

ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΤΙΚΟΥ ΨΑΜΜΙΤΗ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ

Ανδρονικούλλα Ανδρέου

Υποψήφια Διδάκτορας, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών

Ιωάννης Ιωάννου

Λέκτορας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών & Μηχ. Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Κύπρου

Κωνσταντίνος Χατζηπαναγιώτου

Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών

Βασίλειος Τσικούρας

Λέκτορας, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών

Λέξεις κλειδιά: επιφανειακή απορροφητικότητα, τριχοειδής αναρρίχηση, πορώδες, ασβεστιτικός ψαμμίτης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Ο φυσικοχημικός χαρακτηρισμός του ασβεστιτικού ψαμμίτη και ιδιαίτερα ο προσδιορισμός της επιφανειακής απορροφητικότητας του μέσω των τριχοειδών, μπορεί να οδηγήσει σε μια ασφαλή εκτίμηση της συμπεριφοράς του σε χρήση και της ανθεκτικότητας του σε διάρκεια. Στο άρθρο αυτό παρουσιάζονται τα προκαταρκτικά αποτελέσματα φυσικοχημικού χαρακτηρισμού 4 ειδών ασβεστιτικού ψαμμίτη της Κύπρου. Ιδιαίτερη έμφαση δίδεται σε αποτελέσματα δοκιμών που στοχεύουν στη μελέτη της διαβρεκτικότητας αυτών των ψαμμιτών. Από τα αποτελέσματα διαφαίνεται ότι οι ασβεστιτικοί ψαμμίτες, παρουσιάζουν κάποιο βαθμό φυσικής προστασίας ως προς την απορρόφηση νερού.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο φυσικός λίθος είναι ίσως το αρχαιότερο δομικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε από τον άνθρωπο. Χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον σε όλους τους ιστορικούς χρόνους, από όλους σχεδόν τους δομικούς πολιτισμούς, για τη δόμηση διαφόρων δομικών στοιχείων. Παρόλο που η χρήση του σήμερα σε καινούργιες κατασκευές είναι σχετικά περιορισμένη, ο δομικός λίθος εξακολουθεί να χρησιμοποιείται υποχρεωτικά και συστηματικά σε όλες τις περιπτώσεις επισκευής και συντήρησης λίθινων ιστορικών κατασκευών και μνημείων.

Η διάβρωση (ή φθορά) του δομικού λίθου είναι ένα πρόβλημα που επηρεάζει άμεσα ιστορικά κτήρια και μνημεία της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς. Μια από τις βασικές παραμέτρους που διέπουν τη διάβρωση και τη φθορά του δομικού λίθου είναι το νερό (υγρασία). Φαινόμενα όπως η μεταφορά και κρυστάλλωση αλάτων, είναι ένα από τα πλέον σημαντικά αίτια διάβρωσης των φυσικών λίθων, το οποίο είναι άμεσα συνδεδεμένο με την παρουσία υγρασίας μέσα στους πόρους αυτών των υλικών.

Το νερό μπορεί να παρουσιάζεται στα πορώδη υλικά σε υγρή ή σε αέρια μορφή. Κατά την υγρή φάση μπορεί να εισχωρήσει στους πόρους είτε με τριχοειδή αναρρίχηση, είτε με διείσδυση. Ο κυριότερος όμως μηχανισμός για την είσοδο του νερού στα δομικά υλικά είναι η τριχοειδής αναρρίχηση (Moropoulou et al. 2001). Η υγρασία που υπάρχει στο έδαφος, το νερό της βροχής ή/και η συμπύκνωση της υγρασίας του αέρα είναι το μέσο των αλάτων για να εισχωρήσουν και να κρυσταλλωθούν στους πόρους των δομικών λίθων (Lubelli et al. 2004). Ο χρόνος που θα χρειαστεί να ανυψωθεί το διάλυμα άλατος μέσα στο υλικό εξαρτάται άμεσα από τις φυσικές ιδιότητες του υλικού, όπως είναι το πορώδες, η υδαταπορρόφηση και η διαπερατότητα.

Επομένως μια λεπτομερής κατανόηση των διαδικασιών της τριχοειδούς απορρόφησης και μεταφοράς νερού εντός πορώδων υλικών, είναι ουσιαστική προκειμένου να γίνουν κατανοητοί οι μηχανισμοί της διάβρωσης (Ioannou et al. 2004, Moropoulou et al. 1995). Μείωση του ποσοστού εισρόφησης της υγρασίας σε δομικούς λίθους, μπορεί αδιαμφισβήτητα να οδηγήσει στην προστασία τους και να επιμηκύνει την ανθεκτικότητά τους σε διάρκεια. Στην παρούσα εισήγηση παρουσιάζονται τα προκαταρκτικά αποτελέσματα φυσικοχημικού χαρακτηρισμού 4 ειδών ασβεστιτικού ψαμμίτη της Κύπρου. Αναφορά γίνεται επίσης και στα αποτελέσματα δοκιμών που στοχεύουν στη μελέτη της διαβρεκτικότητας αυτών των λίθων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται τόσο για δομικούς, όσο και για διακοσμητικούς λόγους.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΛΙΚΩΝ

Η Κύπρος καταλαμβάνει μια μοναδική γεωλογική θέση στην ανατολική Μεσόγειο. Είναι τοποθετημένη στο σημείο της τριπλής σύγκλισης της Αφρικανικής, της Αραβικής και της Ευρασιατικής πλάκας.

Η γένεση και η μετεξέλιξη της Κύπρου είναι το αποτέλεσμα της καταβύθισης της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την πλάκα της Ευρασίας, κατά το Ανώτερο Κρητιδικό, η οποία οδήγησε στη δημιουργία των οφιολιθικών πετρωμάτων του Τροόδους. Στη συνέχεια ακολούθησε η αποκόλληση των οφιολιθικών αυτών πετρωμάτων και η περιστροφή τους προς τα αριστερά κατά 90°, με αποτέλεσμα να προσκολληθούν σε αυτά, στη νότια και δυτική περιφέρειά τους πετρώματα ηλικίας Τριαδικού έως Άνω Κρητιδικού (Ζώνη Μαμωνιών). Μετά το επεισόδιο αυτό ακολούθησε μια

περίοδος 65 εκ. χρόνων τεκτονικής ηρεμίας, κατά την οποία αποτέθηκαν θαλάσσια ασβεστολιθικά ιζήματα (Σχηματισμοί Λευκάρων και Πάχνας).

Κατά το Μειόκαινο προσκολλήθηκε η οροσειρά του Πενταδακτύλου στη βόρεια πλευρά της Ζώνης του Τροόδους και άρχισε η σταδιακή ανύψωση της Κύπρου. Στο τέλος του Μειόκαινου, μια σειρά από αλλόχθονους ασβεστόλιθους της Ζώνης του Πενταδακτύλου εναποτέθηκε τεκτονικά νότια, πάνω στις παρυφές της Ζώνης του Τροόδους, πτυχώνοντας και εκτοπίζοντας όλα τα νεότερα ιζήματα που συνάντησε στην πορεία της. Ακολούθησε κατά το Πλειόκαινο μια εκ νέου απόθεση ιζημάτων, που αντιπροσωπεύουν σήμερα τις μάργες και τους ασβεστιτικούς ψαμμίτες του Σχηματισμού της Λευκωσίας και Αθαλάσσης. Τέλος, στο Πλειστόκαινο είχαμε και το τελευταίο τεκτονικό επεισόδιο, όπου έγινε η απότομη ανύψωση του χώρου της Κύπρου με αποτέλεσμα την τελική ανάδυση του σημερινού Τροόδους και του Πενταδάκτυλου.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν 4 είδη ασβεστιτικού ψαμμίτη που λήφθηκαν από δύο διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς της Κύπρου: τους σχηματισμούς Παχνας και Αθαλάσσης. Ο γεωλογικός σχηματισμός Πάχνας αποτελείται από ιζήματα μειοκαινικής ηλικίας στα οποία κυριαρχούν πελαγικά ασβεστούχα πετρώματα. Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του σχηματισμού αυτού είναι οι υποκίτρινες έως φαιοκίτρινες κρητίδες και μάργες, η παρουσία στρωμάτων ασβεστιτικού ψαμμίτη και η κατά τόπους ανάπτυξη κροκαλοπαγών που στους ανώτερους ορίζοντες του σχηματισμού περιέχουν θραύσματα από τα οφιολιθικά πετρώματα του Τροόδους καθώς και ανθρακικά υλικά αβαθών νερών. Ο γεωλογικός σχηματισμός Αθαλάσσης υπέρκειται του Σχηματισμού της Λευκωσίας και αποτελείται από πολλαπλές στρώσεις μεσόκοκκου έως χονδρόκοκκου απολιθωματοφόρου ασβεστιτικού ψαμμίτη με ενδιάμεσες στρώσεις αμμούχων απολιθωματοφόρων μαργών. Παρουσιάζει μεγάλη ανάπτυξη σε ολόκληρη τη Μεσαορία, όπου εκεί οι ασβεστιτικοί ψαμμίτες μεταπίπτουν σε κροκαλοπαγή και άμμους ή ακόμη και πηλούς. Με βάση παλαιοντολογικούς προσδιορισμούς η ηλικία του σχηματισμού είναι ανώτερη πλειοκαινική - κατώτερη πλειοκαινική.

Οι ψαμμίτες που προέρχονται από το γεωλογικό σχηματισμό Πάχνας είναι γνωστοί με τα εμπορικά ονόματα “πέτρα των Κυβίδων”, όταν προέρχονται από τις περιοχές των Κυβίδων και Ανώγυρας και “πέτρα της Τόχνης” όταν προέρχονται από την περιοχή Τόχνης – Αγίου Θεοδώρου Λάρνακος. Σε αυτές τις δύο περιοχές απαντώνται υπό μορφή στρώσεων πάχους 2-20 m εναλλασσόμενων με στρώσεις μάργας και κρητίδων του ίδιου σχηματισμού. Τόσο η “πέτρα των Κυβίδων”, όσο και η “πέτρα της Τόχνης” είναι συμπαγή, λεπτόκοκκα πετρώματα, με χαρακτηριστικό μπεζ ασπροκίτρινο χρώμα και ολοκρυσταλλική υφή (Κωνσταντίνου & Δημοσθένους 2002). Ορυκτολογικά, τα πετρώματα από την περιοχή των Κυβίδων αποτελούνται από κόκκους χαλαζία, θραύσματα κερατολίθων και σημαντικό ποσοστό απολιθωμάτων, ενώ τοπικά στη μάζα διαχέονται

οξειδία σιδήρου. Αυτά περικλείονται κυρίως από μικριτικό ασβεστίτη, ο οποίος τοπικά ανακρυσταλλώνεται σε σπαριτικό ασβεστίτη. Σημαντικές ορυκτολογικές ομοιότητες παρουσιάζουν και τα πετρώματα από την περιοχή της Ανώγυρας με τη διαφορά ότι υπάρχει μεγαλύτερη συμμετοχή απολιθωμάτων και μικρότερη συμμετοχή θραυσμάτων κερατόλιθου.

Οι ψαμμίτες που προέρχονται από το γεωλογικό σχηματισμό Αθαλάσσας είναι γνωστοί με την εμπορική ονομασία “πέτρα του Γερολάκκου”. Αποτελούνται από θραύσματα οστράκων, αποστρογγυλωμένους κόκκους κρητίδων και ασβεστολίθων και σε πολύ μικρότερο ποσοστό από άλλα ορυκτά (Κωνσταντίνου και Συνεργάτες 2002). Οι κόκκοι τους είναι συγκολλημένοι με σπαριτικό ασβεστίτη. Ο βαθμός διαγένεσης του πετρώματος και συγκόλλησης των συστατικών του είναι μέτριος και αυτό το καθιστά ψαθυρό και πορώδες. Το χρώμα τους είναι κιτρινωπό και οφείλεται στην παρουσία οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου.

3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Πορώδες και επιφανειακή απορροφητικότητα

Το πορώδες είναι μια από τις κυριότερες φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων και καθορίζει τη σχέση τους με το νερό. Έχει μεγάλη σημασία γιατί επηρεάζει και πολλές άλλες φυσικές και μηχανικές ιδιότητές τους, όπως την υδαταπορρόφηση και την αντοχή σε θλίψη.

Η δοκιμή προσδιορισμού του ανοικτού πορώδους με τη μέθοδο του κορεσμού υπό συνθήκες κενού οδηγεί επίσης στον προσδιορισμό της φαινόμενης πυκνότητας, του φαινόμενου όγκου και του όγκου ανοικτών πόρων. Στην πειραματική διαδικασία χρησιμοποιούνται κυβικά δοκίμια, τα οποία αρχικά ξηραίνονται στους $70 \pm 5^\circ\text{C}$. Στη συνέχεια τοποθετούνται σε δοχείο κενού και υπόκεινται σε απαέρωση για 2 ώρες. Παραμένουν σε συνθήκες κενού σε ξηρή κατάσταση και ακολούθως βυθίζονται σε νερό και διατηρούνται σε κενό, προτού εκτεθούν σε ατμοσφαιρικές συνθήκες. Το κάθε στάδιο του πειράματος διαρκεί 24 ώρες. Με την ολοκλήρωση της δοκιμής, τα δοκίμια ζυγίζονται κορεσμένα και βυθισμένα στο νερό, οπότε υπολογίζονται οι ιδιότητές που αναφέρθηκαν πιο πάνω.

Η επιφανειακή απορροφητικότητα αναγνωρίζεται ως η πιο χρήσιμη θεμελιώδης παράμετρος, που χαρακτηρίζει τις τριχοειδείς ιδιότητες απορρόφησης υγρών από πορώδη υλικά. Εξαρτάται από την ένταση επιφάνειας μεταξύ υγρού και αέρα, από το ιξώδες του υγρού και από την μικροδομή του στερεού. Σύμφωνα με τους Μογορούλου et al. (2002), η υδαταπορροφητικότητα είναι συνάρτηση τόσο του πορώδους όσο και της διαμέτρου και του σχήματος των πόρων.

Κατά τον Darcy (1856) η ροή του υγρού σε ένα ακόρεστο πορώδες στερεό προκύπτει από τις τριχοειδείς δυνάμεις που αναπτύσσονται στους

πόρους του στερεού. Η διαδικασία αναλύεται με βάση τη θεωρία ακόρεστης ροής (Philip 1969, Hall 1977) Ένα κεντρικό αποτέλεσμα αυτής της ανάλυσης προκύπτει από την αθροιστική μέτρηση του όγκου του υγρού που απορροφάται από ένα πορώδες στερεό κατά τη διάρκεια της μονοδιάστατης τριχοειδούς απορρόφησης. Το αποτέλεσμα αυτό δίνεται από τη σχέση:

$$i = St^{1/2} \quad (1)$$

όπου i = αθροιστικός όγκος υγρού που απορροφάται σε χρόνο t ανά μονάδα επιφάνειας απορρόφησης. Η εξίσωση (1) καθορίζει την επιφανειακή απορροφητικότητα S με διάσταση $[LT^{1/2}]$.

Στην πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν κυβικά δοκίμια, τα οποία κάθε φορά ξηραίνονταν σε θερμοκρασία $70 \pm 5^\circ C$, μέχρι σταθεροποίησης της μάζας τους. Τα ξηρά δοκίμια τοποθετούνταν πάνω σε δύο στηρίγματα μέσα σε νερό, το βάθος του οποίου δεν ξεπερνούσε τα 5 mm. Η μάζα των δοκιμίων ελεγχόταν σε τακτά χρονικά διαστήματα, σύμφωνα και με τη μέθοδο που περιγράφεται από τους Hall & Tse (1986) και Gummerson et al. (1980). Σημειώνεται ότι, προκειμένου να αποφευχθεί η εξάτμιση του νερού, οι τέσσερις πλευρές των δοκιμίων που έρχονταν σε επαφή με την επιφάνεια απορρόφησης καλύπτονταν με εποξική ρητίνη.

3.2 Διαβρεκτικότητα

Θεωρείται μια από τις κυριότερες παραμέτρους που επηρεάζουν τη διανομή, τον κορεσμό και τη ροή των υγρών μέσα στα πορώδη μέσα. Εξαρτάται από τη μικροδομή του στερεού, τις ιδιότητες του υγρού και τις επιφανειακές τάσεις σ_{SA} (μεταξύ στερεού – αέρα), σ_{LA} (μεταξύ υγρού – αέρα) και σ_{SL} (μεταξύ στερεού – υγρού).

Όταν το υγρό έρθει σε επαφή με το στερεό, η εγγενής απορροφητικότητα S_i (intrinsic sorptivity) δίνεται από την σχέση:

$$S = S_i \left(\beta \frac{\sigma}{\eta} \right)^{1/2} \quad (2)$$

όπου β = δείκτης διαβροχής (wetting index), S = απορροφητικότητα, σ = επιφανειακή τάση και η = ιξώδες.

Όταν έχουμε πλήρη διαβροχή η υγρή επιφάνεια είναι εφαιπόμενη του στερεού σε όλα τα σημεία που συμπίπτουν οι τρεις παράγοντες στερεό – υγρό – αέρας και ο δείκτης διαβροχής $\beta = 1$. Όταν δεν έχουμε πλήρη διαβροχή, τότε η ακτίνα κυρτότητας της υγρής επιφάνειας εξαρτάται από

τον παράγοντα β ο οποίος παίρνει τιμές $0 < \beta < 1$. Σε κάθε περίπτωση $S \sim (\sigma/n)^{1/2}$. Αυτό έχει επιβεβαιωθεί από τους Gummerson et al. (1980) για κεραμικό τούβλο και από την Taylor (1998) για τσιμεντοειδή και ασβεστόλιθους. Από πειραματικές δοκιμές (Taylor 1998) αποδείχτηκε πως τα τσιμεντοειδή υλικά παρουσιάζουν ανώμαλα χαμηλή υδαταπορρόφηση και αυτό οφείλεται στη διόγκωση των συστατικών τους. Ανάλογα χαμηλή υδαταπορροφητικότητα παρατηρήθηκε και σε ασβεστόλιθους (Taylor et al. 2000, Ioannou et al. 2004), χωρίς όμως να παρατηρηθούν αλλαγές στη μικροδομή των υλικών αυτών. Για τα οργανικά υγρά παρατηρείται σε όλες τις περιπτώσεις πλήρης διαβροχή.

Στην παρούσα εργασία, από τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν για το χαρακτηρισμό των 4 ειδών ασβεστιτικού ψαμμίτη, επιλέχθηκαν κάποια τα οποία υπεβλήθησαν σε διαδοχικές δοκιμές τριχοειδούς απορρόφησης νερού και οργανικών υγρών σε διάφορες θερμοκρασίες προκειμένου να μελετηθεί η διαβρεκτικότητα τους. Τα οργανικά υγρά που χρησιμοποιήθηκαν για να μετρηθούν οι τριχοειδείς ιδιότητες απορρόφησης των δειγμάτων ήταν τα οιοπνεύματα αιθανόλη και προπανάλη και ο υδρογονάνθρακας επτάνιο. Σε όλες τις δοκιμές οι οποίες έγιναν σε κλίβανο ελεγχόμενης θερμοκρασίας, η απορρόφηση υγρού γινόταν από την ίδια επιφάνεια. Ανάμεσα στις δοκιμές τα δείγματα ξηραίνονταν σε θερμοκρασία $70 \pm 5^\circ\text{C}$.

Σε όσα δείγματα παρατηρήθηκε χαμηλή διαβρεκτικότητα, $\beta < 1$, ακολούθησε θερμική επεξεργασία στους 400°C για 5 ώρες. Η θερμική επεξεργασία στόχευε στην καύση διαφόρων φυσικών οργανικών ρυπαντών που πιθανόν να περιέχονταν στο δείγμα (Ioannou et al 2004).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Πορώδες

Πίνακας 1. Αποτελέσματα προσδιορισμού πορώδους

Περιοχή	Αριθμός Δειγμάτων	Πορώδες (%) (μ.ο* ± τ.α**)	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή
Ανώγυρα	25	24.87 ± 0.82	26.14	22.40
Άγιος Θεόδωρος	10	26.58 ± 0.41	26.98	25.70
Κυβίδες	25	26.07 ± 2.38	31.55	23.08
Γερόλακκος	07	42.38 ± 0.90	44.03	41.08

*μ.ο = μέσος όρος

**τ.α = τυπική απόκλιση

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μέσων τιμών που προέκυψαν κατά την πειραματική διαδικασία προσδιορισμού του πορώδους των 4 ειδών ασβεστιτικού ψαμμίτη που μελετήθηκαν. Από τα

αποτελέσματα διαφαίνεται ότι, με εξαίρεση την “πέτρα του Γερολάκκου”, τα άλλα τρία είδη, τα οποία προέρχονται από τον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό, παρουσιάζουν πορώδες με παρόμοια τιμή (24-27 %) Η “πέτρα του Γερολάκκου” παρουσιάζει ιδιαίτερα ψηλό πορώδες που ξεπερνά το 40%.

4.2 Επιφανειακή Απορροφητικότητα

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μέσων τιμών που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία προσδιορισμού της επιφανειακής απορροφητικότητας των 4 ειδών ασβεστιτικού ψαμμίτη που μελετήθηκαν. Οι τιμές είναι διορθωμένες στη θερμοκρασία των 20°C. Η διόρθωση προκύπτει από τη σχέση:

$$(S_A / S_B) = (\sigma / \eta)_A^{1/2} / (\sigma / \eta)_B^{1/2} \quad (3)$$

όπου S_A = μετρημένη απορροφητικότητα, S_B = ζητούμενη απορροφητικότητα στους 20°C, $(\sigma/n)^{1/2}_A$ = σταθερά που δίνεται από τη θερμοκρασία δοκιμών και $(\sigma/n)^{1/2}_B$ = σταθερά στη θερμοκρασία των 20°C.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα προσδιορισμού υδαταπορροφητικότητας

Περιοχή	Αριθμός Δειγμάτων	Υδαταπορροφητικότητα (mm/min ^{1/2}) (μ.ο* ± τ.α**)	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή
Ανώγυρα	25	0.28 ± 0.029	0.33	0.22
Άγιος Θεόδωρος	10	0.16 ± 0.012	0.18	0.15
Κυβίδες	25	0.33 ± 0.099	0.57	0.24
Γερόλακκος	7	3.05 ± 0.770	4.62	2.27

*μ.ο= μέσος όρος,

**τ.α = τυπική απόκλιση

Όπως στην περίπτωση του πορώδους έτσι και στην επιφανειακή απορροφητικότητα παρατηρείται ότι η “πέτρα του Γερολάκκου”, παρουσιάζει αισθητά υψηλότερη τιμή σε σύγκριση με τα άλλα τρία είδη πετρωμάτων που μελετήθηκαν. Σε αυτή την περίπτωση όμως παρατηρείται και διαφοροποίηση στην “πέτρα του Αγίου Θεοδώρου”, η οποία παρόλο που παρουσιάζει ένα πορώδες με τιμή αρκετά κοντά σε αυτή των Κυβίδων, η επιφανειακή απορροφητικότητά της είναι πολύ χαμηλότερη από την αντίστοιχη των Κυβίδων. Σημειώνεται ότι η είσοδος νερού σε πορώδη υλικά οφείλεται κυρίως στην παρουσία τριχοειδών αγγείων και εξαρτάται άμεσα από το πορώδες και την πυκνότητα των υλικών αυτών. Όσο

πυκνότερο (μικρό πορώδες) είναι το υλικό, τόσο λιγότερο νερό μπορεί να απορροφήσει. Η είσοδος του νερού μέσα σε ένα πορώδες υλικό, όμως, δεν εξαρτάται μόνο από τον όγκο των κενών, αλλά και από τη μορφή και το μέγεθός τους. Μεγάλοι και ευθύγραμμοι πόροι επιτρέπουν εύκολα την είσοδο του νερού. Αντίθετα, πολύ μικροί (υποτριχοειδείς) και δαιδαλώδεις πόροι, όπως επίσης και πόροι που δεν συγκοινωνούν μεταξύ τους δυσχεραίνουν πολύ ή ακόμη κάνουν αδύνατη την αναρρόφηση νερού (Μογορούλου et al. 2002).

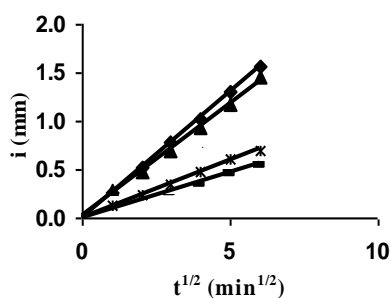
4.3 Δοκιμή προσδιορισμού διαβρεκτικότητας

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές προσδιορισμού της διαβρεκτικότητας.

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά επιλεγμένων δειγμάτων

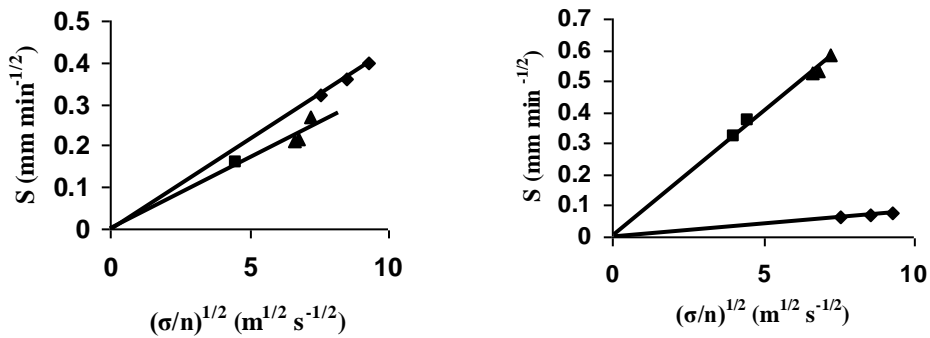
Κωδικός Δείγματος	Περιοχή Προέλευσης	Διαστάσεις (cm)	Πορώδες (%)	Πυκνότητα (Kg/m ³)	Υδαταπορ. (mm/min ^{1/2})
ΑΑΧ20	Ανώγυρα	7 x 7 x 7	25.23	2025.43	0.3054
ΑΓΘ5	Άγιος Θεόδωρος	7 x 7 x 7	26.98	1965.66	0.1536
ΑΑΚ24	Κυβίδες	8 x 8 x 8	24.16	2058.22	0.3114
ΑΑΓ2	Γερόλακκος	6 x 6 x 6	42.36	1518.50	2.66

Χαρακτηριστικές γραφικές παραστάσεις των αποτελεσμάτων από τις διαδικασίες των δοκιμών τριχοειδούς απορρόφησης νερού και οργανικών υγρών, που έγιναν σε διάφορες θερμοκρασίες παρουσιάζονται στην Εικόνα 1. Από τα αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι η αθροιστική αναρρίχηση υγρού i αυξάνεται γραμμικά με την τετραγωνική ρίζα της περιεχόμενης περιόδου $t^{1/2}$, ανεξαρτήτως υγρού δοκιμής.

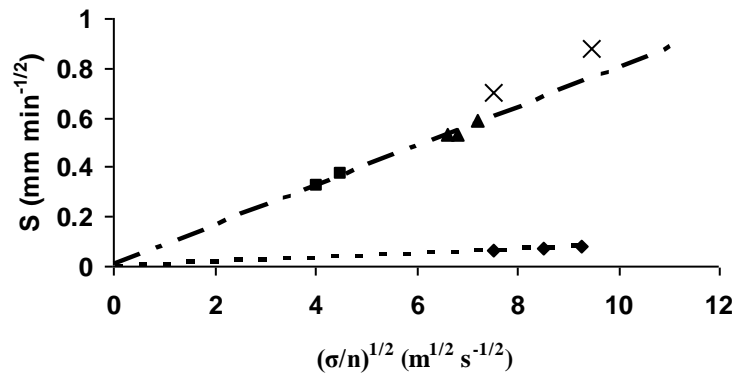


Εικόνα 1. Τριχοειδής απορρόφηση i Vs $t^{1/2}$ για νερό και οργανικά υγρά. (◆) ΑΑΚ24 – νερό (28°C), (▲) ΑΑΚ24 – επτάνιο (28°C), (■) ΑΓΘ5 – νερό (38°C), (*) ΑΑΚ24 – προπανόλη (28°C).

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επιφανειακής απορροφητικότητας S Vs $(\sigma/n)^{1/2}$ για νερό και οργανικά υγρά. Από τη γραφική παράσταση παρατηρούμε ότι τα πειραματικά δεδομένα εμπίπτουν σε ευθείες γραμμές. Συμπεραίνουμε δηλαδή ότι οι τριχοειδείς δυνάμεις απορρόφησης των δειγμάτων δεν επηρεάζονται από τη σειρά με την οποία απορροφούνται τα οργανικά υγρά, αλλά ούτε και από την επαναλαμβανόμενη ύγρανση και ξήρανση των δειγμάτων. Από την Εικόνα 2 και με βάση την εξίσωση (2) μπορούμε επίσης να υπολογίσουμε το δείκτη διαβροχής $\beta = 0,32$ για νερό για το δείγμα ΑΓΘ5, το οποίο παρουσιάζει ανώμαλα χαμηλή υδαταπορρόφηση.



Εικόνα 2. Επιφανειακή απορροφητικότητα S Vs $(\sigma/n)^{1/2}$ για νερό και οργανικά υγρά. Αριστερά: ΑΑΧ20 (♦) νερό, (■) αιθανόλη, (▲) επτάνιο. Δεξιά: ΑΓΘ5 (♦) νερό, (■) αιθανόλη, (▲) επτάνιο.



Εικόνα 3. Επιφανειακή απορροφητικότητα S Vs $(\sigma/n)^{1/2}$ για το δείγμα ΑΓΘ5, πριν και μετά τη θερμική επεξεργασία. (♦) νερό, (■) αιθανόλη, (▲) επτάνιο πριν την επεξεργασία. (X) νερό μετά τη θερμική επεξεργασία.

Στην Εικόνα 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα $S Vs (\sigma/n)^{1/2}$ για το δείγμα ΑΓΘ5, μετά τη θερμική επεξεργασία. Από τη γραφική παράσταση μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι έχει επιτευχθεί απομάκρυνση των περισσότερων οργανικών ρύπων, που προκαλούσαν την ανώμαλα χαμηλή διαβρεκτικότητα του δείγματος. Τόσο τα αποτελέσματα για το νερό όσο και για τα οργανικά υγρά, φαίνεται ότι συμπίπτουν σε μια ενιαία γραμμή μετά τη θερμική επεξεργασία ($\beta = 1$).

Παρόλο που οι διαδικασίες και οι μηχανισμοί της θερμικής αποσύνθεσης των οργανικών ενώσεων είναι αρκετά σύνθετες, θεωρείται ότι αυτή η αποσύνθεση περιλαμβάνει γενικά τον αποπολυμερισμό των δεσμών που επικρατούν μεταξύ των μορίων τους, με αποτέλεσμα μετά την επεξεργασία να μην λειτουργούν σαν ομάδα και έτσι να σχηματίζονται ελεύθερες βάσεις που εξελίσσονται σε H_2O , CO και CO_2 (Gaffey et al 1991). Οι Love & Woronow (1991) υποστηρίζουν ότι με τη θέρμανση δεν αφαιρείται το οργανικό υλικό, αλλά απανθρακώνεται. Αυτό διαπιστώνεται από παρατηρήσεις στα δείγματα της παρούσας εργασίας. Συγκεκριμένα, μετά τη θερμική επεξεργασία στους $400^\circ C$ εμφανίστηκε στην επιφάνεια τους μια μαύρη κρούστα, που πιθανότατα να είναι ο σχηματισμός των υπολειμμάτων άνθρακα.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα των πειραμάτων φυσικού χαρακτηρισμού των 4 ειδών ασβεστιτικού ψαμμίτη διαπιστώνεται πως η “πέτρα του Γερολάκκου” παρουσιάζει συστηματικά υψηλότερες τιμές πορώδους και επιφανειακής υδαταπορροφητικότητας από τα άλλα τρία είδη που ελέγχθηκαν και αυτό οφείλεται στο ότι προέρχεται από διαφορετικό γεωλογικό σχηματισμό και έχει διαφορετική λιθολογική σύσταση.

Από τις δοκιμές προσδιορισμού της διαβρεκτικότητας που έγιναν στα επιλεγμένα δείγματα ασβεστιτικού ψαμμίτη παρατηρούμε ότι η επιφανειακή απορροφητικότητα σε νερό στο δείγμα του Αγίου Θεοδώρου είναι ανώμαλα χαμηλή. Η θερμική επεξεργασία του δείγματος έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της επιφανειακής απορροφητικότητας. Αυτό αποδεικνύει ότι η χαμηλή υδαταπορροφητικότητα των δομικών λίθων οφείλεται στην παρουσία φυτικών οργανικών ρύπων.

6. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Darcy, H. 1856 Fontaines Publiques de la Ville de Dijon. Librairie des Corps Impériaux des Ponts et Chaussées et des Mines, Paris

Gaffey, S.J. Kolak, J.J. & Bronnimann, C.E. "Effects of drying, heating, annealing, and roasting on carbonate skeletal material, with geochemical and diagenetic implications". *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 55, No 6, (1991), 1627-1640

Gummerson, R.J., Hall, C. & Hoff, W.D. "Water movement in porous building materials — II. Hydraulic suction and sorptivity of brick and other masonry materials". *Building and Environment*, Vol. 15, No2, (1980), 101-108

Hall, C. "Water movement in porous building materials — I. Unsaturated flow theory and its applications". *Building and Environment*, Vol. 12, No 2 (1977) 117-125

Hall, C. & Tse, T.K.M. "Water movement in porous building materials —VI. The sorptivity of mortars". *Building and Environment*, Vol. 21, No 2 (1986) 113-118

Ioannou, I., Hoff W.D. & Hall, C. "On the role of organic adlayers in the anomalous water sorptivity of Lépine limestone". *J. Colloid and Interface Science*, Vol.279 No 1 (2004) 228-234.

Κωνσταντίνου, Γ. & Δημοσθένους, Μ. "Ο δομικός λίθος στην Κύπρο-Μια ιστορία 9000 χρόνων", (2002), Πρακτικά διημερίδας με τίτλο: Ο δομικός λίθος στα μνημεία, σελ. 41-55, Διοργάνωση ΙΓΜΕ, Ελληνικό Τμήμα ICOMOS, ΤΕΕ, Σύλλογος Αρχιτεκτόνων Λέσβου, Αθήνα.

Κωνσταντίνου, Γ., Παναγίδης, Ι., Ξενοφώντος, Κ., Αφροδίσης, Σ., Μιχαηλίδης, Π., Κραμβής, Σ. "Η Γεωλογία της Κύπρου", Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης, Λευκωσία (1997)

Love, K.M. & Woronow, A. "Chemical changes induced in aragonite using treatments for the destruction of organic material". *Chemical Geology*, Vol. 93, No 3-4, (1991), 291-301.

Lubelli, B., Van Hees, R.P.J & Brocen, H.J.P. "Experimental research on hygroscopic behaviour of porous specimens contaminated with salts". *Construction and Building Materials*, Vol.18, No. 5 (2004) 339-348.

Moropoulou, A., Theoulakis, P., Tsiourva, T., Kourteli, C., Labropoulos, K., "Salt and humidity impact on porous stone masonries in marine environment", *Materials Issues in Art and Archaeology IV*, Vol. 352, ed. J.R. Druzik, P.B. Vandiver, Publ. Materials Research Society, Pittsburgh (1995) 893-906.

Moropoulou, A., Bisbikou, K., Van Grieken, R., Torfs, K., "Correlation between aerosols, deposits and weathering crusts on ancient marbles", *Environmental Technology*, Vol. 22, No 6 (2001) 607-618.

Moropoulou, A., Kouï, M., Theoulakis, P., Bakolas, A., Roumpopoulos, K., Michailidis, P., Van Grieken, R., Cardell-Fernandez, "Microstructural criteria for the evaluation of stone susceptibility to sea-salt decay", in *Proc. 5th Int. Symp. on the Protection and Conservation of the Cultural Heritage in Mediterranean Cities*, ed. E. Galan, F. Zezza, Publ. Swets & Zitlinger, Seville (2002) 339-345.

Philip. J.R., "Theory of infiltration". *Advan. Hydrosoci.*, Vol. 5 (1969) 215-96

Taylor, S.C. "A study of liquid transport properties of cement-based materials", Ph.D. Thesis (under the supervision of Prof. W.D. Hoff and Dr. M.A. Wilson), Department of Building Engineering, UMIST, Manchester (1998).

Taylor, S.C., Hall, C., Hoff, W.D. & Wilson, M.A. "Wetting in Capillary Liquid Absorption by Limestones" *J. Colloid and Interface Science*, Vol. 224, No 2 (2000) 351-357