

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

Διπλωματική Εργασία:

*«Μελέτη υπογειοποίησης τμήματος υπαίθριας
εκμετάλλευσης μαρμάρου για την αύξηση της
αποληψιμότητας υγριών ογκομαρμάρων»*

Γεώργιος Α. Σεραφειμίδης

Εξεταστική επιτροπή:

Εξαδάκτυλος Γ., Καθηγητής (Επιβλέπων)

Αγιουτάντης Ζ., Καθηγητής

Στειακάκης Ε., Επίκουρος Καθηγητής

Χανιά,

Σεπτέμβριος 2014

*Η έγκριση της Διπλωματικής Διατριβής από την τριμελή Συμβουλευτική Επιτροπή
δεν υποδηλώνει και την αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.*

Περιεχόμενα

Κατάλογος Σχημάτων και Πινάκων.....	6
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	13
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	15
1.1 Εισαγωγή - Διάφοροι Ορισμοί.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	20
2 Έρευνα κοιτασμάτων μαρμάρου και υπολογισμός αποθεμάτων.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	24
3 Υπαίθρια εκμετάλλευση μαρμαροφόρων κοιτασμάτων	24
3.1 Εισαγωγή.....	24
3.2 Προσπέλαση	30
3.3 Αποκάλυψη υπερκειμένων στείρων πετρωμάτων.....	30
3.4 Μέτωπα εξόρυξης.....	33
3.5 Εξόρυξη - αποχωρισμός των «Πάγκων» από το μητρικό πέτρωμα.....	41
3.6 Απόσπαση πάγκων μαρμάρου από το μητρικό πέτρωμα με τη βοήθεια της υβριδικής μεθόδου διάτρησης – αδαμαντοφόρας συρματοκοπής.....	44
3.7 Αποκόλληση των εξορυχθέντων όγκων και μεταφορά τους στην πλατεία.....	54
3.8 Ορθογωνισμός.....	55
3.9 Παραγωγή ενδιαμέσων προϊόντων.....	56
3.10 Παραγωγή τελικών προϊόντων.....	57
3.11 Προστασία του περιβάλλοντος.....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	61
4 Υπόγεια εκμετάλλευση	61
4.1 Γενικά.....	61

4.2	Τεχνική της υπόγειας εκμετάλλευσης μαρμάρων.....	61
4.2.1	Προπαρασκευή του κοιτάσματος.....	62
4.2.2	Εξόφληση του κοιτάσματος.....	67
4.3	Επιλογή μεταξύ επιφανειακής και υπόγειας εκμετάλλευσης.....	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο.....		78
5	Θέση του λατομείου και γεωλογία της περιοχής.....	78
5.1	Τοποθεσία του λατομείου και γεωλογικο-τεκτονικές παρατηρήσεις.....	78
5.2	Επί τόπου τάσεις.....	83
5.3	Προσανατολισμός των ασυνεχειών.....	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο.....		91
6	Σχεδιασμός του λατομείου.....	91
6.1	Εισαγωγή.....	91
6.2	Ψηφιοποίηση τοπογραφικών χαρτών.....	91
6.2.1	Δημιουργία συντεταγμένων Χ.Α.Τ στο ψηφιοποιημένο χάρτη.....	95
6.2.2	Ψηφιοποίηση της υπάρχουσας τοπολογίας του λατομικού χώρου.....	96
6.3	Σχεδιασμός τελικής τοπολογίας της εκμετάλλευσης.....	99
6.4	Υπολογισμός αποθεμάτων υπαίθριας και υπόγειας εκμετάλλευσης ...	102
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο.....		108
7	Περιγραφή της υπαίθριας εκμετάλλευσης του λατομείου μαρμάρου Βώλακα	108
7.1	Γενικά.....	108
7.2	Υπολογισμός απολήψιμων αποθεμάτων.....	110
7.3	Μηχανικός εξοπλισμός ορύξεως και απασχολούμενο προσωπικό	111
7.4	Υπολογισμός μοναδιαίου κόστους	114
7.4.1	Υπολογισμός κόστους αναλώσιμων	114
7.4.2	Δαπάνες για καύσιμα λιπαντικά και συντήρησης των μηχανημάτων	115

7.4.3	Μοναδιαίο κόστος.....	116
ΚΕΦΑΛΑΙΟ. 8ο.....		120
8	Περιγραφή της υπόγειας εκμετάλλευσης του λατομείου μαρμάρου Βώλακα	120
8.1	Γενικά.....	120
8.2	Διαστασιολόγηση των θαλάμων και στύλων.....	124
8.3	Υπολογισμός απολήψιμων αποθεμάτων της υπόγειας εκμετάλλευσης	125
8.4	Μηχανικός εξοπλισμός υπογείων και απασχολούμενο προσωπικό.....	126
8.5	Υπολογισμός μοναδιαίου κόστους.....	128
8.5.1	Μοναδιαίο κόστος.....	128
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9ο.....		132
9	Σύγκριση των δυο μεθόδων εκμετάλλευσης μάρμαρου	132
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10ο.....		136
10	Συμπεράσματα - Προτάσεις.....	136
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		138

Κατάλογος Σχημάτων και Πινάκων

Σχ. 1.1. Μονοκλινικός παραλληλεπίπεδος όγκος μαρμάρου όπου σημειώνονται οι πλάκες που πρόκειται να κοπούν.....	18
Σχ. 1.2. (α) Χαρακτηριστικά επίπεδα ανισοτροπίας πάγκου μαρμάρου, (β) τα τρία κύρια επίπεδα πάνω στο κεφάλι της Αγίας Τερέζας, και (γ) τα τρία κύρια επίπεδα επί τόπου στο αρχαίο λατομείο Πεντέλης από το οποίο κατασκευάστηκε ο Παρθενώνας (392 π.χ.) (Korres, 2001).....	19
Σχ. 2.1. (α) Γεωλογική πυξίδα για τη μέτρηση της διεύθυνσης κλίσης και της κλίσης και (β) σημείωση επί της ασυνέχειας της κλίσης (2 ψηφία από 0ο έως 90ο) και της διεύθυνσης της κλίσης (τρία ψηφία από 0ο έως 360ο).....	21
Σχ. 2.2. (α) Αυτοκινούμενο περιστροφικό γεωτρύπανο για συλλογή πυρήνων με δειγματοσυλλέκτη και αδαμαντοκορώννα, και (β) ξύλινο κουτί αποθηκεύσεως των κυλινδρικών πυρήνων μαρμάρου.....	22
Σχ. 2.3. Μέθοδος ταξινόμησης των γεωλογικών αποθεμάτων (Mineral Resources) και των μεταλλευτικών αποθεμάτων (Mineral Reserves).....	23
Σχ. 3.1. Κατακόρυφες τομές υπαίθριων εκμεταλλεύσεων με μέτωπα μορφής βαθμίδος (α) οριζόντιο κοίτασμα, (β) κοίτασμα μετρίας κλίσης και (γ) κοίτασμα μεγάλης κλίσης (Rzhevsky, 1985).....	26
Σχ. 3.2. Οι υπαίθριες εκμεταλλεύσεις προχωράνε πάντα από πάνω προς τα κάτω (Top-down surface mining): (α) Οριζόντιες βαθμίδες με σταθερό υψόμετρο (elevation) και (b) κεκλιμένες βαθμίδες με μεταβλητό υψόμετρο (Rzhevsky, 1985).....	27
Σχ. 3.3. Τρόποι διάνοιξης δρόμων προσπέλασης ανάλογα με το τοπογραφικό ανάγλυφο (Rzhevsky, 1985).....	28
Σχ. 3.4. Τύποι υπαίθριων μετώπων. (α) ορθές βαθμίδες, (β) μέτωπο κατά τη φυσική επιφάνεια, (γ) τάφρος.....	34
Σχ. 3.5. Μορφές υπαιθρίου εκμεταλλεύσεως. (α) ανοικτή εκμετάλλευση με μορφή αμφιθεάτρου όπου φαίνονται οι βαθμίδες και το κοίτασμα, και (β) κλειστή εκμετάλλευση, αναπτυσσόμενη αντιστοίχως εις βάθος και οριζοντίως,	36
Σχ. 3.6. Μεταβολή της κλίσεως της εκμεταλλεύσεως συναρτήσει του ύψους και του πλάτους της βαθμίδας.....	37

Σχ. 3.7. Επίδραση της τελικής κλίσεως του πρανούς μεταλλείου επί της ποσότητας του απολαμβανομένου κοιτάσματος για δεδομένη σχέση αποκάλυψης.....	37
Σχ. 3.8. (α) Κάτοψη της μεθόδου τύπου τάφρου, και (β) Κατακόρυφη τομή της ίδιας μεθόδου στην οποία φαίνεται η μονάδα ανύψωσης των πάγκων μαρμάρου στην επιφάνεια και η λειτουργία της συρματοκοπής στην κατώτερη βαθμίδα (Pandolfi, 1991).....	40
Σχ. 3.9. Μορφές αρχικών μετώπων εξόρυξης κατά την υπαίθρια εκμετάλλευση ογκομαρμάρων.....	43
Σχ. 3.10. Σύρμα διαμαντέ για κοπή μαρμάρων και γρανιτών.....	48
Σχ. 3.11. Μονάδα συρματοκοπής, (α) τροχαλία και (β) ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (αριστερά) και τροχαλία (δεξιά) (Pandolfi, 1991).....	49
Σχ. 3.12. Εξόρυξη ογκομαρμάρων σε μέτωπα μορφής βαθμίδας με την βοήθεια την συρματοκοπής διαμαντέ, (α) ανόρυξη αλληλοτεμνομένων διατηρημάτων και (β) πέρασμα του σύρματος από τα διατηρήματα και την τροχαλία της συρματοκοπής.....	50
Σχ. 3.13. Κατακόρυφη εντομή με τη συρματοκοπή στο δάπεδο της βαθμίδας (πάνω εικόνα) και τη συρματοκοπή στο φρύδι της βαθμίδας (κάτω εικόνα) (Pandolfi, 1991).....	51
Σχ. 3.14. (α) Ιδιες αποστάσεις των διαδοχικών εντομών με συρματοκοπή (με συνεχείς γραμμές παριστώνται οι φυσικές ασυνέχειες του μαρμάρου ενώ τα ίχνη των εντομών της συρματοκοπής με παχιές γραμμές) και (b) κυμαινόμενες αποστάσεις διαδοχικών εντομών με συρματοκοπή για την αποφυγή κοψίματος υγείων όγκων μαρμάρου.....	51
Σχ. 3.15. Κάτοψη του φρυδιού ή δαπέδου ορθής βαθμίδας όπου οι φυσικές ασυνέχειες φαίνονται με συνεχείς γραμμές και τα ίχνη των εντομών της συρματοκοπής με παχιές γραμμές, (Α) λάθος προσανατολισμός των κατακορύφων εντομών με συρματοκοπή, και (Β) ορθός τρόπος προσανατολισμού των εντομών με συρματοκοπή.....	52
Σχ. 3.16. Τυπική ακολουθία τομών με συρματοκοπή για την αποκόλληση πάγκων από το μητρικό πέτρωμα και τυπικές διαστάσεις τομών.....	53
Σχ. 3.17. Μετακίνηση μπλοκ με χρήση τσάπας (Πηγή Εξαδάκτυλος 2007).....	54
Σχ. 3.18. Αποκόλληση με γρύλλο αέρος (μαξιλάρι) (Πηγή Εξαδάκτυλος 2007) ...	55

Σχ. 3.17. Ορθογωνισμός μαρμάρου στο εργοστάσιο με μονόλαμο	56
Σχ. 3.5. Τελάρο πολλαπλών λαμών σε λειτουργία.....	56
Σχ. 3.6. Διάταξη κοπής "οριζόντια – κάθετα"	57
Σχ. 3.7. Μονάδα καθαρισμού νερού με εξαναγκασμένη καθίζηση. Διακρίνεται σωρός στερεού απορρίμματος (μουργκάννα).....	59
Σχ. 4.1. Προπαρασκευή μαρμαροφόρου κοιτάσματος για υπόγεια εκμετάλλευση. Διάνοιξη στοάς προσπελάσεως. (α) Κάτοψη, (β) Τομή (Πηγή: Εξαδάκτυλος 2007).....	62
Σχ. 4.2. (α) Διάνοιξη οριζόντιων εγκοπών στο δάπεδο και την οροφή του θαλάμου. (β) Διάνοιξη εγκοπών στη δεξιά και αριστερή πλευρά του θαλάμου, καθώς και μια στο μέσον λόγω μεγάλου πλάτους της στοάς (Πηγή: Εξαδάκτυλος 2007).....	63
Πίνακας 4.1: Ανάλυση μηχανολογικού εξοπλισμού (Πηγή Εξαδάκτυλος 2007)..	64
(Βώλακας)	65
Σχ. 4.3. Απόσπαση του ογκομαρμάρου από τη φυσική του θέση (α) σε πρώτη φάση με τη βοήθεια υδραυλικών μέσων (σάκων και γρύλων), που τοποθετούνται εντός των εγκοπών και σε (β) δεύτερη φάση με τη συρματοκοπή (Πηγή: Εξαδάκτυλος 2007).....	65
Σχ. 4.4. Διάταξη θαλάμων και στύλων σε υπόγεια εκμετάλλευση μαρμάρου (α και β) κάτοψη και τομή τετράγωνων στύλων, (γ και δ) ορθογωνικών στύλων σε τετραγωνική και τριγωνική διάταξη αντίστοιχα (Πηγή: Εξαδάκτυλος 2007)	67
Σχ. 4.5. Διάταξη της εκμεταλλεύσεως κατά τη φάση της εξοφλήσεως σε δυο βαθμίδες των 6 m έκαστη(Πηγή: Εξαδάκτυλος 2007).....	68
Σχ. 4.6. Εξόρυξη όγκων μαρμάρου σχήματος ορθογωνίων πρισμάτων κατά την εξόφληση του κοιτάσματος με τη βοήθεια αλυσοπρίονου, αδαμαντοφόρου συρματοκοπής και γεωτρύπανου (Πηγή: Εξαδάκτυλος 2007).....	70
Σχ. 4.7. Επιλογή μεταξύ επιφανειακής και υπόγειας εκμετάλλευσης	72
Σχ. 4.8. Φλέβα καλής ποιότητας μαρμάρου που κλίνει αντίρροπα με το πρηνές της εκμετάλλευσης σε κατακόρυφη τομή κατά την κλίση της φλέβας.	72
Σχ. 4.9. Σχέση αποκάλυψης στις επιφανειακές εκμεταλλεύσεις	73
Σχ. 4.10. Περίπτωση σταθερού SR κατά την εκμετάλλευση.....	74
Σχ. 4.11. Περίπτωση σταθερώς αυξανόμενου SR κατά την εκμετάλλευση	74

Σχ. 4.12. Μεταβολή του κόστους εκμετάλλευσης συναρτήσει της μεταβολής του βάθους.....	75
Σχ. 5.1. Θέση του λατομείου Βώλακα πλησίον της κωμόπολης του Βώλακα κοντά στη Δράμα προς ΒΔ (οι φωτογραφίες λήφθηκαν από το Google Earth®).....	78
Σχ. 5.2. (α) Τεκτονικό σκαρίφημα της μάζας της Ροδόπης (υπόμνημα:1: Μετα- αλπικά ιζήματα, 2: Ενότητα Παγγαίου, 3: Ενότητα Σιδηρόνερου, 4: Σχηματισμοί Περιοδοδοπικής ζώνης, 5: Γραμμή επώθησης), (β) σχηματική γεωλογική τομή στην περιοχή Σιδηρόνερου, Δράμας, στην οποία δίνεται η λιθοστρωματογραφική διαδοχή και η τεκτονική θέση των Ενοτήτων Σιδηρόνερου και Παγγαίου (υπόμνημα: 1: Προσχώσεις, 2: Γρανίτης, 3: Ενστρώσεις μαρμάρων, 4: Μάρμαρα μεγάλου πάχους, 5: Μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι, 6: Αμφιβολίτες, 7: Γνεύσιοι, 8: Οφθαλμογνεύσιοι, 9: Φαινόμενα διείδυσης γρανίτη, 10: Πιθανή επώθηση, Α, Β και Γ: Οι τρεις ορίζοντες της Ενότητας Παγγαίου	80
Σχ. 5.3. (α) Αρχική τοπογραφία περιοχής λατομείου με τα όρια της ιδιοκτησίας και (β) Κατάσταση του λατομείου το 2000 με τις εννέα (9) διαμορφωμένες ορθές βαθμίδες	82
Σχ. 5.4. Κατώτερες βαθμίδες του λατομείου σε πρόσφατη του κατάσταση	82
Σχ. 5.5. Χάρτης των τάσεων που επικρατούν στον Ελληνικό χώρο που δείχνει τον προσανατολισμό της μέγιστης οριζόντιας θλιπτικής τάσης από www.world- stress-map.org	84
Σχ. 5.6.....	85
Σχ. 5.7. Λεπτομέρεια της προηγούμενης φωτογραφίας στην οποία φαίνεται το άνοιγμα των περίπου κατακόρυφων μουρέλων	85
Φωτ. 5.1. Μακρυνή άποψη των δύο θαλάμων από Δυτικά.	87
Σχ. 5.8. (α) Μέθοδος της στερεογραφικής προβολής, (β) μεγάλοι κύκλοι των τριών οικογενειών των ασυνεχειών, και (γ) κατανομές των πόλων των τριών (3) κύριων συστημάτων ασυνεχειών που διασχίζουν τη μάζα του μαρμάρου.....	89
Σχ. 5.9. Το κεφάλι της Αγίας Τερέζας που έγινε από μάρμαρο Καρράρας από τον αρχιτέκτονα και γλύπτη Bernini την περίοδο 1644-1647 πάνω στο οποίο έχουν σχεδιασθεί τα τρία κύρια επίπεδα ασυνεχειών του μαρμάρου (τα μουρέλα είναι παρακατακόρυφα έως κατακόρυφα).....	89
Πίν. 5.1: Μέσοι προσανατολισμοί των οικογενειών των ασυνεχειών που διασχίζουν το δολομιτικό μάρμαρο.....	89

Σχ. 5.10. Χαρακτηριστική δομή του κοιτάσματος μαρμάρου με τα τρία κύρια επίπεδα ασυνεχειών από μακρινή άποψη βλέποντας προς Ανατολάς (Rift: green colored, Head-Grain: red colored and grain: yellow color).....	90
Σχ. 6.1: Φύλο χάρτη από την άδεια εκμετάλλευσης του λατομείου μαρμάρων....	92
Σχ. 6.2: Υπάρχων χάρτης και οι ψηφιακές ισοϋψείς (με κόκκινο χρώμα).....	93
Σχ. 6.3. Ψηφιοποιημένος τοπογραφικός χάρτης και λατομικά όρια.....	93
Σχ. 6.4. Τρισδιάστατη άποψη χάρτη (με κατεύθυνση από το χαμηλότερο προς το ψηλότερο σημείο).....	94
Σχ. 6.5. Τρισδιάστατη απεικόνιση του ψηφιοποιημένου μοντέλου της φυσικής επιφάνειας της ευρύτερης περιοχής της εκμετάλλευσης	94
Πίνακας 6.1: Σύγκριση συντεταγμένων όπως αυτές δίνονται από το τοπογραφικό διάγραμμα και το AutoCAD.....	96
Σχ. 6.6. Θέση και διαστάσεις υπόγειας εκμετάλλευσης.....	97
Σχ. 6.7. Ψηφιοποιημένο Τοπογραφικό διάγραμμα υπάρχουσας μορφής λατομικού χώρου	97
Σχ. 6.8. Ψηφιοποιημένος τοπογραφικός χάρτης και λατομικός χώρος.....	98
Σχ. 6.9. Τρισδιάστατη απεικόνιση υπάρχουσας μορφής του λατομικού χώρου.....	99
Σχ. 6.10. Κάτοψη τελικής μορφής των ορθών βαθμίδων.....	101
Σχ. 6.11. Τρισδιάστατη άποψη τελικής μορφής βαθμίδων.....	101
Σχ. 6.12. Τρισδιάστατη άποψη τελικής μορφής βαθμίδων.....	102
Σχ. 6.13. Απεικόνιση της επιφάνειας της τρέχουσας μορφής του λατομείου	103
Σχ. 6.14. Απεικόνιση της επιφάνειας της τρέχουσας μορφής του λατομείου	103
Σχ. 6.15. Απεικόνιση της επιφάνειας της τρέχουσας μορφής του λατομείου	104
Σχ. 6.16. Απεικόνιση των θαλάμων της υπόγειας εκμετάλλευσης στη τρέχουσα μορφή του λατομείου	104
Σχ. 6.17. Απεικόνιση της επιφάνειας της τελικής μορφής του λατομείου.....	105
Σχ. 6.18. Απεικόνιση της επιφάνειας της τελικής μορφής του λατομείου.....	105
Σχ. 6.19. Απεικόνιση της επιφάνειας της τελικής μορφής του λατομείου.....	106
Σχ. 6.20. Απεικόνιση των θαλάμων της υπόγειας εκμετάλλευσης στη τελική μορφή του λατομείου	106
Σχ. 7.1. (α) κατακόρυφες κοπές με συρματοκοπή (diamond wire, DW), (β) ανατροπή πάγκου και (γ) ορθογωνισμός ανατραπέντος πάγκου σε μικρότερους	

όγκους έτοιμους για μεταφορά με Σ/Κ (μεγάλη διάσταση πάγκου = μουρέλο)	
Μονάδα συρματοκοπής, του λατομείου Βώλακα	109
Σχ. 7.2. Κύρια βήματα υπολογισμού του μοναδιαίου κόστους.....	111
Πίνακας 7.1: Ανάλυση μηχανολογικού εξοπλισμού.....	112
Σχ. 7.3. Μηχανικός εξοπλισμός: (a) Αεροσυμπιεστής Atlas Copco XAS 136, (b) Διατρητικό Atlas Copco ROC 612, (c) Συρματοκοπή Pellegrini TD45, (d) Διατρητικό SLIM-DRILLER (Pellegrini), (e) Φορτωτής Caterpillar 963, (f) Φορτωτής Caterpillar 988, (g) Εκσκαφέας Caterpillar 320D, (h) Dumper Caterpillar 769D.....	113
Πίνακας 7.2: Δαπάνες αναλώσιμων.....	115
Πίνακας 7.3: Υπολογισμός μοναδιαίου κόστους	116
Πίνακας 7.4: Κατανομή κόστους 1,2	118
Διάγραμμα 7.1: Κατανομή κόστους 1.....	119
Διάγραμμα 7.2: Κατανομή κόστους 2.....	119
Φωτ. 8.1. Αλυσοπρίονο Fantini GU70 και (β) Κοπτική λάμα αλυσοπριόνου	121
Φωτ 8.2. Άποψη του υπόγειου λατομείου μαρμάρου στο Βώλακα.....	121
Φωτ 8.3. Υποστύλωση της εκμετάλλευσης (Βώλακας).....	122
Φωτ 8.4. Υποστύλωση της εκμετάλλευσης (Βώλακας)	122
Σχ. 8.1.. Ακολουθία κοπών με αλυσοπρίονο και συρματοκοπή της ορθής βαθμίδας.....	123
Φωτ. 8.5. Αρχική φάση της εξόρυξης πάγκων από την ορθή βαθμίδα στο θάλαμο 2.....	123
Σχ. 8.2. Σχεδιασμός της μέγιστης διαμέτρου εγγεγραμμένου κύκλου εντός της κάτοψης των ανυποστύλων θαλάμων με βάση τον δείκτη ποιότητας της βραχομάζας RMR που στην περίπτωση του δολομιτικού μαρμάρου είναι πάνω από 90 (Lang et al., 1991).....	125
Πίνακας 8.2: Ανάλυση μηχανολογικού εξοπλισμού.....	127
Πίνακας 8.3: Υπολογισμός μοναδιαίου κόστους	128
Πίνακας 8.4: Κατανομή κόστους 1,2.....	130
Διάγραμμα 8.1: Κατανομή κόστους 1.....	131
Διάγραμμα 8.2: Κατανομή κόστους 2.....	131
Σχ. 9.1. Σχέση του μοναδιαίου κόστους απομάκρυνσης των στείρων με τον οριακό συντελεστή αποληψιμότητας του μαρμάρου με την υπαίθρια μέθοδο.	134

Σχ. 9.2. Τομή κατά κλίση (Α-Δ) που φαίνεται η ζώνη μη-εκμετάλλευσιμου μαρμάρου. Με την υπαίθρια εκμετάλλευση θα έπρεπε να εξορυχθεί και η περιοχή στείρων ΑΒΓ	135
---	-----

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στη Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης και ερευνά την δυνατότητα αλλαγής της υπαίθριας εκμετάλλευσης μαρμάρου σε υπόγεια εκμετάλλευση στο Λατομείο της NORDIA SA, στην περιοχή του Βώλακα Δράμας.

Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή κ. Γ. Εξαδάκτυλο για την επιλογή του θέματος, την συμπαράσταση και την γενικότερη καθοδήγησή του κατά τον σχεδιασμό και την εκτέλεση των δοκιμών, την ανάλυση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και την συγγραφή του κειμένου. Ευχαριστώ επίσης τους καθηγητές κ. Ζ. Αγιουτάντη και κ. Ε. Στειακάκη για την καθοδήγησή τους ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Γ. Σαράτση για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την ηθική και ψυχολογική υποστήριξη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην περίπτωση που κριθεί αντι-οικονομική η υπαίθρια εκμετάλλευση σε τμήμα ενός υπαίθριου λατομείου – είτε λόγω αναγκαιότητας απομάκρυνσης μεγάλου όγκου στείρων, είτε λόγω μικρής αποληψιμότητας ογκομαρμάρων εμπορικών διαστάσεων και ποιότητας - τότε πρέπει να γίνει η εκτίμηση της οικονομοτεχνικής σκοπιμότητας εφαρμογής της υπόγειας εκμετάλλευσης του κοιτάσματος στο περιχαραχθέν τμήμα που δεν ικανοποιεί τα κριτήρια της υπαίθριας εκμετάλλευσης.

Στόχος της παρούσης εργασίας είναι να συγκριθεί η υπόγεια εκμετάλλευση τμήματος του κοιτάσματος του δολομιτικού μαρμάρου Βώλακα με την υπαίθρια εκμετάλλευση που εφαρμόζεται σήμερα. Για να γίνει αυτό πρέπει να υπολογισθεί το μοναδιαίο κόστος της εκμετάλλευσης των δύο μεθόδων. Η εργασία αυτή υπολογισμού του μοναδιαίου κόστους έχει ως προαπαιτούμενο να γίνει ο σχεδιασμός των τελικών ορίων των εκσκαφών των δύο μεθόδων εκμεταλλεύσεων, να επιλεγεί ο μηχανολογικός εξοπλισμός και να προσδιορισθεί η αποληψιμότητα των δύο μεθόδων. Ο σχεδιασμός των δύο μεθόδων στο τοπογραφικό ανάγλυφο του λατομείου αναφοράς έγινε με το AUTOCAD™. Εν συνεχεία επιλέχθηκε ο μηχανολογικός εξοπλισμός των δύο μεθόδων και τα υπολογίσθηκαν τα κεφαλαιουχικά και λειτουργικά κόστη καθώς επίσης και το κόστος του προσωπικού. Με βάση την ετήσια παραγωγικότητα και την αποληψιμότητα των δύο μεθόδων έγινε εν συνεχεία ο υπολογισμός του μοναδιαίου κόστους των δύο μεθόδων. Βρέθηκε ότι το μοναδιαίο κόστος της υπόγειας εκμετάλλευσης με τη μέθοδο της κατά μέτωπον προσβολής (breast stoping) με εγκατάλειψη στύλων και ορθές βαθμίδες, είναι περίπου διπλάσιο εκείνου της υπαίθριας αλλά η εφαρμογή της υπόγειας εκμετάλλευσης – με τα μέχρι σήμερα διαθέσιμα δεδομένα - είναι βιώσιμη στο υπόψιν λατομείο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 Εισαγωγή - Διάφοροι Ορισμοί

Κατωτέρω παρατίθενται οι διάφοροι ορισμοί της λέξης «μάρμαρο» που χρησιμοποιούνται στην Ελληνική και την διεθνή βιβλιογραφία.

- ΜΑΡΜΑΡΟ: Κατά τους Ομηρικούς χρόνους η λέξη «μάρμαρος» σήμαινε πέτρα. Η αρχαία ελληνική λέξη «μαρμέρω» σημαίνει γυαλίζω την πέτρα.
- ΜΑΡΜΑΡΟ: Γεωλογικά μάρμαρο σημαίνει το προϊόν της μεταμορφώσεως των ασβεστολίθων ή δολομιτών, ήτοι πέτρωμα που αποτελείται από κρυστάλλους ασβεστίτη ή δολομίτη ή μίγμα των δύο αυτών ορυκτών.
- ΜΑΡΜΑΡΟ: Τεχνικά εννοείται κάθε πέτρωμα που μπορεί να εξορυχθεί σε όγκους ικανών διαστάσεων και μπορεί να κοπεί σε πλάκες οι οποίες στη συνέχεια μπορούν να λειανθούν και να στιλβωθούν. 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, σερπεντινίτης 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.
- ΜΑΡΜΑΡΟ: Εμπορικά, σημαίνει κάθε πέτρωμα που μπορεί να πουληθεί σε όγκους και πλάκες (λ.χ. αυτός ο ορισμός συμπεριλαμβάνει τους γρανίτες, του σχιστόλιθους κ.ά.).
- Κατά την Αμερικάνική 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 συνίσταται κυρίως 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, ήτοι: 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 *λυχνίτης Πάρου*, ο οποίος πήρε την ονομασία του από το γεγονός ότι λατομείτο υπογείως από τους αρχαίους υπό το φως του λύχνου. Εξορυσσόταν από το όρος Μάρπισσα πλησίον του Αγ. Μηνά. Έχει χιονώδη λευκότητα και αποτελείται από 100% από καθαρό ανθρακικό ασβέστιο. Μια σημαντική αισθητική ιδιότητα του εν λόγω μαρμάρου είναι η «φωτοδιαφάνεια» (Αγγλ. όρος: translucence) πλακών με πάχος μικρότερο από 3.5 cm. Από το μάρμαρο αυτό κατασκευάσθηκαν ο Ερμής του Πραξιτέλους, η Αφροδίτη της Μήλου κ.ά. αριστουργήματα τέχνης. Σημειωτέον ότι το καλύτερο Πεντελικό μάρμαρο έχει φωτοδιαφάνεια σε πάχος 1.5 cm και η καλύτερη μνημειακή ποιότητα του μαρμάρου Carrara που εξορύσσεται στα Απέννινα Ιταλίας έχει φωτοδιαφάνεια που κυμαίνεται από 3-4 cm. Τα χαρακτηριστικά των μαρμάρων (με την τεχνική έννοια του όρου) που δίνουν σε αυτά την ανάλογη εμπορική τους αξία είναι:

- α) Η χρωματική και αισθητική τους εμφάνιση.
- β) Ο ιστός των και το μέγεθος των κρυστάλλων.
- γ) Η παρουσία ή όχι φλεβιδίων, και η διάταξη και το χρώμα αυτών.
- δ) Η παρουσία εγκλεισμάτων, καθώς και η ύπαρξη και η συχνότητα των λεγόμενων «λεκέδων» ή άλλων αλλοιώσεων λόγω φυσικοχημικών

φαινομένων, ή ύπαρξη κενών πόρων («ψώρα») και η ύπαρξη συνοδευτικών ορυκτών.

ε) Η ύπαρξη μικρορωγμών.

στ) Οι φυσικές, χημικές, μηχανικές και τεχνικές τους ιδιότητες.

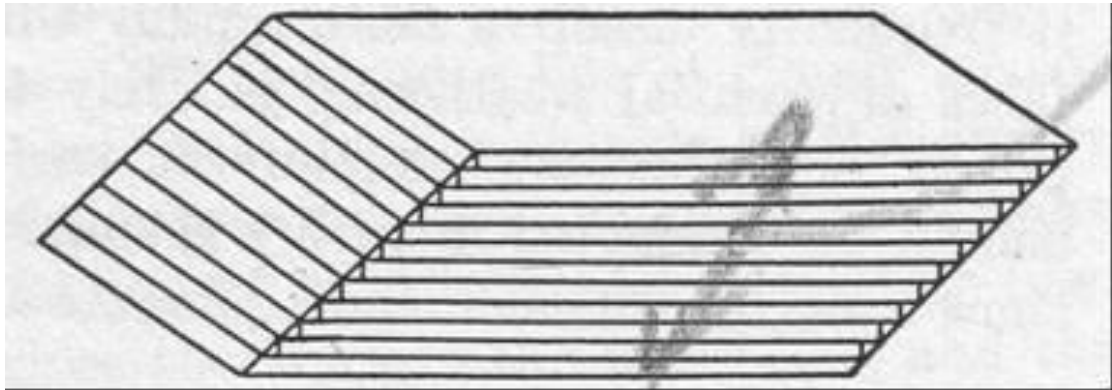
ζ) Η δυνατότητα παραγωγής παραλληλεπίπεδων όγκων από το κοίτασμα που να δίνουν πλάκες ικανών διαστάσεων (μεγάλη x μικρή διάσταση = 220 με 180 cm x 140 cm) και οποιουδήποτε πάχους (συνήθως 2-4 cm ή μεγαλύτερο για ειδικές εφαρμογές), όπως φαίνεται στο Σχ. 1.1.

Το χρώμα του μαρμάρου είναι από τις πιο σημαντικές φυσικές ιδιότητες του και προσδιορίζεται από την φύση των συστατικών του. Τα μάρμαρα που αποτελούνται από καθαρό ασβεστίτη ή δολομίτη είναι λευκά επειδή τα ορυκτά αυτά έχουν λευκό χρώμα. Ένα σερπεντινικό μάρμαρο έχει πράσινο χρώμα εφόσον το ορυκτό του σερπεντίνη που κυριαρχεί στη σύσταση αυτού του τύπου μαρμάρου είναι πράσινου χρώματος. Οι διάφορες αποχρώσεις ενός λευκού μαρμάρου οφείλονται στις προσμίξεις διαφόρων οξειδίων. Τέτοιες προσμίξεις μπορεί να κατανέμονται ομοιόμορφα δίδοντας έτσι ομοιόμορφο χρωματισμό, ή μπορεί να εμφανίζονται με τη μορφή ζωνών ή «μπαλωμάτων» αποδίδοντας στο μάρμαρο μη ομοιόμορφο χρωματισμό και χαμηλότερη επομένως εμπορική αξία.

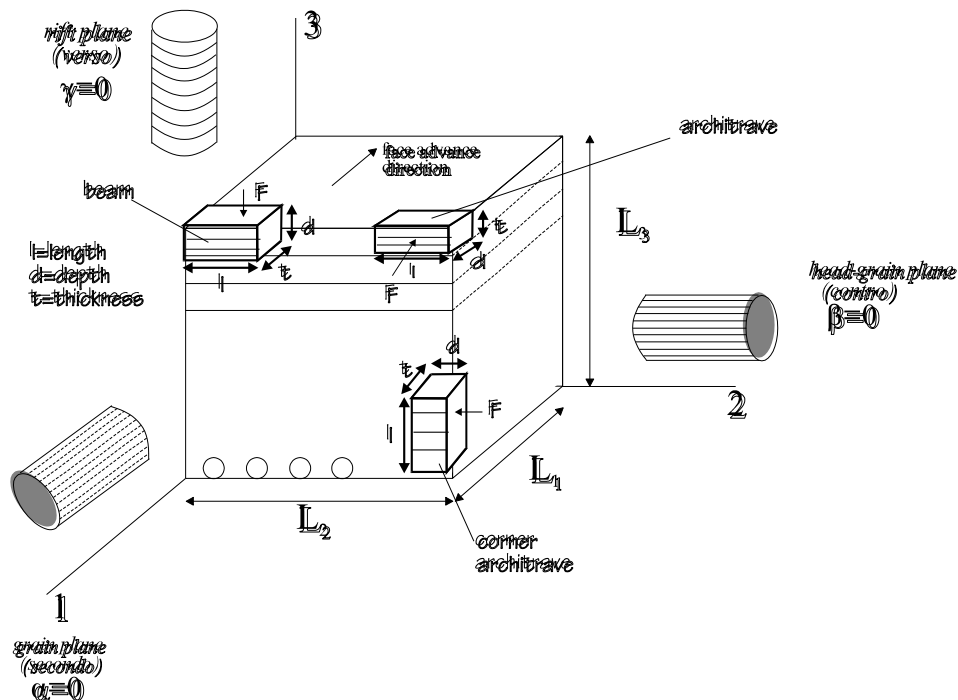
Το μάρμαρο είναι ανισότροπο υλικό, όπως το ξύλο. Οι χαρακτηριστικές επιφάνειες του μαρμάρου με την ονοματολογία που χρησιμοποιείται στην τεχνολογία εξόρυξης των ογκομαρμάρων, είναι:

- *Πρόσωπο* (Ιταλικός όρος: verso, Αγγλ. όρος: rift or grain) ή τα «νερά» του μαρμάρου ορίζεται η επιφάνεια που είναι παράλληλη προς την στρώση (παράλληλου ιστού) του μαρμάρου. Η αντίσταση στη διάτρηση, στη συρματοκοπή, στην κάμψη ή στην θλίψη είναι μικρότερη κατά την έννοια αυτού του επιπέδου (βλ. Σχ. 1.2α).
- *Κεφάλι* (Ιταλικός όρος: contro, Αγγλ. όρος: head-grain) είναι η επιφάνεια που έχει την ίδια παράταξη με το πρόσωπο αλλά αντίθετη κλίση (βλ. Σχ. 1.2β).

- *Μουρέλο* ή *παρειά* (Ιταλικός όρος: *secondo*, Αγγλ. όρος: *Secondary*) είναι η επιφάνεια που έχει παράταξη σχεδόν κάθετη με τις δύο προηγούμενες. Η αντίσταση στη διάτρηση, στη συρματοκοπή, στην κάμψη ή στην θλίψη είναι μεγαλύτερη κατά την έννοια αυτού του επιπέδου. Και τα τρία επίπεδα στο λατομείο φαίνονται στο Σχ. 1.2γ.



Σχ. 1.1. Μονοκλινικός παραλληλεπίπεδος όγκος μαρμάρου όπου σημειώνονται οι πλάκες που πρόκειται να κοπούν.


$$(\alpha)$$

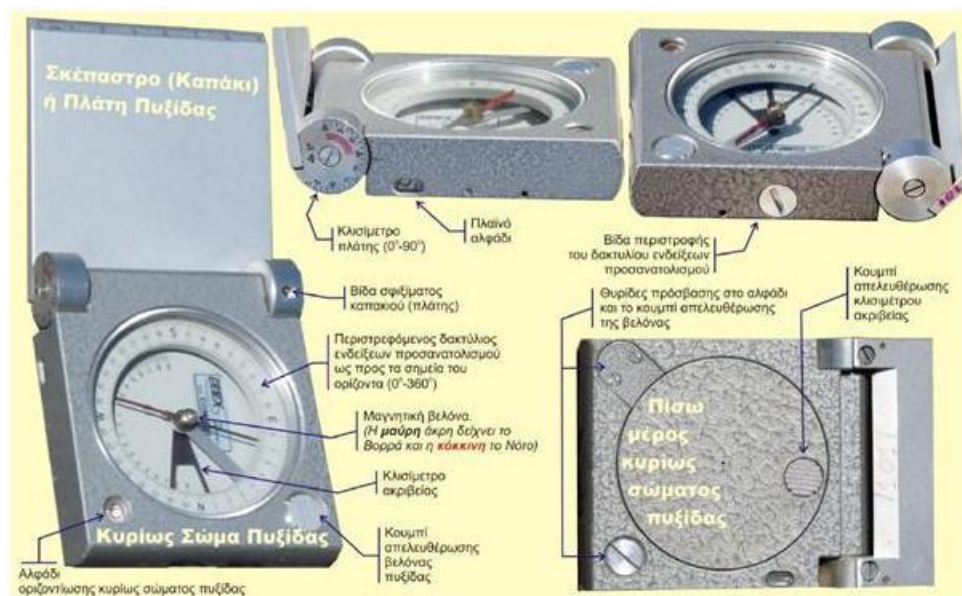
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2 Έρευνα κοιτασμάτων μαρμάρου και υπολογισμός αποθεμάτων

Το πρώτο βήμα πριν την εξόρυξη ενός μαρμάρου από το υπέδαφος που θα χρησιμοποιηθεί σε αρχιτεκτονικές εφαρμογές είναι η εύρεση κοιτασμάτων (Αγγλ. όρος: deposits) που θα μπορούν να αποδώσουν περίπου ορθογωνικούς όγκους για την εν συνεχεία παραγωγή πλακών από αυτούς ικανοποιητικών διαστάσεων. Εκτός αυτού πριν την έρευνα ενός νέου κοιτάσματος ή και πριν την έναρξη της εκμετάλλευσης θα πρέπει να έχει επιβεβαιωθεί ότι θα υπάρξει ζήτηση στην αγορά για το συγκεκριμένο μάρμαρο.

Πριν την εκκίνηση της εκμετάλλευσης πρέπει να προηγηθεί λεπτομερής γεωλογική, στρωματογραφική, τεκτονική, ορυκτολογική, χημική και γεωτεχνική έρευνα (προσδιορισμός φυσικών, μηχανικών και τεχνικών ιδιοτήτων) σε συνδυασμό με δειγματοληπτικές γεωτρήσεις (Σχ. 2.1) που μπορούν να συνοδευθούν ενίοτε και από γεωφυσικές διασκοπήσεις (σεισμικές, ηλεκτρομαγνητικές (radar), ηλεκτρικές κλπ.). Η γεωλογική έρευνα γίνεται με τη βοήθεια τοπογραφικού χάρτη κατάλληλης κλίμακας (1:500 με 1:1000) πάνω στον οποίο τοποθετούνται τα στρώματα και τα κύρια ρήγματα. Ο προσανατολισμός των ρηγμάτων αλλά και των μεγάλων ασυνεχειών του μαρμάρου μετράται στο χώρο με τη βοήθεια της γεωλογικής πυξίδας (Σχ. 2.2α) και σημειούνται επί του ρήγματος (Σχ. 2.2β) και στο γεωλογικό χάρτη. Στη συνέχεια ανορύσσονται πάνω σε κατάλληλο κάνναβο δειγματοληπτικές γεωτρήσεις με κατάλληλο περιστροφικό γεωτρύπανο (Σχ. 2.3α). Οι πυρήνες κατάλληλης διαμέτρου (ανάλογα με την διάμετρο της αδαμαντοκορώνας του περιστροφικού γεωτρύπανου) περισυλλέγονται και φυλάσσονται σε ξύλινα δοχεία μήκους 1-2 m τα οποία διαθέτουν χωρίσματα για τοποθέτηση 4-6 m κυλινδρικών πυρήνων (Σχ. 2.3β). Με βάση αυτά τα δεδομένα θα προσδιορισθούν τουλάχιστον σε πρώτη προσέγγιση σχεδιασμού της εκμετάλλευσης το απαιτούμενο βάθος της αποκάλυψης, η κλίση και η παράταξη των στρωμάτων

και η ομοιομορφία του μαρμάρου. Εν συνεχεία με βάση όλα τα συλλεχθέντα δεδομένα γίνεται καταρχήν η εκτίμηση των Γεωλογικών Αποθεμάτων (αγγλ. όρος: Mineral Resources) και αφού σχεδιασθούν τα τελικά όρια της εκμετάλλευσης ακολουθεί η εκτίμηση των Μεταλλευτικών Αποθεμάτων (αγγλ. όρος: Mineral Reserves). Το ακολουθούμενο διεθνώς σύστημα ταξινόμησης των αποθεμάτων αποδίδεται στο Σχ. 2.4 με τις κατάλληλες επεξηγήσεις των όρων.



(α)



(β)

Σχ. 2.1. (α) Γεωλογική πυξίδα για τη μέτρηση της διεύθυνσης κλίσης και της κλίσης και (β) σημείωση επί της ασυνέχειας της κλίσης (2 ψηφία από 0ο έως 90ο) και της διεύθυνσης της κλίσης (τρία ψηφία από 0ο έως 360ο).

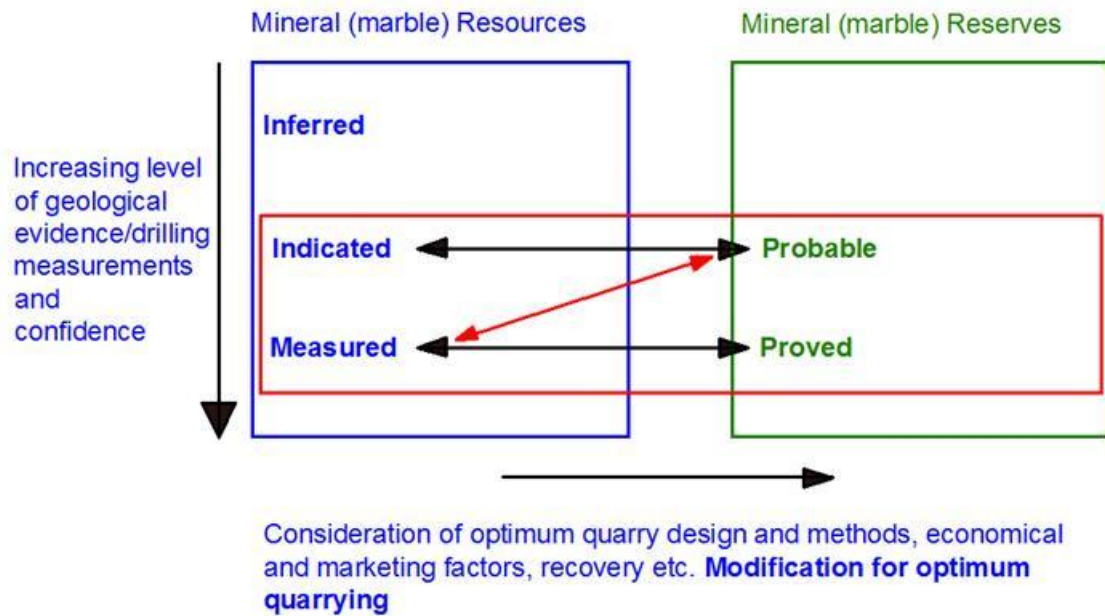


(α)



(β)

Σχ. 2.2. (α) Αυτοκινούμενο περιστροφικό γεωτρύπανο για συλλογή πυρήνων με δειγματοσυλλέκτη και αδαμαντοκορώνα, και (β) ξύλινο κουτί αποθήκευσης των κυλινδρικών πυρήνων μαρμάρου.



Measured = Μετρηθέντα

Indicated = Ενδεικτικά

Inferred = Δυνατά

Proved = Αποδεδειγμένα

Probable = Πιθανά

Σχ. 2.3. Μέθοδος ταξινόμησης των γεωλογικών αποθεμάτων (Mineral Resources) και των μεταλλευτικών αποθεμάτων (Mineral Reserves).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3 Υπαίθρια εκμετάλλευση μαρμαροφόρων κοιτασμάτων

3.1 Εισαγωγή

Συγκεκριμένοι γεωλογικοί παράγοντες δίνουν πληροφορίες για την ορθολογικότερη μέθοδο εκμετάλλευσης ενός μαρμαροφόρου κοιτάσματος. Οι τρεις από τους βασικούς παράγοντες είναι η κλίση των στρωμάτων, το πάχος των υπερκειμένων στείρων πετρωμάτων και η ομοιομορφία δεδομένου στρώματος ή διαδοχικών στρωμάτων μαρμάρου. Το θεμελιώδες πρόβλημα της εκμεταλλεύσεως μαρμάρων που πρέπει να επιλυθεί είναι: *«Πώς είναι δυνατόν με την μέγιστη ασφάλεια του προσωπικού και το ελάχιστο κόστος της εκμεταλλεύσεως να εξορυχθούν συμπαγείς (υγιείς) όγκοι μαρμάρου έτσι ώστε να επιτευχθεί ταυτοχρόνως η μέγιστη δυνατή αποληψιμότητα (δηλαδή ο όγκος εμπορεύσιμου μαρμάρου/συνολικός όγκος εξορυχθέντος μαρμάρου) και χωρίς καταστροφές των όγκων του μαρμάρου κατά την εκμετάλλευση»*.

Επίσης ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα της εκμετάλλευσης είναι η επί τόπου αξιολόγηση ενός ογκομαρμάρου δεδομένου ότι δεν μπορεί να είναι γνωστή η ύπαρξη ρωγμών ή άλλων φυσικών ατελειών εντός του όγκου του μαρμάρου. Δ.χ. δεν μπορεί να είναι γνωστά *a priori* τα συνολικά τετραγωνικά μέτρα πλακών μαρμάρου δεδομένου πάχους που μπορούν να παραχθούν από αυτόν τον όγκο. Τέλος, στόχος μιας επιτυχούς εκμετάλλευσης μαρμάρων είναι η επαρκής παραγωγή ομοιόμορφου προϊόντος (κυρίως ως προς τον χρωματισμό και τις διαστάσεις). Δεν υπάρχει πιο κακό σενάριο εκμετάλλευσης από αυτό που ο λατόμος συνειδητοποιεί ότι δεν μπορεί να παράξει πλέον το ίδιο προϊόν που παρήγαγε πριν και το οποίο είχε βρει την αναγνώριση από την αγορά.

Η μέθοδος εκμετάλλευσης που μπορεί να εφαρμοσθεί είναι:

- (i) Υπαίθρια εκμετάλλευση με ορθές βαθμίδες κλειστού ή ανοικτού τύπου.

(ii) Μικτού τύπου ή μορφής φρέατος (below the wall).

(iii) Υπόγεια εκμετάλλευση με τη μέθοδο θαλάμων και στύλων ή κατά μέτωπον προσβολής.

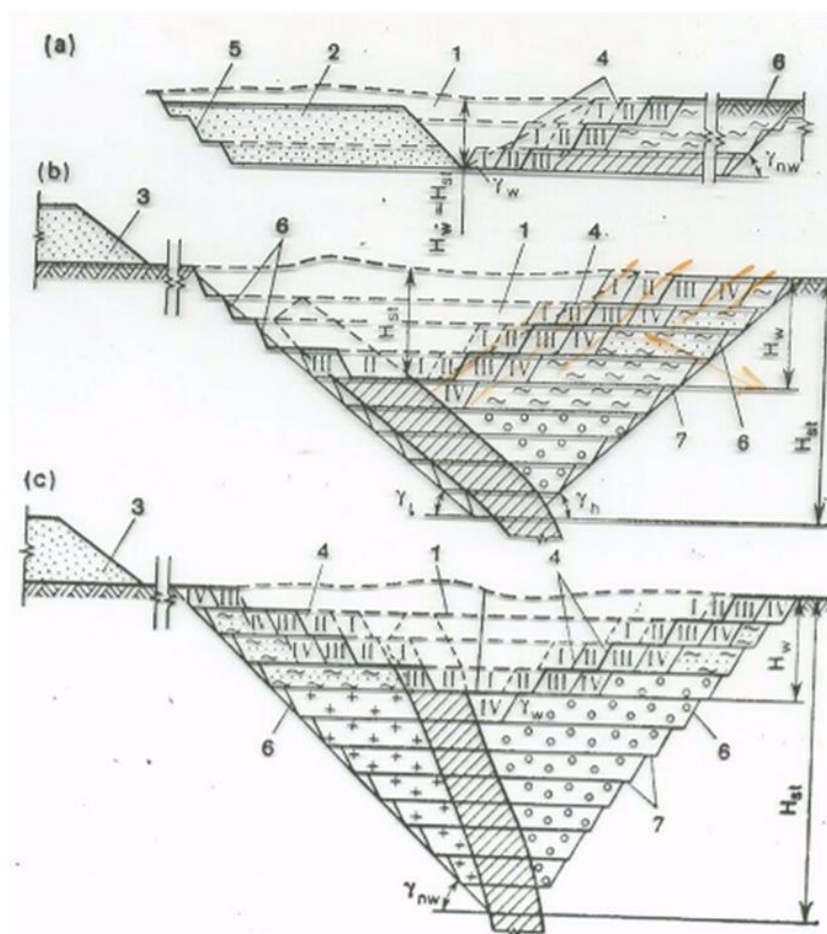
Η εκάστοτε εφαρμοζόμενη μέθοδος εκμετάλλευσης εξαρτάται από πλήθος παραγόντων, όπως:

- Σχέση αποκαλύψεως που είναι ο λόγος βάρους υπερκειμένων στείων προς τη μονάδα όγκου του εξορυσσόμενου μαρμάρου.
- Τοπογραφία.
- Γεωγραφία κοιτάσματος (κλίση, πάχος ομοιομορφία ιδιοτήτων του μαρμάρου).
- Τεκτονική (π.χ. εναλλαγές άρρηκτου και τεκτονισμένου πετρώματος).
- Μηχανικές ιδιότητες κοιτάσματος και περιβαλλόντων πετρωμάτων.
- Εμπορική αξία του μαρμάρου, αποθέματα, και αποληψιμότητα.
- Περιβαλλοντικοί λόγοι.

Όταν γίνεται υπαίθρια εκμετάλλευση στρωματοειδούς κοιτάσματος μαρμάρου το οποίο έχει μικρή κλίση τότε πρέπει να μετακινηθεί το υπερκείμενο στείρο πέτρωμα (Σχ. 3.1α) ενώ παραμένει ανέπαφο το δάπεδο του κοιτάσματος. Σε αυτήν την περίπτωση τα όρια της εκμετάλλευσης θα παρακολουθήσουν την οριζόντια έκταση του κοιτάσματος. Επίσης είναι προφανές ότι το βάθος της εκμετάλλευσης θα εξαρτηθεί από το βάθος στο οποίο βρίσκεται το κοίτασμα.

Σε κοιτάσματα μέτριας ή μεγάλης κλίσης εκτός από την επιφανειακή αποκάλυψη πρέπει να εξορυχθεί και τμήμα της οροφής και της στρώσης με σκοπό την προσπέλαση των διαφόρων βαθμίδων και για την ευστάθεια των πρανών μετά την εξόφληση του κοιτάσματος. Όταν το κοίτασμα είναι μετρίας κλίσης (25° - 30°) τότε δεν χρειάζεται η εξόρυξη της στρώσης του στείου πετρώματος (Σχ. 3.1β). Όταν όμως το κοίτασμα είναι μεγάλης κλίσης τότε αναγκαστικά θα πρέπει να εξορυχθεί τμήμα της στρώσης (Σχ. 3.1γ). Επίσης, σε αντίθεση με την εκμετάλλευση οριζοντίων κοιτασμάτων που η απόθεση των στείων μπορεί να γίνει σε θέσεις παλαιών εξορύξεων (Σχ. 3.1α), στα

κοιτάσματα μέτριας έως μεγάλης κλίσης η απόθεση των στείρων πρέπει να γίνει σε χώρους μακριά από τα μέτωπα εξόρυξης (Σχ. 3.1 β,γ).

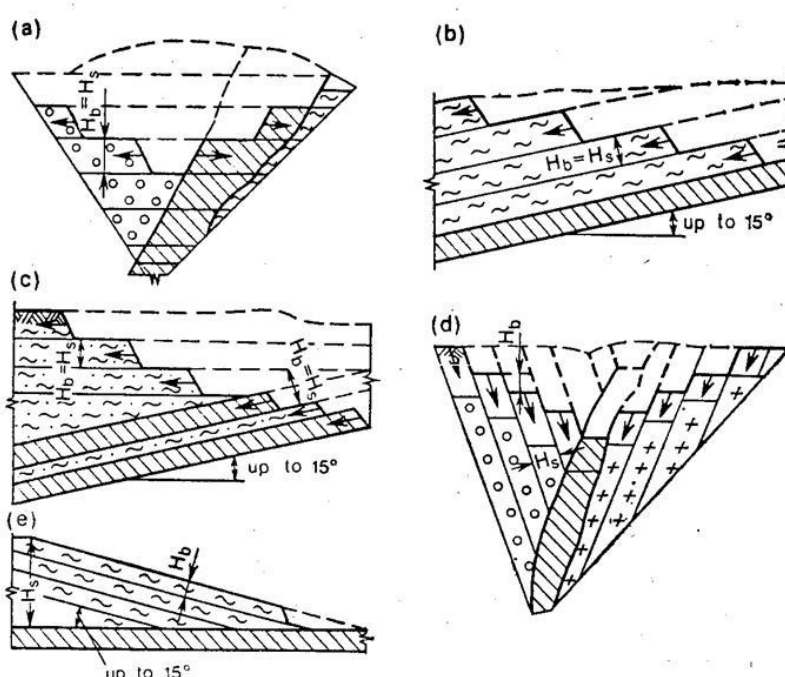


1-εξορυχθέν πέτρωμα, 2,3-εσωτερικές και εξωτερικές αποθέσεις αγόνων, 4,5-βαθμίδες εργασίας και ανενεργές, 6-τελικά όρια εκμετάλλευσης, 7-δάπεδα τελικών ορίων εκμετάλλευσης, I,II,...-ακολουθία εξόρυξης των βαθμίδων

Σχ. 3.1. Κατακόρυφες τομές υπαίθριων εκμεταλλεύσεων με μέτωπα μορφής βαθμίδος (α) οριζόντιο κοίτασμα, (β) κοίτασμα μετριας κλίσης και (γ) κοίτασμα μεγάλης κλίσης (Rzhevsky, 1985).

Κάθε βαθμίδα χαρακτηρίζεται από το υψόμετρο της που αντιστοιχεί στο δάπεδο εργασίας της. Οι προφανές ότι οι οριζόντιες βαθμίδες χαρακτηρίζονται από μόνιμο υψόμετρο, ενώ οι κεκλιμένες από μεταβλητό υψόμετρο. Τα υψόμετρα των βαθμίδων μπορεί να είναι απόλυτα σε σχέση με το επίπεδο της θάλασσας ή καμία φορά σχετικά ως προς κάποιο σημείο αναφοράς στην επιφάνεια.

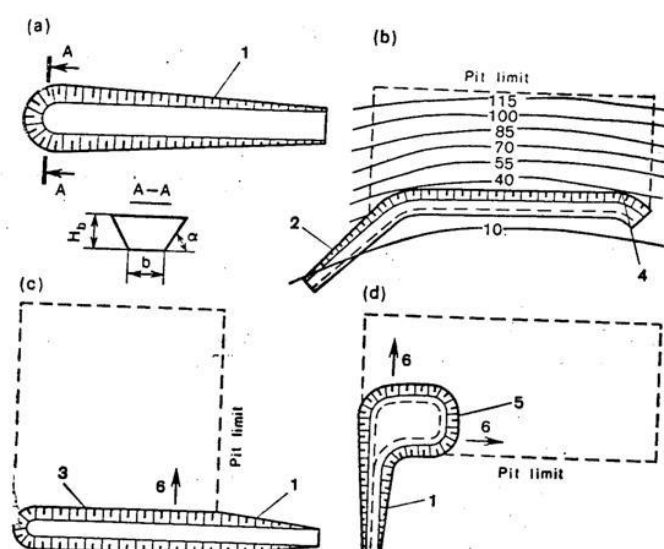
Η γεωμετρία στο χώρο ενός υπαίθριου λατομείου προσδιορίζεται από τις οριζόντιες διαστάσεις στην επιφάνεια και από το τελικό βάθος του. Το μάρμαρο και το στείρο πέτρωμα εξορύσσονται σε φέτες από πάνω προς τα κάτω. Οι φέτες αυτές είναι συνήθως οριζόντιες όπως φαίνεται στο Σχ. 3.α. Παρόλα αυτά σε στρωματοειδή κοιτάσματα με ήπια κλίση (έως 20°) οι εξορυσόμενες φέτες ακολουθούν την κλίση του κοιτάσματος (Σχ. 3.2β,γ) ή σε κοιτάσματα με μεγάλη κλίση οι φέτες έχουν και αυτές μεγάλη κλίση (Σχ. 3.2δ). Μεγάλου πάχους υπερκείμενο μπορεί να αποκαλυφθεί με κεκλιμένες βαθμίδες (Σχ. 3.2ε).



Σχ. 3.2. Οι υπαίθριες εκμεταλλεύσεις προχωράνε πάντα από πάνω προς τα κάτω (Top-down surface mining): (α) Οριζόντιες βαθμίδες με σταθερό υψόμετρο (elevation) και (β) κεκλιμένες βαθμίδες με μεταβλητό υψόμετρο (Rzhevsky, 1985).

Πριν την έναρξη των εργασιών σε νέα βαθμίδα πρέπει να εξασφαλισθεί η ευχερής προσπέλαση των μέσων εξόρυξης, φόρτωσης και μεταφοράς σε αυτήν και να δημιουργηθεί το αρχικό μέτωπο εξόρυξης με το αντίστοιχο δάπεδο εργασίας (τέτοιου πλάτους ώστε να μπορεί να κινηθεί άνετα ο εξοπλισμός εξόρυξης, φόρτωσης και μεταφοράς). Για την εξασφάλιση της μεταφοράς του πετρώματος ή των ογκομαρμάρων προς τις ανώτερες βαθμίδες ή στην επιφάνεια πρέπει να χαραχθούν και να διανοιχθούν οι κατάλληλοι δρόμοι. Αυτοί οι δρόμοι συνδέουν θέσεις που βρίσκονται σε διαφορετικά υψόμετρα (όταν

διανοίγεται μια νέα βαθμίδα η υψομετρική διαφορά είναι ίση με το ύψος της βαθμίδας) και έχουν δεδομένη κλίση (συνήθως 7% αλλά σχεδόν πάντα <12%). Οι διατομές των έργων διάνοιξης είναι περίπου τραπεζοειδείς ή τριγωνικές και καλούνται αντίστοιχα μόνιμες τάφροι ή μισές τάφροι (όταν γίνονται σε πρανή λόφων) (Σχ. 3.3 α,β). Κατόπιν διαμορφώνεται το αρχικό μέτωπο εξόρυξης επί της διανοιχθείσας βαθμίδας, οπότε και τα έργα ανάπτυξης σταματάνε. Το επόμενο στάδιο είναι η εξόρυξη μέχρι τα όρια του κοιτάσματος (Σχ. 3.3 γ,δ).



Σχ. 3.3. Τρόποι διάνοιξης δρόμων προσπέλασης ανάλογα με το τοπογραφικό ανάγλυφο (Rzhevsky, 1985).

Ανακεφαλαιώνοντας, τα κυριότερα χαρακτηριστικά ενός υπαίθριου λατομείου είναι τα εξής:

1. Το τελικό βάθος της εκμετάλλευσης το οποίο στην περίπτωση εκμετάλλευσης κεκλιμένων στρωματοειδών κοιτασμάτων μεγάλης κλίσης προσδιορίζει την παραγωγική ικανότητα του λατομείου, την γεωμετρία του στην επιφάνεια και τον συνολικό όγκο εκσκαφών. Για στρωματοειδή κοιτάσματα μικρής κλίσης το τελικό βάθος εκμετάλλευσης προσδιορίζεται από τη γεωλογία και την κοιτασματολογία και μπορεί να μεταβάλλεται λίγο σε όλη τη ζωή του λατομείου.
2. Οι διαστάσεις του λατομείου κατά μήκος και ορθογωνίως προς την παράταξη του κοιτάσματος προδιαγράφονται από το μέγεθος του, το βάθος του και από τη γωνία πρανούς της εκμετάλλευσης.

3. Οι διαστάσεις του δαπέδου του λατομείου βρίσκονται από την ισοϋψή του εξοφλημένου τμήματος του κοιτάσματος στο υψόμετρο του τελικού βάθους του λατομείου. Οι ελάχιστες διαστάσεις του δαπέδου προδιαγράφονται από τις συνθήκες ασφαλούς εξόρυξης και μεταφοράς του εξορυσσόμενου προϊόντος στην κατώτερη βαθμίδα.
4. Το τελικό πλάτος των βαθμίδων εξοφλημένου μαρμάρου πρέπει να εξασφαλίζει την ευστάθεια των πρανών της εκσκαφής με συντελεστή ασφαλείας μεγαλύτερο ή ίσο του 1.5 αλλά και από ενδεχόμενες καταπτώσεις ογκοτεμαχίων από ψηλότερα υψόμετρα.
5. Η τελική γωνία πρανούς του λατομείου προσδιορίζεται από τις συνθήκες ευστάθειας. Η τάση είναι η κλίση της εκμετάλλευσης να είναι μεγάλη έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται ο συνολικός όγκος των αγόνων.
6. Ο συνολικός όγκος του εξορυσσόμενου πετρώματος εντός των ορίων της εκμετάλλευσης είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας που προσδιορίζει την παραγωγική ικανότητα της εκμετάλλευσης, το χρόνο ζωής του λατομείου κ.λπ.
7. Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα του μαρμάρου είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες διότι καθορίζει την πιθανή παραγωγή εκμεταλλεύσιμων ογκομαρμάρων, το χρόνο ζωής του λατομείου και το οικονομικό αποτέλεσμα της εκμετάλλευσης.

Αφού έχει καταρχήν γίνει η γεωλογική έρευνα και έρευνα με δειγματοληπτικές γεωτρήσεις τα αποτελέσματα των οποίων θα καταδείξουν την εκμεταλλευσιμότητα ενός κοιτάσματος μαρμάρου τότε μπορεί να εκκινήσει η εκμετάλλευση.

Οι διαδοχικές φάσεις της εκμετάλλευσης είναι οι εξής :

1. Η διάνοιξη δρόμων προσπελάσεως προς το κοίτασμα
2. Η αποκάλυψη του κοιτάσματος
3. Η περιχάραξη – προετοιμασία μετώπων για την εξόρυξη των ογκομαρμάρων
4. Η εξόρυξη των ογκομαρμάρων

5. Η αποκόλληση των εξορυχθέντων όγκων και η μεταφορά τους στην πλατεία
6. Ο ορθογωνισμός των ογκομαρμάρων
7. Η φόρτωση και η μεταφορά των ογκομαρμάρων
8. Η φόρτωση, η μεταφορά και η απόρριψη του στείρου πετρώματος.

3.2 Προσπέλαση

Η προσπέλαση αφορά την διάνοιξη του βασικού δικτύου δρόμων που θα προσεγγίσουν το κοίτασμα καθώς και τα μέτωπα εργασίας. Για την κύρια προσπέλαση απαιτείται η χάραξη του δικτύου σε χάρτη κλίμακας 1:5000 ή 1:2000, για δε τις δευτερεύουσες προσπελάσεις στα μέτωπα, χάραξη σε χάρτη κλίμακας 1:1000 ή 1:500, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ομαλή κλίση των δρόμων ($\leq 10\%$) και το μικρότερο μήκος τους.

Όταν το έδαφος είναι βραχώδες, όπως επιφανειακά τεκτονισμένα – αποσαθρωμένα μάρμαρα η διάνοιξη των δρόμων προσπέλασης γίνεται είτε με την χρήση ερπυστριοφόρου φορτωτή ή τσάπας και με χρήση διατρητικού φορείου με τον κατάλληλο εξοπλισμό διάτρησης, είτε όταν το πέτρωμα είναι χαμηλής συνεκτικότητας (λ.χ. σχιστόλιθοι) με την βοήθεια ερπυστριοφόρου φορτωτή ή προωθητού γαιών εφοδιασμένου με άροτρο (ripper). Σημειώνεται ότι αποκλείεται χρήση ελαστικοφόρου φορτωτού και στις δύο ανωτέρω περιπτώσεις. Το σύνηθες πλάτος δρόμων προσπέλασης κυμαίνεται από 4 – 8 m.

3.3 Αποκάλυψη υπερκειμένων στείρων πετρωμάτων

Οι λατόμοι συνήθως αποφεύγουν την εκμετάλλευση κοιτασμάτων μαρμάρου που απαιτούν σημαντικά έργα αποκάλυψης, λόγω του κόστους των εργασιών και της αβεβαιότητας που αφορά την αποληψιμότητα, ποιότητα και έκταση του κοιτάσματος εξ αιτίας κακής ή καθόλου έρευνας (γεωλογικής και με δειγματοληπτικές γεωτρήσεις). Έτσι το πάχος των υπερκειμένων στείρων πετρωμάτων στα λατομεία που διανοίγονται συνήθως κυμαίνεται από μηδέν μέχρι λίγα μέτρα ή το πολύ μέχρι μερικές δεκάδες μέτρα. Κατά την πρόοδο όμως της εξόρυξης που συχνά λόγω των αντίρροπων κλίσεων του στρώματος του

μαρμάρου και του φυσικού πρανούς, η φάση της αποκάλυψης γίνεται αναγκαία εξαιτίας του γεγονότος ότι απαιτείται η ταχύτερη δυνατή και με το μικρότερο κόστος αποκάλυψη για την ταχύτερη έναρξη της παραγωγικής διαδικασίας. Ταυτοχρόνως, και σε αντίθεση με εργασίες αποκάλυψης μεταλλευτικών κοιτασμάτων ή βιομηχανικών ορυκτών, απαιτείται οι εργασίες εξόρυξης των υπερκειμένων να μη διαταράξουν τα υποκείμενα μάρμαρα, λ.χ. από κακή χρήση εκρηκτικών υλών.

Από τα ανωτέρω φαίνεται ότι η φάση της αποκάλυψης είτε προηγηθεί της εκμετάλλευσης, όπως θα έπρεπε σε μια ορθολογική εκμετάλλευση, είτε εκκινήσει σε μεταγενέστερο στάδιο, είναι μεγάλης σημασίας γιατί αφενός συντελεί στη αυξημένη απόληψη του κοιτάσματος μαρμάρου και αφετέρου οι εργασίες που εκτελούνται μπορούν να επηρεάσουν άμεσα την υγεία των ανώτερων οριζόντων του μαρμάρου.

Ανάλογα με την φύση του υπερκειμένου στείρου γεωϋλικού και του τρόπου επαφής του με το μαρμαροφόρο κοίτασμα διακρίνουμε τις κάτωθι περιπτώσεις αποκάλυψης:

Πρόσφατες προσχώσεις: Είναι σύγχρονες αποθέσεις μικρού πάχους αποτελούμενες από άμμο, χαλίκια, κροκάλες, λατύπες τα οποία είναι γεωϋλικά που μπορούν εύκολα να απομακρυνθούν με τη βοήθεια ερπυστριοφόρου φορτωτή, χωρίς να διαταραχθεί το υποκείμενο στρώμα μαρμάρου. Αυτή η περίπτωση απαντάται κυρίως στην Β. Ελλάδα (Θάσο, Καβάλα).

Σκληρά ή ημίσκληρα πετρώματα σε χαλαρή επαφή με το στρώμα μαρμάρου: Αυτά μπορεί να είναι είτε τεκτονισμένα ή αποσαθρωμένα μάρμαρα, είτε σχιστολιθικά μαλακά πετρώματα μικρού ή μέσου πάχους. Στην πρώτη περίπτωση η απομάκρυνση του χαλαρού πετρώματος επιτυγχάνεται με την βοήθεια ερπυστριοφόρου φορτωτή και περιορισμένη και ελεγχόμενη χρήση εκρηκτικών υλών με την βοήθεια διατρητικού φορείου Crawler Drill (C/D). Οι συνήθως χρησιμοποιούμενες ΕΥ είναι μαύρη πυρίτιδα ή ανάμικτη ANFO και μαύρη πυρίτιδα. Στην δεύτερη περίπτωση η απομάκρυνση των ημίσκληρων

γεωϋλικών γίνεται με καθολική χρήση ερπυστριοφόρου προωθητού γαιών (λ.χ. τύπου D8 ή D9) και χωρίς διάτρηση – ανατίναξη.

Σκληρά ή ημίσκληρα πετρώματα σε καλή επαφή (συνάφεια) με το στρώμα μαρμάρου: Αποτελεί την πιο συνηθισμένη περίπτωση κατά την οποία τα υπερκείμενα πετρώματα μπορεί να είναι είτε μάρμαφα εντόνως τεκτονισμένα ή αποσαθρωμένα ή καρστικοποιημένα, είτε σκληρά σχιστολιθικά γεωϋλικά. Η περίπτωση αυτή απαιτεί την εξόρυξη με χρήση ΕΥ. Αναλόγως του πάχους του υπερκειμένου πετρώματος διαμορφώνονται βαθμίδες με το ύψος των ανωτέρω βαθμίδων από 10 – 15 m ενώ το ύψος της κατώτερης βαθμίδος (στην επαφή με το μάρμαρο) δεν ξεπερνά τα 6 m, δεδομένου ότι η επαφή στείρου πετρώματος – μαρμάρου δεν είναι πάντοτε σαφής.

Στις βαθμίδες μεγάλου ύψους η εξόρυξη γίνεται με διάτρηση – ανατίναξη. Ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός συνήθως είναι ερπυστριοφόρο C/D με βαρεία υδραυλική σφύρα (hydraulic drifter) με κρούση στην κεφαλή (top hammer). Η διάτρηση περιλαμβάνει την όρυξη σειράς ή σειρών κεκλιμένων διατρημάτων (με κλίση 70° – 80°) ενώ ο κάνναβος διάτρησης καθορίζεται (α) από την διάμετρο της κορώνας διάτρησης που κυμαίνεται από 6.4 cm – 10 cm, και (β) από την αντοχή του πετρώματος. Π.χ. μια ικανοποιητική παραγωγή μιας βάρδιας είναι τα 1000 m³, που πρακτικά σημαίνει κάνναβο διάτρησης 3 x 3.5 m με απόδοση περίπου 10 m³ συμπαγούς (in situ) πετρώματος ανά μέτρο διατρήματος. Η γόμωση γίνεται με ζελατινοδυναμίτιδα και ANFO με μέση κατανάλωση 500 g/m³ συμπαγούς πετρώματος. Η αποκομιδή των μπάζων μπορεί να γίνει με προωθητή γαιών (λ.χ. D9) του οποίου η απόδοση κυμαίνεται από 80 – 100 m³/h χαλαρού πετρώματος σε μέση απόσταση διαδρομής 50 m. Στην περίπτωση που η απόθεση των στείρων υλικών γίνεται σε απόσταση μεγαλύτερη των 60 m επιβάλλεται η αποκομιδή να γίνεται με την βοήθεια μεγάλου ελαστικοφόρου φορτωτή (λ.χ. CAT 988 ή 992) σε συνδυασμό με δύο ή τρία μεγάλα φορτηγά (dumbers) για την μεταφορά τους, έτσι ώστε το εξορυσσόμενο πέτρωμα ανά βάρδια να έχει απομακρυνθεί μέχρι την έναρξη της επόμενης βάρδιας.

3.4 Μέτωπα εξόρυξης

Βασικό στοιχείο της μεθόδου εκμετάλλευσης αποτελεί το μέτωπο εξόρυξης. Τα μέτωπα εξόρυξης διακρίνονται σε υπαίθρια και υπόγεια. Και στις δύο κατηγορίες έχουμε τα μέτωπα διανοίξεως-προσπελάσεως και παραγωγής. Αυτά που αφορούν κυρίως τη μέθοδο εκμετάλλευσης είναι τα μέτωπα παραγωγής.

Υπάρχουν τρεις τύποι υπαίθριων μετώπων, αναλόγως της μορφής της εκσκαφής και της θέσης αυτής ως προς τη φυσική επιφάνεια του εδάφους, ήτοι :

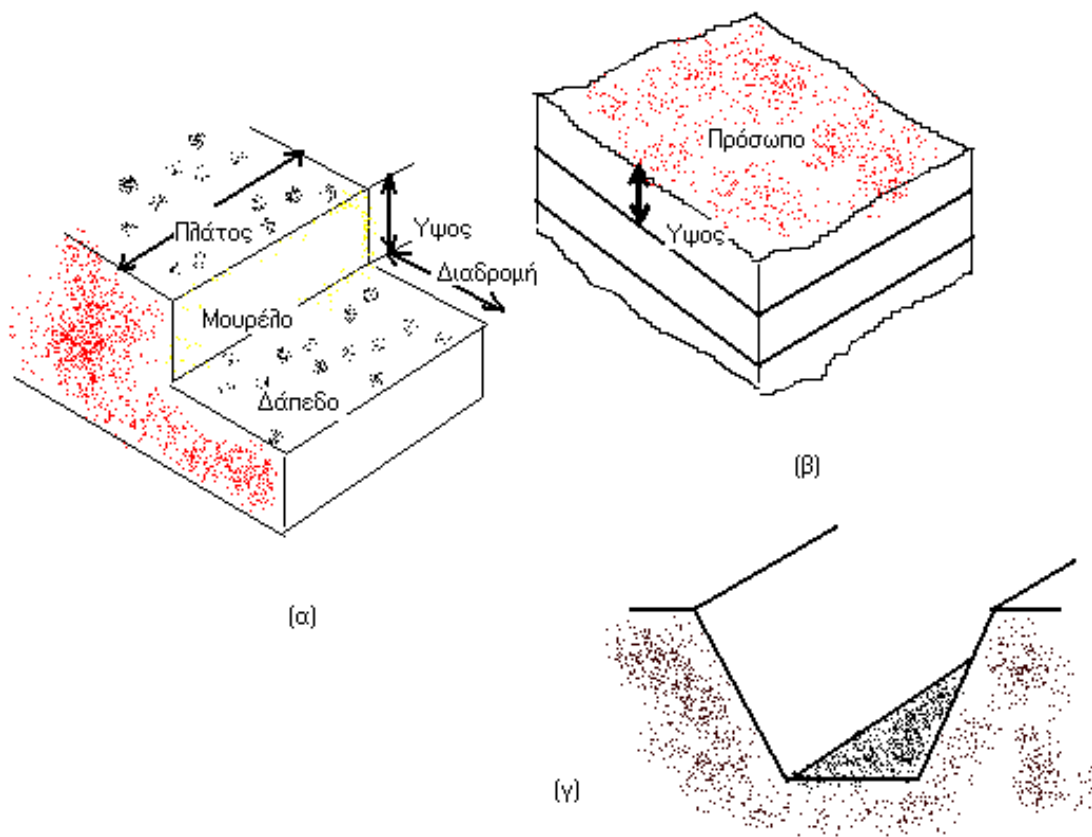
- ορθές βαθμίδες
- μέτωπα κατά τη φυσική επιφάνεια
- τάφροι

Οι τύποι υπαίθριων μετώπων εξόρυξης φαίνονται στο Σχ. 3.4. Οι δύο πρώτοι τύποι μετώπων είναι μέτωπα παραγωγής σε κοιτάσματα μαρμάρου, ενώ οι τάφροι είναι μέτωπα διανοίξεως προσπελάσεων.

- ✓ Ορθές βαθμίδες (Benches): Το μάρμαρο εξορύσσεται επί κατακόρυφης επιφάνειας (μουρέλο) στο κατώτερο άκρο της οποίας διαμορφώνεται οριζόντιο επίπεδο (δάπεδο) (Σχ. 3.4α). Οι ορθές βαθμίδες εφαρμόζονται συνήθως σε ομάδες για εκσκαφές επί κεκλιμένου κυρίως εδάφους, όπως λ.χ. οι κλιτύες λόφου, όπου η διαμόρφωση και προσπέλαση των βαθμίδων επιτυγχάνεται ευχερώς. Στην περίπτωση πεδινού εδάφους ο τύπος αυτός του μετώπου επιβάλλεται όταν η εκσκαφή εξελίσσεται σε σχετικό βάθος. Οι βαθμίδες παρουσιάζουν δύο ελεύθερες επιφάνειες, έχουν ύψος από 2 έως 7 m, πλάτος από μικρό έως μεγάλο και οποιαδήποτε διαδρομή.
- ✓ Μέτωπα κατά τη φυσική επιφάνεια (stripping stopes): Το πέτρωμα προσβάλλεται παραλλήλως προς τη φυσική επιφάνεια του εδάφους και εξορύσσεται κατά ισοπαχείς περίπου πλάκες μικρού πάχους (~5m.), όπως φαίνεται στο Σχ. 3.4β. Αυτός ο τύπος των μετώπων συναντάται σε εκσκαφές μικρού βάθους και είναι συνήθης περίπτωση στις αποκαλύψεις κοιτασμάτων μαρμάρου. Τα κατά τη φυσική επιφάνεια μέτωπα

παρουσιάζουν μία μόνο ελεύθερη επιφάνεια και έχουν κατά κανόνα σημαντικές διαστάσεις σε ότι αφορά την διάσταση του πλάτους ενώ η διαδρομή τους είναι περιορισμένη. Η αποκομιδή των ορθογωνισμένων όγκων γίνεται με τη βοήθεια ισχυρών ανυψωτικών μηχανών.

- ✓ Τάφροι (Ditches-Trenches): Έχουν τη μορφή στενών και επιμήκων εκσκαφών σχετικώς ασήμαντου βάθους (Σχ. 3.4γ). Το πέτρωμα προσβάλλεται επί παρακατακορύφου επιπέδου ή κατευθείαν επί της φυσικής επιφάνειας. Καταυτόν τον τρόπο οι τάφροι αποτελούν ειδική περίπτωση των 2 προηγούμενων τύπων υπό συνθήκες περιορισμού των διαστάσεων. Οι τάφροι χρησιμοποιούνται μόνο για προσπέλαση κοιτασμάτων μαρμάρου και για τη διάνοιξη νέων βαθμίδων και παρουσιάζουν μία ή δύο ελεύθερες επιφάνειες, αναλόγως του τρόπου προσβολής.



Σχ. 3.4. Τύποι υπαίθριων μετώπων. (α) ορθές βαθμίδες, (β) μέτωπο κατά τη φυσική επιφάνεια, (γ) τάφρος.

Μέθοδος των Ορθών Βαθμίδων: Κατά την εξόρυξη ογκομαρμάρων με ορθές βαθμίδες, η απόσπαση του μαρμάρου με τη μορφή όγκων λαμβάνει χώρα επί της προσόψεως της βαθμίδας. Τα panels εφόσον αποκοπούν από το μητρικό πέτρωμα ανατρέπονται επί του δαπέδου της βαθμίδας αφού πρίν έχει επιστρωθεί αυτό με χώμα για αποφυγή θραύσεων λόγω κρούσης. Τα προϊόντα εξόρυξης που είναι τα ογκομάμαρα φορτώνονται εν συνεχεία σε φορτηγά αυτοκίνητα. Τα προβλήματα τα οποία πρέπει να αντιμετωπισθούν κατά την εφαρμογή της μεθόδου των ορθών βαθμίδων είναι :

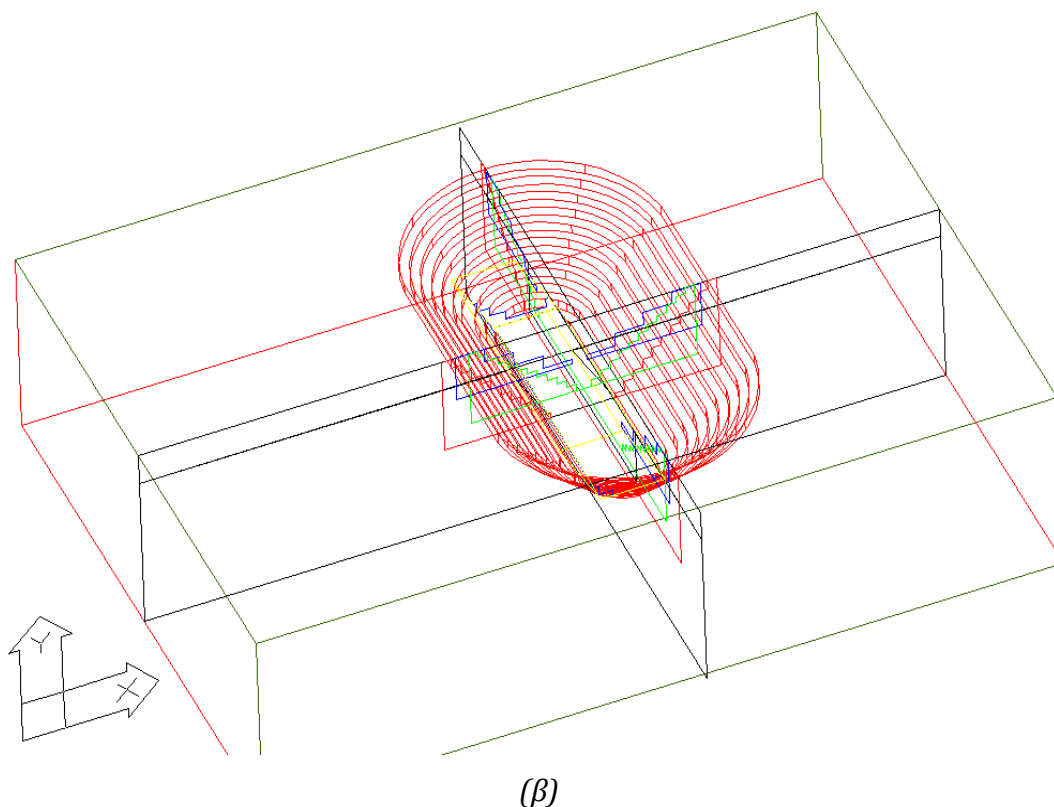
- διαμόρφωση μετώπου και εργοταξίου
- εξόρυξη – φόρτωση – αποκομιδή
- προσπέλαση
- εναπόθεση των στείρων εκμετάλλευσης

Διαμόρφωση μετώπου και εργοταξίου – Η συνήθης μορφή της εκσκαφής απορρέει από την ανάγκη χρησιμοποίησης ομάδος βαθμίδων και της κλιμακωτής διατάξεως αυτών. Αναλόγως της τοπογραφικής διαμορφώσεως, η εκσκαφή είναι ανοικτού τύπου (Σχ. 3.5α) ή κλειστού τύπου (Σχ. 3.5β). Η εκσκαφή ανοικτού τύπου αντιστοιχεί σε λοφώδη τοπογραφία, ενώ η κλειστού τύπου σε πεδινά εδάφη. Στην πρώτη περίπτωση, η βαθμίδα εκκινεί επί ισοϋψούς καμπύλης, επί της οποίας χαράσσεται με τη βοήθεια προωθητού γαιών ή υδραυλικού εκσκαφέα κ.λπ. Για την εκκίνηση βαθμίδας κλειστής εκσκαφής, ορύσσεται τάφρος, η οποία συνήθως τοποθετείται κατά τον επιμηκύτερο άξονα της εκσκαφής.



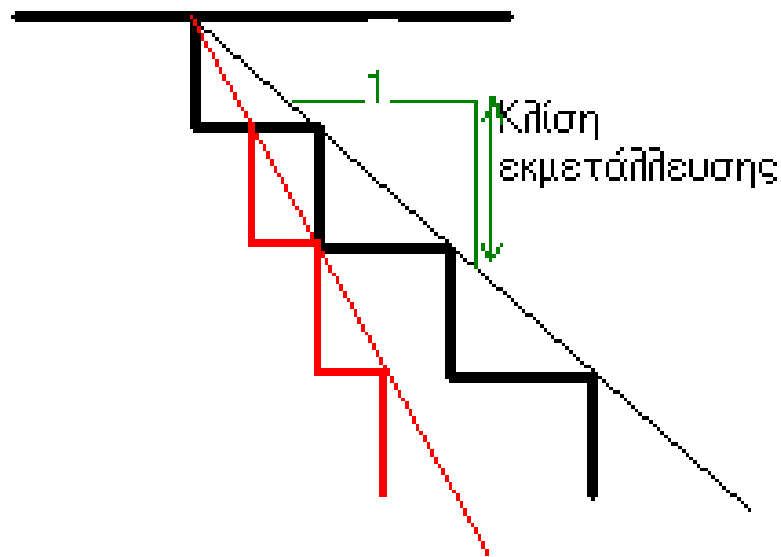
Κοίτασμα

(α)

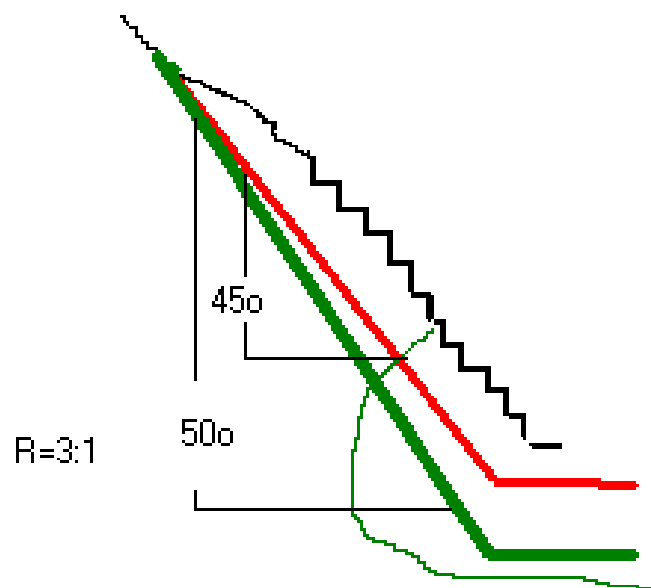


Σχ. 3.5. Μορφές υπαιθρίου εκμεταλλεύσεως. (α) ανοικτή εκμετάλλευση με μορφή αμφιθεάτρου όπου φαίνονται οι βαθμίδες και το κοίτασμα, και (β) κλειστή εκμετάλλευση, αναπτυσσόμενη αντιστοίχως εις βάθος και οριζοντίως,

Όπως φαίνεται στο Σχ. 3.6, η κλίση του πρανούς της εκμεταλλεύσεως είναι συνάρτηση του ύψους και του πλάτους του δαπέδου της βαθμίδας. Το μέγιστο ύψος και ελάχιστο πλάτος του δαπέδου της βαθμίδας όπως επίσης και τα αντίστοιχα μεγέθη των τελικών βαθμίδων προσδιορίζονται από τον Κανονισμό Λατομικών και Μεταλλευτικών Εργασιών (ΚΜΛΕ). Επίσης, όπως φαίνεται στο Σχ. 3.7, όσο μεγαλύτερη τελική κλίση εκμετάλλευσης μπορεί να επιτευχθεί σε δεδομένη εκμετάλλευση, τόσο ευνοϊκότερη γίνεται η σχέση αποκαλύψεως, ή για σταθερή σχέση αποκαλύψεως, τόσο μεγαλύτερη η αποληψιμότητα του μαρμάρου και τα Μεταλλευτικά Αποθέματα.



Σχ. 3.6. Μεταβολή της κλίσεως της εκμεταλλεύσεως συναρτήσει του ύψους και του πλάτους της βαθμίδας



Σχ. 3.7. Επίδραση της τελικής κλίσεως του πρανούς μεταλλείου επί της ποσότητας του απολαμβανομένου κοιτάσματος για δεδομένη σχέση αποκάλυψης

Αναλυτικά στα λατομεία μαρμάρων διακρίνουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις:

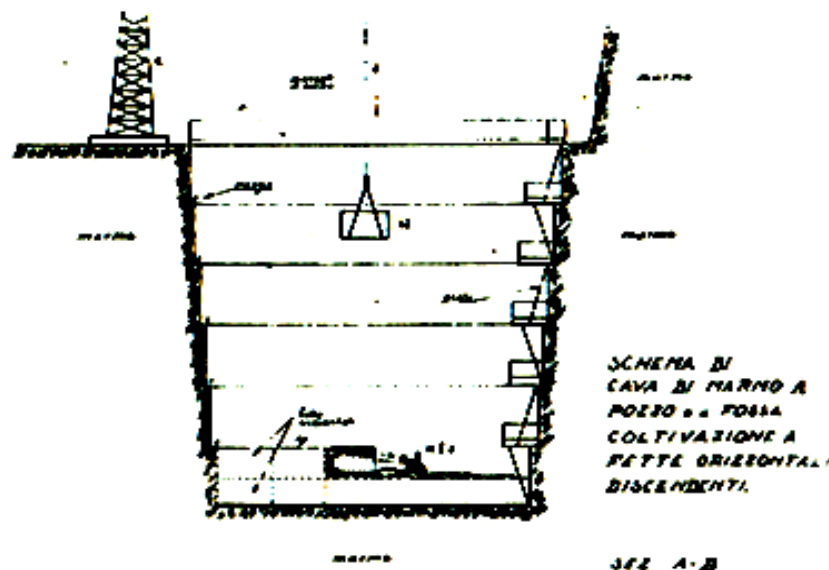
- Μεγάλες βαθμίδες με χαμηλά μέτωπα (ύψος μετώπου μικρότερο από 3 m)
 - Σ' αυτήν τη μέθοδο οι φορτωτές φθάνουν παντού. Οι σχετικά μικρού μεγέθους όγκοι που εξορύσσονται σ' αυτά τα λατομεία, μπορούν άνετα να συρθούν και να μετακινηθούν από τους ερπυστριοφόρους φορτωτές ή άλλα χωματουργικά μηχανήματα.
- Ανισοϋψείς βαθμίδες με μεγάλου ύψους μέτωπα (ύψος μετώπου 7 - 10 m)
 - Είναι η μορφή μετώπων που απαντάται συχνότερα, εκτός ίσως από τη Δυτική Ελλάδα. Η τεκτονική των περισσότερων κοιτασμάτων μαρμάρου της Ελλάδας και η νοοτροπία των λατόμων οδηγούν σε εκμετάλλευση αυτού του τύπου. Κατ' αυτόν τον τρόπο εκμετάλλευσης εμφανίζεται συνήθως το πρόβλημα εμπλοκής όγκων στο πρανές του μετώπου. Τότε χρειάζεται μεγάλη προσπάθεια για να καταβιβασθεί στην πλατεία. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να οφείλεται στους κάτωθι λόγους:
 - ✓ Κατά την εξόρυξη δεν πρέπει να τιναχθεί με μεγάλη δύναμη ο πάγκος για να μη θραυσθεί. Έτσι αποσπώμενος καταρχήν από τη θέση του σταματά λίγο μακρύτερα απ' την αρχική του θέση.
 - ✓ Ο όγκος δεν πρέπει να πέσει από ψηλά επί σκληρής επιφάνειας διότι θα θραυσθεί. Έτσι επιδιώκεται η συγκράτηση του όγκου σε κάποια θέση επί του μετώπου.
 - ✓ Δεν μπορεί να προσεγγίσει τον πάγκο επί του μετώπου ο φορτωτής. Έτσι αρχίζει προσπάθεια με γρύλλους ή με το «νύχι», ήτοι ερπυστριοφόρο υδραυλικό πτύο ανεστραμμένου κάδου όπου αντί του κάδου έχει προσαρμοσθεί οδόντας εκ σκληροχάλυβος (ripper), για να καταβιβασθεί ο πάγκος σιγά-σιγά στην πλατεία.

Ο φορτωτής βοηθά πολύ στο τράβηγμα ή στο κύλισμα του πάγκου όταν αυτός βρίσκεται επί της πλατείας. Αν ο πάγκος είναι μεγάλου βάρους προηγείται υποχρεωτικώς η μείωση των διαστάσεών του επί τόπου, εκεί που θα πέσει.

- Ισοϋψείς βαθμίδες με μέτριου ύψους μέτωπα – Στις περιπτώσεις εκείνες που μπορούν να διαμορφωθούν ισοϋψείς βαθμίδες ύψους 5 - 6 m, δίνεται η

Όταν η σχέση αποκάλυψης (δηλαδή ο λόγος του όγκου του στείρου προς τον όγκο των υγείων εμπορεύσιμων ογκομαρμάρων) φθάσει το μέγιστο όριο οικονομικής εκμετάλλευσης, η λατόμευση από υπαίθρια γίνεται υπόγεια.





(β)

Σχ. 3.8. (α) Κάτοψη της μεθόδου τύπου τάφρου, και (β) Κατακόρυφη τομή της ίδιας μεθόδου στην οποία φαίνεται η μονάδα ανύψωσης των πάγκων μαρμάρου στην επιφάνεια και η λειτουργία της συρματοκοπής στην κατώτερη βαθμίδα (Pandolfi, 1991)

Στην περιοχή Carrara της Ιταλίας εφαρμόζεται μια μέθοδος εκμετάλλευσης που είναι ενδιάμεση μεταξύ της υπαίθριας και της υπόγειας και ονομάζεται «κάτω από τον τοίχο» (below the wall ή sotto tecchia). Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί όταν το ανάγλυφο της επιφανείας είναι επίπεδο και χαρακτηρίζεται από σχεδόν κατακόρυφη ή παρακατακόρυφη κλίση εκμετάλλευσης. Παράδειγμα τέτοιας μεθόδου σε κάτοψη και κατακόρυφη τομή φαίνεται στο Σχ. 3.8 α, β αντίστοιχα, όπου φαίνεται η εφαρμογή ανυψωτικής μηχανής για την αναβίβαση/καταβίβαση εξοπλισμού και ανέλκυση ογκομαρμάρων) και μονάδος συρματοκοπής (κοπή ογκομαρμάρων).

Ένας σημαντικός παράγοντας κόστους σε αυτού του τύπου την εκμετάλλευση είναι η απομάκρυνση των υδάτων, που μπορεί να είναι μετεωρική ή υπόγειας προέλευσης. Από τη στιγμή που το επίπεδο της εκμετάλλευσης φθάσει κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα πρέπει να γίνουν τα απαραίτητα αποστραγγιστικά έργα. Στην κοιλάδα του Tivoli-Guidonia (Ρώμη) όπου εξορύσσεται τραβερτίνης σε περίπου 70 λατομεία είναι αναγκαία η καταβίβαση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα κατά μερικές δεκάδες μέτρα ώστε να

παραμείνουν ξηρά τα μέτωπα εργασίας και να εκμεταλλευθούν οι κατώτεροι ορίζοντες.

3.5 Εξόρυξη - αποχωρισμός των «Πάγκων» από το μητρικό πέτρωμα

Μετά την φάση της περιχάραξης του πάγκου μαρμάρου στο μέτωπο της εκμετάλλευσης, κατά την οποία ταυτοποιούνται οι ασυνέχειες (ή κατά την λατομική ορολογία οι «κομμοί» του μαρμάρου) που χωρίζουν τον πάγκο από τους γύρω όγκους και διαπιστώνεται ότι ο πάγκος έχει αρκετές ελεύθερες επιφάνειες για να εξορυχθεί σωστά, ακολουθεί η εξόρυξη των πάγκων από το μητρικό πέτρωμα. *Τονίζεται ότι η αποτύπωση των ασυνεχειών είναι σημαντική για διακλασμένα μάρμαρα εφόσον αυτές αποτελούν φυσικά επίπεδα λύσης της συνέχειας του πετρώματος και προσδιορίζουν την κατανομή των όγκων των υγείων μαρμάρων επί τόπου.* Η εξόρυξη του μαρμάρου πραγματοποιείται με την διαμόρφωση μετώπου ορθής βαθμίδας που διαθέτει τρεις ελεύθερες επιφάνειες (Σχ. 3.9 α) και ως εκ τούτου πλεονεκτεί έναντι οιασδήποτε άλλης μορφής μετώπου από πλευράς ελεύθερων επιφανειών. Η έναρξη της εκμεταλλεύσεως πραγματοποιείται με την κατάλληλη προπαρασκευή, ώστε να διαμορφωθεί στη συνέχεια το ανωτέρω παραγωγικό μέτωπο.

Διακρίνονται τρεις τύποι αρχικών μετώπων αναλόγως της γεωμετρίας της εξόρυξης των πάγκων, όπως φαίνεται στο Σχ. 3.9, ήτοι:

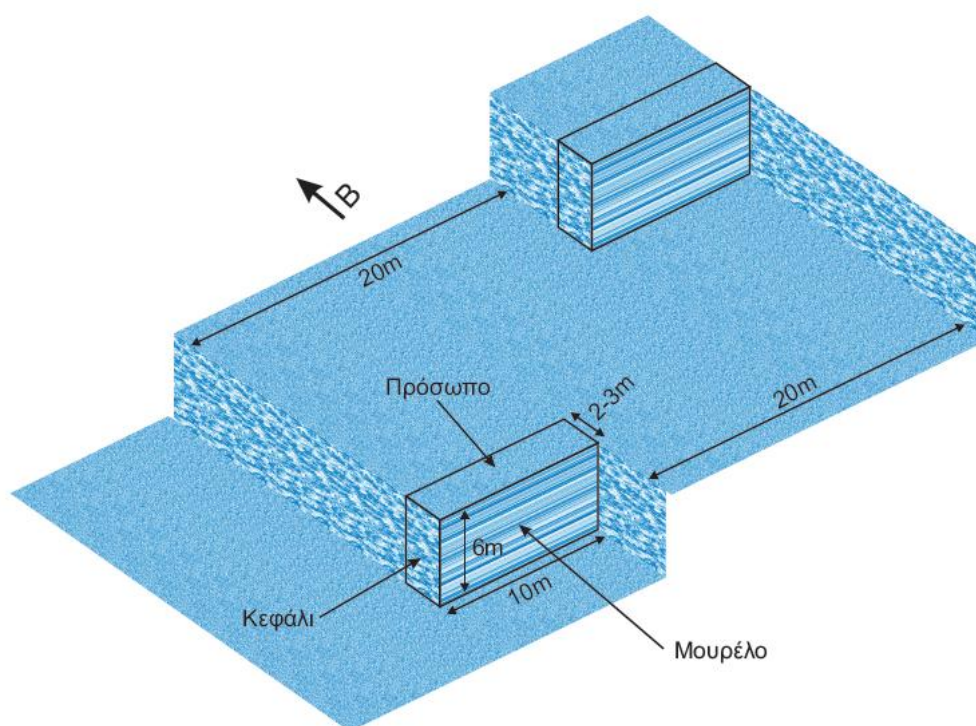
- Μέτωπο σχήματος «Γ»
- Μέτωπο σχήματος «U» (ή κανάλι)
- Μέτωπο σχήματος «Δ»

Κατά την πρώτη τεχνική, ήτοι μέτωπο μορφής «Γ», η εξόρυξη του πάγκου προϋποθέτει την κοπή τριών μόνο επιφανειών, μιας οριζόντιας και δύο κατακόρυφων, εφόσον η εξόρυξη εκκινεί με τρεις ελεύθερες ήδη επιφάνειες (Σχ. 3.9 α). Ο βαθμός δυσκολίας αυξάνει σημαντικά όταν η εξόρυξη των πάγκων πρέπει να ξεκινήσει με δύο μόνο ελεύθερες επιφάνειες, δηλαδή μία κατακόρυφη (το μέτωπο της βαθμίδας που είναι το μούρελο) και μία οριζόντια (το δάπεδο

της βαθμίδας ή το μέτωπο). Σ' αυτήν την περίπτωση τα μέτωπα μπορούν να λάβουν είτε τη μορφή «U» (ή κανάλι Σχ. 3.9 β), είτε αυτήν του τύπου «Δ» ή σφήνας, όπως φαίνεται στο Σχ. 3.9 γ.

Κατά τη μορφή «U» του μετώπου οι δύο κατακόρυφες επιφάνειες του μουρέλου εξορύσσονται με συρματοκοπή και εν συνεχεία το δάπεδο με πυκνή διάτρηση και ελεγχόμενη ανατίναξη. Αυτή η διαδικασία εξόρυξης προϋποθέτει την ύπαρξη κατακόρυφου επιπέδου ασυνέχειας κατά την έννοια του πίσω κατακόρυφου επιπέδου (μουρέλου). Εναλλακτικά, για την κοπή των τεσσάρων ελεύθερων επιφανειών ή για την κοπή του δαπέδου ή και της πίσω επιφάνειας του μουρέλου μπορεί να χρησιμοποιηθεί αλυσοπρίονο.

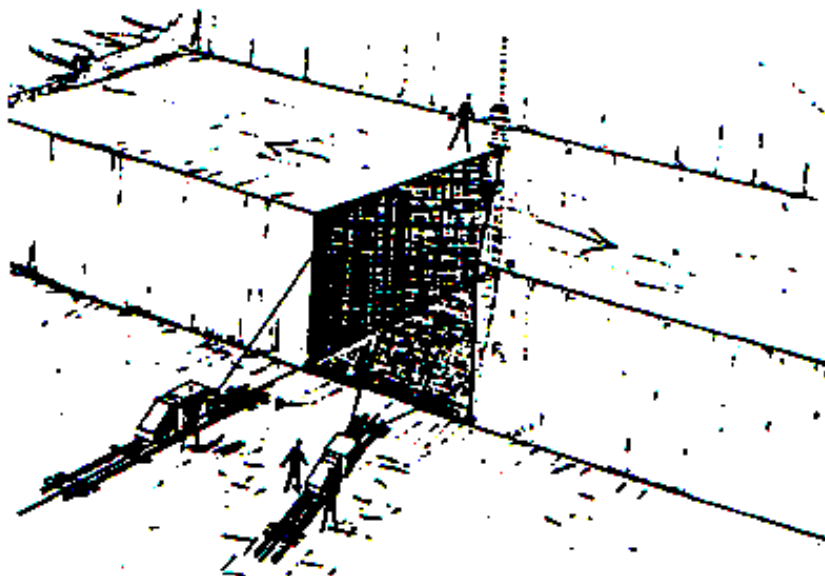
Τέλος, η εκμετάλλευση της βαθμίδας μπορεί να εκκινήσει με τη μορφή «Δ» ή σφήνας. Κατά αυτήν την μορφή μετώπου ο αρχικός όγκος μορφής σφήνας εξορύσσεται με τη βοήθεια αλληλοτεμνομένων διατρημάτων (ενός κατακόρυφου και δύο οριζοντίων τα οποία όλα συγκλίνουν στο ίδιο σημείο) και μονάδος συρματοκοπής κατά τις λεπτομέρειες του Σχ. 3.9 γ.



(α) Μέτωπο σχήματος «Γ» ή μέτωπο παραγωγής ογκομαρμάρων.



(β) Μέτωπο σχήματος «U» ή κανάλι. Η περαιτέρω εξόρυξη των όγκων εκατέρωθεν του αρχικού ανοίγματος γίνεται πλέον με τρεις ελεύθερες επιφάνειες.



(γ) Μέτωπο σχήματος «Δ» ή τρίγωνο.

Σχ. 3.9. Μορφές αρχικών μετώπων εξόρυξης κατά την υπαίθρια εκμετάλλευση ογκομαρμάρων.

Οι μέθοδοι εξόρυξης των μαρμάρων που χρησιμοποιούνται είναι:

- ✓ Μέθοδος κοπής με αδαμαντοφόρο σύρμα (συρματοκοπή διαμαντέ) σε συνδυασμό με αλληλοτεμνόμενα διατρήματα (εντός των οποίων περνάει το σύρμα).
- ✓ Μέθοδος κοπής με αλυσοπρίονο υπαιθρίων (ωφέλιμο μήκος λάμας 4-7 m).
- ✓ Μέθοδος παραλλήλων διατρημάτων με ασθενή γόμωση διαρρηκτικών ή ωστικών εκρηκτικών υλών (μέθοδος πρότμησης, Αγγλ. Όρος: pre-splitting).
- ✓ Μέθοδος παραλλήλων πυκνών διατρημάτων επί επιπέδου και σφηνών μετά παρεμβυσμάτων («πετάλων»).
- ✓ Μέθοδος παραλλήλων διατρημάτων και υδραυλικών γρύλλων.
- ✓ Μέθοδος των αλληλεπικαλυπτομένων διατρημάτων μεγάλης διαμέτρου (σπανίως χρησιμοποιείται).
- ✓ Μέθοδος καναλιού (channeling method) με συνδυασμό περιστροφικών γεωτρήσεων μεγάλης διαμέτρου και συρματοκοπής με τροχαλίες αλλαγής διαδρομής του σύρματος.
- ✓ Με μηχανικά μέσα (π.χ. «Νύχι», φορτωτής, υδραυλικός γρύλλος κλπ.).
- ✓ Μέθοδος εξόρυξης με jet φλόγας (flame jet).
- ✓ Μέθοδος εξόρυξης με jet νερού.

3.6 Απόσπαση πάγκων μαρμάρου από το μητρικό πέτρωμα με τη βοήθεια της υβριδικής μεθόδου διάτρησης - αδαμαντοφόρας συρματοκοπής

Με την συρματοκοπή δημιουργείται τεχνητή επίπεδη επιφάνεια κοπής (λύση συνεχείας του μαρμάρου επί προδιαγεγραμμένου επιπέδου) με σκοπό την απόσπαση ευμεγέθους πάγκου (Αγγλ. όρος: panel) από το μητρικό πέτρωμα. Κατά τη μέθοδο της συρματοκοπής με σύρμα διαμαντέ (Filo Diamantato) επιτυγχάνονται ταχύτητες κοπής 6-10 m²/h. Η μέθοδος αυτή μπορεί να συνδυασθεί με άλλον τύπου μηχανολογικό εξοπλισμό, όπως ειδικές αερόσφυρες επί ολισθητήρων (Stambeco), αλυσοπρίονα κ.λπ. για τον πληρέστερο όγκοτεμαχισμό του πάγκου.

Κατά τη μέθοδο αυτή η κοπή των ογκομαρμάρων γίνεται με την τριβή που προκαλείται από την συνεχή κίνηση σύρματος που φέρει αδαμάντινες πέρλες επί του πετρώματος. Η βέλτιστη εφαρμογή της μεθόδου προϋποθέτει καταρχήν την ύπαρξη μεγάλων πάγκων μαρμάρου που δεν διασχίζονται από πυκνό δίκτυο ασυνεχειών. Με την συρματοκοπή είναι δυνατό να επιτευχθεί η κοπή μεγάλων επιφανειών (λ.χ. ύψος x μήκος = 6×10 ή μήκος x πλάτος = $10 \times 10 \text{ m}^3$) και κατά συνέπεια μεγάλων όγκων πετρώματος. Το αδαμαντοφόρο σύρμα αποτελείται από ένα σύρμα διαμέτρου περίπου 5 mm στο οποίο είναι περασμένες (υπό τύπο χανδρών) ένας μεγάλος αριθμός κοπτικών σωμάτων (πέρλες) – ανά τρέχον μέτρο σύρματος τοποθετούνται 30 – 50 πέρλες - διαμέτρου 10 mm περίπου (βλ. Σχ. 3.10). Για να τηρούνται οι αποστάσεις μεταξύ των κοπτικών σωμάτων παρεμβάλλονται ενδιάμεσως ορειχάλκινοι ή πλαστικοί δακτύλιοι. Οι πέρλες αποτελούνται από χαλύβδινο πυρήνα επί του οποίου έχει εναποτεθεί σκόνη τεχνητών διαμαντιών μέσα σε μεταλλική μάζα με ηλεκτρολυτική μέθοδο ή με τη μέθοδο της συμπίξεως (concretion). Το αδαμάντινο σύρμα βρίσκεται στο εμπόριο σε τυποποιημένα μήκη των 10 ή 20 m, τα οποία μπορούν να ενωθούν μεταξύ των σε μεγαλύτερα τμήματα με ειδικές κοχλιώσεις ή συνδέσεις (λ.χ. μούφες). Το αδαμαντοφόρο σύρμα κατά κανόνα αποτελείται από περισσότερα σύρματα διαφορετικού ή ίδιου μήκους που συνδέονται μεταξύ τους. Το μήκος αυτό εξαρτάται από τη γεωμετρία της επιφανείας κοπής και αφετέρου από την ιπποδύναμη του μηχανήματος. Ισχυρά μηχανήματα μπορούν να δουλέψουν με σύρμα μήκους πάνω από 100 m. Συνήθως όμως χρησιμοποιούνται αδαμαντοφόρα σύρματα με 20-80 m μήκος σε μηχανές ισχύος 20-50 kW. Ο επί μέρους εξοπλισμός μιας συρματοκοπής φαίνεται στο Σχ. 3.11.

Για να εκκινήσει η συρματοκοπή ενός πάγκου υπάρχουν οι εξής τρόποι:

- Ανά δύο αλληλοτεμνόμενα διατρήματα ορίζουν το επίπεδο της εντομής εντός του μαρμάρου όπως φαίνεται στο Σχ. 3.12 α. Τα διατρήματα μπορεί να ορύσσονται με Crawler Drill που φέρουν top-hammer ή ενδοδιατρηματικές αερόσφυρες (down the hole) ή με μεταφερόμενες κρουστικο-περιστροφικές ή περιστροφικές αερόσφυρες και μεταφερόμενη μονάδα αεροσυμπιεστή.

- Το σύρμα «περνιέται» από δύο διατρήματα (ένα κατακόρυφο και ένα οριζόντιο για κατακόρυφες τομές) και τα άκρα συνδέονται με συνδετήρες για να σχηματισθεί ατέρμων στεφάνη (βλ. Σχ. 3.12 β). Το αδαμαντοφόρο σύρμα προσαρμόζεται στη μονάδα της συρματοκοπής η οποία κινείται επί ραγών (οι ράγες έχουν μήκος 3 m για δε μεγαλύτερα μήκη ενώνονται περισσότερες από μία ράγες) και κατά τη διάρκεια της κοπής κινείται προς τα πίσω τανύζοντας το αδαμαντοφόρο σύρμα.
- Κατόπιν με την βοήθεια ειδικού κινητήριου μηχανισμού επιτυγχάνεται μέσω μιας τροχαλίας η συνεχής κίνηση του σύρματος που επιφέρει την κοπή του μαρμάρου (Σχ. 3.12 β). Ο κινητήριος μηχανισμός είναι πολύ απλός και αποτελείται από τροχαλία διαμέτρου 1.3 – 1.5 m που περιστρέφεται με υδραυλικό ή ηλεκτρικό κινητήρα και μεταδίδει την κίνηση στο σύρμα. Με έναν υδραυλικό κύλινδρο επιτυγχάνεται η συνεχής τάνυση του σύρματος ώστε να ασκείται η αναγκαία πίεση πάνω στο πέτρωμα. Η επιφάνεια κοπής ψύχεται συνεχώς με νερό. Η τροχαλία είναι τοποθετημένη στην κεφαλή της συρματοκοπής, η οποία δύναται να περιστρέφεται 360°, διενεργώντας καταυτόν τον τρόπο κατακόρυφες, παρακατακόρυφες και οριζόντιες τομές. Οι κατακόρυφες τομές μπορούν να γίνουν με τη συρματοκοπή στο δάπεδο ή στο φρύδι της βαθμίδας σύμφωνα με τις λεπτομέρειες του Σχ. 3.13.
- Όταν η συρματοκοπή φθάσει στο τέλος των ραγών αφαιρείται ένα τμήμα σύρματος μήκους 7m, η μηχανή οδηγείται στην αρχή των ραγών και το κόψιμο συνεχίζεται. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται έως ότου ολοκληρωθεί η κοπή. Όσο εισχωρεί περισσότερο το σύρμα στο μάρμαρο το σύρμα κόβεται με προσοχή για απώλειες σε πέρλες και ελατήρια κατά την διαχείριση των. Οι σύγχρονες συρματοκοπές έχουν μηχανισμό για αυτόματο τύλιγμα του σύρματος για να αποφεύγονται τα κοψίματα του σύρματος σε κάθε φάση κοψίματος με σημαντική μείωση σε απώλειες σε πέρλες και ελατήρια.
- Η αμβλεία γωνία του σύρματος πρέπει να αποφεύγεται γιατί αυξάνεται η πιθανότητα θραύσης του σύρματος.
- Η γραμμική ταχύτητα του σύρματος πρέπει να κυμαίνεται από 37-42 m/s. Η πράξη δείχνει ότι για ταχύτητα μικρότερη από 37 m/s η ωριαία

απόδοση ελαττώνεται πολύ ενώ όταν έχει τιμές μεγαλύτερες από 42 m/s αυτή αυξάνεται με μικρό ρυθμό. Στην τελευταία αυτή περίπτωση αυξάνεται η πιθανότητα θραύσης του σύρματος.

Ανακεφαλαιώνοντας μία μονάδα συρματοκοπής αποτελείται:

- Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος που τροφοδοτείται από γεννήτρια ή παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.
- Ηλεκτροκινητήρα οδηγήσεως-τανύσεως του σύρματος (τροχαλία).
- Σιδηροτροχιά (μήκους 2 ή 3 m με δυνατότητα αύξησης του μήκους με ένωση περισσότερων της μιάς)
- Αδαμαντοφόρο σύρμα.
- Ηλεκτρονικό χειριστήριο (για έλεγχο από μακριά -μεταβίβαση πληροφοριών στον ηλεκτρικό κινητήρα πολλαπλών ταχυτήτων).

Τα διάφορα τεχνικά στοιχεία μιας συρματοκοπής ενδεικτικά είναι:

- Διάρκεια ζωής συρματοσχοίνου = περίπου 2,000 m²
- Διάρκεια ζωής διαμαντιών = περίπου 3,000 m²
- Ταχύτητα κοπής = 10 – 15 m²/h
- Γραμμική ταχύτητα σύρματος = 20 – 45 m/s, ανάλογα με το πέτρωμα

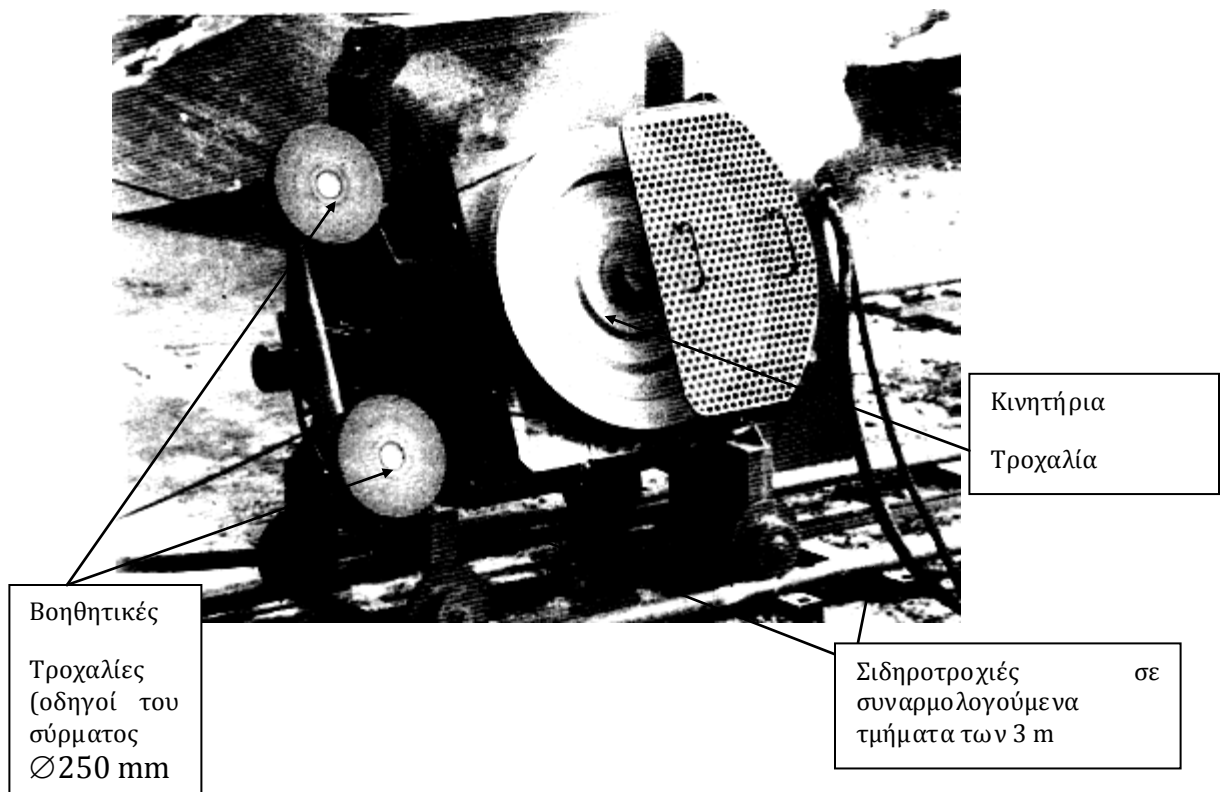
Κατά τη λειτουργία αλλά και την εφαρμογή της συρματοκοπής για την αποκόλληση πάγκων πετρώματος πρέπει να προσεχθούν τα εξής:

- Το ξεκίνημα της μηχανής πρέπει να είναι απαλό γιατί στη φάση αυτή είναι πολύ εύκολο να ξεπεραστούν τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια τάνυσης του σύρματος δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται κινητήρες 40-70 HP.
- Δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται τροχαλίες επιστροφής του σύρματος με διάμετρο μικρότερη από 500-600 mm. Όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα αυτές πρέπει να έχουν διάμετρο τουλάχιστον 800 mm. Όσο η διάμετρος των τροχαλιών ελαττώνεται, πρέπει να ελαττώνεται και το τόξο επαφής του σύρματος με την τροχαλία.

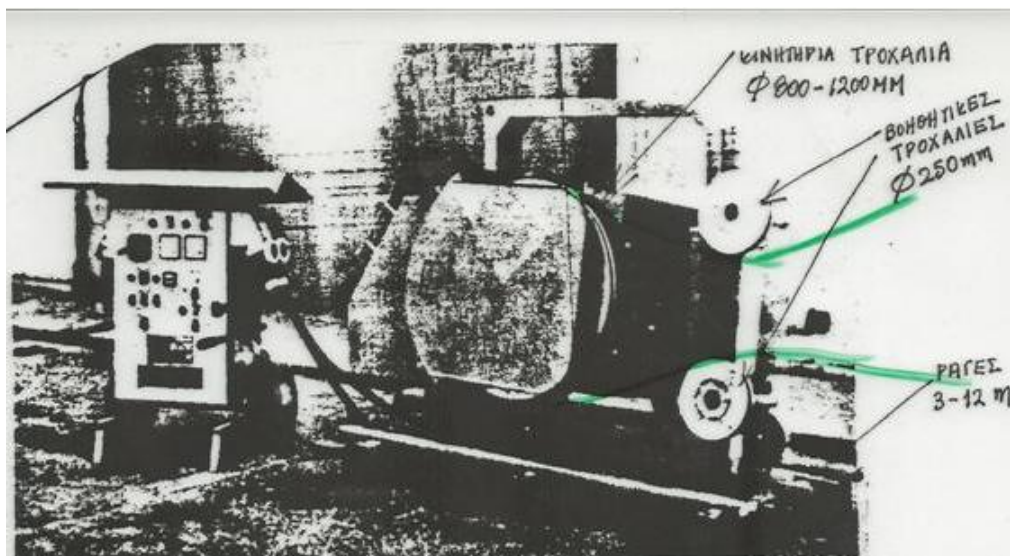
- Η αμβλεία γωνία του σύρματος πρέπει να αποφεύγεται γιατί αυξάνεται η πιθανότητα θραύσης του σύρματος.
- Κατακόρυφες εντομές («κοψιές») με ίδια απόσταση μεταξύ των όπως φαίνεται στο Σχ. 3.14 α μπορεί να μειώσει τις διαστάσεις των υγριών όγκων, ενώ κοψιές σε κυμαινόμενες αποστάσεις ανάλογα με τις αποστάσεις των φυσικών ασυνεχειών του μαρμάρου όπως φαίνεται στο Σχ. 3.14 β μπορεί να αποδώσει μεγαλύτερους όγκους υγειούς μαρμάρου και μεγαλύτερη αποληψιμότητα.
- Ο προσανατολισμός των κάθετων ιχνών των εντομών με συρματοκοπή πρέπει να ακολουθεί τον προσανατολισμό των κεφαλιών και των μουρέλων όπως φαίνεται στο Σχ. 3.15
- Η τυπική ακολουθία των τομών για την αποκόλληση των πάγκων φαίνεται στο Σχ. 3.16.



Σχ. 3.10. Σύρμα διαμαντέ για κοπή μαρμάρων και γρανιτών.

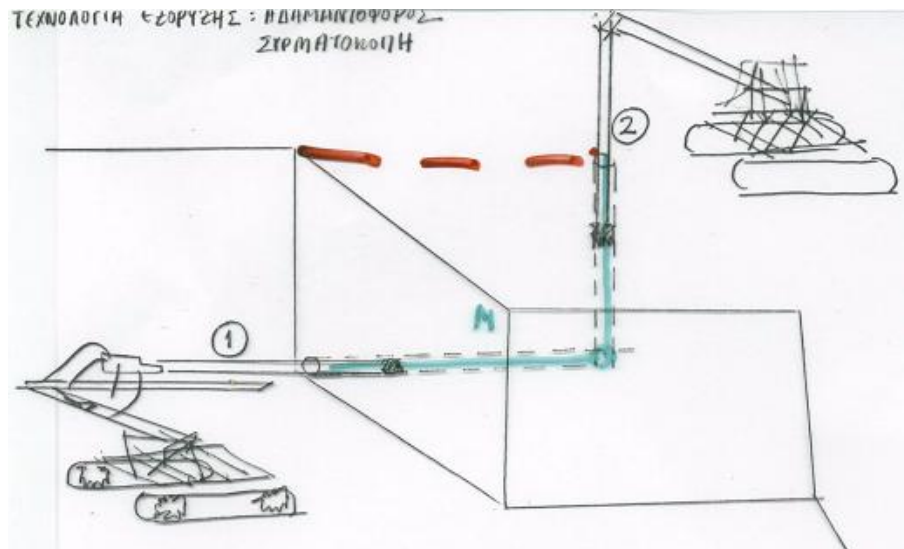


(α)

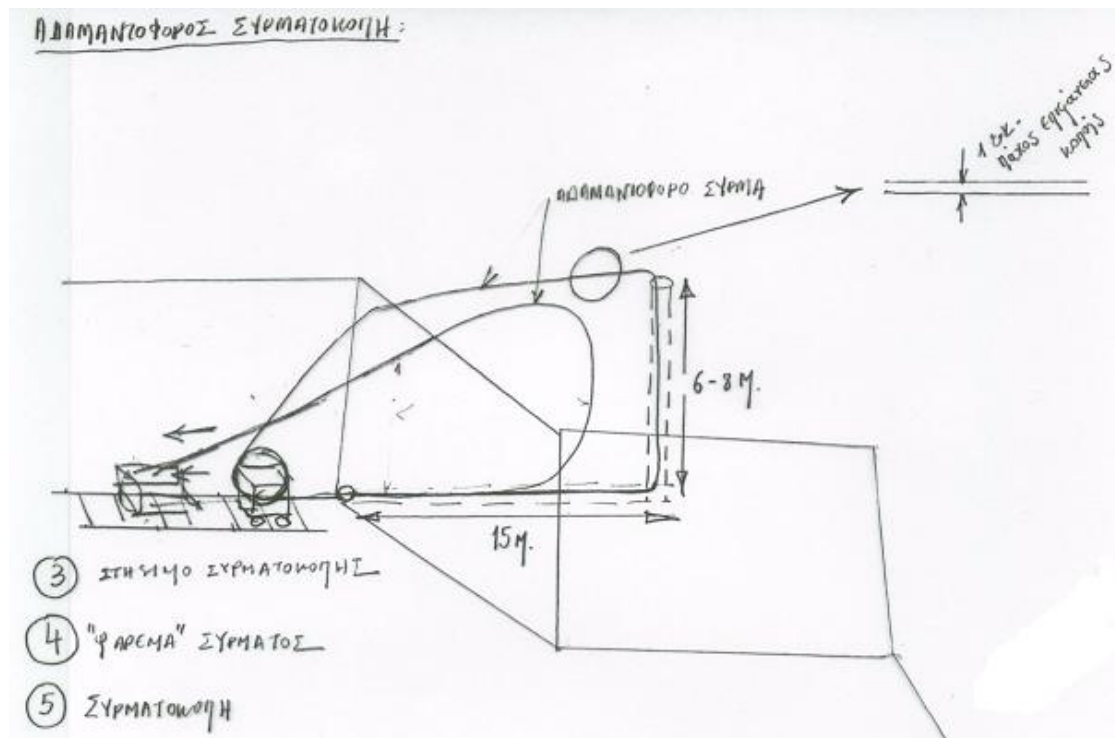


(β)

Σχ. 3.11. Μονάδα συρματοκοπής, (α) τροχαλία και (β) ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (αριστερά) και τροχαλία (δεξιά) (Pandolfi, 1991).

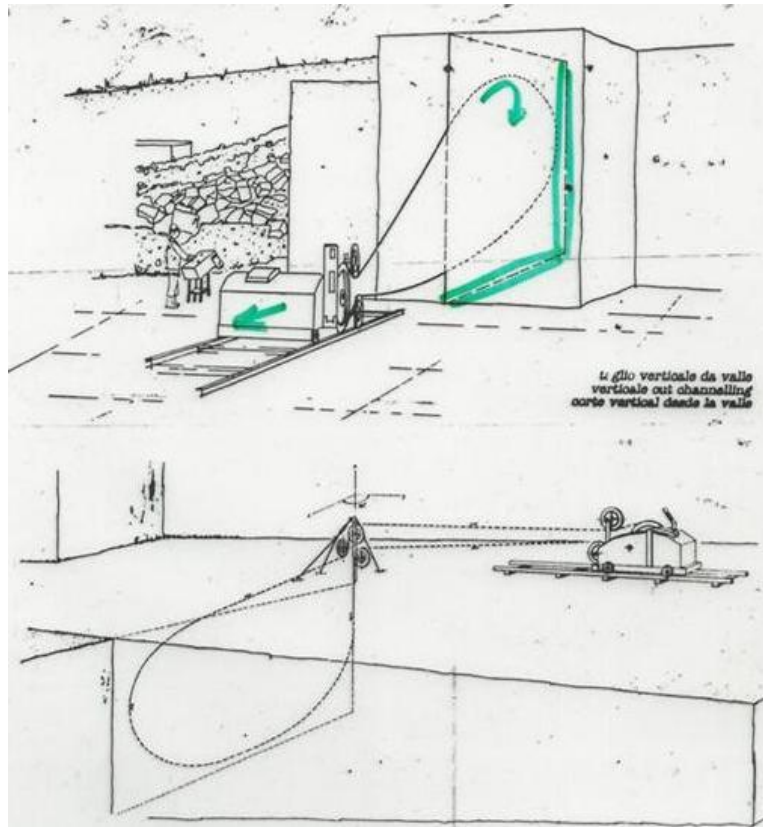


(α)

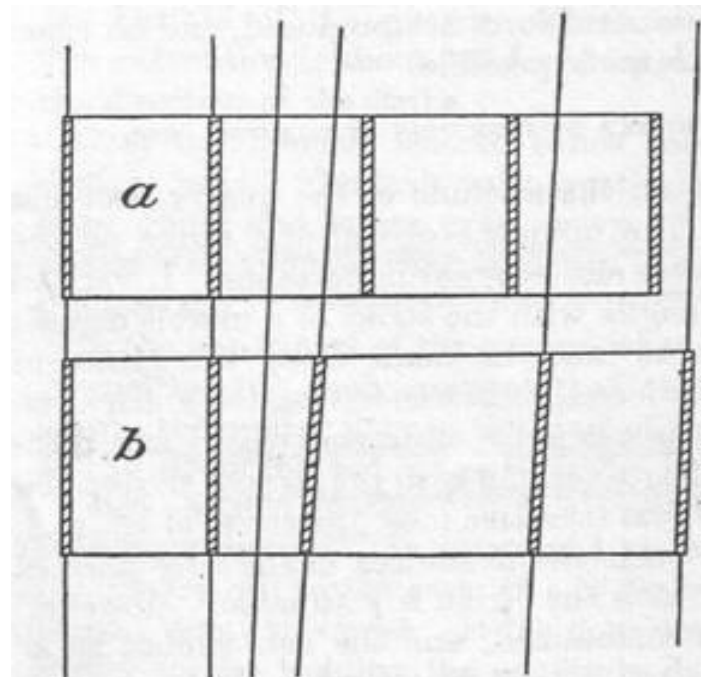


(β)

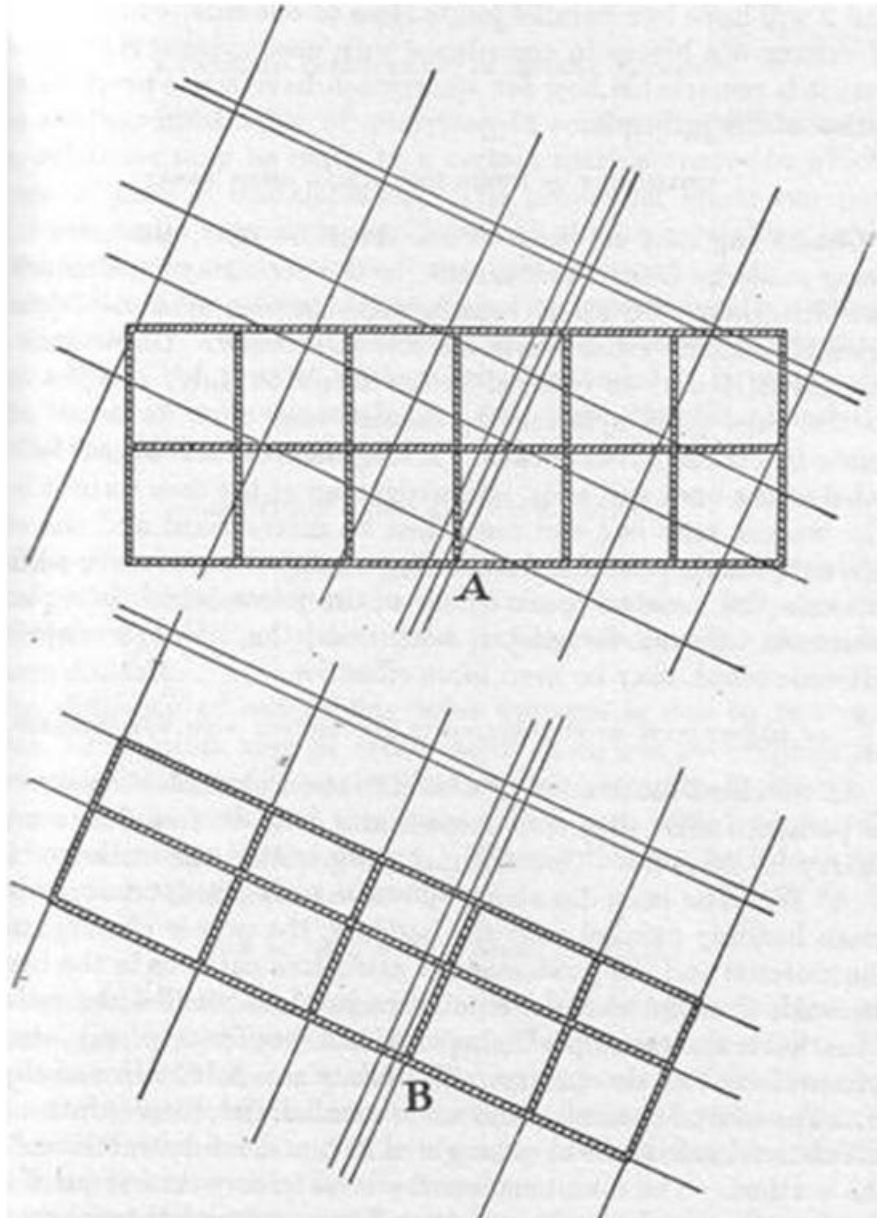
Σχ. 3.12. Εξόρυξη ογκομαρμάρων σε μέτωπα μορφής βαθμίδος με την βοήθεια την συρματοκοπής διαμαντέ, (α) ανόρυξη αλληλοτεταγμένων διατρημάτων και (β) πέρασμα του σύρματος από τα διατρήματα και την τροχαλία της συρματοκοπής.



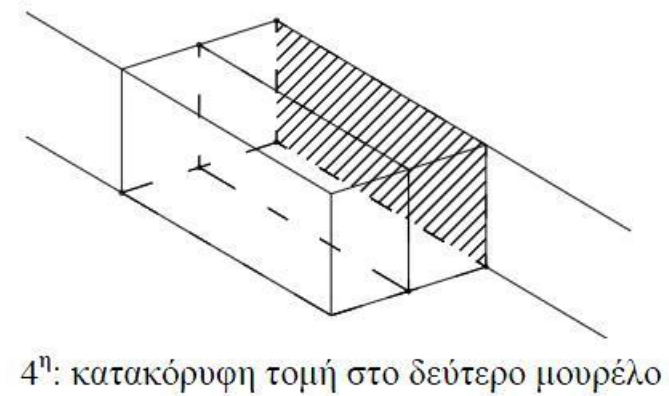
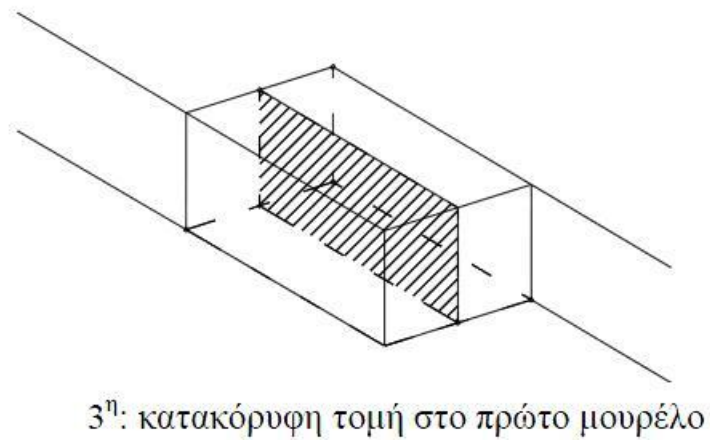
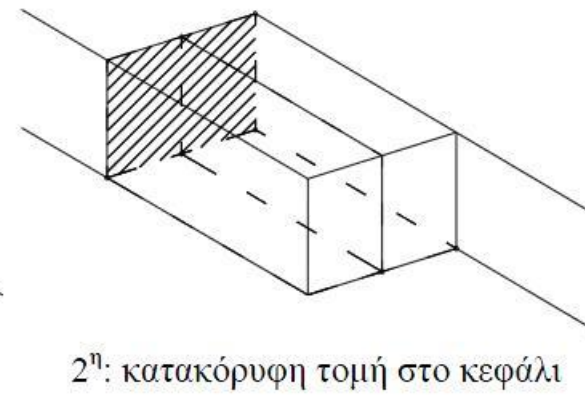
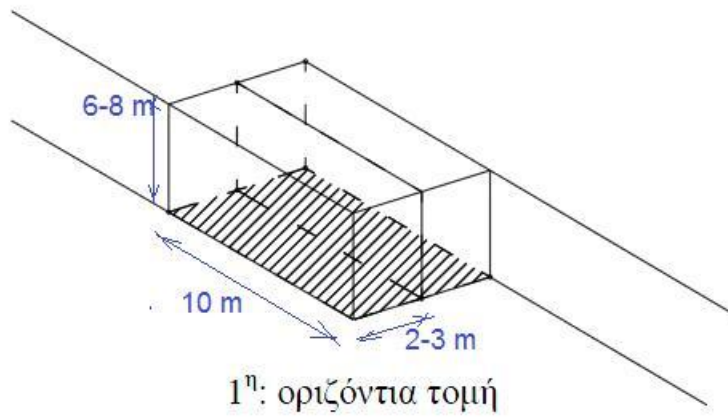
Σχ. 3.13. Κατακόρυφη εντομή με τη συρματοκοπή στο δάπεδο της βαθμίδας (πάνω εικόνα) και τη συρματοκοπή στο φρύδι της βαθμίδας (κάτω εικόνα) (Pandolfi, 1991).



Σχ. 3.14. (α) Ιδίες αποστάσεις των διαδοχικών εντομών με συρματοκοπή (με συνεχείς γραμμές παριστώνται οι φυσικές ασυνέχειες του μαρμάρου ενώ τα ίχνη των εντομών της συρματοκοπής με παχιές γραμμές) και (β) κυμαινόμενες αποστάσεις διαδοχικών εντομών με συρματοκοπή για την αποφυγή κοψίματος υγιών όγκων μαρμάρου.



Σχ. 3.15. Κάτοψη του φρυδιού ή δαπέδου ορθής βαθμίδας όπου οι φυσικές ασυνέχειες φαίνονται με συνεχείς γραμμές και τα ίχνη των εντομών της συρματοκοπής με παχιές γραμμές, (A) λάθος προσανατολισμός των κατακορύφων εντομών με συρματοκοπή, και (B) ορθός τρόπος προσανατολισμού των εντομών με συρματοκοπή.



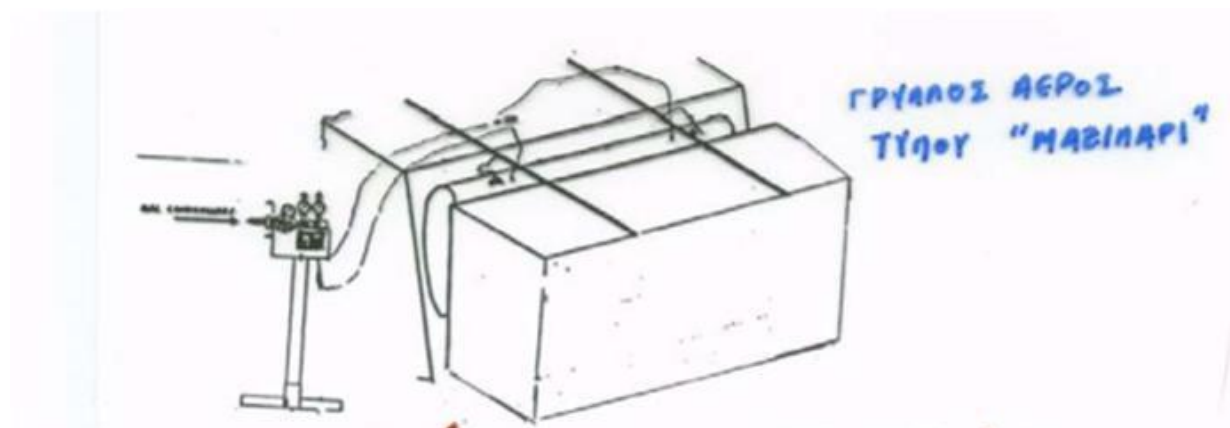
Σχ. 3.16. Τυπική ακολουθία τομών με συρματοκοπή για την αποκόλληση πάγκων από το μητρικό πέτρωμα και τυπικές διαστάσεις τομών.

3.7 Αποκόλληση των εξορυχθέντων όγκων και μεταφορά τους στην πλατεία

Καταρχήν εξορύσσεται όγκος μεγαλύτερων διαστάσεων από εκείνον που μπορεί να μεταφερθεί. Στη συνέχεια τεμαχίζεται σε μικρότερους όγκους με χρήση εκρηκτικών υλών ή με άλλη μέθοδο κοπής (λ.χ. συρματοκοπή). Ενδεικτικές διαστάσεις ενός μεγάλου όγκου είναι 5 m ύψος και 3.5 m μήκος κατά την έννοια του μουρέλου και 6m βάθος. Αφού το μπλοκ του μαρμάρου (πάγκος) έχει «λυθεί» πρέπει να μετακινηθεί ανεξάρτητα του πόσο μεγάλο είναι. Στο παρελθόν αυτή η διαδικασία γινόταν με τα χέρια, μετά με το βίντσι και τώρα η απόσπαση-μετακίνηση των ογκομαρμάρων γίνεται με την βοήθεια γρύλου ή με τη βοήθεια εκσκαφέα ανεστραμμένου κάδου με εκσκαπτικό εργαλείο Ripper όπως φαίνεται στις παρακάτω Σχ. 3.17, 3.18. (Εξαδάκτυλος 2007).



Σχ. 3.17. Μετακίνηση μπλοκ με χρήση τσάπας (Πηγή Εξαδάκτυλος 2007)



Σχ. 3.18. Αποκόλληση με γρύλλο αέρος (μαξιλάρι) (Πηγή Εξαδάκτυλος 2007)

3.8 Ορθογωνισμός

Η πρώτη φάση επεξεργασίας των εξορυγμένων ογκομαρμάρων είναι ο ορθογωνισμός τους. Ο ορθογωνισμός μπορεί να γίνει, είτε στην πλατεία του λατομείου, είτε στο εργοστάσιο πριν την εισαγωγή του ογκομαρμάρου στην πρώτη φάση της κυρίως επεξεργασίας του (σχίσσιμο). Για τον ορθογωνισμό στο λατομείο, είτε ορύσσονται πυκνές σειρές διατρημάτων διαμέτρου 33 mm και με σφήνες αποκολλείται το προς αποκοπή τμήμα, είτε χρησιμοποιείται συρματοκοπή πλατείας. Για τον ορθογωνισμό στο εργοστάσιο χρησιμοποιούνται:

- Δίσκος κοπής: Μεγάλος περιστρεφόμενος δίσκος με κοπτικά στοιχεία στην περιφέρειά του, αποτελούμενα από κράμα, που φέρει τεχνητά διαμάντια
- Μονόλαμο: Σταθερά εγκαταστημένο πριόνι μιας λάμας, που παλινδρομεί.
- Μονόσυρμα: Ατέρμον σύρμα διαμαντέ περιστρεφόμενο



Σχ. 3.17. Ορθογωνισμός μαρμάρου στο εργοστάσιο με μονόλαμο

3.9 Παραγωγή ενδιάμεσων προϊόντων

Τα ενδιάμεσα προϊόντα μαρμάρου είναι:

Οι ακατέργαστες πλάκες μαρμάρου: Παράγονται από ογκομάρμαρα με κοπή τους (σχίσσιμο) σε τελάρο. Το τελάρο αποτελεί σιδερένιο πλαίσιο, που παλινδρομεί. Στο τελάρο αυτό είναι προσαρμοσμένες πολλαπλές παράλληλες λάμες με κοπτικά στοιχεία, οι οποίες σε επαφή με το μάρμαρο προκαλούν την κοπή του σε ακατέργαστες πλάκες.



Σχ. 3.5. Τελάρο πολλαπλών λαμών σε λειτουργία

Μπαστούνια μαρμάρου: Προκύπτουν από την κοπή ξωφαριών σε διάταξη ενός οριζόντιου και ενός ή περισσοτέρων κατακόρυφων περιστρεφόμενων δίσκων κοπής. Η διάταξη αυτή ονομάζεται «οριζόντια –κάθετα».

Η περαιτέρω επεξεργασία των ενδιαμέσων προϊόντων συνεχίζεται, είτε στο εργοστάσιο μέχρι την παραγωγή τελικών προϊόντων, είτε σε μικρότερες μονάδες επεξεργασίας (μαρμαρογλυφεία), οι οποίες κυρίως ειδικεύονται στην κατασκευή μνημείων.



Σχ. 3.6. Διάταξη κοπής "οριζόντια – κάθετα"

3.10 Παραγωγή τελικών προϊόντων

Η παραγωγή των τελικών προϊόντων συντελείται σε δύο φάσεις.

Πρώτη φάση: Τα προϊόντα παίρνουν το τελικό τους σχήμα. Για την παραγωγή πλακιδίων χρησιμοποιούνται διατάξεις, που φέρουν μικρούς δίσκους, οι οποίοι μπορούν να κόβουν σε διάφορα επίπεδα, με την περιστροφή της γέφυρας επί της οποίας εδράζονται. Για ειδικά προϊόντα χρησιμοποιούνται πιο σύνθετα μηχανήματα, όπως CNC τόρνοι και φρέζες.

Δεύτερη φάση: Στη φάση αυτή γίνεται το φινίρισμα, δηλαδή το «μπιζουτάρισμα», η λείανση και η στίλβωση. Μπιζουτάρισμα ονομάζεται η εξομάλυνση των ακμών των πλακιδίων με τρόχισμα. Στα εργοστάσια μαρμάρου η λείανση και η στίλβωση πλακών μαρμάρου συντελούνται στο ίδιο μηχάνημα και σε ενιαία διεργασία. Οι πλάκες τοποθετούνται σε μεταφορική ταινία και

υφίστανται λείανση - στίλβωση από περιστρεφόμενες λειαντικές ή στίλβωτικές κεφαλές.

Τα τελικά προϊόντα τοποθετούνται σε παλέτες και οδεύουν προς την αποθήκη του εργοστασίου για την περαιτέρω εμπορική τους διάθεση.

3.11 Προστασία του περιβάλλοντος

Τα μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος συνίστανται κύρια στην ακριβή τήρηση και υλοποίηση της ΑΕΠΟ. Ειδικότερα σοβαρά ζητήματα αποτελούν:

1. Η αποκατάσταση των θέσεων των λατομείων, στις οποίες έχει ολοκληρωθεί η εκμετάλλευση, για την ελαχιστοποίηση του τελικού περιβαλλοντικού αποτυπώματος της εκμετάλλευσης. Το χώμα, το οποίο εξορύσσεται κατά την αποκάλυψη του κοιτάσματος θα πρέπει ξεχωριστά να αποτίθεται, ώστε να είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίησή του κατά τη φάση αποκατάστασης του δασικού αποθέματος στις τελικές βαθμίδες της εκμετάλλευσης.
2. Η χρησιμοποίηση των απορριμμάτων της εκμετάλλευσης (λατύπες) και της επεξεργασίας (ρετάλια), για την παραγωγή εμπορεύσιμων προϊόντων, όπως μαρμαρόσκονη και μαρμαροψηφίδες από τα λευκά μάρμαρα ή αδρανή υλικά από τα έγχρωμα μάρμαρα.
3. Η διατήρηση αδιατάρακτης της επιφάνειας του εδάφους στις περιπτώσεις υπόγειας εκμετάλλευσης και η εξασφάλιση των υπόγειων χώρων, ώστε μετά την ολοκλήρωση της εκμετάλλευσης να είναι κατάλληλοι για να μεταφερθούν σε αυτούς επιφανειακές σήμερα χρήσεις. Έτσι θα προκύψουν επιφανειακοί ελεύθεροι χώροι, ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές.
4. Η ανακύκλωση και επανάχρηση του νερού στα εργοστάσια επεξεργασίας του μαρμάρου και η διαχείριση της λάσπης (μουργκάνα), που προκύπτει από τις μονάδες καθαρισμού. Σχεδόν κάθε φάση επεξεργασίας σε εργοστάσιο μαρμάρου απαιτεί συνεχή ροή νερού, το οποίο ψύχει το μάρμαρο και τα μηχανικά στοιχεία προσβολής του μαρμάρου και απομακρύνει τα θραύσματα της επεξεργασίας,

ώστε η προσβολή να γίνεται πάντα σε υγιές μάρμαρο. Η ανακύκλωση του νερού, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων του, δεν είναι μόνο περιβαλλοντικό ζήτημα, αλλά και οικονομικό. Ο καθαρισμός μπορεί να γίνεται σε διαδοχικές δεξαμενές ελεύθερης καθίζησης ή πιο αποτελεσματικά σε μονάδες εξαναγκασμένης καθίζησης των αιωρούμενων σωματιδίων μαρμάρου με χρήση κροκιδωτικών.



Σχ. 3.7. Μονάδα καθαρισμού νερού με εξαναγκασμένη καθίζηση. Διακρίνεται σωρός στερεού απορρίμματος (μουργκάνα)

Καταλήγοντας,, οι υπαίθριες εκμεταλλεύσεις γενικά θεωρείται ότι παρουσιάζουν τα κάτωθι πλεονεκτήματα σε σχέση με τις υπόγειες:

- Δυνατότητα εκλεκτικής εκμετάλλευσης (υπό προϋποθέσεις)
- Υψηλός συντελεστής απόληψης
- Χαμηλότερο κόστος εξόρυξης
- Δυνατότητα παραγωγής μεγάλων διαστάσεων όγκων κατάλληλων για ειδικές χρήσεις
- Ευελιξία στην παραγωγή

Τα βασικά μειονεκτήματα των υπαιθρίων έναντι των υπογείων εκμεταλλεύσεων είναι:

- Άμεση επίδραση καιρικών συνθηκών
- Αρνητική επίδραση επί του φυσικού περιβάλλοντος τόσο από την εξόρυξη όσο και από την απόθεση των αγόνων.

Ο δεύτερος παράγοντας είναι καθοριστικής σημασίας και μπορεί να αποτελέσει ένα ακόμη κριτήριο, σε συνδυασμό με το οικονομικό κριτήριο, για την επιλογή υπόγειας εκμετάλλευσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4 Υπόγεια εκμετάλλευση

4.1 Γενικά

Η υπόγεια εκμετάλλευση μαρμάρων δεν εφαρμόσθηκε για πρώτη φορά στην Ελλάδα την τελευταία 25-ετία. Εκλεκτής ποιότητας μάρμαρα υφίσταντο υπόγειο εκμετάλλευση και κατά την αρχαιότητα. Υπόγειες εκμεταλλεύσεις ελάμβαναν χώρα στη νήσο Πάρο και στην περιοχή Kusini Tere πλησίον της αρχαίας Εφέσου στη Μικρά Ασία. Οι οποίες υπόγειες εκμεταλλεύσεις ήταν πλησίον ή σε συνέχεια υπαίθριων εκμεταλλεύσεων και εξορύσσονταν δε από αυτές άριστης ποιότητας λευκά μικροκρυσταλλικά μάρμαρα κατάλληλα για την κατασκευή γλυπτών έργων.

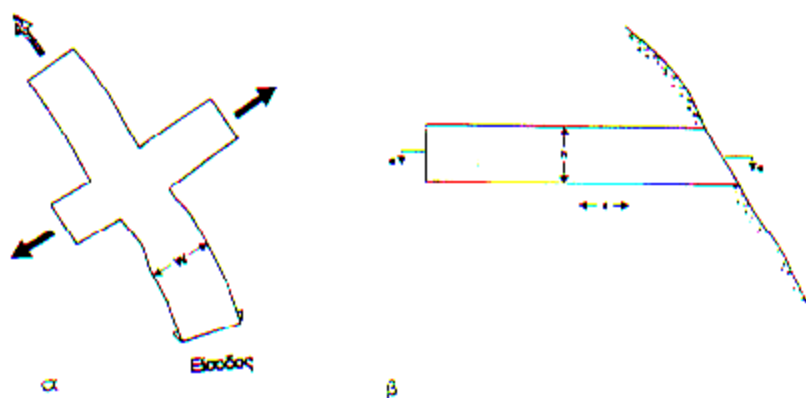
4.2 Τεχνική της υπόγειας εκμετάλλευσης μαρμάρων

Η μέθοδος που εφαρμόζεται στην υπόγειο εκμετάλλευση μαρμάρου είναι εκείνη του συνδυασμού των θαλάμων και στύλων με κανονική ή ακανόνιστη διάταξη των τελευταίων – στην πραγματικότητα στις περισσότερες περιπτώσεις πρόκειται για τη μέθοδο κατά μέτωπον προσβολής (breast store) με ορθές βαθμίδες και εγκατάλειψη στύλων - για την προπαρασκευή του κοιτάσματος και των ορθών βαθμίδων κατά την εξόφληση του. Η μέθοδος είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη χρήση ειδικού αλυσοπρίονου και αδαμαντοφόρου συρματοκοπής, τα οποία αποτελούν τα βασικά μηχανήματα εξορύξεως του ογκομαρμάρου από τη φυσική του θέση. Οι αφημένοι στύλοι ακολουθούν κατά κανόνα ακανόνιστη διάταξη, λόγω του ότι τα κοιτάσματα μαρμάρου συνήθως χαρακτηρίζονται από ανομοιογένεια των ασυνεχειών και άλλων ατελειών στη μάζα τους. Τις θέσεις των στύλων στο χώρο καθορίζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος (χρώμα, ανισοτροπία, ανομοιογένεια κ.ά.), όπως αυτά προκύπτουν κατά την προπαρασκευή του, η οποία έχει και διερευνητικό χαρακτήρα σε συνδυασμό με τα μηχανικά χαρακτηριστικά της οροφής και το βάθος του κοιτάσματος από την επιφάνεια.

Αναλυτικότερα με βάση τα κοιτασματολογικά στοιχεία του μαρμαροφόρου κοιτάσματος, που έχουν προκύψει από τη γεωλογική μελέτη και τη έρευνα της περιοχής, η οποία συνοδεύεται απαραίτητως από αριθμό γεωτρήσεων πυρηνοληψίας, επιλέγεται στο προϋπάρχον συνήθως υπαίθριο λατομείο η κατάλληλη θέση προσβολής του κοιτάσματος στην υψηλότερη δυνατή θέση των βαθμίδων, που θα αποτελέσει την αφετηρία της υπόγειας εκμεταλλεύσεως. Κατόπιν ακολουθεί η προσβολή του κοιτάσματος από μια ή περισσότερες θέσεις στο ίδιο υψόμετρο, προκειμένου να γίνει η κατάλληλη προπαρασκευή και να ακολουθήσει η εξόφληση του (Εξαδάκτυλος 2007).

4.2.1 Προπαρασκευή του κοιτάσματος

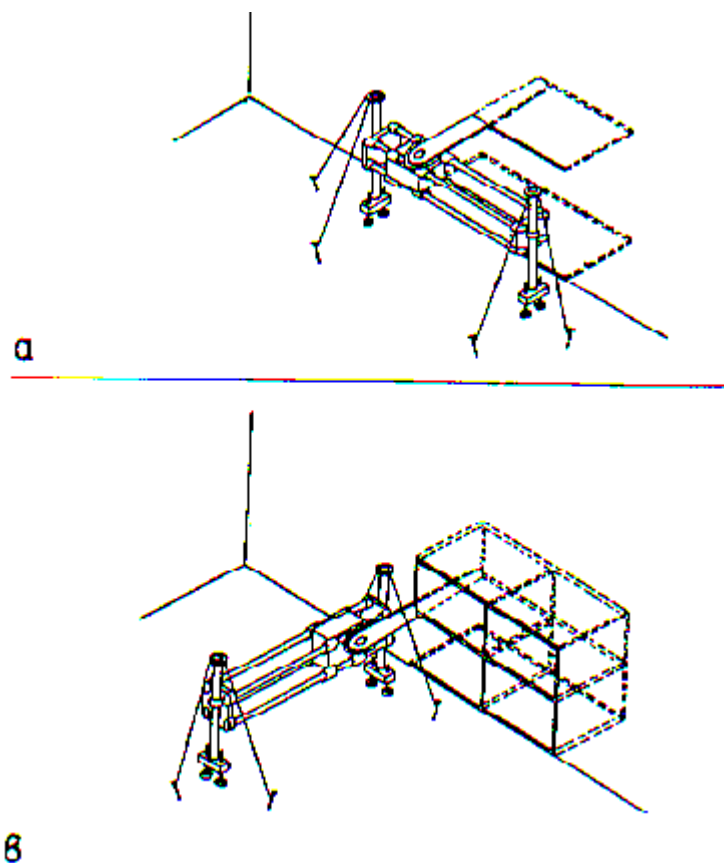
Το μαρμαροφόρο κοίτασμα προσβάλλεται από την επιφάνεια υπό μορφή θαλάμου (η έννοια του θαλάμου καλύπτει και εκείνη της στοάς) πλάτους μεταξύ 4 και 8 m και ύψους 2 έως 3 m (Σχ. 4.1). Η εκάστοτε προσχώρηση του θαλάμου πραγματοποιείται με την περιμετρική κοπή του μετώπου, που καθορίζουν οι διαστάσεις του θαλάμου και σε τέτοιο βάθος, που καθορίζουν οι δυνατότητες του αλυσοπρίονου.



Σχ. 4.1. Προπαρασκευή μαρμαροφόρου κοιτάσματος για υπόγεια εκμετάλλευση. Διάνοιξη στοάς προσπελάσεως. (α) Κάτοψη, (β) Τομή (Πηγή: Εξαδάκτυλος 2007)

Η κοπή αρχίζει από το δάπεδο, όπως δείχνει και το Σχ. 4.2, με τη διάνοιξη εγκοπής πάχους 43 mm και βάθους μεταξύ 2 έως 2,5 m ανάλογα με τις δυνατότητες του αλυσοπρίονου. Η εργασία επαναλαμβάνεται με τη διάνοιξη παρόμοιας εγκοπής στην οροφή και στη συνέχεια στη δεξιά και αριστερή

πλευρά του θαλάμου. Το εύρος αυτό της εγκοπής επιτρέπει, με τη βοήθεια κατάλληλου φωτισμού και προηγούμενο καθαρισμό της εγκοπής, τον οπτικό ποιοτικό έλεγχο του προς εξόρυξη όγκου πίσω από το μέτωπο.



Σχ. 4.2. (α) Διάνοιξη οριζόντιων εγκοπών στο δάπεδο και την οροφή του θαλάμου.
(β) Διάνοιξη εγκοπών στη δεξιά και αριστερή πλευρά του θαλάμου, καθώς και μια στο μέσον λόγω μεγάλου πλάτους της στοάς (Πηγή: Εξαδάκτυλος 2007)

Η διάνοιξη των οριζοντίων εγκοπών στο δάπεδο και την οροφή γίνεται σε δυο φάσεις, λόγω του περιορισμένου χώρου του θαλάμου αφενός και των κατασκευαστικών στοιχείων του αλυσοπρίονου αφετέρου. Εάν, έξαλλου, το πλάτος του θαλάμου υπερβαίνει τα 4 m είναι σύνηθες στο μέσον του να διανοίγεται τρίτη κατακόρυφη εγκοπή στο ίδιο ακριβώς βάθος με τις άλλες δυο. Το αλυσοπρίονο υπογείων μοιάζει με τον εγκοπτήρα γαιάνθρακος. Συνίσταται από ατέρμονα ονυχοφόρο άλυσσο με όνυχες από σκληρό μέταλλο, που κινείται κατά μήκος των πλευρών βραχίονα. Ο τελευταίος στηρίζεται κατάλληλα στο σώμα του μηχανήματος από το οποίο λαμβάνει κίνηση η ονυχοφόρος άλυσσος. Με τη βοήθεια τηλεσκοπικών ορθοστατών, που εδράζουν στο δάπεδο και την

οροφή του θαλάμου, ρυθμίζεται το ύψος του μηχανήματος, ώστε να δύναται να επιτευχθεί η διάνοιξη εγκοπής σε διάφορα ύψη οριζοντίως η καθέτως. Μερικά τεχνικά χαρακτηριστικά του αλυσοπρίονου υπογείων, που κατασκευάζει ο Γερμανικός οίκος Koefman δίνονται στον Πίνακα 4.1. Η επιτυγχανόμενη ταχύτητα κοπής κυμαίνεται από 3 - 5 m²/h ανάλογα με την σκληρότητα και τα φθοροποιά χαρακτηριστικά του μαρμάρου, και είναι συγκρίσιμη προς εκείνη της αδαμαντοφόρου συρματοκοπής.

Πίνακας 4.1: Ανάλυση μηχανολογικού εξοπλισμού (Πηγή Εξαδάκτυλος 2007)

Βάρος	500 kg
Εγκατεστημένη ισχύς	42,5 kW
Ταχύτητα λειτουργίας	0,44 cm/min
Πλάτος εγκοπής	42mm
Περιστροφή βραχίονα	360°
Ταχύτητα αλύσου	0 - 2,1 m/s
Ωφέλιμο βάθος κοπής	2,3 m (μέγιστο)
Ύψος θαλάμου	3 m (μέγιστο)

Μετά την ολοκλήρωση της περιμετρικής διάνοιξης των εγκοπών επιχειρείται η απόσπαση του όγκου από το μητρικό πέτρωμα με τη βοήθεια υδραυλικών σάκων και γρύλων, όπως δείχνει η Σχ. 4.3, οι οποίοι τοποθετούνται εντός της εγκοπής της οροφής. Η εργασία αυτή στέφεται συνήθως από επιτυχία μόνο όταν εγκαρσίως του προς απόσπαση όγκου διέρχεται ασυνέχεια, οπότε ο όγκος αποσπάται επί αυτής ανεξαρτήτως βάθους εγκοπής. Τέτοιες περιπτώσεις συναντώνται σε μαρμαροφόρα κοιτάσματα χαμηλού RQD μεταξύ 40-60% κατά την έννοια της προχωρήσεως. Εάν δεν υφίσταται ασυνέχεια σε όλο το βάθος της εγκοπής, τότε η εξόρυξη του προπαρασκευασθέντος όγκου γίνεται με τη διάνοιξη σε επαφή με το θάλαμο και από τη μια πλευρά του βοηθητικής στοάς ύψους όσο εκείνο του θαλάμου και πλάτους 0,60 - 1,0 m. με την ολοκλήρωση της διανοίξεως της στοάς αυτής τοποθετείται κατάλληλα με τη βοήθεια ορθοστάτου που φέρει τροχαλίες αποκλίσεως, το αδαμαντοφόρο σύρμα της συρματοκοπής (Σχ. 4.3,β) (Εξαδάκτυλος 2007).



(α)



(Βώλακας)
(β)

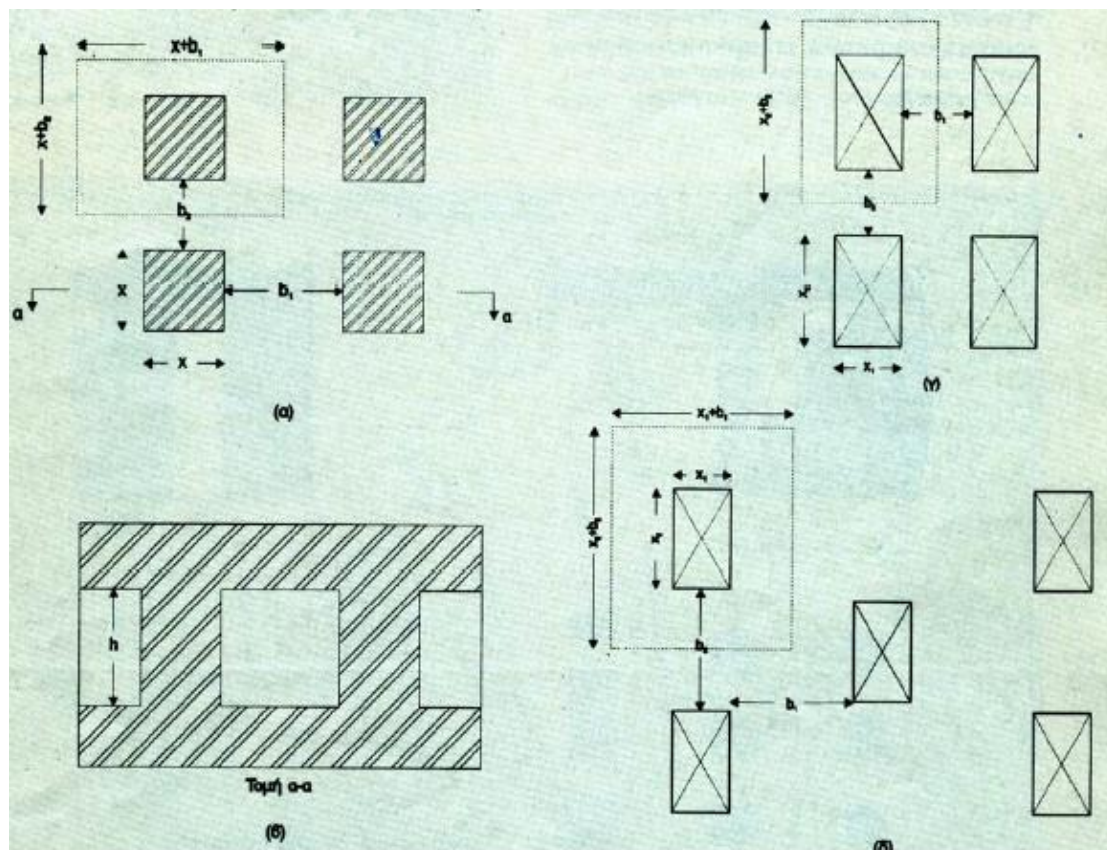
Σχ. 4.3. Απόσπαση του ογκομαρμάρου από τη φυσική του θέση (α) σε πρώτη φάση με τη βοήθεια υδραυλικών μέσων (σάκων και γρύλων), που τοποθετούνται εντός των εγκοπών και σε (β) δεύτερη φάση με τη συρματοκοπή (Πηγή: Εξαδάκτυλος 2007)

Στη συνέχεια αποκόπτεται ο όγκος από την τελευταία επιφάνεια επαφής του με το πέτρωμα και καθίσταται πλέον έτοιμος προς απομάκρυνση από το μέτωπο και τη φόρτωση του με κατάλληλο εξοπλισμό σε φορτηγό αυτοκίνητο.

Η εργασία αυτή επαναλαμβάνεται με την αφαίρεση του επόμενου πρίσματος ογκομαρμάρου στις διαστάσεις του θαλάμου προσπελάσεως κ.ο.κ., ώστε τελικώς με τη διάνοιξη και θαλάμων εγκαρσίως προς τον αρχικό θάλαμο και

ανάλογα με τα κοιτασματολογικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του μαρμάρου να σχηματισθεί ένα δίκτυο θαλάμων και στύλων συμμετρικά ή όχι ανεπτυγμένο προς τον κεντρικό θάλαμο. Τούτο φθάνει σε μήκος μερικές εκατοντάδες μέτρα ανάλογα με την έκταση που θα λάβει η υπόγειος εκμετάλλευση και επικοινωνεί με την επιφάνεια σε ένα ή περισσότερα σημεία πλέον εκείνου της αρχικής προσβολής.

Η διάταξη και οι διαστάσεις των στύλων είναι τέτοιες, ώστε να επιτρέπουν τη μεγίστη απόληψη εμπορευσίμων όγκων μαρμάρου υπό τις καλύτερες δυνατές συνθήκες ασφαλείας των εργαζομένων στους υπόγειους χώρους. Στο Σχ. 4.4 (α και γ) παρουσιάζονται ο ορθογώνιος και στο Σχ. 4.4 (δ) ο διαγώνιος (ή τριγωνικός) τρόπος διατάξεως συστηματικών στύλων τετραγωνικής ή ορθογωνικής διατομής, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ανάλογα με τα δομικά χαρακτηριστικά της μάζας του μαρμάρου (λ.χ. ασυνέχειες, ανομοιογένειες, χρώμα κλπ.). Ούτως στην περίπτωση κατά την οποία η οροφή διασχίζεται από ασυνέχεια συγκεκριμένου προσανατολισμού οι στύλοι εγκαταλείπονται σε διαγώνια διάταξη και σε διεύθυνση ίδια με εκείνη των κύριων συνεχειών έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η περιοχή της οροφής χωρίς υποστήριξη. Το ύψος των στύλων μπορεί να φθάσει και τα 50 m (λ.χ. Carrara) εφόσον διατηρείται η ευστάθεια τους (Εξαδάκτυλος 2007).

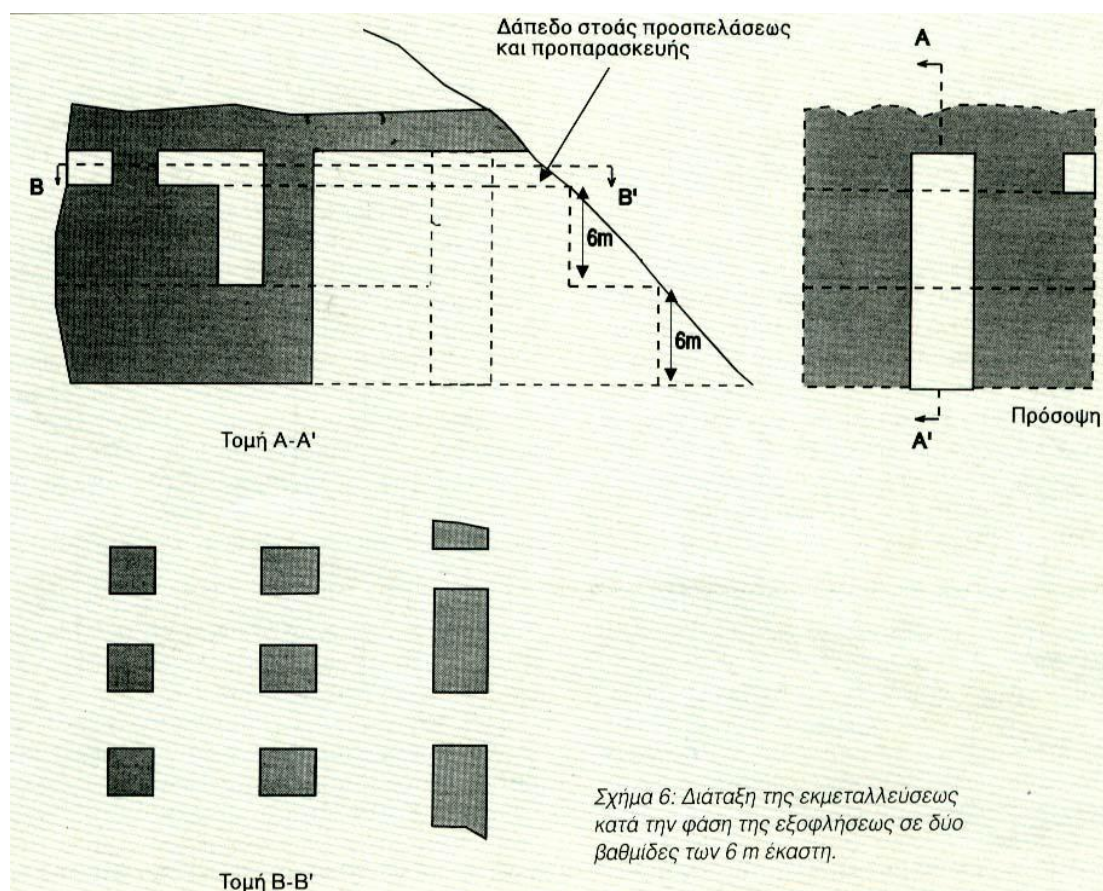


Σχ. 4.4. Διάταξη θαλάμων και στύλων σε υπόγεια εκμετάλλευση μαρμάρου (α και β) κάτοψη και τομή τετράγωνων στύλων, (γ και δ) ορθογωνικών στύλων σε τετραγωνική και τριγωνική διάταξη αντίστοιχα (Πηγή: Εξαδάκτυλος 2007)

4.2.2 Εξόφληση του κοιτάσματος

Μετά την ολοκλήρωση των έργων της προπαρασκευής αρχίζει η εξόφληση του κοιτάσματος. Αυτή πραγματοποιείται με την εξόρυξη ογκομαρμάρων μορφής ορθογώνιων πρισμάτων με τη διαμόρφωση υπογείου μετώπου ορθής βαθμίδας κατά την οποία δημιουργείται δεύτερο δάπεδο εργασίας κάτωθεν του πρώτου. Το δεύτερο αυτό δάπεδο είναι δυνατόν να προκύψει με δυο τρόπους. Κατά τον πρώτο και απλούστερο τρόπο αρχίζοντας από την είσοδο της στοάς προσπελάσεως διανοίγονται περιμετρικά τρεις κατακόρυφες εγκοπές με χρήση συρματοκοπής, αφού έχει προηγηθεί, σε καθορισμένο ύψος κάτω από το δάπεδο της στοάς, η διάνοιξη οριζόντιας εγκοπής με τη χρήση αλυσσοπρίονου για την απόσπαση του πρώτου όγκου μαρμάρου από τη φυσική του θέση. Ακολουθεί η απομάκρυνση του διορυχθέντος όγκου και η επανάληψη των προηγούμενων εργασιών προς απόσπαση του επόμενου όγκου κ.ο.κ. Το ύψος

της σχηματιζόμενης βαθμίδας κυμαίνεται ευρύτατα μεταξύ ολίγων μέτρων (4- 6 m) μέχρι 10 ή περισσότερα μέτρα (Σχ. 4.5)



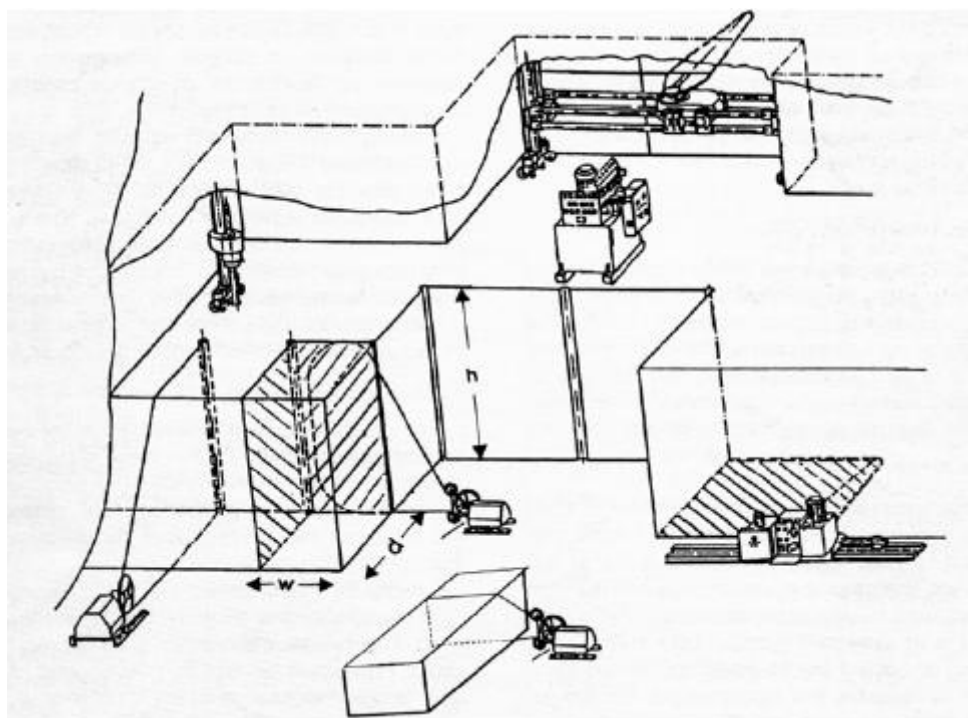
Σχ. 4.5. Διάταξη της εκμεταλλεύσεως κατά τη φάση της εξοφλήσεως σε δυο βαθμίδες των 6 m έκαστη (Πηγή: Εξαδάκτυλος 2007)

Η ανωτέρω μέθοδος χαρακτηρίζεται από σχετικά σημαντική διαταραχή του περιβάλλοντος, λόγω των μεγάλων ορθογωνίων ανοιγμάτων (παράθυρα), που διαμορφώνονται στην επιφάνεια του εδάφους, αλλά και από χαμηλό κόστος εκμετάλλευσης.

Κατά το δεύτερο τρόπο η εξόφληση δεν αρχίζει από την είσοδο του θαλάμου αλλά από κάποιο σημείο 5-10 m βαθύτερα, ώστε να αφεθεί στύλος προστασίας της επιφάνειας του εδάφους σημαντικού πάχους. Όπως γίνεται αντιληπτό, βασικό χαρακτηριστικό αυτού του τρόπου είναι η εξόρυξη του όγκου-κλειδί (key block), που χαρακτηρίζεται από μια μόνο ελεύθερη επιφάνεια και έχει ύψος 4 - 6 m. Ιδιαίτερη προσοχή λαμβάνεται κατά την εξόρυξη του, που γίνεται με έλξη προς τα επάνω, αφού προηγηθεί πυκνή περιμετρική διάτρηση και χρήση

λαμοσφηνών για τη δημιουργία των τεσσάρων ελεύθερων κατακόρυφων εγκοπών (εναλλακτικά, μπορεί να προηγηθεί η εκσκαφή καναλιού πλάτους 0,3 - 1,0 m σε πλευρά έντονης ρωγμάτωσης και κατόπιν η κοπή των υπολοίπων τριών κατακόρυφων επιφανειών με τη χρήση συρματοκοπής και τροχαλιών παρέκκλισης του σύρματος). Βεβαίως, η εκμετάλλευση με παρουσία οριζόντιας έως παραοριζόντιας στρωσιγενούς επιφάνειας του μαρμάρου, μπορεί να διευκολύνει σημαντικά την απόσπαση του εν λόγω όγκου. Στην περίπτωση που επιλεγεί ως σημείο εκκίνησης όγκος ή ζώνη ασυνέχειας του μαρμάρου, η εξόρυξη γίνεται ευκολότερα με προσοχή όμως για να μην <<πληγωθούν>> οι παρακείμενοι όγκοι εμπορεύσιμης αξίας. Ο τρόπος αυτός εξορύξεως, που καλείται <<κάτω από τον τοίχο>> (below the wall ή sotto tecchia), προχωρεί εγκαταλείποντας στύλους όπως αυτοί προδιαγράφονται από το προπαρασκευαστικό στάδιο, και μπορεί να συνεχισθεί προς τα κάτω με τη δημιουργία και τρίτου δαπέδου εργασίας μέχρι ορισμένο βάθος. Είναι προφανές ότι, εφόσον κατά το μεγαλύτερο μέρος το υπόγειο χαρακτηρίζεται από <<τυφλό>> δάπεδο (blind-bottomed), δημιουργούνται έντονα προβλήματα αερισμού. Τέλος για την συνέχιση σε μεγαλύτερο βάθος της εκμετάλλευσης καθίσταται πλέον αναγκαίο από κάποιο σημείο της επιφάνειας να διανοιχθεί δεύτερη στοά προσπελάσεων για τη διευκόλυνση των εργασιών εξόρυξης, αποσπάσεως από τη φυσική τους θέση και φορτώσεως των ογκομαρμάρων. Ο δεύτερος αυτός τρόπος εκμεταλλεύσεως παρέχει σαφώς καλύτερη οπτική προστασία του περιβάλλοντος, αλλά χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλό κόστος.

Η εξόρυξη των όγκων του μαρμάρου και στις δυο περιπτώσεις πραγματοποιείται με την συνδυασμένη χρήση του μεν αλυσοπρίονου για τη δημιουργία της οριζοντίου εγκοπής στο δάπεδο, της δε αδαμαντοφόρου συρματοκοπής για την κοπή του όγκου περιμετρικά. Για την επίτευξη περιμετρικής κοπής γίνεται χρήση αδαμαντοτρυπανιού, το οποίο ανοίγει τις κατάλληλες κατακόρυφες οπές δια των οποίων διέρχεται το αδαμαντοφόρο σύρμα της συρματοκοπής προκειμένου να αρχίσει την εργασία κοπής. Το Σχ. 4.6 καθιστά εύληπτο τον τρόπο εξορύξεως των κατακόρυφων αυτών ορθογωνίων πρισμάτων του μαρμάρου κατά τη φάση εξόφληση του κοιτάσματος.



Σχ. 4.6. Εξόρυξη όγκων μαρμάρου σχήματος ορθογώνιων πρισμάτων κατά την εξόφληση του κοιτάσματος με τη βοήθεια αλυσοπρίονου, αδαμαντοφόρου συρματοκοπής και γεωτρύπανου (Πηγή: Εξαδάκτυλος 2007)

Οι διαστάσεις των προς εξόρυξη όγκων μαρμάρου, που πάντοτε έχουν μορφή ορθογώνιων πρισμάτων, κυμαίνονται κατά πλάτος w μεταξύ 4 και 8 m, που αντιστοιχεί στο πλάτος της στοάς ή του θαλάμου προσπελάσεως, και καθ' ύψος h μεταξύ 4 - 6 m και σπανιότατα μέχρι 20 m, που είναι και το ύψος της βαθμίδας μέχρι σήμερα. Ως προς την τρίτη διάσταση του ορθογώνιου πρίσματος d , που είναι εκείνη προς την κατεύθυνση της πορείας της εκμεταλλεύσεως αυτή καθορίζεται από τις δυνατότητες του αλυσοπρίονου, που δεν υπερβαίνουν τα 2 - 3 m.

Η διακίνηση του εξορυχθέντος όγκου από την όρθια θέση του σε οριζόντια στο δάπεδο της βαθμίδας γίνεται με τη βοήθεια υδραυλικών σάκων και τροχαλιών μετά αλύσεων που ακυρώνονται στην οροφή ή με τη βοήθεια γερανών Derrick ορισμένης ακτίνας δράσεως και δυναμικότητας, καταλλήλως ακυρωμένων επί των στύλων. Μετά την τοποθέτηση του όγκου επί του δαπέδου, αυτός ορθογωνίζεται σε μικρότερους όγκους εμπορικών διαστάσεων με τη βοήθεια αδαμαντοφόρου συρματοκοπής ή με συνδυασμό πυκνής διατρήσεως και μηχανικών σφηνών. Η φόρτωση των μικρότερων πλέον όγκων γίνεται επί

τριαξονικών φορτηγών με τη βοήθεια συστήματος τροχαλιών και αλύσεων ή γερανού (Εξαδάκτυλος 2007).

Καταλήγοντας, οι υπόγειες εκμεταλλεύσεις γενικά θεωρείται ότι παρουσιάζουν τα κάτωθι πλεονεκτήματα σε σχέση με τις υπαίθριες:

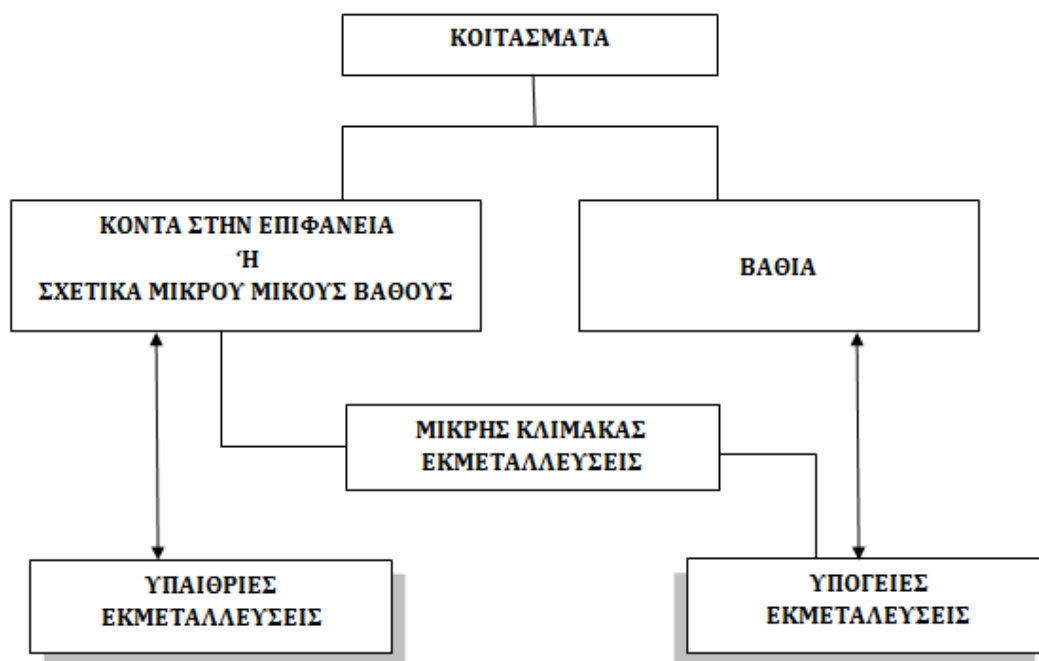
- Γρήγορη προσπέλαση σε περιοχές του κοιτάσματος με καλό μάρμαρο.
- Ελάχιστη επίδραση στο περιβάλλον δηλ. σχεδόν μηδενικό περιβαλλοντικό κόστος.
- Απρόσκοπτη εργασία ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών

Από την άλλη έχουν και τα κάτωθι μειονεκτήματα:

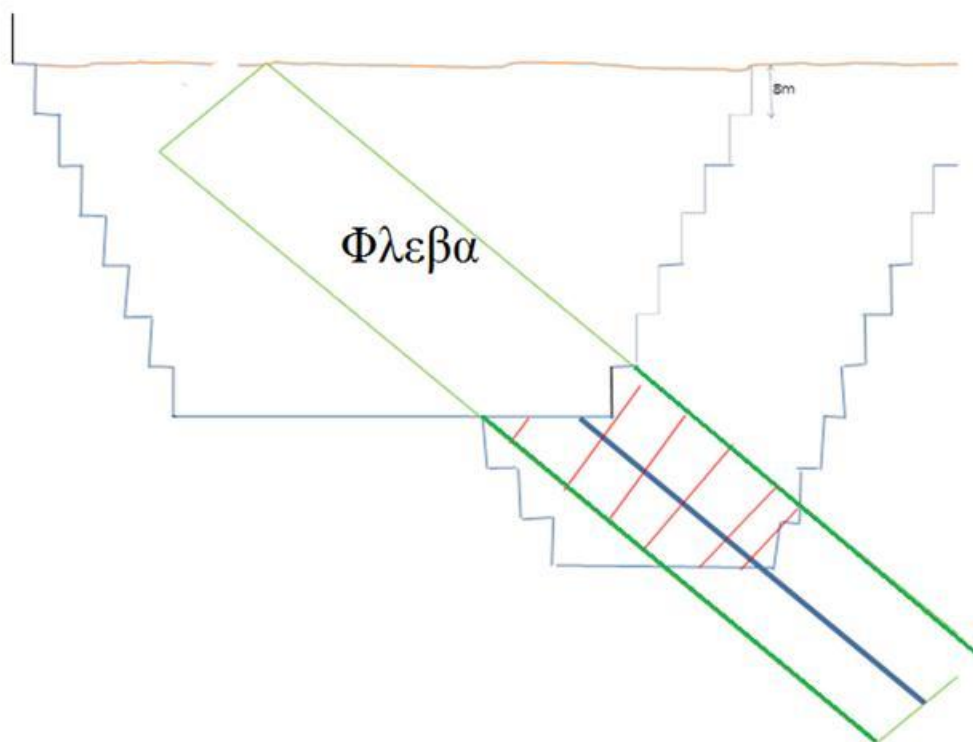
- Περιορισμένο χώρο που απαιτεί μεγάλη ευελιξία των μηχανημάτων.
- Μικρότερο ρυθμό παραγωγής σε σύγκριση με την υπαίθρια.
- Μεγαλύτερο κόστος εκμετάλλευσης.

4.3 Επιλογή μεταξύ επιφανειακής και υπόγειας εκμετάλλευσης

Συνήθως δεν τίθεται θέμα επιλογής μεταξύ επιφανειακής και υπόγειας εκμετάλλευσης (Σχ. 4.7) γι' αυτό άλλωστε και τα κοιτάσματα μαρμάρου στην Ελλάδα και αλλού εκμεταλλεύονται ως επί το πλείστον με υπαίθριες μεθόδους. Στην περίπτωση όμως που κριθεί αντι-οικονομική η υπαίθρια εκμετάλλευση σε τμήμα ενός υπαίθριου λατομείου – είτε λόγω αναγκαιότητας απομάκρυνσης μεγάλου όγκου στείρων, είτε λόγω μικρής αποληψιμότητας ογκομαρμάρων εμπορικών διαστάσεων και ποιότητας όπως φαίνεται σε μια περίπτωση στο Σχ. 4.8 - τότε πρέπει να γίνει η εκτίμηση της οικονομοτεχνικής σκοπιμότητας εφαρμογής της υπόγειας εκμετάλλευσης του κοιτάσματος στο περιχαραχθέν τμήμα που δεν ικανοποιεί τα κριτήρια της υπαίθριας εκμετάλλευσης.



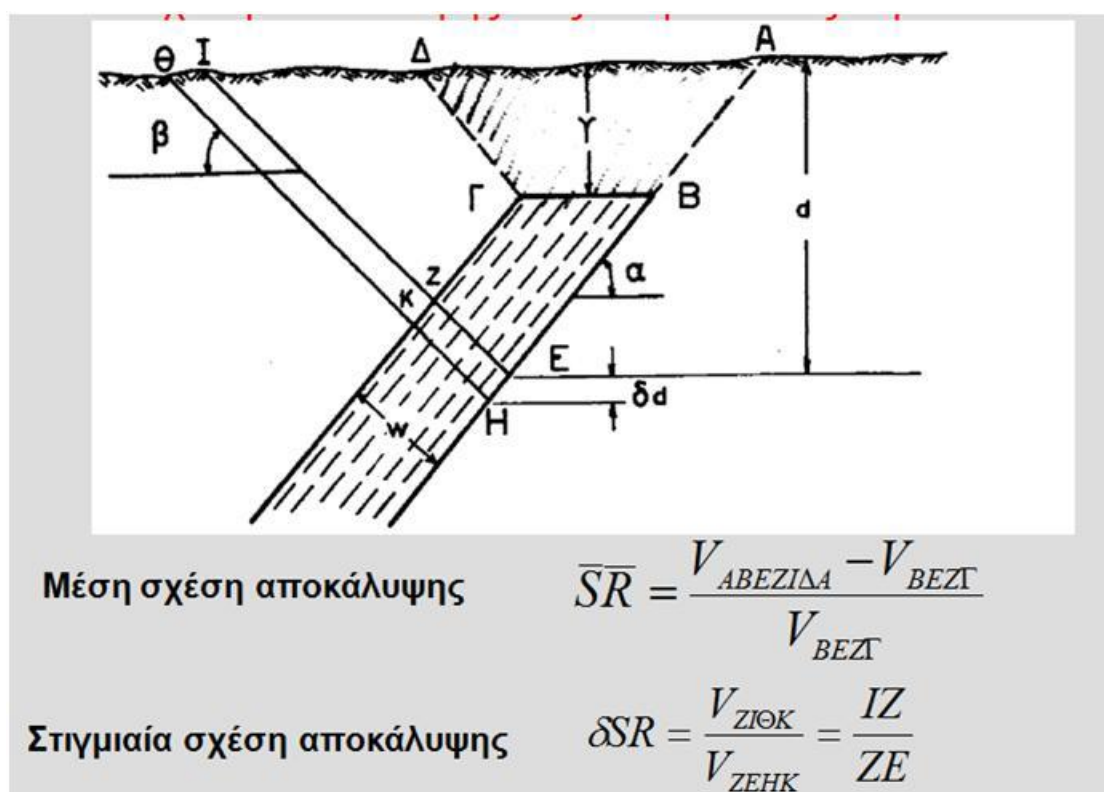
Σχ. 4.7. Επιλογή μεταξύ επιφανειακής και υπόγειας εκμετάλλευσης



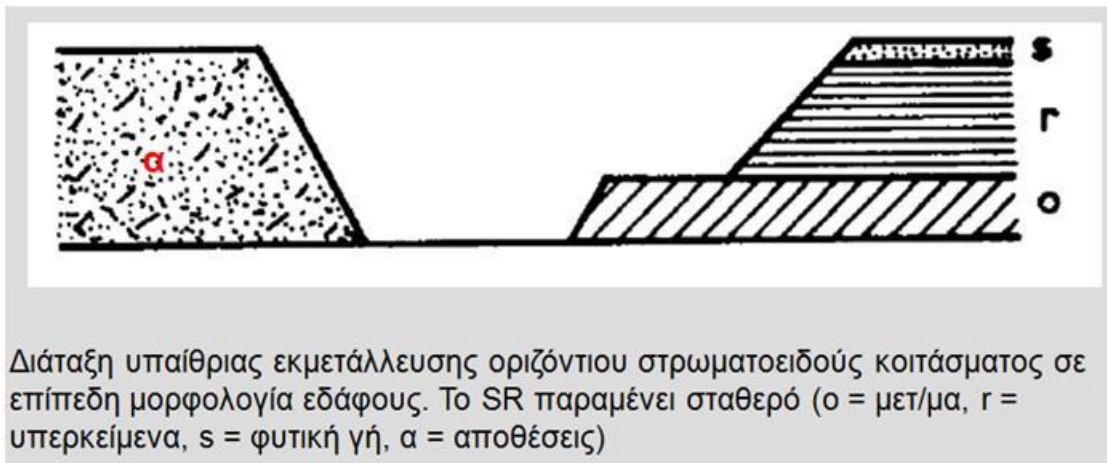
Σχ. 4.8. Φλέβα καλής ποιότητας μαρμάρου που κλίνει αντίρροπα με το πρανές της εκμετάλλευσης σε κατακόρυφη τομή κατά την κλίση της φλέβας.

Η παράμετρος που καθορίζει την προσπελασιμότητα ενός κοιτάσματος είναι η **Σχέση αποκάλυψης** (Stripping Ratio, SR) που ορίζεται ως ο όγκος στείρου (αγόνων)/όγκος μεταλλεύματος ή διακοσμητικού πετρώματος ή βιομηχανικού ορυκτού. Στο Σχ. 4.9 φαίνεται η διάκριση μεταξύ της μέσης SR σε κάποιο βάθος της εκμετάλλευσης και της στιγμιαίας SR.

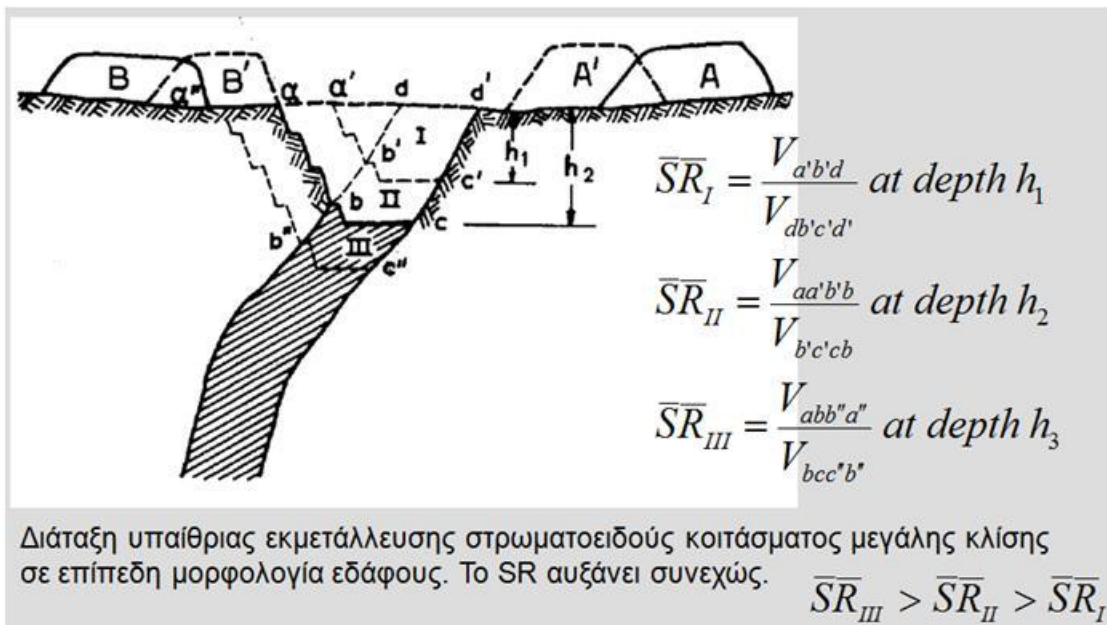
Γενικά, η Σχέση Αποκάλυψης αυξάνεται με την αύξηση του βάθους εκσκαφής, οπότε αυξάνεται και το συνολικό κόστος. Αντίθετα, το κόστος ενός υπόγειου έργου είναι εξ αρχής υψηλό χωρίς όμως να παρουσιάζει σημαντική αύξηση με τη μεταβολή του βάθους. Στην περίπτωση οριζοντίων στρωματοειδών κοιτασμάτων με επίπεδο τοπογραφικό ανάγλυφο επιφάνειας ο SR παραμένει σταθερός κατά την διάρκεια της εκμετάλλευσης όπως φαίνεται στο Σχ. 4.10. Αντιθέτως σε κεκλιμένη φλέβα με επίπεδο πάλι τοπογραφικό ανάγλυφο ο SR αυξάνει συνεχώς με το βάθος όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στο Σχ. 4.11.



Σχ. 4.9. Σχέση αποκάλυψης στις επιφανειακές εκμεταλλεύσεις



Σχ. 4.10. Περίπτωση σταθερού SR κατά την εκμετάλλευση.



Σχ. 4.11. Περίπτωση σταθερώς αυξανόμενου SR κατά την εκμετάλλευση

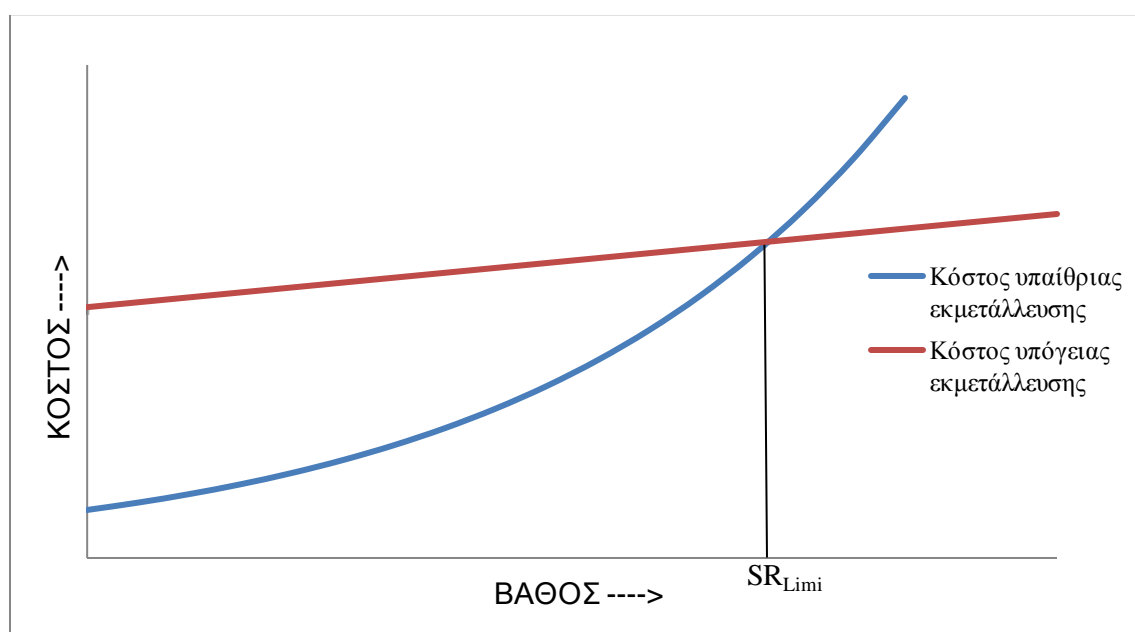
Στο Σχ. 4.12 παρουσιάζεται η μεταβολή του κόστους εκμετάλλευσης για υπόγεια και επιφανειακή εκσκαφή συναρτήσει της μεταβολής του βάθους. Το σημείο τομής των δύο καμπυλών καθορίζει το βάθος πέρα από το οποίο η επιφανειακή εκμετάλλευση καθίσταται ασύμφορη και θα πρέπει να προτιμηθεί η υπόγεια. Το σημείο αυτό προσδιορίζει την Οριακή σχέση αποκάλυψης Υπαίθριας Εκμετάλλευσης που συμβολίζεται με SR_{Limit} .

Για την εύρεση της SR_{Limit} μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την έννοια του μοναδιαίου κέρδους

$$P = S_p \nu F - SR a - b - c \text{ (€/t ore)}$$

Με τους εξής συμβολισμούς (όπου ο όρος μετάλλευμα χρησιμοποιείται με τη γενικότερη έννοια του οικονομικά ενδιαφέροντος πετρώματος)

- **P = κέρδος (profit) ανά μονάδα βάρους μετ/τος (€/t ore)**
- S_p = τιμή πώλησης του περιεχομένου μετάλλου στη μονάδα βάρους του μετ/τος (€/t)
- ν = περιεκτικότητα ή συγκέντρωση του μετ/τος σε μέταλλο (πχ gr/t ore = ppm) που μπορεί να μετρηθεί στο μεταλλείο με XRF.
- F = απολαμβανόμενη μετά τις διάφορες επεξεργασίες περιεκτικότητα σε χρήσιμο μέταλλο (%)
- SR = τρέχουσα σχέση αποκάλυψης (t (waste)/ t (ore))
- a = μοναδιαίο κόστος απομάκρυνσης υπερκειμένων (εξόρυξη – φόρτωση – αποκομιδή – απόθεση) (€/t waste)
- b = **μοναδιαίο κόστος εκμετάλλευσης** και μεταφοράς του μετ/τος μέχρι το εργοστάσιο (€/t ore)
- c = μοναδιαίο κόστος επεξεργασίας και λοιπές δαπάνες μετ/τος μέχρι την πώληση του περιεχόμενου σ' αυτό μετάλλου (€/t ore).



Σχ. 4.12. Μεταβολή του κόστους εκμετάλλευσης συναρτήσει της μεταβολής του βάθους

Τότε μπορούμε να βρούμε την SR_{Limit} με τρία κριτήρια:

(1) Οριακή σχέση αποκάλυψης για μηδενικό μοναδιαίο κέρδος

$$P = 0 \Leftrightarrow$$

$$SR_{Limit,1} = \frac{S_p vF - (b + c)}{a} \quad (1)$$

(2) Οριακή σχέση αποκάλυψης για ελάχιστο μοναδιαίο κέρδος P_{min}

$$P = P_{min} \Leftrightarrow$$

$$SR_{Limit,2} = \frac{S_p vF - (P_{min} + b + c)}{a} \quad (2)$$

Παρατηρούμε ότι το δεύτερο κριτήριο είναι πιο αυστηρό από το πρώτο.

(3) Οριακή σχέση αποκάλυψης για το **μοναδιαίο κέρδος P_{und} υπόγειας εκμετάλλευσης** εφόσον το κοίτασμα μπορεί να εκμεταλλευθεί υπογείως στους κατώτερους ορίζοντες

$$P = P_{und} \Leftrightarrow$$

$$SR_{Limit,3} = \frac{S_p vF - (P_{und} + b + c)}{a} =$$

$$= \frac{(S_p vF - P_{und}) - (b + c)}{a} =$$

$$= \frac{(b + c)_{und} - (b + c)}{a} \quad (3)$$

Παρατήρηση (1): Η τελευταία σχέση (3) συγκρινόμενη με τη (2) δείχνει ότι τα όρια της υπαίθριας εκμετάλλευσης σταματούν γρηγορότερα όταν καθίσταται δυνατή η συνέχιση της εκμετάλλευσης υπογείως.

Παρατήρηση (2): Όλες οι προηγούμενες σχέσεις δείχνουν ότι η οριακή σχέση αποκάλυψης αυξάνει με την αύξηση της περιεκτικότητας του κοιτάσματος σε χρήσιμο μέταλλο και με την τιμή πώλησης του παραγομένου μετάλλου.

(4) Οριακή σχέση αποκάλυψης για το **μοναδιαίο κέρδος P_{und} υπόγειας εκμετάλλευσης μαρμάρου** εφόσον το κοίτασμα μαρμάρου μπορεί να εκμεταλλευθεί υπογείως στους κατώτερους ορίζοντες

$$SR_{Limit,3} = \frac{S_p - (P_{und} + b)}{a} \quad (4)$$

b = μοναδιαίο κόστος εκμετάλλευσης ανά τόννο ογκομαρμάρων (€/t blocks)

a = μοναδιαίο κόστος απομάκρυνσης υπερκειμένων (εξόρυξη – φόρτωση – αποκομιδή – απόθεση) (€/t waste)

P_{und} = κέρδος (profit) ανά μονάδα βάρους ογκομαρμάρων (€/t blocks)

S_p = τιμή πώλησης ανά μονάδα βάρους των ογκομαρμάρων (€/t blocks)

Η Οριακή σχέση αποκάλυψης για τη μετάβαση από την υπαίθρια στην υπόγεια εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος μαρμάρου μπορεί να βρεθεί από τη σχέση (4):

$$SR_{Limit} = \frac{(euros/t)_{ore,undergroud} - (euros/t)_{ore,surface}}{(euros/t)_{waste}},$$

$$[SR_{Limit}] = \frac{t\ waste}{t\ ore} \quad (4)$$

Όπου οι αγκύλες [] υποδηλώνουν τις μονάδες μιας ποσότητας που εσωκλείουν.

Π.χ.

$$SR_{Limit} = (280\ \text{€/t} - 140\ \text{€/t}) / 20\ \text{€/t} = 7\ t\ waste / 1\ t\ ore \quad (5)$$

Τότε η μέση αποληψιμότητα (R=Recovery) εμπορεύσιμων ογκομαρμάρων πρέπει να είναι

$$R = ore / (ore + waste) = 1 / (7 + 1) = 12.5\ \% !$$

Αν $a = 5\ \text{€/t}$ τότε η μέση αποληψιμότητα θα είναι $R = 3.4\ \%$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

5 Θέση του λατομείου και γεωλογία της περιοχής

5.1 Τοποθεσία του λατομείου και γεωολογικο-τεκτονικές παρατηρήσεις

Το λευκό δολομιτικό μάρμαρο του Βώλακα εξορύσσεται από το όρος Φαλακρό κοντά στο ομώνυμο χωριό Βώλακας (Σχ. 5.1) απ' το οποίο πήρε και το όνομα του. Το λατομείο της NORDIA SA βρίσκεται κοντά στην πόλη της Δράμας που βρίσκεται στο Νομό Δράμα (Δυτική Ροδόπη). Το μάρμαρο αυτό είναι γνωστό παγκοσμίως και χρησιμοποιείται με διάφορες μορφές όπως ορθογωνισμένα ογκομάρμαρα εμπορικών διαστάσεων, τυποποιημένες πλάκες και πλακίδια.

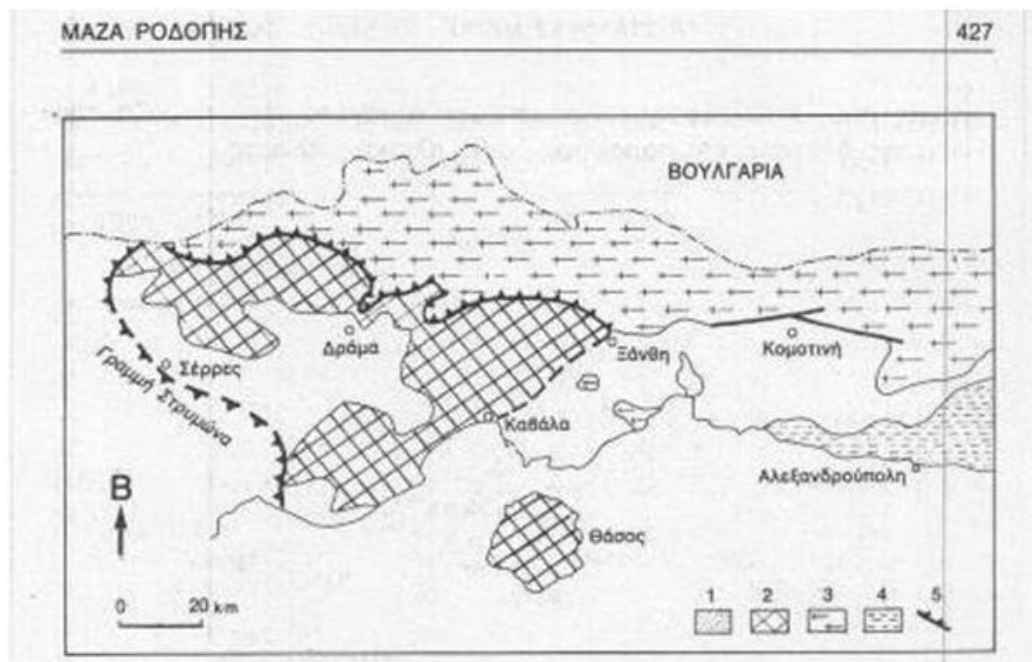


Σχ. 5.1. Θέση του λατομείου Βώλακα πλησίον της κωμόπολης του Βώλακα κοντά στη Δράμα προς ΒΔ (οι φωτογραφίες λήφθηκαν από το Google Earth ©)

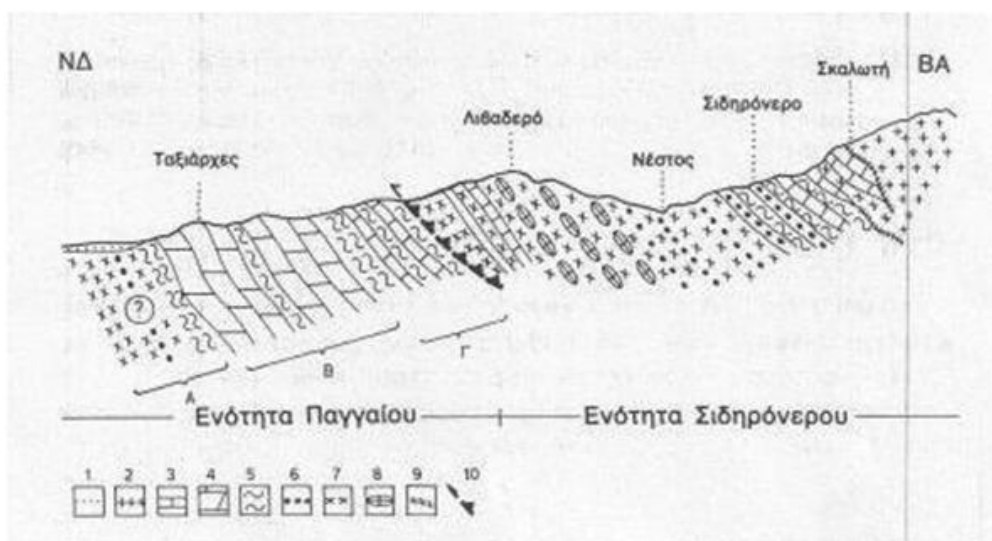
Το δολομιτικό μάρμαρο βρίσκεται στην αποκαλούμενη «Μάζα της Ροδόπης». Με βάση τα συμπεράσματα των μελετών που έγιναν σε διάφορες περιοχές της μάζας της Ροδόπης για την τεκτονική της εξέλιξη έχει προκύψει ότι σ' αυτήν έλαβαν χώρα τρεις τεκτονικές φάσεις:

- I. Η πρώτη φάση έχει προκαλέσει ισοκλινείς, συμμεταμορφικές πτυχές, με διεύθυνση άξονα Β-Ν. Η ηλικία της φάσης αυτής είναι μάλλον Παλαιοζωϊκή και έχει προκαλέσει την πρώτη κύρια μεταμόρφωση των πετρωμάτων της μάζας αυτής.
- II. Η δεύτερη φάση, έχει δώσει πτυχές υποϊσοκλινείς με διεύθυνση άξονα ΒΑ-ΝΔ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ, που συνοδεύονται από μια πολύ εμφανή γράμμωση η οποία έχει προέλθει από την τομή της φύλλωσης των πετρωμάτων της πρώτης φάσης με τη σχιστότητα που έχει προκαλέσει η φάση αυτή. Η ηλικία της φάσης αυτής είναι, μάλλον, Η ωκαινική-Ολιγοκαινική, αν και υπάρχουν υπόνοιες ότι αυτή μπορεί να είναι Παλαιοζωϊκή ή Ιουρασική-Κατωκρητιδική.
- III. Η Τρίτη φάση έχει δώσει πτυχές ανοικτές με διεύθυνση άξονα ΒΔ-ΝΑ και πιστεύεται ότι είναι ηλικίας του Τριτογενούς, ίσως του Ολιγοκαίνου. Πολλές εφίππευσεις και μικρής έκτασης επωθήσεις που παρατηρούνται στη Ροδόπη οφείλονται στη φάση αυτή. Επίσης, στη φάση αυτή οφείλεται μάλλον η μεγάλη εφίππευση που απαντάται στο ελληνικό τμήμα της Ροδόπης.

Με βάση την παραπάνω εφίππευση η μάζα της Ροδόπης του ελληνικού τμήματος διακρίνεται σε δύο ενότητες: (1) Μια ανώτερη, την οποία έχουν ονομάσει «Ενότητα του Σιδηρόνερου», και (2) μια κατώτερη που την ονόμασαν «Ενότητα του Παγγαίου». Οι μελετητές αναφέρουν επίσης ότι η ανώτερη τεκτονική Ενότητα εφίππευει την κατώτερη με ώθηση από Βορρά προς Νότο (Σχ. 5.2 α και β).



(α)



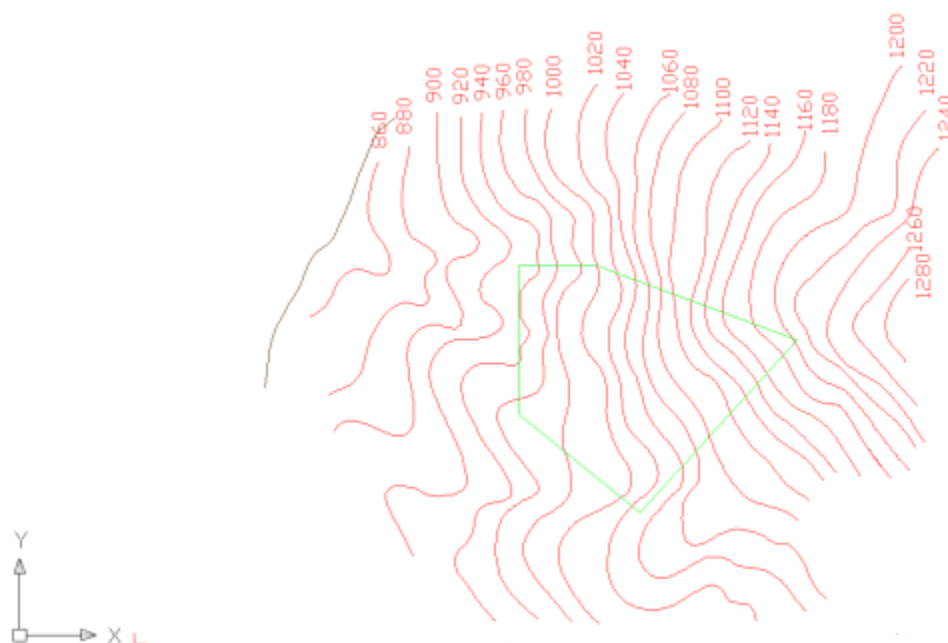
(β)

Σχ. 5.2. (α) Τεκτονικό σκαρίφημα της μάζας της Ροδόπης (υπόμνημα: 1: Μετα-αλπικά ιζήματα, 2: Ενότητα Παγγαίου, 3: Ενότητα Σιδηρόνερου, 4: Σχηματισμοί Περιοδοπικής ζώνης, 5: Γραμμή επώθησης), (β) σχηματική γεωλογική τομή στην περιοχή Σιδηρόνερου, Δράμας, στην οποία δίνεται η λιθοστρωματογραφική διαδοχή και η τεκτονική θέση των Ενοτήτων Σιδηρόνερου και Παγγαίου (υπόμνημα: 1: Προσχώσεις, 2: Γρανίτης, 3: Ενστρώσεις μαρμάρων, 4: Μάρμαρα μεγάλου πάχους, 5: Μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, 6: Αμφιβολίτες, 7: Γνεύσιοι, 8: Οφθαλμογνεύσιοι, 9: Φαινόμενα διείδυσης γρανίτη, 10: Πιθανή επώθηση, Α, Β και Γ: Οι τρεις ορίζοντες της Ενότητας Παγγαίου

Τα κύρια συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από τα παραπάνω είναι:

- Τα επίπεδα ασυνεχειών «βασιλικών κομμών» (επίμονων ασυνεχειών μεγάλης έκτασης) που αποκαλούνται «κεφάλια» και έχουν παράταξη περίπου B-N δημιουργήθηκαν στην πρώτη φάση πτυχογένεσης.
- Τα επίπεδα ασυνεχειών που αποκαλούνται «μουρέλα» και έχουν παράταξη περίπου A-Δ δημιουργήθηκαν στην δεύτερη (νέωτερη) φάση της πτυχογένεσης. Τα μουρέλα είναι επίσης βασιλικοί κορμοί.
- Στην Τρίτη φάση οφείλεται το γεγονός ότι η μέγιστη οριζόντια κύρια τάση στην ευρύτερη περιοχή του λατομείου έχει διεύθυνση περίπου A-Δ έως ABA-ΔΝΔ.

Το αρχικό τοπογραφικό ανάγλυφο του λατομείου – που ουσιαστικά έχει τη μορφή «ανοικτής υπαίθριας εκμετάλλευσης» - με τα όρια ιδιοκτησίας του φαίνονται στο Σχ. 5.3α. Επίσης η μορφή του λατομείου που κατασκευάστηκε το 2000 δίνεται στο Σχ. 5.3β. Τότε το λατομείο είχε 9 βαθμίδες. Σήμερα το λατομείο έχει προχωρήσει εις βάθος με τη μορφή «κλειστής υπαίθριας εκμετάλλευσης» και έχει 11 βαθμίδες (Σχ. 5.4).



(α) Ο άξονας OY δείχνει το Βορρά



(β) Ο άξονας OY δείχνει το Βορρά

Σχ. 5.3. (α) Αρχική τοπογραφία περιοχής λατομείου με τα όρια της ιδιοκτησίας και (β) Κατάσταση του λατομείου το 2000 με τις εννέα (9) διαμορφωμένες ορθές βαθμίδες



Σχ. 5.4. Κατώτερες βαθμίδες του λατομείου σε πρόσφατη του κατάσταση

5.2 Επί τόπου τάσεις

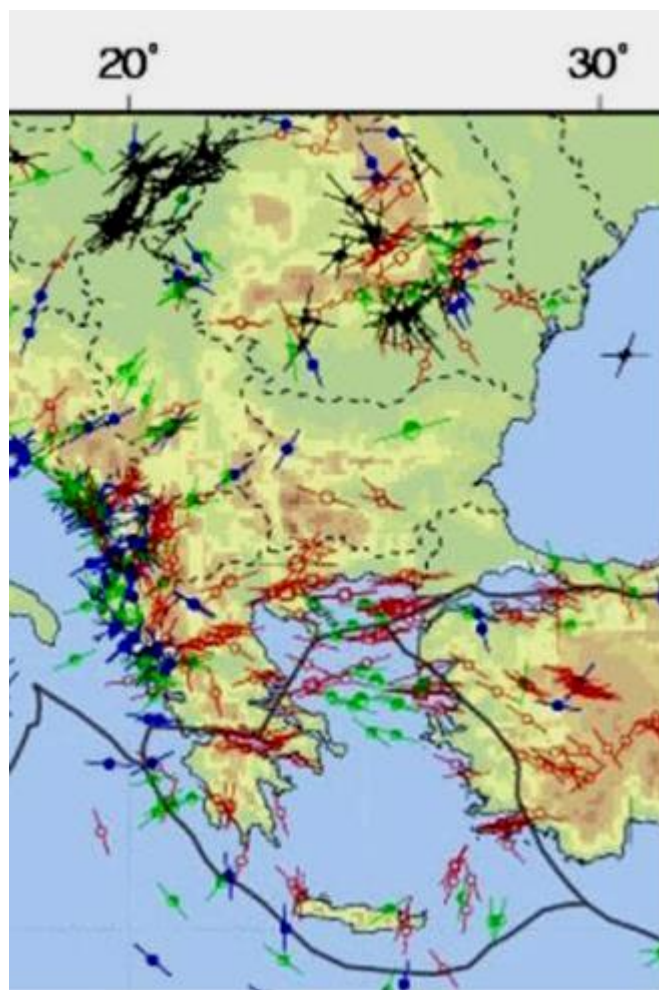
Τα πετρώματα στην φυσική των θέση υποβάλλονται σε τάσεις που οφείλονται στο βάρος των υπερκειμένων πετρωμάτων και στην προηγούμενη τεκτονική προϊστορία των (ορογένεση, ρηγματογένεση, πτυχογένεση κλπ). Όταν διανοίγεται ένα υπόγειο το προϋπάρχον εντατικό πεδίο εκτονώνεται τοπικά γύρω από την εκσκαφή και νέες τάσεις εξασκούνται στο πέτρωμα που περιβάλλει το υπόγειο ή τα υπόγεια. Η γνώση του μεγέθους και των προσανατολισμών των προϋπαρχουσών τάσεων και των νέων τάσεων λόγω της εξόρυξης, είναι αναγκαία συνιστώσα του σχεδιασμού των υπογείων γιατί σε κάποιες περιπτώσεις η αντοχή του πετρώματος μπορεί να υπερκερασθεί και αυτό να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην συμπεριφορά των υπογείων.

Η κατακόρυφη τάση σ_v μπορεί να προσεγγισθεί σε ανεκτό επίπεδο ακρίβειας με το γινόμενο του βάθους κάτω από την επιφάνεια επί το μοναδιαίο βάρος της βραχώμαζας

$$\sigma_v = 0.027 \cdot H$$

όπου H είναι το ύψος του υπερκειμένου πετρώματος, όπου η σ_v εκφράζεται σε MPa και το βάθος H σε m. και το μοναδιαίο βάρος του μαρμάρου ελήφθει ίσο με 0.027 MN/m^3 .

Ο προσανατολισμός της μέγιστης κύριας οριζόντιας τάσης σ_H στην ευρύτερη περιοχή του λατομείου στο Βώλακα Δράμας μπορεί να ληφθεί από τον παγκόσμιο τασικό χάρτη (world stress map) όπως φαίνεται στο Σχ. 5.5. Όπως φαίνεται από αυτόν τον χάρτη η διεύθυνση (trend) της μέγιστης οριζόντιας κύριας τάσης είναι Α-Δ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ και επομένως η ελάχιστη κύρια οριζόντια τάση σ_h θα είναι κάθετη σ' αυτήν με προσανατολισμό Β-Ν έως ΒΒΔ-ΝΝΑ. Όπως προαναφέρθηκε ο προσανατολισμός αυτός των οριζόντιων κύριων τάσεων προκλήθηκε κατά την τρίτη τεκτονική φάση.



Σχ. 5.5. Χάρτης των τάσεων που επικρατούν στον Ελληνικό χώρο που δείχνει τον προσανατολισμό της μέγιστης οριζόντιας θλιπτικής τάσης από www.world-stress-map.org

Και οι δύο αυτές οριζόντιες επί τόπου τάσεις (μέγιστη σ_H με προσανατολισμό Α-Δ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ και ελάχιστη σ_h με προσανατολισμό Β-Ν έως ΒΒΔ-ΝΝΑ) έχουν εκτονωθεί με την μέχρι σήμερα εκμετάλλευση του λατομείου και ως εκ τούτου δεν θα ληφθούν υπόψη στην κατασκευή του μηχανικού μοντέλου στο Κεφάλαιο 6. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα στις παρακάτω φωτογραφίες των Σχ. 5.6 και 5.7) από το άνοιγμα των κατακόρυφων μωρέλων που σημαίνει εκτόνωση της σ_h , αλλά και από την εξόρυξη μπροστά από τους θαλάμους που εκτονώνει την μέγιστη κύρια τάση σ_H .



Σχ. 5.6



Σχ. 5.7. Λεπτομέρεια της προηγούμενης φωτογραφίας στην οποία φαίνεται το άνοιγμα των περίπου κατακόρυφων μωρέλων

5.3 Προσανατολισμός των ασυνεχειών

Μια από τις πιο σημαντικές εργασίες σε ένα λατομείο μαρμάρου είναι η ταυτοποίηση των οικογενειών των ασυνεχειών που διασχίζουν το κοίτασμα. Η ταυτοποίηση γίνεται βάσει του προσανατολισμού των ασυνεχειών που μετράται με γεωλογική πυξίδα. Αφού ταυτοποιηθούν οι οικογένειες των ασυνεχειών με κριτήριο τον προσανατολισμό τους, βρίσκεται η επιμονή των (η έκταση τους στο χώρο, δηλαδή το εμβαδόν τους αφού οι ασυνέχειες έχουν περίπου επίπεδα σχήματα) και οι αποστάσεις μεταξύ των ασυνεχειών κάθε οικογένειας ξεχωριστά.

Οι πρώτες μετρήσεις των προσανατολισμών των ασυνεχειών με τη χρήση γεωλογικής πυξίδας έγινε κατά την πρώτη επίσκεψη στο λατομείο στις 12-10-2009. Η πιο λεπτομερής επί τόπου αποτύπωση των ασυνεχειών στην περιοχή των τριών θαλάμων έγινε κατά τη διάρκεια της 2^{ης} επίσκεψης στο λατομείο του Βώλακα στις 4-3-2010. Η επεξεργασία των μετρήσεων προσανατολισμού των ασυνεχειών έγινε με τη μέθοδο της στερεογραφικής προβολής ίσης επιφάνειας στο κατώτερο ημισφαίριο κατά τις λεπτομέρειες του Σχ. 5.8α με τη βοήθεια του λογισμικού **Dips®**.

Κατ'αυτόν τον τρόπο ταυτοποιήθηκαν τρεις (3) κύριες οικογένειες ασυνεχειών **κατά σειρά ηλικίας από τις αρχαιότερες προς τις νεώτερες**, που διασχίζουν το λατομείο, ήτοι :

1. **Η στρώση ή πρόσωπο** (“verso”, “rift”) με προσανατολισμό $047^{\circ}/48^{\circ}$ (διεύθυνση κλίσης/κλίση) και **παράταξη ΒΔ-ΝΑ**.
2. **Τα κεφάλια** (“contro” ή “head-grain” ή “hard-way”) με προσανατολισμό $275^{\circ}/80^{\circ}$. Τα κεφάλια **έχουν παράταξη Β-Ν**.
3. **Τα μουρέλα** (“secondo” ή “grain” ή “δεύτερα”) με προσανατολισμό $355^{\circ}/89^{\circ}$. Τα μουρέλα **έχουν παράταξη Α-Δ** και σχηματίζουν επίπεδα που είναι σχεδόν κάθετα στα πρόσωπα και στα κεφάλια.

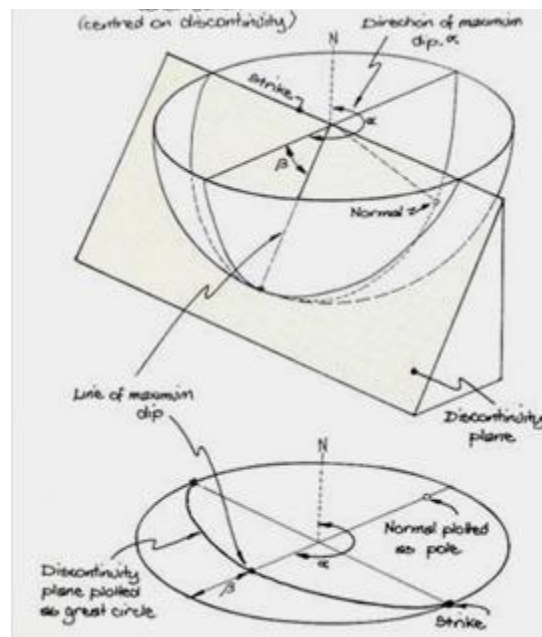
Σ' αυτό το σημείο σημειώνεται ότι το λατομείο διασχίζεται από τρία ρήγματα (βασιλικούς κομμούς) μεγάλης επιμονής, διεύθυνσης κλίσης 210° και κλίσης περίπου $60\div 70^\circ$ που βρίσκονται πλησίον και προς τα δεξιά (νότια) του θαλάμου Νο 1 όπως φαίνεται στη φωτογραφία (Φωτ. 5.1). Στη φωτογραφία αυτή οι εν λόγω κομμοί σημειώνονται με διακεκομμένες κίτρινες γραμμές. Με ποιά παχιά γραμμή σημειώνεται στην ίδια φωτογραφία προς τα δεξιά (βόρεια) της εισόδου του θαλ. Νο 1 ένα τυπικό μουρέλο όχι μεγάλης έκτασης. Ο προσανατολισμός αυτών των κεκλιμένων κομμών δεν είναι ίδιος με τα μουρέλα αλλά $210^\circ/60^\circ$. Σύμφωνα με την παράταξη αυτή ο πλησιέστερος κομμός προς την είσοδο του θαλάμου Νο 1, δεν «ξετρυπάει» μέσα στο θάλαμο. Για να ξετρυπήσει θα έπρεπε η διεύθυνση κλίσης των να είναι 180° περίπου.



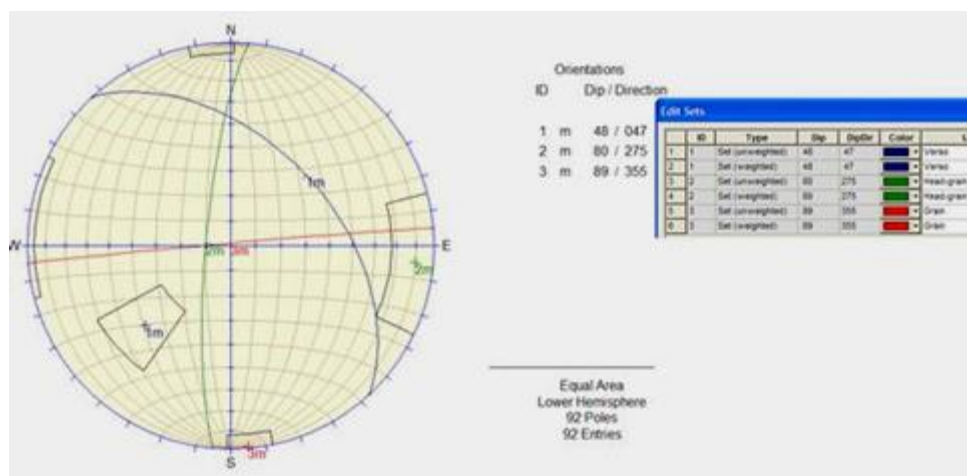
Φωτ. 5.1. Μακρινή άποψη των δύο θαλάμων από Δυτικά.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 5.8α η διεύθυνση της κλίσης (“dip direction”) είναι η διεύθυνση της μέγιστης κλίσης του επιπέδου της ασυνέχειας. Οι μεγάλοι κύκλοι των τριών ταυτοποιημένων συστημάτων ασυνεχειών φαίνονται στο Σχ. 5.8β. Οι

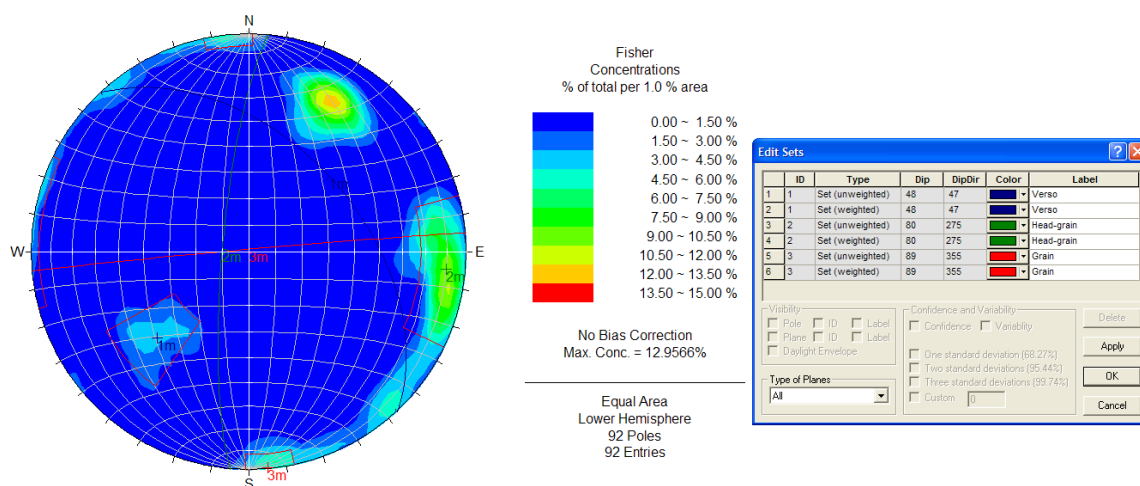
πόλοι των ασυνεχειών αυτών φαίνονται στο Σχ. 5.8γ. Οι ορισμοί των τριών κυρίων συστημάτων ασυνεχειών φαίνονται παραστατικά στο Σχ. 5.9.



(α)

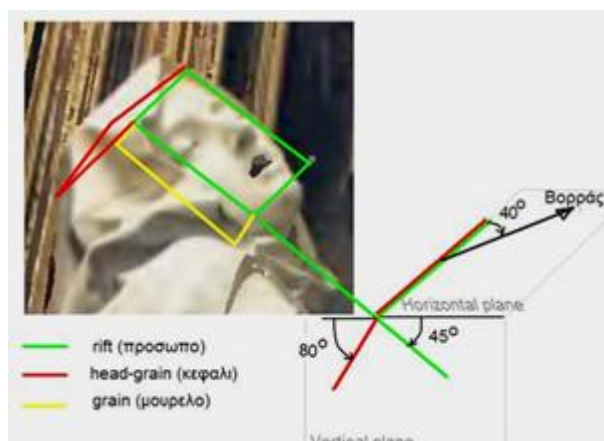


(β)



(γ)

Σχ. 5.8. (α) Μέθοδος της στερεογραφικής προβολής, (β) μεγάλοι κύκλοι των τριών οικογενειών των ασυνεχειών, και (γ) κατανομές των πόλων των τριών (3) κύριων συστημάτων ασυνεχειών που διασχίζουν τη μάζα του μαρμάρου.



Σχ. 5.9. Το κεφάλι της Αγίας Τερέζας που έγινε από μάρμαρο Καρράρας από τον αρχιτέκτονα και γλύπτη Bernini την περίοδο 1644-1647 πάνω στο οποίο έχουν σχεδιασθεί τα τρία κύρια επίπεδα ασυνεχειών του μαρμάρου (τα μουρέλα είναι παρακατακόρυφα έως κατακόρυφα).

Πίν. 5.1: Μέσοι προσανατολισμοί των οικογενειών των ασυνεχειών που διασχίζουν το δολομιτικό μάρμαρο.

Οικογένειες	Διεύθυνση κλίσης (μοίρες)	Κλίση (μοίρες)	Παρατηρήσεις
1	047	48	Πρόσωπα (verso), οι παλαιότερες ασυνέχειες
2	275	80	Κεφάλια (head-grain), που σχηματίστηκαν μετά τα πρόσωπα
3	355	89	Μουρέλα (grain), νεώτερες ασυνέχειες που σχηματίστηκαν μετά τα κεφάλια

Παρατήρηση 1^η: Στη φωτογραφία Φωτ. 5.2 φαίνονται οι τρεις χαρακτηριστικές οικογένειες ασυνεχειών που διασχίζουν την μάζα του δολομιτικού μαρμάρου. Μπορεί να παρατηρηθεί ότι τα πρόσωπα κλίνουν περίπου 45° αντίρροπα με το πρανές της εκμετάλλευσης, γεγονός το οποίο οδήγησε και στην υπόγεια εξόρυξη αφού στην περιοχή των υπογείων **το μάρμαρο δεν έχει εμπορεύσιμα μάρμαρα περίπου 3 πατάκια ή 18 m πάνω απ'τα υπόγειο Νο 2.**



Σχ. 5.10. Χαρακτηριστική δομή του κοιτάσματος μαρμάρου με τα τρία κύρια επίπεδα ασυνεχειών από μακρινή άποψη βλέποντας προς Ανατολάς (Rift: green colored, Head-Grain: red colored and grain: yellow color).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

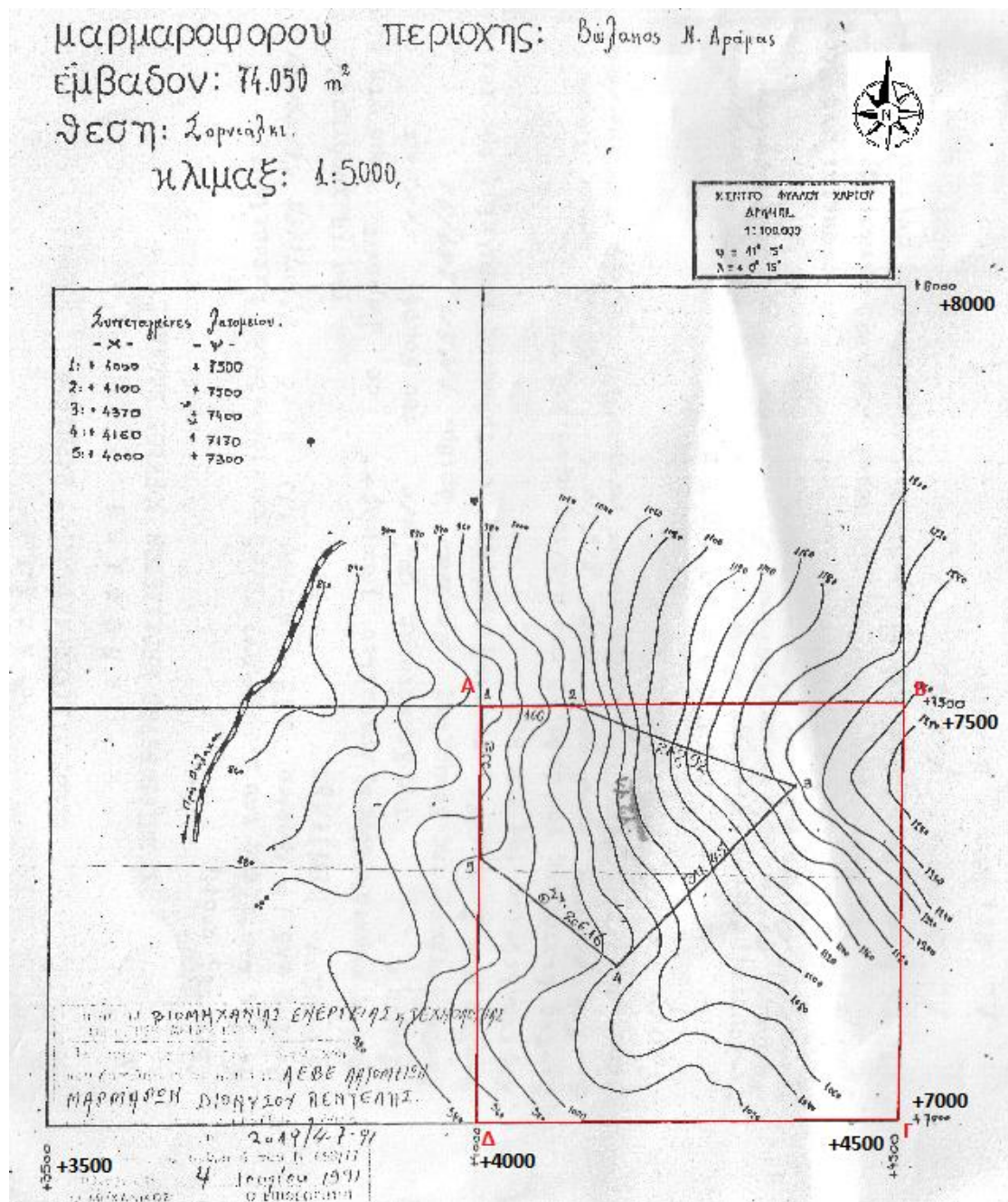
6 Σχεδιασμός του λατομείου

6.1 Εισαγωγή

Αρχικά πρέπει να γίνει ο σχεδιασμός της εκμετάλλευσης πάνω στους υπάρχοντες χάρτες της περιοχής ενδιαφέροντος με τρόπο τέτοιο ώστε να πληρούνται όλες οι προϋποθέσεις και οι περιορισμοί που θέτονται από τις σχετικές νομοθεσίες και τον Κ.Μ.Λ.Ε. Παλαιότερα ο σχεδιασμός γινόταν με το χέρι από τον κάθε μελετητή. Όμως στις μέρες μας η τεχνολογία επιτρέπει τον σχεδιασμό με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια και με πολύ μεγαλύτερη δυνατότητα ελέγχου όλων των παραμέτρων, με την χρήση λογισμικών προγραμμάτων. Ένα από τα πιο διαδεδομένα προγράμματα που υπάρχουν για σχεδιασμό τέτοιων δραστηριοτήτων είναι το λογισμικό πακέτο AutoCAD το οποίο διατίθεται σε διάφορες εκδόσεις. Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιείται η έκδοση AutoCAD Civil 3D.

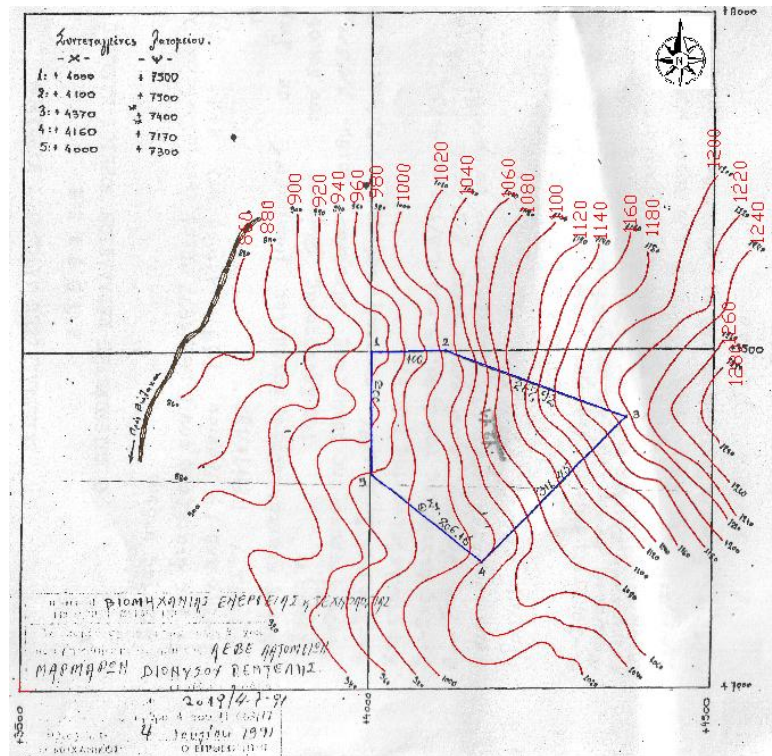
6.2 Ψηφιοποίηση τοπογραφικών χαρτών

Επιλέγεται το φύλλο χάρτη από την άδεια εκμετάλλευσης του λατομείου μαρμάρων της NORDIA SA στη θέση "Σορνιάλκι" της Κοινότητας Βώλακα του νομού Δράμας Σχ. 6.1. Το οποίο περιέχει την λατομική περιοχή και ένα αντιπροσωπευτικό τμήμα της γύρω περιοχής, το οποίο απεικονίζει τις μορφολογικές ιδιαιτερότητες της περιοχής. Εν συνεχεία το τμήμα αυτό του τοπογραφικού χάρτη μετατρέπεται σε ηλεκτρονική μορφή (αρχείο φωτογραφίας, .jpeg) με την βοήθεια ηλεκτρονικού σαρωτή. Στη συνέχεια το αρχείο αυτό εισάγεται σε περιβάλλον AutoCAD. Εφόσον γίνουν οι απαραίτητες ενέργειες ο παραπάνω ο τοπογραφικός χάρτης είναι σε κλίμακα 1:1 στο αρχείο του AutoCAD™.

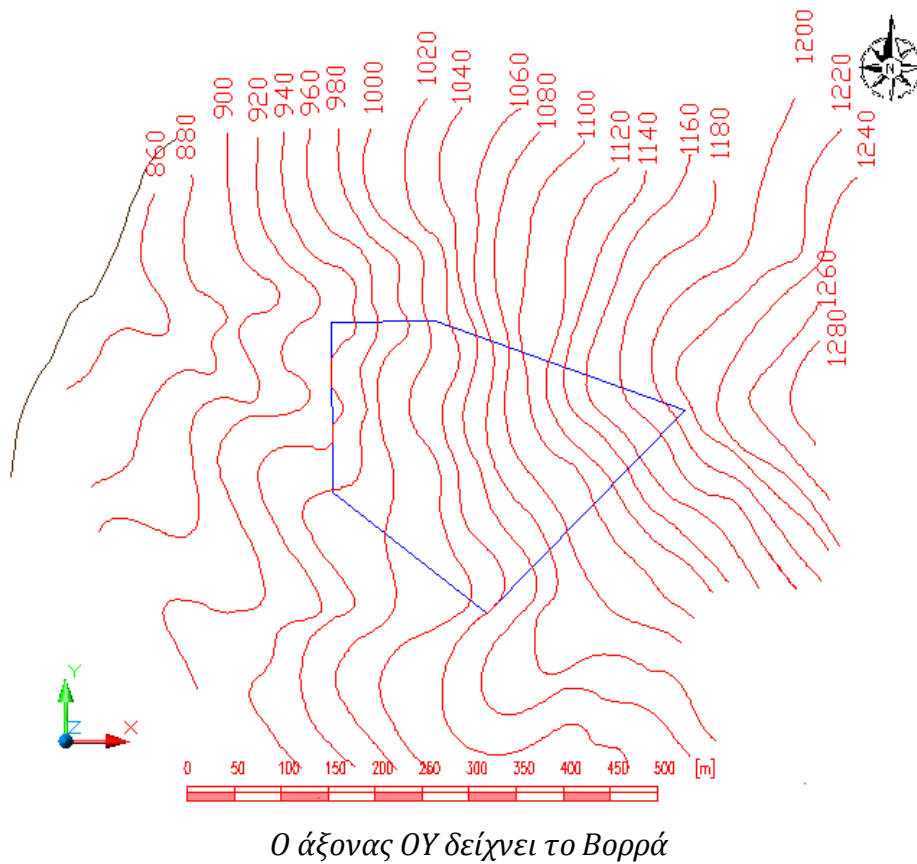


Σχ. 6.1: Φύλο χάρτη από την άδεια εκμετάλλευσης του λατομείου μαρμάρων

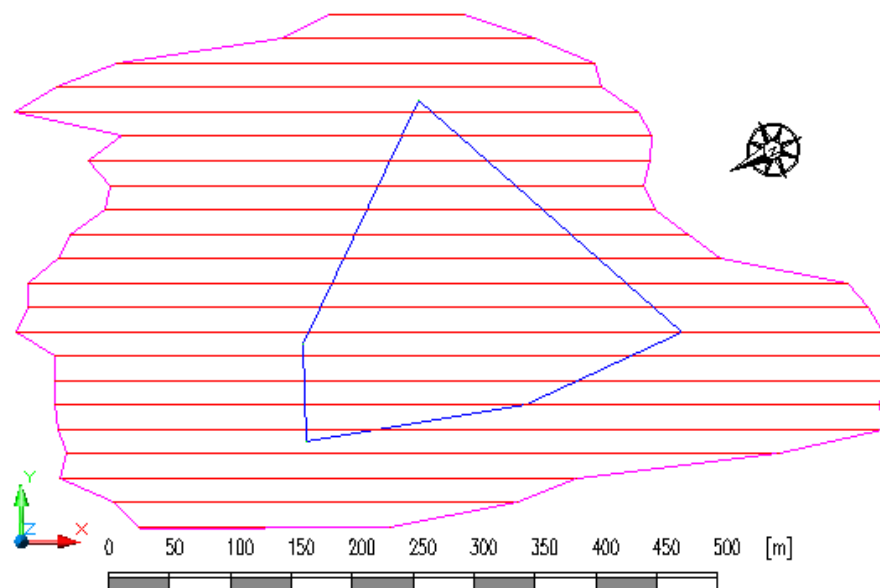
Στη συνέχεια γίνεται η ψηφιοποίηση του χάρτη χειρονακτικά στο AutoCAD. Έτσι τοποθετήθηκαν σημεία πάνω σε όλες τις ισοϋψείς του χάρτη και σε κοντινά σημεία μεταξύ τους, κατόπιν ενώθηκαν με polyline, δηλαδή ένα άλλο εργαλείο του AutoCAD που σχεδιάζει γραμμές και στο τέλος δόθηκε το υψόμετρο της κάθε ισοϋψούς. Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής παρουσιάζονται στα Σχ. 6.2-6.5.



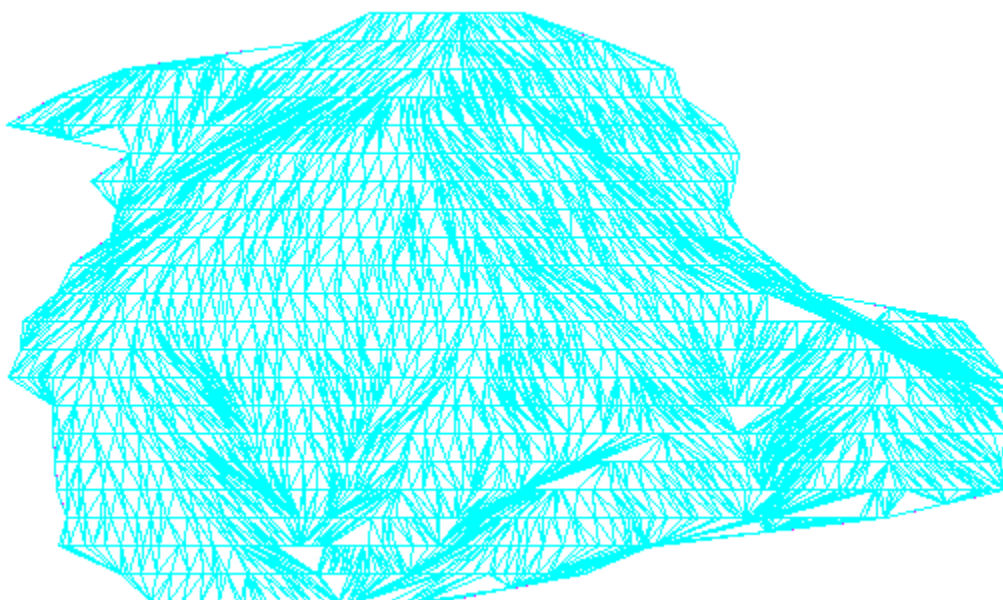
Σχ. 6.2: Υπάρχων χάρτης και οι ψηφιακές ισοϋψείς (με κόκκινο χρώμα)



Σχ. 6.3. Ψηφιοποιημένος τοπογραφικός χάρτης και λατομικά όρια



Σχ. 6.4. Τρισδιάστατη άποψη χάρτη (με κατεύθυνση από το χαμηλότερο προς το ψηλότερο σημείο)



Σχ. 6.5. Τρισδιάστατη απεικόνιση του ψηφιοποιημένου μοντέλου της φυσικής επιφάνειας της ευρύτερης περιοχής της εκμετάλλευσης

6.2.1 Δημιουργία συντεταγμένων X.A.T στο ψηφιοποιημένο χάρτη

Μετά την ολοκλήρωση της ψηφιοποίησης του χάρτη το επόμενο και τελικό βήμα για την ολοκλήρωση του είναι να προβληθεί σε σύστημα συντεταγμένων X.A.T.. Μέχρι τώρα ότι έχει σχεδιαστεί έχει συντεταγμένες, τις οποίες έχει ορίσει το ίδιο το πρόγραμμα, θεωρώντας το κέντρο αξόνων, το σημείο που ορίστηκε όταν εισήχθη η φωτογραφία του χάρτη, την κάτω αριστερή γωνία του. Για να μεταφερθούν όλες οι συντεταγμένες των σημείων που έχουν σχεδιαστεί σε συντεταγμένες X.A.T αρκεί να εκτελεστεί η εντολή move. Αρχικά το πρόγραμμα ζητά την επιλογή των αντικειμένων προς μετακίνηση, σημείο στο οποίο επιλέγονται όλα τα σημεία του χάρτη. Στη συνέχεια πρέπει να επιλεγεί ένα σημείο σύμφωνα με το οποίο θα γίνει η μετακίνηση. Στην ουσία η εντολή move εκτελεί την μετακίνηση ολόκληρου του σχεδίου που έχει δημιουργηθεί, χωρίς καμία μεταβολή, σε διαφορετικές συντεταγμένες. Η διαδικασία που ακολουθείτε, είναι να οριστούν οι επιθυμητές συντεταγμένες σε ένα μόνο σημείο του σχεδίου και από εκεί και πέρα το λογισμικό υπολογίζει τις συντεταγμένες των άλλων σημείων με βάση τις αποστάσεις του σχεδίου που έχει προηγηθεί. Επομένως πρέπει να επιλεγεί ένα σημείο το οποίο να έχει γνωστές συντεταγμένες X.A.T.. Για παράδειγμα μπορεί να επιλεγεί μια από τις κορυφές του λατομικού χώρου. Αφού γίνει η επιλογή αυτή το λογισμικό ζητά να προσδιοριστεί το σημείο στο οποίο θέλουμε να μεταφέρουμε το σχήμα. Εκεί τοποθετούνται οι γνωστές συντεταγμένες X και Y του X.A.T και πλέον η μεταφορά έχει τελειώσει. Κατόπιν είναι δυνατόν να επαληθευτεί η μεταφορά με κάποιο άλλο γνωστό σημείο. ο πίνακας 6.1 παρουσιάζει τις συντεταγμένες X.A.T των κορυφών του λατομικού χώρου όπως αυτές δίνονται στο τοπογραφικό διάγραμμα της περιοχής σε σύγκριση με αυτές που υπολογίζονται από το AutoCAD.

Πίνακας 6.1: Σύγκριση συντεταγμένων όπως αυτές δίνονται από το τοπογραφικό διάγραμμα και το AutoCAD

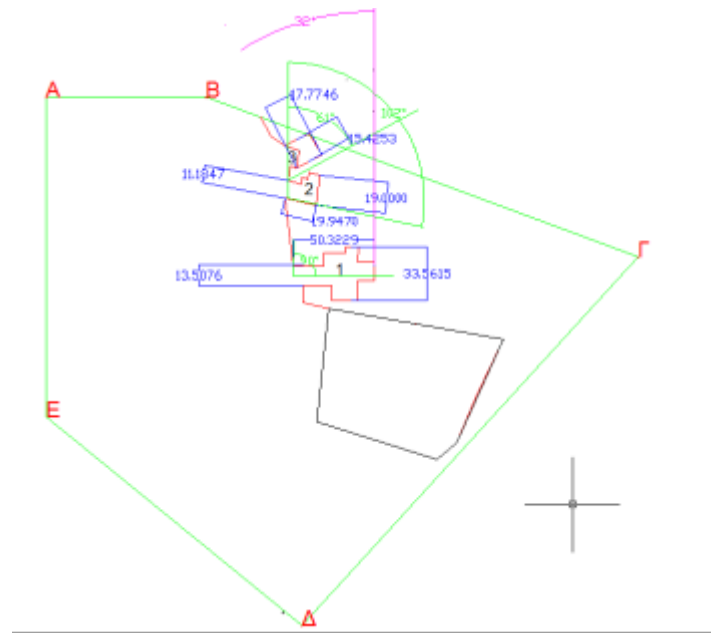
Κορυφή	X από τοπογραφικό	X από AutoCAD	Y από τοπογραφικό	Y από AutoCAD
1	4000	4000	7500	7500
2	4100	4109.67	7500	7502.34
3	4370	4375.82	7400	7407
4	4160	4164.93	7170	7186.79
5	4000	4000.66	7300	7315.55

Όπως παρατηρείται, στους άξονες X και Y υπάρχουν αποκλίσεις στις τιμές από λίγα εκατοστά έως 15 μέτρα. Αυτό είναι κάτι που οφείλεται κατά πάσα πιθανότητα σε παραμόρφωση του χάρτη, κάτι που μπορεί να συνέβη είτε κατά την διάρκεια της ηλεκτρονικής σάρωσης του χάρτη, είτε από την αρχή η εκτύπωση του χάρτη ο οποίος χρησιμοποιήθηκε να μην ήταν σωστή.

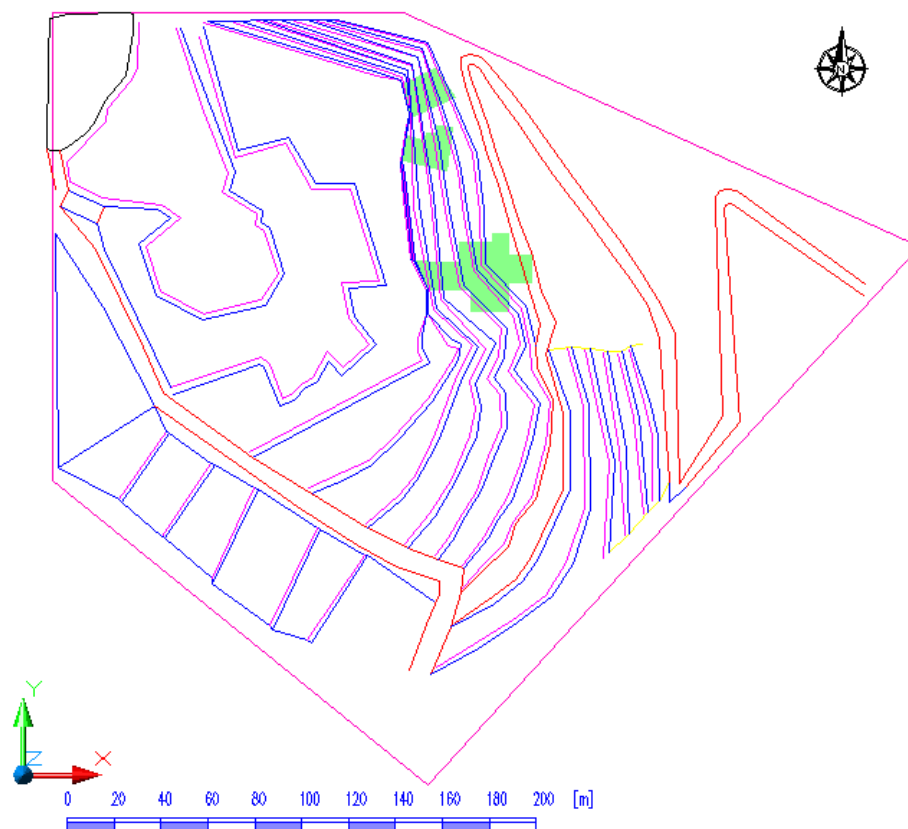
6.2.2 Ψηφιοποίηση της υπάρχουσας τοπολογίας του λατομικού χώρου

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι ίδια με την διαδικασία ψηφιοποίησης του τοπογραφικού χάρτη, η οποία παρατέθηκε λεπτομερώς στις προηγούμενες σελίδες.

- Εισαγωγή του φύλου χάρτη με την υπάρχουσα μορφή του λατομικού χώρου.
- Εισαγωγή κλίμακας στο χάρτη.
- Ψηφιοποίηση του χάρτη χειροκίνητα.
- Δημιουργία συντεταγμένων X.A.T στο ψηφιοποιημένο χάρτη.
- Σχεδίαση της θέσης και μορφής των σχεδιασθέντων θαλάμων 1, 2, 3, της υπόγειας εκμετάλλευσης, με διαστάσεις όπως ορίζονται από το Σχ. 6.6 και ύψος των θαλάμων 1 και 2 στα 12 μέτρα ενώ του 3ου θαλάμου στα 6 μέτρα αντίστοιχα. Διακρίνονται στα Σχ. 6.6, 6.7, 6.8, 6.9 (πράσινο ανοιχτό χρώμα)



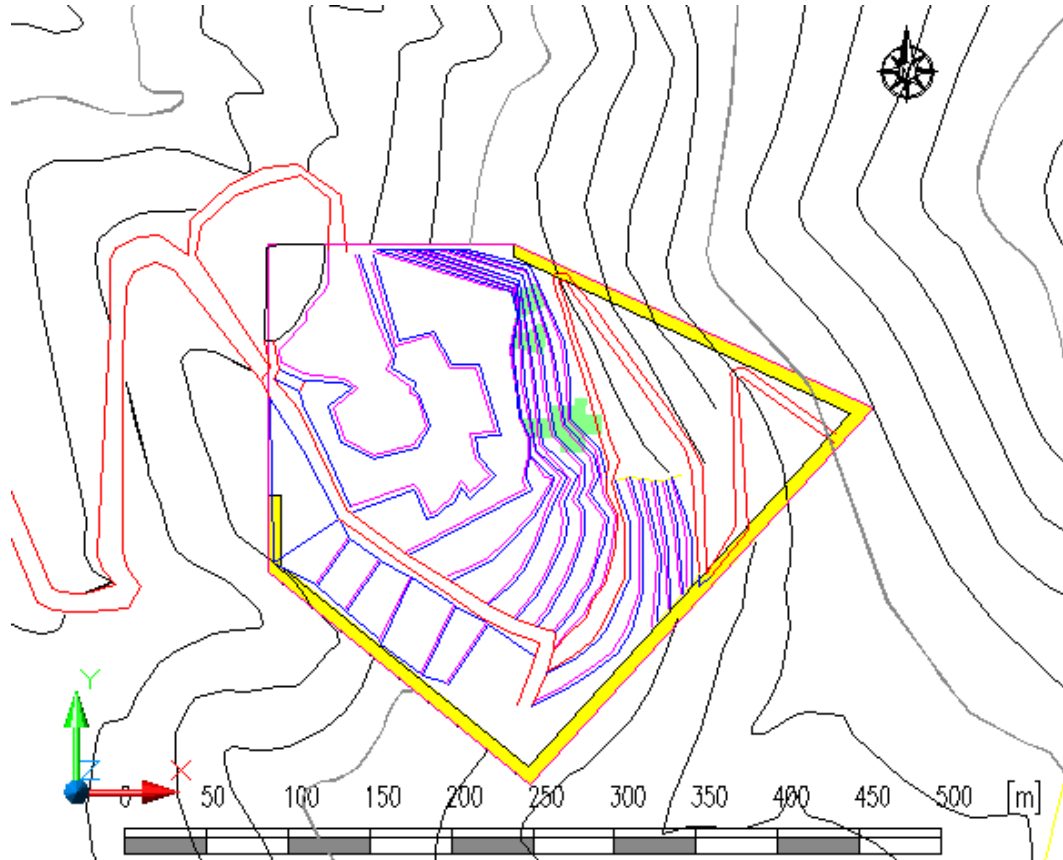
Σχ. 6.6. Θέση και διαστάσεις υπόγειας εκμετάλλευσης



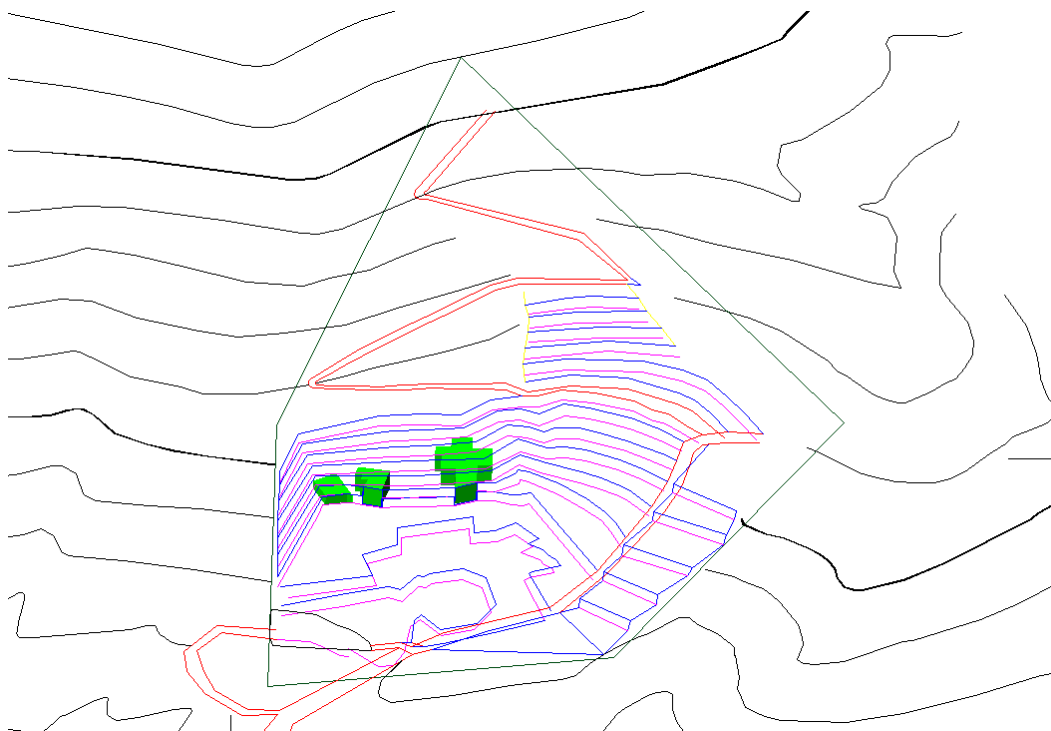
Σχ. 6.7. Ψηφιοποιημένο Τοπογραφικό διάγραμμα υπάρχουσας μορφής λατομικού χώρου

Μετά την ολοκλήρωση της ψηφιοποίησης του χάρτη το επόμενο βήμα είναι να τοποθετηθεί ο ψηφιοποιημένος λατομικός χώρος στο τοπογραφικό χάρτη της

περιοχής. Εν συνεχεία με την εντολή περικοπής trim απομακρύνονται οι ισοϋψείς από τον λατομικό χώρο, επιλέγονται τα όρια του λατομικού χώρου ως κοπτικές ακμές (cutting edges) και εν συνεχεία επιλέγονται οι τις ισοϋψείς που βρίσκονται εντός του λατομικού χώρου οι οποίες επιθυμούνται να διαγραφούν. Έτσι να πάρει την τελική του μορφή που απεικονίζεται στα Σχ. 6.8 και 6.9.



Σχ. 6.8. Ψηφιοποιημένος τοπογραφικός χάρτης και λατομικός χώρος



Σχ. 6.9. Τρισδιάστατη απεικόνιση υπάρχουσας μορφής του λατομικού χώρου

6.3 Σχεδιασμός τελικής τοπολογίας της εκμετάλλευσης

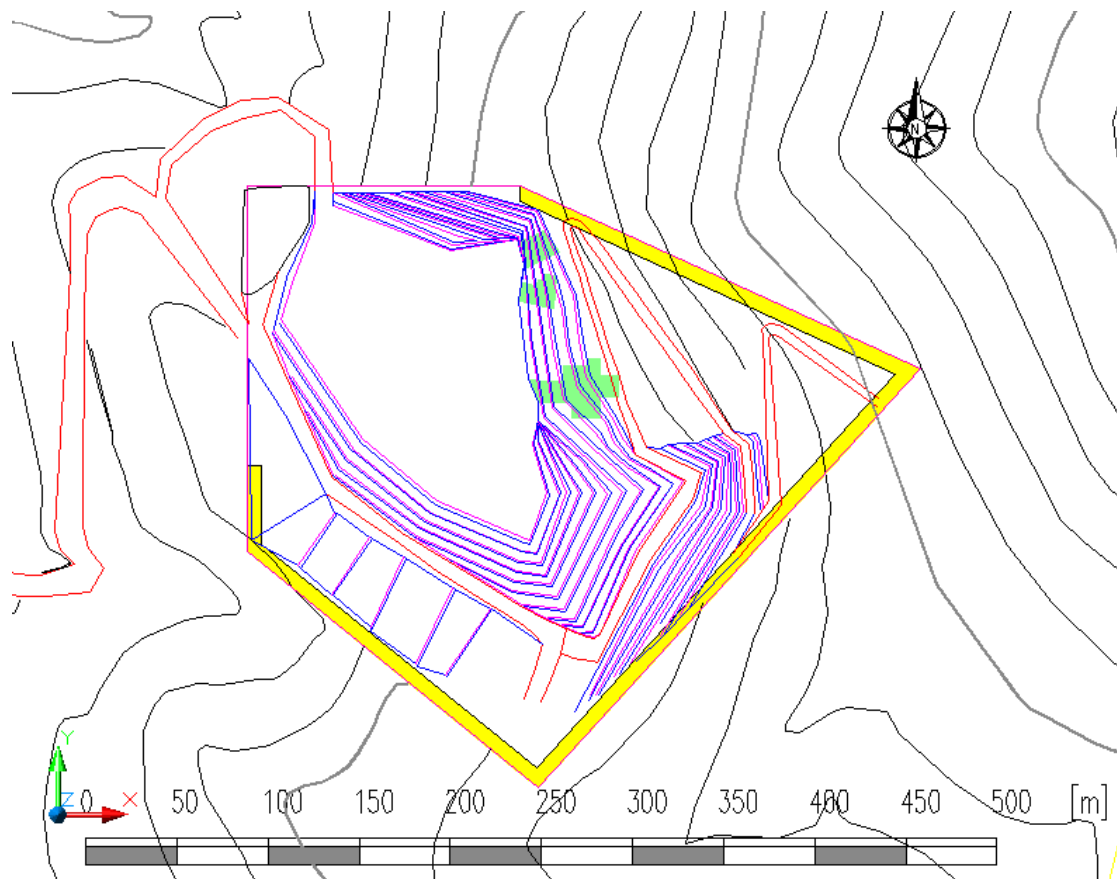
Ο σχεδιασμός των βαθμίδων της εκμετάλλευσης πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια και η σταθερότητα των πρανών που θα δημιουργηθούν, σε συνδυασμό με την μεγαλύτερη δυνατή απόληψη υλικού. Τα όρια και οι περιορισμοί που θέτει ο Κ.Μ.Λ.Ε στον σχεδιασμό βαθμίδων είναι:

- Κάθε εκσκαφή, για την ασφαλή και ορθολογική εκτέλεση της εργασίας, πρέπει να υποδιαιρείται σε βαθμίδες ύψους το πολύ 15 μέτρα. η γωνία πρανούς κάθε βαθμίδας καθορίζεται σύμφωνα με τα προβλεπόμενα απ' το άρθρο 79 παρ. 1,2 εδ. α', β', γ'. Ο καθορισμός του πλάτους γίνεται με βάση το κριτήριο της ασφαλούς και ορθολογικής λειτουργίας του μηχανικού εξοπλισμού που απασχολείται. Στις ενδιάμεσες φάσεις εργασίας, το πιο πάνω πλάτος δεν μπορεί να είναι μικρότερο για την περίπτωση απασχόλησης τροχοφόρων μηχανημάτων, από 12 m ενώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις, από 6 m. Ειδικά στα λατομεία μάρμαρου, στα οποία η εξόρυξη γίνεται αποκλειστικά με συρματοκοπή, το πλάτος της εγκαταλειπόμενης βαθμίδας μπορεί. ανάλογα με τον βαθμό τεκτονισμού

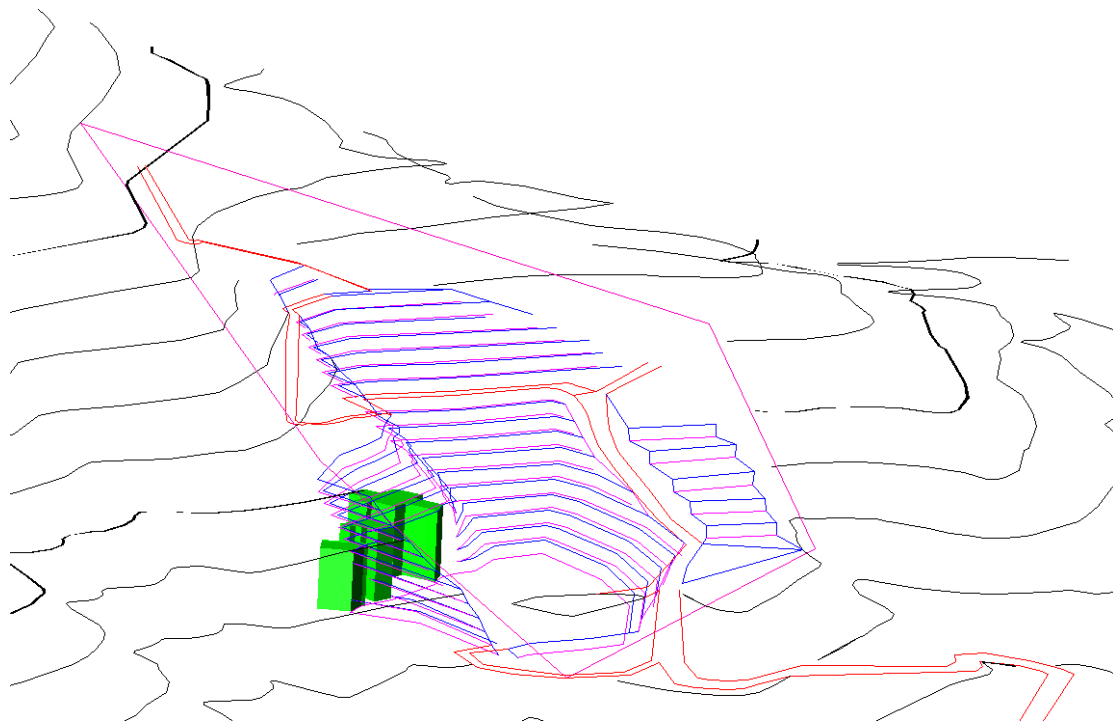
και τη συνεκτικότητα του πετρώματος να περιοριστεί στα 4 m. Η βαθμιδωτή διαμόρφωση, θα διατηρείται και μετά το τέλος του έργου. (Άρθρο 80, παρ.1)

- Η διαμόρφωση των βαθμίδων, σε κάθε περίπτωση , αρχίζει απ' τα υψηλότερα σημεία της εκσκαφής και προχωρεί διαδοχικά στα χαμηλότερα.
- Ιδιαίτερη προσοχή, πρέπει να δίνεται στον καθορισμό της κλίσης του πρανούς, σ' όλες τις φάσεις της εργασίας, εφόσον αυτή γίνεται σε μια μόνο βαθμίδα ή στις ενδιάμεσες και τελική φάση, αν η εργασία γίνεται σε περισσότερες βαθμίδες. η γωνία πρανούς πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μην δημιουργείται κίνδυνος κατολίσθησης ή κατακρήμνισης. Απαγορεύεται, σε κάθε περίπτωση, η εκσκαφή με γωνία πρανούς μεγαλύτερη από 90 μοίρες (αρνητική κλίση πρανούς). Η τελική γωνία πρανούς για συνεκτικά και υγιή πετρώματα, δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 60 μοίρες. (Άρθρο 79, παρ. 2)

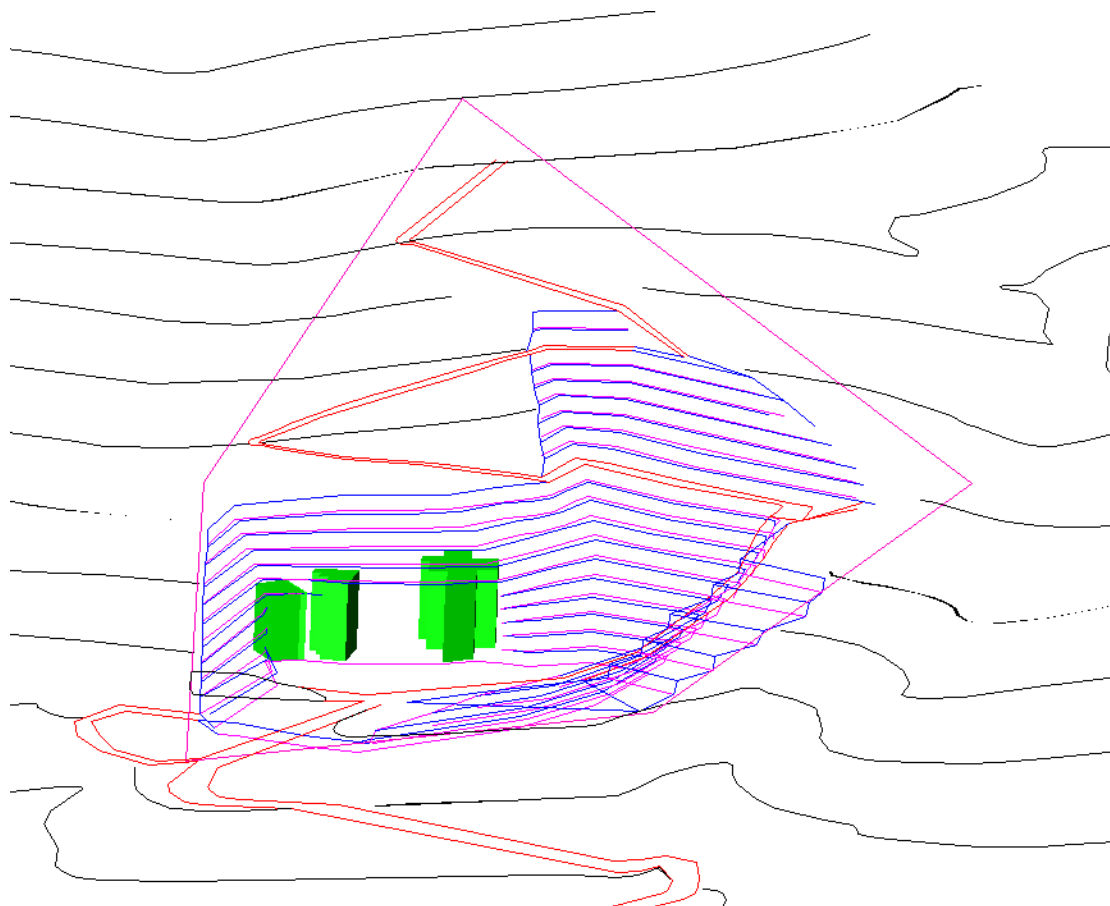
Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω ο σχεδιασμός της τελικής εκμετάλλευσης θα γίνει με ύψος βαθμίδας 6 μέτρα και πλάτος που κυμαίνεται από τα 6 έως τα 4 μέτρα ανάλογα με τις ανάγκες. Η πρώτη βαθμίδα είναι στο ύψος των 1046 μέτρων ενώ η τελευταία στα 931 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας, η οποία είναι η πλατεία της εκμετάλλευσης που αποτελεί τον πυθμένα της εκμετάλλευσης. Το ύψος των θαλάμων της υπόγειας εκμετάλλευσης για τον 1ο και 2ο θάλαμο θα φτάσει τα 35 μέτρα ενώ για τον 3ο τα 30 μέτρα. Στο Σχ. 6.10 εμφανίζεται η τελική μορφή των βαθμίδων στο λατομικό χώρο και στα Σχ. 6.11 και 6.12 παρουσιάζονται ισομετρικές απόψεις της εκμετάλλευσης.



Σχ. 6.10. Κάτοψη τελικής μορφής των ορθών βαθμίδων



Σχ. 6.11. Τρισδιάστατη άποψη τελικής μορφής βαθμίδων

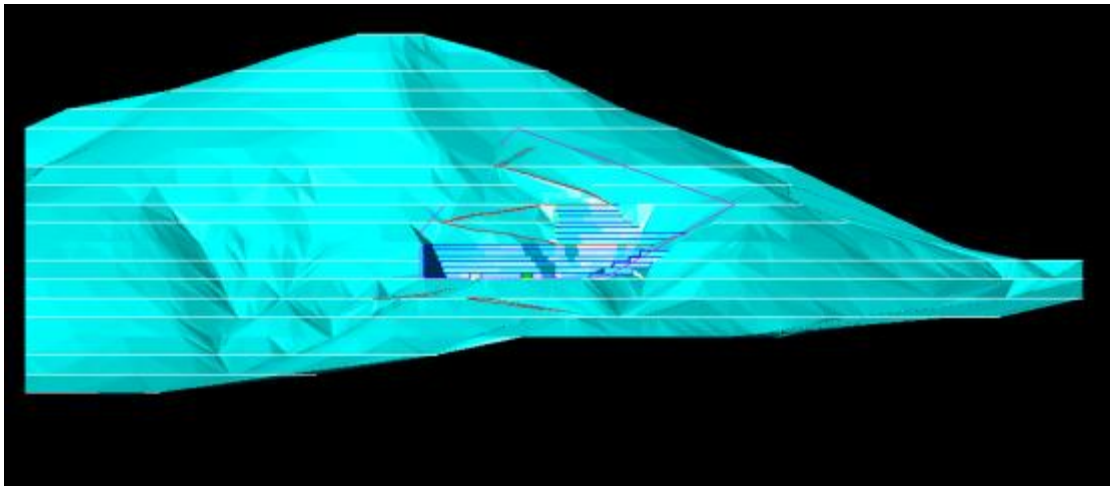


Σχ. 6.12. Τρισδιάστατη άποψη τελικής μορφής βαθμίδων

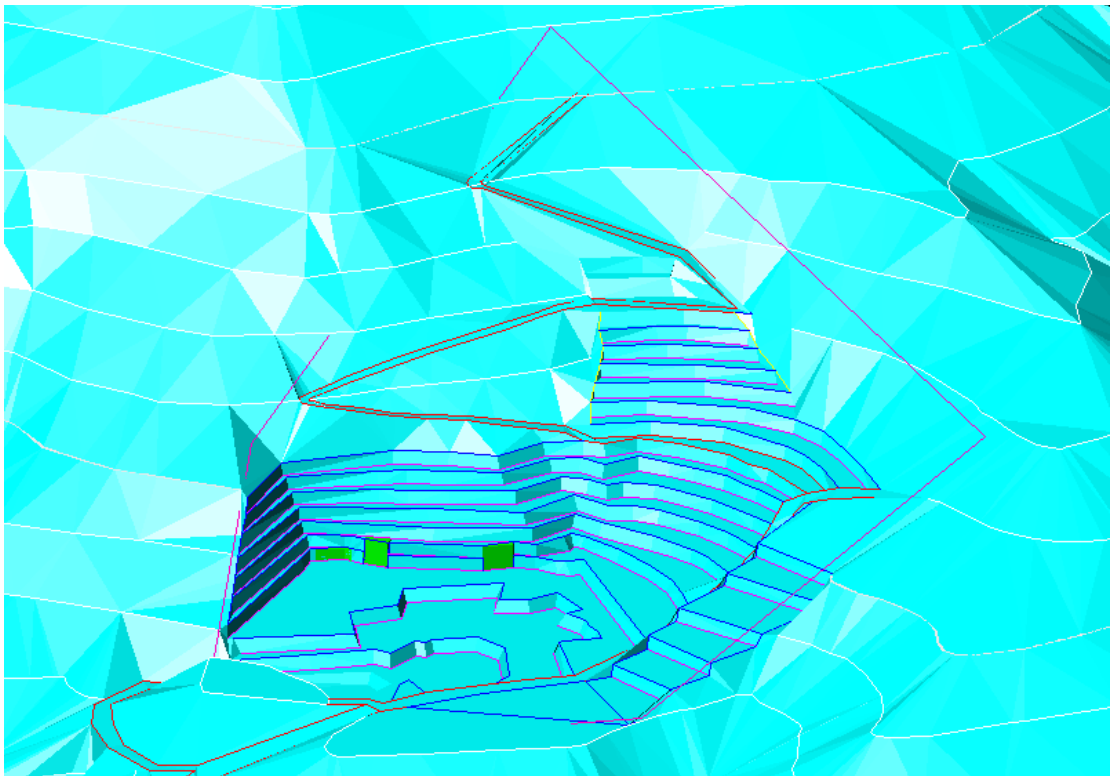
6.4 Υπολογισμός αποθεμάτων υπαίθριας και υπόγειας εκμετάλλευσης

Με το AutoCAD Civil 3D™ μπορεί να υπολογισθεί ο όγκος μεταξύ δύο επιφανειών για να υπολογισθούν τα μεταλλευτικά αποθέματα αφού πολλαπλασιασθούν με τον κατάλληλο συντελεστή αποληψιμότητας των δύο μεθόδων. Αρχικά πρέπει να δημιουργηθούν οι δυο επιφάνειες, οι οποίες είναι, πρώτη η τρέχουσα μορφή του λατομείου και δεύτερη η τελική μορφή του λατομείου. Κατόπιν θα υπολογισθεί ο όγκος ανάμεσα στις δύο αυτές επιφάνειες.

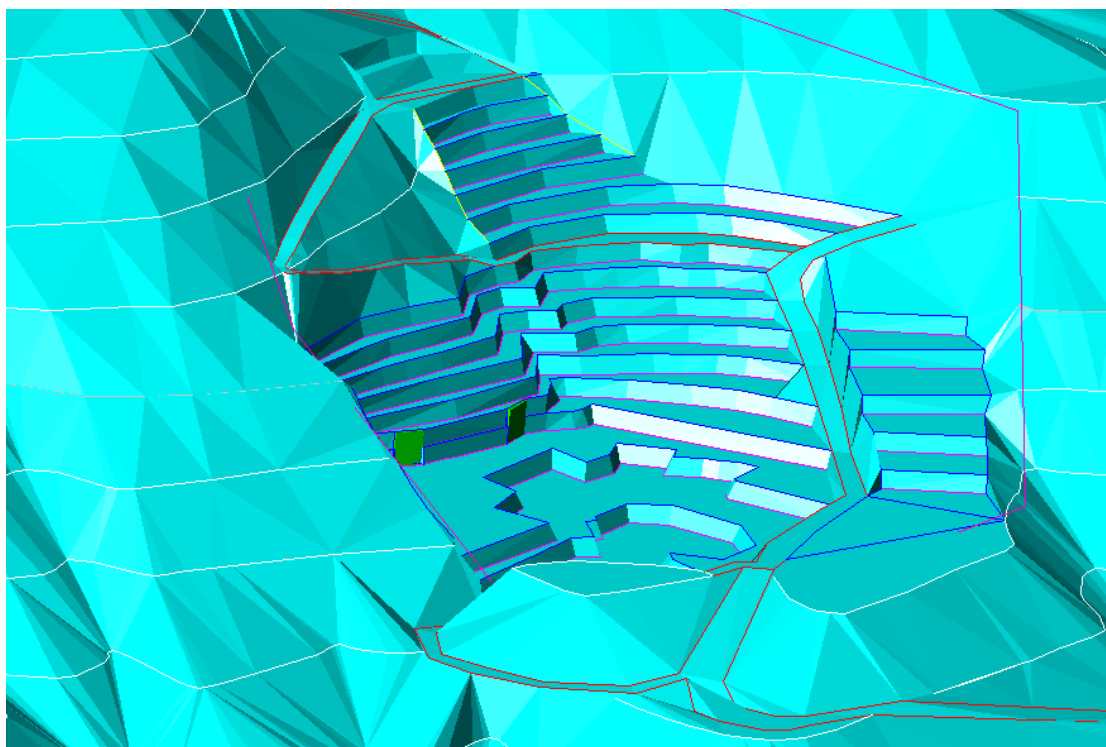
Στα Σχ. 6.13-6.15 εμφανίζεται η μορφή της επιφάνειας που δημιουργήθηκε και στο Σχ. 6.16 οι θάλαμοι της υπόγειας εκμετάλλευσης.



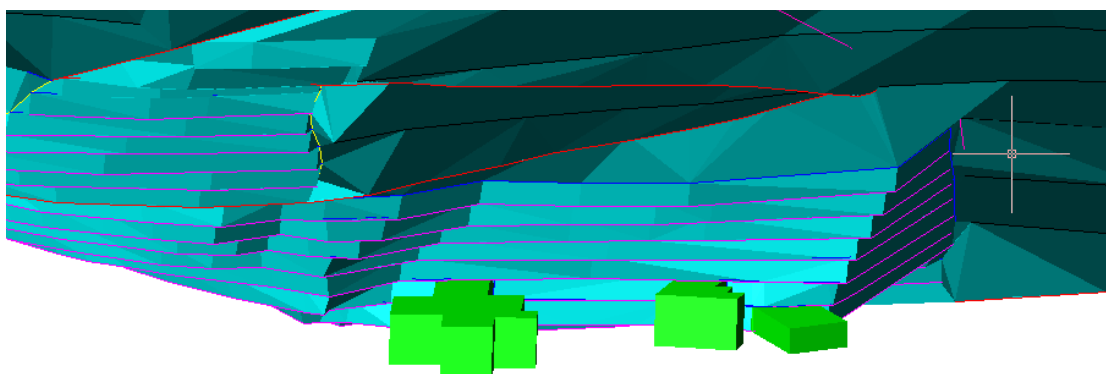
Σχ. 6.13. Απεικόνιση της επιφάνειας της τρέχουσας μορφής του λατομείου



Σχ. 6.14. Απεικόνιση της επιφάνειας της τρέχουσας μορφής του λατομείου

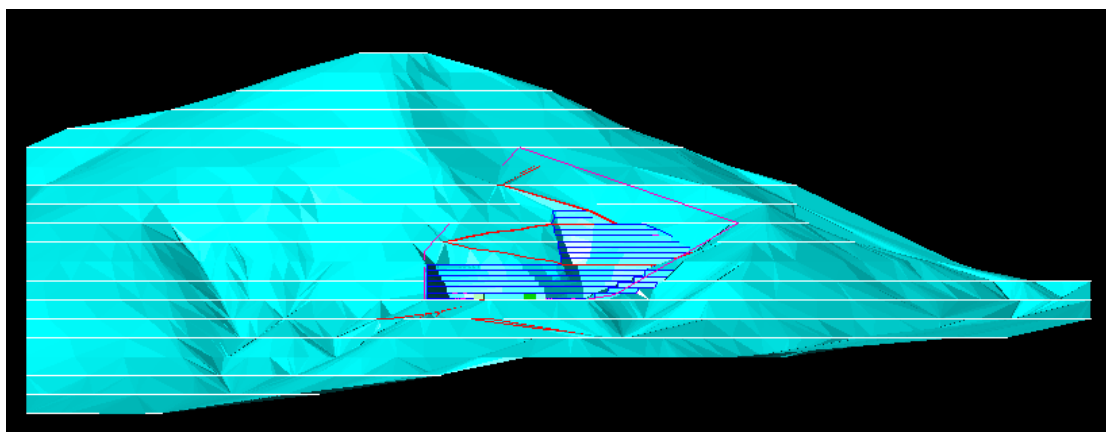


Σχ. 6.15. Απεικόνιση της επιφάνειας της τρέχουσας μορφής του λατομείου

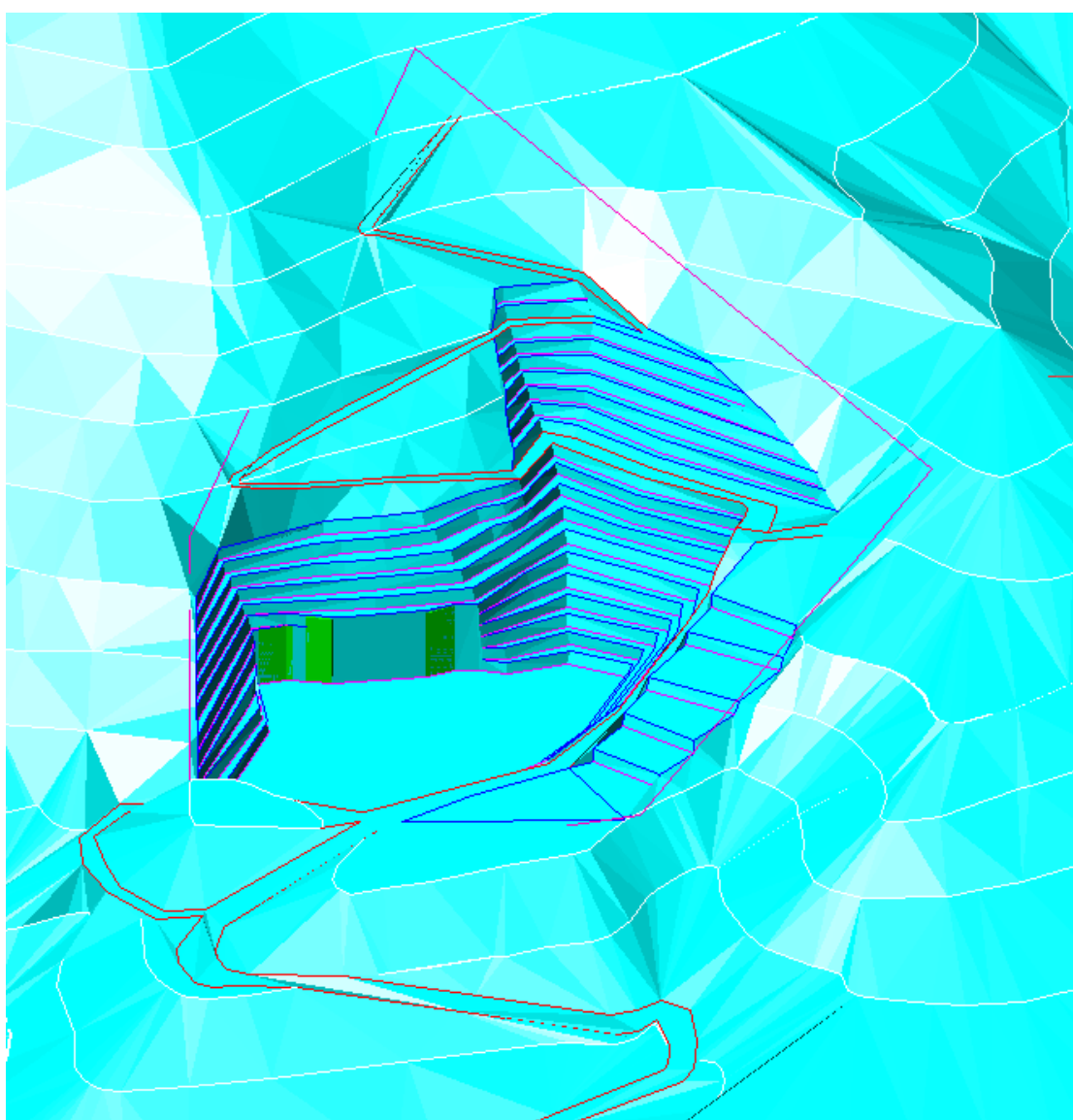


Σχ. 6.16. Απεικόνιση των θαλάμων της υπόγειας εκμετάλλευσης στη τρέχουσα μορφή του λατομείου

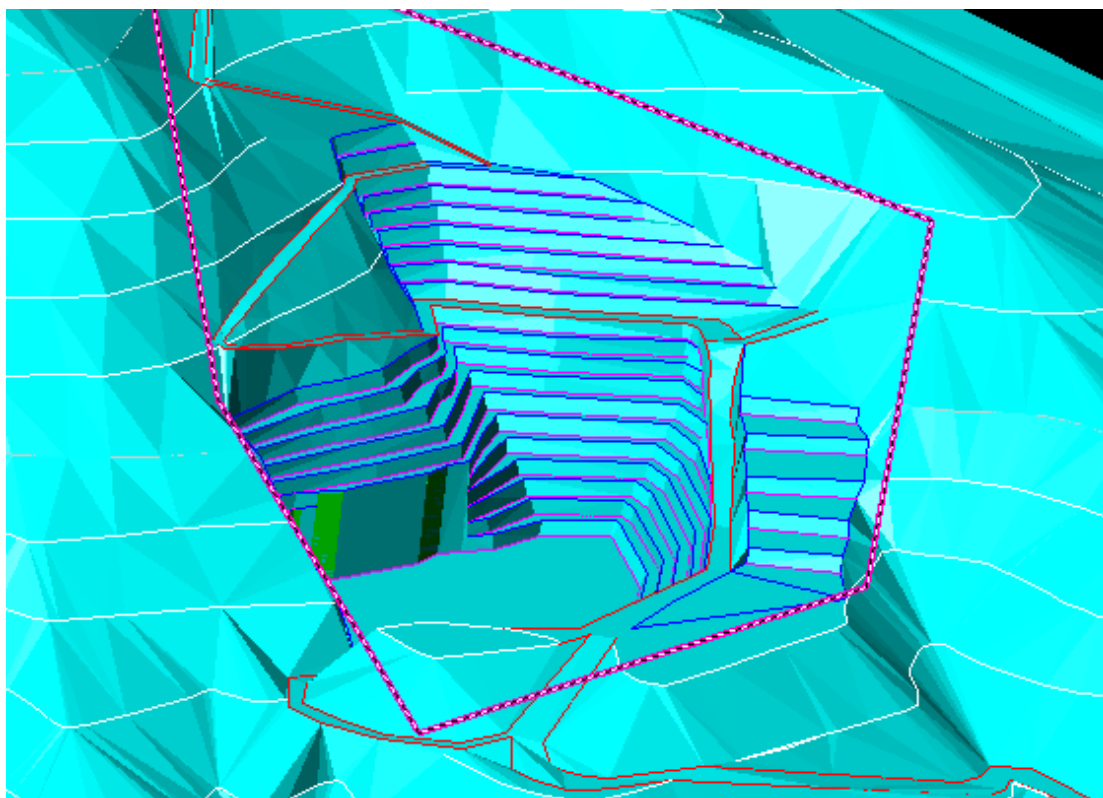
Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που προαναφέρθηκε δημιουργείται και η δεύτερη επιφάνεια, η οποία θα είναι η τελική μορφή του λατομικού χώρου. Στα Σχ. 6.17-6.19 εμφανίζεται η δεύτερη επιφάνεια που δημιουργήθηκε και στα Σχ. 6.20 οι θάλαμοι της υπόγειας εκμετάλλευσης.



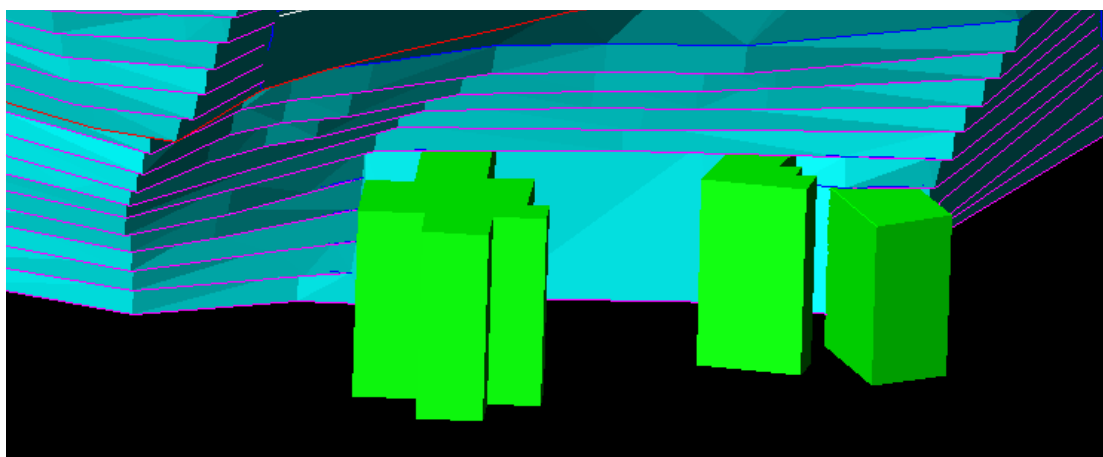
Σχ. 6.17. Απεικόνιση της επιφάνειας της τελικής μορφής του λατομείου



Σχ. 6.18. Απεικόνιση της επιφάνειας της τελικής μορφής του λατομείου



Σχ. 6.19. Απεικόνιση της επιφάνειας της τελικής μορφής του λατομείου



Σχ. 6.20. Απεικόνιση των θαλάμων της υπόγειας εκμετάλλευσης στη τελική μορφή του λατομείου

Τελικά ο καθαρός όγκος που θα πρέπει να αποληφθεί με την υπαίθρια μέθοδο είναι ίσος με περίπου 464.322 m^3 .

Για τον υπολογισμό του όγκου των θαλάμων της υπόγειας εκμετάλλευσης χρησιμοποιείται η εντολή massprop και επιλέγεται ο κάθε θάλαμος. Οι όγκοι που υπολογίσθηκαν είναι:

- ο 1ος θάλαμος έχει όγκο 33050 m^3
- ο 2ος θάλαμος έχει όγκο 10035 m^3
- ο 3ος θάλαμος έχει όγκο 8649 m^3

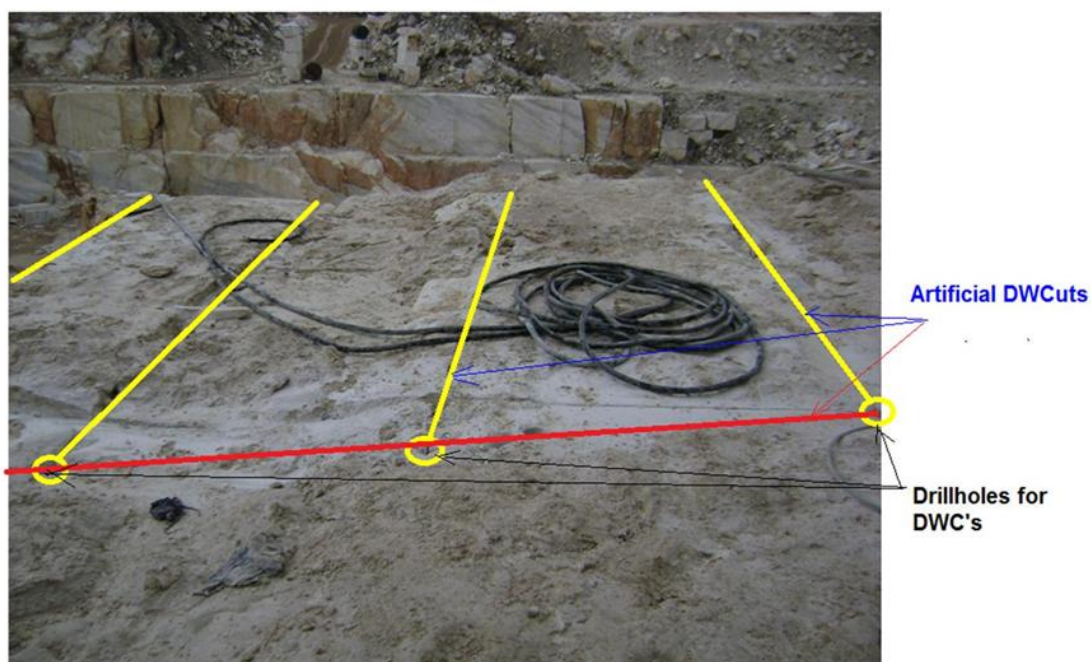
Ετσι εκτιμάται ότι ο συνολικός όγκος που θα αποληφθεί με την υπόγεια μέθοδο ανέρχεται σε 51.734 m^3 .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

7 Περιγραφή της υπαίθριας εκμετάλλευσης του λατομείου μαρμάρου Βώλακα

7.1 Γενικά

Το τοπογραφικό ανάγλυφο του λατομικού χώρου, τα γεωλογικά και πετρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής επιβάλλουν την επιλογή της μεθόδου υπαίθριας εκμετάλλευσης ορθών βαθμίδων ενώ για το «λύσιμο» του βουνού χρησιμοποιείται η αδαμαντοφόρος συρματοκοπή (Σχ. 7.1 α) σύμφωνα με τα εκτεθέντα σε προηγούμενο κεφάλαιο. Η συρματοκοπή επίσης χρησιμοποιείται για την κοπή των ανατραπέντων πάγκων (Σχ. 7.1 β) σε μικρότερους ορθογωνισμένους όγκους εμπορικών διαστάσεων όπως φαίνεται στο Σχ. 7.1 γ.



(α)



(β)



(γ)

Σχ. 7.1. (α) κατακόρυφες κοπές με συρματοκοπή (diamond wire, DW), (β) ανατροπή πάγκου και (γ) ορθογωνισμός ανατραπέντος πάγκου σε μικρότερους όγκους έτοιμους για μεταφορά με Σ/Κ (μεγάλη διάσταση πάγκου = μουρέλο) Μονάδα συρματοκοπής, του λατομείου Βώλακα

7.2 Υπολογισμός απολήψιμων αποθεμάτων

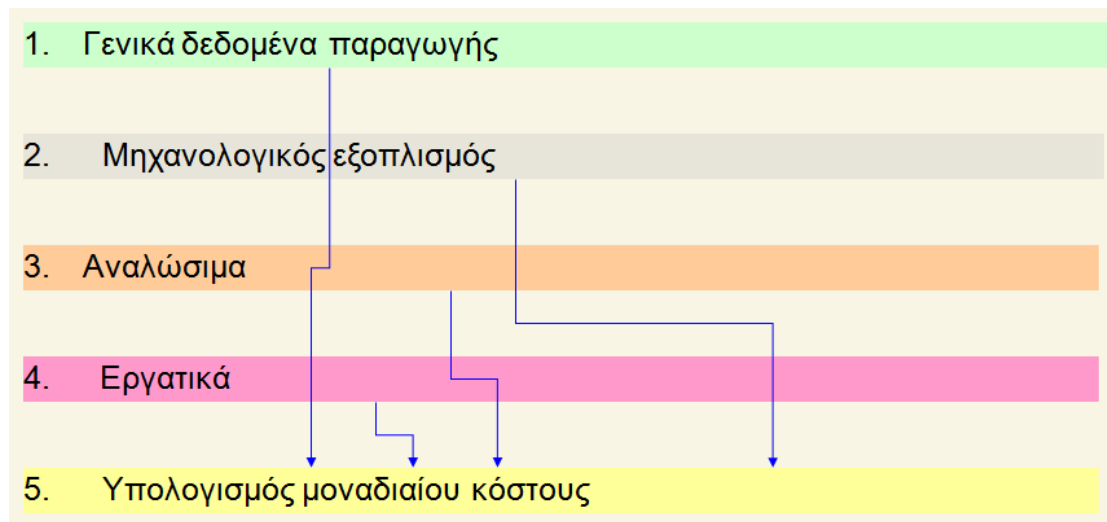
Για τον υπολογισμό των αποθεμάτων του λατομείου θεωρείται ως χρόνος έναρξης το έτος 2010 από το οποίο είναι ο τοπογραφικός χάρτης της υπάρχουσας κατάστασης του λατομείου.

Ο υπολογισμός του εκμεταλλεύσιμου όγκου μαρμάρου έγινε στη παράγραφο 6.4 και είναι 464.322m^3 . Με δεδομένου ότι ο εκτιμώμενος συντελεστής αποληψιμότητας του κοιτάσματος που έχει βρεθεί από τα στοιχεία παραγωγής όλων των ετών της εκμετάλλευσης ανέρχεται σε 0,10, προκύπτει ότι οι όγκοι που θα διακινηθούν προς εμπορία ανέρχονται σε $464.322 \times 0,10 = 46432,2\text{m}^3$ ογκομαρμάρων.

Η παραγωγή του λατομείου θα ανέρχεται σε 30.000m^3 ανά έτος από τα οποία τα 3.000m^3 θα είναι η παράγωγη εμπορεύσιμου μαρμάρου ανά έτος και οι ώρες εργασίας σε 8 ανά ημέρα με πενθήμερη (5 ημέρες) εργασία ανά εβδομάδα και αφαιρουμένων των αργιών, σε 250 ημέρες ανά έτος.

Η ημερήσια παραγωγή του λατομείου καθορίζεται σε $30.000 / 250 = 120\text{m}^3/\text{ημέρα}$ και με βάση τα υπολογισθέντα αποθέματα η ζωή του λατομείου θα ανέλθει σε $464.322\text{m}^3 / 30.000\text{m}^3 \text{ ανά έτος} = 15,5$ έτη από την τρέχουσα φάση του λατομείου.

Στη συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός του μοναδιαίου κόστους της υπαίθριας εκμετάλλευσης εξ ολοκλήρου σε αρχείο Excel™ σύμφωνα με τον παρακάτω αλγόριθμο που φαίνεται στο Σχ. 7.2.



Σχ. 7.2. Κύρια βήματα υπολογισμού του μοναδιαίου κόστους.

7.3 Μηχανικός εξοπλισμός ορύξεως και απασχολούμενο προσωπικό

Ο μηχανολογικός εξοπλισμός που απαιτείται για την επιθυμητή παράγωγή του λατομείου παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.1 ενώ εικόνες του εξοπλισμού φαίνονται στο Σχ. 7.3.

Πίνακας 7.1: Ανάλυση μηχανολογικού εξοπλισμού

Είδος	Τύπος	Κόστος κτήσης (Καινούριο) [€]	Είδος εργασιών	Προσωπικό	Παραγωγικά	Μονάδες	Πλήθος	Μοναδιαίο κόστος λειτουργίας	Μονάδες	Συντελεστής χρήσης	Ισχύς [hp]
Ερπυστριοφόρος φορτωτής	Caterpillar 963	205.000	Φόρτωση, εξώθηση ογκομαρμάρων, διάνοιξη λατομείου, φόρτωση ογκομαρμάρων σε φορτηγά κλπ.	1		m ³ /h	1	0,2	L/HP/h	0,5	150
Φορτωτής	Caterpillar 988	550.000	Φόρτωση, εξώθηση ογκομαρμάρων, διάνοιξη λατομείου, φόρτωση ογκομαρμάρων σε φορτηγά κλπ.	1		m ³ /h	1	0,2	L/HP/h	0,6	450
Εκσκαφέας ανεστραμμένου κάδου	Caterpillar 320D	160.000	Ανατροπή ογκομαρμάρων	-			1	0,2	L /HP/h	0,5	145
Συρματοκοπή	Pellegrini TD45	26.000	Κύρια κοπή, δευτερεύουσα κοπή, τετραγωνισμός κλπ.	5	5	m ² /h	5	0,7	€/m ²		
Ηλεκτρική Γεννήτρια συρματοκοπής	Pellegrini TD45	27.000					5	0,2	L /HP/h	0,6	120
Ερπυστριοφόρος διατρητικό	Atlas Corco ROC 612	200.000	Οριζόντια διατρήματα για συρματοκοπή	2			2	0,2	L /HP/h	0,6	150
Φορητός αεροσυμπιεστής	Atlas Corco XAS 136	15.000	Παροχή συμπιεσμένου αέρα στα διατρητικά		8	m ³ /min	2	0,2	L /HP/h	0,1	120
Διατρητικό	SLIM-DRILLER (Pellegr.)	14.000	Κάθετα διατρήματα για συρματοκοπή				2				
Μικρός φορτωτής ή μικρό φορτηγό με γερανό	O&K or small track with crane	55.000	Μεταφορά συρματοκοπής και αναλώσιμων				1	0,2	L /HP/h	0,5	120
Ανατρεπόμενο φορτηγό	Caterpillar 769D	450.000	Μεταφορά στείρων	1			1	0,2	L /HP/h	0,5	492
Όχημα μεταφοράς προσωπικού	Mercedes or similar	16.000	Μεταφορά προσωπικού				1	0,2	L /HP/h	0,1	120



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Σχ. 7.3. Μηχανικός εξοπλισμός: (a) Αεροσυμπιεστής Atlas Copco XAS 136, (b) Διατρητικό Atlas Copco ROC 612, (c) Συρματοκοπή Pellegrini TD45, (d) Διατρητικό SLIM-DRILLER (Pellegrini), (e) Φορτωτής Caterpillar 963, (f) Φορτωτής Caterpillar 988, (g) Εκσκαφέας Caterpillar 320D, (h) Dumper Caterpillar 769D.

Το προσωπικό του λατομείου αποτελείται από το μόνιμο προσωπικό και αυτό της περιοδικής επίβλεψης. Το μόνιμο προσωπικό που απασχολείται στο λατομείο κατά ειδικότητα είναι το εξής:

- ένας εργοδηγός
- δυο πιστολαδότες, που έχουν και την ευθύνη για τη συντήρηση του διατρητικού εξοπλισμού. Σημειώνεται ότι ο πιστολαδότης θα έχει εργασία τόσο στο μέτωπο της εξόρυξης, ανοίγοντας διατρήματα για το πέρασμα του αδαμαντοφόρου σύρματος της συρματοκοπής, όσο και στην πλατεία για τον ορθογωνισμό των ογκομαρμάρων, αλλά και στη διαμόρφωση των δρόμων προσπέλασης προς τις δημιουργούμενες νέες βαθμίδες και τα νέα μέτωπα εξόρυξης.
- δυο χειριστές χωματοσυγκολλητών μηχανημάτων
- ένας οδηγός
- πέντε χειριστές συρματοκοπής

7.4 Υπολογισμός μοναδιαίου κόστους

Για τον υπολογισμό του μοναδιαίου κόστους θα χρειαστεί να υπολογιστούν όλες οι δαπάνες που βαρύνουν την επιχείρηση καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας του. Αυτές οι δαπάνες αφορούν τις πληρωμές του προσωπικού, τις δαπάνες για καύσιμα λιπαντικά και συντήρησης των μηχανημάτων, τις δαπάνες για τα σύρματα των συρματοκοπών και των διατρητικών στελεχών και κοπτικών.

7.4.1 Υπολογισμός κόστους αναλώσιμων

Οι Δαπάνες για την προμήθεια αδαμαντοφόρου σύρματος για την συρματοκοπή και των διατρητικών στελεχών και κοπτικών παραθέτεται στον πίνακα [7.2](#)

Πίνακας 7.2: Δαπάνες αναλώσιμων

Αναλώσιμα	Κόστος(€) / μονάδα	Σχόλια
Σύρμα για συρματοκοπής	57,14	€/m
Διατρητικό στέλεχος (DTH)	250,00	μήκος 1.60 m
Κοπτικό (κορώνα) διατρητικού (DTH)	300,00	€/ κορώνα
Διατρητικό στέλεχος άνω σφύρας	57,97	μήκος 40 cm
Διατρητικό στέλεχος άνω σφύρας		μήκος 720 cm
Κοπτικό (κορώνα) διατρητικού άνω σφύρας	28,99	€/ κορώνα
Μήκος σύρματος [m]	60,00	
Αντοχή σύρματος [m ²]	5000,00	Εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε χαλαζία
Κόστος σύρματος [€/m ²]	0,69	
Κόστος σύρματος [€/m ³]	1,11	
Αντοχή διατρητικών στελεχών και κοπτικών [m]	500,00	
Αντοχή διατρητικών στελεχών και κοπτικών [m ³]	1358,490566	(500m (life)/10.6 m/block)x28.8m ³ (block)
Κόστος διατρητικών στελεχών και κοπτικών [€/m ³]	1,25	
Συνολικό κόστος σύρματος για τη συρματοκοπή [€ / έτος]	33.428,57 €	υπολογίζεται για το σύνολο της ετήσιας παράγωγης
Συνολικό κόστος των διατρητικών αναλώσιμων [€ / έτος]	37.509,66 €	υπολογίζεται για το σύνολο της ετήσιας παράγωγης

7.4.2 Δαπάνες για καύσιμα λιπαντικά και συντήρησης των μηχανημάτων

Για τον υπολογισμό των δαπανών για καύσιμα λιπαντικά και συντήρηση των μηχανημάτων, θα χρησιμοποιηθούν κάποιες εμπειρικές σχέσεις.

- Απόσβεση μηχανήματος [€ / έτος]

$$D = C \frac{(1+i)^y * i}{(1+i)^y - 1}$$

όπου C είναι το κόστος κτήσης του μηχανήματος, i είναι το επιτόκιο και y είναι τα έτη απόσβεσης.

- Κόστος καυσίμων μηχανήματος [€ / έτος]

$$OC = N * (lt/HP/ώρα) * HP * (ώρες/ημερα) * (ημερες/ετος) * CU * (€/lt)$$

όπου N είναι ο αριθμός μηχανημάτων, HP είναι η ιπποδύναμη, CU είναι ο συντελεστής χρήσης και τέλος η τιμή πετρελαίου (€/lt).

- Κόστος λιπαντικών μηχανήματος [€ / έτος]

$$LC = 0.25 * OC$$

- Κόστος συντήρησης μηχανήματος [€ / έτος]

$$M = N * C * MC$$

όπου MC ο συντελεστής συντήρησης. Για καινούριο μηχάνημα MC=0,08 και για μεταχειρισμένο μηχάνημα MC=0,16

7.4.3 Μοναδιαίο κόστος

Ο υπολογισμός του μοναδιαίου κόστους γίνεται στον παρακάτω πίνακα 7.3.

Πίνακας 7.3: Υπολογισμός μοναδιαίου κόστους

Θεωρήσεις:	
Θεώρηση #1: Εξόρυξη σε 1-2 βαθμίδες, φάση πλήρους παραγωγής	
Θεώρηση#2: Για τον υπολογισμό του κόστους κοπής (απλοποιημένο παράδειγμα), θεωρείται παραγωγή ενός τυπικού δολομιτικού ογκομαρμάρου, σκληρότητας 4 και διαστάσεων B=1,60 m, Π=3,00 m, και Υ=6,00 m (=28,8 m ³). Ο υπολογισμός πρέπει να γίνει για τη μισή συνολική επιφάνεια του ογκομαρμάρου. Το άλλο μισό θεωρείται για το επόμενο ογκομάρμαρο. Η συνολική επιφάνεια του ογκομάρμαρου είναι 65 m ² . Συνεπώς, για τον υπολογισμό λαμβάνονται υπόψη τα 32,5 m ² . Ο τετραγωνισμός περιλαμβάνει 3 επιπλέον κοπές συνολικά 3x1,6=4,8 m ² . Συνεπώς, η συνολική επιφάνεια είναι 46,8 m ² .	
Θεώρηση # 3: Τιμή πετρελαίου [€/L]	1,25
Θεώρηση # 4: Ετήσια παραγωγή [m ³ /year]	30.000,00
Θεώρηση # 5: Αποληψιμότητα μαρμάρου	0,10
Θεώρηση # 6: Επιτόκιο	0,05
Θεώρηση # 7: Έτη απόσβεσης εξοπλισμού	15,48
Θεώρηση # 8: Εργάσιμες ώρες ανά ημέρα	8,00
Θεώρηση # 9: Συντελεστής συντήρησης	0,08

Δεδομένα	
Όγκος ογκομαρμάρου [m ³]	28,80
Βάρος ογκομαρμάρου [tn]	81,79
Όγκος τετραγωνισμένου ογκομαρμάρου [m ³]	7,20
Βάρος τετραγωνισμένου ογκομαρμάρου [tn]	20,45
Συνολική επιφάνεια για παραγωγή τετραγωνισμένου ογκομαρμάρου [m ²]	46,80
Συνολική ειδική επιφάνεια ανά ογκομαρμάρο [m ² /m ³]	1,63
Συνολικό μήκος διάτρησης ανά ογκομαρμάρο [m]	10,60
Συνολικό ειδικό μήκος διάτρησης ανά ογκομαρμάρο [m/m ³]	0,37
Κόστος διατρητικών [€/m ³]	1,25
Κόστος σύρματος (για συρματοκοπές) [€/m ³]	1,11
Υπολογισμός μοναδιαίου κόστους	
Διατρητικά αναλώσιμα [€/έτος]	37.509,66 €
Σύρμα (για συρματοκοπές) [€/έτος]	33.428,57 €
Συρματοκοπή - Καύσιμα και λιπαντικά [€/έτος]	202.500,00 €
Συρματοκοπή - Απόσβεση [€/έτος]	24.997,27 €
Συρματοκοπή - Συντήρηση [€/έτος]	21.200,00 €
Αεροσυμπιεστής - Καύσιμα και λιπαντικά [€/έτος]	13.500,00 €
Αεροσυμπιεστής - Απόσβεση [€/έτος]	2.829,88 €
Αεροσυμπιεστής - Συντήρηση [€/έτος]	2.400,00 €
CAT 963 - Καύσιμα και λιπαντικά [€/έτος]	42.187,50 €
CAT 963 - Απόσβεση [€/έτος]	19.337,51 €
CAT 963 - Συντήρηση [€/έτος]	16.400,00 €
CAT 320 - Καύσιμα και λιπαντικά [€/έτος]	40.781,25 €
CAT 320 - Απόσβεση [€/έτος]	15.092,69 €
CAT 320 - Συντήρηση [€/έτος]	12.800,00 €
CAT 988 - Καύσιμα και λιπαντικά [€/έτος]	168.750,00 €
CAT 988 - Απόσβεση [€/έτος]	51.881,12 €
CAT 988 - Συντήρηση [€/έτος]	44.000,00 €
ROC 612 Καύσιμα και λιπαντικά [€/έτος]	101.250,00 €
ROC 612 Απόσβεση [€/έτος]	37.731,72 €
ROC 612 Συντήρηση [€/έτος]	32.000,00 €
Pellegrini SLIMDRILLER - Απόσβεση [€/έτος]	2.641,22 €
Pellegrini SLIMDRILLER - Συντήρηση [€/έτος]	2.240,00 €
O&K - Καύσιμα και λιπαντικά [€/έτος]	33.750,00 €
O&K - Απόσβεση [€/έτος]	5.188,11 €
O&K - Συντήρηση [€/έτος]	4.400,00 €
Dumper CAT 769 Καύσιμα και λιπαντικά [€/έτος]	153.750,00 €
Dumper CAT769 Απόσβεση [€/έτος]	42.448,19 €
Dumper CAT769 Συντήρηση [€/έτος]	36.000,00 €
Όχημα μεταφοράς Καύσιμα και λιπαντικά [€/έτος]	6.750,00 €
Όχημα μεταφοράς van Απόσβεση [€/έτος]	1.509,27 €
Όχημα μεταφοράς van Συντήρηση [€/έτος]	1.280,00 €

Κόστος προσωπικού [€/έτος] (150€/ημέρα)	412.500,00 €
Συνολικό ετήσιο κόστος [€/έτος]	1.623.033,96 €
Συνολικό κόστος ανά κυβικό εμπορεύσιμου μαρμάρου [€/m³]	541,01 €

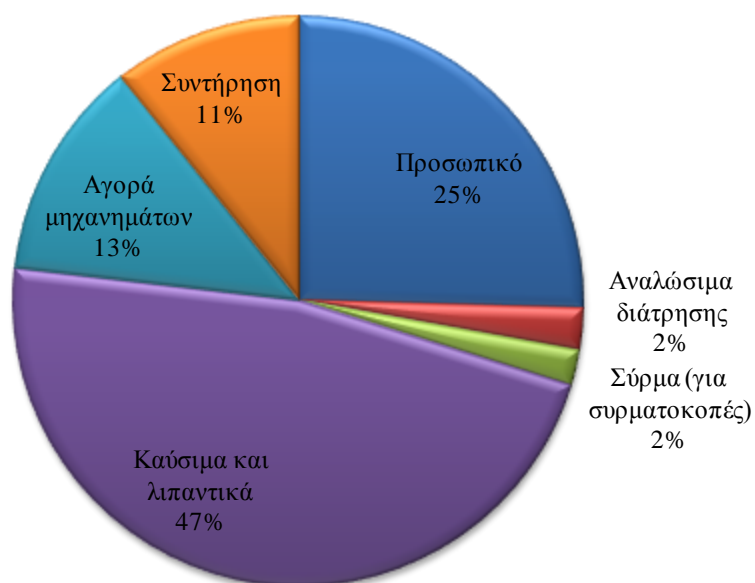
Σύμφωνα με τους υπολογισμούς για την εξόρυξη ενός εμπορεύσιμου κυβικού μαρμάρου απαιτούνται 541,01€. Ο υπολογισμός αυτός αν και προσεγγιστικός κρίνεται ρεαλιστικός συγκρινόμενος με τους υπολογισμούς της Εταιρείας αλλά και με την εμπορική αξία των εν λόγω ογκομαρμάρων.

Πίνακας 7.4: Κατανομή κόστους 1,2

Κατανομή κόστους #1	
Προσωπικό	25,4%
Αναλώσιμα διάτρησης	2,3%
Σύρμα (για συρματοκοπές)	2,1%
Καύσιμα και λιπαντικά	47,0%
Αγορά μηχανημάτων	12,5%
Συντήρηση	10,6%
Σύνολο	100%

Κατανομή κόστους #2	
Προσωπικό	25,4%
Μηχανήματα	70,2%
Αναλώσιμα	4,4%
Σύνολο	100%

Κατανομή κόστους 1



Διάγραμμα 7.1: Κατανομή κόστους 1

Κατανομή κόστους 2



Διάγραμμα 7.2: Κατανομή κόστους 2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ. 8^ο

8 Περιγραφή της υπόγειας εκμετάλλευσης του λατομείου μαρμάρου Βώλακα

8.1 Γενικά

Το υπόγειο έχει σχεδιασθεί να αποτελείται από τρεις θαλάμους (1, 2 και 3) που δεν επικοινωνούν μεταξύ τους με ενδιάμεσους επιμήκεις στύλους προστασίας (rib and protection pillars) όπως έχει προαναφερθεί στο Κεφ. 6 (βλ. Σχ. 6.6, 6.7 και 6.8). Καταβάλλεται προσπάθεια, όπου είναι εφικτό, οι στύλοι να εγκαταλείπονται σε περιοχές μη καλής ποιότητας μαρμάρου.

Η εξόρυξη ενός θαλάμου αρχίζει από το ανώτερο υψόμετρο με τη χρήση αλυσοπρίονου διάνοιξης στοών σύμφωνα με τα προεκτεθέντα σε προηγούμενο κεφάλαιο. Χρησιμοποιείται το αλυσοπρίονο Fantini GU70 (Φωτ. 8.1 α) που διαθέτει λάμα καθαρού μήκους κοπής 2m, η οποία είναι προσαρμοσμένη σε κεφαλή, η οποία κινείται επί οδηγών και δύναται να περιστρέφεται 360°. Έτσι είναι σε θέση να διενεργεί οριζόντιες τομές εφραπτόμενες στο δάπεδο και στο ύψος της οροφής, καθώς και κατακόρυφες τομές (Φωτ. 8.2). Η απόδοση κοπής είναι χαμηλότερη της αδαμαντοφόρας συρματοκοπής, φτάνοντας τα 5m²/h. Λόγω των χαμηλών ταχυτήτων περιστροφής της αλυσίδας και των ειδικών κοπτικών διενεργείται ξηρή κοπή, εξοικονομώντας μεγάλες ποσότητες νερού.



(α)



(β)

Φωτ. 8.1. Αλυσοπρίονο Fantini GU70 και (β) Κοπτική λάμα αλυσοπριόνου



Φωτ 8.2. Άποψη του υπόγειου λατομείου μαρμάρου στο Βώλακα

Οι φυσικοί αυτοί στύλοι σε συνδυασμό με περιορισμένη κοχλίωση της οροφής και χρησιμοποίησης τοπικώς χαλύβδινου πλέγματος, αποτελούν τους μοναδικούς τρόπους υποστήλωσης της οροφής των θαλάμων (Φωτ. [8.3](#), [8.4](#)).



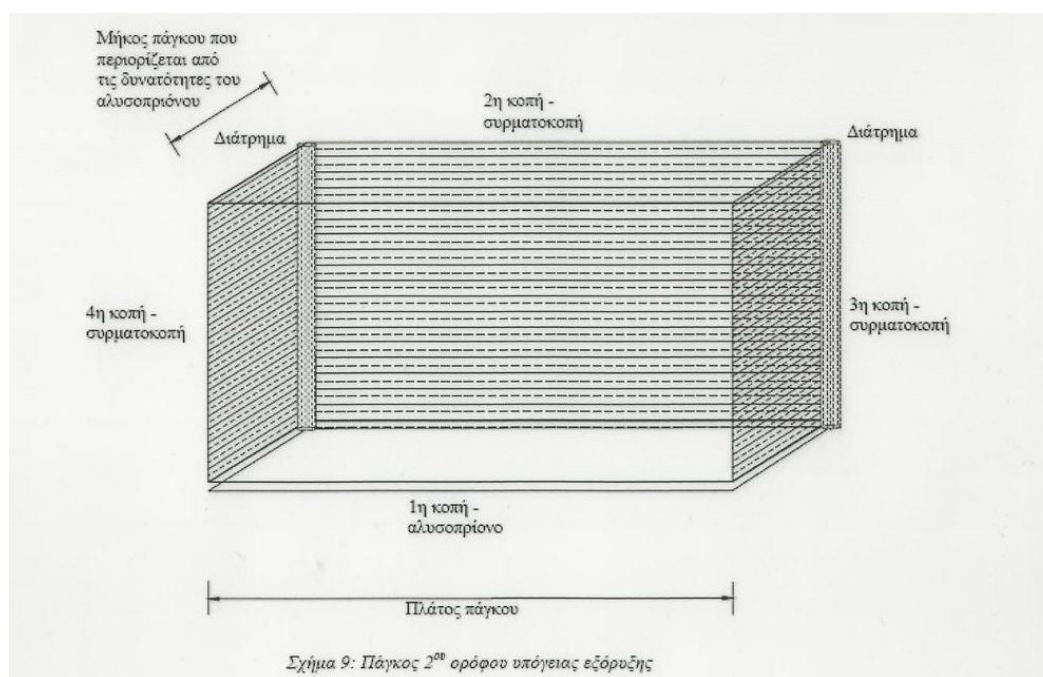
Φωτ 8.3. Υποστύλωση της εκμετάλλευσης (Βώλακας)



Φωτ 8.4. Υποστύλωση της εκμετάλλευσης (Βώλακας)

Αφού εξορυχθεί ο θάλαμος στις τελικές του διαστάσεις τότε στη δεύτερη φάση υπάρχουν δύο ελεύθερες επιφάνειες (το μέτωπο και το δάπεδο του πρώτου ορόφου) καθιστώντας την υπόγεια εξόρυξη παρόμοια με την υπαίθρια με ορθές

βαθμίδες. Καταρχήν γίνεται η οριζόντια κοπή με αλυσοπρίονο και εν συνεχεία οι κατακόρυφες με συρματοκοπή σύμφωνα με τις λεπτομέρειες του Σχ. 8.1.



Σχ. 8.1.. Ακολουθία κοπών με αλυσοπρίονο και συρματοκοπή της ορθής βαθμίδας.

Στη Φωτ. 8.5 φαίνεται το αρχικό στάδιο της 2^{ης} αυτής φάσης.



Φωτ. 8.5. Αρχική φάση της εξόρυξης πάγκων από την ορθή βαθμίδα στο θάλαμο 2.

8.2 Διαστασιολόγηση των θαλάμων και στύλων

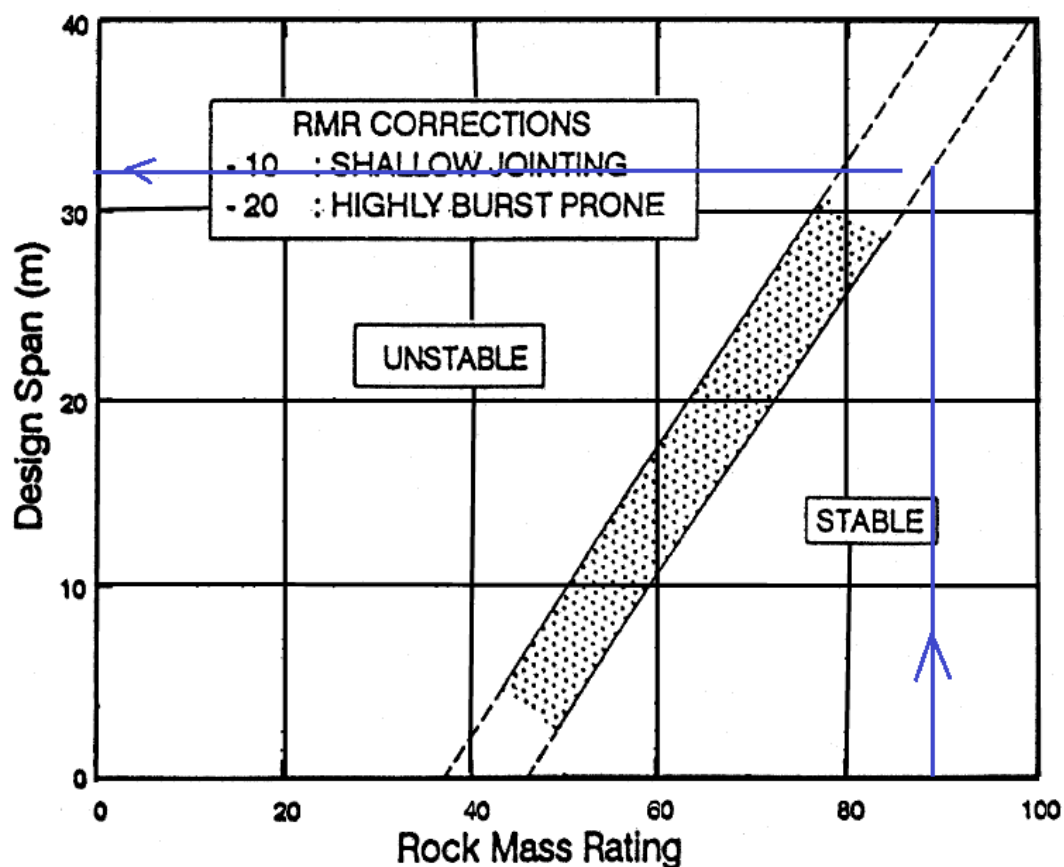
Η παρουσία ανοιγμάτων σημαντικών διαστάσεων, στύλων μεγάλου λόγου ύψους προς πλάτος, η πρακτική αδυναμία ουσιαστικού ελέγχου της οροφής του κοιτάσματος μετά το πέρας της προπαρασκευής του και η λειτουργική χρήση για μεγάλο χρονικό διάστημα των θαλάμων σε σχέση προς εκείνο των μεταλλευτικών κοιτασμάτων, επιβάλλουν ιδιαίτερη προσοχή στον σχεδιασμό των στύλων και των θαλάμων.

Η χρησιμοποίηση διαφόρων εμπειρικών τύπων κατά τη φάση του σχεδιασμού των στύλων με τους οποίους υπολογίζεται η φέρουσα ικανότητα τους ανάλογα με τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά και τις μηχανικές ιδιότητες του πετρώματος πολλές φορές έχει αποδειχθεί ότι δεν αρκούν. Για να καταστούν χρήσιμοι στην πράξη και να οδηγήσουν σε ασφαλή εκμετάλλευση πρέπει να συσχετισθούν με τα δεδομένα του μαρμαροφόρου κοιτάσματος, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στη θεώρηση του συστήματος θαλάμου και στύλου ως συνιστάμενου από ασυνεχές υλικό (πέτρωμα), το οποίο βρίσκεται υπό την επίδραση λιθοστατικού ή και άλλου ενεργού στην περιοχή εντατικού πεδίου .

Στην υπό μελέτη περίπτωση μόνο το πλάτος του στύλου μεταξύ των υπογείων 2 και 3 χρήζει περαιτέρω στατικής μελέτης. Αυτός έχει σχεδιασθεί με πλάτος περίπου 16 m και αναμένεται να φθάσει σε ύψος πάνω από 20 m. Η διαστασιολόγηση του έγινε εμπειρικά χωρίς να ληφθούν υπόψη τυχόν ασυνέχειες μεγάλης εμμονής που τον διασχίζουν. Απ' την άλλη πλευρά οι ασυνέχειες secondo και contro έχουν κλίσεις πάνω από 70° και δεν παρουσιάζουν προβλήματα διάτμησης. Οι verso που έχουν κλίση 40° προς ανατολάς αλλά σε αυτήν την κατεύθυνση ο στύλος έχει μεγάλη διάσταση (μήκος). Βεβαίως πρέπει να μελετηθούν οι περιπτώσεις σχηματισμού τυχόν κινητικών πρισμάτων στο στύλο, αλλά μέχρι σήμερα δεν έχουν παρατηρηθεί τέτοια φαινόμενα στους στύλους (ήτοι αποκολλήσεις σφηνών).

Η μεγαλύτερη διάσταση του θαλάμου No 1 σχεδιάσθηκε εμπειρικά με την βοήθεια του δείκτη ποιότητας βραχομάζας σύμφωνα με τις λεπτομέρειες του Σχ. 8.2. Εφόσον το $RMR > 90$ στην περίπτωση του δολομιτικού μαρμάρου προέκυψε

η μέγιστη διάσταση 30 m. Παράλληλα έγινε και έλεγχος ευστάθειας σφηνών της οροφής και των παρειών των θαλάμων πριν την έναρξη των υπογείων εργασιών. Αυτή η ανάλυση δεν γίνεται στην παρούσα εργασία γιατί ξεφεύγει από τα όρια που έχουν προδιαγραφεί γι' αυτήν.



Σχ. 8.2. Σχεδιασμός της μέγιστης διαμέτρου εγγεγραμμένου κύκλου εντός της κάτοψης των ανυποστύλων θαλάμων με βάση τον δείκτη ποιότητας της βραχομάζας RMR που στην περίπτωση του δολομιτικού μαρμάρου είναι πάνω από 90 (Lang et al, 1991)

8.3 Υπολογισμός απολήψιμων αποθεμάτων της υπόγειας εκμετάλλευσης

Ο υπολογισμός του συνολικού όγκου μαρμάρου που θα αποληφθεί με την υπόγεια εκμετάλλευση έγινε στη παράγραφο 6.4 και είναι 51.734 m^3 .

Με δεδομένο ότι ο εκτιμώμενος συντελεστής αποληψιμότητας του κοιτάσματος ανέρχεται σε 0,20, προκύπτει ότι οι όγκοι που θα διακινηθούν προς εμπορία ανέρχονται σε $51734 \times 0,20 \approx 10.300 \text{ m}^3$ ογκομαρμάρων.

Η παραγωγή της υπόγειας εκμετάλλευσης θα ανέρχεται σε 5.000 m^3 ανά έτος από τα οποία τα 1.000 m^3 θα είναι η παράγωγή εμπορεύσιμου μαρμάρου ανά έτος και οι ώρες εργασίας σε 8 ανά ημέρα με πενθήμερη (5 ημέρες) εργασία ανά εβδομάδα και αφαιρουμένων των αργιών, σε 250 ημέρες ανά έτος.

Η ημερήσια παραγωγή του λατομείου καθορίζεται σε $5.000 / 250 = 20 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ και με βάση τα υπολογισθέντα αποθέματα η ζωή του λατομείου θα ανέλθει σε $51734 \text{ m}^3 / 5.000 \text{ m}^3 \text{ ανά έτος} = 10,5 \text{ έτη}$.

8.4 Μηχανικός εξοπλισμός υπογείων και απασχολούμενο προσωπικό

Ο Μηχανολογικός εξοπλισμός που απαιτείται για την επιθυμητή παράγωγή του λατομείου παρουσιάζεται στον Πίνακα [8.2](#).

Πίνακας 8.2: Ανάλυση μηχανολογικού εξοπλισμού

Είδος	Τύπος	Κόστος κτήσης (Καινούριο) [€]	Είδος εργασιών	Προσωπικό	Παραγωγικότητα	Μονάδες	Πλήθος	Μοναδιαίο κόστος λειτουργίας	Μονάδες	Συντελεστής χρήσης	Ισχύς [hp]
Αλυσοπρίονο	Fantini GU-70	500.000	Κύρια κοπή	1	10	m ² /h	1	0,5	L/HP/h	0,5	81
Τροχοφόρο διατρητικό	Tamrock	120.000	Διατρήματα υποστήριξης οροφής	1		m/min	1	0,2	L /HP/h	0,5	31
Ανεμιστήρας αξονικός	Axial Fan VMF 1000 series	20.000	Ροή αέρα στις στοές όταν λειτουργεί ο φορτωτής		40	m ³ /h	1	0,2	L /HP/h	0,5	10
Φορτωτής	Caterpillar 988	550.000	Φόρτωση, εξώθηση ογκομαρμάρων, διάνοιξη λατομείου, φόρτωση ογκομαρμάρων σε φορτηγά κλπ.	1		m ³ /h	1	0,2	L /HP/h	0,7	450
Υδραυλικός εκσκαφέας ανεστραμμένου κάδου	Caterpillar 330	330.000	Ανατροπή ογκομαρμάρων	1			1	0,2	L /HP/h	0,3	247
Συρματοκοπή	Pellegrini TD45	26.000	Κύρια κοπή, δευτερεύουσα κοπή, τετραγωνισμός κλπ.	2	5	m ² /h	2	0,7	€/m ²		
Ηλεκτρική Γεννήτρια για την συρματοκοπή	Pellegrini TD45	27.000					2	0,2	L /HP/h	0,7	120

Το μόνιμο προσωπικό που απαιτείται για την υπόγεια εκμετάλλευση στο λατομείο κατά ειδικότητα είναι το εξής:

- ένας πιστολαδόρος,
- δυο χειριστές χωματουργικών μηχανημάτων
- ένας χειριστής αλυσοπρίονου
- δυο χειριστές συρματοκοπής

8.5 Υπολογισμός μοναδιαίου κόστους

Για τον υπολογισμό του μοναδιαίου κόστους θα χρειαστεί να υπολογιστούν όλες οι δαπάνες που βαρύνουν την επιχείρηση καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας του. Αυτές οι δαπάνες αφορούν τις πληρωμές του προσωπικού, τις δαπάνες για καύσιμα λιπαντικά και συντήρησης των μηχανημάτων, τις δαπάνες για τα σύρματα των συρματοκοπών και των διατρητικών στελεχών και κοπτικών.

8.5.1 Μοναδιαίο κόστος

Ο υπολογισμός του μοναδιαίου κόστους γίνεται στον παρακάτω πίνακα 8.3.

Πίνακας 8.3: Υπολογισμός μοναδιαίου κόστους

Θεωρήσεις:	
Θεώρηση # 1: Τιμή πετρελαίου [€/L]	1,25
Θεώρηση # 2: Ετήσια παραγωγή [m ³ /year]	5.000,00
Θεώρηση # 3: Αποληψιμότητα μαρμάρου	0,20
Θεώρηση # 4: Επιτόκιο	0,05
Θεώρηση # 5: Έτη απόσβεσης εξοπλισμού	10,35
Θεώρηση # 6: Εργάσιμες ώρες ανά ημέρα	8,00
Θεώρηση # 7: Συντελεστής συντήρησης	0,08
Δεδομένα	
Όγκος ογκομαρμάρου [m ³]	28,80
Βάρος ογκομαρμάρου [tn]	81,79
Όγκος τετραγωνισμένου ογκομαρμάρου [m ³]	7,20
Βάρος τετραγωνισμένου ογκομαρμάρου [tn]	20,45
Συνολική επιφάνεια για παραγωγή τετραγωνισμένου ογκομαρμάρου [m ²]	46,80
Συνολική ειδική επιφάνεια ανά ογκομαρμάρου [m ² /m ³]	1,63
Συνολικό μήκος διάτρησης ανά ογκομαρμάρου [m]	10,60
Συνολικό ειδικό μήκος διάτρησης ανά ογκομαρμάρου [m/m ³]	0,37

Κόστος διατρητικών [€/m³]	1,25
Κόστος σύρματος (για συρματοκοπές) [€/m³]	1,11
Ρυθμός κατανάλωσης κοπτικού στελέχους αλυσοπρίονου [στέλεχος/m²]	0,25
Τιμή μονάδας ανά κοπτικό στέλεχος αλυσοπρίονου [€/στέλεχος]	2,00
Ποσοστό κατανάλωσης κοπτικού στελέχους αλυσοπρίονου [€/m²]	0,50
Συρματοπλέγμα [€]	13.000,00
Κοχλίες και ρητίνες[€]	13.000,00
Όργανα ελέγχου εδάφους [€]	37.923,40
Φωτιστικά σώματα [€]	6.600,00
Υπολογισμός μοναδιαίοι κόστους	
Διατρητικά αναλώσιμα [€/έτος]	6.251,61 €
Σύρμα (για συρματοκοπές) [€/έτος]	5.571,43 €
Κοπτικό στέλεχος αλυσοπρίονου [€/έτος]	2.500,00 €
Συρματοπλέγμα [€/έτος]	1.256,37 €
Κοχλίες και ρητίνες [€/έτος]	1.256,37 €
Όργανα ελέγχου εδάφους [€/έτος]	3.665,06 €
Φωτιστικά σώματα [€/έτος]	637,85 €
Fantini GU - Καύσιμα και λιπαντικά [€/έτος]	63.281,25 €
Fantini GU - Απόσβεση [€/έτος]	63.067,47 €
Fantini GU - Συντήρηση [€/έτος]	40.000,00 €
Tamrock - Καύσιμα και λιπαντικά [€/έτος]	9.687,50 €
Tamrock - Απόσβεση [€/έτος]	15.136,19 €
Tamrock - Συντήρηση [€/έτος]	9.600,00 €
Axial Fan- Καύσιμα και λιπαντικά [€/έτος]	3.125,00 €
Axial Fan - Απόσβεση [€/έτος]	2.522,70 €
Axial Fan - Συντήρηση [€/έτος]	1.600,00 €
CAT 988 - Καύσιμα και λιπαντικά [€/έτος]	196.875,00 €
CAT 988 - Απόσβεση [€/έτος]	69.374,22 €
CAT 988 - Συντήρηση [€/έτος]	44.000,00 €
CAT 330 - Καύσιμα και λιπαντικά [€/έτος]	46.312,50 €
CAT 330 - Απόσβεση [€/έτος]	41.624,53 €
CAT 330 - Συντήρηση [€/έτος]	26.400,00 €
Συρματοκοπή - Καύσιμα και λιπαντικά [€/έτος]	94.500,00 €
Συρματοκοπή - Απόσβεση [€/έτος]	13.370,30 €
Συρματοκοπή - Συντήρηση [€/έτος]	8.480,00 €
Κόστος προσωπικού [€/έτος] (150€/ημέρα)	225.000,00 €
Συνολικό ετήσιο κόστος [€/έτος]	995.095,35 €
Συνολικό κόστος ανά κυβικό εμπορεύσιμου μαρμάρου [€/m³]	995,10 €

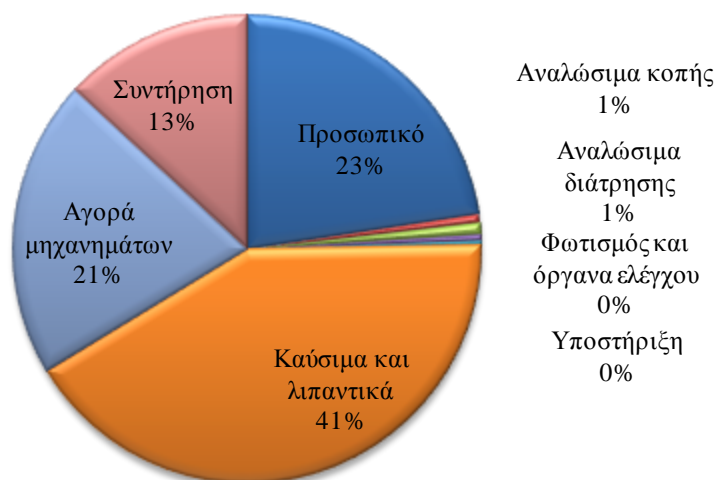
Σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς το μοναδιαίο κόστος για την υπόγεια εκμετάλλευση ανέρχεται σε 995 €/m³ ή 369 €/t ήτοι είναι περίπου διπλάσιο της υπαίθριας. Ο επιμερισμός του κόστους αυτού σε επιμέρους κόστη γίνεται παρακάτω αριθμητικά και σχηματικά.

Πίνακας 8.4: Κατανομή κόστους 1,2

Κατανομή κόστους #1	
Προσωπικό	22,6%
Αναλώσιμα διάτρησης	0,6%
Αναλώσιμα κοπής	0,8%
Φωτισμός και όργανα ελέγχου	0,4%
Υποστήριξη	0,3%
Καύσιμα και λιπαντικά	41,6%
Αγορά μηχανημάτων	20,6%
Συντήρηση	13,1%
Σύνολο	100%

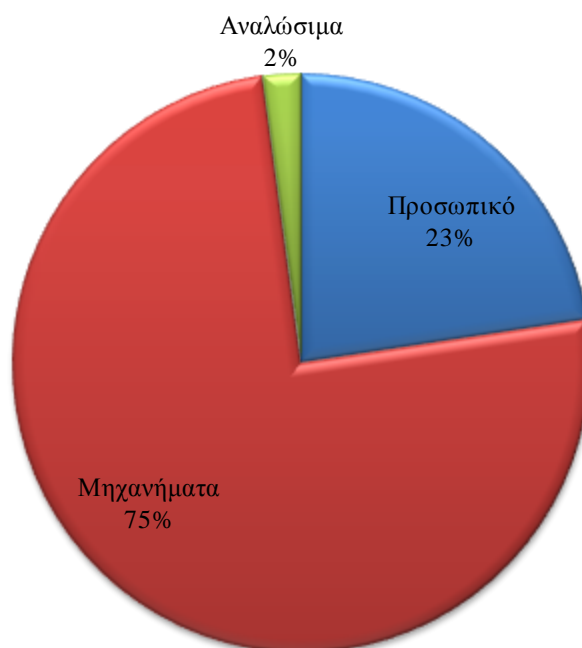
Κατανομή κόστους #2	
Προσωπικό	22,6%
Μηχανήματα	75,3%
Αναλώσιμα	2,1%
Σύνολο	100%

Κατανομή κόστους 1



Διάγραμμα 8.1: Κατανομή κόστους 1

Κατανομή κόστους 2



Διάγραμμα 8.2: Κατανομή κόστους 2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9ο

9 Σύγκριση των δυο μεθόδων εκμετάλλευσης μάρμαρου

Από την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας μελετώντας της δυο μεθόδους εξόρυξης μάρμαρου προέκυψαν ότι:

- Ο υπολογισμός του εκμεταλλεύσιμου όγκου μαρμάρου με την υπαίθρια μέθοδο που έγινε στη παράγραφο 6.4 και ανέρχεται 464.322m^3 . Με δεδομένου ότι ο εκτιμώμενος συντελεστής αποληψιμότητας του κοιτάσματος που έχει βρεθεί από τα στοιχεία παραγωγής όλων των ετών της εκμετάλλευσης ανέρχεται σε 0,10, προκύπτει ότι οι όγκοι που θα διακινηθούν προς εμπορία ανέρχονται σε $464.322 \times 0,10 = 46432,2\text{ m}^3$ ογκομαρμάρων.
- Η παραγωγή του λατομείου θα ανέρχεται σε 30.000 m^3 ανά έτος από τα οποία τα 3.000 m^3 θα είναι η παράγωγή εμπορεύσιμου μαρμάρου ανά έτος και οι ώρες εργασίας σε 8 ανά ημέρα με πενθήμερη (5 ημέρες) εργασία ανά εβδομάδα και αφαιρουμένων των αργιών, σε 250 ημέρες ανά έτος.
- Η ζωή του λατομείου ανέρχεται σε 15,5 έτη από την τρέχουσα φάση του λατομείου.
- Το μοναδιαίο κόστος παραγωγής της υπαίθριας μεθόδου είναι 541 €/ m^3 εμπορεύσιμου μαρμάρου ή 200 €/t.
- Ο υπολογισμός του συνολικού όγκου μαρμάρου που θα αποληφθεί με την υπόγεια εκμετάλλευση έγινε στη παράγραφο 6.4 και ανέρχεται σε 51.734 m^3 .
- Με δεδομένο ότι ο εκτιμώμενος συντελεστής αποληψιμότητας του κοιτάσματος ανέρχεται σε 0,20, προκύπτει ότι οι όγκοι που θα διακινηθούν προς εμπορία ανέρχονται σε $51734 \times 0,20 \approx 10.300\text{ m}^3$ ογκομαρμάρων.
- Η παραγωγή της υπόγεια εκμετάλλευσης θα ανέρχεται σε 5.000 m^3 ανά έτος από τα οποία τα 1.000 m^3 θα είναι η παράγωγή εμπορεύσιμου μαρμάρου ανά έτος και οι ώρες εργασίας σε 8 ανά ημέρα με πενθήμερη (5

ημέρες) εργασία ανά εβδομάδα και αφαιρουμένων των αργιών, σε 250 ημέρες ανά έτος.

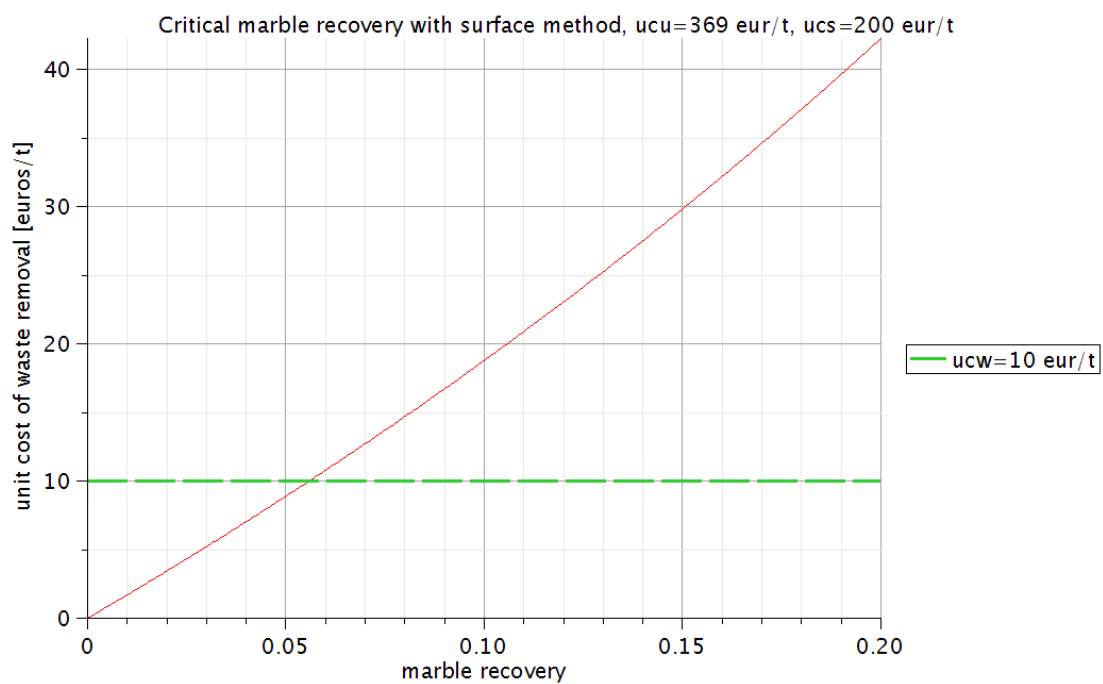
- Η χρονική διάρκεια της υπόγειας εκμετάλλευσης των τριών θαλάμων του λατομείου θα ανέλθει σε 10,5 έτη.
- Το μοναδιαίο κόστος της υπόγειας εκμετάλλευσης εκτιμήθηκε ότι είναι 995 €/m³ ή 369 €/t.

Με βάση την μέση τιμή διακίνησης στείρων στο λατομείο που είναι ίση με 10 €/t και τις εκτιμηθείσες τιμές μοναδιαίου κόστους των δύο τύπων εκμεταλλεύσεων η οριακή σχέση αποκάλυψης που θα κρίνει αν η υπόγεια εκμετάλλευση θα επιλεγεί θα γίνει από τον τύπο

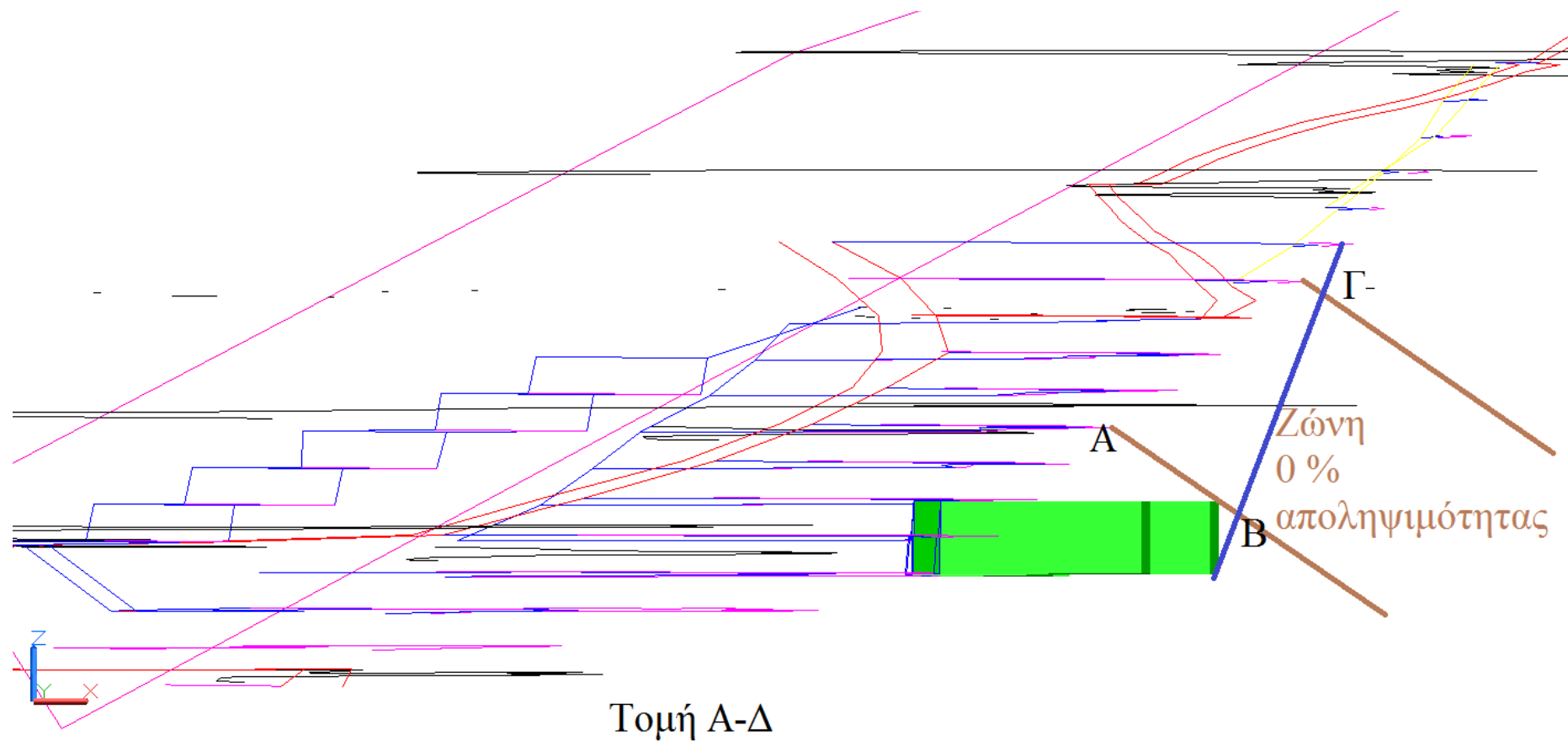
$$SR_{Limit} = \frac{(euros/t)_{ore,undergroud} - (euros/t)_{ore,surface}}{(euros/t)_{waste}},$$

$$[SR_{Limit}] = \frac{t_{waste}}{t_{ore}}$$

Για τα μοναδιαία κόστη που υπολογίσθηκαν από την παραπάνω σχέση μπορεί να γίνει το παρακάτω διάγραμμα του Σχ. 9.1. Με δεδομένο ότι το κόστος διακίνησης στείρων στο λατομείο που είναι ίσο με 10 €/t προκύπτει ότι ο ελάχιστος συντελεστής αποληψιμότητας της υπαίθριας εκμετάλλευσης πρέπει να είναι πάνω από 5-6%. Στην περιοχή όμως των σχεδιασμένων υπογείων ο συντελεστής αποληψιμότητας των ογκομαρμάρων με εμπορική αξία - αν συνυπολογισθεί και ο όγκος μαρμάρου που θα εξορυσσότανε γύρω από την σχεδιασμένη υπόγεια εκμετάλλευση με την υπαίθρια μέθοδο (Βλ. Σχ. 4.8) - είναι μικρότερος από αυτόν λόγω του μαύρου χρώματος κατά ζώνες του μαρμάρου. (βλ. Σχ. 9.2) Συνεπώς εκ των ανωτέρω συνάγεται το συμπέρασμα ότι η σχεδιασμένη υπόγεια εκμετάλλευση κρίνεται ως βιώσιμη.



Σχ. 9.1. Σχέση του μοναδιαίου κόστους απομάκρυνσης των στείρων με τον οριακό συντελεστή αποληψιμότητας του μαρμάρου με την υπαίθρια μέθοδο.



Σχ. 9.2. Τομή κατά κλίση (Α-Δ) που φαίνεται η ζώνη μη-εκμετάλλευστου μαρμάρου. Με την υπαίθρια εκμετάλλευση θα έπρεπε να εξορυχθεί και η περιοχή στείρων ΑΒΓ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο

10 Συμπεράσματα - Προτάσεις

Τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία συνοψίζονται στα εξής:

- Βρέθηκε ότι το μοναδιαίο κόστος της υπόγειας εκμετάλλευσης με τη μέθοδο της κατά μέτωπον προσβολής (breast stoping) με εγκατάλειψη στύλων και ορθές βαθμίδες είναι περίπου διπλάσιο εκείνου της υπαίθριας αλλά η εφαρμογή της υπόγειας εκμετάλλευσης είναι βιώσιμη στο υπόψιν λατομείο.
- Στην περιοχή των σχεδιασμένων υπογείων θαλάμων ο συντελεστής αποληψιμότητας των ογκομαρμάρων με εμπορική αξία - αν συνυπολογισθεί και ο όγκος μαρμάρου που θα εξορυσσότανε γύρω από την σχεδιασμένη υπόγεια εκμετάλλευση με την υπαίθρια μέθοδο - είναι μικρότερος από τον υπολογισθέντα Οριακό Συντελεστή Αποληψιμότητας που είναι ίσος με περίπου 6% λόγω του μαύρου χρώματος κατά ζώνες του μαρμάρου.
- Με βάση το ανώτερο οικονομικό δεδομένο αλλά και τα τεχνικά δεδομένα ότι η υπόγεια εκμετάλλευση είναι εφικτή, προέκυψε το τελικό συμπέρασμα ότι η σχεδιασμένη υπόγεια εκμετάλλευση κρίνεται ως βιώσιμη.

Όσον αφορά τις προτάσεις που μπορούν να γίνουν θα μπορούσαν να αναφερθούν τις εξής:

1. Απομένει να γίνει η σύγκριση του πραγματικού μοναδιαίου κόστους της υπόγειας εκμετάλλευσης με την πρόβλεψη που γίνεται εδώ. Αν βρεθούν διαφορές τότε πρέπει να ξαναελεγχθούν οι παραδοχές και να γίνει νέα εκτίμηση έως ότου αυτές προσεγγίσουν ικανοποιητικά η μία την άλλη.
2. Ο σχεδιασμός των υπογείων μπορεί να αλλάξει στο μέλλον είτε διότι μπορεί να συναντηθεί πτωχή ζώνη μαρμάρου είτε για λόγους ευστάθειας.

Γι' αυτό προτείνεται η τρισδιάστατη αριθμητική μοντελοποίηση της υπόγειας εκμετάλλευσης. Στο Εργαστήριο Μελέτης και Σχεδιασμού Εκμεταλλεύσεων έχει αναπτυχθεί τρισδιάστατος αριθμητικός κώδικας ασυνεχών μετατοπίσεων ([Σταντζούρης, 2014](#)) που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και στην προκειμένη περίπτωση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Εξαδάκτυλος Γ. (2005), «Σχεδιασμός συστημάτων υπόγειων έργων για την εκμετάλλευση μεταλλευτικών κοιτασμάτων», Πολυτεχνείο Κρήτης, Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων
- Εξαδάκτυλος Γ. (2007), «Σχεδιασμός γεωτεχνικών και λατομικών έργων», Πολυτεχνείο Κρήτης, Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων
- Παπαδημητρίου Α. (2006), «Σχεδίαση - μελέτη λατομείου μαρμάρου» Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Σταντζούρης Δ. (2014). Υπολογισμός τάσεων και μετατοπίσεων σε υπόγεια ανοίγματα με την αριθμητική μέθοδο των ασυνεχών μετατοπίσεων στις τρεις διαστάσεις. Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2014.
- Τσιβουράκης Ε. (2008) «Σχεδιασμός εκμετάλλευσης λατομείου αδρανών στην περιοχή Φονέ Αποκορώνου» Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Διεθνείς Βιβλιογραφία

- Autodesk, Ink. (2006). AutoCAD 3D Help.
- Autodesk, Ink. (2006). AutoCAD 3D Tutorials.
- Korres M. (2001), From Pentelicon to the Parthenon, [Melissa Publishing House](#).
- Lang, B., R. Pakalnis & S. Vongpaisal (1991). Span Design in wide cut and fill Stopes at Detour Lake Mine. *93rd Annual General Meeting: Canadian Institute of Mining*, Vancouver, paper # 142.
- Pandolfi D. and Pandolfi O. (1991). La Cava, Belforte Grafica, Via G. Gozzanno 7.
- Papanikolalaou, D. and Panagopoulos, A. (1981), On the structural style of Southern Rhodope, *Geol. Balc.* 11(3), 13-22.
- Rzhevsky V.V. (1985). *Opencast Mining Unit Operations*. Mir Publishers Moscow (translated in English).