



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Σχεδιασμός υπαίθριας εκμετάλλευσης κοιτάσματος  
μαρμάρου στην περιοχή Πύργων Ν. Δράμας

**Λιανού Αντιγόνη**

**Συμβουλευτική Επιτροπή:**

Γ. Ξηρουδάκης, Επίκ. Καθηγητής ΠΚ (Επιβλέπων)

Γ. Εξαδάκτυλος, Καθηγητής ΕΜΠ

Γ. Σαράτσης, ΕΔΙΠ ΠΚ

**Χανιά, 2025**

Δηλώνω ρητά ότι, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Η έγκριση της παρούσας διπλωματικής εργασίας από το Πολυτεχνείο Κρήτης, δεν σημαίνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Νόμος 5343/1932, άρθρο 202).

## Περίληψη

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία έγινε ο σχεδιασμός υπαίθριας εκμετάλλευσης σε κοίτασμα λευκού δολομιτικού μαρμάρου στην περιοχή Πύργων Δράμας στο Φαλακρό όρος για την παραγωγή ορθογωνισμένων ογκομαρμάρων. Καταρχάς έγινε μια ανασκόπηση της αγοράς του λευκού μαρμάρου και αναλύθηκαν οι προοπτικές εμπορευσιμότητας του στην εγχώρια και στις ξένες αγορές. Το δολομιτικό μάρμαρο Πύργων διαθέτει τα απαιτούμενα ποιοτικά χαρακτηριστικά ώστε να ενταχθεί στις εμπορικές ροές υψηλής αξίας. Στη συνέχεια σχεδιάστηκε μέθοδος υπαίθριας εκμετάλλευσης ανοικτού τύπου με ορθές βαθμίδες, η οποία είναι κατάλληλη για το κοίτασμα, καθώς διασφαλίζει αποδοτική αξιοποίηση των αποθεμάτων και παραγωγή τεμαχίων υψηλής ποιότητας με ελεγχόμενες απώλειες. Ο σχεδιασμός της εκμετάλλευσης παρουσιάζεται σε τρεις φάσεις: την αρχική, με τις ορθές διαδοχικές βαθμίδες ύψους 6 μέτρων, την ενδιάμεση, όπου οι βαθμίδες μετά την εξόφλησή τους συνενώνονται ανά δύο από τα ανώτερα προς τα κατώτερα υψόμετρα και την τελική φάση, όπου έχει εξοφληθεί το κοίτασμα και οι βαθμίδες της εκμετάλλευσης έχουν συνενωθεί ανά δύο με ύψος τελικής βαθμίδας 12 μέτρα. Υπολογίστηκε στη συνέχεια ο συνολικός όγκος των εκσκαφών και με την παραδοχή δεδομένης αποληψιμότητας και δεδομένης ετήσιας παραγωγής ορθογωνισμένων ογκομαρμάρων εκτιμήθηκε η διάρκεια ζωής του λατομείου. Στη συνέχεια επιλέχθηκε ο κατάλληλος μηχανολογικός εξοπλισμός και το εργατικό δυναμικό και έγινε ο υπολογισμός του μοναδιαίου κόστους παραγωγής, από το οποίο αποδεικνύεται η βιωσιμότητα της υπαίθριας εκμετάλλευσης λατομείου μαρμάρου.

**Λέξεις Κλειδιά:** Υπαίθρια εκμετάλλευση μαρμάρου, λευκό μάρμαρο Δράμας, σχεδιασμός λατομείου, λειτουργική ανάλυση.

## Abstract

In the present Diploma Thesis, the design of an open pit quarry for the exploitation of a white dolomitic marble deposit in the area of Pyrgoi at Falacron mountain was carried out. First, a review of the white marble market was conducted, and the prospects for its commercial viability in both domestic and international markets were analyzed. Dolomitic Pyrgon Marble has the required quality characteristics to be included in the high value trade flows. Subsequently, an open pit exploitation method was designed, the initial productive vertical benches, which is suitable for the deposit, as it ensures efficient utilization of the reserves and production of high quality pieces with controlled losses. The design of the operation is presented in three phases; the initial phase, with 6 meters high vertical productive benches; the intermediate phase, where the benches are joined in two steps from the upper to the lower elevations after the deposit has been repaid; and the final phase, where the deposit has been repaid and the benches of the operation have been joined in two steps with a final height of 12 meters. The total volume of excavations was then calculated, and using an empirical recovery factor and a given annual production rate of rectangular marble blocks, the quarry's lifespan was estimated. Finally, the appropriate mechanical equipment and workforce were selected, and the unit production cost was calculated, which demonstrates the viability of the quarry.

**Keywords:** Surface marble exploitation, white marble of Drama, quarry design, functional analysis.

## Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη .....	ii
Abstract .....	iv
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή .....	1
1.1 Σκοπός της εργασίας .....	1
1.2 Σύντομη επισκόπηση της δομής της εργασίας .....	2
Κεφάλαιο 2: Η Αγορά Μαρμάρου και η Σημασία της στην Ελλάδα .....	4
2.1 Παραγωγή και εξαγωγές ελληνικού μαρμάρου .....	4
2.2 Οικονομική ανάλυση της αγοράς μαρμάρου στην Ελλάδα .....	6
2.3 Συγκριτική ανάλυση με άλλες χώρες (Ιταλία, Τουρκία, Κίνα) .....	7
2.4 Μελλοντικές τάσεις .....	8
Κεφάλαιο 3: Γεωλογικά και Κοιτασματολογικά Χαρακτηριστικά του Κοιτάσματος Πύργων Δράμας .....	9
3.1 Γεωλογική δομή της περιοχής .....	9
3.2 Κοιτασματολογία και ποιότητα μαρμάρου .....	10
3.3 Φυσικομηχανικές ιδιότητες και χημική ανάλυση του δολομιτικού μαρμάρου Πύργων .....	12
Κεφάλαιο 4: Σχεδιασμός υπαίθριας εκμετάλλευσης .....	18
4.1 Υπαίθρια μέθοδος εκμετάλλευσης και εξόρυξης μαρμάρων .....	18
4.2 Σχεδιασμός της εκμετάλλευσης του υπό μελέτη λατομικού χώρου .....	25
4.3 Υπολογισμός γεωλογικών και λατομικών αποθεμάτων .....	31
4.4 Επιλογή μηχανολογικού εξοπλισμού και προσωπικού .....	39
4.5 Υπολογισμός Μοναδιαίου Κόστους .....	58
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα – Προτάσεις .....	66
Βιβλιογραφία .....	69

# Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

## 1.1 Σκοπός της εργασίας

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι ο σχεδιασμός και ο υπολογισμός του μοναδιαίου κόστους υπαίθριας εκμετάλλευσης κοιτάσματος μαρμάρου στην περιοχή Πύργων Ν. Δράμας, λαμβάνοντας υπόψη γεωλογικούς, περιβαλλοντικούς και οικονομικούς παράγοντες.

Η σημασία του μαρμάρου ως ορυκτού πόρου είναι πολυδιάστατη. Αφενός, πρόκειται για ένα πέτρωμα με μοναδικές φυσικομηχανικές και αισθητικές ιδιότητες που του επιτρέπουν να χρησιμοποιείται σε ευρύ φάσμα εφαρμογών, από μνημειακές κατασκευές έως σύγχρονα κτίρια. Αφετέρου, η εξόρυξή του αποτελεί κινητήριο δύναμη για πολλές τοπικές οικονομίες, ενισχύοντας τη βιομηχανική παραγωγή και τις εξαγωγές. Η εκμετάλλευση του μαρμάρου αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς τομείς της εξορυκτικής βιομηχανίας, ιδιαίτερα σε χώρες με πλούσια γεωλογική κληρονομιά όπως η Ελλάδα. Το μάρμαρο, ως ένα πολύτιμο φυσικό πέτρωμα, χρησιμοποιείται ευρέως τόσο στην αρχιτεκτονική όσο και στη διακόσμηση, ενώ η εξαγωγή του συμβάλλει σημαντικά στην εθνική οικονομία ([Papadopoulos, 2020](#)).

Στην Ελλάδα, η εκμετάλλευση μαρμάρου έχει μακρά ιστορική διαδρομή, με τα λατομεία της να αποτελούν βασικό στοιχείο της πολιτιστικής και οικονομικής ανάπτυξης της χώρας. Οι ελληνικοί λατομικοί χώροι παράγουν μερικά από τα πιο φημισμένα μάρμαρα παγκοσμίως, όπως αυτά της Δράμας, της Θάσου και της Πεντέλης ([Εξαδάκτυλος, 2021](#)). Η περιοχή της Δράμας, διαθέτει κοιτάσματα υψηλής ποιότητας δολομιτικού μαρμάρου, με σημαντικά φυσικομηχανικά πλεονεκτήματα που την καθιστούν ανταγωνιστική στην αγορά. Η διερεύνηση του τρόπου εκμετάλλευσης αυτών των αποθεμάτων είναι ζωτικής σημασίας για τη βιώσιμη ανάπτυξη της εξορυκτικής δραστηριότητας στην περιοχή. Ένα από τα κύρια ζητήματα που εξετάζονται στην παρούσα μελέτη είναι οι μέθοδοι εκμετάλλευσης του μαρμάρου. Οι μέθοδοι αυτές ποικίλλουν, με τις πιο διαδεδομένες να είναι η υπαίθρια εκμετάλλευση με βαθμίδες και η υπόγεια εκμετάλλευση με τη μέθοδο των θαλάμων και στύλων. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η γεωλογία του κοιτάσματος και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η γεωλογική και κοιτασματολογική ανάλυση των λατομικών περιοχών αποτελεί βασικό στοιχείο για την κατανόηση της δυναμικής των αποθεμάτων μαρμάρου. Η μελέτη της περιοχής των Πύργων βασίζεται στην εξέταση γεωλογικών δεδομένων, τη χαρτογράφηση των

κοιτασμάτων και την ανάλυση των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων του δολομιτικού μαρμάρου. Οι έρευνες δείχνουν ότι η ποιότητα του μαρμάρου στην περιοχή είναι εξαιρετικά υψηλή, γεγονός που καθιστά την εκμετάλλευσή του οικονομικά συμφέρουσα, εφόσον ακολουθηθούν οι κατάλληλες τεχνικές προδιαγραφές.

Η οικονομική βιωσιμότητα μιας λατομικής επιχείρησης εξαρτάται από τη σωστή διαχείριση των αποθεμάτων, την επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού και την αποτελεσματική οργάνωση της παραγωγής. Ο [Papadopoulos \(2020\)](#) αναφέρει ότι η εγχώρια αγορά μαρμάρου στην Ελλάδα επηρεάζεται άμεσα από τις διεθνείς συνθήκες, τις τιμές των πρώτων υλών και τη διαθεσιμότητα εξειδικευμένου εργατικού δυναμικού. Οι προκλήσεις αυτές απαιτούν προσεκτικό σχεδιασμό και εφαρμογή στρατηγικών που θα διασφαλίσουν την ανταγωνιστικότητα των ελληνικών λατομείων σε παγκόσμιο επίπεδο.

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία έγινε ο σχεδιασμός υπαίθριας εκμετάλλευσης και η εκτίμηση του μοναδιαίου κόστους παραγωγής ορθογωνισμένων ογκομαρμάρων σε κοίτασμα λευκού δολομιτικού μαρμάρου στην περιοχή Πύργων Δράμας. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- Αρχικά, έγινε ο σχεδιασμός μεθόδου υπαίθριας εκμετάλλευσης ανοικτού τύπου με ορθές βαθμίδες.
- Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει 10 παραγωγικές βαθμίδες, οι οποίες στην ενδιάμεση φάση, μετά την εξόφληση τους, συνενώνονται ανά δύο, προκειμένου να καταλήξουν σε 5 εξοφλημένες βαθμίδες στην τελική φάση της εκμετάλλευσης.
- Υπολογίσθηκε στη συνέχεια ο συνολικός όγκος των εκσκαφών και με την παραδοχή αποληψιμότητας και σταθερή ετήσια παραγωγή ορθογωνισμένων ογκομαρμάρων εκτιμήθηκε ότι η διάρκεια ζωής του λατομείου.
- Στη συνέχεια επιλέχθηκε ο κατάλληλος μηχανολογικός εξοπλισμός και η σύνθεση της παραγωγής (αριθμός και τύπος μηχανημάτων και εργατικού δυναμικού).
- Εκτιμήθηκε το μοναδιαίο κόστος της εκμετάλλευσης.

### 1.2 Σύντομη επισκόπηση της δομής της εργασίας

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στον σχεδιασμό της υπαίθριας εκμετάλλευσης κοιτάσματος μαρμάρου στην περιοχή Πύργων Ν. Δράμας, με σκοπό την ανάλυση της βιωσιμότητας και των τεχνικών παραμέτρων της εξορυκτικής διαδικασίας. Η διάρθρωση της

εργασίας έχει σχεδιαστεί ώστε να παρέχει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στο αντικείμενο της μελέτης, συνδυάζοντας γεωλογικά, τεχνικά και οικονομικά δεδομένα.

Το **Κεφάλαιο 2** εστιάζει στην αγορά του μαρμάρου και τη σημασία της για την Ελλάδα, επικεντρώνοντας στην οικονομική ανάλυση της εκμετάλλευσης και της αγοράς, αξιολογώντας την ανταγωνιστικότητα των ελληνικών μαρμάρων στην παγκόσμια αγορά. Στη μελέτη ενσωματώνονται οικονομικά δεδομένα που αφορούν τις ελληνικές εξαγωγές μαρμάρου και συγκρίνονται με ανταγωνιστικές χώρες, όπως η Ιταλία και η Τουρκία.

Το **Κεφάλαιο 3** επικεντρώνεται στην σύντομη περιγραφή του γεωλογικού και κοιτασματολογικού πλαισίου της περιοχής μελέτης. Αναφέρονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής του Φαλακρού Όρους, η ορυκτολογική σύσταση του δολομιτικού μαρμάρου των Πύργων και οι φυσικομηχανικές του ιδιότητες.

Στο **Κεφάλαιο 4**, παρουσιάζεται η μεθοδολογία σχεδιασμού της υπαίθριας εκμετάλλευσης του κοιτάσματος που μελετάται. Αφού γίνει ο υπολογισμός των γεωλογικών αποθεμάτων κατόπιν γίνεται η χάραξη του σχεδίου εκμετάλλευσης, ο υπολογισμός των λατομικών αποθεμάτων και ο σχεδιασμός του χώρου απόθεσης των στείρων. Περιγράφονται οι βασικές τεχνικές σχεδιασμού, οι προδιαγραφές των βαθμίδων εξόρυξης της παραγωγής και της απόθεσης και τα κριτήρια επιλογής του μηχανολογικού εξοπλισμού με βάση τον ετήσιο ρυθμό παραγωγής ορθογωνισμένων ογκομαρμάρων. Αφού επιλεγεί και το εργατικό δυναμικό για την οργάνωση της παραγωγικής διαδικασίας γίνεται ο υπολογισμός του μοναδιαίου κόστους της εκμετάλλευσης. Το τελευταίο συγκρινόμενο με την αξία ανά τόνο ορθογωνισμένων ογκομαρμάρων θα δώσει και την οικονομική απόδοση της επένδυσης.

Το **Κεφάλαιο 5** περιλαμβάνει τα συμπεράσματα και τις προτάσεις που προκύπτουν από τη παρούσα εργασία.



## Κεφάλαιο 2: Η Αγορά Μαρμάρου και η Σημασία της στην Ελλάδα

### 2.1 Παραγωγή και εξαγωγές ελληνικού μαρμάρου

Η παραγωγή και εξαγωγή του ελληνικού μαρμάρου αποτελεί έναν από τους πλέον ανθεκτικούς και υψηλής προστιθέμενης αξίας κλάδους της ελληνικής εξορυκτικής βιομηχανίας. Η Ελλάδα διαθέτει έναν από τους σημαντικότερους γεωλογικούς πλούτους στην Ευρώπη σε είδη διακοσμητικών λίθων, με το μάρμαρο – όπως φαίνεται στον χάρτη της Εικόνα 2-1: Χάρτης Μαρμαροφόρων περιοχών της Ελλάδας (<https://www.eagme.gr/>). να αποτελεί προϊόν – σύμβολο, τόσο για την πολιτιστική του αξία όσο και για τη συμβολή του στην εθνική οικονομία (Papadopoulos, 2020). Η γεωγραφική ποικιλία, το εξαιρετικό αισθητικό αποτέλεσμα και οι εξαιρετικές φυσικομηχανικές ιδιότητες των ελληνικών μαρμάρων, όπως αυτές τεκμηριώνονται σε σύγχρονες γεωχημικές και πετρολογικές μελέτες, έχουν καταστήσει τη χώρα προμηθευτή παγκοσμίου φήμης σε είδη υψηλής ποιότητας (Laskaridis et al., 2021).



Εικόνα 2-1: Χάρτης Μαρμαροφόρων περιοχών της Ελλάδας (<https://www.eagme.gr/>).

Η σύγχρονη παραγωγή στηρίζεται σε σημαντικές επενδύσεις σε τεχνολογίες γεωεντοπισμού, μηχανικής κοπής και περιβαλλοντικής αποκατάστασης. Το ελληνικό μάρμαρο εξάγεται κυρίως σε ογκομάρα αλλά και σε μεγάλες ποσότητες επεξεργασμένου προϊόντος, γεγονός που ενισχύει την προστιθέμενη αξία και την ανταγωνιστικότητα του κλάδου διεθνώς. Η φυσική ανθεκτικότητα και το ιδιαίτερο οπτικό αποτύπωμα των ελληνικών μαρμάρων, όπως καταγράφονται στις μελέτες πετρολογίας και γεωχημείας (Badouna et al., 2020), αποτελούν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στις διεθνείς αγορές. Παράλληλα, η ύπαρξη πολιτιστικής ταυτότητας συνδεδεμένης με τα μάρμαρα – ιδίως με την Πεντέλη και την Θάσο – προσφέρει πολιτισμικό υπόβαθρο που προσδίδει κύρος στο ελληνικό προϊόν, διαφοροποιώντας το από αντίστοιχα της Τουρκίας, της Ιταλίας ή της Ισπανίας.

Η βιομηχανία μαρμάρου αντιπροσωπεύει έναν από τους ακρογωνιαίους λίθους του εξορυκτικού τομέα της Ελλάδας, τόσο από πλευράς οικονομικής απόδοσης όσο και από πλευράς διεθνών εμπορικών επιδόσεων. Παγκοσμίως, το εμπόριο μαρμάρου υπολογίζεται στα 5,5 δισεκατομμύρια ευρώ, με περίπου το 40% αυτού του ποσοστού να αποδίδεται στην εξαγωγή ακατέργαστων μαρμαρίνων όγκων λίθων και το υπόλοιπο 60% σε επεξεργασμένες

μαρμάρινες πλάκες ([ΕΛΣΤΑΤ, 2024](#)). Η Ελλάδα, μαζί με την Τουρκία, την Κίνα, την Ιταλία και την Ισπανία, είναι μεταξύ των πέντε βασικών εξαγωγέων, αντιπροσωπεύοντας σχεδόν το 80% των παγκόσμιων εξαγωγών μαρμάρου. Συγκεκριμένα, οι εξαγωγές μαρμάρου της Ελλάδας κατευθύνονται προς ένα ποικίλο χαρτοφυλάκιο αγορών προορισμού, όπως η Κίνα, οι Ηνωμένες Πολιτείες, τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, η Σαουδική Αραβία, το Μεξικό, η Ινδία, η Αλγερία και οι πρώην Σοβιετικές Δημοκρατίες ([StoneNews.eu, 2022](#)). Τα μεγάλα και γεωλογικά πλούσια αποθέματα μαρμάρου της χώρας θεωρούνται ουσιαστικά ανεξάντλητα, παρέχοντας έναν μακροπρόθεσμο στρατηγικό πόρο για την οικονομική ανάπτυξη και το διεθνές εμπόριο. Παρά τον αυξανόμενο διεθνή ανταγωνισμό, ο ελληνικός κλάδος μαρμάρου έχει επιδείξει ανθεκτικότητα, ιδιαίτερα στην εποχή της οικονομικής κρίσης μετά το 2008, κατά την οποία πολλές εταιρείες υιοθέτησαν επιθετικές εξαγωγικές στρατηγικές. Αυτός ο εξαγωγικός προσανατολισμός οδήγησε σε διαδοχικά χρόνια ρεκόρ σε όγκο και αξία εξαγωγών, με την Κίνα να αναδεικνύεται ως κυρίαρχος εμπορικός εταίρος. Μεταξύ 2008 και 2021, οι εισαγωγές της Κίνας ακατέργαστου μαρμάρου αυξήθηκαν κατά 153%, αυξανόμενες από 585 εκατομμύρια ευρώ σε 1,5 δισεκατομμύρια ευρώ ([Prochaska & Attanasio, 2021](#)). Αυτή η άνοδος έχει καταστήσει την Ελλάδα ολοένα και πιο εξαρτημένη από την κινεζική αγορά, με την Κίνα να αντιπροσωπεύει κατά μέσο όρο το 51% των ελληνικών εξαγωγών μαρμάρου μεταξύ 2017 και 2021. Την ίδια περίοδο, η Τουρκία και η Ιταλία κατείχαν μερίδια εξαγωγών 38,12% και 16,41% αντίστοιχα ([StoneNews.eu, 2022](#)).

## 2.2 Οικονομική ανάλυση της αγοράς μαρμάρου στην Ελλάδα

Σύμφωνα με στοιχεία της [Ελληνικής Στατιστικής Αρχής \(ΕΛΣΤΑΤ\)](#), η Ελλάδα κατατάσσεται στην 4η θέση παγκοσμίως στις εξαγωγές μαρμάρου, με το 76% της συνολικής παραγωγής να εξάγεται σε περισσότερες από 120 χώρες. Αυτό υπογραμμίζει τον εξαγωγικό προσανατολισμό και τη διεθνή αναγνώριση της ποιότητας του ελληνικού μαρμάρου. Σύμφωνα με στοιχεία του Συνδέσμου Επιχειρήσεων Μαρμάρου Μακεδονίας-Θράκης (ΣΕΜΜΘ), ο κλάδος απασχολεί άμεσα περίπου 6.500 εργαζόμενους, ενώ η συνολική συμβολή στην απασχόληση, συμπεριλαμβανομένων των έμμεσων θέσεων εργασίας, ανέρχεται σε 18.000 εργαζόμενους. Συνολικά, δραστηριοποιούνται περίπου 670 επιχειρήσεις στον κλάδο, οι οποίες συμβάλλουν σημαντικά στην περιφερειακή ανάπτυξη, ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονη λατομική δραστηριότητα.

*Πίνακας 2-1: Οι εξαγωγές μαρμάρων και η συνεισφορά τους στις συνολικές εξαγωγές της χώρας (2010-2020)- ΕΛΣΤΑΤ (<https://www.statistics.gr>)*

Έτος	Αξία εξαγωγών μαρμάρων (€)	Συνολική αξία των εξαγωγών της χώρας (€)	Συμμετοχή του κλάδου των μαρμάρων	Συνολική αξία των εξαγωγών της χώρας χωρίς πετρελαιοειδή (€)	Συμμετοχή του κλάδου των μαρμάρων
2010	147.610.808	21.299.460.000	0,69%	15.963.976.935	0,92%
2011	195.947.887	24.377.310.000	0,80%	17.130.564.135	1,14%
2012	216.871.570	27.577.950.000	0,79%	17.186.279.235	1,26%
2013	234.665.276	27.295.730.000	0,86%	16.866.507.370	1,39%
2014	244.984.090	27.118.970.000	0,90%	16.904.968.470	1,45%
2015	259.469.107	25.824.860.000	1,00%	18.364.799.086	1,41%
2016	292.475.630	25.445.760.008	1,15%	18.636.982.806	1,57%
2017	411.962.479	28.865.383.074	1,43%	19.998.545.263	2,06%
2018	441.278.861	33.471.952.556	1,32%	22.202.729.000	1,99%
2019	400.962.525	33.857.282.339	1,18%	23.289.750.183	1,72%
2020	294.544.051	30.768.161.652	0,96%	24.094.997.997	1,22%

Η συνεισφορά του κλάδου του ελληνικού μαρμάρου στην εθνική οικονομία εκτιμάται σε 1,27 δισεκατομμύρια ευρώ. Επιπλέον, για κάθε 1 ευρώ προϊόντος μαρμάρου, το πολλαπλασιαστικό όφελος για την ελληνική οικονομία είναι 2,19 ευρώ, υπογραμμίζοντας τη σημασία του κλάδου στην οικονομική δραστηριότητα της χώρας. Παρά την ισχυρή του θέση, ο κλάδος αντιμετωπίζει προκλήσεις όπως η γραφειοκρατία στις αδειοδοτήσεις, το υψηλό ενεργειακό κόστος και η έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού. Ωστόσο, οι προοπτικές παραμένουν θετικές, με τις ετήσιες εξαγωγές να σταθεροποιούνται περίξ των 300 εκατομμυρίων ευρώ, επιβεβαιώνοντας την παγκόσμια παρουσία του ελληνικού μαρμάρου.

Ο ελληνικός κλάδος μαρμάρου είναι ιδιαίτερα δραστήριος, με περίπου 200 λατομεία σε λειτουργία σε όλη τη χώρα, παράγοντας σχεδόν 1 εκατομμύριο τόνους μαρμάρου ετησίως (Πολυδέρης, 2021). Είναι σταθερά παραγωγικά και τα περισσότερα συγκεντρώνονται στις περιοχές Δράμας, Καβάλας, Κοζάνης, Ιωαννίνων, Μαγνησίας, Βοιωτίας, Εύβοιας, Αργολίδας, Αρκαδίας και Κυκλάδων. Συλλογικά, η περιοχή της Μακεδονίας από μόνη της συνεισφέρει πάνω από το 80% των εθνικών εξαγωγών μαρμάρου, αντικατοπτρίζοντας τον κεντρικό της

ρόλο στη χωρική και οικονομική δομή της βιομηχανίας ([ΕΛΣΤΑΤ, 2024](#)). Με ετήσιες εξαγωγές αξίας 300 εκατομμυρίων ευρώ, η βιομηχανία μαρμάρου είναι ένας από τους λίγους ελληνικούς τομείς που επιδεικνύουν σταθερή παγκόσμια ανταγωνιστικότητα, ιδιαίτερα λόγω της έμφασης στην ποιότητα, τη διαθεσιμότητα πόρων και τον στρατηγικό εξαγωγικό προσανατολισμό. Αρκετές βασικές επιχειρήσεις κυριαρχούν σε αυτόν τον χώρο, συμβάλλοντας όχι μόνο στο εθνικό ΑΕΠ αλλά και στην περιφερειακή ανάπτυξη και απασχόληση.

### 2.3 Συγκριτική ανάλυση με άλλες χώρες (Ιταλία, Τουρκία, Κίνα)

Όσον αφορά την κατηγοριοποίηση των προϊόντων, το ακατέργαστο μάρμαρο αποτελούσε το 61,3% των ελληνικών εξαγωγών μαρμάρου κατά μέσο όρο από το 2017 έως το 2021, σε αντίθεση με το 46,59% για την Τουρκία και το 29,21% για την Ιταλία. Αυτό το συγκριτικό πλεονέκτημα, ωστόσο, αντανakλά επίσης μια ευπάθεια: όταν η ζήτηση της Κίνας μειώνεται —όπως παρατηρήθηκε κατά την πανδημία COVID-19— οι ελληνικές επιχειρήσεις μαρμάρου αντιμετωπίζουν σημαντικές απώλειες εσόδων. Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ (2023), οι εξαγωγές ελληνικού μαρμάρου στην Κίνα μειώθηκαν κατά περίπου 40% το πρώτο τρίμηνο του 2022, σε σύγκριση με το αντίστοιχο τρίμηνο του 2021. Η συνεχιζόμενη γεωπολιτική αστάθεια —ιδιαίτερα η σύγκρουση Ρωσίας-Ουκρανίας— έχει επιδεινώσει τις επιχειρησιακές προκλήσεις στη βιομηχανία μαρμάρου. Το αυξανόμενο κόστος ενέργειας και οι διαταραχές της εφοδιαστικής αλυσίδας οδήγησαν σε αύξηση 7-8% στα λειτουργικά έξοδα και το κόστος μεταφοράς έχει υπερδιπλασιαστεί σε σύγκριση με τα προ πανδημίας επίπεδα ([StoneNews.eu, 2025](#)). Κατά συνέπεια, το πρώτο εξάμηνο του 2022 σημείωσε μείωση 18% τόσο στις εξαγωγές επεξεργασμένου όσο και στο ακατέργαστο μάρμαρο από την Ελλάδα. Αυτά τα στοιχεία υπογραμμίζουν τον στρατηγικό κίνδυνο που δημιουργείται από την υπερβολική εξάρτηση σε μια ενιαία αγορά, όπως η Κίνα, η οποία δεν μπορεί εύκολα να αντικατασταθεί από άλλους εισαγωγείς λόγω του απaráμιλλου όγκου κατανάλωσης ([Prochaska & Attanasio, 2021](#)). Η στρατηγική στροφή προς το επεξεργασμένο μάρμαρο έχει ήδη μετριάσει την υπερβολική εξάρτηση από τις εξαγωγές ακατέργαστων όγκων. Ωστόσο, αυτό απαιτεί ουσιαστικές προσαρμογές, τόσο στις μεθόδους παραγωγής όσο και στη δομή των επιχειρήσεων μαρμάρου ([StoneNews.eu, 2025](#)). Οι στατιστικές αναλύσεις της Eurostat αποκαλύπτουν ότι η πανδημία COVID-19 και ο εμπορικός πόλεμος ΗΠΑ-Κίνας έχουν συνδυαστικά αρνητικό αντίκτυπο στις εξαγωγές ελληνικού μαρμάρου. Μεταξύ 2018 και 2019, η Ελλάδα παρουσίασε μείωση της αξίας των εξαγωγών κατά 9,63% και μείωση του όγκου κατά 6,09%. Αυτές οι οπισθοδρομήσεις επιδεινώθηκαν περαιτέρω το 2020, με τις εξαγωγές να μειώνονται κατά 26,97% σε αξία και 23,05% σε ποσότητα σε σχέση με το 2019 ([ΕΛΣΤΑΤ, 2021](#)).

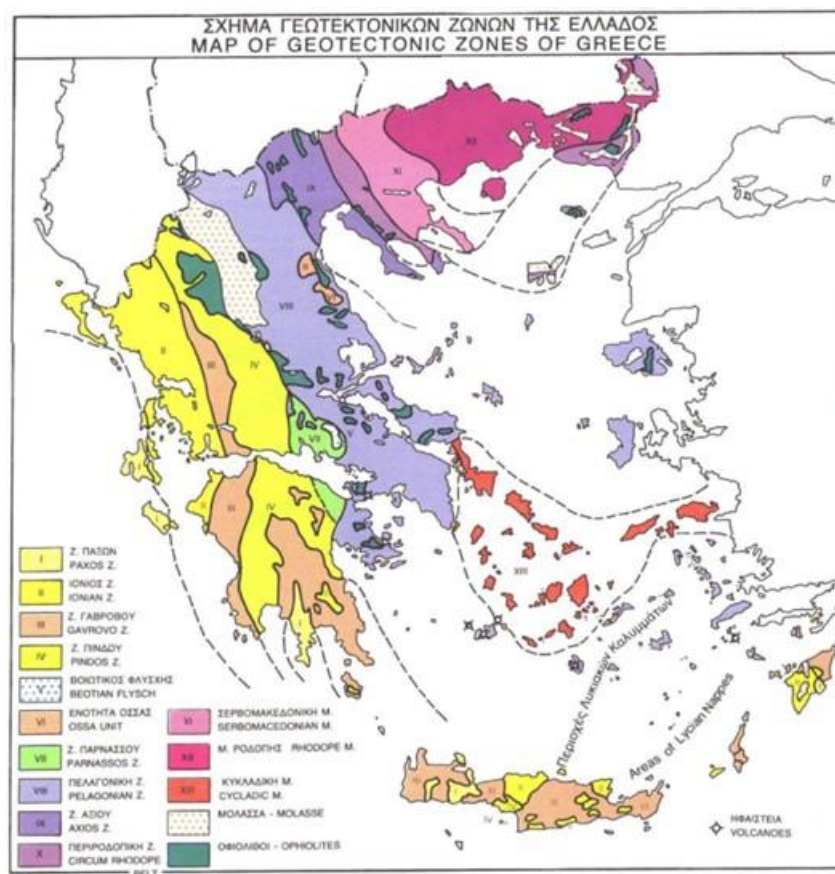
## 2.4 Μελλοντικές τάσεις

Η αγορά του μαρμάρου στην Ελλάδα, μολονότι παραδοσιακά σταθερή και διεθνώς ανταγωνιστική, βρίσκεται σήμερα μπροστά σε μια σειρά από προκλήσεις και μετασχηματισμούς που αναμένεται να διαμορφώσουν τις μελλοντικές της εξελίξεις. Οι οικονομικές, τεχνολογικές, περιβαλλοντικές και γεωπολιτικές συνθήκες μεταβάλλονται ραγδαία, και η ελληνική μαρμαροβιομηχανία καλείται να επαναπροσδιορίσει τη στρατηγική της μέσα σε ένα πλαίσιο παγκοσμιοποιημένου εμπορίου και εντεινόμενου ανταγωνισμού. Η ανάγκη για ενίσχυση της προστιθέμενης αξίας, διαφοροποίηση των εξαγωγικών προορισμών, περιβαλλοντική βιωσιμότητα, τεχνολογικό εκσυγχρονισμό και ενσωμάτωση της πολιτισμικής κληρονομιάς στη στρατηγική ενίσχυσης της εξωστρέφειας, συνιστούν τις κυριότερες μελλοντικές τάσεις της ελληνικής αγοράς μαρμάρου.

## Κεφάλαιο 3: Γεωλογικά/Κοιτασματολογικά Χαρακτηριστικά Πύργων Δράμας

### 3.1 Γεωλογική δομή της περιοχής

Η γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής των Πύργων Δράμας εντάσσεται στο τεκτονικό σύμπλεγμα της Μάζας Ροδόπης (Εικόνα 3-1). Η περιοχή φιλοξενεί μια ποικιλία από μαρμαρυγικούς σχιστόλιθους, γνεύσιους και δολομιτικά μάρμαρα, με την παρουσία γρανιτικών διεισδύσεων και μεταγενέστερων φλεβικών σχηματισμών (Χατζηπαναγής, 1991). Η δομή των πετρωμάτων είναι αποτέλεσμα “πολύπλοκων” τεκτονικών και μεταμορφικών γεγονότων, κυρίως του Αλπικού κύκλου, που διαμόρφωσαν τον παρόντα γεωλογικό ιστό μέσω διεργασιών ρωγμάτωσης, πτύχωσης και επανακρυστάλλωσης.



Εικόνα 3-1: Σχήμα Γεωτεκτονικών Ζωνών της Ελλάδος (<https://www.eagme.gr/>).

Η δομή των ανθρακικών σχηματισμών της Δράμας είναι ιδιαίτερα ετερογενής και φέρει τα αποτυπώματα πολλαπλών φάσεων μεταμόρφωσης. Η παρουσία δολομιτικού μαρμάρου υψηλής καθαρότητας είναι χαρακτηριστική, με ομοιογενή κρυσταλλική υφή και περιορισμένες



ζώνες τεκτονικής καταπόνησης, στοιχείο που υποδηλώνει σχετικά ευνοϊκές συνθήκες για την εκμετάλλευση του κοιτάσματος σε λατομικό επίπεδο. Ειδικότερα, η τεκτονική διάρθρωση της περιοχής χαρακτηρίζεται από επικρατούσα διεύθυνση ΒΑ–ΝΔ των ρηξιγενών ζωνών, οι οποίες ελέγχουν σε μεγάλο βαθμό τη γεωμετρία των φλεβικών εμφανίσεων μεταλλοφορίας, αλλά και των περιοχών υψηλής ποιότητας δολομιτικού μαρμάρου. Οι γεωτεκτονικές διεργασίες έχουν επιδράσει τόσο στη διαμόρφωση των φυσικών ιδιοτήτων του πετρώματος όσο και στη χωρική κατανομή των κοιτασμάτων, με αποτέλεσμα, η γεωμετρία του κοιτάσματος να είναι έντονα επηρεασμένη από πτυχωσιγενή και ρηγματογενή μοτίβα, ενίοτε με συνύπαρξη ασυνεχειών και διασταυρούμενων φλεβών (Neofotistos et al., 2020).

Χαρακτηριστική άποψη υπαίθριας εκμετάλλευσης κοιτάσματος δολομιτικού μαρμάρου στην περιοχή Πύργων Δράμας φαίνεται στην [Εικόνα 3-2](#).



Εικόνα 3-2: Λατομείο μαρμάρου στην περιοχή Πύργων Δράμας (ΜΠΥΡΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΜΑΡΜΑΡΑ Α.Ε.).

### 3.2 Κοιτασματολογία και ποιότητα μαρμάρου

Η κοιτασματολογία του δολομιτικού μαρμάρου στην περιοχή των Πύργων Δράμας συνιστά έναν πολυσύνθετο γεωλογικό και τεκτονικό σχηματισμό, που εντάσσεται στο γενικότερο γεωτεκτονικό πλαίσιο της Μάζας Ροδόπης, και πιο συγκεκριμένα στις λιθολογικές ενότητες του Φαλακρού Όρους. Οι δομές αυτές αντιπροσωπεύουν μεταμορφωμένα ανθρακικά πετρώματα, με κυρίαρχο τον δολομίτη και δευτερευόντως τον ασβεστίτη, τα οποία υπέστησαν μέσο έως υψηλό βαθμό μεταμόρφωση (Χατζηπαναγής, 1991). Η μεταμόρφωση αυτή, συνδεδεμένη με την Αλπική ορογένεση με το Αλπικό τεκτονικό καθεστώς, προκάλεσε

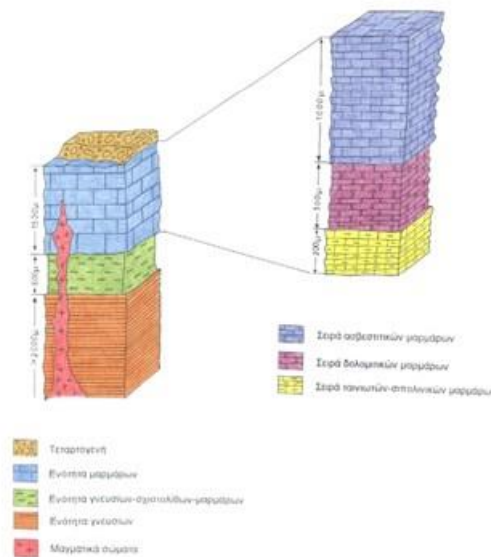


επανακρυστάλλωση των αρχικών δολομιτικών ασβεστολίθων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία πυκνών, μαζικών και ομοιογενών μαρμάρων με ιδανικά φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά. Στην [Εικόνα 3-3](#) φαίνεται γυαλισμένη πλάκα πάχους 2cm του συγκεκριμένου μαρμάρου.



*Εικόνα 3-3: Πλάκα δολομιτικού μαρμάρου των Πύργων Δράμας.*

Τα κοιτάσματα των δολομιτικών μαρμάρων στην περιοχή δεν απαντούν με τη μορφή συνεχών και ομοιογενών μαζών, αλλά μάλλον διαμορφώνονται σε διακριτές ζώνες εντός της μεταμορφωμένης ενότητας του Φαλακρού. Οι ζώνες αυτές διακόπτονται από τεκτονικά ρήγματα, λεπτομερείς φλέβες ή και έντονες ζώνες καταπόνησης, γεγονός που καθιστά την κοιτασματολογική χαρτογράφηση καθοριστική για τη βέλτιστη αξιοποίηση των αποθεμάτων. Σύμφωνα με τους [Χατζηπαναγή και Βουγιούκα \(2004\)](#), η λιθοστρωματογραφική θέση των δολομιτικών σχηματισμών που βρίσκονται μεταξύ του ασβεστολιθικού μαρμάρου (υπερκείμενο) και των ταινιωτών-σιπολινικών μαρμάρων ([Εικόνα 3-4](#)) και η φύση της τεκτονικής παραμόρφωσης επιδρούν άμεσα στον εντοπισμό των κατάλληλων προς εκμετάλλευση κοιτασμάτων πεδίων. Πιο συγκεκριμένα, οι λιγότερο τεκτονικά παραμορφωμένες ενότητες συνδέονται με μεγαλύτερες πιθανότητες εμφάνισης μαρμάρου υψηλής ποιότητας, χωρίς ρωγμές, εγκλείσματα ή φλεβώσεις. Ένα από τα χαρακτηριστικά που καθιστούν τα μάρμαρα των Πύργων εξαιρετικά ελκυστικά για λατομική εκμετάλλευση είναι η χρωματική τους καθαρότητα και η υψηλή λευκότητα. Οι λιθολογικές αναλύσεις δείχνουν σημαντική ομοιογένεια στη σύσταση, με τον δολομίτη να κυριαρχεί σε επίπεδα έως και 99%, γεγονός που προσδίδει στο μάρμαρο μεγάλη διαύγεια και λαμπρότητα ([Τσιραμπίδης, 1996α](#)). Επιπλέον, το μάρμαρο της περιοχής εμφανίζει μικρό ποσοστό φλεβών οξειδίων και μεταλλικών εγκλεισμάτων, στοιχείο κρίσιμο για την κατεργασία και εμπορία του υλικού σε πλάκες και τεμάχια μεγάλων διαστάσεων.



Εικόνα 3-4: Λιθοστρωματογραφική στήλη της περιοχής του όρους Φαλακρού (Βουγιούκας και Χατζηπαναγής, 2009).

Σημαντικό είναι επίσης να τονιστεί ότι, η εν λόγω περιοχή έχει ιστορικά τεκμηριωθεί ως ζώνη μεγάλης λατομικής δραστηριότητας, με καταγεγραμμένες εξορυκτικές πρακτικές, ήδη από τα μέσα του 20ού αιώνα. Η συνέχιση της εκμετάλλευσης των μαρμάρων της περιοχής τεκμηριώνει όχι μόνο την εμπορική τους αξία, αλλά και τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των κοιτασμάτων. Οι πλέον πρόσφατες γεωλογικές παρατηρήσεις και γεωτρήσεις υποδεικνύουν την ύπαρξη σημαντικών αποθεμάτων σε βάθος, γεγονός που καθιστά αναγκαίο τον ακριβή υπολογισμό των γεωλογικών αποθεμάτων και τον ενδεδειγμένο σχεδιασμό εξόρυξης για την ελαχιστοποίηση των απωλειών (Χατζηπαναγής, 1991). Η παρουσία μικροδομικών ασυνεχειών, όπως τεκτονικές ρωγμές, φλεβώδεις εγκλείσεις ή διαστρωματώσεις, απαιτεί προσεκτική αποτύπωση κατά την εκμετάλλευση. Η τρισδιάστατη αποτύπωση των κοιτασμάτων και η χρήση γεωλογικών λογισμικών βοηθούν στον ακριβή καθορισμό των εκμεταλλεύσιμων όγκων, αυξάνοντας την απόδοση και περιορίζοντας τα απορρίμματα. Η βελτιστοποίηση της εκμετάλλευσης βασίζεται επομένως σε μια ενιαία προσέγγιση που ενσωματώνει κοιτασματολογικά, γεωτεχνικά και τεχνοοικονομικά δεδομένα.

### 3.3 Φυσικομηχανικές ιδιότητες και χημική ανάλυση του δολομιτικού μαρμάρου Πύργων

Οι φυσικομηχανικές ιδιότητες του δολομιτικού μαρμάρου των Πύργων Δράμας αποτελούν βασικό κριτήριο για την αξιολόγηση της τεχνικής και εμπορικής του καταλληλότητας ως διακοσμητικό πέτρωμα. Η περιοχή εντάσσεται στο δυτικό τμήμα του Όρους Φαλακρού, και τα μάρμαρα που εντοπίζονται εκεί παρουσιάζουν ιδιαίτερα ευνοϊκά τεχνικά χαρακτηριστικά, τα

οποία απορρέουν από τη γεωλογική τους εξέλιξη, την ορυκτολογική τους καθαρότητα και τη μικροδομή τους (Χατζηπαναγής & Βουγιούκας, 2005). Το δολομιτικό μάρμαρο της περιοχής, παρουσιάζει υψηλές τιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη, με μέσους όρους που κυμαίνονται μεταξύ 200 και 220 MPa, ανάλογα με την ποσοστιαία αναλογία δολομίτη προς ασβεστίτη και την ύπαρξη ή μη μικρορωγμών (<https://www.eagme.gr/>). Ο **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** παρουσιάζει τις χαρακτηριστικές τιμές των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων του δολομιτικού μαρμάρου Πύργων.

Η σκληρότητα του μαρμάρου σε τιμές Mohs κυμαίνεται μεταξύ 3 και 4, κάτι που αποτελεί τυπική τιμή για ανθρακικά διακοσμητικά πετρώματα, προσφέροντας ευκολία στην κατεργασία και λείανση. Παράλληλα, ο συντελεστής απορροφητικότητας σε νερό διατηρείται σε πολύ χαμηλά επίπεδα –συνήα κάτω του 0,3% κατά βάρος–, γεγονός που περιορίζει σημαντικά την είσοδο υγρασίας και την εμφάνιση φθορών μέσω παγετού ή υγροθερμικής καταπόνησης (Βουγιούκας et al., 2001). Η ιδιότητα αυτή, σε συνδυασμό με την καλή χημική σταθερότητα σε συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος, καθιστά το μάρμαρο ιδιαίτερα ανθεκτικό στην αποσάθρωση και ιδανικό για μακροχρόνια χρήση σε υπαίθριες κατασκευές. Επιπλέον, το δολομιτικό μάρμαρο των Πύργων εμφανίζει υψηλή αντοχή σε κάμψη, φθάνοντας έως και τα 17 MPa, όπως αναφέρεται σε σχετικές μελέτες φυσικών χαρακτηριστικών του ΙΓΜΕ (Βουγιούκας & Χατζηπαναγής, 2009). Η συμπεριφορά του σε δοκιμές εφελκυστικής αντοχής δείχνει επίσης καλά αποτελέσματα για την κατηγορία του, με τιμές που κυμαίνονται από 7 έως 12 MPa, επιτρέποντας την κατεργασία μεγάλων όγκων χωρίς σημαντικό κίνδυνο εσωτερικής θραύσης ή απώλειας μηχανικής συνοχής κατά τη μεταφορά ή την τοποθέτηση. Η μικροδομή του πετρώματος είναι κυρίως κοκκώδης, με ισοτροπική κατανομή κρυστάλλων δολομίτη διαμέτρου 0,2–0,6 mm, γεγονός που συμβάλλει στη μηχανική σταθερότητα και στην αισθητική ομοιομορφία (Παπατρέχας, 2011).

Πίνακας 3-1: Φυσικομηχανικές ιδιότητες δολομίτη περιοχής Πύργων (<https://www.eagme.gr/>)

<b>ΠΥΡΓΩΝ ΔΡΑΜΑΣ ΛΕΥΚΟ / PIRGI DRAMA WHITE (EN 12440)</b> <b>ΔΟΛΟΜΙΤΙΚΟ ΜΑΡΜΑΡΟ / DOLOMITIC MARBLE (EN 12407)</b>	
<b>ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ</b> <b>PHYSICAL MECHANICAL PROPERTIES</b>	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ*</b> <b>AVERAGE*</b>
Φαινόμενη πυκνότητα (EN 1936), kg/m <sup>3</sup> Apparent density (EN 1936), kg/m <sup>3</sup>	2830
Ανοικτό πορώδες (EN 1936), % κ.ο. Open porosity (EN 1936), % vol.	0,8
Υδαταπορρόφηση σε ατμοσφαιρική πίεση (EN 13755), % κ.β. Water absorption at atmospheric pressure (EN 13755), % wt.	0,3
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (EN 1926), MPa Uniaxial compressive strength (EN 1926), MPa	208
Αντοχή σε κάμψη υπό συγκεντρωμένο φορτίο (EN 12372), MPa Flexural strength under concentrated load (EN 12372), MPa	11,6
Φορτίο θραύσης στην οπή αγκύρωσης (EN 13364), N Breaking load at dowel hole (EN 13364), N	1800
Αντίσταση σε τριβή (EN 14157 - B), mm <sup>3</sup> Abrasion resistance (EN 14157 - B), mm <sup>3</sup>	22343
Ενέργεια θραύσης (EN 14158), Joule Rupture energy (EN 14158), Joule	5
Αντίσταση σε παγετό (EN 12371) / Frost resistance (EN 12371): Αντοχή σε κάμψη υπό συγκεντρωμένο φορτίο (EN 12372) μετά από 48 κύκλους αντίστασης σε παγετό, MPa Flexural strength under concentrated load (EN 12372) after 48 frost resistance cycles, MPa	9,4

Από πλευράς φθοράς τριβής, οι δείκτες επιφανειακής αντίστασης υποδεικνύουν ότι το συγκεκριμένο μάρμαρο είναι κατάλληλο για δάπεδα δημόσιας χρήσης με μέτρια έως υψηλή κυκλοφορία. Οι μετρήσεις τριβής (abrasion resistance) σε πρότυπα CE κατατάσσουν το μάρμαρο των Πύργων στην κατηγορία υψηλής αντοχής, στοιχείο που επιβεβαιώνεται και από εμπορικές χρήσεις του σε εφαρμογές εσωτερικής διακόσμησης και εξωτερικής επένδυσης (Λασκαρίδης & Πατρώνης, 2005). Ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί τα τελευταία χρόνια και στον προσδιορισμό του δείκτη υγιεινής και ραδιενέργειας του δολομιτικού μαρμάρου της περιοχής, με τα αποτελέσματα να υποδεικνύουν πλήρη συμβατότητα με τα πρότυπα δόμησης και υγειονομικής ασφάλειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ρήγας, Γεωργούσης & Σουνδουλουνάκης, 1990).

Η ορυκτολογική καθαρότητα του πετρώματος, όπως διαπιστώνεται με χρήση φασματοσκοπίας και πετρογραφικής ανάλυσης λεπτών τομών, ενισχύει την πρόβλεψη καλών φυσικομηχανικών ιδιοτήτων. Τα ποσοστά μαγνησίτη, τάλκη ή άλλων δευτερογενών φάσεων είναι περιορισμένα, ενώ η παρουσία δολομίτη σε καλά ανεπτυγμένους κρυστάλλους υποδηλώνει σταθερότητα και αντοχή στη θερμική καταπόνηση (Χατζηπαναγής et al., 2006). Σημειώνεται εδώ ότι αυτό το συμπέρασμα δεν μπορεί να τεκμηριωθεί μόνο από ορυκτολογική ανάλυση αλλά και από

**την αντοχή σε εφελκυσμό και τις θερμικές ιδιότητες του μαρμάρου.** Το μάρμαρο ανταποκρίνεται ικανοποιητικά σε θερμικά φορτία, με χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για περιοχές με έντονες διακυμάνσεις θερμοκρασίας. Τέλος, η εμπορική αξία του δολομιτικού μαρμάρου της περιοχής σχετίζεται άμεσα με τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά του. Η σταθερότητα στις τιμές ποιότητας, η διατήρηση ομοιογένειας σε βάθος, καθώς και η ικανοποιητική κατεργασιμότητα χωρίς ανάγκη εκτεταμένων επεμβάσεων, το καθιστούν ελκυστικό τόσο για την εγχώρια αγορά όσο και για εξαγωγές υψηλής αξίας ([Χατζηπαναγής & Βουγιούκας, 2004](#)). Όπως επισημαίνεται από τον [Τσιραμπίδη \(1996α\)](#), τα μάρμαρα με υψηλές τιμές σε θλίψη, χαμηλή απορροφητικότητα και σταθερότητα στη χρωματική εμφάνιση κατατάσσονται στις κορυφαίες κατηγορίες εμπορικού ενδιαφέροντος διεθνώς –κριτήρια τα οποία πληροί πλήρως το δολομιτικό μάρμαρο των Πύργων.

Η τυπική ορυκτολογική και χημική σύσταση του μαρμάρου Πύργων φαίνεται [στον Πίνακα 3-2 και](#)

Πίνακας 3-3.

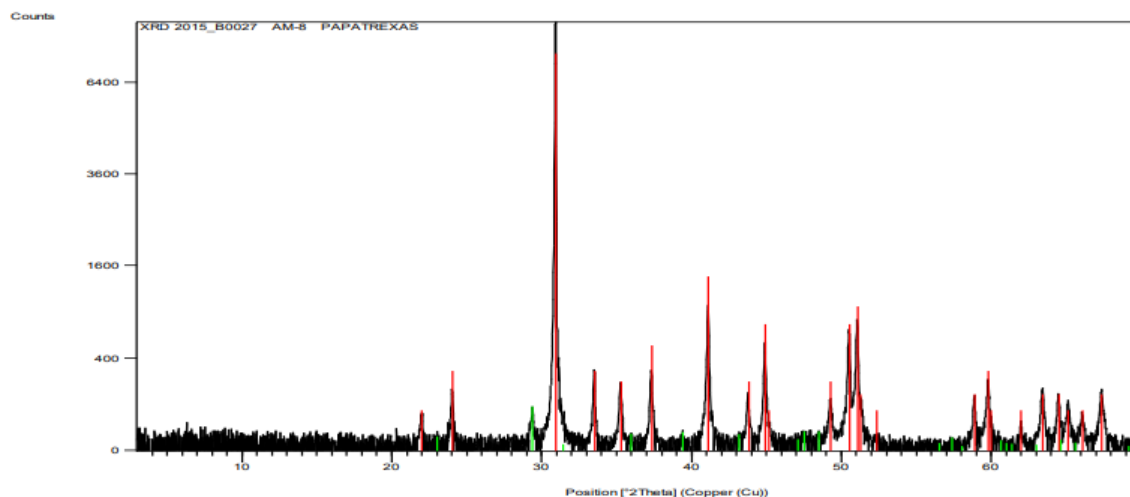
Πίνακας 3-2: Ορυκτολογική σύσταση δολομίτη περιοχής Πύργων (Ε.Α.Γ.Μ.Ε.).

Ορυκτό	Ποσοστό
Δολομίτης	99%
Ασβεστίτης	1%

Πίνακας 3-3: Χημική ανάλυση δολομίτη περιοχής Πύργων (E.A.G.M.E.).

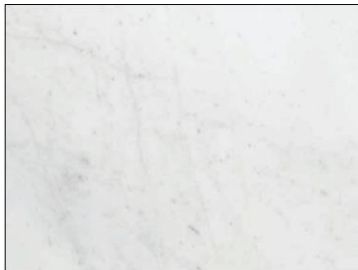
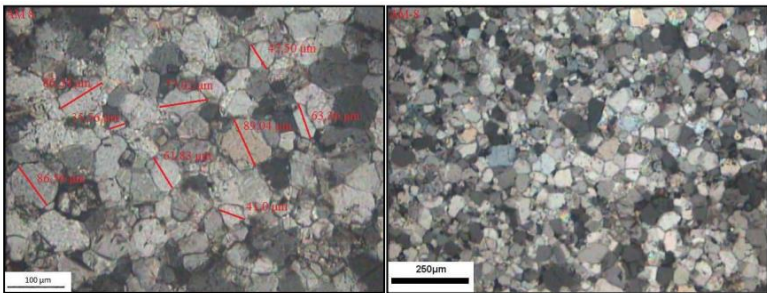
ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ CHEMICAL ASSAY	% σε ξηρά ουσία % in dry substance	ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ TRACE ELEMENTS	ppm σε ξηρά ουσία ppm in dry substance
SiO <sub>2</sub>	0,30	V	1,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,10	Cr	6,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,10	Mn	17
CaO	35,05	Co	1,2
MgO	17,15	Ni	5,5
TiO <sub>2</sub>	<0,10	Cu	3,5
K <sub>2</sub> O	0,03	Zn	14
Na <sub>2</sub> O	0,17	As	4,0
LOI	45,93	Sr	25
		Cd	0,7
		Ba	95
		Pb	8,0
		Be	1,0
		Rb	2,3
		Bi	0,1
		U	0,6
		Sc	38,0
		Y	4,5
		Th	1,5
		Sb	1,0
		Ta	0,2
		Nb	1,5

Το διάγραμμα περίθλασης XRD φαίνεται στην **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** καθώς και η πετρογραφική ανάλυση, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακας 3-4.



Εικόνα 3-5: Διάγραμμα περίθλασης XRD δολομίτη Πύργων (E.A.Γ.Μ.Ε.)

Πίνακας 3-4: Πετρογραφική ανάλυση δολομίτη Πύργων (E.A.Γ.Μ.Ε.)

Πετρογραφική ανάλυση	
<b>Μακροσκοπική περιγραφή</b>	<p>Αποτελείται από κρυσταλλική μάζα λευκού χρώματος με αραιά τεφρόφαια συσσωματώματα. Τα τεφρόφαια συσσωματώματα είτε αποτελούνται από ασβεσίτη είτε από ανακρυσταλλωμένο μεγαλύτερου μεγέθους δολομίτη. Η κοκκομετρική ανάλυση έδειξε ότι πρόκειται για λεπτόκοκκο πέτρωμα.</p> 
<b>Μικροσκοπική περιγραφή</b>	<p>Οι κρύσταλλοι δολομίτη εμφανίζονται υποδιόμορφοι, ενώ ο ασβεσίτης παρατηρείται είτε διάσπαρτος είτε σε συσσωματώματα.</p>  <p>Φωτογραφία μικροσκοπίου του πετρώματος.</p>

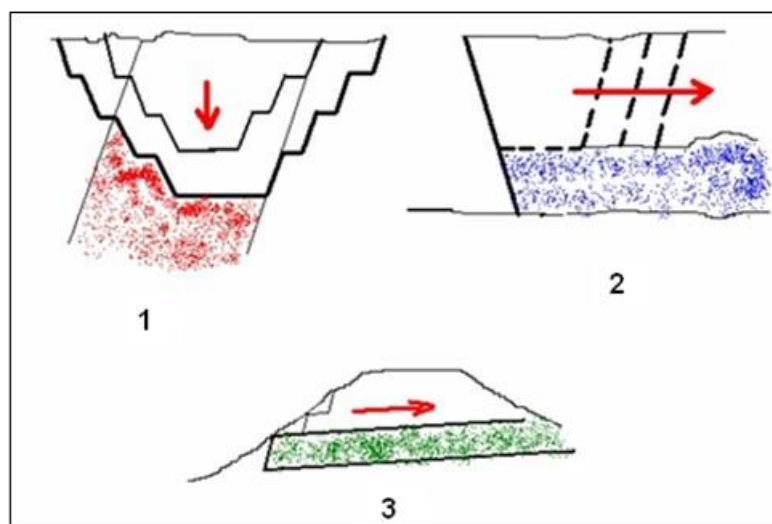


## Κεφάλαιο 4: Σχεδιασμός Υπαίθριας Εκμετάλλευσης

Σε αυτό το κεφάλαιο αφού γίνει μια συνοπτική παρουσίαση των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων μαρμάρου, στη συνέχεια μελετάται ο σχεδιασμός υπαίθριας εκμετάλλευσης του μαρμάρου Πύργων εντός συγκεκριμένου λατομικού χώρου. Εκτιμώνται τα γεωλογικά και λατομικά αποθέματα, γίνεται ο σχεδιασμός των ορθών βαθμίδων σε 2 φάσεις, επιλέγεται ο μηχανολογικός εξοπλισμός και η ομάδα εργασίας και υπολογίζεται το μοναδιαίο κόστος της υπαίθριας εκμετάλλευσης.

### 4.1 Υπαίθρια μέθοδος εκμετάλλευσης και εξόρυξης μαρμάρων

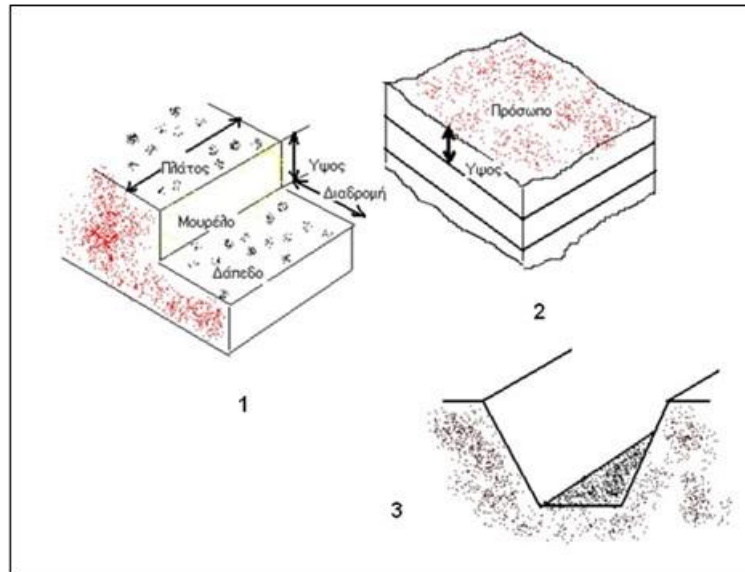
Η μέθοδος εκμετάλλευσης προβλέπει το σύνολο των εργασιών που απαιτούνται για την ασφαλέστερη, οικονομικότερη και αποδοτικότερη απόληψη των μαρμάρων. Περιλαμβάνει τεχνολογία μέσων και μεθόδων εξόρυξης για την μηχανοποίηση όλων των φάσεων παραγωγής με προοπτική την καλύτερη χρήση των σύγχρονων μηχανημάτων εξόρυξης και τον περιορισμό στο ελάχιστο δυνατό της χρήσης εκρηκτικών τόσο στο στάδιο της εξόρυξης όσο και κατά το στάδιο της αποκάλυψης του κοιτάσματος. Θα γίνεται δηλαδή προσπάθεια για λιγότερη επέμβαση και ευχερέστερη μετέπειτα αποκατάσταση του περιβάλλοντος. Η εκμετάλλευση του χώρου θα είναι επιφανειακή - υπαίθρια. Οι κυριότερες μορφές υπαίθριας εκμετάλλευσης είναι οι παρακάτω φαίνονται στην *Εικόνα 4-1*.



*Εικόνα 4-1: Μορφές υπαίθριας εκμετάλλευσης: 1. Κλειστή αναπτυσσόμενη σε βάθος. 2. Κλειστή αναπτυσσόμενη οριζοντίως σε επίπεδο ανάγλυφο 3. Ανοικτή εκμετάλλευση σε λοφώδες ανάγλυφο (Εξαδάκτυλος, 2020).*

Η μορφολογία του εδάφους σε συνδυασμό με τις απαντώμενες κοιτασματολογικές συνθήκες επιβάλλει την εφαρμογή της επιφανειακής ανοικτής εκμετάλλευσης στον χώρο του λατομείου.

Για την ανοικτή επιφανειακή εξόρυξη υπάρχουν διάφοροι τύποι μετώπων υπαίθριας εξόρυξης που οι κυριότεροι φαίνονται στην *Εικόνα 4-2*.



*Εικόνα 4-2: Τύποι – μέθοδοι υπαίθριας εξόρυξης: 1. Ορθές Βαθμίδες 2. Μέτωπο κατά τη φυσική επιφάνεια 3. Τάφος (Εξαδάκτυλος, 2020).*

Για τον υπόψη λατομικό χώρο η εκμετάλλευση θα γίνει με τη μέθοδο των ορθών ανοιχτών διαδοχικών βαθμίδων με γενικευμένη χρήση αδαμαντοφόρων συρματοκοπών, τόσο πρωτογενώς στα παραγωγικά μέτωπα των βαθμίδων εκμετάλλευσης, όσο και δευτερογενώς για τον ορθογωνισμό των ογκομαρμάρων στα δάπεδα των βαθμίδων και στην κεντρική πλατεία του λατομείου. Η μέθοδος των ορθών ανοικτών βαθμίδων εξασφαλίζει ασφάλεια προσωπικού και μέσων καθώς και οικονομία επενδύσεων στο κοίτασμα. Η διάταξη των βαθμίδων θα είναι περίπου παράλληλη προς τις ισοϋψείς καμπύλες.

Τα πλεονεκτήματα εφαρμογής της μεθόδου συνοψίζονται παρακάτω:

- Ασφάλεια εργαζομένων. Είναι η ασφαλέστερη μαζική μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μικρά ύψη μετώπων και σε μικρές κλίσεις. Η μέθοδος αυτή προσφέρει καλύτερες συνθήκες εργασίας στο προσωπικό του λατομείου.
- Ελαστικότητα παραγωγής. Χρησιμοποιείται ταυτόχρονα σε πολλά ή σε λίγα μέτωπα εξόρυξης, ανάλογα με την υφιστάμενη ή την αυξομειούμενη ζήτηση σε υλικό.
- Χαμηλό κόστος παραγωγής. Η εργασία του προηγούμενου μετώπου (πάνω) αποτελεί προεργασία για το επόμενο (κάτω).
- Καλύτερη εποπτεία του κοιτάσματος. Η κατά θέση εκμετάλλευση είναι λειτουργικά ανεξάρτητη από κάθε άλλη, οπότε είναι δυνατή η διαδοχή εργασιών μέσα στον ίδιο χώρο.
- Προστασία περιβάλλοντος. Η μέθοδος επιτυγχάνει τη μεγαλύτερη δυνατή απόληψη πρώτης ύλης από τη προσβαλλόμενη επιφάνεια, και έτσι αποφεύγεται η προσβολή νέων επιφανειών.

Για την εξόρυξη των ογκομαρμάρων χρησιμοποιούνται φορτωτές, εκσκαφείς, αερόσφυρες με τους απαιτούμενους αεροσυμπιεστές, συρματοκοπές, υδραυλικοί γρύλοι και φορηγά αποκομιδής στείρων.

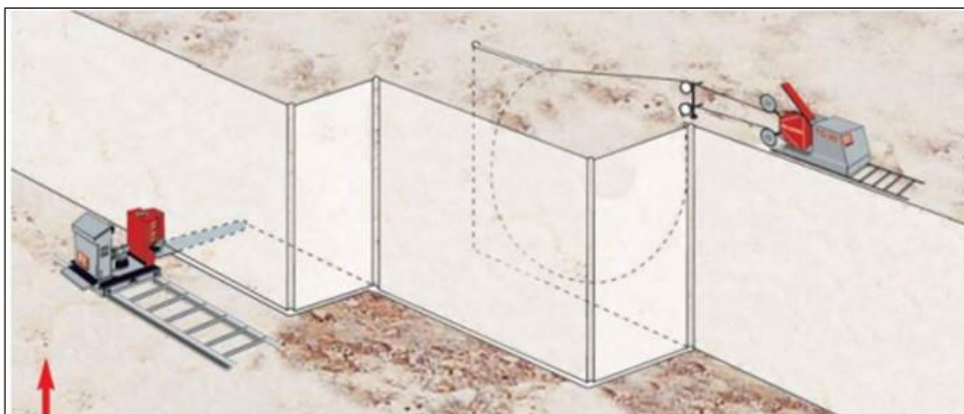
Η διαδικασία εξόρυξης συνίσταται στα εξής στάδια:

- A. στην αποκόλληση «πάγκων» μαρμάρου από την αρχική τους μητρική θέση και
- B. τον τεμαχισμό αυτών των πάγκων σε ογκομάρα μικρότερων διαστάσεων (ορθογωνισμός).

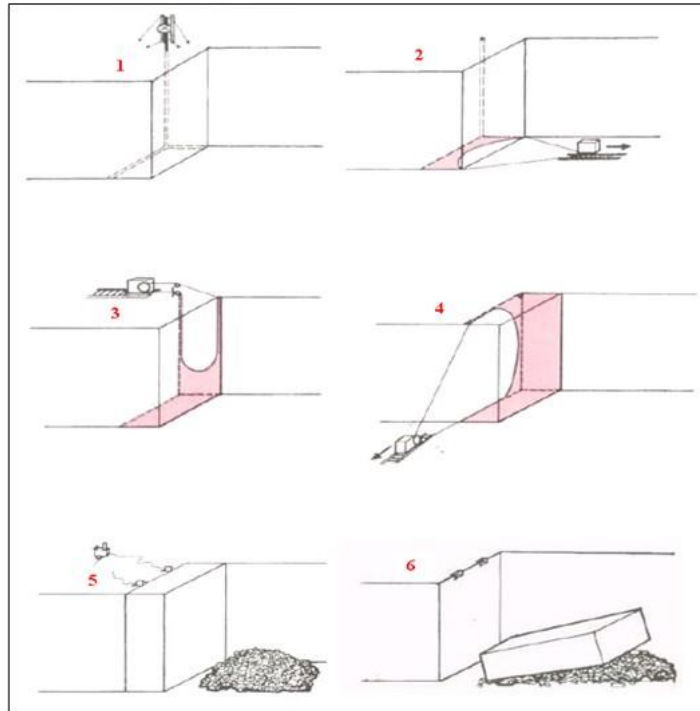
Τόσο η αποκόλληση όσο και ο ορθογωνισμός γίνεται με χρήση συρματοκοπής. Ανά στάδιο εργασιών η εξόρυξη περιλαμβάνει:

A. Την αποκόλληση των πάγκων από τη μητρική τους θέση

Ο τρόπος κοπής (αλυσοπρίονο ή συρματοκοπή) παρουσιάζεται στην [Εικόνα 4-3 \(α\)](#) ενώ στην [Εικόνα 4-3 \(β\)](#) παρουσιάζεται η διαδικασία εξόρυξης από την διάτρηση στην κοπή και στην τελική αποκόλληση του πάγκου από το μητρικό πέτρωμα.



(α)



(β)

Εικόνα 4-3: Χρονική αλληλουχία φάσεων διάτρησης, κοπής του μετώπου, αποκόλλησης και ανατροπής πάγκου μαρμάρου (Εξαδάκτυλος, 2020). (α) Κοπή του μετώπου με αλυσοπρίονο και συρματοκοπή. (β) Κοπή με χρήση αποκλειστικά της συρματοκοπής.

Η χρονική αλληλουχία των διαφόρων φάσεων έχει ως εξής:

Βήμα 1. Διάτρηση: γίνονται δύο οριζόντιες και μία κατακόρυφη τρύπα, οι οποίες πρέπει να συναντηθούν (να «βρεθούν», στην λατομική ορολογία), προκειμένου στη συνέχεια να περαστούν μέσα από τις τρύπες που έχουν συναντηθεί, τα αδαμαντοφόρα σύρματα.

Βήματα 2,3,4. Κοπή πάγκων με συρματοκοπή οριζόντια και κατακόρυφα.

Βήμα 5. Προετοιμασία για αποκόλληση με μεταλλικά μαξιλάρια (λειτουργούν υπό την μορφή υδραυλικού γρύλου), στα οποία διοχετεύεται με πίεση νερό που παρέχεται από αντλία και στη συνέχεια αφού έχει γίνει η αρχική αποκόλληση του πάγκου (άνοιγμα περίπου 10cm) χρησιμοποιείται το «νύχι» (ripper) του ερπυστριοφόρου εκσκαφέα ή ο βραχίονας (rake) του φορτωτή για την ανατροπή του πάγκου.

Βήμα 6. Αποκόλληση – ανατροπή του πάγκου.

Η κοπή στα μέτωπα παραγωγής, γίνεται με τη χρήση συρματοκοπών, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-4.



*Εικόνα 4-4: Κοπή παραγωγικού μετώπου μαρμάρου*

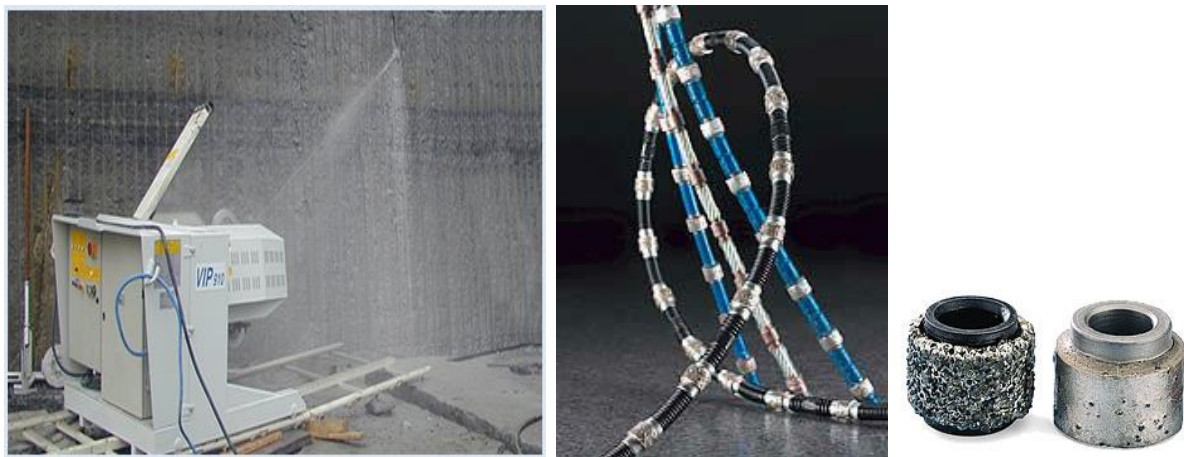
Μετά τη δημιουργία των τριών κάθετων μεταξύ τους διατρήσεων (μία κατακόρυφη και δύο οριζόντιες) γίνεται η κοπή των τριών επιφανειών (μίας οριζόντιας και δύο κατακόρυφων) του μαρμάρου με την χρήση συρματοκοπών. Με την συρματοκοπή δημιουργείται τεχνητή επίπεδη επιφάνεια κοπής (δημιουργία ασυνέχειας του μαρμάρου επί προδιαγεγραμμένου επιπέδου), με σκοπό την απόσπαση ευμεγέθους πάγκου από το μητρικό πέτρωμα. Η τεχνητή ελεύθερη επιφάνεια που δημιουργείται με την συρματοκοπή συνδυάζεται με τις φυσικές ασυνέχειες (κατακλάσεις, διακλάσεις, κ.α.) του μαρμάρου ή άλλες τομές συρματοκοπής ώστε τελικά να επιτευχθεί η απόσπαση του πάγκου. Χρησιμοποιούνται συστήματα ταχείας συρματοκοπής με ταχύτητες κοπής 10 - 20 m<sup>2</sup>/h. Κατά την μέθοδο αυτή, η κοπή των ογκομαρμάρων προκαλείται από την συνεχή κίνηση της αλυσίδας του πριονιού, που φέρει κοπτικά άκρα επί του πετρώματος. Το αδαμαντοφόρο σύρμα αποτελείται από ένα συρματοσχοίνο διαμέτρου 5 mm στο οποίο είναι περασμένος (υπό τύπο χανδρών) ένας μεγάλος αριθμός κοπτικών σωμάτων (πέρλες) — ανά τρέχον μέτρο σύρματος τοποθετούνται 27 - 30 πέρλες, διαμέτρου 10 -11 mm περίπου. Για να τηρούνται οι αποστάσεις μεταξύ των κοπτικών σωμάτων παρεμβάλλονται ενδιάμεσα 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 την μέθοδο της συμπήξεως. Επίσης, στην επιφανειακή



εκμετάλλευση χρησιμοποιούνται αλυσοπρίονα επιφανείας, είτε για την κοπή των πάγκων οριζόντια ή κατακόρυφα, είτε για τον ορθογωνισμό των ογκομαρμάρων (Εικόνα 4-3 [α](#)).

Μια μονάδα συρματοκοπής (Εικόνα 4-5) αποτελείται από:

- Ηλεκτροκινητήρα οδήγησης - τάνυσης του σύρματος, ο οποίος δίνει κίνηση μέσω ενός άξονα στην κεντρική τροχαλία της συρματοκοπής,
- Σιδηροτροχιά (μήκους περίπου 6 m, δηλαδή τρεις (3) δίμετρες τροχιές), Αδαμαντοφόρο σύρμα (αναγομώνονται έως τρεις (3) φορές, αναλόγως της φθοράς των εξαρτημάτων τους, μέχρι εξαντλήσεως του κοπτικού μέσου),
- Ηλεκτρονικό χειριστήριο (για έλεγχο από μακριά — μεταβίβαση πληροφοριών στον ηλεκτρικό κινητήρα πολλαπλών ταχυτήτων).



(α)

(β)

(γ)

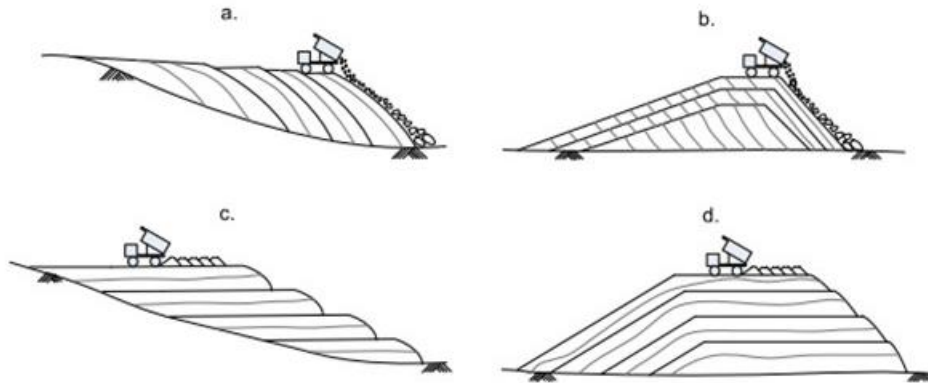
Εικόνα 4-5: (α) Μονάδα συρματοκοπής. (β) σύρμα και (γ) πέρλες

### B. Ορθογωνισμός – παραγωγή ογκομαρμάρων

Οι ορθογωνισμένοι όγκοι μαρμάρου (ογκομάρμαρα) αποτελούν το κύριο προϊόν κάθε εκμετάλλευσης μαρμάρου. Πρόκειται για όγκους μαρμάρου σε σχήμα ορθογώνιου παραλληλεπιπέδου που προορίζονται για κοπή σε πλάκες και, στη συνέχεια, για παραγωγή τελικών προϊόντων από φυσικούς λίθους. Η επιλογή του ορθογώνιου παραλληλεπιπέδου σχήματος γίνεται για την αποφυγή όσο το δυνατόν περισσότερων απωλειών του προς πώληση υλικού.

Οι μέθοδοι απόρριψης εξορυκτικών αποβλήτων ταξινομούνται γενικά σύμφωνα με δύο κριτήρια: τη μέθοδο διάθεσης, η οποία μπορεί να κατασκευαστεί ως μια φθίνουσα κατασκευή, όπου η βαθμίδα απόθεσης στείρων κατασκευάζεται από πάνω προς τα κάτω (end dumping) και ως μια ανερχόμενη κατασκευή, όπου βαθμίδα απόθεσης στείρων κατασκευάζεται από

κάτω προς τα πάνω σε σειρά υψωμάτων (stacking in lifts or layers) καθώς και από την τοπογραφία των εδαφών διάθεσης, τα οποία μπορεί να είναι είτε επίπεδα είτε κεκλιμένα. Η Εικόνα 4-6 δείχνει τους 4 τρόπους απόθεσης στείρων.



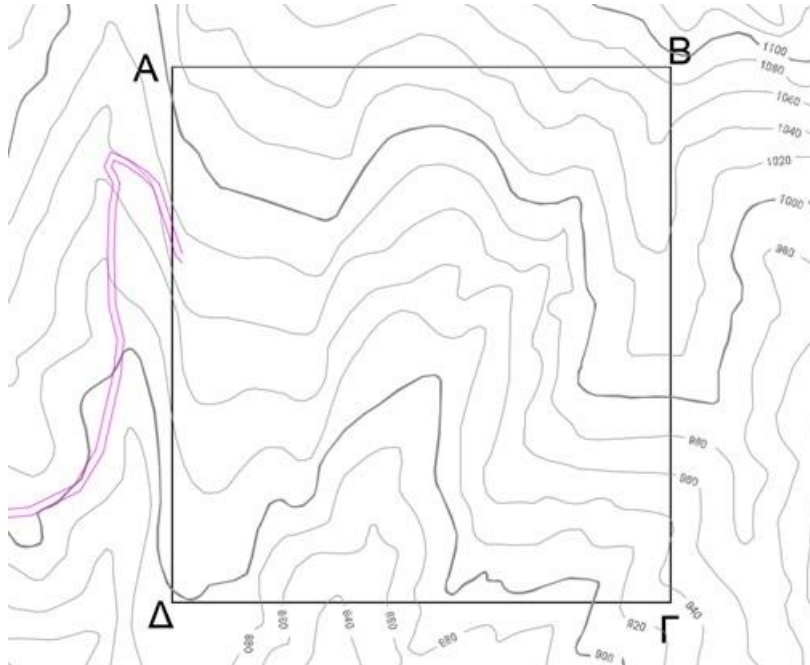
Εικόνα 4-6: Τρόποι απόθεσης στείρων: a) από πάνω προς τα κάτω σε κεκλιμένη τοπογραφία, b) από πάνω προς τα κάτω σε οριζόντια τοπογραφία, c) από κάτω προς τα πάνω σε κεκλιμένη τοπογραφία, d) από κάτω προς τα πάνω σε οριζόντια τοπογραφία (Blight 2010, Zevgolis 2018).

Στην ανερχόμενη απόθεση, τα απόβλητα απορρίπτονται σε μια σειρά κωνικών σωρών και στη συνέχεια εξαπλώνονται από φορτωτές ώστε να σχηματιστούν σχετικά οριζόντια στρώματα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να επιτευχθεί η τελική διαμόρφωση. Γενικά, οι διεργασίες από κάτω προς τα πάνω επιτυγχάνουν υψηλότερη πυκνότητα σε σύγκριση με αυτές από πάνω προς τα κάτω, επειδή κάθε στρώμα συμπιέζεται κάτω από το φορτίο των στρώσεων υπερφόρτωσης καθώς απλώνονται πάνω από τα προηγούμενα. Οι βαθμίδες που δημιουργούνται από κάτω προς τα πάνω αποκτούν υψηλότερη πυκνότητα και ως εκ τούτου είναι λιγότερο ευάλωτες σε καθιζήσεις, ρωγμές στην επιφάνεια και προβλήματα εσωτερικής διάβρωσης. Οι διεργασίες από κάτω προς τα πάνω έχουν ως αποτέλεσμα μια συνολικά πιο σταθερή διαπερατότητα σε όλο το σώμα των απορρίψεων (Hustrulid et al. 2001, Zevgolis 2018).

Στον υπό μελέτη χώρο για την διαχείριση των στείρων έχει επιλεγεί η μέθοδος απόθεσης από το κατώτερο όριο του λατομικού χώρου προς τα ανώτερα υψόμετρα (περίπτωση c, στην [Εικόνα 4-6](#)). Μετά τη δημιουργία της χαμηλότερης βαθμίδας απόθεσης στείρων υλικών ακολουθεί η διαμόρφωση του δαπέδου της βαθμίδας, η τοποθέτηση μιας ή δύο σειρών μη εκμεταλλεύσιμων όγκων μαρμάρου σε απόσταση 6 μέτρων από το φρύδι της βαθμίδας απόθεσης στείρων και η δημιουργία της αμέσως ψηλότερης βαθμίδας με την ίδια διαδικασία.

## 4.2 Σχεδιασμός της εκμετάλλευσης του υπό μελέτη λατομικού χώρου

Οι εργασίες εκμετάλλευσης θα πραγματοποιηθούν εντός του πολυγώνου που ορίζεται από τις κορυφές Α-Β-Γ-Δ, έκτασης 145,9 στρεμμάτων όπως φαίνεται στον χάρτη της Εικόνα 4-7.



Εικόνα 4-7: Κάτοψη πολυγώνου λατομικού χώρου.

Η εξόρυξη στη ψηλότερη βαθμίδα, πρέπει να σταματάει σε απόσταση το λιγότερο 8 m από τα όρια του μεταλλευτικού ή λατομικού χώρου, σύμφωνα με τον ΚΜΛΕ. Ο χώρος εξόρυξης βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του λατομείου. Το ανώτερο όριο της υπαίθριας εξόρυξης είναι το υψόμετρο των +1020 μέτρων και το κατώτερο το υψόμετρο των +960 μέτρων τηρουμένου του ορίου των 8m απόστασης της εκμετάλλευσης από τα όρια του λατομικού χώρου. Επίσης, λόγω της λοφώδους τοπογραφίας του χώρου η απόθεση των στείρων υλικών θα γίνεται στο νότιο τμήμα του λατομείου σε υψόμετρα χαμηλότερα της τελικής πλατείας του λατομείου.

Οι προδιαγραφές σχεδιασμού της υπαίθριας εκμετάλλευσης ετέθησαν ως εξής:

- Υψόμετρο φρυδιού ανώτερης βαθμίδας: +1020m.
- Υψόμετρο πλατείας : +960m (εφόσον μεταξύ των 2 αυτών υψομέτρων εντοπίσθηκε το ποιοτικά εμπορεύσιμο κοίτασμα).
- Ελήφθησαν υπόψιν ο προσανατολισμός του μαρμάρου (Μουρέλο με παράταξη Ανατολή-Δύση, Κεφάλι με παράταξη Βορράς-Νότος, Πρόσωπο (ή στρώση του μαρμάρου) κεκλιμένο με κλίση 40°).



- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά βαθμίδων εξόρυξης: Ύψος υπαίθριας ορθής βαθμίδας κατά την εκμετάλλευση ίσο με 6m, ελάχιστο πλάτος βαθμίδας κατά την εκμετάλλευση ίσο με 12m. Κατά την εξόφληση του κοιτάσματος οι βαθμίδες θα ενώνονται ανά 2 και θα έχουν πλάτος 6m. Συνεπώς το τελικό ύψος βαθμίδας εξόφλησης είναι ίσο με 12m.

Στον Πίνακα 4-1 φαίνεται η ονοματολογία των 10 ορθών βαθμίδων παραγωγής.

Πίνακας 4-1: Υπολογισμός αριθμού βαθμίδων εκμετάλλευσης.

Βαθμίδα	Υψόμετρο δαπέδου (m)
B1	1014
B2	1008
B3	1002
B4	996
B5	990
B6	984
B7	978
B8	972
B9	966
B10	960

Κατά την εξόφληση του κοιτάσματος οι βαθμίδες θα ενώνονται ανά 2 και θα έχουν πλάτος 6m όπως φαίνεται στον **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε..**

Πίνακας 4-2: Υπολογισμός τελικών βαθμίδων

Βαθμίδα	Υψόμετρο δαπέδου (m)
B1, B2	1008
B3, B4	996
B5, B6	984
B7, B8	972
B9, B10	960

Η απόθεση των παραγόμενων στείρων υλικών θα γίνεται στο νότιο τμήμα του λατομικού χώρου που χαρακτηρίζεται πτωχότερο ποιοτικά, σε βαθμίδες απόθεσης στείρων υλικών με τα

εξής γεωμετρικά χαρακτηριστικά που έχουν προκύψει από την εμπειρία παρόμοιων ασφαλών αποθέσεων στις εκμεταλλεύσεις:

- Μέγιστο ύψος υπαίθριας βαθμίδας απόθεσης στείρων: 15m
- Ελάχιστο πλάτος βαθμίδας απόθεσης στείρων: 6m
- Κλίση πρανούς βαθμίδας απόθεσης στείρων: 45°

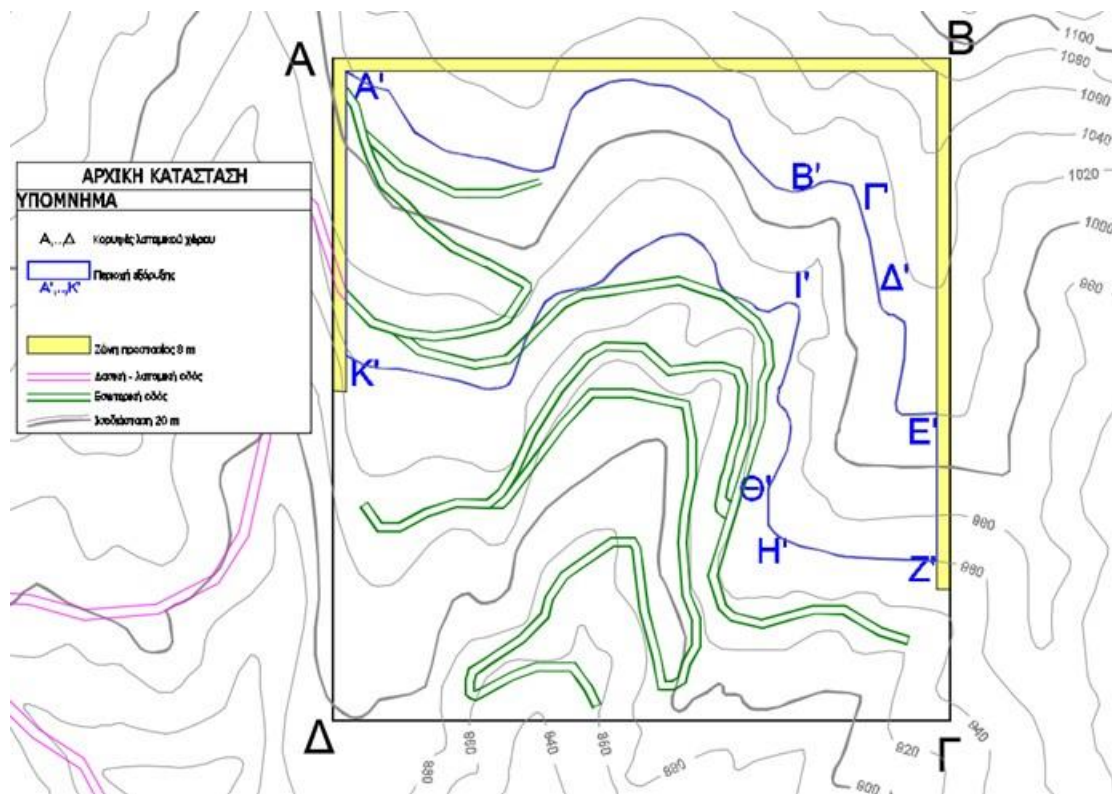
Στον Πίνακα 4-3 φαίνεται η ονοματολογία και τα υψόμετρα δαπέδων των 8 βαθμίδων απόθεσης κεκλιμένης πρόσοψης.

*Πίνακας 4-3: Βαθμίδες απόθεσης στείρων υλικών.*

<b>Βαθμίδα</b>	<b>Υψόμετρο δαπέδου (m)</b>
BΣ1	960
BΣ2	945
BΣ3	930
BΣ4	915
BΣ5	900
BΣ6	885
BΣ7	870
BΣ8	855

Στην αρχική φάση, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-8, γίνεται η διάνοιξη των εσωτερικών οδών που οδηγούν στη ψηλότερη θέση από την οποία θα διανοιχτούν οι βαθμίδες εκμετάλλευσης και συγκεκριμένα η ψηλότερη βαθμίδα εκμετάλλευσης B1 στο υψόμετρο δαπέδου των +1014 μέτρων. Παράλληλα διανοίγονται οι εσωτερικοί δρόμοι που οδηγούν στη θέση που θα γίνεται η απόθεση των στείρων υλικών.

Οι εσωτερικοί δρόμοι θα έχουν μέγιστη κλίση 12% και ελάχιστο πλάτος καταστρώματος 5 μέτρα, σύμφωνα με το άρθρο 40 του ΚΜΛΕ.

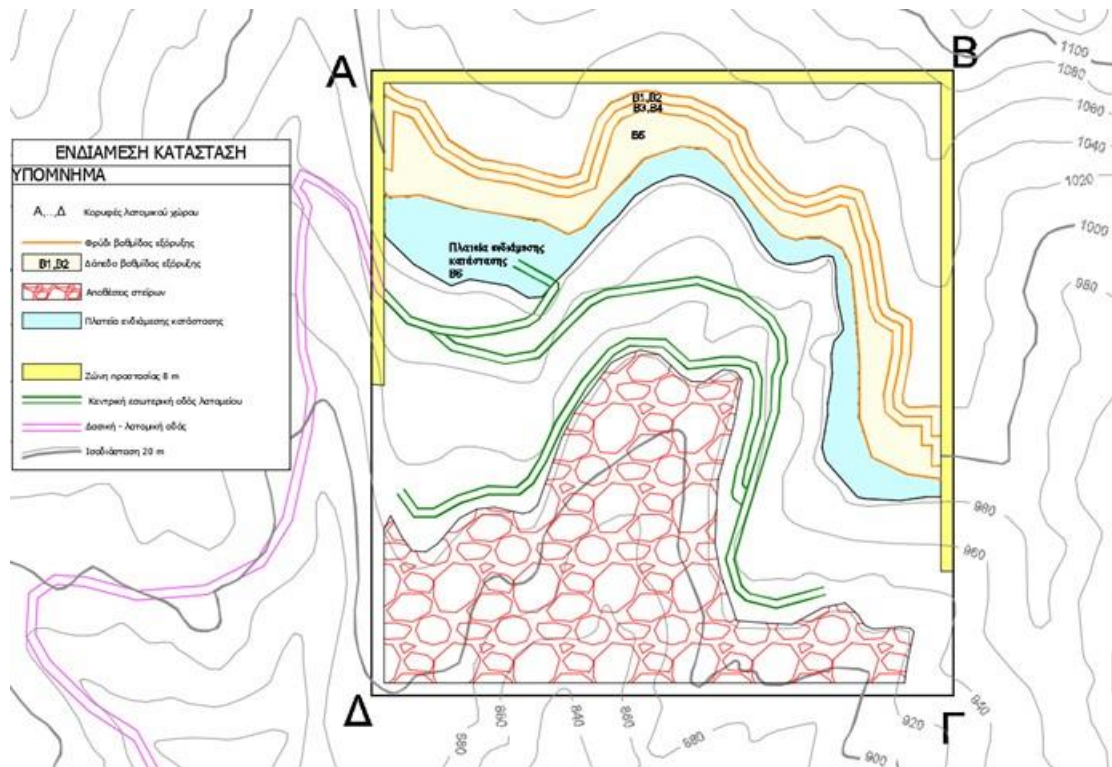


Εικόνα 4-8: Κάτοψη αρχικής φάσης εκμετάλλευσης

Η διάνοιξη, ανάπτυξη και εξόφληση των βαθμίδων γίνεται σταδιακά, αρχίζει από τα υψηλότερα σημεία της εκσκαφής και προχωράει διαδοχικά στα χαμηλότερα. Μετά την εξόφληση της ενεργής βαθμίδας θα διανοίγεται η αμέσως κατώτερη κ.ο.κ..

Η απόθεση των παραγόμενων στείρων υλικών θα γίνεται σταδιακά ξεκινώντας από το νοτιότερο, χαμηλότερο υψομετρικά τμήμα, του λατομικού χώρου και προχωρώντας, με τη σταδιακή πλήρωση των βαθμίδων απόθεσης στείρων υλικών, προς την τελική πλατεία εκμετάλλευσης.

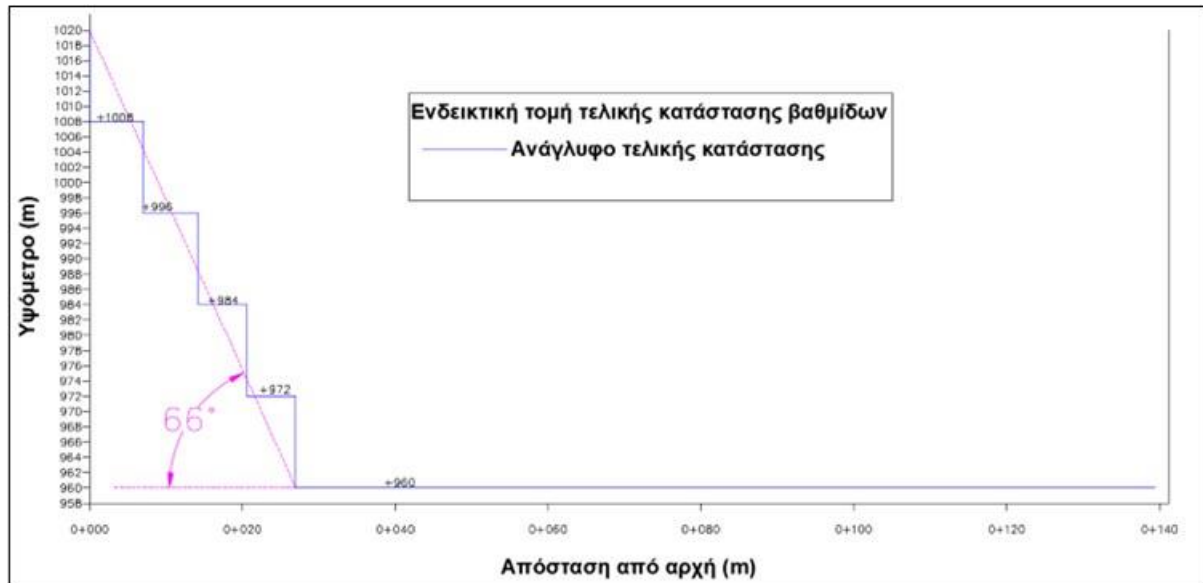
Στην [Εικόνα 4-9](#) δίνεται χάρτης ενδιάμεσης κατάστασης μετά την εξόφληση των 4 ψηλότερων βαθμίδων εξόρυξης και την πλήρωση των 4 χαμηλότερων βαθμίδων απόθεσης στείρων υλικών.



Εικόνα 4-9: Κάτοψη ενδιάμεσης φάσης εκμετάλλευσης – εξόφληση 4 ψηλότερων βαθμίδων.

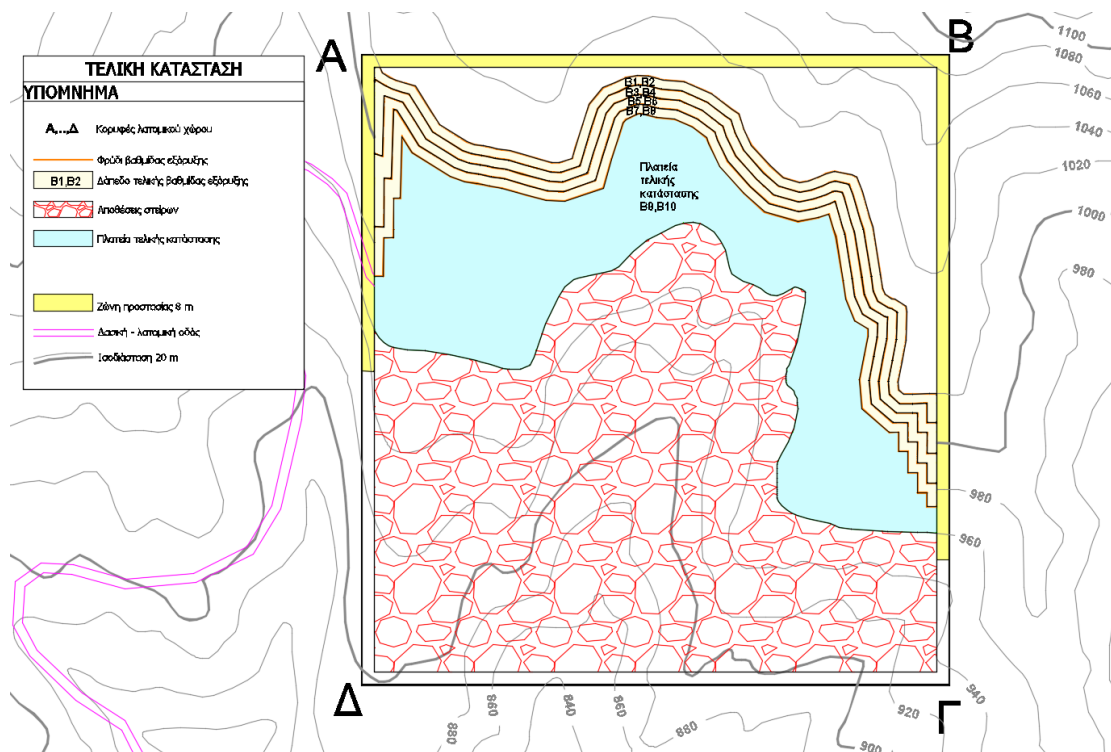
Στην τελική κατάσταση εκμετάλλευσης θα έχουν εξοφληθεί οι 10 παραγωγικές βαθμίδες και θα έχουν παραμείνει 5 τελικές βαθμίδες μέγιστο ύψους 12 μέτρων, σύμφωνα με τον σχεδιασμό της εκμετάλλευσης. Η τελική πλατεία θα βρίσκεται στο υψόμετρο δαπέδου των +960 μέτρων.

Η μέγιστη κλίση του τελικού πρανούς της εκμετάλλευσης δεν θα υπερβαίνει τις 70°, βάσει του άρθρου 84 του ΚΜΛΕ. Στην Εικόνα 4-10 φαίνεται ενδεικτική τομή με το τελικό ανάγλυφο των βαθμίδων εκμετάλλευσης.



Εικόνα 4-10: Ενδεικτική τομή τελικής κατάστασης των βαθμίδων εκμετάλλευσης του λατομείου.

Στην Εικόνα 4-11 δίνεται χάρτης τελικής κατάστασης μετά την εξόφληση όλων των βαθμίδων εξόρυξης σύμφωνα με τις γεωμετρικές παραμέτρους των τελικών βαθμίδων που τέθηκαν παραπάνω.

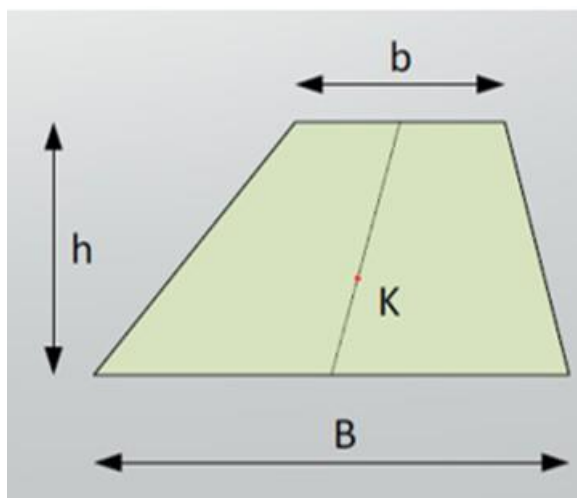


*Εικόνα 4-11: Κάτοψη τελικής κατάστασης του λατομείου.*

### 4.3 Υπολογισμός γεωλογικών και λατομικών αποθεμάτων

Γενικά, στην βιομηχανία του μαρμάρου σαν απόθεμα λατομείου μαρμάρου, ορίζεται η παραγόμενη ποσότητα των ορθογωνισμένων ογκομαρμάρων χωρίς ελαττώματα, σε εμπορεύσιμες διαστάσεις και υψηλή αισθητική αξία (G. Exadaktylos, G. Saratsis, 2020).

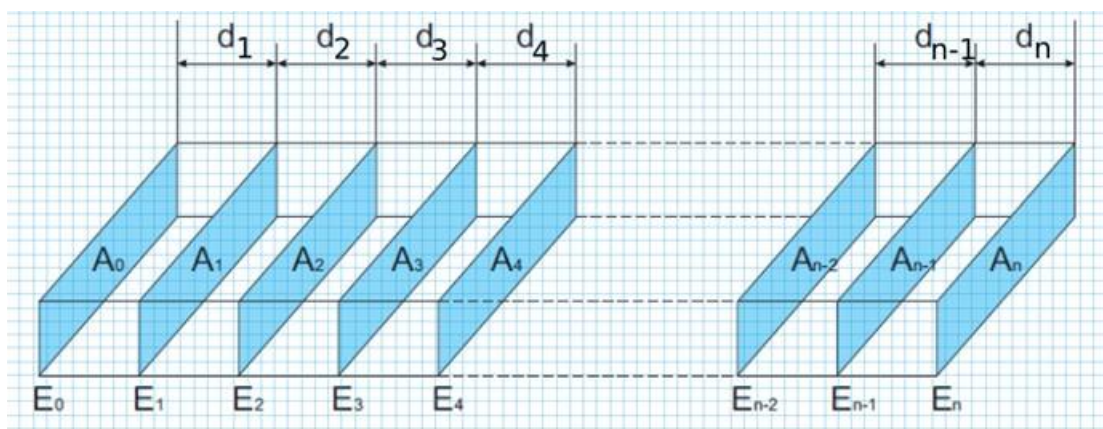
Ο υπολογισμός των αποθεμάτων, γεωλογικών και λατομικών, αλλά και των στείρων αποθέσεων έγινε με τη μέθοδο των παράλληλων τομών και τον Κανόνα του Τραπεζίου εφόσον δεν είναι ίσες οι αποστάσεις μεταξύ των διαδοχικών τομών. Ο υπολογισμός εμβαδού τραπέζιου με μεγάλη βάση  $B$ , μικρή βάση  $b$ , ύψος  $h$  φαίνεται στην Εικόνα 4-12.



$$\text{Εμβαδόν } A = \frac{(B+b)h}{2}$$

Εικόνα 4-12: Εμβαδόν τραπέζιου.

Σύμφωνα με τον Κανόνα του Τραπεζίου ο όγκος που θα κυβισθεί διαιρείται με παράλληλα επίπεδα (τομές) τα οποία απέχουν μεταξύ τους αποστάσεις  $d_1, d_2, \dots$  και με εμβαδά των τομών  $A_0, A_1, A_2, \dots$  όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-13.



Εικόνα 4-13: Κανόνας Τραπεζίου.

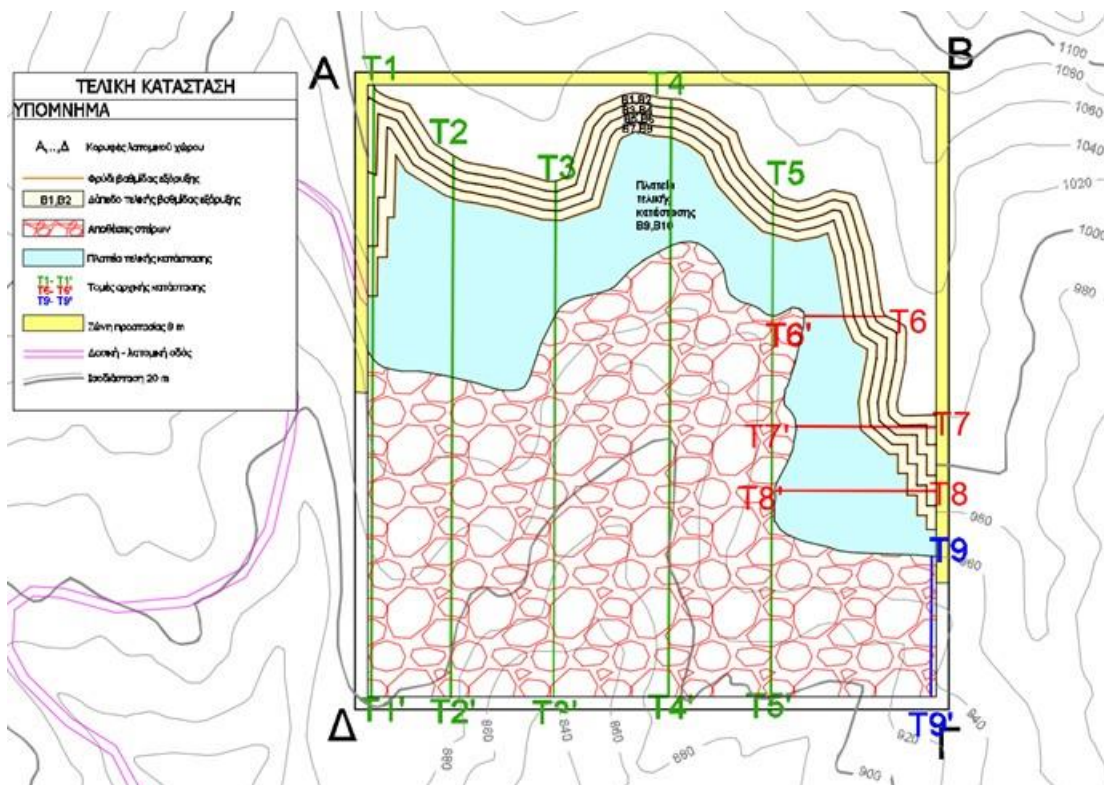
Ο όγκος υπολογίζεται από τη σχέση



$$V = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(A_i + A_{i+1})d_{i+1}}{2} \quad (4.1)$$

Για τον υπολογισμό του όγκου των γεωλογικών και λατομικών αποθεμάτων σχεδιάστηκε και εμβαδομετρήθηκε η επιφάνεια εξόρυξης στις τομές T1-T1', T2-T2', T3-T3', T4-T4' και T5-T5' στο βόρειο τμήμα της περιοχής εξόρυξης και οι τομές T6-T6', T7-T7' και T8-T8' στο ανατολικό τμήμα του χώρου εξόρυξης όπως φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 4-14.

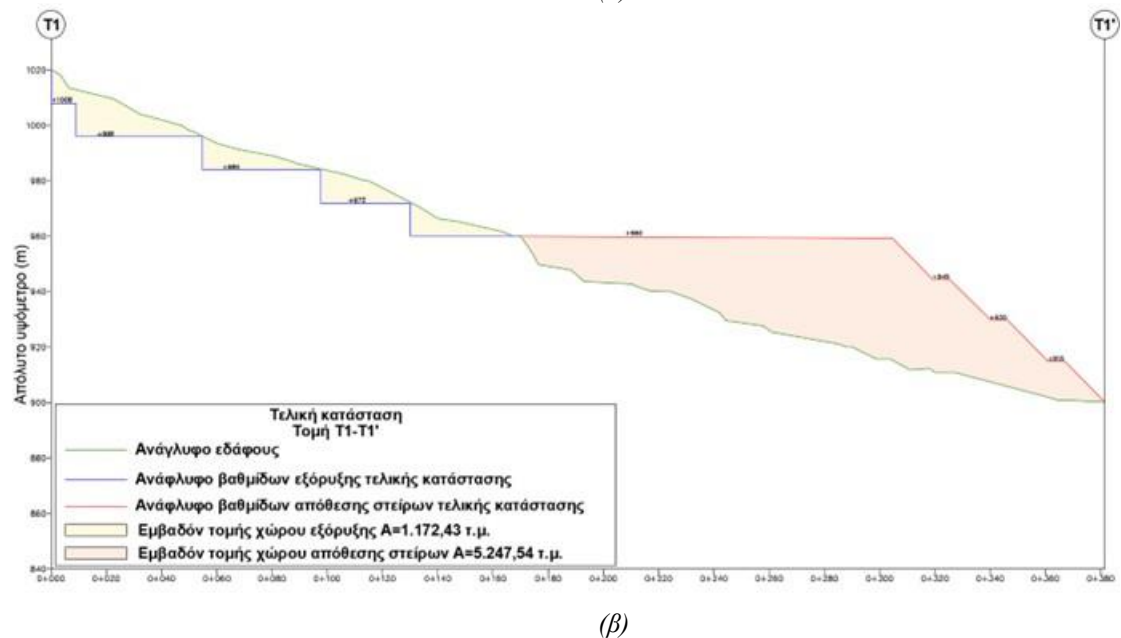
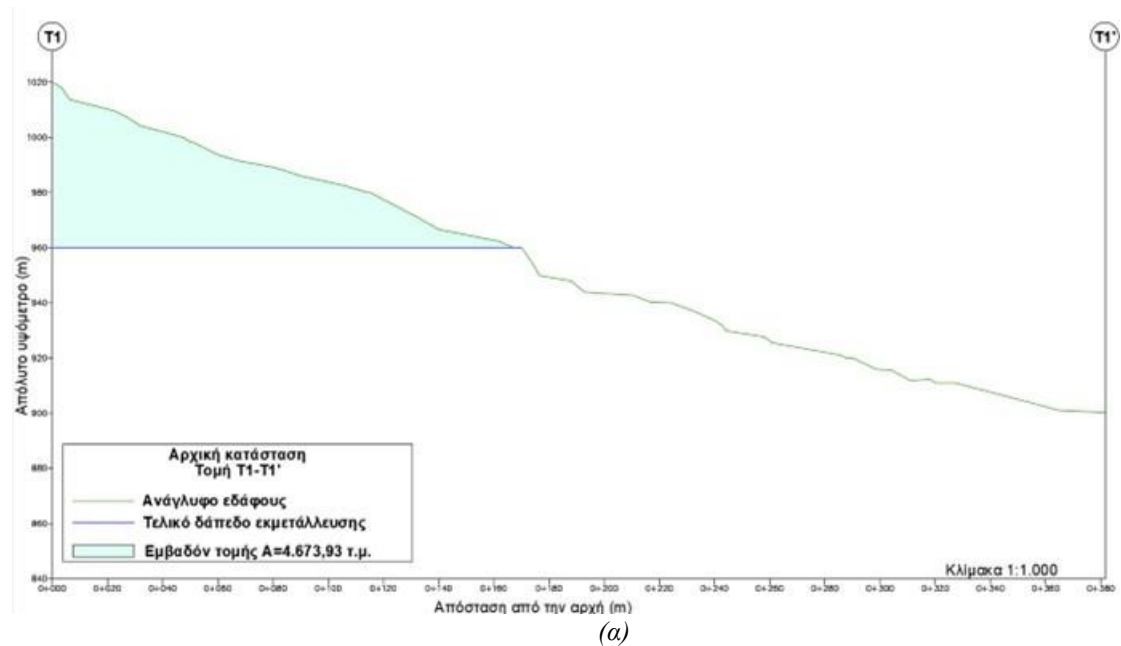
Για τον υπολογισμό της χωρητικότητας του χώρου απόθεσης στείων υλικών εμβαδομετρήθηκε η επιφάνεια των στείων στις τομές T1-T1', T2-T2', T3-T3', T4-T4', T5-T5' και T9-T9'.



Εικόνα 4-14: Σχεδιασμός τομών στην κάτοψη τελικής κατάστασης του λατομείου.

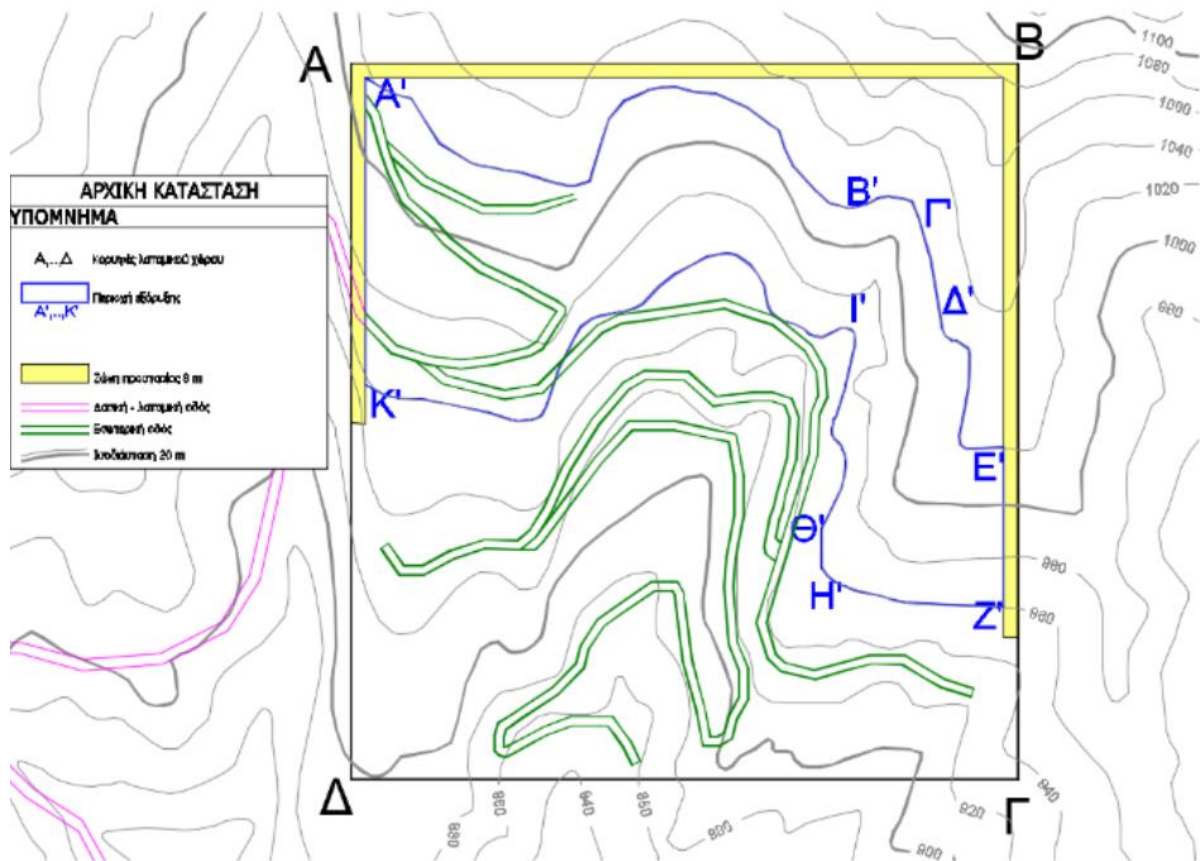
Ο σχεδιασμός και υπολογισμός των εμβαδών των τομών έγινε μέσω του λογισμικού CAD Civil 3D της εταιρίας Autodesk™. Ο υπολογισμός των γραμμοσκιασμένων τμημάτων των επιφανειών των τομών υπολογίζονται μέσω του εν λόγω λογισμικού.

Παρακάτω στις Εικόνα 4-15 (α) και (β) δίνονται ενδεικτικές τομές υπολογισμού των γεωλογικών και λατομικών αποθεμάτων βάσει των οποίων έγινε ο υπολογισμός του όγκου των αποθεμάτων. Στην τελευταία εικόνα φαίνεται ότι μαζί με τον όγκο των λατομικών αποθεμάτων υπολογίστηκε στις ίδιες τομές και ο όγκος των στείων αποθέσεων.



Εικόνα 4-15: (α) Σχεδιασμός τομής T1-T1' για τον υπολογισμό των γεωλογικών αποθεμάτων. (β) Σχεδιασμός τομής T1-T1' για τον υπολογισμό των λατομικών αποθεμάτων.





Εικόνα 4-16: Απεικόνιση της περιοχής εξόρυξης.

Οι 5 παράλληλες τομές T1-T1' έως και T5-T5' χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του όγκου V1 σύμφωνα με τον κανόνα του τραπεζίου για την περιοχή εξόρυξης Α'Β'Γ'Κ' (σύμφωνα με την ονοματολογία στον χάρτη της Εικόνα 4-16). Οι 3 παράλληλες τομές T6-T6' έως και T8-T8' (κάθετες στις πρώτες) χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του όγκου V2 πάλι σύμφωνα με τον κανόνα του τραπεζίου για την περιοχή εξόρυξης Γ'Δ'Ε'Θ'. Όγκος V3 της «ορθογωνικής» περιοχής Β'Γ'Δ'Γ' και V4 της «ορθογωνικής» περιοχής Ε'Ζ'Η'Θ' προκύπτει προσεγγιστικά από το μήκος της μιας τομής (πχ T5-T5') επί το εμβαδόν της άλλης (T6-T6') που περικλείουν αυτήν την περιοχή.

- Ο τελικός όγκος αποθεμάτων δίνεται από το άθροισμα  $V=V1+V2+V3+V4$ .
- Υπολογισμός Χωρητικότητας Χώρου Απόθεσης Στείων Υλικών.
- Οι 6 παράλληλες τομές T1-T1' έως και T5-T5' και T9-T9' χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της χωρητικότητας του χώρου απόθεσης στείων υλικών.

Με βάση τα παραπάνω, από τις τομές υπολογισμού των γεωλογικών αποθεμάτων, προέκυψαν οι παρακάτω Πίνακες 4-4 έως 4-8 υπολογισμού των όγκων V1, V2, V3 και V4.

Πίνακας 4-4: Γεωλογικά αποθέματα στην περιοχή A'B'I'K'.

Υπολογισμός όγκου στην περιοχή A'B'I'K' (V1)					
Section no. i	Επιφάνεια τομής $A_i$ (m <sup>2</sup> )	Μήκος τομής $L_i$ (m)	Απόσταση τομών $d_{i+1}$ (m)	Μ.Ο. επιφάνειας τομών $(A_i+A_{i+1})/2$ (m <sup>2</sup> )	Όγκος μαρμάρου (m <sup>3</sup> )
T1-T1'	4.674,00	382,00			
			50	4.384,50	219.225,00
T2-T2'	4.095,00	338,00			
			64	3.432,50	219.680,00
T3-T3'	2.770,00	322,00			
			71	2.674,00	189.854,00
T4-T4'	2.578,00	373,00			
			65	2.455,00	159.575,00
T5-T5'	2.332,00	317,00			
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>					<b>788.334,00</b>

Πίνακας 4-5: Γεωλογικά αποθέματα στην περιοχή I'D'E'Θ'.

Υπολογισμός όγκου στην περιοχή I'D'E'Θ' (V2)					
Τομή	Επιφάνεια τομής $A_i$ (m <sup>2</sup> )	Μήκος τομής $L_i$ (m)	Απόσταση τομών $d_i$ (m)	Μ.Ο. επιφάνειας τομών $(A_i+A_{i+1})/2$ (m <sup>2</sup> )	Όγκος μαρμάρου (m <sup>3</sup> )
T6-T6'	1.766,00	52			
			69	2.705,00	186.645,00
T7-T7'	3.644,00	88			
			40	2.982,50	119.300,00
T8-T8'	2.321,00	101			
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>					<b>305.945,00</b>

Πίνακας 4-6: Γεωλογικά αποθέματα στην περιοχή B'I'D'I'.

Υπολογισμός όγκου στην περιοχή B'I'D'I' (V3)			
Τομή	Επιφάνεια τομής $A_i$ (m <sup>2</sup> )	Μήκος τομής $L_i$ (m)	Όγκος μαρμάρου (m <sup>3</sup> )
T6-T6'	1.766,00		
T5-T5'		79,00	139.514,00
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>			<b>139.514,00</b>

Πίνακας 4-7: Γεωλογικά αποθέματα στην περιοχή E'Z'H'Θ'.

Υπολογισμός όγκου στην περιοχή E'Z'H'Θ' (V4)			
Τομή	Επιφάνεια τομής $A_i$ (m <sup>2</sup> )	Απόσταση από το όριο της εκσκαφής	Όγκος μαρμάρου (m <sup>3</sup> )
T8-T8'	2.321,00	41,00	95.161,00
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>			<b>95.161,00</b>

Πίνακας 4-8: Συνολικά γεωλογικά αποθέματα.

Συνολικός όγκος αποθεμάτων V=V1+V2+V3+V4	
Όγκος στην περιοχή A'B'I'K' (V1) (m <sup>3</sup> )	788.334,00

Όγκος στην περιοχή Ι'Δ'Ε'Θ' (V2) (m <sup>3</sup> )	305.945,00
Όγκος στην περιοχή Β'Γ'Δ'Ι' (V3) (m <sup>3</sup> )	139.514,00
Όγκος στην περιοχή Ε'Ζ'Η'Θ' (V4) (m <sup>3</sup> )	95.161,00
<b>Σύνολο αποθεμάτων</b>	<b>1.328.954,00</b>

Από τις τομές υπολογισμού των λατομικών αποθεμάτων όπως φαίνεται από τους Πίνακες 4-9 έως και 4-13, προέκυψαν ο παρακάτω πίνακες υπολογισμού των όγκων V1, V2, V3 και V4. Ο συνολικός όγκος των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων μετά τον σχεδιασμό της εκμετάλλευσης είναι 874.000 m<sup>3</sup> συμπαγή. Ο όγκος αυτός που προέκυψε με τη μέθοδο των τομών βρέθηκε ότι είναι συγκρίσιμος με ικανοποιητική ακρίβεια με τον όγκο που προέκυψε από την αφαίρεση των δύο στερεών μοντέλων στο Autocad και υπολογίσθηκε ότι είναι 890.000 m<sup>3</sup> (στρογγυλός αριθμός).

Πίνακας 4-9: Λατομικά αποθέματα στην περιοχή Α'Β'Γ'Κ'.

Υπολογισμός όγκου στην περιοχή Α'Β'Γ'Κ' (V1)					
Section no. i	Επιφάνεια τομής A <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	Μήκος τομής L <sub>i</sub> (m)	Απόσταση τομών d <sub>i+1</sub> (m)	M.O. επιφάνειας τομών (A <sub>i</sub> +A <sub>i+1</sub> )/2 (m <sup>2</sup> )	Όγκος μαρμάρου (m <sup>3</sup> )
T1-T1'	1.172,00	382,00			
			50	2.224,00	111.200,00
T2-T2'	3.276,00	338,00			
			64	2.658,50	170.144,00
T3-T3'	2.041,00	322,00			
			71	1.948,00	138.308,00
T4-T4'	1.855,00	373,00			
			65	1.651,00	107.315,00
T5-T5'	1.447,00	317,00			
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>					<b>526.967,00</b>

Πίνακας 4-10: Λατομικά αποθέματα στην περιοχή Ι'Δ'Ε'Θ'.

Υπολογισμός όγκου στην περιοχή Ι'Δ'Ε'Θ' (V2)					
Τομή	Επιφάνεια τομής $A_i$ (m <sup>2</sup> )	Μήκος τομής $L_i$ (m)	Απόσταση τομών $d_i$ (m)	Μ.Ο. επιφάνειας τομών $(A_i+A_{i+1})/2$ (m <sup>2</sup> )	Όγκος μαρμάρου (m <sup>3</sup> )
T6-T6'	931,00	52,00			
			69	1.539,00	106.191,00
T7-T7'	2.147,00	88,00			
			40	2.089,00	83.560,00
T8-T8'	2.031,00	101,00			
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>					<b>189.751,00</b>

Πίνακας 4-11: Λατομικά αποθέματα στην περιοχή Β'Γ'Δ'Ι'.

Υπολογισμός όγκου στην περιοχή Β'Γ'Δ'Ι' (V3)			
Τομή	Επιφάνεια τομής $A_i$ (m <sup>2</sup> )	Μήκος τομής $L_i$ (m)	Όγκος μαρμάρου (m <sup>3</sup> )
T6-T6'	931,00		
T5-T5'		79,00	73.549,00
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>			<b>73.549,00</b>

Πίνακας 4-12: Λατομικά αποθέματα στην περιοχή Ε'Ζ'Η'Θ'.

Υπολογισμός όγκου στην περιοχή Ε'Ζ'Η'Θ' (V4)			
Τομή	Επιφάνεια τομής $A_i$ (m <sup>2</sup> )	Απόσταση από το όριο της εκσκαφής	Όγκος μαρμάρου (m <sup>3</sup> )
T8-T8'	2.031,00	41,00	83.271,00
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>			<b>83.271,00</b>

Πίνακας 4-13: Συνολικά λατομικά αποθέματα.

Συνολικός όγκος αποθεμάτων $V=V1+V2+V3+V4$	
Όγκος στην περιοχή Α'Β'Ι'Κ' (V1) (m <sup>3</sup> )	526.967,00
Όγκος στην περιοχή Ι'Δ'Ε'Θ' (V2) (m <sup>3</sup> )	189.751,00
Όγκος στην περιοχή Β'Γ'Δ'Ι' (V3) (m <sup>3</sup> )	73.549,00
Όγκος στην περιοχή Ε'Ζ'Η'Θ' (V4) (m <sup>3</sup> )	83.271,00
<b>Σύνολο αποθεμάτων</b>	<b>873.538,00</b>

Για τον υπολογισμό των εμπορεύσιμων αποθεμάτων με τη μορφή ορθογωνισμένων ογκομαρμάρων λαμβάνεται υπόψη η παραδοχή του συντελεστή απόληψης ογκομαρμάρων 20%. Σημειώνεται ότι αυτή η τιμή είναι ενδεικτική για την συνέχιση των υπολογισμών και σε καμιά περίπτωση δεν τίθεται ως τυπική τιμή για παρόμοια κοιτάσματα εφόσον πρέπει να προκύψει από πυρηνοληπτικές γεωτρήσεις και στη συνέχεια από παράγοντες

διόρθωσης σύμφωνα με διεθνείς κανονισμούς (Εξαδάκτυλος, 2020, Exadaktylos and Saratsis, 2020).

Με βάση τα λατομικά αποθέματα, που υπολογίζονται ότι θα είναι της τάξης των 900.000 m<sup>3</sup> (στρογγυλός αριθμός) και με βάση την παραδοχή του συντελεστή απόληψης προκύπτει ότι τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα του λατομείου θα είναι της τάξης των  $900.000 \times 0,2 = 180.000$  bm<sup>3</sup> σε μορφωμένα ογκομάρμαρα. Για τον λατομικό χώρο εκτιμάται ότι η ετήσια εξόρυξη θα είναι της τάξης των 40.000 bm<sup>3</sup> και συνεπώς θα παράγονται ετησίως 8.000 bm<sup>3</sup> ογκομάρμαρα και 32.000 m<sup>3</sup> στείρα. Συνεπώς υπολογίζεται ότι η διάρκεια της εκμετάλλευσης θα είναι της τάξης των  $180.000 \text{ bm}^3 (\text{όγκος εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων}) / 8.000 \text{ bm}^3 (\text{ετήσια παραγωγή ογκομαρμάρων})$  άρα ίση με 22,5 έτη. Το εργοτάξιο θα λειτουργεί με 1 ημερήσια δωρη βάρδια για χρονική διάρκεια 250 ημερών/έτος. Για τον υπολογισμό των στείρων υλικών λαμβάνεται υπόψη η παραδοχή του συντελεστή επιπλήσματος = 1,3. Ο όγκος των παραγόμενων στείρων υλικών θα είναι της τάξης των 900.000 m<sup>3</sup> (λατομικά αποθέματα) - 180.000 m<sup>3</sup> (εμπορεύσιμα ογκομάρμαρα) = 720.000 m<sup>3</sup>. Ο χαλαρός όγκος των στείρων υλικών θα είναι:  $720.000 \times 1,3 = 936.000 \text{ m}^3$  στείρα χαλαρά.

Με εφαρμογή του κανόνα του τραπεζιού στις 6 παράλληλες τομές T1-T1' έως και T5-T5' και T9-T9' υπολογίστηκε η χωρητικότητα του χώρου απόθεσης στείρων υλικών, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4-14 που μπορεί να δεχθεί τον εκτιμώμενο όγκο στείρων.

Πίνακας 4-14: Υπολογισμός χωρητικότητας χώρου απόθεσης στείρων υλικών.

Υπολογισμός χωρητικότητας στείρων					
Section no. i	Επιφάνεια τομής A <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	Μήκος τομής L <sub>i</sub> (m)	Απόσταση τομών d <sub>i+1</sub> (m)	Μ.Ο. επιφάνειας τομών (A <sub>i</sub> +A <sub>i+1</sub> )/2 (m <sup>2</sup> )	Όγκος μαρμάρου (m <sup>3</sup> )
T1-T1'	5.248,00	382,00			
			50	4.633,00	231.650,00
T2-T2'	4.018,00	338,00			
			64	3.993,00	255.552,00
T3-T3'	3.968,00	322,00			
			71	2.917,00	207.107,00
T4-T4'	1.866,00	373,00			
			65	1.873,00	121.745,00
T5-T5'	1.880,00	317,00			
			100	1.257,00	125.700,00
T9-T9'	634,00	88,00			
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>					<b>941.754,00</b>

Η χωρητικότητα του χώρου απόθεσης στείρων υλικών είναι μεγαλύτερη του επιπλησμένου όγκου των στείρων υλικών και συνεπώς επαρκεί για την απόθεση των στείρων.

#### 4.4 Επιλογή μηχανολογικού εξοπλισμού και προσωπικού

Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων μηχανημάτων έχουν γίνει οι εξής παραδοχές που φαίνονται στους Πίνακες 4-15 έως 4-17.

Πίνακας 4-15: Γενικές θεωρήσεις παραγωγής και λειτουργίας.

Λατομικά αποθέματα ( $m^3$ ) $\approx$		<b>900.000</b>
Ετήσια εξόρυξη ( $m^3$ ) insitu		<b>40.000</b>
Συντελεστής απόληψης	$\Gamma_{εμπ}$	<b>0,2</b>
Εκμεταλλεύσιμα αποθέματα ( $m^3$ ) $\approx$		<b>180.000</b>
Συντελεστής επιπλήσματος	$\epsilon$	<b>1,3</b>
Όγκος στείρων ( $m^3$ ) $\approx$		<b>720.000</b>
Όγκος στείρων χαλαρών ( $m^3$ ) $\approx$		<b>936.000</b>
Ειδικό βάρος μαρμάρου ( $t/m^3$ )	$\gamma$	<b>2,82</b>

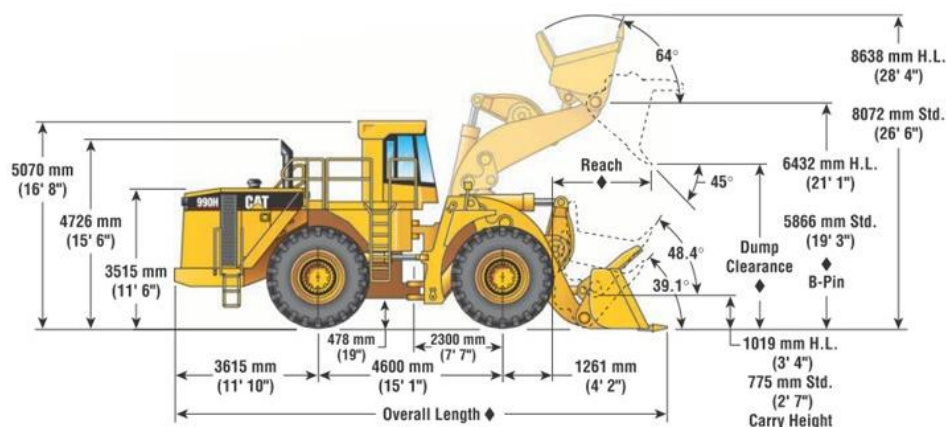
Πίνακας 4-16: Διάρκεια λειτουργίας λατομικού χώρου.

<b>Λειτουργία λατομικού χώρου</b>		
Ετη λειτουργίας		<b>22,5</b>
Ημέρες λειτουργίας/έτος		<b>250</b>
Ωρες λειτουργίας/ημέρα		<b>8</b>
Απόδοση εργοταξίου	$\eta_{εργ}$	<b>0,9</b>

Πίνακας 4-17: Συνολική παραγωγή βάσει λατομικών αποθεμάτων.

<b>Παραγωγή λατομείου</b>		<b>Ογκομαρμάρων (<math>m^3</math>)</b>	<b>Στείρων υλικών (<math>m^3</math>)</b>
Ετήσια παραγωγή		<b>8.000 <math>m^3</math></b>	<b>32.000 <math>m^3</math></b>
Ημερήσια παραγωγή		$8.000 (m^3/y) / 250 (d/y)$ <b>= 32 <math>m^3/d</math></b>	$32.000 (m^3/y)/250 (d/y)$ <b>= 128 <math>m^3/d</math></b>
Ωριαία παραγωγή	<b>M</b>	$32(m^3/d) / 8(h/d) =$ <b>4 <math>m^3/h</math></b>	$128 (m^3/d) / 8 (h/d) =$ <b>16 <math>m^3/h</math></b>

Ο τύπος φορτωτή που θα χρησιμοποιηθεί για τις πιο απαιτητικές εργασίες και την διαχείριση των πάγκων και των ογκομαρμάρων προς ορθογωνισμό καθώς και των στείρων της εκμετάλλευσης, θα είναι ο φορτωτής 990H της εταιρίας CATERPILLAR. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φορτωτή δίνονται στον Πίνακα 4-18 και στην Εικόνα 4-17.



Εικόνα 4-17: Φορτωτής CAT990H.

Πίνακας 4-18: Τεχνικά χαρακτηριστικά φορτωτή CAT990H.

Engine		Dimensions	
Engine Model	Cat C27 ACERT™	Height to Top of Exhaust Stacks	4726 mm 15 ft 7 in
Gross Power	512 kW 687 hp	Height to Top of ROPS/FOPS	5070 mm 16 ft 8 in
Net Power	468 kW 627 hp	Ground Clearance	478 mm 1 ft 8 in
Net Power – Caterpillar	468 kW 627 hp	Reach at Max. Lift/Dump – Std	1799 mm 5 ft 11 in
Net Power – EEC 80/1269	468 kW 627 hp	Reach at Max. Lift/Dump – HL	2540 mm 8 ft 4 in
Net Power – ISO 9249	468 kW 627 hp	Clearance at Max. Lift/Dump – Std	4135 mm 13 ft 9 in
Net Power – SAE J1349	463 kW 621 hp	Clearance at Max. Lift/Dump – HL	4518 mm 14 ft 10 in
Net Power – DIN 70020	650 PS	Wheel Base Length	4600 mm 15 ft 2 in
Bore	137 mm 5.4 in	Overall Length – Std	12 839 mm 42 ft 2 in
Stroke	152 mm 6 in	Overall Length – HL	13 578 mm 44 ft 8 in
Displacement	27.1 L 1,666 in <sup>3</sup>	Width Over Tires	4071 mm 13 ft 4 in
Operating Specifications		Turning Circle – Std	20 740 mm 68 ft 2 in
Rated Payload	15 tonnes 16.5 tons	Full Turn Static Tipping Load at 35°	38 243 kg 84,311 lb
Operating Weight	77 842 kg 171,642 lb	Turning Circle – HL	21 514 mm 70 ft 8 in
Bucket Capacity Range	8.4-9.2 m <sup>3</sup> 11-12 yd <sup>3</sup>	Straight Static Tipping Load – Std	43 392 kg 93,457 lb
Static Tipping Load, Full Turn	38 243 kg 84,311 lb	Straight Static Tipping Load – HL	44 152 kg 97,338 lb
Static Tipping Load, Full Turn – HL	39 048 kg 86,085 lb	Hinge Pin Height at Full Lift – Std	5866 mm 19 ft 3 in
Dump Clearance	3952 mm 13 ft	Hinge Pin Height at Full Lift – HL	6432 mm 21 ft 2 in
Breakout Force	583.6 kN 131,194 lb	Tread Width	3050 mm 10 ft
Operating Weight – HL	83 252 kg 183,539 lb		
Breakout Force – HL	536 kN 120,498 lb		
Articulation Angle	35°		

Τα βασικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας του φορτωτή για τον υπολογισμό του αριθμού των φορτωτών δίνονται στον Πίνακα 4-19.

Πίνακας 4-19: Βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας φορτωτή CAT990H.

Φορτωτής – ελαστικοφόρος CAT 990 <sup>H</sup>	Παράμετρος	Τιμή	Μονάδες
Ωφέλιμο φορτίο κουβά:	$M_{\phi}$	15	t
Χωρητικότητα κουβά:	$V_{\phi}$	8,4	m <sup>3</sup>
Συντελεστής πλήρωσης:	$\Phi_{\phi}$	1,05	
Χρόνος κύκλου φόρτωσης:	$t_{\phi}$	4	min
Ισχύς:		687	HP



Απόδοση μηχανήματος:	$n_{μηχ}$	0,9	
Απόδοση κινητήρα:	$n_{κιν}$	0,85	
Κόστος κτήσης:		400	€/μηχάνημα
Κατανάλωση:		32	lt/HP/hr

Ο υπολογισμός του αριθμού των φορτωτών  $Z_{\phi}$  γίνεται με βάση τόσο τα χαρακτηριστικά του μηχανήματος που δίνει ο κατασκευαστής όσο και τις γενικές θεωρήσεις παραγωγής και λειτουργίας του λατομείου. Με τον συγκεκριμένο φορτωτή, που θα είναι ο μεγάλος φορτωτής του λατομείου, έχουμε να διαχειριστούμε την ημερήσια εξόρυξη που ανέρχεται σε 160 m<sup>3</sup> υλικού in situ, από τα οποία προκύπτουν 32 m<sup>3</sup> εμπορεύσιμων ογκομαρμάρων και 128 m<sup>3</sup> στείρα προς φόρτωση και μεταφορά στον χώρο απόθεσης στείρων.

**Όγκος χαλαρών σε πλήρη φόρτωση,  $V_{\chi\phi}$**

$V_{\chi\phi} [m^3] = M_{\phi} \frac{\varepsilon}{\gamma} [m^3]$	$V_{\chi\phi} [m^3] = M_{\phi} \frac{\varepsilon}{\gamma} = 15 * \frac{1,3}{2,82} = 6,91$	$V_{\chi\phi} = 6,91 m^3$
--	---	---------------------------

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει ότι ο μέγιστος όγκος στείρων χαλαρών που μπορεί να φορτωθεί στον κουβά του φορτωτή είναι **6,91 m<sup>3</sup>** ώστε να μην υπερβεί το ωφέλιμο φορτίο του κουβά (15 t).

**Πραγματική ωριαία παραγωγή,  $Q_{\phi}$**

$Q_{\phi} [m^3/hr] = n_{κιν} \frac{V_{\chi\phi}}{t_{\phi}/60}$	$Q_{\phi} [m^3/hr] = n_{κιν} \frac{V_{\chi\phi}}{t_{\phi}/60} = 0,85 \frac{6,91}{\frac{4}{60}} = 88,10 [m^3/hr]$	$Q_{\phi} = 88,10 m^3/h$
--	--	--------------------------

Λαμβάνοντας υπόψη τον κύκλο φόρτωσης (4 min) εκτιμάται ότι ο εν λόγω φορτωτής μπορεί να εξυπηρετήσει σε ωριαία βάση τη φόρτωση **88,10 m<sup>3</sup>** στείρων υλικών.

**$Q_{\chi}$**  είναι ο συνολικός όγκος χαλαρών όπως αυτός προκύπτει από το γινόμενο της απαιτούμενης ωριαίας παραγωγής  **$Q$**  επί τον συντελεστή επιπλήσματος  **$\varepsilon$** .

Με βάση τις γενικές παραδοχές, ο όγκος στείρων που παράγονται σε ωριαία βάση είναι 16 m<sup>3</sup> (128m<sup>3</sup> ημερήσια παραγωγή στείρων / 8h), ο συντελεστής επιπλήσματος 1,3 και η απόδοση του εργοταξίου 0,9.

Επομένως:

**Ωριαία παραγωγή στείρων  $Q$ :**

$Q \left[ \frac{m^3}{hr} \right] = M * n_{\varepsilon\rho\gamma}$	$Q \left[ \frac{m^3}{hr} \right] = M * n_{\varepsilon\rho\gamma} = 16 * 0,9 = 14,40 \left[ m^3/hr \right]$	<b><math>Q = 14,40 \text{ m}^3/h</math></b>
---	--	---

Ο όγκος ωριαίας παραγωγής στείρων χαλαρών υπολογίζεται από το γινόμενο του όγκου των στείρων επί του συντελεστή επιπλήσματος. Συνεπώς:

$Q_x \left[ m^3/hr \right] = Q$	$Q_x \left[ m^3/hr \right] = Q * \varepsilon = 14,40 \left[ m^3/hr \right] * 1,3 = 18,72 \left[ m^3/hr \right]$	<b><math>Q_x = 18,72 \text{ m}^3/h</math></b>
---------------------------------	---	---

Ο αριθμός των φορτωτών που απαιτείται, προκύπτει από την μέγιστη ωριαία παραγωγή του λατομείου προς τη μέγιστη πραγματική ωριαία παραγωγή φορτωτή.

$Z_\varphi = \frac{Q_x}{Q_\varphi}$	$Z_\varphi = \frac{Q_x}{Q_\varphi} = \frac{18,72}{88,10} = 0,21$	<b><math>Z_\varphi = 0,21 \text{ φορτωτές}</math></b>
-------------------------------------	--	---

Ο φορτωτής CAT990H, μπορεί με άνεση να διαχειριστεί τα ημερήσια παραγόμενα στείρα του λατομείου και να υπάρχει πολύς διαθέσιμος χρόνος για την διαχείριση των πάγκων, των όγκων και των φορτώσεων σε φορηγά μεταφοράς όγκων.

Για την εξυπηρέτηση των αναγκών του λατομείου, απαιτείται η χρήση ενός ακόμη φορτωτή μικρότερου μεγέθους. Προτείνεται ο φορτωτής **CAT950 GC**, ο οποίος θα χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό των δαπέδων των μετώπων εξόρυξης, καθώς και για την τοποθέτηση των συρματοκοπών στο μέτωπο. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φορτωτή δίνονται στον Πίνακα 4-20 και στην Εικόνα 4-18.

Πίνακας 4-20: Τεχνικά χαρακτηριστικά φορτωτή CAT950 GC.

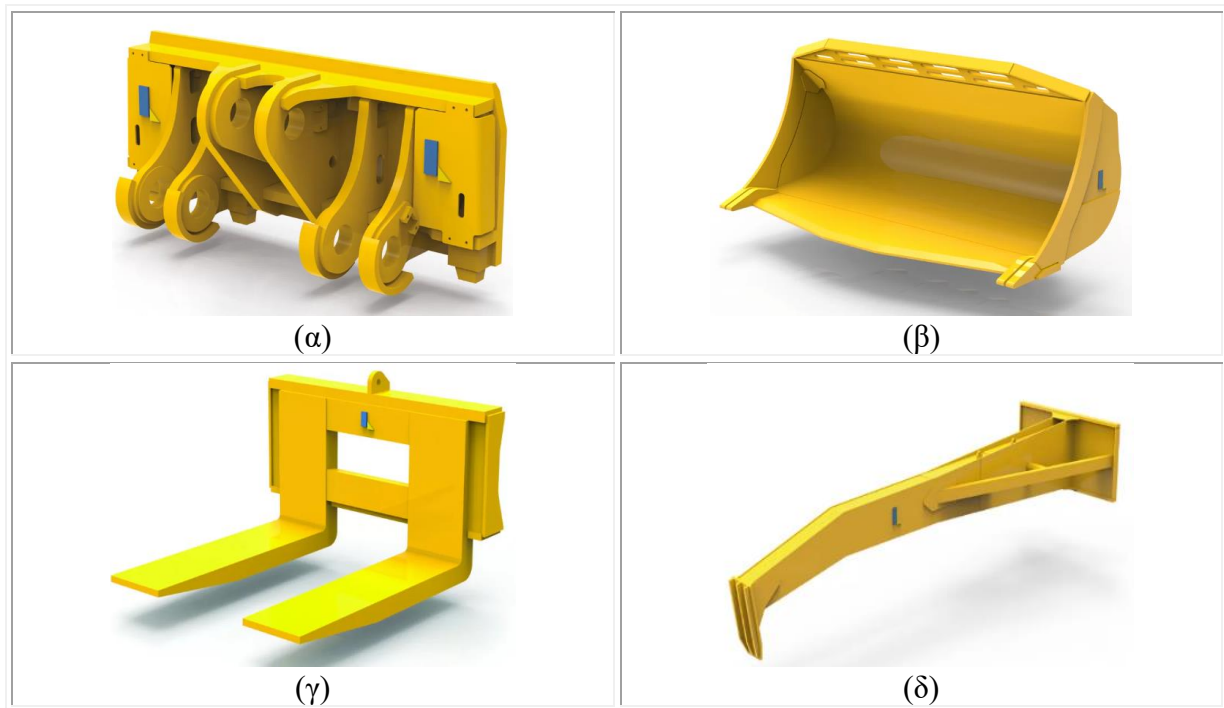
ENGINE			WEIGHTS	
Engine Model	Cat® C7.1		Operating Weight	19 069 kg    42,040 lb
Engine Power @ 2,000 rpm – ISO 14396:2002	179 kW	240 hp	BUCKET CAPACITIES	
ISO 14396:2002 (DIN)	243 hp (metric)		Bucket Range	2.7-4.4 m³    3.5-5.75 yd³
Gross Power @ 2,000 rpm – SAE J1995:2014	180 kW	241 hp	OPERATING SPECIFICATIONS	
SAE J1995:2014 (DIN)	245 hp (metric)		Static Tipping Load – Full 38° Turn – with Tire Deflection	11 160 kg    24,604 lb
Net Power @ 1,700 rpm – ISO 9249:2007, SAE J1349:2011	168 kW	225 hp	Static Tipping Load – Full 38° Turn – No Tire Deflection	11 906 kg    26,248 lb
SAE J1349:2011 (DIN)	228 hp (metric)		Breakout Force	154 kN    34,645 lbf
Engine Torque @ 1,400 rpm – ISO 14396:2002	1092 N·m	805 lbf·ft		
Gross Torque @ 1,400 rpm – SAE J1995:2014	1099 N·m	811 lbf·ft		
Net Torque @ 1,400 rpm – ISO 3294:2007, SAE J1349:2011, EEC 80/1269	1041 N·m	768 lbf·ft		
Bore	105 mm	4.13 in		
Stroke	135 mm	5.31 in		
Displacement	7.01 L	428 in³		



*Εικόνα 4-18: Φορτωτής CAT950 GC.*

Για την βέλτιστη αξιοποίηση του μεγάλου φορτωτή CAT990H, κρίνεται απαραίτητη η αγορά ταχυσυνδέσμου, στον οποίο θα προσαρμόζεται ο κουβάς (bucket) για την φόρτωση των στείρων, τα πιρούνια για την διαχείριση των πεσμένων πάγκων καθώς και την μεταφορά και φόρτωση των όγκων και τέλος, προσαρμόζεται ο βραχίονας ανατροπής πάγκων (rake). Ειδικότερα, η χρήση των πιρουνιών κρίνεται απαραίτητη για την μεταφορά και την φόρτωση των όγκων σε φορητά αυτοκίνητα από το λατομείο προς τα εργοστάσια επεξεργασίας ή τα λιμάνια φόρτωσης των εμπορευματοκιβωτίων. Το χαμηλό κέντρο βάρους του όγκου που φορτώνεται στα πιρούνια, δίνει την δυνατότητα στον φορτωτή CAT990H, να σηκώσει, να μεταφέρει και να φορτώσει με άνεση τόσο τους μικρότερους όγκους, όσο και τους μεγαλύτερους που αγγίζουν το βάρος των 25t. Τα ανωτέρω αναφερθέντα εξαρτήματα του φορτωτή φαίνονται στην Εικόνα 4-19.

**Σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση ο απαιτούμενος αριθμός των φορτωτών είναι  $Z_{\phi}=2$ .**



Εικόνα 4-19: (α) Ταχυσύνδεσμος φορτωτή (Lameter). (β): Κουβάς (bucket). (γ): Πιρούνια. (δ): Βραχίονας ανατροπής πάγκων (rake). (<https://www.lameter.it/>)

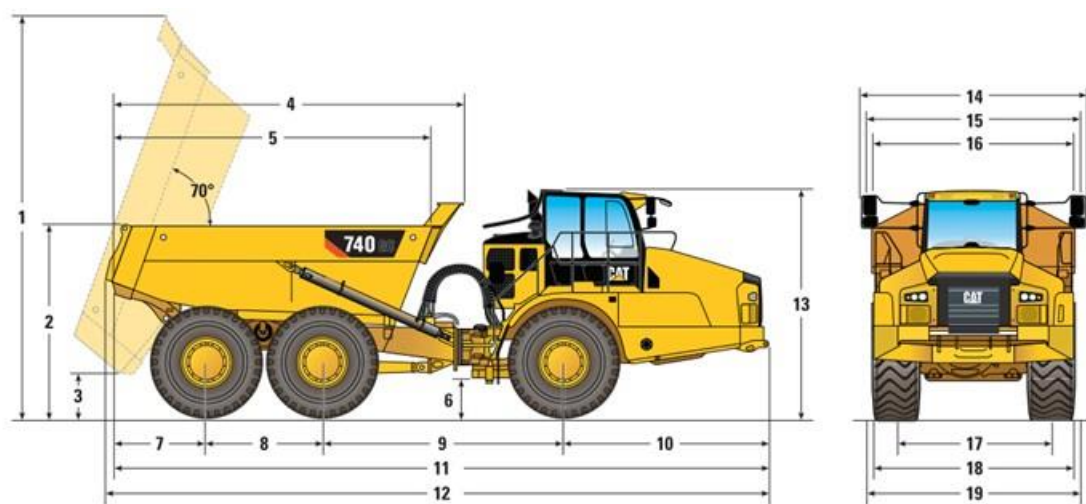


Εικόνα 4-20: Φορτωτής με ταχυσύνδεσμο και πιρούνια.

Ο υπολογισμός του αριθμού των φορτηγών  $Z_a$  γίνεται με βάση τόσο τα χαρακτηριστικά του μηχανήματος που δίνει ο κατασκευαστής όσο και τις γενικές θεωρήσεις παραγωγής και λειτουργίας που δόθηκαν παραπάνω. Ο τύπος φορτηγού μεταφοράς των στείρων που θα χρησιμοποιηθεί για τις εξορυκτικές εργασίες θα είναι το αρθρωτό dumper 740GC της εταιρίας CATERPILLAR (Εικόνα 4-21 & Εικόνα 4-22). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φορτηγού μεταφοράς στείρων δίνονται στον Πίνακα 4-21.

Πίνακας 4-21: Τεχνικά χαρακτηριστικά φορτηγού CAT740 GC.

Engine			Operating Weights		
Engine Model	Cat C15 ACERT		Front Axle – Empty	19 321 kg	42,596 lb
Gross Power – SAE J1995	337 kW	452 hp	Center Axle – Empty	6639 kg	14,636 lb
Net Power – SAE J1349	327 kW	439 hp	Rear Axle – Empty	6416 kg	14,145 lb
Net Power – ISO 14396	333 kW	447 hp	Total – Empty	32 376 kg	71,377 lb
Bore	137 mm	5.4 in	Front Axle – Rated Load	2126 kg	4,687 lb
Stroke	171.5 mm	6.75 in	Center Axle – Rated Load	17 087 kg	37,670 lb
Displacement	15.2 L	926 in <sup>3</sup>	Rear Axle – Rated Load	17 087 kg	37,670 lb
Weights			Total – Rated Load	36 300 kg	80,027 lb
Rated Payload	36.3 tonnes	40 tons	Front Axle – Loaded	22 554 kg	49,723 lb
Body Capacities			Center Axle – Loaded	23 173 kg	51,088 lb
Heaped SAE 2:1	22.7 m <sup>3</sup>	29.7 yd <sup>3</sup>	Rear Axle – Loaded	22 949 kg	50,594 lb
Struck	17 m <sup>3</sup>	22.2 yd <sup>3</sup>	Total – Loaded	68 676 kg	151,405 lb
Tailgate Heaped SAE 2:1	24.4 m <sup>3</sup>	31.9 yd <sup>3</sup>			
Tailgate Struck	17.9 m <sup>3</sup>	23.4 yd <sup>3</sup>			



	mm	ft/in		mm	ft/in
1	6736	22'1"	11*	11 052	36'3"
2	3202	10'6"	12**	11 173	36'7"
3	684	2'2"	13	3757	12'3"
4	5962	19'5"	14	3801	12'4"
5	5426	17'8"	15***	3647	12'0"
6	588	1'9"	16****	3422	11'2"
7	1542	5'1"	17†	2687	8'9"
8	1966	6'5"	18††	3370	11'1"
9	4126	13'6"	19†††	3500	11'5"
10	3418	11'2"			

Εικόνα 4-21: Διαστάσεις Φορτηγού CAT740 GC.





Εικόνα 4-22: Φορηγό CAT740 GC (CAT)

Τα βασικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας του φορηγού για τον υπολογισμό του αριθμού των φορηγών δίνονται στον Πίνακα 4-22.

Πίνακας 4-22: Λειτουργικά χαρακτηριστικά φορηγού.

Φορηγό μεταφοράς στείρων CAT 740GC	Παράμετρος	Τιμή	Μονάδες
Μέγιστο ωφέλιμο φορτίο:	$B_o$	36,3	t
Όγκος καρότσας:	$V_a$	24,4	m <sup>3</sup>
Απόβαρο:	$B_a$	32,3	t
Συντελεστής πλήρωσης:	$\Phi_\varphi$	1,07	
Σταθεροί χρόνοι ελιγμών (χωρίς την φόρτωση):	$t_{σταθ}$	1,5	min
Ονομαστική ισχύς:	$N_a$	452	HP
Κόστος κτήσης:		350.000	€ /μηχάνημα
Κατανάλωση:		30	lt/HP/hr

Τα βασικά χαρακτηριστικά του δρομολογίου των φορηγών από τη θέση φόρτωσης μέχρι τη θέση εκφόρτωσης δίνονται στον Πίνακα 4-23.

Πίνακας 4-23: Βασικά χαρακτηριστικά δρομολογίου φορηγού μεταφοράς στείρων.

Θεωρήσεις δρομολογίου	Παράμετρος	Τιμή	Μονάδες
Μήκος δρομολογίου: L[m] (μέγιστο μήκος δρομολογίου)	$L$	2000	m
Αντίσταση κύλισης:	$w_r$	50	kp/Mp
Μέση κλίση δρομολογίου:	$S$	8%	
Αντίσταση κλίσης: $w_s = 1000S$	$w_s$	80	kp/Mp
Συντελεστής ταχύτητας φορτωμένο:	$n_{al}$	0,75	
Συντελεστής ταχύτητας άδειο:	$n_{ae}$	1	

Όριο ταχύτητας:	<b>vr</b>	20	km/hr
-----------------	-----------	----	-------

Καταρχάς με βάση το ωφέλιμο φορτίο και το βάρος του κουβά του φορτωτή, υπολογίζεται ο αριθμός φορτώσεων.

#### Αριθμός φορτώσεων

$\xi = \frac{B_0}{M_\varphi}$	$\xi = \frac{B_0}{M_\varphi} = \frac{36,3}{15} = 2,42$	<b><math>\xi = 2,42</math> φορτώσεις</b>
-------------------------------	--	--

Με βάση τον αριθμό φορτώσεων υπολογίζεται ο όγκος και η μάζα των στείων υλικών.

$V_{\chi\alpha} = \xi * V_{\chi\varphi}$	$V_{\chi\alpha}[m^3] = \xi * V_{\chi\varphi} = 2,42 * 6,91$	<b><math>V_{\chi\alpha} = 16,72 \text{ m}^3</math></b>
--	---	--

$B_{\chi\alpha} = \alpha\rho. \text{φορ.} * \text{μέγ.οφ.φορτίο}$	$B_{\chi\alpha} [tn] = \xi * M_\varphi = 2,42 * 15$ $= 30 [tn]$	<b><math>B_{\chi\alpha} = 36,3 \text{ t}</math></b>
---	--	---

Για τον υπολογισμό του αριθμού αυτοκινήτων χρειάζονται η μέγιστη και ελάχιστη ταχύτητα κίνησης, ο συνολικός χρόνος κίνησης και η ωριαία παραγωγή του αυτοκινήτου.

$V_{max} = \frac{270 * n_{κιν} * N_a}{B_{ol} * (w_r + w_s)}$	$V_{max} = \frac{270 * 0,8 * 452}{32,3 * (50 + 80)}$	<b><math>V_{max} = 23,25 \text{ km/h}</math></b>
--	--	--

Επειδή το όρο ταχύτητας έχει τεθεί σε 20 km/h, η μέγιστη ταχύτητα θα είναι  **$V_{max} = 20 \text{ km/h}$** .

$V_{al} = nal \frac{270 * n_{κιν} * N_a}{B_{ol} * (w_r + w_s)}$	$V_{al} = 0,75 \frac{270 * 0,8 * 452}{(32,3 + 30) * (50 + 80)}$	<b><math>V_{al} = 9,04 \text{ km/h}</math></b>
---	---	--

Η ταχύτητα έμφορτου είναι η ελάχιστη και είναι  **$V_{al} = 9,04 \text{ km/h}$** .

Άρα σύμφωνα με τα παραπάνω ο συνολικός χρόνος δρομολογίου του αυτοκινήτου είναι

$$t_{ολ} = t_{aa} + t_{\varphi\alpha} + t_{σταθ} + t_{\varphi\varphi}$$

Όπου :  $t_{\varphi\alpha}$ =Χρόνος μετακίνησης φορτωμένου αυτοκινήτου

$t_{aa}$ =Χρόνος μετακίνησης άδειου αυτοκινήτου

$t_{\varphi\varphi}$ =Χρόνος φόρτωσης



$t_{σταθ.}$  = Χρόνος σταθερών ελιγμών

$t_{φα} = L * v_{φα}$	$t_{φα}[hr] = \frac{L}{v_{φα}} = \frac{2000/1000}{9,04} = 0.221 [hr]$	$t_{φα} = 0,221 h$
$t_{αα} = L * v_{αα}$	$t_{αα}[hr] = \frac{L}{v_{αα}} = \frac{2000/1000}{20} = 0.1 [hr]$	$t_{φα} = 0,1 h$
$t_{φφ} = t_{φ} * \xi$	$t_{φφ}[hr] = t_{φ} * \xi = \frac{4}{60} * 2,42 = 0.161 [hr]$	$t_{φα} = 0,161 h$
$t_{σταθ.} = L * v_{φα}$	$t_{σταθ.}[hr] = \frac{1.5}{60} = 0.025 [hr]$	$t_{φα} = 0,025 h$

Επομένως,  $t_{ολ.} = 0,507 h$ .

Αφού βρέθηκε ο χρόνος του δρομολογίου μπορεί να υπολογισθεί η ωριαία παραγωγή αυτοκινήτου.

$Q_a = \frac{V_{χα}}{t_{ολ}}$	$Q_a \left[ \frac{m^3}{hr} \right] = \frac{V_{χα}}{t_{ολ}} = \frac{16,72}{0.507} = 32,98 [m^3/hr]$	$Q_a = 32,98 m^3/hr$
-------------------------------	--	----------------------

Ο αριθμός των αυτοκινήτων θα είναι:

$Z_a = \frac{Q_{χ}}{Q_{α}}$	$Z_a = \frac{Q_{χ}}{Q_{α}} = \frac{18,72}{32,98} = 0,567 \text{ φορτηγά}$	$Z_a = 0,567$
-----------------------------	---	---------------

**Αριθμός φορτηγών  $Z_a = 1$**

Στον υπό μελέτη λατομικό χώρο θα γίνεται χρήση των συρματοκοπών **VIP 916** (Εικόνα 4-23) και **Gamma 875** της εταιρίας **Benetti** (Εικόνα 4-24).



Εικόνα 4-23: Συρματοκοπή VIP 916 Benetti. (<https://www.benettimacchine.it>).

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εν λόγω συρματοκοπής παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-24.

Πίνακας 4-24: Τεχνικά χαρακτηριστικά της συρματοκοπής Benetti Vip 916. (<https://www.benettimacchine.it>)  
VIP 916

Main electric motor power	<b>37kW-45kW-55kW</b>
Starter	<b>Star delta</b>
Wire tension	<b>Automatic controlled by supercard</b>
Diameter drive wheel	<b>mm 800 – 1000 mm</b>
Lateral movement of cutting head	<b>1,75 or 2,00 m</b>
Flywheel rotation	<b>360°</b>
Linear wire speed	<b>40 m /sec</b>
Length of rails	<b>2-3 m</b>

Η συρματοκοπή VIP 916, χρησιμοποιείται σε όλες τις μεγάλες κοπές με αδαμαντοφόρο σύρμα (οριζόντιες ή κατακόρυφες), στα παραγωγικά μέτωπα των βαθμίδων εκμετάλλευσης. Ως εκ τούτου, επιλέγεται ο ηλεκτροκινητήρας ισχύος 45kW (60hp), ικανής για την πραγματοποίηση των μεγάλων κοπών.

Επίσης η μικρότερη συρματοκοπή Gamma 875 που φαίνεται στην Εικόνα 4-24 θα χρησιμοποιείται κυρίως για την κοπή των ανατραπέντων πάγκων και τον τελικό ορθογωνισμό των όγκων στην πλατεία του λατομείου. Ως εκ τούτου, επιλέγεται ο ηλεκτροκινητήρας των 30 kW (40hp). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εν λόγω συρματοκοπής παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-25.




Εικόνα 4-24: Συρματοκοπή Gamma 875 Benetti. (<https://www.benettimacchine.it>)

Πίνακας 4-25: Τεχνικά χαρακτηριστικά της συρματοκοπής Benetti Gamma 875. (<https://www.benettimacchine.it>)

**GAMMA 875**

Main electric motor power	<b>30-37-45-55 kW</b>
Starter	<b>Star delta</b>
Diameter drive wheel	<b>Ø 800 mm</b>
Wire tension	<b>Automatic controlled by supercard</b>
Flywheel mm 800 rotation mm 800	<b>360°</b>
Linear wire speed	<b>Fixed 40 m/sec / Variable 0-40 mt/sec</b>

Το αδαμαντοφόρο σύρμα που θα χρησιμοποιηθεί στις συρματοκοπές θα είναι της εταιρίας DIAMANT BOART που κατασκευάζει πολλούς τύπους αδαμαντοφόρων συρμάτων. Για τον υπό μελέτη χώρο, έχει επιλεγεί το σύρμα που είναι κατάλληλο για τον εξορυσσόμενο δολομίτη με τα χαρακτηριστικά που φαίνονται στην παρακάτω Εικόνα 4-25 με αδαμαντοφόρες πέρλες 10/11 mm.



Filo da 10 / 11 mm sinterizzato montato a molle  
Sintered wire 10 / 11 mm spring assembling

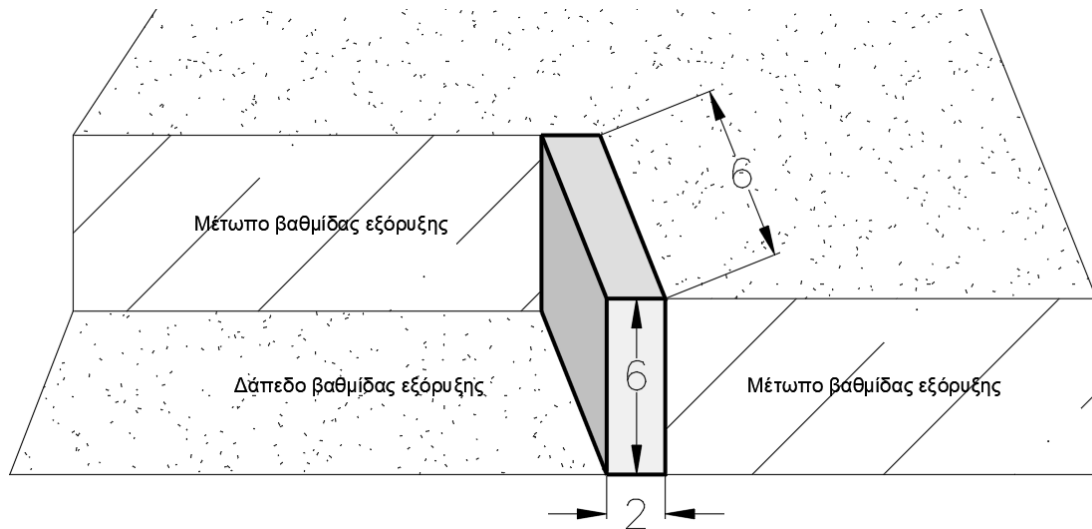
diametro diameter	assemblaggio assembling	n° perle n° beads	codice code	materiale material	velocità speed	resa production	applicaz. application	note notes
					m <sup>2</sup> /h	m <sup>2</sup> /m		
10 / 11 mm	molle spring	28 - 30	MSardegna MSardegna	marmi calcifici, limestone e travertino calcitic and dolomitic marble, limestone and travertine	12 - 20	65 - 100	banco bench	alta resa high production
10 / 11 mm	molle spring	28 - 30	MBronzo MBronze	limestone e travertino limestone and travertine	12 - 20	55 - 75	banco bench	alta velocità di taglio high cutting speed
10 / 11 mm	molle spring	28 - 30	Pizzarra	ardesia, marmo verde, serpentiniti slate, green marble, serpentine	8 - 15	20 - 35	banco bench	perlina veloce per ardesie fast bead for slate
10 / 11 mm	molle spring	30	Yothy	ardesia, marmo verde, serpentiniti slate, green marble, serpentine	8 - 15	20 - 35	banco bench	perlina ad alta resa per marmi duri e serpentiniti high production for hard marble and green marble
10 / 11 mm	molle spring	30	Granito Plus	pietre dure e/o abrasive hard stones and/or abrasive	7 - 10	15 - 35	banco bench	altissima resa very high production

Εικόνα 4-25: Τεχνικά χαρακτηριστικά αδαμαντοφόρου σύρματος (<https://www.husqvarnaconstruction.com/int/>).

Ο υπολογισμός των συρματοκοπών έγινε με βάση τα χαρακτηριστικά του αδαμαντοφόρου σύρματος αλλά και την εκτιμώμενη ημερήσια παραγωγή του λατομείου. Οι γενικές θεωρήσεις παραγωγής είναι οι κάτωθι:

- Ημερήσια πρωτογενής εξόρυξη (m<sup>3</sup>/ημέρα)  $\approx (40.000\text{m}^3/250) = 160$
- Διαστάσεις πάγκου στο μέτωπο (ύψος \* μήκος \* πλάτος) (m) = 6\*6\*2 m
- Όγκος πάγκου (m<sup>3</sup>) = 72
- Μέση ταχύτητα κοπής = 15 m<sup>2</sup>/h

Με βάση τα παραπάνω γίνεται ο υπολογισμός των συρματοκοπών. Εξορυσσόμενοι πάγκοι / ημέρα =  $160/72 = 2,22$  και άρα 3 πάγκοι με τις διαστάσεις που φαίνονται στην Εικόνα 4-26.

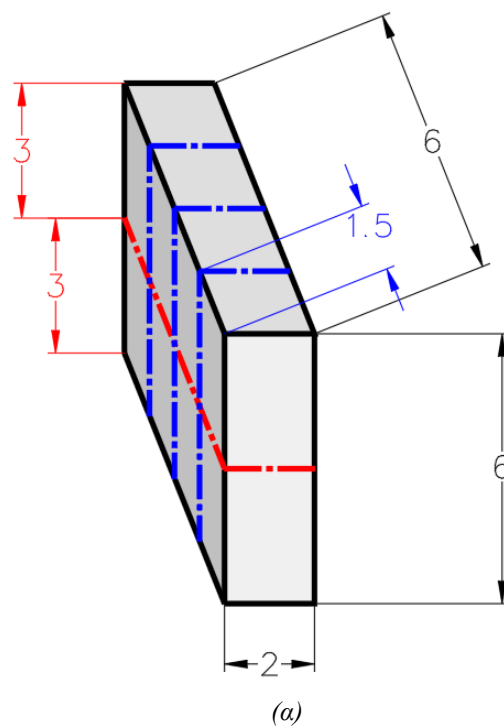


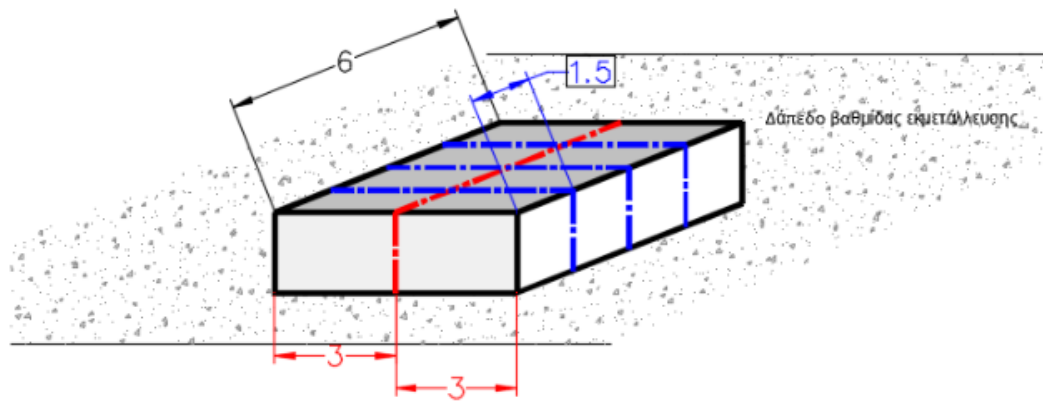
Εικόνα 4-26: Διαστάσεις εξορυσσόμενου πάγκου.

Χρόνος αποκοπής των 3 πάγκων:

$$\text{Χρόνος αποκοπής πάγκου στο μέτωπο} = 3 * \left( \frac{6 * 2 \text{ m}^2}{15 \frac{\text{m}^2}{h}} + \frac{6 * 6 \text{ m}^2}{15 \frac{\text{m}^2}{h}} + \frac{6 * 2 \text{ m}^2}{15 \frac{\text{m}^2}{h}} \right) = 12 h$$

Στη συνέχεια γίνεται ο διαχωρισμός του αποκομένου πάγκου σε ογκομάρμαρα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-27 [α](#) και [β](#).





Εικόνα 4-27: (α) Διαχωρισμός εξορυσσόμενου πάγκου σε ογκομάρμαρα. (β) Διαχωρισμός εξορυσσόμενου πάγκου σε ογκομάρμαρα αφού ανατραπεί στο δάπεδο της βαθμίδας.

Η παραγωγικότητα των μικρών συρματοκοπών βρίσκεται από τις ακόλουθες παραδοχές:

1. Διαχωρισμός σε 2 μικρότερα μπλοκ με διαστάσεις (μήκος \* πλάτος\*ύψος) =

$$6\text{m} \times 3\text{m} \times 2\text{m}$$

$$\text{Χρόνος διαχωρισμού μπλοκ} = (6\text{ m} \times 2\text{ m}) / (15\text{ m}^2/\text{h}) = 0,8\text{ h}$$

2. Διαχωρισμός έκαστου των 2 μικρότερων μπλοκ σε 4 ογκομάρμαρα με διαστάσεις (μήκος \* πλάτος \* ύψος) =  $3\text{m} \times 2\text{m} \times 1,5\text{ m}$  και συνολικά 6 κοπές με διαστάσεις  $3\text{m} \times 2\text{ m}$

$$\text{Χρόνος διαχωρισμού ογκομαρμάρων} = 6 \times (3\text{m} \times 2\text{m}) / (15\text{ m}^2/\text{h}) = 2,4\text{ h}$$

Συνολικός χρόνος διαχωρισμού των τριών (3) πάγκων και ορθογωνισμού των ογκομαρμάρων =  $3 \times (0,8 + 2,4)\text{ h} = 9,6\text{h}$ .

Άρα ο συνολικός χρόνος ημερήσιας λειτουργίας συρματοκοπών =  $12\text{h} + 9,6\text{h} = 21,6\text{ h}$ .

Με δεδομένο την ημερήσια λειτουργία της κάθε συρματοκοπής σε 6,5 h απαιτούνται  $21,6\text{h} / 6,5\text{h} = 3,32$  μηχανές συρματοκοπής. Ο αριθμός των 3,32 συρματοκοπών στρογγυλοποιείται προς τα επάνω στο 4. Σε αυτόν προστίθεται και μία ακόμα για ασφάλεια. Επομένως, ο αριθμός των συρματοκοπών είναι τελικά,  **$Z_s = 5$  συρματοκοπές**.

Τα διατρητικά φορεία χρησιμοποιούνται για την διάνοιξη των διατρημάτων μέσα από τις οποίες θα «περάσει» το αδαμαντοφόρο σύρμα, ώστε να είναι δυνατή η λειτουργία των συρματοκοπών και η δημιουργία των 3 ελεύθερων επιφανειών στο μέτωπο της βαθμίδας εξόρυξης. Στον υπό μελέτη χώρο θα χρησιμοποιηθούν 3 τύποι διατρητικών φορείων:



1. Ο 1<sup>ος</sup> τύπος διατρητικού φορείου μέσης δυναμικότητας θα είναι το GEMSA MARMOROK-NK200, που θα χρησιμοποιηθεί για κατακόρυφα διατρήματα, με τα τεχνικά χαρακτηριστικά που φαίνονται στον Πίνακα 4-26 (επίσης βλ. Εικόνα 4-28).

Πίνακας 4-26: Τεχνικά χαρακτηριστικά διατρητικού GEMSA MARMOROK-NK200.

### Drilling Depth Guidelines

Hole Diameter Ø :	90 mm ( 3.5 in )
Hole Depth :	40 m ( 130 ft )
Drilling Method :	DTH ( Down the hole )
DTH Hammer :	3 in
Onboard Air Compressor :	
Air Supply :	15 bar (218 psi) - 8,6 m <sup>3</sup> /min (304 cfm)

### Diesel Engine

Model :	Volvo Penta EU Stage V / EURO 5
Engine Power :	160 kW (218 hp) @2300 rpm
Max Torque :	900 Nm (664 ft-lb) @ 1300 rpm
Cooling System :	Water-cooled



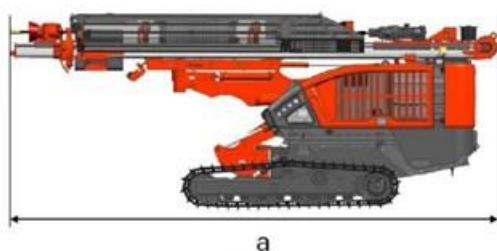
Εικόνα 4-28: Διατρητικό GEMSA MARMOROK-NK200. (<https://www.gemsa.com.tr/marmorok-nk200-2/>)

2. Ο δεύτερος τύπος φορείου βαρέως τύπου θα είναι ο SANDVIK Dino DC420Ri S5, που θα χρησιμοποιηθεί για οριζόντια διατρήματα, με τα τεχνικά χαρακτηριστικά που φαίνονται στον Πίνακα 4-27 (βλ. και Εικόνα 4-29).



Πίνακας 4-27: Τεχνικά χαρακτηριστικά διατρητικού SANDVIK Dino DC420Ri S5. (<https://www.mining.sandvik/en/>)

Hole diameter:	51 - 76 mm (2" – 3")
Rock tools:	R32, T35, T38
Rock Drill	14 kW
Engine output:	105 kW (S5)
Flushing air:	3,5 m <sup>3</sup> /min, up to 8 bar
Production capacity:	600 m <sup>3</sup> /shift
Total weight :	abt. 11 000 kg



DIMENSIONS	
Weight	abt. 11 000 kg
Width	c, 2450 mm
Height	b, 2850 mm
With roll-over	b, 3000 mm
Total length	a, 6900 mm

Εικόνα 4-29: Διατρητικό φορείο SANDVIK. (<https://www.mining.sandvik/en/>).

3. Ο 3ος τύπος φορείου ελαφρού τύπου θα είναι το MARINI QUARRY VOYAGER, που θα χρησιμοποιηθεί για κατακόρυφα διατρήματα, με τα τεχνικά χαρακτηριστικά που φαίνονται στον Πίνακα 4-28 και στην Εικόνα 4-30.

Πίνακας 4-28: Τεχνικά χαρακτηριστικά διατρητικού MARINI QUARRY VOYAGER.

Engine Power	17 Kw
Drill Diameter	90 - 140 mm
First Drill Rod	1500 mm
Weight	1300 Kg



Εικόνα 4-30: Διατρητικό MARINI QUARRY VOYAGER. (<https://www.marinidrills.com>)

Εκτός από τα βασικά μηχανήματα θα χρησιμοποιηθούν 2 ερπυστριοφόρες τσάπες (εκσκαφείς), 1 γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ένα αυτοκίνητο μεταφοράς νερού. Τελικά ο μηχανολογικός εξοπλισμός του λατομείου φαίνεται στον Πίνακας 4-29.

Πίνακας 4-29: Πίνακας μηχανολογικού εξοπλισμού.

Είδος Μηχανήματος	Τύπος	Ισχύς [hp]	Είδος Εργασίας	Αριθμός
Φορτωτής Ελαστικοφόρος	CATERPILLAR 990H	687	Μεταφορά και απόθεση, φόρτωση όγκων και στείρων	1
Φορτωτής	CATERPILLAR 950GC	240	Καθαρισμός δαπέδων εξόρυξης, τοποθέτηση συρματοκοπών στα μέτωπα	1
Φορητό μεταφοράς στείρων (dumper truck)	CATERPILLAR 740GC	452	Μεταφορά στείρων	1
Ερπυστριοφόρος εκσκαφέας	CATERPILLAR 330C L	247	Ανατροπή πάγκων	1
Φορητό μεταφοράς νερού	MAN (20m <sup>3</sup> )	300	Μεταφορά νερού	1
Αδαμαντοφόρες συρματοκοπές	BENETTI VIP 916	61	Μεγάλες κοπές σε παράλληλους κατακόρυφους πάγκους	2

Αδαμαντοφόρες συρματοκοπές	BENETTI GAMMA 875	41	Κοπή πεσμένων πάγκων και τελικός ορθογωνισμός	3
Γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος	PERKINS 400kVA	435	Παροχή ρεύματος (συρματοκοπή, αντλία υδάτων, φωτισμός, κλπ)	1
Αεροσυμπιεστής	ATLAS COPCO XAS- 186	122	Παροχή πεπιεσμένου αέρα σε αερόσφυρες και διατρητικά	2
Διατρητικό	SANDVIK Dino DC420Ri S5	143	Οριζόντια και κατακόρυφα διατρήματα για πέρασμα σύρματος	1
Διατρητικό	GEMSA MARMOROK- NK200	218		1
Διατρητικό	MARINI QUARRY VOYAGER	20		1
Αερόσφυρες χειρός	ATLAS COPCO	20	Διάτρηση πάγκων μαρμάρου για πέρασμα σύρματος	3
Αντλίες		3	Ανακύκλωση νερού	10
Ταχυσύνδεσμος φορτωτή	LAMETER	- (Τροφοδοτούνται από την ισχύ του φορτωτή)	Συνδυαστική λειτουργία κουβά, πιρουνιών και rake	1
Πιρούνια	LAMETER		Διαχείριση πάγκων, μεταφορά, απόθεση και φόρτωση ογκομαρμάρων βάρους έως 25tn	1
Κουβάς (bucket)	LAMETER		Φόρτωση στείρων – καθαρισμός μετώπων	1
Βραχίονας ανατροπής πάγκων (rake)	LAMETER		Ανατροπή πάγκων με τον φορτωτή από ασφαλή απόσταση	1
<b>Σύνολο</b>		<b>2.989</b>		<b>33</b>

Από την επιλογή του μηχανολογικού εξοπλισμού προκύπτει η σύνθεση του προσωπικού εργασιών του λατομείου που δίνεται στον Πίνακα 4-30.

Πίνακας 4-30: Πίνακας προσωπικού.

Ειδικότητα	Αριθμός
Μηχανικός Ορυκτών Πόρων ή Μεταλλειολόγος Μηχανικός (Επιβλέπων Μηχανικός και Τεχνικός Ασφαλείας)	1
Εργοδηγός	1
Χειριστής φορτηγού – φορτωτή – εκσκαφέα	3
Χειριστής συρματοκοπής	4
Εργάτης λατομείου	2
Χειριστής διατρητικού	2
Συντηρητής	1
<b>Σύνολο</b>	<b>14</b>

## 4.5 Υπολογισμός Μοναδιαίου Κόστους

Για τον υπολογισμό του μοναδιαίου κόστους εκμετάλλευσης θα πρέπει να εκτιμηθούν τα κόστη (α) για αδειοδοτήσεις, (β) δαπάνες προπαρασκευής του λατομικού χώρου, (γ) κτήσης του μηχανολογικού εξοπλισμού, (δ) λειτουργίας του, (ε) συντήρησης του (ζ) κόστος εργατικών και (η) κόστος περιβαλλοντικής αποκατάστασης.

Για την αδειοδότηση του λατομικού χώρου θα εκπονηθούν Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) και Τεχνική Μελέτη. Το κόστος των μελετών δίνεται στον Πίνακα 4-31.

Πίνακας 4-31: Δαπάνες μελετών.

ΔΑΠΑΝΕΣ ΜΕΛΕΤΩΝ	Κόστος (€)
Δαπάνη Τεχνικής Μελέτης	1.800,00 €
Δαπάνη Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων	1.000,00 €
Δαπάνη Σχεδίου Διαχείρισης Εξορυκτικών Αποβλήτων	800,00 €
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΛΕΤΩΝ</b>	<b>3.600 €</b>

Για την περιοχή Πύργων Δράμας, το αντάλλαγμα χρήσης εκτιμάται από την Δασική Υπηρεσία και κυμαίνεται περίξ των 700 ευρώ ανά στρέμμα. Επομένως, η σχετική δαπάνη για ολόκληρη την έκταση του λατομικού χώρου είναι 145,9 στρέμματα x 700 €/στρ. = 102.132 €.

Η αποψίλωση του λατομικού χώρου στα τμήματα που θα διενεργηθεί εκμετάλλευση θα γίνεται σταδιακά με την πρόοδο των βαθμίδων εκμετάλλευσης. Η εργασία της αποψίλωσης θα διενεργείται με φορτωτή καθώς και με τη βοήθεια εκσκαφέα. Η εργασία αυτή θα διενεργηθεί σε έκταση 47 περίπου στρεμμάτων που θα καταλαμβάνουν τα δάπεδα των βαθμίδων

εκμετάλλευσης. Υπολογίζεται ότι η παραπάνω εργασία θα έχει συνολική χρονική διάρκεια της τάξης των 12 ημερών καθώς η βλάστηση που καλύπτει το τμήμα αυτό του λατομείου είναι σχετικά πυκνή. Εκτιμάται ότι το ημερήσιο κόστος της εργασίας ενός φορτωτή και ενός εκσκαφέα θα είναι της τάξης των 800 €. Για την εργασία αυτή η δαπάνη υπολογίζεται ότι θα ανέλθει σε 9.600€ (12 ημέρες x 800€).

Υπάρχει ήδη η εξωτερική οδός προσπέλασης του χώρου και επομένως δεν χρειάζεται να διανοιχτεί νέα οδός. Για τις εργασίες απόθεσης στείρων και διάνοιξης βαθμίδων θα κατασκευαστούν εσωτερικές οδοί συνολικού μήκους 2,2 km. Οι εσωτερικές οδοί που θα διανοιχτούν θα βρίσκονται τόσο στο βόρειο τμήμα, στη θέση εξόρυξης, όσο και στο νότιο τμήμα του λατομικού χώρου, στις θέσεις απόθεσης στείρων. Για τις εσωτερικές μετακινήσεις θα χρησιμοποιούνται τα δάπεδα των βαθμίδων του λατομείου. Το κόστος διάνοιξης των εσωτερικών οδών μήκους 2,2 km αναμένεται να ανέλθει σε 21.500 € και θα πραγματοποιηθεί με τη χρήση μηχανημάτων του λατομείου (φορτωτής και εκσκαφέας).

Ο λατομικός χώρος θα είναι περιφραγμένος περιμετρικά. Το μήκος που θα γίνει η περίφραξη θα είναι της τάξης των 1.538 μέτρων. Η δαπάνη περίφραξης για το μήκος των 1.538 μέτρων υπολογίζεται με βάση ότι το κόστος αγοράς και τοποθέτησης σύρματος ανά μέτρο είναι της τάξης των 10 €. Έτσι το συνολικό κόστος θα είναι: 1.538 μέτρα x 10€/μέτρο = 15.383 €.

Με βάση την ανάλυση των δαπανών που δόθηκε παραπάνω η συνολική δαπάνη για τις προπαρασκευαστικές εργασίες και τις μελέτες αδειοδότησης φαίνεται στον Πίνακα 4-32.

Πίνακας 4-32: Δαπάνες προπαρασκευαστικών εργασιών – μελετών.

Δαπάνες προπαρασκευαστικών εργασιών - μελετών	Κόστος (€)
Δαπάνη ανταλλάγματος χρήσης	102.130 €
Δαπάνη αποψίλωσης	9.600,00 €
Δαπάνη διάνοιξης εσωτερικής οδού	21.500,00 €
Δαπάνη περίφραξης	15.383,00 €
Δαπάνη Μελετών	3.600,00 €
<b>Σύνολο</b>	<b>152.213 €</b>

Το κόστος για την αγορά του μηχανολογικού εξοπλισμού φαίνεται στον Πίνακα 4-33.

Πίνακας 4-33: Κόστος αγοράς μηχανολογικού εξοπλισμού.

Είδος Μηχανήματος	Τύπος	Αριθμός	Κεφαλαιουχικό Κόστος (Μεταχειρισμένο) [€]	Συνολική Δαπάνη [€]
-------------------	-------	---------	---	---------------------

Φορτωτής Ελαστικοφόρος	CATERPILLAR 990H	1	400.000	400.000
Φορτωτής Ελαστικοφόρος	CATERPILLAR 950GC	1	100.000	100.000
Φορητό μεταφοράς στείρων (dumper truck)	CATERPILLAR 740GC	1	350.000	350.000
Ερπυστριοφόρος εκσκαφέας	CATERPILLAR 330C L	1	150.000	150.000
Φορητό μεταφοράς νερού	MAN (20m <sup>3</sup> )	1	50.000	50.000
Λεωφορείο 18 θέσεων μεταφοράς προσωπικού	FORD TRANSIT	1	15.000	15.000
Αδαμαντοφόρες συρματοκοπές	BENETTI VIP 916	2	26.000	52.000
Αδαμαντοφόρες συρματοκοπές	BENETTI GAMMA 875	3	16.000	48.000
Γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος	PERKINS 400kVA	1	40.000	40.000
Αεροσυμπιεστής	ATLAS COPCO XAS-186	2	20.000	40.000
Διατρητικό	SANDVIK Dino DC420Ri S5	1	60.000	180.000
Διατρητικό	GEMSA MARMOROK- NK200	1		
Διατρητικό	MARINI QUARRY VOYAGER	1		
Αερόσφυρες χειρός	ATLAS COPCO	3	2.000	6.000
Αντλίες		10	500	5.000
Ταχυσύνδεσμος φορτωτή	LAMETER	1	105.000	105.000
Πιρούνια	LAMETER	1		
Κουβάς (bucket)	LAMETER	1		

Βραχίονας ανατροπής πάγκων (rake)	LAMETER	1		
<b>Συνολικό κεφαλαιουχικό κόστος</b>		<b>34</b>		<b>1.541.000</b>

Με τον όρο κύριες εγκαταστάσεις εννοούμε τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας των ογκομαρμάρων (κοπή, λείανση, κλπ.). Υπό την έννοια αυτή, καμία εγκατάσταση επεξεργασίας του εξορυσσόμενου υλικού δεν θα υπάρχει εντός του λατομικού χώρου. Μέσα στο λατομικό χώρο θα υπάρχουν οι εξής βοηθητικές εγκαταστάσεις που φαίνονται στον Πίνακα 4-34.

Πίνακας 4-34: Βοηθητικές εγκαταστάσεις λατομικού χώρου.

Εγκαταστάσεις	Εμβαδόν (τ.μ.)	Κόστος κτήσης (€)
Χώρος αποδυτηρίων	20	5.000
Χώρος αποθήκης ανταλλακτικών	10	4.000
Χώρος ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων	10	4.000
Δεξαμενή νερού και δίκτυο διανομής νερού στις συρματοκοπές		5.000
<b>Σύνολο</b>		<b>18.000</b>

Οι παραπάνω εγκαταστάσεις είναι λυόμενες (τύπου container , iso box) και για την τοποθέτηση τους δεν απαιτείται άδεια ανεγέρσεως ή άδεια εγκατάστασης ή άδεια λειτουργίας. Οι εν λόγω εγκαταστάσεις δεν εμπίπτουν στις διατάξεις της παρ. 1 β ή της παρ. 1 γ του άρθρου 161 του ν.δ.210/1973 (Α'277).

Για τον υπολογισμό της δαπάνης των αδαμαντοφόρων συρμάτων κοπής των συρματοκοπών, ελήφθησαν υπόψη η αξία του αδαμαντοφόρου σύρματος, η οποία είναι 37€/m και η δαπάνη ανακατασκευής αδαμαντοφόρου σύρματος, η οποία είναι 6€/τρέχον μέτρο. Επομένως, η δαπάνη για την αρχική αγορά 5 σετ για τις συρματοκοπές, υπολογίζεται σε  $50 \times 37\text{€} = 1.850\text{€}$ . Η δαπάνη τριών (3) ανακατασκευών για σετ 50 τρεχόντων μέτρων αδαμαντοφόρου σύρματος είναι  $3 \times (50\text{m} \times 6\text{€/m}) = 900\text{€}$ .

Συνεπώς, η δαπάνη για την αρχική αγορά 6 σετ και την ανακατασκευή τους για τις συρματοκοπές, υπολογίζεται σε  $5 \times (1.850\text{€} + 900\text{€}) = 13.750\text{€}$ .

Για τον υπολογισμό της δαπάνης των διατρητικών ελήφθησαν υπόψη η δαπάνη κορώνας κοπτικού, η οποία είναι 350€ και η δαπάνη 10 διατρητικών στελεχών μήκους 1,6 μέτρων έκαστου:  $10 \times 250\text{€} = 2.500\text{€}$ . Επομένως, η δαπάνη για κάθε σετ διατρητικών είναι 2.850€. Η



δαπάνη για την αρχική αγορά τριών (3) σετ για τα διατηρητικά υπολογίζεται σε  $3 \times 2.850\text{€} = 8.550\text{€}$ .

Με βάση την ανάλυση των δαπανών που δόθηκε παραπάνω η συνολική δαπάνη για την αρχική αγορά των κοπτικών μέσων υπολογίζεται σε: 22.300 €.

Οι δαπάνες επενδύσεων διακρίνονται σε:

1. Δαπάνες έργων προπαρασκευής και κτηριακών εγκαταστάσεων
2. Δαπάνες μηχανολογικού εξοπλισμού

Δαπάνες έργων προπαρασκευής και κτηριακών εγκαταστάσεων

Οι δαπάνες των προπαρασκευαστικών έργων αναλύθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο και προϋπολογίστηκαν σε 152.213 €. Οι δαπάνες αυτές περιλαμβάνουν τις εργασίες αποψίλωσης του λατομικού χώρου, τις δαπάνες μελετών, τη δαπάνη περίφραξης τη δαπάνη διάνοιξης των εσωτερικών οδών.

Οι δαπάνες κατασκευής συμπληρωματικών βοηθητικών κτιριακών εγκαταστάσεων υπολογίστηκαν σε 18.000 €. Οι δαπάνες αυτές περιλαμβάνουν τη κατασκευή αποθηκών, αποδυτηρίων και δεξαμενών και δικτύου νερού.

Έτσι η συνολική δαπάνη για τα έργα προπαρασκευής μαζί με τις βοηθητικές εγκαταστάσεις θα είναι της τάξης των 170.213 €.

Όπως προαναφέρθηκε οι δαπάνες για το μηχανολογικό εξοπλισμό υπολογίζεται ότι θα είναι της τάξης των 1.541.000 €.

Για τον υπολογισμό των επιβαρύνσεων από επενδύσεων κάνουμε τις εξής παραδοχές:

- Χρηματοοικονομική επιβάρυνση 15% για τον επιμερισμό της δαπάνης των 170.213 € για έργα προπαρασκευής και βοηθητικών εγκαταστάσεων.
- Χρηματοοικονομική επιβάρυνση 15% για τον επιμερισμό της δαπάνης των 1.541.000 € για τον μηχανολογικό εξοπλισμό.
- Ετήσια παραγωγή λατομείου:  $8.000 \text{ m}^3$
- Διάρκεια εκμετάλλευσης: 22,5 έτη

*Τελικά όλες οι επί μέρους δαπάνες επενδύσεων παρουσιάζονται στον*

Πίνακας 4-35.

Πίνακας 4-35: Δαπάνες επενδύσεων.

Είδος δαπάνης	Συνολικό κόστος (στήλη Α1)	Ετήσιο κόστος (στήλη Α2) =A1/22.5	Επιβάρυνση 15% ανά έτος (€) (στήλη Α3)	Ετήσιο Κόστος ανά m <sup>3</sup> ογκομαρμάρων (€/έτος) (στήλη Α4) A4=(A2+A3)/8000
Μηχανολογικός εξοπλισμός	1.541.000,00 €	68.488,89 €	10.273,33 €	9,85 €
Βοηθητικές εγκαταστάσεις	18.000,00 €	800 €	120,00 €	0,12 €
Έργα προπαρασκευής	152.213 €	6.765 €	1014,75 €	0,97 €
<b>Σύνολο</b>	<b>1.711.213,00 €</b>	<b>76.053,91 €</b>	<b>11.408,08 €</b>	<b>10,94 €</b>

Σε προηγούμενη παράγραφο περιγράφηκαν αναλυτικά οι θέσεις εργασίας και οι ειδικότητες που θα αναλάβουν την κάθε εργασία στο χώρο του λατομείου. Ο μέσος μικτός μισθός για τους εργαζομένους του λατομείου, ανέρχεται σε 1.500€/μήνα με μηνιαίο κόστος εργαζομένου 1.850€ (συνυπολογίζονται ασφαλιστικές εισφορές και φόρος μισθωτών υπηρεσιών). Το μέσο ετήσιο κόστος μισθοδοσίας ανά εργαζόμενο ανέρχεται σε 1.850€ x 14 μισθούς = 25.900 € (συνυπολογίζονται δώρα - άδειες – επιδόματα). Επομένως, το ετήσιο κόστος μισθοδοσίας ανέρχεται σε 25.900 € ανά εργαζόμενο x 14 εργαζόμενοι = 362.600 €. Για την αμοιβή του συμβεβλημένου γιατρού, εκτιμάται δαπάνη 3.600 €.

Άρα, συνολική ετήσια δαπάνη αμοιβών προσωπικού (εργατοτεχνικού και επιστημονικού) θα είναι 366.200 €.

Με δεδομένη την εκτίμηση ετήσιας παραγωγής 8.000 κ.μ ογκομαρμάρων, προκύπτει επιβάρυνση ανά κ.μ. για αμοιβές εργατικού προσωπικού ίση με 45,78 €/κ.μ..

Η δαπάνη για τα αναλογικά μισθώματα ανέρχεται σε 8% της τιμής πώλησης των ογκομαρμάρων, η οποία υπολογίζεται σε 380 €/κ.μ. στο δάπεδο του λατομείου. Συνεπώς, η ετήσια δαπάνη αναλογικών μισθωμάτων θα είναι 8.000 κ.μ. x 380 €/κ.μ. x 8% = 243.200 € .

Η δαπάνη για τα πάγια μισθώματα υπολογίζεται με βάση το Ν. 4512/2018. Έτσι η ετήσια δαπάνη των πάγιων μισθωμάτων ανέρχεται σε 8.110,39 €. Εφόσον τα πάγια μισθώματα

συμψηφίζονται με τα αναλογικά, η συνολική ετήσια δαπάνη μισθωμάτων του λατομείου θα παραμείνει 243.200 €.

Άρα, η επιβάρυνση κάθε κ.μ. μαρμάρου είναι  $243.200 \text{ €} / 8.000 \text{ κ.μ.} = 30,4 \text{ €/κ.μ.}$

Η συνολική δαπάνη του λατομείου σε καύσιμα ανά ημέρα συμπεριλαμβανομένης της δαπάνης καυσίμων για τη φόρτωση και μεταφορά στείρων υλικών παρουσιάζεται στον Πίνακα 4-36.

Πίνακας 4-36: Ημερήσιες Δαπάνες καυσίμων. (<https://wheelercat.com/>)

Μηχάνημα	Ώρες λειτουργίας / ημέρα	Κατανάλωση	Τιμή λίτρου	Σύνολο
Φορτωτής CAT990 H	7	67 λίτρα/ώρα	1,40 €	656,6 €
Φορτωτής CAT950G C	5	20 λίτρα/ώρα	1,40 €	140,00 €
Φορτηγό μεταφοράς στείρων	4	30 λίτρα/ώρα	1,40 €	168,00 €
Εκσκαφέας	4	28 λίτρα/ώρα	1,40 €	156,80 €
Φορτηγό μεταφοράς νερού	5	20 λίτρα/ώρα	1,40 €	140,00 €
Λεωφορείο μεταφοράς προσωπικού	3	12 λίτρα/ώρα	1,40 €	50,40 €
Γεννήτρια	8	20 λίτρα/ώρα	1,40 €	224,00 €
Αεροσυμπιεστές	12	18 λίτρα/ώρα	1,40 €	302,40 €
Διατρητικά	12	20 λίτρα/ώρα	1,40 €	336,00 €
<b>Σύνολο</b>				<b>2.174,20 €</b>

Άρα, η συνολική δαπάνη του λατομείου σε καύσιμα ανά ημέρα είναι 2.174,20 € η οποία σε ετήσια βάση ανέρχεται σε  $(2.174,20 \text{ €} \times 250 \text{ ημέρες}) = 543.550 \text{ €}$ . Συνεπώς, τα καύσιμα επιβαρύνουν το κόστος εξόρυξης κατά  $(543.550 \text{ €} / 8.000 \text{ κ.μ.}) = 67,94 \text{ €/κ.μ.}$  Όμοια, η δαπάνη λιπαντικών εκτιμάται στο 30% της δαπάνης των καυσίμων, δηλ. είναι 20,38 €/κ.μ. **Άρα η συνολική δαπάνη καύσιμα - λιπαντικά είναι:  $67,94 + 20,38 = 88,32 \text{ €/m}^3$ .**

Στη συνέχεια υπολογίζεται το κόστος των αναλωσίμων υλικών όπως είναι το αδαμαντοφόρο σύρμα, τα κοπτικά και στελέχη των διατρητικών, τα λάστιχα νερού και αέρος, τα ελαστικά των τροχοφόρων, τα είδη προστασίας του προσωπικού και διάφορα άλλα υλικά καθημερινής χρήσης. Στο συγκεκριμένο δολομιτικό μάρμαρο το σετ των 50 τρεχόντων μέτρων έχει διάρκεια ζωής συνολικά περίπου 6.000 m<sup>2</sup>, δηλαδή το κόστος σύρματος ανά τ.μ. είναι  $2.750\text{€}/6.000 \text{ τ.μ.} = 0,46 \text{ €/m}^2$ .

Για τη δημιουργία πάγκου ( 6m x 6m x 2m) = 72 m<sup>3</sup> θα χρειαστεί να κοπεί με τη χρήση συρματοκοπής επιφάνεια ίση με [(6 x 2) + (6 x 6) + (6 x 2)] m<sup>2</sup> = 60 m<sup>2</sup>. Κόστος κοπής πάγκου : 60 m<sup>2</sup> x 0,46€/m<sup>2</sup> = 27,6 € . Με βάση τον συντελεστή αποληψιμότητας (0,20) υπολογίζουμε ότι ο αποσπώμενος όγκος των 72 m<sup>3</sup> θα δώσει (72 X 0,2) = 14,4 m<sup>3</sup>. Το κόστος κοπής πάγκου στο μέτωπο, λοιπόν, ανά κ.μ. τελικής παραγωγής, είναι 27,6 € / 14,4 m<sup>3</sup> = **1,92 € / m<sup>3</sup>**. Για τη δημιουργία όγκων προς εμπορία διαστάσεων 3m x 2m x 1,5 m, η συνολική επιφάνεια κοπής είναι [ (6 X 2) + (3 X 2 X 6)] τ.μ. = 48 m<sup>2</sup>. Άρα:

$$48 \text{ m}^2 \times 0,46 \text{ €} / \text{m}^2 = 22,08 \text{ €} / \text{πάγκο ή}$$

$$22,08 \text{ €} / 14,4 \text{ m}^3 = \mathbf{1,53 \text{ €} / \text{m}^3}.$$

Το σετ διατρητικών στελεχών συνολικά κοστίζει 2.850,00 € και έχει ικανότητα διάτρησης 1.000 μ. δηλαδή κοστίζει 2,85 € ανά τρέχον μέτρο. Κάθε πάγκος απαιτεί διάτρηση 6 + 6 + 2 = 14 μέτρα και άρα το κόστος των υλικών διάτρησης θα ανέρχεται σε 2,85€ x 14 μ. = 39,9 € / πάγκο, άρα:

$$39,9(\text{€} / \text{πάγκο}) / 14,4 \text{ m}^3 = 2,77 \text{ €} / \text{m}^3$$

Επομένως, το κόστος ανά κ.μ. μαρμάρου από κοπτικά υλικά είναι :

$$K_{\text{συρματοκοπής}} = (1,92 + 1,53) \text{ €} / \text{m}^3 = 3,45 \text{ €} / \text{m}^3$$

$$K_{\text{διατρημάτων}} = 2,77 \text{ €} / \text{m}^3$$

$$\text{Σύνολο κόστους από κοπτικά} = 6,22 \text{ €} / \text{m}^3.$$

Υπολογίσθηκε το κόστος κοπτικών σε 6,22 € / κ.μ. και εκτιμάται το κόστος των λοιπών αναλωσίμων σε 10 €/κ.μ.

Επομένως συνολικά το κόστος των αναλωσίμων είναι (6,22 + 10) €/κ.μ. = 16,22 €/κ.μ..

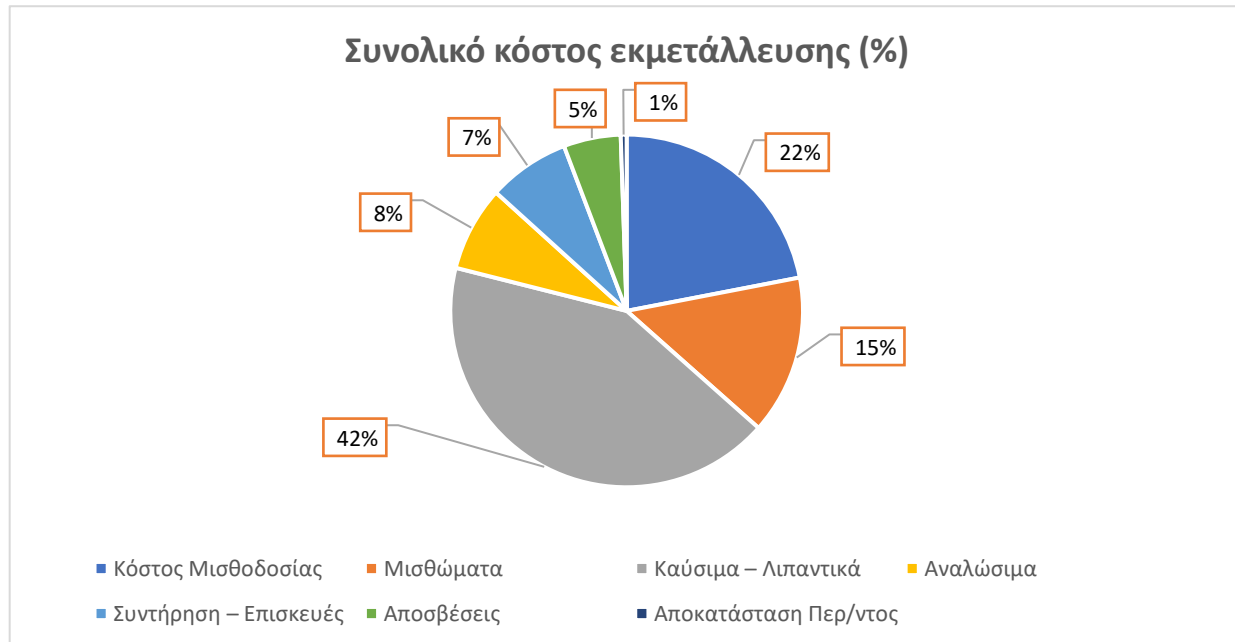
Η δαπάνη συντήρησης των μηχανημάτων του λατομικού χώρου υπολογίσθηκε σε 500,00 €/ημέρα, περίπου 8% επί της αξίας κτήσης του μηχανικού εξοπλισμού, οπότε η συνολική δαπάνη σε ετήσια βάση για 250 ημέρες εργασίας, ανέρχεται σε 125.000 €, ενώ η επιβάρυνση ανά κ.μ. μαρμάρου είναι (125.000 € / 8.000 κ.μ.) = 15,63 €/κ.μ.

**Η δαπάνη αποκατάστασης του λατομικού χώρου, εξαιρουμένης της ζώνης προστασίας των 8 μέτρων, θα δώσει μια ετήσια επιβάρυνση θα είναι της τάξης των 8.978 € ενώ η επιβάρυνση ανά κ.μ. μαρμάρου είναι 1,12 €/κ.μ..**

Με βάση τα ανωτέρω το συνολικό μοναδιαίο κόστος λειτουργίας του λατομείου δίνεται στον Πίνακα 4-37. Το εκτιμώμενο μοναδιαίο κόστος **208€/bm<sup>3</sup>** διαιρούμενο με το ειδικό βάρος του μαρμάρου δίνει ένα μοναδιαίο κόστος **74€/t**. Για να είναι βιώσιμη η υπαίθρια εκμετάλλευση η τιμή πώλησης των ορθογωνισμένων ογκομαρμάρων σε €/t πρέπει να υπερβαίνει αυτήν την τιμή με ένα λογικό περιθώριο κέρδους.

Πίνακας 4-37: Συνολικό κόστος της υπαίθριας εκμετάλλευσης.

Επιμέρους κόστη	Κόστος παραγωγής/m <sup>3</sup> (€)
Κόστος Μισθοδοσίας	45,78
Μισθώματα	30,40
Κάυσιμα – Λιπαντικά	88,32
Αναλώσιμα	16,22
Συντήρηση – Επισκευές	15,63
Αποσβέσεις	10,94
Αποκατάσταση Περ/ντος	1,12
<b>Σύνολο</b>	<b>208,41</b>



Σχήμα 4-1: Συνολικό κόστος εκμετάλλευσης (%).

Σύμφωνα με το Σχήμα 4-1: Συνολικό κόστος εκμετάλλευσης (%), το μεγαλύτερο ποσοστό του συνολικού κόστους εκμετάλλευσης κατέχουν τα καύσιμα-λιπαντικά, ακολουθεί η

μισθοδοσία, τα μισθώματα, τα αναλώσιμα, η συντήρηση, οι αποσβέσεις και η αποκατάσταση του περιβάλλοντος.

## Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα – Προτάσεις

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία έγινε ο σχεδιασμός υπαίθριας εκμετάλλευσης και η εκτίμηση του μοναδιαίου κόστους παραγωγής ορθογωνισμένων ογκομαρμάρων σε κοίτασμα λευκού δολομιτικού μαρμάρου στην περιοχή Πύργων Δράμας. Καταρχάς έγινε μια ανασκόπηση της αγοράς του λευκού μαρμάρου και αναλύθηκαν οι προοπτικές εμπορευσιμότητας τους στην εγχώρια και στις ξένες αγορές. Στη συνέχεια σχεδιάστηκε μέθοδος υπαίθριας εκμετάλλευσης ανοικτού τύπου με ορθές βαθμίδες. Ο σχεδιασμός των 10 λειτουργικών ορθών βαθμίδων που τελικά συνενώνονται σε 5, έγινε σε μια ενδιάμεση φάση και στην τελική φάση της εκμετάλλευσης. Υπολογίστηκε στη συνέχεια ο συνολικός όγκος των εκσκαφών που ανέρχεται σε 900.000  $\text{bm}^3$  (συμπαγή και στρογγυλός αριθμός) και με την απλοποιητική παραδοχή αποληψιμότητας 20% και ετήσια παραγωγή 8000  $\text{bm}^3$  ορθογωνισμένων ογκομαρμάρων εκτιμήθηκε ότι η διάρκεια ζωής του λατομείου είναι 22,5 έτη. Στη συνέχεια επιλέχθηκε ο κατάλληλος μηχανολογικός εξοπλισμός και η σύνθεση της παραγωγής σε μηχανήματα και εργατικό δυναμικό. Τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτήν την εργασία είναι τα εξής:

- Η αρχική ανάλυση του μακροοικονομικού και εμπορικού πλαισίου της αγοράς διακοσμητικών πετρωμάτων κατέδειξε ότι το Ελληνικό μάρμαρο διατηρεί ισχυρή παρουσία στις διεθνείς αγορές, με τις εξαγωγές να αποτελούν κινητήριο δύναμη για τον κλάδο.
- Επιπλέον, η περιβαλλοντική διάσταση της εκμετάλλευσης αναδεικνύεται ως κρίσιμος άξονας της συνολικής στρατηγικής. Η υπαίθρια εξόρυξη επιβάλλει την υιοθέτηση μέτρων αποκατάστασης τοπίου, την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων και την επαναχρησιμοποίηση των παραπροϊόντων. Η αξιοποίηση των παραπροϊόντων εκμετάλλευσης μαρμάρου και η ενσωμάτωση κυκλικών οικονομικών πρακτικών μπορούν να ενισχύσουν τη βιωσιμότητα και να περιορίσουν τις επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον.
- Από την βιβλιογραφική επισκόπηση γεωλογικών, κοιτασματολογικών, τεχνικών και οικονομικών παραμέτρων αναδείχθηκε η δυναμική και η στρατηγική σημασία της ευρύτερης περιοχής του λατομικού κέντρου του Φαλακρού όρους που περιλαμβάνει και την περιοχή Πύργων Δράμας. Επιπλέον η κοιτασματολογική φύση του Φαλακρού όρους όπου βρίσκεται το μελετούμενο κοίτασμα λευκού δολομιτικού μαρμάρου, είναι τέτοια που μπορεί να αποδώσει σταθερή και ομοιογενή σε ποιότητα και διαστάσεις παραγωγή ορθογωνισμένων ογκομαρμάρων.



- Η παρουσία τεκτονικών ασυνεχειών επισημαίνεται μεν, αλλά δεν έχει ληφθεί υπόψιν στην παρούσα έρευνα, καθώς με κατάλληλη διαχείριση και προσεκτικό σχεδιασμό των βαθμίδων και κυρίως επιλογής των επιπέδων κοπής, μπορεί να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση στην βιωσιμότητα της εκμετάλλευσης.

- Σε επίπεδο τοπογραφίας και προσβασιμότητας, η γεωμορφολογική διαμόρφωση του πεδίου παρουσιάζει προκλήσεις λόγω του ανάγλυφου και των μεγάλων υψομετρικών διαφορών. Εντούτοις, οι γεωλογικές ενότητες υψηλής ποιότητας βρίσκονται σε σχετικά προσβάσιμες θέσεις, γεγονός που καθιστά δυνατή τη χάραξη πρακτικών οδικών αξόνων με ελεγχόμενο κόστος και περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Η ορθολογική αξιοποίηση των ήδη υπάρχουσών δασικών οδών σε συνδυασμό με τον κατάλληλο σχεδιασμό εσωτερικών οδών κυκλοφορίας μπορεί να επιτρέψει την απρόσκοπτη λειτουργία της λατομικής δραστηριότητας.

- Η τεχνική επιλογή της μεθόδου ανοικτής υπαίθριας εκμετάλλευσης με ορθές βαθμίδες κρίθηκε ως η πλέον κατάλληλη για το συγκεκριμένο κοίτασμα, καθώς διασφαλίζει την αποδοτική αξιοποίηση των αποθεμάτων και την παραγωγή τεμαχίων υψηλής ποιότητας με ελεγχόμενες απώλειες. Η εκτίμηση των γεωλογικών αποθεμάτων - που πρέπει να επαληθευθεί από πυρηνοληπτικές γεωτρήσεις - και πετρολογικών μελετών καταδεικνύει μακροπρόθεσμη επάρκεια πρώτης ύλης, γεγονός που δικαιολογεί την ανάπτυξη σταθερής και διαρκούς εκμετάλλευσης. Το δολομιτικό μάρμαρο των Πύργων διαθέτει τα απαιτούμενα ποιοτικά χαρακτηριστικά ώστε να ενταχθεί στις εμπορικές ροές υψηλής αξίας, υπό την προϋπόθεση ότι θα υιοθετηθούν σύγχρονες τεχνικές παραγωγής και ποιοτικού ελέγχου των παραγομένων ογκομαρμάρων.

- Λαμβανομένου υπόψη ότι, η μέση τιμή πώλησης των παραγομένων ογκομαρμάρων εκτιμάται στα 380 €/m<sup>3</sup>, ενώ αντίστοιχα το κόστος εξόρυξης υπολογίσθηκε στα 208 €/m<sup>3</sup>, αποδεικνύεται η βιωσιμότητα της υπαίθριας εκμετάλλευσης λατομείου μαρμάρου με τους όρους και τις παραδοχές που αναπτύχθηκαν στα Κεφάλαια της εργασίας.

## Βιβλιογραφία

### Ξένη βιβλιογραφία

Badouna, I., Koutsovitis, P., Karkalis, C., Laskaridis, K., Koukouzas, N., Tyrologou, P., Patronis, M., Papatrechas, C., & Petrounias, P. (2020). Petrological and geochemical properties of Greek carbonate stones, associated with their physico-mechanical and aesthetic characteristics. *Minerals*. DOI: 10.3390/min10060507

Geoffrey E. Blight (2010), *Geotechnical Engineering for Mine Waste Storage Facilities*. <https://doi.org/10.1201/9780203859407>

George Exadaktylos & George Saratsis (2020), Methodology for the Estimation and Classification of White Marble Reserves. *Mining, Metallurgy & Exploration* <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00228-3>

Hustrulid, William A., Bullock, Richard L., (2001). *Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Study*. SME.

Laskaridis, K., Arapakou, A. E., Patronis, M., & Kouseris, I. (2021). Physical mechanical properties and producing areas of Greek dimension stones. *Materials Proceedings*. DOI: 10.3390/materproc2021005064

Neofotistos, P., Tranos, M., & Heilbronner, R. (2020). *Geology and deformation of the Serbo-Macedonian massif in the northern part of the Athos Peninsula, Northern Greece: Insights from two detailed cross-sections*. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 56, 167-186. DOI: 10.12681/BGSG.22529

Papadopoulos, A. (2020). An overview of the domestic market of dimension stones in Greece. *Mineral Economics*, 34, 323-330. DOI: 10.1007/s13563-020-00236-1

Prochaska, W., & Attanasio, D. (2021). *The challenge of a successful discrimination of ancient marbles (part I): A databank for the marbles from Paros, Prokonnesos, Heraklea/Miletos and Thasos*. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 35, 102676. DOI: [10.1016/J.JASREP.2020.102676](https://doi.org/10.1016/J.JASREP.2020.102676)

StoneNews.eu. (2022, Αύγουστος 29). *Greece ranks 4th in the world in marble exports*. Retrieved from <https://en.rua.gr/2022/08/29/greece-ranks-4th-in-the-world-in-marble-exports/>

StoneNews.eu. (2025, Ιούνιος). *Greece on a Strategic Crossroads in the Marble Sector – New Stonenews.eu Study on Q1 2025 Exports*. <https://stonenews.eu/greece-on-a-strategic-crossroads-in-the-marble-sector-new-stonenews-eu-study-on-q1-2025-exports/stonenews.eu>

Zevgolis, I.E. (2018), Geotechnical characterization of mining rock waste dumps in central Evia, Greece. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7743-5>

## Ελληνική βιβλιογραφία

- Βουγιούκας Δ. & Χατζηπαναγής Ι. (2009): Γεωλογία-Λιθοστρωματογραφία-Τεκτονική και κοιτασματολογία του Φαλακρού Όρους. Έκθεση ΙΓΜΕ, Γ'ΚΠΣ, Ξάνθη, 74 σελ.
- Βουγιούκας Δ., Χατζηπαναγής Ι., Αναστασιάδης Ι., Δημάδης Ε., Θεοδωρούδης Α. & Επιτρόπου Ν. (2001): Έρευνα για τον εντοπισμό και αξιοποίηση μαρμαροφόρων περιεχόν στην Αν. Μακεδονία-Θράκη. Τελική έκθεση ΙΓΜΕ, Ξάνθη, 233 σελ.
- Εξαδάκτυλος Γ, Αντοχή και ελαστικότητα σε θλίψη και εφελκυσμό των δολομιτικών μαρμάρων του Φαλακρού όρους, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2021.
- Εξαδάκτυλος Γ, Σχεδιασμός Υπαιθρίων Εκμεταλλεύσεων, Σημειώσεις μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2020.
- Η εξορυκτική/μεταλλουργική δραστηριότητα στην Ελλάδα. Στατιστικά δεδομένα 2020-2024. Πηγή στοιχείων: ΕΛ.ΣΤΑΤ
- Λασκαρίδης Κ. και Πατρώνης Μ. (2005): Οι φυσικομηχανικές ιδιότητες των φυσικών διακοσμητικών πετρωμάτων και η χρήση τους κατά την απόδοση σήμανσης CE.2ο Συνέδριο της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας & Γεωχημείας, Θεσσαλονίκη, 179-187. . [Η ΣΗΜΑΝΣΗ CE ΣΕ ΤΕΛΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΑΠΟ ΔΙΑΚΟΣΜΗΤΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ](#)
- Λασκαρίδης Κ., Παπαϊωάννου Ν. & Κουσερής Ι. (2000): Επιλογή των διακοσμητικών πετρωμάτων με κριτήριο τις φυσικομηχανικές τους ιδιότητες. Πρακτικά 2ου Πανελλήνιου Συνεδρίου «Το Ελληνικό Μάρμαρο», Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ-ΔΕΘ ΗΕΛΕΧΡΟ, Θεσσαλονίκη, 87-96. [ΟΙ ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ Ι ΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΙΑΚΟΣΜΗΤΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟ ΟΣΗ ΣΗΜΑΝΣΗΣ CE - PDF ΔΩΡΕΑΝ](#) Λήψη
- Παπατρέχας Χ. (2011): Συσχέτιση φυσικομηχανικών ιδιοτήτων με το κοκκομετρικό μέγεθος και την ορυκτολογική σύσταση των ανθρακικών πετρωμάτων της ανατολικής Μακεδονίας. Διδακτορική Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τμήμα Γεωλογίας Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας, 171 σελ.
- Πολυδέρης Π., (2021): Ιστορική αναδρομή των εκμεταλλεύσεων μαρμάρων στην Ελλάδα και μελλοντικές προοπτικές. Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών.
- Ρήγας Κ. Γεωργούσης Γ. & Σουνδουλουνάκης Ν. (1990): Εργαστηριακός ποιοτικός έλεγχος μαρμάρων: Καθοριστικός παράγοντας για την επιλογή των καταλληλότερων χρήσεών τους. Πρακτικά Συνεδρίου «Το Ελληνικό Μάρμαρο» ΓΕΩΤ.Ε.Ε., Θεσσαλονίκη, 309-314. [Ορυκτολογική σύσταση και φυσικοχημικές ιδιότητες των ...](#)
- Τσιραμπίδης Α. (1996α): Τα ελληνικά μάρμαρα και άλλα διακοσμητικά πετρώματα, University studio press. Θεσσαλονίκη, 309-310. [Τα ελληνικά μάρμαρα και άλλα διακοσμητικά πετρώματα: Ανανίας Ε. Τσιραμπίδης | metabook.gr](#)
- Χατζηπαναγής Ι. & Βουγιούκας Δ. (2004): Η σημασία της λιθοστρωματογραφικής θέσης και της τεκτονικής παραμόρφωσης στον εντοπισμό και την αξιοποίηση των δολομιτικών μαρμάρων του Όρους Φαλακρού. Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ., 36(1), 63-71.
- Χατζηπαναγής Ι. & Βουγιούκας Δ. (2005): Τα μάρμαρα της Ανατολικής Μακεδονίας. Βασικοί παράγοντες που χαρακτηρίζουν την εμπορικότητά τους σαν διακοσμητικά πετρώματα.

Ποιότητες-Παραγωγή-Τιμές-Αποθέματα. 2ο Συν. Επιτρ. Οικον. Γεωλ. Ορυκτ. Γεωχ. Της ΕΓΕ, Θεσσαλονίκη, Πρακτ., 387-396.

Χατζηπαναγής Ι. (1991): Η γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής του όρους Φαλακρού. Διδακτορική διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα, 170 σελ.

Χατζηπαναγής Ι. Βουγιούκας Δ. Παπατρέχας Χ. & Μπίτζιος Δ. (2006): Μοντέλο διαχείρισης της μαρμαροφόρου περιοχής του Όρους Φαλακρού, Νομού Δράμας. Πρακτ. Ημερ. 30η ΜΑΡΜΙΝ, «Ανταγωνιστικότητα του Ελληνικού μαρμάρου στη σύγχρονη αγορά», 4 σελ.

### Διαδικτυακές πηγές

<https://www.birros.gr/>

[https://www.cat.com/en\\_US.html](https://www.cat.com/en_US.html)

<https://www.eagme.gr/>

<https://www.lameter.it/>

<https://www.benettimacchine.it/en/home>

<https://www.mining.sandvik/en/products/equipment/surface-drill-rigs/dino-dc420ri-surface-top-hammer-drill-rig/>

<https://www.husqvarnaconstruction.com/int/>

<https://www.statistics.gr>