94	18,44	11,90

11.5 Μηχανικές αντοχές

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται αντοχή σε θλίψη των κατεργασμένων δοκιμίων ανάλογα με το υλικό κατεργασίας.

Πίνακας 11.5 Μέτρηση αντοχής σε θλίψη.

Υλικά κατεργασίας	Δοκίμια (Φαιά)	Αντοχή σε Θλίψη (MPa)	Δοκίμια (Κόκκινα)	Αντοχή σε Θλίψη (MPa)	Δοκίμια (Τεφρά)	Αντοχή σε Θλίψη (MPa)	Αντοχή Γύψου σε Θλίψη (MPa)
Calosil E-25	ΕΣΦ4	5,59	ΕΣΚ4	2,20	ΕΣΤ5	3,75	7,41
	ΕΣΦ9	7,55	ΕΣΚ6	3,02	-	-	
Calosil IP-25	ΕΣΦ3	5,62	ΕΣΚ3	4,08	ΕΣΤ3	3,90	
	ΕΣΦ8	5,49	ΕΣΚ8	2,00	-	-	
Funcosil 100	ΕΣΦ1	6,60	ΕΣΚ1	2,95	ΕΣΤ2	2,18	
	ΕΣΦ6	5,94	ΕΣΚ9	2,64	-	-	
Funcosil SL	ΕΣΦ2	3,14	ΕΣΚ2	3,13	ΕΣΤ1	2,08	
	ΕΣΦ7	3,36	ΕΣΚ5	2,73	-	-	
Hydrogrun d	ΕΣΦ5	5,23	ΕΣΚ7	4,78	ΕΣΤ4	2,18	
	ΕΣΦ10	0,77*	ΕΣΚ10	2,59	-	-	
Δοκίμια Αναφοράς	ΑΦ1	2,74	ΑΚ1	2,68	ΑΤ	12,18**	
	ΑΦ2	2,78	ΑΚ2	1,58	-	-	

*Η τιμή του δοκιμίου ΕΣΦ10 διαφέρει από των υπολοίπων, γιατί η αντοχή του σε θλίψη πραγματοποιήθηκε χωρίς τον εγκιβωτισμό του σε γύψο.

**Η τιμή του μη κατεργασμένου δοκιμίου, δεν λαμβάνεται υπόψη, καθώς αποτελεί τμήμα εστίας και η μία επιφάνεια του είναι ψημένη. Το αποτέλεσμα της καύσης του είναι η μετατροπή του σε κεραμικό και η αντοχή του να είναι αντίστοιχη με αυτή των κεραμικών αντικειμένων.

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι, συγκριτικά με τις αρχικές τιμές της αντοχής σε θλίψη των δοκιμίων, τα υλικά κατεργασίας Calosil E-25 και Funcosil 100 προσδίδουν εξίσου καλές μηχανικές αντοχές στα φαιά δοκίμια, οι οποίες έχουν τις μεγαλύτερες τιμές (περίπου 6,4 από 2,76 MPa), έπεται το Funcosil 100. Αντίστοιχα στα κόκκινα δοκίμια τα πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα προσδίδει το Hydrogrund (περίπου 3,69 από 2 MPa) και έπεται το Calosil IP-25 (περίπου 3,00 από 2 MPa). Στα τεφρά, τα δοκίμια με την μεγαλύτερη αντοχή (3,80 MPa) είναι αυτά που έχουν

κατεργαστεί με Calosil E-25 ή Calosil IP-25 και ακολουθούν τα Hydrogrund και Funcosil 100.

Λαμβάνοντας τα παραπάνω υπόψη, συμπεραίνεται ότι, το υλικό κατεργασίας που προσδίδει ικανοποιητική αντοχή σε θλίψη και στα τρία είδη πηλού είναι το Calosil IP-25 και ακολουθούν τα Hydrogrund και Funcosil 100.



Εικόνα 11.1 Δοκίμια μετά την μέτρηση της μηχανικής αντοχής.

Συμπεράσματα

Στην παρούσα μελέτη δοκιμάστηκαν πέντε υλικά κατεργασίας τα οποία μπορούν να ομαδοποιηθούν ως εξής: τα CaLoSil E-25 και CaLoSil IP-25 ανήκουν στην κατηγορία κolloειδών αιωρημάτων (διασπορές στερεών σωματιδίων τάξεως 10^{-9} m). Το υλικό το οποίο αποτίθεται μετά την εφαρμογή και την εξάτμιση του οργανικού διαλύτη (αλκοόλες) είναι υδροξείδιο του ασβεστίου ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), το οποίο μετατρέπεται σε ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) και προκαλεί αύξηση της συνοχής του αποσαθρωμένου υλικού. Το τρίτο υλικό κατεργασίας, Hydrogrund, είναι ένα ακρυλικό γαλάκτωμα το οποίο, μετά την εξάτμιση του διαλύτη και την συσσωμάτωση των στερεών του, εναποθέτει ακρυλική ρητίνη στους πόρους του υποστρώματος του αντικειμένου. Τέλος, τα δύο επόμενα υλικά κατεργασίας ανήκουν στην κατηγορία των οργανικών ενώσεων του πυριτίου. Το πρώτο, Funcosil 100, είναι ένα τυπικό αλκοξυσιλάνιο, το οποίο με υδρόλυση αρχικά και στην συνέχεια συμπύκνωση, αποθέτει άμορφο διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) στους πόρους του υποστρώματος. Η συνοχή μάλιστα του εναποτιθέμενου SiO_2 και του υποστρώματος ενισχύεται όταν στο τελευταίο υπάρχουν ορυκτά με ρίζες υδροξυλίου (-OH) με τις οποίες μπορούν να δημιουργηθούν δεσμοί. Το δεύτερο, Funcosil SL, είναι ένα ολιγομερές αλκυλο-αλκοξυσιλάνιο, μια ένωση δηλαδή στην οποία αλκύλια μπορούν να συνδέονται απευθείας με άτομα του πυριτίου. Αυτό έχει ως συνέπεια, με την υδρόλυση αρχικά των αλκυλο-δεσμών και τον πολυμερισμό που ακολουθεί, να δημιουργούνται αλυσίδες SiO-SiO-SiO στις οποίες διατηρούνται συνδεδεμένα τα αλκύλια που προσδίδουν στα στρώματα αυτά σημαντική υδροφοβία.

Σε ότι αφορά στην ικανότητα απορρόφησης των μέσων κατεργασίας, τη διάχυση και την απόθεση των στερεών στο εσωτερικό των πηλών, είναι σαφές ότι τα διαλύματα των σιλανίων και ιδιαίτερα το Funcosil 100, υπερέχουν έναντι και των άλλων δύο κατηγοριών υλικών τα οποία ως αιωρήματα και μάλιστα πυκνά δεν παρουσιάζουν αξιόλογη απορρόφηση. Τα σιλάνια, έχοντας πολύ μικρό ιξώδες, μπορούν να εμποτίσουν σε μεγάλο βάθος τον πηλό και να αποθέσουν SiO_2 . Στην περίπτωση των σιλανίων χρειάζεται όμως, έλεγχος της κατεργασίας μετά τον εμποτισμό, προκειμένου να αποφύγουμε απότομη και έντονη εξάτμιση του διαλύτη, διότι αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, την μεταφορά και την απόθεση μεγάλης ποσότητας του στερεωτικού υλικού στα εξωτερικά στρώματα. Αυτό εμπεριέχει τον

κίνδυνο δημιουργίας επιφανειακού φιλμ, όπως συνέβη στο εργαστηριακό δοκίμιο ΕΣΦ1, το οποίο κατεργάστηκε με Funcosil 100.

Σε ότι αφορά στο ζήτημα της συμβατότητας, τα υλικά κατεργασίας που αποθέτουν ανόργανα συστατικά στους πόρους του πηλού αξιολογούνται θετικά και αυτά είναι οι δύο κολλοειδείς διασπορές CaOH_2 (Calosil E-25, Calosil IP-25) και από τις οργανικές ενώσεις του πυριτίου το Funcosil 100 το οποίο αποθέτει καθαρό άμορφο SiO_2 . Από τα υπόλοιπα δύο το πολυξισιλάνιο το οποίο αποτίθεται από την κατεργασία με Funcosil SL είναι περισσότερο συμβατό με τη σύσταση των πηλών παρά η ακρυλική ρητίνη (Hydrogrund), η οποία είναι ελάχιστα συμβατή με τη σύσταση και την υφή του υποστρώματος.

Σε ό,τι αφορά στις τιμές των φυσικών παραμέτρων που ελέγχουν την απορρόφηση νερού και τη διάχυση της υγρασίας, φαίνεται πως οι κατεργασίες με τα αιωρήματα CaOH_2 έχουν σχετικά μικρή επίδραση στη συμπεριφορά του υδρόφιλου αρχικά πηλού, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα των μετρήσεων των παραμέτρων αυτών. Αντίθετα η κατεργασία με το Funcosil SL, έχει τα καλύτερα πειραματικά αποτελέσματα, αλλά η έντονη μεταβολή των παραμέτρων αυτών, που τείνει στην αδιαβροχοποίηση των πήλινων δοκιμίων, θα δημιουργεί προβλήματα στον χώρο της ανασκαφής.

Το Funcosil 100 προκαλεί μία ήπια υδρόφοβη μεταβολή, η οποία όμως από ότι φαίνεται δεν οδηγεί σε ανένδοτες συνθήκες ως προς τα φαινόμενα μεταφοράς της υγρασίας και ιδιαίτερα της διάχυσης των υδρατμών.

Το Hydrogrund εμποτίζει τον πηλό με σχετική δυσκολία, σχηματίζει φιλμ στην επιφάνεια, δεν αποδίδει ικανοποιητική συνοχή και δεν μεταβάλλει τα αρχικά φυσικά χαρακτηριστικά του υποστρώματος.

Αναφορικά με την χρωματική μεταβολή που επιφέρουν τα υλικά κατεργασίας στα δοκίμια, την μικρότερη αλλοίωση προκαλούν τα σιλάνια Funcosil SL και Funcosil 100. Τα παραπάνω προσδίδουν πιο σκούρο τόνο στα δοκίμια. Το Hydrogrund προσδίδει ακόμα πιο σκούρο τόνο, ενώ οι δύο κολλοειδείς διασπορές CaOH_2 (Calosil E-25, Calosil IP-25), έχουν ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό λευκών κηλίδων στην επιφάνεια.

Σε ό,τι αφορά στην αύξηση της συνοχής και την ενίσχυση της μηχανικής αντοχής του πηλού, οι μετρήσεις δείχνουν ότι η κατεργασία με το Calosil E-25 αποδίδει ικανοποιητικότερα. Το Funcosil 100 λόγω της απόθεσης επαρκούς ποσότητας SiO_2

και η ακρυλική ρητίνη (Hydrogrund) προσδίδουν ικανοποιητικές αντοχές στον ιστό του πηλού.

Σχετικά με την αντοχή των δοκιμίων σε κύκλους επιταχυνόμενης γήρανσης τα δοκίμια που έχουν κατεργαστεί με σιλάνια παρουσίασαν την μεγαλύτερη ανθεκτικότητα. Ικανοποιητικά αποτελέσματα επέφερε και το Calosil E-25.

Σε ότι αφορά στο λεπτό ζήτημα της αντιστρεψιμότητας, η κατεργασία με εμποτισμό μάζας είναι πολύ λίγο αντιστρεπτή. Ως εκ τούτου, εάν εξετάσουμε τη δυνατότητα επανάληψης της διαδικασίας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι το Funcosil 100 είναι αυτό που δίνει μεγαλύτερα περιθώρια αποκατάστασης πιθανών αστοχιών.

Αναφορικά με την εφαρμογή των υλικών κατεργασίας στις συνθήκες του εργαστηρίου, ο ψεκασμός είχε ικανοποιητικά αποτελέσματα, αλλά στον ανασκαφικό χώρο οι συνθήκες διαφέρουν. Τα ευρήματα βρίσκονται σε μεγάλη έκταση και η θερμοκρασία δεν είναι ελεγχόμενη. Για αυτόν τον λόγο είναι προτιμότερο η εφαρμογή να πραγματοποιηθεί με επιθέματα ή με ελεγχόμενη ροή (στάγδην).

Σύμφωνα με τα έως τώρα δεδομένα, για την εφαρμογή αυτή καθεαυτή προκρίνεται, στις περιπτώσεις όπου η επέμβαση απαιτεί εμποτισμό σημαντικής επιφάνειας σε έκταση, η χρήση του Funcosil 100. Το συγκεκριμένο υλικό κατεργασίας μπορεί να διατηρεί τη συνοχή του πηλού και να ρυθμίζει ήπια τα φαινόμενα διάχυσης του νερού χωρίς να επιφέρει σημαντική χρωματική αλλοίωση. Παράλληλα τα δοκίμια γίνονται ανθεκτικότητα στις μεταβολές της θερμοκρασίας. Στις περιπτώσεις, όπου οι κατασκευές από πηλό δεν έχουν άμεση επαφή με το έδαφος της ανασκαφής, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αυτόνομα ή συμπληρωματικά (ύστερα από μία αρχική κατεργασία με το Funcosil 100) το Funcosil SL.

Κατά την εφαρμογή του υλικού κατεργασίας θα πρέπει τα αντικείμενα να εμποτίζονται σε μεγάλο βάθος. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση κάποιου λεπτού επιθέματος μέσω του οποίου να τροφοδοτείται το υλικό κατεργασίας. Αφού ο εμποτισμός προχωρήσει στο επιθυμητό βάθος, να αφαιρείται το επίθεμα και οι εξωτερικές επιφάνειες να καλύπτονται, ώστε να προστατεύονται από την ανεξέλεγκτη εξάτμιση του διαλύτη και από την μεταφορά της περίσσειας του υλικού στα εξωτερικά στρώματα.

Τέλος, είναι χρήσιμο να επισημανθεί ότι πέραν των όποιων επεμβάσεων στους ίδιους τους πηλούς, θα είχε ενδιαφέρον να εξετασθεί η δυνατότητα ελέγχου με κατάλληλα έργα, των διακυμάνσεων του εδαφικού νερού. Μία τέτοια παρέμβαση στο

χώρο της ανασκαφής θα εξασφάλιζε βελτιωμένες συνθήκες λειτουργίας και απόδοσης για τις κατεργασίες στερέωσης.

Βιβλιογραφία

Διεθνής

- Aitken, M. J., 1961, *Physics and Archaeology*, Clarendon Press: Oxford.
- American Society for testing materials, 2003, ASTM C 666/C 666M – 03, *Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing*, West Conshohocken: ASTM
- Andrés A., Díaz Ma C., Coz A., Abellán Ma J., Viguri J. R., (2009), Physico-chemical characterization of bricks all through the manufacture process in relation to efflorescence salt, *Journal of the European Ceramic Society*, **29**
- Bell F. C., 2000, *Engineering properties of Soil and Rocks*, [4th ed.]Blackwell: London
- Bear J., 1988, *Dynamics of fluids in porous media*. Ney York: Dover publications
- Borelli E., 1999, *Porosity*, ARC Laboratory Handbook, Rome: ICCROM
- Brady N. C., 1990, *The nature and Properties of Soils*, Macmillan Publishing Company: New York
- British Standards Institution, 1995, BS EN 196-1:1995, *Methods of testing cement – Part 1: Determination of strength*, London: BSI
- Buys S., and Oakley V., 1993, *The Conservation and Restoration of Ceramics*, Butterworth-Heinemann: London
- Carretti E., Dei L., 2004, Physicochemical characterization of acrylic polymeric resins coating porous materials of artistic interest, *Progress in Organic Coatings*, **49**, 282–289
- Chiang Y. M., Birnie, 1996, *Physical Ceramics: Principles for Ceramic Science and Engineering Book Description*, John Wiley & Sons: London
- Clark D. E., 1992, *Corrosion of Glass Ceramics and Ceramic superconductors*, Noyes Publications: NJ
- Clifton R.J., Frohnsdorff G.J.C, 1982, *Stone consolidating materials: a status report*, in *Conservation of Historic Stone Buildings and Monuments: Report on the Committee on Conservation of Historic Stone Buildings and Monuments*, National Materials Advisory Board, Commission on Engineering and Testing Systems, National Research Council, National Academy Press: Washington DC
- Cocca M., D'Arienzo L., D'Orazio L., Gentile G., Martuscelli E., 2004, Polyacrylates for conservation: chemico-physical properties and durability of different commercial products, *Polymer Testing*, **23**, 333–342.
- European Committee of Standardization, 1999, EN 1015-11, *Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened rendering mortar*, Brussels: CEN
- IBZ-Freiberg, 2003, *Calosil*, [online] IBZ-Freiberg.
At: <http://www.ibz-freiberg.de/ingenieurbuero-englisch/nanomaterialien.php>
[Accessed 12/2/2009]
- Favaro M., Mendichi R., Ossola F., Russo U., Simon S., Tomasin P., Vigato P.A., 2006, Evaluation of polymers for conservation treatments of outdoor exposed stone monuments. Part I: Photo-oxidative weathering, *Polymer Degradation and Stability*, **91**, 3083-3096.
- Fischer P. M., 1988, Classification of pottery by micro colour analysis, A pilot study, *Hydra* **5**, 36-41.

- HunterLab, 2001, *Basics of color perception and measurement*, [online] HunterLab. At: <http://www.hunterlab.com/pdf/color.pdf> [Accessed 10/06/2009]
- ICCROM, 1995, Methods of evaluating products for the conservation of porous building materials in monuments, *International Colloquium*, 19-21 June 1995, ICCROM: Rome,
- ICCROM, 1999, *Conservation of architectural Heritage, Historic structures and materials*, ARCLab Handbook 14, **1**, ICCROM: Rome
- Jimenez-Lopez C., Rodriguez-Navarro C., Pinar G., Carrillo-Rosu F.J., Rodriguez-Gallego M., Gonzalez-Munoz M.T., 2007, Consolidation of degraded ornamental porous limestone stone by calcium carbonate precipitation induced by the microbiota inhabiting the stone, *Chemosphere*, **68**, 1929–1936
- Lascaux, 1963, *Technical Sheet*, [Online] Lascaux Colours and Restauro, http://www.lascaux.ch/english/malhilfen/PDF/52304.02_impraegnierungen_.pdf, [Accessed 5/2/2009]
- Limbrey S., 1975, *Soil Science and Archaeology*, University of Birmingham, Academic Press: London
- Magalhães A., Veiga R., 2005, *Physical and mechanical characterisation of ancient mortars. Application to the evaluation of the state of conservation*, Buildings Department, National Laboratory of Civil Engineering, Lisboa
- Moropoulou A., Kouloumbi N., Haralampopoulos G., Konstanti A., Michailidis P. 2003, Criteria and methodology for the evaluation of conservation interventions on treated porous stone susceptible to salt decay, *Progress in Organic Coatings*, 48, 259–270
- National Research Council, 1982, *Conservation of historic stone buildings and monuments, Committee on Conservation of Historic Stone Buildings and Monuments*, National Materials Advisory Board, National Academy Press: Washington D.C.
- O’Sullivan J, 2007, *Kinetics of Swelling in Clay-Bearing Stones* [online], Department of Civil and Environmental Engineering, Princeton University. At: <http://www.princeton.edu/~pccm/outreach/REU2007/REU2007Presentations/Osullivan.pdf> [Accessed 10/05/2009]
- Remmers, *Technical Information Sheet Funcosil*, [Online] Remmers, http://www.remmers.co.uk/fileadmin/doc/tm/TM1_0608_EN.pdf, (Accessed 5/2/2009)
- Reunion Internationale des Laboratoires d’Essais des Meterieux, 1984, *Absorption of water by immersion under vacuum*, RILEM CPC 11.3, RILEM Publications SARL
- Reunion Internationale des Laboratoires d’Essais des Meterieux, 1978, *Crystallization test by total immersion (for treated stone)*, RILEM test n. V Ib, RILEM publication
- Rice M.P., 1987, *Pottery Analysis, A Sourcebook*, University of Chicago: Chicago
- Rodrigues J. D., 1992, *Consolidation of decayed stones. A delicate problem with few practical solutions*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil: Lisboa
- Teutonico J. M., 1988, *A laboratory manual for architectural conservators*, ICCROM: Rome
- Theoulakis P. and A. Moropoulou, 1997, Porous Stone Decay by Salt Crystallization- The Case of the Building Material of the Mediaeval City of Rhodes, Moropoulou A., Zezza F., Kollias E., Papachristodoulou I. (eds). *Proceedings of the 4th International Symposium on the Conservation of*

- monuments in the Mediterranean Basin, Rhodes: Technical Chamber of Greece.* **4**, 647-673
- Tite M.S., 1972, *Methods of Physical Examination in Archaeology*, Colchester:London
- Tsakalof A., Manoudis P., Karapanagiotis I., Chryssoulakis I., Panayiotou C., 2007, Assessment of synthetic polymeric coatings for the protection and preservation of stone monuments, *Journal of Cultural Heritage*, **8**, 69-72.
- Wheeler G., 2005, *Alkoxysilanes and the consolidation of stone*, Getty Publishing: LA

Ελληνική

- Αλεξοπούλου-Αγοράνου Α., Ιωακείμογλου Ε., Μοίρα Π., 1992, *Ανάλυση των Υλικών Κατασκευής των Ζωγραφικών Έργων με Φυσικοχημικές Τεχνικές*, Αθήνα: Εκδόσεις Γκόνη
- Αλεξοπούλου-Αγοράνου Α., Χρυσουλάκης Γ., 1993, *Θετικές Επιστήμες και Έργα Τέχνης, Μέρος Β: Φυσικοχημικές Διαγνωστικές Μέθοδοι*, Αθήνα: Εκδόσεις Γκόνη
- Λαμπρόπουλος Β., 1993, *Διάβρωση και Συντήρηση της Πέτρας*, Αθήνα: Λαμπρόπουλος
- Λαμπρόπουλος Β., 2003α, *Κεραμικά, Τεχνολογία Διάβρωση και Συντήρηση*, Αθήνα: Λαμπρόπουλος
- Λαμπρόπουλος Β., 2003β, *Περιβάλλον Μνημείων Μουσείων και Αρχαιολογικών Χώρων*, Αθήνα: Λαμπρόπουλος
- Ντίνου Μ., 2000, Η παλαιοπλαστική γύρω από το Λιμναίο Νεολιθικό Οικισμό Δισπηλιού και η χρήση της, *Επτάκυκλος* **15**, 98- 105
- Οικονομόπουλος Π.Δ., 1991, *Θεωρητικές Αρχές Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου*, Αθήνα
- Παπαευθυμίου-Παπανθίμου Α., Πιλαλή-Παπαστεργίου Α., 1997, *Οδοιπορικό στην Προϊστορική Μακεδονία*, Θεσσαλονίκη
- Παπαθανασόπουλος Γ.Α., 1996, *Νεολιθικός Πολιτισμός στην Ελλάδα*, Αθήνα: Ίδρυμα Ν.Π. Γουλανδρή
- Σκουλικίδης Θ. Ν., 2000, *Διάβρωση και συντήρηση της πέτρας*, Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης
- Τουλούμης Κ., 2000, Η οικονομία ενός Νεολιθικού Λιμναίου Οικισμού, *Επτάκυκλος* **15**, 127-140
- Φακορέλης Γ., 1997, *Ιστορικό Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας, Σημειώσεις Εργαστηρίου Φυσικοχημικών και Ραδιοχημικές Τεχνικές ΙΙΙ, Σχολή Γραφικών και Καλλιτεχνικών Σπουδών, Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης*. ΤΕΙ Αθήνας
- Χατζής Ε., Ξανθόπουλος Γ. και Λαμπρινός Γ. 2005, Ποιοτική Αξιολόγηση Μαρουλιού με χρήση Χρωματομέτρου και Επεξεργασία Ψηφιακής Εικόνας, *Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας*, Αθήνα, 580-587
- Χουρμουζιάδη Ν., 2000α, Προβλήματα και Μέθοδοι Προσέγγισης του Χώρου, *Επτάκυκλος* **15**, 105-127
- Χουρμουζιάδη Ν., 2000β, Το Πρόγραμμα της Αναπαράστασης, *Επτάκυκλος* **15**, 208-217

- Χουρμουζιάδης Γ.Χ., 2000α, Οι Ανασκαφές στο Δισπηλιό, *Επτάκυκλος* **15**, 79-81
- Χουρμουζιάδης Γ.Χ., 2000β, Πέρα από το χωράφι, την λίμνη και το στάβλο, *Επτάκυκλος* **15**, 200 -207
- Hollinetz C., 2004, *Μελέτη και ανάλυση δομικού υλικού από πηλό του αρχαιολογικού χώρου Δισπηλιού, Καστοριάς*, Προπτυχιακή εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας.
- Pecsok R.L., Shields L.D., Cairns Th., Mc William I.G., 1980, *Σύγχρονες Μέθοδοι στην Χημική Ανάλυση*, Εκδόσεις Γ.Α. Πνευματικός: Αθήνα
- Pgourtze, 2008, *Αρχαίος Οικισμός στο Δισπηλιό*, [online] Panoramio.
At: <http://www.panoramio.com/photo/17326642> [Accessed 10/06/2009]