

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ – ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ
ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ.
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ



Διερεύνηση Αξιοποίησης Ασβεστολιθικών
Απορριμμάτων Επεξεργασίας Μαρμάρων σε άλλες
χρήσεις

Επιβλέπων Καθηγητής : Τσακαλάκης
Κωνσταντίνος

ΑΓΓΕΛΑΚΟΣ ΣΩΤΗΡΗΣ

Οκτώβρης, 2021

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ

Διερεύνηση Αξιοποίησης Ασβεστολιθικών Απορριμμάτων Επεξεργασίας Μαρμάρων σε άλλες χρήσεις

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΑΓΓΕΛΑΚΟΥ ΣΩΤΗΡΗ

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Γ. Τσακαλάκης, Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την ... Οκτωβρίου 2021

Κωνσταντίνος Τσακαλάκης

Μαρία Περράκη

Ηλίας Σαμμάς

Καθηγητής, Ε.Μ.Π.

Αναπλ Καθηγήτρια ΕΜΠ

Μέλος ΕΔΙΠ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, 2021

Περιεχόμενα

1. Περίληψη.....	10
2. Εισαγωγή.....	14
2.1. Πρόλογος.....	14
2.2. Ορισμός Μαρμάρων – Διακοσμητικών μαρμάρων.....	15
3. Η εξέλιξη του μαρμάρου.....	18
3.1. Κοιτάσματα Μαρμάρων στον Ελληνικό Χώρο.....	21
4. Εκμετάλλευση κοιτασμάτων μαρμάρου.....	24
4.1. Φάσεις εκμετάλλευσης των λατομείων μαρμάρου.....	24
4.2. Εξόρυξη Μαρμάρων.....	26
4.3. Αποκατάσταση του περιβάλλοντος.....	30
5. ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΜΑΡΜΑΡΟΥ.....	30
6. Περιβαλλοντικά προβλήματα.....	33
6.1. Οπτική ρύπανση.....	34
6.2. Αέρια ρύπανση.....	34
6.3. Καταστροφή της χλωρίδας.....	34
7. Εφαρμογές.....	36
7.1. Χαρτί.....	36
7.2. Θερμοπλαστικά.....	38
7.3. Γυαλί.....	39
7.4. Αποθείωση και φίλτρα.....	40
7.5. Λιπάσματα -Ζωοτροφές.....	44
7.6. Άλλες χρήσεις.....	45
8. Λατομείο μαρμάρου ΣΑΝΙΔΑΔΕΣ.....	47
8.1. Θέση λατομικού Χώρου.....	47
8.2. Γεωλογικά.....	50
8.3. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ.....	52
8.4. Ποιότητα και χαρακτηριστικά του πετρώματος.....	56
9. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	57
9.1. Αρχική Θραύση.....	57
9.2. Απώλεια Πύρωσης στους 1000°C.....	59
Συμπεράσματα.....	61
9.3. Χημική Ανάλυση.....	61
Συμπεράσματα χημικών αναλύσεων.....	62
9.4. Ορυκτολογική Ανάλυση.....	64

Συμπεράσματα.....	66
9.5. Λευκότητα.....	67
Συμπεράσματα.....	71
Συμπεράσματα πρωτογενούς θραύσης.....	75
9.6. LOS ANGELES	77
Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων έπειτα από δοκιμή Los Angeles:	81
9.7. BOND.....	83
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΔΕΙΚΤΗ BOND.....	106
9.8. ΔΟΚΙΜΗ PROTODYAKONOV	108
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	122
9.9. Προσδιορισμός Ελαιοαπορροφητικότητας	123
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	126
9.10. Μέτρηση pH υδατικού αιωρήματος	127
Αποτελέσματα	128
10. Συμπεράσματα-Συγκρίσεις – Αξιολόγηση	129
11. Βιβλιογραφία.....	134

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 3-1: Εξέλιξη παραγωγής μαρμάρου στα Ελληνικά λατομεία (1966-1989).	19
Εικόνα 3-2: Περιοχές εμφάνισης μαρμαροφόρων κοιτασμάτων στην Ελλάδα. (Πηγή ΙΓΜΕ)	22
Εικόνα 4-1: Λατομείο πολλαπλών βαθμίδων.....	25
Εικόνα 4-2: Διατρητικό ηλεκτρικό Wagon drill PELEGRINI (μακινέτα).....	27
Εικόνα 4-3: Συρματοκοπές διαμαντέ ηλεκτρικές BENNETI GAMMA	28
Εικόνα 4-4: Ελαστιχοφόρος φορτωτής, τύπου cat 980C.....	29
Εικόνα 4-5: Ερπυστριοφόρος εκσκαφέας τύπου O&K Rh12	29
Εικόνα 6-1: Περιβαλλοντική αποκατάσταση λατομικών Χώρων.....	35
Εικόνα 7-1: Εφαρμογές του ανθρακικού ασβεστίου	46
Εικόνα 8-1: Περιοχή μελέτης σε κλίμακα 1:50.000.....	47
Εικόνα 9-1: Χοάνη τροφοδοσίας σιαγωνοτού θραυστήρα.....	57
Εικόνα 9-2: Φωτογραφία δειγμάτων σε αρχική μορφή.....	57
Εικόνα 9-3: Δείγματα έπειτα από πρωτογενή θραύση	58
Εικόνα 9-4: Δεντράκια αρχικής δειγματοληψίας	58
Εικόνα 9-5: Δείγματα ανά ποιότητα που προορίζονται για χημική και ορυκτολογική ανάλυση	59
Εικόνα 9-6: Μύλος Άλεσης δειγμάτων	60
Εικόνα 9-7: Δείγμα έπειτα από άλεση.....	60
Εικόνα 9-8: Δείγματα έπειτα από τη μέτρηση απώλειας πύρωσης.....	63
Εικόνα 9-9: Τοποθέτηση δειγμάτων στο φούρνο.....	63
Εικόνα 9-10: Δονούμενο κόσκινο Retsch.	67
Εικόνα 9-11: Συσκευή Colorflex Hunterlab.....	68
Εικόνα 9-12: Δείγματα χωρισμένα σε κοκκομετρικά κλάσματα (Πίνακες 9-1,9-2,9-3).....	73
Εικόνα 9-13: Μηχανή Los Angeles , Εργαστήριο Ε.Μ.Π.....	82
Εικόνα 9-14: Μέτρηση μάζας δείγματος.....	85
Εικόνα 9-15: Διαχωρισμός υλικού στο δειγματολήπτη Jones.....	85
Εικόνα 9-16: Φωτογραφία του Μύλου Bond.....	90
Εικόνα 9-17: Φωτογραφία υλικού έπειτα από τη δοκιμή Protodyakonov	110
Εικόνα 9-18: Διάταξη συσκευής Protodyakonov	112
Εικόνα 9-19: Δείγματα μαρμάρου πριν και μετά την πειραματική διαδικασία ελαιοαπορροφητικότητας.....	124
Εικόνα 9-20: Εκτέλεση δοκιμής με την χρήση ωμού λινελαίου και προχοΐδας.....	125
Εικόνα 9-21: Χρήση Πεχάμετρου και Θερμομέτρου για την εκτέλεση της δοκιμής.....	127

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 3-1: Εξέλιξη παραγωγής μαρμάρου στα Ελληνικά λατομεία (1966-1989).....	19
Πίνακας 3-2: Εξαγωγές Ελληνικών Μαρμάρων 1978-1989.....	20
Πίνακας 3-3: Εξέλιξη Ελληνικών εξαγωγών μαρμάρου (1991-2013).....	21
Πίνακας 7-1: Σύνολο τυπικών προδιαγραφών για την δημιουργία φίλτρων από ασβεστόλιθο	43
Πίνακας 7-2: Χρησεις ανθρακικού και προσφερόμενες βελτιωμένες ιδιότητες σε κάθε μια από αυτές.....	46
Πίνακας 8-1: Συντεταγμένες Ορίων Λατομικού Χώρου στις Σανιδάδες.....	48
Πίνακας 8-2 : Πίνακας Υπολογισμού Αποθεμάτων Λατομικού Χώρου.....	54
Πίνακας 9-1: - ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑ 1 (ΓΚΡΙΖΟ).....	71
Πίνακας 9-2:- ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑ 2 (ΗΜΙΛΕΥΚΟ).....	73
Πίνακας 9-3: - ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑ 3 (ΛΕΥΚΟ).....	74
Πίνακας 9-4: Πρότυπος πίνακας αναλογίας σφαιρών-διαβάθμισης.....	78
Πίνακας 9-5: Πρότυπος πίνακας επιλογής ογκομετρικού δείγματος.....	79
Πίνακας 9-6. Κοκκομετρική ανάλυση αντιπροσωπευτικού (θραυσμένου) Γκρίζου της τροφοδοσίας για τη δοκιμή Bond.....	87
Πίνακας 9-7. Κοκκομετρική ανάλυση του προϊόντος μετά τη λειοτριβήσή του (προϊόν δοκιμής Bond).	89
Πίνακας 9-8:Κοκκομετρική ανάλυση αντιπροσωπευτικού (θραυσμένου) Ημίλευκου της τροφοδοσίας για τη δοκιμή Bond.....	95
Πίνακας 9-9: Κοκκομετρική ανάλυση του προϊόντος μετά τη λειοτριβήσή του (προϊόν δοκιμής Bond).	97
Πίνακας 9-10: Κοκκομετρική ανάλυση αντιπροσωπευτικού (θραυσμένου) Λευκού της τροφοδοσίας για τη δοκιμή Bond.....	101
Πίνακας 9-11:Κοκκομετρική ανάλυση του προϊόντος μετά τη λειοτριβήσή του (προϊόν δοκιμής Bond).	103
Πίνακας 9-12: Πρότυπος δείκτης έργου Bond ανά ορυκτό.....	106
Πίνακας 9-13: Βάρος παραμένοντος υλικού σε g μετά από N πτώσεις της σφύρας (Γκρίζο).	114
Πίνακας 9-14: Βάρος παραμένοντος υλικού σε g μετά από N πτώσεις της σφύρας (Ημίλευκο)	115
Πίνακας 9-15: Βάρος παραμένοντος υλικού σε g μετά από N πτώσεις της σφύρας (Λευκό)	115
Πίνακας 9-16:ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ % ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΤΩΣΕΙΣ ΣΦΥΡΑΣ (Γκρίζο).....	116
Πίνακας 9-17: Βάρος παραμένοντος υλικού σε % μετά από τις πτώσεις σφύρας (ημίλευκο)	117
Πίνακας 9-18: Βάρος παραμένοντος υλικού σε % μετά από τις πτώσεις σφύρας (λευκό) ...	118
Πίνακας 9-19: Τιμές του συντελεστή F_N συναρτήσκει του αριθμού πτώσεων N και του μεγέθους του προϊόντος d. (Γκρίζο).....	119
Πίνακας 9-20: Τιμές του συντελεστή F_N συναρτήσκει του αριθμού πτώσεων N και του μεγέθους του προϊόντος d. (Ημίλευκο)	120
Πίνακας 9-21: Τιμές του συντελεστή F_N συναρτήσκει του αριθμού πτώσεων N και του μεγέθους του προϊόντος d. (λευκό)	121

Πίνακας 9-22: Πρότυπες τιμές συντελεστή αντοχής ανά πέτρωμα (Department of Mining and Mineral Sciences, University of Leeds 01 August, 1974.).....	122
Πίνακας 9-23: Αποτελέσματα μετρήσεων απορρόφησης ελαίου και πυκνότητας.....	126
Πίνακας 9-24: Αποτελέσματα pH των εξεταζόμενων ανθρακικών δειγμάτων.....	128
Πίνακας 10-1: Συγκεντρωτικός Πίνακας Αξιολόγηση και Σύγκριση	129
Πίνακας 10-2: Συγκεντρωτικός Πίνακας Αξιολόγηση και Σύγκριση	130
Πίνακας 10-3: Συγκεντρωτικός πίνακας απαιτούμενων χαρακτηριστικών ανά χρήση ανθρακικού ασβεστίου	133

Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 3-1: Εξέλιξη της παραγωγής μαρμάρων στα Ελληνικά λατομεία σε ογκομαρμαρα. (1970-1986).....	19
Διάγραμμα 5-1: Κύκλος ζωής μαρμάρου.....	32
Διάγραμμα 7-1: Παραγωγή χαρτιού και χαρτονιού στην Πολωνία την περίοδο 2009-2018..	37
Διάγραμμα 7-2: Παραγωγή γυαλιού στην Πολωνία την περίοδο 2009-2018 ..	40
Διάγραμμα 7-3: Εκτιμώμενη κατανάλωση ροφητών (φίλτρων) ασβεστόλιθου για αποθείωση απαερίων με την υγρή μέθοδο κατεργασίας στην Πολωνία.....	41
Διάγραμμα 8-1: Τοπογραφικό Διάγραμμα Λατομείου.....	49
Διάγραμμα 8-2: Γεωλογικός χάρτης λατομείου	51
Διάγραμμα 8-3: Σχηματική παρουσίαση τελικής μορφής λατομείου	55
Διάγραμμα 9-1: Διάγραμμα XRD γκρίζου μαρμάρου.	64
Διάγραμμα 9-2: Διάγραμμα XRD ημίλευκου μαρμάρου.	65
Διάγραμμα 9-3: Διάγραμμα XRD λευκού μαρμάρου.	65
Διάγραμμα 9-4: Σύγκριση διαγραμμάτων XRD.....	66
Διάγραμμα 9-5: Κοκκομετρική καμπύλη γκρίζου δείγματος κατά τη μέτρηση λευκότητας..	69
Διάγραμμα 9-6: Κοκκομετρική καμπύλη Ημίλευκου δείγματος κατά τη μέτρηση λευκότητας	70
Διάγραμμα 9-7: Κοκκομετρική καμπύλη Λευκού δείγματος κατά τη μέτρηση λευκότητας..	70
Διάγραμμα 9-8: Απεικόνιση της κοκκομετρικής ανάλυσης του υλικού αρχικής τροφοδοσίας, σε διάγραμμα R-R έπειτα από πρωτογενή θραύση. (Γκρίζο μάρμαρο).....	72
Διάγραμμα 9-9: Απεικόνιση της κοκκομετρικής ανάλυσης του υλικού αρχικής τροφοδοσίας, σε διάγραμμα R-R έπειτα από πρωτογενή θραύση. (Ημίλευκο μάρμαρο)	74
Διάγραμμα 9-10: Απεικόνιση της κοκκομετρικής ανάλυσης του υλικού αρχικής τροφοδοσίας, σε διάγραμμα R-R έπειτα από πρωτογενή θραύση. (Λευκό μάρμαρο)	75
Διάγραμμα 9-11: Σύγκριση ποσοστών κοκκομετρίας -1,18 ανά ποιότητα μάρμαρου.....	76
Διάγραμμα 9-12: Απεικόνιση της κοκκομετρικής ανάλυσης του υλικού (Γκρίζο) τροφοδοσίας σε διάγραμμα Rosin-Rammler για τον προσδιορισμό του F.	88
Διάγραμμα 9-13: Απεικόνιση της κοκκομετρικής ανάλυσης του προϊόντος λειοτρίβησης του μύλου Bond σε διάγραμμα Rosin-Rammler για τον προσδιορισμό του P (Γκρίζο)	91
Διάγραμμα 9-14: Απεικόνιση της κοκκομετρικής ανάλυσης του υλικού (Ημίλευκο) τροφοδοσίας σε διάγραμμα Rosin-Rammler για τον προσδιορισμό του F.	96
Διάγραμμα 9-15: Απεικόνιση της κοκκομετρικής ανάλυσης του προϊόντος λειοτρίβησης του μύλου Bond σε διάγραμμα Rosin-Rammler για τον προσδιορισμό του P (Ημίλευκο).	98
Διάγραμμα 9-16: Απεικόνιση της κοκκομετρικής ανάλυσης του υλικού (Λευκό) τροφοδοσίας σε διάγραμμα Rosin-Rammler για τον προσδιορισμό του F.	102
Διάγραμμα 9-17: Απεικόνιση της κοκκομετρικής ανάλυσης του προϊόντος λειοτρίβησης του μύλου Bond σε διάγραμμα Rosin-Rammler για τον προσδιορισμό του P (Λευκό)	104
Διάγραμμα 9-18: Σύγκριση δείκτη Bond ανά ποιότητα (χρώμα) μάρμαρου.	107
Διάγραμμα 9-19: Διάγραμμα συντελεστή αντοχής προς αριθμό πτώσεων (Γκρίζο)	119
Διάγραμμα 9-20: Διάγραμμα συντελεστή αντοχής προς αριθμό πτώσεων (Ημίλευκο).....	120
Διάγραμμα 9-21: Διάγραμμα συντελεστή αντοχής προς αριθμό πτώσεων (λευκό).....	121

Ευχαριστίες

Ένα μεγάλο και πολύ όμορφο κομμάτι της ζωής μου έφτασε στο τέλος του. Τα όμορφα χρόνια της φοιτητικής ζωής τελειώνουν με την παρουσίαση της παρακάτω εργασίας. Ένα νέο ακόμα καλύτερο κομμάτι της ζωής μου ξεκινάει, το κομμάτι του μηχανικού και της εργασίας. Όλα όσα μας δίδαξαν οι καθηγητές σε μένα και στους υπολοίπους συμφοιτητές και συναδέλφους μου αυτά τα πέντε χρόνια σπουδών, πλέον καλούμαστε να εντοπίζουμε και να αντιμετωπίζουμε ως μηχανικοί σε όποια εταιρεία και αν εργαστούμε στο μέλλον. Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών για τις γνώσεις και τη βοήθεια που μου παρείχαν ο καθένας ξεχωριστά όλα αυτά τα χρόνια.

Πιο συγκεκριμένα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή ΕΜΠ κο Κωνσταντίνο Τσακαλάκη ο οποίος ανέλαβε την επίβλεψη της διπλωματικής μου εργασίας, η καθοδήγηση του οποίου, οι εξαιρετικές συμβουλές τόσο σε επιστημονικά όσο και σε διαδικαστικά ζητήματα ήταν εξαιρετικής σημασίας για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Δρ. Ηλία Σαμμά μέλος ΕΔΙΠ του Εργαστηρίου Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων ΕΜΠ, ο οποίος ήταν ο επιβλέπων της διπλωματικής μου στο εργαστηριακό κομμάτι και φρόντισε να με καθοδηγήσει με υπομονή σε όλες τις εργαστηριακές μετρήσεις για τρεις συνεχόμενους μήνες. Θερμές ευχαριστίες στην Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΜΠ κα Μαρία Περράκη για τη συμμετοχή της στην τριμελή επιτροπή εξέτασης της διπλωματικής μου εργασίας και για τις χρήσιμες παρατηρήσεις της. Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Πέτρο Τσακιρίδη Επίκουρο Καθηγητή ΕΜΠ για τη βοήθεια του στις αναλύσεις και την αξιολόγησή τους στο XRD και τον κύριο Πασχάλη Ουσταδάκη ΕΔΙΠ Εργαστηρίου Μεταλλουργίας για τη βοήθεια του στις χημικές αναλύσεις.

Εκτός Πολυτεχνείου θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία ΑΦΟΙ ΚΑΡΙΠΟΝΤΙΝΗ για την παροχή του θέματος διπλωματικής, δειγμάτων, αλλά και για την άψογη συνεργασία το εξάμηνο αυτό και την εταιρεία DIONYSOSMARBLES, τον Μεταλλειολόγο μηχανικό της εταιρείας κ. Σωτήρη Τρυποσκούφη αλλά και τον γεωλόγο της εταιρείας κ. Γιάννη Μουλά για την βοήθεια που μου παρείχαν στην εκτέλεση των λευκομετρήσεων των δειγμάτων αλλά και την ξενάγηση στον χώρο του

λατομείου του Διονύσου. Επίσης ευχαριστώ πολύ τον συνάδελφο Μηχ. Μεταλλείων - Μεταλλουργό κο Παναγιώτη Πανότα Τεχνικό Διευθυντή και Διευθυντή Παραγωγής της εταιρείας , DUROSTICK A.E. για τις χρήσιμες συμβουλές που μου έδωσε στα αρχικά στάδια της διπλωματικής μου εργασίας και για την ειλικρινή διάθεσή του να βοηθήσει κατά την εκπόνησή της.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου για τις όμορφες στιγμές που περάσαμε εντός και εκτός Πολυτεχνείου όλα αυτά τα χρόνια άλλα και την οικογένεια μου για την οικονομική και ηθική στήριξη που μου παρείχε.

1. Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Εμπλουτισμού της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το θέμα της εργασίας προτάθηκε από την εταιρεία ΑΦΟΙ ΚΑΡΠΙΟΝΤΙΝΗ, η οποία στη συνέχεια χορήγησε στο εργαστήριο της Σχολής ΜΜΜ ΕΜΠ και τα δείγματα, από το λατομείο της Νάξου στην περιοχή Σανιδάδες, τα οποία θα έπρεπε να μελετηθούν προς αξιοποίηση.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη των δειγμάτων με τελικό στόχο να βρεθούν τρόποι αξιοποίησης των απορριμμάτων του λατομείου σύμφωνα με τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά τους.

Αρχικά τα δείγματα θραύστηκαν και ταξινομήθηκαν σε διάφορες κοκκομετρίες. Έπειτα έγιναν χημικές και ορυκτολογικές αναλύσεις από τις οποίες προέκυψε ότι το υλικό ήταν εξαιρετικής ποιότητας με 99% περιεκτικότητα σε Ανθρακικό Ασβέστιο (CaCO_3) και σχεδόν μηδενικές προσμίξεις.

Στη συνέχεια έγιναν δοκιμές Λευκότητας, ελαιοαπορροφητικότητας και μέτρησης του pH. Οι δυο τελευταίες φάνηκαν να έχουν φυσιολογικά αποτελέσματα εντός των επιθυμητών ορίων, ενώ η Λευκότητα των δειγμάτων έδειξε να είναι ιδιαίτερα υψηλή με το Λευκό και το Ημίλευκο δείγμα να παράγουν υλικό με έως και 99% λευκότητα.

Έπειτα εφαρμόστηκε η μέθοδος Los Angeles και η δοκιμή Protodyakonov ώστε να προσδιοριστεί η σκληρότητα, η δυσθραυστότητα αλλά και η αντοχή σε κρούση των δειγμάτων. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν όπως αναμενόταν. Τα μάρμαρα είναι αρκετά μαλακά με τη φθορά να προσεγγίζει έως και το 92% γεγονός που δεν επιτρέπει να χρησιμοποιηθούν σε οδοποιία, αδρανή και σκυρόδεμα.

Τέλος εφαρμόστηκε η δοκιμή Bond, η οποία δείχνει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (H.E.) για τη λειτουργία του μύλου και την άλεση προκειμένου το δείγμα να μετατραπεί σε «πούδρα». Τα αποτελέσματα, όπως διαπιστώθηκε, ήταν πολύ ενθαρρυντικά, δηλαδή χρειάζεται H.E. μεταξύ 5-7 kWh/t τροφοδοσίας, γεγονός που σημαίνει ότι το υλικό λειοτριβείται σε πολύ μικρό μέγεθος χωρίς μεγάλο κόστος.

Στο τελικό μέρος τη διπλωματικής έγινε μια μικρή έρευνα αγοράς έτσι ώστε να εντοπιστούν άλλες εταιρείες στον Ελληνικό χώρο οι οποίες ήδη παράγουν και εμπορεύονται λεπτομερές ανθρακικό ασβέστιο, η ποιότητα του υλικού τους αλλά και οι χρήσεις στις οποίες δηλώνουν ότι μπορεί να αξιοποιηθεί, με σκοπό την σύγκριση με την πρώτη ύλη που μπορεί να παράγει το λατομείο στην Νάξο. Απώτερος σκοπός ήταν η βελτίωση του ανταγωνισμού στην Ελληνική αγορά, αλλά και τα τελικά συμπεράσματα για τις χρήσεις του προϊόντος που μπορεί να παραχθεί από τα δεδομένα απορρίμματα επεξεργασίας μαρμάρων.

Abstract

The present thesis was carried out at the Laboratory of Mineral Processing at the School of Mining and Metallurgical Engineering of the National Technical University of Athens. The topic of the thesis was proposed by the company “Marbles CARPONTINI Bros” which then provided the laboratory of the School of Mining and Metallurgy of the NTUA with the representative samples, from the “Sanidades” quarry of Naxos island, which should be studied for exploitation. The aim of the thesis was to investigate the samples with the final objective to find ways of utilization of the quarry waste according to their properties and characteristics.

Initially the samples were crushed and classified into different particle size fractions. Afterwards, chemical and mineralogical analyses (XRF and XRD, respectively) were carried out which showed that the material was of excellent quality with 99% calcium carbonate (CaCO_3) content and almost zero impurities.

Subsequently, whiteness, oil absorption and pH measurement tests were conducted. The latter two appeared to produce normal results within the desired limits, while the “whiteness” of the samples appeared to be particularly high with the White and Semi-White samples producing material with up to 99% whiteness.

The Los Angeles method and the Protodyakonov tests were then applied to determine the hardness, brittleness and impact resistance of the samples. The results obtained were as expected, showing a very soft material. As previously stated, the marbles are quite soft with the wear approaching up to 92% which does not allow them to be used in road construction applications or as concrete aggregates.

Finally, the Bond test was applied, which predicts the electrical energy (E.E.) consumption for the operation of the mill and the milling process in order to convert the material into “powder”. The experimental results, as found, were very encouraging, i.e. it was predicted that, for the milling process, required between 5-7 kWh/t of feed, which means that the material is milled to a very “fine” size fractions without high energy costs.

In the final part of the thesis, a small market research was carried out in order to identify other companies in Greece already producing and trading finely ground calcium carbonate, the quality of their material and the uses in which they state that it can be used, in order to compare it with the raw material that the quarry in Naxos can produce. The ultimate aim was to improve the competition in the Greek market, but also to reach definite conclusions on the uses of the product that can be produced from the given marble processing waste.

2. Εισαγωγή

2.1. Πρόλογος

Η Ελλάδα είναι μία χώρα η οποία είναι «χτισμένη», στην κυριολεξία, πάνω σε μάρμαρα. Είτε αφορά την ηπειρωτική χώρα, είτε τα νησιά, το μάρμαρο αποτελούσε και αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο οικοδόμησης της αρχαίας και νεότερης Ελλάδος. Οι αρχαίοι είχαν μάθει από νωρίς τα μυστικά του σμιλεύματος του μαρμάρου, έτσι ώστε να μετατρέπουν το υπέροχο πέτρωμα, σε πανέμορφα αγάλματα, εντυπωσιακά μνημεία και επιβλητικούς ναούς οι οποίοι στέκονται περήφανοι μέχρι και σήμερα.

Η Αφροδίτη της Μήλου, ο Ερμής του Πραξιτέλη, η Νίκη της Σαμοθράκης και το Ερεχθείο αποτελούν μερικά παραδείγματα έργων τέχνης, σμιλευμένα από Παριανό μάρμαρο. Χαρακτηριστικότερο όλων, όμως, ο Παρθενώνας, ο οποίος χτίστηκε από καθαρό Πεντελικό μάρμαρο, μεταξύ 441-437 π.χ., και αποτελεί μέχρι σήμερα παγκόσμιο σύμβολο του αρχαίου Ελληνικού πολιτισμού. Όχι πολύ αργότερα, οι τότε γνωστοί πολιτισμοί ζητούσαν ελληνικό μάρμαρο για να χτίσουν τα δικά τους μνημεία. Αρχικά, οι πρώτοι χρήστες του ελληνικού μαρμάρου ελκύστηκαν από το γυαλιστερό άσπρο μάρμαρο, το οποίο θεωρείτο κάτι σαν εθνικός θησαυρός. Αργότερα, οι αισθητικές ιδιότητες των χρωματιστών μαρμάρων αναγνωρίστηκαν εξίσου και μεταγενέστερα χρησιμοποιήθηκε ευρέως.

Στη σημερινή εποχή τα μάρμαρα, πέρα από την διακοσμητική και γλυπτική, έχουν απεριόριστες εφαρμογές και χρήσεις. Η ελληνική παραγωγή περιλαμβάνει μεγάλη ποικιλία μαρμάρων σε διάφορους χρωματισμούς και τύπους. Ωστόσο, τα λευκά μάρμαρα της Ανατολικής Μακεδονίας, Διονύσου και Νάξου είναι αυτά που αποτελούν το σήμα κατατεθέν της ελληνικής μαρμαροβιομηχανίας και θεωρούνται από τα πιο ποιοτικά στον κόσμο. Στην **Εικόνα 3.2** παρουσιάζονται οι κυριότερες εμφανίσεις κοιτασμάτων μαρμάρου στην Ελλάδα καθώς και οι τύποι μαρμάρων που εξορύσσονται σε αυτές.

Όσο περνάνε τα χρόνια, ανακαλύπτονται περαιτέρω χρήσεις του μαρμάρου όχι σε μορφή πετρώματος αλλά σε μορφή πούδρας. Το ανθρακικό ασβέστιο χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο ως πρώτη ύλη για την παραγωγή προϊόντων. Ενδεικτικά μερικές από τις χρήσεις του είναι το χαρτί, κόλλες πλακιδίων, χρώματα, πλαστικά, στεγνωτικά υλικά, προϊόντα περιποίησης, ελαστικά, λιπάσματα, γυαλί,

θερμοπλαστικά , κ.α. Η προσθήκη του ανθρακικού ασβεστίου για την δημιουργία των παραπάνω προϊόντων περά από περιβαλλοντικά οφέλη αξιοποίησης των απορριμμάτων των λατομείων έχει επίσης οφέλη στην μείωση του κόστους δημιουργίας των προϊόντων ,στην λευκότητα ,στην αδιαφάνεια ,στην θερμική αγωγιμότητα αλλά και στην αντοχή σε δύναμη και τάση του τελικού προϊόντος.

2.2. Ορισμός Μαρμάρων – Διακοσμητικών μαρμάρων

Ως μάρμαρα στην γεωλογία και κυρίως την πετρολογία εννοούνται τα μεταμορφωμένα πετρώματα τα οποία έχουν προκύψει από την ανακρυστάλλωση (μεταμόρφωση) ασβεστολιθικών και δολομιτικών πετρωμάτων. Ωστόσο, στην βιομηχανία, μάρμαρο καλείται κάθε πέτρωμα το οποίο κόβεται σε πλάκες, λειανείται και στιλβώνεται.⁹

«ΜΑΡΜΑΡΟ: Κατά τους Ομηρικούς χρόνους η λέξη μάρμαρο σήμαινε πέτρα. Η αρχαία ελληνική λέξη μαρμέρω σημαίνει γυαλίζω την πέτρα. Γεωλογικά σημαίνει το προϊόν της μεταμορφώσεως των ασβεστολίθων, ήτοι πέτρωμα που αποτελείται από κρυστάλλους ασβεστίτη ή δολομίτη ή μίγμα των δύο αυτών ορυκτών. Τεχνικά εννοούμε κάθε πέτρωμα που μπορεί να εξορυχθεί σε όγκους ικανών διαστάσεων και μπορεί να κοπεί, να λειανθεί και να στιλβωθεί. Π.χ. στην τέχνη των μαρμαρογλυπτών ή των οικοδόμων με τον όρο «μάρμαρο» ονομάζουν κάθε πέτρωμα, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή έργων γλυπτικής, στην εσωτερική ή στην εξωτερική διακόσμηση κτιρίων, όπως λ.χ. ασβεστόλιθος (που επιδεικνύει μικρή κρυσταλλική δομή), όνυχας, σερπεντίνης και τραβερτίνης. Αν και ο ασβεστόλιθος έχει την ίδια χημική σύσταση με το μάρμαρο διαφέρει στο ότι τα σωματίδια ανθρακικού ασβεστίου ή ανθρακικού μαγνησίου είναι κοκκώδη και όχι κρυσταλλικά. Οι ασβεστόλιθοι που έχουν κάποιο ποσοστό κρυσταλλικής δομής μπορούν να πουληθούν ως μάρμαρα με πολύ καλή στίλβωση. Εμπορικά, σημαίνει κάθε πέτρωμα που μπορεί να πωληθεί σε όγκους και πλάκες (αυτός ο ορισμός συμπεριλαμβάνει τους γρανίτες, τους σχιστόλιθους κ.α.)











Κατά την Αμερικανική Επιτροπή Δοκιμών Υλικών (American Society of Testing Materials) ASTM (C 119) ο ορισμός του μαρμάρου είναι: «ανθρακικό πέτρωμα που διακρίνεται από την κρυσταλλική δομή του, εξαιτίας ανακρυστάλλωσης, συνήθως από θέρμανση ή πίεση κατά την διάρκεια μεταμόρφωσης, το οποίο συνιστάται από ανθρακικά ορυκτά, ασβεστίτη ή δολομίτη, αποκλειστικά ή σε συνδυασμό. Στην

επιστήμη των πετρωμάτων οι μάζες των ανθρακικών αλάτων του ασβεστίου (ή διαφορετικά των ασβεστόλιθων), καθώς και του ασβεστίου-μαγνησίου (δολομιτών) μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες: τα μη-κρυσταλλικά και τα κρυσταλλικά πετρώματα. Στην τελευταία κατηγορία ανήκουν τα μάρμαρα, επομένως τα μάρμαρα είναι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι ή κρυσταλλικοί δολομίτες. Στην Ευρώπη χώρες όπως η Ιταλία, Ελλάδα, Ισπανία, Πορτογαλία, Γαλλία, Βέλγιο, Νορβηγία θεωρούνται ότι παράγουν τα ωραιότερα μάρμαρα παγκοσμίως. Τα σπουδαιότερα μάρμαρα (με την τεχνική έννοια του όρου) που απαντώνται στην Ελλάδα είναι: ο λυχίτης Πάρου και τα μάρμαρα Αττικής με τα σπουδαιότερα εξ αυτών το Πεντελικό μάρμαρο και το μάρμαρο Διονύσου.» Κατά τον Εξαδάκτυλο «Σχεδιασμός Γεωτεχνικών & Λατομικών Έργων»

Διακοσμητικά μάρμαρα (ornamental ή decorative stones) ονομάζονται οι φυσικοί λίθοι που έχουν αισθητικά ή τεχνικά χαρακτηριστικά κατάλληλα για την παραγωγή τελικών προϊόντων, ιδανικών για την εφαρμογή στην οικοδομική δραστηριότητα, στη διακόσμηση και γενικότερα στα δομικά έργα. Κάθε διακοσμητικό πέτρωμα αποτελείται από ορυκτά που ποικίλουν κατά περίπτωση, και που έχουν συσσωματωθεί με τη βοήθεια, συνήθως, ορυκτής συγκολλητικής ύλης. Τα ορυκτά που περιέχονται σε κάθε διακοσμητικό πέτρωμα διαμορφώνουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε υλικού ανάλογα με τη δομή, το χρώμα την κοκκομετρία, την ποσοτική τους αναλογία στην ορυκτολογική σύσταση του πετρώματος και τον τρόπο και τον βαθμό συσσωμάτωσής τους.

Γι' αυτό, τα φυσικά διακοσμητικά πετρώματα δεν έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά και μορφές, όπως συμβαίνει με όλα τα υλικά βιομηχανικής παραγωγής. Αντίθετα, ως φυσικά υλικά, αποτελεί το καθένα ξεχωριστή περίπτωση καθώς η μορφή, ο χρωματισμός τους και γενικότερα τα ποιοτικά και τεχνικά χαρακτηριστικά του κάθε υλικού εξαρτώνται, όχι μόνο, από την ορυκτολογική του σύσταση αλλά και τη διαδικασία σχηματισμού του, δηλαδή από παράγοντες διαφορετικούς, ανάλογα με τις γεωλογικές εποχές και τις συνθήκες στις διάφορες γεωγραφικές ζώνες. Τα φυσικά διακοσμητικά πετρώματα θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν και ως υλικά με ονομασία προέλευσης καθώς είναι πολύ δύσκολο, έως πρακτικά αδύνατο, να βρεθούν δύο ακριβώς ίδια υλικά από διαφορετικές γεωγραφικές ζώνες.

Στη βιομηχανία διακοσμητικών μαρμάρων και στο εμπόριο ως μάρμαρα χαρακτηρίζονται τα ασβεστολιθικά και δολομιτικά πετρώματα, τα οποία αποτελούνται από ορυκτά με σκληρότητα που κυμαίνεται από 3 έως 4 της κλίμακας Mohs και επιδέχονται λείανση και στίλβωση, ενώ ως γρανίτες χαρακτηρίζονται τα μαγματικά πετρώματα (γρανίτες, διορίτες, γάββροι, χαλαζίτες κ.α.) τα οποία αποτελούνται από ορυκτά με σκληρότητα που κυμαίνεται από 5 έως 7 της κλίμακας Mohs.

Mohs hardness ↕	Mineral ↕	Chemical formula ↕	Absolute hardness ^[11] ↕	Image
1	Talc	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	1	
2	Gypsum	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	3	
3	Calcite	$CaCO_3$	9	
4	Fluorite	CaF_2	21	
5	Apatite	$Ca_5(PO_4)_3(OH^-, Cl^-, F^-)$	48	
6	Feldspar	$KAlSi_3O_8$	72	
7	Quartz	SiO_2	100	
8	Topaz	$Al_2SiO_4(OH^-, F^-)_2$	200	
9	Corundum	Al_2O_3	400	
10	Diamond	C	1600	

Εικόνα 2-1:Κλίμακα Mohs

3. Η εξέλιξη του μαρμάρου

Το μάρμαρο είναι ένα από τα κυριότερα προϊόντα του υπεδάφους της χώρας μας. Από άποψη της συνολικής αξίας τόσο της παραγωγής όσο και των εξαγωγών άλλα και από την άποψη του συνολικού εργατικού δυναμικού που απασχολεί ο κλάδος, το μάρμαρο συναγωνίζεται τις κυριότερες ορυκτές ύλες που παράγονται στην Ελλάδα όπως είναι ο βωξίτης τα νικελιούχα μεταλλεύματα ο λευκόλιθος ο χρωμίτης κλπ.

Ο κλάδος του μαρμάρου όμως έχει δύο ακόμα χαρακτηριστικά που τον κάνουν να ξεχωρίζει από τους υπολοίπους κλάδους της μεταλλευτικής και λατομικής βιομηχανίας στη χώρα μας.

Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι αφενός η μεγάλη εξάπλωση που παρουσιάζει η λατομική και βιομηχανική δραστηριότητα στον τομέα του μαρμάρου σε σχεδόν ολόκληρο τον ελλαδικό χώρο και τα μεγάλα αποθέματα που παρουσιάζουν τα κοιτάσματα μαρμάρων. Πράγματι, λατομεία μαρμάρου και οι συνδεδεμένες με αυτά εγκαταστάσεις επεξεργασίας μαρμάρου υπάρχουν σε 43 νομούς της χώρας ενώ τα αποθέματα μαρμάρου που υπάρχουν στο υπέδαφος είναι στις περισσότερες περιοχές πολύ μεγάλα .

Το άλλο χαρακτηριστικό του κλάδου είναι ο δυναμισμός του, που γίνεται φανερός από την εξέλιξη που παρουσίασε τα τελευταία 20-40 χρόνια. Παρόλο που πρόκειται για υλικό που είναι γνωστό από αιώνες, και του οποίου η ύπαρξη αλλά και η εκμετάλλευση στη χώρα μας είναι γνωστή από την αρχαιότητα, η παραγωγή του έχει σημειώσει τα τελευταία χρόνια αλματώδη αύξηση ενώ αύξηση έχουν παρουσιάσει εξίσου και οι εξαγωγές στο εξωτερικό.(8)

Στον Πίνακα 3-1 και το Διάγραμμα 3-1 παρουσιάζονται η εξέλιξη της παραγωγής κατά το διάστημα 1966-1989 και 1970-1986 αντίστοιχα ενώ στον Πίνακα 2 φαίνονται οι εξαγωγές στο διάστημα 1978-1989.

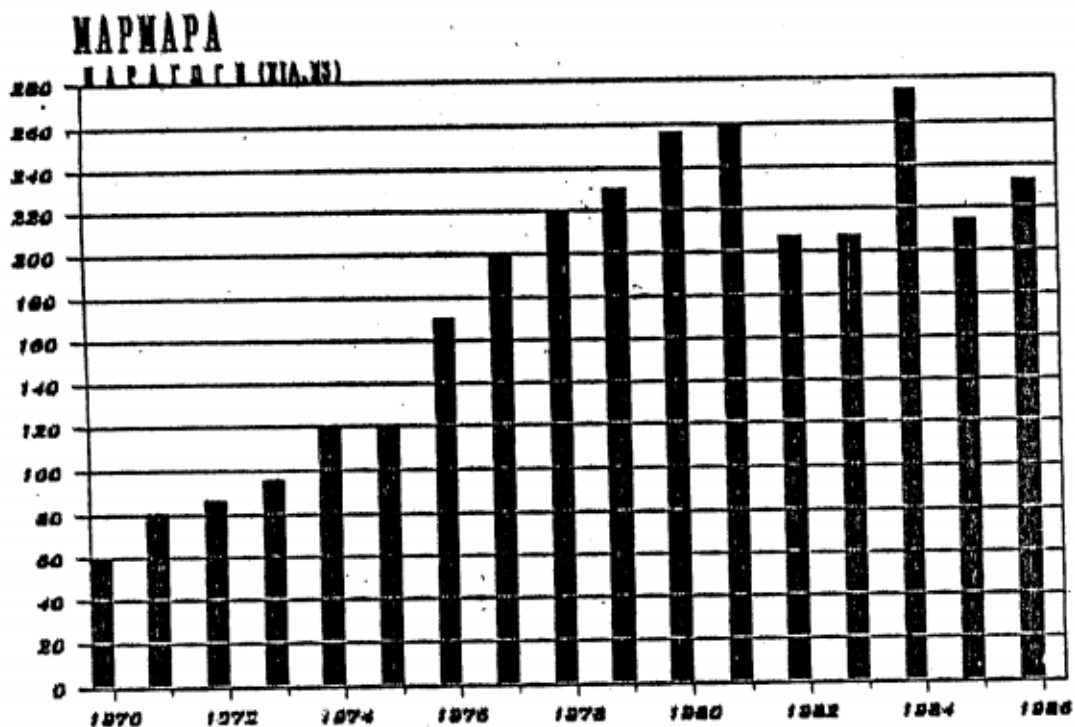
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

Πίνακας 3-1: Εξέλιξη παραγωγής μαρμάρου στα Ελληνικά λατομεία (1966-1989).

ΕΤΟΣ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΓΚΩΝ σε τόνους
1966	141.500
1970	177.000
1971	245.000
1972	258.000
1973	285.000
1974	333.000
1975	380.000
1976	495.000
1977	600.000
1978	660.000
1979	700.000
1980	840.000
1981	900.000
1982	1.000.000
1983	1.150.000
1984	1.200.000
1985	1.400.000
1986	1.500.000
1987	1.550.000
1988	1.700.000
1989	1.800.000

Σημείωση: Τα στοιχεία για τα έτη 1981-1988 βασίζονται σε εκτιμήσεις.

Εικόνα 3-1: Εξέλιξη παραγωγής μαρμάρου στα Ελληνικά λατομεία (1966-1989)(.8)



Διάγραμμα 3-1: Εξέλιξη της παραγωγής μαρμάρων στα Ελληνικά λατομεία σε ογκομάρμαρα. (1970-1986)(.8)

Πίνακας 3-2: Εξαγωγές Ελληνικών Μαρμάρων 1978-1989(.8)

Ετος	Ογκο- μάρμαρα (τόννοι)	Πλάκες ακατέργ. (τόννοι)	Κατεργασμ. (τόννοι)	Αξία τρέχουσα εκατ. δρχ.	Αξία αποπληθωρ. εκ. δρχ' 90
1978	25.960	5.769	14.563	337	2.596
1979	30.038	9.812	15.747	450	3.316
1980	35.145	16.280	39.496	1.096	6.466
1981	23.358	13.151	57.775	1.792	8.492
1982	19.311	13.823	77.735	2.546	9.972
1983	30.162	11.331	88.236	3.556	11.590
1984	27.280	15.243	89.809	4.400	12.131
1985	40.957	12.092	105.518	5.674	13.076
1986	27.094	11.038	116.054	6.504	12.182
1987	33.465	12.303	111.051	7.347	11.844
1988	23.087	?	90.677	7.556	10.590
1989	25.875	27.971	164.089	15.648	19.248

Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες η εξαγωγική δραστηριότητα του κλάδου εμφάνιζε μία συνεχόμενη αυξητική τάση, με μόνη περίοδο κάμψης τα έτη 1980 και 1984, ενώ τα τελευταία χρόνια οι εξαγωγές αποτελούν το μοναδικό όπλο έναντι της συνεχόμενης ύφεσης της ελληνικής οικονομίας και κατ' επέκταση της μείωσης του εσωτερικού εμπορίου, το οποίο κάλυπτε το πενήντα τοις εκατό της παραγωγής. Χαρακτηριστικότερο παράδειγμα του εξαγωγικού προσανατολισμού και της αύξησης της ζήτησης για μάρμαρα με τα ποιοτικά πλεονεκτήματα των ελληνικών μαρμάρων, αποτελεί η κατακόρυφη άνοδος κατά εκατό δύο τοις εκατό του 2010 σε σχέση με το 2009.

Ειδικότερα τη διετία 2012 - 2013 συνεχίστηκε, με αμείωτο ρυθμό, ο εξαγωγικός προσανατολισμός του ελληνικού μαρμάρου με το 75-80 % της συνολικής παραγωγής να διατίθεται στο εξωτερικό. Κύριος λόγος των επιδόσεων αυτών είναι η ποιοτική ανωτερότητα του ελληνικού μαρμάρου, σε χρώματα και φυσικό-μηχανικές ιδιότητες, κάτι το οποίο αποτελεί σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα των επιχειρήσεων του κλάδου στις εξαγωγικές δραστηριότητες.

Από το εξαγωγίμο προϊόν η Κίνα απορροφά το 40%, με το υπόλοιπο να διατίθεται, κυρίως, σε χώρες της Μέσης Ανατολής και τις Η.Π.Α και σε μικρότερο βαθμό σε Ευρωπαϊκές χώρες.

Πίνακας 3-3: Εξέλιξη Ελληνικών εξαγωγών μαρμάρου (1991-2013)

Εξέλιξη των ελληνικών εξαγωγών μαρμάρου (1991-2013)								
ΕΤΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ		ΟΓΚΟΙ		ΠΛΑΚΕΣ		ΚΑΤΕΡΓΑΣΜΕΝΑ	
	ΒΑΡΟΣ(Τόνοι)	ΑΞΙΑ 1.000 (€)	ΒΑΡΟΣ(Τόνοι)	ΑΞΙΑ 1.000 (€)	ΒΑΡΟΣ(Τόνοι)	ΑΞΙΑ 1.000 (€)	ΒΑΡΟΣ(Τόνοι)	ΑΞΙΑ 1.000 (€)
1991	206.770	57.872	28.778	4.615	24.325	6.566	153.667	46.691
1992	241.001	73.974	23.665	4.151	34.341	8.745	182.995	61.078
1993	267.046	87.172	30.871	4.829	38.270	11.706	197.905	70.636
1994	260.836	85.409	27.056	4.806	33.349	11.488	200.431	69.115
1995	254.004	82.960	22.527	4.322	44.914	12.574	186.563	66.064
1996	279.381	88.986	25.793	3.742	31.986	10.325	221.602	74.919
1997	307.890	106.942	33.689	5.330	63.686	12.346	210.515	89.266
1998	268.025	101.858	39.012	5.522	44.265	13.677	184.748	82.660
1999	258.091	86.258	57.298	7.633	45.029	12.491	155.764	66.134
2000	357.249	111.349	126.097	14.437	77.303	23.314	153.849	73.598
2001	382.942	125.115	119.888	14.273	89.823	20.292	173.231	90.549
2002	377.840	107.213	177.460	17.491	63.889	17.834	136.491	71.888
2003	419.595	104.795	227.886	24.312	60.477	17.503	131.232	62.979
2004	387.328	107.453	203.166	21.095	52.518	16.713	131.643	69.645
2005	363.270	105.886	198.560	20.847	47.852	15.521	116.858	70.519
2006	417.191	124.190	248.801	27.857	48.829	15.097	119.562	81.235
2007	373.991	120.154	218.938	30.498	41.377	15.781	113.675	73.875
2008	383.562	123.990	221.715	30.220	39.477	14.054	122.370	79.716
2009	365.065	140.627	225.966	31.263	25.315	9.388	113.784	99.976
2010	753.795	155.852	383.516	56.851	47.180	10.636	323.099	88.365
2011	830.803	205.312	454.683	84.642	45.807	11.261	330.313	109.409
2012	690.652	212.901	488.047	100.326	53.006	10.617	149.600	101.957
2013	818.879	232.165	544.233	105.923	101.280	16.989	173.366	109.255

Πηγή: Επεξεργασία στοιχείων ΕΣΥΕ

3.1.Κοιτάσματα Μαρμάρων στον Ελληνικό Χώρο

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η ύπαρξη κοιτασμάτων μαρμάρων και κατ' επέκταση η λατομική δραστηριότητα για την εξόρυξη τους είναι πολύ διαδεδομένη σε σχεδόν ολόκληρο τον Ελλαδικό χώρο. Στην Εικόνα 3.2 παρουσιάζεται η λατομική δραστηριότητα στον Ελλαδικό χώρο. Όπως φαίνεται στην εικόνα υπάρχουν περιοχές όπου η λατομική δραστηριότητα είναι ιδιαίτερα έντονη. Έτσι, το 80% των λατομείων βρίσκεται σε τέσσερεις κύριες και δυο μικρότερες λατομικές περιοχές, από όπου προέρχεται και το 85% της συνολικής παραγωγής. Οι πρώτες είναι: περιοχή Δράμας-Καβαλάς-Θάσου, περιοχή Αργολίδας-Τροιζηνίας, περιοχή Ιωαννίνων και Αττική, ενώ οι δευτέρες είναι η περιοχή Κοζάνης και η περιοχή Βέροιας-Νάουσας.



Εικόνα 3-2. Περιοχές εμφάνισης μαρμαροφόρων κοιτασμάτων στην Ελλάδα. (Πηγή ΙΓΜΕ)

Στην συγκεκριμένη διπλωματική θα μελετηθεί το μάρμαρο Νάξου. Στη Νάξο εμφανίζονται γνήσια μάρμαρα υπό μορφή ενστρώσεων μέσα σε γνεύσιους και σχιστόλιθους. Τα μάρμαρα αυτά πολλές φορές είναι μεσοκοκκώδη έως χονδροκοκκώδη με κόκκους άνισου μεγέθους πολλές φορές. Γνωστή είναι η «κρυσταλλίνα» της Νάξου. Από την άποψη του χρωματισμού είναι λευκότερα και φωχότερα σε πυριτικά συστατικά από τα μάρμαρα της Αττικής. Τα μάρμαρα εμφανίζονται σε διαφορές περιοχές της Νάξου, όπου λειτουργούν τώρα ή λειτούργησαν στο παρελθόν λατομεία. Έτσι έχουμε εμφανίσεις μαρμάρου στην Απείρανθο, στο Φιλότι, στους Σανιδάδες και στην Κόρωνο. Τα μάρμαρα αυτά είναι λευκά (όταν είναι δολομιτικά) έως κυανότεφρα, με ιστό μάλλον λεπτόκοκκο. Γενικά επιτρέπουν την εξόρυξη μεγάλων όγκων. Επίσης έχουμε εμφανίσεις μαρμάρου στον Κυνίδαρο, όπου απαντάται η ποικιλία “κρυσταλλίνα Νάξου”, ένα μεσοκοκκώδες, λευκό έως ασθενώς κυανότεφρο ασβεστιτικό μάρμαρο. Τέλος, στη θέση Απολλωνίας υπάρχουν αρχαία λατομεία, στα οποία βρίσκεται ακόμα ένα κολοσσιαίο αρχαίο ημιτελές άγαλμα, μήκους 10,5 μέτρων.

4. Εκμετάλλευση κοιτασμάτων μαρμάρου.

Η εκμετάλλευση μαρμάρων μπορεί καταρχήν να γίνει με υπόγειες μεθόδους όσο και με υπαίθριες. Στην Ελλάδα συναντάμε κατά το πλείστον υπαίθριες εκμεταλλεύσεις άλλα σε μερικά λατομεία και υπόγειες (Διόνυσου και Βόλακα). Η μέθοδος εκμετάλλευσης που εφαρμόζεται για την εξόρυξη μαρμάρων υπόγεια είναι η μέθοδος θαλάμων και στύλων. Τα κριτήρια με τα οποία γίνεται η επιλογή μεταξύ υπόγειας και υπαίθριας εκμετάλλευσης είναι κατά κύριο λόγο η σχέση αποκαλύψεως άλλα και η προστασία του περιβάλλοντος.

4.1. Φάσεις εκμετάλλευσης των λατομείων μαρμάρου

Οι διαδοχικές φάσεις της εκμετάλλευσης ενός λατομείου μαρμάρου είναι οι έξης:

- Η διάνοιξη των δρόμων προσπέλασης προς το κοίτασμα.
- Η αποκάλυψη του κοιτάσματος.
- Η περιχάραξη-προετοιμασία των μετώπων για την εξόρυξη των γυψομαρμάρων.
- Η εξόρυξη των γυψομαρμάρων.
- Η φόρτωση και η μεταφορά των γυψομαρμάρων
- Η φόρτωση, μεταφορά και απόρριψη του άχρηστου πετρώματος. (λατύπη)
- Η παραγωγή υποπροϊόντων από τη λατύπη.
- Η αποκατάσταση περιβάλλοντος

Διάνοιξη δρόμων προσπελάσεως.

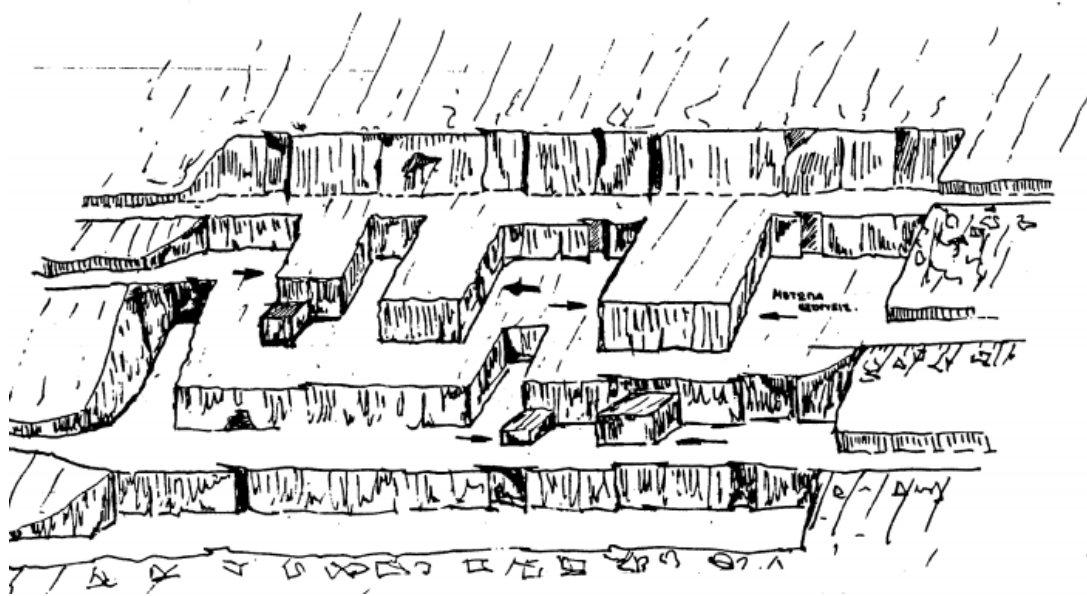
Η πρώτη εργασία που πρέπει να πραγματοποιηθεί κατά τη φάση της προετοιμασίας ενός κοιτάσματος μαρμάρου για την εκμετάλλευση, είναι η κατασκευή των δρόμων προσπελάσεως. Οι δρόμοι αυτοί θα συνδέουν το λατομείο με το υπάρχον οδικό δίκτυο και θα καταλήγουν στις διάφορες βαθμίδες εξόρυξης των γυψομαρμάρων.

Αποκάλυψη του κοιτάσματος

Η αποκάλυψη του κοιτάσματος είναι η εξόρυξη των υπερκείμενων αγόνων που είναι απαραίτητο να απομακρυνθούν για να μπορεί να αρχίσει η εξόρυξη των ογκομαρμάρων. Η αποκεκαλυμμένη ποσότητα ογκομαρμάρων είναι σωστό να αντιστοιχεί σε παραγωγή τουλάχιστον μερικών μηνών.

Περιγράξη – προετοιμασία των μετώπων για εξόρυξη ογκομαρμάρων.

Στόχος της φάσης αυτής είναι να προσδιορισθούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των «πάγκων», από τους οποίους θα εξορυχτούν τα ογκομάμματα, και να προετοιμαστούν τα μέτωπα εξορύξεως, αφού όμως προηγουμένως διαπιστωθεί ότι το μάρμαρο δεν έχει ελαττώματα. Επίσης προσδιορίζονται οι επιφάνειες, οι οποίες ορίζουν τις διαστάσεις των επί μέρους όγκων που θα εξορυχτούν και δημιουργούνται οι ελεύθερες επιφάνειες που απαιτούνται για την εξόρυξη του πρώτου όγκου.(8)



Εικόνα 4-1: Λατομείο πολλαπλών βαθμίδων

4.2. Εξόρυξη Μαρμάρων

Η εξόρυξη γίνεται με χρήση αδαμαντοφόρου σύρματος (συρματοκοπή διαμαντέ), για την απόσπαση ή απομόνωση μεγάλων όγκων από το μητρικό πέτρωμα ή τον τεμαχισμό πολύ μεγάλων σωμάτων.

Έχει επιλεγεί διότι:

- προσφέρεται για την ορθολογική αξιοποίηση κοιτασμάτων μαρμάρου με μεγάλα σώματα
- εξασφαλίζει υψηλή ταχύτητα κοπής και μεγάλη παραγωγικότητας καθώς αυξάνει την αποληψιμότητα σε υγιή και καλής ποιότητας ογκομάρμαρα με μικρότερο όγκο στείρων
- μειώνει τις εργασίες ορθογωνισμού των εξορυγμένων όγκων
- επιτυγχάνεται χαμηλότερο κόστος παραγωγής – εξόρυξης σε σχέση με άλλες μεθόδους, καθώς η ραγδαία τεχνολογική εξέλιξη αυτού του είδους του εξοπλισμού προσφέρει μηχανήματα υψηλών απαιτήσεων.(8)

Η εξόρυξη ογκομαρμάρων διακρίνεται σε 3 διαδοχικά στάδια:

1. προετοιμασία και δευτερεύουσες εργασίες χώρου εξόρυξης.
2. κοπή – απόσπαση όγκου από το μητρικό πέτρωμα και ανατροπή.
3. τεμαχισμός και ορθογωνισμός όγκων.

1) Προετοιμασία και δευτερεύουσες εργασίες χώρου εξόρυξης.

- Διαμόρφωση 2 τουλάχιστον κατακόρυφων ελεύθερων επιφανειών. Η δεύτερη επιφάνεια διαμορφώνεται κατά την εξόρυξη του γειτονικού όγκου (εξόρυξη που προηγήθηκε) είτε θα πρέπει να εξασφαλισθεί με την κατασκευή τρανσέρας – τάφρου.
- Όρυξη των καθοδηγητικών διατηρημάτων του αδαμαντοφόρου σύρματος. Τα διατηρήματα αυτά είναι κάθετα μεταξύ τους επικοινωνούν και ορίζουν το επίπεδο τομής. Η όρυξη γίνεται με WB (βάθος >6 m) είτε με ελαφριά ατομική αερόσφουρα (24 kg).
- Καθάρισμα δαπέδου και εγκατάσταση μονάδας συρματοκοπής στη κατάλληλη θέση σε σχέση με την επιφάνεια κοπής. Πέρασμα αδαμαντοφόρου σύρματος, ρυθμίσεις, μεταφορά δεξαμενής νερού, ηλεκτρολογικές συνδέσεις

και άλλες εργασίες προετοιμασίας του μηχανήματος. Καθάρισμα χώρου όπου θα γίνει ανατροπή όγκου και στρώσιμο με λατύπη και ψιλό υλικό ώστε να αποφευχθούν βλάβες κατά την πτώση.



Εικόνα 4-2: Διατηρητικό ηλεκτρικό Wagon drill PELEGRINI (μακινέτα)

2) Κοπή – απόσπαση όγκου από το μητρικό πέτρωμα και ανατροπή

Πρόκειται για την κυρίως εργασία εξόρυξης και αυτή που αποκτά κύριο λόγο και ελέγχει τον ρυθμό παραγωγής του λατομείου. Η συρματοκοπή θα κάνει οριζόντιες και κατακόρυφες τομές οι οποίες θα επιδιώκεται να γίνονται από το δάπεδο της υπό εκμετάλλευσης βαθμίδα. Η οριζόντια κοπή προηγείται για να αποφεύγεται ο κίνδυνος εγκλωβισμού του αδαμαντοφόρου σύρματος μέσα στην τομή εξ αιτίας μικρομετακινήσεων που μπορεί να προκληθούν από διακλάσεις. Βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα κοπής:

-ταχύτητα περιστροφής του σύρματος

-πίεση που ασκείται από τη συρματοκοπή (με την τάνυση του αδαμαντοφόρου σύρματος) πάνω στο μάρμαρο.

-ποιότητα και διαφοροποιήσεις του μαρμάρου

-κατάσταση του σύρματος και του μηχανήματος.



Εικόνα 4-3: Συρματοκοπές διαμαντέ ηλεκτρικές BENNETI GAMMA

3) Τεμαχισμός και ορθογωνισμός όγκων

- Ο ορθογωνισμός των εξορυσσόμενων μαρμάρων σκοπό έχει, τον καθαρισμό των όγκων από άχρηστες ζώνες, την δημιουργία επίπεδων – κάθετων μεταξύ τους επιφανειών, για την καλύτερη – οικονομικότερη αξιοποίηση των ογκομαρμάρων στα μηχανήματα επεξεργασίας και τη μείωση του μεγέθους των μεγάλων όγκων.
- Ο τεμαχισμός και ορθογωνισμός των όγκων θα εκτελείται από άλλο συνεργείο συρματοκοπής διαμαντέ σε θέση που να μην εμποδίζονται οι άλλες εργασίες της παραγωγικής διαδικασίας.
- Οι προς ορθογωνισμό όγκοι θα μετακινούνται με τον ελαστιχοφόρο φορτωτή τύπου CAT 980C.



Εικόνα 4-4: Ελαστιχοφόρος φορτωτής, τύπου CAT 980C



Εικόνα 4-5: Ερπυστριοφόρος εκσκαφέας τύπου O&K Rh12

4.3. Αποκατάσταση του περιβάλλοντος

Μετά την ολοκλήρωση της εκμετάλλευσης ενός λατομείου μαρμάρων πρέπει να γίνει αποκατάσταση του περιβάλλοντος. Η αποκατάσταση του περιβάλλοντος στα λατομεία μαρμάρων τα οποία είναι συνήθως ανοιχτές εκμεταλλεύσεις – δηλαδή βρίσκονται στην πλαγιά ενός βουνού ή ενός λόφου, συνίσταται στην κάλυψη των βαθμίδων με ένα στρώμα φυτικής γης, στην οποία στη συνέχεια φυτεύονται θάμνοι και δένδρα. Για το λόγο αυτόν είναι σκόπιμο να γίνεται χωριστή απόθεση της φυτικής γης που απομακρύνεται κατά την αποκάλυψη, ώστε να χρησιμοποιηθεί όταν έρθει ο καιρός για τη κάλυψη των βαθμίδων. Η εργασία της αποκαταστάσεως μπορεί να αρχίσει από τις υψηλότερες βαθμίδες, μόλις αυτές φτάσουν στο προβλεπόμενο τελικό όριο εκσκαφής.(8)

5. ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΜΑΡΜΑΡΟΥ

Η Society of Environmental Toxicology And Chemistry (S.E.T.A.C.) ορίζει τη διαδικασία της Εκτίμησης Κύκλου Ζωής ως εξής: «Η εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι μια αντικειμενική μέθοδος για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών φορτίων που συνδέονται με ένα προϊόν, μια διεργασία ή μια δραστηριότητα με αναγνώριση και υπολογισμό της ενέργειας και των υλικών που χρησιμοποιούνται και των εκπομπών τους στο περιβάλλον και η αξιολόγηση και η εκμετάλλευση ευκαιριών για επίτευξη περιβαλλοντικών βελτιώσεων. Η εκτίμηση καλύπτει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος, της διεργασίας ή της δραστηριότητας, συμπεριλαμβάνοντας την παραλαβή και επεξεργασία πρώτων υλών, τη μεταποίηση, τη μεταφορά και τη διανομή, τη χρήση ή την επαναχρησιμοποίηση, τη συντήρηση, την ανακύκλωση και την τελική απόθεση».

Το πρότυπο ISO δίνει τον ακόλουθο ορισμό για την Εκτίμηση του Κύκλου Ζωής: «Εκτίμηση Κύκλου Ζωής είναι μία τεχνική για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών θεμάτων και των πιθανών επιπτώσεων που συνδέονται με ένα προϊόν, με:

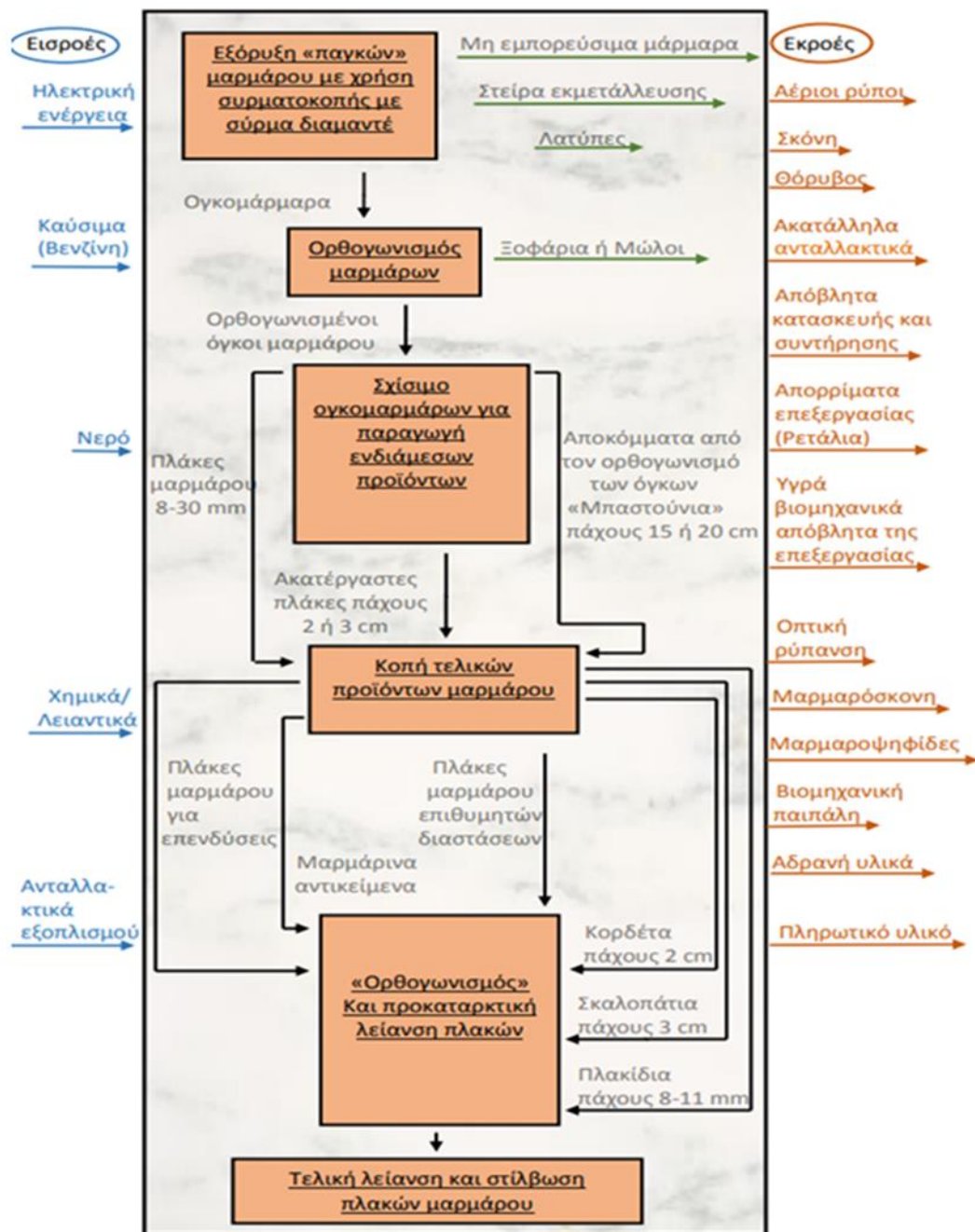
- Υπολογισμό των εισροών και εκροών ενός συστήματος,

- Αξιολόγηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τις εισροές και εκροές,
- Ερμηνεία των αποτελεσμάτων των φάσεων αναλύσεως των εισροών και εκροών και των επιπτώσεων σε σχέση με τους στόχους της μελέτης.

Η Ε.Κ.Ζ. μελετά τα περιβαλλοντικά θέματα και τις πιθανές επιπτώσεις καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του προϊόντος «από τη γέννηση ως το θάνατο» (cradle to grave), δηλαδή από την απόκτηση του υλικού ως την παραγωγή, τη χρήση και τη διάθεση. Οι γενικές κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, που χρειάζονται θεώρηση, περιλαμβάνουν τη χρήση των πόρων, την ανθρώπινη υγεία και τις οικολογικές συνέπειες.

Η γνώση, δηλαδή, του κύκλου ζωής ενός προϊόντος μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο στην εκάστοτε βιομηχανία ή στον εκάστοτε ενδιαφερόμενο κυβερνητικό φορέα και να βοηθήσει είτε στην βελτίωση του προϊόντος είτε στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που μπορεί ένα προϊόν να επιφέρει.

Στο Διάγραμμα 5.1 που ακολουθεί απεικονίζονται τα πρώτα στάδια της ζωής του μαρμάρου καθώς και οι διάφορες εισροές και εκροές που σχετίζονται με αυτά. (15)



Διάγραμμα 5-1: Κύκλος ζωής μαρμάρου

Ογκομάρμαρο (κατά το ογκόλιθος) ονομάζεται, στην ορολογία της βιομηχανίας μαρμάρου, ο εμπορεύσιμος ορθογωνισμένος όγκος μαρμάρου, ασβεστόλιθου, τραβερτίνη, όνυχα κ.ά., που διαμορφώνεται στο λατομείο μετά τη φάση της εξόρυξης του αντίστοιχου διακοσμητικού πετρώματος. Τα ογκομάρμαρα έχουν σχήμα ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου, σε αντίθεση με το ακανόνιστο σχήμα των

αδιαμόρφωτων όγκων («ξοφάρια» ή «ογκοξόφαρα») και προορίζονται, κυρίως, για κοπή σε πλάκες και, στη συνέχεια, για παραγωγή τελικών προϊόντων από φυσικούς λίθους. Οι διαστάσεις τους (μήκος x πλάτος x ύψος) ποικίλουν, ανάλογα με το κοίτασμα, φτάνοντας μέχρι τα 320 x 180 x 180 και πλέον εκατοστά. Πρόκειται, δηλαδή, για ορθογωνισμένους όγκους κυβισμού μέχρι 10 και πλέον κυβικά μέτρα και βάρους μέχρι 28 και πλέον τόνους.

Τα «ξοφάρια» ή «μώλοι» είναι ακατέργαστοι όγκοι ακανόνιστου σχήματος, σχετικά μεγάλων διαστάσεων, από τους οποίους είναι δυνατή η παραγωγή πλακών στο εργοστάσιο επεξεργασίας. Λόγω, όμως, του ακανόνιστου σχήματος τους παρουσιάζουν μεγαλύτερο ποσοστό απωλειών κατά την παραγωγή των τελικών προϊόντων από αυτά, μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας και μεγαλύτερη φθορά κοπτικών εργαλείων ανά παραγόμενο τετραγωνικό μέτρο πλακών.

Οι **λατύπες** είναι τα απορρίμματα που παράγονται από την εξόρυξη των ογκομαρμάρων. Πρόκειται για κομμάτια μαρμάρου ακανόνιστου σχήματος (θραύσματα μαρμάρου) που έχουν μικρότερο όγκο από τα «ξοφάρια». Ο όγκος τους είναι τόσο μικρός που δεν συμφέρει η παραγωγή πλακών, έστω και ελαχίστων διαστάσεων.

Τα **μη εμπορεύσιμα** ογκομάρμαρα και τα στείρα της εκμετάλλευσης, όπως για παράδειγμα η ποσότητα του άχρηστου πετρώματος και των χωμάτων διάνοιξης δρόμων προσπέλασης, αποτελούν τα στερεά απόβλητα που δημιουργούνται κατά τη διαδικασία της εξόρυξης.

Οι παραγόμενοι αέριοι ρύποι κατά τη μεταφορά, ο θόρυβος που προκαλείται από τα μηχανήματα καθώς και η αέρια ρύπανση που παράγεται με τη μορφή σκόνης κατά τη διάρκεια των εργασιών εξόρυξης του λατομείου, αποτελούν τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα που χρειάζεται να αντιμετωπιστούν.(15)

6. Περιβαλλοντικά προβλήματα

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα που σχετίζονται με την εκμετάλλευση μαρμάρου πηγάζουν κυρίως από τα στείρα της εκμετάλλευσης. Οι ποσότητες στείρων υλικών είναι πολύ μεγάλες, υπερβαίνοντας πολλές φορές το 80% του συνολικού εξορυσσόμενου υλικού. Το γεγονός αυτό μεταφράζεται σε μια διαρκή ανάγκη για

νέους χώρους απόθεσης των στείων. Τα υλικά αυτά συνήθως αποτίθενται σε κάποια παραπλήσια στο λατομείο έκταση, δεσμεύοντας έτσι πολύτιμο χώρο και προκαλώντας περαιτέρω αλλαγές στο τοπίο. Περαιτέρω περιβαλλοντικά προβλήματα που σχετίζονται με τη λειτουργία των λατομείων μαρμάρου είναι:

6.1.Οπτική ρύπανση

Κατά τη διάρκεια της εξορυκτικής δραστηριότητας προκαλούνται μεταβολές στο τοπίο με την αλλοίωση των ακανόνιστων μορφών του φυσικού ανάγλυφου και τη δημιουργία κανονικών γεωμετρικών μορφών, την εμφάνιση άκαμπτων ευθύγραμμων τμημάτων σε αντικατάσταση των ομαλών καμπυλών του φυσικού τοπίου, την εμφάνιση ανοικτών και έντονων χρωμάτων των εκσκαφών σε αντιπαράθεση με τα σκούρα χρώματα των φυσικών στοιχείων και την αλλαγή της υφής του φυσικού τοπίου. Οι αντιθέσεις αυτές είναι εντονότερες όταν, από τη θέση παρατήρησης, μπορεί να συγκριθεί ο χώρος εξόρυξης με το αδιατάρακτο φυσικό περιβάλλον.

6.2.Αέρια ρύπανση

Κατά τη διάρκεια της εξόρυξης όπως και της μεταφοράς του υλικού, όταν δεν λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα, μπορούν να δημιουργηθούν προβλήματα αέριας ρύπανσης. Δονήσεις προκαλούνται κατά την εξόρυξη του υλικού με χρήση εκρηκτικών υλών, και αν και τις περισσότερες φορές δεν είναι μεγάλης ισχύος, μπορεί να αποτελέσουν παράγοντα όχλησης για τους κατοίκους των γύρω περιοχών. Το πρόβλημα αυτό εξαλείφεται στις περιπτώσεις όπου η εξόρυξη πραγματοποιείται με χρήση συρματοκοπής. Κατά τη διάρκεια της εξορυκτικής διαδικασίας καθώς και κατά την επεξεργασία των ογκομαρμάρων στα συγκροτήματα επεξεργασίας, προκαλείται θόρυβος.

6.3.Καταστροφή της χλωρίδας

Εξαιτίας του μείγματος της λεπτής αιωρούμενης σκόνης σε συνδυασμό με την υγρασία δημιουργείται εκτεταμένη καταστροφή της χλωρίδας. Λόγω της λεπτομερούς μορφής του υλικού, όταν αυτό ξεραθεί επικάθεται πάνω στα φυτά με αποτέλεσμα την καταστροφή τους.(8)



Εικόνα 6-1: Περιβαλλοντική αποκατάσταση λατομικών Χώρων.

7. Εφαρμογές

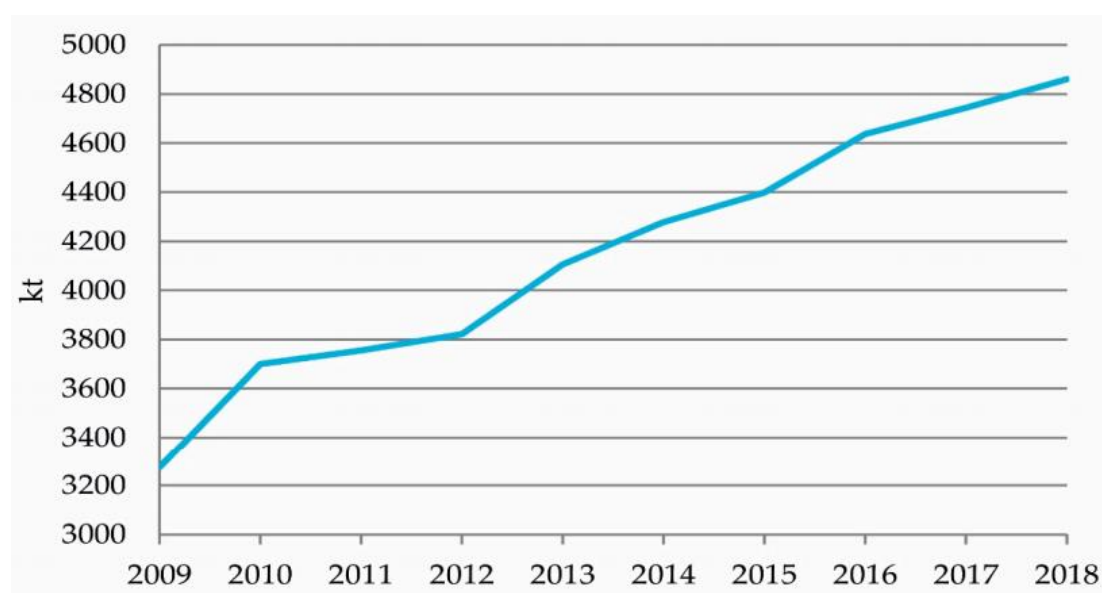
Τα πετρώματα ανθρακικού ασβεστίου είναι διάσπαρτα σε όλο τον κόσμο και για το λόγο αυτό είναι από τις πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες για πάνω από 5000 χρόνια. Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι κατασκεύασαν τις πυραμίδες με ασβεστόλιθο, ενώ σήμερα χρησιμοποιούνται εκατομμύρια τόνοι CaCO_3 στην κατασκευαστική βιομηχανία και σε άλλες χρήσεις. Το CaCO_3 με τη μορφή του ασβεστόλιθου χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την παρασκευή του τσιμέντου. Σημαντική είναι η επίδραση της παρουσίας του CaCO_3 και στα ιστορικά μνημεία καθώς τσιμέντα που κατασκευάζονται με πρώτη ύλη το ανθρακικό ασβέστιο εμφανίζουν μεγάλη ελαστικότητα η οποία επιτρέπει τη συστολή η διαστολή των δομικών στοιχείων αποτρέποντας με τον τρόπο αυτό την καταστροφή τους. Έτσι η χρήση σύγχρονων υλικών σε επισκευές, τα οποία συνήθως έχουν μεγαλύτερη αντοχή στη συμπίεση, δεν προκαλεί καταστροφές στα ιστορικά μνημεία. Άλλες εφαρμογές του CaCO_3 στην κατασκευαστική βιομηχανία είναι στην παραγωγή ασφάλτου (υπό μορφή αδρανών υλικών) στην οποία προσδίδει μεγαλύτερη σκληρότητα ενώ εμποδίζει την καταστροφή της σε χαμηλές θερμοκρασίες. Επίσης, σε υψηλές θερμοκρασίες το ανθρακικό ασβέστιο εμποδίζει τη δημιουργία αυλακώσεων συνεισφέροντας με τον τρόπο αυτό στη διατήρηση των οδικών δικτύων για μεγάλο χρονικό διάστημα. Τέλος το CaCO_3 μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στη σταθεροποίηση του εδάφους μειώνοντας την πλαστικότητα του και το ποσοστό υγρασίας δημιουργώντας ένα σταθερό υπόβαθρο για την κατασκευή κτηρίων αλλά και για την σωστή έδραση των οδοστρωμάτων. (12)

7.1. Χαρτί

Τα τελευταία 30 χρόνια η χρήση του ανθρακικού ασβεστίου στην παραγωγή του χαρτιού έχει αυξηθεί σημαντικά καθώς οι βιομηχανίες έχουν αντικαταστήσει την όξινη (acid papermaking process) με την ουδέτερη (neutral) διαδικασία παραγωγής. Το όξινο χαρτί που παρασκευάζεται από τον πολτό δέντρων έχει χρόνο ζωής 30-40 χρόνια εξαιτίας του τρόπου κατεργασίας του πολτού. Η πολτοποίηση, η λεύκανση όπως και η διαδικασία μορφοποίησης του χαρτιού αποθέτουν ανθρακικά άλατα στις ίνες του χαρτιού. Η προσθήκη 3% κατά βάρος ανθρακικού ασβεστίου μπορεί να επεκτείνει το χρόνο ζωής ενός πολύτιμου εγγράφου σχεδόν 500 χρόνια. Το CaCO_3 ως πρόσθετο στο χαρτί μπορεί να υπάρχει σε ποσοστό έως και 30% και μπορεί να εξουδετερώσει τα υπάρχοντα οξέα αλλά και τα οξέα που μπορούν να δημιουργηθούν

στο μέλλον ενώ παράλληλα συνεισφέρει στην λάμψη και την αδιαφάνεια του χαρτιού. Οι απαιτήσεις στην ποιότητα του χαρτιού αυξάνονται συνεχώς με χαρακτηριστικό παράδειγμα την εκτύπωση των εφημερίδων. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται χαρτί πολύ καλών οπτικών ιδιοτήτων όπως επίσης και απορρόφηση μεγάλων ποσοτήτων μελανιού εκτύπωσης. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται υλικά που μπορούν να δημιουργήσουν μικροσκοπικούς πόρους πάνω στο χαρτί και ως ένα τέτοιο υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3). (12)

Η περιεκτικότητα του ανθρακικού ασβεστίου στο τελικό βιομηχανοποιημένο προϊόν ποικίλει ανάλογα με το τύπο του χαρτιού. Ενδεικτικά η περιεκτικότητα ανάλογα με την εφαρμογή είναι: Εφημερίδες: ~5%, υψηλής ποιότητας εκτυπώσεις (βιβλία τέχνης, ποιοτικά χαρτιά για διαφημίσεις): ~45%, χαρτί γραφείου και βιβλία: ~25% , περιοδικά: ~35% χαρτόνια: ~7%.



Διάγραμμα 7-1: Παραγωγή χαρτιού και χαρτονιού στην Πολωνία την περίοδο 2009-2018.

Για να μπορέσει να γίνει κατανοητή η ζήτηση για υλικό πλήρωσης και μελάνια, οι συγγραφείς συνήθιζαν να συγκεντρώνουν πλήρες αρχείο από πρώτες ύλες για την παραγωγή υψηλής ποιότητας χαρτιού χωρίς προσθήκη ξύλου για εκτύπωση και συγγραφή σε ένα από τα μεγαλύτερα ευρωπαϊκά εργοστάσια. Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα διαθέσιμα δεδομένα, η παραγωγή του εργοστασίου αυτού ήταν περίπου

1228 εκατομμύρια τόνους το 2012. Για κάθε ένα τόνο εργοστασιακού χαρτιού χρησιμοποιείται 385 κιλά από υλικό πλήρωσης (CaCO_3), χρωστικές ουσίες και μελάνια (CaCO_3 και καολίνης). Αυτό συνεπάγεται τη χρήση 472 εκ. τόνων ασβεστόλιθου και χρωστικών, το οποίο είναι το 38,5% του συνολικού όγκου των υλικών για την παραγωγή χαρτιού. Υποθέτοντας την ίδια συνταγή, η αναλογικά ετήσια κατανάλωση ασβεστόλιθου και χρωστικών αυτού του είδους για την παραγωγή χαρτιού στην Πολωνία είναι 270-280 εκ. τόνοι ετησίως. Πιθανότητες για μελλοντική αύξηση της κατανάλωσης τόσο του αλεσμένου όσο και του κατακρημνισμένου ανθρακικού ασβεστίου (GCC and PCC) στη χαρτοβιομηχανία της Πολωνίας προέρχονται, καταρχάς, από την παραγωγή επικαλυμμένων σανίδων για συσκευασία (χαρτοκιβώτια και κιβώτια) καθώς και από την ειδική κατασκευή χαρτιού. Ωστόσο, η εξέλιξη αυτή μπορεί να περιορίζεται από την κοινή προσπάθεια για την αύξηση του μεριδίου του ανακυκλωμένου χαρτιού (δευτερογενείς ίνες) στον χαρτοπολτό, δεδομένου ότι αποτελεί απαραίτητη πηγή φθηνής πρώτης ύλης και η τεχνολογία της επεξεργασίας του δεν απαιτεί τη χρήση πληρωτικών. (6)

Ο ασβεστόλιθος πρέπει να είναι ασβεστόλιθος υψηλής περιεκτικότητας σε μαγνήσιο, αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί πέτρωμα που δεν περιέχει περισσότερο από 8 έως 10% ανθρακικό μαγνήσιο. Το οξείδιο του σιδήρου, το οξείδιο του αλουμινίου και το όξινο αδιάλυτο υλικό μαζί πρέπει να είναι μικρότερα από περίπου 2% . Το όξινο-αδιάλυτο υλικό πρέπει να είναι ανοιχτόχρωμο. Μια ανάλυση ενός τυπικού ασβεστόλιθου δείχνει 53,68% CaO (95,77% CaCO_3) και 78% MgO (3,72% MgCO_3), λιγότερο από 0,5% Fe_2O_3 και Al_2O_3 , και λιγότερο από 1% SiO_2 . Πρέπει να αποφεύγονται τα μαύρα στίγματα, επομένως οι ασβεστόλιθοι που περιέχουν άνθρακα μπορεί να είναι ακατάλληλοι. Οι νιφάδες γραφίτη και ο σιδηροπυρίτης αναφέρονται επίσης ως επιβλαβείς.(5)

7.2. Θερμοπλαστικά

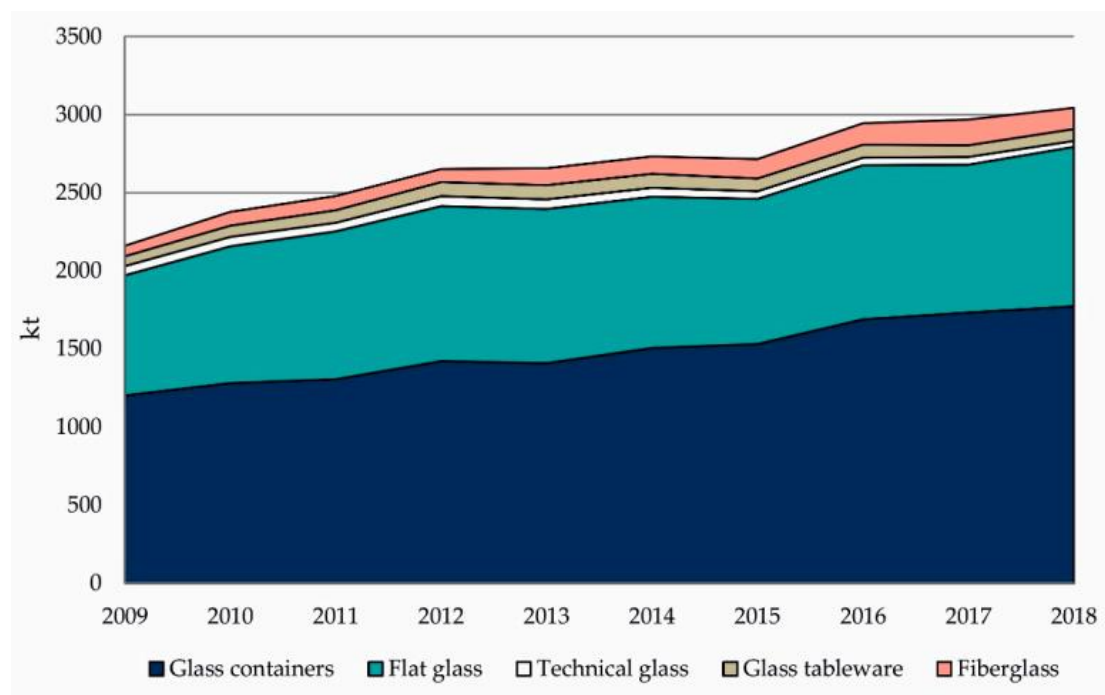
Η ενσωμάτωση ανόργανων πρόσθετων στα θερμοπλαστικά με στόχο τη βελτίωση των ιδιοτήτων τους χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία των πλαστικών. Το ανθρακικό ασβέστιο είναι μακράν το πιο σημαντικό ορυκτό στην κατασκευή σύνθετων πολυμερών. Η εισαγωγή του CaCO_3 σε άκαμπτο PVC έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση της αντοχής στην πρόσκρουση και τη βελτίωση της εξωτερικής επιφάνειας. Στο PVC τα σωματίδια του CaCO_3 μπορούν να αναστείλουν την

ανάπτυξη και διάδοση της θραύσης κατανέμοντας ομοιόμορφα το ενεργειακό της περιεχόμενο σε όλο το υλικό. Σε χρωστικές που περιέχουν PVC, το ανθρακικό ασβέστιο προσδίδει στιλπνότητα λόγω του υπέρλεπτου μεγέθους των σωματιδίων του και της απουσίας επιφανειακών ατελειών ελαχιστοποιώντας με τον τρόπο αυτό την αντανάκλαση του φωτός. Το CaCO_3 σήμερα καταλαμβάνει το 60% στην αγορά των πρόσθετων και των ενισχυτικών υλικών και πέρα από το PVC βρίσκει εφαρμογές στους ακόρεστους πολυεστέρες, στο πολυπροπυλένιο και στο πολυαιθυλένιο. Το ανθρακικό ασβέστιο βελτιώνει την επεξεργασία των πολυμερών ενώ παράλληλα μπορεί να ενισχύσει και τις μηχανικές ιδιότητες.

7.3. Γυαλί

Η τρέχουσα ζήτηση για πούδρα ασβεστόλιθου στην κατασκευή γυαλιού δοχείου (λαμβάνοντας υπόψη το σημερινό επίπεδο ανακύκλωσης υαλοθραυσμάτων μπορεί να θεωρηθεί ότι ανέρχεται σε 180-220 tn ετησίως. Στην περίπτωση των υαλοπινάκων επίπλευσης, η ετήσια κατανάλωση ασβεστολιθικού αλεύρου μπορεί να φτάσει περίπου τους 40.000 tn ενώ η παραγωγή οικιακών και άλλων τύπων γυαλιού απαιτεί περίπου 10.000 tn ετησίως. Οι συνολικοί πόροι 2020, από τις 16 τρέχουσες καταναλώσεις πούδρας ασβεστόλιθου στη βιομηχανία γυαλιού στην Πολωνία μπορούν να εκτιμηθούν σε 240-270.000 tn ετησίως.(5)

Όσο αφορά τις χημικές προδιαγραφές για τη δημιουργία γυαλιού, ο ασβεστόλιθος ή ο δολομίτης πρέπει να έχει ομοιογενή σύσταση και υψηλή καθαρότητα. Η περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο του ασβεστόλιθου θα πρέπει πιθανώς να υπερβαίνει το 98% και το ανθρακικό ασβέστιο και το μαγνήσιο του δολομίτη 98%. Το οξείδιο του σιδήρου (FeO) δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,02% και κατά προτίμηση λιγότερο από 0,02%. Μια άλλη προδιαγραφή επιτρέπει μέγιστο 0,3% σίδηρο για τα περισσότερα γυαλιά και 0,03% για γυαλί πυρόλιθου. Η χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο και φωσφόρο είναι απαραίτητη και ο άνθρακας πρέπει να περιορίζεται στο ελάχιστο. Δεν ισχύουν απαραίτητα σε όλες τις χώρες οι παραπάνω προδιαγραφές, αλλά ενημερωτικές είναι οι βρετανικές τυποποιημένες προδιαγραφές του 1959 για τον ασβεστόλιθο για την κατασκευή άχρωμων γυαλιών, οι οποίες απαιτούν εν μέρει ότι η περιεκτικότητα σε οξείδιο του ασβεστίου δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 55,2% (98,5 % ανθρακικό ασβέστιο) και ο συνολικός σίδηρος ως οξείδιο του σιδήρου όχι περισσότερο από 0,035%.



Διάγραμμα 7-2: Παραγωγή γυαλιού στην Πολωνία την περίοδο 2009-2018 .

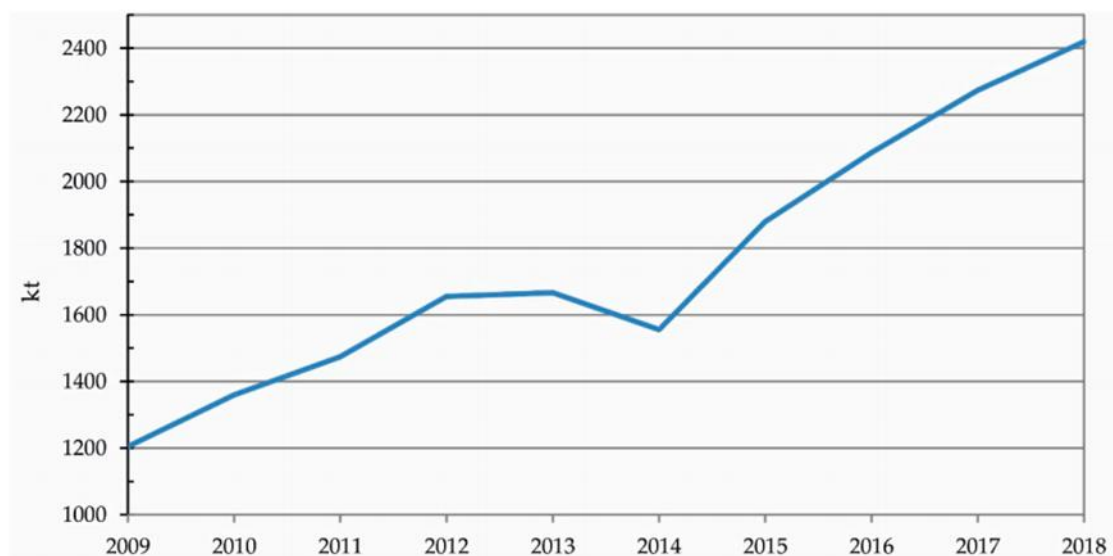
7.4. Αποθείωση και φίλτρα

Όλο και περισσότερο, η βιομηχανία καλείται να περιορίσει τις εκπομπές όξινων αερίων. Ο ασβεστόλιθος αντιδρά με τα πιο κοινά όξινα αέρια (π.χ. SO_2 , SO_3 , HCl και HF) και είναι σημαντικά λιγότερο ακριβός από τα εναλλακτικά αλκαλικά υλικά, όπως ο ασβέστης, το ανθρακικό νάτριο/διττανθρακικό και η καυστική σόδα. Ως εκ τούτου, δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι καταβλήθηκε σημαντική προσπάθεια για την ανάπτυξη διαδικασιών που χρησιμοποιούν τον ασβεστόλιθο ως απορροφητικό. Οι διαδικασίες που έχουν αναπτυχθεί μπορούν να χωριστούν σε υγρή και ξηρή επεξεργασία. Η επιλογή της διεργασίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως:

- α) τα όξινα αέρια,
- β) το ποσοστό που πρέπει να αφαιρεθεί,
- γ) το λειτουργικό και κεφαλαιακό κόστος και
- δ) τη φύση των αποβλήτων

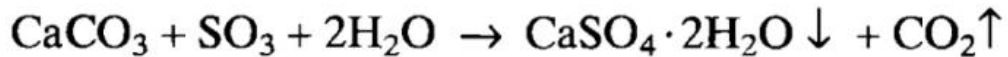
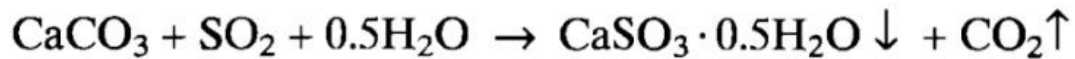
Εμπορικά, η πιο σημαντική εφαρμογή είναι η υγρή μέθοδος καθαρισμού με χρήση ασβεστόλιθου για την αποθείωση απαερίων (FGD) σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, ένας σταθμός 2000 MW που λειτουργεί με άνθρακα περιεκτικότητας 2% σε θείο, με συντελεστή φορτίου 70%, απαιτεί περίπου 300.000 τόνους ασβεστόλιθου το χρόνο για τη δέσμευση του 90% των οξειδίων του

θείου. Η πλειονότητα των σταθμών παραγωγής που είναι εξοπλισμένοι με ασβεστόλιθο χρήσης FGD και περίπου οι μισοί από αυτούς οξειδώνουν το θειώδες ασβέστιο που παράγεται σε γύψο ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Ορισμένοι σταθμοί χρησιμοποιούν ασβέστη, ενώ άλλοι χρησιμοποιούν διάφορες άλλες διεργασίες. Η «ξηρή» επεξεργασία με ασβεστόλιθο χρησιμοποιείται επίσης για την απομάκρυνση του υδροφθορίου από τα καυσαέρια κλιβάνων στους οποίους γίνεται έψηση βαρέων πηλινών και κεραμικών προϊόντων. Χρησιμοποιείται επίσης για FGD σε μικρούς έως μεσαίους λέβητες.(7)



Διάγραμμα 7-3: Εκτιμώμενη κατανάλωση ροφητών (φίλτρων) ασβεστόλιθου για αποθείωση απαερίων με την υγρή μέθοδο κατεργασίας στην Πολωνία.

Οι διάφοροι τύποι ανθράκων περιέχουν συνήθως 0,5 έως 4 % κατά βάρος θείου με τη μορφή σιδηροπυρίτη (FeS_2), οργανικών ενώσεων θείου και ανόργανων θεικών ενώσεων. Πολλά άλλα καύσιμα περιέχουν σημαντικές ποσότητες θείου (π.χ. βαρύ μαζούτ και πετρελαϊκό κώκ). Κατά τη διάρκεια της καύσης το θείο οξειδώνεται σε διοξείδιο του θείου, ενώ παράγονται μικρότερες ποσότητες τριοξειδίου του θείου επίσης. Το διοξείδιο του θείου είναι ελάχιστα διαλυτό στο νερό. Διαλύεται ταχύτερα σε ένα εναιώρημα ασβεστόλιθου (και ακόμα πιο γρήγορα σε αλκαλικά διαλύματα/ εναιωρήματα). Οι αντιδράσεις μεταξύ διοξειδίου του θείου και τριοξειδίου με ασβεστόλιθο είναι: (7)



Οι βασικές απαιτήσεις είναι ότι ο ασβεστόλιθος πρέπει να έχει αποδεκτή "αντιδραστικότητα" όσον αφορά την αντίδραση με διοξείδιο του θείου και υψηλό % CaCO_3 . Οι παράγοντες που καθορίζουν την αντιδραστικότητα του ασβεστόλιθου δεν είναι πλήρως κατανοητοί, αλλά περιλαμβάνουν την περιεκτικότητα σε μαγνήσιο, την περιεκτικότητα σε αλουμίνιο και φθόριο και τη δομή του κρυστάλλου. Ο ρυθμός αντίδρασης εξαρτάται επίσης από το μέγεθος των σωματιδίων του ασβεστόλιθου. Έτσι, ενώ μια χαμηλότερη αντιδραστικότητα μπορεί να αντισταθμιστεί από λεπτότερη λείανση, αυξάνει τόσο το λειτουργικό όσο και το κεφαλαιακό κόστος.

Το ποσοστό CaCO_3 στον ασβεστόλιθο πρέπει να είναι τουλάχιστον 95 % - όχι μόνο για να παρέχει την εξουδετερωτική τιμή για να αντιδράσει με τα οξείδια του θείου, αλλά και για να περιέχει τις ελάχιστες δυνατές προσμείξεις. Οι αδιάλυτες προσμείξεις τείνουν να μολύνουν τη γύψο, ενώ οι διαλυτές προσμείξεις περνούν στη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων και μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα σχετικά με την τήρηση των αποδεκτών ορίων για τις απορροές.

Η περιεκτικότητα σε MgCO_3 πρέπει να είναι κάτω από 2%, καθώς, αν και αντιδρά με τα οξείδια του θείου, τα υψηλότερα επίπεδα μπορεί να μειώσουν την αντιδραστικότητα του ασβεστόλιθου και θα αυξήσουν το επίπεδο των ενώσεων μαγνησίου στη γύψο σε τιμές πάνω από τα καθορισμένα όρια για τη γύψο.

Το επίπεδο του SiO_2 στον ασβεστόλιθο περιορίζεται από τα όρια που καθορίζονται για τη γύψο. Επιπλέον, το διοξείδιο του πυριτίου θα μπορούσε να αυξήσει την τριβή του εξοπλισμού στη διαδικασία FGD και στη μονάδα επεξεργασίας γύψου, καθώς και να εισαγάγει ένα πιθανό πρόβλημα σκόνης κατά την επεξεργασία του γύψου.

Το αλουμίνιο και το φθόριο πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο χαμηλά, επειδή μπορούν να συνδυαστούν για να παράγουν ένα φαινόμενο που ονομάζεται "δέσμευση ασβεστόλιθου". Αυτό πιστεύεται ότι προκαλείται από το σχηματισμό αδιάλυτων

ενώσεων στην επιφάνεια των σωματιδίων ασβεστόλιθου, οι οποίες αναστέλλουν την εξουδετέρωση των οξειδίων του θείου.(7)

Το επιτρεπόμενο ποσοστό σιδήρου στη γύψο είναι περιορισμένο, καθώς ο σίδηρος μπορεί να προκαλέσει αποχρωματισμό των προϊόντων με βάση τη γύψο. Αυτό, με τη σειρά του, επιβάλλει ένα όριο στο ποσοστό του Fe_2O_3 στον ασβεστόλιθο. Παρ' όλα αυτά, κάποιος σίδηρος είναι επιθυμητός καθώς επιταχύνει το ρυθμό οξείδωσης του θεικού ασβεστίου.

Δεδομένου ότι ο ασβεστόλιθος πρέπει να αλέθεται σε μέγεθος 90 % περίπου μικρότερο από 40 μm , είναι σημαντικό το λειτουργικό και το κεφαλαιακό κόστος του εξοπλισμού άλεσης να μην είναι υπερβολικό. Η δοκιμή Bond Work Index καθιερώθηκε ως μέτρο αξιολόγησης της ευκολίας με την οποία μπορεί να λειοτριβηθεί μια ουσία. Η τιμή του δείκτη για πολλούς ασβεστόλιθους κυμαίνεται μεταξύ 8 και 10 kWh/s.t.

Όταν ο ασβεστόλιθος αλέθεται στη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, πρέπει να προσδιορίζεται η κοκκομετρική κατανομή και η περιεκτικότητά του σε υγρασία. Το μέγιστο μέγεθος των τεμαχίων του ασβεστόλιθου θα πρέπει να επιλέγεται ώστε να ανταποκρίνεται τόσο στον εξοπλισμό άλεσης (συνήθως σφαιρόμυλοι) όσο και στην εγκατάσταση παραγωγής του λειοτριβημένου ασβεστόλιθου. Συνήθως επιλέγεται ως τροφοδοσία πλυμένο και κοσκινισμένο υλικό με μέγιστο μέγεθος τεμαχίων 15 mm. Ενώ ένα υλικό -15 mm, που θα περιείχε και σκόνη, θα μείωνε το κόστος άλεσης ίσως κατά 20 %, είναι γενικά προτιμότερο να αφαιρούνται τα λεπτόκοκκα (fines) με κοσκίνιση, π.χ., στα 5 mm για να αποφεύγεται η διασπορά υπερβολικής ποσότητας σκόνης στον αέρα, κατά τη μεταφορά και το διακίνηση του προϊόντος. Λίγη υγρασία στην τροφοδοσία βοηθά επίσης στον περιορισμό της σκόνης.

Πίνακας 7-1: Σύνολο τυπικών προδιαγραφών για την δημιουργία φίλτρων από ασβεστόλιθο

Parameter	Requirement
CaCO ₃ (as CaO)	≥ 53.2%
CO ₂	≥ 41.8%
Total Mg (as MgO)	≤ 0.5%
Insoluble Si (as SiO ₂)	≤ 0.65%
Insoluble Fe (as Fe ₂ O ₃)	≤ 0.25%
Total insolubles	≤ 1.0%
Hardness (Bond Work Index)	≤ 10
Organic constituents	≤ 0.2%
Whiteness (% absolute)	≥ 80
COD ^{a)} level	≤ 150 mg/l

a) COD = chemical oxygen demand

7.5. Λιπάσματα - Ζωοτροφές

Τα λιπάσματα ασβεστίου ήταν από τα πρώτα που χρησιμοποιήθηκαν στις καλλιέργειες. Η χρήση τους εξασφαλίζει την επαρκή τροφοδοσία σε ασβέστιο των φυτών ενώ παράλληλα σταθεροποιεί το pH του εδάφους. Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν το ανθρακικό ασβέστιο ένα εξαιρετικά σημαντικό συστατικό των λιπασμάτων στις γεωργικές καλλιέργειες. Κάθε χρόνο στην Ευρώπη περισσότεροι από 4,5 εκατομμύρια τόνοι διοχετεύονται στην αγορά λιπασμάτων. Εκτός από τα λιπάσματα, το CaCO₃ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως συμπλήρωμα Ca στις ζωοτροφές. Συνιστάται η χρήση ασβεστολιθικών πετρωμάτων που περιέχουν ανθρακικό ασβέστιο σε ποσοστό μεγαλύτερο από 95% και ταυτόχρονα χαμηλή περιεκτικότητα σε φθόριο, καθώς έχει διαπιστωθεί ότι κάθε μερίδα διατροφής του ζώου που περιέχει περίπου 0.03% φθόριο από φωσφορικά ορυκτά ή φθοριούχο νάτριο ήταν επιβλαβής σε χοίρους και επίσης μικρότερες περιεκτικότητες φθορίου έχουν επίσης κριθεί επιβλαβείς για τα γαλακτοπαραγωγά ζώα.

7.6. Κόλλες -Στεγανωτικά

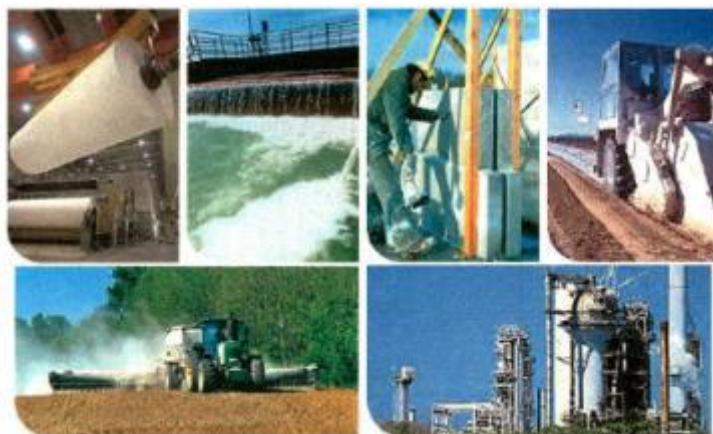
Στις κόλλες και τα στεγανωτικά υλικά μεγάλες ποσότητες ανθρακικού ασβεστίου χρησιμοποιούνται ως πληρωτικό μέσο για μείωση κόστους και ενίσχυση των χαρακτηριστικών τους. Πολλά στεγανωτικά επωφελούνται από την καλή αδιαφάνεια ή και την λευκότητα για καλύτερη εμφάνιση του τελικού προϊόντος καθώς και την χαμηλή απορρόφηση υγρασίας. Η καλή λειαντική επιφάνεια και η αντοχή στις ρωγματώσεις είναι ένα ακόμη πλεονέκτημα για τη σύνθεση στόκου από ανθρακικό ασβέστιο. Ειδικά επεξεργασμένο ανθρακικό ασβέστιο το οποίο ενσωματώνεται σε κόλλες ή αυτοκόλλητα απωθεί το νερό από την επιφάνεια υαλοπετασμάτων.

Σε χρώματα και τα υλικά επίστρωσης χρησιμοποιούν ανθρακικό ασβέστιο ως υποκατάστατο άλλων ορυκτών, μεταξύ των οποίων και το ακριβό Διοξείδιο του Τιτανίου (TiO_2). Βασικά χαρακτηριστικά που προσδίδει το ανθρακικό ασβέστιο είναι η φωτεινότητα, η αδιαφάνεια και η στιλπνότητα, καθώς και η λευκότητα για την ουδετερότητα των χρωμάτων. Ωστόσο, προσφέρονται και αλλά οφέλη σε κάθε είδος εφαρμογών βαφής από την χρήση του τα οποία είναι. Τα διακοσμητικά χρώματα για εσωτερικούς χώρους χρησιμοποιούν κυρίως ανθρακικό ασβέστιο για μείωση του κόστους. Τα χρώματα για εξωτερικούς χώρους είναι ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες λόγω της περιεκτικότητας τους σε ανθρακικό ασβέστιο. Τα χρώματα οδοποιίας που περιέχουν ανθρακικό ασβέστιο παρέχουν υψηλή φωτεινότητα. Τα χρώματα ηλεκτροστατικής βαφής βελτιώνονται από τον σχηματισμό λεπτής μεμβράνης χρησιμοποιώντας ειδικό επεξεργασμένο ανθρακικό ασβέστιο. Η πούδρα μπορεί να γίνει είτε από ασβεστόλιθο, δολομίτη ή μαγνησιούχο ασβεστόλιθο. Ο ασβεστόλιθος πρέπει να περιέχει τουλάχιστον 98% ανθρακικό ασβέστιο (ξηρή βάση). Ο δολομίτης ή ο μαγνησιακός ασβεστόλιθος πρέπει να περιέχουν τουλάχιστον 95% ανθρακικό ασβέστιο και ανθρακικό μαγνήσιο (ξηρή βάση). Άλλες προδιαγραφές αναφέρουν ότι "γενικά η περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο πρέπει να υπερβαίνει το 96%, αλλά οι μαγνησιακοί ασβεστόλιθοι που περιέχουν έως και 8% οξείδιο του μαγνησίου είναι (σπάνια) ανεκτοί - η περιεκτικότητα σε $MgCO_3$ είναι γενικά 1%. Άλλα μέγιστα είναι: Fe_2O_3 - 0.25%, SiO_2 - 2.0% και SO_3 - 0.1%.(5)

7.7. Άλλες χρήσεις

Μια βασική ικανότητα του ανθρακικού ασβεστίου για τις ανθρώπινες χρήσεις είναι ότι είναι εντελώς αβλαβές και ουδέτερο στον άνθρωπο. Οι οδοντόκρεμες

χρησιμοποιούν ανθρακικό ασβέστιο για αυξημένη λευκότητα και ελεγχόμενη λείανση, καθώς και για την ικανότητά του να εξουδετερώνει τα οξέα στο στόμα. Τα φάρμακα χρησιμοποιούν ανθρακικό ασβέστιο το οποίο ελέγχει τη διάλυση του χαπιού στο σώμα και απελευθερώνει ήπια το ενεργό μόριο (εάν το ασβέστιο δεν είναι το κύριο δραστικό συστατικό). Το ανθρακικό ασβέστιο είναι μια καλή πηγή ασβεστίου σε εμπλουτισμένα τρόφιμα, όπως οι χυμοί και το γάλα.



Εικόνα 7-1: Εφαρμογές του ανθρακικού ασβεστίου

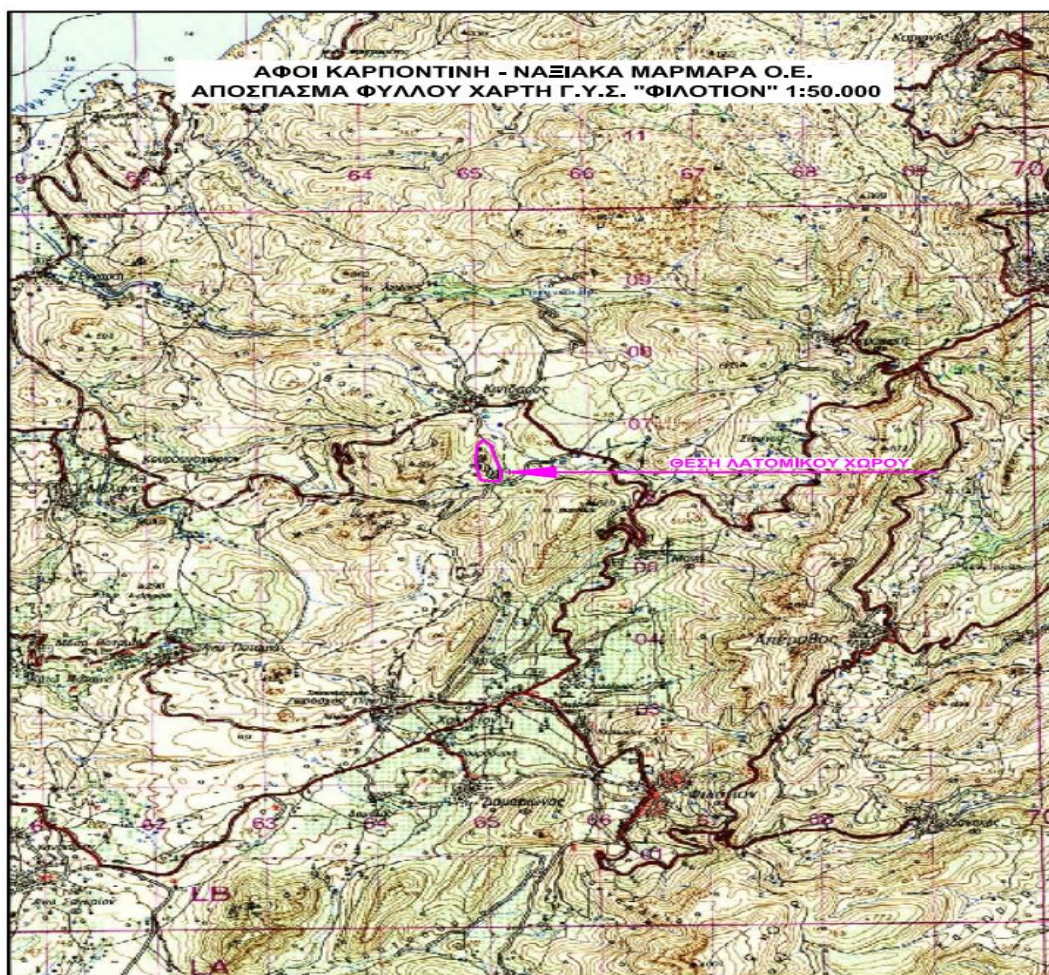
Πίνακας 7-2: Χρήσεις ανθρακικού και προσφερόμενες βελτιωμένες ιδιότητες σε κάθε μια από αυτές

	Μείωση κόστους	Στιλπνότητα	Λευκότητα	Αδιαφάνεια	Θερμική Αγωγιμότητα	Αντοχή στη Δύναμη και Τάση
Χαρτί	X	X	X	X		
Χαρτόνια & Υλικά πλήρωσης	X	X	X	X		
Μεμβράνες & Πλαστικές Συσκευασίες	X				X	X
Πλαστικά	X	X			X	X
Οικοδομικά Υλικά	X		X	X		X
Κόλλες & Στεγανωτικά Υλικά	X		X			X
Χρώματα & Υλικά Επίστρωσης	X	X	X	X		
Ελαστικά	X					
Nonwovens & Ίνες	X		X			
Προϊόντα Φροντίδας Υγείας			X			
Oilfield Solutions						X

8. Λατομείο μαρμάρου ΣΑΝΙΔΑΔΕΣ

8.1. Θέση λατομικού Χώρου

Ο λατομικός μαρμαροφόρος χώρος της μελέτης – στο εξής και περιοχή μελέτης – βρίσκεται στη θέση « ΣΑΝΙΔΑΔΕΣ» Τ.Κ Κινίδαρου, Δήμου Νάξου & Μικρών Κυκλάδων, έως Υ+420 m. Βρίσκεται ανατολικά της χώρας της Νάξου σε απόσταση 9,5 km από αυτήν (σε ευθεία) και 1 km περίπου νότια από τον οικισμό του Κινίδαρου. Άλλοι κοντινοί οικισμοί είναι η Μονή σε απόσταση 2 km περίπου Νοτιοανατολικά (σε ευθεία), οι Μύλοι σε απόσταση 3,9 km Ν Δυτικά, η Κεραμωτή σε απόσταση 4 km Β ανατολικά και άλλοι οικισμοί από τους οποίους ο χώρος της μελέτης δεν είναι ορατός.



Εικόνα 8-1: Περιοχή μελέτης σε κλίμακα 1:50.000

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται σε μια φυσική εσοχή ενός λοφώδους αναγλύφου με ψηλότερη κορυφή στη θέση «ΖΑΣ» στο υψόμετρο Υ+594 m σε ευθεία απόσταση 600

η περίπου στα Δυτικά και κείται μεταξύ των απολύτων υψομέτρων Υ+509 έως Υ+420.

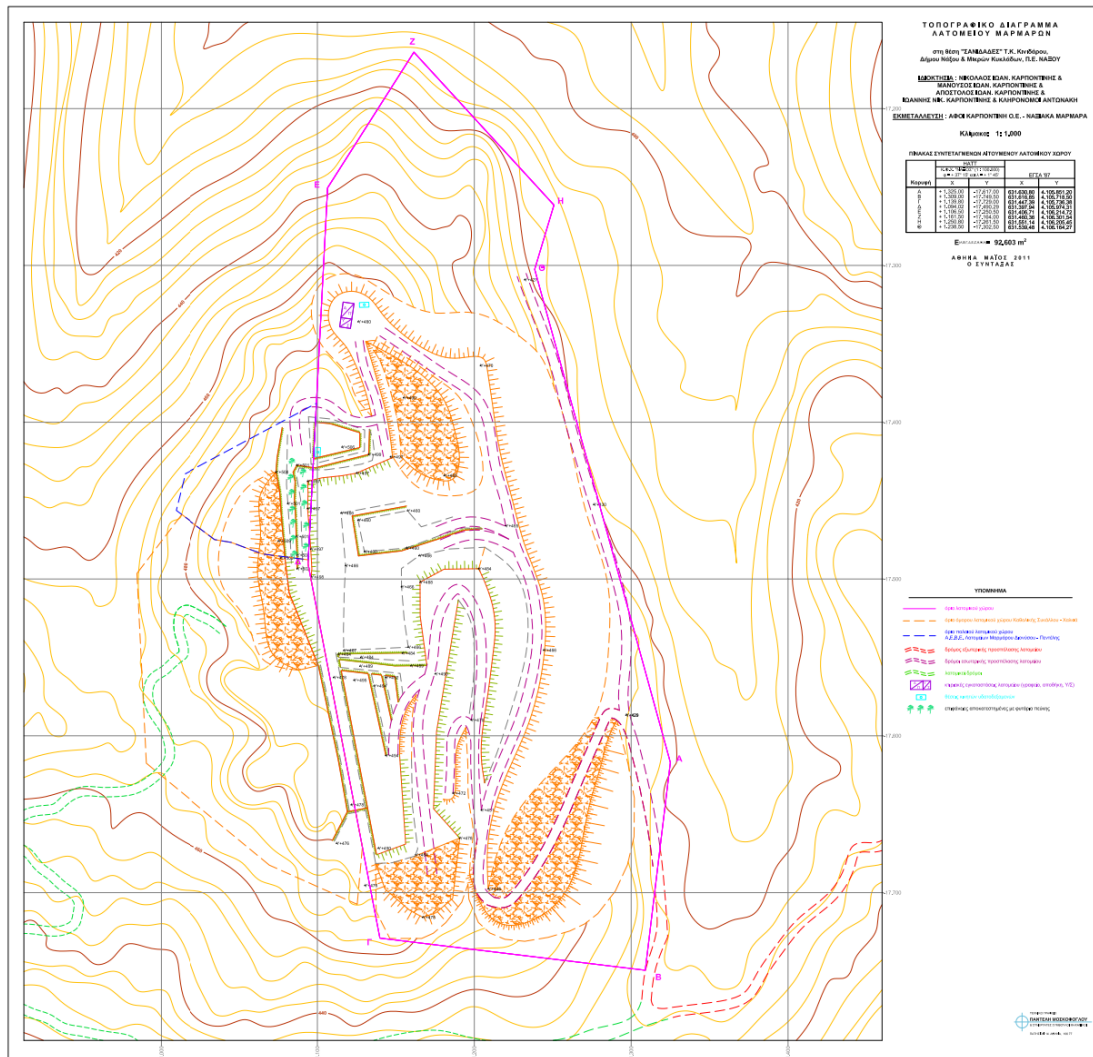
Η ακριβής έκταση του χώρου είναι 92.603 m² (ή 92,6 στρ.) και όπως φαίνεται στο τοπογραφικό διάγραμμα που επισυνάπτεται στο τέλος της παρούσας μελέτης, ορίζονται από πέντε (5) σημεία (κορυφές ορίων) με ορθογώνιες αζιμουθιακές συντεταγμένες εξαρτημένες από το Εθνικό τριγωνομετρικό δίκτυο (HATT) αλλά και από το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987 ως εξής.(13)

Πίνακας 8-1: Συντεταγμένες Ορίων Λατομικού Χώρου στις Σανιδάδες.

Σημείο	HATT		ΕΓΣΑ '87	
	ΚΦΧ "ΝΑΞΟΣ" (1:100.000) φ = 37° 15' , λ = 1° 45'			
	X	Y	X	Y
A	1.325,00	-17.617,00	631.630,80	4.105.851,20
B	1.309,00	-17.749,50	631.616,85	4.105.718,50
Γ	1.139,80	-17.729,00	631.447,39	4.105.736,38
Δ	1.094,02	-17.490,29	631.397,94	4.105.974,31
E	1.106,50	-17.250,50	631.406,71	4.106.214,22
Z	1.161,50	-17.164,00	631.460,36	4.106.301,54
H	1.250,80	-17.261,50	631.551,14	4.106.205,45
Θ	1.238,50	-17.302,50	631.539,48	4.106.164,27

Η λατομική δραστηριότητα είναι πολύ έντονη στην ευρύτερη περιοχή, καθόσον λόγω της εκτεταμένης μαρμαροφορίας έχει ξεκινήσει εδώ και πάρα πολλά χρόνια η εκμετάλλευση του λευκού μαρμάρου της περιοχής από πολλές επιχειρήσεις του κλάδου με κυριότερες τις εταιρείες, Μάρμαρα Διονύσου – Πεντέλης Α.Ε.Β.Ε. , Αφοί Λογιώτατου Α.Ε., Αφοί Ρήγα Α.Ε.Β.Ε. Αποτελεί ένα από τα πιο αξιόλογα μάρμαρα του Ελλαδικού Χώρου από ποιοτικής, ποσοτικής και εμπορικής πλευράς. Καμιά άλλη αξιόλογη παραγωγική δραστηριότητα (αγροτική, κ.λ.π.) πλην της λατομικής δεν αναπτύσσεται στη γύρω περιοχή σε ακτίνα 500 μέτρων.

Ο χώρος της περιοχής μελέτης διοικητικά υπάγεται στον Δήμο Νάξου & Μικρών Κυκλάδων, δασικά ελέγχεται από το Δασαρχείο Νάξου και τη Διεύθυνση Δασών της Περιφερειακής Ενότητας Κυκλάδων. Αστυνομικά ελέγχεται από το Αστυνομικό τμήμα Νάξου και δικαστικά υπάγεται στο Ειρηνοδικείο και Πρωτοδικείο Νάξου και στο Εφετείο Ερμούπολης Σύρου. Τέλος, ως προς τη λειτουργία του εποπτεύεται από την ΕΜΝΕ (Επιθεώρηση Μεταλλείων Νοτίου Ελλάδος).



Διάγραμμα 8-1: Τοπογραφικό Διάγραμμα Λατομείου

8.2. Γεωλογικά

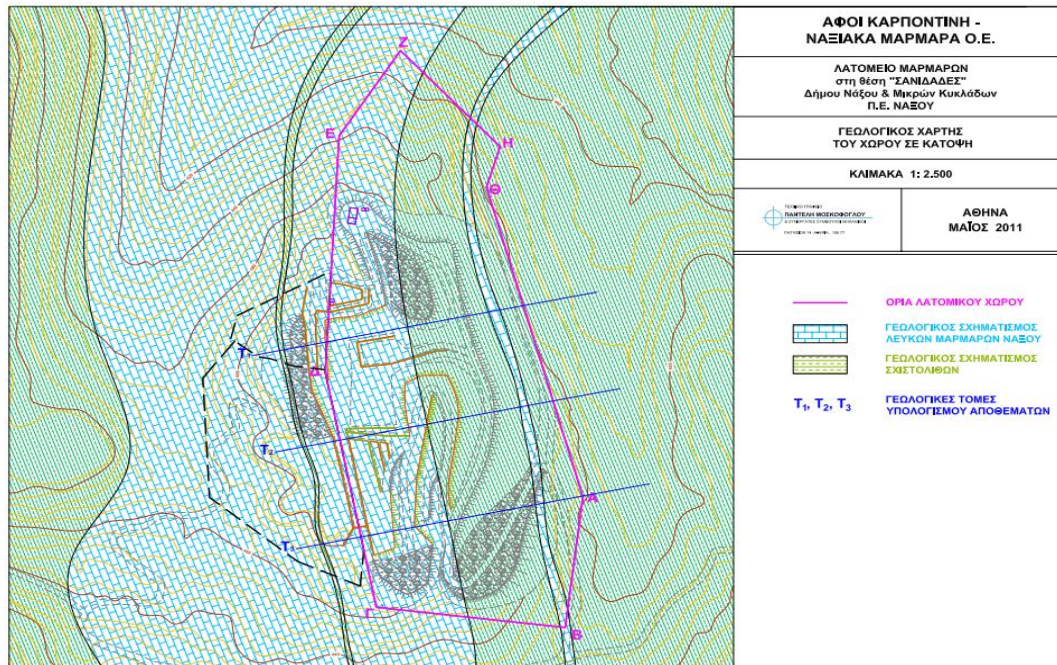
Τόσο στην περιοχή μελέτης, όσο και η ευρύτερη ανήκει γεωτεκτονικά στην Αττικοκυκλαδική Μάζα με χαρακτηριστικούς τους μαγματικούς και τους μεταμορφωσιγενείς γεωλογικούς σχηματισμούς και κυρίως τους ορίζοντες μαρμάρων (μεταμορφωμένοι ασβεστόλιθοι). Γενικά η ευρύτερη περιοχή, χαρακτηρίζεται από ορίζοντες και εμφανίσεις λευκών – ημίλευκων- γκριζών μαρμάρων, που κατά θέσεις αποτελούν αντικείμενο λατομικής δραστηριότητας. Στη γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής συμμετέχουν μεταμορφωμένοι σχηματισμοί του Προπερμίου, με ολικό στρωματογραφικό πάχος της σειράς, της τάξεως των 6000 m. Αναλυτικά διακρίνονται τα εξής μέλη:

- Μάρμαρα
- Μετά-κροκαλοπαγές από μάρμαρα,
- Μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι και γενέσιοι που εμφανίζονται ως υποκείμενος και υπερκείμενος σχηματισμός αλλά και σε ενστρώσεις του μαρμάρου.
- Αμφιβολίτες ζωνώδεις που εμφανίζονται ως παρεμβολές στα μάρμαρα
- Μεταμορφωμένα υπερβασικά και γαββρικά πετρώματα.

Στα στρωματογραφικά κατώτερα μέρη της μεταμορφωμένης σειράς, τα περισσότερα μάρμαρα είναι χονδροκρυσταλλικά και λευκά. Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ορατή μια παχιά στρώση, η οποία συχνά χαρακτηρίζεται από λεπτές ζώνες ταινιών αμφιβολιτών και βιοτιτικών-κεροστιλβικών γενευσίων. Τα δολομιτικά μάρμαρα σπανίζουν στους υψηλότερους βαθμούς μεταμορφώσεως και όπου εμφανίζονται σε μάρμαρα είναι ο φλογοπίτης, σκαπόλιθος, γροσσουλαρίτης, διοψίδιος, βεζουβιανίτης και τιτανίτης.

Το επίδοτο ουσιαστικά απουσιάζει από τους βαθύτερους ορίζοντες μαρμάρου. Στα στρωματογραφικά ψηλότερα μέρη της μεταμορφωμένης σειράς, τα μάρμαρα είναι πιο λεπτόκοκκα. Τα ασβεστιτικά μάρμαρα είναι συνήθως πιο αδρόκοκκα των δολομιτικών αυτού του βαθμού μεταμορφώσεως, λεπτοστρωματώδη και καλά στρωμένα σε ταινία έχουν δε συχνά κυανότερο χρώμα. Οι περισσότεροι δολομίτες είναι συμπαγείς, χωρίς σαφείς ενστρώσεις και έχουν χρώμα κιτρινόλευκο. Τα μάρμαρα περιέχουν ενστρώσεις ασβεστιτικών σχιστολίθων, χλωριτο-σερικιτικών σχιστολίθων, ακτινο-χλωρο-επιδοτιτικών και γλαυκοφανιτικών σχιστολίθων. Όλα τα μάρμαρα παρουσιάζουν απότομες πλευρικές αλλαγές στο πάχος και στη σύσταση και

τα περισσότερα από αυτά, πλην αυτών που βρίσκονται στον μαργαρίτη, περιέχουν πολυάριθμες εμφανίσεις σμύριδας ή διάσπορου, οι οποίες συχνά φαίνεται να συγκεντρώνονται σε οριζόντια στρώματα.



Διάγραμμα 8-2: Γεωλογικός χάρτης λατομείου

Το μάρμαρο Νάξου προήλθε από μεταμόρφωση ασβεστιτικών κυρίως ιζημάτων με μικρή συμμετοχή δολομιτικής φάσης. Το χρώμα του είναι λευκό κατά θέσεις λευκωπό ή ανοιχτό γκριζωπό με λεπτές φαιές ???. Επίσης παρουσιάζονται κατά τόπους κοκκινωπά ή κιτρινο-καφετί στίγματα ή ζώνες που οφείλονται στην ύπαρξη μέσα στη μάζα του, διεσπαρμένων κόκκων αιματίτη ή διαφόρων άλλων οξειδίων και υδροξειδίων. Το λευκό χρώμα του μάρμαρου οφείλεται στην καθαρότητα των κρυστάλλων του ασβεστίτη- δολομίτη. Ο ιστός του μαρμάρου είναι γρανοβλαστικός ή απλής ραφής και η υφή του είναι απλώς προσανατολισμένη. Το σχήμα των κρυστάλλων είναι ακανόνιστο και το μέγεθός τους 1-5 mm (χονδροκρυσταλλικό ή κρυσταλλίνα).

Η τεκτονική της περιοχής μελέτης, οι κλίσεις και το μέγεθος των προς εξόρυξη όγκων δημιουργούν ευνοϊκές προϋποθέσεις για την εξόρυξη ογκομαρμάρων. Τα κύρια συστήματα διακλάσεων μέσα στην περιοχή μελέτης, είναι δυο, το ένα παράλληλο προς την παράταξη και το άλλο παράλληλο προς την κλίση των πετρωμάτων και

ελέγχουν γενικά την ιδιαίτερη τεχνική της εξόρυξης και το μέγεθος των εξορυσσόμενων όγκων.

Η περιοχή μελέτης καλύπτεται και δομείται από μάρμαρα μόνο στο δυτικό τμήμα αυτής παρά την κοινή πλευρά με το όμορο λατομείο μαρμάρων της Καθολικής Συκάλλου – Χαλκιά. Στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα του Λατομικού χώρου εμφανίζονται ενστρώσεις αμφιβολίτη – γνεύσιου (μη μαρμαροφόρος σχηματισμός) σε επαφή με τα μάρμαρα. Τα μάρμαρα είναι γενικά μικροκρυσταλλικά, λευκού χρωματισμού.(13)

8.3. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ.

Όπως προαναφέρθηκε, αντικείμενο εκμετάλλευσης στην περιοχή μελέτης, αποτελεί το κοιτάσμα λευκού μαρμάρου, που υφίσταται εκμετάλλευση από 35ετίας και πλέον στην ευρύτερη περιοχή από διάφορους εκμεταλλευτές. Εμπορικά πρόκειται για το γνωστό με την ονομασία «ΛΕΥΚΟ ΜΑΡΜΑΡΟ ΝΑΞΟΥ».

Στην περιοχή μελέτης, οι συμπαγείς όγκοι, δηλ. τα σώματα βάθους που θεωρούνται κατάλληλα για την εξόρυξη ογκομαρμάρων, συναντώνται περίπου στο 35% της έκτασης και μάλιστα στο δυτικό τμήμα του λατομικού χώρου, κατά μήκος των πλευρών Γ-Δ με το όμορο λατομείο της Κ. Συκάλλου- Χαλκιά, σε όλο το μήκος της πλευράς και μέχρι βάθους 80 περίπου. Ο μαρμαροφόρος αυτός σχηματισμός έχει πάχος 60-80 m περίπου στο τμήμα του παρόντος λατομικού χώρου και 30-40m περίπου στο τμήμα του όμορου στα δυτικά του λατομείου, που στις παρυφές της παράταξης του αποσφηνούται, ενώ κατά την κατακόρυφη ανάπτυξη του η μαρμαροφορία έχει εντοπιστεί μέχρι το απόλυτο υψόμετρο Υ +460. Στα κατώτερα του Υ+460 υψόμετρα, τα μάρμαρα παρουσιάζονται τεκτονισμένα και ακατάλληλα για εκμετάλλευση. Σαν υπερκείμενος και υποκείμενος σχηματισμός σε συμφωνία με τα μάρμαρα παρουσιάζονται οι γλωριτο-σερικιτικοί και επιδοτιτικοί γλαυκοφανικοί σχιστόλιθοι. Η διεύθυνση του μαρμαροφόρου σχηματισμού είναι Β-Ν και η κλίση 75°-80° Ανατολικά. Η μορφή και η κατεύθυνση του κοιτάσματος φαίνεται στον γεωλογικό χάρτη και τις γεωλογικές τομές που ακολουθούν.

Από τις μέχρι τώρα εργασίες στον λατομικό χώρο και την έως σήμερα ανάπτυξη μετώπων, φαίνεται ότι ο συντελεστής αποληψιμότητας στον συνολικά εξορυσσόμενο

όγκο και για υγιή- διαμορφωμένα ογκομάρμαρα και ξοφάρια, κυμαίνεται γύρω στο 30%.

Αποθέματα

Ο υπολογισμός των υπολειπόμενων απολήψιμων αποθεμάτων του χώρου, έγινε με τη μέθοδο των παράλληλων κατακόρυφων γεωλογικών τομών και τον υπολογισμό του μεταξύ τους όγκου. Σχεδιάστηκαν και εμβαδομετρήθηκαν τρεις (3) τομές και οι σχετικοί υπολογισμοί δίδονται σε πίνακα. Στις ίδιες τομές απεικονίστηκε και η αναμενόμενη τελική μορφή της εκμετάλλευσης για τον υπολογισμό των απολήψιμων αποθεμάτων, ενώ κατά τον υπολογισμό των απολήψιμων αποθεμάτων έγινε δεκτό ότι στην κοινή πλευρά Γ-Δ με το όμορο λατομείο μαρμάρων της Κ.-Συκάλλου-Χαλκιά, δεν θα εγκαταλειφθεί ζώνη προστασίας πλάτους 8m, λόγω συνεκμετάλλευσης της κοινής πλευράς.

Με βάση τα γνωστά στοιχεία του χώρου, τα υπολογιζόμενα απολήψιμα αποθέματα ταξινομούνται, με βάση τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και τον βαθμό αβεβαιότητας στη σχεδίαση, στην κατηγορία των βέβαιων – πιθανών. Όπως δίνεται στον πίνακα ο μαρμαροφόρος σχηματισμός έχει όγκο της τάξεως των 400000 m³ που αντιπροσωπεύει παραγωγή εμπορεύσιμων μαρμάρων και ξοφαριών της τάξεως των 120.000m³. Δεν υπολογίζονται πιθανά-δυνατά αποθέματα κάτωθεν του υψομέτρου Υ+448, τα οποία πιθανόν να είναι σημαντικά. Εξάλλου, τα παραπάνω υπολογισθέντα αποθέματα επαρκούν για την απρόσκοπτη λειτουργία του λατομείου για περισσότερα από τα πρώτα 15 χρόνια ζωής της λατομικής εκμετάλλευσης (40 χρόνια συνολική διάρκεια ζωής).(13)

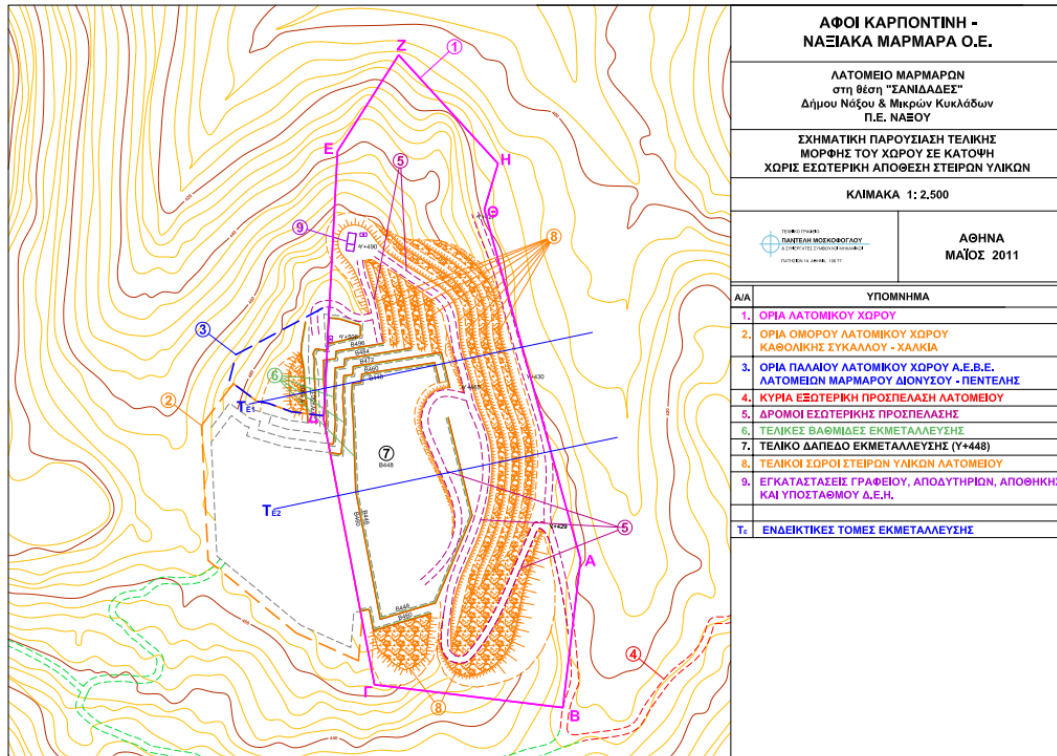
Παρακάτω παρατίθεται πίνακας υπολογισμού των αποθεμάτων του λατομικού χώρου.

Πίνακας 8-2 : Πίνακας Υπολογισμού Αποθεμάτων Λατομικού Χώρου

ΠΙΝΑΚΑΣ υπολογισμού αποθεμάτων λατομικού χώρου					
Τομέας	Απόσταση μεταξύ τομών (m)	Εμβαδό πάνω στην τομή (m ²)		Όγκος μεταξύ τομών (m ³ in situ)	
		Γεωλογικά *	Απολήψιμα **	Γεωλογικά	Απολήψιμα
T1	100	1.340	978	211.200	177.150
T2		2.884	2.565		
T3		2.024	1.984		
Όγκος εκμεταλλεύσιμου σχηματισμού (V) in situ				456.600	404.600
Συνολικά αποθέματα σε ογκομάρα και ξοφάρια (V x 0,30) σε m ³					121.380
Συνολικός Όγκος εξορυσσομένων στείρων υλικών (V x 0,70) σε m ³					283.220
Συνολικός Όγκος επιπλησμένων στείρων υλικών (V x 0,7 x 1,4) σε m ³					396.508

Σημείωση:

* & ** : Τα γεωλογικά αποθέματα του μαρμαροφόρου σχηματισμού στην παρούσα περίπτωση ταυτίζονται σχεδόν με τα απολήψιμα αποθέματα μαρμάρου, λόγω της συνεκμετάλλευσης της κοινής πλευράς των ορίων των δυο λατομείων.



Διάγραμμα 8-3: Σχηματική παρουσίαση τελικής μορφής λατομείου

8.4. Ποιότητα και χαρακτηριστικά του πετρώματος

Τα ογκομάρμαρα του λατομείου της περιοχής μελέτης η οποία υφίσταται εκμετάλλευση άνω της 35ετίας από την προηγούμενη εκμεταλλεύτρια εταιρεία, έχουν επεξεργαστεί σε μονάδες κοπής επεξεργασίας και έχουν κοπεί (τόσο στα τελάρα όσο και σε μηχανήματα κοπής με οριζόντιο- κάθετο δίσκο) και στίλβωθεί. Δέχονται άριστο στίλβωμα (αποτέλεσμα της κρυσταλλικότητας του πετρώματος, ενώ οι όγκοι δεν παρουσιάζουν γενικά προβλήματα ή ελαττώματα κατά την κοπή τους. Αποδόσεις της τάξεως των 25-35 m²/m³ όγκου (σε πλάκες πάχους 2,0 cm) είναι συνηθισμένες.

Από δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε δοκίμια μαρμάρου προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα (φυσικομηχανικές ιδιότητες):

- Ειδικό βάρος 2,710 kg/m³.
- Συντελεστής υδατοαπορροφητικότητας 0,10 Wt%
- Αντοχή σε Θλίψη 900 kg/m³.
- Αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη 131kg/cm².
- Αντοχή σε φθορά από τριβή 8,51 mm

Σε ότι αφορά τη χημική και ορυκτολογική σύσταση, αυτή ανταποκρίνεται στα εξής:

Χημική Σύσταση

- Οξείδιο του ασβεστίου (CaO) 55,60%
- Οξείδιο του μαγνησίου (MgO) 0,50%
- Διοξείδιο του πυριτίου (SiO₂) 0,10%
- Οξείδιο του αργιλίου (Al₂O₃) 0,09%
- Τριοξείδιο του σιδήρου (Fe₂O₃) 0,11%
- οξείδιο του καλίου (K₂O) 0,02%
- οξείδιο του νατρίου (Na₂O) 0,06%
- Απώλεια κατά την πύρωση (CO₂) 43,00%

Ορυκτολογική σύσταση :

- Ασβεστίτης 99,00%
- Δολομίτης, χαλαζίας 1,00% (13)

9. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

9.1. Αρχική Θραύση

Παρελήφθησαν δείγματα μάρμαρου από το λατομείο του Κυνίδαρου στη Νάξο, συνολικού βάρους 71,85 kg περίπου. Τα δείγματα αυτά χωρίστηκαν σε 3 κατηγορίες ανάλογα με την ποιότητα του κάθε μάρμαρου. Αφού ζυγίστηκαν ξεχωριστά προέκυψε ότι είχαμε:

- 31,43 kg Γκρίζου μάρμαρου (3^η ποιότητα),
- 20,65 kg Ημίλευκου μάρμαρου (2^η ποιότητα) και
- 19,77 kg Λευκού μάρμαρου η αλλιώς κρυσταλλίνες (1^η ποιότητα).

Στην συνέχεια μεταφέρθηκαν στο σιαγονοτό θραυστήρα του εργαστηρίου εμπλουτισμού της σχόλης και θραύστηκαν με άνοιγμα θραυστήρα -4mm (μέγιστο άνοιγμα).

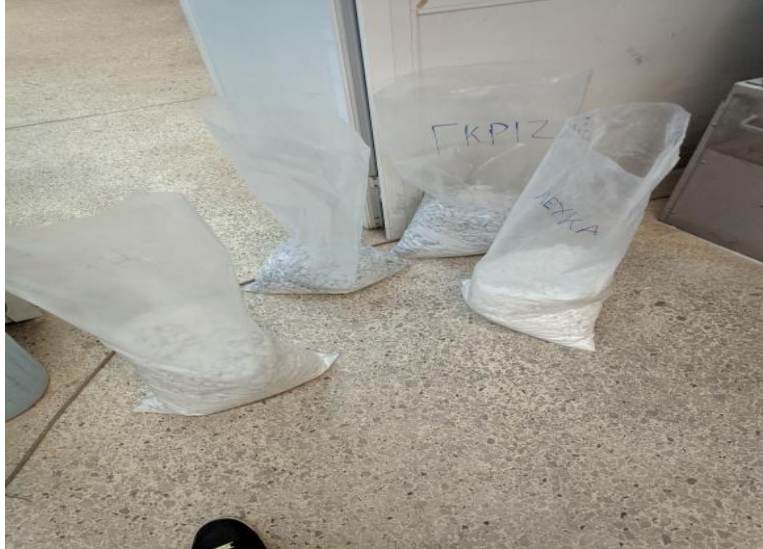


Εικόνα 9-1: Χοάνη τροφοδοσίας σιαγονοτού θραυστήρα

Εικόνα 9-2: Φωτογραφία δειγμάτων σε αρχική μορφή

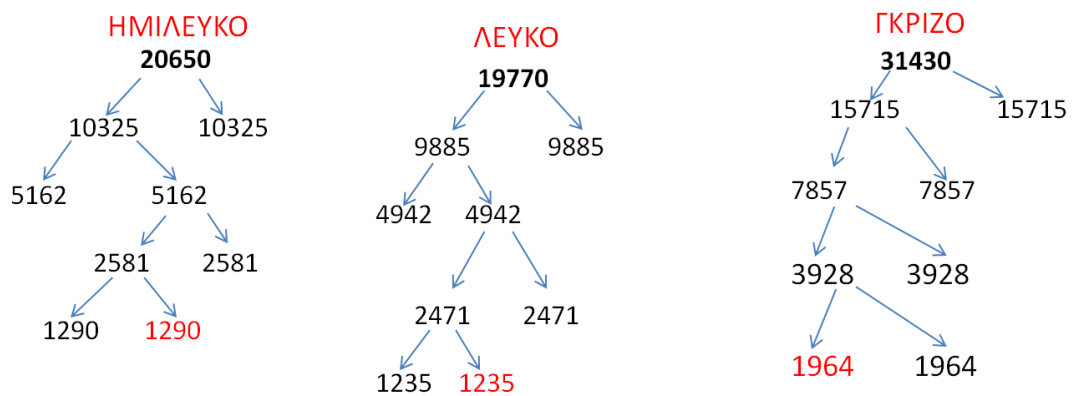
Για λόγους καλύτερης διαχείρισης επιλέχτηκε να σπάσουν αρχικά σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερα κομμάτια έτσι ώστε να χωριστούν στις δοκιμές μετέπειτα. Αυτό

πρόσφερε ευελιξία στη διαχείριση των δειγμάτων άλλα ταυτόχρονα περισσότερη εργασία.



Εικόνα 9-3: Δείγματα έπειτα από πρωτογενή θραύση

Μετά τη θραύση τα δείγματα τροφοδοτήθηκαν, ανά ποιότητες, στο δειγματολήπτη Jones όπου εν τέλει συλλέχτηκαν 1,76 kg γκριζο, 1,09kg λευκό και 1,21kg ημίλευκο μάρμαρο. Αυτά με τη σειρά τους χρησιμοποιήθηκαν για ορυκτολογική και χημική ανάλυση.



Εικόνα 9-4: Δεντράκια αρχικής δειγματοληψίας



Εικόνα 9-5: Δείγματα ανά ποιότητα πού προορίζονται για χημική και ορυκτολογική ανάλυση

9.2. Απώλεια Πύρωσης στους 1000°C

Εισαγωγή

Η απώλεια πύρωσης ασβεστολιθικού υλικού σε θερμοκρασία $975 \pm 25^\circ\text{C}$ είναι η δοκιμή με την οποία προσδιορίζεται η κατά βάρος % απώλεια που αντιστοιχεί στο εκλύμενο CO_2 του CaCO_3 και στο κρυσταλλικό νερό των δειγμάτων. Το κρυσταλλικό νερό δεν απομακρύνεται με την εξάτμιση όπως η υγρασία, επομένως η περιεκτικότητά του προσδιορίζεται με την απώλεια πύρωσης και έπειτα προστίθεται στο ισοζύγιο περιεκτικότητων στη χημική ανάλυση.

Προετοιμασία δείγματος

Μετά τον διαχωρισμό επιλέχτηκε το 50% του κάθε υλικού: 980 g Γκρίζο, 645g Ημίλευκο και 617g Λευκό και με τη χρήση του θραυστήρα σιαγόνων RHINO TM θραύστηκαν σε μεγέθη μικρότερα από 4 mm περίπου και στην συνέχεια με τη χρήση κατάλληλου μύλου (λειοτριβέα) μετατράπηκαν σε πούδρα.



Εικόνα 9-6: Μύλος Άλεσης δειγμάτων



Εικόνα 9-7: Δείγμα έπειτα από άλεση

Πριν από τη χημική και ορυκτολογική ανάλυση έπρεπε προσδιοριστεί η απώλεια πύρωσης. Για την απώλεια πύρωσης πάρθηκαν 10g από το κάθε υλικό τοποθετήθηκαν σε πορσελάνινες κάψες και αυτές με τη σειρά τους στο φούρνο. Ο κλίβανος τέθηκε σε λειτουργία στους 1000°C για 2 ώρες. Τέλος μετρήθηκε το βάρος

του δείγματος μετά το φούρνο και αφαιρέθηκε από το αρχικό ώστε να προκύψει η απώλεια πύρωσης.

Αποτελέσματα

Απώλεια πύρωσης: $\text{Π}\% = [(A-B)/A]*100$

Π% = ποσοστό επί τις 100

A= Αρχικό βάρος δείγματος, g

B= Τελικό βάρος δείγματος, g

Γκρίζο: $\text{Π}\% = [(10,07-5,65)/10,09]*100=44\%$

Ημίλευκο: $\text{Π}\% = [(10,04-5,64)/10,04]*100=43,82\%$

Λευκό: $\text{Π}\% = [(10-5,61)/10]*100=43,9\%$

Συμπεράσματα

Η απώλεια πύρωσης προέκυψε όσο ήταν αναμενόμενο να προκύψει. Στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί στο ισοζύγιο Χημικής Ανάλυσης.

9.3. Χημική Ανάλυση

Εισαγωγή

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για τις χημικές αναλύσεις είναι το Rigaku, ZSX Primus IV, Tube-Above Sequential Wavelength Dispersive X-RAY Fluorescence Spectrometer. Η χημική ανάλυση έγινε με σκοπό να προσδιοριστεί το ποσοστό του οξειδίου του ασβεστίου καθώς αυτό υποδηλώνει ποσό καθαρό είναι το πέτρωμα αλλά και τα υπόλοιπα ποσοστά από τις τυχόν προσμίξεις που μπορεί να υπάρχουν.

Προετοιμασία δείγματος για ανάλυση

Τα δείγματα, αφού λειοτριβηθούν και ομογενοποιηθούν, διαμορφώνονται συνήθως σε λεπτά δισκία με τη βοήθεια υδραυλικού πιεστηρίου.

Αποτελέσματα

Χημική Σύσταση - Γκρίζο

- Οξείδιο του ασβεστίου (CaO) 54,30%

• Οξείδιο του μαγνησίου (MgO)	0,365%
• Διοξείδιο του πυριτίου (SiO ₂)	0,0257%
• Οξείδιο του αργιλίου (Al ₂ O ₃)	0,01%
• Τριοξείδιο του σιδήρου (Fe ₂ O ₃)	0,136%
• Διοξείδιο του νατρίου (Na ₂ O)	0.017%
• Απώλεια κατά την πύρωση (CO ₂)	45,00%

Χημική Σύσταση - Ημίλευκο

• Οξείδιο του ασβεστίου(CaO)	54,50%
• Οξείδιο του μαγνησίου (MgO)	0,279%
• Διοξείδιο του πυριτίου (SiO ₂)	0,0275%
• Οξείδιο του αργιλίου (Al ₂ O ₃)	0,0559%
• Τριοξείδιο του σιδήρου (Fe ₂ O ₃)	0,0382%
• Διοξείδιο του νατρίου (Na ₂ O)	0.0192%
• Απώλεια κατά την πύρωση (CO ₂)	45,00%

Χημική Σύσταση - Λευκό

• Οξείδιο του ασβεστίου (CaO)	54,60%
• Οξείδιο του μαγνησίου (MgO)	0,188%
• Διοξείδιο του πυριτίου (SiO ₂)	0,0179%
• Οξείδιο του αργιλίου (Al ₂ O ₃)	0,139%
• Τριοξείδιο του σιδήρου (Fe ₂ O ₃)	0,0218%
• Διοξείδιο του νατρίου (Na ₂ O)	0.0175%
• Απώλεια κατά την πύρωση (CO ₂)	45,00%

Συμπεράσματα χημικών αναλύσεων.

Πρόκειται για πολύ καθαρά μάρμαρα με ελάχιστες έως μηδενικές προσμίξεις. Το Γκρίζο δείγμα έχει λίγο μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε MgO από τα άλλα δυο, γι' αυτό το χρώμα του είναι γκρίζο, ενώ το Ημίλευκο και το Λευκό δείχνουν να είναι εξίσου καλά. Ακόμη παρατηρείται ότι το γκρίζο έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε τριοξείδιο του σιδήρου σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα γεγονός που προδιαθέτει για αυξημένη κιτρινίλα στα ογκομάρμαρα του γκρίζου. Η ποιότητα των δειγμάτων δείχνει να είναι άριστη.



Εικόνα 9-8: Δείγματα έπειτα από τη μέτρηση απώλειας πύρωσης



Εικόνα 9-9: Τοποθέτηση δειγμάτων στο φούρνο

9.4. Ορυκτολογική Ανάλυση

Εισαγωγή

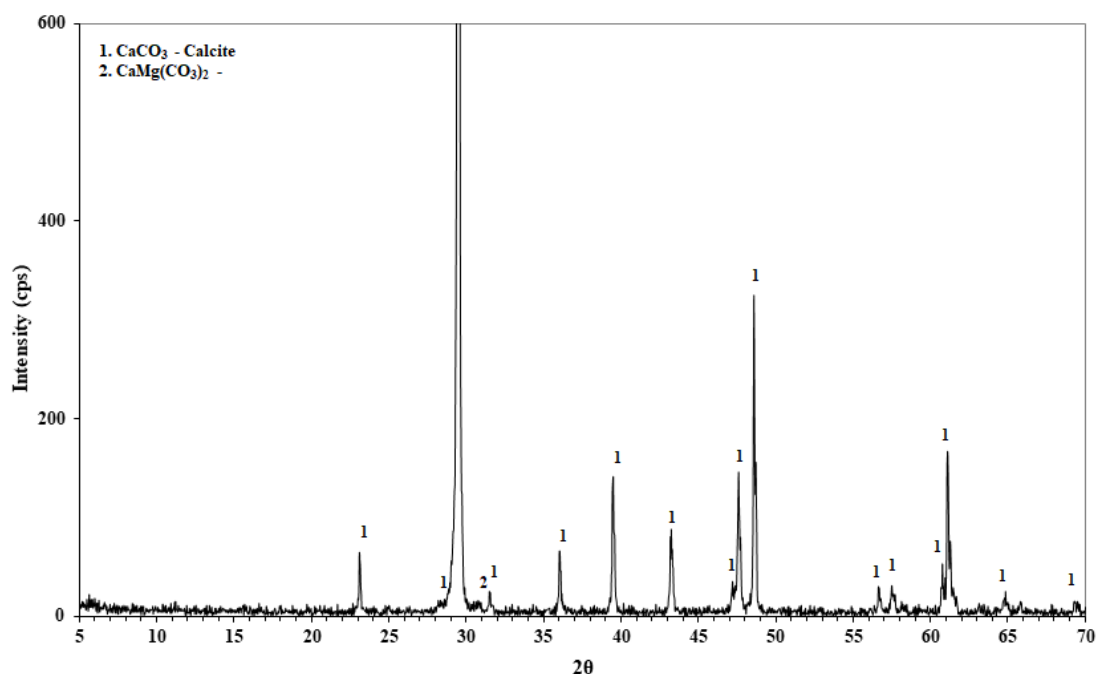
Για την εκτέλεση των ορυκτολογικών αναλύσεων χρησιμοποιήθηκε ο Τύπος XRD Bruker D8 Focus. Με την ορυκτολογική ανάλυση ταυτοποιούνται τα ορυκτά από τα οποία αποτελείται κάθε ένα από τα 3 δείγματα των διαφορετικών μαρμάρων.

Προετοιμασία δείγματος

Τα δείγματα αναλύονται ως λεπτομερείς σκόνες. Το περιθλασίμετρο Bruker D8-Focus, διαθέτει άνοδο χαλκού με μήκος κύματος εκπεμπόμενης ακτινοβολίας $\lambda=1.5406\text{\AA}$, στα $V=40\text{ KV}$ και $I=30\text{mA}$. Η γωνία 2θ (θ η γωνία της συνθήκης Bragg) έλαβε όλες τις δυνατές τιμές μεταξύ 5° και 70° και το βήμα που εφαρμόστηκε, ήταν, σε όλες τις περιπτώσεις, $0.02^\circ/\text{sec}$. Τα φάσματα που προέκυψαν συγκρίθηκαν με αυτόματο τρόπο με τα πρότυπα από την τράπεζα του Διεθνούς Κέντρου για Δεδομένα Περίθλασης (ICDD), μέσω του λογισμικού του περιθλασίμετρου.

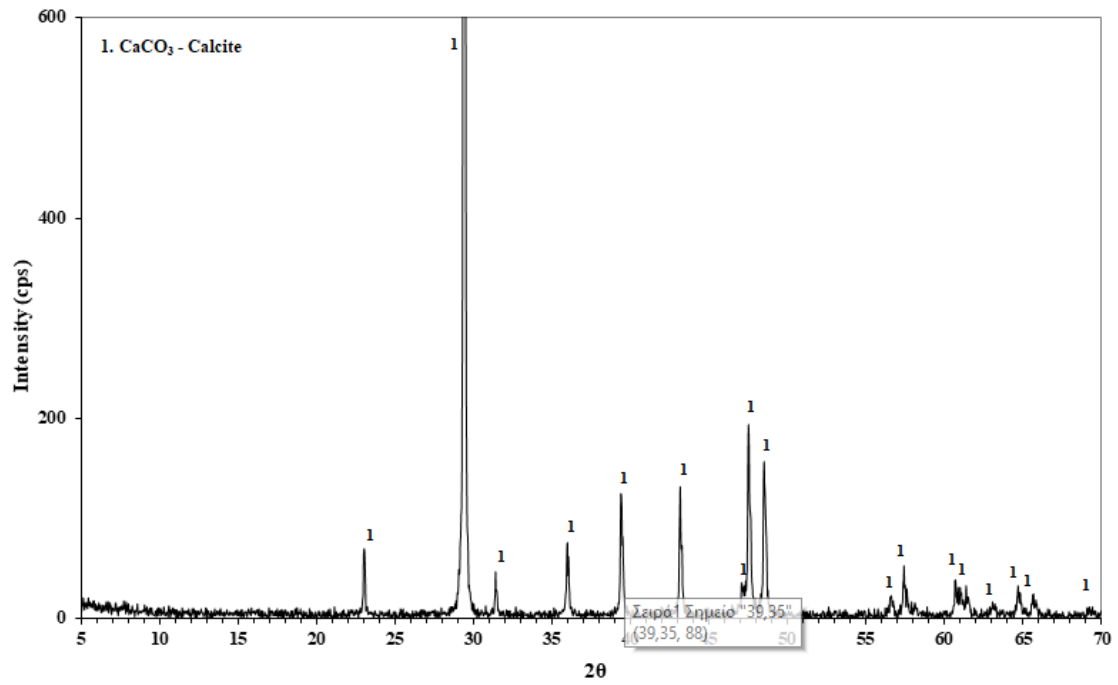
Αποτελέσματα

Γκρίζο



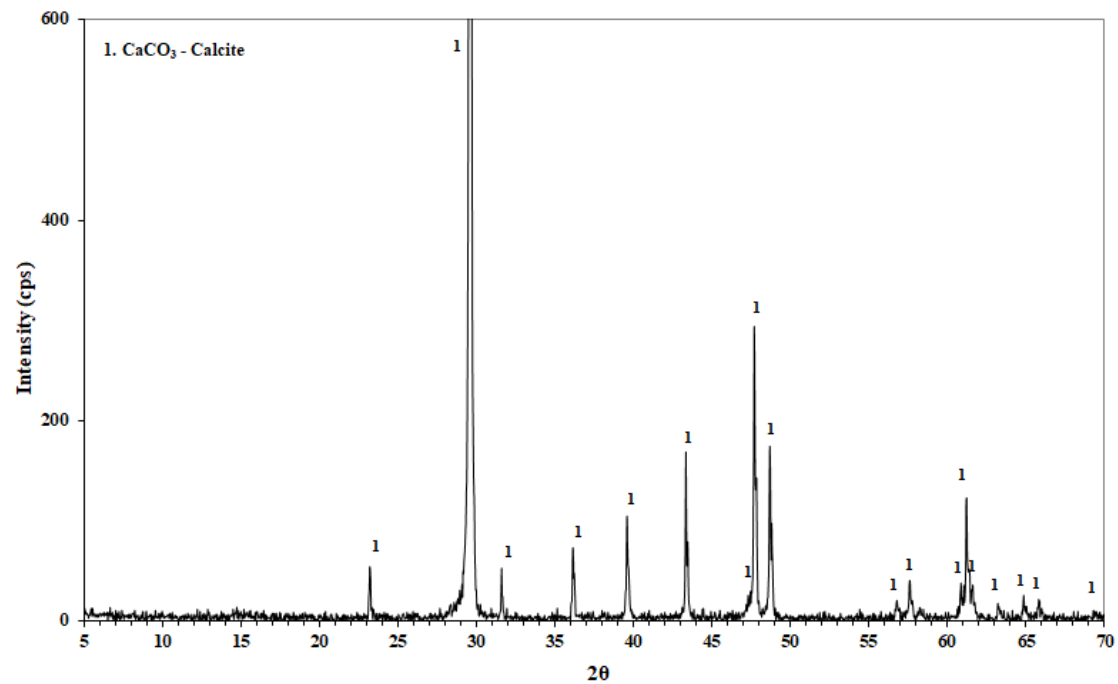
Διάγραμμα 9-1: Διάγραμμα XRD γκρίζον μαρμάρον.

Ημίλευκο



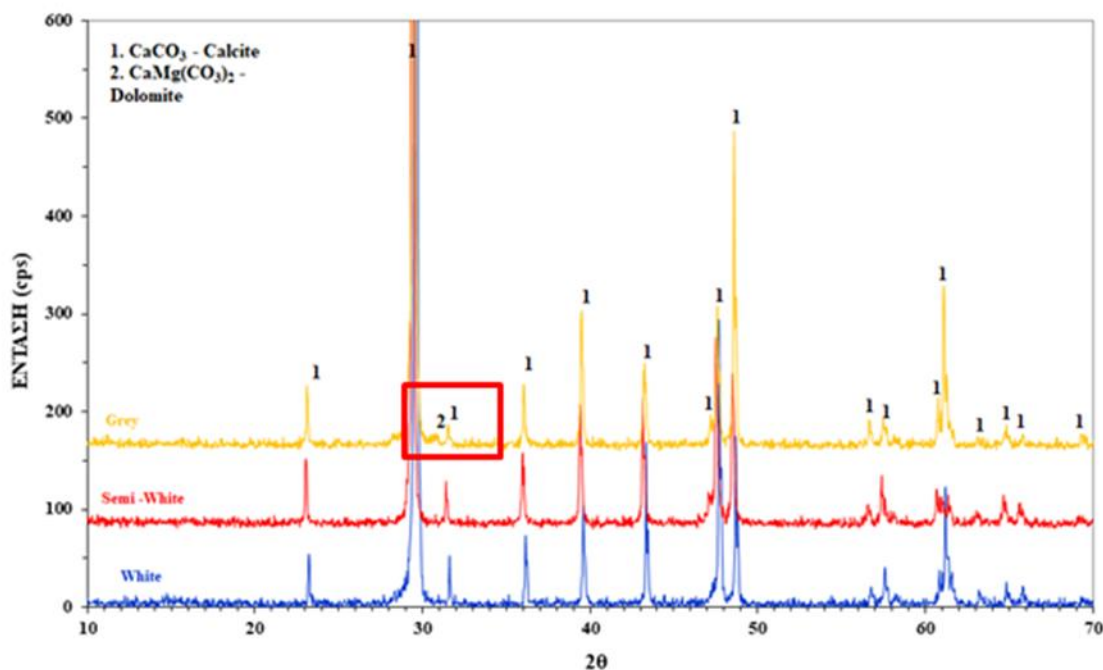
Διάγραμμα 9-2: Διάγραμμα XRD ημίλευκου μαρμάρου.

Λευκό



Διάγραμμα 9-3: Διάγραμμα XRD λευκού μαρμάρου.

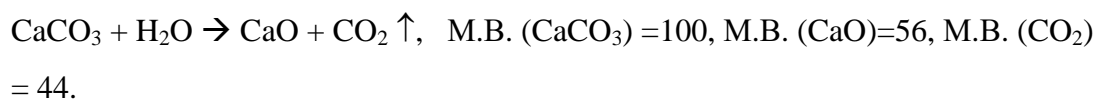
Συμπεράσματα



Διάγραμμα 9-4: Σύγκριση διαγραμμάτων XRD.

Από το συγκεντρωτικό διάγραμμα 8.4 προκύπτει ότι και τα 3 διαγράμματα είναι πανομοιότυπα. Η μόνη διαφορά είναι στο διάγραμμα του Γκρι δείγματος όπου παρατηρείται μια νέα κορυφή (νούμερο 2) διαφορετική από τις υπόλοιπες, η οποία υποδηλώνει την ύπαρξη μικρής ποσότητας δολομίτη (CaMg(CO₃)₂) στο συγκεκριμένο δείγμα.

Συγκεκριμένα, τα ποσοστά CO₂, τα οποία προκύπτουν ακριβώς για κάθε διάγραμμα, υπολογίζονται από την παρακάτω αντίδραση:



Συγκεκριμένα, οι απώλειες πύρωσης που προσδιορίστηκαν είναι:

Γκρίζο: Π%=44%

Ημίλευκο: Π%=43,82%

Λευκό: Π%=43,9%

9.5. Λευκότητα

Εισαγωγή

Η μέτρηση της λευκότητας του δείγματος πραγματοποιήθηκε στα εργαστήρια του Διόνυσου της εταιρείας DIONYSSOMARBLE με χρήση συσκευής *HunterLab ColorFlex*. Η λευκότητα προσδιορίζεται αυτόματα από τη συσκευή μέτρησης.



Εικόνα 9-10: Δονούμενο κόσκινο Retsch.



Εικόνα 9-11: Συσκευή Colorflex Hunterlab.

Ρυθμίζεται το όργανο έτσι ώστε να δουλεύει σωστά με τις προτιμήσεις μας. Έπειτα «καλιμπράρεται» το όργανο με ένα μαύρο πρότυπο, κατόπιν με ένα λευκό πρότυπο και στη συνέχεια το δείγμα τοποθετείται για μέτρηση. Το όργανο συγκρίνει το δείγμα με τα πρότυπα που εξετάζονται αρχικά και στη συνέχεια δίνει το αποτέλεσμα της μέτρησης.

Όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το δείγμα, τόσο πιο αντικειμενική είναι η μέτρηση, καθώς δεν υπάρχουν κενά, τα οποία το όργανο αντιλαμβάνεται σαν σκιές που επηρεάζουν αρνητικά τη μέτρηση.

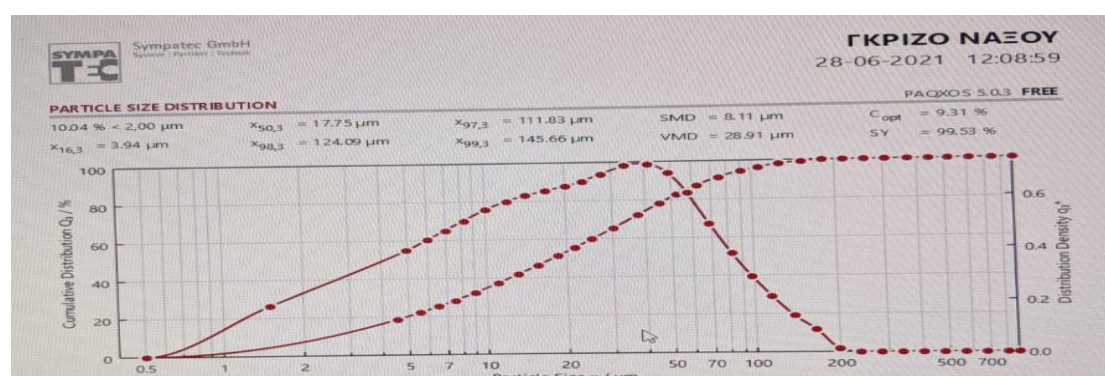
Προετοιμασία δείγματος

Από το ήδη λειοτριβημένο μάρμαρο πάρθηκε ένα δείγμα για κάθε ποιότητα στο οποίο χρησιμοποιήθηκε το γουδί σε πορσελάνινο μπολ έτσι ώστε να επιτευχθεί κοκκομετρία $-0,045 \text{ mm}$. Έπειτα από πολλαπλές κοσκινίσεις, προέκυψαν 3 δείγματα διαφορετικών ποιοτήτων τα οποία όλα είχαν το 80% κάτω από $0,046 \text{ mm}$.

Στην συνέχεια και έπειτα από συνεννόηση με τον Κύριο Σωτήρη Τρυποσκούφη, Μηχανικό Μεταλλειολόγο και Υπεύθυνο Λατομείου Διόνυσου, το δείγμα μεταφέρθηκε στο εργαστήριο της εταιρείας DIONYSSOMARBLE όπου έγιναν οι μετρήσεις λευκότητας. Αρχικά στο εργαστήριο έγινε κοσκίνηση σε δονούμενο κόσκινο για την απόρριψη τυχόν «μεγάλων» τεμαχίων και έπειτα μέτρηση της κοκκομετρίας και της λευκότητας του κάθε δείγματος.

Αποτελέσματα

Γκρίζο



Διάγραμμα 9-5: Κοκκομετρική καμπύλη γκρίζου δείγματος κατά τη μέτρηση λευκότητας

Λεπτότητα κόκκων $d(0,97)=112 \mu\text{m}$

Μέσο μέγεθος κόκκων $d(0,50)=18 \mu\text{m}$

Κόκκοι λεπτότεροι από 2 $\mu\text{m}=10 \%$

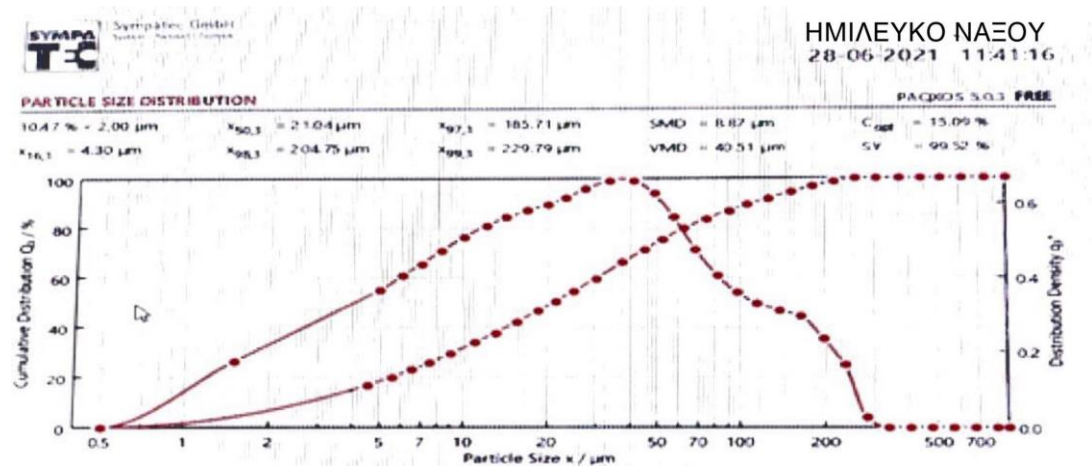
$\Delta L^*=93\%$ (Λευκότητα)

$D\alpha^*=0,2\%$

$\Delta b^*=1,59\%$ (Κιτρινίλα)

$\Delta E^*=93\%$

Ημίλευκο



Διάγραμμα 9-6: Κοκκομετρική καμπύλη Ημίλευκου δείγματος κατά τη μέτρηση λευκότητας

Λεπτότητα κόκκων $d(0,97) = 186 \mu\text{m}$

Μέσο μέγεθος κόκκων $d(0,50) = 21 \mu\text{m}$

Κόκκοι λεπτότεροι από $2 \mu\text{m} = 10 \%$

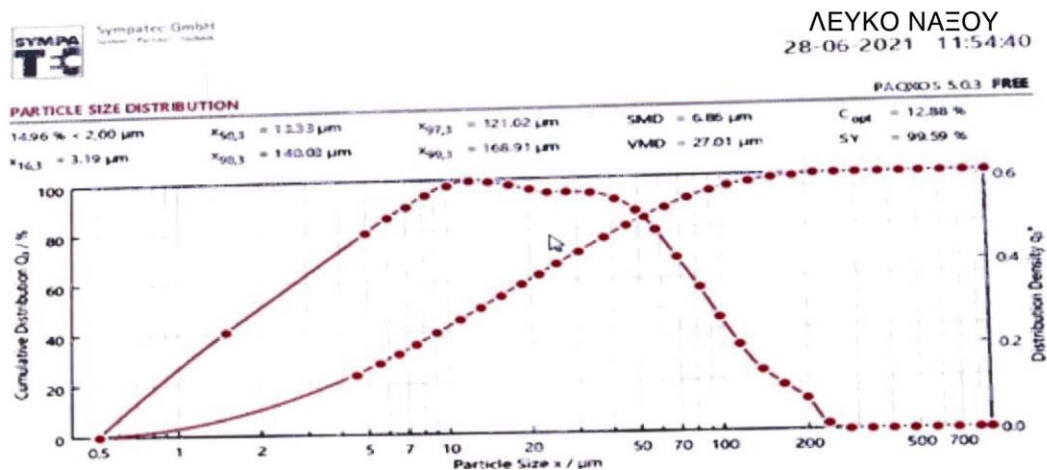
$\Delta L^* = 95\%$ (Λευκότητα)

$D_a^* = 0,14\%$

$\Delta b^* = 1,26\%$ (κιτρινίλα)

$\Delta E^* = 95\%$

Λευκό



Διάγραμμα 9-7: Κοκκομετρική καμπύλη Λευκού δείγματος κατά τη μέτρηση λευκότητας

Λεπτότητα κόκκων $d(0,97)=121 \mu\text{m}$

Μέσο μέγεθος κόκκων $d(0,50)=13 \mu\text{m}$

Κόκκοι λεπτότεροι από $2 \mu\text{m} = 15 \%$

$\Delta L^* = 97\%$ (Λευκότητα)

$D_a^* = 0,17\%$

$\Delta b^* = 1,17\%$ (κιτρινίλα)

$\Delta E^* = 97\%$

Συμπεράσματα

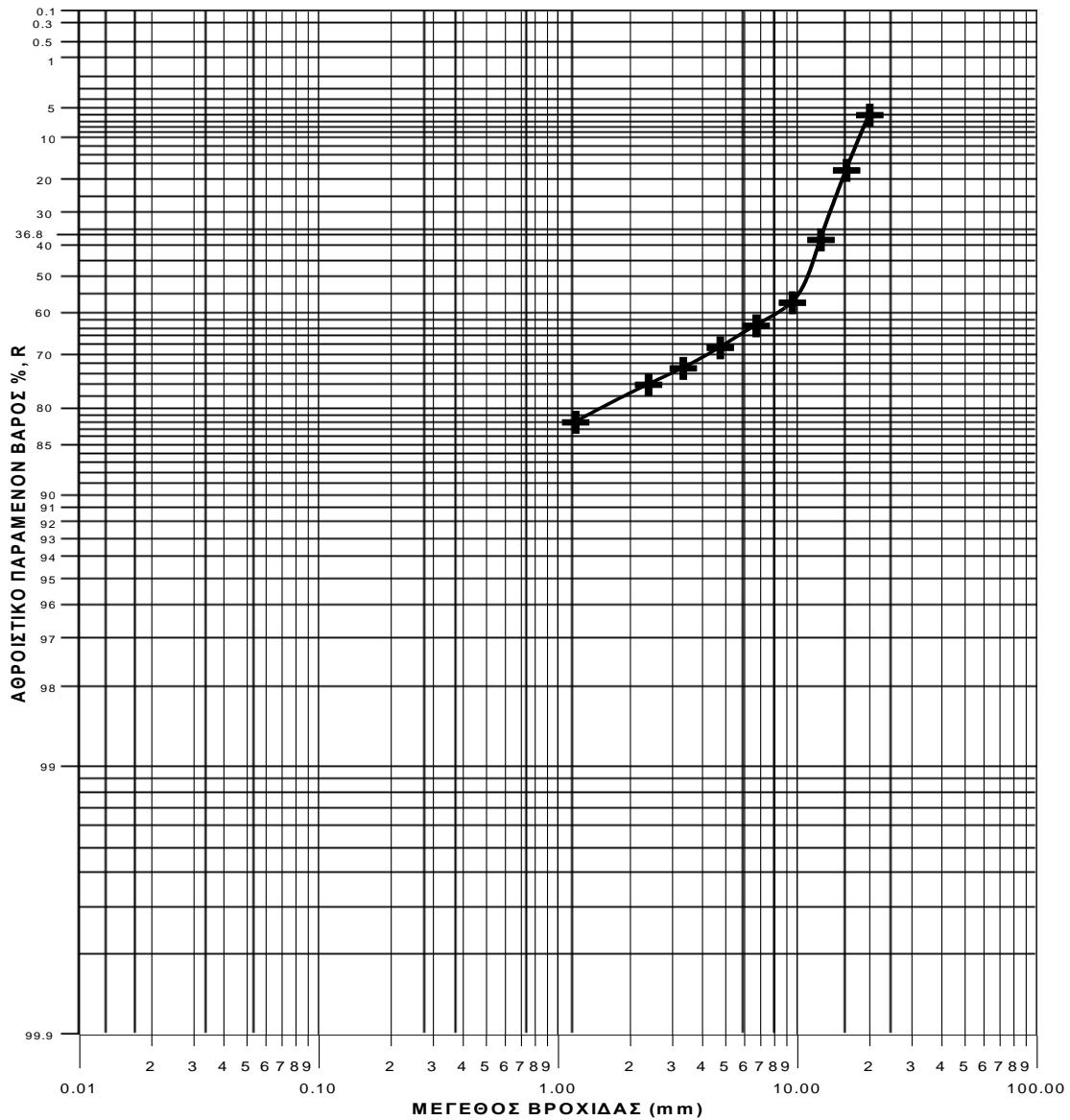
Οι λευκότητες σε γενικές γραμμές έχουν πολύ καλές τιμές. Οι τιμές (αποτελέσματα) των δειγμάτων της συγκεκριμένης μέτρησης δεν μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους διότι καμιά από τις τρεις δεν έχει ίδια κοκκομετρία. Και τα τρία (3) δείγματα δίνουν καλές τιμές λευκότητας. Επίσης, με πιο λεπτομερή κοκκομετρία αναμένονται καλύτερα αποτελέσματα, διότι δημιουργούνται λιγότερα κενά μεταξύ των κόκκων τα οποία σαν αποτέλεσμα δημιουργούν μικρότερες σκιές με αποτέλεσμα να δίνετε η δυνατότητα στο λέιζερ να κάνει πιο ακριβείς μετρήσεις. Επομένως, το Ημίλευκο και το Λευκό έχουν προοπτικές ακόμη και για 98-99% λευκότητα, ενώ το γκρίζο δείχνει να έχει μεγίστη τιμή περίπου 94%.

Η υπόλοιπη ποσότητα μαρμάρου κοσκινίστηκε και προέκυψαν οι παρακάτω πίνακες κοκκομετρικής ανάλυσης

Πίνακας 9-1 - ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑ 1 (ΓΚΡΙΖΟ)

Πίνακας 9.1 - ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑ 1 (ΓΚΡΙΖΟ)				
ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΒΑΡΟΣ (g)	ΒΑΡΟΣ %	Α.Β.Π. %	Α.Β.Δ. %
20	1763,4	5,93	5,93	
16	3384	11,38	17,31	94,07
12,5	6219	20,91	38,22	82,69

9,5	5637	18,95	57,17	61,78
6,7	1813	6,10	63,26	42,83
4,75	1545	5,19	68,46	36,74
3,327	1292	4,34	72,80	31,54
2,38	932	3,13	75,94	27,20
1,18	1791	6,02	81,96	24,06
-1,18	5366	18,04		18,04
	29742,4	100,00		



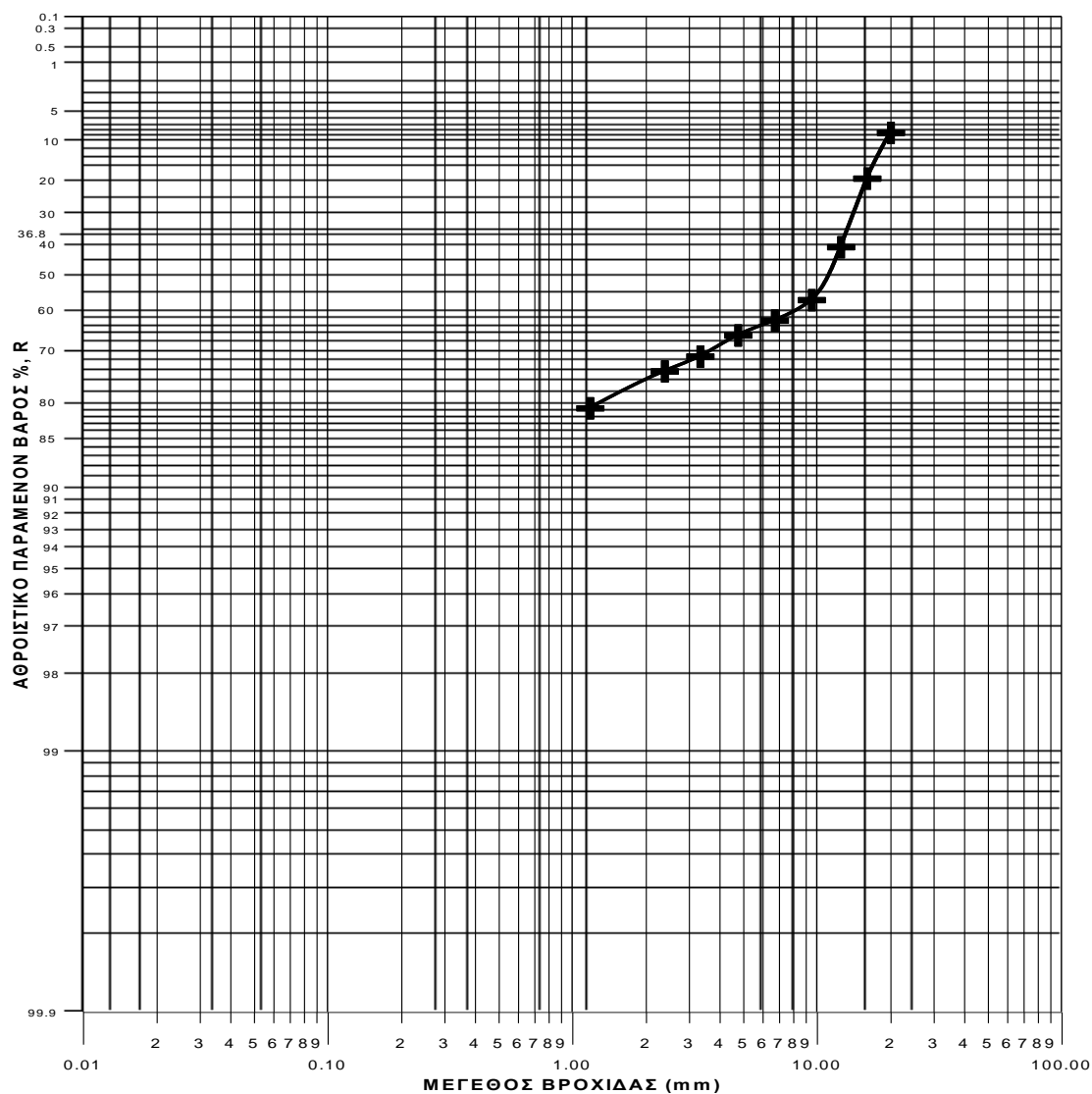
Διάγραμμα 9-8: Απεικόνιση της κοκκομετρικής ανάλυσης του υλικού αρχικής τροφοδοσίας, σε διάγραμμα R-R έπειτα από πρωτογενή θραύση. (Γκρίζο μάρμαρο)



Εικόνα 9-12: Δείγματα χωρισμένα σε κοκκομετρικά κλάσματα (Πίνακες 9-1,9-2,9-3)

Πίνακας 9-2- ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑ 2 (ΗΜΙΛΕΥΚΟ)

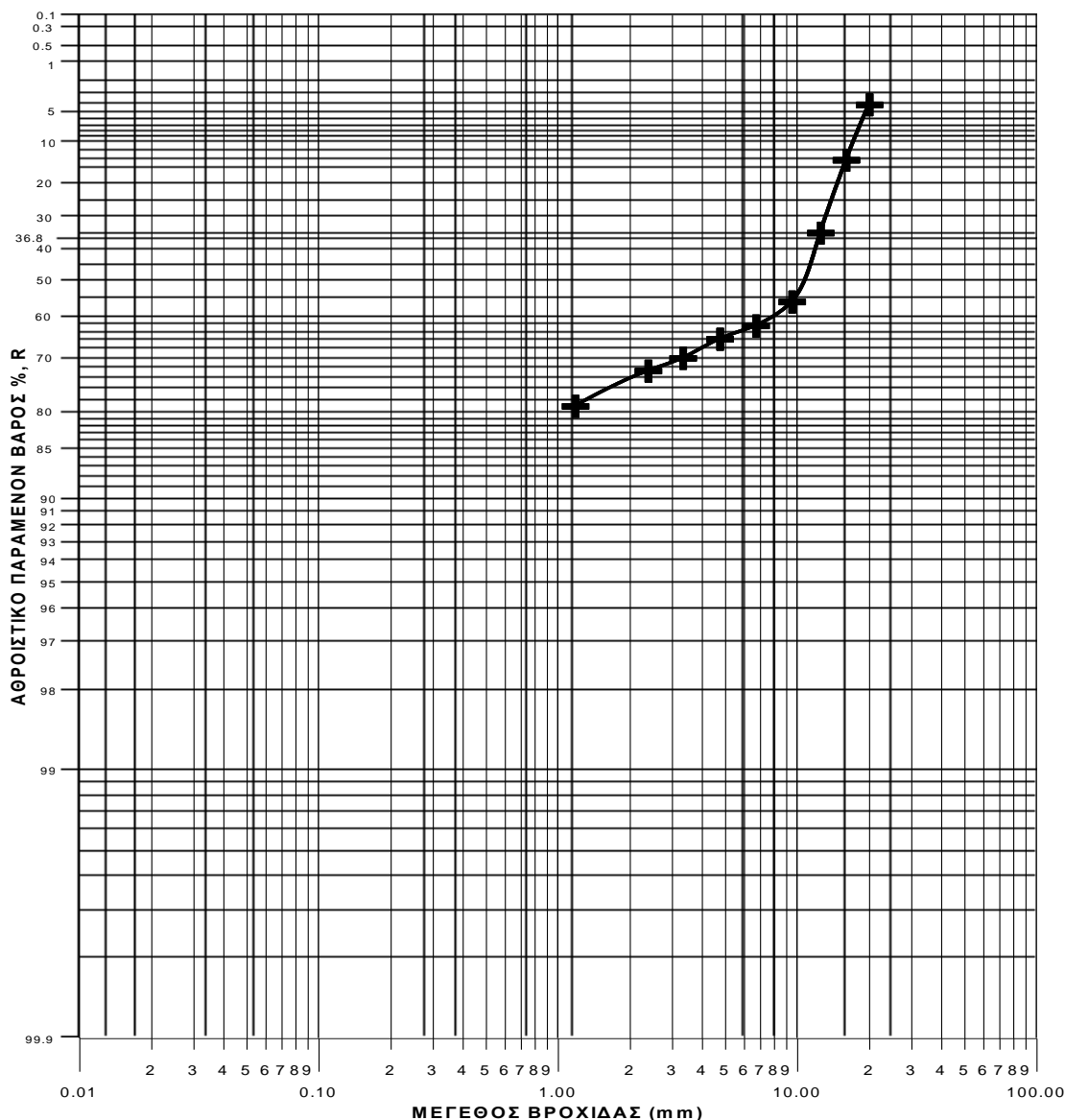
Πίνακας 9.2 - ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑ 2 (ΗΜΙΛΕΥΚΟ)				
ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΒΑΡΟΣ (g)	ΒΑΡΟΣ %	Α.Β.Π. %	Α.Β.Δ. %
20	1646	8,45	8,45	
16	2114	10,86	19,31	91,55
12,5	4200	21,57	40,88	80,69
9,5	3173	16,29	57,17	59,12
6,7	1089	5,59	62,76	42,83
4,75	721	3,70	66,47	37,24
3,327	933	4,79	71,26	33,53
2,38	598	3,07	74,33	28,74
1,18	1248	6,41	80,74	25,67
-1,18	3751	19,26		19,26
	19473	100,00		



Διάγραμμα 9-9: Απεικόνιση της κοκκομετρικής ανάλυσης του υλικού αρχικής τροφοδοσίας, σε διάγραμμα R-R έπειτα από πρωτογενή θραύση. (Ημίλευκο μάρμαρο)

Πίνακας 9-3 - ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑ 3 (ΛΕΥΚΟ)

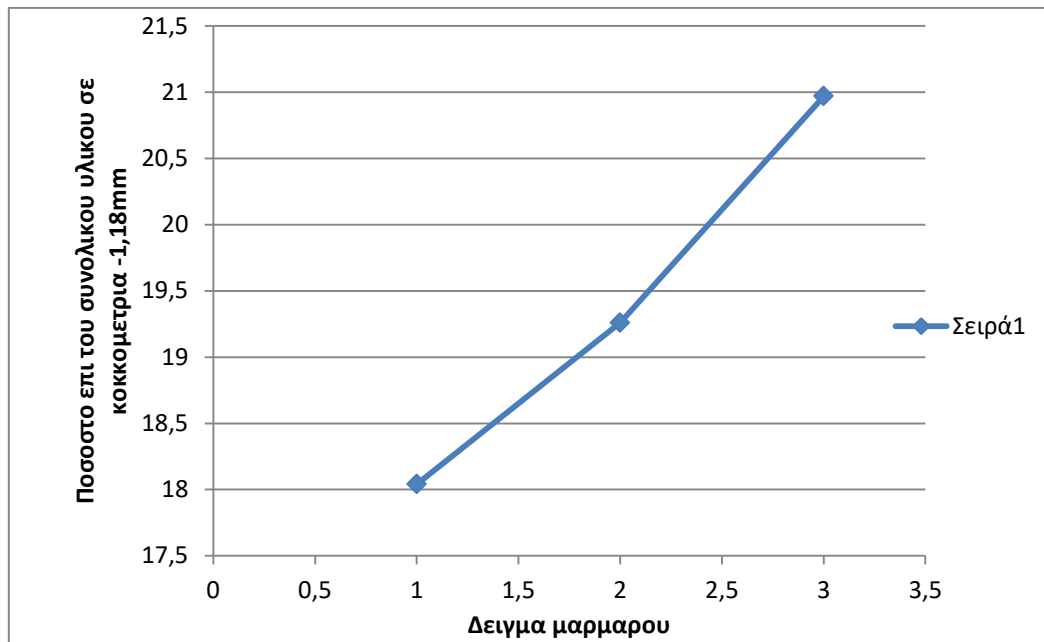
Πίνακας 9.3 - ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑ 3 (ΛΕΥΚΟ)				
ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΒΑΡΟΣ (g)	ΒΑΡΟΣ %	Α.Β.Π. %	Α.Β.Δ. %
20	774	4,14	4,14	
16	1828	9,78	13,92	95,86
12,5	3932	21,03	34,95	86,08
9,5	3936	21,05	56,01	65,05
6,7	1200	6,42	62,43	43,99
4,75	609	3,26	65,68	37,57
3,327	811	4,34	70,02	34,32
2,38	498	2,66	72,69	29,98
1,18	1186	6,34	79,03	27,31
-1,18	3920	20,97		20,97
	18694	100,00		



Διάγραμμα 9-10: Απεικόνιση της κοκκομετρικής ανάλυσης του υλικού αρχικής τροφοδοσίας, σε διάγραμμα R-R έπειτα από πρωτογενή θραύση. (Λευκό μάρμαρο)

Συμπεράσματα πρωτογενούς θραύσης

Παρατηρώντας τους πίνακες με τις κοκκομετρικές αναλύσεις έπειτα από πρωτογενή θραύση σε σιαγονωτό θραυστήρα με μέγιστο άνοιγμα αποκένωσης (4mm), είναι φανερό ότι και στους τρεις πίνακες υπάρχει πολύ μεγάλο ποσοστό σε λεπτόκοκκο υλικό (-1,18) και πολύ μικρό ποσοστό σε χοντρόκοκκο υλικό (+20mm). Αυτό προδιαθέτει ένα μαλακό υλικό χωρίς πολύ μεγάλες αντοχές και εύκολο στην λειοτρίβησή του. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η καμπύλη ποσοστού ανά δείγμα σε κοκκομετρίες -1,18mm.



Διάγραμμα 9-11: Σύγκριση ποσοστών κοκκομετρίας -1,18 ανά ποιότητα μάρμαρου.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι όσο λευκότερο είναι το δείγμα, τόσο πιο μαλακό είναι δηλ. με μικρότερες αντοχές και ευκολότερο στην λειοτρίβηση του.

9.6. LOS ANGELES

Σκοπός

Η δοκιμή Los Angeles θεωρείται η πιο κατάλληλη για τον προσδιορισμό της σκληρότητας, δυσθραυστότητας και ποσοστού μαλακών τεμαχίων των αδρανών υλικών από οποιαδήποτε άλλη δοκιμή για τους παρακάτω λόγους:

- Η δράση επί των αδρανών είναι πολύ ισχυρή, ώστε να αποκαλύπτεται οποιαδήποτε αδυναμία του υλικού
- Είναι κατάλληλη τόσο για τα θραυστά όσο και για τα φυσικά αδρανή
- Η δοκιμή είναι σχετικά σύντομη
- Δεν επηρεάζεται από τη μεταβολή του ειδικού βάρους των αδρανών, εξ αιτίας της μεγάλης χωρητικότητας του κυλινδρικού τυμπάνου της μηχανής.
- Περιορίζεται σημαντικά η υποκειμενική δράση αυτού που εκτελεί τη δοκιμή (χειριστής). Η δοκιμή, η οποία περιγράφεται παρακάτω είναι σύμφωνη με το πρότυπο A.S.T.M C 131, πρότυπο στο οποίο παραπέμπουν οι ισχύοντες ελληνικοί κανονισμοί.
- Η δράση επί των αδρανών είναι πολύ ισχυρή, ώστε να αποκαλύπτεται οποιαδήποτε αδυναμία του υλικού
- Είναι κατάλληλη τόσο για τα θραυστά όσο και για τα φυσικά αδρανή
- Η δοκιμή είναι σχετικά σύντομη
- Δεν επηρεάζεται από τη μεταβολή του ειδικού βάρους των αδρανών, εξ αιτίας της μεγάλης χωρητικότητας του κυλινδρικού τυμπάνου της μηχανής.
- Περιορίζεται σημαντικά η υποκειμενική δράση αυτού που εκτελεί τη δοκιμή (χειριστής). Η δοκιμή, η οποία περιγράφεται παρακάτω είναι σύμφωνη με το πρότυπο A.S.T.M C 131, πρότυπο στο οποίο παραπέμπουν οι ισχύοντες ελληνικοί κανονισμοί.

Περιγραφή μεθόδου

Η δοκιμή αυτή επινοήθηκε και σχεδιάστηκε το 1926 στο Εργαστήριο Δοκιμών της πόλης Los Angeles, από όπου πήρε και το όνομά της. Η μηχανή Los Angeles αποτελείται από ένα χαλύβδινο κύλινδρο, κλειστό στις άκρες του, με εσωτερική

διάμετρο $711 + 5 \text{ mm}$ ($28 + 0.2 \text{ in}$) και εσωτερικό μήκος $508 + 5 \text{ mm}$ ($20 + 0.2 \text{ in}$). Ο κύλινδρος στηρίζεται σε οριζόντιο άξονα, στον οποίο είναι στερεωμένος, αλλά δεν εισέρχεται στο εσωτερικό του κυλίνδρου. Είναι τοποθετημένος με τέτοιο τρόπο, ώστε η μηχανή να μπορεί να περιστρέφεται οριζόντια με ανοχή απόκλισης 1 στις 100 περιστροφές. Στην πλευρική επιφάνεια του κυλίνδρου υπάρχει θυρίδα από την οποία εισάγεται το δείγμα και η οποία κλείνει αεροστεγώς. Η θυρίδα είναι σχεδιασμένη έτσι που να διατηρεί την ίδια καμπυλότητα με τον κύλινδρο. Στην εσωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου υπάρχει χαλύβδινο έλασμα, μήκους όσο αυτό του κυλίνδρου και πλάτους $89 + 2 \text{ mm}$ ($3.5 + 0.1 \text{ in.}$), το οποίο είναι τοποθετημένο κατά μήκος του κυλίνδρου. Η θέση του ελάσματος πρέπει να είναι τέτοια, ώστε το δείγμα αλλά και οι χαλύβδινες σφαίρες να μην προσκρούουν στο έλασμα, αλλά ούτε και στην επιφάνεια που καλύπτει το άνοιγμα του τυμπάνου. Η «περιφερειακή» απόσταση του ελάσματος από το άνοιγμα τροφοδοσίας κατά τη φορά της περιστροφής του τυμπάνου δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 1270 mm (50 in.)

Φορτίο σφαιρών

Εντός της μηχανής εισάγονται χαλύβδινες σφαίρες διαμέτρου περίπου $47,5 \text{ mm}$ και βάρους $390 - 445 \text{ g}$ η κάθε μία. Ο αριθμός καθώς και το συνολικό βάρος των σφαιρών που χρησιμοποιούνται εξαρτάται από τη διαβάθμιση του προς δοκιμή υλικού και δίνονται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 9-4: Πρότυπος πίνακας αναλογίας σφαιρών-διαβάθμισης

Διαβάθμιση	Αριθμός σφαιρών	Βάρος φορτίου σφαιρών (g)
A	12	5.000
B	11	4.584
Γ	8	3.330
Δ	6	2.500

Για την εκτέλεση της δοκιμής χρησιμοποιήθηκε η κυλινδρική μηχανή Los Angeles του Εργαστηρίου Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων ΕΜΠ, διαμέτρου 710 mm και μήκους 510 mm καθώς και 11 χαλύβδινες σφαίρες διαμέτρου $47,5 \text{ mm}$ και βάρους 410 g η καθεμιά. Η επιλογή του υλικού για την σωστή εκτέλεση της δοκιμής βασίστηκε στον Πίνακα 8.4.

Πίνακας 9-5: Πρότυπος πίνακας επιλογής ογκομετρικού δείγματος

ΠΡΟΤΥΠΟ ΔΕΙΓΜΑ		ΜΑΖΑ			
ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ	ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ	ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ			
		A	B	Γ	Δ
37.5mm (1 1/2 in.)	25.0mm (1 in.)	1250±25			
25.0mm (1 in.)	19.0mm (3/4 in.)	1250±25			
19.0mm (3/4 in.)	12.5mm (1/2 in.)	1250±10	2500±10		
12.5mm (1/2 in.)	9.5mm (3/8 in.)	1250±10	2500±10		
9.5mm (3/8 in.)	6.3mm (1/4 in.)			2500±10	
6.3mm (1/4 in.)	4.75mm (No 4.)			2500±10	
4.75mm (No 4.)	2.36mm (No 8.)				5000±10
ΣΥΝΟΛΟ		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

Επιλέχθηκε λοιπόν ο Διαχωρισμός Β. Το εργαστήριο δεν διαθέτει κόσκινο 19mm επομένως όπως φαίνεται στους παραπάνω πίνακες έγινε χρήση του κόσκινου 16mm. Έπειτα έγιναν ισοζύγια μάζας έτσι ώστε να ληφθούν τα σωστά δείγματα για την εκτέλεση της Δοκιμής.

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Συγκεκριμένα για το Γκρίζο μάρμαρο χρησιμοποιήθηκε:

ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΒΑΡΟΣ (g)
-20 +16	875
-16 + 12,5	1625
-12,5 +9,5	2500

Το δείγμα αρχικά ξηράνθηκε και ζυγίστηκε στα A=5010,7g ενώ μετά υποβλήθηκε στη δοκιμή Los Angeles όπου η μηχανή είχε ταχύτητα 33 στροφές το λεπτό και παρέμεινε εντός του χαλύβδινου κυλίνδρου έως ότου πραγματοποιηθούν 500 περιστροφές. Έπειτα το υλικό κοσκινίστηκε στο κόσκινο No 12, ξεπλύθηκε ώστε να φύγει η επιφανειακή σκόνη. Τέλος ξηράνθηκε ξανά και ζυγίστηκε. Το υλικό το οποίο ήταν +1,68 mm (παραμένον) βρέθηκε να έχει βάρος B=1416,7g.

Η διαφορά μεταξύ του αρχικού και του τελικού βάρους του δείγματος εκφρασμένη σε ποσοστό % του αρχικού βάρους δίνει το ποσοστό φθοράς του υπό εξέταση αδρανούς υλικού. Η φθορά υπολογίζεται από τον τύπο : $W = [(A-B)/A] * 100$,

Όπου: W = η ζητούμενη φθορά
 A = Αρχικό βάρος του δείγματος, g
 B = συγκρατούμενο βάρος (g) στο κόσκινο 12.

Επομένως, $W = \{5010,7 - 1416,7\} / 5010,7 * 100 = 71,74\%$ φθορά.

Στη συνέχεια η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για το Ημίλευκο μάρμαρο:

ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΒΑΡΟΣ (g)
-20 +16	837,5
-16 + 12,5	1662,5
-12,5 +9,5	2500

Το δείγμα αρχικά ξηράνθηκε και ζυγίστηκε στα $A = 5016,8\text{gr}$ ενώ μετά υποβλήθηκε στην δοκιμή Los Angeles όπου η μηχανή είχε ταχύτητα 33 στροφές το λεπτό και παρέμεινε εντός του χαλύβδινου κυλίνδρου έως ότου πραγματοποιηθούν 500 περιστροφές. Έπειτα κοσκινίστηκε στο κόσκινο No 12, ξεπλύθηκε ώστε να φύγει η σκόνη. Τέλος ξηράνθηκε ξανά και ζυγίστηκε. Το υλικό το οποίο ήταν +1,68 (παραμένον) βρέθηκε να έχει βάρος $B = 896,6\text{g}$.

Επομένως, $W = \{5016,8 - 896,6\} / 5016,8 * 100 = 85,12\%$ φθορά.

Τέλος, η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για το Λευκό μάρμαρο:

ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΒΑΡΟΣ (g)
-20 +16	792,5
-16 + 12,5	1707,5
-12,5 +9,5	2500

Το δείγμα αρχικά ξηράνθηκε και ζυγίστηκε στα $A = 5011,8\text{ g}$, ενώ μετά υποβλήθηκε στην δοκιμή Los Angeles όπου η μηχανή είχε ταχύτητα 33 στροφές το λεπτό και

παρέμεινε εντός του χαλύβδινου κυλίνδρου έως ότου πραγματοποιηθούν 500 περιστροφές. Έπειτα κοσκινίστηκε στο κόσκινο Νο 12, ξεπλύθηκε ώστε να φύγει η σκόνη. Τέλος ξηράνθηκε ξανά και ζυγίστηκε. Το υλικό το οποίο ήταν +1,68 mm (παραμένον) βρέθηκε να έχει βάρος $B=397,4\text{g}$.

Επομένως, $W=\{5011,8-397,4\}/5011,8 * 100= 92,07\%$ φθορά.

Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων έπειτα από δοκιμή Los Angeles:

Με βάση τα αποτελέσματα της δοκιμής, μπορούμε να χαρακτηρίσουμε ένα αδρανές υλικό ως σκληρό, μαλακό, η ενδιάμεσης σκληρότητας. Για παρασκευή σκυροδέματος ανθεκτικού σε επιφανειακή φθορά (βιομηχανικά δάπεδα, σκυρόδεμα οδοποιίας) Ο κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ) ορίζει τιμή Los Angeles όχι μεγαλύτερη από 40%. Για παρασκευή ασφαλτικού σκυροδέματος (ασφαλτόμιγμα) οι προδιαγραφές (Π.Τ.Π Α 265) ορίζουν την χρήση αδρανών με % φθορά μικρότερη του 40%. Για τα αδρανή Ύλα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή Βάσεων και αποβάσεων στην οδοποιία, οι ελληνικές προδιαγραφές (Π.Τ.Π Α155 και 150) ορίζουν τιμή Los Angeles όχι μεγαλύτερη του 50%.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και τις ελληνικές προδιαγραφές, τα υπό εξέταση μάρμαρα **κρίνονται ακατάλληλα** για την εφαρμογή τους σε **σκυρόδεμα, αδρανή και οδοποιία**. Επίσης επιβεβαιώνεται το αρχικό πιθανό σενάριο το οποίο ήταν ότι πρόκειται για μαλακό υλικό το οποίο όσο πιο λευκό είναι τόσο πιο μαλακό.



Εικόνα 9-13: Μηχανή Los Angeles, Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

9.7. BOND

Προετοιμασία του υλικού

Το υλικό όπως έχει προαναφερθεί έχει ήδη υποστεί μια πρωτογενή θραύση στον θραυστήρα σιαγόνων RHINO TM με άνοιγμα 20mm και έχει κοσκινιστεί σε διάφορα κόσκινα με βάση τους πίνακες παραπάνω. Για την εκτέλεση της δοκιμής σωστά πήραμε το 25% του υλικού της κάθε κοκκομετρίας για το γκρίζο μάρμαρο, 20% για το Ημίλευκο και 30% για το Λευκό.

Ακολούθησε η διαδικασία δευτερογενούς θραύσης του υλικού στον εργαστηριακό θραυστήρα σιαγόνων RHINO TM με άνοιγμα περίπου 3 mm, με επανειλημμένες ανακυκλώσεις του κοκκομετρικού κλάσματος + 3.327 mm με σκοπό όλο το παραγόμενο υλικό να είναι κάτω από 3.327 mm.

Στο υλικό θραύσης (-3.327 mm), πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία, με το δειγματολήπτη Jones (Εικόνα 4), έτσι ώστε να προετοιμαστούν κατάλληλα τα δείγματα για το μύλο Bond, καθώς και για τον προσδιορισμό του φαινόμενου ειδικού βάρους του θραυσμένου υλικού. Η τιμή του φαινόμενου ειδικού βάρους είναι απαραίτητη για τον καθορισμό της ποσότητας (τροφοδοσία) των δειγμάτων στο μύλο Bond.

Ταξινόμηση

Με τη χρήση συγκεκριμένης σειράς κοσκίνων γίνεται η ταξινόμηση του υλικού σε κοκκομετρικά κλάσματα, δηλαδή ομάδες τεμαχίων με περίπου τις ίδιες διαστάσεις (μεταξύ δύο ορίων). Αυτή η διαδικασία ονομάζεται κοκκομετρική ανάλυση.

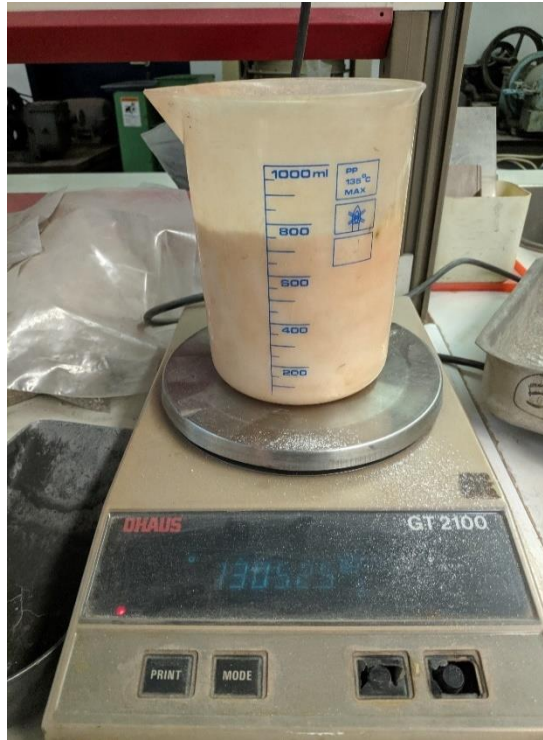
Ταξινόμηση έγινε σε δείγμα αρχικής τροφοδοσίας έτσι ώστε να προσδιοριστεί το μέγεθος F (μέγεθος βροχίδας κόσκινου από την οποία περνάει το 80% του υλικού της αρχικής τροφοδοσίας) καθώς και μετά από κάθε πειραματική διαδικασία, στο προϊόν λειοτρίβησης, έτσι ώστε να προσδιοριστεί η μάζα του παραγόμενου υπομεγέθους και το μέγεθος της βροχίδας του κόσκινου από την οποία διέρχεται το 80% του προϊόντος λειοτρίβησης.

Για την ταξινόμηση του υλικού μέχρι 106 μm χρησιμοποιήθηκε η εργαστηριακή συσκευή κοσκίνισης Rotap, TYLER, ενώ για λεπτότερο υλικό έγινε χειρωνακτική κοσκίνιση με χρήση πινέλου.

Ο δείκτης έργου Bond (W_i) αντιπροσωπεύει την ειδική ενέργεια κατάτμησης ενός τόνου υλικού με θεωρητικά άπειρο μέγεθος τεμαχίων, σε προϊόν με χαρακτηριστικό μέγεθος τεμαχίων 100 μm . Ο δείκτης έργου (W_i) προσδιορίζεται μέσω της δοκιμής Bond, η οποία είναι μια αυτοτελής δοκιμή ξηρής λειοτριβήσης κλειστού κυκλώματος κατάτμησης στην οποία η μηχανή κατάτμησης (σφαιρόμυλος) συνδυάζεται με τη μηχανή ταξινόμησης (κόσκινο αναφοράς) σε κλειστό κύκλωμα. Η διαδικασία λειοτριβήσης επαναλαμβάνεται μέχρι να επιτευχθεί κυκλοφορούν φορτίο 250%. Στη δοκιμή Bond το προς εξέταση υλικό αρχικά θραύεται και κοσκινίζεται, έτσι ώστε το μέγεθος των τεμαχίων αυτού να είναι μικρότερο από 3.327 mm. Η μάζα του υλικού (M) που θα αποτελέσει την τροφοδοσία του μύλου είναι ίση με τη μάζα που καταλαμβάνει όγκο 700 cm^3 . Αρχικά τροφοδοτείται το πρώτο δείγμα στο μύλο Bond και λειοτριβείται για ένα αυθαίρετα επιλεγόμενο αριθμό περιστροφών μύλου ($N= 50, 100$ ή 150 rev/min) και στη συνέχεια αυτό κοσκινίζεται. Το υπερμέγεθος (R) επιστρέφει πίσω στο μύλο για να λειοτριβηθεί, αφού προστεθεί σε αυτό ποσότητα υλικού αρχικής τροφοδοσίας (-3.327 mm) ίση με αυτή που απομακρύνθηκε ως υπομέγεθος (U), έτσι ώστε η συνολική μάζα της τροφοδοσία του μύλου για τη δεύτερη δοκιμή να είναι πάλι ίση με M (Σχήμα 8). Για το δεύτερο στάδιο ο αριθμός περιστροφών προσδιορίζεται έτσι ώστε βαθμιαία να επιτευχθεί κυκλοφορούν φορτίο 250%.

I. Εισαγωγή

Παρελήφθη δείγμα γκρίζου μάρμαρου, βάρους 7,5 kg περίπου. Έπειτα από δειγματοληψία πρόεκυψαν 2 δείγματα των 1857g. Το ένα χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της μάζας σε δοχείο ζέσεως ενώ το άλλο κοσκινίστηκε στα παρακάτω κόσκινα.



Εικόνα 9-14: Μέτρηση μάζας δείγματος.



Εικόνα 9-15: Διαχωρισμός υλικού στο δειγματολήπτη Jones

Η ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα υλικού (σε g ή kg) για τη διεξαγωγή της κλασσικής δοκιμής Bond είναι $2 \cdot (700 \text{ cm}^3) \cdot (\text{φ.ε.β. υλικού})$, αν το φ.ε.β εκφράζεται σε g/cm^3 ή $2 \cdot (0,70 \text{ lt}) \cdot (\text{φ.ε.β. υλικού})$ αν το φ.ε.β. εκφράζεται σε kg/lt .

Όπου φ.ε.β. = φαινόμενο ειδικό βάρος υλικού σε g/cm^3 ή σε kg/lt

II. Υπολογισμός του φ.ε.β. και της ελάχιστης αναγκαίας ποσότητας δείγματος δοκιμών

Από τη διαδικασία υπολογισμού του φ.ε.β. του δείγματος προέκυψε ότι:

α. Το φ.ε.β. δείγματος είναι $M/700 = 1,887 \text{ g/cm}^3$ ή kg/lt , (όπου $M = 1321 \text{ g}$ η μάζα θραυσμένου υλικού όγκου 700 cm^3).

Οπότε, η ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα δείγματος για τον προσδιορισμό του δείκτη έργου Bond είναι:

$$2 \cdot (700 \text{ cm}^3) \cdot 1,887 \text{ g/cm}^3 = 2661,8 \text{ g}$$

$$R = (2,5/3,5) \cdot 1321 = 943,57,9 \text{ g},$$

Οπότε, συνολικό υπερμέγεθος (+90 μm) $2R = 1887,14 \text{ g}$ (δύο δείγματα)

$$U = (1/3,5) \cdot 1321 = 377,42 \text{ g} \text{ (-90 } \mu\text{m)} \quad 2U = 754,84 \text{ (δυο δείγματα)}$$

$$M = R + U = 1321 \text{ g} \text{ (Τροφοδοσία πρώτης δοκιμής άλεσης)}$$

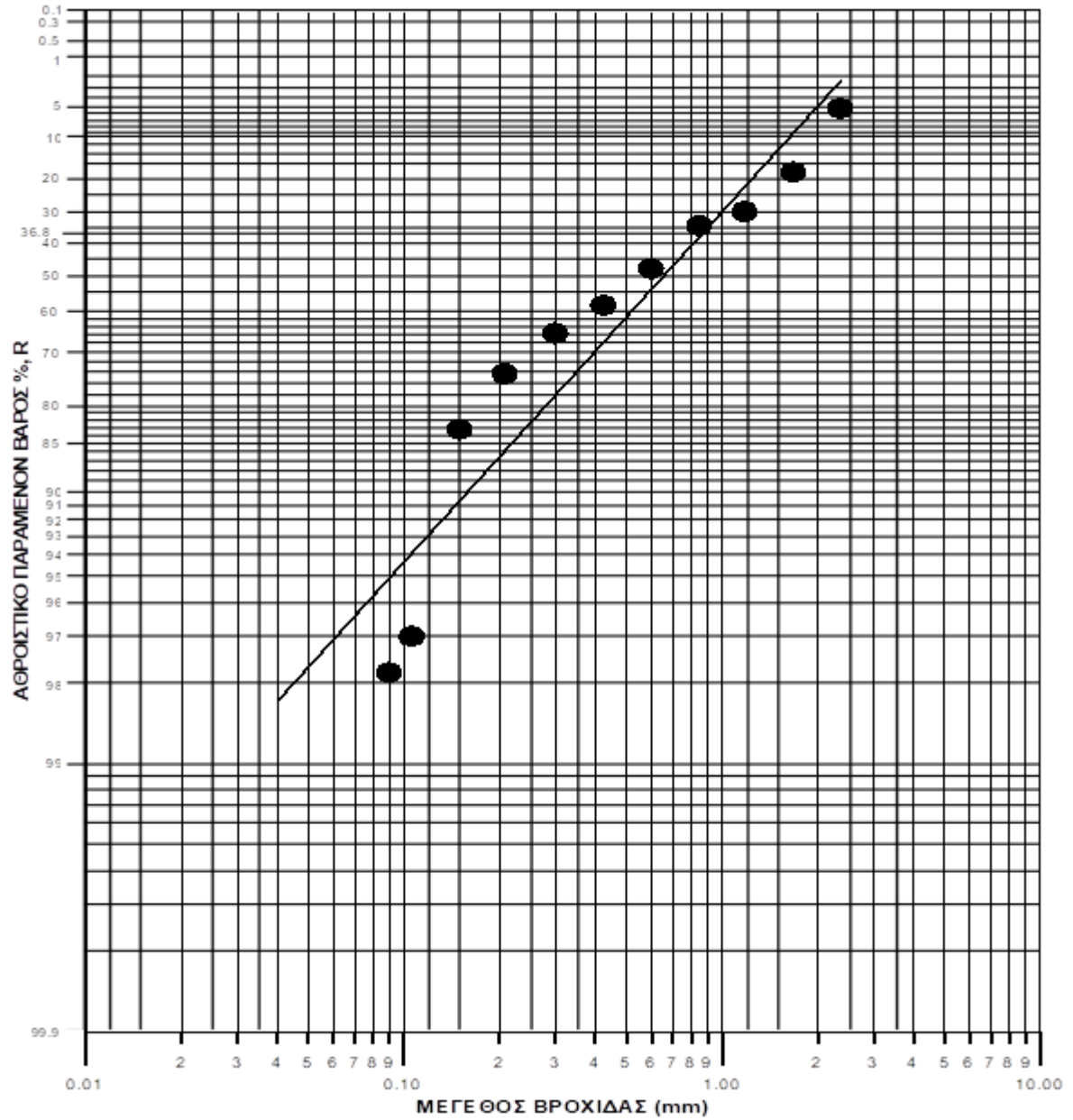
III. Υπολογισμός του δείκτη έργου Bond

Για τον υπολογισμό του δείκτη έργου του γκρίζου δείγματος ασβεστόλιθου, εφαρμόστηκε η κλασσική μέθοδος προσδιορισμού του δείκτη έργου Bond.

Η κοκκομετρική ανάλυση της τροφοδοσίας του δείγματος μετά από τη θραύση του υπερμεγέθους σε μέγεθος $-3,327 \text{ mm}$ δίνεται στον Πίνακα 9-6 και στο Διάγραμμα 9-12. Επίσης, η κοκκομετρική ανάλυση των προϊόντων της δοκιμής Bond (άλεση δείγματος M) δίνεται στον Πίνακα 9-7, (Διάγραμμα 9-13).

Πίνακας 9-6. Κοκκομετρική ανάλυση αντιπροσωπευτικού (θραυσμένου) Γκρίζου της τροφοδοσίας για τη δοκιμή Bond

ΜΕΓΕΘΟΣ (mm)	ΚΛΑΣΜΑΤΙ ΚΟ ΒΑΡΟΣ ΥΛΙΚΟΥ, g)	ΚΛΑΣΜΑΤΙ ΚΟ ΒΑΡΟΣ ΥΛΙΚΟΥ, %)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ, (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ Υ, (%)
-3.327+2.36	95,75	5,14	5.134	
-2.36+1.68	242,37	13,00	18.13	94.866
-1.68+1.18	216.38	11,61	29.73	81.87
-1.18+0.85	79.82	4,28	34.01	70.27
-0.85+0.6	254.43	13,65	47.65	65.99
-0.6+0.425	198.34	10,64	58.29	52.35
-0.425+0.3	133.46	7,16	65.44	41.71
-0.3+0.208	162.6	8,72	74.16	34.56
-0.18+0.15	167.1	8,97	83.12	25.84
-0.15+0.106	257.16	13,80	96.91	16.88
-0.106+0.075	30	0,80	98.52	3.09
-0.075	27.6	1.48		1.48
ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ	1865	100,00		



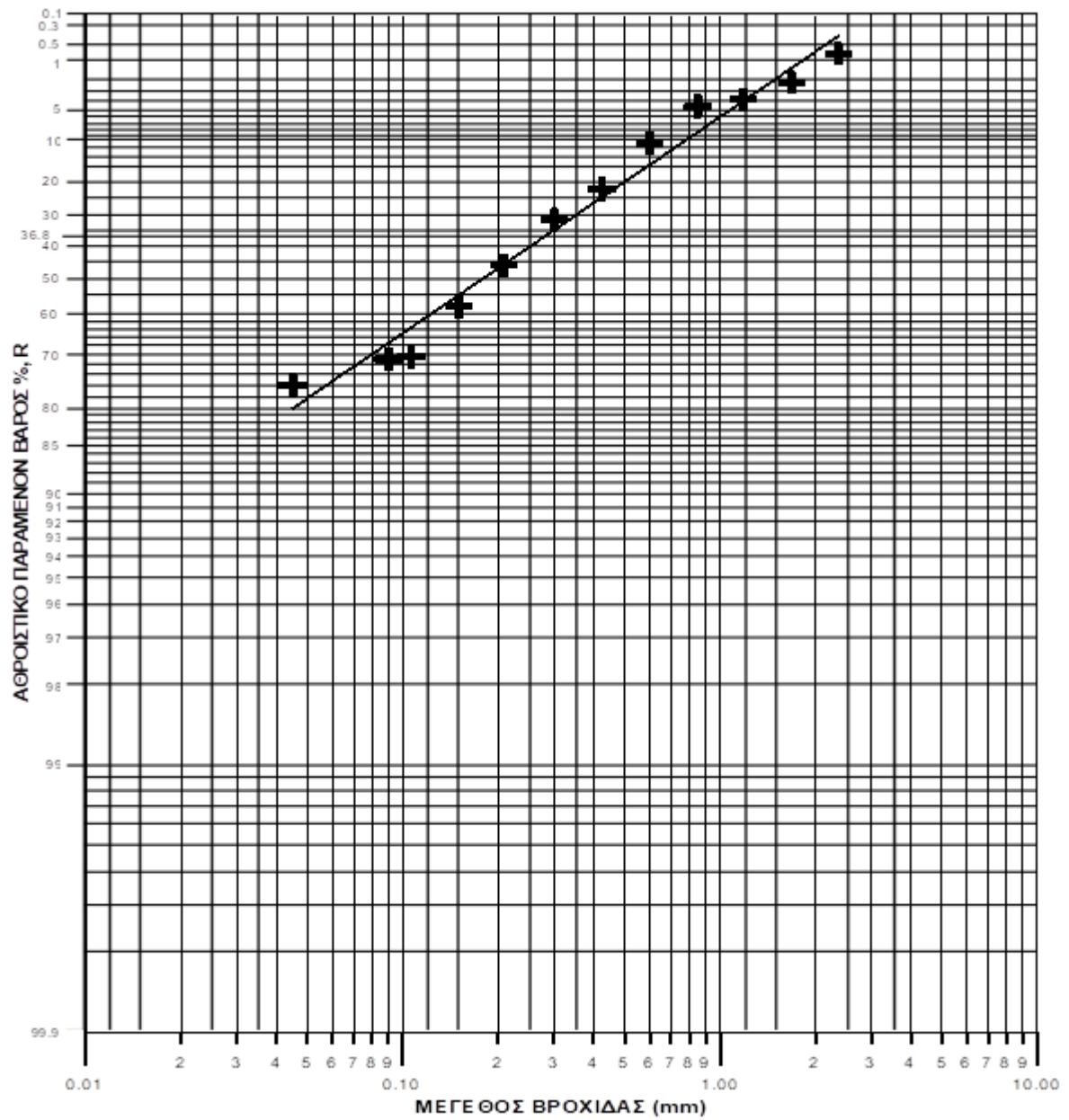
Διάγραμμα 9-12: Απεικόνιση της κοκκομετρικής ανάλυσης του υλικού (Γκρίζο) τροφοδοσίας σε διάγραμμα Rosin-Rammler για τον προσδιορισμό του F.

Πίνακας 9-7. Κοκκομετρική ανάλυση του προϊόντος μετά τη λειοτρίβησή του (προϊόν δοκιμής Bond).

ΜΕΓΕΘΟΣ (mm)	ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΥΛΙΚΟΥ, (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ, (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟΥ, (%)
-3.327+2.36	0,74	0,74	
-2.36+1.68	1,45	2,19	99,26
-1.68+1.18	1,51	3,70	97,81
-1.18+0.85	0,79	4,49	96,30
-0.85+0.6	6,17	10,66	95,51
-0.6+0.425	11,58	22,24	89,34
-0.425+0.3	9,55	31,78	77,76
-0.3+0.18	14,80	46,58	68,22
-0.18+0.15	12,37	58,95	53,42
-0.15+0.125	12,56	71,51	41,05
-0.15+0.09	0,59	72,11	28,49
-0.09+0.045	9,27	81,38	27,89
-0.045	18,62	100,00	18,62
ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ	100,00		



Εικόνα 9-16: Φωτογραφία του Μύλου Bond



Διάγραμμα 9-13: Απεικόνιση της κοκκομετρικής ανάλυσης του προϊόντος λειοτρίβησης του μύλου Bond σε διάγραμμα Rosin-Rammler για τον προσδιορισμό του P (Γκρίζο) .

Από όλη τη διαδικασία προκύπτουν τα εξής:

$R_0 = 1295,4 \text{ g, } +0.09 \text{ mm } (-90 \text{ } \mu\text{m}) = 28 \text{ g}$, ενώ $R = 937 \text{ g, } -0.09 \text{ mm} = 387$), οπότε:

$k = (n/N) \cdot \ln(R_0/R)$, δηλαδή $k = 0,213768$

και

$Nc = (n/k) \cdot \ln(1+0.4r_0)$

$N_c \approx 102$ περιστροφές

Όπου:

- N_c = ο απαιτούμενος αριθμός περιστροφών του μύλου Bond για επίτευξη κυκλοφορούντος φορτίου 250%
- r_0 είναι το κλάσμα υπερμεγέθους (+ 90 μm) στην τροφοδοσία του μύλου Bond
- Μέγεθος $F = 1450$ μm (βροχίδα κόσκινου από την οποία περνάει το 80 % του υλικού τροφοδοσίας Bond)
- Μέγεθος $P = 65$ μm (βροχίδα κόσκινου από την οποία περνάει το 80 % του υπομεγέθους -90 μm)
- Μέγεθος $P_c = 90$ μm (μέγεθος κόσκινου αναφοράς, το 100 % του υπομεγέθους περνάει από το κόσκινο αυτό)

Βάρος υπομεγέθους -90 μm στο προϊόν λειοτρίβησης = 387 g

Βάρος περιεχομένου υπομεγέθους -90 μm στην τροφοδοσία του μύλου = 28g

Βάρος παραχθέντος υπομεγέθους -90 μm (καθαρό) = 387 - 28 = 359 g

Αριθμός περιστροφών μύλου $N_c = 102$

Όμως, η μάζα του λεπτομερούς υλικού (-90 μm) που παράγεται ανά περιστροφή (g/rev) του μύλου Bond δίνεται από:

$$G = (m / 3.5 N_c) - (1/3.5) \cdot (M / N_c) \cdot (1 - r_0) = M \cdot r_0 / 3.5 N_c$$

Οπότε, για τα παραπάνω δεδομένα ($M = 1324 \text{ g}$, $r_o = 0.97839$ και $N_c = 102$) προκύπτει: $G = 3.62 \text{ g/rev}$ (βάρους υλικού - **90** μm , που παράγεται ανά περιστροφή του μύλου Bond).

Εφαρμόζοντας την εξίσωση ($W_i = 1,1 \cdot \frac{44,5}{P_c^{0,23} \cdot G^{0,82} \cdot (10 / P^{1/2} - 10 / F^{1/2})}$) στα παραπάνω εργαστηριακά δεδομένα προκύπτει ότι ο δείκτης έργου του γκρίζου δείγματος είναι :

$$W_i = 6,47 \text{ kWh/t}$$

I. Εισαγωγή

Παρελήφθη δείγμα **Ημίλευκου μάρμαρου**, βάρους 3,8kg περίπου. Έπειτα από δειγματοληψία προέκυψαν 2 δείγματα των 1943g. Το ένα χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της μάζας σε δοχείο ζέσεως ενώ το άλλο κοσκινίστηκε στα παρακάτω κόσκινα.

Η ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα υλικού (σε g ή kg) για τη διεξαγωγή της κλασσικής δοκιμής Bond είναι $2 \cdot (700 \text{ cm}^3) \cdot (\text{φ.ε.β. υλικού})$, αν το φ.ε.β εκφράζεται σε g/cm^3 ή $2 \cdot (0,70 \text{ lt}) \cdot (\text{φ.ε.β. υλικού})$ αν το φ.ε.β. εκφράζεται σε kg/lt .

Όπου φ.ε.β. = φαινόμενο ειδικό βάρος υλικού σε g/cm^3 ή σε kg/lt

II. Υπολογισμός του φ.ε.β. και της ελάχιστης αναγκαίας ποσότητας δείγματος δοκιμών

Από τη διαδικασία υπολογισμού του φ.ε.β. του δείγματος προέκυψε ότι:

α. Το φ.ε.β. δείγματος είναι $M/700 = 1,9 \text{ g/cm}^3$ ή kg/lt , (όπου $M = 1330 \text{ g}$ η μάζα θραυσμένου υλικού όγκου 700 cm^3).

Οπότε, η ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα δείγματος για τον προσδιορισμό του δείκτη έργου Bond είναι:

$$2 \cdot (700 \text{ cm}^3) \cdot 1330 \text{ g/cm}^3 = 1862 \text{ g και}$$

$$R = (2.5/3.5) \cdot 1330 = 950 \text{ g,}$$

Οπότε, συνολικό υπερμέγεθος (+90 μm) $2R = 1900 \text{ g}$ (δύο δείγματα)

$$U = (1/3.5) * 1330 = 380 \text{ g } (-90 \mu\text{m}) \quad 2U = 760 \text{ (δυο δείγματα)}$$

$$M = R + U = 1330\text{g (Τροφοδοσία πρώτης δοκιμής άλεσης)}$$

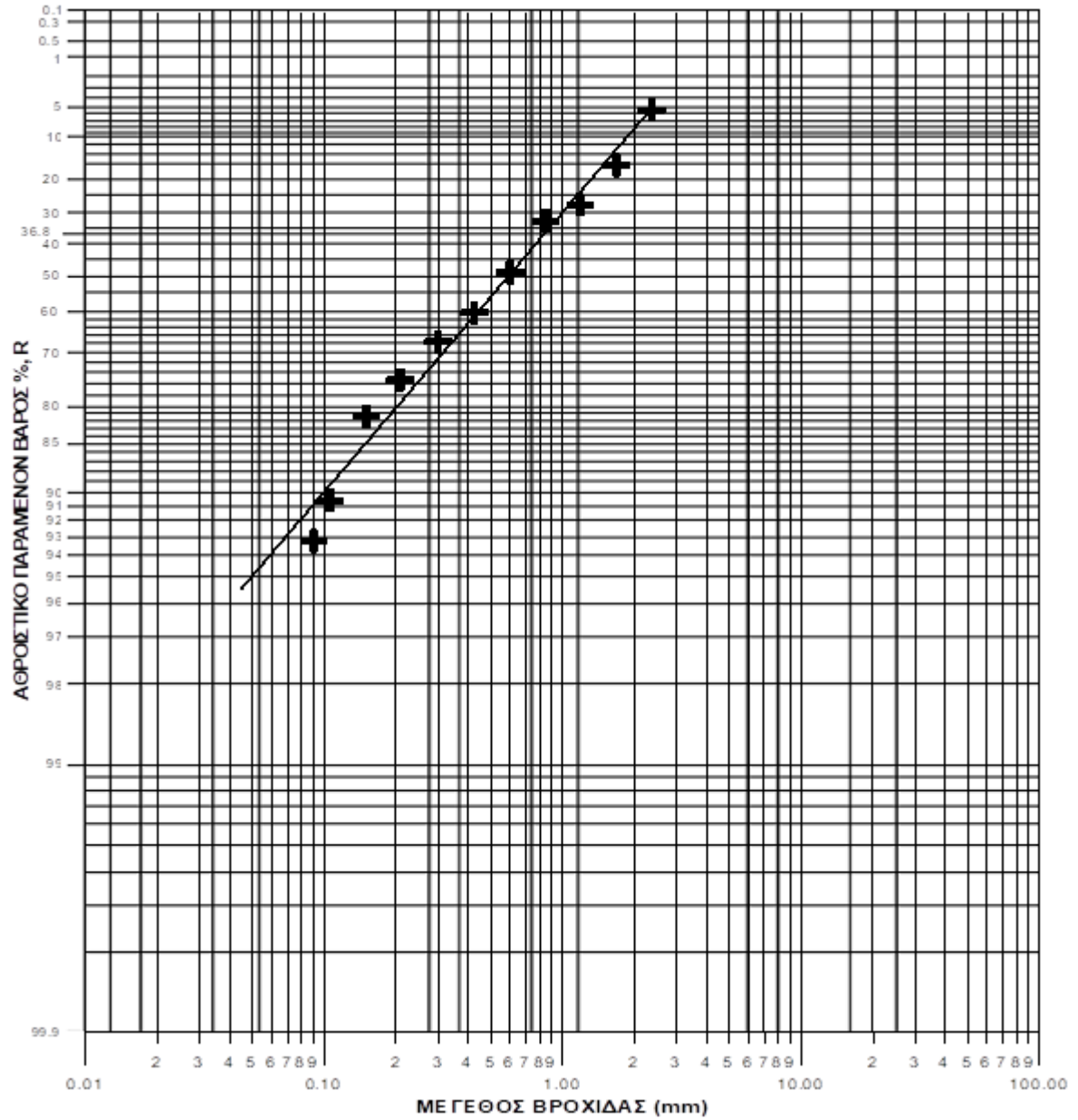
III. Υπολογισμός του δείκτη έργου Bond

Για τον υπολογισμό του δείκτη έργου του ημίλευκου δείγματος ασβεστόλιθου, εφαρμόστηκε η κλασική μέθοδος προσδιορισμού του δείκτη έργου Bond.

Η κοκκομετρική ανάλυση της τροφοδοσίας του δείγματος μετά από τη θραύση του υπερμεγέθους σε μέγεθος -3.327 mm δίνεται στον Πίνακα 9-7 και στο Διάγραμμα 9-13. Επίσης, η κοκκομετρική ανάλυση των προϊόντων της δοκιμής Bond (άλεση δείγματος M) δίνεται στον Πίνακα 9-8, (Διάγραμμα 9-14).

Πίνακας 9-8: Κοκκομετρική ανάλυση αντιπροσωπευτικού (θραυσμένου) Ημίλευκου της τροφοδοσίας για τη δοκιμή Bond

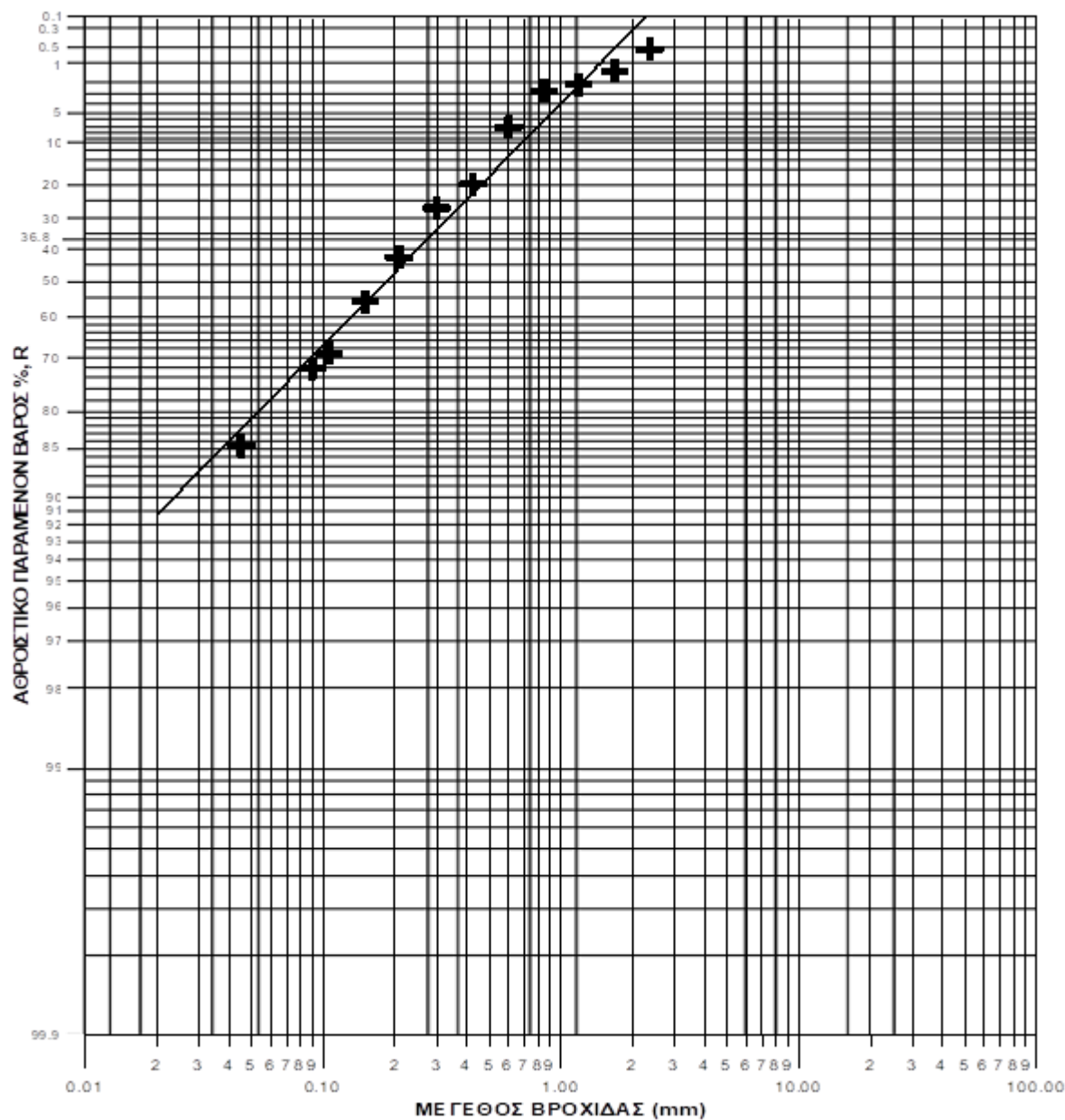
ΜΕΓΕΘΟΣ (mm)	ΚΛΑΣΜΑΤΙΚ Ο ΒΑΡΟΣ ΥΛΙΚΟΥ, g)	ΚΛΑΣΜΑΤΙΚ Ο ΒΑΡΟΣ ΥΛΙΚΟΥ, (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ ΤΟΣ, (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚ Ο ΒΑΡΟΣ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝ ΟΥ, (%)
-3.327+2.36	104	5,31	5.31	
-2.36+1.68	212	10,83	16.14	94.69
-1.68+1.18	220	11,24	27.38	83.86
-1.18+0.85	98	5,01	32.38	72.62
-0.85+0.6	317.5	16,22	48.6	67.62
-0.6+0.425	225.5	11,52	60.11	51.4
-0.425+0.3	141.5	7,23	67.34	39.89
-0.3+0.208	154.5	7,89	75.23	32.66
-0.18+0.15	118	6,03	81.26	24.77
-0.15+0.106	181	9,24	90.50	18.74
-0.106+0.09	53	2,71	93.2	9.5
-0.09	133	6,79	100	6.8
ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ	1958	100,00		



Διάγραμμα 9-14: Απεικόνιση της κοκκομετρικής ανάλυσης του υλικού (Ημίλευκο) τροφοδοσίας σε διάγραμμα Rosin-Rammler για τον προσδιορισμό του F .

Πίνακας 9-9: Κοκκομετρική ανάλυση του προϊόντος μετά τη λειοτρίβησή του (προϊόν δοκιμής Bond).

ΜΕΓΕΘΟΣ (mm)	ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΥΛΙΚΟΥ, (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ, (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟΥ, (%)
-3.327+2.36	0,53	0,53	
-2.36+1.68	0,75	1,28	99,47
-1.68+1.18	0,83	2,11	98,72
-1.18+0.85	0,45	2,56	97,89
-0.85+0.6	4,36	6,92	97,44
-0.6+0.425	12,71	19,62	93,08
-0.425+0.3	7,07	26,69	80,38
-0.3+0.18	15,49	42,18	73,31
-0.18+0.15	13,53	55,71	57,82
-0.15+0.125	13,08	68,80	44,29
-0.15+0.09	3,23	72,03	31,20
-0.09+0.045	12,56	84,59	27,97
-0.045	15,41	100,00	15,41
ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ	100,00		



Διάγραμμα 9-15: Απεικόνιση της κοκκομετρικής ανάλυσης του προϊόντος λειοτριβήσης του μύλου Bond σε διάγραμμα Rosin-Rammler για τον προσδιορισμό του P (Ημίλεσκο).

Από όλη τη διαδικασία προκύπτουν τα εξής:

$R_0 = 1211 \text{ g}, +0.09 \text{ mm} (-90 \mu\text{m}) = 119 \text{ g}$, ενώ $R = 962 \text{ g}, -0.09 \text{ mm} (=368)$, οπότε:

$k = (n/N) * \ln(R_0/R)$, δηλαδή $k = 0,213768$

και

$N_c = (n/k) * \ln(1+0.4r_0)$

$N_c \approx 134$ περιστροφές

Όπου:

- N_c = ο απαιτούμενος αριθμός περιστροφών του μύλου Bond για επίτευξη κυκλοφορούντος φορτίου 250%
- r_0 είναι το κλάσμα υπερμεγέθους (+ 90 μm) στην τροφοδοσία του μύλου Bond
- Μέγεθος $F = 1300\mu\text{m}$ (βροχίδα κόσκινου από την οποία περνάει το 80 % του υλικού τροφοδοσίας Bond)
- Μέγεθος $P = 50 \mu\text{m}$ (βροχίδα κόσκινου από την οποία περνάει το 80 % του υπομεγέθους -90 μm)
- Μέγεθος $P_c = 90 \mu\text{m}$ (μέγεθος κόσκινου αναφοράς, το 100 % του υπομεγέθους περνάει από το κόσκινο αυτό)

Βάρος υπομεγέθους -90 μm στο προϊόν λειοτριβήσης = 387 g

Βάρος περιεχομένου υπομεγέθους -90 μm στην τροφοδοσία του μύλου = 28g

Βάρος παραχθέντος υπομεγέθους -90 μm (καθαρό) = 387 - 28 = 359 g

Αριθμός περιστροφών μύλου $N_c = 134$

Όμως, η μάζα του λεπτομερούς υλικού (-90 μm) που παράγεται ανά περιστροφή (g/rev) του μύλου Bond δίνεται από:

$$G = (m / 3.5 N_c) - (1/3.5) \cdot (M / N_c) \cdot (1 - r_0) = M \cdot r_0 / 3.5 N_c$$

Οπότε, για τα παραπάνω δεδομένα ($M = 1330 \text{ g}$, $r_0 = 0.97839$ και $N_c = 134$) προκύπτει: $G = 2.63 \text{ g/rev}$ (βάρος υλικού - 90 μm , που παράγεται ανά περιστροφή του μύλου Bond)

Εφαρμόζοντας την εξίσωση ($W_i = 1,1 \cdot \frac{44,5}{P_c^{0,23} \cdot G^{0,82} \cdot (10 / P^{1/2} - 10 / F^{1/2})}$) στα παραπάνω εργαστηριακά δεδομένα προκύπτει ότι ο δείκτης έργου του ημίλευκου δείγματος είναι:

$$W_i = 6,91 \text{ kWh/t}$$

I. Εισαγωγή

Παρελήφθη δείγμα Λευκού Μάρμαρου, βάρους 5,2 kg περίπου. Έπειτα από δειγματοληψία προέκυψαν 2 δείγματα των 1350g. Το ένα χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της μάζας σε δοχείο ζέσεως, ενώ το άλλο κοσκινίστηκε στα παρακάτω κόσκινα.

Η ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα υλικού (σε g ή kg) για τη διεξαγωγή της κλασσικής δοκιμής Bond είναι $2 \cdot (700 \text{ cm}^3) \cdot (\text{φ.ε.β. υλικού})$, αν το φ.ε.β εκφράζεται σε g/cm³ ή $2 \cdot (0,70 \text{ lt}) \cdot (\text{φ.ε.β. υλικού})$ αν το φ.ε.β. εκφράζεται σε kg/lt.

Όπου φ.ε.β. = φαινόμενο ειδικό βάρος υλικού σε g/cm³ ή σε kg/lt

II. Υπολογισμός του φ.ε.β. και της ελάχιστης αναγκαίας ποσότητας δείγματος δοκιμών

Από τη διαδικασία υπολογισμού του φ.ε.β. του δείγματος προέκυψε ότι:

α. Το φ.ε.β. δείγματος είναι $M/700 = 1,928 \text{ g/cm}^3$ ή kg/lt, (όπου $M = 1350 \text{ g}$ η μάζα θραυσμένου υλικού όγκου 700 cm^3).

Οπότε, η ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα δείγματος για τον προσδιορισμό του δείκτη έργου Bond είναι:

$$2 \cdot (700 \text{ cm}^3) \cdot 1,928 \text{ g/cm}^3 = 2719,2 \text{ g}$$

$$R = (2,5/3,5) \cdot 1350 = 964,3 \text{ g}$$

Οπότε, συνολικό υπερμέγεθος (+90 μm) $2R = 1928,6 \text{ g}$ (δύο δείγματα)

$$U = (1/3,5) \cdot 1350 = 385,7 \text{ g} \text{ (-90 μm)} \quad 2U = 771,4 \text{ g} \text{ (δυο δείγματα)}$$

$$M = R + U = 1350 \text{ g} \text{ (Τροφοδοσία πρώτης δοκιμής άλεσης)}$$

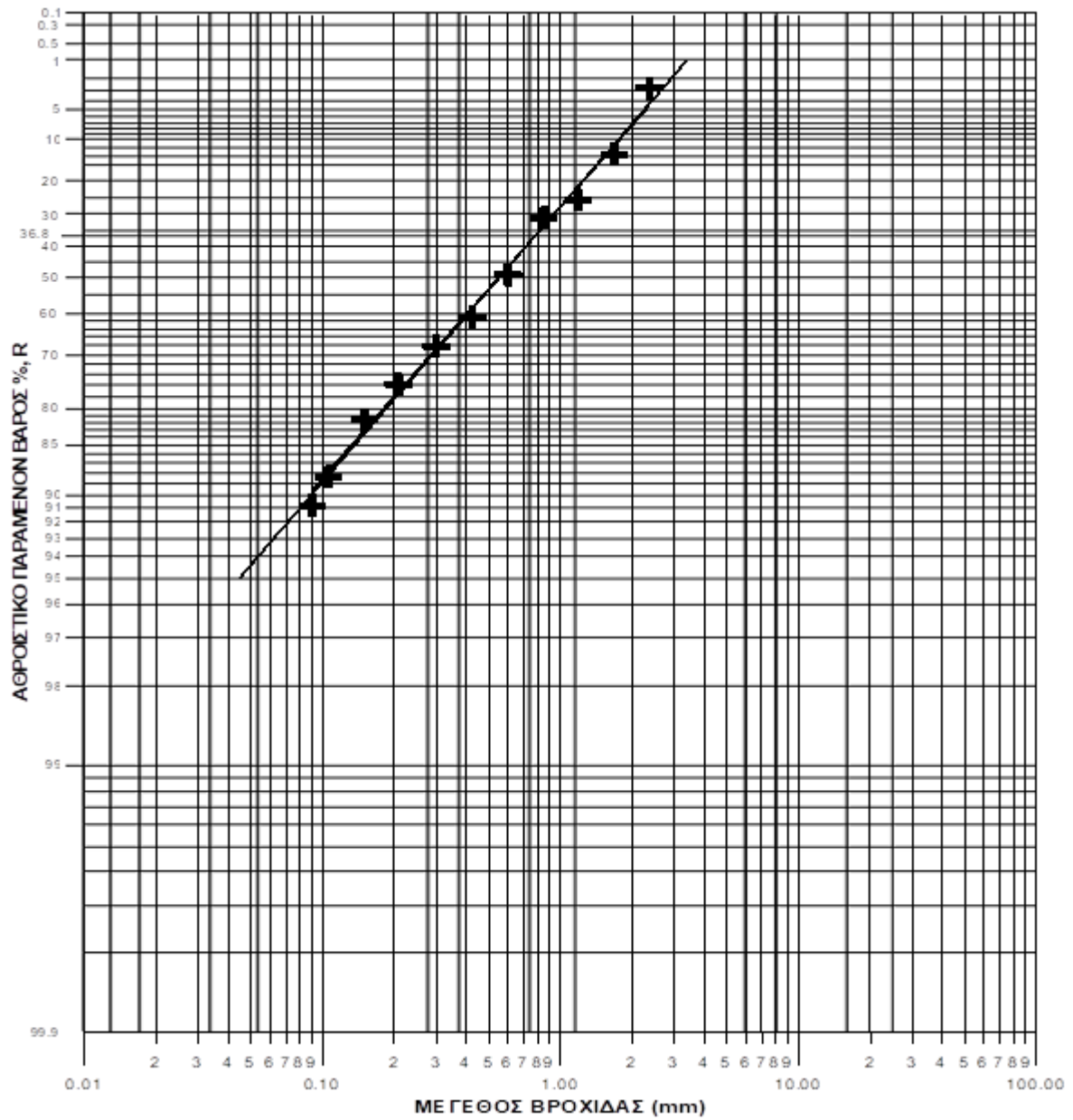
III. Υπολογισμός του δείκτη έργου Bond

Για τον υπολογισμό του δείκτη έργου του λευκού δείγματος ασβεστόλιθου, εφαρμόστηκε η κλασσική μέθοδος προσδιορισμού του δείκτη έργου Bond.

Η κοκκομετρική ανάλυση της τροφοδοσίας του δείγματος μετά από τη θραύση του υπερμεγέθους σε μέγεθος $-3,327 \text{ mm}$ δίνεται στον Πίνακα 9-9 και στο Διάγραμμα 9-15. Επίσης, η κοκκομετρική ανάλυση των προϊόντων της δοκιμής Bond (άλεση δείγματος M) δίνεται στον Πίνακα 9-10, (Διάγραμμα 9-16).

Πίνακας 9-10: Κοκκομετρική ανάλυση αντιπροσωπευτικού (θραυσμένου) Λευκού της τροφοδοσίας για τη δοκιμή Bond

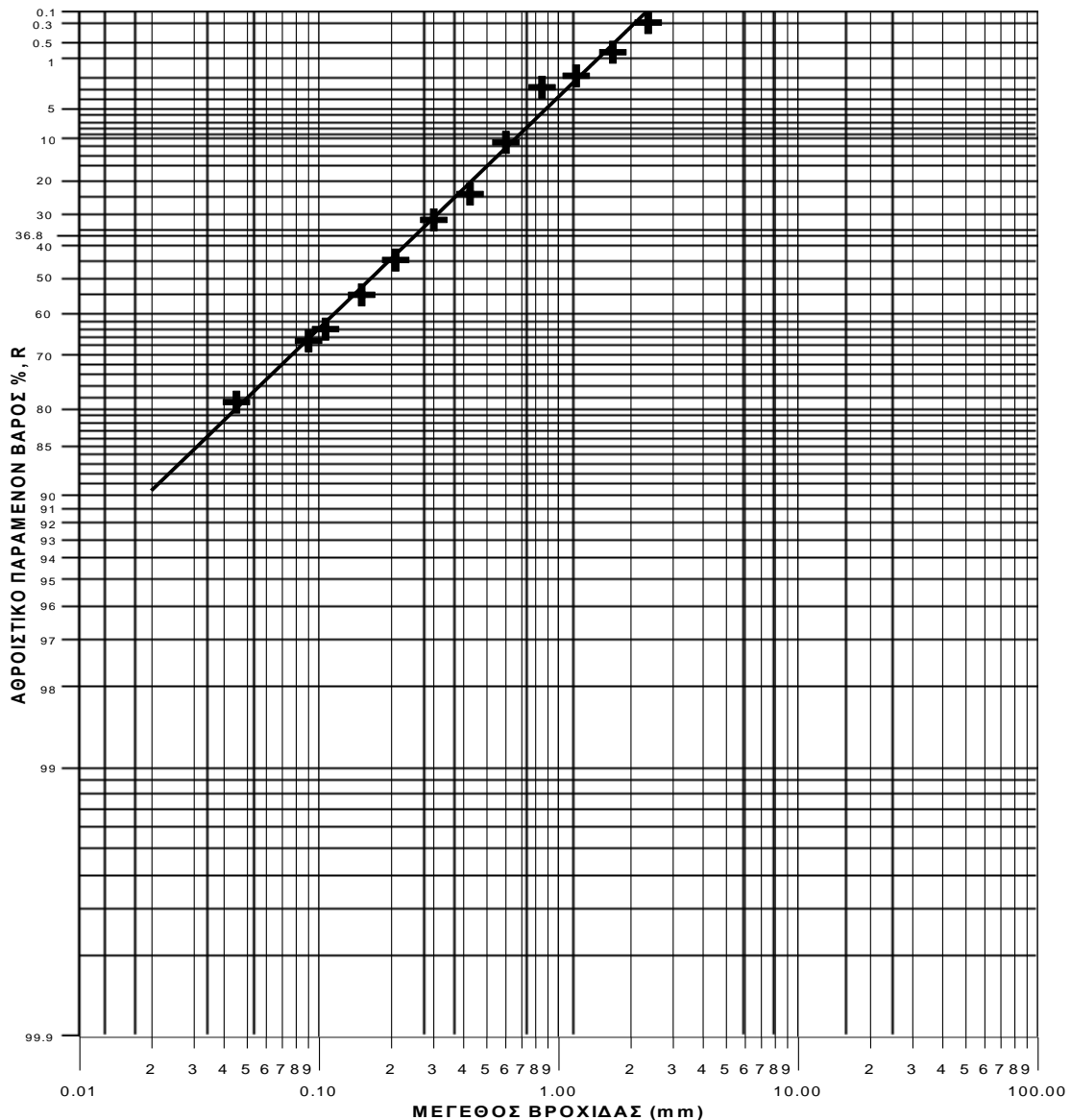
ΜΕΓΕΘΟΣ (mm)	ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΥΛΙΚΟΥ, g)	ΚΛΑΣΜΑΤΙΚ Ο ΒΑΡΟΣ ΥΛΙΚΟΥ, (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ, (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟΥ , (%)
-3.327+2.36	36	2,66	2,66	
-2.36+1.68	140	10,37	13,03	98,21
-1.68+1.18	167	12,37	25,4	86,97
-1.18+0.85	75.75	5,61	31	74,6
-0.85+0.6	245.75	18,20	49,21	69
-0.6+0.425	165	12,22	61,43	51,79
-0.425+0.3	96.1	7,12	68,55	38,57
-0.3+0.208	106.1	7,85	76,4	31,45
-0.18+0.15	78.5	5,81	82.21	23,6
-0.15+0.106	92.7	6,87	89,08	17.79
-0.106+0.09	33.2	2,46	91.54	10.92
-0.09	126	8,46	100	8.46
ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ	1350	100,00		0



Διάγραμμα 9-16: Απεικόνιση της κοκκομετρικής ανάλυσης του υλικού (Λευκό) τροφοδοσίας σε διάγραμμα Rosin-Rammler για τον προσδιορισμό του F .

Πίνακας 9-11:Κοκκομετρική ανάλυση του προϊόντος μετά τη λειοτρίβησή του (προϊόν δοκιμής Bond).

ΜΕΓΕΘΟΣ (mm)	ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΥΛΙΚΟΥ, (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ, (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟΥ, (%)
-3.327+2.36	0,18	0,18	
-2.36+1.68	0,57	0,75	99,82
-1.68+1.18	1,09	1,84	99,25
-1.18+0.85	0,85	2,69	98,16
-0.85+0.6	7,85	10,54	97,31
-0.6+0.425	13,12	23,66	89,46
-0.425+0.3	7,9	31,56	76,34
-0.3+0.18	12,68	44,24	68,44
-0.18+0.15	10,43	54,67	55,76
-0.15+0.106	9,13	63,8	45,33
-0.106+0.09	2,83	66,63	36,2
-0.09+0.045	12,07	78,7	23,37
-0.045	21,3	100,00	21,3
ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ	100,00		



Διάγραμμα 9-17: Απεικόνιση της κοκκομετρικής ανάλυσης του προϊόντος λειοτριβήσης του μύλου Bond σε διάγραμμα Rosin-Rammler για τον προσδιορισμό του P (Λευκό) .

Από όλη τη διαδικασία προκύπτουν τα εξής:

$R_0 = 1236.2 \text{ g, } +0.09 \text{ mm } (-90 \mu\text{m}) = 114 \text{ g,}$ ενώ $R = 904 \text{g, } -0.09 \text{mm} = 451$, οπότε:

$k = (n/N) * \ln(R_0/R)$, δηλαδή $k = 0,2029$

και

$N_c = (n/k) * \ln(1+0.4r_0)$

$N_c \approx 100$ περιστροφές

Όπου:

- N_c = ο απαιτούμενος αριθμός περιστροφών του μύλου Bond για επίτευξη κυκλοφορούντος φορτίου 250%

- r_0 είναι το κλάσμα υπερμεγέθους (+ **90** μm) στην τροφοδοσία του μύλου Bond
- Μέγεθος **F = 1300** μm (βροχίδα κόσκινου από την οποία περνάει το 80 % του υλικού τροφοδοσίας Bond)
- Μέγεθος **P = 60** μm (βροχίδα κόσκινου από την οποία περνάει το 80 % του υπομεγέθους -90 μm)
- Μέγεθος **P_c = 90** μm (μέγεθος κόσκινου αναφοράς, το 100 % του υπομεγέθους περνάει από το κόσκινο αυτό)

Βάρος υπομεγέθους **-90 μm** στο προϊόν λειοτριβήσης = 451 g

Βάρος περιεχομένου υπομεγέθους **-90 μm** στην τροφοδοσία του μύλου = 126g

Βάρος παραχθέντος υπομεγέθους **-90 μm** (καθαρό) = 451 - 114 = 337 g

Αριθμός περιστροφών μύλου **N_c = 100**

Όμως, η μάζα του λεπτομερούς υλικού (-90 μm) που παράγεται ανά περιστροφή (g/rev) του μύλου Bond δίνεται από:

$$G = (m / 3.5 N_c) - (1/3.5) \cdot (M / N_c) \cdot (1 - r_0) = M \cdot r_0 / 3.5 N_c$$

Οπότε, για τα παραπάνω δεδομένα ($M = 1350$ g, $r_0 = 0.9066$ και $N_c = 100$) προκύπτει:

G = 4.15 g/rev (βάρος υλικού - **90** μm , που παράγεται ανά περιστροφή του μύλου Bond)

Εφαρμόζοντας την εξίσωση ($W_i = 1,1 \cdot \frac{44,5}{P_c^{0,23} \cdot G^{0,82} \cdot (10 / P^{1/2} - 10 / F^{1/2})}$) στα

παραπάνω εργαστηριακά δεδομένα προκύπτει ότι ο δείκτης έργου του λευκού δείγματος είναι :

$$W_i = 5.3 \text{ kWh/t}$$

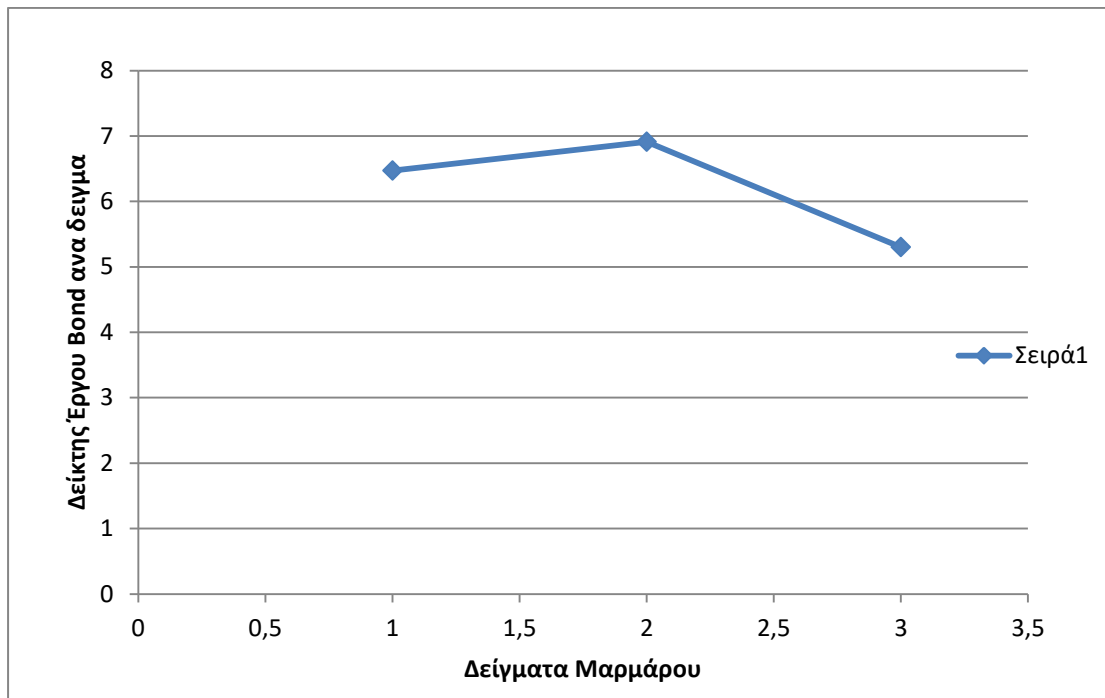
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΔΕΙΚΤΗ BOND

Τελικώς, από τα παραπάνω εργαστηριακά αποτελέσματα προκύπτει ότι το συγκεκριμένο μάρμαρο παρουσιάζει μικρή αντοχή στη λειοτρίβηση, δηλ. δεν απαιτεί μεγάλη ποσότητα ενέργειας για την ελάττωση μεγέθους του. Ενδεικτικά, για λόγους σύγκρισης δίδονται παρακάτω οι μέσες τιμές δείκτη έργου (W_i) μερικών γνωστών πετρωμάτων και μεταλλευμάτων.

Πίνακας 9-12: Πρότυπος δείκτης έργου Bond ανά ορυκτό.

Υλικό	Δείκτης έργου (W_i)	Υλικό	Δείκτης έργου (W_i)
Βαρίτης	4.70 – 6.90	Γυαλί	14.00
Βασάλτης	17.00 – 22.50	Σκωρία υψικαμίνου	12.16
Κλίνκερ τσιμέντου	15.00	Άστριος	12.00
Άνθρακας	12.50 – 13.00	Γύψος	7.00
Δολομίτης	9.00 – 12.40	Γρανίτης	11.00
Μάρμαρο	4.00 – 12.00	Ψαμμίτης	11.00
Χαλαζίας	15.00	Καρβίδιο πυριτίου	29.00
Ασβεστόλιθος	14.00	Γραφίτης	43.56
Φλύσχης	29.00	Κορούνδιο	30.00 – 35.00

Η προσδιορισθείσα τιμή του δείκτη έργου W_i (kWh/t) του συγκεκριμένου πετρώματος, φανερώνει ότι πρόκειται για υλικό μικρής αντοχής στην άλεση. Η τιμή αυτή συγκρινόμενη με τις τιμές των διαφόρων πετρωμάτων και μεταλλευμάτων κατατάσσουν τα δείγμα στη κατηγορία μαλακών μαρμάρων. Παρακάτω παρουσιάζεται ο δείκτης έργου ανά δείγμα σε ένα διάγραμμα.



Διάγραμμα 9-18: Σύγκριση δείκτη Bond ανά ποιότητα (χρώμα) μάρμαρου.

Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει ότι ο δείκτης έργου μειώνεται όσο το δείγμα γίνεται λευκότερο εκτός του δεύτερου δείγματος (Ημίλευκο) το οποίο έχει τον πιο υψηλό δείκτη. Αυτό πιθανόν να οφείλεται σε κάποιο λάθος στα διάφορα στάδια του πειράματος π.χ. στη δειγματοληψία ή στην αρχική κοσκίνιση (προετοιμασία του δείγματος). Σε κάθε περίπτωση οι τιμές κυμαίνονται από το 5,3-7 kWh/t οι οποίες θεωρούνται παρά πολύ χαμηλές με βάση τον ενδεικτικό πίνακα και τις πρότυπες τιμές που δίνει (4-12) για τα μάρμαρα.

9.8. ΔΟΚΙΜΗ PROTODYAKONON

ΣΚΟΠΟΣ

Η δοκιμή αυτή καλύπτει τη διαδικασία προσδιορισμού της αντοχής των αδρανών υλικών σε εφελκυσμό (σε θλίψη και κρούση) (με τη χρήση της συσκευής θραύσης Protodyakonon). Η δοκιμή Protodyakonon είναι μια δοκιμή η οποία πλεονεκτεί των πρότυπων δοκιμών σε θλίψη και εφελκυσμό, για τους παρακάτω λόγους:

- Χρησιμοποιεί δοκίμια ακανόνιστου σχήματος και όχι διαμορφωμένα με αποτέλεσμα το χαμηλό κόστος, καθώς και το μικρό χρόνο πραγματοποίησης των δοκιμών
- Η συσκευή της δοκιμής Protodyakonon είναι μικρού όγκου, φορητή και απλή στην κατασκευή έτσι ώστε οι δοκιμές να πραγματοποιούνται εργοταξιακά χωρίς να απαιτείται μεγάλος εργαστηριακός εξοπλισμός.
- Παρόλο που δεν είναι τόσο ακριβείς δίνουν μια «αποδεκτή» εκτίμηση της αντοχής των αδρανών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή αντοχής Protodyakonon (Protodyakonon rock strength coefficient) F , ενός πετρώματος με τη μέθοδο του Protodyakonon, όπως αυτή τροποποιήθηκε από το U.S. Bureau of Mines, λαμβάνεται δείγμα από το πέτρωμα με συνολικό βάρος (σε g) ίσο με 75 φορές το ειδικό βάρος (σε g/cm^3). Κάθε δείγμα αποτελείται από δέκα τεμάχια ακανόνιστου σχήματος με βάρος 20g περίπου το καθένα. Τα τεμάχια αυτά τοποθετούνται ανά δύο στον πυθμένα της συσκευής θραύσης με κρούση (Rock strength drop tester) και θραύονται με διαδοχικές ελεύθερες πτώσεις της σφύρας (κύλινδρος κρούσης) της συσκευής. Το βάρος της σφύρας είναι 2,4 kg και το ύψος πτώσης 0,64 m από τον πυθμένα (επιφάνεια θραύσης) της συσκευής.

Κάθε τμήμα του δείγματος (δύο τεμάχια συνολικού βάρους 40 g περίπου) θραύεται με τον ίδιο ρυθμό πτώσεων της σφύρας και προσδιορίζεται το βάρος του παραγόμενου υλικού που διέρχεται από κόσκινο 35 mesh U.S. Std. (0,5mm), μετά από ένα αριθμό πτώσεων (π.χ. 5, 10, 15, 20, κτλ.). Στη συνέχεια, αφού έχουν υπολογιστεί το συνολικό βάρος (W_N), ο στερεός όγκος (V_N) και ο συντελεστής αντοχής (F_N) του υλικού, επιλέγεται κατάλληλος (μεγαλύτερος ή μικρότερος)

αριθμός πτώσεων της σφύρας, έτσι ώστε οι υπολογιζόμενες τιμές του δείκτη F_N να παρουσιάζουν ελάχιστη τιμή.(22)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΗΧΑΝΗΣ (ΣΥΣΚΕΥΗΣ) PROTODYAKONOV

Η συσκευή θραύσης Protodyakonov, αποτελείται από έναν μεταλλικό σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου 3 in και μήκους 26 in. Ο σωλήνας τοποθετείται μέσα σε μεταλλική βάση. Η βάση αυτή αποτελεί μια μήτρα με διάμετρο όση η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα 3 1/4 in. Μέσα στο σωλήνα πραγματοποιείται η ελεύθερη πτώση της κυλινδρικής σφύρας, η οποία έχει σκληρυνθεί με ενανθράκωση και έχει διαστάσεις, μήκος 2 7/8 in, διάμετρος 2 7/8 in και βάρος 2.4 kg. Η σφύρα αναρτάται από συρματόσχοινο ώστε να μπορεί να ανυψωθεί μετά από κάθε διαδοχική πτώση της μέσα στο σωλήνα. Ο σωλήνας της συσκευής καθώς και η μήτρα της συσκευής έχουν οπές διαμέτρου 1/4 in ώστε να μπορεί να εξέρχεται ο αέρας από το σωλήνα κατά την πτώση της σφύρας. Ακόμη, ο σωλήνας διαθέτει 3 βίδες στο ανώτερο χείλος του, που χρησιμεύουν για το σταμάτημα της σφύρας στο ανώτερο τμήμα της διαδρομής της, έτσι ώστε το ύψος πτώσης της να είναι σταθερό 0,64m.

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Τα δείγματα τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στη μέθοδο Protodyakonov παρασκευάζονται από χονδρομερή κομμάτια του πετρώματος που διαμορφώνονται με τη χρήση μικρού σφυριού, και έπειτα από διαδοχικές ζυγίσεις σε ζυγό ακριβείας. Έτσι θα παρασκευαστούν τεμάχια των 20 g περίπου. Εάν τα δείγματα είναι σε πιο λεπτομερή τεμάχια, η προαναφερθείσα διαδικασία παραλείπεται και απλά επιλέγονται τεμάχια των 20 g περίπου. Κάθε τμήμα δείγματος αποτελείται από δύο τεμάχια των 20g τα οποία θα τοποθετηθούν στη συσκευή θραύσης για την πραγματοποίηση της δοκιμής.(22)



Εικόνα 9-17: Φωτογραφία υλικού έπειτα από τη δοκιμή Protodyakonov

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

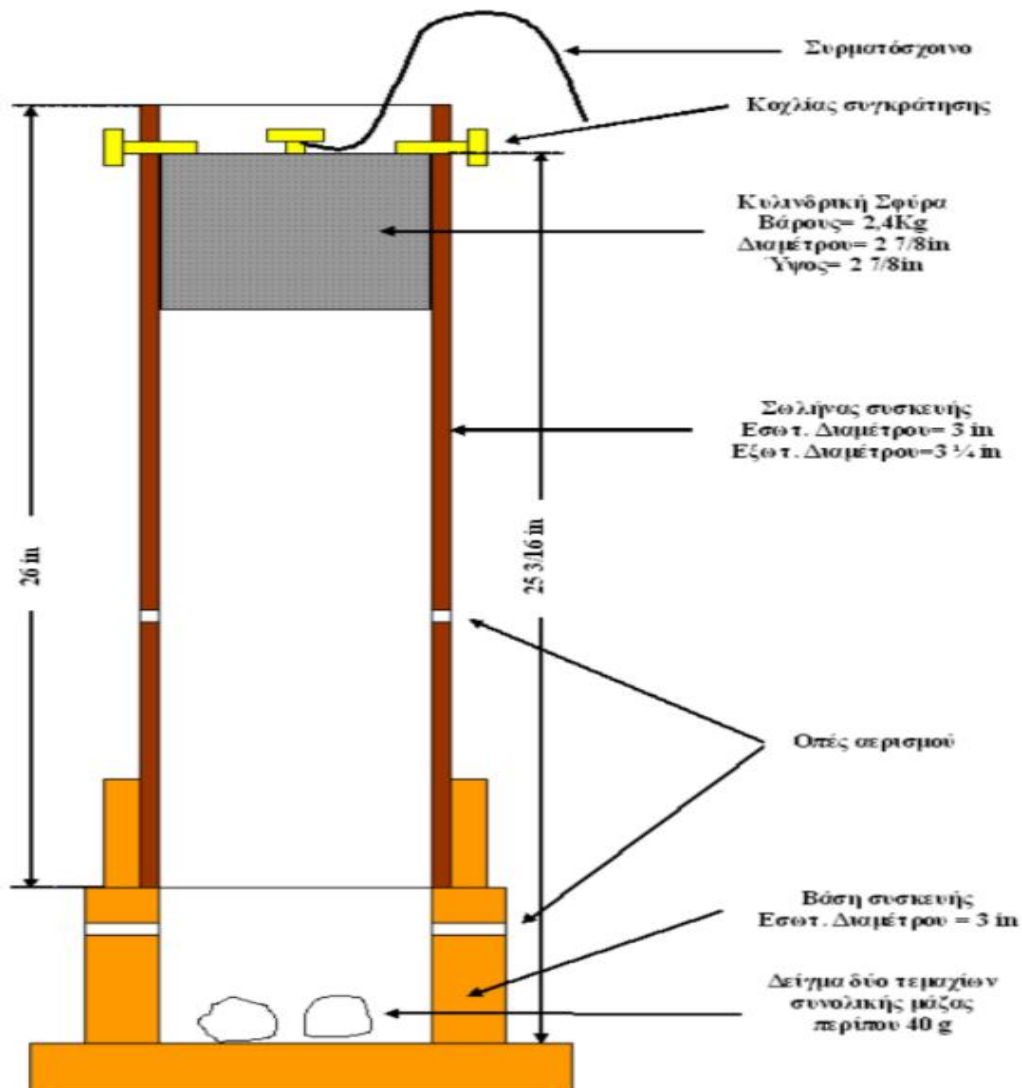
Τα τεμάχια του δείγματος τοποθετούνται ανά δύο στον πυθμένα της συσκευής Protodyakonov. Έπειτα θραύονται με σταθερό ρυθμό πτώσεων της σφύρας και προσδιορίζεται το βάρος του υλικού που διέρχεται από κόσκινο με άνοιγμα βροχίδων 0.5 mm. Στη συνέχεια αφού έχουν υπολογιστεί το συνολικό βάρος (W_N), ο στερεός όγκος (V_N) και ο συντελεστής αντοχής (F) του υλικού, επιλέγεται κατάλληλος (μεγαλύτερος ή μικρότερος) αριθμός πτώσεων της σφύρας έτσι ώστε οι υπολογιζόμενες τιμές του δείκτη F_N να παρουσιάζουν ελάχιστη τιμή.

Ο συντελεστής αντοχής F προσδιορίζεται γραφικά, από την καμπύλη του διαγράμματος F_N συναρτήσεως του N , και αντιστοιχεί στην ελάχιστη τιμή της καμπύλης. Ο συντελεστής αντοχής F του πετρώματος έχει διαστάσεις cm^{-3} , αλλά στην πράξη χρησιμοποιείται ως αδιάστατο μέγεθος (αριθμός) και αντιπροσωπεύει τη βέλτιστη ειδική ενέργεια κρούσης (ενέργεια ανά μονάδα όγκου) για παραγωγή υλικού με μέγεθος τεμαχίων $< 0.5 \text{ mm}$ ή, γενικότερα την αντίσταση (αντοχή) του υλικού στην κατάτμηση.

Ο συντελεστής αντοχής F του πετρώματος έχει δειχθεί ότι συσχετίζεται, με σχετική ακρίβεια, με:

- τη δυσθραυστότητα (toughness)
- το μέτρο δυσθραυστότητας (modulus of resilience),
- την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη,
- την σκληρότητα Shore,
- και την διατρησιμότητα (drillability) του πετρώματος με κρουστική ενέργεια.

Από το πλήθος των συσχετίσεων φαίνεται, ότι ο συντελεστής αντοχής F του πετρώματος είναι ένα μηχανικό χαρακτηριστικό, που μπορεί να συσχετιστεί με πολλές παραμέτρους αντοχής του πετρώματος.(22)



Εικόνα 9-18: Διάταξη συσκευής Protodyakonov

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Για κάθε δείγμα ($2 \cdot 5 = 10$ τεμάχια) υπολογίζεται:

$$P_N = 100 - R_N$$

Όπου: P_N = Αθρ. Βάρος % διερχόμενο

R_N = Αθρ. Βάρος % παραμένον

$$W_N = W \cdot P_N / 100$$

Όπου: W_N = Βάρος παραγόμενου υλικού, g

W = συνολικό βάρος δοκιμίων

$$V_N = W_N / \rho$$

Όπου: V_N = Όγκος παραγόμενου υλικού, cm^3

ρ = Ειδικό βάρος πετρώματος, g/cm^3

$$F_N = N / V_N$$

Όπου: F_N = Αριθμός πτώσεων / cm^3 , συντελεστής αντοχής Protodyakonov

N = Αριθμός πτώσεων σφύρας

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών, παρουσιάζονται στους Πίνακες 9-14 και 9-16 (για το Γκρίζο) Πίνακες 9-15, 9-16 για το Ημίλευκο και Πίνακες 9-17, 9-18 για το λευκό. Από τα δεδομένα των πινάκων αυτών προκύπτουν τα διαγράμματα του συντελεστή αντοχής F_N συναρτήσεως του αριθμού πτώσεων N της σφύρας για διάφορα μεγέθη d παραγόμενου υλικού (Διαγράμματα 9-19, 9-20, 9-21 αντίστοιχα).

Στους Πίνακες 9-19, 9-20, 9-21 δίνονται οι τιμές του συντελεστή αντοχής F_N και του αριθμού πτώσεων N , για μέγεθος παραγόμενου υλικού $d < 0,5$ m. Από τα δεδομένα των πινάκων αυτών προκύπτει η καμπύλη F_N συναρτήσεως του N , για το υλικό που δοκιμάστηκε (Διαγράμματα 9-19, 20, 21). Ο Πίνακας 9-22 και η καμπύλες των σχημάτων δείχνουν τον τρόπο υπολογισμού του συντελεστή αντοχής F , σύμφωνα με την τυποποιημένη διαδικασία που προτάθηκε από το U.S.Bureau of Mines.

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Οι συνθήκες διεξαγωγής της δοκιμής Protodyakonov για τον προσδιορισμό του συντελεστή αντοχής F που πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων και Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π., δεν έγινε σύμφωνα με τη διαδικασία που αναφέρθηκε αλλά με σχετική τροποποίηση αυτής (U.S.Bureau of Mines). Η τροποποιημένη αυτή διαδικασία όπως έχει ελεγχθεί, δεν επιδρά στην τιμή του τυποποιημένου συντελεστή αντοχής F και περιγράφεται στη συνέχεια.

Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν ΜΑΡΜΑΡΟ. Το μέγεθος των τεμαχίων του ήταν ικανοποιητικό και έτσι για κάθε τμήμα του δείγματος επιλέχθηκαν δύο τεμάχια συνολικού βάρους 40 g περίπου. Τα τεμάχια τοποθετήθηκαν μέσα στη μεταλλική μήτρα της συσκευής όπως επίσης και ο σωλήνας, η σφύρα, καθώς και οι βίδες που σταματούν την σφύρα στο καθορισμένο ύψος της διαδρομής της (0,64 m από τον πυθμένα της συσκευής).

Σε κάθε τμήμα του δείγματος, μετά από ένα συγκεκριμένο αριθμό πτώσεων της σφύρας της συσκευής, γίνονταν κοκκομετρική ανάλυση του θραυσμένου υλικού, το οποίο στη συνέχεια επανατοποθετούνταν στη συσκευή. Η ίδια διαδικασία (ίδιος αριθμός πτώσεων σφύρας, κοκκομετρική ανάλυση του υλικού) επαναλαμβανόταν, μέχρι να συμπληρωθεί ο προκαθορισμένος συνολικός αριθμός πτώσεων της σφύρας. Ο συνολικός αριθμός των πτώσεων που χρησιμοποιήθηκε στις δοκιμές ήταν: 5-10-15-20-25. Η κοκκομετρική ανάλυση στο κάθε τμήμα του δείγματος πραγματοποιήθηκε με σειρά κοσκίνων (διαμέτρου δ_{in}) με άνοιγμα βροχίδων: 2, 1, 0.5 και 0.25mm. Η κοσκίνιση πραγματοποιήθηκε σε συσκευή μηχανικής κοσκίνισης Rotap με χρόνο κοσκίνισης τα 3 min. Η δοκιμή εκτελέστηκε μια φορά για κάθε μάρμαρο.(22)

Πίνακας 9-13: Βάρος παραμένου υλικού σε g μετά από N πτώσεις της σφύρας (Γκρίζο).

ΓΚΡΙΖΟ	ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ g ΜΕΤΑ ΑΠΟ N ΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΦΥΡΑΣ				
	5 ΠΤΩΣΕΙΣ	10 ΠΤΩΣΕΙΣ	15 ΠΤΩΣΕΙΣ	20 ΠΤΩΣΕΙΣ	25 ΠΤΩΣΕΙΣ
-2	25,36	10,44	5,62	3,50	2,56
-2+1	4,10	6,19	6,09	5,57	5,31
-1+0,5	3,11	5,20	5,77	6,00	5,42
-0,5+0,25	3,36	5,94	6,51	6,49	6,75
-0,25	4,40	11,96	15,35	17,56	19
Συνολικό βάρος σε g	40,33	39,73	39,34	39,12	39,04
Αρχικό βάρος σε g	40,8	40,8	40,8	40,8	40,8

Πίνακας 9-14: Βάρος παραμένουστος υλικού σε g μετά από N πτώσεις της σφύρας (Ημίλευκο)

ΗΜΙΛΕΥΚΟ	ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ g ΜΕΤΑ ΑΠΟ N ΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΦΥΡΑΣ				
ΑΝΟΙΓΜΑ ΒΡΟΧΙΔΩΝ	5 ΠΤΩΣΕΙΣ	10 ΠΤΩΣΕΙΣ	15 ΠΤΩΣΕΙΣ	20 ΠΤΩΣΕΙΣ	25 ΠΤΩΣΕΙΣ
-2	23,00	11,14	6,00	2,80	1,7
-2+1	3,94	5,40	5,66	5,06	4,5
-1+0,5	2,86	5,52	4,27	4,98	5,6
-0,5+0,25	4,20	5,92	6,77	7,05	4,7
-0,25	6,20	11,88	17,02	19,33	22,24
Συνολικό βάρος σε g	40,20	39,86	39,72	39,22	38,74
Αρχικό βάρος σε g	40,2	40,2	40,2	40,2	40,2

Πίνακας 9-15: Βάρος παραμένουστος υλικού σε g μετά από N πτώσεις της σφύρας (Λευκό)

ΛΕΥΚΟ	ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ g ΜΕΤΑ ΑΠΟ N ΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΦΥΡΑΣ				
ΑΝΟΙΓΜΑ ΒΡΟΧΙΔΩΝ	5 ΠΤΩΣΕΙΣ	10 ΠΤΩΣΕΙΣ	15 ΠΤΩΣΕΙΣ	20 ΠΤΩΣΕΙΣ	25 ΠΤΩΣΕΙΣ
-2	14,05	4,80	2,00	1,10	0,7
-2+1	5,50	6,36	5,40	4,50	3,7
-1+0,5	5,65	5,80	4,50	5,40	5,8
-0,5+0,25	5,31	8,21	8,40	6,40	5,2
-0,25	7,40	12,57	17,20	20,00	22
Συνολικό βάρος σε g	37,91	37,74	37,50	37,4	37,4
Αρχικό βάρος σε g	39,2	39,2	39,2	39,2	39,2

Πίνακας 9-16:ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ % ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΤΩΣΕΙΣ ΣΦΥΡΑΣ (Γκρίζο)

ΓΚΡΙΖΟ ΑΝΟΙΓΜΑ ΒΡΟΧΙΑΔΑΣ	ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ % ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΤΩΣΕΙΣ ΣΦΥΡΑΣ									
	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 5 ΠΤΩΣΕΙΣ		ΜΕΤΑ ΑΠΟ 10 ΠΤΩΣΕΙΣ		ΜΕΤΑ ΑΠΟ 15 ΠΤΩΣΕΙΣ		ΜΕΤΑ ΑΠΟ 20 ΠΤΩΣΕΙΣ		ΜΕΤΑ ΑΠΟ 25 ΠΤΩΣΕΙΣ	
	ΒΑΡΟΣ %	ΑΘΡΟΙΣΤΙ ΚΟ ΒΑΡΟΣ % (Rs)	ΒΑΡΟΣ %	ΑΘΡΟΙΣΤ ΙΚΟ ΒΑΡΟΣ %(Rs)	ΒΑΡΟΣ %	ΑΘΡΟΙΣ ΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ %(Rs)	ΒΑΡΟΣ%	ΑΘΡΟΙ ΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ %(Rs)	ΒΑΡΟΣ%	ΑΘΡΟΙΣΤΙ ΚΟ ΒΑΡΟΣ %(Rs)
+2	57,21	57,21	27,95	27,95	15,11	15,11	7,14	7,14	4,39	4,39
-2+1	9,80	67,01	13,55	41,50	14,25	29,36	12,90	20,04	11,62	16,00
-1+0,5	7,11	74,13	13,85	55,34	10,75	40,11	12,70	32,74	14,46	30,46
-0,5+0,25	10,45	84,58	14,85	70,20	17,04	57,15	17,98	50,71	12,13	42,59
-0,25	15,42		29,80		42,85		49,29		57,41	
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	100,00		100,00		100,00		100,00		100,00	
ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ, g	40,2		40,2		40,2		40,2		40,2	

Πίνακας 9-17: Βάρος παραμένουτος υλικού σε % μετά από τις πτώσεις σφύρας (ημίλευκο)

ΗΜΙΛΕΥΚΟ ΑΝΟΙΓΜΑ ΒΡΟΧΙΑΔΑΣ	ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ % ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΤΩΣΕΙΣ ΣΦΥΡΑΣ									
	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 5 ΠΤΩΣΕΙΣ		ΜΕΤΑ ΑΠΟ 10 ΠΤΩΣΕΙΣ		ΜΕΤΑ ΑΠΟ 15 ΠΤΩΣΕΙΣ		ΜΕΤΑ ΑΠΟ 20 ΠΤΩΣΕΙΣ		ΜΕΤΑ ΑΠΟ 25 ΠΤΩΣΕΙΣ	
	ΒΑΡΟΣ %	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ %(Rs)	ΒΑΡΟΣ %	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ %(Rs)	ΒΑΡΟΣ %	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ %(Rs)	ΒΑΡΟΣ Σ%	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ %(Rs)	ΒΑΡΟΣ %	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ %(Rs)
+2	62,88	62,88	26,28	26,28	14,29	14,29	8,95	8,95	6,56	6,56
-2+1	10,17	73,05	15,58	41,86	15,48	29,77	14,24	23,19	13,60	20,16
-1+0,5	7,71	80,76	13,09	54,95	14,67	44,43	15,34	38,52	13,88	34,04
-0,5+0,25	8,33	89,09	14,95	69,90	16,55	60,98	16,59	55,11	17,29	51,33
-0,25	10,91		30,10		39,02		44,89		48,67	
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	100,00		100,00		100,00		100,00		100,00	
ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ, g	40,8		40,8		40,8		40,8		40,8	

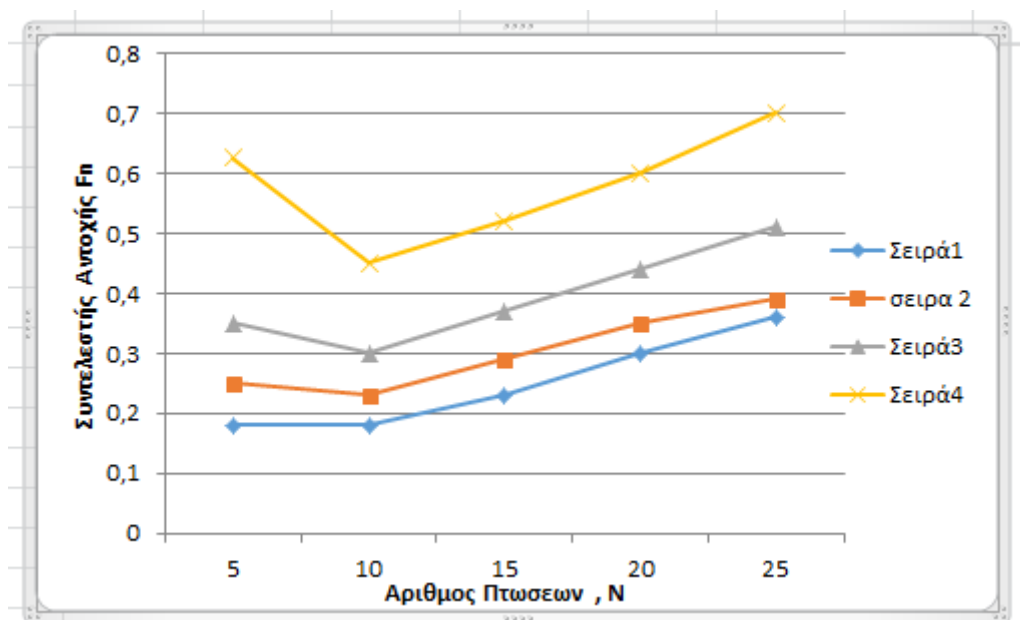
Πίνακας 9-18: Βάρος παραμένουστος υλικού σε % μετά από τις πτώσεις σφύρας (λευκό)

ΛΕΥΚΟ ΑΝΟΙΓΜΑ ΒΡΟΧΙΑΔΑΣ	ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ % ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΤΩΣΕΙΣ ΣΦΥΡΑΣ									
	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 5 ΠΤΩΣΕΙΣ		ΜΕΤΑ ΑΠΟ 10 ΠΤΩΣΕΙΣ		ΜΕΤΑ ΑΠΟ 15 ΠΤΩΣΕΙΣ		ΜΕΤΑ ΑΠΟ 20 ΠΤΩΣΕΙΣ		ΜΕΤΑ ΑΠΟ 25 ΠΤΩΣΕΙΣ	
	ΒΑΡΟΣ %	ΑΘΡΟΙΣ ΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ % (Rs)	ΒΑΡΟΣ%	ΑΘΡΟΙΣ ΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ %(Rs)	ΒΑΡΟΣ %	ΑΘΡΟΙΣ ΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ %(Rs)	ΒΑΡΟΣ%	ΑΘΡΟΙΣ ΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ %(Rs)	ΒΑΡΟΣ%	ΑΘΡΟΙ ΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ %(Rs)
+2	37,06	37,06	12,72	12,72	5,33	5,33	2,94	2,94	1,87	1,87
-2+1	14,51	51,57	16,85	29,57	14,40	19,73	12,03	14,97	9,89	11,76
-1+0,5	14,90	66,47	15,37	44,94	12,00	31,73	14,44	29,41	15,51	27,27
-0,5+0,25	14,01	80,48	21,75	66,69	22,40	54,13	17,11	46,52	13,90	41,18
-0,25	19,52		33,31		45,87		53,48		58,82	
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	100,00		100,00		100,00		100,00		100,00	
ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ, g	39,2		39,2		39,2		39,2		39,2	

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

Πίνακας 9-19: Τιμές του συντελεστή F_N συναρτήσει του αριθμού πτώσεων N και του μεγέθους του προϊόντος d . (Γκρίζο)

ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΤΩΣΕΩΝ N	ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΡΟΙΟΝΤΟΣ d , mm															
	-2				-1				-0,5				-0,25			
	$P_N\%$	W_N g	V_N	F_N	$P_N\%$	W_N g	V_N	F_N	$P_N\%$	W_N g	V_N	F_N	$P_N\%$	W_N g	V_N	F_N
5	37,12	74,24	27,40	0,18	26,95	53,9	19,89	0,25	19,29	38,58	14,24	0,35	10,91	21,8	8	0,625
10	73,72	147,44	54,40	0,18	58,14	116,28	42,91	0,23	45,05	90,1	33,24	0,3	30,1	60,2	22,2	0,45
15	85,71	171,42	63,25	0,23	70,23	140,46	51,82	0,29	55,57	111,14	41	0,37	39,02	78	28,8	0,52
20	91,05	182,1	67,2	0,3	76,81	153,62	56,69	0,35	61,48	122,96	45,37	0,44	44,89	89,8	33,1	0,6
25	93,44	186,88	68,96	0,36	86,4	172,8	63,76	0,39	65,96	131,92	48,68	0,51	48,67	97,3	35,9	0,7

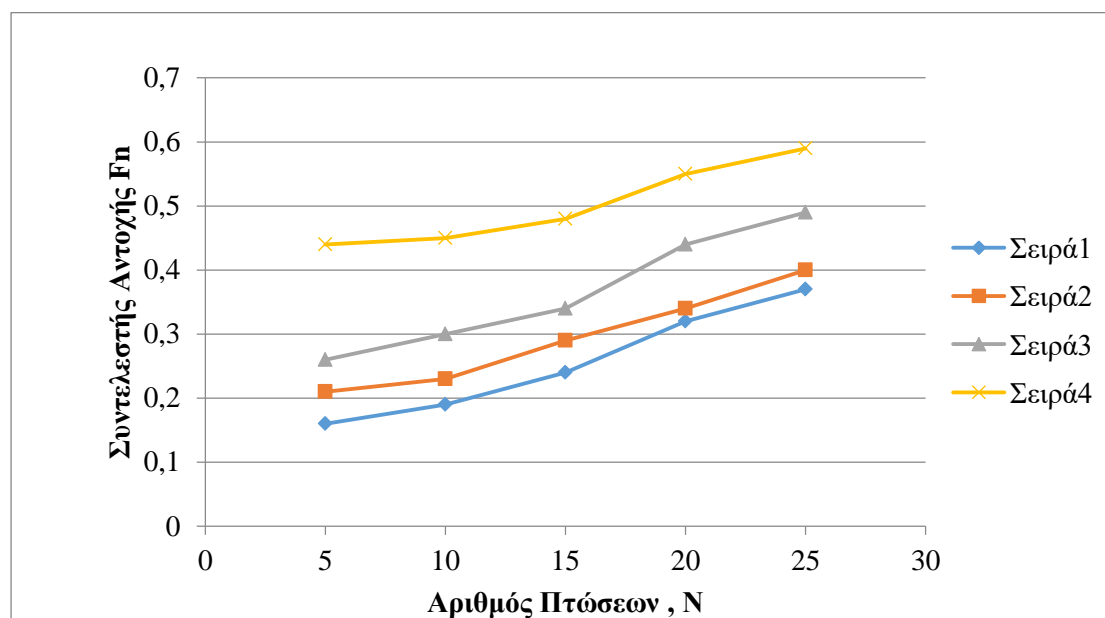


Διάγραμμα 9-19: Διάγραμμα συντελεστή αντοχής προς αριθμό πτώσεων (Γκρίζο)

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

Πίνακας 9-20: Τιμές του συντελεστή F_N συναρτήσει του αριθμού πτώσεων N και του μεγέθους του προϊόντος d .
(Ημίλευκο)

ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΤΩΣΕΩΝ N	ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΡΟΙΟΝΤΟΣ d , mm															
	-2				-1				-0,5				-0,25			
	$P_N\%$	W_N g	V_N	F_N	$P_N\%$	W_N g	V_N	F_N	$P_N\%$	W_N g	V_N	F_N	$P_N\%$	W_N g	V_N	F_N
5	42,8	85,6	31,6	0,16	33	66	24,4	0,21	25,9	51,8	19,11	0,26	15,4	30,8	11,4	0,44
10	72,1	144	53,1	0,19	58,5	117	43,2	0,23	44,66	89,32	33	0,3	29,8	59,6	22	0,45
15	83,9	167,9	62	0,24	70,6	141,2	52,1	0,29	59,9	119,8	44,2	0,34	42,9	85,7	31,6	0,48
20	84,9	169,8	62,7	0,32	80	160	59	0,34	62,3	124,6	46	0,44	49,3	98,6	36,4	0,55
25	92,9	185,7	68,5	0,37	84	168	62	0,4	69,5	139	51,3	0,49	57,4	114,8	42,4	0,59

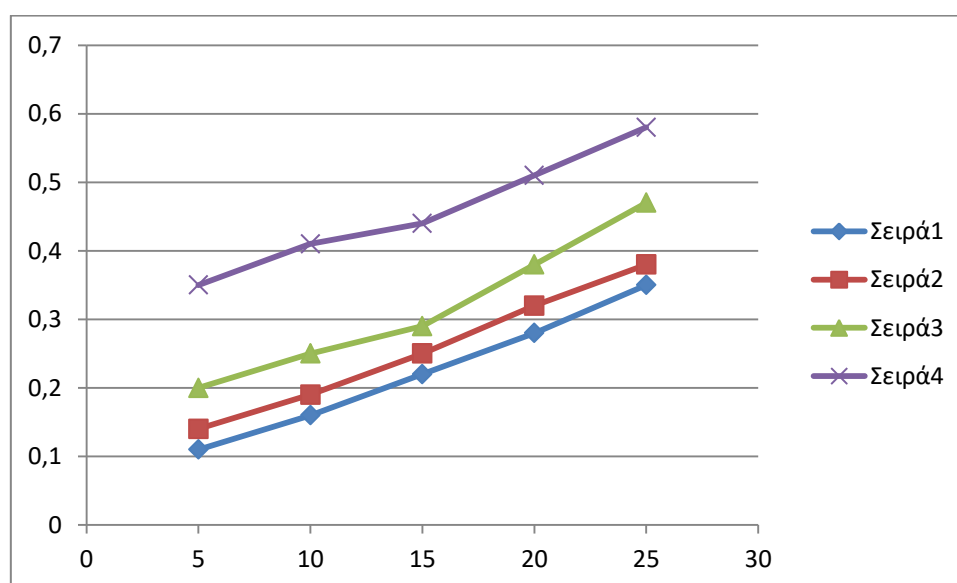


Διάγραμμα 9-20: Διάγραμμα συντελεστή αντοχής προς αριθμό πτώσεων (Ημίλευκο)

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

Πίνακας 9-21: Τιμές του συντελεστή FN συναρτήσει του αριθμού πτώσεων N και του μεγέθους του προϊόντος d.
(λευκό)

ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΤΩΣΕΩΝ N	ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΡΟΙΟΝΤΟΣ d, mm															
	-2				-1				-0,5				-0,25			
	P _N %	W _N g	V _N	F _N	P _N %	W _N g	V _N	F _N	P _N %	W _N g	V _N	F _N	P _N %	W _N g	V _N	F _N
5	62,9	125,8	46,42	0,11	48,4	96,8	35,7	0,14	33,53	67,1	24,76	0,2	19,5	39	14,4	0,35
10	87,3	174,6	64,5	0,16	70,4	140,8	52	0,19	55,1	110,2	40,7	0,25	33,3	66,6	24,6	0,41
15	94,7	189,4	69,9	0,22	80,27	160,5	59,2	0,25	69,3	138,6	51,1	0,29	45,9	91,8	33,9	0,44
20	97,1	194,2	71,66	0,28	85	170	62,7	0,32	70,6	141,2	52,1	0,38	53,48	106,96	39,5	0,51
25	98,1	196,2	72,4	0,35	88,2	176,4	65,1	0,38	72,7	145,4	53,7	0,47	58,82	117,64	43,4	0,58



Διάγραμμα 9-21: Διάγραμμα συντελεστή αντοχής προς αριθμό πτώσεων (λευκό)

Όπου: P_N = 100-R_N = Αθρ. Βάρος % διερχόμενο

W_N = W.P_N/100 = Βάρος παραγόμενου υλικού, g

V_N = W_N / ρ = Όγκος παραγόμενου υλικού, cm³

ρ = ειδικό βάρος πετρώματος, g/ cm³

Συνολικό βάρος δοκιμίων: W = 200 g

W = συνολικό βάρος δοκιμής, g

Ειδικό βάρος υλικού: ρ = 2,71 g/cm³

F_N = N/V_N , αριθμός πτώσεων/ cm³ (ΑΠ/cm³)

Πίνακας 9-22: Πρότυπες τιμές συντελεστή αντοχής ανά πέτρωμα (Department of Mining and Mineral Sciences, University of Leeds ol August, 1974.)(23)

TABLE 1
Comparing Values of Coefficient
of Rock Strength

<u>Rock Name</u>	<u>Paone et al</u> <u>(Ref.40)</u>	<u>Schmidt</u> <u>(Ref.42)</u>	<u>Unger et al</u> <u>(Ref.56)</u>
Kasota Stone	0.50	-	0.72
Mankato Stone	0.54	0.45	0.51
Rockville Granite	0.82	0.84	0.86
Rainbow Granite	0.97	-	0.87
Jasper Quartzite	1.00	1.01	1.1
Charcoal Granite	1.11	1.21	1.4
Aurora Taconite	2.08	2.62	3.4
Babbitt Taconite	2.84	2.84	-
Dresser Basalt	3.94	2.86	3.7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όσο αφορά τη δοκιμή Protodyakonov ο συντελεστής αντοχής (F_N) δείχνει να είναι αρκετά μικρός ενώ επίσης συνεχίζει να μικραίνει όσο η ποιότητα του μαρμάρου αυξάνεται. Αυτή η ακολουθία αποτελεσμάτων οδηγεί στο συμπέρασμα πως η αντοχή σε θλίψη του μαρμάρου είναι ιδιαίτερα μικρή. Στους Υπολογισμούς εφαρμόστηκαν οι τύποι του Schmidt . Με βάση τον Πίνακα 9.22 τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται είναι φανερά πολύ μικρότερα από το Mankato stone, το πιο μαλακό είδος ασβεστόλιθου του πίνακα.

9.9. Προσδιορισμός Ελαιοαπορροφητικότητας

Γενικά

Ως ελαιοαπορροφητικότητα ορίζεται το ελάχιστο ποσοστό ελαίου που απαιτείται για το σχηματισμό μιας ομογενούς πλαστικής πάστας η οποία δεν σπάει ή ρηγματώνεται κατά τη διάρκεια μάλαξης. Η τιμή αυτή δίνει μια ένδειξη του ποσοστού των κενών μεταξύ των σωματιδίων, και της διαβάθμισης των σωματιδίων. Μικρά και ομοιόμορφα μεγέθη σωματιδίων, οδηγούν σε υψηλότερη ελαιοαπορροφητικότητα από ότι τα σωματίδια που έχουν ευρύ φάσμα μεγεθών. Αυτό οφείλεται στο μεγαλύτερο όγκο κενών, που προκύπτει από τη συσσώρευση των μικρών και ομοιόμορφων σωματιδίων. Σύμφωνα με τους Bessey και Lammiman (1955), η τελική ποσότητα ελαίου που απαιτείται για να σχηματιστεί μια ομογενής πάστα περιλαμβάνει:

- Την ποσότητα ελαίου που απαιτείται να διαβρέξει και να καλύψει τις επιφάνειες των σωματιδίων.
- Την ποσότητα που απαιτείται να πληρώσει κάθε προσιτό κενό ή ρωγμή μέσα στα σωματίδια.
- Την ποσότητα που απαιτείται να γεμίσει τα κενά μεταξύ έλαιο-διαβρεχθέντων σωματιδίων, όταν αυτά είναι πυκνά συσσωρευμένα.

Κατά συνέπεια, η τιμή της ελαιοαπορροφητικότητας είναι συνάρτηση του όγκου των κενών, και της ποσότητας του ελαίου που προσροφάται στην επιφάνεια των σωματιδίων.



Εικόνα 9-19: Δείγματα μαρμάρου πριν και μετά την πειραματική διαδικασία ελαιοαπορροφητικότητας



Εικόνα 9-20: Εκτέλεση δοκιμής με την χρήση ωμού λινελαίου και προχοϊδας.

Προετοιμασία δείγματος

Χρησιμοποιήθηκε ωμό λινέλαιο. Η μάζα του δείγματος ήταν 10.00 g. Η ελαιοαπορροφητικότητα προσδιορίστηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές του προτύπου BS3483: part B7 1974.

Στον Πίνακα 7.4 παρουσιάζονται οι τιμές ελαιοαπορροφητικότητας των 3 δειγμάτων των ανθρακικών πετρωμάτων, οι οποίες βρίσκονται σε συνέπεια με τις προδιαγραφές του BS3483: part B7 1974 για χρήση των εξεταζόμενων δειγμάτων ως πληρωτικών στη βιομηχανία.

Ο υπολογισμός της απορρόφησης % ελαίου έγινε σύμφωνα με το ISO 787/5-1980 βάσει του τύπου:

$$(V \cdot \rho / M) \cdot 100$$

Όπου: V= ο όγκος του ελαίου που απορροφήθηκε M= η μάζα του δείγματος

Πίνακας 8.22: Αποτελέσματα μετρήσεων απορρόφησης ελαίου και πυκνότητας

Πίνακας 9-23: Αποτελέσματα μετρήσεων απορρόφησης ελαίου και πυκνότητας

	Δείγμα	Βάρος, g	ml λαδιού	Απορρόφηση ελαίου (g ελαίου/100g)	Πυκνότητα ωμού λινελαίου
Γκρίζο	Δ1	10	2	18,6	0,93
	Δ2	10	1,9	17,7	0,93
Ημίλευκο	Δ3	10	1,6	14,9	0,93
	Δ4	10	1,7	15,8	0,93
Λευκό	Δ5	10	2,2	20,5	0,93
	Δ6	10	2,2	20,5	0,93
Όρια	BS3483			10-22	

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Διαπιστώνεται ότι οι τιμές της απορρόφησης ελαίου για όλα τα δείγματα κυμαίνονται μέσα στα όρια των προδιαγραφών. Επίσης, παρατηρείται ότι τα δείγματα λευκού μαρμάρου έχουν την μεγαλύτερη ελαιοαπορροφητικότητα, γεγονός το οποίο είναι λογικό διότι όσο πιο καθαρό το μάρμαρο τόσο πιο εύκολα απορροφά ουσίες. Επίσης τα σωματίδια του λευκού μαρμάρου είναι πιο ομοιόμορφα κατανεμημένα.

9.10. Μέτρηση pH υδατικού αιωρήματος

Γενικά

Η μέτρηση του pH γίνεται για να προσδιοριστεί η συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου στο νερό, όταν ένα δείγμα υπό μορφή σκόνης διασπείρεται μέσα σε αυτό. Με τη μέτρηση αυτή μπορεί να καθοριστεί εάν ένα υλικό είναι αλκαλικό ή όξινο, και ανάλογα εάν μπορεί να αντιδράσει με το μέσο στο οποίο πρόκειται να ενσωματωθεί, όπως είναι για παράδειγμα τα υδατοδιαλυτά χρώματα.



Εικόνα 9-21: Χρήση Πεχάμετρου και Θερμομέτρου για την εκτέλεση της δοκιμής.

Μεθοδολογία

Η μέτρηση του pH ακολουθεί τη μέθοδο που περιγράφεται στις προδιαγραφές B.S. 3483: part C4 (1974). Η μέτρηση έγινε με pH-μετρο, με αιώρημα κονιοποιημένου δείγματος 20% σε νερό (30g δείγματος σε 150 ml νερού). Οι μετρήσεις έγιναν σε όλα τα δείγματα δύο φορές και σημειώθηκε ο μέσος όρος.

Αποτελέσματα

Πίνακας 9-24: Αποτελέσματα pH των εξεταζόμενων ανθρακικών δειγμάτων.

	Δείγμα	Βάρος, g	pH	Θερμοκρασία (°C)
Γκρίζο	Δ1	30	8.12	27
Ημίλευκο	Δ2	30	8.06	27.1
Λευκό	Δ3	30	8.06	26.5

10. Συμπεράσματα-Συγκρίσεις – Αξιολόγηση

Πίνακας 10-1: Συγκεντρωτικός Πίνακας Αξιολόγηση και Σύγκριση

	Γκρίζο	Ημίλευκο	Λευκό	Διονύσου	IONIAN ΚΑΛΚ	Microfill K. Ζαφρανάς	Λατομείο ΛΙΜΝΙΑ	ΛΑΧΟΡ Α.Ε
CaCO ₃ (% περιεκτικότητα)	97	98	98	98	99	99.5	98,9	96
Απόλεια πύρωσης (% απόλεια)	44	43,8	43,9	44,97	47,34	44,97	-	43
Λευκότητα (% περιεκτικότητα)	93	95	97	96.5	98	96.5	91	95
XRF (%CaO περιεκτικότητα)	55.3	55.4	55.5	-	-	-	55,5	-
Ελαιοαπορροφητ ικότητα (g ελαίου / 100 g δείγματος)	18	15.3	20.5	21	22	9	-	9
pH.	8.12	8.06	8.06	-	10	9	-	9
Bond (kWh/t)	6,5	6,9	5,3	-	-	-	-	-
Los Angeles (% φθορά)	71,7	85,1	92,1	-	-	-	-	-
Protodyakonov F _N (ΑΠ/cm ³)	0,37	0,34	0,29	-	-	-	-	-
MgO (%)	0.365	0.188	0.279	0.75	0,15	30	-	-
Δολομίτης (%)	1	0.5	0.5	1	-	-	-	-
SiO ₂ (%)	0.0257	0.0275	0.0179	0.35	0,05	63	-	-

Πίνακας 10-2: Συγκεντρωτικός Πίνακας Αξιολόγηση και Σύγκριση

	Γκρίζο	Ημίλευκο	Λευκό	Λατομείο Αγίου Κοσμά	Λατομείο Δύσβατο	Λατομείο Κεχροκάμπου	Λατομείο Κομνηνά	Λατομείο Βαθύλακκο
CaCO ₃ (%) περιεκτικότητα)	97	98	98	98,3	98,5	98,9	98,6	98,2
Απώλεια πύρωσης (%) απώλεια)	44	43,8	43,9	-	-	-	-	-
Λευκότητα (%) περιεκτικότητα)	93	95	97	93,5	93	94,6	95,6	90
XRF (%CaO περιεκτικότητα)	55.3	55.4	55.5	55,1	55,3	55,5	55,3	55,1
Ελαιοαπορροφητικότητα (g ελαίου / 100 g δείγματος)	18	15.3	20.5	-	-	-	-	-
pH	8.12	8.06	8.06	-	-	-	-	-
Bond (kWh/t)	6,5	6,9	5,3	7,5-8	8,8	7,29	-	8,67
Los Angeles (% φθορά)	71.7	85.1	92.1	-	-	-	-	-
Protodyakonov F _N (ΑΠ/cm ³)	0.37	0.34	0.29	-	-	-	-	-
MgO (%)	0.365	0.188	0.279	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5
Δολομίτης (%)	1	0.5	0.5	2.4	1.5	1.6	2.1	2.3
SiO ₂ (%)	0.0257	0.0179	0.0275	0.23	0.19	0.18	0.19	0.17

Τα δείγματα εξετάστηκαν πρωτίστως ως προς την καταλληλότητά τους για την παραγωγή υλικών και συμπληρωματικά για χρήση τους ως αδρανή. Η μεν εφαρμογή παράγει προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας, η δε δεύτερη ομάδα θα προκύπτει υποχρεωτικά ως παραπροϊόν της όλης διαδικασίας επεξεργασίας. Τα αναλυτικά κριτήρια αξιολόγησης παρουσιάζονται αναλυτικά στο θεωρητικό μέρος της διπλωματικής. Συνοπτικά αυτά είναι :

1. Περιεκτικότητα σε CaO (%) , MgO(%) , SiO₂ (%) και Fe₂O₃ (%) .
2. Περιεκτικότητα σε Δολομίτη (CaCO₃.MgCO₃) , % .
3. Περιεκτικότητα σε συνολικό CaCO₃ (%) , η οποία επιδιώκεται να είναι >98%, και κατάταξη των υλικών σε ποιότητες (grades), έτσι όπως αυτές παρουσιάζονται στα πρότυπα EN 3265.05.

4. Οπτικές ιδιότητες / Λευκότητα – Φωτεινότητα – Λαμπρότητα υλικών: Από το αποτέλεσμα της μέτρησης του συντελεστή ανακλαστικότητας, υπολογίζονται με βάση τα διαφορετικά πρότυπα / συστήματα χρωματικής κατάταξης των υλικών, οι παράμετροι x , y , z .
5. Αποξεστική ικανότητα Einlechner
 1. Στους παραπάνω πίνακες φαίνονται οι περιεκτικότητες των δειγμάτων του λατομείου της Νάξου καθώς και οι περιεκτικότητες άλλων λατομείων λευκών μαρμάρων και αδρανών στην Ελλάδα. Αρκετά εμφανές είναι το γεγονός ότι σε μια σύγκριση μεταξύ των υπολοίπων λατομείων, το λατομείο της Νάξου έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε CaO το οποίο είναι θετικό ενώ δείχνει να έχει τις μικρότερες περιεκτικότητες σε προσμίξεις και δολομίτη.
 2. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το ποσοστό δολομίτη των δειγμάτων είναι σε σχέση με τον ανταγωνισμό της αγοράς το μικρότερο και αυτό κάνει το μάρμαρο της Νάξου ανταγωνιστικό στην αγορά.
 3. Οι περιεκτικότητες των δειγμάτων είναι πολύ κοντά στο 98% σε CaCO_3 και επίσης δείχνουν να είναι ισοδύναμες με την αγορά.
 4. Η λευκότητα των δειγμάτων δείχνει να είναι αρκετά μεγάλη με δυνατότητες βελτίωσης καθώς η μέτρηση της λευκότητας έγινε σε μικρή κοκκομετρία (-0,06mm) αλλά όχι στην μικρότερη δυνατή η οποία θα ήταν (0,01mm). Το ποσοστό της λευκότητας είναι μεγαλύτερο όσο η κοκκομετρία του δείγματος είναι μικρότερη, διότι εξαφανίζονται οι σκιές από το λείζερ με σκοπό να έχουμε καλύτερη μέτρηση και πιο ακριβές αποτέλεσμα. Ωστόσο οι τιμές που προέκυψαν στις μετρήσεις μας είναι ενθαρρυντικές καθώς με μικρότερη κοκκομετρία υπάρχει πιθανότητα να επιτευχθεί έως και 99% λευκότητα.
 5. Η αποξεστική ικανότητα Einlechner δείχνει να παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των συμπερασμάτων για τις χρήσεις των υλικών, ωστόσο οι παραπάνω δοκιμές δεν εκτελέστηκαν αυτό για λόγους χρόνου. Όμως, έχοντας λάβει τις καλύτερες δυνατές τιμές στις υπόλοιπες μετρήσεις είναι πολύ πιθανό ότι και αυτές οι μετρήσεις να βρίσκονται εξίσου εντός των ορίων 10-22 mg. Σημαντικό όμως είναι να γίνει και αυτή η πειραματική διαδικασία πριν από τη λήψη κάποιας απόφασης αξιοποίησης των υλικών.

Αποτελέσματα αξιολόγησης της καταλληλότητας των υλικών για την εφαρμογή
‘ΑΔΡΑΝΗ’

Η καταλληλότητα των υλικών εξετάστηκε σε αντιπροσωπευτικές ποσότητες κατάλληλα προετοιμασμένες στις 3 ποιότητες των μαρμάρων του λατομείου για 3 συγκεκριμένες δοκιμές, ως ακολούθως:

- 1) Δοκιμή Protodyakonov,
 - 2) Αντίσταση σε θρυμματισμό-Δοκιμή Los Angeles (ΕΛΟΤ EN 1097-2:2011),
 - 3) Μέτρηση pH και ελαιοαπορροφητικότητας
1. Όσο αφορά τη δοκιμή Protodyakonov ο συντελεστής αντοχής (F_N) δείχνει να είναι αρκετά μικρός ενώ επίσης συνεχίζει να μικραίνει όσο η ποιότητα του μαρμάρου αυξάνεται. Αυτή η ακολουθία αποτελεσμάτων οδηγεί στο συμπέρασμα πως η αντοχή σε θλίψη του μαρμάρου είναι ιδιαίτερα μικρή. Στους υπολογισμούς εφαρμόστηκαν οι τύποι του Schmidt. Με βάση τον Πίνακα 9.22 τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται είναι φανερά πολύ μικρότερα από το Mankato stone , το πιο μαλακό είδος ασβεστόλιθου του πίνακα.
2. Στην συνέχεια στη δοκιμή Los Angeles παρατηρήθηκε ακριβώς το ίδιο φαινόμενο. Με βάση τα αποτελέσματα της δοκιμής, μπορεί να χαρακτηριστεί ένα αδρανές υλικό ως σκληρό, μαλακό, η ενδιάμεσης σκληρότητας. Για παρασκευή σκυροδέματος ανθεκτικού σε επιφανειακή φθορά (βιομηχανικά δάπεδα, σκυρόδεμα οδοποιίας), ο κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ) ορίζει τιμή Los Angeles όχι μεγαλύτερη από 40%. Για παρασκευή ασφαλικού σκυροδέματος οι προδιαγραφές (Π.Τ.Π Α 265) ορίζουν τη χρήση αδρανών με % φθορά μικρότερη του 40%. Για τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή Βάσεων και αποβάσεων στην οδοποιία, οι ελληνικές προδιαγραφές (Π.Τ.Π Α155 και 150) ορίζουν τιμή Los Angeles όχι μεγαλύτερη του 50%.
- Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και τις ελληνικές προδιαγραφές, τα μάρμαρα κρίνονται ακατάλληλα για την εφαρμογή τους σε σκυρόδεμα, αδρανή και οδοποιία. Επίσης διασταυρώνεται το αρχικό πιθανό σενάριο το οποίο ήταν ότι πρόκειται για μαλακό υλικό το οποίο όσο πιο λευκό είναι τόσο πιο μαλακό.
3. Όσο αφορά το pH και την ελαιοαπορροφητικότητα. Το pH δείχνει να είναι μικρότερο από τα προϊόντα των εταιρειών Microfill, Ionian Kalk και ΛΑΧΟΡ.

Ενώ η ελαιαπορροφητικότητα δείχνει να κυμαίνεται κοντά στις τιμές με αυτές των προϊόντων της DIONYSOS MARBLES.

Δείκτης έργου BOND

Οι τιμές που υπολογίστηκαν στις συνθήκες που πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές, δίνουν Μ.Ο. για το δείκτη έργου W_i ίσο με 6 kWh/st, ενώ αναμένεται εύρος τιμών από 5,3 kWh/st έως 8 kWh/st. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα αυτά με διαθέσιμους δείκτες έργου για άλλα γνωστά υλικά (π.χ. ασβεστόλιθος: $W_i=12,74$ kWh/st, δολομίτης: $W_i=11,27$ kWh/st), προκύπτει ότι ο δείκτης έργου για τα υλικά των περιοχών που μελετήθηκαν είναι πολύ χαμηλός, γεγονός που συνεπάγεται τη χαμηλή απαιτούμενη ενέργεια κατάτμησης (λειοτριβήσης).

Πίνακας 10-3: Συγκεντρωτικός πίνακας απαιτούμενων χαρακτηριστικών ανά χρήση ανθρακικού ασβεστίου

	CaCO ₃	MgCO ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Χαρτί	>96%	<3,75%	<1%	53,7%	<0,5%	<0.5%
Γυαλί	>98%	-	-	>55,2%	<0.02%	-
Φίλτρα αποθείωσης	>95%	<2%	<0,65%	>53,2%	<0,25%	-
Λιπάσματα	>95%	1%	<2%	-	<0,25%	-

Παρατηρώντας τον παραπάνω πίνακα είναι σαφές ότι τα δείγματα μαρμάρου του λατομείου του Κυνίδαρου στη Νάξο πληρούν όλες τις απαιτούμενες προδιαγραφές έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία των παραπάνω προϊόντων.

Έπειτα από έρευνα η εξίσου καλής ποιότητας πρώτη ύλη μαρμαρόσκονης που παράγεται στις μονάδες παραγωγής filler των εταιρειών Microfill και DIONYSOS MARBLES χρησιμοποιούνται με επιτυχία στην παραγωγή χρωμάτων, για κόλλες πλακιδίων, σε θερμοπλαστικά PVC, PPP, PE, έπειτα από κεροποίηση, σε χαλιά, σε ακρυλικά, σε λάστιχα και ζωοτροφές. Εφόσον τα υλικά που εξετάστηκαν είναι παρόμοιας έως και καλύτερης ποιότητας με μηδενικές προσμίξεις, θεωρείται σίγουρο ότι θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης για την κατασκευή των παραπάνω προϊόντων.

11. Βιβλιογραφία

1. (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.dionyssomarble.com/>
2. (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.novocarb.gr/gr>
3. (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.zafranas.com/>
4. (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.karpontinibros.gr/>
5. Ewa Lewicka, J. S. (2020). *Sources and Markets of Limestone Flour in Poland*. Poland.
6. Lamar, J. (1961). *Uses of Limestone and Dolomite*.
7. Wiley-VCH, I. J.-W. (1998). *Lime and limestone: Chemistry and technology, production and uses*.
8. Αποστολίδης, Ν. (1991). *Εκμετάλλευση μαρμάρων*. Τμήμα Μηχ. Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Σπουδαστικές σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
9. Γιαννημάρας, Ευθ. Κ. (2002). *Η καταβύθιση του ανθρακικού ασβεστίου σε υδατικά διαλύματα*. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Πάτρα.
10. Δημήτριος Γκαϊνιάς. (2015). *Μελέτη ποιοτικών χαρακτηριστικών ανθρακικών πετρωμάτων απο λατομείο αδρανών περιοχής Χορδακίου Χανίων*. Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
11. Κωνσταντίνα, Καλαφάτη. (2005). *Εφαρμογές Ανθρακικού ασβεστίου ως πληρωτικό, διασταλτικό και χρωστικό υλικό στη βιομηχανία χρωμάτων*. Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
12. Μηναδάκης, Ε. (2005). *Κβαντοχημική μελέτη του ανθρακικού ασβεστίου*. Πάτρα. Πολυτεχνείο Πάτρας, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Διδακτορική Διατριβή.
13. Παντ.Μοσκοφόγλου, Τ. γ. (Μάϊος 2011). *Αφοι Καρποντίνη Ναζιάτικα μάρμαρα Ο.Ε.* Νάξος.
14. Παπαδημητρίου, Α. Π. (2011). *Διερεύνηση Δυνατοτήτων αξιοποίησης δολομιτικού μαρμάρου ως πληρωτικό υλικό*. Διπλωματική εργασία, ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ, ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ, Αθήνα.
15. Παππάς, Κ. (2010). *Εισαγωγή και ανάλυση δεδομένων φυσικών μηχανικών τεχνικών ιδιοτήτων μαρμάρων με τη βοήθεια ειδικής σχεσιακής βάσης δεδομένων*. Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
16. Στεφανής, Φ. (2019). *Ανθρακικό Ασβέστιο: Τι είναι και που χρησιμοποιείται*. *Stone news*.
17. Τσακίρη, Δ. Π. (2012). *Επίδραση της κοκκομετρίας ασβεστολιθικών αδρανών στον προσδιορισμό του δείκτη έργου Bond*. Πτυχιακή εργασία, ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.): "ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

18. Φωτεινή Χαλκιοπούλου και Ιωάννης Χατζηπαναγής, (2015), ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ, για τη Συν-διαχείριση και Αξιοποίηση των Απορριμμάτων, από την Εξόρυξη Μαρμάρου στα Όρη Λεκάνης και το Αν. Φαλακρό. *ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ (Ι.Γ.Μ.Ε.)*
19. Ζωή Δηλγεράκη. (2014). Μελέτη πετρογραφικών και φυσικομηχανικών ιδιοτήτων μαρμαροφόρων κοιτασμάτων από περιοχές των νομών Δράμας και Σερρών. ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ, ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, Πάτρα.
20. Τσακαλάκης Κ.Γ. και Χυδεριώτης Α., 2005, Σύγκριση των μεθόδων Protodyakonov και AIV (Aggregate Impact value) για τον Έλεγχο της Αντοχής σε Κρούση Αδρανών Υλικών Σκυροδέματος, 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Κεραμικών, Ελληνική Κεραμική Εταιρεία, 8-9 Δεκεμβρίου 2005, Ε.Μ. Πολυτεχνείο, Αθήνα.
21. Tsakalakis Kostas. (2006), Impact strength of brittle materials (rocks), comparison of the "Protodyakonov" and "AIV" (aggregate impact value) methods, School of Mining and Metallurgical Engineering, NTUA, Greece, προσκεκλημένη παρουσίαση στο Meeting of Refractory Experts "MORE", 4-5 May 2006, T.U. Freiberg (Saxony), Germany, https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj89LuAhM_yAhXgg_0HHWuGC4wQFnoECAMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.freiberg.de%2Fimages%2Ffile%2Ftsakalakis.pdf&usq=AOvVaw1n_d3CYtGRSLzK4gJrjtlu.
22. Κοτρόζος Δημήτριος. (2015). Πειραματικές Διαδικασίες Ελέγχου και Μέθοδοι Αξιολόγησης Καταλληλότητας Αδρανών Υλικών. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μεταλλειολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π., Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
23. David Wotton, (1974): Department of Mining and Mineral Sciences, Aspects of energy requirements for rock drilling, University of Leeds ol.
24. Κ. ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ , Δ. ΚΑΛΙΑΜΠΑΚΟΣ, Γ. ΡΑΖΗΣ (1989): Παραγωγή πληρωτικού από Δολομίτη Στεφάνης , Μεταλλειολογικά – Μεταλλουργικά Χρονικά , σελ. 65-73, Ιούλιος-Δεκέμβριος 1989 .
25. Κ. ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ , Δ. ΚΑΛΙΑΜΠΑΚΟΣ, Γ. ΡΑΖΗΣ (1991): "Τα πληρωτικά και οι χρήσεις τους", Ορυκτός πλούτος", Ορυκτός πλούτος, τ. 72, σελ. 17-26, 1991.
26. Κ. ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ , Δ. ΚΑΛΙΑΜΠΑΚΟΣ (1994): "Applicability of the dolomitic marble wastes of Thassos island as filler, for limiting the relative harmful environmental impacts", Ορυκτός πλούτος, τ. 92, σελ. 29-38, Σεπτέμβριος – Οκτώβριος 1994
27. D. Kaliampakos, A. Moutsatsou , J. Skotaras (1996): "Comparative evaluation of the wastes of the marble quarries as paint fillers". Transactions of the institution of Mining and Metallurgy Section C, Vol. 105, pp. 37-42, January – April 1996.