

Ο ρόλος της οργανικής ύλης των ανθρακικών πετρωμάτων στη δραστικότητα της παραγόμενης ασβέστου

**N. ΚΑΝΤΗΡΑΝΗΣ¹, Α. ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ¹, Β. ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ¹, Α. ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ¹,
Α. ΚΑΣΩΛΗ - ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ¹**

ABSTRACT

The gray and white crystalline limestones from Agios Panteleimonas Florina, have almost the same mineralogical composition. They are mainly composed of calcite (96%), while the percentage of the contained organic matter is 0.8% in the gray and 0.09% in the white crystalline limestone. After heating of both crystalline limestones at 500°C none serious change was observed concerning their mineralogical composition. However, the velocity of P waves and the porosity in the gray limestone are changed significantly while this trend is not noticed in the white limestone. These changes are mainly attributed to the burning of organic matter which is contained with greater percentage in the gray crystalline limestone. At 1000°C both crystalline limestones are completely calcined. The dissociation of calcite and dolomite increases significantly the porosity of the produced quicklime. The quicklime from gray crystalline limestone presents higher porosity value (by 5.2 percentage units) and it is more reactive (by 4.9 percentage units) in comparison with the quicklime from white crystalline limestone. This difference in the reactivity is mainly attributed to the difference in the percentage of organic matter contained in the two crystalline limestones.

Key words: Organic matter, carbonate rocks, calcination, porosity, reactivity.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι τεφροί και λευκοί κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι του Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας έχουν περίπου την ίδια ορυκτολογική σύσταση και αποτελούνται κυρίως από ασβεσίτη (96%), ενώ το ποσοστό της περιεχόμενης οργανικής ύλης είναι 0,8% για τον τεφρό και 0,09% για τον λευκό κρυσταλλικό ασβεστόλιθο. Μετά από πύρωση των δύο κρυσταλλικών ασβεστόλιθων στους 500° C δεν παρατηρούνται σοβαρές μεταβολές ως προς την ορυκτολογική τους σύσταση, όμως η ταχύτητα των Ρ κυμάτων και το πορώδες στον τεφρό κρυσταλλικό ασβεστόλιθο μεταβάλλονται σημαντικά σε αντίθεση με τον λευκό, μεταβολές οι οποίες αποδίδονται κυρίως στην καύση της οργανικής ύλης που περιέχεται σε μεγαλύτερο ποσοστό στον τεφρό κρυσταλλικό ασβεστόλιθο. Στους 1000° C και οι δύο κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι ασβεστοποιούνται πλήρως. Η αποικοδόμηση του ασβεσίτη και του δολομίτη αυξάνει σημαντικά το πορώδες της παραγόμενης ασβέστου. Η άσβεστος του τεφρού κρυσταλλικού ασβεστόλιθου έχει μεγαλύτερη τιμή πορώδους (κατά 5,2 ποσοστιαίες μονάδες) και είναι δραστικότερη (κατά 4,9 ποσοστιαίες μονάδες) σε σύγκριση με την άσβεστο του λευκού κρυσταλλικού ασβεστόλιθου. Η διαφορά αυτή στη δραστικότητα αποδίδεται κυρίως στη διαφορά του ποσοστού της οργανικής ύλης των δύο κρυσταλλικών ασβεστόλιθων.

Λέξεις κλειδιά: Οργανική ύλη, ανθρακικά πετρώματα, ασβεστοποίηση, πορώδες, δραστικότητα.

THE ROLE OF ORGANIC MATTER OF CARBONATE ROCKS IN THE REACTIVITY OF THE PRODUCED QUICKLIME.

1: School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 540 06 Thessaloniki.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ασβεστόλιθοι σχεδόν πάντα περιέχουν κάποια ποσότητα οργανικής ύλης, συνήθως κάτω του 1% (Boynnton, 1980). Το εύρος τιμών της περιεχόμενης οργανικής ύλης για τους εμπορικούς ασβεστόλιθους είναι 0,01-0,5% (Oates, 1998). Το πορώδες των ανθρακικών πετρωμάτων ποικίλλει ανάλογα με το βαθμό συμπαγοποίησης και τη δομή τους. Τυπικές τιμές για τα μάρμαρα είναι 0,1-2% (κ.ο.), για τους ασβεστόλιθους 0,1-30% (κ.ο.) και για τους δολομίτες 1-10% (κ.ο.) (Oates, 1998).

Το πορώδες της βιομηχανικά παραγόμενης ασβέστου μπορεί να φτάσει μέχρι και 55% (κ.ο.), με την προϋπόθεση η ασβεστοποίηση να πραγματοποιείται σε ήπιες συνθήκες. Παραμονή σε υψηλές θερμοκρασίες για μεγάλα χρονικά διαστήματα προκαλεί συστολή, η οποία μπορεί να επικέρει μείωση του πορώδους κατά 30%. Το πορώδες της ασβέστου κατά ένα ποσοστό κληρονομείται από τον ασβεστόλιθο, ενώ το υπόλοιπο δημιουργείται κατά τη διεργασία αποικοδόμησης των ανθρακικών ορυκτών (Oates, 1998).

Το πορώδες, η πυκνότητα, η ορυκτολογική σύσταση και η κατανομή του μεγέθους των πόρων του ανθρακικού πετρώματος είναι ορισμένοι παράγοντες που ασκούν σημαντική επίδραση σε βασικές ιδιότητες της ασβέστου όπως είναι η δραστηριότητα, το ενεργό ποσοστό CaO και η ολική της επιφάνεια. Συνήθως, τα χαμηλότερα μέσα μεγέθη πόρων δίνουν υψηλή τιμή της ολικής επιφάνειας της ασβέστου (Boynnton, 1980).

Στην εργασία αυτή εξετάζεται η επίδραση της οργανικής ύλης κατά την ασβεστοποίηση στο πορώδες και στη δραστηριότητα της παραγόμενης ασβέστου. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκαν δύο κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι του Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας με διαφορετικό ποσοστό οργανικής ύλης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

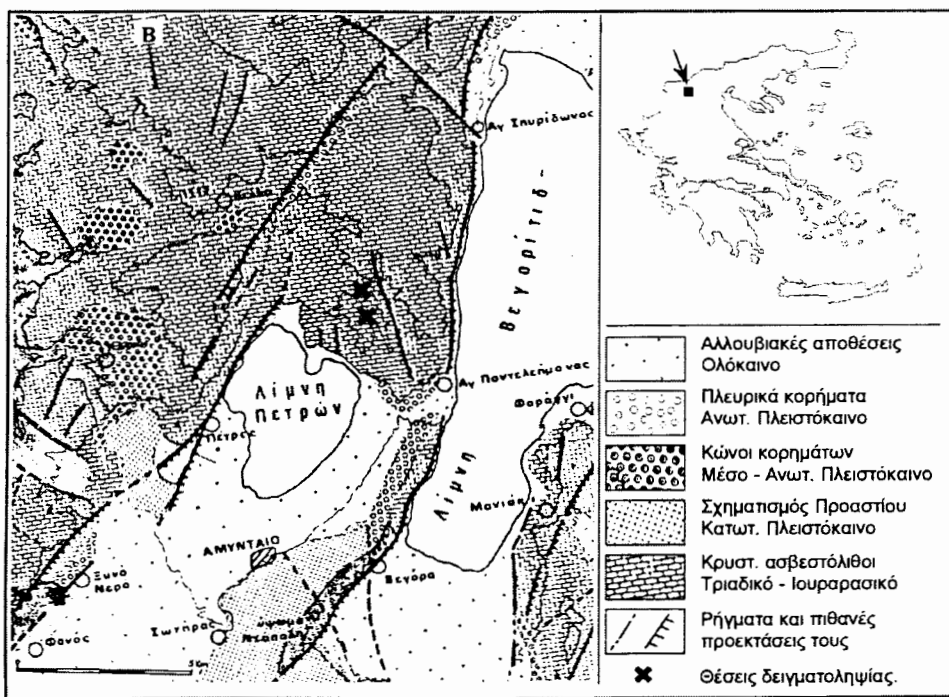
Οι θέσεις δειγματοληψίας βρίσκονται περίπου 2 km ΒΔ του Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας (Σχ. 1). Γεωτεκτονικά η περιοχή ανήκει στο ανατολικό ανθρακικό κάλυμμα της Πελαγονικής ζώνης. Αποτελείται από τεφρούς-τεφροπράσινους

και λευκούς-λευκορόδινους ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους που έρχονται σε επαφή μεταξύ τους τεκτονικά. Η ηλικία των ανθρακικών πετρωμάτων είναι Τριαδική-Ιουρασική (Παυλίδης, 1985, Καντηράνης, 1998).

Λεπτές και στιλπνές λεπτές τομές των κρυσταλλικών ασβεστόλιθων εξετάστηκαν στο πολωτικό και μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Ο ποιοτικός και ημιποσοτικός προσδιορισμός των ορυκτών έγινε με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD) σε τυχαία προσανατολισμένα δείγματα κόνεως. Χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο Philips με ακτινοβολία CuK_α , φίλτρο Ni, ταχύτητα σάρωσης $1,2^\circ/\text{min}$, ταχύτητα καταγραφικού $1 \text{ cm}/\text{min}$ και περιοχή σάρωσης $3-53^\circ (2\theta)$. Ο ημιποσοτικός προσδιορισμός των ορυκτολογικών φάσεων έγινε με βάση τις απαριθμήσεις (counts) συγκεκριμένων ανακλάσεων και λαμβάνοντας υπόψη την πυκνότητα και το συντελεστή απορρόφησης μάζας (Mass Absorption Coefficient CuK_α) των ορυκτολογικών φάσεων. Το ποσοστό της οργανικής ύλης υπολογίστηκε με κατεργασία σε 30% H_2O_2 (Jackson, 1974). Το φαινόμενο ειδικό βάρος των δειγμάτων υπολογίστηκε σύμφωνα με τις μεθόδους που περιγράφονται στα πρότυπα AASHO T-147 (1961) και ASTM C-29 (1991).

Αντιπροσωπευτικά δείγματα των κρυσταλλικών ασβεστόλιθων με μορφή κυβικών δοκιμίων μέσης ακμής περίπου 2 cm πυρώθηκαν σε 500°C και 1000°C . Οι συνθήκες θέρμανσης στους 500°C ήταν: χρόνος προθέρμανσης 30 min, ρυθμός θέρμανσης $8,33^\circ \text{C}/\text{min}$ και χρόνος παραμονής 60 min, ενώ αντίστοιχα στους 1000°C ήταν: 120 min, $8,33^\circ \text{C}/\text{min}$ και 30 min. Οι πυρώσεις πραγματοποιήθηκαν σε ηλεκτρικό φούρνο τύπου Multitherm N11/HR ελεγχόμενης ακρίβειας $\pm 2^\circ \text{C}$.

Ο υπολογισμός της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων που διέρχονται από ένα υλικό έγινε σύμφωνα με το Γαλλικό πρότυπο AFNOR NF B 10505 (1973). Όλες οι μετρήσεις έγιναν με χρήση της φορητής μη καταστρεπτικής ψηφιακής συσκευής δοκιμής υπερήχων (P.U.N.D.I.T.). Ο υπολογισμός του πορώδους έγινε με χρήση της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων (Wyllie et al., 1958). Τέλος, ο



Σχ. 1. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής Πετρών-Βεγορίτιδας (Παυλίδης, 1985).

Fig. 1. Geological map of the Petron-Vegoritis area (Pavlidis, 1985)

υπολογισμός της δραστηριότητας της παραγόμενης ασβέστου έγινε με τη μεθοδολογία που περιγράφεται στο DIN 19611 (1983). Οι παράμετροι που εκφράζουν τη δραστηριότητα είναι το ισοδύναμο εξουδετέρωσης (OH) υδατοδιαλυτών συστατικών και η αναλογία κατά μάζα υδατοδιαλυτού CaO (ενεργό ποσοστό CaO).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η μικροσκοπική εξέταση έδειξε ότι οι δύο ασβεστόλιθοι είναι ολοκρυσταλλικοί, παρουσιάζουν σπαριτικό ιστό και μέσο μέγεθος κόκκων 1,0 μm για τον τεφρό και 1,4 μm για τον λευκό. Στον τεφρό κρυσταλλικό ασβεστόλιθο αναγνωρίστηκαν μικροσκοπικά εκτός των ανθρακικών ορυκτών, σε ίχνη τα ορυκτά μοσχοβίτης, χαλαζία, τάλκης, άστριοι και μεταλλικά, ενώ στον λευκό σε ίχνη αναγνωρίστηκε ο μοσχοβίτης. Ο Καντηράνης (1998) αναγνώρισε με τη μέθοδο XRD στο αδιάλυτο υπόλειμμα του τεφρού κρυσταλλικού α-

σβεστόλιθου μοσχοβίτη, δολομίτη, κλωρίτη, σμεκτίτη, καολινίτη, χαλαζία, αστρίους και μεταλλικά. Αντίστοιχα, στο αδιάλυτο υπόλειμμα του λευκού κρυσταλλικού ασβεστόλιθου αναγνώρισε μοσχοβίτη, χαλαζία και τάλκη.

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται η ημιποσοτική ορυκτολογική σύσταση των αρχικών κρυσταλλικών ασβεστόλιθων και των δειγμάτων που πυρώθηκαν στους 500° C και 1000° C. Ο τεφρός κρυσταλλικός ασβεστόλιθος περιέχει 96% ασβεστίτη και ίχνη δολομίτη, ενώ ο λευκός κρυσταλλικός ασβεστόλιθος 96% ασβεστίτη και 3% δολομίτη.

Στους 500° C δεν παρατηρήθηκαν σοβαρές ορυκτολογικές μεταβολές και στους δύο κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, ενώ στους 1000° C ο ασβεστίτης και ο δολομίτης αποικοδομούνται πλήρως δίνοντας άσβεστο, ενώ το μαγνησιούχο τμήμα του δολομίτη δίνει περικλαστο. Η θερμοκρασία αποικοδόμησης του ασβεστίτη είναι 898 -

902,5° C σε μερική πίεση CO₂ 1 atm, ενώ του δολομίτη 510 - 750° C (Boynton, 1980, Gutschick, 1995, Oates, 1998). Με την ασβεστοποίηση στους 1000° C και των δύο κρυσταλλικών ασβεστόλιθων σχηματίστηκαν υλικά με υψηλά ποσοστά ασβέστου (98 και 99%) που περιέχουν και ίχνη περικόλαστου και μοσχοβίτη. Τα αργιλικά ορυκτά πιθανόν να καταστρέφονται ή να δίνουν νέες φάσεις που όμως είναι κάτω του ορίου ανιχνευσιμότητας της μεθόδου XRD. Ιδιαίτερα ο μοσχοβίτης, με θερμοκρασία αποικοδόμησης 1000° C (Deer et al., 1962) μπορεί να καταστρέφεται ή οριακά να παραμένει στο σύστημα και να αποικοδομείται σε λίγο υψηλότερες θερμοκρασίες. Στον τεφρό κρυσταλλικό ασβεστόλιθο αναγνωρίστηκε μοσχοβίτης σε ίχνη, ενώ στον λευκό δεν ανιχνεύθηκε (Πίν. 1).

Πίνακας 1. Ημιοσοτική (κ.β. %) ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων του τεφρού και λευκού κρυσταλλικού ασβεστόλιθου που αναλύθηκαν.

Table 1. Semi-quantitative (wt. %) mineralogical composition of the gray and white crystalline limestone samples analyzed.

Ορυκτό	Τεφρός			Λευκός		
	Αρχικό υλικό	500° C	1000° C	Αρχικό υλικό	500° C	1000° C
Ασβεσίτης	96	96	-	96	96	-
Δολομίτης	Ίχνη	Ίχνη	-	3	3	-
Μοσχοβίτης	Ίχνη	Ίχνη	Ίχνη	Ίχνη	Ίχνη	-
Αργιλικά ορυκτά	Ίχνη	-	-	-	-	-
Ασβεστος	-	-	98	-	-	99
Περικόλαστο	-	-	Ίχνη	-	-	Ίχνη

Ίχνη <3%.

Σε προηγούμενες ασβεστοποιήσεις του τεφρού κρυσταλλικού ασβεστόλιθου (Καντηράνης, 1998, Kantiranis et al., 1998, 1999) παρατηρήθηκε ο σχηματισμός μη κρυσταλλικής φάσης (-6%). Οι ασβεστοποιήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε αυτή την εργασία δεν οδήγησαν στο σχηματισμό μη κρυσταλλικής φάσης, εξαιτίας της σταδιακής (5° C/min) και όχι της απότομης ψύξης των δοκιμών που πυρώθηκαν.

Το περιεχόμενο της οργανικής ύλης του τεφρού κρυσταλλικού ασβεστόλιθου υπολογίστηκε σε 0,8 %, ενώ του λευκού σε 0,09 % (Πίν. 2).

Η σημαντική αυτή διαφορά εξηγεί τη διαφορά χρώματος μεταξύ των δύο κρυσταλλικών ασβεστόλιθων. Σύμφωνα με τον Boynton (1980) μια μικρή ποσότητα οργανικής ύλης είναι δυνατό να χρωματίσει έναν ασβεστόλιθο τεφρό έως μαύρο.

Το φαινόμενο ειδικό βάρος των δύο κρυσταλλικών ασβεστόλιθων παραμένει ουσιαστικά σταθερό μετά τη θέρμανση στους 500° C και ελαττώνεται δραστικά στους 1000° C, εξαιτίας της αποικοδόμησης των ανθρακικών ορυκτών (Πίν. 2). Η αποικοδόμηση αυτή συνδέεται με αύξηση του πορώδους (Oates 1998). Το πορώδες, από 0,6% για τον τεφρό κρυσταλλικό ασβεστόλιθο, αυξάνει σε 47,3%, ενώ για τον λευκό από 0,4% σε 42,1%, όταν πυρώνονται στους 1000° C. Ιδιαίτερη

σημασία όμως έχει η σημαντική αύξηση του πορώδους (από 0,6% σε 6,3%) που παρατηρείται στον τεφρό κρυσταλλικό ασβεστόλιθο στην ενδιάμεση θερμοκρασία (500° C), κάτι που δεν εμφανίζεται στον ίδιο βαθμό στον λευκό κρυσταλλικό ασβεστόλιθο. Η διαφορά αυτή μπορεί κυρίως να αποδοθεί στη διαφορά της περιεχόμενης οργανικής ύλης μεταξύ των δύο κρυσταλλικών ασβεστόλιθων.

Η ταχύτητα των υπερήχων δε συνδέεται μόνο με τις ελαστικές σταθερές ενός υλικού, αλλά επιπλέον είναι ένας καλός δείκτης για την ταξι-

νόμηση της ποιότητας του πετρώματος ή του υλικού (Irfan & Dearman, 1978, Auger, 1988, Christaras, 1994, Christaras et al., 1994, Topal, 1995) και για τον προσδιορισμό της ανισοτροπίας των πετρωμάτων (Christaras, 1994), ενώ η ελάττωσή της συνδέεται με αύξηση του πορώδους (Hamrol, 1961). Η μείωση της ταχύτητας των P κυμάτων με την αύξηση της θερμοκρασίας πύρωσης των δοκιμών είναι έντονη και συνδέεται με θεαματική αύξηση του πορώδους (Πιν. 2). Εργαστηριακές μετρήσεις (Hughes & Maurette, 1957, Timur, 1997) έδειξαν ότι οι ταχύτητες μειώνονται κατά 10% ή

σβεστοποίησης οι οποίες με τη σειρά τους οδηγούν σε μια δραστικότερη άσβεστο αποφεύγοντας φαινόμενα συστολής (Boynnton, 1980, Oates, 1998). Η υψηλή μερική πίεση του CO₂ δρα ανασταλτικά στην είσοδο της θερμότητας στα εσωτερικότερα τμήματα των ανθρακικών θραυσμάτων με αποτέλεσμα να μην επέρχεται πλήρης ασβεστοποίησή τους, να παρατηρούνται φαινόμενα ανοικοδόμησης CaCO₃ στο όριο ασβέστου-ασβεστίτη και να απαιτούνται υψηλότερες θερμοκρασίες για την πλήρη ασβεστοποίηση. Οι υψηλές θερμοκρασίες όμως οδηγούν σε συστο-

Πίνακας. 2. Φυσικοχημικές ιδιότητες του τεφρού και λευκού κρυσταλλικού ασβεστόλιθου.

Table 2. Physicochemical properties of the gray and white crystalline limestone.

Ιδιότητες	Τεφρός			Λευκός		
	Αρχικό υλικό	500° C	1000° C	Αρχικό υλικό	500° C	1000° C
Μέσο μέγεθος κόκκων (mm)	10	-	-	14	-	-
Οργανική ύλη (%)	08	-	-	0,09	-	-
Φαινόμενο ειδικό βάρος* (g/cm ³)	2,71	2,70	1,55	2,73	2,72	1,61
Ταχύτητα υπερήχων* (km/sec)	15,7	7,0	14	16,2	14,6	16
Απώλεια πύρωσης** (%)	-	0,1	42,7	-	0,03	41,8
Πορώδες (%)	0,6	6,3	47,3	0,4	0,9	42,1
Ισοδύναμο εξουδετέρωσης (OH)** (mol/kg)	-	-	25,3	-	-	23,9
Ενεργό CaO** (%)	-	-	85,2	-	-	80,3

*Μέση τιμή 16 μετρήσεων, **Μέση τιμή 4 μετρήσεων.

και περισσότερο, όταν η θερμοκρασία αυξάνει κατά 100° C. Οι παράγοντες που οδηγούν σε αυτή τη μείωση είναι η επίδραση της θερμοκρασίας στην πίεση των πόρων, αλλά και η γένεση νέων μικρορωγμών, εξαιτίας της ανισότροπης θερμικής διαστολής του υλικού (Toksoz et al., 1976).

Η αύξηση του πορώδους έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της εσωτερικής επιφάνειας του κρυσταλλικού ασβεστόλιθου που έρχεται σε άμεση επαφή με τη θερμότητα, την ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας στο εσωτερικό του υλικού και την ελάττωση της μερικής πίεσης του CO₂ που παράγεται από την ανοικοδόμηση των ανθρακικών ορυκτών. Ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας οδηγεί σε ηπιότερες συνθήκες α-

λή των θραυσμάτων και κατά συνέπεια σε ελάττωση της δραστικότητάς τους (Boynnton, 1980, Oates, 1998). Παρόλο που το μέσο μέγεθος κόκκων είναι μεγαλύτερο στο λευκό κρυσταλλικό ασβεστόλιθο, παρατηρείται μεγαλύτερη αύξηση του πορώδους στον τεφρό κρυσταλλικό ασβεστόλιθο και στις δύο θερμοκρασίες πύρωσης. Τέλος, ενώ οι συνθήκες ασβεστοποίησης είναι ίδιες για τους δύο κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, ο τεφρός δίνει άσβεστο με υψηλότερη δραστικότητα, κυρίως εξαιτίας των μικροπόρων που δημιουργούνται στη θέση της οργανικής ύλης που καίγεται.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά από πύρωση των δύο κρυσταλλικών α-

σβεστόλιθων στους 500° C, δεν παρατηρείται μετατροπή των κύριων ορυκτολογικών φάσεων, όμως η ταχύτητα των P κυμάτων και το πορώδες στον τεφρό κρυσταλλικό ασβεστόλιθο μεταβάλλονται σημαντικά σε αντίθεση με τον λευκό. Στον τεφρό κρυσταλλικό ασβεστόλιθο παρατηρείται μείωση της ταχύτητας των P κυμάτων κατά 55,4% και αύξηση του πορώδους κατά 5,7 ποσοστιαίες μονάδες, ενώ για τον λευκό η αντίστοιχη μείωση είναι 9,9% και η αντίστοιχη αύξηση μόλις 0,5 ποσοστιαίες μονάδες. Οι διαφορές αυτές μπορούν να αποδοθούν κυρίως στην καύση της οργανικής ύλης που περιέχεται σε μεγαλύτερο ποσοστό στον τεφρό κρυσταλλικό ασβεστόλιθο (0,8%) απ' ό τι στον λευκό (0,09%) και σε ασήμαντο βαθμό στη διάσπαση ορυκτών που περιέχονται σε ίχνη, όπως π.χ. μεταλλικά και αργιλικά ορυκτά.

Στους 1000° C και τα δύο πετρώματα ασβεστοποιήθηκαν πλήρως. Η αποικοδόμηση του ασβεστίτη και του δολομίτη έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση του πορώδους της ασβέστου που σχηματίστηκε από τους δύο κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, με μεγαλύτερη τιμή (κατά 5,2 ποσοστιαίες μονάδες) για τον τεφρό. Το υψηλότερο πορώδες της ασβέστου του τεφρού κρυσταλλικού ασβεστόλιθου συνδέεται με υψηλότερη δραστικότητα. Η άσβεστος του τεφρού κρυσταλλικού ασβεστόλιθου είναι κατά 4,9 ποσοστιαίες μονάδες δραστικότερη αυτής του λευκού. Η διαφορά αυτή στη δραστικότητα οφείλεται κυρίως στο μεγαλύτερο ποσοστό οργανικής ύλης (0,8%) που περιέχει ο τεφρός κρυσταλλικός ασβεστόλιθος σε σχέση με το λευκό (0,09%).

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ο υποψήφιος διδάκτορας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. κ. Νικόλαος Καντηράνης ευχαριστεί θερμά το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών για την υποστήριξη των σπουδών του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

AASHO T-147 (1961). The classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes. In: Standard specifications for highway materials and methods of sam-

pling and testing, Am. Assoc. State Highway Officials, Part 1, Specific., 45-51.

AFNOR NF B 10505 (1973). Produits de carrières - Pierres calcaires - Mesure de la vitesse de propagation du son (ondes longitudinales), 2p.

ASTM C-29 (1991). Standard test methods for unit weight and voids in aggregate. Annual Book of ASTM standards, vol. 04.01, 1-4.

AUGER F. (1988). Influence des fluides interstitiels sur la vitesse du son dans les matériaux de construction. Mesures expérimentales et conséquences sur les diagnostics d'altrabilité. Intern. Measurm. Testing Civil Engin., Lyon, 259-268.

BOYNTON R. S. (1980). Chemistry and Technology of Limestone. 2nd edn. Wiley & Sons, New York, 577p.

CHRISTARAS B. (1994). Anisotropy effects on the elastic parameters of rocks; determination using ultrasonic techniques. Bull. Geol. Soc. Greece, 30 (4), 381-387.

CHRISTARAS B., AUGER F. & MOSSE E. (1994). Determination of the elastic moduli of rocks. Comparison of the ultrasonic velocity and mechanical resonance frequency methods to the direct static one. Materials & Structures, 27, 222-228.

DEER W. H., HOWIE R. A. & ZUSSMAN J. (1962). Rock-forming minerals, Vol. 3: Sheet silicates. Longmans, London, 270p.

DIN 19611 (1983). High-calcium lime for use in water treatment. 7p.

GUTSCHICK K. A. (1995). Lime and Limestone. In: Howe-Grant M. (Ed.), Encyclopedia of Chemical Technology. Wiley & Sons, New York, vol. 15, 319-359.

HAMROL A. (1961). A quantitative classification of the weathering and weatherability of rocks. Proc. 5th Intern. Conf. Soil Mechanics Foundation Engin., Paris, 2, 771-774.

HUGHES D. S. & MAURETTE C. (1957). Variation of elastic wave velocities in basic rocks with pressure and temperature. Geophysics, 22, 23-32.

IRFAN T. W. & DEARMAN W. R. (1978). Engineering classification and index properties of a weathered granite. IAEG, Bull., 17, 79-90.

- JACKSON M. L. (1974). Soil chemical analysis. Adv. course. Madison, Wisconsin, 690p.
- ΚΑΝΤΗΡΑΝΗΣ Ν. (1998). Πετρολογική, γεωχημική και τεχνολογική μελέτη των Ιουρασικών ανθρακικών πετρωμάτων Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας. Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 69 σελ.
- ΚΑΝΤΗΡΑΝΗΣ Ν., ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α., ΤΣΙΡΑΜΒΙΔΗΣ Α., ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ Β. & ΚΑΣΣΟΛΙ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ Α. (1998). Volatilization of arsenic during calcination of crystalline limestone for Agios Panteleimonas, Florina, Macedonia, Greece. Proc. 4th Intern. Conf. Environ. Pollution - Toxic Metals, Thessaloniki, 73-78.
- ΚΑΝΤΗΡΑΝΗΣ Ν., ΤΣΙΡΑΜΒΙΔΗΣ Α., ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α. & ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ Β. (1999). Technological characteristics of the calcined limestone from Agios Panteleimonas, Macedonia, Greece. Materials & Structures, 32, 546-551.
- ΟATES J. A. H. (1998). Lime and limestone. Chemistry and technology, production and uses. Wiley-VCH, Weinheim, Germany, 455p.
- ΠΑΥΛΙΔΗΣ Σ. (1985). Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας - Βεγορίτιδας - Πτολεμαΐδας (Δ. Μακεδονία). Διακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 265 σελ.
- TIMUR A. (1997). Temperature dependence of compressional and shear wave velocities in rocks. Geophysics, 42, 950-956.
- TOKSOZ M. N., CHENG, C. H. & TIMUR A. (1976). Velocities of seismic waves in porous rocks. Geophysics, 41, 621-645.
- TOPAL T. (1995). Ultrasonic testing of artificially weathered Cappadocian tuff. Proc. Congr. LCP '95. Preserv. Restor. Cultur. Heritage. Montreux, 205-212.
- WYLLIE M. R. J., GREGORY A. R. & GARDNER G. H. F. (1958). An experimental investigation of factors affecting elastic wave velocities in porous media. Geophysics, 23, p.459.