

## ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΘΑΣΟΥ (ΕΛΛΑΣ)\*

N. ΚΑΝΘΡΑΝΗΣ<sup>1</sup>, Α. ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ<sup>2</sup>, Α. ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ<sup>3</sup>,  
Α. ΚΑΣΩΛΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ<sup>4</sup> ΚΑΙ Β. ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ<sup>5</sup>

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα ανθρακικά πετρώματα της Θάσου είναι ολοκρυσταλλικά και παρουσιάζουν σπαρτικό ιστό. Οι δολομίτες έχουν μικρότερο μέγεθος κρυστάλλων (0,7-1,6 mm) από τα ασβεστιτικά μάρμαρα (0,8-2,2 mm). Στους δολομίτες εκτός του ομώνυμου ορυκτού, βρίσκονται ασβεστίτης (1-10%) και ίχνη χαλαζία, αστρίων και μαρμαρυγιών. Στα ασβεστιτικά μάρμαρα εκτός του ασβεστίτη βρίσκονται δολομίτης (2-28%), χαλαζίας (1-28%), μαρμαρυγίες (1-6%) και κατά περίπτωση, άστριοι, αργιλικά ορυκτά και γκαϊτίτης. Οι δολομίτες παρουσιάζονται καθαρότεροι όλων των μαρμάρων του νησιού με κυριώτερη ξένη πρόσμιξη το SiO<sub>2</sub> (<0,88%). Εκτός των διακοσμητικών εφαρμογών τα ασβεστιτικά μάρμαρα της Θάσου είναι κατάλληλα κυρίως για την παραγωγή αδρανών υλικών οποιουδήποτε μεγέθους κόκκων, τοιμέντων και πιθανώς φιαλών, για περιβιαλογοντικές χρήσεις και ως βελτιωτικά εδαφών. Τα δολομιτικά μάρμαρα είναι κατάλληλα για την παραγωγή λιπασμάτων και πιθανώς φιαλών, καθώς και ως πληρωτικά ή λευκαντικά υλικά στις βιομηχανίες χάρτου, χρωμάτων και ελαστικών.

### ABSTRACT

The carbonate rocks of Thassos Island are holocrystalline and present sparitic texture. The dolomites have smaller crystal size (0.7-1.6 mm) than the calcitic marbles (0.8-2.2 mm). In the dolomites except the synonymous mineral, calcite (1-10%) and traces of quartz, feldspars and micas are present. In the calcitic marbles except of the calcite, dolomite (2-28%), micas (1-6%) and occasionally feldspars, clay minerals and goethite occur. The results of chemical analysis agree with the mineralogical ones, as well as with the percentage of the insoluble residue. The dolomites appear purer than all other marbles of the island. They most often contain SiO<sub>2</sub> (up to 0.88%). Beyond the decorative applications the calcitic marbles of Thassos are mainly suitable for the production of aggregates with any size requirement, cement and probably container glasses, for environmental uses and as soil conditioners. Respectively, the dolomitic marbles are suitable for the production of fertilizers and probably of container glasses and as fillers or whitenings in paper, paint and rubber industries.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** ανθρακικά πετρώματα, βιομηχανικές χρήσεις, Θάσος.

**KEY WORDS:** carbonate rocks, industrial applications, Thassos.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ανθρακικά πετρώματα βρίσκουν σήμερα πολλές εφαρμογές και συγκαταλέγονται μεταξύ των 30 σπουδαιότερων πρώτων υλών. Στην παγκόσμια σειρά κατάταξης ανάλογα με την αξία τους οι ασβεστόλιθοι για όλες τις βιομηχανικές εφαρμογές κατέχουν την 11η θέση, εκτός της βιομηχανίας τοιμέντων όπου κατέχουν την 5η θέση (Lutting 1980).

Οι ασβεστόλιθοι θρυμματίζονται για παραγωγή αδρανών υλικών όλων των κοκκομετρικών διαβαθμίσεων και χρησιμοποιούνται σε ποικίλες εφαρμογές (ως συστατικά τοιμέντων, ως οδικά ή σιδηροδρομικά υποστρώματα, ως φίλτρα καθαρισμού νερών κ.ά.). Ως διακοσμητικοί λίθοι οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες, μαζί με τα μάρμαρα, εμφανίζουν ιδανικά χρώματα και αισθητική, υψηλή θλιπτική αντοχή, καθώς και υψηλή αντοχή στην κάμψη και στην αποσάθρωση (Τσιραμπιδής 1996). Ως ευηχητικά υλικά κατά την εκκαμίνευση σιδηρούχων ενώσεων, για την απομάκρυνση του SiO<sub>2</sub> κατά τον εξευγενισμό του αργιλίου και ως σταθεροποιητικά και

\* INDUSTRIAL USES OF CARBONATE ROCKS FROM THASSOS ISLAND (GREECE)

1. Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 540 06 Θεσσαλονίκη, kantira@geo.auth.gr

2. Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 540 06 Θεσσαλονίκη, ananias@geo.auth.gr

3. Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 540 06 Θεσσαλονίκη, anestis@geo.auth.gr

4. Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 540 06 Θεσσαλονίκη, kasoli@geo.auth.gr

5. Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 540 06 Θεσσαλονίκη, chrstar@geo.auth.gr

ενισχυτικά υλικά στις ασβεστονατριούχους υάλους. Χρησιμοποιούνται επίσης στην κατεργασία του χαρτοπολτού για την αφαίρεση του  $SO_2$  σχηματίζοντας  $Ca(HSO_3)_2$  και ως ευτηκτικά ή πληρωτικά συστατικά σε υλικά σπάλωσης ή σμάλτου (κεραμικές βιομηχανίες). Οι δολομίτες χρησιμοποιούνται επίσης, για παραγωγή  $MgO$  που είναι σημαντικό δύστηκτο υλικό. Το  $CaO$  μαζί με πυριτία, αλουμίνα, θεικές ενώσεις και ενώσεις σιδήρου σε ποικίλες αναλογίες παράγουν τσιμέντο κατασκευών. Επίσης, χρησιμοποιούνται στην αποθείωση καπνοδόχων βιομηχανικών μονάδων και στον καθαρισμό ποικίλων αποβλήτων, υδάτινων συστημάτων και εδαφών (π.χ. περιβαλλοντικές εφαρμογές, γεωργία κ.ά.). Το  $Ca$  και το  $Mg$  είναι απαραίτητα στοιχεία στην παρασκευή λιπασμάτων. Το  $Ca$  είναι συστατικό πολλών ζωοτροφών. Θέρμανση των ανθρακικών πετρωμάτων σε  $1000-1100^\circ C$  παράγει άσβεστο (Carr & Rooney 1975, Boynton 1980, Power 1985, Harben 1992, Carr et al. 1994, Oates 1998).

Τα μάρμαρα της Θάσου είναι γνωστά από την αρχαιότητα και χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα κατά τους Ρωμαϊκούς χρόνους. Εξορυκτικά κέντρα υπήρχαν διάσπαρτα σε όλη σχεδόν την έκταση του νησιού με ιδιαίτερα γνωστά αυτά της Αλυκής και της περιοχής Σαλιάρη-Βαθύ. Σήμερα, είναι περιζήτητο το λευκό δολομιτικό μάρμαρο που εξορύσσεται κυρίως στο Β-ΒΑ τμήμα του νησιού. Παράλληλα υπάρχουν και σημαντικές εμφανίσεις ασβεστιτικών μαρμάρων που βρίσκονται σε εκμετάλλευση στο κεντρικό κυρίως τμήμα της Θάσου. Το μεγαλύτερο ποσοστό του εξορυσσόμενου μαρμάρου χρησιμοποιείται κυρίως για τις εσωτερικές και εξωτερικές επενδύσεις κτιρίων. Πάironοντας υπόψη ότι ο συντελεστής αποληψιμότητας στη Θάσο κατά μέσο όρο είναι 20% (5% στην περιοχή Σαλιάρη) (Βουγιούκας 1998) μπορεί να αντιληφθεί κανείς ότι η εκμετάλλευση των κοιτασμάτων μαρμάρου (ασβεστιτικού και δολομιτικού) του νησιού αφήνει ένα τεράστιο όγκο στείρων υλικών. Αυτά όμως δεν παύουν να είναι ανθρακικά τεμάχια υψηλής πολλής φορές ποιότητας για διάφορες άλλες χρήσεις.

Στην εργασία αυτή εξετάζονται τα ιστολογικά χαρακτηριστικά, η ορυκτολογική σύσταση, το αδιάλυτο υπόλειμμα και η χημική σύσταση των ανθρακικών πετρωμάτων της Θάσου και προτείνονται νέοι τομείς για βιομηχανική τους εκμετάλλευση.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Από τα ανθρακικά πετρώματα της Θάσου πάρθηκαν αντιπροσωπευτικά δείγματα (Σχ. 1) και κατασκευάστηκαν λεπτές τομές για εξέταση στο πολωτικό μικροσκόπιο των ιστολογικών χαρακτηριστικών και των ορυκτολογικών συστατικών τους.

Αντιπροσωπευτικό υλικό των ασβεστιτικών (A1-A11) και δολομιτικών (D1-D8) μαρμάρων κονιοποιήθηκε σε αχάτινο γουδί για τον ποιοτικό και ημιποσοτικό προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ. Χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο Philips με ακτινοβολία  $CuK_{\alpha}$ , φίλτρο Ni, ταχύτητα γωνιομέτρου  $1,2^\circ/\text{min}$ , ταχύτητα καταγραφικού  $1 \text{ cm}/\text{min}$  και περιοχή σάρωσης  $3-53^\circ 2\theta$ . Η μορφή των παρασκευασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τυχαία προσανατολισμένα (κόνεως). Ο ημιποσοτικός προσδιορισμός των ορυκτολογικών φάσεων έγινε με βάση τις απεριθμησείς συγκεκριμένων ανακλάσεων τους και λαμβάνοντας υπόψη την πυκνότητα και το συντελεστή απορρόφησης μάζας των ορυκτολογικών φάσεων.

Μέρος των κονιοποιημένων ανθρακικών πετρωμάτων διαλυτοποιήθηκε (Καντηράνης 1998) σε θερμό διάλυμα  $1N \text{ HCl}$  με μαγνητικό αναδευτήρα για 15 λεπτά, Ξεπλύθηκε δύο φορές με απιονισμένο νερό και φυγοκέντριση στις  $1000 \text{ στροφές}/\text{min}$ , Ξηράθηκε σε θερμοκρασία  $80^\circ C$  και ζυγίστηκε. Η διαφορά βάρους σε ποσοστό επί τοις % αποτελεί το αδιάλυτο υπόλειμμα των ανθρακικών πετρωμάτων. Μετά από αυτή την κατεργασία το αδιάλυτο υπόλειμμα κάθε δείγματος υποβλήθηκε σε περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ για να γίνει έλεγχος της πλήρους διάλυσης των ανθρακικών ορυκτών.

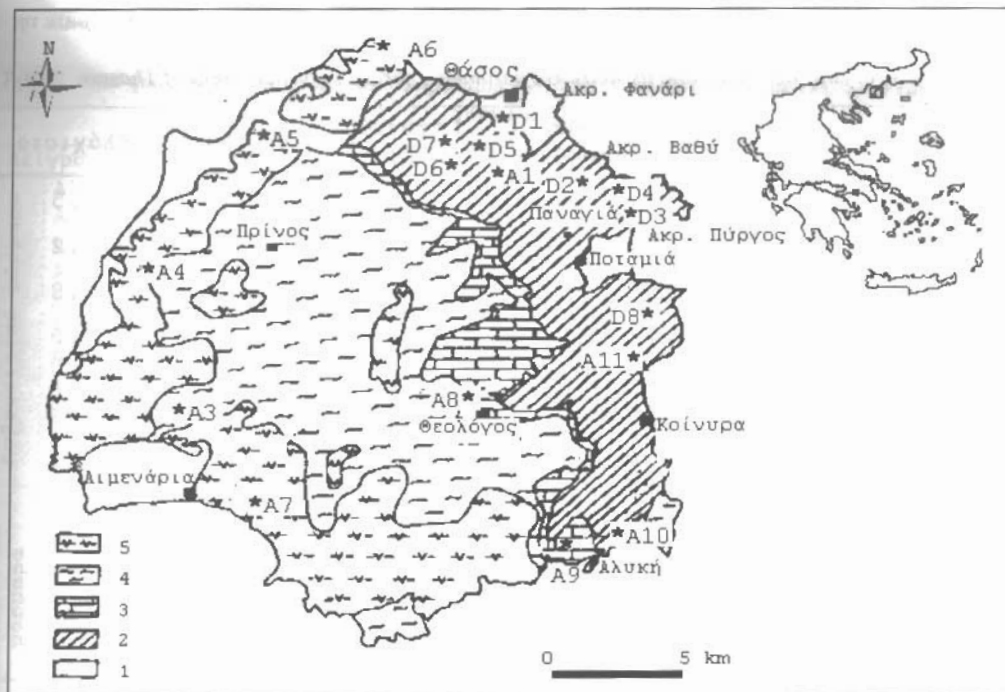
Τέλος, για τη χημική ανάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων της Θάσου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της φασματομετρίας ατομικής απορρόφησης σε σκόνη δείγματος μετά από διαλυτοποίηση. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στον Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ.

## 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### Ιστολογική μελέτη

Από τη μικροσκοπική εξέταση των λεπτών τομών διαπιστώνεται ότι τα ανθρακικά πετρώματα της Θάσου είναι ολοκρυσταλλικά. Ο ιστός τους είναι σπαρτικός. Το κρυσταλλικό μέγεθος και οι στατιστικές παράμετροί του δίνονται στον Πίνακα 1.

Τα δείγματα των ασβεστιτικών μαρμάρων παρουσιάζουν γενικά μεγαλύτερους κρυστάλλους από τα δολομιτικά μάρμαρα. Στο δείγμα A1 το μέσο κρυσταλλικό μέγεθος είναι  $2,2 \text{ mm}$ , ενώ στα δείγματα A3, A6, A7, A8 και A9 κυμαίνεται από  $1,4$  έως  $1,8 \text{ mm}$ . Μικρότερα μέσα μεγέθη κρυστάλλων παρουσιάζουν τα δείγματα A2, A4, A5, A10 και A11 με τιμή  $0,8 \text{ mm}$ . Η υψηλή βιβλιοθήκη Θεόδωρου Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. μέγιστο μέγεθος κρυστάλλων για τα ασβεστιτικά μάρμαρα της Θάσου μπορεί να φτάσει τα  $6,3 \text{ mm}$  (δείγμα A6), ενώ το ελάχιστο τα



Σχήμα 1. Γεωλογικό σκαρίφημα της Θάσου (Atzori et al. 1990). 1 = Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα, 2 = δολομίτες, 3 = αδροκρυσταλλικά μάρμαρα με σχιστολιθικές ενστροφώσεις, 4 = βιοτιτικοί-αμφιβολιτικοί γνεύσι, 5 = αδροκρυσταλλικά στρωματώδη μάρμαρα. \* Θέσεις δειγματοληψίας.

Figure 1. Geological sketch map of Thassos (Atzori et al. 1990). 1 = Neogene and Quaternary sediments, 2 = dolomites, 3 = coarse-grained marbles with schist intercalations, 4 = biotite-amphibole gneisses, 5 = coarse-grained bedded marbles. \* Sampling locations.

0,1 mm (δείγματα A5, A6 και A8).

Αντίθετα, στα δείγματα των δολομιτικών μαρμάρων της Θάσου το μέσο κρυστάλλικο μέγεθος κυμαίνεται από 0,7 (D8) έως 1.6 mm (D7) και γενικά οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των δειγμάτων δεν είναι τόσο έντονες. Το μέγιστο μέγεθος κρυστάλλων είναι σημαντικά μικρότερο από τα ασβεστιτικά μάρμαρα και φτάνει στο δείγμα D4 τα 4 mm, ενώ στα υπόλοιπα η ελάχιστη τιμή είναι σαφώς μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των ασβεστιτικών μαρμάρων και ανέρχεται σε 0,3 mm.

Μικροσκοπικά στα ασβεστιτικά δείγματα A1-A11 αναγνωρίστηκαν ασβεστίτης που είναι το κυρίαρχο ορυκτό, δολομίτης, χαλαζίας και λευκός μαρμαρυγίας, ενώ στα δολομιτικά δείγματα D1-D8 το βασικό ορυκτό που αναγνωρίστηκε ήταν δολομίτης, καθώς και ασβεστίτης. Ιδιαίτερα στο δείγμα A3 είναι έντονη η παρουσία εμποτισμών με σιδηροξειδία. Για να είναι δυνατή η μικροσκοπική διάκριση μεταξύ ασβεστίτη και δολομίτη χρησιμοποιήθηκε διάλυμα ερυθρής αλιζαρίνης S η οποία αφήνει ανεπηρέαστο τον ασβεστίτη και χρωματίζει ιώδη το δολομίτη.

#### Ορυκτολογική σύσταση και αδιάλυτο υπόλειμμα

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται η ημιποσοτική ορυκτολογική σύσταση των ανθρακικών πετρωμάτων της Θάσου με χρήση της μεθόδου της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X. Ο ασβεστίτης είναι το κύριο συστατικό των δειγμάτων A1-A11. Επίσης αναγνωρίστηκαν κατά περίπτωση δολομίτης, χαλαζίας, μαρμαρυγίας, αργιλικά ορυκτά και πλαγιόκλαστο. Ιδιαίτερα στο δείγμα A3 αναγνωρίστηκε και γκαϊπίτης FeO(OH). Ο δολομίτης είναι το βασικό ορυκτολογικό συστατικό των δειγμάτων D1-D8, ενώ ο ασβεστίτης είναι το δεύτερο σε αναλογία ορυκτό που αναγνωρίστηκε. Σε ίχνη βρέθηκαν πλαγιόκλαστο, ενώ χαλαζίας και μαρμαρυγίες κατά περίπτωση.

Το αδιάλυτο υπόλειμμα των ανθρακικών πετρωμάτων της Θάσου παρουσιάζεται επίσης στον Πίνακα 2. Τα δείγματα A5, A6, A7 και A8 έχουν υπόλειμμα περίπου 0%. Πολύ καθαρά είναι τα δείγματα A1, A2, A4 και A8, ενώ τα δείγματα A3, A10 και A11 έχουν εξαιρετικά υψηλό

Πίνακας 1. Μέγεθος κρυστάλλων (mm) και στατιστικές του παράμετροι για τα ανθρακικά πετρώματα της Θάσου.

Table 1. Crystal size (mm) and its statistical parameters for the carbonate rocks of Thassos.

Δείγμα	Αριθμός μετρήσεων	Μέσο μέγεθος	Σταθερή απόκλιση	Μέγιστο	Ελάχιστο	
Ασβεστιτικά μάρμαρα	A1	93	2,2	0,9	4,8	0,5
	A2	92	0,8	0,6	3,8	0,2
	A3	57	1,7	0,8	4,8	0,8
	A4	60	1,0	1,1	6,0	0,2
	A5	64	0,9	1,0	4,5	0,1
	A6	64	1,4	1,3	6,3	0,1
	A7	65	1,8	0,8	4,0	0,5
	A8	67	1,4	0,9	4,0	0,1
	A9	71	1,6	0,9	4,8	0,5
	A10	71	1,0	0,5	2,5	0,3
	A11	63	1,0	0,5	2,5	0,4
Δολομιτικά μάρμαρα	D1	66	0,9	0,4	3,0	0,3
	D2	73	1,0	0,5	2,8	0,3
	D3	65	1,1	0,5	2,8	0,3
	D4	72	1,3	0,8	4,0	0,3
	D5	72	1,3	0,6	3,0	0,4
	D6	69	0,9	0,3	2,0	0,3
	D7	75	1,6	0,8	3,5	0,3
	D8	72	0,7	0,2	1,3	0,3

ποσοστό αδιάλυτου υπολείμματος. Ιδιαίτερα για το δείγμα A11 το αδιάλυτο υπόλειμμα είναι σχεδόν το 1/3 το αρχικού υλικού.

Αντίθετα, τα δείγματα των δολομιτικών μαρμάρων είναι εξαιρετικά καθαρά και εκτός του D1 (0,1%) τα υπόλοιπα δείγματα δεν αφήνουν αδιάλυτο υπόλειμμα.

#### Χημική σύσταση

Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης των κύριων στοιχείων των ανθρακικών πετρωμάτων της Θάσου παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. Αυτά συμφωνούν τόσο με τα ορυκτολογικά αποτελέσματα όσο και με το ποσοστό του αδιάλυτου υπολείμματος.

Τα δείγματα των ασβεστιτικών μαρμάρων A3, A10 και A11 παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά SiO<sub>2</sub> με τιμές 7,71, 6,90 και 33,37% αντίστοιχα. Όλα τα υπόλοιπα κύρια στοιχεία κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά ποσοστά, εκτός του Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και του MgO στο δείγμα A3 που αποδίδονται στην ύπαρξη του γκαϊτίτη και του δολομίτη αντίστοιχα και του MgO στα υπόλοιπα δείγματα που αποδίδεται στη μικρή παρουσία δολομίτη.

Τα δείγματα των δολομιτικών μαρμάρων παρουσιάζουν εξαιρετική καθαρότητα και αποτελούνται σχεδόν εξολοκλήρου από MgO και CaO. Η κύρια πρόσμιξη των πετρωμάτων αυτών είναι το SiO<sub>2</sub> σε ποσοστά όμως κάτω από 0,88%.

Για την επιλογή ενός ανθρακικού πετρώματος σε διάφορες χρήσεις πρέπει να εκπληρώνονται ορισμένες

Πίνακας 2. Ημιποσοτική ορυκτολογική σύσταση (κ.β.%) και αδιάλυτο υπόλειμμα (κ.β.%) των ανθρακικών πετρωμάτων της Θάσου.

Table 2. Semi-quantitative mineralogical composition (wt.%) and insoluble residue (wt.%) of carbonate rocks from Thassos.

Δείγμα	C	D	Q	Pl	M	T.cl	G	A.Y.	
Δοβεστιτικά μάρμαρα	A1	96	3	1	-	ίχνη*	ίχνη	-	1,4
	A2	97	2	1	-	-	-	-	1,0
	A3	55	28	8	-	2	-	7	12,5
	A4	89	10	1	ίχνη	-	-	-	0,7
	A5	92	7	1	-	-	-	-	0,0
	A6	93	5	1	-	1	-	-	0,0
	A7	94	3	1	-	2	-	-	0,0
	A8	97	2	1	-	-	-	-	0,4
	A9	95	-	1	-	4	-	-	0,0
	A10	92	-	4	-	4	-	-	13,0
	A11	64	-	28	-	6	2	-	30,6
Δολομιτικά μάρμαρα	D1	1	99	ίχνη	ίχνη	ίχνη	-	-	0,1
	D2	7	93	-	ίχνη	-	-	-	0,0
	D3	8	92	ίχνη	ίχνη	-	-	-	0,0
	D4	2	98	-	β÷ίφ	-	-	-	0,0
	D5	7	93	-	ίχνη	-	-	-	0,0
	D6	1	99	ίχνη	ίχνη	ίχνη	-	-	0,0
	D7	8	92	ίχνη	ίχνη	-	-	-	0,0
	D8	10	90	-	ίχνη	-	-	-	0,0

C = ασβεστίτης, D = δολομίτης, Q = χαλαζιάς, Pl = πλαγιόκλαστο, M = μαρμαργίας, T.cl = σύνολο αργιλικών ορυκτών, G = γκαϊτίτης.

A.Y. = αδιάλυτο υπόλειμμα, \* ίχνη < 1%.

C = calcite, D = dolomite, Q = quartz, Pl = plagioclase, M = mica, T.cl = total clays, G = goethite.

A.Y. = insoluble residue, \* traces < 1%.

βασικές προδιαγραφές. Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται οι κύριες προδιαγραφές χρήσεων των ανθρακικών πετρωμάτων με βάση τη χημική τους σύσταση (κ.β.%) και τις τιμές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων τους. Σε ορισμένες χρήσεις όπως στη χαρτοβιομηχανία, εκτός των χημικών και ορυκτολογικών απαιτήσεων είναι απαραίτητο να εκπληρώνονται και οι προδιαγραφές ειδικών φυσικοχημικών ιδιοτήτων όπως είναι η λευκότητα, η αποξεστικότητα και η απορροφητικότητα ελαίου (Λασκαρίδης 1989).

Ο Χρηστάρας (1988) εξετάζοντας τη συμπεριφορά των δολομιτικών μαρμάρων της Παναγιάς Θάσου σε μηχανικές καταπονήσεις και χημικές επιδράσεις διαπίστωσε ότι τα αποτελέσματα των μετρήσεων εμπίπτουν στα αποδεκτά όρια που προβλέπονται από την Ελληνική προδιαγραφή ΕΛΟΤ 583 που αφορά τις κατασκευές εξωτερικών επενδύσεων με μάρμαρα.

Ο Λασκαρίδης (1989) εξετάζοντας τους λευκούς ασβεστόλιθους και δολομίτες της Ελλάδος για χρήση στη βιομηχανία προσδιόρισε σε δείγματα δολομιτικών μαρμάρων της Θάσου (Βαθύ, Καστανιά-Πατσάδικα) τιμές αποξεστικότητας που κυμαίνονται μεταξύ 80 και 90 mg. Τα πετρώματα αυτά δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη χαρτοβιομηχανία.

Οι Κاليμπάκος & Παναγοπούλος (1994) εξετάζοντας τη δυνατότητα αξιοποίησης των στείρων του δολομιτικού μαρμάρου της Θάσου διαπίστωσαν ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υψηλής ποιότητας πληρωτικά για τη βιομηχανία χρωμάτων.

Ο Λασκαρίδης (1996) αξιολογώντας ποιοτικά τα λευκά ανθρακικά πετρώματα της Μακεδονίας διαπίστωσε ότι τα δολομιτικά μάρμαρα από τις περιοχές Σαλιάρη και Λιμένα της Θάσου, εξαιτίας της χημικής καθαρότητας και λευκότητάς τους και μετά από λειοτριβήση για την επίτευξη των επιθυμητών κοκκομετρικών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πληρωτικά υλικά στα χρώματα και στα πλαστικά. Μπορούν επίσης να διοχετευθούν για χρήση στις αμμοβολές, στη γεωργία, ως συστατικά λιπασμάτων, στην υαλοργία, καθώς επίσης και για την παραγωγή MgO.

Οι Καλιαμπάκος και Πετσάλας (1995) συμπέραναν ότι τα στείρα του δολομίτη της Θάσου μπορεί να αξιοποιηθούν ως πληρωτικά υλικά σε εφαρμογές μαλακού PVC.

Ο Τουραμπίδης (1998) μελέτησε τις δυνατότητες αξιοποίησης των στείρων του δολομίτη της Θάσου διαπί-

Πίνακας 3. Χημική σύσταση (κ.β.%) των ανθρακικών πετρωμάτων της Θάσσου.  
Table 3. Chemical composition (wt.%) of the carbonate rocks from Thassos.

Δείγμα	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> t	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI*	Σύνολο	
Ασβεστιτικά μάρμαρα	A1	1,48	bdl**	0,13	0,040	0,005	0,74	54,23	0,25	0,12	bdl	42,99	99,985
	A2	0,83	bdl	bdl	bdl	0,003	0,65	53,66	0,22	0,13	bdl	44,01	99,503
	A3	7,71	bdl	0,46	5,090	0,230	8,18	38,04	0,27	0,22	bdl	39,61	99,810
	A4	0,80	bdl	bdl	0,160	0,021	2,90	51,50	0,35	0,09	bdl	43,88	99,701
	A5	0,95	bdl	bdl	0,015	0,003	2,12	53,00	0,20	0,09	bdl	43,28	99,638
	A6	0,92	bdl	bdl	bdl	0,002	1,23	54,30	0,22	0,08	bdl	43,07	99,822
	A7	0,75	bdl	bdl	0,050	0,005	0,83	54,89	0,18	0,04	bdl	43,20	99,945
	A8	1,65	bdl	bdl	0,009	0,010	0,49	54,90	0,24	0,12	bdl	42,55	99,969
	A9	0,85	bdl	0,12	0,060	0,009	0,50	53,74	0,18	0,15	bdl	43,92	99,529
	A10	6,90	bdl	0,23	0,140	0,029	0,54	49,70	0,13	0,13	bdl	41,75	99,549
	A11	33,37	bdl	0,70	0,300	0,015	0,90	33,64	0,25	0,29	bdl	30,93	99,695
Δολομιτικά μάρμαρα	D1	0,38	bdl	0,11	0,050	0,006	22,86	29,71	0,25	0,12	bdl	46,10	99,586
	D2	0,72	bdl	bdl	0,040	0,003	20,53	32,01	0,24	0,07	bdl	46,00	99,613
	D3	0,66	bdl	bdl	0,010	0,005	20,17	32,83	0,21	0,11	bdl	45,94	99,935
	D4	0,75	bdl	bdl	0,037	0,007	22,37	30,56	0,20	0,06	bdl	45,70	99,684
	D5	0,26	bdl	bdl	0,018	0,002	21,35	31,32	0,23	0,07	bdl	46,31	99,560
	D6	0,88	bdl	bdl	0,098	0,011	22,93	29,19	0,24	0,09	bdl	46,26	99,699
	D7	0,83	bdl	bdl	0,032	0,003	21,02	31,31	0,19	0,08	bdl	46,46	99,925
	D8	0,67	bdl	bdl	0,025	0,006	20,37	32,26	0,28	0,07	bdl	46,28	99,961

\* απώλεια πύρωσης, \*\* κάτω του ορίου ανιχνευσιμότητας.

\* lost on ignition, \*\* below detection limit.

Πίνακας 4. Κύριες ποιοτικές απαιτήσεις για χρήση των ανθρακικών πετρωμάτων με βάση τη χημική σύστασή τους (κ.β. %) και τις τιμές των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων τους (Carr & Rooney 1975, Boynton 1980, Power 1985, Harben 1992, Carr et al. 1994, Oates 1998).

Table 4. Main quality requirements for use of the carbonate rocks on the basis of their chemical composition (wt. %) and values of their physicochemical properties (Carr & Rooney 1975, Boynton 1980, Power 1985, Harben 1992, Carr et al. 1994, Oates 1998).

Παραγωγή αδρανών	Μέγεθος τεμαχιδίων=1-200 mm
Παραγωγή ασβέστου	CaCO <sub>3</sub> >95, SiO <sub>2</sub> <1
Βελτιωτικά εδαφών	Μέγεθος τεμαχιδίων<5 mm, MgO<5
Περιβαλλοντικές χρήσεις	Μέγεθος τεμαχιδίων<2 mm, CaCO <sub>3</sub> =85-95, (MgO+A.Y.)<5
Τσιμεντοβιομηχανία	CaCO <sub>3</sub> >65, MgO<5, A.Y.<1,5, F<0,1
Βιομηχανία λιπασμάτων	Μέγεθος τεμαχιδίων=0,2-2 mm, CaCO <sub>3</sub> >60, MgO=5-20
Μεταλλουργία	Μέγεθος τεμαχιδίων<30 mm, CaCO <sub>3</sub> >97, (SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO+MnO)<3, P<0,02, S<0,1
Κατεργασία σακχαρότευτλων	CaCO <sub>3</sub> >98,5, SiO <sub>2</sub> <0,5
Αποθείωση καπνοδόχων	Μέγεθος τεμαχιδίων<0,1 mm, CaCO <sub>3</sub> >95, SiO <sub>2</sub> <2, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <1, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <1, MgO<1, MnO<0,02, Cl<0,1
Συμπληρώματα ζωοτροφών	CaCO <sub>3</sub> >98, SiO <sub>2</sub> >0, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> >0, (As+F+Hg+Pb+H.M.)>0
Παραγωγή υαλοπινάκων	Μέγεθος τεμαχιδίων=1-5 mm, CaO>55, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <0,35, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <0,08, MgO<0,8, SO <sub>3</sub> <0,05, A.Y.<0,6, C<0,1, υγρασία<0,05
Παραγωγή φιαλών	Μέγεθος τεμαχιδίων=1-5 mm, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <0,1, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <0,001, υγρασία<0,1
Χαρτοβιομηχανία	Μέγεθος κόκκων<10 μm, CaCO <sub>3</sub> =95-97, λευκότητα>90%, αποξεστικότητα<35 mg, απορροφητικότητα ελαίου<30 ml/100g
Βιομηχανία ελαστικών	Μέγεθος κόκκων<10 μm, CaCO <sub>3</sub> >98, (Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O)<0,03, MnO<0,02, CuO<0,005, L.O.I.<0,2
Παραγωγή ασβεστοκαρβιδίου	CaCO <sub>3</sub> >97, SiO <sub>2</sub> <1,2, (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )<0,5, MgO<0,5, P<0,004, S=ίχνη
Φαρμακευτική	CaCO <sub>3</sub> >98,8, (Mg+αλκάλεια)<1, Fe<0,05, H.M.<0,002, F<0,0005, As<3 (ppm), Pb<3 (ppm), Hg<0,5 (ppm), A.Y.<0,2

A.Y. = Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" του Τμήματος Γεωλογίας, Α.Π.Θ.



πισίσε ότι τα υλικά αυτά είναι κατάλληλα ως αδρανή υλικά διάφορων χρήσεων, ως πληρωτικά, λευκαντικά, επικαλυπτικά και απλωτικά υλικά σε ποικίλες βιομηχανίες, ως πρώτη ύλη για την παρασκευή λιπασμάτων, υαλοπινάκων, πυρίμαχων υλικών και φαρμακευτικών προϊόντων και για την ανάκτηση μετάλλων στη μεταλλουργία.

Οι Φιλιππίδης κ.ά. (1998) εξετάζοντας τις πιθανές χρήσεις των ανθρακικών πετρωμάτων της Θάσου, διαπίστωσαν ότι τα στείρα υλικά των μαρμάρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολυάριθμες βιομηχανικές και περιβαλλοντικές εφαρμογές.

Ο Tsirambides (2001) εξετάζοντας το δολομίτη της Ποταμιάς Θάσου διαπίστωσε ότι εκτός των διακοσμητικών εφαρμογών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πληρωτικό, λευκαντικό και απλωτικό υλικό σε βιομηχανίες χάρτου, χρωμάτων, ελαστικών, καθώς και στην παραγωγή λιπασμάτων.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα δολομιτικά μάρμαρα της Θάσου είναι σαφώς πιο ομοιόμορφα όσον αφορά το κρυσταλλικό μέγεθος και έχουν μικρότερους κρυστάλλους συγκριτικά με τα ασβεστιτικά μάρμαρα του νησιού. Τα δολομιτικά μάρμαρα παρουσιάζονται εξαιρετικά καθαρά με ελάχιστο ποσοστό ξένων προσμίξεων.

Από την ιστολογική και ορυκτολογική μελέτη, το αδιάλυτο υπόλειμμα και τη χημική σύσταση των ανθρακικών πετρωμάτων της Θάσου, θεωρούμε ως πιθανές βιομηχανικές χρήσεις, με βάση τις ποιοτικές απαιτήσεις του Πίνακα 4, τις ακόλουθες:

##### *Ασβεστιτικά μάρμαρα*

- ▶ Παραγωγή αδρανών διάφορων κοκκομετριών.
- ▶ Τα δείγματα A2 και A9 είναι κατάλληλα για την παραγωγή ασβέστου. Οριακά κατάλληλα είναι και τα δείγματα A4, A5, A6 και A7.
- ▶ Ως βελτιωτικά εδαφών όλα τα δείγματα εκτός του A3.
- ▶ Για περιβαλλοντικές χρήσεις είναι κατάλληλα τα δείγματα A1, A2, A4, A5, A6, A7, A8 και A9.
- ▶ Στην τσιμεντοβιομηχανία μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα δείγματα A1, A2, A4, A5, A6, A7, A8 και A9.
- ▶ Στη μεταλλουργία τα δείγματα A2 και A8 και οριακά τα A1, A7 και A9.
- ▶ Για την αποθείωση καπνοδόχων βιομηχανικών μονάδων είναι κατάλληλα τα δείγματα A1, A2, A8 και A9. Οριακά κατάλληλο είναι και το δείγμα A7.
- ▶ Για την παραγωγή υαλοπινάκων είναι κατάλληλα τα δείγματα A7, A8 και A9.
- ▶ Για την παραγωγή φιαλών μπορούν πιθανώς να χρησιμοποιηθούν τα δείγματα A1, A5, A6, A7, A8 και A9. Απαραίτητη είναι η γνώση του περιεχόμενου  $Cr_2O_3$  για την επιλογή της συγκεκριμένης χρήσης.

##### *Δολομιτικά μάρμαρα*

- ▶ Στη βιομηχανία λιπασμάτων είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν τα δείγματα D2, D3 και D8. Με μερική επιφύλαξη, εξαιτίας της υψηλότερης περιεκτικότητας σε  $MgO$ , μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα υπόλοιπα δείγματα.
- ▶ Για την παραγωγή φιαλών μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα τα δείγματα. Βέβαια, κι εδώ είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του περιεχόμενου  $Cr_2O_3$ .
- ▶ Ως πληρωτικά ή λευκαντικά υλικά στις βιομηχανίες χάρτου, χρωμάτων και ελαστικών μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα τα δείγματα.

#### ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

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

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ATZORI, P., LO GIUDICE, A., KOKKINAKIS, A., KYRIAKOPOULOS, K., MAGGANAS, A., PEZZINO, A. AND SIDERIS, K. 1990. Petrological and geochemical study of crystalline rocks from Thassos Island, Northern Greece. *Geol. Rhodopica* 2, 157-167
- BOYNTON, R. S. 1980. *Chemistry and Technology of Limestone*, (2nd ed.). Wiley & Sons, N. York, 577pp.
- ΒΟΥΓΠΟΥΚΑΣ, Δ. 1998. Εκμετάλλευση μαρμάρων-Αξιοποίηση του λευκού δολομιτικού μαρμάρου της Ν. Θάσου. Πρακτ. 1<sup>ο</sup> Συνεδρίου Αναπτ. Προοπτ. Θάσου, Πρίνος, 173-180.
- CARR, D. D. & ROONEY, L. F. 1975. Limestone and Dolomite. In: S. J. Lefond (ed.), *Industrial Minerals and Rocks*. American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, N. York, pp. 757-789.
- CARR, D. D., ROONEY, L. F. & FREAS, R. C. 1994. Limestone and Dolomite. In: D. D. Carr (senior ed.), *Industrial Minerals and Rocks* (6th ed.). Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Colorado, pp. 605-629.
- HARBEN, P. W. 1992. *The Industrial Minerals Handybook*. Ind. Miner. Div., Metal Bull. PLC, London, 148pp.
- KALIAMPAKOS, D. & PANAGOPOULOS, C. 1994. Applicability of the dolomitic marble waste of Thassos Island as filler for limiting the relative harmful environmental impacts. *Mineral Wealth* 92, 29-38.
- ΚΑΛΙΑΜΠΑΚΟΣ, Δ. & ΠΙΕΤΣΑΛΛΑΣ, Η. 1995. Επίδραση της χρήσης ανθρακικών πληρωτικών σε εφαρμογές μαλακού πολυβινυλοχλωριδίου (PVC). *Ορυκτός Πλούτος* 94, 13-20.
- KANTHRANHS, N. 1998. *Πετρολογική, γεωχημική και τεχνολογική μελέτη των Ιουρασιακών ανθρακικών πετρωμάτων Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας*. Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ. 69.
- ΛΑΣΚΑΡΙΔΗΣ, Κ. 1989. Εξέταση λευκών Ελληνικών ασβεστόλιθων και δολομιτών για τη χρήση τους στη βιομηχανία (π.χ. στη χαρτοβιομηχανία). *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.* 23/2, 295-304.
- ΛΑΣΚΑΡΙΔΗΣ, Κ. 1996. Ποιοτική αξιολόγηση λευκών ανθρακικών της Μακεδονίας για βιομηχανικές χρήσεις. *Ορυκτός Πλούτος* 100, 45-54.
- LUTTING, G. 1980. Industrial minerals and rocks in the area of the Federal Republic of Germany. In: *General geology of the Federal Republic of Germany*. Schweizerbart, Stuttgart, pp. 37-59.
- OATES, J.A.H. 1998. *Lime and limestone. Chemistry and technology, production and uses*. Wiley-VCH, Weinheim, 455pp.
- POWER, T. 1985. Limestone specifications. Limiting constraints on the market. *Ind. Minerals* 10, 65-91.
- ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ, Α. 1996. *Τα ελληνικά μάρμαρα και άλλα διακοσμητικά πετρώματα*. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ. 310.
- ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ, Α. 1998. Δυνατότητες αξιοποίησης των στείρων (ρεταλιών) του δολομίτη της Νήσου Θάσου. Πρακτ. 1<sup>ο</sup> Συνεδρίου Αναπτ. Προοπτ. Θάσου, Πρίνος, 197-207.
- TSIRAMBIDES, A. 2001. Industrial applications of the dolomite from Potamia, Thassos Island, N. Aegean Sea, Greece. *Materials and Structures* 34, 110-113.
- ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ, Α., ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ, Σ. & ΚΑΝΤΗΡΑΝΗΣ, Ν. 1998. Γεωφυσικές, ορυκτολογικές και γεωχημικές μελέτες πριν την εξόρυξη των ανθρακικών πετρωμάτων της Θάσου. Πρακτ. 1<sup>ο</sup> Συνεδρίου Αναπτ. Προοπτ. Θάσου, Πρίνος, 189-196.
- ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ, Β. (1988). Συμπεριφορά των μαρμάρων Νικήσιανης Καβάλας και Παναγιάς Θάσου σε μηχανικές καταπονήσεις και χημικές επιδράσεις. *Ορυκτός Πλούτος* 55, 57-62.