



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**

## **ΣΧΕΔΙΑΣΗ – ΜΕΛΕΤΗ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ Π. ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ**

### **ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

<b>ΛΕΚΤΟΡΑΣ</b>	<b>ΜΙΧΑΗΛ ΓΑΛΕΤΑΚΗΣ, (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)</b>
<b>ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ</b>	<b>ΖΑΧΑΡΙΑΣ ΑΓΙΟΥΤΑΝΤΗΣ</b>
<b>ΛΕΚΤΟΡΑΣ</b>	<b>ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΑΛΕΒΙΖΟΣ</b>

**ΧΑΝΙΑ**

**ΜΑΡΤΙΟΣ, 2006**

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	i
ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	ii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
Εισαγωγή .....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
Γενικά στοιχεία του μάρμαρου .....	3
2.1. Χαρακτηριστικά του μαρμάρου .....	4
2.1.1. Είδη μαρμάρου .....	4
2.1.2. Ποιότητα μαρμάρου .....	6
2.2. Χρήσεις μαρμάρου .....	9
2.3. Το μάρμαρο στην Ελλάδα .....	11
2.3.1. Εξέλιξη του κλάδου .....	11
2.3.2. Αποθέματα .....	11
2.3.3. Ποιότητες και εξορυκτικά κέντρα .....	12
2.4. Μέθοδοι εκμετάλλευσης και εξόρυξη μαρμάρου .....	12
2.4.1. Μέθοδοι εκμετάλλευσης .....	13
2.4.2. Φάσεις εξόρυξης .....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
Γεωλογία της περιοχής εκμετάλλευσης .....	18
3.1. Η μάζα της Ροδόπης .....	18
3.1.1. Γεωτεκτονική θέση .....	18
3.1.2. Λιθοστρωματογραφία .....	18
3.1.3. Μαγματισμός .....	20
3.1.4. Τεκτονική δομή και ορογενετική εξέλιξη .....	20
3.2. Λατομικός χώρος εκμετάλλευσης .....	22



#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Παρούσα κατάσταση στην λατομική περιοχή και προτεινόμενες επεκτάσεις..	26
4.1. Στοιχεία λατομικού χώρου.....	26
4.2. Μορφολογία .....	28
4.3. Γεωλογικά και κοιτασματολογικά στοιχεία .....	29
4.4. Γεωλογικά αποθέματα .....	32
4.5. Μέθοδος εκμετάλλευσης και υπολογισμός απολήψιμων αποθεμάτων.....	32
4.6. Προσπέλαση .....	35
4.7. Μηχανικός εξοπλισμός ορύξεως .....	36
4.8. Υπάρχουσα κατάσταση εκμετάλλευσης .....	36
4.9. Προοπτικές επέκτασης.....	36

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Ποιοτικά χαρακτηριστικά του εξορυσσομένου μαρμάρου .....	40
5.1. Πετρογραφική ανάλυση .....	40
5.1.1. Ορυκτολογική σύσταση .....	41
5.1.2. Χημική ανάλυση .....	54
5.2. Φυσικομηχανικές ιδιότητες .....	58
5.2.3. Προετοιμασία δειγμάτων .....	58
5.2.2. Φαινόμενη πυκνότητα .....	60
5.2.3. Υδατοαπορροφητικότητα.....	61
5.2.4. Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη .....	61
5.2.5. Αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό .....	66
5.2.6. Μικροσκληρότητα Κnoop.....	70
5.3. Ερμηνεία αποτελεσμάτων .....	75
5.3.1. Σύγκριση δειγμάτων .....	75
5.3.2. Σύγκριση εξορυσσομένου μαρμάρου με άλλα εμπορικά μάρμαρα	76

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Μελέτη επέκτασης εκμετάλλευσης λατομείου .....	80
6.1. Στοιχεία λατομικού χώρου και μορφολογία περιοχής.....	80
6.2. Γεωλογικά και κοιτασματολογικά στοιχεία .....	83
6.3. Γεωλογικά αποθέματα .....	83

6.4. Μέθοδος εκμετάλλευσης και υπολογισμός απολήψιμων αποθεμάτων .....	85
6.5. Προσπέλαση .....	87
6.5.1. Κύρια προσπέλαση .....	87
6.5.2. Δευτερεύον οδικό δίκτυο .....	91
6.6. Προπαρασκευή λατομικού χώρου.....	91
6.6.1. Αποψίλωση του λατομικού χώρου. ....	91
6.6.2. Διάνοιξη βαθμίδων. ....	93
6.6.3. Διάνοιξη τάφρου αποστραγγίσεως. ....	93
6.7. Πορεία της εκμετάλλευσης .....	93
6.8. Εξόρυξη .....	95
6.8.1. Γενικά .....	95
6.8.2. Μηχανικός εξοπλισμός ορύξεως .....	95
6.8.3. Απασχολούμενο προσωπικό.....	95
6.8.4. Βοηθητικές εγκαταστάσεις.....	96
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	
Συμπεράσματα – Προτάσεις.....	97
7.1.Συμπεράσματα.....	97
7.2.Προτάσεις .....	97
 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	 99
 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ.....	101

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τα παρακάτω άτομα, που η βοήθεια τους ήταν πολύ σημαντική στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τον Λέκτορα κ. Μιχαήλ Γαλετάκη, που ως επιβλέπων καθηγητής, έπαιξε καθοριστικό ρόλο με τις συμβουλές και τη συνεχή υποστήριξή του στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τον Καθηγητή κ. Ζαχαρία Αγιουτάντη για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή, για τις εύστοχες παρατηρήσεις που συνέβαλαν στην επιτυχή διεκπεραίωση της εργασίας μου καθώς και για την διάθεση του εργαστηρίου της Μηχανικής Πετρωμάτων.

Τον Λέκτορα κ. Γεώργιο Αλεβίζο τόσο για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή, όσο και για την βοήθεια του κατά την έκβαση των εργαστηριακών δοκιμών.

Τον Καθηγητή κ. Γεώργιο Κωστάκη για την διάθεση του εργαστηρίου Γενικής και Συστηματικής Ορυκτολογίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους επιστημονικούς συνεργάτες Στυλιανό Μαυριγιαννάκη, Παυλίνα Ροτόντο, και Αντώνη Στρατάκη καθώς και τους παρασκευαστές Γεώργιο Αποστολάκη, και Αντώνιο Σκουνάκη για την βοήθεια που μου προσέφεραν κατά την διάρκεια των εργαστηριακών δοκιμών.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στη πρότυπη μελέτη – σχεδίαση λατομείου μαρμάρου που βρίσκεται στην περιοχή «Κερασιές» του Δ. Κοκκινογείων του Ν. Δράμας. Η εργασία περιλαμβάνει τη σχεδίαση επέκτασης του υπάρχοντος λατομικού χώρου, καθώς επίσης και τον εργαστηριακό προσδιορισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών του εξορυσσόμενου μαρμάρου.

Για την σχεδίαση της εκμετάλλευσης χρησιμοποιούνται τα λογισμικά Autocad, Cad – Overlay και LandDevelorment, στη συνέχεια υπολογίζονται τα αποθέματα μαρμάρου του επεκτανόμενου πλέον λατομικού χώρου και τέλος αναφέρονται τα προπαρασκευαστικά έργα που απαιτούνται για την έναρξη της εκμετάλλευσης.

Ο χαρακτηρισμός της ποιότητας του εξορυσσόμενου μαρμάρου, στον οποίο δίνεται και έμφαση στην εργασία, γίνεται με τον προσδιορισμό της πετρογραφικής του σύστασης και των φυσικομηχανικών του ιδιοτήτων.

Για τον σκοπό αυτό, όσον αφορά την πετρογραφική ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι της περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ, του πολωτικού μικροσκοπίου και της φασματοσκοπίας ακτίνων Χ φθορισμού τόσο σε δείγμα από το εκμεταλλεύσιμο μάρμαρο όσο και σε δείγματα εκτός των ορίων του λατομικού χώρου. Όσον αφορά τις φυσικομηχανικές ιδιότητες του εξεταζόμενου μαρμάρου, προσδιορίστηκε η φαινόμενη πυκνότητα, η υδατοαπορροφητικότητα, η αντοχή σε θλίψη και έμμεσο εφελκυσμό, το μέτρο ελαστικότητας και η μικροσκληρότητα Knoop.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας έγινε σύγκριση των ιδιοτήτων του μαρμάρου με τις ιδιότητες άλλων εμπορικών μαρμάρων και τέλος γίνονται κάποιες προτάσεις για την καλύτερη εκμετάλλευση του λατομείου μαρμάρου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### Εισαγωγή

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η διάνοιξη λατομείου μαρμάρου που βρίσκεται στην περιοχή «Κερασιές» του Δ. Κοκκινογείων του Ν. Δράμας. Η εργασία περιλαμβάνει την μελέτη – σχεδίαση της επέκτασης του υπάρχοντος λατομικού χώρου, καθώς επίσης και τον εργαστηριακό προσδιορισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών του εξορυσσομένου μαρμάρου.

Η εργασία αυτή αποτελείται από επτά κεφάλαια που έχουν ως εξής:

Το πρώτο κεφάλαιο περιγράφει το σκοπό της εργασίας και δίνει συνοπτικά το περίγραμμά της.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του μαρμάρου, τις χρήσεις του και τις διάφορες μεθόδους εκμετάλλευσης και εξόρυξής του.

Το τρίτο κεφάλαιο περιγράφει τις στρωματογραφικές και τεκτονικές ενότητες που αποτελούν την γεωλογική δομή του νομού Δράμας, όπου ανήκει η υπό μελέτη περιοχή και γίνεται περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών που εμφανίζονται στην περιοχή διάνοιξης του ορυχείου.

Στο τέταρτο κεφαλαίο περιγράφεται η παρούσα κατάσταση, όσος αφορά την εκμετάλλευση στην λατομική περιοχή και οι προοπτικές επέκτασής της.

Το πέμπτο κεφαλαίο αναφέρεται στους εργαστηριακούς προσδιορισμούς των ποιοτικών χαρακτηριστικών του μαρμάρου που θα εξορυχθεί. Αρχικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πετρογραφικής ανάλυσης, προσδιορίζεται η ορυκτολογική σύσταση και χημική του σύσταση. Στη συνέχεια περιγράφεται ο τρόπος διεξαγωγής των μετρήσεων, για τον προσδιορισμό των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων του μαρμάρου και γίνεται επεξεργασία και παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Ο πετρογραφικός προσδιορισμός του μαρμάρου πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, ενώ ο προσδιορισμός των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Το έκτο κεφαλαίο περιλαμβάνει τον σχεδιασμό επέκτασης του λατομείου με την βοήθεια των λογισμικών Autocad, Cad – Overlay και LandDevelorment.

Υπολογίζονται τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα της συνεκμετάλλευσης, ενώ παράλληλα αναφέρονται και τα προπαρασκευαστικά έργα που απαιτούνται προκειμένου να επεκταθεί η εκμετάλλευση.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εργασία και γίνονται ορισμένες προτάσεις προς την εταιρία, για περαιτέρω επενδύσεις.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Γενικά στοιχεία του μάρμαρου

Η λέξη «μάρμαρο» χρησιμοποιείται με άλλη έννοια από τους γεωεπιστήμονες και με άλλη από τους τεχνικούς ή τους ανθρώπους που το εξορύσσουν και το εμπορεύονται. Στην επιστημονική ορολογία «μάρμαρο» είναι το μεταμορφωμένο πέτρωμα, που είναι προϊόν μεταμόρφωσης των ασβεστόλιθων. Αποτελείται κυρίως από ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ) και ανθρακικό μαγνήσιο  $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ , έχει κρυσταλλική μορφή και κοκκώδη ή ζαχαρώδη υφή. Ο ασβεστόλιθος είναι ένα ιζηματογενές πέτρωμα που σχηματίστηκε αρχικά σαν ασβεστολιθική ιλύς στον πυθμένα λίμνης ή στον πυθμένα θάλασσας. Ασβεστολιθικό υλικό αποτίθεται κυρίως στις θαλάσσιες λεκάνες, μεταφερόμενο από την ξηρά. Η ασβεστολιθική ιλύς είναι χημικό ίζημα, χαρακτηρίζεται μικριτικό υλικό, με την πάροδο του χρόνου συσσωρεύεται με κλαστικό υλικό (κόκκοι χαλαζία, αστρίων, μαρμαρυγία) ή με διάφορα υπολείμματα σκελετικών απολιθωμάτων ή μη σκελετικών κόκκων (ωοειδή) και αποκτά μεγάλο πάχος. Στη συνέχεια κατά το στάδιο της διαγένεσης προκύπτει η σκλήρυνση της ασβεστολιθικής ιλύος και ο σχηματισμός του ασβεστολιθικού πετρώματος. Σε πολλές περιπτώσεις όλο το ασβεστολιθικό πέτρωμα συνίσταται από μικριτικό υλικό, με αποτέλεσμα να είναι πολύ σκληρό, να έχει κογχοειδή θραυσμό και πολύ μικρό πορώδες .

Όταν ο ασβεστόλιθος βρεθεί σε βαθύτερα σημεία του στερεού φλοιού της γης, όπου επικρατούν υψηλότερες πιέσεις και μεγαλύτερες θερμοκρασίες από τις συνήθεις, μεταμορφώνεται σε άλλο πέτρωμα. Το νέο πέτρωμα, αν και συνίσταται από το ίδιο ορυκτό, τον ασβεστίτη, έχει αλλάξει την κοκκομετρική του σύσταση. Οι αρχικοί μικροκρύσταλλοι του ασβεστίτη ανακρυσταλλώνονται και ενώνονται μεταξύ τους προς μεγαλύτερους κρυστάλλους, που είναι ευδιάκριτοι στο μικροσκόπιο. Οι κρύσταλλοι αυτοί είναι συνήθως ορατοί και με γυμνό μάτι. Το νέο αυτό πέτρωμα με τον διαφορετικό ιστό καλείται μάρμαρο.

Με τον όρο «μάρμαρο» τεχνικά εννοείται κάθε πέτρωμα που μπορεί να εξορυχθεί σε όγκους ικανών διαστάσεων, να λειανθεί και να χρησιμοποιηθεί στην μαρμαρική τέχνη. Με την εμπορική έννοια «μάρμαρο» εννοείται κάθε πέτρωμα που μπορεί να αποτελέσει εμπορικό προϊόν με τη μορφή όγκων και πλακών. Ένα

πέτρωμα για να είναι εμπορεύσιμο ως «μάρμαρο» πρέπει να πληρεί τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

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

Έτσι στην μαρμαρική τέχνη χρησιμοποιούνται τόσο τα μεταμορφωμένα (μάρμαρα, γνεύσιοι, σχιστόλιθοι, σιπολίτες) όσο τα ιζηματογενή πετρώματα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, λατυποπαγή), αλλά και τα πυριγενή (γρανίτες, μονζονίτες, γάββροι, σερπεντινίτες). Είναι λοιπόν φανερό ότι στην Ελλάδα έχουν μεγάλη εξάπλωση τα διακοσμητικά πετρώματα, αφού σε όλη τη διάρκεια της γεωλογικής της ιστορίας επηρεάστηκε από συνθήκες πελαγικής νηριτικής ιζηματογένεσης καθώς επίσης και από έντονες συνθήκες μαγματισμού, μεταμόρφωσης και ορογένεσης.

Με τις ορογενετικές διεργασίες (πτυχώσεις, ρήγματα, πιέσεις), τα ασβεστολιθικά πετρώματα καθώς επίσης και άλλα ιζηματογενή πετρώματα ανυψώνονται και δημιουργούν χέρσους ή και υψηλές οροσειρές.

Μεγάλη εξάπλωση μεταμορφωμένων και πυριγενών πετρωμάτων παρουσιάζεται στις Ελληνίδες ζώνες. Ωστόσο η εμφάνιση των ιζηματογενών πετρωμάτων παρατηρείται στις εξωτερικές Ελληνίδες ζώνες (Μουντράκης, 1985).

## **2.1. Χαρακτηριστικά του μαρμάρου**

### **2.1.1. Είδη μαρμάρου**

Όπως προαναφέρθηκε το μάρμαρο είναι μεταμορφωμένο πέτρωμα και διακρίνονται τα παρακάτω είδη:

#### **Ασβεστιτικά μάρμαρα ή γνήσια μάρμαρα**

Είναι πετρώματα που έχουν προέλθει από την μεταμόρφωση των ασβεστόλιθων και έχουν σαν κύριο ορυκτολογικό συστατικό τον ασβεστίτη ( $\text{CaCO}_3$ ).



Ο ασβεστίτης σχηματίζει κρυστάλλους με τέλειο σχισμό κατά τρεις διευθύνσεις παράλληλες προς τις έδρες ενός ρομβόεδρου. Ο σχισμός αυτός προκαλεί τις τοπικές ανακλάσεις του φωτός στις σχιστογενείς έδρες των κρυστάλλων. Έτσι το πέτρωμα αυτό είναι κατάλληλο για την κατασκευή γλυπτών αντικειμένων. Η σκληρότητα κατά Mosh του ασβεστίτη είναι 3, που σημαίνει ότι το μάρμαρο είναι μαλακό πέτρωμα. Το ειδικό βάρος του ασβεστίτη είναι  $2,7 \text{ g/cm}^3$ .

### **Δολομιτικά μάρμαρα**

Εκτός από το ορυκτό ασβεστίτη τα μάρμαρα είναι δυνατό να περιέχουν και το ορυκτό δολομίτη  $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ . Ο δολομίτης κρυσταλλογραφικά μοιάζει με τον ασβεστίτη και έχει σκληρότητα κατά Mosh  $3,5 \sim 4$ , αλλά είναι πιο εύθραυστος. Το ειδικό βάρος του δολομίτη είναι  $2,9 \text{ g/cm}^3$ . Η περιεκτικότητα των μαρμάρων σε δολομίτη ποικίλλει από 6% έως 90%. Όταν οι περιεκτικότητες των μαρμάρων σε δολομίτη είναι υψηλές, γίνεται λόγος για δολομιτικά μάρμαρα, τα οποία είναι πιο εύθραυστα, οπότε στιλβώνονται δυσκολότερα και φθείρονται ταχύτερα.

Η καθαρότητα επίσης του μαρμάρου εξαρτάται από την σύνθεση του αρχικού ιζήματος, από το είδος και τη φύση της μεταμόρφωσης αλλά και από τα φαινόμενα της μετασωμάτωσης. Μέσα στο πέτρωμα είναι δυνατόν να υπάρχουν και άλλα ορυκτολογικά συστατικά σε διάφορες ποσότητες όπως χαλαζίας, μοσχοβίτης, κερροστίλβη, χλωρίτης, βιοτίτης, αιματίτης, λειμωνίτης, γραφίτης, χαλκοπυρίτης.

Η παρουσία των ορυκτών αυτών συστατικών όταν αυτά βρίσκονται σε ικανή ποσότητα επηρεάζουν τόσο τις τεχνικές ιδιότητες, όσο και το χρώμα του μαρμάρου. Έτσι τα φυλλώδη ορυκτά που παρουσιάζονται στο μάρμαρο, όπως είναι ο μοσχοβίτης, ο χλωρίτης και άλλα, αυξάνουν την σχιστότητά του, ενώ τα έγχρωμα ορυκτά δίνουν στο μάρμαρο χαρακτηριστικές αποχρώσεις. Ο χαλαζίας όταν βρίσκεται σε μικρές ποσότητες και σε μορφή μικρών κόκκων μέσα στο μάρμαρο, αυξάνει την σκληρότητα και την αντοχή του μαρμάρου, αλλά μειώνει σημαντικά την δυνατότητα για καλή στίλβωση. Επίσης ο σιδηροπυρίτης μειώνει την αντοχή στην αποσάθρωση και δημιουργεί λεκέδες. Το χρώμα των γνήσιων μαρμάρων είναι συνήθως λευκό και μερικές φορές τεφρό.

Τα μάρμαρα διακρίνονται ως προς το μέγεθος των κόκκων του ασβεστίτη ή του δολομίτη σε:

1. *Χονδοκοκκώδη*, όταν οι κρύσταλλοι έχουν μέγεθος  $d = (2-6) \text{ mm}$ .
2. *Μεσοκοκκώδη*, όταν η διάμετρος των κόκκων είναι  $d = (0.6-2) \text{ mm}$ .

3. *Λεπτοκοκκώδη*, όταν η διάμετρος των κόκκων είναι  $d = (0.01-0.6) \text{ mm}$ .

Τα γνήσια μάρμαρα διακρίνονται στο εμπόριο και την τεχνική, ανάλογα με το μέγεθος των κρυσταλλικών τους κόκκων, το γενικό χρώμα και τα χρωματικά σχέδια. Τα λεπτοκρυσταλλικά μάρμαρα θεωρούνται ανθεκτικότερα από τα χονδροκρυσταλλικά μάρμαρα. Ωστόσο η αντοχή τους εξαρτάται και από την ιστολογική τους κατασκευή.

### 2.1.2. Ποιότητα μαρμάρου

Η ποιότητα και κατά συνέπεια η καταλληλότητα του μαρμάρου για τη χρήση του σε διάφορες κατασκευές, καθορίζεται από μια σειρά παράγοντες, οι κυριότεροι των οποίων είναι:

- Η χρωματική και αισθητική του εμφάνιση.
- Η παρουσία και συχνότητα εγκλεισμάτων και λεκέδων.
- Η ορυκτολογική του σύσταση, ο ιστός και η υφή.
- Η χημική του σύσταση.
- Οι φυσικοχημικές και τεχνικές του ιδιότητες.

#### Χρώμα και αισθητική εμφάνιση

Κυρίαρχο στοιχείο της ποιότητας στο μάρμαρο αποτελεί το χρώμα. Η εμπορική αξία του εξαρτάται από την σπανιότητα, την διάταξη, την σταθερότητα και την διάρκεια του χρώματος στο χρόνο. Το χρώμα του μαρμάρου μπορεί να προέρχεται από τα ορυκτά που το απαρτίζουν. Τότε το μάρμαρο λέγεται ιδιοχρωματικό. Όταν το χρώμα του προέρχεται από μικρές ποσότητες χρωστικών ουσιών που βρίσκονται στη μάζα του, τότε λέγεται αλλοχρωματικό.

Τα πιο συνηθισμένα ορυκτά που δίνουν λευκό χρώμα στο ιδιοχρωματικό μάρμαρο είναι ο ασβεστίτης, οι άστριοι και ο δολομίτης. Ο βιοτίτης δίνει μαύρο ή σκούρο πράσινο χρώμα και ο αμφίβολος πράσινο χρώμα. Ο χλωρίτης, ο αντιγορίτης και το επίδοτο δίνουν πράσινο ανοιχτό χρώμα. Ο αιματίτης και ο λειμωνίτης δίνουν το κοκκινωπό και κιτρινωπό χρωματισμό αντίστοιχα. Η παρουσία τέλος των οργανικών ουσιών δίνει το κίτρινο ή μαύρο χρώμα.

Ελάχιστα μάρμαρα διατηρούν το αρχικό τους χρώμα όταν είναι εκτεθειμένα για μεγάλο χρονικό διάστημα σε εξωτερικούς χώρους. Σε υγρά κλίματα, οι επιφάνειες γίνονται μουντές και καλύπτονται από μια κρούστα λιγότερο ή περισσότερο σκούρα.

Από τις χρωστικές ουσίες, οι λιγότερο σταθερές είναι οι οργανικές ουσίες. Το μαύρο χρώμα του μαρμάρου που προέρχεται από αυτές είναι πολύ ευαίσθητο και με την πάροδο του χρόνου αλλοιώνεται.

### **Ιστός και ρωγμές**

Σημαντικό για την εξόρυξη, την επεξεργασία και την διακοσμητική εμφάνιση του μαρμάρου είναι το είδος του ιστού. Ο ιστός καθορίζει τον τρόπο σύνδεσης των ορυκτών κόκκων στο πέτρωμα. Διακρίνονται οι χαρακτηριστικοί ιστοί του μαρμάρου (Νικολάου, 1999):

Άστρωτος ιστός: Ο ιστός χαρακτηρίζεται άστρωτος, εφόσον οι κόκκοι επιμήκους, πρισματικής, πλακώδους ή φυλλώδους μορφής, έχουν τυχούσα διεύθυνση στο χώρο. Ο άστρωτος ιστός έχει ως συνέπεια να παράγονται επιφάνειες θραύσης τυχαίας διεύθυνσης κατά την θραύση του μαρμάρου.

Παράλληλος ιστός: Είναι ο ιστός όπου οι κόκκοι των αναφερόμενων μορφών είναι λιγότερο ή περισσότερο προσανατολισμένοι προς μια διεύθυνση. Ο ιστός αυτός εκδηλώνει κατά την θραύση του μαρμάρου παραλληλία των θραυσιγενών επιφανειών, ανάλογη με την παραλληλία του ίδιου του ιστού.

Ο παράλληλος ιστός έχει συνέπεια, το πέτρωμα να έχει κατά τις διάφορες διευθύνσεις διαφορετική αντοχή στη συρματοκοπή, το σχίσιμο, την διάτρηση, την λείανση και την στίλβωση. Ο ιστός αυτός παράγεται από διευθυνόμενες τεκτονικές πιέσεις κατά την κρυστάλλωση ή και την ανακρυστάλλωση του πετρώματος. Στα περισσότερα γνήσια μάρμαρα ο παράλληλος ιστός οφείλεται στην ιζηματογένεση. Σε αυτή την περίπτωση ο ιστός συμπίπτει με την στρώση. Η στρώση μπορεί και αυτή να προκαλέσει ανισοτροπία στις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του μαρμάρου. Επομένως, εύκολα προκαλείται θραύση και δημιουργία ρωγμών, παράλληλα σε αυτή.

Ρωγμή είναι μια θραυσιγενής επιφάνεια λιγότερο ή περισσότερο επίπεδη, κατά μήκος της οποίας δεν έχει λάβει χώρα αισθητή μετακίνηση των εκατέρωθεν τεμαχίων. Οι ρωγμές καθορίζουν το μέγεθος του ογκόλιθου που πρόκειται να εξορυχθεί και κατά συνέπεια το κόστος της εξόρυξης. Οι ρωγμές είναι αποτέλεσμα θλιπτικών, εφελκυστικών ή/και διατμητικών τύπων παραμορφώσεων σε προϋπάρχουσες μικρορωγμές ή μακρορωγμές του πετρώματος και μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο κατηγορίες, τις συστηματικές και τις ακανόνιστες.

Οι συστηματικές είναι περισσότερο επίπεδες και δημιουργούν οικογένειες

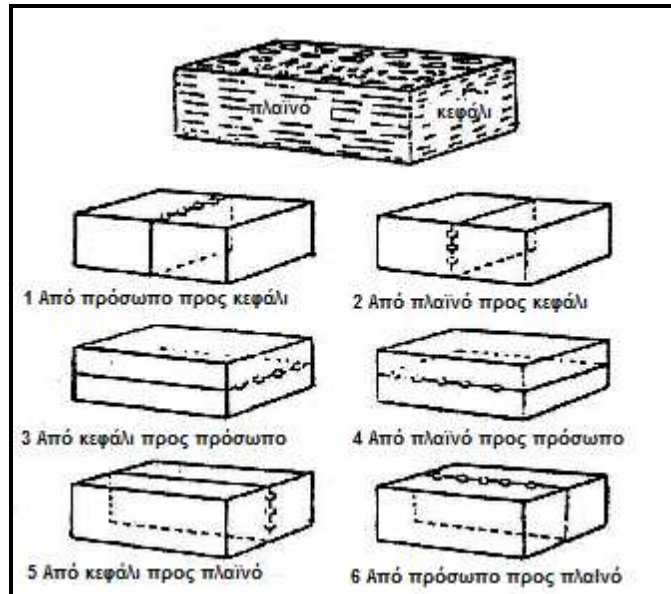
ρωγμών παράλληλων έως σχεδόν παράλληλων. Οι ακανόνιστες ρωγμές έχουν τυχαία διεύθυνση και σχηματίζονται μεταξύ των συστηματικών ρωγμών.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ρωγμών καθώς και η φύση και το πάχος του υλικού πλήρωσης τους (άργιλος ή κατακερματισμένο πέτρωμα) έχουν μεγάλη σημασία για την εξόρυξη των ογκομαρμάρων και για την ασφάλεια του προσωπικού του λατομείου. Όταν όμως οι ρωγμές πληρωθούν και επουλωθούν με ασβεστίτη, δολομίτη ή χαλαζία είναι δυνατόν να μην αποτελούν επιφάνειες μικρής αντοχής και να προσδίδουν διακοσμητικά χρωματικά σχέδια στο μάρμαρο.

Κάθε ογκόλιθος μαρμάρου παρουσιάζει μια, δυο ή τρεις κατευθύνσεις επιπέδων, περισσότερο ή λιγότερο κάθετων μεταξύ τους κατά τις οποίες το πέτρωμα ρωγματώνεται ή μπορεί να σχιστεί.

Στις κατευθύνσεις αυτές έχουν δοθεί ονόματα από τους Έλληνες λατόμους μαρμάρου. Η κατεύθυνση με την καλύτερη σχιστότητα καλείται πρόσωπο και δίνει συστηματικές ρωγμές με την καλύτερη παραλληλία. Το πρόσωπο συμπίπτει είτε με την καλύτερη σχιστότητα είτε με την στρώση του πετρώματος και είναι συνήθως επίπεδο. Κάθετα προς το πρόσωπο και παράλληλα προς την κατεύθυνση, την οποία έχουν πάρει οι επιμήκεις κόκκοι των ορυκτών, αναπτύσσεται συχνά μια σχιστότητα ατελέστερη της σχιστότητας του προσώπου που καλείται πλαϊνό (οι λατόμοι το ονομάζουν και μουρέλο) (εικόνα 2.1). Κάθετα προς το πρόσωπο και το μουρέλο, δηλαδή κάθετα προς την σχιστότητα και προς την ενδεχόμενη κατεύθυνση των επιμηκών κόκκων βρίσκεται το κεφάλι, δηλαδή η επιφάνεια εκείνη παράλληλα προς την οποία δεν υπάρχει καθόλου ή σπάνια υπάρχει μια πολύ ατελής σχιστότητα. Στην κατεύθυνση του κεφαλιού αναπτύσσονται σχεδόν μόνο ακανόνιστες ρωγμές, στις οποίες το πέτρωμα είναι συνήθως πολύ αποσπασμένο (Παπαγεωργάκης, 1967).

Εκτός από τις πιο πάνω τρεις κύριες οικογένειες συνεχειών του πετρώματος οι οποίες σχετίζονται με τον ιστό του, είναι δυνατόν να παρουσιάζονται οικογένειες ρωγμών συστηματικών ή ακανόνιστων που να διασχίζουν το πέτρωμα σε διαφορετικές κατευθύνσεις και να οφείλονται σε διαφορετικές τεκτονικές πιέσεις. Οι ρωγμές αυτές δίνουν ακανόνιστο σχήμα στον εξορυσσόμενο όγκο και για τον ορθογωνισμό του με λάξευση αφαιρείται μεγάλο ποσοστό αυτού.



Εικόνα 2.1: Επιφάνειες σχισίματος όγκου μαρμάρου. Οι κύκλοι δείχνουν την κατεύθυνση σχισίματος (Παπαγεωργάκης, 1967)

### Ορυκτολογική σύσταση και φυσικομηχανικές ιδιότητες

Εκτός από το χρώμα, τον ιστό και της ρωγμές που παρουσιάζει το μάρμαρο προκειμένου να έχουμε ολοκληρωμένη άποψη για το προϊόν που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί είναι απαραίτητη η ορυκτολογική ανάλυση και ο προσδιορισμός των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων.

### 2.2. Χρήσεις μαρμάρου

Για την εφαρμογή του μαρμάρου στις κατασκευές θα πρέπει να τονιστεί ότι η καταλληλότητα του σε μια κατασκευή δεν κρίνεται ποτέ από μια ιδιότητά του, αλλά από συνδυασμό πολλών. Επίσης η εκτίμηση της καταλληλότητάς του θα πρέπει να βασίζεται σε παρατηρήσεις της συμπεριφοράς διαχρονικά.

#### Εσωτερικές επενδύσεις

Στην επιλογή του μαρμάρου για εσωτερικές επενδύσεις, καθοριστική σημασία έχει ο διακοσμητικός παράγοντας. Έτσι το μάρμαρο θα πρέπει να επιδέχεται τέλεια λείανση. Την ιδιότητα αυτή εκπληρώνουν πολύ συμπαγή και ομοιογενή πετρώματα.

Για ειδικές χρήσεις όπως επενδύσεις λουτρών και κουζινών, η επιλογή του υλικού γίνεται με γνώμονα την αντίστασή του στις συνεχείς καταπονήσεις από το ζεστό νερό και τους ατμούς. Μάρμαρα κατάλληλα για αυτές τις χρήσεις είναι εκείνα

που συνδυάζουν μεγάλη αντοχή με μικρό συντελεστή εμποτισμού. Έτσι πολύ σπουδαία σημασία για την επιλογή υλικών στις εσωτερικές χρήσεις, παρουσιάζουν παράμετροι όπως το ειδικό βάρος, ο συντελεστής εμποτισμού και η αντοχή σε κάμψη.

### **Εξωτερικές επενδύσεις**

Η επιλογή του μαρμάρου για εξωτερικές επενδύσεις καθορίζεται από την σκληρότητα, το χρώμα του και την επεξεργασία της επιφάνειας του υλικού. Για την αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του μαρμάρου που προορίζεται στην τοποθέτηση των εξωτερικών επενδύσεων, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν οι γραμμικές δοκιμές των κυκλικών θερμοκρασιακών μεταβολών, ο προσδιορισμός του συντελεστή εμποτισμού και του συντελεστή θερμικής διαστολής. Επίσης, απαιτείται η γνώση της ομοιογένειας του υλικού. Όσον αφορά το πορώδες, η υψηλή τιμή του δεν είναι κατά ανάγκη αρνητική ένδειξη για αυτού του είδους τη χρήση.

### **Εξωτερικές δαπεδοστρώσεις**

Από άποψη χαρακτηριστικών για την επιλογή του μαρμάρου σε δαπεδοστρώσεις εξωτερικού χώρου, είναι σπουδαία η γνώση των παραμέτρων που σχετίζονται με τις αντοχές στη θλίψη πριν και μετά από θερμοκρασιακή μεταβολή, την αντοχή στην φθορά από πρόσκρουση, την αντοχή στη φθορά από τριβή, καθώς επίσης και την αντοχή στις δοκιμές κυκλικών θερμοκρασιακών μεταβολών. Οι παράμετροι αυτοί θα πρέπει να αξιολογηθούν με τα γενικά χαρακτηριστικά της ομοιογένειας του πετρώματος

### **Εσωτερικές δαπεδοστρώσεις**

Χαρακτηριστικά αναγκαία για την επιλογή του μαρμάρου στις εσωτερικές δαπεδοστρώσεις είναι η αντοχή στη φθορά από τριβή, η αντοχή στη φθορά από πρόσκρουση καθώς επίσης και η γνώση της αντοχής, της μικροσκληρότητας Κνοορ και της ομοιογένειας του υλικού.

### **Σκάλες**

Στην επιλογή του μαρμάρου για σκάλες που στηρίζονται εν μέρει, μεγάλη σημασία αποδίδεται στην ιδιότητα της αντοχής στην κάμψη. Μεγάλη σπουδαιότητα έχουν και οι χώροι τοποθέτησής του. Έτσι μελετούνται ανάλογα οι ιδιότητες των

μαρμάρων που απαιτούνται για τέτοιου είδους χρήσεις.

### **2.3. Το μάρμαρο στην Ελλάδα**

#### **2.3.1. Εξέλιξη του κλάδου**

Τα Ελληνικά μάρμαρα είναι γνωστά διεθνώς, από τις εκμεταλλεύσεις τις αρχαιότητας, όπου το μάρμαρο χρησιμοποιούνταν για καθαρά διακοσμητικούς σκοπούς, αλλά και από τις εξορύξεις που πραγματοποιήθηκαν στις αρχές του αιώνα μας σε πολλές περιοχές της Ελλάδας (Τήνος, Εύβοια, Θάσος, Πεντέλη, Σκύρος). Η ουσιαστική εξέλιξη του κλάδου αρχίζει από το 1960 παράλληλα με την εντατικοποίηση της οικοδομικής δραστηριότητας και την άνοδο του βιοτικού επιπέδου, που συντέλεσε ώστε το μάρμαρο να πάρει τη μορφή βιομηχανικού προϊόντος, ευρείας κατανάλωσης.

Σήμερα δραστηριότητες εξόρυξης ογκομαρμάρων διαφόρων τύπων και σχηματισμών, γίνονται σε πολλές περιοχές της Ελλάδας. Επίσης μεγάλος είναι ο αριθμός των επιχειρήσεων κοπής και επεξεργασίας προϊόντων μαρμάρου και ακόμη μεγαλύτερος ο αριθμός των μαρμαρογλυφείων. Ο αριθμός των επιχειρήσεων του κλάδου, μεγάλου, μεσαίου ή μικρομεσαίου μεγέθους υπολογίζεται σε 4.000 περίπου το 2004 ([www.marketing-net.gr](http://www.marketing-net.gr)).

Σήμερα οι περισσότερες επιχειρήσεις διαθέτουν ήδη σύγχρονη τεχνολογία, κύριο και βοηθητικό μηχανολογικό εξοπλισμό και μπορούν να παράγουν τελικά προϊόντα μαρμάρου κάθε είδους. Η ετήσια παραγωγή των λατομείων μαρμάρου ανέρχεται σε 2.400.000 τόνους, ενώ η παραγωγική δυνατότητα του κλάδου εκτιμάται ότι υπερβαίνει κατά πολύ τους 1.500.000 ~2.000.000 τόνους (2004) ([www.marketing-net.gr](http://www.marketing-net.gr), 2004).

#### **2.3.2. Αποθέματα**

Τα αποθέματα των μαρμάρων με βάση τα γεωλογικά στοιχεία του Ελληνικού χώρου (δυνατά αποθέματα), χαρακτηρίζονται από πολλούς μελετητές σαν πρακτικά ανεξάντλητα. Για τα βέβαια όμως εκμεταλλεύσιμα αποθέματα, μέχρι σήμερα δεν υπάρχει κανένα αξιόπιστο στοιχείο, επειδή μικροί ή μικρομεσαίοι φορείς της εκμετάλλευσης δεν είναι σε θέση να υιοθετήσουν τις απαραίτητες ερευνητικές

εργασίες, σαν πρώτο στάδιο της ανάπτυξης ενός λατομείου μαρμάρου. Έτσι περιορίζονται σε δοκιμαστικές εκμεταλλεύσεις, με βάση τις επιφανειακές ενδείξεις και εμπειρικές εκτιμήσεις.

Υπάρχουν όμως και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την εκμεταλλευσιμότητα των κοιτασμάτων μαρμάρων και καθιστούν δυσχερείς τους υπολογισμούς των αποθεμάτων. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι οι επιπτώσεις της εκμετάλλευσης στο φυσικό περιβάλλον, η δυνατότητα που παρέχει το νομικό και ιδιοκτησιακό καθεστώς για τον περιορισμό της λατομικής δραστηριότητας, το ασύμφορο της εκμεταλλεύσεως ορισμένων τύπων μαρμάρου γιατί άλλοι παρεμφερείς εξορύσσονται πλησιέστερα σε καταναλωτικά κέντρα.

### **2.3.3. Ποιότητες και εξορυκτικά κέντρα**

Οι κυριότερες ποιότητες μαρμάρων και οι περιοχές στις οποίες εμφανίζονται στην Ελλάδα διακρίνονται στην εικόνα 2.2.

Ένα από τα πιο σημαντικά Ελληνικά κέντρα εξόρυξης, κοπής και κατεργασίας μαρμάρου, είναι η ευρύτερη περιοχή της Δράμας, Καβάλας, Θάσου. Έχουν εγκατασταθεί και έχουν δραστηριοποιηθεί πολλές από τις μεγαλύτερες επιχειρήσεις του κλάδου. Ορισμένες από αυτές συγκαταλέγονται μεταξύ των μεγαλύτερων της Ευρώπης. Στα βουνά της περιοχής υπάρχουν αποθέματα λευκών και ημίλευκων μαρμάρων, όπως είναι τα λευκά της Θάσου, τα μάρμαρα Βόλακας, Άριστον, Νέστου. Στη ζώνη αυτή εξορύσσονται ετησίως περισσότερα από 200000 m<sup>3</sup> όγκων μαρμάρων. Επίσης, η ευρύτερη περιοχή της Αττικής είναι ένα από τα μεγαλύτερα κέντρα εξόρυξης και κατεργασίας μαρμάρου στην Ελλάδα.

### **2.4. Μέθοδοι εκμετάλλευσης και εξόρυξη μαρμάρου**

Για τον σωστό σχεδιασμό της εκμετάλλευσης, ενός λατομείου μαρμάρου και τον προσδιορισμό της αξίας ενός μαρμαροφόρου κοιτάσματος, εκτός του δυναμικού της αγοράς και του κόστους εξόρυξης, θα πρέπει να διερευνηθεί η ποσότητα και η ποιότητα των μαρμάρων που μπορούν να παραχθούν. Η έρευνα λοιπόν θα δώσει τα στοιχεία για την γεωμετρία του κοιτάσματος, την παράταξη, την διεύθυνση και την κλίση, την έκταση και τη συνέχεια της μαρμαροφορίας. Επίσης δίνει τα απαραίτητα στοιχεία του σχεδιασμού της εκμετάλλευσης του κοιτάσματος (υπαίθρια ή υπόγεια),



τον τρόπο ανάπτυξης των εργασιών εκμετάλλευσης (προσπέλαση, αποκάλυψη, κυρίως εξόρυξη) και την επιλογή του κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού.



Εικόνα 2.2: Μαρμαροφόρες περιοχές της Ελλάδας (ΠΓΜΕ - Δ/ση κοιτασματολογίας – Τμήμα Μαρμάρων)

#### 2.4.1. Μέθοδοι εκμετάλλευσης

Κριτήρια για την επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης είναι κατά κύριο λόγο η σχέση αποκάλυψης της εκμετάλλευσης δηλαδή, ο όγκος των στείρων υλικών αποκάλυψης προς τον όγκο εμπορεύσιμου μαρμάρου.

Τα κοιτάσματα που υπάρχουν στην Ελλάδα εμφανίζονται κυρίως σε στρωματοειδή μορφή μικρού, μεσαίου ή μεγάλου πάχους, με κλίση στρωμάτων οριζόντια ή παραοριζόντια. Συνήθως σε κοιτάσματα μαρμάρων όπου το πάχος των υπερκείμενων στείρων είναι μικρό εφαρμόζεται επιφανειακή εκμετάλλευση ορθών διαδοχικών βαθμίδων. Σε περιπτώσεις όμως που υπάρχουν μικρού πάχους κοιτάσματα με μεγάλο πάχος στείρων και κοιτάσματα όπου η επιφανειακή εκμετάλλευση σταματά λόγω απότομης μεταβολής της κλίσης του πετρώματος είναι αναγκαία η επιλογή της υπόγειας εκμετάλλευσης.

Ακόμη, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κοιτάσματος η επιφανειακή εκμετάλλευση μπορεί να λάβει χώρα με τη μορφή (Πασχαλίδου, 1995):

1. Ανοιχτού τύπου
2. Κλειστού τύπου

Η μέθοδος των διαδοχικών βαθμίδων κλειστού τύπου εφαρμόζεται με ευνοϊκά αποτελέσματα όταν προγραμματιστεί ως εξέλιξη σε βάθος μια εκμετάλλευσης ανοιχτού τύπου και εάν υφίσταται μεγάλα περιθώρια λειτουργίας του λατομείου.

Η μέθοδος των διαδοχικών βαθμίδων ανοιχτού τύπου, που είναι και η πιο διαδεδομένη, επιλέγεται όταν υφίστανται οι παρακάτω προϋποθέσεις:

1. Μεγάλη μαρμαροφόρο επικάλυψη
2. Μικρό πάχος υπερκείμενων στρωμάτων
3. Λοφώδης μορφολογία

#### **2.4.2. Φάσεις εξόρυξης**

Κατά τα διάφορα στάδια της εξόρυξης χρησιμοποιούνται μέθοδοι και μηχανολογικός εξοπλισμός σύγχρονης τεχνολογίας, ενώ γίνεται προσπάθεια προσαρμογής αυτών στα δεδομένα του κάθε λατομείου. Στη συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά οι τυπικές φάσεις εξόρυξης λατομείου (Νικολάου, 1999):

1. Προσπελάσεις: Αφορούν τη διάνοιξη του βασικού δικτύου δρόμων, που προσεγγίζουν το κοίτασμα και τα μέτωπα εργασίας. Διακρίνονται ο κύριος δρόμος προσπέλασης, ανάλογα με τη θέση του λατομείου ως προς το πιο κοντινό υπάρχον οδικό δίκτυο και οι δευτερεύουσες εσωτερικές προσπελάσεις. Το κόστος της κύριας προσπέλασης, ίσως είναι το μόνο που προσδιορίζεται με ακρίβεια από την αρχή.
2. Αποκάλυψη: Οι φορείς της εκμετάλλευσης των μαρμάρων αποφεύγουν τα

κοιτάσματα μαρμάρου, που από την πρώτη θεώρηση απαιτούν σημαντικές αποκαλύψεις, λόγω του κόστους των εργασιών και της αβεβαιότητας του κοιτάσματος. Συνήθως το πάχος των υπερκείμενων στείρων στα λατομεία που ανοίγονται, κυμαίνεται από μηδέν μέχρι λίγα μέτρα.

3. Προπαρασκευή: Η φάση αυτή της εκμετάλλευσης έχει σκοπό την προετοιμασία των προς εξόρυξη όγκων μαρμάρου. Πολύ συχνά η φάση αυτή, είναι ενιαία με αυτή της εξόρυξης, ανάλογα με τους κοιτασματολογικούς χαρακτήρες του μαρμάρου και την εφαρμοζόμενη κατά την εξόρυξη τεχνολογία.
4. Μέθοδοι εξόρυξης: Η εξόρυξη είναι η πιο ουσιαστική φάση της εκμετάλλευσης. Κατά την φάση αυτή γίνεται η παραγωγή των ογκομαρμάρων. Οι διάφορες τεχνικές μέθοδοι εξόρυξης που εφαρμόζονται στην Ελλάδα, αλλά και αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία είναι:
  - Εξόρυξη με χρήση πεπιεσμένου αέρα
  - Εξόρυξη με χρήση συρματοκοπής (εικόνα 2.3)
  - Εξόρυξη με αλυσοπρίονο
  - Εξόρυξη με JET φλόγας
  - Εξόρυξη με JET νερού
5. Αποκόλληση εξορυχθέντων όγκων – Μετακίνησή τους προς την πλατεία: Κατά τον αποχωρισμό των ογκομαρμάρων από το μητρικό πέτρωμα (εικόνα 2.4), λόγω του μεγάλου όγκου τους δεν είναι δυνατή η απευθείας μεταφορά προς τις μονάδες επεξεργασίας. Έτσι επιβάλλεται η κοπή τους σε κανονικές διαστάσεις, όπως επίσης και ο ορθογωνισμός τους. Οι όγκοι αυτοί απομακρύνονται από το μέτωπο, ελέγχονται από όλες τις πλευρές για να διαπιστωθεί η υγεία τους και ανάλογα κόβονται σε εμπορεύσιμες διαστάσεις.
6. Ορθογωνισμός των όγκων: Είναι η εργασία κοπής των χαρακτηριστικών επιφανειών του μαρμάρου όταν αυτές είναι ακανόνιστες (κεφάλι, μουρέλο, πρόσωπο). Αποσκοπεί στον καθαρισμό του μαρμάρου από φυσικά ελαττώματα, που ενίοτε παρουσιάζονται στις διάφορες επιφάνειες καθώς επίσης και στη μορφοποίηση των όγκων σε εμπορεύσιμες διαστάσεις. Παράλληλα με τον ορθογωνισμό εντοπίζονται και τα κρυφά ελαττώματα του μαρμάρου, όπως είναι οι κομμοί και τα σπασίματα.



Εικόνα 2.3: Εξόρυξη με συρματοκοπή



Εικόνα 2.4: Αποχωρισμός ογκομαρμάρου από μητρικό πέτρωμα

7. Αποκομιδή – Απόρριψη στείρων εκμετάλλευσης: Το μέγεθος των στείρων υλικών των εξορύξεων μιας εκμετάλλευσης, μερικές φορές καθορίζει τη λειτουργία ενός λατομείου. Για τα πλούσια κοιτάσματα μαρμάρων, τα στείρα δεν συνιστούν μεγάλο πρόβλημα. Έτσι εκτός από την πιθανή προσθήκη ενός φορτηγού αυτοκινήτου στον ήδη υπάρχοντα εξοπλισμό,

δεν απαιτείται ιδιαίτερος μηχανολογικός εξοπλισμός για την αποκομιδή τους.

8. Φόρτωση – Μεταφορά όγκων: Η φόρτωση των όγκων στα φορητά γίνεται ως εξής:

- Απευθείας φόρτωση στα φορητά, με την χρησιμοποίηση ελαστικοφόρου ή ερπυστριοφόρου φορτωτή.
- Με ράμπες, εμπρός των οποίων στέκεται το φορητό και ο φορτωτής ωθεί τον όγκο στο φορητό.
- Φόρτωση με την χρησιμοποίηση σταθερών περιστρεφόμενων γερανών μεγάλης ανυψωτικής ικανότητας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Γεωλογία της περιοχής εκμετάλλευσης

Η περιοχή όπου εκτείνεται ο λατομικός χώρος, του οποίου μελετάται η εκμετάλλευση βρίσκεται στην περιοχή Κερασίες του Δήμου Κοκκινογείων του Νομού Δράμας. Η περιοχή αυτή όσον αφορά την γεωλογία της, αποτελεί τμήμα της μάζας της Ροδόπης, που εκτείνεται από τη Θράκη έως και τμήμα της Κεντρικής Μακεδονίας.

#### 3.1. Η μάζα της Ροδόπης

##### 3.1.1. Γεωτεκτονική θέση

Στη μάζα της Ροδόπης ανήκει η Θράκη, η Ανατολική Μακεδονία με δυτικό όριο τη γραμμή του Στρυμόνα ποταμού, η Θάσος, καθώς και ένα τμήμα της Βουλγαρίας.

Σήμερα, για την περιοχή της Ροδόπης γίνεται γενικότερα αποδεκτή η άποψη του Dimitron (1995), που την ονόμασε «Μάζα της Ρίλα – Ροδόπης» από τις ομώνυμες οροσειρές της Βουλγαρίας και της Ελλάδας.

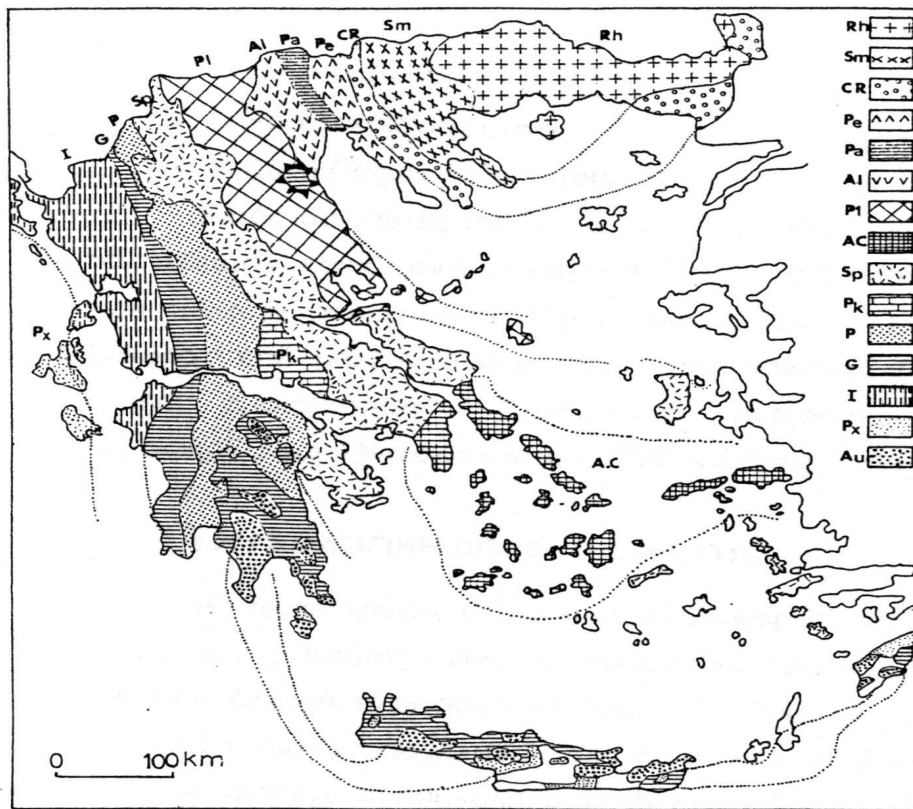
Ο γεωτεκτονικός χαρακτήρας της Ρίλα – Ροδόπης, σύμφωνα με τα πιο νέα μοντέλα λιθοσφαιρικών πλακών για την εξέλιξη της Μεσογείου, είναι καθαρά ηπειρωτικός και θεωρείται ότι η προέλευση της μάζας είναι από την πλάκα της Λαυρασίας.

##### 3.1.2. Λιθοστρωματογραφία

Η δυσκολία για την ολοκληρωμένη μελέτη της μάζας της Ροδόπης και την οριστική γεωλογική τοποθέτησή της οφείλεται στην έλλειψη σαφούς στρωματογραφίας και γενικότερα ιζηματογενών πετρωμάτων. Η όλη μάζα κυριαρχείται από κρυσταλλοσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα

Η πρώτη μελέτη της Ελληνικής Ροδόπης έγινε από τον Osswald (1938) ο οποίος διαίρεσε το κρυσταλλοσχιστώδες σε τέσσερις σειρές (ορίζοντες), που από τις βαθύτερες προς τις ανώτερες είναι οι εξής (Μουντράκης, 1983):





Εικόνα 3.1. Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιοωίας, Pa : Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας)=Ζώνη Αζιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικο-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παχών ή Προαπούλια, Au: Ενότητες <<Ταλέα όρη – πλακώδεις ασβεστόλιθοι>> πιθανόν της Ιονίου ζώνης. (Μουντράκης, 1985).

1. Η σειρά Ε των γνευσίων της βάσης με πάχος περίπου 7 km κατέχει τη Δυτική Ροδόπη και περιλαμβάνει κατά σειρά μοσχοβιτικούς γνεύσιους, βιοιτιτικούς και διμαρμαρυγιακούς γνεύσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, αμφιβολίτες και λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων και σιπολίνων. Η σειρά αυτή είναι μια παλιά ιζηματογενής σειρά με βαθμιαία μετάβαση προς την υπερκείμενη σειρά μαρμάρων.
2. Η σειρά F των μαρμάρων που εκτείνεται στην Ανατολική Μακεδονία μέχρι το Νέστο. Αποτελείται κυρίως από μάρμαρα με ενστρώσεις σιπολινών, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων, ασβεστούχων μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και αμφιβολιτών. Το πάχος της σειράς υπολογίζεται σε  $5\frac{1}{2}$  – 7 km.

3. Η σειρά G των μαρμαρυγιακών σχιστολίθων που εμφανίζεται στην περιοχή του Νέστου με πάχος 5 km και αποτελείται από μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους που συχνά μεταπίπτουν σε γνεύσιους, ενώ σπάνια παρεμβάλλονται και αμφιβολίτες καθώς και φακοί μαρμάρων.
4. Η σειρά H των σχιστολίθων και μαρμάρων που αναπτύσσεται στη ΒΑ πλευρά του Νέστου, με πάχος περίπου τα 3 km και συνιστάται κυρίως από σχιστόλιθους και μάρμαρα.

Τις δυο παλιότερες σειρές E και F ο Osswald θεωρεί ηλικίας Αλγωγκίου, ενώ τις δυο νεώτερες G και H τοποθετεί στο Κάτω Κάμβριο. Η μεταμόρφωση αυτών των ιζημάτων είχε λήξει το Λιθανθρακοφόρο.

### 3.1.3. Μαγματισμός

Στη μάζα «Ρίλα – Ροδόπης» πολύ σημαντική είναι η παρουσία όξινων πυριγενών πετρωμάτων, πλουτωνιτών και ηφαιστιτών.

Οι πλουτωνίτες είναι κυρίως γρανίτες (μοσχοβιτικοί, βιοτιτικοί, και κεροστιλβικοί), γρανοδιορίτες, χαλαζιακοί μονζονίτες και διορίτες. Η ηλικία των πλουτωνιτών έχει διαπιστωθεί με πολλές ραδιοχρονολογήσεις ως Ηωκαινική – Ολιγοκαινική. Οι κυριότεροι πλουτωνικοί όγκοι της Ελληνικής Ροδόπης είναι του Παγγαίου, του Παρανεστίου, της Ξάνθης, της Σαμοθράκης, της Ελατίας και Καβάλας – Συμβόλου.

Τα ηφαιστειακά πετρώματα της Ελληνικής Ροδόπης είναι κυρίως ρυόλιθοι, ανδεσίτες, δακίτες και δολερίτες και κατανέμονται κατά το μεγαλύτερο μέρος τους σε δυο περιοχές εμφανίσεων: μια στην περιοχή Φερρών – Σαππών του Έβρου και μια βόρεια της Ξάνθης στα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα. Η ηλικία της ηφαιστειότητας είναι ανάλογη με τον πλουτωνισμό δηλαδή Ηωκαινική – Ολιγοκαινική.

### 3.1.4. Τεκτονική δομή και ορογενετική εξέλιξη

Παρόλο που η μάζα της Ροδόπης συγκροτείται από κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα, από ορισμένους ερευνητές είχε από παλιά εκφραστεί η υπόνοια για αλπικές επιδράσεις επί των σχηματισμών της.

Οι υπόνοιες αυτές επαναλήφθηκαν με τις νεώτερες έρευνες του P. Kronberg και των συνεργατών του (1969 – 71) που έγιναν στην περιοχή μεταξύ Νέστου και



Στρυμόνα (Μουντράκης, 1983).

Σύμφωνα με αυτές, σε όλη την περιοχή μεταξύ Νέστου και Στρυμόνα τα πετρώματα μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες της υποφάσης χαλαζία – αλβίτη – επίδοτου – βιοτίτη της πρασινοσχιστολιθικής φάσης, εκτός από τη βορειότερη περιοχή όπου η μεταμόρφωση έγινε σε συνθήκες χαλαζία – αλβίτη – επίδοτου – αλμανδίνου.

Όσον αφορά τους μεγάλους πλουτωνικούς όγκους της Ροδόπης, διακρίνονται σε σχέση με την κύρια πτύχωση της περιοχής σε συνκινητικούς, βραδυκίνητους και μετακινητικούς.

Πτύχωση, μεταμόρφωση, και πλουτωνισμός στην περιοχή αυτή της Ροδόπης είναι, κατά τον Kronberg και τους συνεργάτες του, αλπικής ηλικίας και τοποθετείται ειδικότερα μεταξύ Κάτω Κρητιδικού και Ολιγοκαίνου.

Οι απόψεις όμως αυτές φαίνονται να συγκρούονται με έρευνες που έγιναν στην Βουλγαρική Ροδόπη, όπου καθορίστηκε η ηλικία του κρυσταλλοσχιστώδους σαν Προκάμβριος έως Κατωπαλαιοζωική όπως επίσης και με ορισμένα απολιθώματα κοραλλιών ηλικίας Ορδοβισίου – ηλικία απολιθωμάτων που αμφισβητείται εν μέρει – που βρέθηκαν στην περιοχή της Δράμας από την ίδια ομάδα ερευνητών.

Οι διαφορές αυτές των παρατηρήσεων οδήγησαν τον Kronberg στην διατύπωση της εξής θεωρίας για την μάζα της Ροδόπης: η Βόρεια Ροδόπη (κυρίως στη Βουλγαρία) χαρακτηρίζεται σαν «Παλαιο – μάζα Ροδόπης» που διαμορφώθηκε στις προαλπικές πτυχώσεις ή και στο Προκάμβριο. Αυτή έπαιξε τον ρόλο των εσωτερικών κρυσταλλικών μαζών γύρω από τις οποίες περιπτυχώθηκαν και συγκολλήθηκαν νέες κρυσταλλικές μάζες που διαμορφώθηκαν στις αλπικές πτυχώσεις και συνιστούν τη «Νέο – μάζα της Ροδόπης» (κυρίως τη Νότια Ελληνική Ροδόπη).

Πιο πρόσφατες έρευνες διαχωρίζουν τη μάζα της Ελληνικής Ροδόπης σε δυο τεκτονικές μονάδες (εικόνα 3.2): την ανώτερη «ενότητα του Σιδηρόνερου» στα βόρεια κατά μήκος των ελληνοβουλγαρικών συνόρων και την κατώτερη «ενότητα του Παγκαίου» που καταλαμβάνει τη δυτική, νοτιοδυτική Ροδόπη.

Η ενότητα Σιδηρόνερου αποτελείται κυρίως από ορθογενείς, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, αμφιβολίτες, λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων και μιγματίτες.

Η ενότητα Παγγαίου συγκροτείται από έναν κατώτερο ορίζοντα με

ορθογνεύσιους, σχιστόλιθους και αμφιβολίτες, ένα μεσαίο οριζοντα μαρμάρων μεγάλου πάχους και ένα ανώτερο οριζοντα με εναλλαγές σχιστολίθων και μαρμάρων (Μουντράκης, 1983).

Η ενότητα του Σιδηρόνερου εφίππεύει την ενότητα Παγγαίου από Βορρά προς Νότο κατά μήκος μιας μεγάλου μήκους τεκτονικής γραμμής γενικής διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ (περίπου  $110^{\circ}$ ).



Εικόνα 3.2: Τεκτονικό σκαρίφημα της μάζας της Ροδόπης. 1: Μεταλικά ιζήματα, 2: ενότητα Παγγαίου, 3: ενότητα Σιδηρόνερου, 4: σχηματισμοί της Περιροδοπικής ζώνης, 5: γραμμή επώθησης (Μουντράκης, 1985).

### 3.2. Λατομικός χώρος εκμετάλλευσης

Όπως προαναφέρθηκε ο λατομικός χώρος βρίσκεται στην θέση Κερασιές του Δήμου Κοκκινογείων του Νομού Δράμας και ανήκει στο τμήμα της μάζας της Ροδόπης που εκτείνεται στην Ανατολική Μακεδονία. Ως εκ τούτου στην ευρύτερη ορεινή περιοχή, όπως φαίνεται και στον γεωλογικό χάρτη (εικόνα 3.3α-β) η παρουσία του μαρμαροφόρου οριζοντα είναι κυριαρχική.

Χωροθετικά, ο λατομικός χώρος βρίσκεται σε μέτριο υψόμετρο, περίπου 350 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, με σχετικά μικρές κλίσεις του ανάγλυφου.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που παρατηρούνται στην ευρύτερη περιοχή είναι

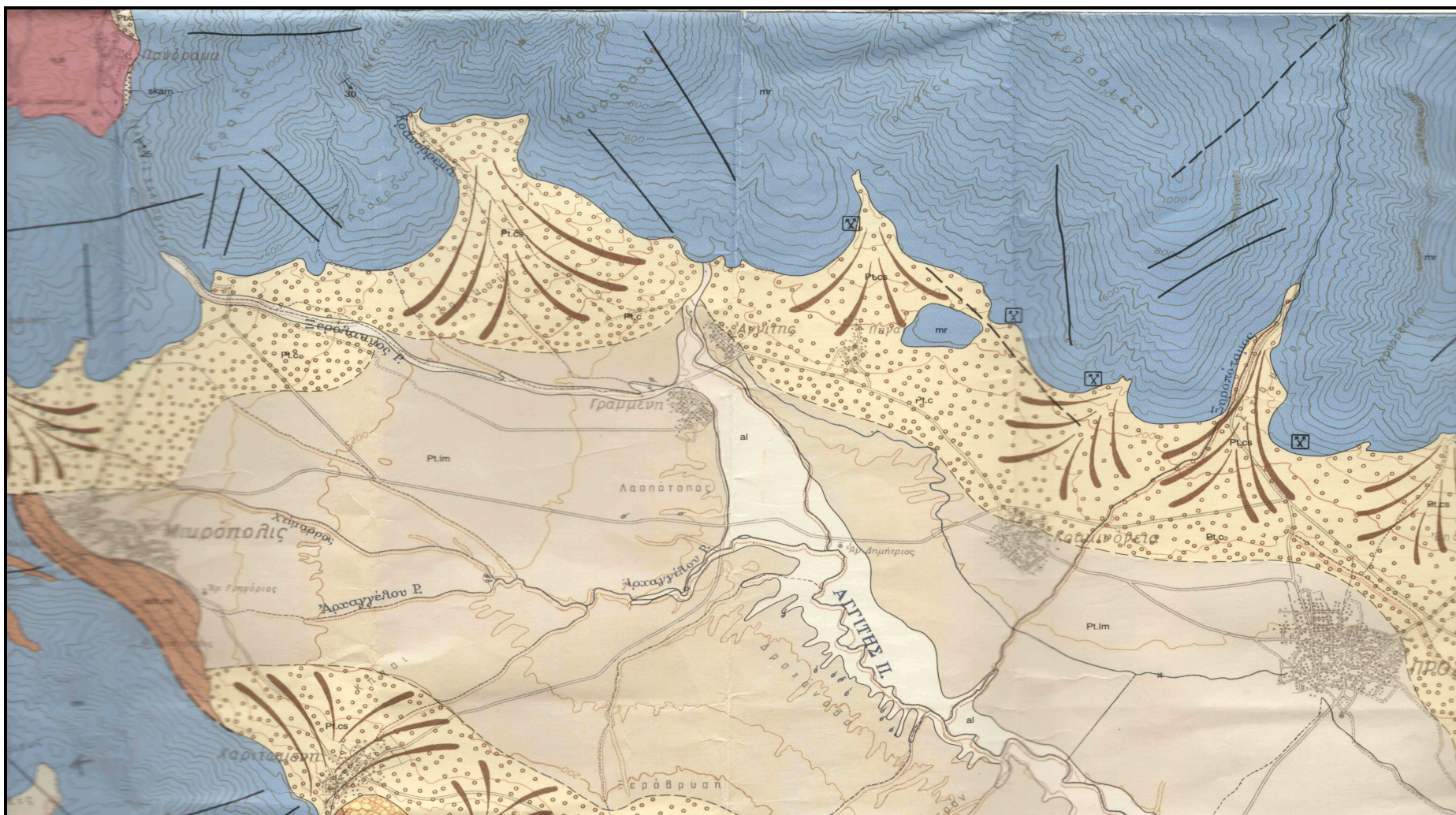
(Φύλλο Προσοτσάνης, Ι.Γ.Μ.Ε., 1982):

α) Άμμοι, άργιλοι, ψηφίδες (al) και άλλα προϊόντα αποσάθρωσης μεταμορφωμένων πετρωμάτων, κυρίως των γνευσίων και σχιστόλιθων.

β) Πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων (Pt.cs) κροκαλοπαγή έως κροκαλολατυπαπαγή από μάρμαρο μικρής έως μεγάλης συνεκτικότητας με συνδετικό υλικό από ερυθρά αμμούχα άργιλο.

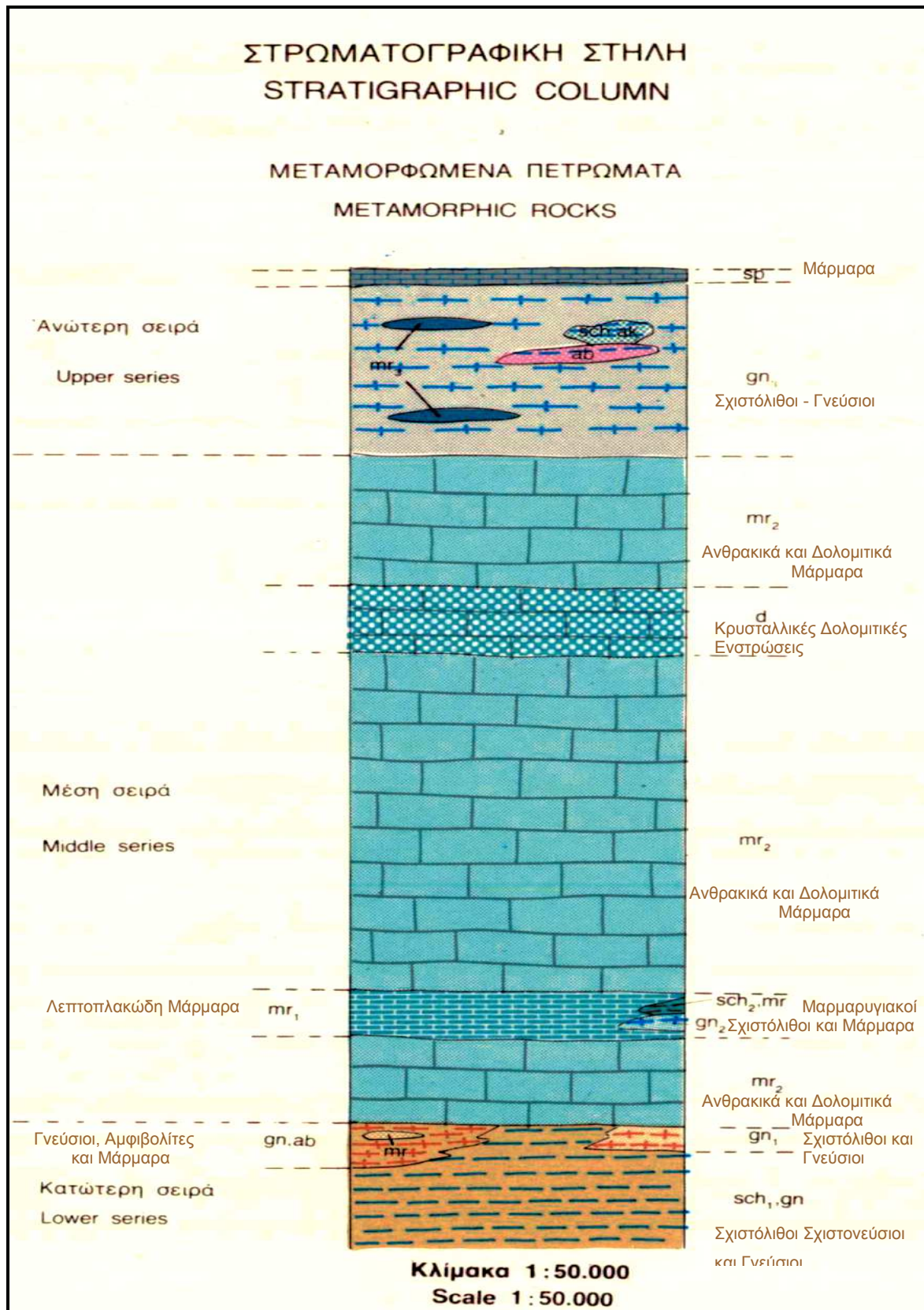
γ) Βασικό κροκαλολατυποπαγές (Pt.c) αδιαβάθμητο, συνεκτικό χρώματος ιώδους, αποτελούμενο από λατύπες γνεύσιου , αμφιβολιτικού σχιστόλιθου, σχιστογνεύσιου και χαλαζία. Κάθεται απευθείας πάνω στο μεταμορφωμένο σύστημα της περιοχής.

δ) Μάρμαρα δολομιτικά (mr), λευκά έως υπόλευκα καλά στρωμένα, κυρίως μικροκρυσταλλικά με φαιά σύννεφα. Συμπαγή έως στρωσιγενή και κατά θέσεις πλακοειδή πάχους 1500 – 1800 m.



Εικόνα 3.3: α) Γεωλογικός χάρτης από βασικό χάρτη της Ελλάδος, φύλλο Προσοτσάνης, (για υπόμνημα βλέπε εικόνα 3.3.β) Ι.Γ.Μ.Ε., 1982





Εικόνα 3.3:β) Στρωματογραφική στήλη μεταμορφωμένων πετρωμάτων ευρύτερης περιοχής  
Νομού Δράμας, Ι.Γ.Μ.Ε., 1982

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Παρούσα κατάσταση στην λατομική περιοχή και προτεινόμενες επεκτάσεις

Ο λατομικός χώρος εκμεταλλεύεται από την εταιρία Μάρμαρα Παπαδημητρίου & Σια Ο.Ε με έδρα τα Κοκκινόγεια Δράμας. Η εκμετάλλευση ξεκίνησε προ πέντε ετών και η εταιρία αποσκοπεί στην έρευνα νέων εκτάσεων στην ίδια περιοχή με το υπάρχον λατομείο, προκειμένου να εξασφαλίσει μεγαλύτερα αποθέματα για εξόρυξη στο μέλλον λόγω της ποιότητας και εμπορικότητας του εξορυσσόμενου μαρμάρου.

#### 4.1. Στοιχεία λατομικού χώρου

Η γεωγραφική θέση της λατομικής έκτασης εντοπίζεται περί τα 2 km βορείως της Κοινότητας Κοκκινογείων Δράμας στη θέση «Κερασιές», και 20 km δυτικά της Δράμας, όπως φαίνεται στον τοπογραφικό χάρτη (Εικόνα 4.1).

Αναπτύσσεται σε υψόμετρο 350 m περίπου πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Σε διάγραμμα ορθογώνιων αζιμουθιακών συντεταγμένων, ο λατομικός χώρος περικλείεται από τα σημεία του πίνακα 4.1, με συντεταγμένες στο Κ.Φ.Χ. ΔΡΑΜΑΣ (Εικόνα 4.2) κλίμακας 1:100.000, με:

$$\Phi = 41^{\circ} \text{ \& } 15'$$

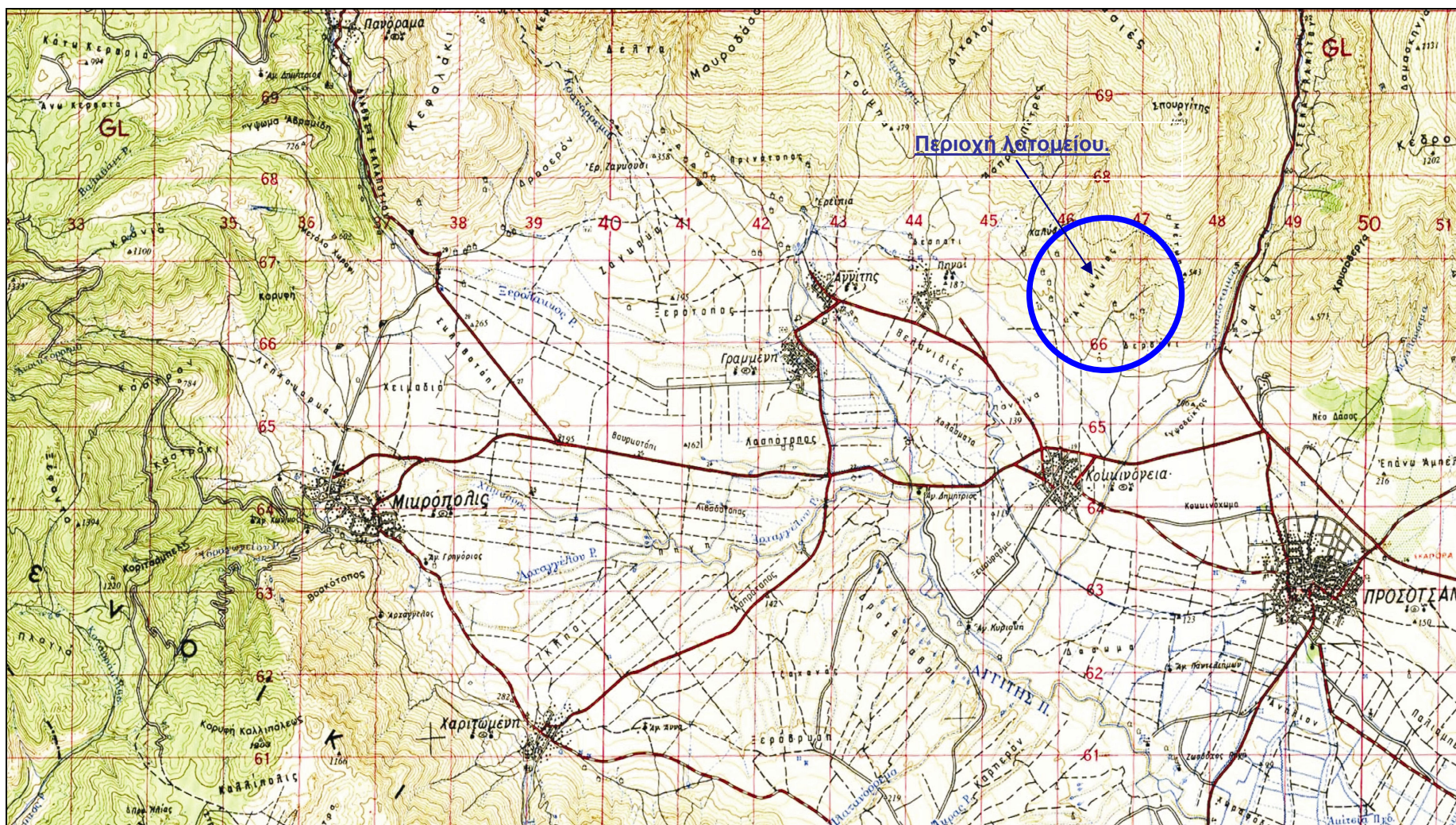
$$\lambda = +0^{\circ} \text{ \& } 15'$$

Πίνακας 4.1: Συντεταγμένες των σημείων που οριοθετούν τον λατομικό χώρο(Φέσσας, 1995).

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΟΡΙΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ		
ΚΟΡΥΦΗ	Χ	Ψ
A	-2158,09	-4312,78
B	-1965,98	-4368,40
Γ	-2035,51	-4608,54
Δ	-2227,62	-4552,92

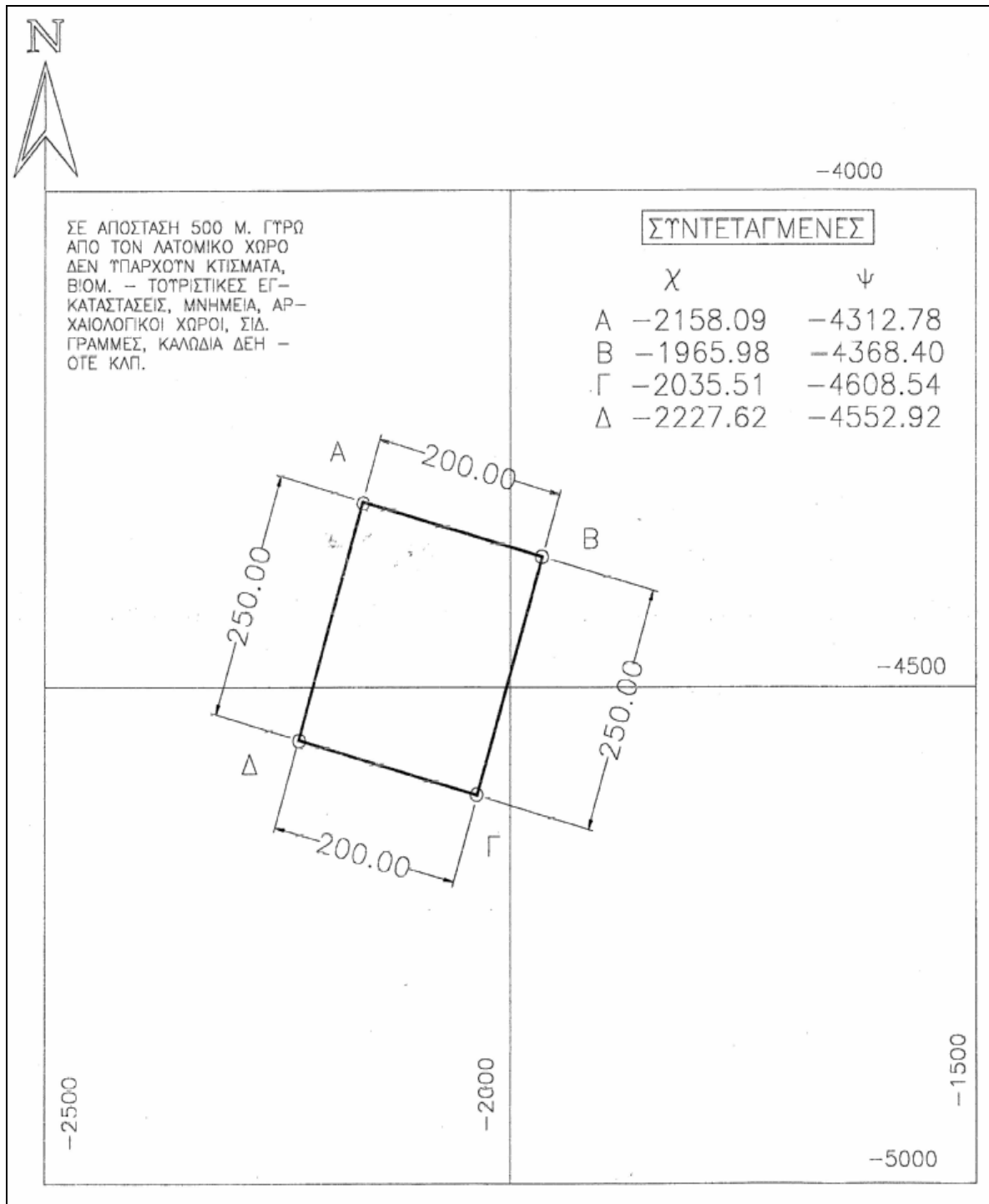
Το συνολικό εμβαδόν που περικλείεται από τα παραπάνω σημεία, είναι 50.000 m<sup>2</sup> (Φέσσας, 1995).





Εικόνα 4.1: Απόσπασμα τοπογραφικού χάρτη ευρύτερης περιοχής λατομικού χώρου κλίμακας 1:100.000 (Φέσσας, 1995)



ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Εικόνα 4.2: Τοπογραφικό διάγραμμα λατομικού χώρου (Φέσσας, 1995)

**4.2. Μορφολογία**

Η περιοχή βρίσκεται σε μέτριο υψόμετρο, περίπου 350 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, με σχετικά μικρές κλίσεις του ανάγλυφου.

Προσφέρεται μόνο σαν βοσκοτόπος αιγοπροβάτων, γιατί το έδαφος είναι



ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

βραχώδες με πενιχρή θαμνώδη βλάστηση, κυρίως πουρναριού.

Δεν παρουσιάζει κανένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον επιστημονικό, οικολογικό, αισθητικό και βρίσκεται μακριά από αστικά κέντρα και κατοικημένες περιοχές. Στην περιοχή απαντώνται ο οικισμός Πηγών και η Κοινότητα Κοκκινογείων των οποίων οι κάτοικοι απασχολούνται, κατά πλειοψηφία, σαν εργάτες στα λατομεία της περιοχής ή με κτηνοτροφικές εργασίες.

### 4.3. Γεωλογικά και κοιτασματολογικά στοιχεία

Από τη γεωλογική και κοιτασματολογική έρευνα της λατομικής και της αμέσου επιρροής της περιοχής, ο μόνος σχηματισμός που συναντήθηκε είναι τα μάρμαρα. Στην εικόνα 4.3 παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης καθώς και μια γεωλογική τομή του λατομικού χώρου (Φέσσας, 1995).

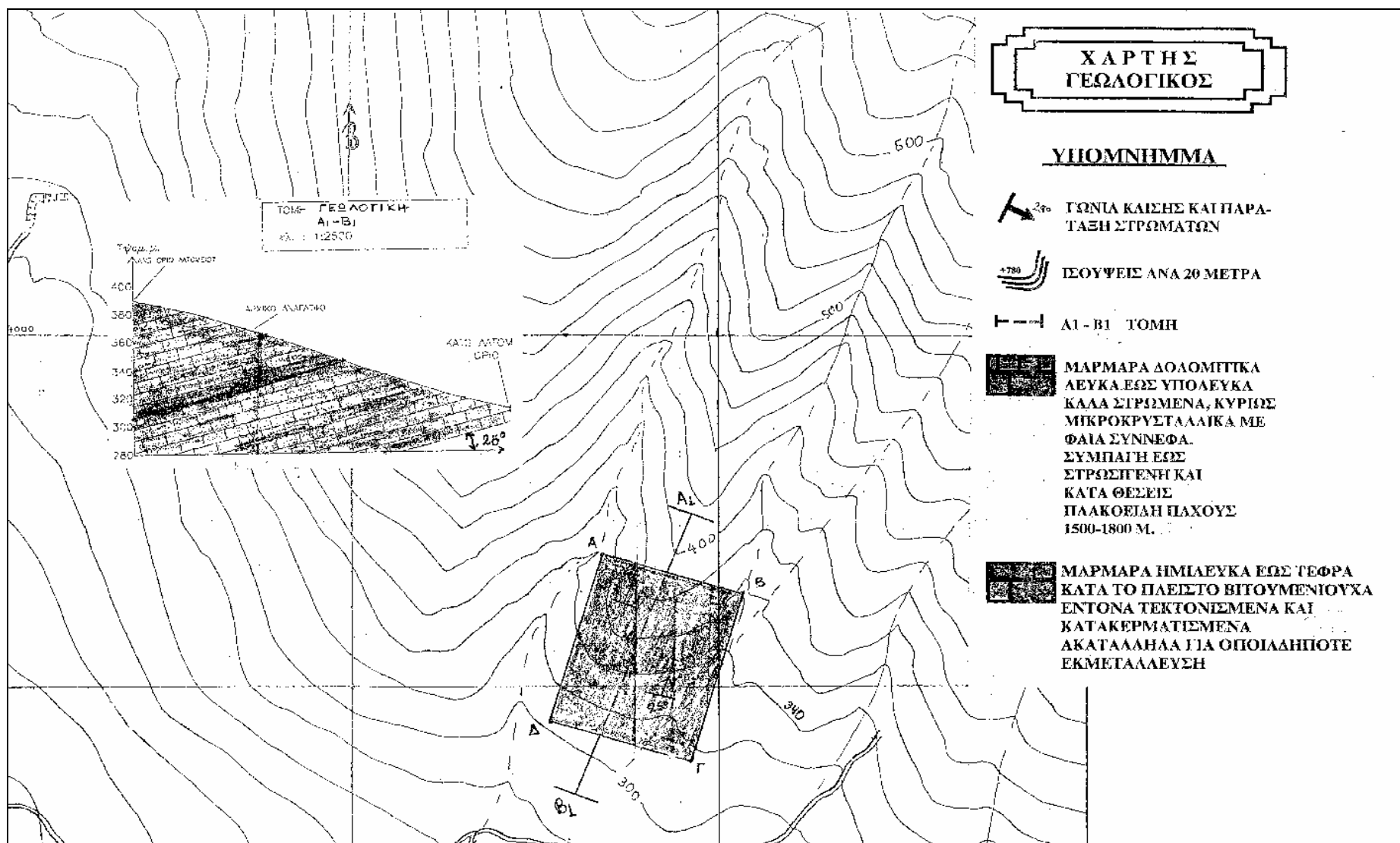
Αυτά τα μάρμαρα αποτελούν τμήμα της κρυσταλλοσχιστόδους μάζας της Ροδόπης, που εκτείνεται από τη Θράκη έως και τμήμα της Κεντρικής Μακεδονίας και είναι Παλαιοζωικής ηλικίας (βλέπε, Κεφάλαιο 2).

Από διπλανά λατομεία ελήφθησαν δείγματα, τα οποία υποβλήθηκαν σε βιομηχανική κατεργασία και έλεγχο, που έδωσαν ικανοποιητικά συμπεράσματα (αποτελέσματα). Η χημική σύσταση και οι φυσικομηχανικές ιδιότητες των μαρμάρων της περιοχής, σύμφωνα με τις αναλύσεις που έγιναν στο ΙΓΜΕ, είναι οι παρακάτω:

#### 1. Χημική σύσταση:

• CaO	34.80%	
• MgO	20.60%	
• Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00%	CaCO <sub>3</sub> : 7.50% (ασβεστίτης)
• Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00%	
• SiO <sub>2</sub>	0.04%	CaMg(CO <sub>3</sub> ) : 92.50% (δολομίτης)
• K <sub>2</sub> O	0.05%	
• Na <sub>2</sub> O	0.15%	SiO <sub>2</sub> : 0.04% (χαλαζίας)
• MnO	0.02%	
• CO <sub>2</sub>	43.40%	

Τα παραπάνω αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων δείχνουν ότι πρόκειται για ένα καθαρά δολομιτικό μάρμαρο και το ενδιαφέρον στην περιοχή αυτή



Εικόνα 4.3: Γεωλογικός χάρτης και γεωλογική τομή λατομικού χώρου (Φέσσας, 1995)

ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

εντοπίζεται στα προαναφερθέντα δολομιτικά μάρμαρα που στην παραπάνω περιοχή καταλαμβάνουν πολύ μεγάλες εκτάσεις.

Μακροσκοπικά, το πέτρωμα φαίνεται συμπαγές και αδρόκοκκο, χαρακτηριστικού λευκού χρώματος, με λίγα γκρίζα σύννεφα χωρίς ξένες προσμίξεις.

Το πέτρωμα δεν εμφανίζει ίχνη αποσάθρωσης ή αποχρωματισμού και μπορεί να χαρακτηριστεί υγιές. Ο ιστός του πετρώματος μπορεί να χαρακτηριστεί ως ολοκρυσταλλικός και η υφή του ως ακανόνιστη. Στο μικροσκόπιο το πέτρωμα φαίνεται σαν μονόμικτο, έτσι ώστε η ελάχιστη παρουσία 7.5% ασβεστίτη προσδιορίστηκε με τη βοήθεια ακτίνων Χ και της χημικής ανάλυσης. Επίσης κατά την μικροσκοπική μελέτη δεν παρατηρήθηκαν εγκλείσματα άλλων ορυκτών.

2. Φυσικομηχανικές ιδιότητες:

Λήψη δοκιμών κατά DIN 52101. ΕΛΟΤ 747, 748 [3, 4, 8]

- ειδικό βάρος (φαινόμενο) DIN 52102 2834 kg/m<sup>3</sup>
- υδροαπορροφητικότητα DIN 52103 0.20%
- αντοχή σε παγετό κατά DIN 52104 μετά την επίδραση 20 φορές του παγετού δεν παρουσιάστηκε καμία βλάβη (απώλεια μάζας)
- αντοχή σε θλίψη κατά DIN 52105 1353 kg/cm<sup>2</sup> (136,66 MPa)
- αντοχή σε αποτριβή κατά DIN 52108 (μετά από 1000 μ.) 5.96 mm
- αντοχή σε κάμψη κατά DIN 52112 12.5 N/mm<sup>2</sup>

Το μικροπορώδες των δολομιτικών μαρμάρων δίνει μικρή υδατοαπορρόφηση ενώ η απουσία προσμίξεων ξένων χημικών ουσιών δίνουν υψηλή αντοχή στη θλίψη (σχετικά κοντά στο άνω όριο για τα μάρμαρα που είναι 1500 kg/cm<sup>2</sup> – 151,51 MPa). Η αντοχή είναι καλή και οφείλεται στην καλή συνοχή των κρυστάλλων.

Τα μάρμαρα της υπό μελέτης περιοχής είναι δολομιτικής ορυκτολογικής σύστασης. Η διάταξη των κρυστάλλων δεν παρουσιάζει έντονο προσανατολισμό, με αποτέλεσμα το μάρμαρο να παρουσιάζει ελάχιστη ανισοτροπία των μηχανικών του ιδιοτήτων και κατά συνέπεια να παρουσιάζει ομοιόμορφη συμπεριφορά κατά την επεξεργασία του.

Από τεκτονικής πλευράς διαπιστώνεται ότι το κοίτασμα δεν έχει επηρεαστεί, τόσο από έντονα μακροτεκτονικά φαινόμενα, όπως το υπάρχον ρήγμα, πτυχώσεις, εφίππευσεις, τα οποία θα μπορούσαν να επηρεάσουν δυσμενώς το κοίτασμα, όσο και από μικροτεκτονικές διαταραχές, δηλαδή το μάρμαρο παρουσιάζεται «καθαρό» από κάθε είδους ασυνέχειες (κομμοί, σπαθιές, μικροσπές) καθώς και από άλλα

ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

«ξένα» βλαβερά και ανεπιθύμητα στοιχεία, όπως του χαλαζία ή και άλλων πυριτικών και μεταλλικών προσμίξεων.

Το υπάρχον σύστημα διακλάσεων έχει μεταβαλλόμενες διαστάσεις από 1 – 8,5 m, ενώ τα επίπεδα ιζηματογένεσης έχουν μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους και η όλη εντύπωση είναι ότι μπορούν να εξορυχτούν μεγάλοι όγκοι μαρμάρων με καλό συντελεστή απόληψης έως και 20 % (Φέσσας, 1995).

**4.4. Γεωλογικά αποθέματα**

Ο υπολογισμός των πιθανών γεωλογικών αποθεμάτων του υπό μελέτη λατομικού χώρου, έγινε με τη μέθοδο των παράλληλων τομών. Θεωρήθηκε ότι το τμήμα του λατομικού όπου θα γίνει η εκμετάλλευση, είναι μαρμαροφόρος περιοχή και δεν έχουν δημιουργηθεί ουδόλως εκσκαφές εκμετάλλευσης. Τα γεωλογικά αποθέματα του μαρμάρου για το σύνολο του λατομικού χώρου υπολογίζονται σε 365.475 m<sup>3</sup>.

**4.5. Μέθοδος εκμετάλλευσης και υπολογισμός απολήψιμων αποθεμάτων**

Η μέθοδος εκμετάλλευσης προβλέπει το σύνολο των εργασιών που απαιτούνται για την ασφαλέστερη, οικονομικότερη, και αποδοτικότερη απόληψη των ογκομαρμάρων.

Περιλαμβάνει την τεχνολογία μέσων και μεθόδων εξόρυξης για τη μηχανοποίηση όλων των φάσεων παραγωγής, με προοπτική την καλύτερη χρήση των κλασικών μηχανημάτων εξόρυξης των ογκομαρμάρων και τον περιορισμό, κατά το δυνατό, της χρήσης εκρηκτικών, τόσο στο στάδιο της εξόρυξης όσο και κατά τη φάση της αποκάλυψης του κοιτάσματος.

Επίσης, προβλέπεται η εξασφάλιση της διακίνησης των μηχανημάτων, υλικών (εμπορεύσιμα ογκομάρμαρα ή στείρα) και των ατόμων (προσωπικό).

Κατά την διάρκεια της υπαίθριας εκμετάλλευσης γίνεται προσπάθεια για λιγότερη ζημία από την απόθεση των στείρων, τόσο στα υγιή μαρμαροφόρα κοιτάσματα, όσο και για μετέπειτα αποκατάσταση του περιβάλλοντος, έτσι ώστε αυτό να μην υποβαθμίζεται.

Λόγω της μορφολογίας και των υφιστάμενων κοιτασματολογικών και

ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

γεωτεκτονικών συνθηκών του πετρώματος εφαρμόζεται στην περίπτωση αυτή η μέθοδος των ανεξάρτητων μετώπων σε διάφορα ύψη.

Η μέθοδος αυτή εξασφαλίζει την ασφάλεια του προσωπικού (εργατών), των χρησιμοποιούμενων μέσων, καθώς και την ορθολογική εκμετάλλευση του κοιτάσματος (οικονομία ογκομαρμάρων, οικονομία χρημάτων).

Η διάταξη των μετώπων είναι περίπου παράλληλη με τις ισοϋψείς.

Η εξόρυξη των ογκομαρμάρων επιδιώκεται να γίνεται με σταθερές διαστάσεις, για την καλύτερη επεξεργασία τους στο σχιστήριο αφ' ενός και αφετέρου για την ελαχιστοποίηση του στείρου υλικού προς απόρριψη.

Έτσι, προτείνονται για την εξόρυξη οι εξής διαστάσεις των ογκομαρμάρων:

$$6 \text{ m (βάθος)} \times 1.80 \text{ m (πλάτος)} \times 8 \text{ m (ύψος)}$$

Το ύψος του ογκομαρμάρου, ανάλογα με τη φύση του πετρώματος κατά τη διάρκεια της μορφοποίησης του όγκου, επιδιώκεται να χωρίζεται, έτσι ώστε να λαμβάνουμε 12 ογκομάρα στις επιθυμητές διαστάσεις:

$$2 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 1.80 \text{ m} = 7.2 \text{ m}^3$$

Το μήκος των ογκομαρμάρων επιλέγεται να έχει τη διεύθυνση του πετρώματος (παράταξη), για να έχουμε πιο υγιείς όγκους κατά την εξόρυξη και να παρακολουθούμε τη διεύθυνση του κοιτάσματος.

Έτσι μ' αυτές τις συνθήκες μπορούμε να λάβουμε τυποποιημένο υλικό σε πλάκες των εξής διαστάσεων:

$$\begin{array}{lll} 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} & 40 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} & 60 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \\ 40 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} & 80 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} & 80 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \end{array}$$

Για τη διαμόρφωση των μετώπων αυτών χρησιμοποιούνται, τόσο για την απόσπαση την όγκων, όσο και για την διαμόρφωσή τους (μορφωμένοι όγκοι), αερόσφυρες και συρματοκοπές αυτοκινούμενες επί σιδηροτροχιών. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η εξόρυξη με χρησιμοποίηση αδαμαντοφόρου συρματοκοπής είναι:

- ✓ Μεγαλύτερη παραγωγικότητα.
- ✓ Αύξηση αποληψιμότητας του κοιτάσματος.
- ✓ Μείωση εργασιών ορθογωνισμού.
- ✓ Καλύτερη εποπτεία του κοιτάσματος.
- ✓ Έλεγχο ποιότητας εξορυσσόμενων όγκων.
- ✓ Καλύτερες συνθήκες εργασίας για το προσωπικό.

ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

- ✓ Ασφάλεια λόγω κατάργησης των εκρηκτικών.
- ✓ Μικρότερο κόστος.
- ✓ Αποδέσμευση εξάρτησης από ειδικευμένο προσωπικό που συνεχώς σπανίζει.

Πεδίο εφαρμογής αποτελούν τα κοιτάσματα με υψηλό συντελεστή απόληψης. Ειδικά στα περισσότερα κοιτάσματα δολομιτικών μαρμάρων της Βόρειας Ελλάδας, όπου ο τεκτονισμός είναι μικρός και η ύπαρξη ασυνεχειών είναι μικρή και σπάνια, αποτελεί τον μοναδικό τρόπο εξόρυξης και αξιοποίησης αυτών των κοιτασμάτων, δεδομένου ότι η εξόρυξη εκεί με τη χρήση εκρηκτικών υλών θα προκαλέσει σημαντικές φθορές στα μάρμαρα.

Η αρχή της μεθόδου στηρίζεται στη δημιουργία λύσεων συνέχειας του πετρώματος με τομές από το σύρμα διαμαντέ. Και εδώ, για την αποδοτικότερη λειτουργία του συστήματος απαιτούνται τρεις ελεύθερες επιφάνειες (κεφάλι, μουρέλο, πρόσωπο). Στον προς εξόρυξη όγκο πετρώματος, που οι διαστάσεις του είναι καθορισμένες και είναι πολλαπλάσια των διαστάσεων όγκου που μπορούν να δεχθούν τα μηχανήματα επεξεργασίας, ορύσσονται διατρήματα συντρέχοντα κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στις τρεις επιφάνειες που επιδιώκεται η τομή. Εν συνεχεία, το σύρμα διαμαντέ «αγκαλιάζει» την επιφάνεια που πρόκειται να κοπεί μέσω των δυο κάθε φορά συντρεχόντων διατρημάτων και περιστρεφόμενο από τη συρματοκοπή επιτυγχάνει την τομή της επιφάνειας. Ενδείκνυται, όταν γίνονται οι τομές και στις τρεις επιφάνειες, να προηγείται η οριζόντια τομή, ώστε να μην υπάρξει κίνδυνος εγκλωβισμού του σύρματος. Ενίοτε όταν υπάρχει μια επιφάνεια ασυνέχειας, κυρίως η μια από τις δυο κατακόρυφες, τότε πραγματοποιούνται οι δυο μόνο τομές. Το μέγεθος των επιφανειών που κόβονται με το αδαμαντοφόρο σύρμα, προτιμάται να είναι μεγάλο, δεδομένου ότι έχουν λυθεί τα προβλήματα κίνησης του σύρματος, έτσι ώστε με τη μείωση των νεκρών χρόνων από τις μετακινήσεις της συρματοκοπής να αυξάνει η αποδοτικότητα του συστήματος.

Οι διατιθέμενες στην αγορά συρματοκοπές, προέλευσης κυρίως Ιταλίας, είναι εφοδιασμένες με μεγάλους κινητήρες των 40 – 60 HP.

Η όρυξη των διατρημάτων και η σύγκλισή τους για το πέρασμα του σύρματος διαμαντέ γίνεται είτε με κοινές αερόσφυρες των 24 Kg με στελέχη ολόσωμα ή διαιρούμενα των 40 mm είτε με Wagon Drill με διάμετρο κοπτικού άκρου 2” – 2 ½”.

Συνολικά, πρόκειται να διανοιχτούν πέντε βαθμίδες. Η πρώτη, Λβ1, έχει

ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

δάπεδο το υψόμετρο 378 m και στη συνέχεια ακολουθούν οι υπόλοιπες χαμηλότερες βαθμίδες, σε μια φθίνουσα υψομετρική διαφορά ανά 8 m η μια από την άλλη έως την Λβ5 με υψόμετρο 346 m που εξελίσσεται σε τελική πλατεία. Μόνο σε περίπτωση που κρίνεται αναγκαίο κάποια βαθμίδα υποδιαιρείται σε υποβαθμίδες των 3 – 4 m αναγκαίες προκειμένου οι εκμεταλλευτές να παρακολουθούν τις φυσικές ρωγματώσεις του μαρμάρου και να τοποθετούν τα μηχανήματα παράλληλα με τις ρωγματώσεις αυτές, ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα κατά την αποκόλληση των ογκομαρμάρων. Το πλάτος των βαθμίδων κατά την διάρκεια των εργασιών είναι 12 m κατ' ελάχιστο και το ύψος του μετώπου 8 m.

Με βάση τα προαναφερθέντα υπολογίζεται το προς απόληψη κοίτασμα μαρμάρου και στείρων in situ.

Οι σχετικές ποσότητες ανέρχονται σε :

⇒ Απολήψιμο κοίτασμα μαρμάρου :  $226.225 \text{ m}^3$

⇒ Όγκος χώρου απόθεσης στείρων  $209.562 \text{ m}^3$

Με δεδομένου ότι ο συντελεστής αποληψιμότητας του κοιτάσματος ανέρχεται σε 0,20, προκύπτει ότι οι όγκοι που θα διακινηθούν προς εμπορία ανέρχονται σε  $226.225 \times 0,20 = 45.245 \text{ m}^3$  ογκομαρμάρων.

Δεχόμενοι ότι ο συντελεστής αποληψιμότητας σε ακανόνιστους όγκους (ξωφάρια) θα είναι 0,20, τότε εκτός από τους  $45.245 \text{ m}^3$  όγκους ορθογωνισμένων μαρμάρων θα παραχθούν και  $(226.225 - 45.245) \times 0,20 = 36.196 \text{ m}^3$  περίπου ξωφάρια.

Ο συνολικός όγκος στείρων που απαιτούνται να διακινηθούν, ανέρχεται σε  $(226.225 - 45.245 - 36.196) = 144.784 \text{ m}^3$  (Φέσσας, 1995)).

#### **4.6. Προσπέλαση**

Ο δρόμος που χρησιμοποιείται για την προσπέλαση στο λατομείο, είναι πολύ καλής βατότητας και αυτό γιατί από τον δρόμο αυτό γίνεται και η προσπέλαση και σε άλλα λατομεία, που βρίσκονται σε λειτουργία στην γύρω περιοχή. Ο παραπάνω δρόμος συνδέει τον λατομικό χώρο με τη διερχόμενη επαρχιακή οδό Δράμας – Κοκκινογείων – Πηγών και έχει μήκος 2 km.

Κατά διαστήματα και ειδικότερα μετά την χειμερινή περίοδο, λόγω των βροχοπτώσεων, είναι απαραίτητη η κατά τμήματα επίστρωση του δρόμου με λατύπες μικρής κοκκομετρίας που προέρχονται από την μορφοποίηση των

ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

ογκομαρμάρων στο λατομείο (Φέσσας, 1995).

**4.7. Μηχανικός εξοπλισμός ορύξεως**

Ο μηχανολογικός εξοπλισμός που διατίθεται στον λατομικό χώρο είναι:

1. Αερόσφυρες τύπου BOHLER Αυστρίας που λειτουργούν με χρήση πεπιεσμένου αέρα ελαφρού τύπου για να είναι ευκολόχρηστες (24 Kg βάρους), για την όρυξη των συντρεχόντων διατρημάτων. Η πίεση κάθε αερόσφυρας είναι 6 bar και η απαιτούμενη κατανάλωση αέρα 371 lt/sec.
2. Αεροσυμπιεστής τύπου SULLAIR LMC 2855, για την τροφοδοσία των αερόσφυρων.
3. Δυο συρματοκοπές τύπου PELEGRINI TDD 80, για την αποκόλληση του ογκομαρμάρου από το μητρικό πέτρωμα και τον περαιτέρω τεμαχισμό του.
4. Ερπυστριοφόρος φορτωτής CATERPILAR 977 L 48J.
5. Ερπυστριοφόρος τσάπα OHRENSTEIN OK RH 12.

Επίσης, στο λατομείο απασχολούνται τρία άτομα προσωπικό, ένας χειριστής των χωματουργικών μηχανημάτων και δυο άτομα για την διάνοιξη διατρημάτων και τον χειρισμό των συρματοκοπών.

**4.8. Υπάρχουσες εκσκαφές**

Στον λατομικό χώρο μέχρι τώρα έχουν διαμορφωθεί τρεις βαθμίδες (Εικόνα 4.8). Το ύψος κάθε βαθμίδας φτάνει τα 8 m και το πλάτος τα 12 m.

**4.9. Προοπτικές επέκτασης**

Σύμφωνα με τους γεωλογικούς χάρτες (εικόνες 3.3 και 4.3) το κοίτασμα μαρμάρου που είναι κατάλληλο για εκμετάλλευση εμφανίζεται περίπου στα 343 m, γεγονός που υποδεικνύει το υψόμετρο προκειμένου η εκμετάλλευση να είναι οικονομικώς συμφέρουσα και οι παραγόμενοι όγκοι να είναι εμπορεύσιμοι.

Ακόμη, από την εικόνα 4.3 παρατηρείται ότι ο λατομικός χώρος βρίσκεται μεταξύ δυο χαραδρών, η μια εκ των οποίων είναι αρκετά απότομη, οι οποίες περιορίζουν την εκατέρωθεν επέκταση του λατομικού χώρου.



ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο λατομικός χώρος μπορεί να επεκταθεί μόνο προς μεγαλύτερα υψόμετρα προκειμένου η εκμετάλλευση να είναι ευκολότερη όσον αφορά την γεωλογία της περιοχής και προσοδοφόρα όσον αφορά την ποιότητα του εκμεταλλεύσιμου πετρώματος.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, σε διάγραμμα ορθογώνιων αζιμουθιακών συντεταγμένων, ο νέος λατομικός χώρος, όπου θα επεκταθεί η εκμετάλλευση και ο οποίος περικλείει τον υπάρχον λατομικό χώρο, οριοθετείται από τα παρακάτω σημεία (Πίνακας 4.4), με συντεταγμένες στο Κ.Φ.Χ. ΔΡΑΜΑΣ (Εικόνα 4.4) κλίμακας 1:100.000, με:

$$\Phi = 41^{\circ} \text{ \& } 15'$$

$$\lambda = +0^{\circ} \text{ \& } 15'$$



*Εικόνα 4.8: Άποψη λατομικού χώρου*

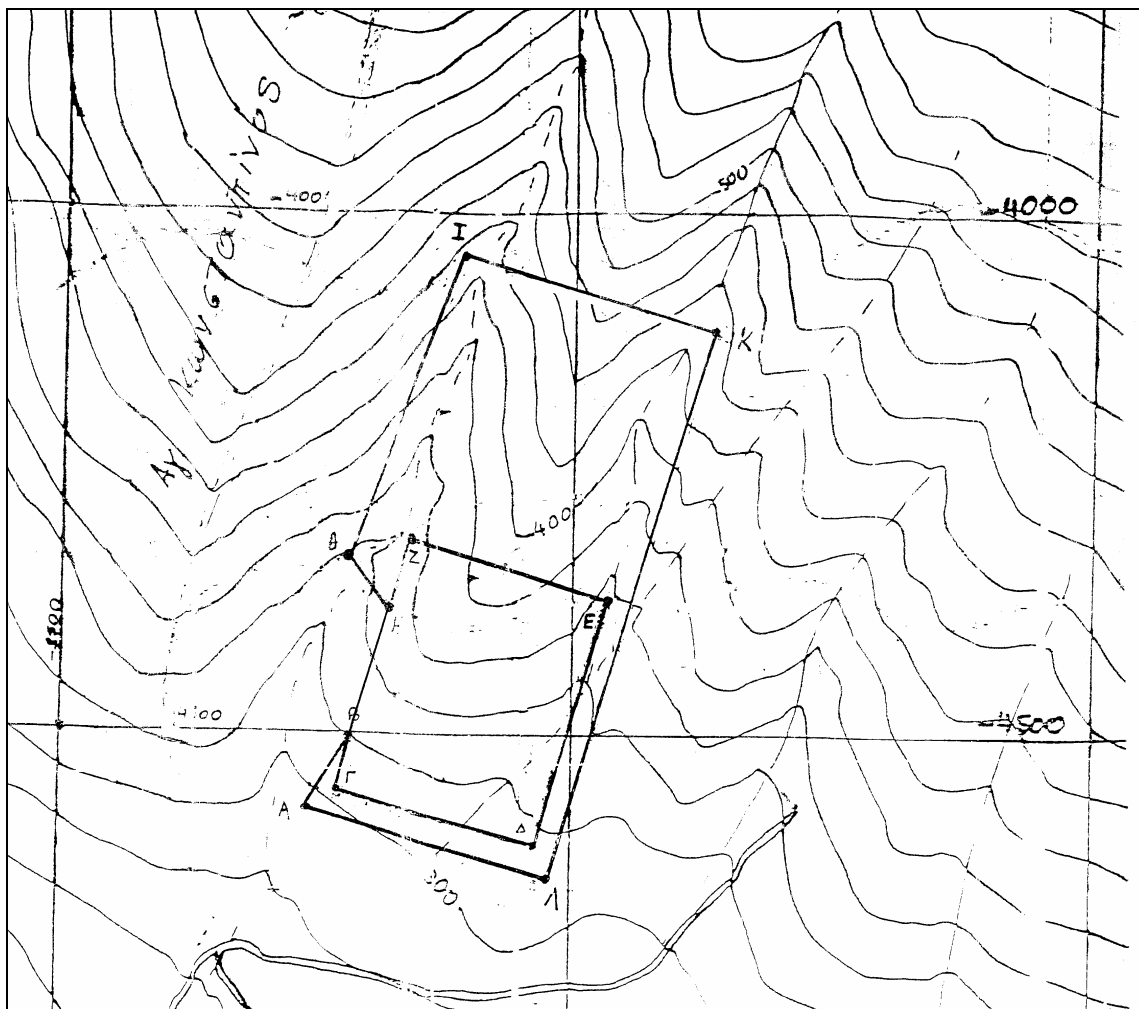
ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Πίνακας 4.4: Συντεταγμένες επέκτασης λατομείου

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΟΡΙΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ		
ΚΟΡΥΦΗ	X	Ψ
A	-2254,52	-4570,74
B	-2213,35	-4503,62
Γ	-2227,62	-4552,92
Δ	-2035,51	-4608,54
E	-1965,98	-4368,40
Z	-2158,09	-4312,78
H	-2178,46	-4383,14
Θ	-2220,28	-4332,57
I	-2109,63	-4045,65
K	-1868,41	-4115,50
Λ	-2818,92	-4635,35

Το συνολικό εμβαδόν που περικλείεται από τα παραπάνω σημεία, είναι 85.600 m<sup>2</sup>.

ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ



Εικόνα 4.4: Τοπογραφικό διάγραμμα επέκτασης λατομικού χώρου

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### Ποιοτικά χαρακτηριστικά του εξορυσσομένου μαρμάρου

Οι μέχρι τώρα πληροφορίες που αφορούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του εξορυσσομένου μαρμάρου προέρχονται από δείγματα γειτονικών λατομείων. Προκειμένου λοιπόν να προσδιοριστεί επακριβώς η ποιότητα του υπό μελέτη μαρμάρου πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές δοκιμές όσον αφορά την πετρογραφική ανάλυση και τις φυσικομηχανικές ιδιότητες σε δείγμα μαρμάρου (δείγμα Α) που λήφθηκε από την δεύτερη βαθμίδα εξορύξεως σε βάθος περίπου 6 m, στα εργαστήρια Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας και Μηχανικής Πετρωμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Ακόμη, όσον αφορά την πετρογραφική ανάλυση και την μικροσκληρότητα Κnoop, πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές αναλύσεις σε τρία ακόμη δείγματα (δείγμα Β, Γ, Δ), ένα εντός της εκμεταλλεύσιμης περιοχής, το δείγμα Γ, που διαφέρει χρωματικά από το δείγμα Α, και εξορύσσεται από περιοχές όπου υπάρχουν ρήγματα και σε μικρές ποσότητες, και τα άλλα δυο από περιοχές εκτός του λατομικού χώρου (Εικόνα 5.1), προκειμένου να γίνει σύγκριση μεταξύ τους και να προσδιοριστεί ο μαρμαροφόρος ορίζοντας.

#### 5.1. Πετρογραφική ανάλυση

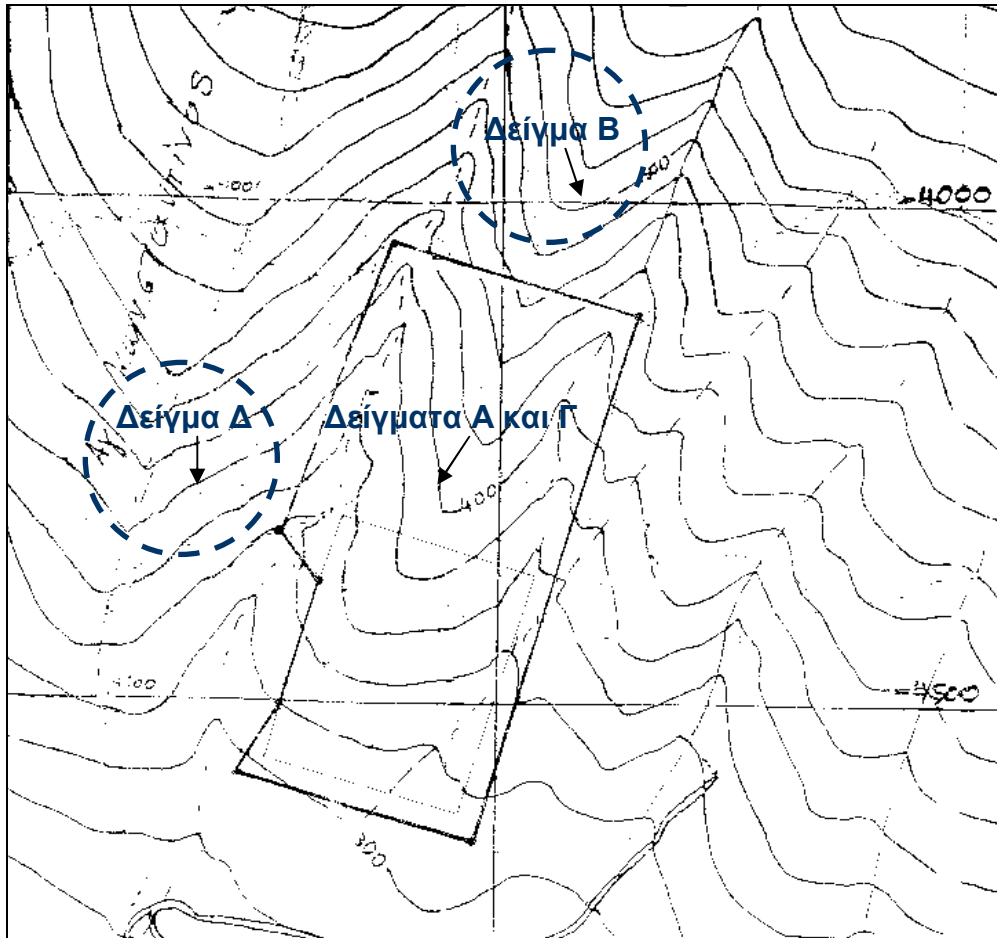
Η πετρογραφική ανάλυση του μαρμάρου είναι αναγκαία, αφού απαντά ποιοτικά στις απαιτήσεις μιας αγοράς που συνεχώς αναπτύσσεται. Περιλαμβάνει δύο διαφορετικά στάδια, την μακροσκοπική και την μικροσκοπική ανάλυση (Νικολάου, 1999).

Η *μακροσκοπική ανάλυση* προσδιορίζει:

- ✚ Το σύνολο των χαρακτηριστικών των διαφόρων τμημάτων του πετρώματος που παρατηρούνται σε μεγάλη κλίμακα.
- ✚ Τα μεγέθη των κρυστάλλων ή των κόκκων που απαρτίζουν το πέτρωμα.
- ✚ Τις μικροδιακλάσεις, ανοιχτές ή κλειστές.
- ✚ Την υγεία του πετρώματος.

Η μακροσκοπική ανάλυση προσδιορίζει:

- ✚ Την υφή.
- ✚ Τον ιστό.
- ✚ Τα ορυκτά που απαρτίζουν το πέτρωμα.
- ✚ Τα φυτικά και οργανικά υπολείμματα που το απαρτίζουν.
- ✚ Το βαθμό διατήρησης και την ενδεχόμενη παρουσία εξαλλοιώσεων.



Εικόνα 5.1: Περιοχές δειγματοληψίας

### 5.1.1. Ορυκτολογική σύσταση

Ο καθορισμός των ορυκτολογικών συστατικών συνίσταται στον ποιοτικό και ποσοτικό και ποιοτικό προσδιορισμό των ορυκτών, που συμμετέχουν στη σύσταση του πετρώματος. Τα ορυκτά αυτά χωρίζονται σε κύρια και δευτερεύοντα. Συγχρόνως γίνεται και ημιποσοτικός προσδιορισμός της σύστασης του πετρώματος. Αναγκαίος είναι και ο προσδιορισμός των συνδρόμων ορυκτών του μαρμάρου, που αποσκοπεί στον έλεγχο της συμπεριφοράς του, στις διάφορες κατασκευές. Για

παράδειγμα η παρουσία ή η απουσία ορυκτών που εξαλλοιώνονται εύκολα, ο τρόπος και η μορφή εμφάνισής τους, υποδηλώνει έμμεσα την καταλληλότητα χρήσης του υλικού στις διάφορες κατασκευές.

Ο προσδιορισμός της ορυκτολογικής σύστασης των υλικών γίνεται με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ ή με πολωτικό μικροσκόπιο. Συγχρόνως μελετάται ο ιστός, το μέγεθος, η μορφή και η αλληλοσυνάφεια των κρυστάλλων που απαρτίζουν το εξεταζόμενο υλικό. Έτσι παίρνονται πληροφορίες για τις μικρορωγμές και τον μεταξύ τους συσχετισμό.

Για τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης χρησιμοποιήθηκε τόσο η μέθοδος της περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ όσο και το πολωτικό μικροσκόπιο.

### **Μέθοδος περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD)**

Με τη μέθοδο αυτή είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση τόσο των γωνιών όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων Χ που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως.

#### *Περιγραφή της διάταξης που χρησιμοποιεί η μέθοδος*

Οι βασικές μονάδες που απαρτίζουν ένα σύγχρονο περιθλασίμετρο ακτίνων Χ είναι:

- ⇒ Η μονάδα παραγωγής υψηλής τάσης.
- ⇒ Η λυχνία ακτίνων Χ και η ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής.
- ⇒ Η μονάδα ηλεκτρονικού υπολογιστή που συντονίζει το σύστημα και βοηθά στην αξιολόγηση των δεδομένων.

Το προς ανάλυση δείγμα πρέπει να βρίσκεται υπό τη μορφή κόνεως και τοποθετείται σε ειδικό δειγματοφορέα (πλαστικό ή μεταλλικό). Η κοιλότητα του δειγματοφορέα που φέρει το υλικό έχει βάθος περίπου 1 mm και έκταση μερικών  $\text{cm}^2$  έτσι ώστε να δέχεται ποσότητα δείγματος της τάξης του 1 g. Η επιφάνεια του δείγματος πρέπει να είναι εξαιρετικά επίπεδη και λεία. Ο δειγματοφορέας τοποθετείται στο γωνιόμετρο του περιθλασιμέτρου σε ειδική θέση η οποία βρίσκεται στο κέντρο του κύκλου που διαγράφει ο απαριθμητής των ακτίνων Χ. Επίσης το επίπεδο του δειγματοφορέα είναι πάντα κάθετο στο επίπεδο του κύκλου.

Ο απαριθμητής περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ( $2\theta/\text{min}$ ) όπως

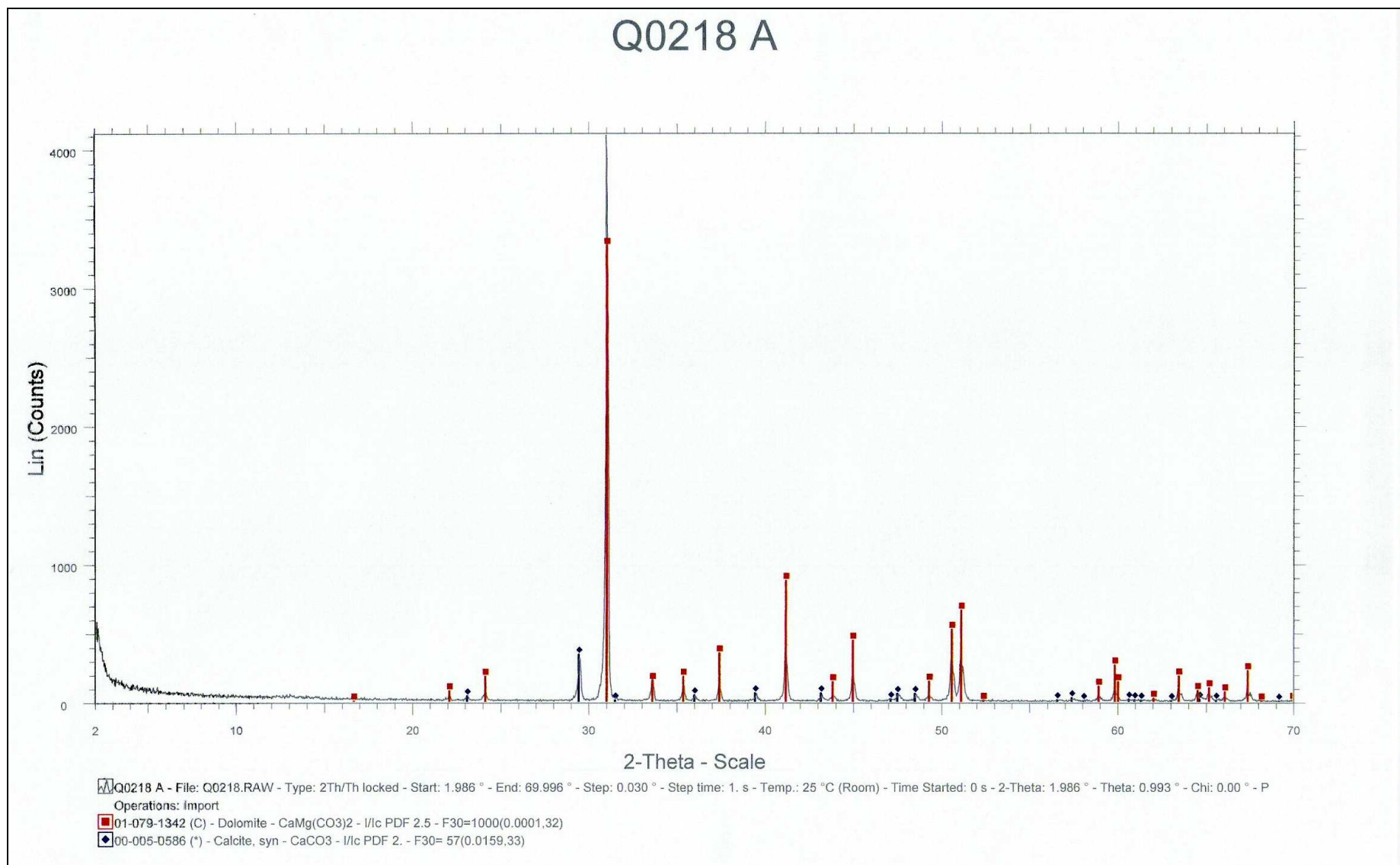
επίσης και ο δειγματοφορέας, μόνο που αυτός έχει τη μισή ταχύτητα του πρώτου. Αυτό γίνεται γιατί με τη σύγχρονη μετατόπιση και των δύο ο απαριθμητής σχηματίζει γωνία με το επίπεδο του δειγματοφορέα ίδια με αυτή του σημείου εξόδου των ακτινών X της λυχνίας και του δειγματοφορέα. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να καταγράφεται η ακτινοβολία που περιθλάται στους κρυσταλλικούς κόκκους του δείγματος που βρίσκονται σε τέτοια γωνία ως προς την κατεύθυνση της δέσμης των ακτινών X της λυχνίας ώστε να πληρούνται, για συγκεκριμένα πλεγματικά επίπεδα  $hkl$ , η εξίσωση του Bragg ( $n \cdot \lambda = 2 \cdot d_{hkl} \cdot \sin \theta_{hkl}$ ).

Με την περιφορά του απαριθμητή με σταθερή ταχύτητα κατά  $170^\circ$  πραγματοποιείται ακριβής καταγραφή των ανακλάσεων και των εντάσεων που προέρχονται από πλεγματικά επίπεδα διαφόρων  $d$  με αποτέλεσμα μια πλήρη εικόνα ανάλογη αυτής που απεικονίζεται σε φωτογραφικό φιλμ, κατά την ακτινογράφιση σε θάλαμο Delye - Scherrer.

#### *Αναγνώριση δειγμάτων και επεξεργασία αποτελεσμάτων*

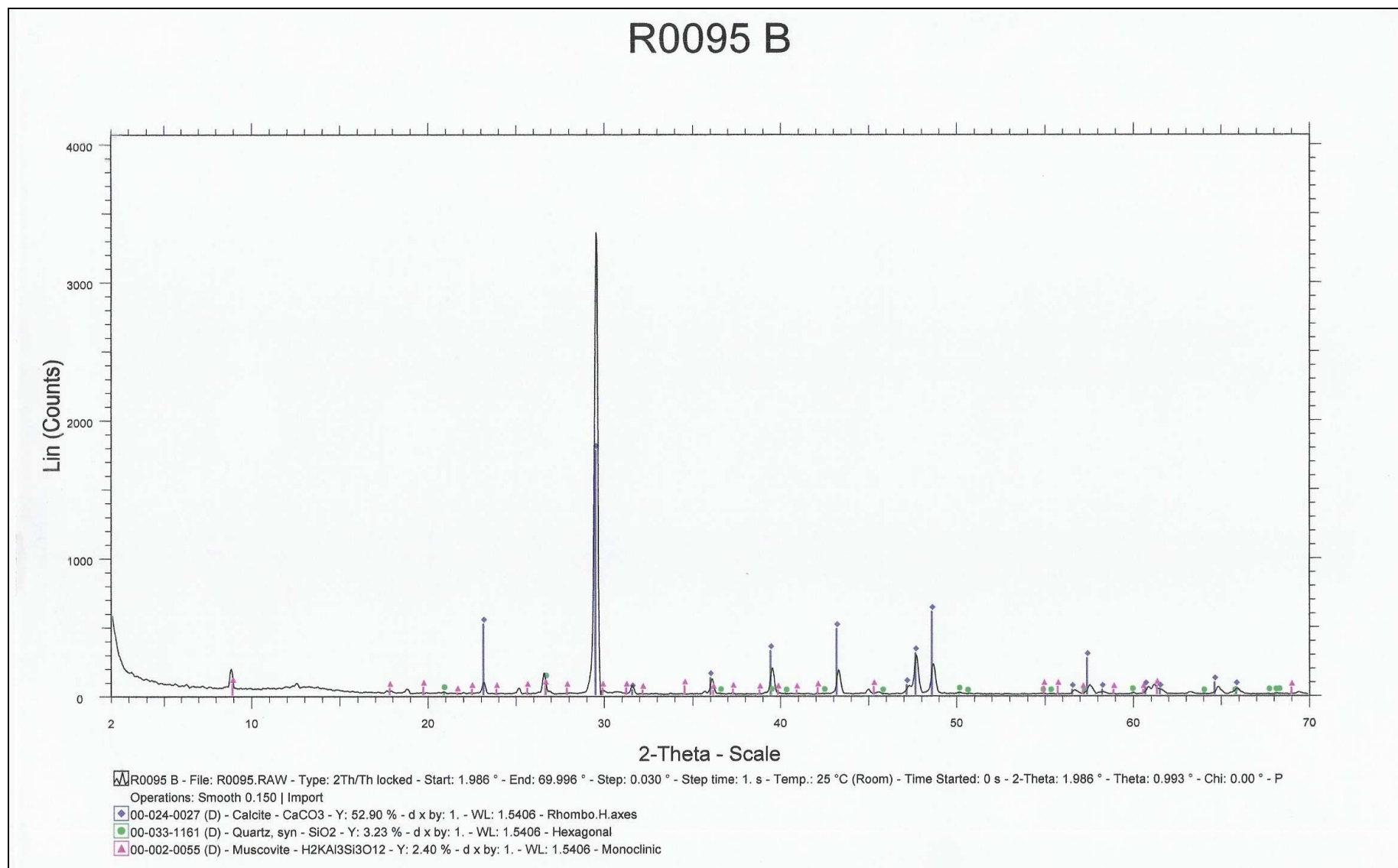
Το ακτινογράφημα κάθε δείγματος αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα του, βάση του οποίου μπορεί να γίνει αναγνώριση της ουσίας που το αποτελεί. Ένας μεγάλος αριθμός δεδομένων ακτινογραφημάτων έχει συγκεντρωθεί και ταξινομηθεί σε πρότυπες καρτέλες δημιουργώντας βάσεις δεδομένων οι οποίες χρησιμοποιούνται από διάφορα πακέτα προγραμμάτων H/Y για την γρήγορη και εύκολη αναγνώριση ακτινογραφημάτων. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Diffract Plus/Eva της εταιρίας BRUKER. axs.

Με την εξέταση των δεδομένων της ακτινοσκοπίας (Εικόνα 5.2α, β, γ, δ) πραγματοποιήθηκε αναγνώριση των ορυκτών που περιέχονται στα υπό εξέταση δείγματα μαρμάρου. Από την ποσοτική ανάλυση των δειγμάτων Α και Γ προκύπτει ότι πρόκειται για δολομιτικά μάρμαρα, που αποτελούνται από 89,5% δολομίτη, 10,5% ασβεστίτη και 89,9% δολομίτη, 10,1% ασβεστίτη αντίστοιχα, γεγονός που δείχνει ότι πρόκειται για το ίδιο είδος μαρμάρου. Η ποσοτική ανάλυση των δειγμάτων Β και Δ έδειξε ότι πρόκειται για ασβεστιτικά μάρμαρα, που αποτελούνται από 96,3% ασβεστίτη, 3,0% χαλαζία, 0,7% μοσχοβίτη και 97,6% ασβεστίτη και 2,4% δολομίτη αντίστοιχα.

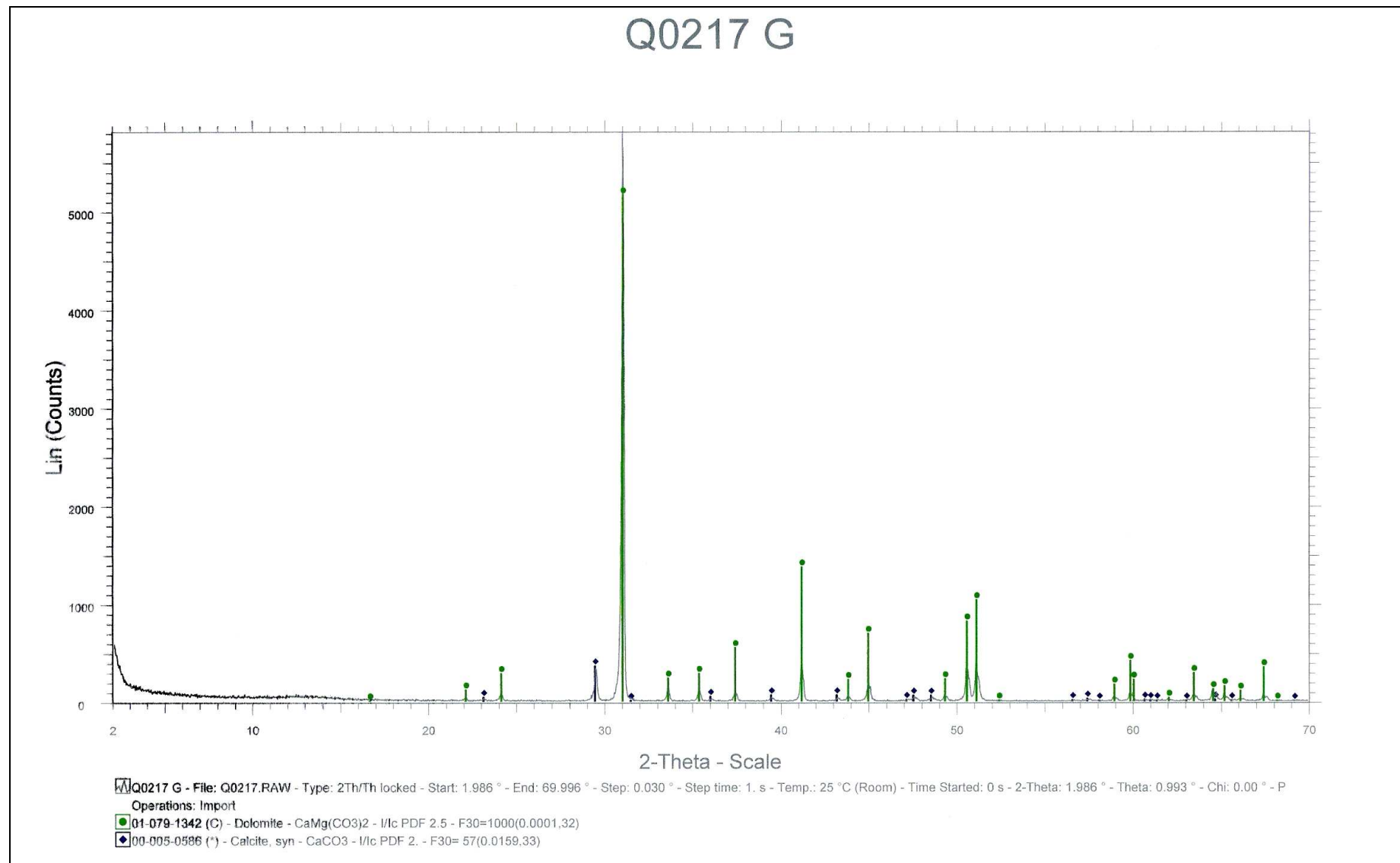


Εικόνα 5.2: α) Ακτινοδιάγραμμα δείγματος Α (κύρια ορυκτά δολομίτης και ασβεστίτης)

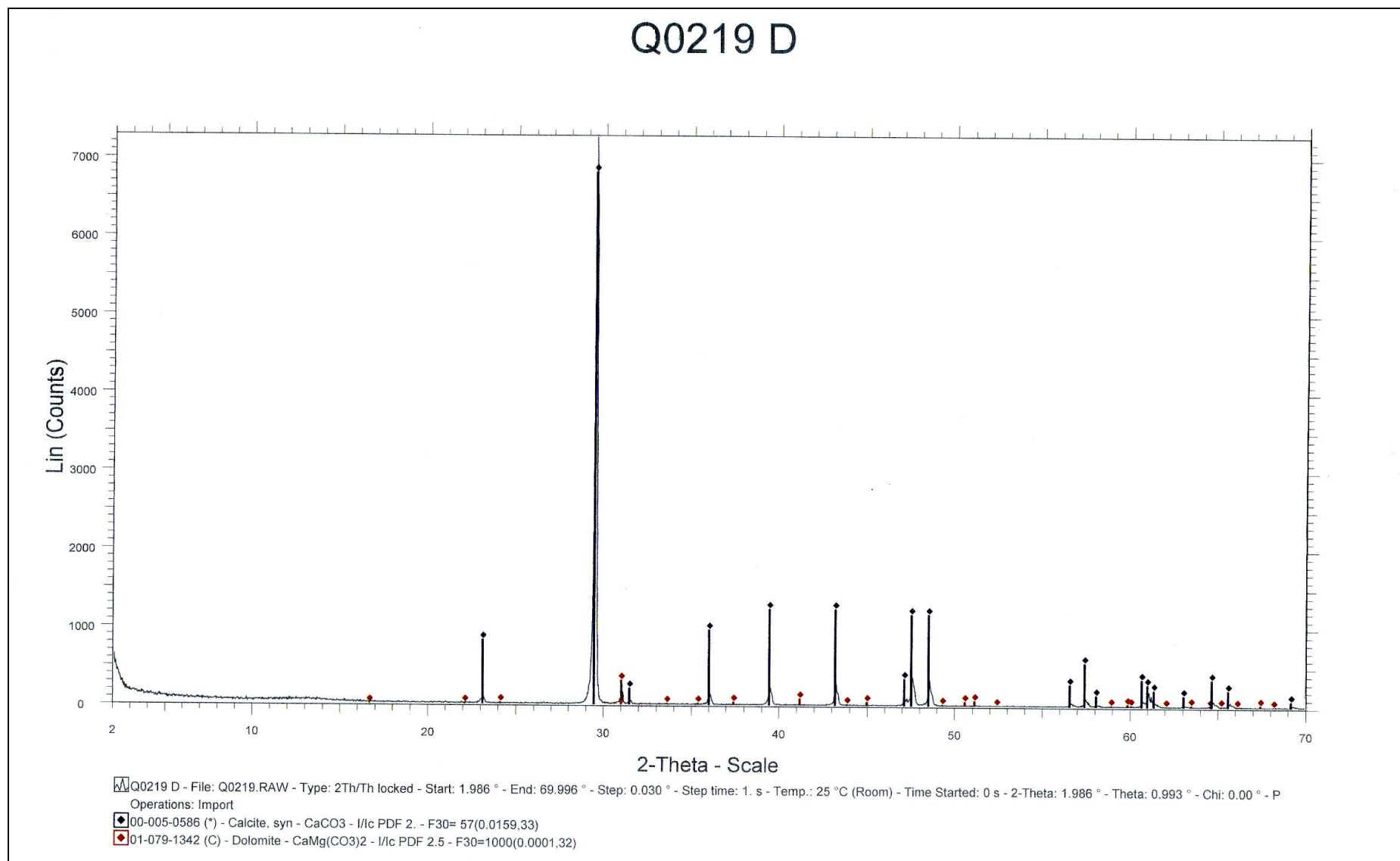




Εικόνα 5.2: β) Ακτινοδιάγραμμα δείγματος B (κύρια ορυκτά ασβεστίτης, χαλαζίας και μωσχοβίτης)



Εικόνα 5.2: γ) Ακτινοδιάγραμμα δείγματος Γ (κύρια ορυκτά δολομίτης και ασβεστίτης)



Εικόνα 5.2: δ) Ακτινοδιάγραμμα δείγματος Δ (κύρια ορυκτά ασβεστίτης και δολομίτης)

### **Πολωτικό μικροσκόπιο**

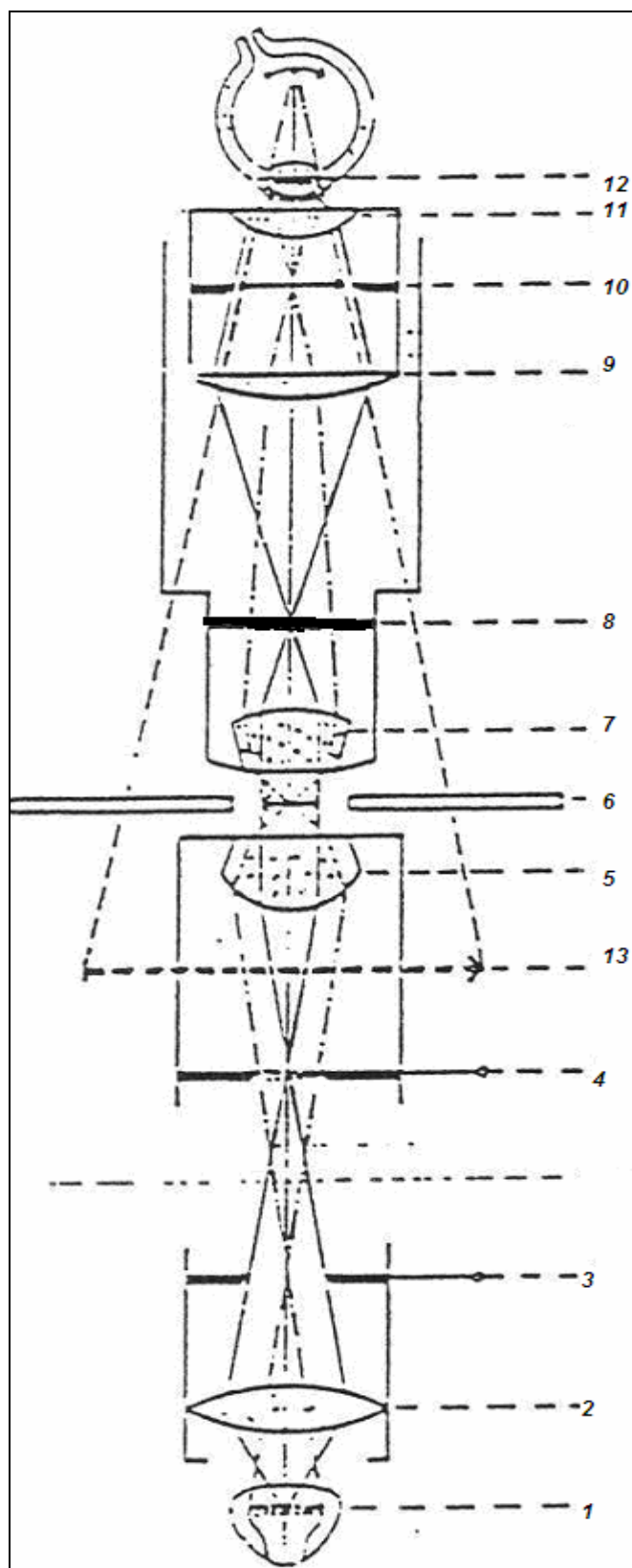
Το πολωτικό μικροσκόπιο είναι ένα από τα σημαντικότερα όργανα προσδιορισμού και μελέτης των ορυκτών και πετρωμάτων. Το πολωτικό μικροσκόπιο διαφέρει από το σύνηθες μικροσκόπιο στο ότι φέρει προσθήκες που επιτρέπουν την παραγωγή και ανάλυση του πολωμένου φωτός και την μελέτη διαφόρων οπτικών ιδιοτήτων των κρυσταλλικών κυρίως ουσιών.

#### *Περιγραφή*

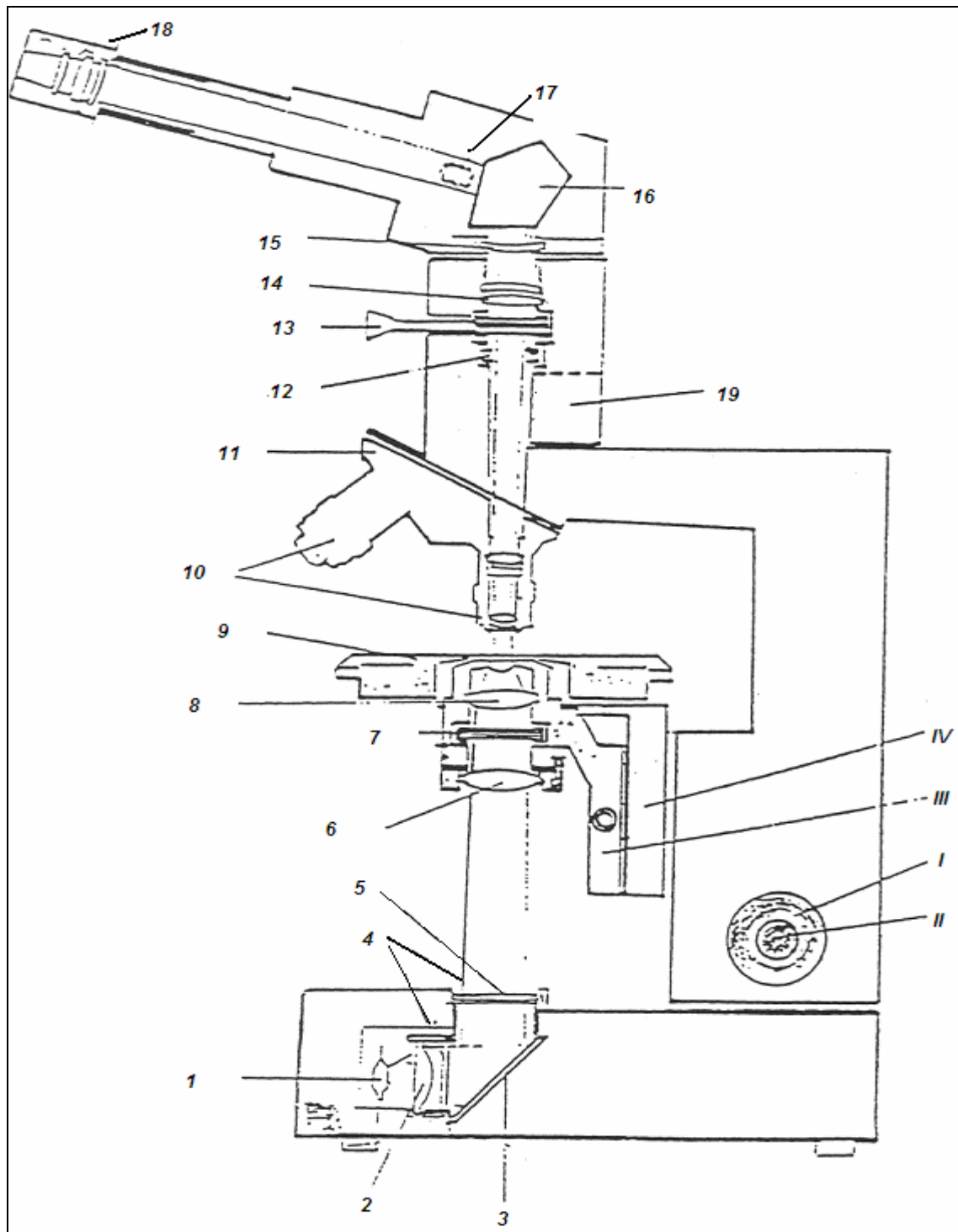
Η αρχή ενός απλού μικροσκοπίου απεικονίζεται στην εικόνα 5.3. Όπως φαίνεται, μια δέσμη φωτός διερχόμενη μέσω ενός συστήματος δυο συγκεντρωτικών φακών και ενός διαφράγματος προσπίπτει στο μελετώμενο παρασκεύασμα και κατόπιν μέσω του σώματος του αντικειμένου και του προσοφθάλμιου φακού, καταλήγει στον οφθαλμό του παρατηρητή δίνοντας μια μεγενθυμένη πραγματική εικόνα του αντικειμένου.

Το μελετώμενο με το πολωτικό μικροσκόπιο παρασκεύασμα είναι κατά κανόνα μια λεπτή τομή που τοποθετείται πάνω στην στρογγυλή περιστρεφόμενη τράπεζα του μικροσκοπίου (Εικόνα 5.4). Οι ακτίνες, που ξεκινούν από την πηγή φωτός η οποία βρίσκεται στο κάτω μέρος του μικροσκοπίου αποκτούν την μορφή δέσμης με κατεύθυνση παράλληλη μεταξύ τους μέσω ενός φακού και κατόπιν μέσω ενός κατόπτρου κατευθύνονται προς το παρασκεύασμα. Μετά τη διέλευση τους μέσω της λεπτής τομής οι ακτίνες περνούν από το σύστημα του αντικειμενικού φακού, από τη θέση παρεμβολής του αντισταθμιστή και κατόπιν από τη θέση παρεμβολής του πλακιδίου του αναλυτή. Στη συνέχεια οι ακτίνες μετά από ένα σύστημα φακών αλλάζουν κατεύθυνση μέσω ενός πρίσματος και διερχόμενες από τη θέση του φακού BERTRAND κατευθύνονται προς το σύστημα του αντικειμενικού φακού που δίνει την τελική απεικόνιση του μελετώμενου αντικειμένου.

Το σύστημα του αντικειμενικού φακού είναι προσαρτημένο σε ένα περιστρεφόμενο δίσκο (ρεβόλβερ) που φέρει τρεις ή τέσσερις αντικειμενικούς φακούς διαφόρων μεγενθύνσεων που είναι δυνατόν να εναλλάσσονται με μια απλή περιστροφική μετατόπιση του δίσκου περί το κέντρο του. Το σύστημα του προσοφθάλμιου φακού παρέχει στο οπτικό πεδίο ένα σταυρόνημα του οποίου τα δυο νήματα έχουν την διεύθυνση των προβολών τους κάθετα μεταξύ των τεμνόμενων επιπέδων κραδασμού του φωτός στο πολωτή και τον αναλυτή. Ο πολωτής, ο αναλυτής, ο συγκεντρωτικός φακός, το πλακίδιο του αντισταθμιστή και ο



Εικόνα 5.3: Πορεία του φωτός στο μικροσκόπιο. 1.Λάμπα, 2.Συγκεντρωτικός φακός, 3,4.Διάφραγμα, 5.Συγκεντρωτικός φακός, 6.Τράπεζα του μικροσκοπίου, 7.Αντικειμενικός φακός, 8.Επίπεδο εστίασης αντικειμενικού φακού, 9,11.Σύστημα προσοφθάλμιου φακού, 10.Ενδιάμεσο είδωλο, 12.Οφθαλμός, 13.Πραγματικό τελικό είδωλο (Κωστάκης, 2002)



*Εικόνα 5.4: Πολωτικό μικροσκόπιο. 1.Λάμπα, 2.Συγκεντρωτικός φακός φωτιστικού, 3.Κάτοπτρο, 4.Παράθυρα, 5.Φίλτρο, 6.Ευρυγώνιος φακός, 7.Πολωτής, 8.Συγκεντρωτικός φακός, 9.Περιστρεφόμενη τράπεζα, 10.Αντοικειμενικοί φακοί, 11.Ρεβόλβερ, 12.Θέση αντισταθμιστή, 13.Αναλυτής, 14,15.Φακοί σωλήνα, 16.Πρίσμα, 17.Φακός BERTRAND, 18.Σύστημα προσοφθάλμιου φακού, 19.Σύστημα υποδοχής προσθήκης για ανακλώμενο φως, I.Κοχλίας, II.Μικρομετρικός κοχλίας, III.Φορέας του συστήματος συγκεντρωτικού φακού και πολωτού, IV.Φορέας συστήματος περιστρεφόμενης τράπεζας (Κωστάκης, 2002)*

φακός BERTRAND είναι δυνατόν να εισάγονται ή να απομακρύνονται κατά βούληση (Κωστάκης, 2002).

#### *Παρασκευή λεπτών τομών*

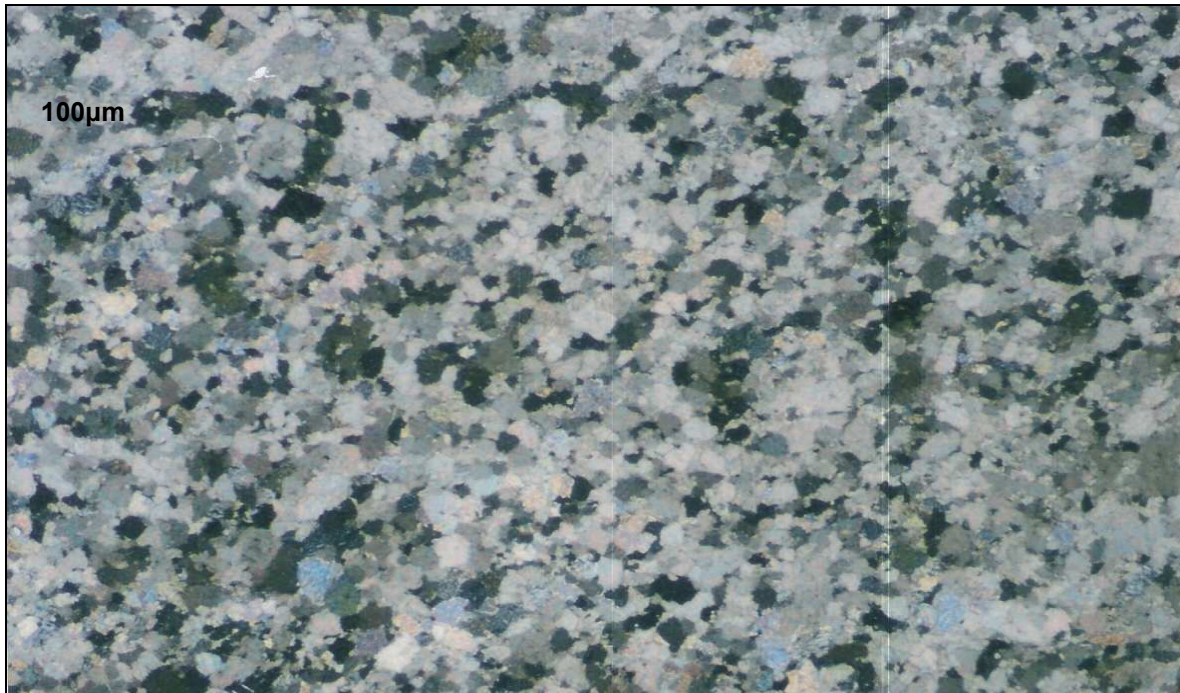
Ορυκτά, πετρώματα και διάφορα βιομηχανικά προϊόντα προκειμένου να εξεταστούν με το πολωτικό μικροσκόπιο παρασκευάζονται υπό μορφή ειδικών παρασκευασμάτων, των λεπτών τομών. Η παρασκευή μιας λεπτής τομής ενός στερεού γίνεται με απλό τρόπο. Καταρχήν κόβεται με ένα κατάλληλο κοπτικό μηχανήμα ένα μικρό κομμάτι του εξεταζόμενου δείγματος σε μορφή πλακιδίου, το οποίο στη συνέχεια λειανίνεται στη μια πλευρά δια τριβής πάνω σε ένα περιστρεφόμενο επίπεδο μεταλλικό δίσκο με τη βοήθεια λειαντικών μέσων όπως είναι η σμύριδα ή το καρβίδιο του πυριτίου, που χρησιμοποιούνται υπό μορφή σκόνης και με προσθήκη μικρής ποσότητας νερού που πολτοποιεί τη σκόνη. Η λείανση αρχίζει με χονδρόκοκκη σκόνη και τελειώνει με λεπτόκοκκη, πραγματοποιούμενη κατά στάδια μεταξύ των οποίων απομακρύνεται εντελώς η σκόνη του ενός σταδίου και αντικαθίσταται με τη λεπτότερη του επόμενου. Η λειανθείσα επιφάνεια στερεώνεται επί ενός γυάλινου πλακιδίου με τη βοήθεια ειδικής ρητίνης, ενώ με κοπή και λείανση της ελεύθερης πλευράς του το πλακίδιο φτάνει μέχρι το πάχος των 20 – 40μm. Τέλος, η λειανθείσα δεύτερη αυτή επιφάνεια επικαλύπτεται με μια πολύ λεπτή διαφανή καλυπτρίδα που επικολλάται με τη βοήθεια ειδικής ρητίνης (Κωστάκης, 2002).

#### *Εξέταση τομής*

Από την εξέταση των τομών στο πολωτικό μικροσκόπιο (Εικόνα 5.5 α, β, γ, δ) για κάθε δείγμα προκύπτει:

- Δείγμα Α: πρόκειται για ένα λεπτόκοκκο δολομιτικό μάρμαρο που αποτελείται από κρυστάλλους δολομίτη και ασβεστίτη.
- Δείγμα Β: πρόκειται για ένα ασβεστίτικο μάρμαρο που αποτελείται από κρυστάλλους ασβεστίτη με ταινιωτή διδυμία, φυλλάρια μοσχοβίτη και κόκκους χαλαζία.
- Δείγμα Γ: πρόκειται για ένα λεπτόκοκκο δολομιτικό μάρμαρο που αποτελείται από κρυστάλλους δολομίτη και ασβεστίτη.
- Δείγμα Δ: πρόκειται για ένα ασβεστίτικο μάρμαρο που αποτελείται από



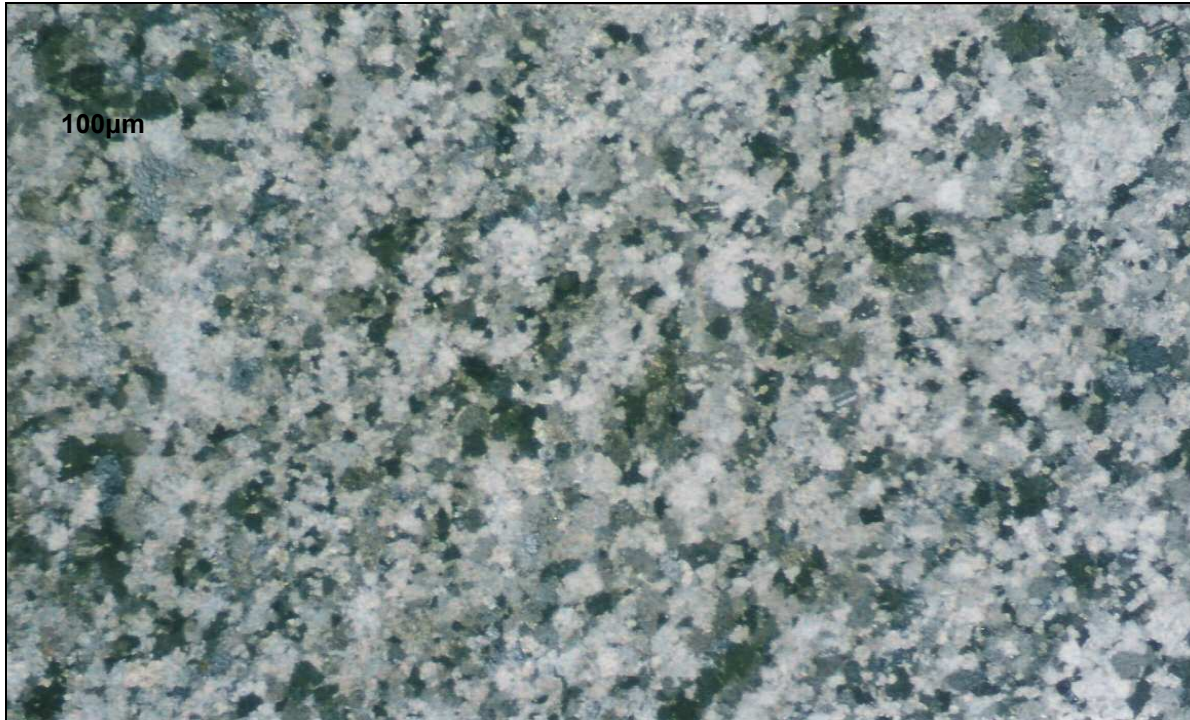


Εικόνα 5.5: α) Τομή δείγματος Α από πολωτικό μικροσκόπιο με x (διασταυρωμένα) Nicols (λεπτόκοκκο δολομιτικό μάρμαρο που αποτελείται από κρυστάλλους δολομίτη και ασβεστίτη)

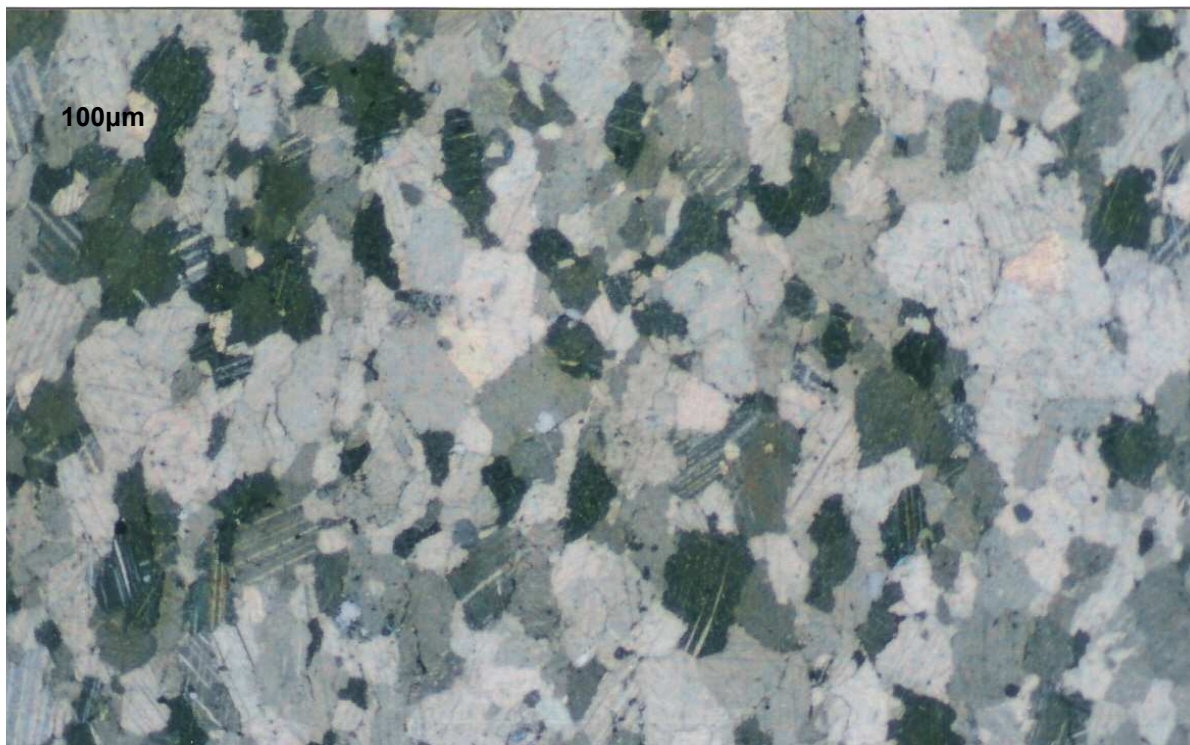


Εικόνα 5.5: β) Τομή δείγματος Β από πολωτικό μικροσκόπιο με x (διασταυρωμένα) Nicols (ασβεστιτικό μάρμαρο που αποτελείται από κρυστάλλους ασβεστίτη με ταινιωτή διδυμία, φυλλάρια μοσχοβίτη και κόκκους χαλαζία)





Εικόνα 5.5: γ) Τομή δείγματος Γ από πολωτικό μικροσκόπιο με  $\chi$  (διασταυρωμένα) Nicols (λεπτόκοκκο δολομιτικό μάρμαρο που αποτελείται από κρυστάλλους δολομίτη και ασβεστίτη)



Εικόνα 5.5: δ) Τομή δείγματος Γ από πολωτικό μικροσκόπιο με  $\chi$  (διασταυρωμένα) Nicols (ασβεστιτικό μάρμαρο που αποτελείται από αδροκρυσταλλικούς και λεπτοκρυσταλλικούς κόκκους ασβεστίτη καθώς επίσης και από κόκκους δολομίτη)

αδροκρυσταλλικούς και λεπτοκρυσταλλικούς κόκκους ασβεστίτη καθώς επίσης και από κόκκους δολομίτη.

Γενικά, ο ιστός των μαρμάρων είναι λοβοειδής ή πολυγωνικός που σπάνια εμφανίζει φολίδωση ή σχιστότητα (Θεοδωρίκας, 1996).

Όσον αφορά τον ιστό των τεσσάρων δειγμάτων, η παρατήρηση στο πολωτικό μικροσκόπιο έδειξε ότι επαληθεύεται η παραπάνω άποψη.

### 5.1.2. Χημική ανάλυση

Προκειμένου να έχουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα της σύστασης του πετρώματος που εξετάζεται είναι απαραίτητη και η χημική ανάλυση για τον προσδιορισμό των στοιχείων, με την μορφή οξειδίων. Τα κυριότερα οξείδια είναι:  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CO}_2$ . Η χημική σύσταση προσδιορίζεται με διάφορες μεθόδους και τεχνικές, όπως η μέθοδος φασματοσκοπίας ακτίνων Χ φθορισμού.

#### Μέθοδος φασματοσκοπίας ( EDXRF )

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην αρχή ότι κάθε στοιχείο με την προσφορά ενέργειας (ακτινοβολία X) εκπέμπει ακτινοβολία (δευτερογενή) χαρακτηριστικού φάσματος. Τα άτομα των στοιχείων διεγείρονται από ακτίνες X υψηλής ενέργειας και εκπέμπουν δευτερογενή ακτινοβολία ακτίνων X το φάσμα της οποίας αναλύεται και μελετάται. Με τη μέθοδο αυτή ανιχνεύονται τα στοιχεία μεταξύ του Βορίου ( $\lambda = 6,2 \text{ nm}$ ) και του Ουρανίου ( $\lambda = 0,091 \text{ nm}$ ).

Η πρόσκρουση ενός στοιχειώδους σωματιδίου που κατέχει υψηλή ενέργεια σε ένα ηλεκτρόνιο μιας εσωτερικής στοιβάδας ενός ατόμου έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά μέρους της ενέργειας στο ηλεκτρόνιο και τον εξοστρακισμό του από το άτομο. Το άτομο μένει για πολύ μικρό διάστημα σε αυτήν την ασταθή κατάσταση. Έπειτα μεταπίπτει σε χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη με την πλήρωση της κενής θέσης του ηλεκτρονίου με ένα άλλο σύμφωνα με τους κανόνες της κβαντομηχανικής. Η διαφορά στην ενεργειακή κατάσταση του ατόμου από την αρχική στην τελική κατάσταση εκπέμπεται υπό την μορφή φωτονίων σύμφωνα με την εξίσωση :

$$E_2 - E_1 = h\nu \quad (5.1)$$

όπου :  $\nu$  η συχνότητα της ακτινοβολίας και  $h$  η σταθερά του Planck

Λόγω του ότι τη θέση του ηλεκτρονίου που εξοστρακίστηκε διεκδικούν

περισσότερα του ενός ηλεκτρόνια η εκπεμπόμενη ακτινοβολία θα αποτελείται από αρκετές χαρακτηριστικές γραμμές εντάσεως της και τη συνεχή η οποία οφείλεται στην πέδηση του εισερχόμενου σωματιδίου στον ηλεκτρονικό φλοιό του προς διέγερση ατόμου. Οι εντάσεις των χαρακτηριστικών γραμμών της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας αποτελούν μέτρο της πιθανότητας της συγκεκριμένης μεταβολής στη θέση των ηλεκτρονίων. Η σχέση με την οποία συνδέεται το μήκος κύματος της χαρακτηριστικής γραμμής ενός στοιχείου με τον ατομικό αριθμό δίνεται από το νόμο του Moseley :

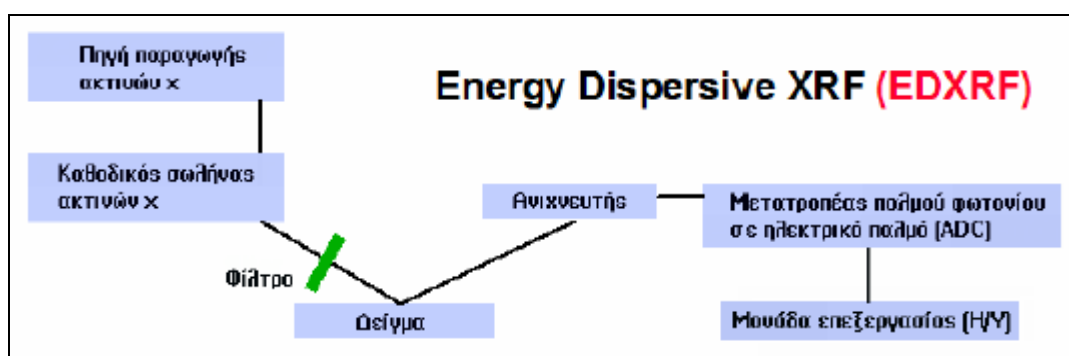
$$1/\sqrt{\lambda} = K(Z - \sigma) \quad (5.2)$$

όπου: K μια σταθερά γνωστή για κάθε γραμμή, σ επίσης μια σταθερά, Z ο ατομικός αριθμός του στοιχείου (Παπαδόπουλος, 2005).

#### Περιγραφή της διάταξης

Η διάταξη του αναλυτή (Εικόνα 5.6) αποτελείται από :

- ⇒ Μία πηγή διέγερσης ( υψηλής ενέργειας πηγή ακτίνων X που τροφοδοτείται από γεννήτρια υψηλής τάσης ).
- ⇒ Ένα σύστημα υποδοχής δειγμάτων.
- ⇒ Ένα σύστημα διαχωρισμού και απομόνωσης των χαρακτηριστικών γραμμών (σύστημα διανομής).
- ⇒ Μία συσκευή μέτρησης και καταγραφής των χαρακτηριστικών γραμμών (μονάδα ανίχνευσης Si (Li) ).
- ⇒ Ένα σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων.



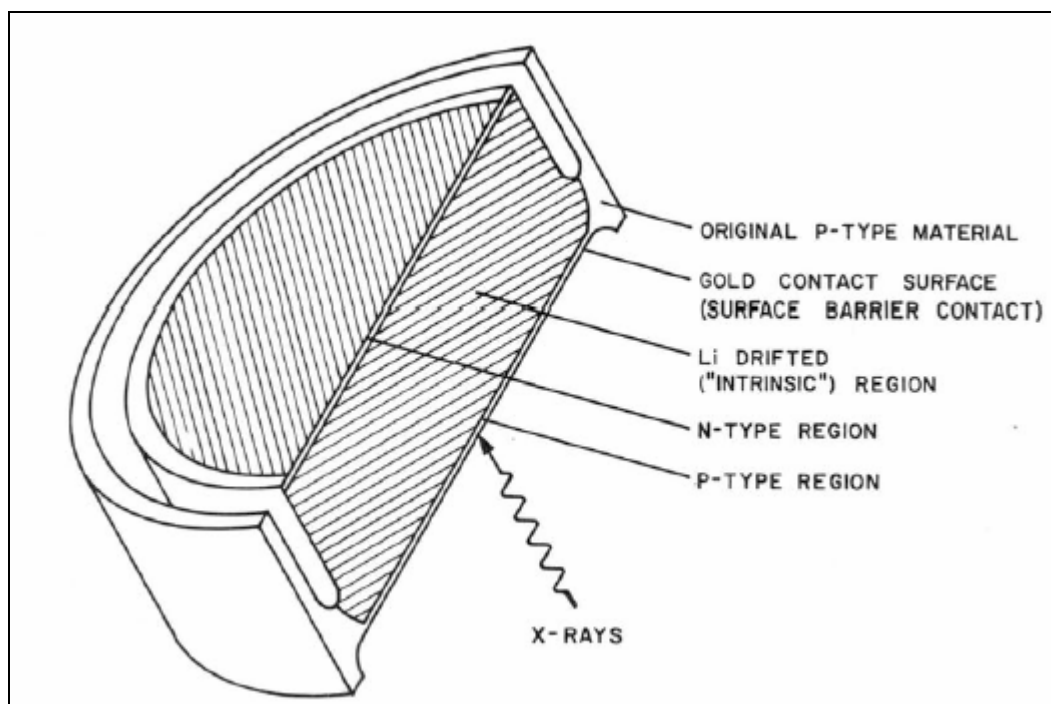
Εικόνα 5.6: Η διάταξη του XRF αναλυτή που χρησιμοποιεί την τεχνική EDS (Energy dispersive spectroscopy) (Παπαδόπουλος, 2005)

Η τάση που χρησιμοποιείται στην πηγή ακτινοβολίας είναι της τάξης των 50 kV και είναι αυτή που καθορίζει ποια στοιχεία μπορούν να ανιχνευθούν. Επίσης τα όρια ανίχνευσης είναι αντιστρόφως ανάλογα με το μέγεθος της τάσης που χρησιμοποιείται. Ακόμα ένα χαρακτηριστικό της τεχνικής EDXRF είναι ότι όλη η ακτινοβολία προσκρούει στον ανιχνευτή ταυτόχρονα (Εικόνα, 5.7), πράγμα που σημαίνει ότι ο χρόνος ανάλυσης είναι σύντομος, δηλαδή της τάξης των 10 με 100 sec. Ο αναλυτής είναι Si ( Li ) και η ανάλυσή του είναι της τάξης των 150 με 200 eV. Η ευαισθησία του αναλυτή είναι σε επίπεδο ppm. Το κατώτερο όριο ανίχνευσης δίνεται από τον τύπο :

$$LLD = \frac{3}{s} \sqrt{\frac{I_b}{t}} \quad (5.3)$$

όπου : s η ευαισθησία του αναλυτή φάσματος,  $I_b$  η ένταση του υποβάθρου, t ο απαιτούμενος χρόνος μέτρησης της κορυφής (peak) και της ακτινοβολίας εξαιρουμένης αυτής της πηγής.

Όταν μια δέσμη ακτίνων X προσκρούει στον κρύσταλλο Si δημιουργεί ένα φωτόνιο το οποίο διασχίζει τη δομή του κρυστάλλου ( ως ένα ορισμένο βάθος περίπου 0,5 – 2  $\mu\text{m}$  ). Το φωτόνιο δημιουργεί ζεύγη ηλεκτρονίων – κενών θέσεων.

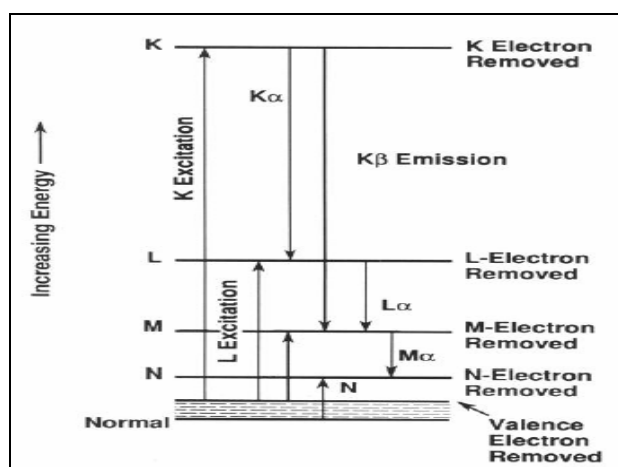


Εικόνα 5.7: Άποψη του ανιχνευτή Si (Li) (Παπαδόπουλος, 2005)

Τα ηλεκτρόνια και οι κενές θέσεις έλκονται προς αντίθετες άκρες του κρυστάλλου με τη βοήθεια ενός ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου. Ο παλμός που δημιουργείται είναι ανάλογος της έντασης του φωτονίου των ακτινών Χ. Ο παλμός ενισχύεται από και δέχεται μορφοποίηση από το λογισμικό (αποκοπή του θορύβου, Γκαουσιανή εξομάλυνση) του αναλυτή έτσι ώστε να παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα έντασης - ενέργειας παλμού στην οθόνη του υπολογιστή.

Όταν η ένταση της ακτινοβολίας φτάνει στο κρίσιμο επίπεδο ιονισμού των ακτινών Χ για μια στοιβάδα ή υποστοιβάδα ενός ατόμου έτσι ώστε αυτή να ιονιστεί τότε όλες οι μεταβολές που μπορούν να εμπλέκονται με την ιονιζόμενη στοιβάδα είναι δυνατόν να συμβούν. Με τον τρόπο αυτό παράγεται μια οικογένεια κορυφών (peaks) η οποία θα γίνει τόσο πιο περίπλοκη όσο πιο πολύπλοκη είναι η ηλεκτρονική δομή του ατόμου. Η παρουσία σε ένα φάσμα όλων των πιθανών μελών μιας οικογένειας γραμμών εντάσεως αυξάνει το επίπεδο εμπιστοσύνης για την αναγνώριση του στοιχείου του ατόμου στο οποίο ανήκουν.

Η Κ οικογένεια γραμμών αποτελείται από δύο αναγνωρίσιμες γραμμές την  $K_{\alpha}$  και  $K_{\beta}$ . Η αναλογία της πρώτης ως προς τη δεύτερη είναι 10 : 1 όταν αυτές αναλυθούν. Αυτό αποτελεί σημαντικό κριτήριο για την αναγνώριση ενός στοιχείου. Η οικογένεια L αποτελείται από τις γραμμές  $L_{\alpha}$ ,  $L_{\beta_1}$ ,  $L_{\beta_2}$ ,  $L_{\beta_3}$  και  $L_{\beta_4}$  και η οικογένεια γραμμών M από τις  $M_{\alpha}$ ,  $M_{\beta}$ ,  $M_{\gamma}$ . Τα επίπεδα ενέργειας που απαιτούνται για τη διέγερση των στοιβάδων σε σχέση με τις εκπεμπόμενες ακτινοβολίες Χ διακρίνονται στην εικόνα 5.8.



Εικόνα 5.8: Διάγραμμα που δείχνει τα επίπεδα ενέργειας για ένα άτομο για τη διέγερση των στοιβάδων K, L, M και N και το σχηματισμό των  $K_{\alpha}$ ,  $K_{\beta}$ ,  $L_{\alpha}$  και  $M_{\alpha}$  ακτινών Χ

### Προετοιμασία δειγμάτων και παρουσίαση αποτελεσμάτων

Η παρασκευή των δειγμάτων είναι μια απλή διαδικασία και απαιτεί μικρή ποσότητα υλικού (περίπου 5 g). Το υλικό πρέπει να λειοτριβηθεί σε μέγεθος μικρότερο των 60  $\mu\text{m}$ . Επίσης θα πρέπει να αναμιχθεί με ειδικό κερί (wax – c) σε αναλογία 10 %. Στη συνέχεια πιέζεται εντός ειδικής μήτρας (πίεση 150 atm) για τη δημιουργία ανθεκτικού δισκίου με λεία επιφάνεια.

Τα τελικά αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα χημικής ανάλυσης

Δείγμα	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MnO %	CaO %	K <sub>2</sub> O %	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MgO %	Na <sub>2</sub> O %	CO <sub>2</sub> %
<b>A</b>	0,03	0,02	33,08	< 0,01	< 0,05	0,39	18,29	0,34	45,32
<b>B</b>	0,17	0,01	50,08	0,23	2,04	0,33	1,95	2,00	42,66
<b>Γ</b>	0,04	0,02	34,10	< 0,01	< 0,05	0,47	18,15	0,44	45,16
<b>Δ</b>	< 0,01	0,01	53,70	< 0,01	< 0,05	< 0,05	1,26	< 0,1	43,24

## 5.2. Φυσικομηχανικές ιδιότητες

Καθοριστικό ρόλο στην χρήση των πετρωμάτων σε ορθομαρμαρώσεις, δαπεδοστρώσεις και κάθε είδους επενδύσεις παίζει ο τύπος των πετρωμάτων, ο οποίος καθορίζεται από τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά τους. Για το λόγο αυτό προσδιορίζονται κάποιες από τις κυριότερες φυσικομηχανικές ιδιότητες του υπό εξέταση μαρμάρου σύμφωνα με τις Αμερικάνικες προδιαγραφές (ASTM). Οι ιδιότητες αυτές είναι το φαινόμενο ειδικό βάρος και η υδατοαπορροφητικότητα όσον αφορά τις φυσικές ιδιότητες, η αντοχή σε θλίψη, το μέτρο ελαστικότητας, η αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό και η μικροσκληρότητα Knoop όσον αφορά της μηχανικές ιδιότητες.

### 5.2.3. Προετοιμασία δειγμάτων

Πριν την πραγματοποίηση των εργαστηριακών δοκιμών, προκειμένου να προσδιοριστούν οι παραπάνω ιδιότητες προηγείται η προετοιμασία των δειγμάτων.

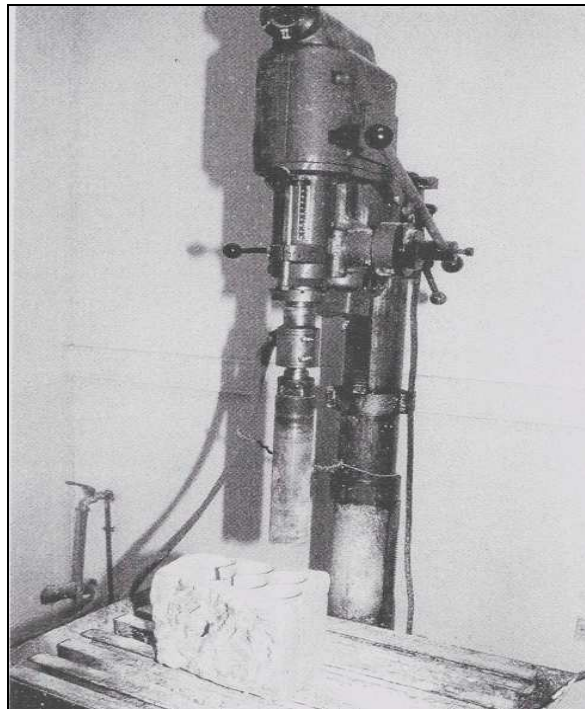
Η κατασκευή ή/και προπαρασκευή ενός δείγματος στο εργαστήριο ακολουθεί συνήθως τα εξής στάδια (Αγιουτάντης, 2002):

- Διάτρηση του ακανόνιστου δείγματος και λήψη πυρήνων υλικού,

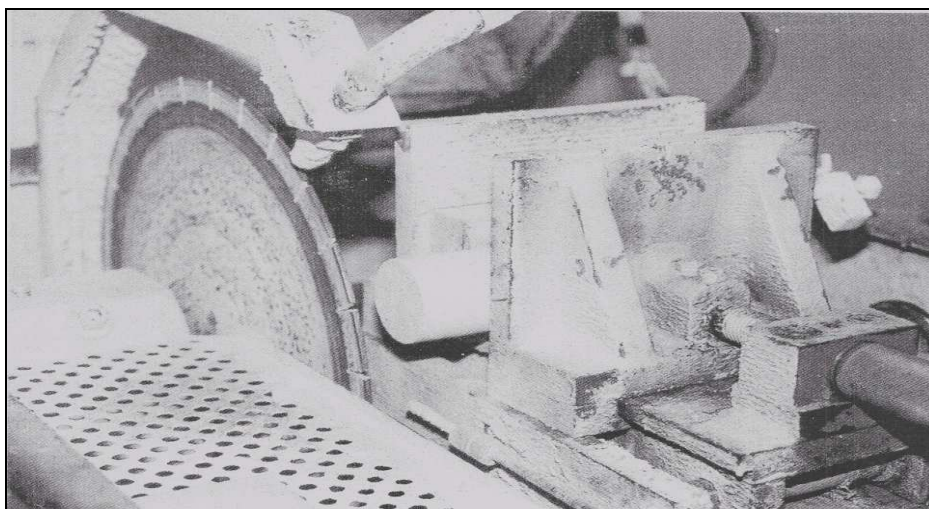


σύμφωνα με τις αντίστοιχες προδιαγραφές. Για αυτό το σκοπό, το δείγμα στερεώνεται σε κατάλληλη βάση διάτρησης (drill press) (Εικόνα 5.9).

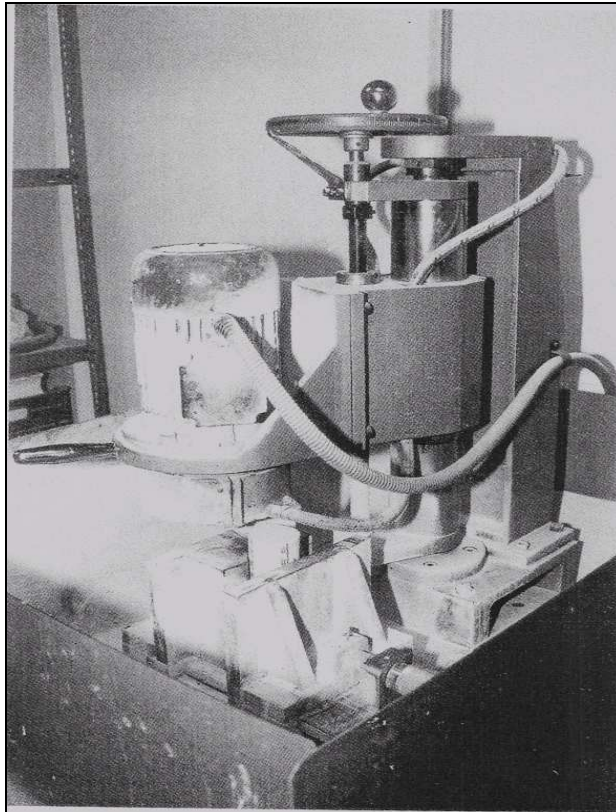
- Κοπή των άκρων των κυλίνδρων (πυρήνων) σε κατάλληλο δισκοπρίονο με αδαμαντοτροχό (diamond saw) (Εικόνα 5.10).
- Λείανση των βάσεων των κυλίνδρων σε κατάλληλο λειαντικό μηχάνημα (grinding machine) (Εικόνα 5.11).



Εικόνα 5.9: Εργαστηριακός πυρηνολήπτης δοκιμίων (Αγιουτάντης 2002)



Εικόνα 5.10: Εργαστηριακό δισκοπρίονο δοκιμίων (Αγιουτάντης 2002)



Εικόνα 5.11: Εργαστηριακός λειαντής δοκιμών (Αγιουτάντης 2002)

### 5.2.2. Φαινόμενη πυκνότητα

Ως φαινόμενη πυκνότητα ορίζεται ο λόγος της ξηρής μάζας του πετρώματος, προς τον όγκο του. Επειδή το μάρμαρο σαν φυσικό στερεό υλικό έχει πόρους, κοιλότητες και κενά υπάρχουν δυο μετρούμενοι όγκοι. Ο φαινόμενος όγκος  $V_{\phi}$ , που είναι ο όγκος του πετρώματος μαζί με τα κενά και ο πραγματικός ή απόλυτος όγκος  $V_{\pi}$ , που είναι ο όγκος του πετρώματος χωρίς τα κενά. Επομένως υπάρχουν δυο πυκνότητες για κάθε πέτρωμα, η φαινόμενη πυκνότητα και η πραγματική πυκνότητα. Η πραγματική πυκνότητα είναι πάντα μεγαλύτερη από τη φαινόμενη πυκνότητα. Η τελευταία είναι αυτή που χαρακτηρίζει τα διακοσμητικά πετρώματα, οπότε και προσδιορίζεται.

Η φαινόμενη πυκνότητα, είναι μια ιδιότητα που πρέπει απαραίτητα να είναι γνωστή για όλων των ειδών τις κατασκευές. Με βάση την πυκνότητα και το πάχος των πλακών, προσδιορίζεται το βάρος κάθε τετραγωνικού μέτρου μαρμάρου και επομένως η επιβάρυνση κάθε κατασκευής.

Η φαινόμενη πυκνότητα του μαρμάρου κατά ASTM κυμαίνεται μεταξύ 2.71 – 2.90 g/cm<sup>3</sup>. Η φαινόμενη πυκνότητα του εξεταζόμενου μαρμάρου μετρήθηκε 2.82 g/cm<sup>3</sup> (Λασκαρίδης, 2004).



### 5.2.3. Υδατοαπορροφητικότητα

Είναι η ιδιότητα του πετρώματος να κορέννυται σε νερό και προσδιορίζεται με απλή τοποθέτηση του δοκιμίου στο νερό για συγκεκριμένο χρόνο, όπως ορίζουν οι προδιαγραφές. Υπολογίζεται με τη διαδικασία μέτρησης του φαινόμενου ειδικού βάρους του πετρώματος. Η υδατοαπορροφητικότητα δίνεται από τον τύπο:

$$W = \frac{(B - A)}{A} \quad (5.4)$$

όπου B: το υγρό βάρος του δοκιμίου και A: το ξηρό βάρος του δοκιμίου.

Όταν η υδατοαπορροφητικότητα εκφράζεται επί τοις εκατό (%), καλείται συντελεστής εμποτισμού κατά βάρος. Η υδατοαπορροφητικότητα, είναι φυσική ιδιότητα και καθορίζει την καταλληλότητα ενός πετρώματος για εξωτερικές χρήσεις, όταν το πέτρωμα είναι εκτεθειμένο σε υγρές καιρικές συνθήκες. Σημαντική θεωρείται και στην περίπτωση εσωτερικών χρήσεων όταν το μάρμαρο καλύπτει χώρους με μεγάλη συγκέντρωση ανθρώπων, όπου απαιτείται ο συχνός καθαρισμός.

Κατά την διαδικασία προσδιορισμού της υδατοαπορροφητικότητας, το δείγμα θερμαίνεται στους 100° C για μια ώρα, ζυγίζεται κατόπιν τοποθετείται σε απιονισμένο νερό για ακόμη 24 ώρες και ξαναζυγίζεται. Η υδατοαπορροφητικότητα στα μάρμαρα κυμαίνεται μεταξύ 0.06 – 0.34 % και για το συγκεκριμένο μάρμαρο μετρήθηκε 0.16 %.

### 5.2.4. Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη

#### *Σκοπός της Δοκιμής*

Το αντικείμενο της μεθόδου είναι ο προσδιορισμός της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη ενός πετρώματος, χρησιμοποιώντας δοκίμια κανονικής γεωμετρίας. Τα αποτελέσματα των δοκιμών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση και τον χαρακτηρισμό του ακέραιου πετρώματος από πλευράς αντοχής.

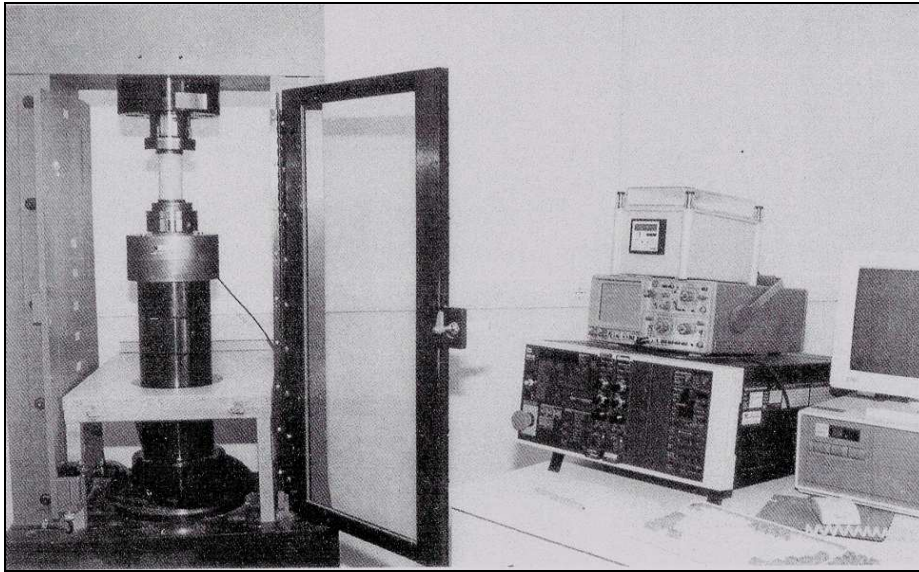
#### *Εξοπλισμός*

Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει τα ακόλουθα όργανα και συσκευές:

1. Συσκευή Δοκιμής: Η συσκευή επιβάλλει σταθερό ρυθμό φόρτισης στο δοκίμιο και συγχρόνως έχει τη δυνατότητα να μετρήσει ή/και να καταγράψει το επιβαλλόμενο φορτίο
2. Πλάκες Φόρτισης: Οι πλάκες φόρτισης χρησιμεύουν στο να μεταφέρουν το φορτίο στο δοκίμιο και είναι παράλληλες μεταξύ τους (Εικόνα 5.12).
3. Χαλύβδινοι Δίσκοι: Οι δίσκοι (platens) τοποθετούνται ανάμεσα στις πλάκες φόρτισης και στο δοκίμιο και αποσκοπούν στο να ελαττώσουν την υπερβολική πλευρική παραμόρφωση του δοκιμίου λόγω δυνάμεων τριβής στα σημεία επαφής. Η σκληρότητα των δίσκων (στην κλίμακα Rockwell) πρέπει να είναι μεγαλύτερη από HRC58 και η διάμετρος τους πρέπει να είναι μεταξύ  $D$  και  $D + 2 \text{ mm}$ , όπου  $D$  η διάμετρος του δοκιμίου. Το πάχος των δίσκων πρέπει να είναι τουλάχιστον  $15 \text{ mm}$  ή  $D/3$  και οι παράλληλες επιφάνειες τους πρέπει να έχουν ανοχή μικρότερη από  $0.005 \text{ mm}$ .
4. Σφαιρική Κεφαλή Έδρασης: Η σφαιρική κεφαλή έδρασης βρίσκεται στο πάνω μέρος του δοκιμίου και ο άξονας της είναι ευθυγραμμισμένος με τον άξονα του δοκιμίου και το κέντρο της πλάκας φόρτισης. Αν η μηχανή δοκιμής δεν διαθέτει σφαιρική κεφαλή έδρασης (η οποία συνήθως είναι ενσωματωμένη στην επάνω πλάκα φόρτισης), τότε ο ένας από τους δύο χαλύβδινους δίσκους πρέπει να έχει αυτή τη δυνατότητα. Η κεφαλή λιπαίνεται με ελαφρό ορυκτέλαιο (Αγιουτάντης, 2002).

#### *Προετοιμασία δοκιμών*

1. Τα δοκίμια είναι κυλινδρικά με διάμετρο κατά προτίμηση μεγαλύτερη ή ίση με  $NX$  (δηλαδή περίπου  $54 \text{ mm}$ ) και ύψος  $2.5 - 3$  φορές τη διάμετρο τους.
1. Οι βάσεις του κυλίνδρου (δοκιμίου) είναι παράλληλες μεταξύ τους με ανοχή περίπου  $0.02 \text{ mm}$  και ορθογώνιες ως προς τον άξονα συμμετρίας του δοκιμίου με ανοχή  $0.001$  ακτίνια (περίπου  $3.5$  λεπτά της μοίρας).



*Εικόνα 5.12: Σύστημα θλιπτικών δοκιμών του Εργαστηρίου Μηχανικής Πετρωμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης (Αγιουντάντης 2002)*

2. Οι πλευρές του δοκιμίου είναι λείες και χωρίς ανωμαλίες, με ανοχή 0.3 mm σε όλο το μήκος του δοκιμίου.
3. Δεν επιτρέπεται η χρήση πρόσθετων υλικών για ενίσχυση ή κατεργασία των άκρων του δοκιμίου.
4. Τα δοκίμια φυλάσσονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μην επηρεάζεται η φυσική τους υγρασία.

#### *Διαδικασία*

1. Η διάμετρος του δοκιμίου μετράται συνολικά 6 φορές με ακρίβεια 0.1 mm και υπολογίζεται ο μέσος όρος. Συγκεκριμένα, μετράται κατά δυο διευθύνσεις που σχηματίζουν γωνία 90° μεταξύ τους στο επάνω και κάτω άκρο και στη μέση του δοκιμίου. Η μέση διάμετρος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του εμβαδού της επιφάνειας φόρτισης. Το ύψος του δοκιμίου μετράται με ακρίβεια 1.0 mm.
2. Ο ελάχιστος αριθμός δοκιμών που απαιτείται για τη δοκιμή εξαρτάται από την επιθυμητή ακρίβεια των αποτελεσμάτων, τη δυνατότητα προετοιμασίας επαρκούς αριθμού δοκιμών από ένα δείγμα, κλπ. Συνιστάται η δοκιμή τουλάχιστον 5 δοκιμών.
3. Οι σφαιρικές κεφαλές έδρασης λιπαίνονται με ελαφρό ορυκτέλαιο.
4. Το φορτίο κατά τη διάρκεια της δοκιμής επιβάλλεται χωρίς διακοπές με σταθερό ρυθμό φόρτισης μεταξύ 0.5 – 1.0 MPa/sec.

5. Το μέγιστο φορτίο καταγράφεται με ακρίβεια 1%.

Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη ( $C_o$ ) υπολογίζεται, σύμφωνα με τη σχέση  $F_{max}/A$ , όπου  $F_{max}$  είναι το μέγιστο φορτίο (δύναμη) που δέχτηκε το δοκίμιο μέχρι να αστοχήσει και  $A$  είναι η επιφάνεια που υπολογίζεται από τη μέση διάμετρο του δοκιμίου. Συνήθως τα δοκίμια που προέρχονται από ένα δείγμα έχουν την ίδια διάμετρο (διάμετρο δειγματοληψίας) αλλά δεν έχουν το ίδιο ύψος, δηλαδή δεν έχουν τον ίδιο λόγο ύψους προς διάμετρο. Επομένως, είναι απαραίτητο, για τη σωστή σύγκριση των τιμών της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη μεταξύ των διαφόρων δοκιμίων, να γίνει αναγωγή των τιμών αυτών σε κάποιον σταθερό λόγο  $h/D$ . Οι Obert et al. (1946) προτείνουν την ακόλουθη εξίσωση αναγωγής:

$$C_1 = \frac{C_o}{0.778 + \frac{0.222}{h/D}} \quad (5.5)$$

όπου  $C_o$  = η αντοχή που υπολογίζεται για δοκίμιο με λόγο  $h/D > 1$  και  $C_1$  = η ανηγμένη τιμή για λόγο  $h/d = 1$ .

Ο Protodyakonov (1969) προτείνει την ακόλουθη σχέση αναγωγής:

$$C_2 = \frac{C_o}{\frac{7}{8} + \frac{2}{8h/D}} \quad (5.6)$$

όπου  $C_o$  = η αντοχή που υπολογίζεται για δοκίμιο με λόγο  $h/D > 1$  και  $C_2$  = η ανηγμένη τιμή για λόγο  $h/d = 2$ .

Γενικώς, έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι η αντοχή ενός δοκιμίου μειώνεται καθώς αυξάνεται το μέγεθός του (Αγιουτάντης, 2002).

#### *Παρουσίαση αποτελεσμάτων*

Η δοκιμή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη πραγματοποιείται σε δολομικό μάρμαρο το οποίο προέρχεται από λατομικό χώρο που βρίσκεται την περιοχή «Κερασιές», περί τα 2 km βορείως της Κοινότητας Κοκκινογείων Δράμας. Κατά τη διαδικασία της δοκιμής εξετάζονται έξι δοκίμια, τα οποία φυλάσσονται σε εσωτερικό χώρο και διατηρούν την φυσική τους εργασία και που προέρχονται από ογκομάρμαρο, από την δεύτερη βαθμίδα εξορύξεως σε βάθος περίπου 6 m. Οι διαστάσεις των δοκιμίων παρουσιάζονται στον πίνακα 5.2.

Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στις 21/07/2005 στο Εργαστήριο Μηχανικής

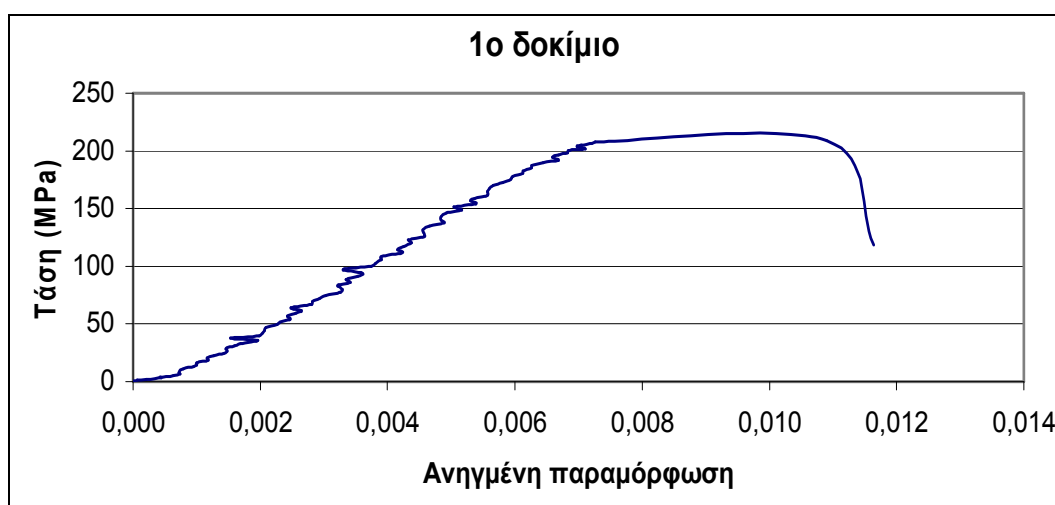
Πετρωμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης και στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης του πρώτου δοκιμίου (Εικόνα 5.13) ενώ τα υπόλοιπα παρατίθενται στο παράρτημα. Η αντοχή σε θλίψη κάθε δοκιμίου, το μέτρο ελαστικότητας καθώς και η μέση τιμή για όλα τα δοκίμια παρουσιάζονται στον πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.2: Διαστάσεις δοκιμίων για υπολογισμό αντοχής σε μονοαξονική θλίψη

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ (h~10cm)						
αριθ.δοκιμίου	1	2	3	4	5	6
h (cm)	9.930	9.680	9.610	9.940	9.935	9.910
	9.945	9.670	9.615	9.945	9.940	9.915
	9.940	9.675	9.610	9.950	9.945	9.905
ημέσο	<b>9.938</b>	<b>9.675</b>	<b>9.612</b>	<b>9.945</b>	<b>9.940</b>	<b>9.910</b>
d (cm)	5.110	5.105	5.105	5.105	5.105	5.105
	5.105	5.105	5.105	5.105	5.105	5.105
	5.105	5.105	5.105	5.105	5.105	5.105
δμέση	<b>5.107</b>	<b>5.105</b>	<b>5.105</b>	<b>5.105</b>	<b>5.105</b>	<b>5.105</b>

Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα αντοχής σε θλίψη και μέτρον ελαστικότητας

Αριθμός δοκιμίου	C <sub>0</sub> (MPa)	C <sub>2</sub> (MPa)	E (GPa)
1	205,006		
2	173,813	172,620	28,686
3	177,624	176,253	33,650
4	176,856	176,269	30,323
5	209,059		
6	177,795	177,125	32,886
		<b>175,567</b>	<b>31.386</b>



Εικόνα 5.13: Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης πρώτου δοκιμίου

Οι τιμές του πρώτου και πέμπτου δοκιμίου δεν λαμβάνονται υπ' όψιν για τον τελικό υπολογισμό της αντοχής σε θλίψη και του μέτρου ελαστικότητας λόγω τις μεγάλης απόκλισης από τις υπόλοιπες τιμές.

### 5.2.5. Αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό

#### *Σκοπός της δοκιμής*

Το αντικείμενο της μεθοδολογίας είναι ο έμμεσος προσδιορισμός της αντοχής σε εφελκυσμό ενός πετρώματος με τη χρήση δοκιμίων κανονικής γεωμετρίας. Χρησιμοποιείται η μέθοδος Brazil (ή δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης) που βασίζεται στην πειραματική παρατήρηση σύμφωνα με την οποία τα περισσότερα πετρώματα που βρίσκονται σε δισδιάστατα εντατικά πεδία αστοχούν σε εφελκυσμό, όταν η μια κύρια τάση είναι εφελκυστική και η άλλη κύρια τάση είναι θλιπτική με τιμή μικρότερη από το τριπλάσιο της εφελκυστικής τάσης (Αγιουτάντης, 2002).

#### *Εξοπλισμός*

Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει τα ακόλουθα όργανα και συσκευές (Εικόνα 5.14):

1. Συσκευή Δοκιμής: Η συσκευή δοκιμής μπορεί να επιβάλει σταθερό ρυθμό φόρτισης στο δοκίμιο και συγχρόνως έχει τη δυνατότητα να μετρά ή/και να καταγράφει το επιβαλλόμενο φορτίο.
2. Πλάκες Φόρτισης: Οι πλάκες φόρτισης χρησιμεύουν στο να μεταφέρουν το φορτίο στο δοκίμιο και είναι παράλληλες μεταξύ τους. Στην περίπτωση που υπάρχει σφαιρική κεφαλή έδρασης που δεν πληροί τις προδιαγραφές του εδαφίου (4) αφαιρείται ή στερεώνεται στην οριζόντια θέση.
3. Σιαγόνες Φόρτισης: Το δοκίμιο φορτίζεται μέσω δυο χαλύβδινων σιαγόνων με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:
  - Ημιελλειπτικό ή Ημικυλινδρικό Άνοιγμα: Το άνοιγμα που σχηματίζουν μεταξύ τους οι δυο σιαγόνες επιτρέπει την έδραση δοκιμίων που έχουν μορφή δίσκου έτσι, ώστε οι σιαγόνες και το δοκίμιο να βρίσκονται σε επαφή κατά τόξο  $10^\circ$  τη στιγμή της αστοχίας. Αυτό επιτυγχάνεται, όταν η ακτίνα του ημικυλίνδρου είναι 1.5 φορές η ακτίνα του δοκιμίου. Το πλάτος των σιαγόνων είναι 1.1 φορές το πλάτος του δοκιμίου.
  - Πύρροι Ευθυγράμμισης: Οι πύρροι που συγκρατούν τις δυο σιαγόνες, επιτρέποντας κίνηση μόνο κατά την κατακόρυφο διεύθυνση, είναι κατασκευασμένοι έτσι, ώστε να επιτρέπεται παρέκκλιση από το επίπεδο

των σιαγόνων της τάξης των  $4 \times 10^{-3}$  ακτινίων.

- Σφαιρική Κεφαλή Έδρασης: Η πάνω σιαγόνα δέχεται το θλιπτικό φορτίο μέσω σφαιρικής κεφαλής έδρασης. Η κεφαλή λιπαίνεται με ελαφρό ορυκτέλαιο.

Για τη σωστή επαφή του δοκιμίου με τις σιαγόνες φόρτισης παρεμβάλλεται χαρτοταινία (πάχους 0.2 – 0.4 mm) με πλάτος μεγαλύτερο ή ίσο με το πλάτος του δοκιμίου.

4. Καταγραφικό Όργανο: Συνίσταται η απευθείας καταγραφή της καμπύλης φορτίου μετατόπισης με τη χρήση καταγραφικού οργάνου με δυο εισόδους (X – Y recorder)



Εικόνα 5.14: Σύστημα δοκιμής σε έμμεσο εφελκυσμό

#### Προετοιμασία δοκιμίων

1. Η διάμετρος των δοκιμίων είναι μεγαλύτερη ή ίση με NX (δηλαδή περίπου 54 mm) και το πλάτος τους περίπου ίσο με την ακτίνα τους.
2. Τα δοκίμια προετοιμάζονται χρησιμοποιώντας μόνο καθαρό νερό (στα κοπτικά και λειαντικά εργαλεία). Οι κυλινδρικές επιφάνειες είναι λείες με ανοχή 0.025 mm. Τα άκρα του κυλίνδρου είναι επίπεδα με ανοχή 0.25 mm και παράλληλα με ανοχή 0.25 mm.

*Διαδικασία*

1. Η διάμετρος και το πλάτος του δοκιμίου μετρούνται με ακρίβεια 0.1 mm.
2. Ο ελάχιστος αριθμός δοκιμών που απαιτείται για τη δοκιμή εξαρτάται από την επιθυμητή ακρίβεια των αποτελεσμάτων, τη δυνατότητα προετοιμασίας επαρκούς αριθμού δοκιμών, κλπ. Συνιστάται η δοκιμή τουλάχιστον 10 δοκιμών.
3. Ο προσανατολισμός κάθε δοκιμίου, καθώς και η περιεχόμενη υγρασία πρέπει να είναι γνωστά.
4. Κάθε δοκίμιο καλύπτεται με χαρτοταινία στην παράπλευρη επιφάνειά του και τοποθετείται μέσα στις σιαγόνες με τον επιθυμητό προσανατολισμό και κατά τέτοιο τρόπο, ώστε ο άξονας συμμετρίας του δοκιμίου και των σιαγόνων να ταυτίζονται.
5. Οι σφαιρικές κεφαλές έδρασης λιπαίνονται με ελαφρό ορυκτέλαιο.
6. Το φορτίο κατά τη διάρκεια της δοκιμής επιβάλλεται χωρίς διακοπές με ρυθμό φόρτισης περίπου 200 N/sec.
7. Συχνά παρατηρείται ότι, μετά την αρχική αστοχία του, το δοκίμιο δεν χάνει την φέρουσα ικανότητά του (δηλαδή την ικανότητα παραλαβής φορτίων) και επομένως είναι δυνατόν να αστοχήσει πλήρως σε μια μεγαλύτερη τιμή φορτίου. Συνήθως, η τάση αυτή δεν διαφέρει περισσότερο από 5% από την αρχική τάση αστοχίας. Για τον υπολογισμό της αντοχής σε εφελκυσμό, είναι απαραίτητη η καταγραφή του αρχικού φορτίου αστοχίας.

*Υπολογισμοί*

Η αντοχή σε εφελκυσμό ( $T_o$ ) υπολογίζεται, σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$T_o = \frac{2F_{\max}}{\pi Dt} = \frac{0.637F_{\max}}{Dt} \quad (5.7)$$

όπου  $F_{\max}$  είναι το μέγιστο φορτίο (δύναμη) που δέχθηκε το φορτίο μέχρι να αστοχήσει,  $D$  είναι η διάμετρος και  $t$  είναι το πλάτος του δοκιμίου. Σημειώνεται ότι η σχέση αυτή προκύπτει από την ακόλουθη εξίσωση με την παραδοχή ότι οι γωνίες επαφής (2α) είναι μικρές:

$$T_o = \frac{2F_{\max}}{\pi r t} \left[ \frac{\sin 2a}{a} - 1 \right] \quad (5.8)$$



*Παρουσίαση αποτελεσμάτων*

Η δοκιμή της αντοχής σε έμμεσο εφελκυσμό πραγματοποιείται σε δολομιτικό μάρμαρο το οποίο προέρχεται από λατομικό χώρο που βρίσκεται την περιοχή «Κερασιές», περί τα 2 km βορείως της Κοινότητας Κοκκινογείων Δράμας. Κατά τη διαδικασία της δοκιμής εξετάζονται έξι δοκίμια, τα οποία φυλάσσονται σε εσωτερικό χώρο και διατηρούν τη φυσική τους υγρασία και που προέρχονται από ογκομάρμαρο, από την δεύτερη βαθμίδα εξορύξεως σε βάθος περίπου 6 m. Οι διαστάσεις των δοκιμίων παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.

Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στις 21/07/2005 στο Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης και στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το διάγραμμα φορτίου – μετατόπισης του πρώτου δοκιμίου (Εικόνα 5.15) ενώ τα υπόλοιπα παρατίθενται στο παράρτημα. Η αντοχή σε θλίψη κάθε δοκιμίου καθώς και η μέση τιμή για όλα τα δοκίμια παρουσιάζονται στον πίνακα 5.5.

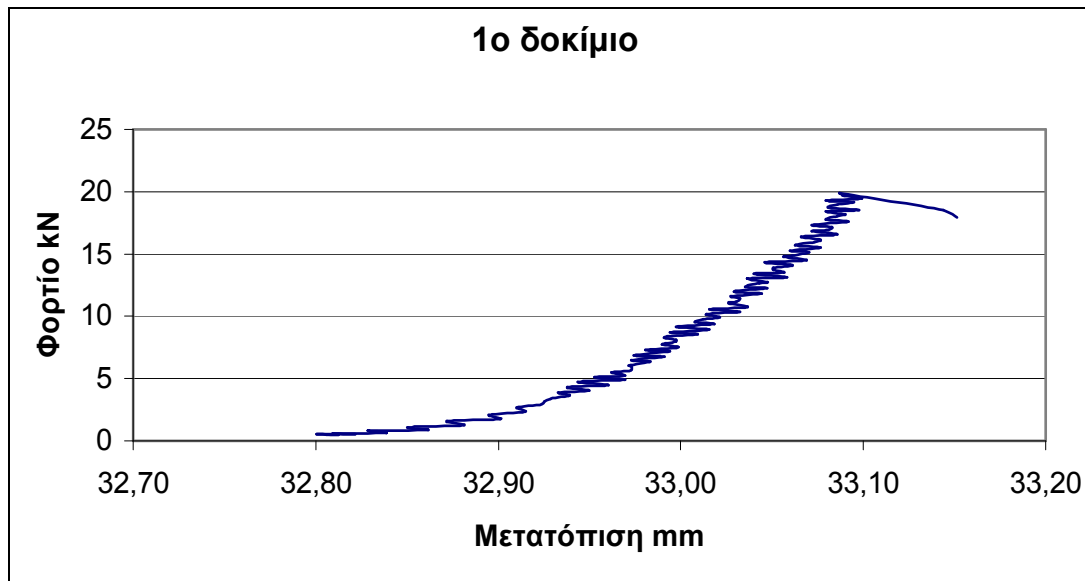
Πρέπει να σημειωθεί ότι η συγκριτικά μικρή αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό του τέταρτου δοκιμίου οφείλεται σε μια ρωγμή που υπήρχε κάθετα στη διάμετρο του δοκιμίου.

*Πίνακας 5.4: Διαστάσεις δοκιμίων για υπολογισμό αντοχής σε έμμεσο εφελκυσμό*

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ (h~2.7cm)						
αριθ.δοκιμίου	1	2	3	4	5	6
h (cm)	2.725	2.840	2.720	2.525	2.655	2.810
	2.705	2.835	2.755	2.535	2.635	2.840
	2.745	2.845	2.725	2.560	2.625	2.830
hμέσο	<b>2.725</b>	<b>2.840</b>	<b>2.733</b>	<b>2.540</b>	<b>2.638</b>	<b>2.827</b>
d (cm)	5.105	5.105	5.105	5.105	5.105	5.105
	5.105	5.105	5.105	5.105	5.105	5.105
dμέση	5.105	5.110	5.110	5.105	5.105	5.105

*Πίνακας 5.5: Αποτελέσματα αντοχής σε έμμεσο εφελκυσμό*

Αριθμός δοκιμίου	T <sub>o</sub> (MPa)
1	7,143
2	9,434
3	5,864
4	4,726
5	5,407
6	8,217
	<b>6,799</b>



Εικόνα 5.15: Διάγραμμα φορτίου – μετατόπισης πρώτου δοκιμίου

### 5.2.6. Μικροσκληρότητα Κνοορ

Γενικά για τη σκληρότητα

Αν και δεν υπάρχει συγκεκριμένος ορισμός της σκληρότητας, θα μπορούσε να δοθεί ο παρακάτω:

*Σκληρότητα ορίζεται ο βαθμός αντίστασης ενός υλικού στην πλαστική παραμόρφωση που προκαλείτε από τη δειξοδυσση άλλων σωμάτων σε αυτό.*

Η μέτρηση της σκληρότητας μπορεί να οριστεί ως μακρο-, μικρο-, ή νανο-.

Τα αποτελέσματα της σκληρομέτρησης παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με διάφορα θέματα που χαρακτηρίζουν τα υλικά όπως για παράδειγμα:

- ✓ Προσδιορισμός υλικού.
- ✓ Έλεγχος ποιότητας επιφανειακών κατεργασιών.
- ✓ Συμπεριφορά του υλικού σε συνθήκες φθοράς και καταπόνησης.
- ✓ Πληροφορίες σχετικά με αντοχή σε εφελκυσμό.

Σε γενικές γραμμές η σκληρομέτρηση έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- ✓ Είναι μια γρήγορη, απλή, εύκολη και αξιόπιστη μέτρηση.
- ✓ Δίνει στοιχεία σχετικά με τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού και έτσι μπορεί να συσχετιστεί άμεσα με την αντοχή σε εφελκυσμό (Tensile Strength). Μεγαλύτερη σκληρότητα συνεπάγεται μεγαλύτερη αντοχή σε παραμόρφωση.
- ✓ Είναι ένας Μη-Καταστροφικός έλεγχος

Οι μέθοδοι σκληρομέτρησης, αναλόγως με το αν θα εφαρμοστούν στατικά ή κρουστικά φορτία, χωρίζονται στις παρακάτω πιο διαδεδομένες μεθόδους:

#### *A) Στατικές μέθοδοι*

Η βασική αρχή των Στατικών μεθόδων έγκειται στην αρχή του ότι μέσω μιας συσκευής που λέγεται διεισδυτής, ασκείται στο δοκίμιο στατικά, ένα συγκεκριμένο φορτίο για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και δημιουργεί ένα αποτύπωμα πάνω σε αυτό. Η τιμή της σκληρότητας προκύπτει από την ανάγνωση των στοιχείων του αποτυπώματος.

Οι πλέον γνωστές Στατικές Μέθοδοι σκληρομέτρησης είναι:

A.1) ROCKWELL

A.2) ROCKWELL SUPERFICIAL

A.3) BRINELL

A.4) VICKERS

A.5) KNOOP ή Μικροσκληρομέτρηση

A.6) SHORE A & SHORE A

#### *B) Δυναμικές μέθοδοι ή μέθοδος EQUOTIP*

Οι στατικές μέθοδοι όπως Brinell (1900), Rockwell (1919) και Vickers (1925) εξυπηρετούν την βιομηχανία για πάνω από 100 χρόνια.

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα όλων των παραπάνω μεθόδων είναι ότι οι συσκευές είναι επιτραπέζιες – σταθερές οπότε καθιστούν την σκληρομέτρηση ασύμφορη και χρονοβόρα λόγω του κόστους και του απαιτούμενου χρόνου μεταφοράς των δοκιμών στην συσκευή.

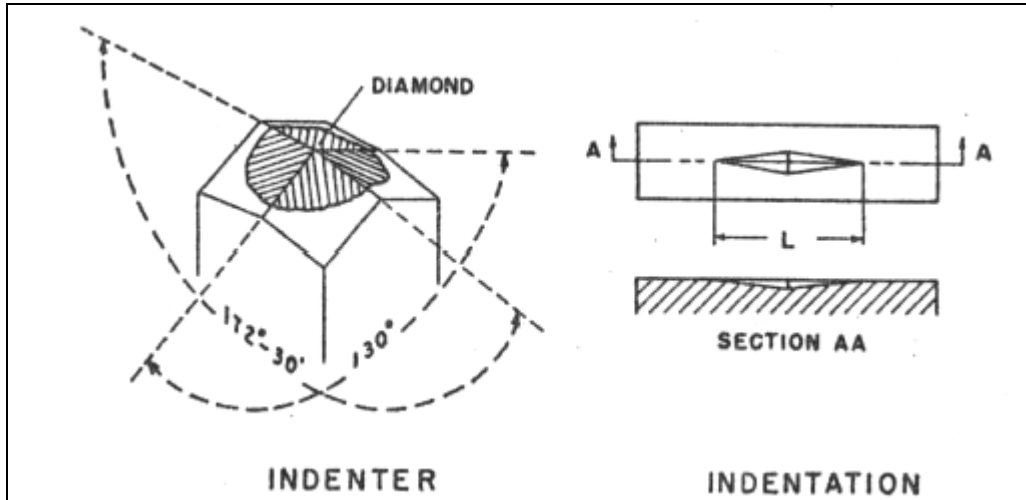
Το 1975 ανακαλύφθηκε η μέθοδος EQUOTIP η οποία και έχει γίνει συνώνυμη με τα Φορητά Σκληρόμετρα. Χάρης σε αυτή την μέθοδο η σκληρομέτρηση μπορεί πλέον να γίνεται επιτόπου, εύκολα μα κυρίως εξίσου αξιόπιστα με τις σταθερές μεθόδους.

#### *Σκληρότητα κατά Knoop*

Η σχετική μικροσκληρότητα ενός υλικού καθορίζεται από τη μέθοδο Knoop η οποία ανακαλύφθηκε από τον F. Knoop το 1939.

Πρόκειται για μια στατική μέθοδο σκληρομέτρησης σύμφωνα με την οποία η διείσδυση γίνεται με εφαρμογή μικρών φορτίων από 5 g έως 1 kg για καθορισμένο

χρόνο, με ένα αδαμάντινο διεισδυτήρα πυραμιδοειδούς σχήματος με σταυρό ρόμβου γωνίες απέναντι ακρών  $172.3^\circ$  και  $130^\circ$  (Εικόνα 5.16), ο οποίος ονομάζεται διεισδυτής Κνοορ.



Εικόνα 5.16: Δεισδυτής Κνοορ

Το μικροσκόπιο της συσκευής μέτρησης (Εικόνα 5.17) που χρησιμοποιείται για την μέτρηση του αποτυπώματος έχει συνήθως μεγέθυνση X50 και ακρίβεια μέτρησης  $\pm 0,5\mu\text{m}$ .

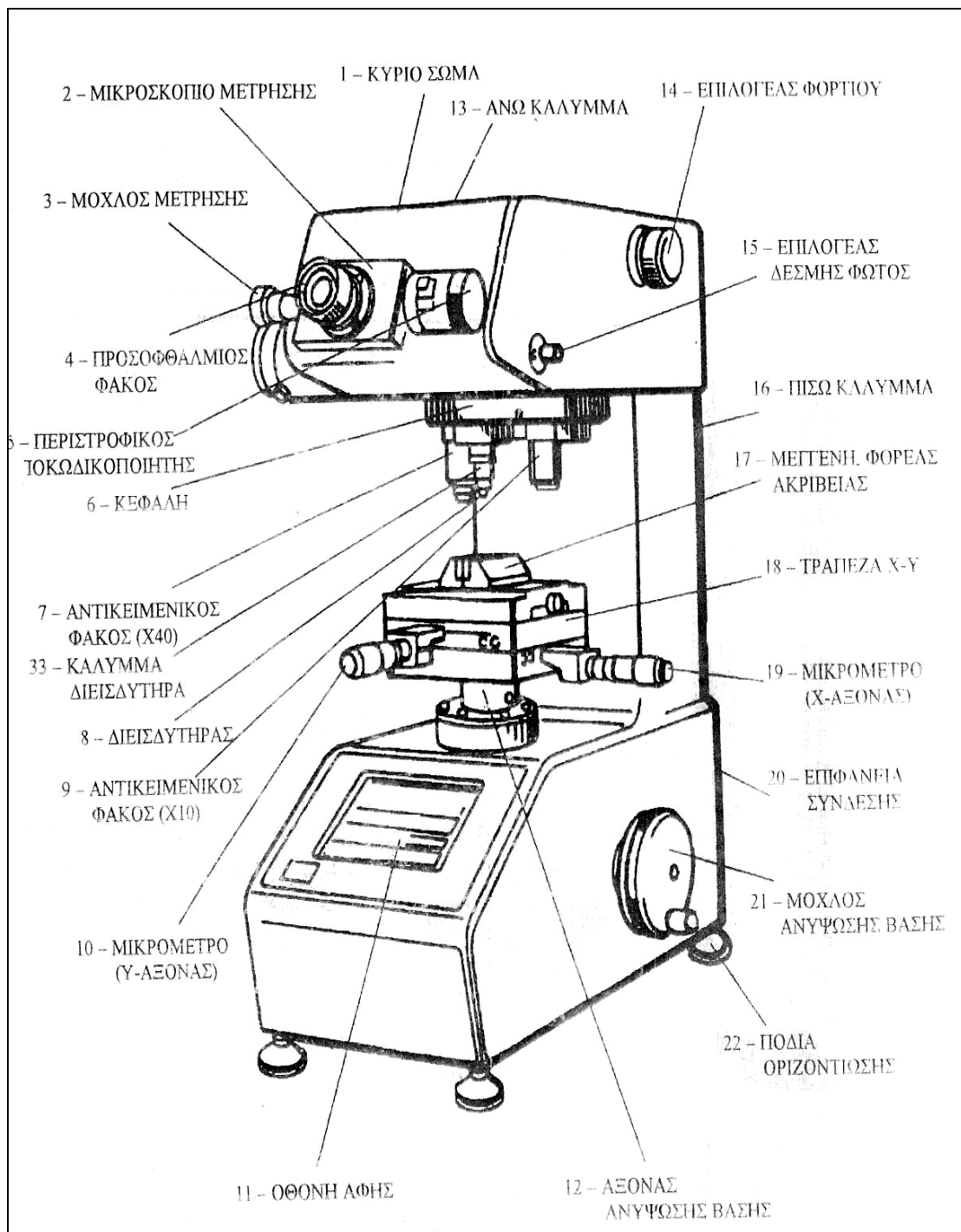
Ο μαθηματικός τύπος που δίνει την σκληρότητα είναι:

$$HK = 0.102 \frac{F}{A} = 0.102 \frac{F}{Cd^2} \quad (5.9)$$

Όπου HK είναι η σκληρότητα κατά Κνοορ, F το φορτίο δοκιμής σε N, A η προβαλλόμενη επιφάνεια του αποτυπώματος σε  $\text{mm}^2$ , C η σταθερά διεισδυτήρα 0.07028 που συνδέει το A με το α και d το μήκος της μεγαλύτερης διαγωνίου του αποτυπώματος mm.

Εάν η μονάδα του φορτίου δοκιμής F είναι σε kg, η σκληρότητα κατά Κνοορ υπολογίζεται ως εξής:

$$HK = \frac{F}{A} = \frac{F}{Cd^2} = 14.2 \frac{F}{d^2} \quad (5.10)$$



Εικόνα 5.17: Δομή συσκευής. 1.Κύριο σώμα, 2.Μικροσκόπιο μέτρησης, 3.Μοχλός μέτρησης, 4.Προσοφθάλμιος φακός, 5.Περιστροφικός κωδικοποιητής, 6.Κεφαλή, 7.Αντικειμενικός φακός (x50), 8.Διεισδυτήρας, 9.Αντικειμενικός φακός (x10), 10.Μικρόμετρο (Υ άξονας), 11.Οθόνη αφής, 12.Άξονα ανύψωσης βάσης, 13.Άνω κάλυμμα, 14.Επιλογέας φορτίου, 15.Επιλογέας δέσμης φωτός, 16.Πίσω κάλυμμα, 17.Μέγετνη, Φορέας ακριβείας, 18.Τράπεζα Χ-Υ, 19.Μικρόμετρο (Χ άξονας), 20.Επιφάνεια σύνδεσης, 21.Μοχλός ανύψωσης βάσης, 22.Πόδια οριζοντίωσης, 23.Άξονας ανύψωσης βάσης (

Η μικροσκληρομέτρηση χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου πρέπει να μελετηθεί η συμπεριφορά επικαλυμμένων επιφανειών ως προς π.χ. την φθορά ή την τριβή. Επίσης χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου πρέπει να μελετηθούν παράγοντες που μετέβαλαν απότομα την σκληρότητα ενός υλικού όπως π.χ. η επιφανειακή βαφή. Ακόμα η μέθοδος Κνοορ επιτρέπει την σκληρομέτρηση εύθραυστων υλικών όπως π.χ. κεραμικών, υάλινων.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου είναι το δοκίμιο να έχει υποστεί μια πάρα πολύ καλή προετοιμασία λείανσης (Εκπαιδευτικά Συστήματα Ε.Π.Ε, 2004).

Η μικροσκληρομέτρηση έγινε στο Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

#### *Παρουσίαση αποτελεσμάτων*

Για την μέτρηση της μικροσκληρότητας Κνοορ χρησιμοποιείται η συσκευή *FM-700*. Τα δοκίμια μαρμάρου είναι διαστάσεων 50x30x5 cm με όσον το δυνατόν καλύτερα λειασμένες επιφάνειες, το φορτίο δοκιμής ρυθμίζεται στα 10 g και ο χρόνος εφαρμογής 15 sec. Κατά την δοκιμή πραγματοποιούνται 10 μετρήσεις σε δυο από τις πλευρές του δοκιμίου (λόγω αδυναμίας καλής στίλβωσης όλων των πλευρών) και τα αποτελέσματα της μικροσκληρότητας Κνοορ (HK) παρουσιάζονται στον πίνακα 5.6. Πρέπει να αναφερθεί ότι στο δείγμα Γ, που λήφθηκε μέσα από την λατομική περιοχή, δεν μετρήθηκε η μικροσκληρότητα Κνοορ, αφού αυτό ταυτίζεται με το δείγμα Α.

*Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα μικροσκληρότητας Κνοορ*

ΔΕΙΓΜΑ	ΠΛΕΥΡΑ 1	ΠΛΕΥΡΑ 2	HK kg/mm <sup>2</sup>	Τυπική απόκλιση
A	279,3	222,5	<b>254,9</b>	77,9
B	161,1	148.1	<b>154,6</b>	20,4
Δ	150,0	144.6	<b>147,3</b>	15,0

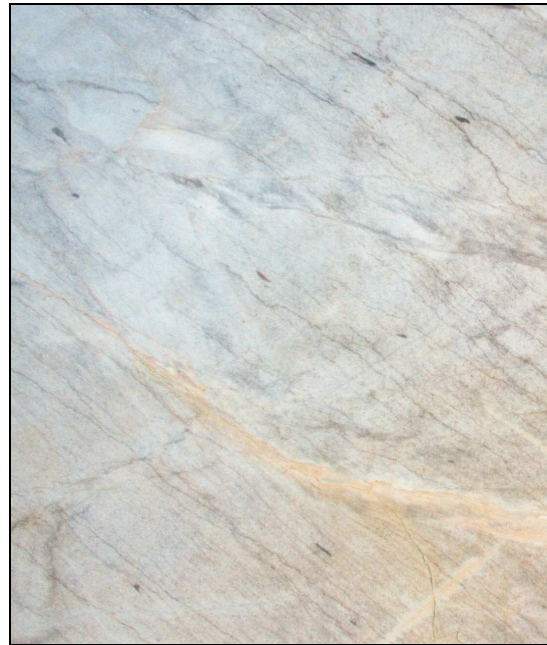
### 5.3. Ερμηνεία αποτελεσμάτων

#### 5.3.1. Σύγκριση δειγμάτων

Η πετρογραφική ανάλυση ταξινομεί τα τέσσερα δείγματα μαρμάρου σε δύο κατηγορίες, σ' αυτή των δολομιτικών και σ' αυτή των ασβεστιτικών. Στην κατηγορία των δολομιτικών μαρμάρων ανήκουν τα δείγματα Α και Γ, που παρά την χρωματική τους διαφορά (Εικόνα 5.17 α, β), από τις αναλύσεις προκύπτει ότι πρόκειται από ορυκτολογική άποψη, για το ίδιο ουσιαστικά μάρμαρο, που είναι και αυτό που εξορύσσεται από το λατομείο. Στην κατηγορία των ασβεστιτικών μαρμάρων ανήκουν τα δείγματα Β και Δ που προέρχονται από περιοχές εκτός του λατομικού χώρου.



Εικόνα 5.17: α) Δείγμα Α



Εικόνα 5.17: β) Δείγμα Γ

Από τη μέτρηση της μικροσκληρότητας Κnoop παρατηρείται ότι το δολομιτικό μάρμαρο (δείγμα Α) παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη τιμή ( $HK = 254,9 \text{ kg/mm}^2$ ) έναντι των ασβεστιτικών μαρμάρων ( $HK_{\beta} = 154,6 \text{ kg/mm}^2$  και  $HK_{\delta} = 147,3 \text{ kg/mm}^2$ ). Η διαφορά αυτή οφείλεται στην ύπαρξη του δολομίτη που σαν ορυκτό είναι πιο σκληρό από ότι ο ασβεστίτης.

### 5.3.2. Σύγκριση εξορυσσόμενου μαρμάρου με άλλα εμπορικά μάρμαρα

Προκειμένου να αξιολογηθεί η ποιότητα του εξορυσσόμενου μαρμάρου με την εμπορική ονομασία SILVER Πηγών (Εικόνα 5.18), συγκρίνονται οι φυσικομηχανικές του ιδιότητες με αυτές άλλων δύο εμπορικών μαρμάρων, το Ημίλευκο Νικίσιανης (Εικόνα 5.19) και το Ημίλευκο Πηγών (Εικόνα 5.20) τα οποία έχουν παρόμοια ορυκτολογική σύσταση και χημική ανάλυση (Πίνακας 5.7 – 8 – 9).



Εικόνα 5.18: Μάρμαρο SILVER Πηγών

Πίνακας 5.7: Χαρακτηριστικά SILVER Πηγών

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ				ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ			
ΑΣΒΕΣΤΙΤΗΣ	10.5	ΑΛΒΙΤΗΣ	-	CaO	33.08	K <sub>2</sub> O	0.00
ΔΟΛΟΜΙΤΗΣ	89.5	ΕΠΙΔΟΤΟ	-	MgO	18.29	Na <sub>2</sub> O	0.34
ΧΑΛΑΖΙΑΣ	-	ΧΡΩΜΙΤΗΣ	-	SiO <sub>2</sub>	0.00	MnO	0.02
ΜΟΣΧΟΒΙΤΗΣ	-			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	CO <sub>2</sub>	45.32
ΧΛΩΡΙΤΗΣ	-			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.39	.	.
ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ							
ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (g/cm <sup>3</sup> )		2.82	ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (GPa)		31.37		
ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (wt%)		0.16	ΜΙΚΡΟΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΚΝΟΟΡ (kg/mm <sup>2</sup> )		254.90		
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ (MPa)		175.57	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΜΜΕΣΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ (MPa)		6.80		





Εικόνα 5.19: Μάρμαρο Ημίλευκο Νικίσιανης

Πίνακας 5.7: Χαρακτηριστικά Ημίλευκο Νικίσιανης

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ				ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ			
ΑΣΒΕΣΤΙΤΗΣ	11	ΑΛΒΙΤΗΣ	-	CaO	33.00	K <sub>2</sub> O	0.06
ΔΟΛΟΜΙΤΗΣ	87	ΕΠΙΔΟΤΟ	-	MgO	18.20	Na <sub>2</sub> O	0.15
ΧΑΛΑΖΙΑΣ	2	ΧΡΩΜΙΤΗΣ	-	SiO <sub>2</sub>	0.09	MnO	0.02
ΜΟΣΧΟΒΙΤΗΣ	-			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.14	CO <sub>2</sub>	46.15
ΧΛΩΡΙΤΗΣ	-			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.40	.	.
ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ							
ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (g/cm <sup>3</sup> )		2.84	ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (GPa)		80.80		
ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (wt%)		0.21	ΜΙΚΡΟΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΚΝΟΟΡ (kg/mm <sup>2</sup> )		219.40		
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ (MPa)		134.76					



Εικόνα 5.20: Μάρμαρο Ημίλευκο Πηγών

Πίνακας 5.7: Χαρακτηριστικά Ημίλευκο Πηγών

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ				ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ			
ΑΣΒΕΣΤΙΤΗΣ	8	ΑΛΒΙΤΗΣ	-	CaO	31.80	K <sub>2</sub> O	0.05
ΔΟΛΟΜΙΤΗΣ	92	ΕΠΙΔΟΤΟ	-	MgO	20.60	Na <sub>2</sub> O	0.20
ΧΑΛΑΖΙΑΣ	-	ΧΡΩΜΙΤΗΣ	-	SiO <sub>2</sub>	0.06	MnO	0.01
ΜΟΣΧΟΒΙΤΗΣ	-			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.14	CO <sub>2</sub>	46.20
ΧΛΩΡΙΤΗΣ	-			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	.	.
ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ							
ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (g/cm <sup>3</sup> )		2.76	ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (GPa)		62.17		
ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (wt%)		0.28	ΜΙΚΡΟΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΚΝΟΟΡ (kg/mm <sup>2</sup> )		153.80		
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ (MPa)		141.27					

Από την σύγκριση των ιδιοτήτων των παραπάνω πινάκων προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα για το εξεταζόμενο μάρμαρο:

- Η φαινόμενη πυκνότητα του εξεταζόμενου μαρμάρου είναι παραπλήσια με

αυτή των υπόλοιπων τύπων μαρμάρου και σχεδόν ταυτίζεται με το ανώτερο όριο που ισχύει για τα μάρμαρα ( $2.90 \text{ g/cm}^3$ ).

- Το μάρμαρο παρουσιάζει χαμηλό ποσοστό υδατοαπορροφητικότητας ώστε να είναι κατάλληλο για επενδύσεις δαπέδων τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους.
- Η τιμή της αντοχής σε θλίψη είναι αρκετά μεγάλη γεγονός που καθιστά το μάρμαρο ικανό να αντεπεξέρθει σε εφαρμογές φορτίων.
- Το μέτρο ελαστικότητας είναι αρκετά μικρό.
- Η μικροσκληρότητα Knoop σε σύγκριση με τα υπόλοιπα είδη μαρμάρων είναι πολύ μεγαλύτερη ώστε το εξεταζόμενο δείγμα να αντέχει περισσότερο στην φθορά και την τριβή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### Μελέτη επέκτασης εκμετάλλευσης λατομείου

Εξετάζεται μαρμαροφόρο κοίτασμα, που εκμεταλλεύεται λατομική επιχείρηση στο Νομό Δράμας.

Μέρος του λατομικού χώρου είναι δημόσια μισθωμένος και βρίσκεται στη θέση «Κερασιές» της Κοινότητας Κοκκινογείων Νομού Δράμας.

Η εκμετάλλευση γίνεται εδώ και πέντε χρόνια και παράγεται μάρμαρο που διατίθεται στην αγορά με την ονομασία SILVER ΠΗΓΩΝ. Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται μελέτη επέκτασης της εκμετάλλευσης.

#### 6.1. Στοιχεία λατομικού χώρου και μορφολογία περιοχής

Το εμβαδόν του χώρου εντός του οποίου πρόκειται να αναπτυχθεί η εκμετάλλευση είναι 135.600 m<sup>2</sup>, από τα οποία τα 50.000 m<sup>2</sup> αποτελούν τον υπάρχοντα λατομικό χώρο και τα υπόλοιπα 85.600 m<sup>2</sup> την έκταση που προστίθεται μετά την εκμετάλλευση.

Η γεωγραφική θέση της λατομικής έκτασης εντοπίζεται περί τα 2 Km βορείως της Κοινότητας Κοκκινογείων Δράμας στη θέση «Κερασιές», και 20 Km δυτικά της Δράμας, όπως φαίνεται στον τοπογραφικό χάρτη (Εικόνα 6.1).

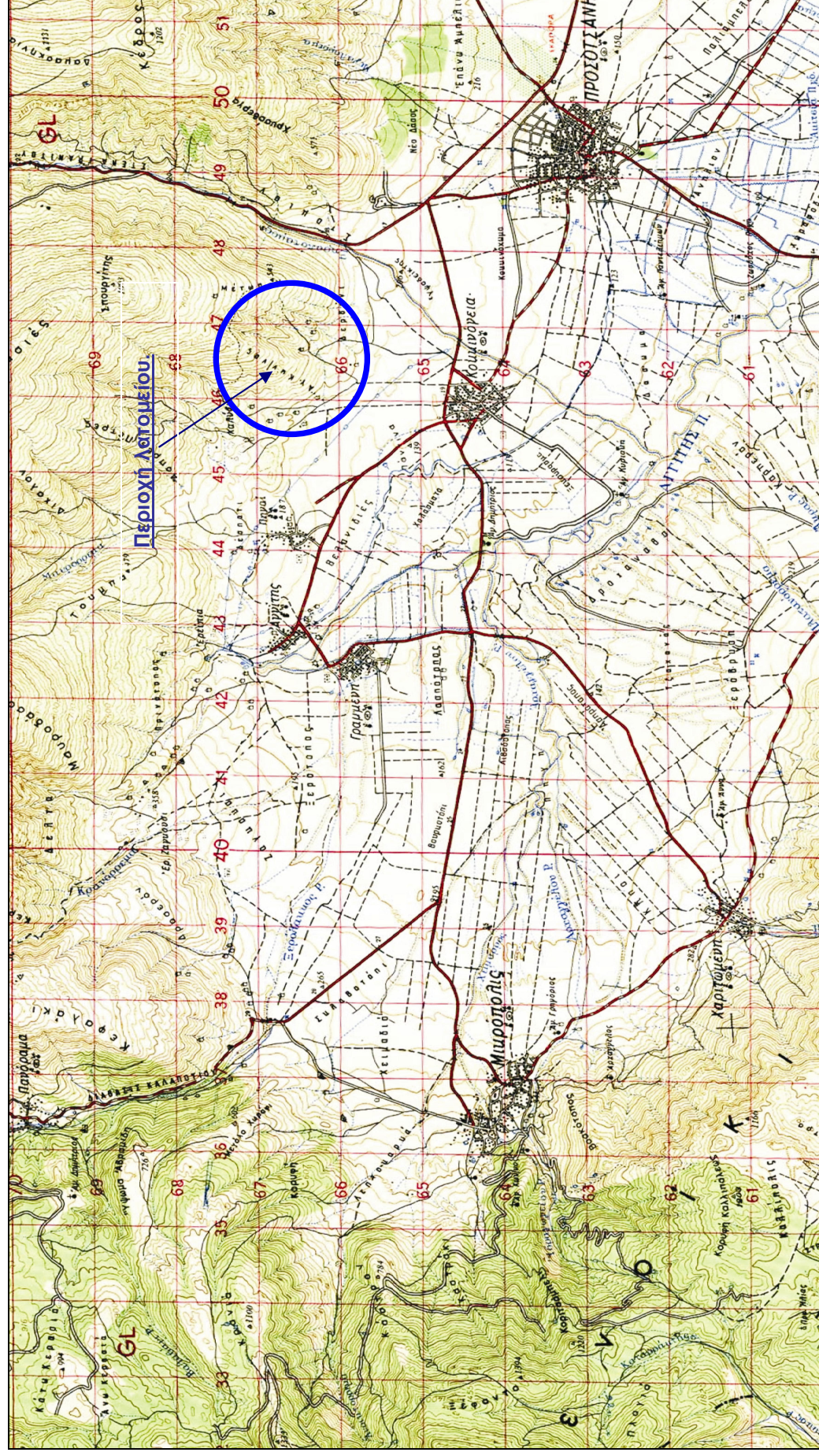
Χωροθετικά, η περιοχή βρίσκεται σε μέτριο υψόμετρο, περίπου 350 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, με σχετικά μικρές κλίσεις του ανάγλυφου. Σε διάγραμμα ορθογώνιων αζιμουθιακών συντεταγμένων, ο λατομικός χώρος περικλείεται από τα σημεία του πίνακα 6.1, με συντεταγμένες στο Κ.Φ.Χ. ΔΡΑΜΑΣ (Εικόνα 6.2) κλίμακας 1:100.000, με:

$$\Phi = 41^{\circ} \text{ \& } 15'$$

$$\lambda = +0^{\circ} \text{ \& } 15'$$

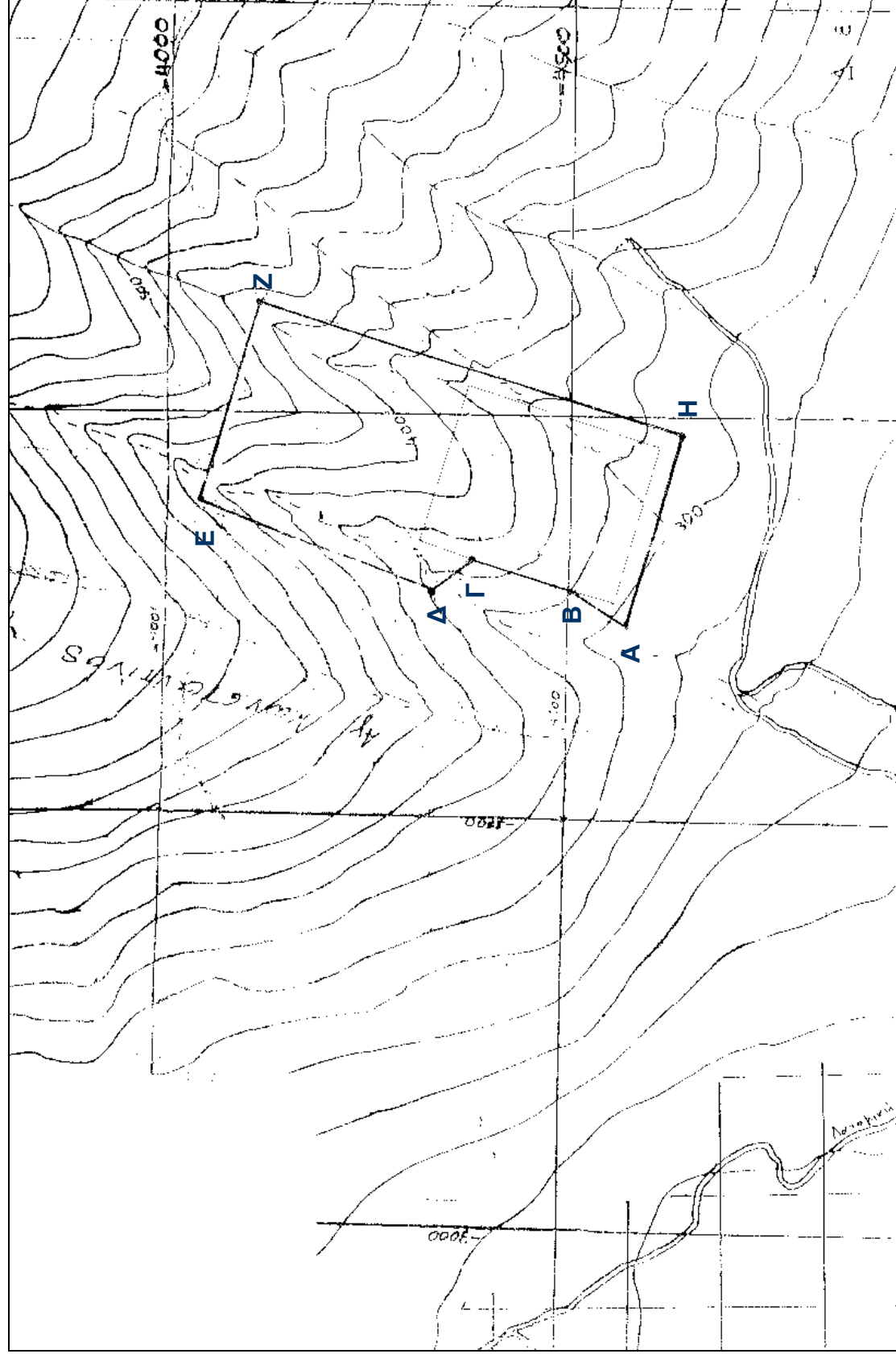
Η περιοχή προσφέρεται μόνο σαν βοσκότοπος αιγοπροβάτων, γιατί το έδαφος είναι βραχώδες με πενιχρή θαμνώδη βλάστηση, κυρίως πουρναριού.





Εικόνα 6.1: Απόσπασμα τοπογραφικού χάρτη ενρύτερης περιοχής λατομικού χώρου κλίμακας 1:100.000(Φέσσας, 1995)





Εικόνα 6.2: Τοπογραφικό διάγραμμα λατομικού χώρου κλίμακας 1:5000

Πίνακας 6.1: Συντεταγμένες των σημείων που οριοθετούν τον λατομικό χώρο

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΟΡΙΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ		
ΚΟΡΥΦΗ	X	Ψ
A	-2109,63	-4045,65
B	-1868,41	-4115,50
Γ	-2818,92	-4635,35
Δ	-2254,52	-4570,74
E	-2213,35	-4503,62
Z	-2178,46	-4383,14
H	-2220,28	-4332,57

Δεν παρουσιάζει κανένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον επιστημονικό, οικολογικό, αισθητικό και βρίσκεται μακριά από αστικά κέντρα και κατοικημένες περιοχές. Στην περιοχή απαντώνται ο οικισμός Πηγών και η Κοινότητα Κοκκινογείων των οποίων οι κάτοικοι απασχολούνται, κατά πλειοψηφία, σαν εργάτες στα λατομεία της περιοχής ή με κτηνοτροφικές εργασίες.

## 6.2. Γεωλογικά και κοιτασματολογικά στοιχεία

Από τη γεωλογική και κοιτασματολογική έρευνα της λατομικής της περιοχής, ο μόνος σχηματισμός που συναντήθηκε είναι τα μάρμαρα. Στην εικόνα 6.3 παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης καθώς και μια γεωλογική τομή του λατομικού χώρου.

Αυτά τα μάρμαρα αποτελούν τμήμα της κρυσταλλοσχιστόδους μάζας της Ροδόπης, που εκτείνεται από τη Θράκη έως και τμήμα της Κεντρικής Μακεδονίας και είναι Παλαιοζωικής ηλικίας.

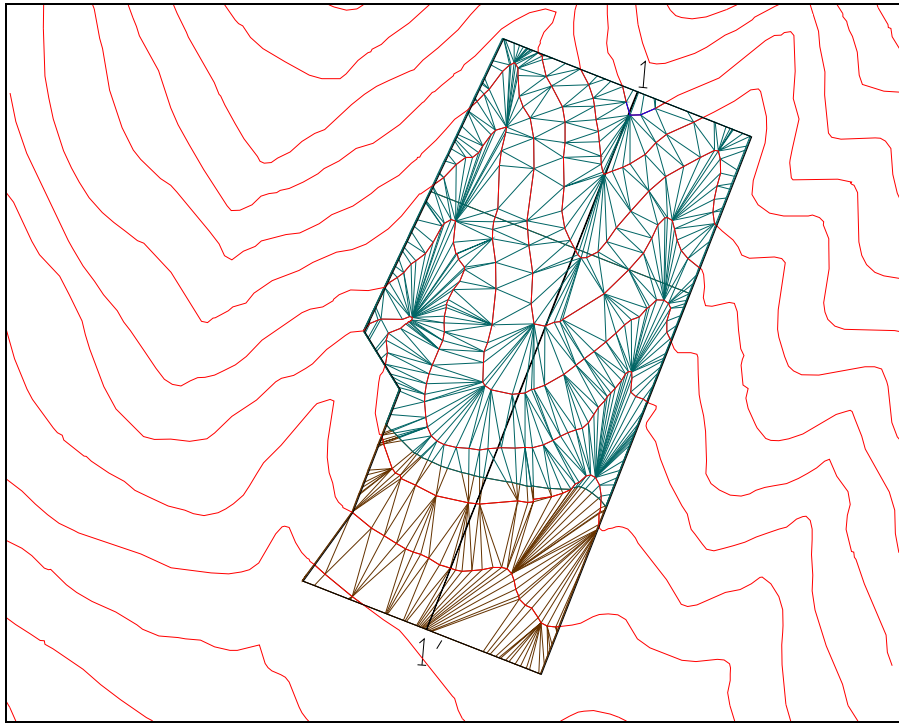
## 6.3. Γεωλογικά αποθέματα

Ο υπολογισμός των γεωλογικών αποθεμάτων του υπό μελέτη λατομικού χώρου γίνεται με ογκομέτρηση του στερεού που περικλείεται από τα όρια του λατομείου. Θεωρείται ότι το τμήμα του λατομικού χώρου όπου θα γίνει η εκμετάλλευση, είναι μαρμαροφόρος περιοχή στην οποία δεν έχουν δημιουργηθεί

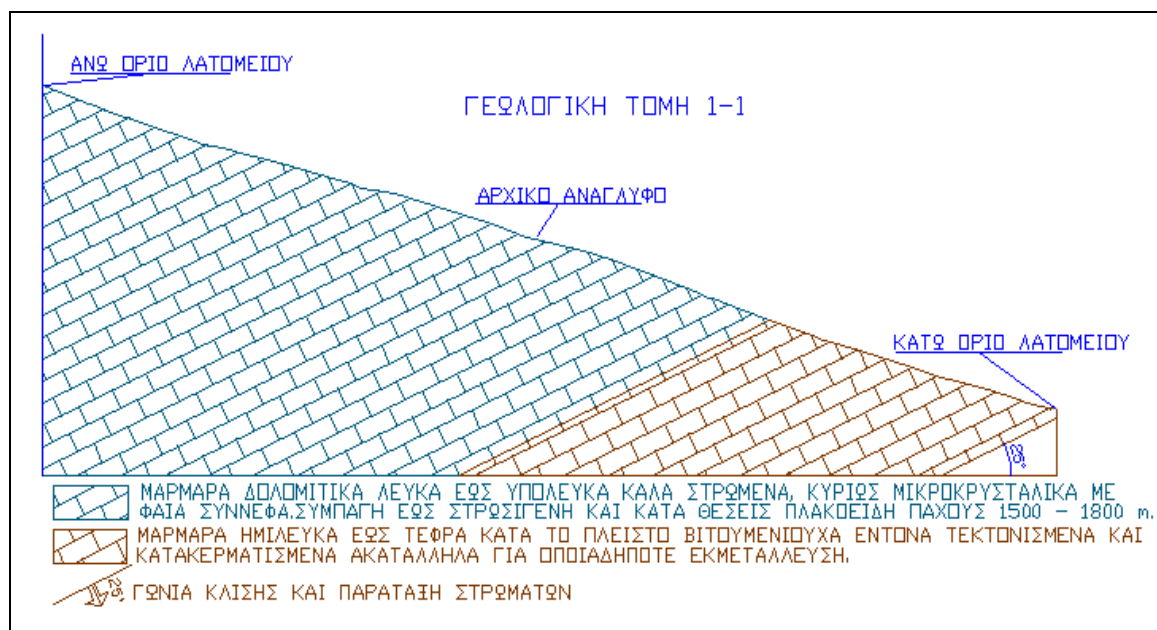


εκσκαφές εκμετάλλευσης. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω τα γεωλογικά αποθέματα υπολογίζονται  $8.387.063 \text{ m}^3$ .

Για την δημιουργία του τρισδιάστατου λατομικού χώρου έγινε χρήση των λογισμικών AutoCAD, Cad – Overlay και AutoCAD – LandDevelopment. Αρχικά, έγινε σάρωση με μεγάλη ανάλυση, του τοπογραφικού χάρτη με τα όρια του

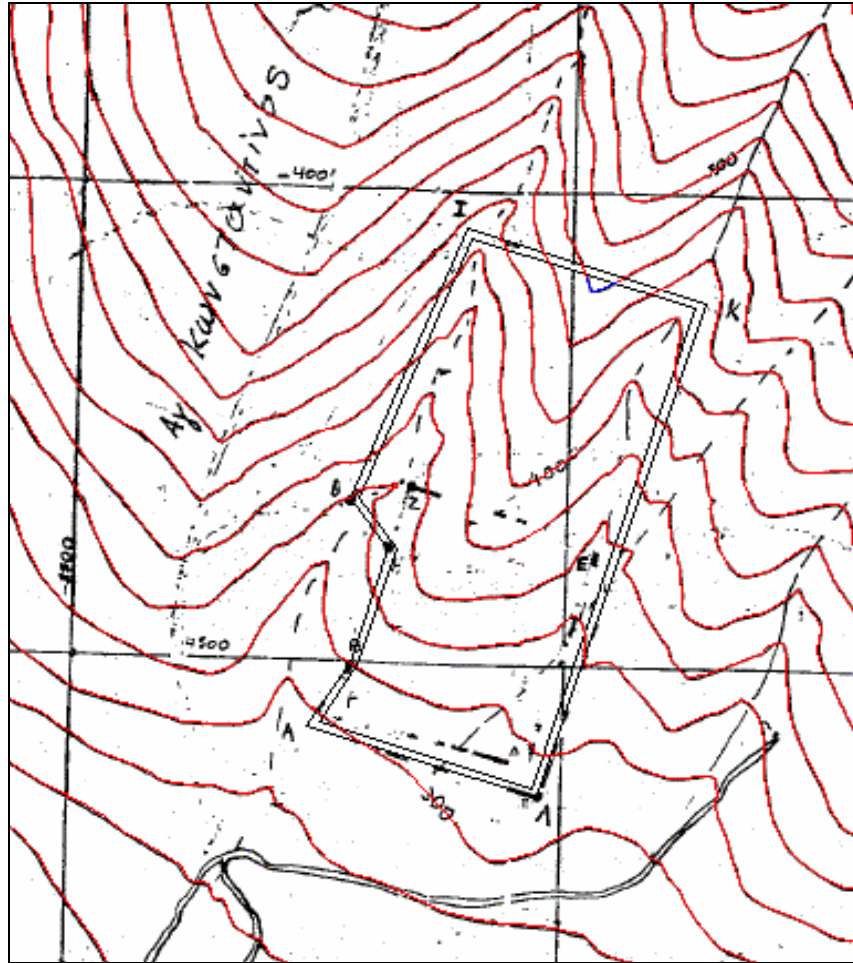


Εικόνα 6.3:α) Γεωλογικός χάρτης λατομικού χώρου



Εικόνα 6.3:β) Γεωλογική τομή λατομικού χώρου

λατομικού χώρου, ο οποίος στη συνέχεια ψηφιοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού Cad – Overlay (Εικόνα 6.4). Στη συνέχεια και αφού δοθήκανε τα υψόμετρα των ισοϋψών, στο λογισμικό AutoCAD – LandDevelorment και τη μέθοδο της τριγωνοποίησης δημιουργήθηκε η τρισδιάστατη πλέον απεικόνιση του λατομικού χώρου (Εικόνα 6.5). Τέλος, έγινε η σχεδίαση της τελικής εκμετάλλευσης στο λογισμικό AutoCAD (Εικόνα 6.6)

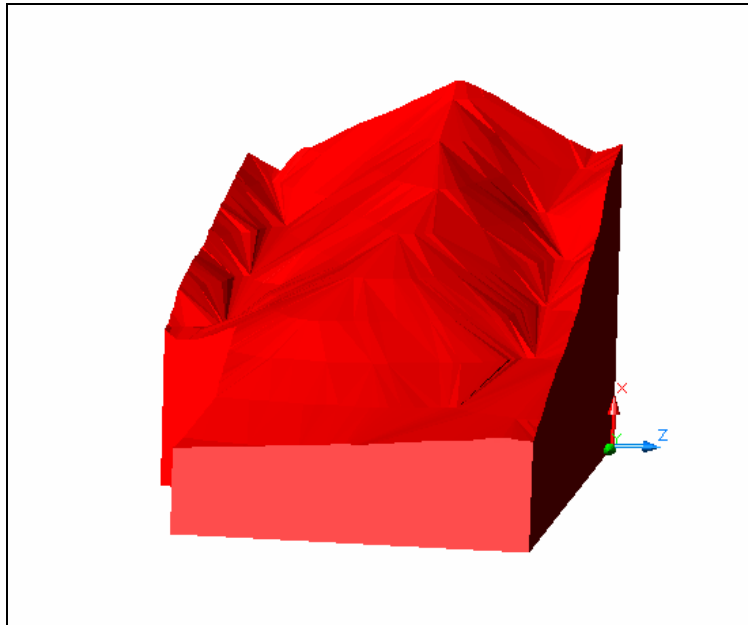


Εικόνα 6.4: Ψηφιοποίηση τοπογραφικού χάρτη

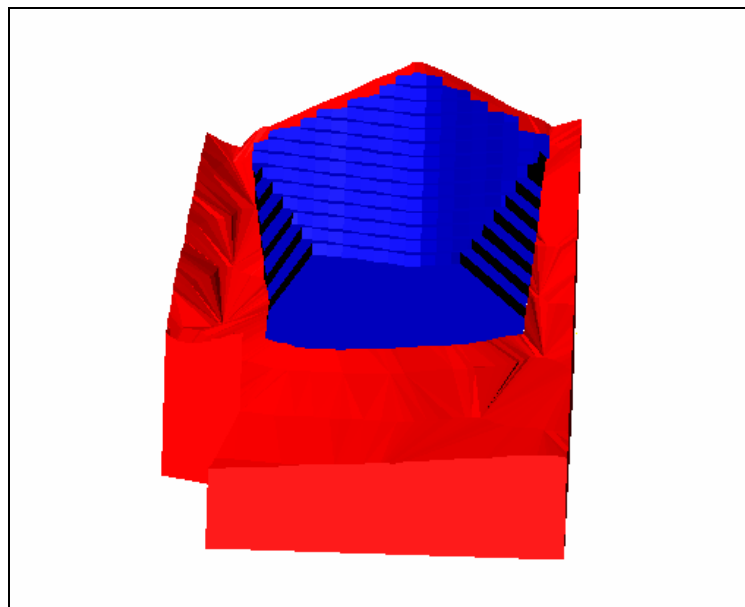
#### **6.4. Μέθοδος εκμετάλλευσης και υπολογισμός απολήψιμων αποθεμάτων**

Το τοπογραφικό ανάγλυφο του λατομικού χώρου (Εικόνα 6.5), τα γεωλογικά και πετρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής επιβάλλουν την επιλογή της μεθόδου εκμεταλλεύσεως ορθών βαθμίδων, με χρήση συρματοκοπής.

Η εκμετάλλευση περιορίζεται σε ότι αφορά την έκταση των γεωλογικών



Εικόνα 6.5: Τρισδιάστατη απεικόνιση λατομικού χώρου



Εικόνα 6.6: Τελική διαμόρφωση λατομικού χώρου

αποθεμάτων, από την έκταση του λατομικού χώρου και εκτείνεται μεταξύ των δύο ρεματιών που βρίσκονται στα άκρα του.

Συνολικά θα διανοιχτούν δεκατέσσερις βαθμίδες. Σε βάθος η εκμετάλλευση φτάνει ως το επίπεδο των 346 m (δάπεδο 14<sup>ης</sup> βαθμίδας). Στην τελική εκσκαφή, το ύψος κάθε βαθμίδας δεν ξεπερνά τα 8 m και το πλάτος είναι 8 m, με τελική κλίση 90° προς το οριζόντιο επίπεδο. Η τελική κλίση των πρανών της εκμετάλλευσης είναι

45°. Η εκμετάλλευση σταματά 8 m από τα όρια της λατομικής έκτασης.

Ο υπολογισμός του εκμεταλλεύσιμου όγκου μαρμάρου καθώς επίσης και ο όγκος του χώρου απόθεσης των στείρων υπολογίζεται με την μέθοδο των τομών και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 6.3 (Εικόνα 6.7 και 6.8).

Οι σχετικές ποσότητες ανέρχονται σε :

⇒ Εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα μαρμάρου :  $1.972.054,78 \text{ m}^3$

⇒ Όγκος χώρου απόθεσης στείρων  $398.551,08 \text{ m}^3$

Με δεδομένου ότι ο εκτιμώμενος συντελεστής αποληψιμότητας του κοιτάσματος ανέρχεται σε 0,20, προκύπτει ότι οι όγκοι που θα διακινηθούν προς εμπορία ανέρχονται σε  $1.972.054,78 \times 0,20 = 394.410,80 \text{ m}^3$  ογκομαρμάρων.

Δεχόμενοι ότι ο συντελεστής αποληψιμότητας σε ακανόνιστους όγκους (ξωφάρια) θα είναι 0,20, τότε εκτός από τους  $394.410,80 \text{ m}^3$  όγκους ορθογωνισμένων μαρμάρων θα παραχθούν και  $(1.972.054,78 - 394.410,80) \times 0,20 = 315.528,80 \text{ m}^3$  περίπου ξωφάρια (Πίνακας, 6.2).

Ο συνολικός όγκος στείρων που απαιτούνται να διακινηθούν, ανέρχεται σε  $(1.972.054,78 - 394.410,80 - 315.528,80) = 1.262.115,18 \text{ m}^3$ .

Πίνακας 6.2: Χαρακτηριστικά που αφορούν την αποληψιμότητα του κοιτάσματος

Εκμεταλλεύσιμοι ορθογωνισμένοι όγκοι	$394.410,80 \text{ m}^3$
Ακανόνιστοι όγκοι	$315.528,80 \text{ m}^3$
Στείρα	$1.262.115,18 \text{ m}^3$

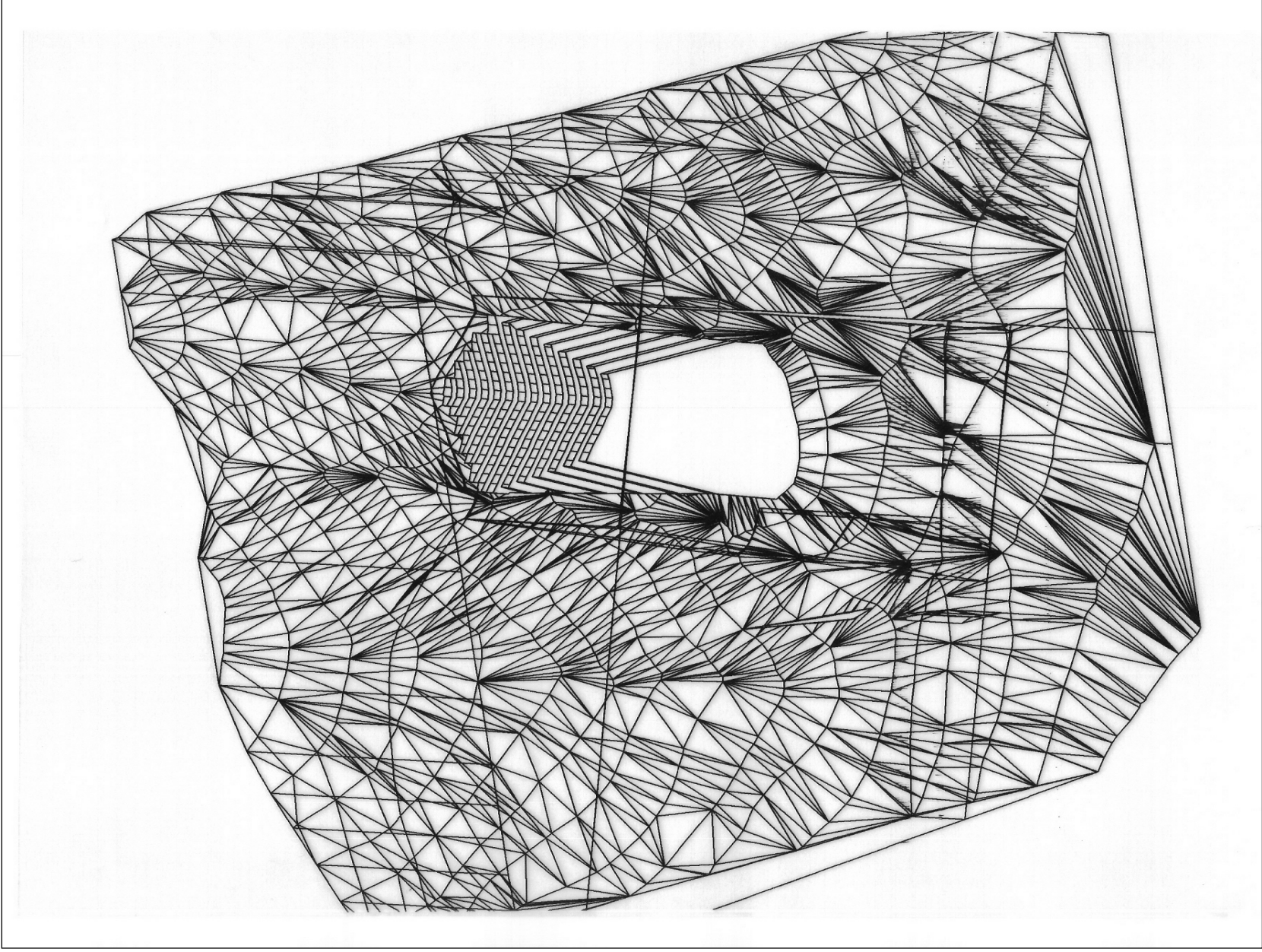
## 6.5. Προσπέλαση

### 6.5.1. Κύρια προσπέλαση

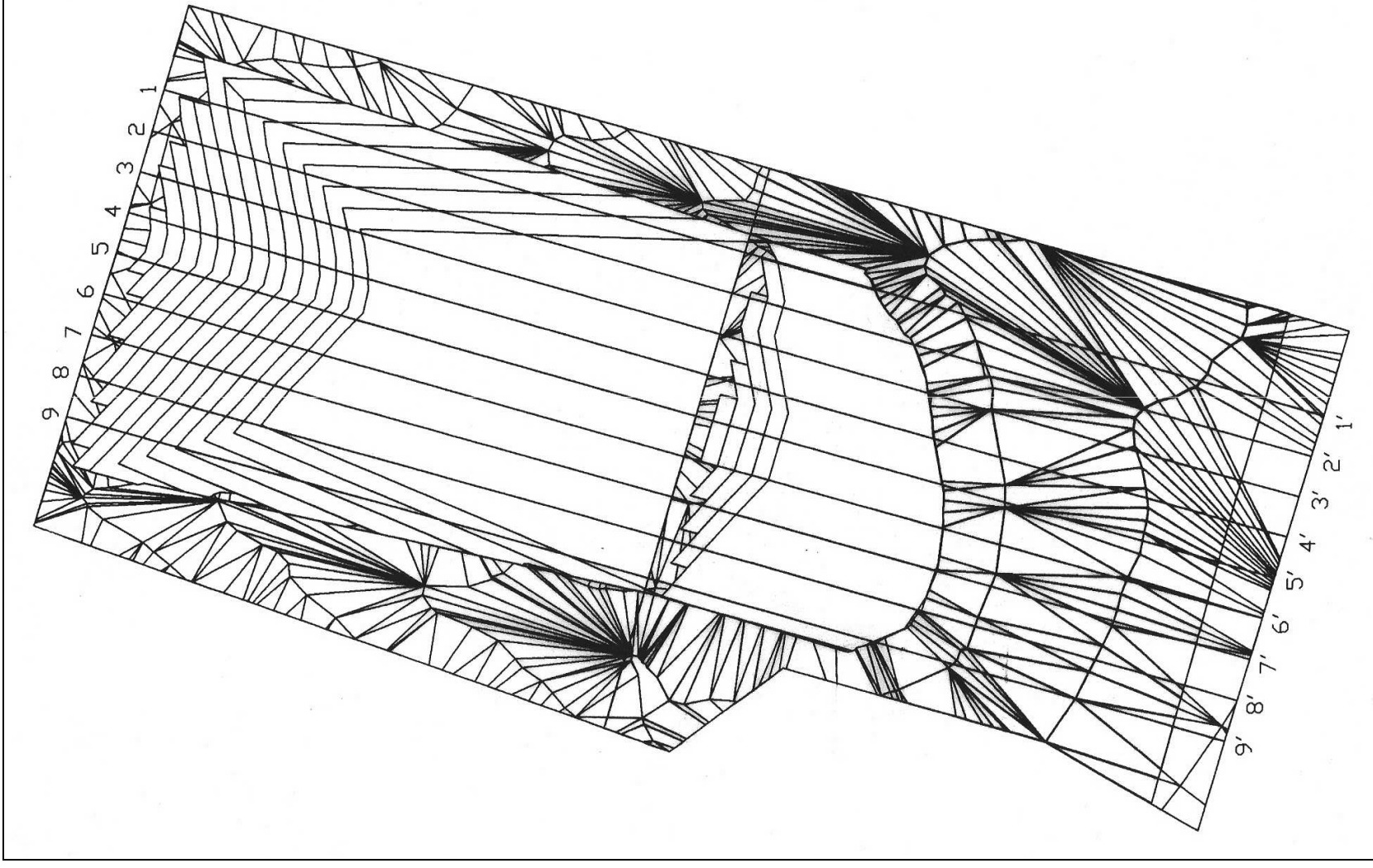
Ο δρόμος, που ήδη χρησιμοποιείται, για την προσπέλαση στο λατομείο, είναι πολύ καλής βατότητας και αυτό γιατί από τον δρόμο αυτό γίνεται και η προσπέλαση και σε άλλα λατομεία, που βρίσκονται σε λειτουργία στην γύρω περιοχή. Ο παραπάνω δρόμος συνδέει τον λατομικό χώρο με τη διερχόμενη επαρχιακή οδό Δράμας – Κοκκινογείων – Πηγών και έχει μήκος 2 Km.

Πίνακας 6.3: Υπολογισμός εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων

Αριθμός διατομής	Επιφάνεια μαρμ. (m <sup>2</sup> )	Επιφάνεια άγνωνων (m <sup>2</sup> )	Μέσος όρος επιφ. μαρμ. (m <sup>2</sup> )	Μέσος όρος επιφ. άγνωνων (m <sup>2</sup> )	Απόσταση διατομών (m)	Όγκος διατομής μαρμ. (m <sup>3</sup> )	Όγκος διατομής άγνωνων (m <sup>3</sup> )
			2201,97	1701,345	9,95	21909,60	16928,38
1 – 1'	4403,94	3402,69					
			7018,11	3219,445	19,9	139660,39	64066,96
2 – 2'	9632,28	3036,2					
			11393,64	2964,14	19,9	226733,44	58986,39
3 – 3'	13155	2892,08					
			14084,715	2646,915	19,9	280285,83	52673,61
4 – 4'	15014,43	2401,75					
			15498,41	2219,975	19,9	308418,36	44177,5
5 – 5'	15982,39	2038,2					
			15564,19	1979,665	19,9	309727,38	39395,33
6 – 6'	15145,99	1921,13					
			14114,82	1872,38	19,9	280884,92	37260,36
7 – 7'	13083,65	1823,63					
			11670,34	1837,18	19,9	232239,77	36559,88
8 – 8'	10257,03	1850,73					
			7478,185	1933,335	19,9	148815,88	38473,37
9 – 9'	4699,34	2015,94					
			2349,67	1007,97	9,95	23379,22	10029,3
Σύνολο						<b>1.972.054,78</b>	<b>398.551,08</b>

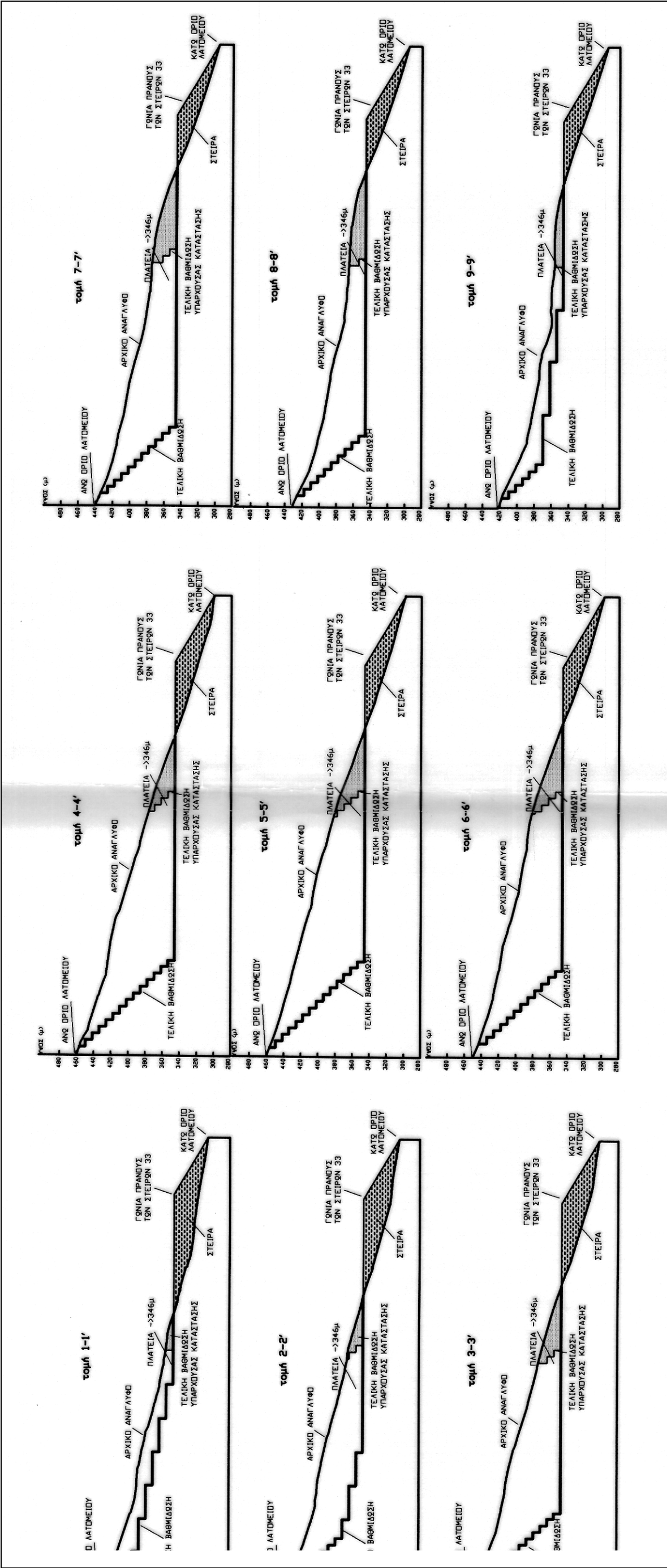


Εικόνα 6.7:α) Θέση λατομείου. Κλίμακα 1:5000



Εικόνα 6.7: β) Θέση τομών. Κλίμακα 1:2500





Εικόνα 6.8: Τομές για τον υπολογισμό των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων και του χώρου απόθεσης στείρων. Κλίμακα 1:500



Κατά διαστήματα και ειδικότερα μετά την χειμερινή περίοδο, λόγω των βροχοπτώσεων, είναι απαραίτητη η κατά τμήματα επίστρωση του δρόμου με λατύπες μικρής κοκκομετρίας που προέρχονται από την μορφοποίηση των ογκομαρμάρων στο λατομείο.

### **6.5.2. Δευτερεύον οδικό δίκτυο**

Προκειμένου να προσβληθεί η εκμετάλλευση που ξεκινάει από το υψόμετρο της υψηλότερης πρώτης βαθμίδας εκμετάλλευσης, αλλά και η απόθεση των στείων, διανοίγεται χωματόδρομος που διασχίζει το λατομείο και χρησιμοποιείται ως εσωτερικός δρόμος προσπέλασης.

Η εσωτερική οδός προσπέλασης έχει μήκος 1050 m, υψομετρική διαφορά 104 m, μέση κλίση 9.9 %, πλάτος 8 m περίπου και οι ακτίνες καμπυλότητας πληρούν τις δεσμεύσεις του Άρθρου 39 του Κ.Μ.Λ.Ε. (Εικόνα 6.9).

Παράλληλα, προκειμένου να είναι δυνατή η προσπέλαση στον χώρο απόθεσης των στείων διανοίγεται η οδός 1 – 2 – 11 – 12 – 1. Το τμήμα 1 – 12 θα διέρχεται παράλληλα από το ύψος της ισοϋψούς καμπύλης από όπου αρχίζει η εναπόθεση των στείων. Η οδός έχει μήκος 170 m, υψομετρική διαφορά 20 m και κλίση 11.7 %.

## **6.6. Προπαρασκευή λατομικού χώρου**

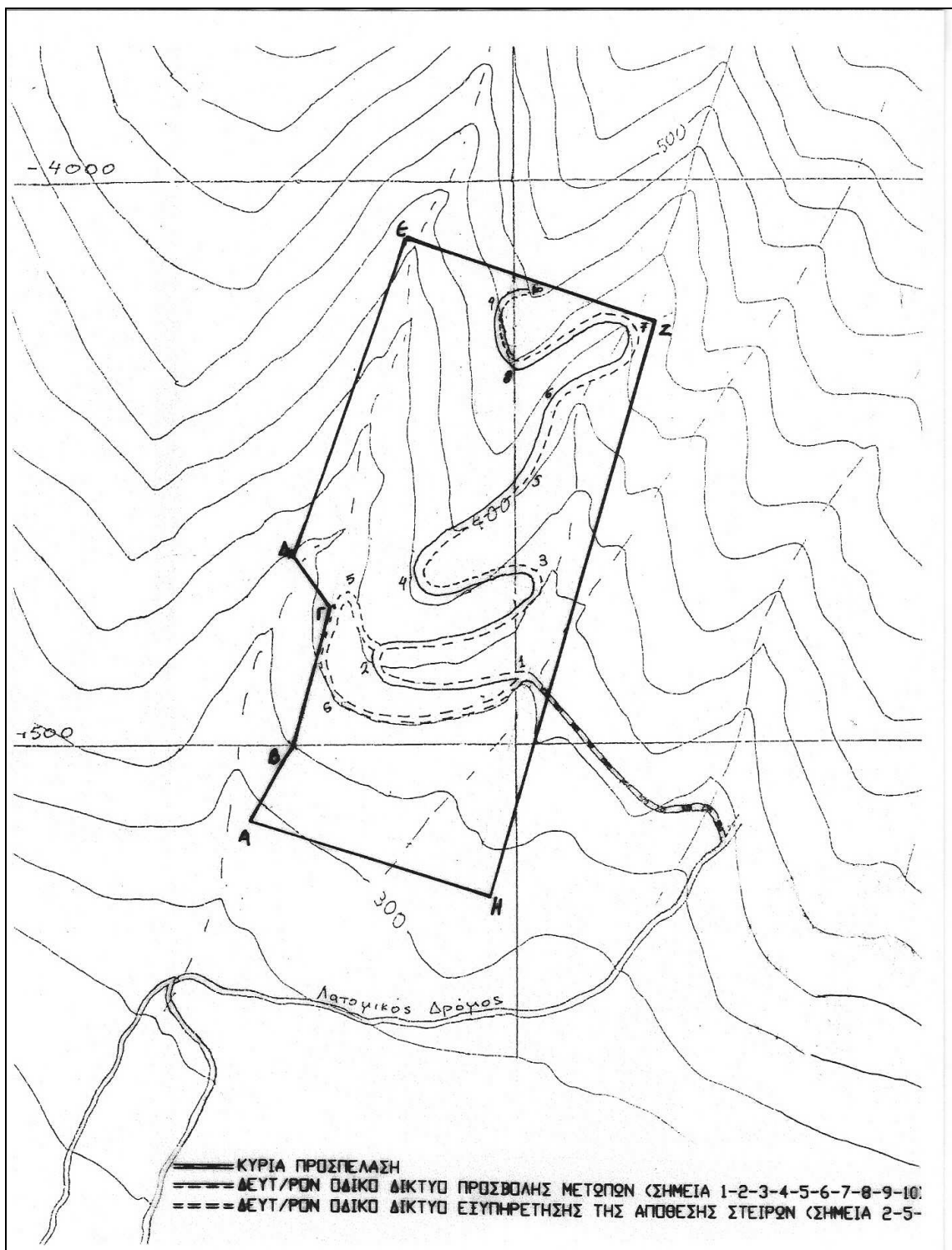
Με τον όρο προπαρασκευή του λατομικού χώρου εννοούνται όλες τις προκαταρκτικές εργασίες που απαιτούνται να εκτελεστούν προκειμένου ο λατομικός χώρος να είναι έτοιμος για εκμετάλλευση (παραγωγική λειτουργία).

Τα απαιτούμενα έργα προπαρασκευής είναι:

- Αποψίλωση του λατομικού χώρου.
- Διάνοξη βαθμίδων.
- Διάνοξη τάφρου αποστραγγίσεως.

### **6.6.1. Αποψίλωση του λατομικού χώρου.**

Η αποψίλωση του λατομικού χώρου γίνεται σταδιακά με την πρόοδο των βαθμίδων εκμετάλλευσης. Η διαδικασία αυτή διενεργείται με ερπυστριοφόρο



Εικόνα 6.9: Χάρτης προσπέλασης λατομικού χώρου κλίμακας 1:5000

φορτωτή και με τη βοήθεια εκσκαφέα υδραυλικού ανεστραμμένου κάδου.

### **6.6.2. Διάνοιξη βαθμίδων.**

Θα δημιουργηθούν συνολικά 14 βαθμίδες. Η πρώτη (υψηλότερη), θα έχει δάπεδο το υψόμετρο +450μ. και στη συνέχεια ακολουθούν οι υπόλοιπες χαμηλότερες βαθμίδες, σε μία φθίνουσα υψομετρική διαφορά ανά 8 μ. η μία από την άλλη.

Η τελευταία (χαμηλότερη) 14<sup>η</sup> βαθμίδα θα έχει δάπεδο το υψόμετρο. + 346 μ. που θα αποτελέσει και το πέρας της εκμετάλλευσης.

Αρχικά από το υψόμετρο + 450 θα γίνει με τη βοήθεια του ερπυστριοφόρου φορτωτή και όπου χρειαστεί και του εκσκαφέα, αποκάλυψη των στείρων και απομάκρυνση των αποσαθρωμένων επιφανειακών μαρμάρων, μέχρις ότου ευρεθεί η υγιής επιφάνεια πάνω στην οποία θα αρχίσει η εκμετάλλευση των μαρμάρων όπως περιγράφεται στο σχετικό κεφάλαιο. Οι υπόλοιπες βαθμίδες θα δημιουργηθούν και ολοκληρωθούν με την παραγωγική διαδικασία, προηγούμενης πάντοτε της υψηλότερης βαθμίδας.

### **6.6.3. Διάνοιξη τάφρου αποστραγγίσεως.**

Αναφερόμαστε στα όμβρια ύδατα. Ιδιαίτερα προβλήματα δεν δημιουργούνται από τις βροχοπτώσεις. Η εκσκαφή, θα είναι ανοικτή και δεν απαιτείται η δημιουργία αντλιοστασίου. Δεν αναμένεται απότομη εισροή όμβριων υδάτων και δεν απαιτείται ως εκ τούτου η δημιουργία περιφερειακής τάφρου προστασίας της εκσκαφής (Αρ.79 παρ.3 Κ.Μ.Λ.Ε.).

## **6.7. Πορεία της εκμετάλλευσης**

Η εκμετάλλευση θα ξεκινήσει από πάνω προς τα κάτω. Οι βαθμίδες θα είναι κατακόρυφες. Το πλάτος των εγκαταλειμμένων βαθμίδων θα είναι 8 m. (άρθρο 80 Κ.Λ.Μ.Ε.), και το ύψος 8 m και τελική κλίση 45°.

Η πορεία της εκμεταλλεύσεως θα έχει ως εξής :

Από το υψόμετρο +450 θα δημιουργηθεί η πρώτη βαθμίδα εκμετάλλευσης. Οι βαθμίδες, δεδομένου ότι δεν έχουν μεγάλη πάχη κοιτάσματος, θα προχωρούν μέχρι της εξαντλήσεως του λατομικού χώρου, δηλ. μέχρι της εξαντλήσεως τους,

ενώ παράλληλα θα αρχίζει η προπαρασκευή της άμεσης κατώτερης βαθμίδας κ.ο.κ.

Ενδεχομένως κάποιες από τις βαθμίδες να καταστεί αναγκαίο να υποδιαιρεθούν σε υπό βαθμίδες των 3 - 4 μ. περίπου, όταν τούτο καταστεί αναγκαίο, προκειμένου οι εκμεταλλευτές να παρακολουθούν τις φυσικές ρηγματώσεις του μαρμάρου και να τοποθετούν τα εξορυκτικά μηχανήματα κοπής κατάλληλα, έτσι ώστε η επιφάνεια κοπής του ογκομαρμάρου να είναι όσο το δυνατό παράλληλη με αυτές τις ρωγματώσεις, ώστε να επιτυγχάνεται το καλύτερο αποτέλεσμα και η μικρότερη απώλεια υγιούς πετρώματος, κατά την αποκόλληση των ογκομαρμάρων από το μητρικό πέτρωμα.

Η παραγωγή του λατομείου θα ανέρχεται σε  $3.000 \text{ m}^3$  ανά έτος και οι ημέρες εργασίας σε 5 ανά εβδομάδα και αφαιρουμένων των αργιών και των ημερών με δυσμενείς καιρικές συνθήκες, σε 200 ημέρες ανά έτος.

Η ημερήσια παραγωγή του λατομείου καθορίζεται σε  $3.000 : 200 = 15 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ , καθώς και περίπου  $9 \text{ m}^3$  ξωφάρια και με βάση τα υπολογισθέντα αποθέματα η ζωή του λατομείου θα ανέλθει σε  $394.410,80 \text{ m}^3 : 3.000 \text{ m}^3/\text{έτος} = 131,5$  έτη από σήμερα (στην παραγωγή πρέπει να συνυπολογιστεί και η παραγωγή ξωφαριών που παρατείνει την ζωή του λατομείου) .

Στην υπόλοιπη ζωή του λατομείου, όπως προκύπτει από την παρ. 6.6, θα διακινηθούν  $1.262.115,18 \text{ m}^3$  στείρα, επομένως η ετήσια διακίνηση στείρων υλικών ανέρχεται σε  $1.262.115,18 \text{ m}^3 : 131 = 9.634,47 \text{ m}^3$  και επομένως η ημερήσια διακίνηση ανέρχεται σε  $9.634,47 : 200 = 48,17 \text{ m}^3$  στείρα (μη χαλαρά).

Ως θέση απόθεσης των στείρων του λατομείου επιλέγεται το νότιο, χαμηλότερο υψομετρικά, τμήμα του λατομικού χώρου.

Από το υψόμετρο + 346 θα αρχίσει η απόθεση των στείρων. Η κλίση των πρανών της απόθεσης θα είναι περίπου 1 : 1,5 ή  $33^\circ$  περίπου.

Η χωρητικότητα της απόθεσης των στείρων ανέρχεται σε  $398.551,0 \text{ m}^3$ , όπως φαίνεται και στον πίνακα υπολογισμού του όγκου του χώρου απόθεσης των στείρων. Το σύνολο όμως των στείρων είναι  $1.262.115,18 \text{ m}^3 \times 1,3$  συντελεστή επιπλήσματος =  $1.640.749,73 \text{ m}^3$  χαλαρά εξορυγμένα, μείον ένα ποσοστό που θα επανατοποθετηθεί στον χώρο της εκσκαφής για να καλυφθεί μεγάλο μέρος των αναγκών για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος. Επομένως, προκειμένου να καλυφθεί η διαφορά του όγκου των στείρων που δεν χωράνε στον χώρο απόθεσης, η επιχείρηση θα προβεί μελλοντικά σε επενδύσεις για την παραγωγή αδρανών υλικών και παραγωγής μαρμαρόσκονης.

## **6.8. Εξόρυξη**

### **6.8.1. Γενικά**

Η εξόρυξη των ογκομαρμάρων γίνεται με την χρήση συρματοκοπών καθώς και με επιμέρους χρήση ακαριαίας θρυαλλίδας, δεδομένου ότι δεν υπάρχει απαγόρευση της χρήσης της στην εξόρυξη των ογκομαρμάρων.

### **6.8.2. Μηχανικός εξοπλισμός ορύξεως**

Ο μηχανολογικός εξοπλισμός που διατίθεται στον λατομικό χώρο είναι:

1. Αερόσφυρες τύπου BOHLER Αυστρίας που λειτουργούν με χρήση πεπιεσμένου αέρα ελαφρού τύπου για να είναι ευκολόχρηστες (24 Kg βάρος), για την όρυξη των συντρεχόντων διατρημάτων. Η πίεση κάθε αερόσφυρας είναι 6 bar και η απαιτούμενη κατανάλωση αέρα 371 lt/sec.
2. Αεροσυμπιεστής τύπου SULLAIR LMC 2855, για την τροφοδοσία των αερόσφυρων.
3. Δυο συρματοκοπές τύπου PELEGRINI TDD 80, για την αποκόλληση του ογκομαρμάρου από το μητρικό πέτρωμα και τον περαιτέρω τεμαχισμό του.
4. Ερπυστριοφόρος φορτωτής CATERPILAR 977 L 48J.
5. Ερπυστριοφόρος τσάπα OHRENSTEIN OK RH 12.
6. Ένα φορτηγό, για την μεταφορά των στείρων.

### **6.8.3. Απασχολούμενο προσωπικό**

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

- ⇒ ένας εργοδηγός, που εκτελεί και χρέη γομωτή – πυροδότη
- ⇒ δύο πιστολαδόροι, που έχουν και την ευθύνη για τη συντήρηση του διατρητικού εξοπλισμού. Σημειώνεται ότι ο πιστολαδόρος θα έχει εργασία τόσο στο μέτωπο της εξόρυξης, ανοίγοντας διατρήματα για το πέρασμα του αδαμαντοφόρου σύρματος της συρματοκοπής, όσο και στην πλατεία για τον ορθογωνισμό των ογκομαρμάρων, αλλά και στη διαμόρφωση των

δρόμων προσπέλασης προς τις δημιουργούμενες νέες βαθμίδες και τα νέα μέτωπα εξόρυξης.

- ⇒ ένας χειριστής χωματουργικών. μηχανημάτων,
- ⇒ ένας οδηγός,
- ⇒ δύο χειριστές συρματοκοπής.

#### **6.8.4. Βοηθητικές εγκαταστάσεις**

Εντός του λατομικού χώρου κατασκευάζονται οι βοηθητικές εγκαταστάσεις του λατομείου που συνίστανται σε :

- ⇒ συγκρότημα ένδυσης προσωπικού
- ⇒ αποθήκη εκρηκτικών υλών
- ⇒ αποθήκη καψυλλίων
- ⇒ δεξαμενής ύδατος

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### Συμπεράσματα – Προτάσεις

#### 7.1. Συμπεράσματα

Από την παρούσα διπλωματική εργασία προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα που αφορούν την ποιότητα του εξορυσσομένου μαρμάρου και την επέκταση της εκμετάλλευσης:

- Όσον αφορά την ποιότητα του μαρμάρου οι εργαστηριακές αναλύσεις και δοκιμές δείχνουν ότι πρόκειται για ένα δολομιτικό μάρμαρο, το οποίο σε σύγκριση με άλλα εμπορικά μάρμαρα παρουσιάζει αυξημένες μηχανικές ιδιότητες ώστε να είναι δυνατή η χρήση του σε οποιουδήποτε είδους κατασκευές.
- Όσον αφορά την επέκταση της εκμετάλλευσης του λατομείου, δεδομένου ότι το κοίτασμα του εκμεταλλεύσιμου μαρμάρου εκτείνεται σε μεγάλα βάθη, η ποσότητα του εξορυσσομένου μαρμάρου σχεδόν δεκαπλασιάζεται και ο χρόνος ζωής από 21 έτη, με μια ετήσια παραγωγή 2.000 m<sup>3</sup> ανέρχεται, μετά την επέκταση και την αύξηση της ετήσιας παραγωγής σε 3.000 m<sup>3</sup>, σε 131 έτη, συμπεραίνουμε ότι η πραγματοποίησή της θα αυξήσει σε μέγιστο βαθμό τόσο το χρόνο ζωής της εκμετάλλευσης όσο και τα οικονομικά οφέλη της εταιρίας. Ωστόσο, η αύξηση της παραγωγής των στείρων πρέπει να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά

#### 7.2. Προτάσεις

Τα παραπάνω συμπεράσματα οδηγούν σε κάποιες προτάσεις που μπορούν να βελτιώσουν την λειτουργία της εταιρίας. Προτείνονται, λοιπόν τα εξής:

- Την σταδιακή αύξηση του μηχανολογικού εξοπλισμού και του ανθρώπινου δυναμικού. Η μεγάλη υψομετρική διαφορά των ορίων του λατομικού χώρου (περίπου 151 m) καθιστά δυνατή την ταυτόχρονη εξόρυξη σε δύο ανεξάρτητα μέτωπα εφόσον διατίθεται ο ανάλογος εξοπλισμός.



- Ο όγκος των στείρων που παράγονται μετά την επέκταση της εκμετάλλευσης ανέρχεται στα 1.262.115,18 m<sup>3</sup> και ο χώρος που διατίθεται για την απόθεση τους μπορεί να καλύψει μόνο ένα μικρό μέρος, σχεδόν το ένα τέταρτο (398.551,08 m<sup>3</sup>). Προκειμένου, λοιπόν να καλυφθεί η μεγάλη διαφορά των στείρων, είναι δυνατόν να τοποθετηθεί στον χώρο του λατομείου σπαστήρας για την παραγωγή αδρανών υλικών για οδοποιία, από τα οποία στερείται η γύρω περιοχή. Ακόμη, είναι δυνατόν να εξεταστεί η διαδικασία παραγωγής κονιάματος, ώστε να τοποθετηθεί στο λατομείο κατάλληλος εξοπλισμός για την παραγωγή του, το οποίο χρησιμοποιείται στις τοιχοποιίες. Με τους τρόπους αυτούς αφενός αξιοποιείται ο μεγάλος όγκος των στείρων και αφετέρου αυξάνεται η κερδοφορία της εταιρίας.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

### **ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ**

**Διαστάσεις δοκιμίου για φαινόμενη πυκνότητα**

<b>ΔΟΚΙΜΙΟ ΓΙΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ</b>			
<b>l (cm)</b>	6.350	<b>d (cm)</b>	5.105
	6.355		5.105
	6.345		5.105
<b>lμ (cm)</b>	<b>6.350</b>	<b>dμ (cm)</b>	<b>5.105</b>

**Υπολογισμός φαινόμενης πυκνότητας**

<b>ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ</b>		
w (gr)		365,71
v (cm <sup>3</sup> )	l=6,35 (cm)	129,9077
	d=5,105 (cm)	
p (gr/cm <sup>3</sup> )		<b>2,815</b>

**Υπολογισμός υδατοαπορροφητικότητας**

<b>ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ</b>	
Βάρος μετά από 1h στο φούρνο στους 100 C w1 (gr)	365,71
Βάρος μετά από 24h σε νερό w2 (gr)	366,28
υδατ/τητα %	0,16

**Υπολογισμός αντοχής σε θλίψη****1<sup>ο</sup> δοκίμιο**

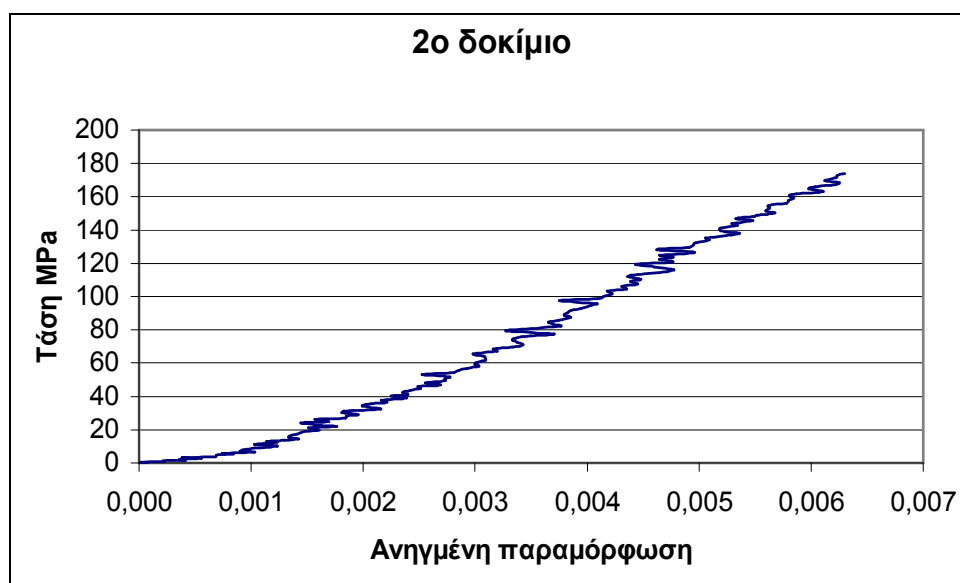
Recording Date : 21/ 7/2005, 11:09:16							
Block Length : 1							
Delta : 1.000003 sec.							
Number of Channels : 6							
Time	Displ(mm)	Fortio (kN)	Fortio Load cell (kN)	Displ(mm) LVDT	paramorfws (mm)	strain	Stress (Mpa)
0	29,577637	-0,683594	1,083374	3,610229	0,000	0,0000	0,529
1	29,603577	-0,097656	1,724243	3,612061	0,002	0,0000	0,842
2	29,612732	2,587891	3,005981	3,616943	0,007	0,0001	1,468
3	29,60968	4,248047	4,501343	3,630981	0,021	0,0002	2,199
4	29,61731	6,542969	6,378174	3,65448	0,044	0,0004	3,116
5	29,63562	9,423828	8,529663	3,651733	0,042	0,0004	4,167
6	29,655457	11,181641	10,848999	3,672791	0,063	0,0006	5,300
7	29,658508	14,453125	13,61084	3,683167	0,073	0,0007	6,649
8	29,656982	17,529297	16,418457	3,68103	0,071	0,0007	8,021
9	29,670715	21,191406	19,699097	3,683777	0,074	0,0007	9,623
10	29,693604	25,634766	22,93396	3,68866	0,078	0,0008	11,204

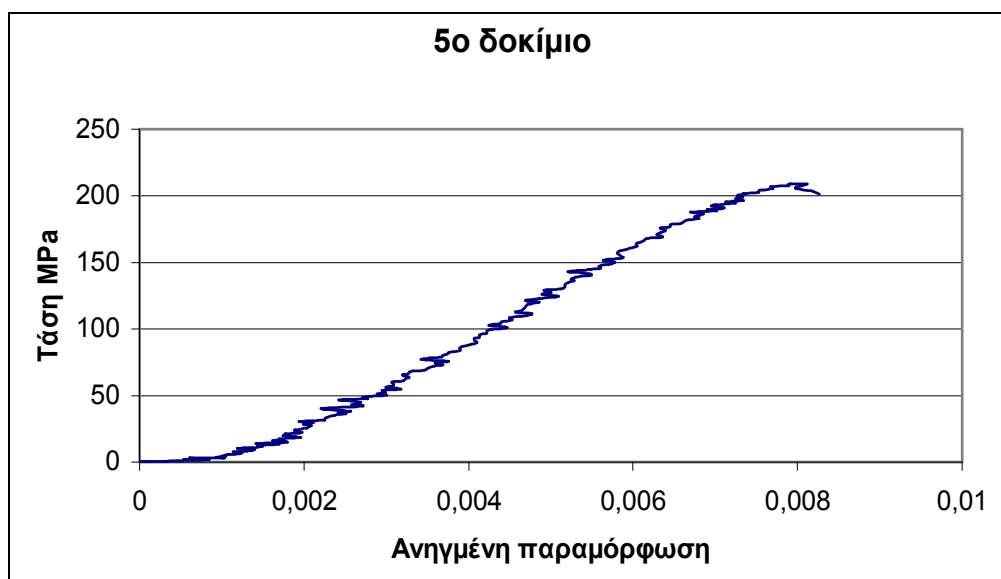
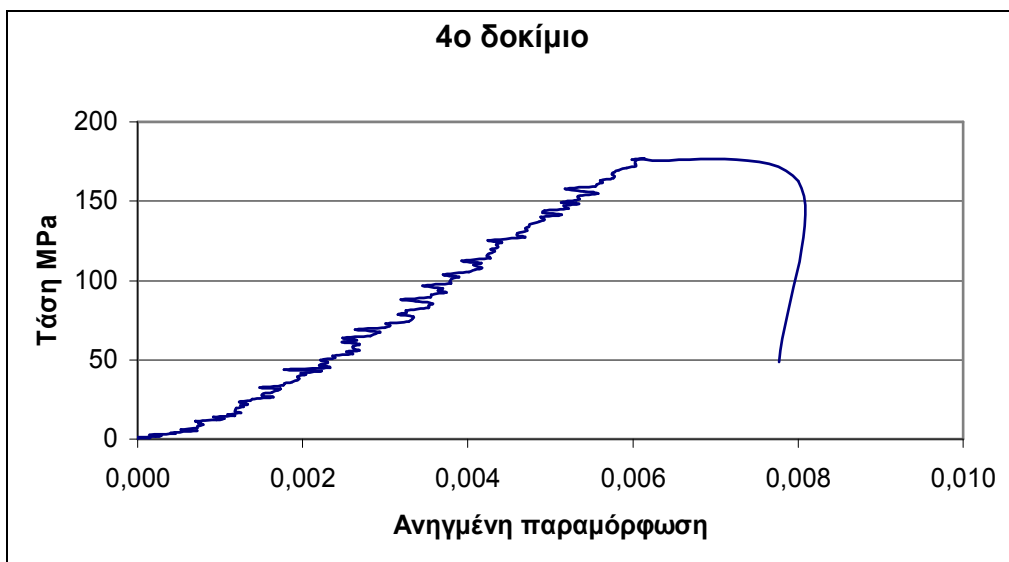
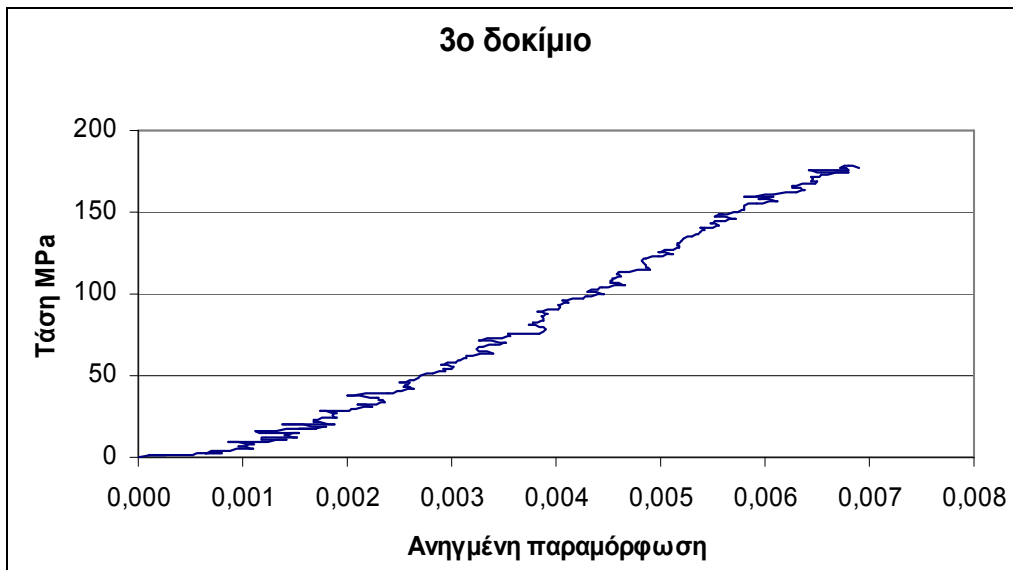
ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

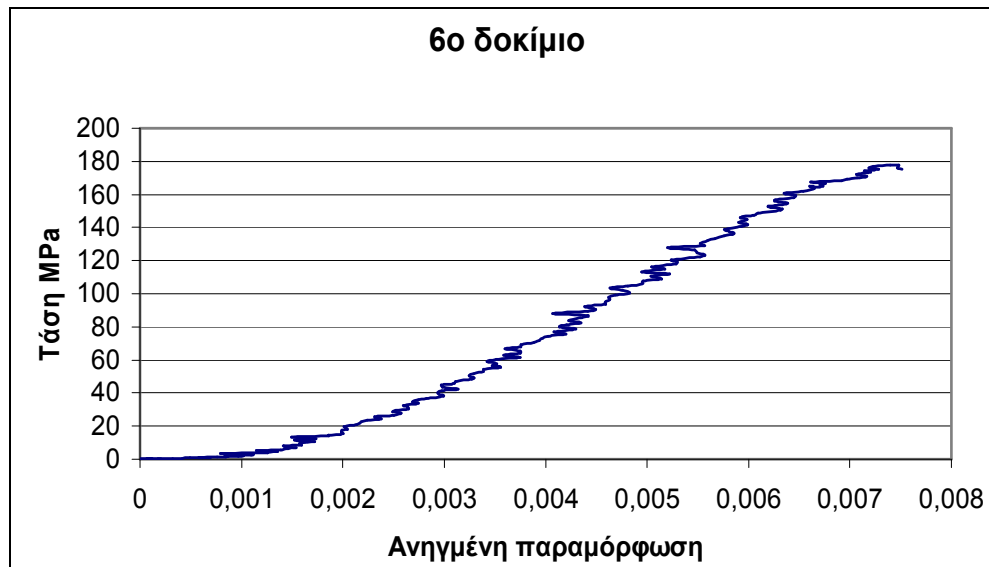
11	29,702759	28,662109	26,596069	3,704834	0,095	0,0010	12,993
12	29,696655	31,152344	30,334473	3,709717	0,099	0,0010	14,819
13	29,708862	36,669922	34,133911	3,709717	0,099	0,0010	16,675
14	29,730225	40,380859	38,116455	3,727417	0,117	0,0012	18,621
15	29,743958	44,921875	42,114258	3,725586	0,115	0,0012	20,574
16	29,737854	49,560547	46,218872	3,735657	0,125	0,0013	22,579
17	29,748535	52,685547	50,582886	3,752136	0,142	0,0014	24,711
18	29,771423	57,958984	54,6875	3,756409	0,146	0,0015	26,716
19	29,782104	61,71875	59,204102	3,756104	0,146	0,0015	28,922
20	29,774475	66,552734	63,354492	3,768005	0,158	0,0016	30,950
21	29,79126	72,119141	67,977905	3,778381	0,168	0,0017	33,209
22	29,811096	76,025391	72,555542	3,805237	0,195	0,0020	35,445
23	29,814148	80,322266	77,11792	3,762512	0,152	0,0015	37,674
24	29,811096	85,644531	81,863403	3,807373	0,197	0,0020	39,992
25	29,837036	89,84375	86,273193	3,812256	0,202	0,0020	42,146
26	29,853821	94,921875	91,217041	3,815613	0,205	0,0021	44,561
27	29,847717	100,58593	96,054077	3,817749	0,208	0,0021	46,924
28	29,86145	104,49218	101,05896	3,835449	0,225	0,0023	49,369
29	29,884338	108,88671	105,94177	3,839417	0,229	0,0023	51,755
30	29,882813	114,40429	110,88562	3,855591	0,245	0,0025	54,170
31	29,890442	119,92187	115,96679	3,851624	0,241	0,0024	56,652
32	29,916382	126,17187	121,30737	3,864746	0,255	0,0026	59,261
33	29,917908	131,05468	126,38855	3,872986	0,263	0,0026	61,743
34	29,919434	135,79101	131,89697	3,856201	0,246	0,0025	64,434
35	29,942322	141,74804	137,14599	3,888855	0,279	0,0028	66,999
36	29,951477	146,24023	142,53234	3,889465	0,279	0,0028	69,630
37	29,949951	152,19726	147,76611	3,901062	0,291	0,0029	72,187
38	29,974365	158,6914	153,54919	3,911133	0,301	0,0030	75,012
39	29,981995	162,45117	158,88977	3,934326	0,324	0,0033	77,621
40	29,978943	169,09179	164,39819	3,937378	0,327	0,0033	80,312
41	30,003357	174,3164	170,13549	3,929443	0,319	0,0032	83,115
42	30,012512	180,17578	175,7965	3,94989	0,340	0,0034	85,880
43	30,00946	186,86523	181,48803	3,942566	0,332	0,0033	88,660
44	30,032349	192,33398	187,10327	3,961487	0,351	0,0035	91,404
45	30,038452	197,7539	192,65747	3,968506	0,358	0,0036	94,117
46	30,04303	204,49218	198,56262	3,937988	0,328	0,0033	97,002
47	30,06897	210,00976	204,49829	3,982544	0,372	0,0037	99,901
48	30,064392	215,47851	210,43396	3,988647	0,378	0,0038	102,801
49	30,076599	222,46093	216,27807	3,997803	0,388	0,0039	105,656
50	30,101013	227,19726	221,9696	3,998108	0,388	0,0039	108,437
51	30,093384	233,64257	228,16467	4,029846	0,420	0,0042	111,463
52	30,116272	240,2832	233,91723	4,022827	0,413	0,0042	114,273
53	30,123901	245,01953	240,15808	4,032288	0,422	0,0042	117,322
54	30,128479	251,85546	245,75805	4,0448	0,435	0,0044	120,058
55	30,151367	257,95898	251,87683	4,040527	0,430	0,0043	123,047
56	30,148315	262,89062	257,8125	4,064636	0,454	0,0046	125,947
57	30,166626	270,11718	263,74816	4,063721	0,453	0,0046	128,846
58	30,177307	274,36523	269,79064	4,06311	0,453	0,0046	131,798
59	30,178833	280,9082	275,54321	4,073486	0,463	0,0047	134,608
60	30,204773	287,89062	281,55517	4,095459	0,485	0,0049	137,545
61	30,195618	292,52929	287,42981	4,090881	0,481	0,0048	140,415

ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

62	30,21698	298,33984	293,02978	4,090881	0,481	0,0048	143,151
63	30,224609	303,95507	298,95019	4,099121	0,489	0,0049	146,043
64	30,227661	309,22851	304,4281	4,12323	0,513	0,0052	148,719
65	30,255127	315,67382	310,33325	4,110718	0,500	0,0050	151,604
66	30,244446	321,48437	315,87219	4,145813	0,536	0,0054	154,310
67	30,26886	323,48632	320,89233	4,137268	0,527	0,0053	156,762
68	30,262756	329,63867	325,11901	4,143982	0,534	0,0054	158,827
69	30,284119	337,20703	329,97131	4,163208	0,553	0,0056	161,198
70	30,296326	342,33398	336,80725	4,163818	0,554	0,0056	164,537
71	30,299377	348,73046	342,83447	4,16626	0,556	0,0056	167,481
72	30,319214	353,32031	348,40393	4,172668	0,562	0,0057	170,202
73	30,31311	357,91015	353,62243	4,187012	0,577	0,0058	172,752
74	30,345154	364,40429	358,76464	4,200439	0,590	0,0059	175,264
75	30,334473	368,21289	364,05944	4,202881	0,593	0,0060	177,850
76	30,36499	373,63281	369,14062	4,21936	0,609	0,0061	180,332
77	30,355835	379,05273	374,09973	4,21875	0,609	0,0061	182,755
78	30,378723	382,56835	379,02832	4,232178	0,622	0,0063	185,163
79	30,378723	388,33007	383,7738	4,232178	0,622	0,0063	187,481
80	30,397034	391,69921	388,62609	4,250183	0,640	0,0064	189,852
81	30,406189	396,33789	392,82226	4,274597	0,664	0,0067	191,901
82	30,415344	401,80664	397,47619	4,265442	0,655	0,0066	194,175
83	30,427551	404,98046	401,55029	4,274597	0,664	0,0067	196,165
84	30,439758	408,59375	405,6549	4,288635	0,678	0,0068	198,170
85	30,451965	413,13476	409,59167	4,290161	0,680	0,0068	200,094
86	30,455017	415,67382	413,16223	4,316101	0,706	0,0071	201,838
87	30,476379	418,84765	416,59545	4,304199	0,694	0,0070	203,515
88	30,479431	422,7539	419,64721	4,310303	0,700	0,0070	205,006
89	30,491638	424,21875	422,88208	4,327087	0,717	0,0072	206,586
90	30,499268	427,19726	425,68969	4,332275	0,722	0,0073	207,958
91	30,508423	429,0039	428,3142	4,693604	1,083	0,0109	209,240
92	30,674744	-4,6875	242,95043	4,766846	1,157	0,0116	118,686





ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ**Υπολογισμός αντοχής σε έμμεσο εφελκυσμό**1<sup>ο</sup> δοκίμιο

Recording Date : 21/ 7/2005, 11:47:27			
Block Length : 1			
Delta : 1.000003 sec.			
Number of Channels : 6			
Time	Μετατόπιση mm	Φορτίο kN	Φορτίο Load cell kN
0	32,800	-2,637	0,549
1	32,813	-2,588	0,473
2	32,800	-2,441	0,534
3	32,822	-2,490	0,519
4	32,809	-2,344	0,626
5	32,838	-2,197	0,641
6	32,829	-2,051	0,809
7	32,861	-1,953	0,885
8	32,851	-1,758	1,114
9	32,881	-1,416	1,236
10	32,872	-1,172	1,572
11	32,901	-0,781	1,724
12	32,895	-0,684	2,075
13	32,915	-0,195	2,365
14	32,910	0,049	2,670
15	32,924	0,244	2,914
16	32,925	0,342	3,143
17	32,928	0,781	3,403
18	32,939	0,977	3,632
19	32,933	1,074	3,845
20	32,950	1,318	4,044

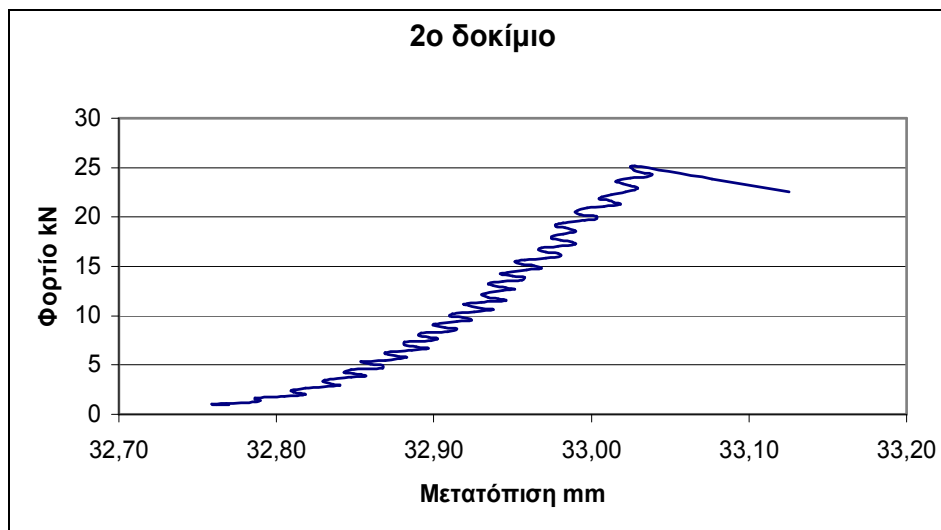


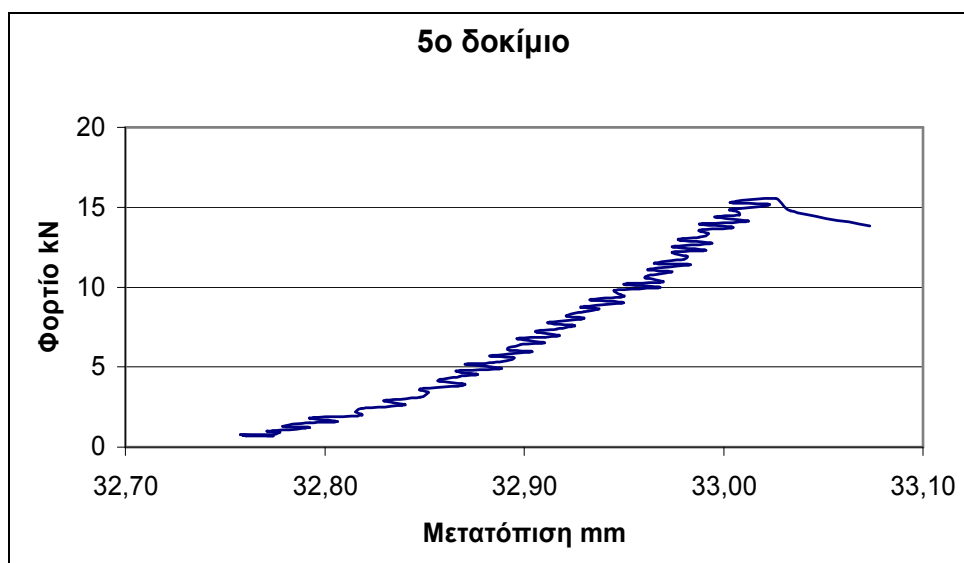
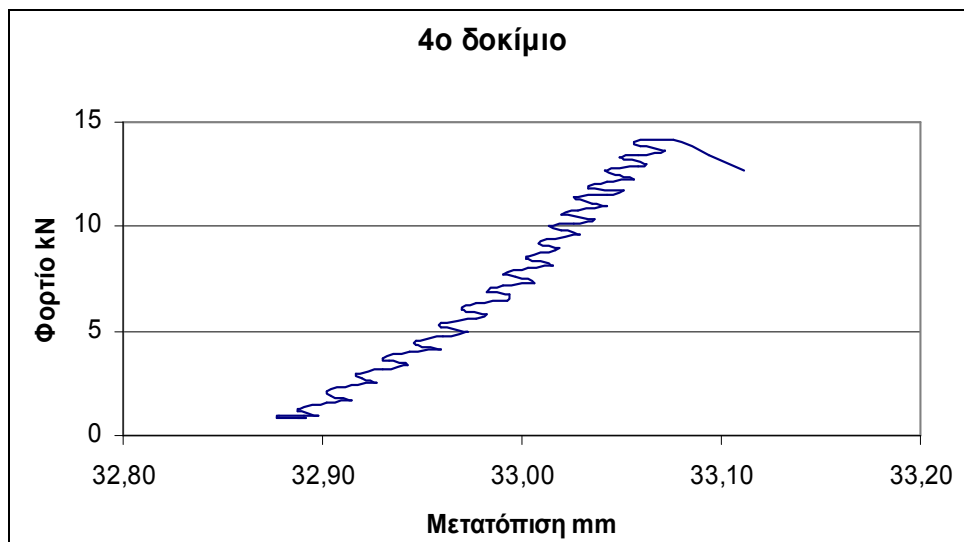
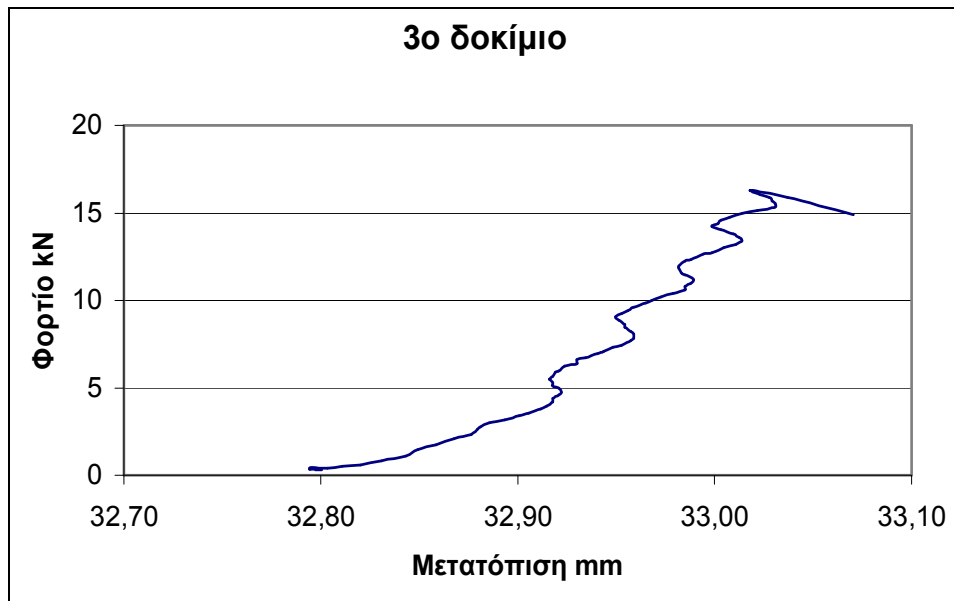
ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

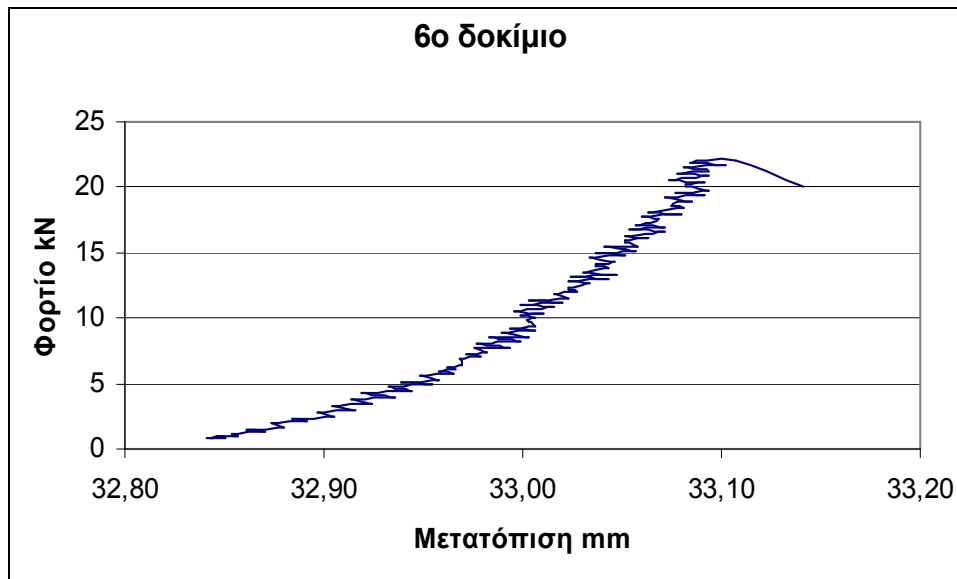
21	32,938	1,514	4,288
22	32,961	1,611	4,486
23	32,944	1,709	4,730
24	32,970	2,100	4,883
25	32,953	2,295	5,112
26	32,970	2,539	5,249
27	32,962	2,637	5,524
28	32,973	2,881	5,676
29	32,973	3,125	5,966
30	32,971	3,271	6,058
31	32,983	3,418	6,348
32	32,973	3,662	6,485
33	32,991	3,906	6,760
34	32,974	4,053	6,882
35	32,994	4,346	7,172
36	32,980	4,541	7,294
37	32,999	4,639	7,538
38	32,990	4,834	7,721
39	32,997	5,176	7,950
40	32,997	5,273	8,133
41	32,991	5,518	8,331
42	33,009	5,713	8,530
43	32,994	5,713	8,728
44	33,015	5,957	8,942
45	32,997	6,299	9,125
46	33,018	6,592	9,354
47	33,008	6,689	9,521
48	33,012	6,885	9,766
49	33,022	7,275	9,933
50	33,014	7,373	10,178
51	33,032	7,520	10,330
52	33,015	7,764	10,574
53	33,037	7,959	10,712
54	33,026	8,252	11,032
55	33,031	8,447	11,185
56	33,032	8,643	11,444
57	33,028	8,936	11,581
58	33,044	9,131	11,841
59	33,029	9,277	11,963
60	33,047	9,424	12,238
61	33,035	9,521	12,360
62	33,043	9,717	12,619
63	33,047	9,863	12,772
64	33,037	10,254	13,000
65	33,058	10,352	13,138
66	33,040	10,400	13,397
67	33,057	10,645	13,535
68	33,051	10,840	13,733
69	33,051	10,938	13,916
70	33,061	11,230	14,114
71	33,046	11,523	14,313

ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

72	33,069	11,670	14,481
73	33,057	11,768	14,755
74	33,061	12,012	14,877
75	33,070	12,256	15,121
76	33,060	12,451	15,244
77	33,076	12,842	15,533
78	33,063	12,939	15,701
79	33,073	13,184	15,976
80	33,076	13,379	16,098
81	33,066	13,623	16,373
82	33,086	13,770	16,541
83	33,072	14,063	16,815
84	33,081	14,258	16,937
85	33,083	14,355	17,166
86	33,072	14,453	17,334
87	33,092	14,746	17,593
88	33,080	15,039	17,746
89	33,086	15,088	18,005
90	33,090	15,283	18,173
91	33,080	15,576	18,387
92	33,098	15,674	18,539
93	33,081	16,016	18,738
94	33,086	16,309	18,951
95	33,095	16,260	19,150
96	33,080	16,504	19,302
97	33,099	16,699	19,470
98	33,089	16,846	19,730
99	33,087	17,139	19,882
100	33,144	14,648	18,509
101	33,151	16,748	17,929







## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Ελληνική Βιβλιογραφία**

1. **Αγιουτάντης, Ζ., (2002)**, “Στοιχεία Γεωμηχανικής – Μηχανική Πετρωμάτων”, Εκδόσεις “ΙΩΝ”, Αθήνα.
2. **Εκπαιδευτικά Συστήματα Ε.Π.Ε, (2004)**, “Ηλεκτρονικό Μικροσκληρόμετρο”, Οδηγίες και Εγχειρίδιο Λειτουργίας, Αθήνα
3. **Θεοδωρίκας, Σ., (1996)**, “Ορυκτολογία - Πετρολογία”, Εκδόσεις Hardback, Αθήνα.
4. **Κωστάκης, Γ., (2002)**, “Οπτική Κρυσταλλογραφία” Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
5. **Λασκαρίδης, Κ., (2004)**, “Αξιολόγηση των Φυσικών Διακοσμητικών Πετρωμάτων και Κριτήρια Επιλογής των από τον Κατασκευαστικό Κλάδο με Βάση τα Φυσικο – Μηχανικά Χαρακτηριστικά τους”, Ι.Γ.Μ.Ε, Αθήνα.
6. **Μουντράκης, Δ., (1985)**, “Γεωλογία της Ελλάδος”, “Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
7. **Νικολάου, Α., (1999)**, “Εκμετάλλευση Μαρμαροφόρων Κοιτασμάτων: Μέθοδος Εκμετάλλευσης και τεχνοοικονομική Ανάλυση Δολομιτικού Μαρμαροφόρου Κοιτάσματος του Νομού Βοιωτίας”, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
8. **Παπαγεωργάκης, Ι., (1967)**, “Τα Πετρώματα της Μαρμαρικής Τέχνης και η Εκμετάλλευσή τους”, Περιοδικό “Το Ελληνικό Μάρμαρο”, Τεύχος 11/12/77.
9. **Παπαδόπουλος, Δ., (2005)**, “ Διερεύνηση της ακρίβειας των μετρήσεων του on line αναλυτή που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο ποιότητας του λιγνίτη στο Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης”, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
10. **Πασχαλίδου, Ι., (1995)**, “Μελέτη των Ασυνεχειών των Πετρωμάτων με τη Βοήθεια της Κλασματικής Γεωμετρίας: Εφαρμογή στα Κοιτάσματα Μαρμάρου του Διονύσου Αττικής και της Δαμάστας Ηρακλείου”, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

11. **Φέσσας, Α., (1995)**, “Τεχνική Μελέτη του Άρθρου 4 του Κ.Μ.Λ.Ε. για την Εκμετάλλευση Λατομείου Μαρμάρου”, Μελέτη Εκμετάλλευσης, Δράμα.

### **Διαδικτυακοί Χώροι**

1. [www.marketing – net.gr](http://www.marketing-net.gr)
2. [www.marblemarket.net](http://www.marblemarket.net)