



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΟΓΚΟΜΑΡΜΑΡΩΝ

ΓΚΟΥΜΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Επιβλέπων Καθηγητής ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΕΞΑΔΑΚΤΥΛΟΣ

Καθηγητής ΜΙΧΑΗΛ ΓΑΛΕΤΑΚΗΣ

Δόκτωρ ΣΑΡΑΤΣΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου Γεώργιο Εξαδάκτυλο, τον καθηγητή Μιχαήλ Γαλετάκη και τον Δόκτορα Γεώργιο Σαράτση για τις πολύτιμες συμβουλές τους για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής και την άψογη συνεργασία.

Ευχαριστώ επίσης όλον τον όμιλο και το εργατικό προσωπικό της Α.Ε.Β.Ε. Λατομείων Μαρμάρου Διονύσου - Πεντέλης (Dionyssomarble) και ιδιαίτερα τον επικεφαλής μηχανικό Σωτήριο Τρυποσκούφη για την καταλυτική βοήθειά τους για όλο αυτό το διάστημα. Χωρίς την πρόσβαση σε όλους τους χώρους και τομείς του λατομείου και χωρίς τις συνεχόμενες ώρες δίπλα στον εργοδηγό και χειριστή Νικόλαο Θεοχάρη και στον εργάτη Ηλία Παπαδόπουλο, η εργασία αυτή θα ήταν αδύνατον να ολοκληρωθεί!

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στην οικογένεια, την φίλη και τους φίλους μου, η στήριξη και η πίστη των οποίων αποτέλεσε κινητήρια δύναμη για μένα.

Η αποδοχή της παρούσης διπλωματικής εργασίας από την Εξεταστική Επιτροπή δεν σημαίνει αυτόματα και την αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΜΑΡΜΑΡΟ	8
1.1: ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑ ΜΕΧΡΙ ΣΗΜΕΡΑ	8
1.2: ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΑΡΜΑΡΟΥ	14
1.2.1: ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΜΑΡΜΑΡΟ;	14
1.2.2: ΕΙΔΗ ΜΑΡΜΑΡΟΥ	16
1.3: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΜΑΡΜΑΡΟΥ	17
1.3.2: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΕΞΟΡΥΞΗ	19
2.1: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΜΑΡΜΑΡΟΥ	19
2.1.1: ΥΠΑΙΘΡΙΑ ΕΞΟΡΥΞΗ ΜΑΡΜΑΡΟΥ	20
2.2: ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΜΑΡΜΑΡΟΥ	25
2.3: ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΜΑΡΜΑΡΟΥ	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	38
3.1: ΑΠΟ ΤΟ ΛΑΤΟΜΕΙΟ ΣΤΟ ΣΧΙΣΤΗΡΙΟ	38
3.2: Η ΜΟΝΑΔΑ ΤΟΥ ΣΧΙΣΤΗΡΙΟΥ	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	50
4.1: ΟΙ ΒΑΘΜΙΔΕΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ	50
4.2: Η ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΒΑΘΜΙΔΩΝ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ	52
4.3: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΚΟΠΗΣ	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.	65
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	67
ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	67

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Άποψη της αρχαίας εξόρυξης μαρμάρου. Φάση ορθογωνισμού των όγκων (Κορρές Μ. 1994).	9
Εικόνα 2: Λιθαγωγία, σύστημα καταγωγής. (Ορλάνδος Α. 1994).	9
Εικόνα 3: Θαλάσσια Μεταφορά. (Ορλάνδος Α. 1994).	10
Εικόνα 4: Ράμπα Μεταφοράς. (Ορλάνδος Α. 1994).	10
Εικόνα 5: Ποσοστιαία αναλογία παραγωγής μαρμάρου ανά Γεωγραφικό Διαμέρισμα..	12
Εικόνα 6: Άτλας των κυριότερων λατομείων διακοσμητικών πετρωμάτων και δομικών λίθων της Ελλάδας	13
Εικόνα 7: Εμπορική διάταξη των διακοσμητικών πετρωμάτων.	15
Εικόνα 8: Οι χαρακτηριστικές επιφάνειες του μαρμάρινου όγκου.	18
Εικόνα 9: Υπαίθρια εξόρυξη μαρμάρου.	19
Εικόνα 10: Άποψη των θαλάμων και στύλων σε υπόγεια εξόρυξη.	20
Εικόνα 11: Πυρηνοληπτική - Δειγματοληπτική Γεώτρηση.	22
Εικόνα 12: Δειγματοληπτικοί πυρήνες - Καρότα.	21
Εικόνα 13: Αεροφωτογραφία από το <i>Google Earth</i> ολόκληρου του λατομείου.	22
Εικόνα 14: Άποψη του Α' Λάκκου του λατομείου Διονύσου-Πεντέλης.	22
Εικόνα 15: Άποψη του Β' Λάκκου του λατομείου μαρμάρου Διονύσου-Πεντέλης.	23
Εικόνα 16: Ορθές βαθμίδες και συνδυασμός τρόπων εξόρυξης (επιφανειακή και υπόγεια) στο λατομείο μαρμάρου Βώλακα.	23
Εικόνα 17: Σχεδιαστική αναπαράσταση της κλίσης πρανούς.	24
Εικόνα 18: <i>Wagon Drill</i> .	25
Εικόνα 19: <i>Liner</i> .	25
Εικόνα 20: Το βαγόνι - πλαίσιο του <i>Liner</i> της εικόνας 18.	26
Εικόνα 21: <i>Συρματοκοπή MARINI</i> .	26
Εικόνα 22: Σχεδιαστική τομή συρματοσχοίνου συρματοκοπής.	27
Εικόνα 23: <i>Νύχι</i> .	28
Εικόνα 24 : <i>Πιρούνι</i> .	28
Εικόνα 25: Φορτηγό - Πλατφόρμα μεταφοράς όγκων	29
Εικόνα 26: Σφυρί.	29
Εικόνα 27 : Φορτωτής & Φορτηγό.	30
Εικόνα 28: Σχεδιαστική αναπαράσταση των απαραίτητων διατρήσεων.	31
Εικόνα 29: Η στρατηγική των διατρήσεων στο Πρόσωπο.	32
Εικόνα 30: Σχεδιαστική αναπατάσταση της σειράς των κοπών με τη συρματοκοπή.	32
Εικόνα 31: Συρματοκοπή επί τω έργω.	33
Εικόνα 32: Σχεδιαστική αναπαράσταση της πρότμησης με το <i>Liner</i> .	33
Εικόνα 33: Άποψη της διαδικασίας γόμωσης για το σχίσμο του πάτου.	34
Εικόνα 34: Ανεστραμένος όγκος. Σχεδιαστική αναπαράσταση της ανατροπής.	34
Εικόνα 35: Υδρόσακος επί τω έργω.	35
Εικόνα 36: Άποψη των όγκων ύστερα από ολοκλήρωση της δευτερογενούς κοπής.	35
Εικόνα 37: Υδραυλική Σφύρα επί τω έργω.	36
Εικόνα 38: Διάγραμμα ροής των αποφάσεων και των εργασιών σε ένα λατομείο μαρμάρου.	37

Εικόνα 39: Μαρκάρισμα των διαστάσεων και προσανατολισμού ενός ογκομαρμάρου στην πλατεία. πηγή: Εξαδάκτυλος Γ.	39
Εικόνα 40: Άποψη της πλατείας stock, με όγκους από παλαιότερες εξορύξεις.	40
Εικόνα 41: Βασικοί τύποι προϊόντων προς πώληση του σχιστηρίου. Πηγή: www.marcocosistones.com	40
Εικόνα 42: Τυπική διάταξη γραμμής παραγωγής ταχυσχιστηρίου.	41
Εικόνα 43: Άποψη του μονόλαμου.	42
Εικόνα 44: Άποψη του μονόσυρμου σταθερού πλαισίου.	42
Εικόνα 45: Όγκος στο τελάρο, κόντρα κοπή.	43
Εικόνα 46: Λεπτομέρεια παράταξης λαμών τελάρου.	43
Εικόνα 47: Ενδεικτική άποψη σύγχρονης φρέζας με περιστρεφόμενη τράπεζα, προσαρμοσμένη σε γερανογέρφουρα (γεφυρωτός κόφτης).	44
Εικόνα 48: Κοπτικό μηχάνημα κινούμενης τράπεζας.	44
Εικόνα 49: Είσοδος πλάκας για λουστράρισμα.	45
Εικόνα 50: Κεφαλές λουστραρίσματος.	45
Εικόνα 51: Άποψη της διαδικασίας στέγνωσης των πλακών.	46
Εικόνα 52: Άποψη της στρώσης ρητίνης σε κομμένη κόντρα πλάκα.	46
Εικόνα 53: Δημιουργία εικόνας αντικατοπτρισμού με παράταξη "open book" σε κόντρα κομμένο όγκο.	47
Εικόνα 54: Άποψη της διαδικασίας του στρωσίματος των τεμαχίων.	47
Εικόνα 55: Άποψη της Υδροκοπής.	48
Εικόνα 56: Παράδειγμα δυνατοτήτων εφαρμογής Υδροκοπής.	48
Εικόνα 57: Άποψη του υπερσύγχρονου CNC κόπτη.	49
Εικόνα 58: Παράδειγμα δυνατοτήτων εφαρμογής κοπής με CNC κόπτη.	49
Εικόνα 59: Άποψη των τριών υπό μελέτη βαθμίδων του Α' Λάκκου του λατομείου Διονύσου.	50
Εικόνα 60: Άποψη του πρώτου μεγάλου ρήγματος του Α' Λάκκου, που εκτείνεται από πάνω, μέχρι και την πλατεία.	51
Εικόνα 61: Άποψη του δεύτερου ανοιχτού ρήγματος του Β' Λάκκου του λατομείου, που εκτείνεται μεταξύ των δύο λάκκων.	52
Εικόνα 62: Σημείο παραγωγής Βαθμίδας 6.	53
Εικόνα 63: Άποψη όγκου της Β6 υπό κόντρα κοπή στο τελάρο.	53
Εικόνα 64: Άποψη των ορθογωνισμένων πλέον όγκων που θα διατεθούν προς πώληση ως έχουν.	54
Εικόνα 65: Άποψη υγιούς όγκου της Β6 προς απευθείας πώληση από αυτήν.	54
Εικόνα 66: Άποψη του πολύ έντονου τεκτονισμού στη Βαθμίδα 6Α.	55
Εικόνα 67: Άποψη της γωνίας από την οποία πραγματοποιήθηκε η εξόρυξη στη Βαθμίδα 6Α και του έντονου τεκτονισμού της.	56
Εικόνα 68: Άποψη και διαστάσεις όγκου που εξορρύχθηκε επιτυχώς.	56
Εικόνα 69: Άποψη μεγέθους και διαστάσεων των προϊόντων της Βαθμίδας 6Α προς πώληση ως έχουν.	57
Εικόνα 70: Άποψη ενός από τα μεγαλύτερα κομμάτια.	58
Εικόνα 71: Άποψη του σημείου παραγωγής και του βαθμού τεκτονισμού της Βαθμίδας Γ11.	58
Εικόνα 72: Άποψη των προς πώληση υγιών όγκων της Βαθμίδας Γ11, από την πλατεία stock με τις χαρακτηριστικές τους διαστάσεις.	59

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα **σύστημα παραγωγής** ογκομαρμάρων και παραπροϊόντων συνήθως είναι πολύπλοκο καθώς περιλαμβάνει πολλά ενδιάμεσα στάδια παραγωγής μέχρι την δημιουργία τελικών όγκων, πλακών, πλακιδίων τυποποιημένων διαστάσεων, ειδικών προϊόντων και αδρανών προς πώληση. Στάδια τα οποία για να επιτευχθούν, απαιτούν ποικίλο, βαρύ και συνεχώς εξελισσόμενο μηχανολογικό εξοπλισμό, διάφορες ειδικότητες ανθρώπινου δυναμικού, και ανάλογα την τεκτονική κατάσταση της περιοχής συνήθως από ένα λατομείο εξορύσσονται μάρμαρα με περισσότερες από τρεις (3) κατηγορίες ποιότητας.

Όλα αυτά συνθέτουν ένα πολυπαραγοντικό σύστημα παραγωγής, όπου για την καλύτερη **ποσοτική** περιγραφή λειτουργίας του καταβάλλεται προσπάθεια στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Ως παράδειγμα εφαρμογής επιλέχθηκε το λατομείο μαρμάρων στην περιοχή του Διονύσου Αττικής, στις εγκαταστάσεις της Ανώνυμης Εμπορικής και Βιοτεχνικής Εταιρίας λατομείων μαρμάρου Διονύσου-Πεντέλης DIONYSSOMARBLE. Με συνεχή καταγραφή γεγονότων από τρεις (3) βαθμίδες εξόρυξης σε υπαίθρια μέτωπα του λατομείου και τη χρήση φωτογραφικού υλικού αλλά και των σχεδιαστικών προγραμμάτων AutoCAD και Illustrator έγινε η καταγραφή, ανάλυση και επεξήγηση του συστήματος παραγωγής. Με στόχο, ύστερα από μελέτη των δεδομένων που συλλέχθηκαν, την εύρεση δεικτών που περιγράφουν την απόδοση ώστε με τη μετέπειτα επεξεργασία αυτών, να μπορούν να ελεγχθούν πιο άμεσα οι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγικότητα και απόδοση ενός λατομείου μαρμάρου.

ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Η παραγωγικότητα ενός λατομείου μαρμάρου εξαρτάται από παράγοντες όπως η απόδοση των μηχανημάτων, η δεξιοτεχνία των χειριστών τους και η οργάνωση του εργοταξίου. Η τελευταία περιλαμβάνει την κατανομή του ανθρώπινου δυναμικού, την μορφή του υπαίθριου λατομείου, τον αριθμό των ενεργών βαθμίδων και από την τεκτονική κατάσταση του κοιτάσματος που εκφράζεται από τον λόγο απόληψης υγείων ογκομαρμάρων προς τα συνολικά εξορυχθέντα μάρμαρα αλλά και την αγορά. Επομένως η διαδικασία βελτιστοποίησης είναι πολύπλευρη.

Οι αποκολλημένοι πάγκοι μαρμάρου είναι συνήθως της τάξεως των 100m^3 και ύστερα από καθαρισμό (ορθογωνισμό), οι όγκοι που απομακρύνονται κυμαίνονται από 3m^3 μέχρι 18m^3 . Τα μεγέθη αυτά είναι πολύ μεγάλα και, όπως είναι φυσικό, το ίδιο μεγάλος, βαρύς και ποικίλος είναι ο απαραίτητος μηχανολογικός εξοπλισμός για την κοπή και μετακίνησή τους. Απαιτείται αρχικά χρήση βαρέων οχημάτων όπως *φορτωτές, φορτηγά, διατρητικά (Wagon Drills και Liners)* κ.α. καθώς επίσης και εργαλεία που απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή κατά τη χρήση τους όπως *συρματοκοπές, εκρηκτικές ύλες* αλλά και *φρέζες κοπής* για πλάκες.

Συμπερασματικά λοιπόν, ο σωστός καταμερισμός των εργασιών και η τοποθέτηση ικανών χειριστών στις αντίστοιχες θέσεις είναι υψίστης σημασίας καθώς από αυτά εξαρτάται άμεσα η απόδοση του λατομείου. Για μία εταιρία λοιπόν η αύξηση της αποδοτικότητας με ταυτόχρονη διατήρηση του συνολικού κόστους χαμηλά, είναι μονόδρομος για την επιβίωσή της στην αγορά.

Βασικός στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η περιγραφή και η εξέταση των διαφόρων σταδίων του συστήματος της γραμμής παραγωγής ογκομαρμάρων σε υπαίθρια μέτωπα και στο εργοστάσιο επεξεργασίας. Στη συνέχεια, επικεντρωνόμαστε στην ποσοτική περιγραφή των κυκλικών εργασιών στα μέτωπα υπαίθριου λατομείου. Η μελέτη της γραμμής παραγωγής ογκομαρμάρων μπορεί να οδηγήσει στην εύρεση κατάλληλων *δεικτών απόδοσης*. Για το σκοπό αυτό, επιλέχθηκαν τρία ενεργά σημεία παραγωγής στο υπαίθριο μέτωπο στα οποία πραγματοποιήθηκε παρακολούθηση και καταγραφή όλου του κύκλου εργασιών, από τη διάτρηση μέχρι την αποκομιδή των όγκων καθώς και την μετέπειτα επεξεργασία τους, την κοπή σε πλάκες, ή όχι και την προετοιμασία για πώληση.

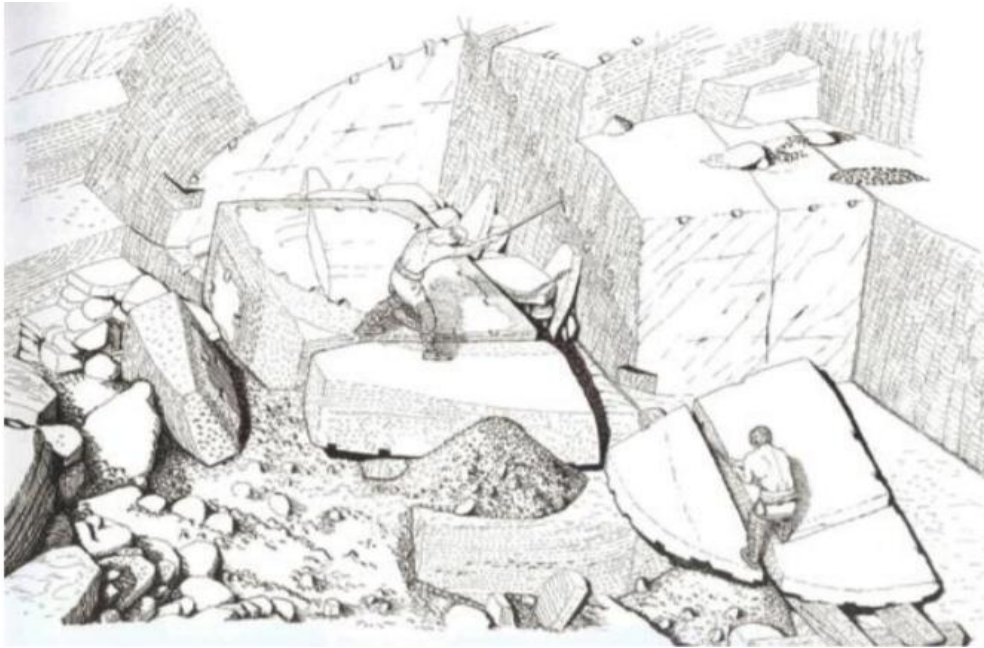
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΜΑΡΜΑΡΟ

1.1: ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑ ΜΕΧΡΙ ΣΗΜΕΡΑ

Το μάρμαρο απασχολεί την ανθρωπότητα από την αρχαιότητα, περίπου 3.000 χρόνια π.Χ., κατά την άνθιση του Κυκλαδικού πολιτισμού με τα περίφημα κυκλαδικά ειδώλια. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ενασχόληση ολόένα και περισσότερων νησιωτών με την μαρμαροτεχνία -από την Τήνο, την Πάρο, τη Νάξο, τη Σίφνο- που οδήγησε στην ύπαρξη λατομείων κατά μήκος όλης της χώρας -μέχρι και την Ανατολική Μακεδονία- και με την χρωματική ποικιλία να εκτίνεται από γκρίζο-μαύρο μέχρι κόκκινο και πολύχρωμο!

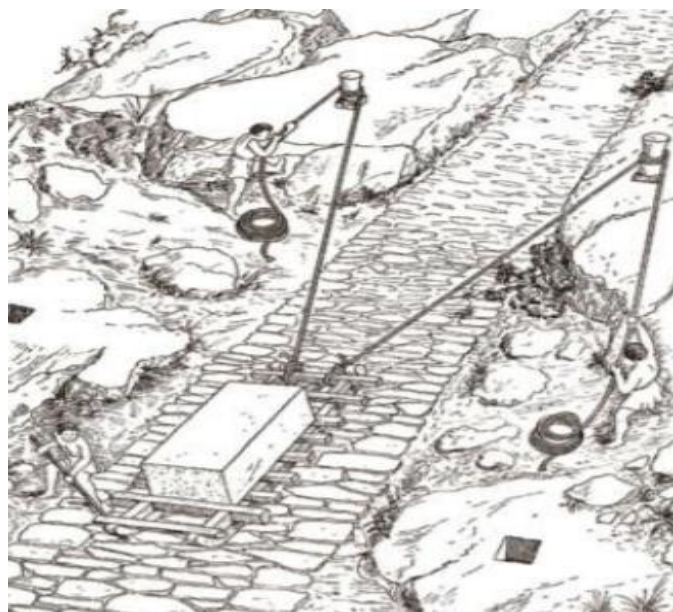
Ύστερα, στον ελλαδικό χώρο κάνει πολύ αισθητή την παρουσία του στον Χρυσό Αιώνα του Περικλή, κατά τον 5^ο αιώνα π.Χ., το άφθονο σε ποσότητα και εντυπωσιακά λευκό σε χρώμα Πεντελικό μάρμαρο, με το οποίο χτίζονται τότε η Βουλή, ο Άρειος Πάγος, το Θέατρο του Διονύσου και φυσικά ο Παρθενώνας· μνημεία που μέχρι σήμερα (2.500 χρόνια μετά) προκαλούν δέος και παγκόσμιο ενδιαφέρον.

Το χρώμα, αν και ποικίλο, και η τεκτονική κατάσταση του μαρμάρινου κοιτάσματος δεν μεταβάλλονται ανά τους αιώνες· αλλάζει όμως ο τρόπος με τον οποίο ο άνθρωπος το εξορύσσει και το επεξεργάζεται. Δεν υπάρχουν μαρτυρίες για το πως πραγματοποιούνταν η εξόρυξη κατά τα αρχαία χρόνια, και τα περισσότερα στοιχεία έχουν καταστραφεί λόγω του ότι τα μεταγενέστερα λατομεία αποτέλεσαν συνέχεια των προηγούμενων. Ωστόσο, σύμφωνα με ευρήματα και διαπιστώσεις φαίνεται πως η διαδικασία περιλάμβανε αρχικά τη δημιουργία περιμετρικών αυλακιών με λατομικό πικούνι ή μεταλλικό κασμά, και ενίοτε άμμο, και στη συνέχεια, είτε αξιοποιούσαν τη σχιστότητα του πετρώματος, είτε έκαναν υποδοχές για την εισχώρηση μεταλλικών σφηνών ώστε να αποκολληθούν οι όγκοι (εικόνα 1). Δεν γινόταν χρήση κοπτικού μηχανισμού, διάλεγαν τις επιθυμητές διαστάσεις στο μητρικό πέτρωμα και ύστερα της αποκόλλησης ακολουθούσε η πρώτη λάξευση ώστε να απομακρυνθεί το περίσσιο βάρος για ευκολότερη μεταφορά (η λιθαγωγία < λίθος + άγω = τραβώ). (Νικολακάκης, Ελλάδα χώρα μαρμάρου, marmara.gr)



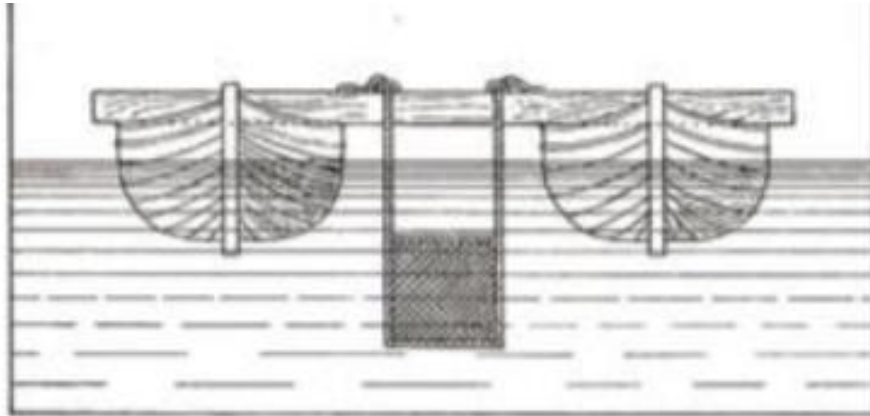
Εικόνα 1: Άποψη της αρχαίας εξόρυξης μαρμάρου. Φάση ορθογωνισμού των όγκων (Κορρές Μ. 1994).

Αυτή, όταν πραγματοποιούνταν χερσαία, για μικρούς όγκους και κοντινές αποστάσεις, γινόταν χειρονακτικά με χρήση μεγάλων ξύλινων κυλίνδρων (σκυταλών). Για μεγαλύτερους όγκους και κεκλιμένες αποστάσεις (εικόνα 2) γινόταν χρήση ξύλινων εσχάρων ή ελκλήθρων των οποίων η μία άκρη ήταν δεμένη με σχοινί, του οποίου η άλλη άκρη ήταν τυλιγμένη σε σταθερούς πασσάλους ή δέντρα εκατέρωθεν του δρόμου για την αποφυγή ολίσθησης και συγκράτησης του βάρους.



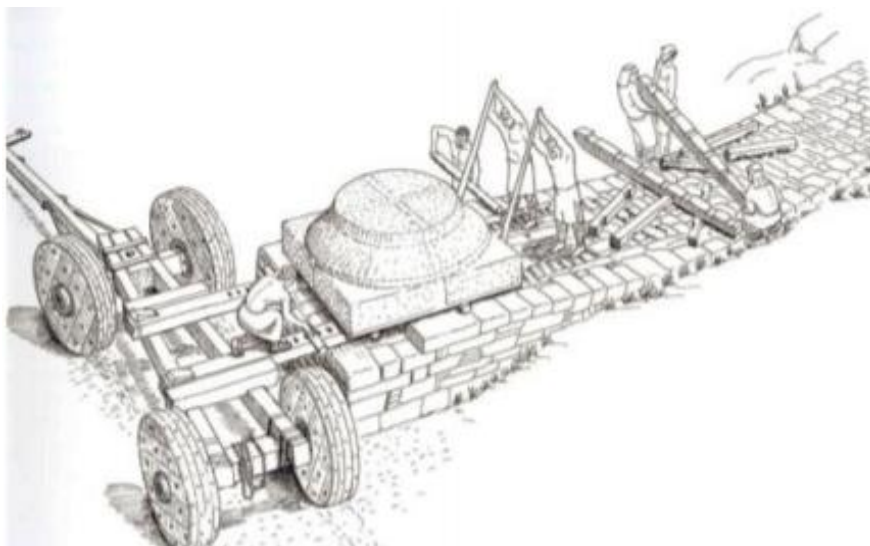
Εικόνα 2: Λιθαγωγία, σύστημα καταγωγής. (Ορλάνδος Α. 1994).

Στην διαφορετική περίπτωση όμως που χρειαζόταν θαλάσσια μεταφορά (εικόνα 3) χρησιμοποιούσαν τις «φορτηγίδες λιθαγωγούς» στις οποίες στοίβαζαν τους μικρότερους όγκους, ενώ τους μεγαλύτερους -για να είναι ελαφρότεροι- τους κρεμούσαν στο νερό από ξύλινα δοκάρια που στηρίζονταν σε δύο φορτηγίδες "αμφίπρυμνες".



Εικόνα 3: Θαλάσσια Μεταφορά. (Ορλάνδος Α. 1994).

Τέλος, μετά το πέρας της μεταφοράς, στη ράμπα φόρτωσης (εικόνα 4) ο ογκόλιθος τοποθετούνταν πάνω σε τροχήλατη άμαξα η οποία τον μετέφερε στο έργο μέσω λιθόστρωτου δρόμου και από χαραγμένες σε αυτόν τροχιές.



Εικόνα 4: Ράμπα Μεταφοράς. (Ορλάνδος Α. 1994).

Οι χρήσεις του μαρμάρου ήταν διάφορες. Κατά την πρώτη επαφή με τον άνθρωπο, χρησιμοποιήθηκε κυρίως με διακοσμητικό χαρακτήρα όμως στη συνέχεια λόγω του χρώματος, της αντοχής του αλλά και της ευκολίας στη λάξευση, απέκτησε και αρχιτεκτονικό χαρακτήρα ὅλο και περισσότερα αγάλματα, προτομές και λατρευτικά μνημεία χτίζονταν.

Με την πάροδο των χρόνων και την εξέλιξη της μηχανικής και της τεχνολογίας, οι αρχαίοι τρόποι εξόρυξης αντικαταστάθηκαν (σχετικά πρόσφατα βέβαια, στα τέλη του 19^{ου} αι.) από κοπτικά μηχανήματα και βαρέα οχήματα και σε συνδυασμό με τον πρακτικά ατελείωτο αριθμό μαρμάρινων αποθεμάτων της χώρας, η ύπαρξη εκατοντάδων λατομείων ήταν αναμενόμενη. Με αποτέλεσμα να έχουμε σήμερα την εξής λίστα με τα σπουδαιότερα μαρμαροφόρα κοιτάσματα ανάλογα με το χρώμα, την τάξη μεγέθους, την εμπορικότητα αλλά και τα διαθέσιμα αποθέματα που ακολουθεί παρακάτω (*Ρήγας Κ.*):

Λευκά: Πεντέλης, Θάσου, Πάρου, Νάξου, Βέροιας (Καστανιά, Κουμαριά), Κοζάνης (Τρανόβαλτος) και Ικαρίας.

Ημίλευκα ως τεφρά: Βόλου (Κανάλια), Κοζάνης (Τρανόβαλτος), Καβάλας (Νικήσιανη, Χαλκερό και Στενωπός), Ἀττικής (Αγία Μαρίνα), Σερρών (Μέταλλα), Λάρισας (Σπηλιά), Πάρνωνα (Άγιος Πέτρος).

Γκρίζα ως μαύρα: Ἀλβερίου, Βυτίνας, Τρίπολης, Δράμας (Ταξιάρχες), Κορίνθου (Κόρφος), Λιβαδειάς, Χίου (Λαγκάδα), φαρσάλων, Θεσσαλονίκης (Μελισσοχώρι), Κιλκίς (Χορήγιο).

Μπέζ ως καφέ: Ἰωαννίνων (Κληματιά, Καρίτσα), Αργολίδας (Αυγουριό, Ερμιόνη, Ἴρια, Καρναζέικα), Τροιζηνίας (Φανάρι), Θηβών (Δόμβραινα) και Κοζάνης (Τσοτύλι).

Ρόζ ως κόκκινα: Εύβοιας (Ερέτρια), Μαγνησίας (Πτελεός, Σούρπη), Κιλκίς (Ν. Σάντα), Έδεσσας (Ροδοχώρι), Θεσσαλονίκης (Ανοιξιά), Χαλκιδικής (Περιστερά) και Μάνης (Rosso antico).

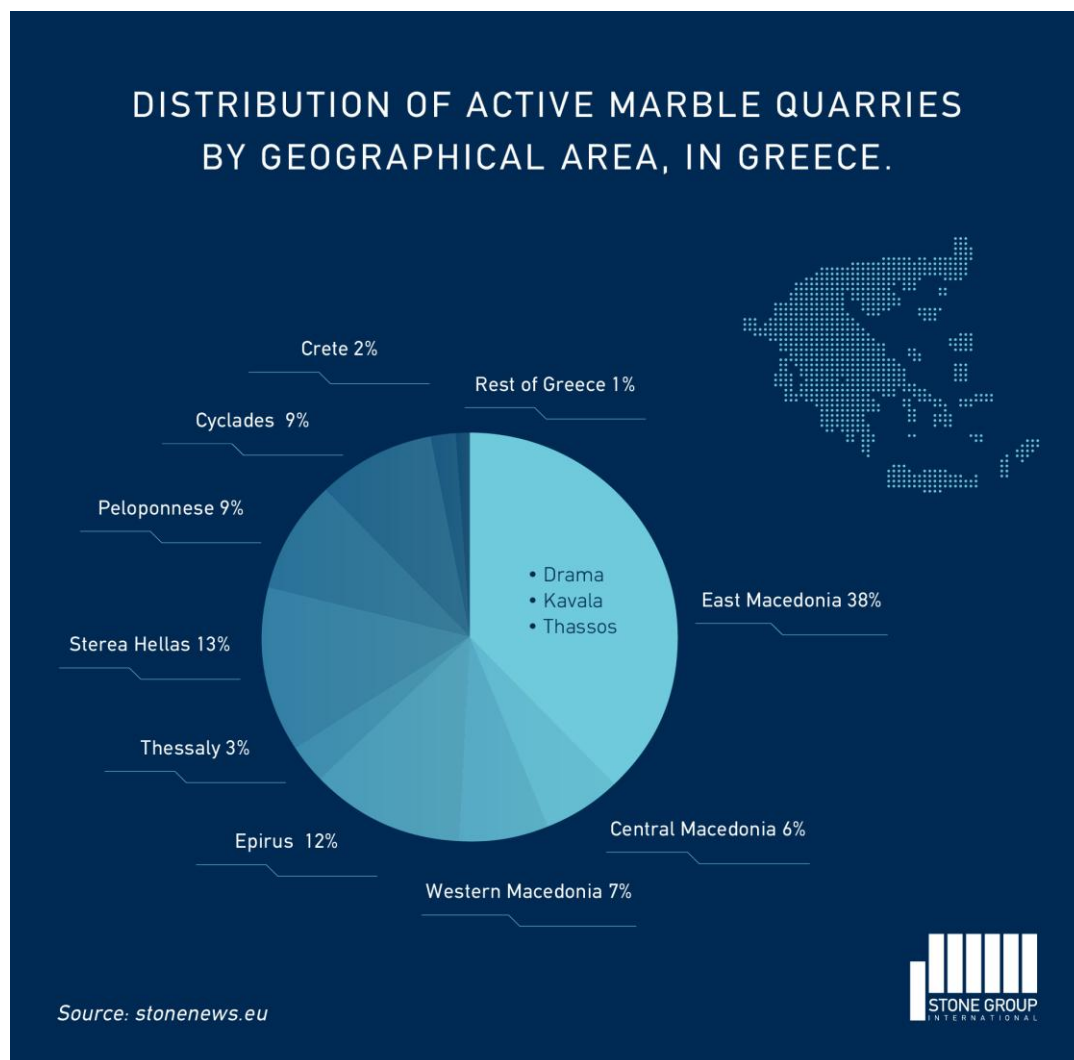
Πράσινα: Λάρισας (Verde antico), Νότιας Ευβοίας (cipollino verde antico), Βέροιας (Φυτιά), Τήνου και Νάουσας.

Πολύχρωμα: Σκύρου (Breccia fantasia), Αργολίδας (Μυκίνες, Κάντια) και Λέσβου.

Τραβερτίνης ή πορώλιθος: Αριδαίας Πέλλας, Αγίας Βαρβάρας Βέροιας, Πιτσών Κορινθίας και Βαμβακόφυτου Σερρών.

Όνυχας (με την εμπορική ονομασία): Κρήτης (Ρέθυμνο, Ηράκλειο), Μεσσηνίας (Σταυροπήγι) και Αγίου Δημητρίου Ολύμπου (όπου πρόκειται για ονυχοειδές μάρμαρο).

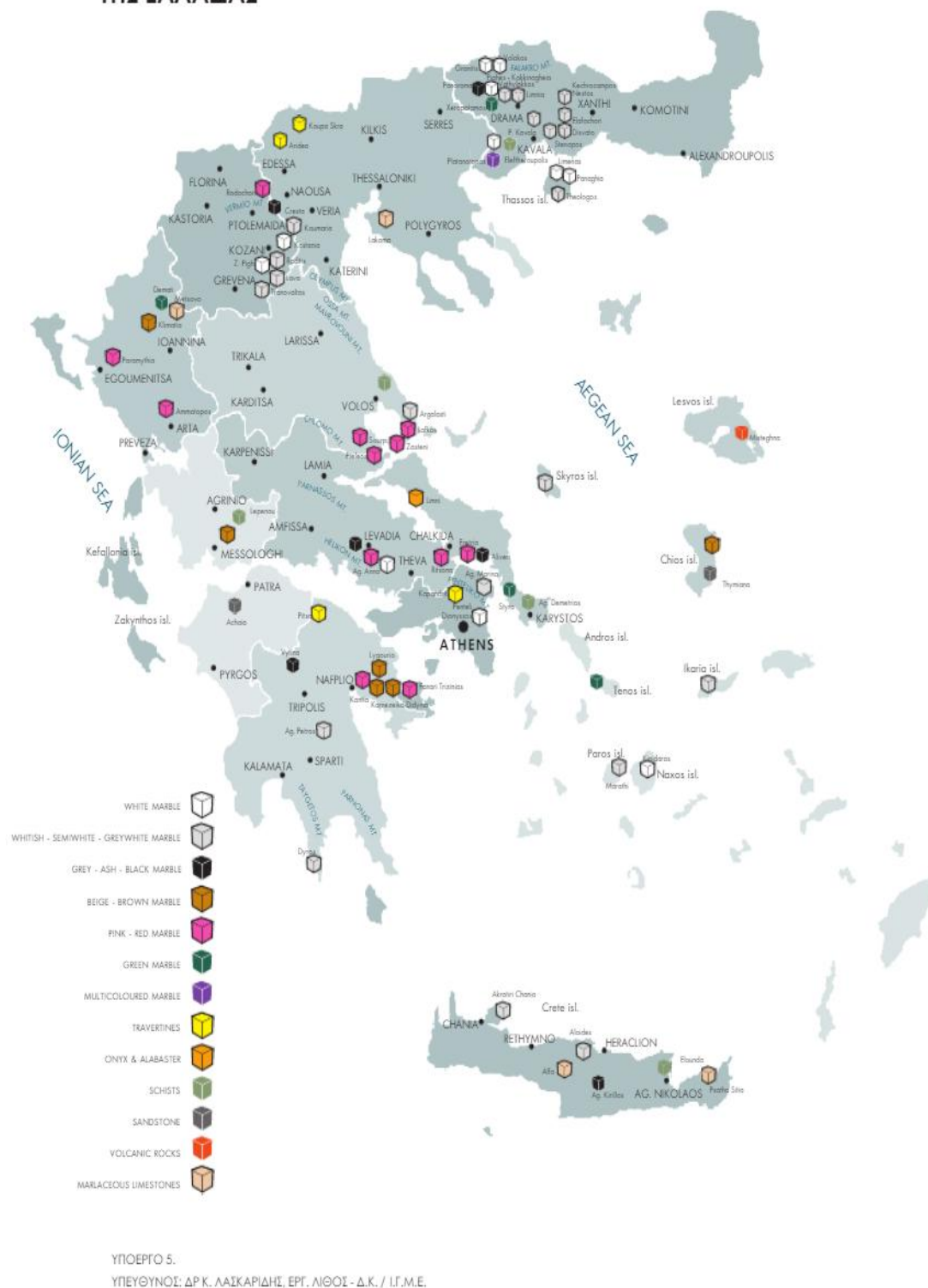
Σχηματικά, αν θέλαμε να κατατάξουμε τα λατομεία αυτά σε ποσοστιαία αναλογία από το 100% της χώρας, ανά γεωγραφικά διαμερίσματα, έχουμε, σύμφωνα με έρευνα του International Stone Group, το ακόλουθο διάγραμμα:



Εικόνα 5: Ποσοστιαία αναλογία παραγωγής μαρμάρου ανά Γεωγραφικό Διαμέρισμα, πηγή: stonenews.eu.

Επίσης, σύμφωνα με το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.) και τον Δόκτωρ Κωνσταντίνο Λασκαρίδη, έχει δημιουργηθεί ο παρακάτω χάρτης λατομείων μαρμάρου της Ελλάδας, όπου το μέγεθος του συμβόλου είναι ανάλογο των διαθέσιμων αποθεμάτων:

ΑΤΛΑΝΤΑΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΔΙΑΚΟΣΜΗΤΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΩΝ ΛΙΘΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ



Εικόνα 6: Άτλας των κυριότερων λατομείων διακοσμητικών πετρωμάτων και δομικών λίθων της Ελλάδας, πηγή Ι.Γ.Μ.Ε.

Αξίζει εδώ να σημειωθεί πως το Πεντελικό μάρμαρο είναι από τα πιο περιζήτητα στον κόσμο. Το λατομείο εξόρυξης ανήκει στην εταιρεία Dionyssomarble από το 1952, η οποία έχει γίνει ηγέτης πανελλαδικά αλλά και πανευρωπαϊκά, λόγω του ιδιαίτερου χρώματος του μαρμάρου που είναι ένα έντονο, ζωντανό και γυαλιστερό λευκό, με τα νερά του να προσδίδουν γκρίζες πινελιές (ή και στρώσεις ενίοτε) και με ορισμένες πράσινες ζώνες εξαιτίας του σερπεντίνη που βρίσκεται στο υπέδαφος της περιοχής.

Ο συνδυασμός όλων των παραπάνω, καθιστά το εν λόγω μάρμαρο ιδιαίτερος γνωστό και περιζήτητο ανά την υφήλιο.

1.2: ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΑΡΜΑΡΟΥ

1.2.1: ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΜΑΡΜΑΡΟ;

Το μάρμαρο ήταν αρχικά ένα *ιζηματογενές ανθρακικό πέτρωμα*, όπου κατά τη μεταμόρφωση από υψηλή πίεση ή και θέρμανση, υπέστη *ανακρυστάλλωση και «συμπαγοποίηση»*. Συνιστάται κυρίως από ανθρακικά ορυκτά, ασβεστίτη ή δολομίτη ή και συνδυασμό αυτών. (*American Society of Testing Materials*).

Με πιο απλά λόγια στον ασβεστόλιθο οι κόκκοι του ασβεστίτη είναι πολύ μικροί, αόρατοι και στο μικροσκόπιο. Μόνο τοπικά ή σε φλεβώσεις είναι συνήθως δυνατό να φανούν οι κρύσταλλοι του ασβεστίτη. Όταν όμως ο ασβεστόλιθος βρεθεί σε βαθύτερα μέρη του φλοιού της Γης, όπου επικρατούν υψηλότερες πιέσεις και θερμοκρασίες από τις συνήθεις, μεταμορφώνεται σε ένα άλλο πέτρωμα που συνίσταται μεν και αυτό από ασβεστίτη αλλά έχει αλλάξει ιστό, δηλαδή κοκκομετρική σύσταση. Τα αρχικά κρυστάλλια του ασβεστίτη με μία διεργασία που καλείται ανακρυστάλλωση, συνενώνονται προς μεγαλύτερα κρυστάλλια, ορατά στο μικροσκόπιο και πολύ συχνά ακόμη και στο γυμνό μάτι.

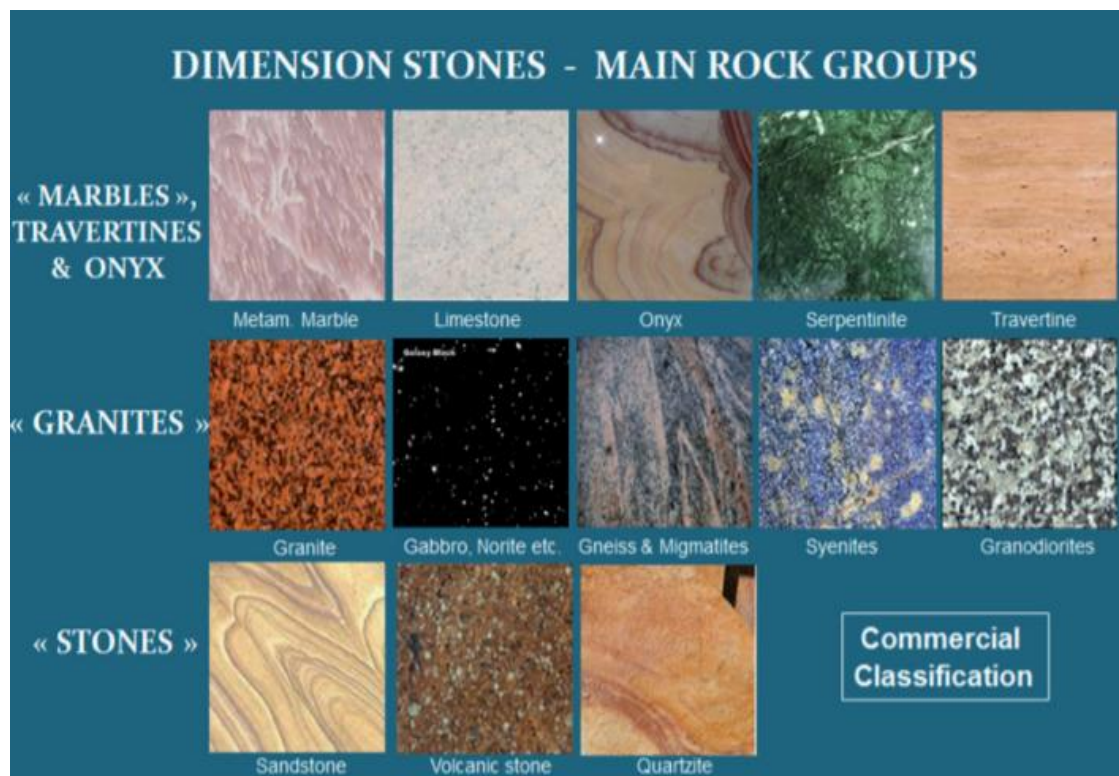
Το πέτρωμα αυτό με τον καινούργιο ιστό είναι το μάρμαρο, εξ ου και το κατά βάση λευκό-γκρίζο χρώμα του. Λόγω της σύστασής του, έχει κρυσταλλική μορφή, κοκκώδη υφή και το πέτρωμα αυτό έχει την ιδιότητα να αντανακλά το φως, γεγονός που επιβεβαιώνει την ονομασία του, καθώς ετυμολογικά «μάρμαρος» σημαίνει «λαμπερός λίθος».

Σήμερα, αποτελεί (μαζί με τους γρανίτες) την κύρια κατηγορία των Διακοσμητικών Πετρωμάτων, όρος με τον οποίο, στον εμπορικό τομέα, εννοούνται όλες οι φυσικές πέτρες με παρόμοια τεχνικά χαρακτηριστικά που μπορούν να ορυχθούν σε ικανοποιητικές μονάδες όγκου, ώστε ύστερα από επεξεργασία είτε να συνεισφέρουν δομικά είτε ακόμα περισσότερο να διακοσμήσουν εσωτερικούς αλλά και εξωτερικούς χώρους.

Συμπερασματικά και συγκεντρωτικά λοιπόν, είναι ευρέως αποδεκτό πως για να εμπορευθεί ένα πέτρωμα ως «μάρμαρο» θα πρέπει να πληροί τις εξής προϋποθέσεις:

1. Να στιλβώνεται και μετά τη στίλβωση να παρουσιάζει χρώμα και σχέδια αισθητικώς προσφερόμενα για την διακόσμηση κτιρίων ή να έχει κατάλληλο ιστό για γλυπτική.
2. Να εξορύσσεται σε ογκόλιθους ενός ελαχίστου όγκου χωρίς ασυνέχειες και ελαττώματα.
3. Να παρουσιάζει ένα ελάχιστο όριο αντοχής στην αποσάθρωση, την μηχανική αντοχή και ιδιαίτερα στην τριβή του.

Έτσι λοιπόν, στη μαρμαροτεχνία χρησιμοποιούνται τόσο μεταμορφωμένα (σχιστόλιθοι, γνεύσιοι, μάρμαρα) όσο ιζηματογενή πετρώματα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες, ψαμμίτες) αλλά και πυριγενή (γάββροι, γρανίτες, σερπεντινίτες). Και τελικά, βάσει της εμπορικής τους κατηγοριοποίησης, τα διακοσμητικά πετρώματα κατατάσσονται ως εξής:



Εικόνα 7: Εμπορική διάταξη των διακοσμητικών πετρωμάτων. Πηγή: <http://www.marcocosistones.com/>

1.2.2: ΕΙΔΗ ΜΑΡΜΑΡΟΥ

Τα βασικά είδη του μαρμάρου που υπάρχουν είναι δύο (Κωνσταντίνος Ι. Ρήγας, 1986):

- Τα Ασβεστιτικά (ή Γνήσια) μάρμαρα

Τα οποία είναι πετρώματα που έχουν προέλθει από την μεταμόρφωση των ασβεστολίθων και έχουν σαν κύριο ορυκτό συστατικό τον ασβεστίτη (CaCO_3) (με ειδικό βάρος $2,7 \text{ gr/cm}^3$ και σκληρότητα κατά Mohs 3). Ο ασβεστίτης σχηματίζει κρυστάλλους με τέλειο σχισμό κατά τρεις διευθύνσεις παράλληλες προς τις έδρες ενός ρομβοέδρου, σχισμός ο οποίος προκαλεί τοπικές ανακλάσεις του φωτός στις σχιστογενείς έδρες των κρυστάλλων. Έτσι το πέτρωμα αυτό είναι κυρίως λευκό (ενίοτε και τεφρό), μαλακό και κατάλληλο για την κατασκευή γλυπτών αντικειμένων.

- Τα Δολομιτικά μάρμαρα

Τα οποία εκτός από τον ασβεστίτη περιέχουν και δολομίτη [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$], ο οποίος μοιάζει κρυσταλλογραφικά με τον ασβεστίτη, με κατά Mohs σκληρότητα 3,5-4 και ειδικό βάρος $2,9 \text{ gr/cm}^3$ αλλά είναι πιο εύθραυστος. Η περιεκτικότητα των μαρμάρων σε δολομίτη ποικίλει από 5-6% έως 85-90%, όπου όσο πιο μεγάλο το ποσοστό τόσο πιο εύθραυστα είναι, τόσο δυσκολότερα στιλβώνονται και τόσο ταχύτερα φθείρονται.

Επίσης, ανάλογα τη σύσταση του αρχικού ιζήματος, τη φύση της μεταμόρφωσης και τα φαινόμενα της μετασώματωσης, μέσα στο πέτρωμα μπορεί να υπάρχουν διάφορα ορυκτολογικά συστατικά, όπως αιματίτης, λειμωνίτης, σερπεντίνη, γραφίτης, χαλκοπυρίτης, χαλαζίας κ.α., των οποίων η παρουσία επηρεάζει τόσο τις τεχνικές ιδιότητες όσο και το χρώμα του μαρμάρου.

Ακόμη, ανάλογα το μέγεθος των κόκκων που το απαρτίζουν χωρίζεται σε Λεπτοκρυσταλλικά με μέγεθος κόκκων $d = [0,01-0,6] \text{ mm}$, Μεσοκρυσταλλικά με $d = [0,6-2] \text{ mm}$ και Αδροκρυσταλλικά με $d = [2-6] \text{ mm}$. Όσο πιο λεπτοί οι κόκκοι, τόσο ανθεκτικότερο το μάρμαρο αλλά η αντοχή είναι ένας παράγοντας που εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την ιστολογική κατασκευή.

Επομένως, καθώς ο ιστός καθορίζει τον τρόπο σύνδεσης των ορυκτών κόκκων στο πέτρωμα αλλά και τον τρόπο εξόρυξης, επεξεργασίας και διακοσμητικής εμφάνισης, χρειάζεται και η κατηγοριοποίηση βάσει αυτού:

Άστρωτος Ιστός:

Όταν οι κόκκοι επιμήκους, πρισματικής, πλακώδους και φυλλώδους μορφής έχουν τυχαία διεύθυνση στο χώρο τότε παράγονται επιφάνειες θραύσης τυχαίας διεύθυνσης κατά την θραύση του μαρμάρου.

Παράλληλος Ιστός:

Όταν οι κόκκοι των αναφερόμενων μορφών είναι λιγότερο ή περισσότερο

προσανατολισμένοι προς μία διεύθυνση · τότε κατά την θραύση του μαρμάρου εμφανίζεται παραλληλία των θραυσσιγενών επιφανειών, ανάλογη με την παραλληλία του ίδιου του ιστού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα κατά τις διάφορες διευθύνσεις να έχει διαφορετική αντοχή στη συρματοκοπή, τη διάτρηση, τη λείανση και τη στίλβωση.

1.3: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΜΑΡΜΑΡΟΥ

1.3.1: ΠΟΙΟΤΗΤΑ

Μπαίνοντας σε ένα λατομείο εύκολα και άμεσα παρατηρεί κανείς το χρώμα και την τεκτονική κατάσταση του σχηματισμού. Με τον όρο τεκτονική κατάσταση εννοούνται οι ρωγμές και οι πάσης φύσεως ασυνέχειες που το διασχίζουν.

Ετυμολογικά, ρωγμή καλείται μία θραυσσιγενή επιφάνεια κατά μήκος της οποίας δεν έχει λάβει χώρα αισθητή μετακίνηση των εκατέρωθεν τεμαχίων και είναι αποτέλεσμα θλιπτικών, εφελκυστικών ή και διατμητικών παραμορφώσεων. Επίσης στο σύνολό τους καθορίζουν το μέγεθος του ογκόλιθου που θα εξορυχθεί.

Γίνεται αντιληπτό λοιπόν πως εκτός των προσμίξεων, των «νερών», ήτοι της σχιστότητας, και του χρώματος του μαρμάρου, σημαντικό ρόλο για την εξέλιξη της εξόρυξης παίζουν και οι ρωγμές. Η διεύθυνση και το μέγεθός τους αλλά και η φύση και το πάχος του υλικού πλήρωσής τους έχουν καθοριστικό ρόλο για την ασφάλεια και άρα τον τρόπο εξόρυξης.

Αν πρόκειται για πλήρωση με άργιλο ή κατακερματισμένο πέτρωμα τότε η διαδικασία καθίσταται επικίνδυνη, ενώ αν η ρωγμή έχει σχεδόν "επουλωθεί" με ασβεστίτη, δολομίτη ή χαλαζία είναι δυνατόν να μην αποτελούν επιφάνειες μικρής αντοχής και να προσδίδουν διακοσμητικά χρωματικά σχέδια στο μάρμαρο.

Σε ότι αφορά λοιπόν την ποιότητα του μαρμάρου, συμπεριλαμβάνοντας όλα όσα έχουν γραφεί προηγουμένως, δύναται να δημιουργηθεί η παρακάτω λίστα που περιλαμβάνει τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα και την εκμεταλλευσιμότητα ενός σχηματισμού μαρμάρου, καθώς και την καταλληλότητά του για διάφορες κατασκευές:

- Χρωματική - Αισθητική εμφάνιση.
- Συχνότητα παρουσίας ρωγμών, εγκλεισμάτων και λεκέδων.
- Ορυκτολογική σύσταση.
- Υφή, Ιστός.
- Χημική σύσταση.
- Φυσικομηχανικές Ιδιότητες:
 - Φαινόμενο Ειδικό Βάρος*
 - Υδατοαπορροφητικότητα*
 - Ελαστικότητα*
 - Αντοχή σε θλίψη*
 - Αντοχή σε άμεσο εφελκυσμό.*

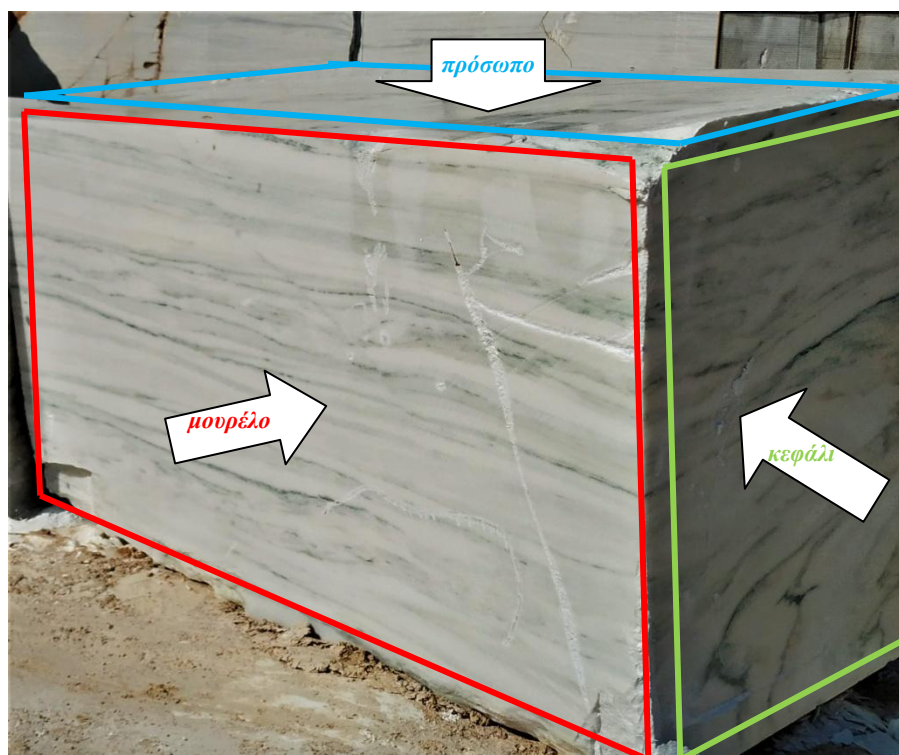
1.3.2: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ

Για ευκολότερη συνεννόηση μεταξύ των λατόμων όσον αφορά τον προσανατολισμό των εδρών ενός πάγκου τις έδωσαν χαρακτηριστικές ονομασίες (εικόνα 8), έτσι:

Το επίπεδο σχιστότητας καλείται *πρόσωπο* και δίνει ρωγμές με την καλύτερη παραλληλία. Είναι η επιφάνεια που είναι παράλληλη προς τις στρώσεις και συνήθως είναι επίπεδη. Σε αυτό το επίπεδο η αντίσταση θραύσης είναι μικρότερη.

Κάθετα στο πρόσωπο και παράλληλα προς την παράταξη του μαρμαροφόρου κοιτάσματος είναι το *μουρέλο*.

Κάθετα στο μουρέλο και το πρόσωπο βρίσκεται το *κεφάλι*, επίπεδο κατά το οποίο η αντίσταση στην θλίψη, την κάμψη και τη συρματοκοπή είναι μεγαλύτερη.



Εικόνα 8: Οι χαρακτηριστικές επιφάνειες του μαρμάρινου όγκου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΕΞΟΡΥΞΗ

2.1: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΜΑΡΜΑΡΟΥ

Όπως μαρτυρά και η εικόνα 9, η εξόρυξη του μαρμάρου μπορεί να συμβεί με δύο τρόπους: Επιφανειακά και Υπογείως ή και με συνδυασμό τους. Η μεν επιφανειακή (εικόνα 9) χωρίζεται σε κάθετες βαθμίδες ανοιχτού ή κλειστού τύπου, η δε υπόγεια εξόρυξη (εικόνα 10) πραγματοποιείται με τη μέθοδο θαλάμων και στύλων κανονικής ή ακανόνιστης διάταξης και χρησιμοποιείται διαφορετικός εξοπλισμός στην κάθε μία στη φάση εξόρυξης. Η επιλογή της μίας από την άλλη είναι αποτέλεσμα συνδυαστικής έρευνας του δυναμικού της αγοράς, του κόστους εξόρυξης, της ποσότητας, της ποιότητας, της διεύθυνσης, της κλίσης, της έκτασης της μαρμαροφορίας και βασικότερο όλων, της σχέσης αποκάλυψης, δηλαδή του λόγου του στείρου υλικού προς του εμπορεύσιμου.



Εικόνα 9: Υπαίθρια εξόρυξη μαρμάρου.

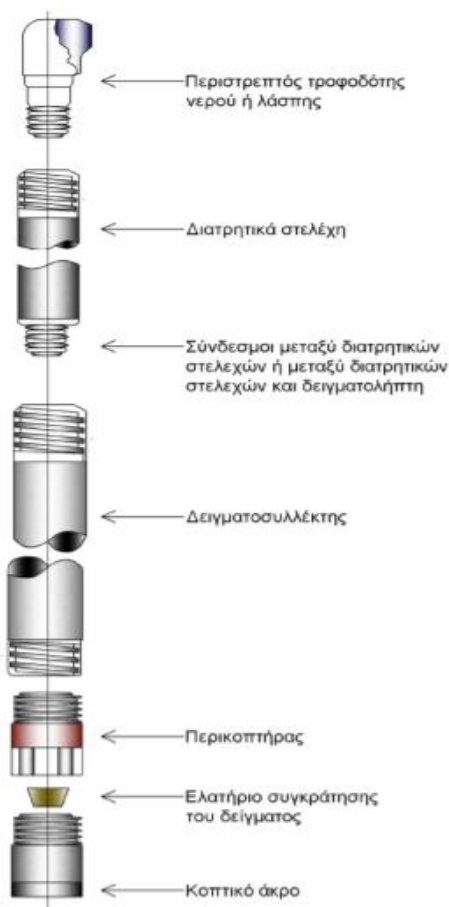


Εικόνα 10: Άποψη των θαλάμων και στύλων σε υπόγεια εξόρυξη.

Δε θα γίνει περεταίρω ανάλυση της υπόγειας μεθόδου εξόρυξης καθώς η εργασία αυτή, αφορά μόνο την επιφανειακή εκμετάλλευση.

2.1.1: ΥΠΑΙΘΡΙΑ ΕΞΟΡΥΞΗ ΜΑΡΜΑΡΟΥ

Η διαδικασία της επιφανειακής εξόρυξης είναι κυκλική και περιλαμβάνει διάφορα στάδια προτού ξεκινήσει η διαδικασία της αποκόλλησης ενός πάγκου από το μητρικό πέτρωμα. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα σημερινά λατομεία είναι συνέχεια παλαιότερων, όμως σε νέο κοίτασμα η έρευνα περιλαμβάνει γεωλογικό εντοπισμό μέσω σεισμικών γεωφυσικών διασκοπήσεων και κατόπιν όρυξης πυρηνοληπτικών γεωτρήσεων (εικόνες 11 & 12), βάσει των οποίων γίνεται μία πρώτη εκτίμηση για την έκταση, τη μορφολογία, τις ασυνέχειες και γενικότερα την ποιότητα του μαρμάρινου σχηματισμού.



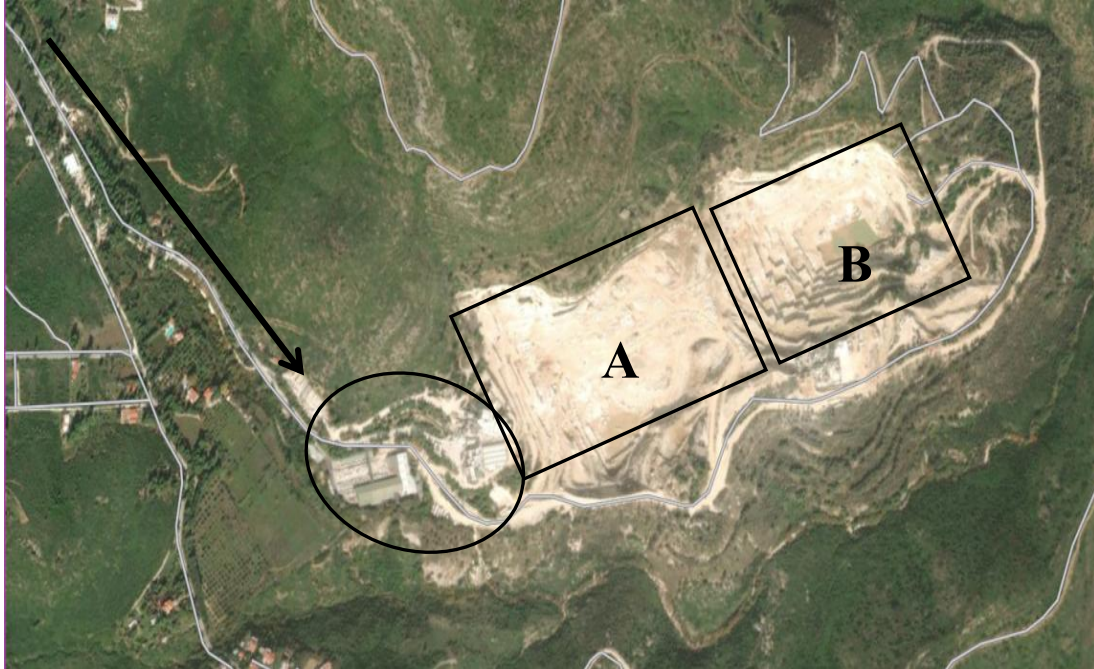
Εικόνα 11: Πυρηνοληπτική - Δειγματοληπτική Γεώτρηση.



Εικόνα 12: Δειγματοληπτικοί πυρήνες - Καρότα.

Μετά από την έρευνα που επεξεργάζεται την εκμεταλλευσιμότητα του κοιτάσματος, ακολουθεί το προπαρασκευαστικό στάδιο της δημιουργίας δρόμων. Ο κύριος δρόμος προσπέλασης του βουνού (εικόνα 13) από την κύρια οδό του οδικού δικτύου, σύμφωνα με το Άρθρο 40/παρ.1 του **Κανονισμού Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών**, δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 8% κλίση, ενώ οι δευτερεύοντες δρόμοι -προσπέλασης του λατομείου- το 12% (εικόνα 14, όπου επίσης φαίνονται οι δρόμοι προσπέλασης του κοιτάσματος, το στρώμα των αγόνων, η καθετότητα των βαθμίδων καθώς και οι είσοδοι υπόγειας εξόρυξης). Επίσης, σύμφωνα με τα Άρθρα 84 & 40, για όλους τους δρόμους ισχύει πως το πλάτος ποτέ δεν μπορεί να είναι μικρότερο των πέντε (5) μέτρων. Για την εύκολη και ασφαλή μετακίνηση των οχημάτων στο λατομείο το χαμηλότερο όριο είναι τα έξι (6) μέτρα, ενώ όπου πρόκειται να χρειαστεί η ύπαρξη κατάλληλου χώρου για ανατροπή και επιτόπου επεξεργασία των πάγκων, το πλάτος (της βαθμίδας πλέον) δεν μπορεί να είναι μικρότερο από δώδεκα (12) μέτρα.

Ακόμη, στην παρακάτω εικόνα 13 φαίνονται από τα αριστερά προς τα δεξιά: ο κύριος δρόμος προσπέλασης του βουνού, οι εγκαταστάσεις της εταιρίας, οι δύο λάκκοι εξόρυξης, Α' και Β', και οι δρόμοι περιχάραξης γύρω από τους λάκκους:



Εικόνα 13: Αεροφωτογραφία από το *Google Earth* ολόκληρου του λατομείου.



Εικόνα 14: Άποψη του Α' Λάκκου του λατομείου Διονύσου-Πεντέλης.



Εικόνα 15: Άποψη του Β' Λάγκου του λατομείου μαρμάρου Διονύσου-Πεντέλης.

Σε συνέχεια της κατασκευής των δρόμων προσπέλασης ακολουθεί η φάση της αποκάλυψης (αγγλικός όρος: stripping). Εδώ σημαντικό ρόλο παίζει το πάχος του στρώματος των αγόνων καθώς η διαδικασία κοστίζει ιδιαίτερα και απαιτεί εργασίες όπως η διάτρηση - ανατίναξη, με κατάλληλα μέσα ώστε να αποφευχθεί η περαιτέρω ρωγμάτωση του κοιτάσματος, και μεταφορά των στείρων σε περιοχή απόθεσης αγόνων με φορτωτές και φορτηγά. Διαδικασίες που είναι αρκετά κοστοβόρες και χρονοβόρες.

Επομένως, όσο μεγαλύτερο το πάχος των αγόνων τόσο μεγαλύτερη η αβεβαιότητα και το κόστος αποκάλυψης, με αποτέλεσμα να αποτελεί σημαντικό κριτήριο για τον τρόπο και τη συνέχεια της εξόρυξης. Λόγω του ότι τα περισσότερα σημερινά λατομεία αποτελούν συνέχεια των παλαιότερων, συνήθως συμβαίνει συνδυασμός των τρόπων εξόρυξης, όπως φαίνεται στην προηγούμενη αλλά και την επόμενη εικόνα 16, από διαφορετικό λατομείο:

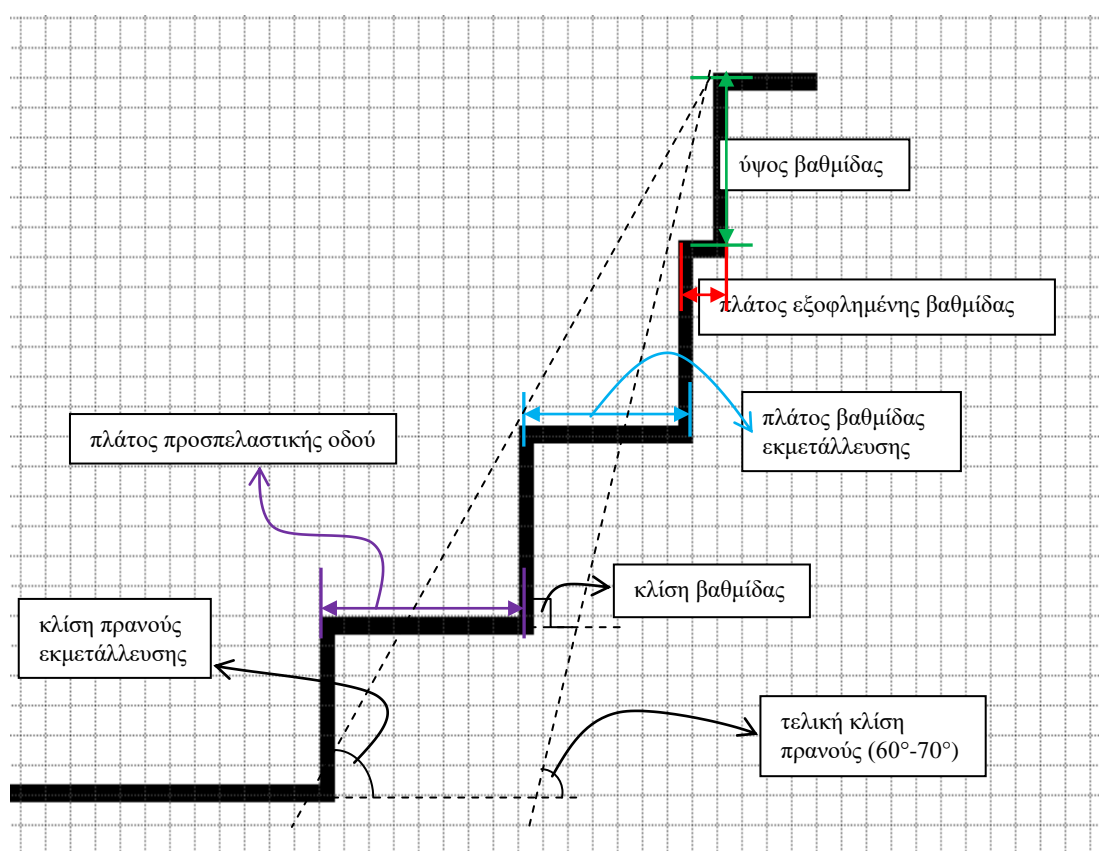


Εικόνα 16: Ορθές βαθμίδες και συνδυασμός τρόπων εξόρυξης (επιφανειακή και υπόγεια) στο λατομείο μαρμάρου Βόλακα.

Μετά το πέρας της φάσης της αποκάλυψης, φυσικά, δημιουργείται το πρόσωπο, που αποτελεί το πάτωμα της βαθμίδας, ενώ ταυτόχρονα το μουρέλο αποτελεί το μέτωπο της εξόρυξης. Αυτό είναι το πρώτο στάδιο της προετοιμασίας των όγκων προς εξόρυξη.

Στη συνέχεια, με συνδυασμό πληροφοριών που αφορούν την ποιοτική αλλά κυρίως την τεκτονική κατάσταση του μαρμάρου, που επηρεάζει το μέγεθος των εξορυσσόμενων όγκων, με την σωστή επιλογή του πάγκου - "κλειδιού" (key panel) για διάνοιξη, δημιουργείται κατάλληλη για εξόρυξη τοπογραφία όπου, οι πάγκοι πλέον έχουν τρεις (3) ελεύθερες επιφάνειες.

Αφού λοιπόν δημιουργήθηκαν και οι επιφάνειες του κεφαλιού, ξεκινάει η φάση της εξόρυξης, για την οποία, σύμφωνα με τα Άρθρα 40, 83 και 84 του Κ.Μ.Λ.Ε.: Κάθε εκσκαφή, για την ασφαλή και ορθολογική εκτέλεση της εργασίας πρέπει να υποδιαιρείται σε βαθμίδες ύψους, το πολύ, δεκαπέντε (15) μέτρων και με τη μέγιστη γωνία πρανούς εκμετάλλευσης να είναι στις 60° από το οριζόντιο επίπεδο και εφόσον πληρούνται ορισμένες προδιαγραφές (π.χ. πρότμηση, χαλαρή όρυξη κ.α.), δύναται να φτάνει τις 70° , όπως υποδεικνύει και η εικόνα 17.



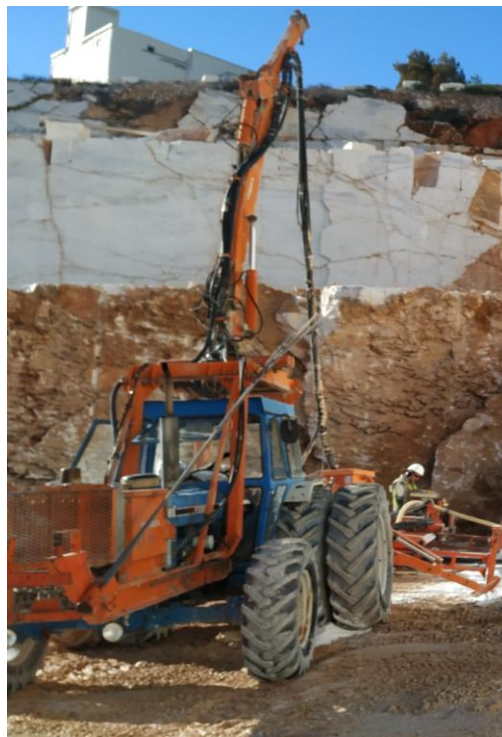
Εικόνα 17: Σχεδιαστική αναπαράσταση της κλίσης πρανούς.

2.2: ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΜΑΡΜΑΡΟΥ

Χάρη στην εξέλιξη της τεχνολογίας, ο αρχαίος χειρονακτικός τρόπος εξόρυξης αντικαταστήθηκε από κατά πολύ μεγαλύτερα αποδοτικότερα και γρηγορότερα βαρέα οχήματα και μηχανές κοπής, με αποτέλεσμα την εκτίναξη του ρυθμού εξόρυξης και της γενικότερης εκμετάλλευσης και εμπορικότητας του μαρμάρου. Τα εν λόγω μηχανήματα περιλαμβάνουν βαρέα διατρητικά (wagon drill: πρώτο βήμα περιχάραξης. liners: διατρήματα πυκνής διάτρησης για πρότμηση), συρματοκοπές (αποκοπή και ορθογωνισμός του επιθυμητού όγκου), φορτωτές, φορτηγά και άλλα, όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 18: Wagon Drill.



Εικόνα 19: Liner.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: αριστερα: Wagon Drill: down-the-hole-drill, διαμέτρου Φ90 και βάρους 10 κιλών, με ενσωματωμένο αεροσυμπιεστή, κινούμενο επί ερπυστριών. Συγκεκριμένα εδώ, το μοντέλο BOHLER DTC111 με μέσο ρυθμό διάτρησης στα 10m/h, κατανάλωση 8 λίτρα την ώρα και με χρήση τρίμετρων και τετράμετρων μακαπιών.
δεξια: Το liner χωρίζεται σε όχημα και βαγόνι. Εδώ φαίνεται το όχημα: Τρακτέρ FORD 7610, 70HP ιπποδύναμη και 12t βάρος.

Επίσης σε ότι αφορά το βαγονέτο (εικόνα 20) του εικονιζόμενου liner, είναι TAMROCK μήκους τριών (3) μέτρων, φέρει υδραυλική σφύρα, διαμέτρου Φ28, συνήθη ισαπόσταση διατρημάτων 25cm, με μακάπια από 4 μέτρα έως 8, ανά 80cm και με ρυθμό διάτρησης 25m/h.

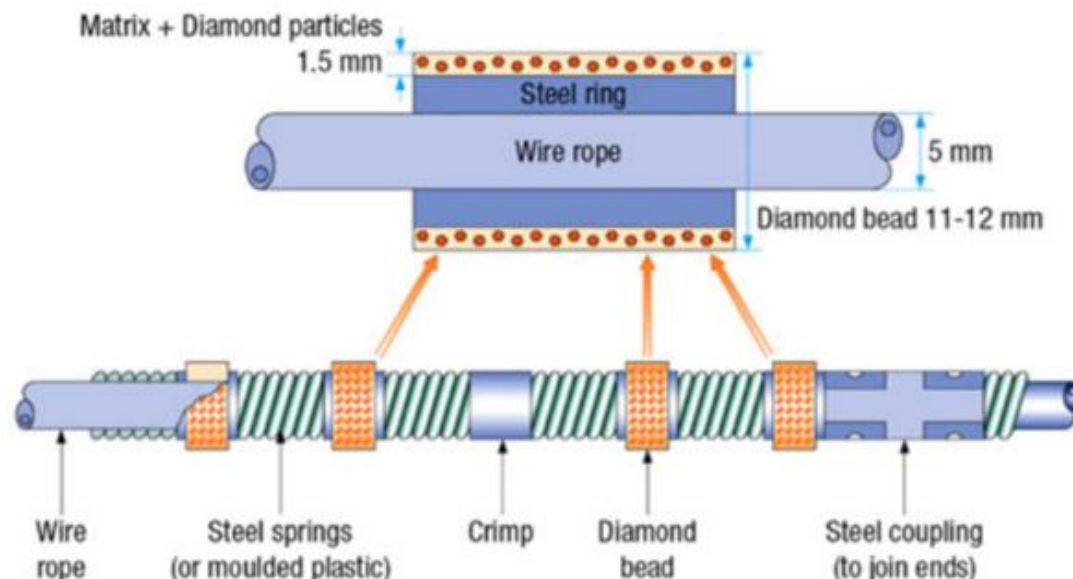


Εικόνα 20: Το βαγόνι - πλαίσιο του Liner της εικόνας 18.

Η συρματοκοπή (εικόνα 21) ίσως αποτελεί τη μεγαλύτερη επανάσταση στον τομέα της εξόρυξης μαρμάρου. Αντικατέστησε την δυσκολότερη και πιο χρονοβόρα δουλειά: την απόσπαση του όγκου από το μητρικό πέτρωμα. Το βασικό της τμήμα είναι η περιστρεφόμενη (180°) τροχαλία-οδηγός Φ800, στην οποία περιστρέφεται ένα συρματοσχοίνο που έχει περάσει μέσα από ένα ζεύγος επικοινωνούντων διατρημάτων. Το σύρμα αυτό είναι ενισχυμένο με πέρλες διαμαντιών και με την κόντρα (προς τα πίσω) κίνηση του βαγονιού πάνω σε ράγες (στην εικονιζόμενη A=6 και B=12 μέτρα), κόβει τον πάγκο. Πιο συγκεκριμένα, η συρματοκοπή αποτελείται από εξάμετρα συρματοσχοίνο διαμέτρου 5 χιλιοστών, με 27 πέρλες αδάμαντα ανά 1 μέτρο που αυξάνει τη διάμετρο στα 11-12 χιλιοστά (εικόνα 22). Συνήθης ταχύτητα κοπής είναι τα 10m²/h αλλά μπορεί να αυξομειωθεί ανάλογα με τη σκληρότητα του μαρμάρου.



Εικόνα 21: Συρματοκοπή MARINI.



Εικόνα 22: Σχεδιαστική τομή συρματόσχοινου συρματοκοπής.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Στην παραπάνω τομή του συρματόσχοινου από τα αριστερά προς τα δεξιά, τα βελάκια που φαίνονται υποδεικνύουν:

Συρματόσχοινο / Μεταλλικό Ελατήριο για ελαστικότητα στην κίνηση πάνω στο σύρμα / Μεταλλικό Στοπ / Κεφαλές αδάμαντα / Μεταλλική Ένωση με επόμενο κομμάτι σύρματος. Στο πάνω τμήμα φαίνεται λεπτομέρεια της διάταξης των αδαμαντοκεφαλών πάνω σε Μεταλλικό δαχτυλίδι γύρω από το συρματόσχοινο.

Επί προσθέτως, η ανατροπή και αποκόλληση των πάγκων μετά το σχίσσιμο τριών (3) επιφανειών με τη συρματοκοπή ή με συνδυασμό [συρματοκοπής](#) και [liner](#) εκτελείται με εκσκαφέα ανεστραμμένου κάδου (τσάπα) (εικόνα 23) ή με φορτωτή που φέρει πιρούνια (εικόνα 24) και στη συνέχεια αφού τετραγωνισθούν οι όγκοι στην πλατεία με τη βοήθεια μικρότερων συρματοκοπών φορτώνονται σε φορηγές-πλατφόρμες (εικόνα 25) για τη μεταφορά τους στο εργοστάσιο ή κατευθείαν προς πώληση. Μικρότεροι ακανόνιστοι όγκοι μαρμάρου (ξωφάρια) θραύονται επί τόπου με υδραυλικά σφυριά 2.5t ή 3t που τα φέρουν εκσκαφείς (εικόνα 26) για να μεταφερθούν στη συνέχεια με φορτωτή και φορηγό (εικόνα 27) προς το σπαστηριτριβείο ή προς απόθεση.



Εικόνα 23: Νύχι.

Κινούμενος σε ερπύστριες εκσκαφέας, με αλλαγμένο το άκρο με άκρο *Ripper* ή αλλιώς «*νύχι*», που λόγω του σχήματός του έχει την ιδιότητα να μπαίνει στο αυλάκι από τη συρματοκοπή του όγκου και να τον τραβάει κάτω. Δηλαδή συνεισφέρει ακράδαντα στην αποκόλληση και ανατροπή του όγκου.

Εδώ το συγκεκριμένο είναι KOMATSU PC450, με 340HP ιπποδύναμη και 45 τόνους βάρους.

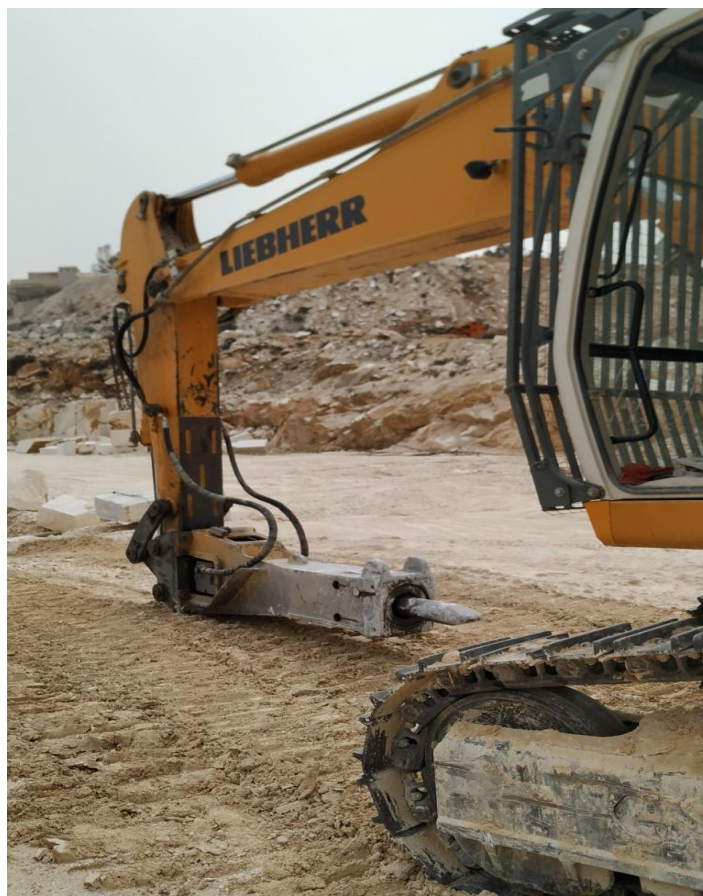


Εικόνα 24 : Πιρούνι.

Περιοφορικός φορτωτής. Ο εικονιζόμενος είναι ο CAT980 με 270 ίππους. Βοηθάει αρχικά στο στήσιμο των όγκων που ανατράπηκαν για δευτερογενή επί τόπου κοπή, δηλαδή καθαρισμό και ορθογωνισμό. Επίσης, όταν οι όγκοι είναι έτοιμοι, βοηθάει στην φόρτωση της πλατφόρμας (εικόνα 25) για μεταφορά τους είτε στην πλατεία stock (εικόνα 39) για πώληση ως έχουν, είτε στο σχιστήριο για την δημιουργία πλακών.



Εικόνα 25: Φορτηγό - Πλατφόρμα μεταφοράς όγκων, με μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο 60 τόνους.



Εικόνα 26: Σφυρί.

Ο παραπάνω εκσκαφέας LIEBHERR 944, κινούμενος επί ερπυστριών, συνολικού βάρους 44 τόνων, φέρει υδραυλική σφύρα βάρους 2,5 τόνων με παραγωγή χιλίων (1000) τόνων την μέρα.



Εικόνα 27 : Φορτωτής & Φορτηγό.

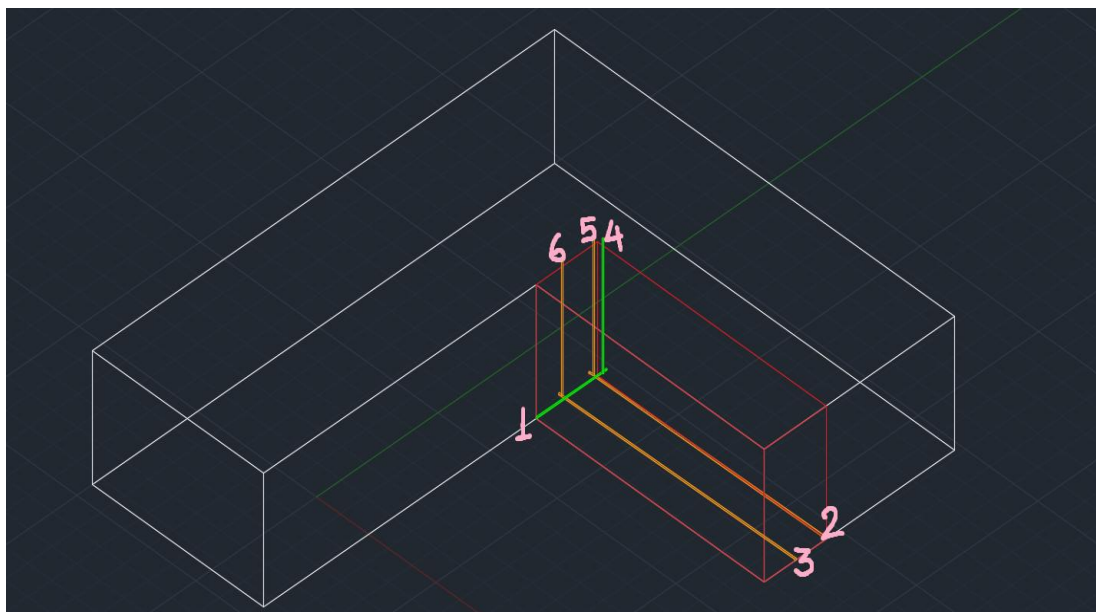
Στην προηγούμενη εικόνα (27) φαίνονται ο φορτωτής (αριστερά) CAT 966 βάρους 25 τόνων, 190HP ιπποδύναμη και χωρητικότητα κάδου 3 κυβικά, φορτώνει με το θραυσμένο υλικό το φορτηγό (δεξιά) KOMATSU HD405 βάρους 35 τόνων, 500 HP ιπποδύναμης και χωρητικότητας καρότσας 27 κυβικών μέτρων ή 40 τόνων για μεταφορά των δημιουργηθέντων τεμαχίων προς το τριβείο.

2.3: ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΜΑΡΜΑΡΟΥ

Ο παραπάνω μηχανολογικός εξοπλισμός (του κεφαλαίου 2,2) είναι απαραίτητος για έναν μεγάλο κύκλο διεργασιών που αφορούν στην εξόρυξη μαρμάρου. Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, τα πρώτα βήματα αφορούν την εύρεση του κοιτάσματος, τη διάνοιξη της κύριας οδού προσπέλασης του βουνού, την αποκάλυψη, τη διάνοιξη και επέκταση δρόμων προσπέλασης του κοιτάσματος, την περιχάραξη και προετοιμασία μετώπων με τη διάνοιξη του πάγκου-κλειδιού συνήθως μέσω διάτρησης και ανατίναξης, αφού πριν έχουν κοπεί οι επιφάνειες για το λύσιμο του πάγκου με συρματοκοπή.

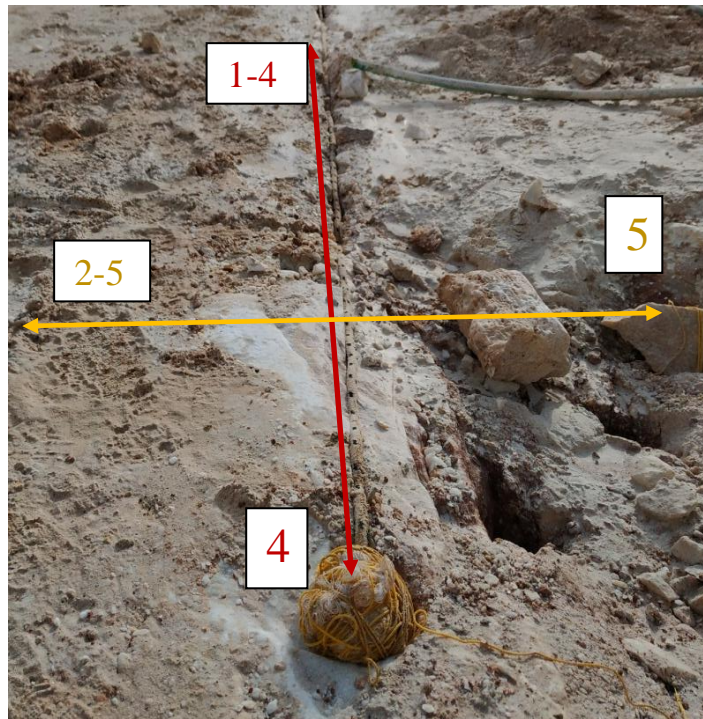
Καταβάλλεται προσπάθεια οι διαστάσεις των εξορυσσόμενων όγκων να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερες, αλλά εντός των πλαισίων που μπορεί να διαχειριστεί ο μηχανολογικός εξοπλισμός. Ο υψηλός βαθμός τεκτονισμού του πετρώματος

επιβάλλει αυτή την προσέγγιση, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η αποληψιμότητα, αφού τα προς ορθογωνισμό τεμάχια μαρμάρου ορίζονται από τις φυσικές ασυνέχειες, αλλά και από τις τεχνητές τομές που δημιουργούνται κατά την κοπή του πάγκου. Με την ελαχιστοποίηση των τεχνητών τομών αποφεύγεται στο μέτρο του δυνατού ο τεμαχισμός υγιών όγκων. Για να μπορέσει να κοπεί ένας όγκος τυπικών επιθυμητών διαστάσεων [7μ ύψος x 12μ μήκος x 3μ πλάτος] είναι απαραίτητη η αρχική όρυξη αλληλοτεμνόντων διατρήμάτων (εικόνα 28) με Wagon Drill ως εξής:



Εικόνα 28: Σχεδιαστική αναπαράσταση των απαραίτητων διατρήσεων.

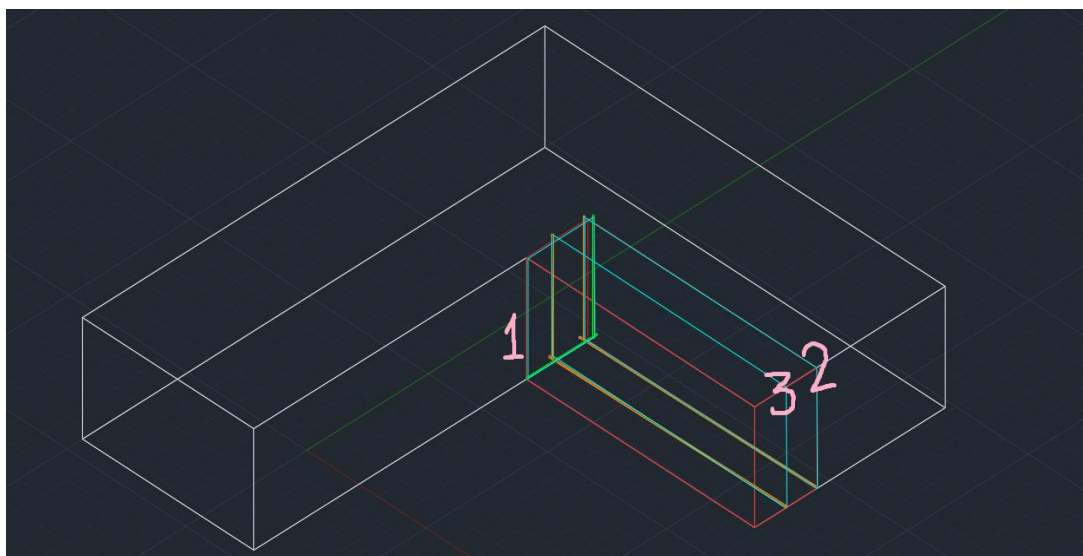
Να σημειωθεί εδώ πως το διάτρημα 1 γίνεται στο Μουρέλο, τα 2,3 στο Κεφάλι και τα 4,5 και 6 στο Πρόσωπο. Τα διατρήματα 2,3 στοχεύονται λίγο πιο κάτω από το 1, και αυτό διότι πρώτα κόβεται το κεφάλι, δηλαδή η κοπή 1-4. Επομένως αν ήταν πιο πάνω οι κοπές 2-5 και 3-6, η 1-4 θα τις έκοβε. Επίσης, το επίπεδο της κοπής 1-4 είναι πιο μέσα και πιο πίσω (εικόνα 29) από των 2-5 και 3-6, επειδή αν ήταν από έξω, θα έμενε ένα κομμάτι άκοπο και θα δημιουργούσε πρόβλημα κατά την κοπή και μετά την ανατροπή.



Εικόνα 29: Η στρατηγική των διατρήσεων στο Πρόσωπο.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Στην εικόνα 29 παραπάνω, φαίνονται οι ορύξεις 4 & 5 (του παραπάνω σχεδίου της εικόνας 28), καθώς επίσης και η αρχή της κοπής 1-4, κλεισμένες ώστε να μη γεμίσουν χώματα και κλείσουν. Τα άλλα δύο διατρήματα που φαίνονται μεταξύ τους, είναι αποτυχημένες προσπάθειες να συναντηθούν τα διατρήματα 2 και 5 μεταξύ τους.

Στη συνέχεια ο όγκος περιβάλλεται από σύρμα μέσω των παραπάνω διατρημάτων:

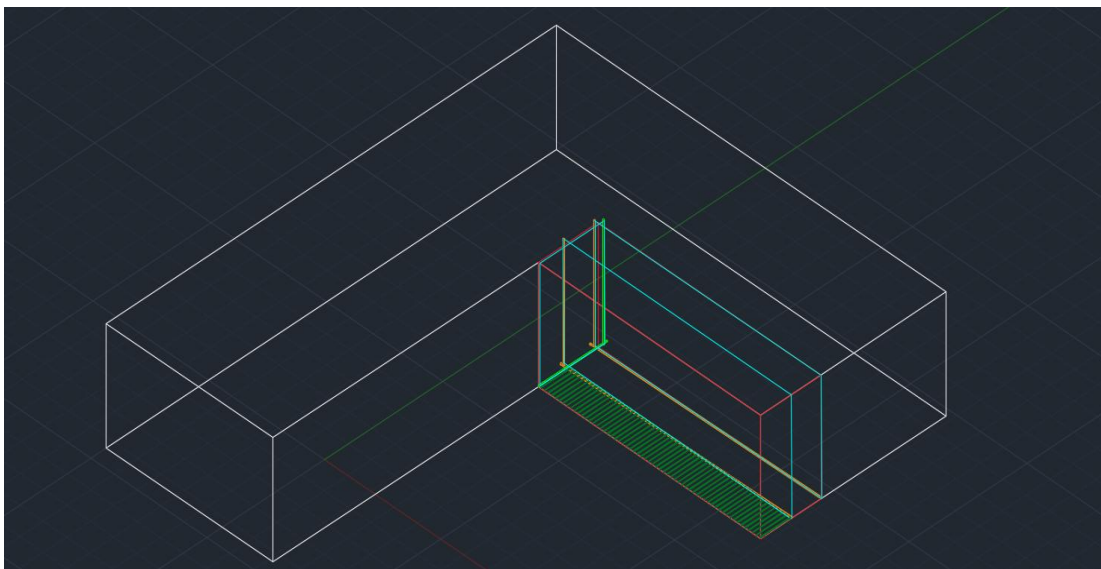


Εικόνα 30: Σχεδιαστική αναπαράσταση της σειράς των κοπών με τη συρματοκοπή.



Εικόνα 31: Συρματοκοπή επί τω έργω.

Ύστερα ακολουθεί το *liner* για πρότμηση με όρυξη πυκνών διατρημάτων (Φ28 και ισαπόσταση ~25cm) (εικόνα 32) με αποτέλεσμα σχίσσιμο του πάτου του πάγκου, ύστερα από γόμωσή (εικόνα 33) τους με καλώδια ακαριαίου εκρηκτικού.

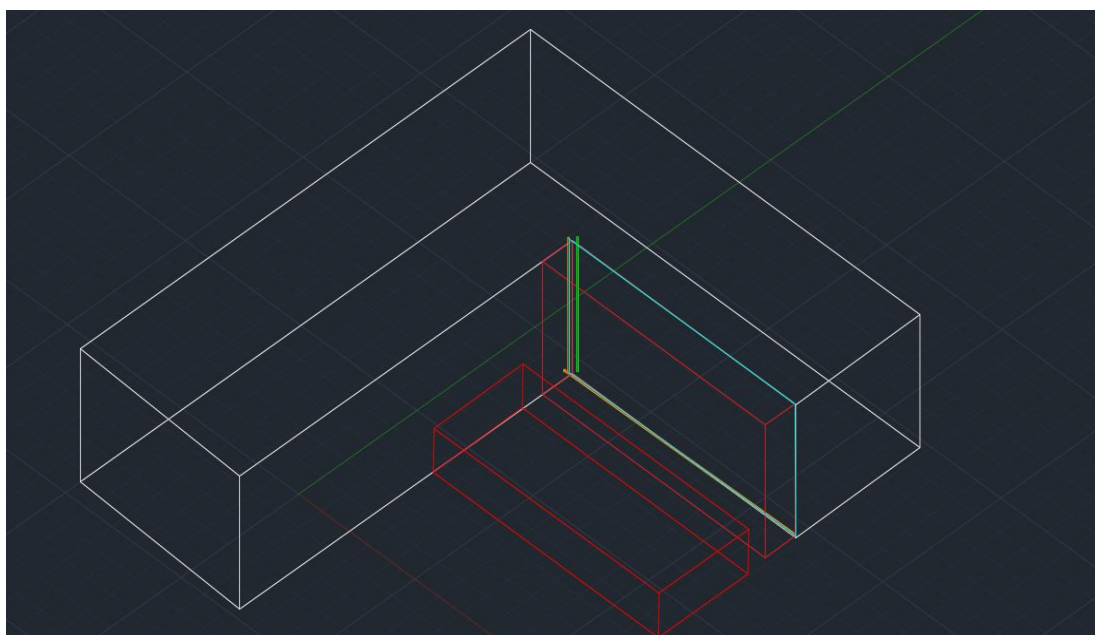


Εικόνα 32: Σχεδιαστική αναπαράσταση της πρότμησης με το Liner.



Εικόνα 33: Άποψη της διαδικασίας γόμωσης για το σχίσμο του πάτου.

Ακολουθεί η ανατροπή του όγκου:



Εικόνα 34: Ανεστραμμένος όγκος. Σχεδιαστική αναπαράσταση της ανατροπής.

Η οποία ανατροπή είναι πιθανόν να χρειαστεί να υποβοηθηθεί από *υδρόσακο* (εικόνα 35) , ο οποίος εισέρχεται στο άνοιγμα από την κοψιά και με την τροφοδότησή του με νερό, αφού φουσκώσει, βοηθάει σημαντικά στην αποκόλληση καθώς μεγαλώνει το αυλάκι της συρματοκοπής για την είσοδο της τσάπας.



Εικόνα 35: Υδρόσακος επί τω έργω.

Αφού ολοκληρωθεί και η ανατροπή των πάγκων, ακολουθεί το εκ νέου στήσιμό τους για τη δευτερογενή κοπή με συρματοκοπή (εικόνα 36). Αυτή αποσκοπεί στη δημιουργία μικρότερων όγκων, ευκολότερα διαχειρίσιμων ή απλά καλύτερα ορθογωνισμένους, "καθαρισμένους".



Εικόνα 36: Άποψη των όγκων ύστερα από ολοκλήρωση της δευτερογενούς κοπής.

Όταν ο επικείμενος πάγκος δεν είναι της επιθυμητής ποιότητας (κατά κόρων λόγω τεκτονισμού) τα διατρήματα του *liner* δεν γίνονται στο δάπεδο αλλά στην πίσω κατακόρυφη έδρα του πάγκου. Γίνονται πιο μεγάλα και αποσκοπούν στο απευθείας σπάσιμο του όγκου. Παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής είναι τα σημεία με πολύ έντονο τεκτονισμό.

Εκτός όμως από την περίπτωση που είναι γνωστή από πριν η αδυναμία του σχηματισμού για απόδοση υγιών και εμπορεύσιμων ογκομαρμάρων, υπάρχουν και οι περιπτώσεις όπου φαινομενικά οι όγκοι είναι υγιείς, αλλά μετά την ανατροπή τους φαίνονται ελαττώματα όπως σπασίματα, ανοίγματα και ανοιχτά ή κλειστά ρήγματα τα οποία είτε κόβουν τον όγκο στη μέση, είτε τον αχρηστεύουν εντελώς. Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις, είτε ύστερα από την ανατίναξη είτε από την ανατροπή, ακολουθεί η διαδικασία σπασίματος, όπου το *σφυρί* έρχεται και δημιουργεί μικρότερα τεμάχια μαρμάρου (εικόνα 37), κατάλληλου κλάσματος για *φόρτωση και μεταφορά* με τα αντίστοιχα οχήματα, προς τα τριβεία από τα οποία παράγεται πληρωτικό υλικό *filler* με κοκκομετρία 10-120 μm (μικρόμετρα), *μαρμαρόσκη* με κοκκομετρία 0-1.8 mm (χιλιοστόμετρα) και "*ρυζάκι*" κοκκομετρίας 1.8-4 mm.



Εικόνα 37: Υδραυλική Σφύρα επί τω έργω.

Επί προσθέτως, η απόφαση του τρόπου κοπής κάθε όγκου που έχει προκύψει από την ανατροπή είναι σημαντική γιατί θα δώσει και την τελική αξία των προϊόντων. Η τελική αξία του ορθογωνισμένου όγκου προσδιορίζεται από τις διαστάσεις του, τον προσανατολισμό της έδρας που θα δώσει πλάκες σε σχέση με τα νερά του μαρμάρου (στα νερά και κόντρα), την λευκότητα, τις μικρορωγμές, τις οξειδώσεις κλπ.

Όλα τα ανωτέρω, ήτοι η κυκλικότητα των εργασιών και η γραμμή παραγωγής-εξόρυξης, φαίνονται στο διάγραμμα ροής της εικόνας 38.



Εικόνα 38: Διάγραμμα ροής των αποφάσεων και των εργασιών σε ένα λατομείο μαρμάρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

3.1: ΑΠΟ ΤΟ ΛΑΤΟΜΕΙΟ ΣΤΟ ΣΧΙΣΤΗΡΙΟ

Αφού λοιπόν έχουν απομακρυνθεί όλα τα ογκοτεμάχια εκείνα που πάνε προς τα τριβεία, μένει η επεξεργασία των υγιών όγκων. Η επεξεργασία αυτή περιλαμβάνει αρχικά τη δευτερογενή κοπή των υγιών όγκων με χρήση μικρότερων συρματοκοπών, που αποσκοπεί στον καθαρισμό-ορθογωνισμό τους επί τόπου στο πεδίο. Στη συνέχεια οι καθαρισμένοι πλέον όγκοι περνούν στη μονάδα του σχιστηρίου, που αποτελεί την βασική μονάδα επεξεργασίας, από την οποία παράγονται πλάκες, πλακίδια αλλά και σχήματα ειδικών παραγγελιών (εικόνα 41).

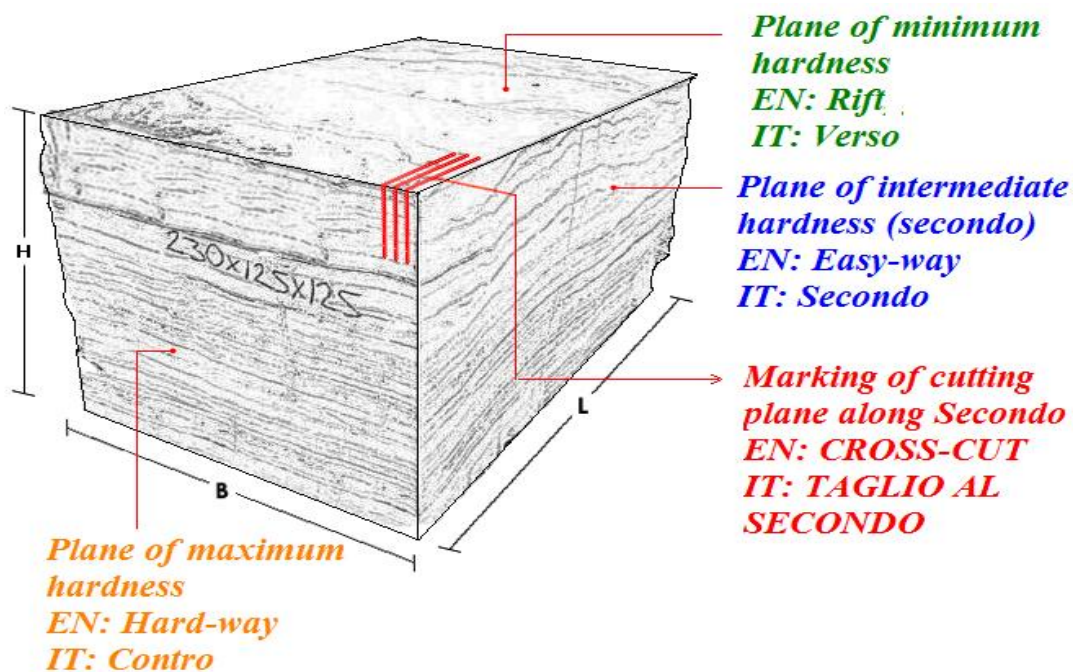
Πολλοί όγκοι συχνά πωλούνται ως έχουν, απλώς καθαρισμένοι, είτε από την πλατεία stock (εικόνα 40), είτε απευθείας από τον λάκκο (εικόνα 62), για άλλα σχιστήρια. Οι υπόλοιποι οδηγούνται στην Πλακοποιία της εταιρίας για περαιτέρω κόψιμο.

Για τους ορθογωνισμένους αυτούς όγκους, σύμφωνα με το πρότυπο *EN 1467 «Φυσικοί λίθοι – Ακατέργαστοι όγκοι – Προδιαγραφές»*, μεταξύ άλλων προβλέπονται τα εξής:

- Σε κάθε ογκομάρμαρο πρέπει υποχρεωτικά να υπάρχει ευκρινής σήμανση της κατεύθυνσης του επιπέδου της στρώσης (verso, rift) του πετρώματος.
- Σε κάθε ογκομάρμαρο πρέπει να υπάρχει ένας μοναδικός αριθμός αναγνώρισης για λόγους ταυτοποίησης (identification number).
- Στις εμπορικές πράξεις μπορεί να χρησιμοποιείται και το βάρος του ογκομαρμάρου σε t.
- Οι ορατές ρωγμές και τυχόν σπασίματα (επιφάνειες ασυνέχειας) στο ογκομάρμαρο πρέπει να επισημαίνονται από τον πωλητή προς τον αγοραστή.
- Οι έξι πλευρές του ορθογωνισμένου όγκου πρέπει να είναι επίπεδες και να σχηματίζουν ορθές γωνίες με τις γειτονικές τους. Επιπλέον, οι απέναντι πλευρές του ογκομαρμάρου πρέπει να είναι παράλληλες μεταξύ τους, ώστε να υπάρχει αντιστοιχία με τις πλευρές ενός ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου.
- Οι διαστάσεις του ογκομαρμάρου πρέπει να καθορίζονται από το μήκος του (L), το πλάτος (B) και το ύψος (H) που πρέπει να αναφέρονται με την παραπάνω σειρά (εικόνα 39). Το μήκος L αντιστοιχεί στην μεγαλύτερη πλευρά του όγκου στο επίπεδο της στρώσης (ή των «νερών»). Το πλάτος B αντιστοιχεί στη μικρότερη πλευρά του κατά το επίπεδο της στρώσης. Το ύψος H αντιστοιχεί στην πλευρά του όγκου την κάθετη προς το επίπεδο της στρώσης.

Διαστάσεις οι οποίες μπορούν να διακριθούν σε:

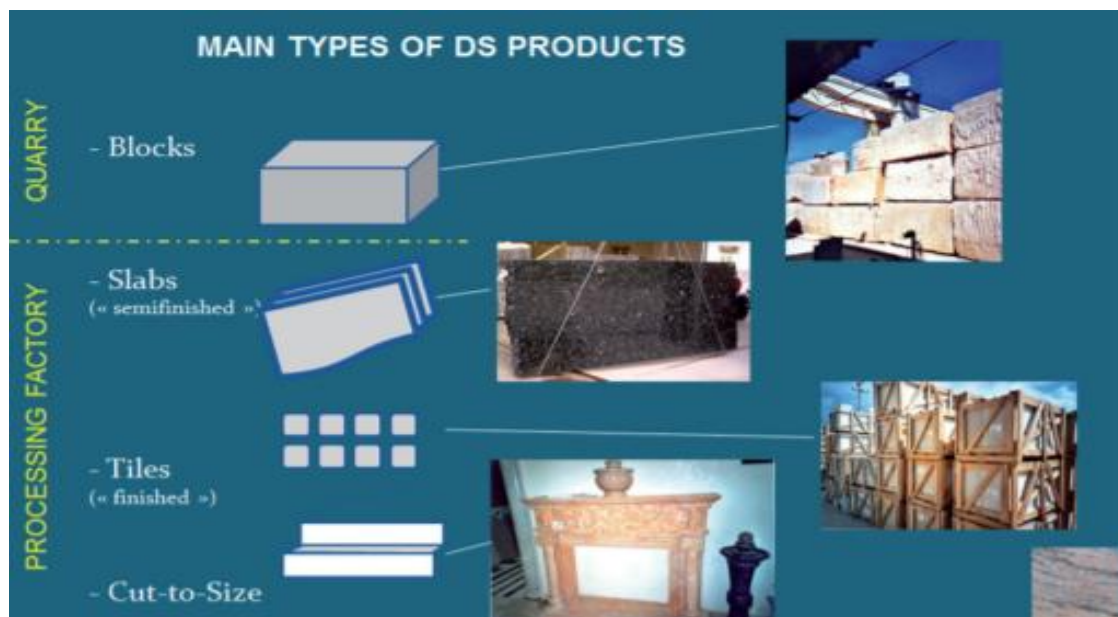
- **Καθαρές διαστάσεις** (net dimensions), που καθορίζονται ως οι διαστάσεις του μέγιστου εγγεγραμμένου στον όγκο ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου, μειωμένες και οι τρεις κατά 5 εκατ. λόγω της αναμενόμενης φύρας κατά την κοπή («χάρες»). Στο νοητό αυτό ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο δεν περιλαμβάνονται οι πλευρές του όγκου που δεν σχηματίζουν ορθές γωνίες (δηλαδή που έχουν «λειψάδες»), ούτε τα διατρήματα ορθογωνισμού ή άλλες τρύπες, αν υπάρχουν.
- **Ακαθάριστες διαστάσεις** (gross dimensions), οι οποίες είναι οι διαστάσεις των ακμών του ελάχιστου περιγεγραμμένου στον όγκο ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου.
- **Εμπορικές διαστάσεις** (commercial size), οι οποίες είναι αυτές που καθορίζονται μετά από συμφωνία αγοραστή και πωλητή (για να αντιμετωπίζεται η φύρα από τυχόν ελαττώματα).



Εικόνα 39: Μαρκάρισμα των διαστάσεων και προσανατολισμού ενός ογκομαρμάρου στην πλατεία. πηγή: Εξαδάκτυλος Γ.



Εικόνα 40: Άποψη της πλατείας stock, με όγκους από παλαιότερες εξορύξεις.

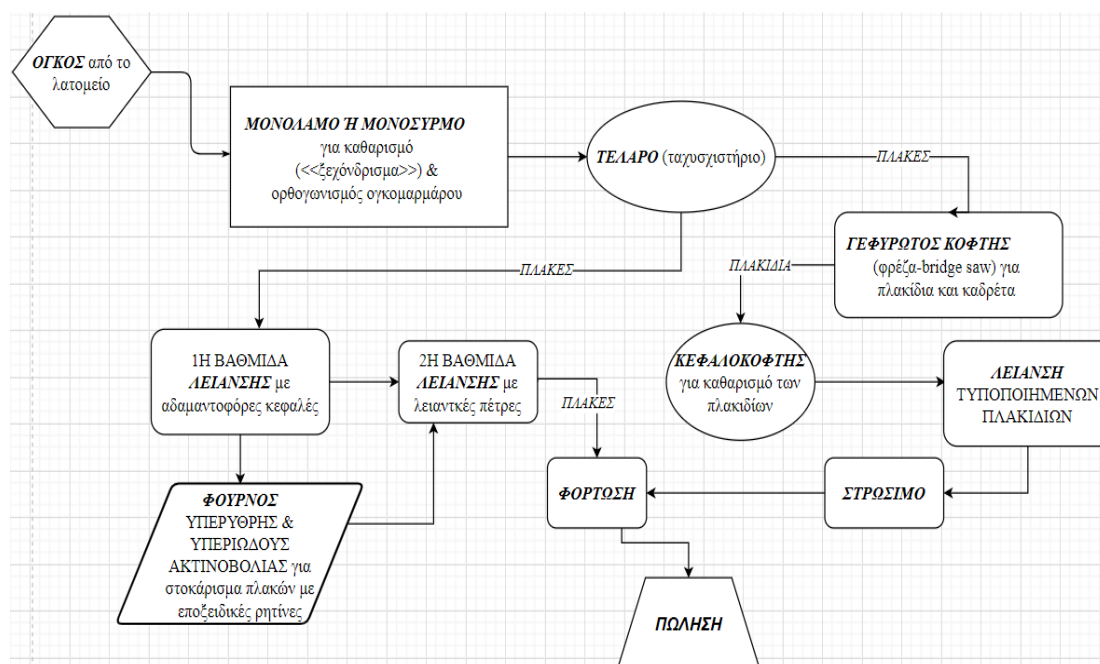


Εικόνα 41: Βασικοί τύποι προϊόντων προς πώληση του σχιστηρίου. Πηγή: www.marcocosistones.com

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Τύποι οι οποίοι όπως φαίνονται παραπάνω (από πάνω προς τα κάτω) περιλαμβάνουν Όγκομάρμαρα (blocks) (προμηθευμένα απευθείας από τους λάκκους του λατομείου), Πλάκες (slabs), Πλακάκια (tiles) καθώς και Τεμάχια ειδικών παραγγελιών (cut-to-size).

3.2: Η ΜΟΝΑΔΑ ΤΟΥ ΣΧΙΣΤΗΡΙΟΥ

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, η εξόρυξη του μαρμάρου χρήζει ειδικών μηχανημάτων. Επομένως και για την διαδικασία της επεξεργασίας είναι απαραίτητος μηχανολογικός εξοπλισμός ο οποίος περιλαμβάνει ειδικά αδαμαντοφόρα κοπτικά μηχανήματα όπως *το μονόλαμο* (εικόνα 43), *το μονόσυρμα* (εικόνα 44), *το τελάρο* (εικόνα 45), *οι φρέζες* (εικόνα 47), *τα κοπτικά με κινούμενες τράπεζες* (εικόνα 48) καθώς επίσης και η μονάδα *λουστρικής* (εικόνες 49&50) , που αποτελούν την μονάδα προετοιμασίας και επεξεργασίας του μαρμάρου. Για την ευκολότερη κατανόηση της γραμμής παραγωγής ενός σχιστηρίου και των σταδίων που το απαρτίζουν ακολουθεί η παρακάτω τυπική διάταξη της εικόνας 42:



Εικόνα 42: Τυπική διάταξη γραμμής παραγωγής ταχυσχιστηρίου.



Εικόνα 43: Αποψη του μονόλαμου.

Φέρει αδαμαντοφόρα λάμα, χρήσει της οποίας μπορεί να πραγματοποιηθεί από καθαρισμός των όγκων μέχρι και παραγωγή πλακών.



Εικόνα 44: Αποψη του μονόσυρμου σταθερού πλαισίου.

Τα βέλη στην εικόνα υποδεικνύουν την διάταξη του σύρματος. Χρησιμοποιείται με την ίδια λογική με το μονόλαμο, με τη διαφορά ότι είναι γρηγορότερο, αλλά φθείρεται και πιο εύκολα.



Εικόνα 45: Όγκος στο τελάρο, κόντρα κοπή.

Το *τελάρο* (εικόνα 45) αποτελεί το κατά κόρον χρησιμοποιούμενο και ενδεχομένως το σημαντικότερο μηχάνημα της εν λόγω μονάδας. Είναι ιδιαίτερα ισχυρής κατασκευής, αποτελούμενο από ισαπέχουσες (2-5cm) αδαμαντοφόρες λάμες (εδώ 25, γενικά 10-100) οι οποίες εκτελώντας μία παλινδρομική κίνηση χτυπάνε με κρούση τους όγκους. Η κίνηση των λαμών τροφοδοτείται από ένα μηχανοκίνητο τύμπανο και το τελάρο είναι ανοιχτού πλαισίου. Αυτό σημαίνει ότι ο όγκος βρίσκεται στηριγμένος πάνω σε πλατφόρμα, η οποία κινείται κάθε 60cm περίπου μέχρι να καλυφθεί όλο το πλάτος του όγκου. Επίσης, στο εικονιζόμενο τελάρο που είναι του λατομείου Διονύσου, οι μέγιστες διαστάσεις είναι τέσσερα (4) μέτρα μήκος και δύο (2) μέτρα ύψος (το πλάτος δεν είναι περιοριστικό αφού φέρει κινούμενη πλατφόρμα). Τέλος, η ταχύτητα κοπής του τελάρου περιλαμβάνει αρχική κοπή μέχρι να εισέλθουν ολόκληρες οι λάμες στον όγκο γύρω στα 5cm/hr και στη συνέχεια αυξάνεται μέχρι περίπου τα 15cm/hr κόβοντας τον όγκο σε πλάκες.



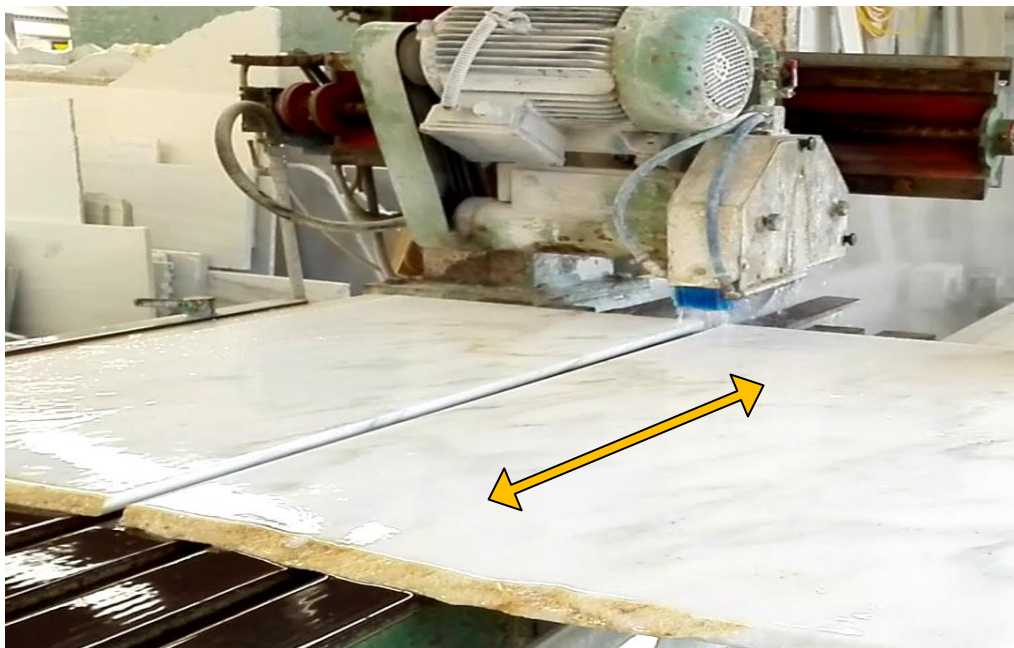
Εικόνα 46: Λεπτομέρεια παράταξης λαμών τελάρου.

Τα τρία αυτά μηχανήματα λοιπόν αποτελούν τον πρώτο σταθμό του σχιστηρίου, όπου πραγματοποιείται μερικός επιπλέον καθαρισμός από αυτόν του λατομείου αλλά και δημιουργία πλακών.

Στη συνέχεια οι όγκοι περνάνε στη δευτερογενή κοπή του σχιστηρίου όπου βρίσκονται φρέζες και κοπτικά κινούμενης τραπέζης για την δημιουργία συγκεκριμένων διαστάσεων πλακών για παραγγελίες:



Εικόνα 47: Ενδεικτική άποψη σύγχρονης φρέζας με περιστρεφόμενη τράπεζα, προσαρμοσμένη σε γερανογέφυρα (γεφυρωτός κόφτης).



Εικόνα 48: Κοπτικό μηχανήμα κινούμενης τράπεζας.

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας κοπής, οι πλάκες περνούν από έναν κύκλο λουστρικής ή σαγρέ επένδυσης, ανάλογα την εκάστοτε παραγγελία, όπως φαίνεται και στις Εικόνες 49 και 50, καθώς και η διαδικασία στέγνωσής τους στην εικόνα 51 παρακάτω.



Εικόνα 49: Είσοδος πλάκας για λουστράρισμα.



Εικόνα 50: Κεφαλές λουστραρίσματος.



Εικόνα 51: Άποψη της διαδικασίας στέγνωσης των πλακών.

Σημαντικό ρόλο στην καταπόνηση αλλά και στο αισθητικό αποτέλεσμα παίζει η διάσταση στην οποία πραγματοποιείται το σχίσμο του όγκου: *στα νερά του ή κόντρα σε αυτά*. Η πρώτη είναι πιο "στρωτή" με λιγότερη καταπόνηση και παράγει συνήθως πλάκες ενός χρώματος, ενώ η δεύτερη, δηλαδή κόντρα κοπή (όπως της εικόνας 45), δημιουργεί ριγωτές πλάκες (εικόνα 52), γεγονός που βοηθάει τη δημιουργία σχεδίων και μοτίβων στο χώρο, όπως το Open Book (εικόνα 53).

Τέλος, για τις κόντρα κομμένες πλάκες, ακριβώς επειδή κόβονται κάθετα στις παράλληλες μεταξύ τους στρώσεις του μαρμάρου, εγκυμονεί ο κίνδυνος οι πλάκες αυτές να αστοχήσουν, δηλαδή να ανοίξουν. Για να αποφευχθεί αυτό, γίνεται χρήση ενός πολύ λεπτού πλέγματος και μίας στρώσης ρητίνης στην μία όψη της πλάκας, όπως φαίνεται στην εικόνα 52:



Εικόνα 52: Άποψη της στρώσης ρητίνης σε κομμένη κόντρα πλάκα.



Εικόνα 53: Δημιουργία εικόνας αντικατοπτρισμού με παράταξη "open book" σε κόντρα κομμένο όγκο.

Μετά το πέρας της τελικής ετοιμασίας των πλακών, και ειδικότερα αυτών με τις πιο μικρές διαστάσεις, πριν το πακετάρισμα, πραγματοποιείται μία πολύ σημαντική διεργασία: *το στρώσιμο* (εικόνα 54), κατά το οποίο φαίνονται και δημιουργούνται μοτίβα και σχήματα συνδυάζοντας νερά και χρώματα, ολοκληρώνοντας ένα και γεωμετρικά όμορφο αποτέλεσμα.



Εικόνα 54: Αποψη της διαδικασίας του στρώσιματος των τεμαχίων.

Τέλος, για την ολοκλήρωση της αναφοράς στα μηχανήματα του σχιστηρίου, όταν χρειάζονται πιο περίπλοκα και καλλιτεχνικά σχέδια, υπάρχει και ένα μηχάνημα υδροκοπής (εικόνα 55) με πίεση λειτουργίας περίπου στα 5000 bar και ένα παράδειγμα εφαρμογής της (εικόνα 56) καθώς και ένας CNC κόπτης (εικόνα 57) με ένα παράδειγμα εφαρμογής του (εικόνα 58), με δυνατότητα κίνησης σε τέσσερις (4) άξονες η οποία δίνει ελευθερία για δημιουργία όλων των επιθυμητών σχεδίων, με πολλές λεπτομέρειες, αφού και τα δύο επιδέχονται εισαγωγή δεδομένων μέσω υπολογιστικού συστήματος CAD.



Εικόνα 55: Αποψη της Υδροκοπής.



Εικόνα 56: Παράδειγμα δυνατοτήτων εφαρμογής Υδροκοπής.



Εικόνα 57: Άποψη του υπερσύγχρονου CNC κόπτη.



Εικόνα 58: Παράδειγμα δυνατοτήτων εφαρμογής κοπής με CNC κόπτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

4.1: ΟΙ ΒΑΘΜΙΔΕΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η παρούσα διπλωματική εργασία έλαβε χώρα στο λατομείο μαρμάρων Διονύσου-Πεντέλης και για την καλύτερη παρακολούθηση των κυκλικών εργασιών από την αρχή (λατομείο) ως την τελική φάση κοπής και επεξεργασίας πλακών (σχιστήριο), επιλέχθηκαν τρεις (3) ενεργές βαθμίδες παραγωγής και επιλέχθηκαν τρεις (3) πάγκοι από την κάθε μία βαθμίδα λόγω του γεωλογικού τους ενδιαφέροντος, ώστε να υπάρχει και χρωματική διαβάθμιση αλλά και τεκτονική διαφοροποίηση.

Οι βαθμίδες ενός λατομείου ακολουθούν αριθμητική σειρά, και οι τρεις οι οποίες επιλέχθηκαν για την εργασία είναι η Βαθμίδα 6, η Βαθμίδα 6Α και η πλατεία ή Βαθμίδα Γ11, όλα από τον Α' Λάκκο.

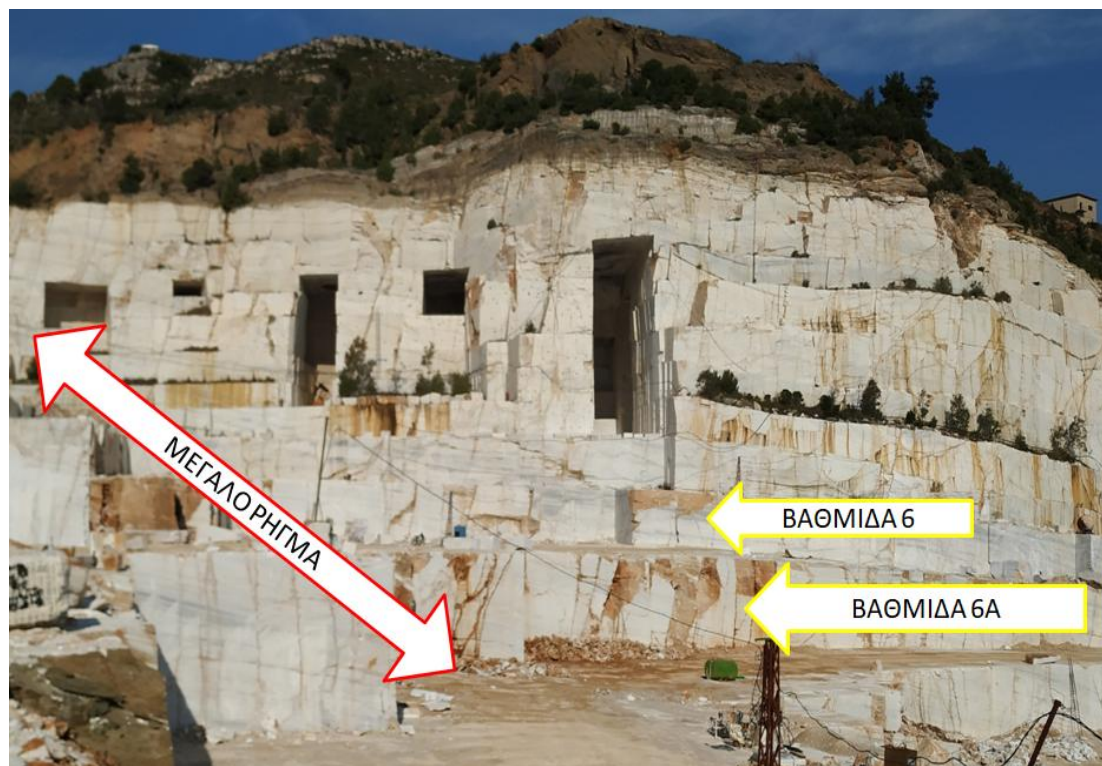


Εικόνα 59: Άποψη των τριών υπό μελέτη βαθμίδων του Α' Λάκκου του λατομείου Διονύσου.

Είναι απαραίτητο στο στάδιο της εξόρυξης η διαδικασία να συμπεριλαμβάνει την μελέτη της διάταξης των ασυνεχειών, ρωγμών, σπασιμάτων και εγκλεισμάτων του μαρμαροφόρου ορίζοντα. Αυτό συμβαίνει επειδή το μάρμαρο για να δημιουργηθεί χρειάζεται υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες, που σημαίνει ότι τα μόρια έρχονται πολύ κοντά το ένα στο άλλο, κινούμενα με μεγάλες ταχύτητες γεγονός που μαζί με την έντονη σεισμική δραστηριότητα της χώρας λόγω ευρύτερης γεωλογίας, έχει σαν αποτέλεσμα τον έντονο τεκτονισμό της βραχομάζας προς διάφορες κατευθύνσεις αλλά και ενδότερα, μέσα στο σχηματισμό με τα μικρότερης διάστασης ελαττώματα «κοκαλιές» και τις «σπαθιές».

Επομένως το να εντοπιστούν και να ακολουθηθούν οι μεγάλες ρωγμές είναι υψίστης σημασίας καθώς σηματοδοτούν προηγούμενη έντονη τεκτονική δραστηριότητα του κοιτάσματος και άρα το πέτρωμα γύρω από αυτές θα είναι το πιο σκληρό και ανθεκτικό ή το πιο έντονα τεκτονισμένο, ενώ μακριά τους είναι πιο συμπαγές, δηλαδή χωρίς πολλά σπασίματα. Αυτός είναι και ο λόγος που στα λατομεία συνήθως εξορύσσονται παραπάνω από τρεις (3) ποιότητες προϊόντος.

Στο λατομείο μαρμάρων Διονύσου-Πεντέλης υπάρχουν δύο (2) γνωστά μεγάλα ρήγματα, το πρώτο βρίσκεται στην αρχή του Α' Λάκκου (εικόνα 59) και το δεύτερο βρίσκεται μεταξύ των δύο λάκκων και αποτελεί τον λόγο ύπαρξης δύο διαφορετικών λάκκων εξόρυξης (εικόνα 60). Τα ρήγματα αυτά, που έχουν δημιουργηθεί λόγω των υπόγειων νερών, έχουν πληρωθεί με επιφανειακά αργιλοχώματα και κατακερματισμένο μάρμαρο. Επίσης, γύρω από αυτά παρατηρείται πολύ έντονος τεκτονισμός που τεμαχίζει την βραχώμαζα.



Εικόνα 60: Άποψη του πρώτου μεγάλου ρήγματος του Α' Λάκκου, που εκτείνεται από πάνω, μέχρι και την πλατεία.



Εικόνα 61: Άποψη του δεύτερου ανοιχτού ρήγματος του Β' Λάκκου του λατομείου, που εκτείνεται μεταξύ των δύο λάκκων.

4.2: Η ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΒΑΘΜΙΔΩΝ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ

Διατηρώντας αριθμητική σειρά στην ανάλυση των αποτελεσμάτων μπορούν να γραφούν τα εξής σε ότι αφορά την παραγωγή των βαθμίδων αυτών:

1. ΒΑΘΜΙΔΑ 6

Κατά την παραγωγή σε αυτή τη βαθμίδα, έλαβε χώρα ένα πολύ ενδιαφέρον γεγονός: η επιβεβαίωση της σημαντικότητας των ανοιχτών ρωγμών στην αποληψιμότητα αλλά και στο κόστος εξόρυξης, καθώς όπως μαρτυρά και η εικόνα 62 για την αποκόλληση των δύο επόμενων πάγκων (διαστάσεων ~ **10m Μήκος x 2m Πλάτος x 6m Ύψος (120m³)**) ΔΕΝ γίνεται χρήση συρματοκοπής για την κοπή του πλαϊνού και της πίσω πλευράς, αφού είναι ήδη αποκολλημένα λόγω του κωμού, που, όπως φαίνεται, αποτελεί φυσική ασυνέχεια.



Εικόνα 62: Σημείο παραγωγής Βαθμίδας 6.

Παρατηρείται στην εικόνα 62 άποψη των ανοιγμένων ρωγμών κατά μήκος του μεγάλου φυσικού ρήγματος της εικόνας 59. Από τα αριστερά προς τα δεξιά φαίνονται η κοπή χρήσει σύρματος και ακολουθούν οι δύο φυσικές τομές του όγκου.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ανατροπή τους με εκσκαφέα ανεστραμμένου κάδου (νύχι ή Ripper) και ύστερα από καθαρισμό με μικρότερες συρματοκοπές που διήρκτησε περίπου 20' για κάθε κεφάλι (κόντρα κοπή) και περίπου 30' για το μουρέλο (παράλληλα) και με καθυστερήσεις της τάξεως των 10' για κάθε αλλαγή στο στήσιμο. Από τον πρώτο πάγκο ανατροπής της Β6 έγινε αποκομιδή του εξής όγκου προς πλάκες (εικόνα 63).



Εικόνα 63: Άποψη όγκου της Β6 υπό κόντρα κοπή στο τελάρο. Διαστάσεων $2.60m \times 0.70m \times 1.10m$ ($2m^3$).

Επίσης, οι υπόλοιποι όγκοι που εξορύχθηκαν από αυτή τη Βαθμίδα από τους άλλους πάγκους, όπως φάνηκε στην εικόνα 62, πραγματοποιήθηκε χωρίς τη χρήση συρματοκοπής και μόνο με πρότμηση με Liner διάρκειας οχτώ (8) ωρών, λόγω του ανοιχτού φυσικού κωμού και του συνεπαγόμενου από αυτόν έντονο τεκτονισμό. Από αυτούς διατέθηκαν όγκοι προς απευθείας πώληση από την πλατεία stock, άποψη των οποίων ακολουθεί παρακάτω (εικόνα 64) , ακριβώς μετά το πέρας της δευτερογενούς συρματοκοπής προς καθαρισμό-ορθογωνισμό, η οποία διήρκησε περίπου 20' για κάθε κεφάλι (κόντρα) και 35' για το μουρέλο (στα «νερά»).



Εικόνα 64: Άποψη των ορθογωνισμένων πλέον όγκων που θα διατεθούν προς πώληση ως έχουν, με διαστάσεις $1.45m \times 1m \times 1.3m$ ($2m^3$) ο αριστερά και $1.65m \times 1m \times 1.3m$ ($2m^3$) ο δεξιά.

Τέλος, υπήρξε ένας όγκος ($1.4m \times 1.3m \times 3.5m$ ($6m^3$)) ο οποίος αποχώρησε για άλλο σχιστήριο με απευθείας φόρτωση στην πλατφόρμα από το λατομείο, όπως φαίνεται και στην πιο πάνω Εικόνα 25/Σελίδα 26 καθώς επίσης και ένας ακόμη όγκος (εικόνα 65) σημαντικών διαστάσεων.



Εικόνα 65: Άποψη υγιούς όγκου της Β6 προς απευθείας πώληση από αυτήν. Διαστάσεων $3.5m \times 0.85m \times 1.5m$ ($4.5m^3$).

Επομένως, σε ότι αφορά την αποληψιμότητα ή λόγο απόληψης (αγγλικός όρος: *Recovery Rate (RR)*), που αφορά τον λόγο του όγκου των υγιών και εμπορεύσιμων ογκομαρμάρων προς τον συνολικό όγκο πάγκων που εξορύχθηκε για αυτούς, στους πάγκους της εν λόγω βαθμίδας, ο υπολογισμός της έχει ως εξής:

Από συνολικά 360m^3 εξορυχθέντων πάγκων, αποκομίσθηκαν συνολικά 16.5m^3 , άρα

$$RR_{B6} = \frac{16,5}{360} \times 100\% = 4.6 \%$$

που σημαίνει πως ούτε το 5% του όγκου των εξορυσσόμενων πάγκων αποδίδει υγιή ογκομάρμαρα, λόγω του έντονου τεκτονισμού του μαρμαροφόρου ορίζοντα εξαιτίας του μεγάλου ανοιχτού ρήγματος. Το υπόλοιπο ποσοστό αποδίδει μικρότερα κλάσματα μέσω των τριβείων.

2. ΒΑΘΜΙΔΑ 6Α

Και σε αυτή τη βαθμίδα η εξόρυξη έλαβε χώρα ακριβώς πάνω στο μεγάλο ανοιγμένο ρήγμα της εικόνας 60 και λόγω αυτού εμφανίζει πολύ έντονο τεκτονισμό (εικόνες 66 & 67), με αποτέλεσμα και εδώ (εικόνα 67) να μη γίνει χρήση σύρματος για την κοπή όλων των πλευρών των δύο τελευταίων πάγκων (διαστάσεων **14m Μήκος x 2m Πλάτος x 7m Ύψος (200m^3)**). Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί πως εκτός από το αρκετό υλικό για τα τριβεία, ορύχθηκαν ένας όγκος αρκετά σημαντικών διαστάσεων (εικόνα 68) από τον οποίο παράχθηκαν 2 όγκοι προς πώληση και ακόμη τρεις (3) μικρότεροι (εικόνα 69), όπως φαίνεται παρακάτω:

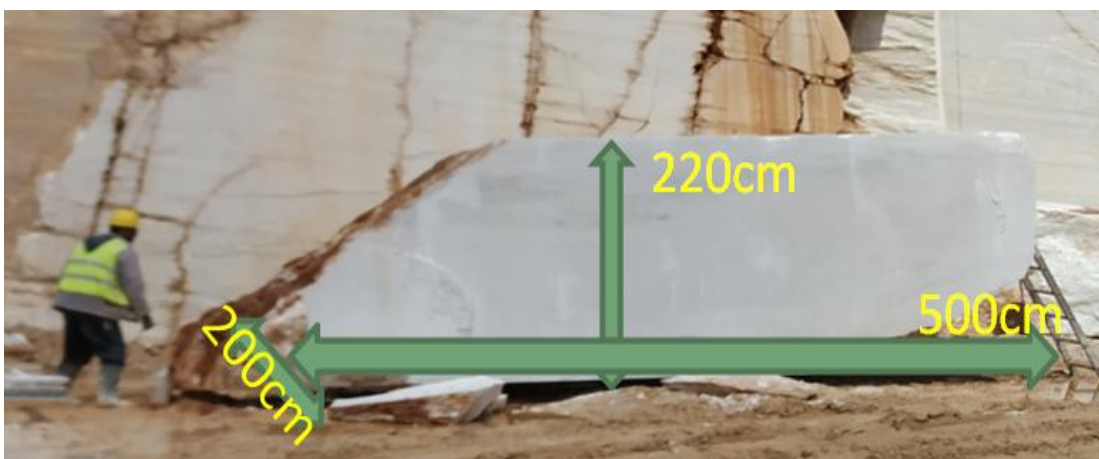


Εικόνα 66: Άποψη του πολύ έντονου τεκτονισμού στη Βαθμίδα 6Α.



Εικόνα 67: Άποψη της γωνίας από την οποία πραγματοποιήθηκε η εξόρυξη στη Βαθμίδα 6Α και του έντονου τεκτονισμού της.

Παρατηρείται λοιπόν πέραν του έντονου τεκτονισμού και πολύ έντονο κόκκινο χρώμα λόγω των ανοιγμένων ρωγμών και της πλήρωσής τους με γύρω αργιλόχωμα. Σημαντική παρατήρηση επίσης αποτελεί το γεγονός ότι δεν πραγματοποιήθηκε η αναμενόμενη αποκόλληση. Αυτό συνέβη λόγω του προαναφερθέντως πολύ έντονου τεκτονισμού όπου λόγω των ανοιγμένων ρωγμών, μεγάλο ποσοστό της έντασης της ανατίναξης απορροφήθηκε, με αποτέλεσμα σημαντικό μέρος ($\sim 80\text{m}^3$) των πάγκων να παραμείνει. Ωστόσο, εκτός από υλικό για τα τριβεία, κατάφεραν να αποκομισθούν και ορισμένοι σημαντικοί όγκοι:



Εικόνα 68: Άποψη και διαστάσεις όγκου που εξορρύχθηκε επιτυχώς και κομμάτι του απομακρύνθηκε απευθείας για άλλο σχιστήριο, όπως επίσης δείχνει η εικόνα 24 στη σελίδα 27.

Επί προσθέτως ύστερα από καθαρισμό, παράχθηκαν οι υγιείς όγκοι προς απευθείας πώληση από την πλατεία stock που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα 69.



Εικόνα 69: Άποψη μεγέθους και διαστάσεων των προϊόντων της Βαθμίδας 6A προς πώληση ως έχουν.

Επομένως, προκύπτει το εξής συμπέρασμα σε ότι αφορά την αποληψιμότητα στους πάγκους της εν λόγω βαθμίδας:

Από συνολικά 520m^3 εξορυσσόμενων πάγκων, αποκομίσθηκαν συνολικά 21m^3 εμπορεύσιμων ογκομαρμάρων, άρα $\text{RR}_{\text{B6A}} = \frac{21}{520} \times 100\% = 4.04\% \approx 4\%$

3. ΒΑΘΜΙΔΑ Γ11

Η Βαθμίδα Γ11 (εικόνα 71) μολονότι είναι γνωστή στο λατομείο ως η βαθμίδα από την οποία έχουν αφαιρεθεί ορισμένα από τα μεγαλύτερα κομμάτια (εικόνα 70), αντιμετωπίζει πολύ έντονο τεκτονισμό με αποτέλεσμα να γίνεται αποκόμιση λίγου αλλά πολύ ποιοτικού υλικού σε ογκομάρμαρα (εικόνα 72) και πολύ καλής ποιότητας μαρμαρόσκονη. Οι διαστάσεις των εξορυσσόμενων πάγκων είναι διαστάσεων πάγκων εξόρυξης **12m Μήκος x 2m Πλάτος x 7m Ύψος (~170m³)**.



Εικόνα 70: Άποψη ενός από τα μεγαλύτερα κομμάτια με διαστάσεις 4m μήκος x 1,5m πλάτος x 1,5m ύψος (9m³). Από την Γ11.



Εικόνα 71: Άποψη του σημείου παραγωγής και του βαθμού τεκτονισμού της Βαθμίδας Γ11.

Επίσης, τα προϊόντα της εν λόγω βαθμίδας είναι αυτά που φαίνονται στην εικόνα 72.



Εικόνα 72: Άποψη των προς πώληση υγιών όγκων της Βαθμίδας Γ11, από την πλατεία stock με τις χαρακτηριστικές τους διαστάσεις.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Στην πάνω αριστερά φωτογραφία της παραπάνω εικόνας 72, ο όγκος 31/19 που φαίνεται πιο πίσω από τον 30/19 έχει τις υπόλοιπες διαστάσεις ίδιες.

Επομένως, και τελικώς, η αποληψιμότητα της Βαθμίδας Γ11 σύμφωνα με τις ανωτέρω εικόνες υπολογίζεται ως εξής:

Από συνολική εξόρυξη 600m^3 αποκομίσθηκαν συνολικά $27,5\text{m}^3$ και άρα ο λόγος απόληψης είναι

$$RR_{\Gamma11} = \frac{27,5}{510} \times 100\% = 5.4\%, \text{ υψηλότερος από τις προηγούμενες}$$

δύο, όμως και πάλι πολύ χαμηλός. Αυτό οφείλεται όπως αναφέρθηκε και προηγούμενως στον έντονο τεκτονισμό του κοιτάσματος που δεν επιτρέπει την μόνιμη εξόρυξη μεγάλων όγκων.

Όλα τα υπόλοιπα αφαιρεθέντα ογκοτεμάχια, τα λεγόμενα "στείρα" συγκεντρώνονται και οδηγούνται στο τριβείο για παραγωγή μικρότερων κλασμάτων

σκόνης και πληρωτικού υλικού. Χαρακτηριστική είναι η έκφραση του επιβλέποντα μηχανικού Σ. Τρυποσκούφη «Δεν πετιέται τίποτα! Όλα μας δίνουν κάτι.».

4.3: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΚΟΠΗΣ

Με δεδομένη ετήσια παραγωγή ογκομαρμάρων, μπορεί να υπολογισθεί ο απαιτούμενος αριθμός συρματοκοπών ως ακολούθως:

Από διαστασιολογική ανάλυση προκύπτει ότι ο απαιτούμενος Ν αριθμός μονάδων Σ/Κ δίνεται από τον τύπο:

$$N_{DWC} = \frac{SC_{panel} \cdot Q_h}{CR_{eff}}$$

Όπου ισχύει πως :

Q_h = Ωριαία παραγωγή ογκομαρμάρων (m³/h).

SC_{panel} = Ειδική επιφάνεια κοπής με Σ/Κ (ή m²κοπής/m³πάνελ).

CR_{eff} = Πραγματική ταχύτητα κοπής Σ/Κ (m²/h).

και $CR_{eff} = \eta_{dwc} \cdot CR$, επίσης όπου:

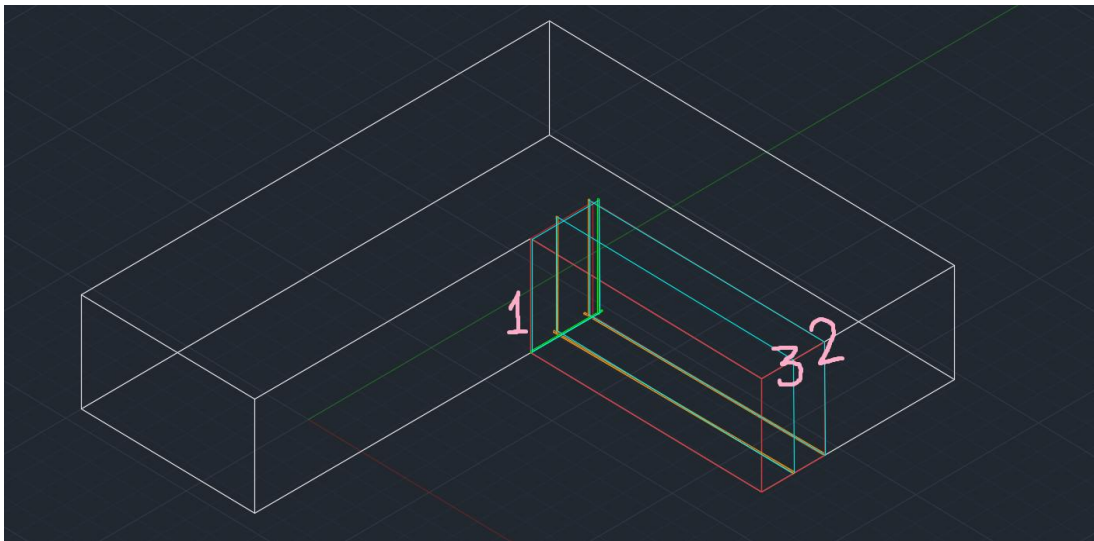
η_{dwc} = Συντελεστής πραγματικής κοπής από την Σ/Κ ή μηχανικής διαθεσιμότητας της Σ/Κ (δηλ. αφαιρώντας χρόνο τοποθέτησης, μείωσης μήκους σύρματος, βλάβες κ.λπ.)

CR = Ταχύτητα κοπής (m²/h)

Επομένως, σύμφωνα με τον επιβλέποντα μηχανικό Σ. Τρυποσκούφη, για δεδομένη ετήσια παραγωγή στα $Q_{year} = 90.000 \text{ bm}^3$ (όπου b = bulk = συμπαγή και αφορά τον όγκο που καταλαμβάνει ο σχηματισμός στη φυσική του θέση πριν την ανατροπή του και εκδήλωση των κενών όπου βάσει του Συντελεστή Επιπλήσματος (1,4) αυτή ανέρχεται σε 126.000 lm³, όπου l = loose = χαλαρά) και τον Συντελεστή απασχολήσεως εργοταξίου (που αποτελεί μοναδιαίο ποσοστό πραγματικής εργασίας σε σχέση με τη διάρκεια της βάρδιας) στο λατομείο Διονύσου να είναι $\eta_{ae} = 0.8$, η ωριαία παραγωγή ογκομαρμάρων υπολογίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned}
 Q_h &= \frac{90.000bm^3}{10months/year \cdot 25days/month \cdot 8h/day \cdot \eta_{\alpha\epsilon}} = \\
 &= \frac{90.000bm^3}{10months/year \cdot 25days/month \cdot 8h/day \cdot 0.8} = \\
 &= 56,25bm^3/h \quad \cong \quad 56bm^3/h
 \end{aligned}$$

Στη συνέχεια, για τον υπολογισμό της *Ειδικής Επιφάνειας Κοπής* (SC_{panel}) για διαστάσεις πάνελ **6mHeight*15mLength*2mWidth** χρειάζεται να γίνει χρήση του σχεδίου της εικόνας 30, το οποίο για ευκολία επανατοποθετείται παρακάτω:



Σύμφωνα λοιπόν με αυτό το σχέδιο, η ειδική επιφάνεια κοπής ενός πάγκου αφορά μία επιφάνεια κοπής στο πλάι και μία στην "πλάτη", ο πάτος σχίζεται όπως προαναφέρθηκε με την τεχνική της πρότμησης.

Επομένως, για τις διαστάσεις που τέθηκαν προηγουμένως, ο υπολογισμός της SC_{panel} έχει ως εξής:

$$SC_{panel} = \frac{2 \cdot 6 + 15 \cdot 6}{6 \cdot 15 \cdot 2} = \frac{102}{180} \frac{m^2}{m^3} = 0.566 \cong 0.6 \frac{m^2}{m^3}$$

Και τελικά, με την ταχύτητα συρματοκοπής να είναι $9 m^2/h$ και τον συντελεστή διαθεσιμότητάς της στο **70%** λόγω των αλλαγών συρμάτων αλλά και των υποχρεωτικά συχνών παύσεων λειτουργίας λόγω διέλευσης άλλων οχημάτων ή και τεχνικών προβλημάτων, ο απαιτούμενος αριθμός συρματοκοπών για το λατομείο μαρμάρων Διονύσου-Πεντέλης υπολογίζεται και είναι:

$$N_{DWC} = \left[\frac{0.6 \cdot 56}{0.7 \cdot 9} \right] = 5.3 = 6$$

Άρα χρειάζονται 6 μονάδες συρματοκοπής ισχύος 60hp για τον αποσχωρισμό των πάγκων κατά δύο (2) κατακόρυφες επιφάνειες.

Επί προσθέτως, για να ολοκληρωθεί σωστά ο κύκλος υπολογισμών, καθ' ότι το δάπεδο του πάγκου χρειάζεται πρότμιση με πυκνή διάτρηση με *Liner*, είναι απαραίτητος και ο υπολογισμός του απαιτούμενου αριθμού αυτών των διατρητικών. Άρα θα πρέπει και εδώ αρχικά να γίνει ο υπολογισμός της **Ειδικής Διάτρησης** (*Specific Drilling*) που εκφράζει τα απαραίτητα μέτρα διάτρησης προς τα κυβικά μέτρα εξορυσσόμενου πάγκου (m/m^3). Επομένως, με διάμετρο διατρημάτων Φ28 και με ισαπόσταση διατρημάτων 25 εκατοστά σε 14.75m μήκους πάνελ (αφού τα πρώτα 9cm είναι του διατρήματος της κοπής και το πρώτο μετά από αυτό τοποθετείται περίπου 15cm μετά, αντιστοιχούν $[(14.75m/0.25m)+1]=60$ διατρήματα, με βάθος το πλάτος του πάνελ, δηλαδή 2 μέτρα. Δηλαδή με όμοια λογική όπως για τις συρματοκοπές,

$$SD_{panel} = \frac{60 \cdot 2}{180} = \frac{2}{3} = 0.66 \cong 0.7 \frac{m}{m^3}$$

Και τελικά, με ταχύτητα ή ρυθμό διάτρησης $u_d=25 \text{ m/h}$ ο υπολογισμός του απαιτούμενου αριθμού των διατρητικών φορείων (*Liners*) και σύμφωνα με τους προηγούμενους υπολογισμούς με τους τύπους της Σελίδας 57, έχει ως εξής:

$$N_{LD} = \left[\frac{0.7 \cdot 56}{0.7 \cdot 25} \right] = 2.2 = 3$$

Άρα για τη δεδομένη ωριαία παραγωγή, απαιτούνται 3 *Tamrock Liners*.

Ομοίως για τα διατρητικά Wagon Drill, με μέσο ρυθμό διάτρησης στα **10 m/h**, προκύπτει πως ο απαιτούμενος αριθμός τους είναι:

$$N_{WD} = \left[\frac{0.17 \cdot 56}{0.7 \cdot 10} \right] = 1.4 = 2$$

Άρα για τη δεδομένη ωριαία παραγωγή, απαιτούνται 2 *Wagon Drills*.

Συμπληρωματικά των παραπάνω δεικτών παραγωγικότητας των βασικών μηχανημάτων κοπής των άγκων μπορούμε να προτείνουμε και άλλους δύο δείκτες παραγωγικότητας των εργαζομένων του λατομείου που είναι οι εξής:

- Π_1 εκφραζόμενος σε t/h/man (όπου man = εργαζόμενος), που εκφράζει τον ρυθμό παραγωγής ανά εργατοώρα.
- Π_2 εκφραζόμενος σε $\text{bm}^3 / (\text{man} \times \text{hours})$, που σχετίζεται με το μοναδιαίο κόστος εκμετάλλευσης. Το μοναδιαίο κόστος της εκμετάλλευσης εκφράζεται ως ο λόγος $\text{€}/\text{m}^3$ ορθογωνισμένων ογκομαρμάρων εμπορικών διαστάσεων.

Οι δύο αυτοί δείκτες σχετίζονται μεταξύ τους με την κάτωθι σχέση $\Pi_2 = \Pi_1 / \gamma$, όπου γ = μοναδιαίο βάρος πετρώματος σε t/m^3 που για το ασβεστίτικο μάρμαρο Διονύσου-Πεντέλης είναι $2.7 \text{ t}/\text{m}^3$.

Απ' όπου επίσης προκύπτει και ένας τρίτος δείκτης:

- Π_3 εκφραζόμενος σε $\text{m}^3/\text{έτος}$, που εκφράζει την ετήσια παραγωγή του υπαίθριου λατομείου:

$$\Pi_3 = \text{men} \times \frac{\text{months}}{\text{year}} \times \frac{\text{days}}{\text{month}} \times \frac{\text{h}}{\text{day}} \times n_{ae} \times \Pi_2$$

όπου n_{ae} = συντελεστής απόδοσης ή απασχόλησης του εργοταξίου = 0,8.

Επομένως, χρήσει του μοναδιαίου βάρους, είναι ασφαλές να δημιουργηθεί ο παρακάτω πίνακας για την ανάλυση των παραπάνω εξισώσεων:

<i>Υπαίθριο Λατομείο Διονύσου</i>	<i>Μονάδες</i>
Προσωπικό (men)	30
Ετήσια Συμπαγής Παραγωγή	90.000 m^3
Ωριαία Παραγωγή	56 m^3 / h
Π_1	5 t / h / man
Π_2	1.9 $\text{bm}^3 / (\text{man} \times \text{hours})$

Και άρα, ο δείκτης Π_3 σύμφωνα με τη δοθείσα εξίσωση και τον παραπάνω πίνακα, υπολογίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} \Pi_3 &= 30 \text{ men} \times 10 \frac{\text{months}}{\text{year}} \times 25 \frac{\text{days}}{\text{month}} \times 8 \frac{\text{h}}{\text{day}} \times 0.8 \times 1.9 \frac{\text{bm}^3}{\text{man} \times \text{h}} \\ &= 91.200 \cong \boxed{90.000 \frac{\text{bm}^3}{\text{year}}} \end{aligned}$$

Και ο ίδιος δείκτης εκφραζόμενος σε ετήσια παραγωγή εμπορεύσιμων ογκομαρμάρων γίνεται:

$$\Pi_3' = \Pi_3 \times \text{Recovery Rate} = 91.000 \times 5\% = 4.500 \frac{m^3}{year}$$

Και τελικά, γνωρίζοντας πως το *Μοναδιαίο Κόστος* εκφράζεται ως $\frac{\text{€}}{m^3}$ δηλαδή και ως $\frac{\text{€}}{\Pi_3'}$ και εφόσον τα πετρέλαια και τα εργατικά παραμένουν σταθερά και αποτελούν το 70% του συνολικού κόστους, προκύπτει πως το *μοναδιαίο κόστος* είναι **αντιστρόφως ανάλογο** του *λόγου απόληψης (RR)* που εξαρτάται τόσο από τη φύση του κοιτάσματος ήτοι τον τεκτονισμό και τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά όπως χρώμα, νερά και άλλα, όσο και την αγορά, ήτοι αν πωλούνται και μικροί όγκοι αλλά και με κάποια ελαττώματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.

Σήμερα παρατηρείται πως παρά την τεχνολογική εξέλιξη και την συνεπαγόμενη από αυτήν αύξηση στην παραγωγή και αποληψιμότητα, τα αποτελέσματα για το λατομείο Διονύσου-Πεντέλης είναι πως η αποληψιμότητα διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα: μόλις **5%**, και η παραγωγή ανέρχεται σε **4000 m³ ογκομάρμαρα + 250.000t παραπροϊόντων τον χρόνο**, γεγονός που οφείλεται στους εξής παράγοντες:

1. Η ύπαρξη των δύο μεγάλων ανοιχτών ρηγμάτων (το πρώτο το μικρότερο στην αρχή του Α' λάκκου και το δεύτερο το πολύ μεγάλο μεταξύ των δύο λάκκων) προκαλεί την καθίζηση του σχηματισμού και έτσι αυτός εμφανίζει όχι μόνο πολύ έντονο τεκτονισμό αλλά και οξείδια του σιδήρου που μεταφέρονται με την κυκλοφορία των υδάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη ανεκμετάλλευτων ζωνών μεγάλης έκτασης αφού προσδίδουν υλικό μόνο για τριβείο λόγω του κατακερματισμού, με συνέπεια να μειώνεται σημαντικά ο λόγος αποληψιμότητας υγείων ογκομαρμάρων.
2. Στην αρχαιότητα ο μέσος όρος μεγέθους εξορυσσόμενων όγκων ήταν 1m³ ενώ σήμερα οι όγκοι με μέγεθος < 2m³ προορίζονται για το τριβείο. Σε αυτό όμως οφείλεται η αγορά και η ζήτηση και δεν αποτελεί επιλογή της εταιρίας. Αν αλλάξει η επιθυμία της αγοράς, μαζί της θα αλλάξει και το κλάσμα παραγωγής.

Εκτός από αυτά τα δύο συμπεράσματα που αφορούν τα αίτια της χαμηλής αποληψιμότητας και παραγωγής, υπάρχουν και ορισμένες ενέργειες που και η ίδια η εταιρία θα μπορούσε να υιοθετήσει, με σκοπό την αύξηση της εν γένει παραγωγικότητας:

- i. Η χρήση του τελάρου για την κοπή των όγκων σε πλάκες είναι ιδιαίτερα κοστοφόρα διαδικασία αφού είναι ένας μεγάλος μηχανισμός, που χρειάζεται πολλή ενέργεια και πολύ νερό για να λειτουργήσει. Είναι επομένως λογικό να μην συνιστάται η χρήση του για πολύ μικρούς όγκους. Στην περίπτωση όμως που πραγματοποιούνταν το προηγούμενο ζήτημα (No.2), για να μπορέσει η παραγωγή να συμβαδίζει με την αποληψιμότητα, και η παραγωγή του να είναι ανάλογη του κόστους χρήσης του, θα πρέπει να γίνει δυνατή η τοποθέτηση περισσότερων από έναν όγκο στο τελάρο.

- ii. Σε συνέχεια της παραπάνω πρότασης έρχεται η αναβάθμιση των υπόλοιπων μηχανημάτων του σχιστηρίου: το μονόσυρμο πλέον δε χρειάζεται μόνο να έχει δυνατότητα κίνησης σε 4 άξονες αλλά ακόμη περισσότερο να αναβαθμιστεί σε πολύσυρμο σταθερού πλαισίου, έτσι ώστε να κόβονται παραπάνω από μία πλευρές ή παραπάνω από έναν όγκο τη φορά.
- iii. Επίσης, όπως υπολογίσθηκε προηγουμένως, οι απαιτούμενες μονάδες συρματοκοπής είναι 6 και των liners 3, κάτι που δε συνάδει με την πραγματικότητα του λατομείου, ήτοι 3-5 μονάδες Σ/Κ και 2 liners, γεγονός που από μόνο του αποτελεί παράγοντα μείωσης της παραγωγικότητας. Όμως, επειδή η τεκτονική κατάσταση του μαρμαροφόρου κοιτάσματος καθορίζει σε πολύ μεγάλο βαθμό το μέγεθος των υγιών όγκων που εξορύσσονται, και αυτή δεν αλλάζει, θα μπορούσε να αλλάξει το βήμα της συρματοκοπής.
- iv. Δηλαδή, και τελικά, έχει παρατηρηθεί πως εξαιτίας του μέσου βήματος των 2m της συρματοκοπής στον πάγκο για την δημιουργία πάνελ, σχίζονται και οι κωμοί μαζί, οι οποίοι πολλές φορές μέσα τους κρύβουν μάρμαρο υγιές, το οποίο με τη σειρά του σχίζεται και αυτό. Αν μεγαλώσει το βήμα του σύρματος στα 4m έτσι ώστε οι κωμοί να μένουν μέσα στον όγκο, στη συνέχεια ανοίγοντας τους ίδιους, θα παραμένει περισσότερο υλικό από ότι κατά την προσπάθεια για αφαίρεσή τους με κοπή με σύρμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Κανονισμός Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών, σύνδεσμος μεταλλευτικών επιχειρήσεων, ΥΑ2223 ΦΕΚ122714/06/1.
- Εξαδάκτυλος Γ., (2006). Σχεδιασμός Γεωτεχνικών & Λατομικών Έργων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- Αλεβίζος Γ., (1988). Γενική Ορυκτολογία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Ρήγας Ι. Κ., (1986). Γεωλογική Έρευνα των Ελληνικών Μαρμάρων και οι Δυνατότητες Αξιοποίησής τους, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα.
- Ρήγας Ι. Κ., (1982). Ελλάδα, Ιστορία και Πολιτισμός, Οικονομία, Ο Ορυκτός Πλούτος της Ελλάδας, Εκδοτικός Οίκος Παγκόσμια Σύγχρονη Παιδεία-Μάλλιαρης, Αθήνα.
- Κορρές Μ., (1994). Από την Πεντέλη στον Παρθενώνα, Εκδοτικός Οίκος Μέλισσα, Αθήνα.
- Ορλάνδος Α., (1994). Τα υλικά δομής των αρχαίων Ελλήνων, Εκδοτικός Οίκος Η εν Αθήναις Αρχαιολογική Εταιρεία, Αθήνα.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- <https://www.stonegroup.gr/>
- <http://ebooks.edu.gr/> (Ο Κυκλαδικός Πολιτισμός)
- <https://el.wikipedia.org/> (Το μάρμαρο)
- <http://www.orykta.gr/> (μάρμαρα)
- <https://www.marmara.gr/> (Ελλάδα...χώρα μαρμάρου)
- <https://www.saimm.co.za/> (surface mining/Ashmole)
- <http://www.oryktosploutos.net/> (το ελληνικό μάρμαρο, Π. Τζεφέρης)
- <https://repository.kallipos.gr/> (Άμεσες μέθοδοι αναζήτησης κοιτασμάτων)
- <http://www.ypeka.gr/> (Κανονισμός Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών)
- <https://www.scribd.com/> (Marble-Mining-and-Processing, [mujib uddin siddiqui](#))
- <https://theancientwebgreece.wordpress.com/> (ο χρυσός αιώνας του Περικλέους 5^{ος} αι. π.Χ.)
- <http://www.marcocosistones.com/> (The dimension stone sector: new perspectives on the global market and on the reporting of international mining standards, Marco Cosi)