



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΤΙΝΑΞΕΩΝ ΣΕ
ΛΑΤΟΜΕΙΟ ΑΔΡΑΝΩΝ ΣΤΟ Ν. ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ

ΧΑΡΙΛΑΟΣ Κ. ΣΤΗΚΑΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Καθηγητής Ζ. ΑΓΙΟΥΤΑΝΤΗΣ (επιβλέπων)

Καθηγητής Γ. ΕΞΑΔΑΚΤΥΛΟΣ

Δρ. Κ. ΚΑΚΛΗΣ

ΧΑΝΙΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2014

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο, εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις των εξεταστών.

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης και έχει θέμα **«Βελτιστοποίηση επιφανειακών ανατινάξεων σε λατομείο αδρανών στο Ν. Χαλκιδικής»**.

Για την ολοκλήρωση της Διπλωματικής αυτής εργασίας σημαντική βοήθεια αποτέλεσε η συνεργασία με κάποιους ανθρώπους που θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Ζαχαρία Αγιουτάντη, Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης και επιβλέποντα καθηγητή αυτής της εργασίας για τον χρόνο που αφιέρωσε και για την προθυμία του να μοιραστεί απλόχερα τις γνώσεις και την εμπειρία του.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Φωτεινή Σταθογιάννη για την βοήθεια της καθώς και για τις εύστοχες διορθώσεις της, και τον κ. Στέλιο Μαυριγιαννάκη για την πολύτιμη βοήθεια του στην εκπόνηση των εργαστηριακών μελετών.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Παραδείση Παναγάκη, εργοδηγό στα λατομεία Γαλάτιστας για την άψογη επικοινωνία και την βοήθεια του ώστε να συλλέξω τα δεδομένα για τον τρόπο λειτουργίας του λατομείου, κάτι που αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι της εργασίας αυτής.

Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω τον κ. Κουγιουρούκη Κων/νο για την διάθεση των μελετών του λατομείου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την Καρυστινού Ιωάννα για την υπομονή της κατά την δύσκολη περίοδο της εκπόνησης αυτής της εργασίας καθώς και την οικογένεια μου και περισσότερο τους γονείς μου Κώστα και Ελευθερία για την αγάπη τους και την συνεχή στήριξη τους σε όλη την διάρκεια της φοίτησης μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η λεπτομερής μελέτη και αξιολόγηση των διαθέσιμων δεδομένων και σύγκριση αυτών με τα θεωρητικά μοντέλα με σκοπό να οδηγήσει σε πιο επιτυχημένες ανατινάξεις στο λατομείο αδρανών υλικών που βρίσκεται στη θέση «Προφήτης Ηλίας» του Δ. Δ. Γαλάτιστας του Δήμου Πολυγύρου Ν. Χαλκιδικής.

Τα δεδομένα για τον τρόπο με τον οποίο γίνονται οι ανατινάξεις μέχρι και σήμερα προήλθαν από πραγματικές ανατινάξεις στο συγκεκριμένο λατομείο ενώ οι αντοχές του ασβεστολίθου εξετάστηκαν στο Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης βάσει δειγμάτων από το εν λόγω λατομείο.

Η ανάλυση βελτιστοποίησης έγινε μεταβάλλοντας μόνο τις παραμέτρους της ανατίναξης (όπως το ενεργό φορτίο, τις αποστάσεις μεταξύ των διατρημάτων, κ.α), διατηρώντας την διάμετρο διάτρησης και τον τύπο του εκρηκτικού που χρησιμοποιούνται ήδη στις ανατινάξεις. Με τον τρόπο αυτό θα μπορεί το αποτέλεσμα να έχει άμεση εφαρμογή χωρίς να χρειάζεται να αλλάξει ο τρόπος λειτουργίας του λατομείου.

Από τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής προκύπτει ότι παρόλο που το λατομείο λειτουργεί με μία ικανοποιητική κατανάλωση των εκρηκτικών, υπάρχουν πιθανά περιθώρια βελτίωσης τα οποία όμως θα πρέπει να εξετασθούν περαιτέρω.

Abstract

In this work, available blasting data from a limestone quarry located in "Profitis Ilias", Galatista, Poligiros, Chalkidiki, were evaluated and compared to a number of theoretical models. The tensile strength of the rock was determined experimentally at the Rock Mechanics Lab, of the Technical University of Crete.

The objective of this work was to perform an optimization analysis and check whether current operations are optimum. For the analysis, blasting parameters were evaluated, while diameter and explosives were kept constant.

Results indicate that even though the quarry operates with a satisfactory explosive consumption, there is potential for improvement, which should be further examined.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	iii
Περίληψη.....	iv
Abstract.....	v
Περιεχόμενα	vi
Κατάλογος Σχημάτων.....	viii
Κατάλογος πινάκων.....	ix
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 2 Εκρηκτικές ύλες και θραύση πετρώματος	3
2.1 Ορισμοί.....	3
2.2 Ιστορική ανασκόπηση.....	4
2.3 Ιδιότητες των εκρηκτικών	6
2.3.1 Ισχύς.....	7
2.3.2 Ταχύτητα έκρηξης	8
2.3.3 Βαθμός περιορισμού και μέγεθος των κόκκων.....	10
2.3.4 Πίεση έκρηξης	10
2.3.5 Πυκνότητα εκρηκτικής ύλης	11
2.3.6 Ανθεκτικότητα στο νερό.....	12
2.3.7 Όγκος εκλύομενων αερίων.....	13
2.3.8. Ευαισθησία	13
2.4 Θραύση του πετρώματος	15
2.4.1 Κρουστική φάση.....	15
2.4.2 Ωστική φάση.....	19
2.5 Ταξινόμηση των εκρηκτικών	21
2.6 Συνήθεις καταναλώσεις εκρηκτικών στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις	22
2.7 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις εκρηκτικών	23
2.7.1 Επιπτώσεις λόγω των δονήσεων	24
2.7.2 Επιπτώσεις λόγω του ωστικού κύματος	24
Κεφάλαιο 3 Περιγραφή λατομείου.....	26
3.1 Στοιχεία λατομικού χώρου	26
3.2 Περιγραφή λατομικού χώρου.....	26
3.3 Γεωλογικά στοιχεία	28
3.3.1 Γενική Γεωλογική δομή της περιοχής.....	28
3.3.2 Γεωλογικά και κοιτασματολογικά στοιχεία λατομικού χώρου	32

3.3.3. Ποιοτικά χαρακτηριστικά-Ιδιότητες	32
3.4 Εκμετάλλευση	33
3.5 Φάσεις εργασίας.....	35
3.6. Κύριες και βοηθητικές εγκαταστάσεις.....	40
3.6.1. Θέση των εγκαταστάσεων.....	40
3.6.2. Βοηθητικές εγκαταστάσεις.....	44
3.7. Εξοπλισμός και προσωπικό εξόρυξης-φόρτωσης-μεταφοράς.....	45
3.8.Περιγραφή μεθόδου επεξεργασίας-διαγράμματα ροής.....	46
3.9. Προϊόντα που παράγονται.....	48
3.10. Περιγραφή των έργων αποκατάστασης	48
3.10.1. Μηχανικά μέσα για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος.....	50
3.10.2. Τρόποι συντήρησης.....	50
Κεφάλαιο 4 Εργαστηριακή και θεωρητική μελέτη.....	51
4.1 Εργαστηριακές μετρήσεις.....	51
4.1.1Αντοχή σε Μονοαξονική θλίψη.....	53
4.1.2 Αντοχή σε εφελκυσμό	63
4.2 Υπολογισμός των ενεργών φορτίων	72
4.2.1 Εμπειρική εξίσωση του Langefors	72
4.2.2 Εμπειρική εξίσωση του Pearse	74
4.2.3 Εμπειρική εξίσωση του Carr	74
4.2.4 Εμπειρική εξίσωση του Roberts.....	76
4.2.5 Εμπειρική εξίσωση του Anderson.....	76
4.2.6 Εμπειρική εξίσωση του Ash	77
4.2.7 Εμπειρική εξίσωση του Fraenkel	78
4.2.8 Εμπειρική εξίσωση του Konya	79
4.2.9 Εμπειρική εξίσωση του Jimeno	80
4.3 Υπολογισμός παραμέτρων ανατίναξης.....	81
4.3.1 Εμπειρικές σχέσεις του Pearse.....	81
4.3.2 Εμπειρικές σχέσεις του Langefors.....	83
4.3.3 Εμπειρικές σχέσεις του Vutukari και Bhandari	84
Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα-Προτάσεις.....	85
5.1 Συμπεράσματα.....	85
5.2 Προτάσεις.....	86
Βιβλιογραφία	87
Παράρτημα Α	89

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1 Μηχανισμός εξόρυξης των πετρωμάτων με εκρηκτικές ύλες σε κάτοψη.....	18
Σχήμα 2.2 Μηχανισμός της εξόρυξης με εκρηκτικές ύλες.....	21
Σχήμα 3.1 Χάρτης Προσανατολισμού 1:100.000.....	27
Σχήμα 3.2 Φωτογραφία λατομείου πριν την έναρξη εκμετάλλευσης.....	28
Σχήμα 3.3 Πατάρι υπό σχηματισμό σε υψόμετρο +820m.....	34
Σχήμα 3.4 Κάτοψη ανατίναξης 30-10-2013.....	37
Σχήμα 3.5 Κάτοψη ανατίναξης 21-2-2014.....	37
Σχήμα 3.6 Πλάγια όψη.....	38
Σχήμα 3.7 Κινητή μονάδα επεξεργασίας Brown-Lenox.....	42
Σχήμα 3.8 Κινητή μονάδα επεξεργασίας Brown-Lenox.....	42
Σχήμα 3.9 Σπαστήρας-Ρότορας.....	43
Σχήμα 3.10 Σπαστήρας με σφυριά.....	44
Σχήμα 3.11 Βοηθητικές εγκαταστάσεις.....	45
Σχήμα 3.12 Διάγραμμα ροής	48
Σχήμα 4.1 Εργαστηριακός πυρηνολήπτης δοκιμίων.....	51
Σχήμα 4.2 Εργαστηριακό δισκοπρίονο δοκιμίων.....	52
Σχήμα 4.3 Εργαστηριακός λειαντής δοκιμίων.....	52
Σχήμα 4.4 Μέτρηση ύψους δοκιμίου.....	53
Σχήμα 4.5 Δοκίμια 1,2,3.....	54
Σχήμα 4.6 Δοκίμια 4,5,6.....	54
Σχήμα 4.7 Δοκίμιο πριν την επιβολή φορτίου.....	54
Σχήμα 4.8 δοκίμιο μετά το πέρας της δοκιμής.....	55

Σχήμα 4.9 Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης.....	57
Σχήμα 4.10 Δοκίμια για μέθοδο Brazil.....	64
Σχήμα 4.11 Μέθοδος Brazil. Εισαγωγή δοκιμίου.....	64
Σχήμα 4.12 Σπασμένο δοκίμιο με την μέθοδο Brazil.....	65
Σχήμα 4.13 Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης.....	67

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 3.1 Μηχανήματα-Εξοπλισμός λατομείου.....	45
Πίνακας 3.2 Εργαζόμενοι Εξόρυξης-Μεταφοράς.....	46
Πίνακας 3.3 Κατηγορίες αδρανών που παράγονται.....	47
Πίνακας 4.1 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι.....	55
Πίνακας 4.2 Πίνακας δεδομένων και υπολογισμένων τάσεων-παραμορφώσεων..	56
Πίνακας 4.3 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι.....	58
Πίνακας 4.4 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι.....	59
Πίνακας 4.5 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι.....	60
Πίνακας 4.6 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι.....	61
Πίνακας 4.7 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι.....	62
Πίνακας 4.8 Υπολογισμένες αντοχές σε μονοαξονική θλίψη.....	63
Πίνακας 4.9 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι.....	65
Πίνακας 4.10 Πίνακας δεδομένων και υπολογισμένων διαφορικών φορτίων.....	66
Πίνακας 4.11 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι.....	67
Πίνακας 4.12 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι.....	68
Πίνακας 4.13 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι.....	68
Πίνακας 4.14 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι.....	69
Πίνακας 4.15 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι.....	69

Πίνακας 4.16 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι.....	70
Πίνακας 4.17 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι.....	71
Πίνακας 4.18 Αντοχές σε εφελκυσμό.....	71
Πίνακας 4.19 Πίνακας υπολογισμένων Ενεργών Φορτίων.....	72
Πίνακας 4.20 Τιμές του συντελεστή kb.....	78

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Τα αδρανή υλικά αποτελούν τις περισσότερο χρησιμοποιούμενες φυσικές πρώτες ύλες στον πλανήτη μας. Ονομάστηκαν αδρανή υλικά διότι θεωρήθηκαν ότι δεν αντιδρούν χημικά με τις διάφορες συγκολλητικές ύλες στα σύνθετα μίγματα που δημιουργούν. Τα αδρανή υλικά ύστερα από την θραύση τους σε κατάλληλες διαμέτρους χρησιμοποιούνται αυτούσια στην οδοποιία και σε διάφορα τεχνικά έργα ή μετά από ανάμιξη τους με συγκολλητικές κονίες, όπως τσιμεντοκονία, ασβεστοκονία, ασφαλτο κ.α, δημιουργούν υλικά όπως το σκυρόδεμα ή το ασφαλτόμιγμα ή το κονίαμα ή άλλο μίγμα τα οποία χρησιμοποιούνται στην κατασκευαστική βιομηχανία.

Ένας από τους τρόπους παραγωγής των αδρανών υλικών είναι με την θραύση τους και την επεξεργασία σε λατομεία. Η διαδικασία της διάτρησης και της ανατίναξης αποτελεί μία από τις σημαντικότερες δραστηριότητες που παίρνουν μέρος στην επεξεργασία για την δημιουργία τους. Αυτό συμβαίνει διότι το υλικό που εξορυγνύεται από τις ανατινάξεις αποτελεί την «τροφή» των κύριων εγκαταστάσεων θραύσης που θα οδηγήσει στην δημιουργία των διαμέτρων σύμφωνα με τους κανόνες πιστοποίησης και αποτελεί μία διαδικασία που η επιτυχία της μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος παραγωγής των αδρανών.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να βελτιώσει την μέθοδο την οποία χρησιμοποιείται στο λατομείο αδρανών υλικών που βρίσκεται στη θέση «Προφήτης Ηλίας» του Δ. Δ. Γαλάτιστας του Δήμου Πολυγύρου Ν. Χαλκιδικής. Με τον όρο «βελτιώσει» εννοείται να μειώσει την δημιουργία μεγάλων όγκων πετρώματος μετά το πέρας των ανατινάξεων με τον οικονομικότερο δυνατό τρόπο.

Στην συνέχεια περιγράφεται η διάρθρωση της εργασίας.

Στο κεφάλαιο 2 δίνονται οι βασικοί ορισμοί των εκρηκτικών καθώς και μια μικρή αναδρομή στην εξέλιξη των εκρηκτικών στην μεταλλευτική βιομηχανία τους τελευταίους αιώνες. Τέλος στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται οι ιδιότητες των εκρηκτικών και ο τρόπος με τον οποίο θραύεται το πέτρωμα, γνώσεις οι οποίες είναι αναγκαίες για την κατανόηση της παρούσας εργασίας.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται μια εκτεταμένη περιγραφή του λατομείου το οποίο προαναφέρθηκε δίνοντας λεπτομέρειες για τα γεωλογικά του στοιχεία, τον αριθμό των

εργαζομένων, τον μηχανολογικό εξοπλισμό καθώς και μία εκτεταμένη περιγραφή του τρόπου λειτουργίας της μονάδας θραύσης αλλά και της μεθόδου που ακολουθείται στις ανατινάξεις. Τέλος αναφέρονται οι κινήσεις που θα γίνουν από την εταιρία για την περιβαλλοντική αποκατάσταση.

Στο κεφάλαιο 4 παρατίθενται όλη η διαδικασία της μελέτης που έγινε για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας, από τον τρόπο με τον οποίο έγινε ο υπολογισμός των αντοχών στο εργαστήριο μέχρι και τον θεωρητικό υπολογισμό των ενεργών φορτίων με διάφορες εμπειρικές μεθόδους καθώς και των υπόλοιπων παραμέτρων.

Τέλος στο κεφάλαιο 5 αναφέρονται τα συμπεράσματα τα οποία εξάγονται από την συγκεκριμένη εργασία και οι προτάσεις οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε πιο οικονομικές ανατινάξεις με το λιγότερο δυνατόν κόστος.

Κεφάλαιο 2

Εκρηκτικές ύλες και θραύση πετρώματος

2.1 Ορισμοί

Παρακάτω δίνονται ορισμένοι απλοί ορισμοί οι οποίοι θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια:

Εκρηκτικές ύλες, ή κοινώς εκρηκτικά, ονομάζονται κάποιες απλές ή σύνθετες ουσίες, οι οποίες περιέχουν μεγάλη ποσότητα αποθηκευμένης ενέργειας που κάτω από ορισμένες συνθήκες μπορεί να απελευθερωθεί απότομα προκαλώντας έκρηξη, δηλαδή έκλυση μεγάλης ποσότητας ενέργειας σε εξαιρετικά μικρό χρονικό διάστημα, παράγοντας αέρια υψηλής πίεσης και πολλαπλάσιου όγκου, επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον θρυμματισμό πετρωμάτων (el.Wikipedia.org).

Εκρηκτική ύλη (explosive): χαρακτηρίζεται οποιαδήποτε χημική ένωση από την οποία εκλύονται μεγάλες ποσότητες αερίων και ενέργειας ως συνέπεια της ακαριαίας αποσύνθεσής της. Το φαινόμενο της ακαριαίας αποσύνθεσης τέτοιων υλικών ονομάζεται έκρηξη (Αγιουτάντης, 2009).

Εκρηκτικό μέσο (blasting agent): χαρακτηρίζεται οποιοδήποτε υλικό ή μίγμα, το οποίο έχει εκρηκτικές ιδιότητες, αλλά του οποίου τα συστατικά δεν χαρακτηρίζονται σαν εκρηκτικές ύλες. Σύμφωνα με τυποποιημένες δοκιμές του Γραφείου Μεταλλείων των ΗΠΑ, εκρηκτικά μέσα θεωρούνται τα υλικά τα οποία δεν είναι αρκετά ευαίσθητα, ώστε να μπορούν να ενανθούν με εκρηκτικό καψύλλιο ισχύος No. 8 σε ελεύθερη κατάσταση. Τα υλικά αυτά μπορούν να ενανθούν με την βοήθεια θερμότητας, κρούσης, τριβής, κρουστικού κύματος ή με κάποιο συνδυασμό των προηγούμενων. Τα εκρηκτικά μίγματα ή ενώσεις συνήθως αποτελούνται από «καύσιμα» και «οξειδωτικούς παράγοντες» (Dick, 1973, Αγιουτάντης, 2009).

Εναυσματικά μέσα: είναι συστήματα με τα οποία επιτυγχάνεται από απόσταση και με απλή διέγερση η ασφαλής έκρηξη των εκρηκτικών υλών (Πολυχρονόπουλος, 1979).

Εκρηκτικό κύμα: καλείται, η μετάδοση της εκρήξεως στην μάζα της εκρηκτικής ύλης με ταχύτητα 2 έως 10 km/s , εξαρτώμενη από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες της εκρηκτικής ύλης (Πολυχρονόπουλος, 1979).

Εκρηκτική ικανότητα πετρώματος: χαρακτηρίζεται το μέτρο αντιστάσεως του πετρώματος κατά την έκρηξη (Πολυχρονόπουλος, 1979).

2.2 Ιστορική ανασκόπηση

Παρόλο που η μαύρη πυρίτιδα είναι γνωστή από τον 13ο αιώνα, η πρώτη εφαρμογή των εκρηκτικών υλών σε μεταλλευτική δραστηριότητα χρονολογείται στις αρχές του 17ου αιώνα (Αγιουτάντης, 2009).

Μέχρι της αρχές του 17ου αιώνα η εξόρυξη των πετρωμάτων πραγματοποιείτο αποκλειστικά με την χρήση μηχανικών μέσων, δηλαδή με την βοήθεια ατομικών εργαλείων (σκαπάνη, σφύρα, κοπίδι, σφήνα, βαριά, πτύο). Οι εργάτες – εξορύκτες χρησιμοποιώντας την ανθρώπινη μυϊκή ενέργεια αλλά και την ικανότητά τους να διακρίνουν στο μέτωπο της εξόρυξης επιφάνειες μικρής αντοχής (ασυνέχειες) αποσπούσαν το πέτρωμα από την φυσική του θέση με ρυθμό της τάξης των 3-4 h/m³ πετρώματος. Όταν απουσίαζαν οι ασυνέχειες από το μέτωπο, τότε η θέρμανση του μετώπου με φωτιά και η ταχεία ψύξη του στην συνέχεια, με την ρίψη νερού, προκαλούσε την δημιουργία ρωγμών, λόγω ανάπτυξης εφελκυστικών τάσεων, που διευκόλυναν την εξόρυξη (www.metal.ntua.gr).

Τον Φεβρουάριο του 1627 πραγματοποιείται η πρώτη εξόρυξη με την χρήση εκρηκτικής ύλης (μαύρη πυρίτιδα) στα Βασιλικά Μεταλλεία του Schemnitz της Ουγγαρίας από τον Ούγγρο μηχανικό Kaspar Weindl. Η έναυση της μαύρης πυρίτιδας ήταν ιδιαίτερα επικίνδυνη και συχνά οδηγούσε σε άκαιρες εκρήξεις με καταστροφικά αποτελέσματα. Η ανακάλυψη το 1831 από τον Άγγλο William Bickford της θρυαλλίδας ασφαλείας (miners safety fuse) προσέφερε στους γομωτές ένα αξιόπιστο και ασφαλές μέσο πυροδότησης της μαύρης πυρίτιδας.

Το 1846 ο Ιταλός Ascanio Sobrero ανακαλύπτει και παρασκευάζει στο εργαστήριο τη νιτρογλυκερίνη, μια υγρή και εξαιρετικά ευαίσθητη στην κρούση εκρηκτική ύλη, αλλά επειδή θεωρεί απρόβλεπτη την συμπεριφορά της κατά τον χειρισμό αλλά και κατά την παρασκευή της λόγω της ευαισθησίας της σε κρούσεις και σε υψηλές θερμοκρασίες εγκαταλείπει κάθε προσπάθεια περαιτέρω αξιοποίησης της ανακάλυψής του.

Το 1864 ο Σουηδός Alfred Nobel, μαζί με τους αδελφούς του, ιδρύουν εταιρεία για την παρασκευή νιτρογλυκερίνης και το 1866 ανακαλύπτει ότι το πορώδες πυριτικό πέτρωμα kieselguhr (μια γη των διατόμων) έχει την ιδιότητα να απορροφά πολύ εύκολα την νιτρογλυκερίνη, αυξάνοντας κατά τρεις φορές το βάρος του, ενώ συγχρόνως την

καθιστά λιγότερο ευαίσθητη στην κρούση και πιο ασφαλή στην χρήση της (www.metal.ntua.gr).

Σημειώνεται ότι οι διατομίτες είναι βιογενή ιζήματα με μεγάλη περιεκτικότητα σε SiO₂ (Αγιουτάντης, 2009).

Ζυμώνοντας την νιτρογλυκερίνη με kieselguhr και μορφοποιώντας την σε χάρτινα φουσίγγια κατασκευάζει την δυναμίτιδα (dynamite-από την λέξη δύναμη), μια εκρηκτική ύλη η οποία συγκρινόμενη με την μαύρη πυρίτιδα είχε 20 φορές περισσότερη εκρηκτική δύναμη.

Το 1865 ο Alfred Nobel προχώρησε στην κατασκευή του πρώτου καψυλλίου (πρόδρομο του σημερινού κοινού καψυλλίου), το οποίο σε συνδυασμό με την θρυαλλίδα ασφαλείας του Bickford αποτέλεσαν ένα εξαιρετικό και ασφαλές μέσο έναυσης των δυναμιτών.

Το 1875 ο Alfred Nobel ανακάλυψε ακόμα ότι αν αναμιχθεί νιτρογλυκερίνη με νιτροκυτταρίνη (νιτροβάμβακα) παράγονται εκρηκτικές ζελατίνες, οι οποίες είναι εκρηκτικές ύλες με ζελατινώδη υφή και εξαιρετική αντοχή στο νερό. Η γομμοδυναμίτιδα ή αλλιώς εκρηκτική ζελατίνη (blasting gelatin), με περιεκτικότητα 92% νιτρογλυκερίνη και 8% νιτροκυτταρίνη, αποτελεί μέχρι και σήμερα την πλέον ισχυρή εμπορική εκρηκτική ύλη, χρησιμοποιείται δε ως εκρηκτική ύλη αναφοράς για την σύγκριση της ισχύος των εκρηκτικών υλών (www.metal.ntua.gr).

Σήμερα παρασκευάζονται διαφόρων τύπων ζελατίνες σε αντιστοιχία με τις κοινές δυναμίτιδες με ισχύ που κυμαίνεται από 20 έως 100% της ισχύος των αντίστοιχων δυναμιτίδων. Σημειώνεται ότι οι ζελατίνες έχουν το πλεονέκτημα ότι η πλαστικότητα τους επιτρέπει καλύτερη γόμωση των διατρημάτων (Αγιουτάντης, 2009).

Το 1902 παρουσιάζεται στην Γαλλία η εκρηκτική θρυαλλίδα, υφίσταται σημαντικές τεχνικές βελτιώσεις στις ΗΠΑ το 1912 και λαμβάνει την σημερινή της μορφή, με πυρήνα από PETN, το 1936.

Στις αρχές του 20ου αιώνα εμφανίζονται τα πρώτα ηλεκτρικά καψύλλια και το 1922 τα ηλεκτρικά καψύλλια με περίοδο επιβράδυνσης ενός δευτερολέπτου. Στα τέλη της δεκαετίας του 1940 παρουσιάζονται στην αγορά ηλεκτρικά καψύλλια με περίοδο επιβράδυνσης 10-100 χιλιοστά του δευτερολέπτου, η διάδοση των οποίων είχε τεράστια σημασία στην ανάπτυξη των σύγχρονων τεχνικών εξόρυξης των πετρωμάτων με εκρηκτικές ύλες (www.metal.ntua.gr).

Άλλες κατηγορίες εκρηκτικών βασίζονται σε ανόργανα άλατα τα οποία έχουν την ιδιότητα να αποσυντίθενται με σύγχρονη έκλυση θερμικής ενέργειας. Το νιτρικό αμμώνιο,

που ανήκει στην κατηγορία αυτή, έχει το πλεονέκτημα ότι παρουσιάζει θετικό ισοζύγιο οξυγόνου, με συνέπεια να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν οξειδωτικός παράγοντας σε διάφορα εκρηκτικά μίγματα. Από την ανάμιξη της νιτρογλυκερίνης με διάφορες ποσότητες νιτροκυτταρίνης ή/και νιτρικού αμμωνίου προκύπτει μία σειρά εκρηκτικών με διαφορετικά χαρακτηριστικά που βρίσκουν αντίστοιχες εφαρμογές στην βιομηχανία.

Από την δεκαετία του 1950, λόγω των μεγαλύτερων απαιτήσεων σε ασφάλεια, ευελιξία και παραγωγικότητα εμφανίσθηκε η «νέα γενιά» εκρηκτικών που ονομάζονται εκρηκτικά μέσα. Οι πρώτες προσπάθειες για την ανάπτυξη του εκρηκτικού μίγματος γνωστού σήμερα ως ANFO (Ammonium Nitrate-Fuel Oil) δεν είχαν μεγάλη επιτυχία διότι το μίγμα που παρασκευαζόταν δεν είχε μεγάλη συνοχή. Η επιτυχημένη χρήση του ANFO αργότερα οφείλεται κυρίως στην αλλαγή του βιομηχανικού τρόπου παρασκευής του νιτρικού αμμωνίου (NH_4NO_3), το οποίο προοριζόταν για λίπασμα. Από το 1945 το νιτρικό αμμώνιο άρχισε να παρασκευάζεται με αυξημένο πορώδες με συνέπεια να αναμιγνύεται πολύ καλύτερα με το πετρέλαιο. Το αποτέλεσμα ήταν ένα ισχυρό εκρηκτικό που μπορεί εύκολα να προσαρμοσθεί στις απαιτήσεις της παραγωγής (Αγιουτάντης, 2009).

Έτσι το 1956 χρησιμοποιείται για πρώτη φορά σε μεταλλείο της Oliver Mining Division, U.S. Steel Corporation. Το ANFO επέφερε μια ριζική αλλαγή στην αγορά των εμπορικών εκρηκτικών υλών. Η κατανάλωση του ANFO, μόνο στις ΗΠΑ, από μηδέν το 1956 εκτοξεύθηκε σε πάνω από 1.000.000 tn το 1975, ενώ αντίθετα η κατανάλωση δυναμιτών μειώθηκε από 340.000 σε 135.000 tn.

Το 1958 οι Cook και Farnham συνθέτουν μια πρωτότυπη εκρηκτική ύλη που αποτελείται από νιτρικό αμμώνιο, σκόνη αλουμινίου, νερό και μια φυτική κόλλα, η οποία έχει ζελατινώδη-ημίρρευστη υφή. Έτσι δημιουργείται μια νέα οικογένεια εκρηκτικών υλών, οι εκρηκτικοί πολφοί (slurry explosives) με κύριο χαρακτηριστικό την εξαιρετική ασφάλεια στο χειρισμό και την αντοχή σε υγρό περιβάλλον.

Το 1969 ο H.F. Bluhm της Atlas Chemical Industries Ltd (ΗΠΑ) συνθέτει το πρώτο εκρηκτικό γαλάκτωμα. Τα εκρηκτικά γαλακτώματα (emulsion explosives) αποτελούν την πλέον πρόσφατη εξέλιξη σε ότι αφορά τους τύπους των εμπορικών εκρηκτικών υλών (www.metal.ntua.gr).

2.3 Ιδιότητες των εκρηκτικών

Η σωστή επιλογή εκρηκτικής ύλης είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της δουλειάς του μηχανικού σε ένα λατομείο αδρανών υλικών. Για να συμβεί αυτό είναι απαραίτητη η

γνώση των ιδιοτήτων των εκρηκτικών έτσι ώστε να γίνει η κατά το δυνατόν σωστότερη επιλογή του εκρηκτικού, διότι αυτή βασίζεται στην συναξιολόγηση των ιδιοτήτων των εκρηκτικών υλών και των χαρακτηριστικών του πετρώματος. Οι ιδιότητες οι οποίες χαρακτηρίζουν τις εκρηκτικές ύλες είναι οι εξής:

- η ισχύς
- η ταχύτητα έκρηξης
- ο βαθμός περιορισμού και μέγεθος κόκκων
- η πίεση έκρηξης
- η πυκνότητα της εκρηκτικής ύλης
- η ανθεκτικότητα στο νερό
- η ποιότητα καπνών
- η ευαισθησία

2.3.1 Ισχύς

Ο όρος ισχύς (strength) , όπως χρησιμοποιείται σήμερα, εκφράζει ποσοτικώς την εκλυόμενη κατά την έκρηξη μιας εκρηκτικής ύλης ενέργεια. Κατά την έκρηξη η συσσωρευμένη χημική ενέργεια στην εκρηκτική ύλη μετατρέπεται σε ενέργεια πίεσης (πυκνά μόρια αερίων με υψηλές κινητικές ενέργειες), που κρουστικώς και με άσκηση σχεδόν στατικής πίεσεως αναλώνεται ένα μέρος για την εκτέλεση ωφέλιμου έργου αποσυνθέσεως του πετρώματος ενώ το υπόλοιπο για την μετακίνηση του πετρώματος, για την πρόκληση ταλαντώσεων στο πέριξ πέτρωμα, ως ακουστική ενέργεια, ως τριβή κτλ. (Τσουτρέλης, 1997)

Η εκτίμηση της παραμέτρου αυτής είναι σημαντική, διότι, αφενός μεν χρειάζεται μεγάλη ισχύς για τον θρυμματισμό σκληρών πετρωμάτων, αφετέρου υπάρχουν σημαντικές απώλειες ενέργειας από την εφαρμογή ισχυρών εκρηκτικών σε χαλαρά ή θρυμματισμένα πετρώματα. Για παράδειγμα αναφέρεται ότι αν εκραγεί 1 kg ANFO (το οποίο εκλύει περί τις 900 kcal ή 3.77 MJ σε χρόνο 1 s, τότε η αντίστοιχη ισχύς της έκρηξης είναι 3.77 MW. Αν η ίδια έκρηξη γίνει σε 0.01 s, τότε η αντίστοιχη ισχύς είναι 377 MW, δηλαδή περισσότερη από αυτή ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού των 300 MW (Αγιουτάντης, 2009).

Η ενέργεια, που περιέχει μια εκρηκτική ύλη μπορεί να εκφρασθεί κατά μονάδα βάρους ή μονάδα όγκου της εκρηκτικής ύλης. Είναι δυνατόν επίσης να εκφρασθεί ως

απόλυτος ισχύς ή σχετική ισχύς σε σύγκριση με εκείνη μίας άλλης εκρηκτικής ύλης. Προκύπτουν συνεπώς τρεις δυνατότητες εκφράσεως της ισχύος:

- Η απόλυτη ισχύς κατά βάρος (Absolute Weight Strength- AWS) εκφράζει την ποσότητα ενέργειας (σε θερμίδες), που διαθέτει κάθε γραμμάριο εκρηκτικής ύλης. Το ANFO π.χ. διαθέτει 930 cal/g, μια συγκεκριμένη αμμωνιοδυναμίτιδα 1080 cal/g και ένα γαλάκτωμα 770 cal/g.
- Η απόλυτη ισχύς κατ' όγκο (Absolute Bulk Strength-ABS) εκφράζει την ποσότητα ενέργειας (σε θερμίδες), που διαθέτει κάθε κυβικό εκατοστό της εκρηκτικής ύλης. Η ABS προκύπτει δια πολλαπλασιασμού της AWS επί την πυκνότητα της εκρηκτικής ύλης. Για ANFO πυκνότητας 0,81 g/cm³ θα είναι $930 \times 0,81 = 753$ cal/cm³. Για την προηγούμενη αμμωνιοδυναμίτιδα πυκνότητας 1,36 g θα είναι: $1080 \times 1,36 = 1460$ cal/cm³ και για το υπόψη γαλάκτωμα $770 \times 1,25 = 963$ cal/cm³.
- Από πλευράς σχετικής ισχύος διακρίνεται η κατά βάρος σχετική ισχύς (Relative Weight Strength-RWS) και η κατ' όγκο σχετική ισχύς (Relative Bulk Strength-RBS ή αλλιώς cartridge strength) (Τσουτρέλης, 1997)

2.3.2 Ταχύτητα έκρηξης

Η ταχύτητα εκρήξεως (velocity of detonation, VOD) είναι η σπουδαιότερη ιδιότητα των εκρηκτικών υλών, όταν αξιολογούνται από πλευράς αποδόσεως, διότι εκφράζει το βαθμό εκλύσεως της χημικής ενέργειάς τους, ή ισοδύναμα, είναι η ταχύτητα με την οποία οδεύει ο κρουστικός παλμός (κύμα) που παράγεται από την έκρηξη ή η ταχύτητα της χημικής αντίδρασης. Η ταχύτητα εκρήξεως, μετά την εμφάνιση πλησίον του σημείου εναύσεως μιας ασταθούς καταστάσεως, σταθεροποιείται στην συνέχεια και οδευεί σε όλο το υπόλοιπο μήκος της γομώσεως με υπερηχητική ταχύτητα.

Η ταχύτητα έκρηξης των εκρηκτικών που χρησιμοποιούνται σήμερα στην βιομηχανία κυμαίνεται από 1500 m/s έως 7000m/s (5000 ft/s έως 25000 ft/s). Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα εκρήξεως μιας εκρηκτικής ύλης τόσο ταχύτερη είναι η έκλυση της συνολικής ενέργειας της και επομένως βραχύτερη σε διάρκεια η οπτική φάση της εκρήξεως και αντιστρόφως. Για τον λόγο αυτό εκρηκτικές ύλες χαμηλών ταχυτήτων εκρήξεως δίδουν καλύτερα αποτελέσματα σε ημίσκληρα πετρώματα.

Η ταχύτητα εκρήξεως είναι κυρίως συνάρτηση (Τσουτρέλης, 1997, Αγιουτάντης, 2009) :

- της χημικής συστάσεως της εκρηκτικής ύλης
- της κοκκομετρίας της
- της πυκνότητας γομώσεως, που φθάνει θεωρητικώς μέχρι την κρυσταλλική πυκνότητα της εκρηκτικής ύλης
- της διαμέτρου γομώσεως της εκρηκτικής ύλης, που στις περισσότερες περιπτώσεις είναι εκείνη του διατρήματος
- του βαθμού περιορισμού εντός του διατρήματος. Μείωση του μεγέθους των κόκκων, αύξηση της διαμέτρου του διατρήματος και της πυκνότητας γομώσεως οδηγούν σε αύξηση της ταχύτητας εκρήξεως μέχρις επιτεύξεως της ιδανικής ταχύτητας εκρήξεως, όπου αντιστοιχεί στην μέγιστη θεωρητική ή αλλιώς υδροδυναμική τιμή για την υπόψη εκρηκτική ύλη (ιδανική έκρηξη). Μια τέτοια έκρηξη και ταχύτητα εκρήξεως επιτυγχάνονται μόνο σε συνθήκες κυλινδρικής γομώσεως πολύ μεγάλης διαμέτρου και απόλυτης πυκνότητας. Μεγαλύτερη σταθερή ταχύτητα εκρήξεως δεν μπορεί να παρατηρηθεί σε μια εκρηκτική ύλη (Τσουτρέλης, 1997).

Γενικά όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος της εκρηκτικής στήλης τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα έκρηξης. Αυτό ισχύει μέχρι να επιτευχθούν υδροδυναμικές συνθήκες (hydrodynamic conditions), οπότε επιτυγχάνεται η μέγιστη ταχύτητα έκρηξης για δεδομένη πυκνότητα εκρηκτικού. Σημειώνεται ότι επειδή τα εκρηκτικά υλικά τοποθετούνται σε διατρήματα, η διάμετρος της εκρηκτικής στήλης συνήθως αντιστοιχεί στη διάμετρο του εκρηκτικού που είναι μικρότερη ή ίση από τη διάμετρο του διατρήματος. Καθώς η ταχύτητα έκρηξης είναι ανάλογη με την εκλυόμενη ενέργεια είναι φανερό ότι σε μικρές διαμέτρους επιτυγχάνεται μικρή ταχύτητα έκρηξης με συνέπεια τα εκρηκτικά να μην εκρήγνυνται αποτελεσματικά και ο θρυμματισμός του πετρώματος να μην είναι ικανοποιητικός.

Η αύξηση της διαμέτρου του διατρήματος (εκρηκτικής στήλης) μετά από κάποια οριακή τιμή δεν επηρεάζει την ταχύτητα έκρηξης. Η κρίσιμη διάμετρος (critical diameter) μίας εκρηκτικής στήλης είναι η ελάχιστη διάμετρος για την οποία είναι δυνατόν να διατηρηθεί η διαδικασία έκρηξης μέσα στο εκρηκτικό. Αν η διάμετρος της εκρηκτικής στήλης είναι μικρότερη από την κρίσιμη διάμετρο, τότε είναι δυνατόν να σταματήσει η διαδικασία της έκρηξης αμέσως μετά το σημείο έναυσης του εκρηκτικού.

Ο βαθμός περιορισμού αναφέρεται στο πόσο περιορισμένη (confinement) είναι μία ποσότητα εκρηκτικού από πλευρικές πιέσεις (πχ. βάρος υπερκείμενης στήλης, τρόπος γόμωσης, κλπ.) και σχετίζεται έμμεσα με την πυκνότητα του εκρηκτικού που επιτυγχάνεται μέσα στην εκρηκτική στήλη. Σημειώνεται ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός περιορισμού ενός εκρηκτικού τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα έκρηξης.

Τέλος η επιλογή του κατάλληλου ενισχυτικού εναύσματος συνεπάγεται τη γρηγορότερη ανάπτυξη της μέγιστης ταχύτητας έκρηξης για τις δεδομένες συνθήκες. Αν ο αρχικός κρουστικός παλμός δεν είναι αρκετά ισχυρός τότε ενδέχεται η έκρηξη να σταματήσει ή εκφυλισθεί σε ανάφλεξη. Όταν η ταχύτητα έκρηξης είναι υψηλή, τότε η εκρηκτική ύλη χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη διαρρηκτικότητα και τα κρουστικά φαινόμενα (shattering effects) που παρατηρούνται στον γύρω χώρο είναι εντονότερα (Αγιουτάντης, 2009).

2.3.3 Βαθμός περιορισμού και μέγεθος των κόκκων

Με την αύξηση του βαθμού περιορισμού εμποδίζεται σημαντικά ο ρυθμός πλευρικής διογκώσεως των αερίων με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγαλύτερο μήκος μεταβατικής περιοχής, που φθάνει τις 4 ½ έως 5 ½ φορές την διάμετρο του διατρήματος έναντι 3 ½ φορές χωρίς περιορισμό, για την επίτευξη σταθερών συνθηκών εκρήξεως. Παράλληλα αυξάνει το μήκος της ζώνης της αντιδράσεως από d σε περίπου $4/3 d$, όπου d η διάμετρος του διατρήματος και της γομώσεως, πράγμα που σημαίνει ότι, εάν προηγουμένως για δοθείσα διάμετρο γομώσεως η αντίδραση δεν είχε χρόνο να ολοκληρωθεί, με την αύξηση του βαθμού περιορισμού επιτυγχάνεται πληρέστερη αντίδραση και επομένως μεγαλύτερη ταχύτητα εκρήξεως στην ίδια διάμετρο, ενώ ταυτοχρόνως μειώνεται η κρίσιμη διάμετρος (Τσουτρέλης, 1997).

2.3.4 Πίεση έκρηξης

Η πίεση έκρηξης p_d (detonation pressure) είναι μια σπουδαία ιδιότητα των εκρηκτικών υλών, επειδή το μέγεθος της επηρεάζει τόσο το αποδιδόμενο ωφέλιμο έργο όσο και την επιλογή της εκρηκτικής ύλης για δεδομένη εφαρμογή. Ως πίεση έκρηξης χαρακτηρίζεται η πίεση του κρουστικού κύματος που προηγείται από την ζώνη χημικής αντίδρασης. Το μέγεθος της παραμέτρου αυτής κυμαίνεται από 5 έως 150 kbar (500 έως 15000 MPa) (Hartman, 1987) είναι καθοριστικό για την αποτελεσματικότητα του εκρηκτικού υλικού

και τον τρόπο θραύσης του πετρώματος. Σημειώνεται ότι η πίεση έκρηξης είναι συνάρτηση της πυκνότητας του εκρηκτικού, της ταχύτητας έκρηξης και της μοριακής ταχύτητας του υλικού (particle velocity) (Τσουτρέλης, 1997, Αγιουτάντης, 2009).

Η πίεση έκρηξης δεν πρέπει να συγχέεται με την πίεση που αναπτύσσεται στα τοιχώματα του διατρήματος (explosion pressure, borehole pressure) από τα αέρια τα οποία εκλύονται μετά την αποσύνθεση της εκρηκτικής ύλης. Η πίεση στα διατρήματα είναι μικρότερη από την πίεση έκρηξης (Αγιουτάντης, 2009).

2.3.5 Πυκνότητα εκρηκτικής ύλης

Ο όρος πυκνότητα εκρηκτικής ύλης (density of explosive) αναφέρεται στην πυκνότητα του μίγματος ή της χημικής ένωσης όπως παρασκευάζεται από τον κατασκευαστή. Η παράμετρος αυτή επομένως καθορίζει τη θεωρητική ποσότητα του εκρηκτικού που τοποθετείται σε ένα δεδομένο διάτρημα (Αγιουτάντης, 2009).

Η πυκνότητα της πλειοψηφίας των εκρηκτικών ποικίλλουν από 0.8 έως 1.6 g/cm³ και, όπως και στην ταχύτητα έκρηξης, όσο μεγαλύτερη είναι τόσο πιο μεγάλη θραύση προκαλούν (Jimeno, 1995).

Πολλές φορές η χρήση των εκρηκτικών γίνεται σε χύδην μορφή. Σε εκρηκτικά υλικά που διατίθενται χύδην διακρίνεται η πυκνότητα γόμωσης, η οποία επηρεάζει το αποτέλεσμα της εκρήξεως, αφού πυκνότερη εκρηκτική ύλη οδηγεί γενικώς σε αύξηση της διαθέσιμης ενέργειας στην μονάδα του όγκου. Η πυκνότητα γόμωσης εξαρτάται και από τον τρόπο γόμωσης (πχ. χύδην, πνευματικά, με την βαρύτητα, κλπ.) και είναι συνήθως διαφορετική από τη θεωρητική πυκνότητα του εκρηκτικού. Η εκτίμηση των ιδιοτήτων του εκρηκτικού ως συνάρτηση της πυκνότητας γίνεται με βάση την πραγματική του πυκνότητα στο διάτρημα, δηλαδή την πυκνότητα γόμωσης (Τσουτρέλης, 1997, Αγιουτάντης, 2009).

Για την καλύτερη θραύση του πετρώματος, όταν το φορτίο είναι μεγάλο, απαιτείται η χρήση εκρηκτικών με μεγάλη πυκνότητα, ενώ όταν το πέτρωμα είναι χαμηλής συνεκτικότητας (και συνεπώς εύκολα εξορύξιμο) ή προτιμάται μία ομαλότερη κατανομή της ενέργειας του εκρηκτικού, συνίσταται η χρήση εκρηκτικών με χαμηλή πυκνότητα (Αγιουτάντης, 2009).

Η αύξηση της πυκνότητας γομώσεως προκαλεί αύξηση της κρίσιμης διαμέτρου, σε συνθήκες χωρίς ή με περιορισμό, μέχρι κάποια οριακή τιμή. Για μεγαλύτερη πυκνότητα από αυτή η εκρηκτική ύλη δεν εκρήγνυται, διότι η κρίσιμη διάμετρος γίνεται άπειρη (Τσουτρέλης, 1997).

Τέλος αν η πυκνότητα του εκρηκτικού είναι χαμηλότερη από αυτήν του νερού (1g/cm^3), τότε επιπλέον με συνέπεια να είναι δύσκολη η γόμωση του σε υγρά διατρήματα (Αγιουτάντης, 2009).

2.3.6 Ανθεκτικότητα στο νερό

Η ανθεκτικότητα ενός εκρηκτικού στο νερό (water resistance) εκφράζει τη δυνατότητα του να εκραγεί κάτω από υγρές συνθήκες, ή ισοδύναμα, την ικανότητα του να παρεμποδίσει την είσοδο του νερού μέσα στην μάζα του. Η ανθεκτικότητα στο νερό εκφράζεται από τον αριθμό των ωρών που μπορεί να παραμείνει το εκρηκτικό μέσα σε νερό χωρίς να χάσει την ικανότητα να διεγερθεί και να εκραγεί από καψύλλιο ισχύος No. 6 (Αγιουτάντης, 2009).

Η κλίμακα ταξινόμησης των εκρηκτικών βάση της ανθεκτικότητας τους στο νερό πηγαίνει από άκυρη, περιορισμένη, καλή, πολύ καλή έως εξαιρετική. Στην πρώτη το εκρηκτικό δεν έχει καμία αντοχή στο νερό, ενώ στην τελευταία υπάρχει εγγυημένη αντοχή πάνω από 12 ώρες (Jimeno, 1995).

Μια εκρηκτική ύλη, που χαρακτηρίζεται ως «καλής αντιστάσεως στο νερό» μπορεί να τοποθετηθεί σε υγρό διάτρημα για βραχύ χρονικό διάστημα και να εκραγεί επιτυχώς. Για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα απαιτείται εκρηκτική ύλη με χαρακτηρισμό «εξαιρετικό» (excellent). Τέτοιο χαρακτηρισμό φέρουν οι ζελατίνες και ορισμένοι εκρηκτικού πολφοί (slurries). Γενικά αναφέρεται ότι, εκρηκτικές ύλες με μεγάλη πυκνότητα, έχουν καλή ως ικανοποιητική ανθεκτικότητα στο νερό, ενώ εκρηκτικές ύλες με χαμηλή πυκνότητα έχουν μικρή ή καθόλου ανθεκτικότητα στο νερό (Τσουτρέλης, 1997).

Όταν το νερό διεισδύει μέσα στην μάζα ενός εκρηκτικού τότε η ευαισθησία του εκρηκτικού μεταβάλλεται με συνέπεια να μην εκρήγνυται ή στην χειρότερη περίπτωση να εκρήγνυται ανεξέλεγκτα. Ορισμένες δυναμίτιδες και τα εκρηκτικά υγρής φάσης έχουν πολύ καλή ανθεκτικότητα στο νερό, ενώ τα εκρηκτικά που περιέχουν νιτρικό αμμώνιο έχουν μικρή έως μηδενική ανθεκτικότητα στο νερό, καθώς το νιτρικό αμμώνιο είναι υγροσκοπικό.

Για την αποφυγή των προβλημάτων αυτών συνίσταται (Αγιουτάντης, 2009):

- η πυροδότηση των λιγότερο ανθεκτικών στο νερό εκρηκτικών αμέσως μετά την γόμωση

- η χρήση ισχυρότερων ενισχυτικών εναυσμάτων όπου είναι δυνατόν
- η διατήρηση της συσκευασίας του εκρηκτικού σε καλή κατάσταση (όταν πρόκειται για φυσίγγια).

2.3.7 Όγκος εκλυόμενων αερίων

Ως όγκος εκλυόμενων αερίων χαρακτηρίζεται ο όγκος σε lt, ο οποίος παράγεται από 1 kg εκρηκτικής ύλης στην ατμοσφαιρική πίεση και σε 0°C. Χαρακτηρίζεται ως ειδικός όγκος αερίων και είναι χαρακτηριστικός της ισχύος κάθε εκρηκτικής ύλης. Κυμαίνεται μεταξύ 500 και 975 lt/kg για τις εύχρηστες εκρηκτικές ύλες.

Ο ειδικός όγκος εξαρτάται από την χημική σύνθεση της εκρηκτικής ύλης και την πυκνότητα γομώσεως. Προσδιορίζεται πειραματικώς, αλλά και υπολογιστικώς, όταν είναι γνωστή η αντίδραση αποσυνθέσεως (Πολυχρονόπουλος, 1979)

2.3.8. Ευαισθησία

Ο όρος ευαισθησία (sensitivity) χρησιμοποιείται κατά δύο κυρίως τρόπους: ο πρώτος αναφέρεται κυρίως στην ευαισθησία έναυσης του εκρηκτικού, δηλαδή στην ελάχιστη ενέργεια (κρουστική, θερμική, τριβής, κλπ) που απαιτείται για τον σκοπό αυτό, και στην ευαισθησία διάδοσης της έκρηξης. Ο δεύτερος αναφέρεται στο πόσο επικίνδυνο (ευαίσθητο) είναι ένα εκρηκτικό όσον αφορά την παρασκευή, μεταφορά, αποθήκευση, κλπ (Αγιουτάντης, 2009).

- Ευαισθησία εναύσεως

Η ευαισθησία ως προς την έναυση μιας εκρηκτικής ύλης καθορίζεται από την ελάχιστη ποσότητα ενέργειας, που απαιτείται για να προκληθεί με σταθερό ρυθμό εκρηκτική αντίδραση. Στην πράξη χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικοί τρόποι μέσω των οποίων προσδιορίζεται η ευαισθησία εναύσεως. Ο πρώτος, που είναι άμεσος, αναφέρεται στην ελάχιστη ποσότητα εναύσματος (minimum booster) σε επαφή με την εκρηκτική ύλη, που απαιτείται για την έναυσή της. Κατ' αυτόν δοκιμάζεται η έναυση της εκρηκτικής ύλης με μια σειρά διαρκώς ισχυρότερων εναυσμάτων μέχρις ότου επιτευχθεί ικανοποιητική έκρηξη. Το μικρότερο από πλευράς ισχύος έναυσμα καθορίζει την ελάχιστη ενέργεια, που απαιτείται για την υπόψη εκρηκτική ύλη. Η χρησιμοποιούμενη διάμετρος του φυσιγγίου για την σχετική δοκιμή πρέπει να είναι κατά 1 in μεγαλύτερη της κρίσιμης διαμέτρου και το μήκος του φυσιγγίου ίσο προς έξι διαμέτρους. Στην πράξη τα εναύσματα που

ενδείκνυται να χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι κατά 4 περίπου φορές ισχυρότερα του ελάχιστου εναύσματος. Στις Η.Π.Α με βάση την δυνατότητα ή μη εναύσεως των εκρηκτικών υλών με καψύλλιο ισχύος Νο. 8, χαρακτηρίζονται αυτές ως εκρηκτικές ύλες (explosives) ή εκρηκτικά μέσα (blasting agents).

Ο δεύτερος τρόπος προσδιορισμού της ευαισθησίας ως προς την έναυση μιας εκρηκτικής ύλης αναφέρεται στην ικανότητα της να εναυθεί μέσω παρεμβαλλόμενου διάκενου αέρα (air gap sensitivity). Στην περίπτωση αυτή μετρείται η απόσταση στον αέρα, στην οποία το μισό φυσίγγιο (δότης) διαμέτρου 30 mm (1 ¼ in) μπορεί να εναύσει το άλλο μισό (δέκτης) σε μη περιορισμένες συνθήκες. Εκρηκτικές ύλες χαμηλής ευαισθησίας δοκιμάζονται σε μεγαλύτερη διάμετρο (Τσουτρέλης, 1997).

- Ευαισθησία σε κρούση

Η ευαισθησία σε κρούση αναφέρεται στο πόσο εύκολα μπορεί να ενεργοποιηθεί ένα εκρηκτικό όταν μία ποσότητα του πέσει από κάποιο ύψος. Η ευαισθησία σε κρούση προσδιορίζεται με δοκιμή μικρής ποσότητας εκρηκτικής ύλης σε μία συσκευή κρούσεως. Κατ' αυτήν προσδιορίζεται το ύψος, από το οποίο το δοθέν βάρος 2 kg, πέπτει με την επίδραση της βαρύτητας, προκαλεί την έκρηξη της εκρηκτικής ύλης υπό τις συνθήκες του πειράματος. Το ύψος αυτό σε cm δίδεται ως μέτρο της ευαισθησίας σε κρούση της εκρηκτικής ύλης (Αγιουτάντης, 2009, Πολυχρονόπουλος, 1979).

- Ευαισθησία σε τριβή

Κατά την διάρκεια της ζωής τους τα εκρηκτικά υλικά πολύ συχνά υπόκεινται σε τριβή είτε μεταξύ των εκρηκτικών και άλλων επιφανειών είτε μεταξύ των κόκκων τους. Κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες η τριβή αυτή μπορεί να προκαλέσει την έναυση του εκρηκτικού. Είναι γνωστό ότι ανάμεσα σε επιφάνειες δύο υλικών που βρίσκονται σε σχετική κίνηση υφίστανται μία δύναμη τριβής κίνησης, η οποία είναι ανάλογη στην κάθετη δύναμη η οποία φέρει τα δύο υλικά σε επαφή. Η ενέργεια η οποία απαιτείται για να υπερνικηθεί η δύναμη της τριβής αποδίδεται είτε ως έργο είτε ως θερμότητα (Αγιουτάντης, 2009).

Ο υπολογισμός της ευαισθησίας σε τριβή μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας διαφορετικές συσκευές. Μία από τις μεθόδους δοκιμών χρησιμοποιεί την συσκευή BAM στην οποία η τριβή δημιουργείται ηλεκτρομαγνητικά μεταξύ ενός μικρού σταθερού κυλινδρικού εμβόλου από πορσελάνη με αδρή σφαιρική απόληξη (pistil) και μίας αδρής πλάκας από πορσελάνη η οποία φέρει το δοκίμιο. Η τιμή της κάθετης δύναμης μεταξύ του

εμβόλου πορσελάνης και της πλάκας για την οποία το εκρηκτικό εναύεται σε ποσοστό 50% ορίζεται σαν η ευαισθησία σε τριβή (pistol load). Μία ακόμα μέθοδος για τον υπολογισμό της ευαισθησίας σε τριβή γίνεται σε μία ιδιαίτερη συσκευή. Διεξάγεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να ανταποκρίνεται κατά το δυνατόν στις πρακτικές συνθήκες. Έτσι σε μία ομαλή επιφάνεια από πορσελάνη ή από γρανίτη τοποθετούμε μικρή ποσότητα (0,95 g έως 0,1 g) της προς έλεγχο εκρηκτικής ύλης, την οποία ανακινούμε με μία ράβδο από πορσελάνη ή ορείχαλκο. Έτσι προσδιορίζεται ο κίνδυνος της ευαισθησίας σε τριβή της εκρηκτικής ύλης. Η δοκιμή διεξάγεται με την χρήση ράβδου διαφόρων βαρών και ταχυτήτων (Αγιουτάντης, 2009, Πολυχρονόπουλος, 1979).

2.4 Θραύση του πετρώματος

Η αποδοτική χρήση των εκρηκτικών υλών για την θραύση του πετρώματος καθώς και η επίτευξη ανατινάξεων υπό αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες προϋποθέτουν γνώση του μηχανισμού με τον οποίο θραύεται το πέτρωμα υπό την επίδραση εκρηκτικών υλών. Πρόκειται για ένα σύνθετο μηχανισμό, που για περιγραφικούς λόγους μπορεί να θεωρηθεί ότι λαμβάνει χώρα σε δύο διακεκριμένες μεταξύ τους φάσεις, από τις οποίες η πρώτη οφείλεται στο κρουστικό κύμα, που δημιουργήθηκε από την έκρηξη και η δεύτερη, που έπεται χρονικά, στην δράση των αερίων της εκρήξεως. Ο διαχωρισμός αυτός σε δύο φάσεις του μηχανισμού θραύσεως του πετρώματος δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα, γιατί και οι δύο φάσεις αποτελούν στην πραγματικότητα τμήματα της ίδιας συναρτήσεως πίεσεως-χρόνου (Τσουτρέλης, 2001).

Διευκρινίζεται στο σημείο αυτό ότι, από καθαρά ενεργειακής πλευράς, η ενέργεια που περιέχεται στην κρουστική φάση της εκρήξεως μιας εκρηκτικής ύλης, είναι ποσοτικώς πολύ μικρότερη της ενέργειας που περιέχεται στην ωστική φάση, που ακολουθεί, χωρίς όμως να μπορεί να διατυπωθεί με βεβαιότητα ότι και το αποδιδόμενο ωφέλιμο έργο είναι πραγματικά ανάλογο των διατιθεμένων σε κάθε φάση ποσών ενέργειας (Kutter et al, 1971, Τσουτρέλης, 2001).

2.4.1 Κρουστική φάση

Όταν μια εκρηκτική ύλη διεγείρεται εντός του διατρήματος η χημική αντίδραση που προκαλείται οδεύει με ταχύτητα μεταξύ 3000-6000 m/s ανάλογα με τον τύπο της εκρηκτικής ύλης, την πυκνότητα γομώσεως και την διάμετρο του διατρήματος. Στην ζώνη

της αντιδράσεως η πίεση εκρήξεως (detonation pressure) στην περίπτωση των διαρρηκτικών εκρηκτικών υλών με πληρότητα γομώσεως του θαλάμου της εκρήξεως 100% κυμαίνεται από 0,5-20 GPa, και συνηθέστερα μεταξύ 5-10 GPa, ενώ η θερμοκρασία φθάνει μέχρι 3000-4000 °K. Στην περίπτωση αυτή το τοίχωμα (=πέτρωμα), που περιβάλλει τον θάλαμο της εκρήξεως, τίθεται κατά τον χρόνο διελεύσεως της αντιδράσεως, που είναι της τάξεως των μερικών δεκάδων μέχρι μερικών εκατοντάδων μs, υπό μία δυναμική εντατική κατάσταση, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της εκρηκτικής ύλης και εκείνα του πετρώματος (Persson et al, 1994, Τσουτρέλης, 2001).

Στην εντατική αυτή κατάσταση, που υποβάλλεται το πέτρωμα κατά την έκρηξη μιας ποσότητας εκρηκτικής ύλης εντός αυτού ή στην επιφάνειά του, οφείλεται η θραύση του πετρώματος κατά την κρουστική φάση (Τσουτρέλης, 2001).

Είναι σκόπιμο να αναφερθεί ότι η γεωμετρία διάδοσης του κρουστικού παλμού εξαρτάται από την θέση του σημείου έναυσης καθώς και από την ταχύτητα έκρηξης, την ταχύτητα διάδοσης ελαστικών κυμάτων στο πέτρωμα, και τέλος από την γεωμετρία της εκρηκτικής στήλης. Η μέγιστη πίεση του κρουστικού κύματος που δέχεται το πέτρωμα εξαρτάται από τον διαθέσιμο χώρο για την αρχική εκτόνωση των θερμών αερίων προϊόντων της έκρηξης. Ο χώρος αυτός προσδιορίζεται από τον συντελεστή γόμωσης (coupling ratio, decoupling). Ο συντελεστής γόμωσης εκφράζει το ποσοστό του διατρήματος που γομώνεται, δηλαδή τον λόγο του όγκου του εκρηκτικού προς τον όγκο του διατρήματος ή σε περίπτωση γόμωσης με φυσίγγια τον λόγο της διαμέτρου του εκρηκτικού προς την διάμετρο του διατρήματος. Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής γόμωσης, τόσο λιγότερος είναι ο κενός χώρος και επομένως τόσο μεγαλύτερη είναι η μέγιστη πίεση αερίων που δέχεται το πέτρωμα. Η πίεση αυτή οφείλεται στην σταδιακή εκτόνωση των αερίων που δημιουργούνται στον ευρύτερο χώρο της έκρηξης κατά την ωστική φάση. Η ωστική φάση ακολουθεί την κρουστική (Αγιουτάντης, 2009).

Όταν μια ανατίναξη γίνει σε περιορισμένο χώρο, όπως για παράδειγμα σε ένα διάτρημα, τότε το περιβάλλον μέσο χαρακτηρίζεται από τη δημιουργία διαφόρων ζωνών παραμόρφωσης που είναι συμμετρικές ως προς σημείο ή άξονα. Οι ζώνες αυτές διακρίνονται ως εξής:

- Ζώνη σύνθλιψης (crushed zone) ή ρευστοδυναμική ζώνη (hydrodynamic zone). Η δημιουργία και μετάδοση του κρουστικού κύματος έχει σαν αποτέλεσμα την επιβολή εξαιρετικά μεγάλων ακτινικών και διατμητικών τάσεων στο περιβάλλον πέτρωμα. Η ακτινική τάση φθάνει τα 1000 MPa ($1,5 \times 10^6$ psi) που υπερβαίνει κατά

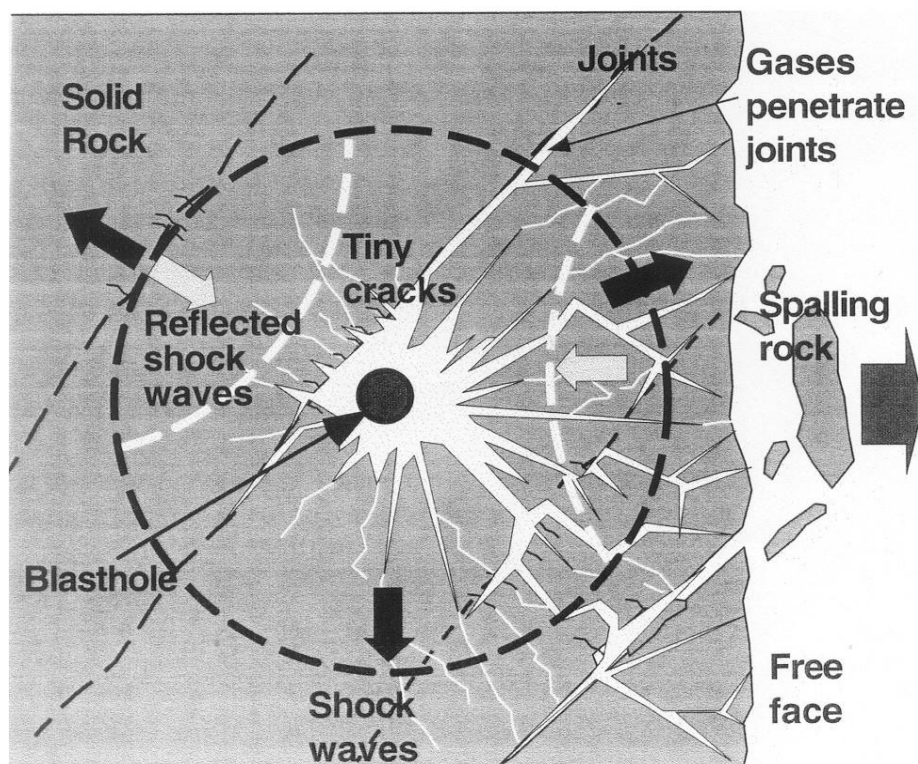
πολύ την δυναμική αντοχή του πετρώματος σε θλίψη, με συνέπεια το πέτρωμα που περιβάλλει το διάτρημα να θρυμματίζεται έντονα. Στην ζώνη αυτή, που είναι μικρού πάχους, καταναλώνεται σημαντικό μέρος της ενέργειας του κύματος. Σημειώνεται ότι η διαμόρφωση της ζώνης δεν εξαρτάται από τις ελαστικές σταθερές του υλικού. Το πλάτος της ζώνης σύνθλιψης κυμαίνεται από 1 έως $3 \times d$ σε σκληρά πετρώματα, όπου d η διάμετρος του διατρήματος, και είναι μεγαλύτερο σε χαλαρά πετρώματα.

- Θρυμματισμένη ζώνη (blast-fractured zone, cracked zone). Καθώς η ακτινική θλιπτική τάση που δέχεται το πέτρωμα μειώνεται, στο πέτρωμα σχηματίζονται πυκνές ρωγμές κυρίως με ακτινική διεύθυνση. Η ζώνη αυτή εκτείνεται μέχρι το σημείο όπου η ακτινική τάση γίνεται μικρότερη από τις αντοχές σε θλίψη και διάτμηση του πετρώματος. Καθώς αυξάνεται η απόσταση από το σημείο της έκρηξης παρατηρούνται διαδοχικά φαινόμενα έντονου θρυμματισμού, πλαστικής παραμόρφωσης και μερικής θραύσης, και αντίστοιχη αύξηση του μεγέθους των τεμαχίων του πετρώματος. Στην ζώνη αυτήν είναι δυνατόν να διακριθούν δύο περιοχές α) η έντονα θρυμματισμένη (severely fractured zone) και β) η μέτρια θρυμματισμένη περιοχή (moderately fractured zone). Στην έντονα θρυμματισμένη περιοχή κυριαρχεί η δημιουργία ρωγμών λόγω διατμητικών τάσεων (shear fracturing), οι οποίες μειώνονται στη μέτρια θρυμματισμένη περιοχή, όπου αρχίζουν και κυριαρχούν ρωγμές λόγω εφελκυστικών τάσεων. Σημειώνεται ότι πολλοί συγγραφείς αναφέρουν τη μεταβατική ζώνη (transition zone), η οποία περιλαμβάνει τη ζώνη σύνθλιψης και την θρυμματισμένη ζώνη.
- Ελαστική ζώνη (elastic zone, seismic zone). Η ζώνη αυτή αρχίζει από το σημείο όπου η ακτινική συνιστώσα της τάσης του κρουστικού κύματος είναι μικρότερη από το δυναμικό όριο θραύσης του πετρώματος (δηλαδή από το τέλος της μεταβατικής ζώνης), και θεωρητικά εκτείνεται απεριόριστα. Επομένως αρχίζουν να κυριαρχούν οι εφελκυστικές τάσεις, οι οποίες λόγω της χαμηλής εφελκυστικής αντοχής του πετρώματος, συμβάλλουν στην δημιουργία ακτινικών ρωγμών. Οι ρωγμές αυτές αναπτύσσονται μέχρι οι εφαπτομενικές τάσεις να γίνουν μικρότερες από την εφελκυστική αντοχή του πετρώματος. Στην ζώνη αυτή, όπου η συμπεριφορά του πετρώματος είναι δυνατόν να μελετηθεί με την θεωρία της ελαστικότητας, διακρίνονται δύο περιοχές:

❖ Η ελάχιστα θρυμματισμένη (least fractured zone)

❖ Η μη θρυμματισμένη (undamaged rock).

Στην ελάχιστη θρυμματισμένη ζώνη παρατηρείται σχηματισμός περιορισμένου αριθμού ακτινικών ρωγμών, μεγάλου σχετικά μήκους. Στην μη θρυμματισμένη περιοχή το πέτρωμα θεωρείται ακέραιο. Έχει υπολογισθεί πειραματικά ότι λιγότερο από 20% της ολικής ενέργειας του εκρηκτικού καταναλώνεται στην ελαστική ζώνη (Αγιουτάντης, 2009). Στο σχήμα 2.1 φαίνεται ο μηχανισμός θραύσης των πετρωμάτων σε κάτοψη.



Σχήμα 2.1 Μηχανισμός εξόρυξης των πετρωμάτων με εκρηκτικές ύλες σε κάτοψη (www.metal.ntua.gr)

Υπόμνημα:

Solid rock = συμπαγές πέτρωμα

Blasthole = διάτρημα

Shock waves = κρουστικά κύματα (θλιπτικά)

Reflected shocked waves = ανακλώμενα κρουστικά κύματα (εφελκυστικά)

Tiny cracks = μικρορωγμές

Joints = ασυνέχειες (αποτελούν «εσωτερικές» ελεύθερες επιφάνειες)

Gases penetrated joints = τα αέρια της έκρηξης διευρύνουν τις ασυνέχειες

Spalling rock = αποκολλημένα τεμάχια πετρώματος

Free face = ελεύθερη επιφάνεια (πρανές μετώπου)

Τέλος εάν το πέτρωμα γύρω από τον θάλαμο εκρήξεως είναι απεριόριστο, τότε η προκαλούμενη θραύση και ρωγμάτωση του πετρώματος συνέπεια της δράσεως του

κρουστικού κύματος ολοκληρώνεται με όσα περιγράφηκαν προηγουμένως. Εάν όμως αντί του απεριόριστου πετρώματος πλησίον του θαλάμου της εκρήξεως υπάρχουν μία ή περισσότερες ελεύθερες επιφάνειες, τότε σε κάθε μία από αυτές εμφανίζεται μία ιδιόμορφη θραύση του πετρώματος, που ξεκινάει από έξω προς τα μέσα, με τις επιφάνειες θραύσεως παράλληλες προς την ελεύθερη επιφάνεια. Η θραύση, γνωστή ως απολεπίωση (spalling) ή θραύση κατά πλάκας (slabbing), μελετήθηκε εκτενώς από τους Duvall και Atchison (1957), που πρώτοι διατύπωσαν την παραδεδεγμένη σήμερα θεωρία της εξ ανακλάσεως θραύσεως του πετρώματος.

Κατά την θεωρία αυτή στην περιοχή της ελεύθερης επιφάνειας, όταν αυτή απέχει μικρή απόσταση από τον θάλαμο της εκρήξεως, το πέτρωμα θραύεται σε εφελκυσμό συνεπεία του δημιουργούμενου από την ανάκλαση του θλιπτικού κρουστικού κύματος εφελκυστικού κύματος. Το κύμα αυτό, έχει μέγιστη ένταση πολύ μικρότερη του προσπίπτοντος στην ελεύθερη επιφάνεια θλιπτικού κύματος, εν τούτοις είναι ικανό να θραύσει το πέτρωμα, γιατί το τελευταίο έχει κατά πολύ μικρότερη αντοχή σε εφελκυσμό από ότι σε θλίψη (Τσουτρέλης, 2001).

2.4.2 Ωστική φάση

Η εκλυόμενη κατά την χημική αντίδραση μιας εκρηκτικής ύλης ενέργεια κατανέμεται κυρίως σε εκείνη που περιέχεται στο κρουστικό κύμα (strain wave energy) και σε εκείνη που περιέχεται στα ευρισκόμενα υπό υψηλή ακόμη πίεση εντός του θαλάμου της εκρήξεως αέρια προϊόντα (δηλαδή μόρια CO_2 , H_2O , N_2 , O_2 , κτλ με μεγάλη κινητική ενέργεια). Υπολογίζεται ότι μόνον το 10-20% της συνολικής ενέργειας περιέχεται στο κρουστικό κύμα, ενώ το υπόλοιπο ευρίσκεται συνδεδεμένο με τα αέρια της εκρήξεως. Κατά συνέπεια είναι λογικό να αναμένεται ότι η συνεισφορά της ωστικής φάσεως της εκρήξεως στην θραύση του πετρώματος, θα είναι πολύ σημαντική.

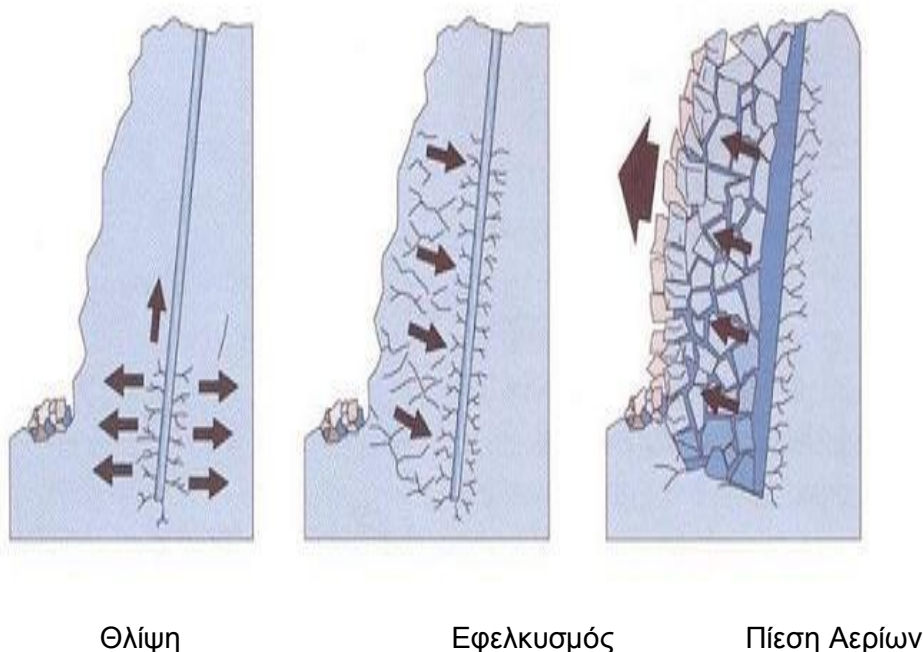
Ο τρόπος όμως με τον οποίο θραύεται το πέτρωμα υπό την επίδραση της ωστικής φάσεως, που εκδηλώνεται αφενός με την επέκταση και διεύρυνση ήδη υφιστάμενων ρωγμών και αφετέρου με την δημιουργία νέων ρωγμών σε θεωρούμενες ως σχεδόν στατικές συνθήκες (quasi-static stress field), είναι ακόμη αρκετά ασαφής, διότι η κατάσταση που επικρατεί στην περιοχή γύρω από τον θάλαμο της εκρήξεως αμέσως μετά την διέλευση του κρουστικού κύματος, δεν παρέχει την δυνατότητα πειραματικής μελέτης του μηχανισμού θραύσεως του πετρώματος υπό την πίεση των αερίων της εκρήξεως.

Σε αντίθεση με τα χαρακτηριστικά του κρουστικού κύματος, που μπορούν να μετρηθούν σε διάφορες αποστάσεις από τον θάλαμο της εκρήξεως και με προεκβολή να καθοριστούν εκείνα στην αμέσως γύρω περιοχή από τον θάλαμο εκρήξεως, το δημιουργούμενο από την πίεση των αερίων της εκρήξεως εντατικό πεδίο είναι μικρό σε έκταση, διότι μειώνεται πολύ ταχύτερα σε συνάρτηση με την απόσταση σε σύγκριση με το κρουστικό. Συνεπώς η ανίχνευσή του με αισθητήρες πιέσεως πέραν της μεταβατικής ζώνης είναι δυσχερής. Από την άλλη πλευρά οποιοδήποτε όργανο ευαίσθητο στην πίεση, που θα τοποθετηθεί πλησίον του θαλάμου της εκρήξεως είναι αναμενόμενο να υποστεί βλάβη από το προπορευόμενο κρουστικό κύμα πριν εμφανισθεί η ενέργεια της πιέσεως των αερίων της εκρήξεως και κατά συνέπεια η πειραματική μέτρηση να αποτύχει τελείως ή να δώσει εσφαλμένα στοιχεία.

Για τον λόγο αυτό οι σημερινές γνώσεις μας προέρχονται κυρίως από θεωρητικούς υπολογισμούς και από περιορισμένο αριθμό πειραματικών δεδομένων, τα οποία παρέχουν κυρίως ποιοτικούς χαρακτηρισμούς (Τσουτρέλης, 2001).

Άλλοι ερευνητές (Kutter and Fairhurst, 1971), όπως αναφέρεται από τον Roberts (1981), υποστηρίζουν ότι το πλάτος της θρυμματισμένης ζώνης εξαρτάται όχι μόνο από την αντοχή σε εφελκυσμό, την ταχύτητα διάδοσης των κρουστικών κυμάτων στο πέτρωμα, την πίεση και την ταχύτητα έκρηξης, αλλά και από το ποσοστό απορρόφησης ενέργειας από το πέτρωμα. Η διάμετρος της θρυμματισμένης ζώνης υπολογίζεται σε 6 διαμέτρους του διατρήματος για σφαιρικό μέτωπο κύματος και σε 9 διαμέτρους για κυλινδρικό μέτωπο κύματος, και σημειώνεται ότι η αύξηση της ποσότητας του εκρηκτικού δεν αυξάνει την διάμετρο της ζώνης αυτής, αλλά απλώς αυξάνεται η ζώνη σύνθλιψης γύρω από το διάτρημα. Τέλος, αναφέρουν ότι η πίεση των αερίων πρέπει να υπολογίζεται στον όγκο της

θρυμματισμένης ζώνης ή της ισοδύναμης κοιλότητας και όχι στον όγκο του διατρήματος. (Αγιουτάντης, 2009).



Σχήμα 2.2 Μηχανισμός της εξόρυξης με εκρηκτικές ύλες (www.metal.ntua.gr)

2.5 Ταξινόμηση των εκρηκτικών

Οι εκρηκτικές ύλες μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορους τρόπους ανάλογα με την περίπτωση που εξετάζεται. Συγκεκριμένα, είναι δυνατόν να ταξινομηθούν σύμφωνα με:

A) Το πεδίο εφαρμογής τους. Ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής τους

Οι εκρηκτικές ύλες διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τις **στρατιωτικές** (military) και τις **εμπορικές** ή **βιομηχανικές** (commercial ή industrial) εκρηκτικές ύλες (www.metal.ntua.gr).

B) Τα χαρακτηριστικά έκρηξής τους. Με βάση τα χαρακτηριστικά της έκρηξής τους οι χημικές εκρηκτικές ύλες διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν εκείνες, που η αντίδραση λαμβάνει χώρα υπό μορφή ταχείας αναφλέξεως και προχωρεί από την επιφάνεια του κόκκου προς το εσωτερικό μέχρι πλήρους καύσεώς του. Οι εκρηκτικές ύλες της κατηγορίας αυτής ονομάζονται βραδυκαυστικές (low explosives,

LE) και σπανιότερα ωστικές εκρηκτικές ύλες, γιατί η ενέργειά τους εκδηλώνεται δια ισχυρής ωθήσεως του πετρώματος, λόγω της βραδύτητας αντιδράσεως τους. Όλες οι εκρηκτικές ύλες της κατηγορίας αυτής εναύονται με θερμική επέμβαση (φλόγα, ερυθροπύρωση νήματος ή με τριβή). Κύριος εκπρόσωπος της κατηγορίας αυτής είναι η μαύρη πυρίτιδα (black powder), που χρησιμοποιείται πλέον πολύ περιορισμένα σε ορισμένες ειδικές εξορύξεις πετρωμάτων.

Στην δεύτερη κατηγορία υπάγονται όλες οι εκρηκτικές ύλες στις οποίες η αντίδραση λαμβάνει χώρα μέσω έκρηξης, που πραγματοποιείται, όπως ήδη αναφέρθηκε, με υπερηχητική ταχύτητα (3000-8000 m/s). Οι εκρηκτικές ύλες της κατηγορίας αυτής ονομάζονται διαρρηκτικές (high explosives, HE) και διακρίνονται σε πρωτογενείς (primary HE), όταν εναύονται με θερμική επέμβαση (π.χ. βροντώδης υδράργυρος, αζίδιο του μόλυβδου), και δευτερογενείς (secondary HE), όταν εναύονται με κρούση (δυναμίτιδες, ANFO, slurries κτλ) (Τσουτρέλης, 1997).

Γ) Την ευαισθησία μεταφοράς τους. Το γραφείο μεταφορών των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής διακρίνει τις παρακάτω κατηγορίες εκρηκτικών (Αγιουτάντης, 2009):

- Εκρηκτικά Α τάξης: Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει υλικά που μπορούν να εκραγούν ή υλικά μεγίστου κινδύνου. Σε αυτά περιλαμβάνονται οι δυναμίτιδες, η νιτρογλυκερίνη, τα εκρηκτικά καψύλλια και τα ενισχυτικά εναύσματα (primers).
- Εκρηκτικά Β τάξης: Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει υλικά που μπορούν να αναφλεγούν, όπως εκρηκτικά που χρησιμοποιούνται σαν ωστικά μέσα (propellants), ορισμένες κατηγορίες πυροτεχνημάτων, κλπ.
- Εκρηκτικά Γ τάξης: Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει υλικά που μπορούν να ανήκουν και στις δύο προηγούμενες κατηγορίες, αλλά όταν βρίσκονται σε περιορισμένες ποσότητες.

2.6 Συνήθεις καταναλώσεις εκρηκτικών στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις

Στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις ένας από τους σημαντικούς συντελεστές των ανατινάξεων είναι ο συντελεστής κατανάλωσης (Powder factor), ο οποίος δείχνει πόσα kg εκρηκτικού χρησιμοποιούνται ανά m^3 πετρώματος. Αποτελεί σημαντικό συντελεστή γιατί μέσω αυτού μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε το κόστος της ανατίναξης και να γίνει γρηγορότερα μία σύγκριση για την οικονομικότερη επιλογή.

Σύμφωνα με τον Αγιουτάντη (2009) τυπικές τιμές για τους συντελεστές κατανάλωσης σε επιφανειακές ανατινάξεις είναι από 0.25 έως 1.6 kg/m³. (Dick et al., 1983).

Σύμφωνα με τον Τσουτρέλη (2001) τυπικές τιμές για τους συντελεστές κατανάλωσης σε ανατινάξεις σε ασβεστόλιθους, που είναι το πέτρωμα το οποίο αφορά την παρούσα εργασία, διαχωρίζονται ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκονται. Εάν είναι υγιής ο ασβεστόλιθος ο συντελεστής κατανάλωσης είναι της τάξης των 0.20 kg/m³, ενώ αν είναι ρωγματομένος είναι της τάξης των 0.15 kg/m³.

Σύμφωνα με τον Carlos Lopez Jimeno (1995) όταν πρόκειται για μεγάλους βράχους υψηλής αντοχής ο συντελεστής κατανάλωσης είναι της τάξης των 0.6-1.5 kg/m³. Όταν πρόκειται για μεσαίας αντοχής πετρώματα τότε ο συντελεστής κατανάλωσης είναι της τάξης των 0.3-0.6 kg/m³. Τέλος αν πρόκειται για αρκετά ρωγματομένα ή μαλακά πετρώματα τότε ο συντελεστής κατανάλωσης είναι της τάξης των 0.1-0.3 kg/m³.

2.7 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις εκρηκτικών

Η χρήση εκρηκτικών υλών για την εξόρυξη πετρωμάτων για την παραγωγή ορυκτών πρώτων υλών ή την κατασκευή τεχνικών έργων συνοδεύεται από ορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις οι κυριότερες από τις οποίες είναι η πρόκληση δονήσεων στο έδαφος, η δημιουργία ωστικού κύματος στην ατμόσφαιρα (air blast) και τέλος η εκτόξευση λίθων (fly rock effect).

Άλλες επιπτώσεις, που προκαλεί συνήθως στο περιβάλλον μία ανατίναξη αλλά μικρότερης συνήθως σημασίας, είναι η δημιουργία κονιορτού και η χημική ρύπανση της ατμόσφαιρας από ορισμένα προϊόντα της εκρήξεως (CO, NO_x, κτλ.).

Η πιο σημαντική επίπτωση είναι εκείνη των προκαλούμενων κατά τις ανατινάξεις δονήσεων στο έδαφος, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν ζημιά σε ευρισκόμενες πλησίον του χώρου εκρήξεως πάσης φύσεως κατασκευών, προβλήματα στην λειτουργία ευαίσθητων οργάνων καθώς και δυσάρεστες οχλήσεις στον άνθρωπο.

Ακόμα η δημιουργία στην ατμόσφαιρα ενός ωστικού κύματος (ή αλλιώς κύματος πίεσεως) μετά από κάθε ανατίναξη μπορεί επίσης να προκαλέσει ζημιές σε κατασκευές και πρόσθετη όχληση στον άνθρωπο.

Τέλος, η εκτόξευση λίθων από τον χώρο της ανατινάξεως δημιουργεί πάντοτε κινδύνους στον περιβάλλοντα χώρο (Τσουτρέλης, 2001).

2.7.1 Επιπτώσεις λόγω των δονήσεων

Οι ζημιές που παρατηρούνται σε διάφορες κατασκευές (πχ. οικήματα) είναι συνάρτηση του τύπου της κατασκευής, της απόστασης της κατασκευής από το σημείο ανατίναξης και της ποσότητας του εκρηκτικού ανά επιβράδυνση (charge per delay) (Αγιουτάντης, 2009).

Έτσι το κριτήριο για το αν μία κατασκευή θα υποστεί ή όχι μία ζημία από μία ανατίναξη, είναι η μέγιστη ταχύτητα εδαφικής δόνησης της οποίας η τιμή δεν εξαρτάται μόνο από το είδος και την ποιότητα της κατασκευής αλλά και από την δεσπόζουσα συχνότητα των δονήσεων (Τσουτρέλης, 2001).

Τα μεγέθη που μπορούν να διακριθούν και τα οποία ελέγχονται στην εδαφική δόνηση είναι τα παρακάτω (Μπαλικτσής κ.α, 2003, Μπαρμποπούλου, 2012) :

- Ταχύτητα (V)

Ταχύτητα δόνησης ή ταχύτητα ταλάντωσης είναι η ταχύτητα με την οποία κινούνται (ταλαντώνονται) τα σωματίδια από την θέση μέτρησης. Η μέγιστη ταχύτητα (PPV) χρησιμοποιείται ως χαρακτηριστικό μέγεθος για την διεύρυνση των πιθανών επιπτώσεων. Η ταχύτητα δόνησης καταγράφεται σε mm/s.

- Συχνότητα

Αναφέρεται στην επαναληψιμότητα μιας πλήρους κίνησης των σωματιδίων στην μονάδα του χρόνου. Ο αριθμός των ταλαντώσεων των σωματιδίων μετριέται σε πλήρεις κύκλους ανά δευτερόλεπτο ή Hertz (Hz) (Μπαρμποπούλου, 2012).

2.7.2 Επιπτώσεις λόγω του ωστικού κύματος

Το ωστικό κύμα (air blast) προέρχεται από διαμήκη κύματα που διαδίδονται στον αέρα και προκαλούνται είτε από την απευθείας εκτόνωση ενός εκρηκτικού στον αέρα, είτε από την έμμεση δράση του υλικού που περιορίζει το εκρηκτικό (π.χ πέτρωμα). Οι δονήσεις αυτές διακρίνονται ανάλογα με τη συχνότητα τους σε α) θόρυβο (noise) στην περιοχή από 20 έως 20000 Hz. β) υποηχητικά κύματα (concussions) για συχνότητες μικρότερες των 20 Hz. Τα υποηχητικά κύματα είναι δυνατόν να προκαλέσουν ζημιές σε παρακείμενες κατασκευές,

ενώ ο θόρυβος δημιουργεί απλώς ενοχλήσεις στους περίοικους. Το ωστικό κύμα οφείλεται κυρίως στα ακόλουθα αίτια (Αγιουτάντης, 2009):

- Την άμεση (απότομη) μετατόπιση υλικού στο μέτωπο ή στην κορυφή του διατρήματος
- Το δονούμενο έδαφος
- Τα αέρια προϊόντα έκρηξης που διαφεύγουν μέσα από το θρυμματισμένο πέτρωμα, και
- Τα αέρια προϊόντα έκρηξης που διαφεύγουν μέσα από την επιγόμωση (κορυφή του διατρήματος).

Επί σειρά ετών εθεωρείτο ως ασφαλές όριο η τιμή των 140 dB (0,029 psi). Σήμερα υπάρχει γενικώς τάση να χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση ανατινάξεως, τα χαμηλότερα εκείνα όρια, που εφαρμόζονται στις μεγάλες υπαίθριες εκμεταλλεύσεις πρώτων υλών. Το γραφείο μεταλλείων των ΗΠΑ θεωρεί την τιμή των 134 dB (0,0145 psi) ως την ανώτατη επιτρεπόμενη. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί στο ήμισυ της προηγούμενης των 140 dB και κατά τον Siskind et al., (1993) ισούται προς εκείνη, που προκαλεί ο άνεμος ταχύτητας 32 km/h (Τσουτρέλης, 2001).

Κεφάλαιο 3

Περιγραφή λατομείου

3.1 Στοιχεία λατομικού χώρου

Ο περιγραφόμενος στην παρούσα μελέτη λατομικός χώρος βρίσκεται εντός της δημόσιας λατομικής περιοχής αδρανών υλικών εμβαδού 361,34 στρεμμάτων στη θέση «Προφήτης Ηλίας» του Δ. Δ. Γαλάτιστας του Δήμου Πολυγύρου Ν. Χαλκιδικής, η οποία καθορίστηκε με την αριθ. 19/894/3-5-2001 (ΦΕΚ 748/Β/15-6-2001 Απόφαση του Νομάρχη Χαλκιδικής και με την αριθ. 19/1094/25-4-2006 απόφαση του ιδίου παρατάθηκε η ισχύς της. (Κουγιουρούκης, 2009).

3.2 Περιγραφή λατομικού χώρου

Η γεωγραφική θέση του λατομικού χώρου απεικονίζεται στο χάρτη προσανατολισμού, κλίμακας 1:100.000, καθώς επίσης και στο τοπογραφικό διάγραμμα κλίμακας 1:5.000, όπου σημειώνονται οι κορυφές του, που ορίζονται από τις παρακάτω ορθογώνιες αζιμουθιακές συντεταγμένες οι οποίες είναι εξαρτημένες από το Εθνικό Τριγωνομετρικό Δίκτυο στο Κ.Φ.Χ. 1:100.000 ΠΟΛΥΓΥΡΟΣ με $L=40^{\circ}15'$ και $M=-0^{\circ}15'$ ως εξής:

ΣΗΜΕΙΟ	X	Ψ
A	-16.000,00	25.500,00
B	-16.130,00	25.570,00
Γ	-16.160,00	25.655,00
Δ	-16.105,00	25.740,00
Δ1	-16.158,77	25.989,26
Z1	-16.508,22	25.891,93
H	-16.500,00	25.860,00
Θ	-16.225,00	25.360,00



Σχήμα 3.1 Χάρτης Προσανατολισμού 1:100.000 (Κουγιουρούκης, 2007a)

Ο λατομικός χώρος έχει έκταση 153.06 στρέμματα και βρίσκεται σε υψόμετρο μεταξύ 760 m και 925 m. Στην κοντινή ακτίνα των 1000 m περιμετρικά του λατομικού χώρου δεν υπάρχουν οικισμοί. Νότια του λατομικού χώρου, σε απόσταση 1.5 km βρίσκεται ο οικισμός της Γαλάτιστας. Ανατολικά του λατομικού χώρου σε απόσταση 8 km βρίσκεται ο οικισμός του Αγίου Προδρόμου. Νοτιοανατολικά του λατομικού χώρου, σε απόσταση 6.5 km βρίσκεται ο οικισμός Βάβδου. Δυτικά του λατομικού χώρου σε απόσταση 11 km βρίσκεται ο οικισμός Βασιλικών.

Ο λατομικός χώρος βρίσκεται σε περιοχή που καλύπτεται από αραιά άτομα πρίνου, αποτελούμενη από ασβεστολιθικά πετρώματα με ελάχιστο έδαφος και η ποιότητα του πετρώματος είναι από τις καλύτερες για την παραγωγή λατομικών προϊόντων.



Σχήμα 3.2 Φωτογραφία λατομείου πριν την έναρξη εκμετάλλευσης

Πλησίον του λατομικού χώρου και στην περιοχή γενικότερα δεν υπάρχουν βιομηχανικές, στρατιωτικές, τουριστικές εγκαταστάσεις, αρχαιολογικοί χώροι ή άλλα έργα δημόσιας ωφέλειας.

Ιδιοκτησιακά ο υπόψη λατομικός χώρος ανήκει στο Δημόσιο. Διοικητικά ο λατομικός χώρος υπάγεται στο Δημοτικό Διαμέρισμα Γαλάτιστας του Δήμου Πολυγύρου Ν. Χαλκιδικής. Υπεύθυνο Αστυνομικό Τμήμα για την περιοχή είναι το Α. Τ. Γαλάτιστας.

Δασοδιοικητικά η ευρύτερη περιοχή υπάγεται στη Δ/νση Δασών Χαλκιδικής και στο Δασαρχείο Πολυγύρου. (Κουγιουρούκης, 2009)

3.3 Γεωλογικά στοιχεία

3.3.1 Γενική Γεωλογική δομή της περιοχής

Η περιοχή της μελέτης όπως και η ευρύτερη περιοχή της δυτικής Χαλκιδικής ανήκει στρωματογραφικά στη γεωτεκτονική ζώνη της Παιονίας με διεύθυνση Βορειοδυτική - Νοτιοανατολική, η οποία κατά τη διάρκεια του Μεσοζωικού αιώνα λειτούργησε ως

τεκτονική τάφρος (βαθιά θάλασσα). Η περιγραφή των πετρωμάτων της ευρύτερης περιοχής με διεύθυνση από ανατολικά προς τα δυτικά της έχει ως εξής.

Βόρεια - Βορειοανατολικά συναντώνται ιζηματογενή πετρώματα τεταρτογενούς πλειστόκαινου και περιλαμβάνουν το κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων, αποτελούμενο από άμμους και κροκάλες. Οι τελευταίες ποικίλης προελεύσεως και συστάσεως (χαλαζίτες, σχιστόλιθοι, ασβεστόλιθοι, καθώς και μαγματικά πετρώματα) και το ανώτερο σύστημα αναβαθμίδων αποτελούμενο από άμμο, ψηφίδες και κροκάλες συνήθως μικρής συνοχής αλλά μερικές φορές πολύ συνεκτικές σε μορφή κροκαλοπαγών. Οι κροκάλες είναι από ασβεστολιθικά, κυρίως όμως από σχιστολιθικά πετρώματα. Επίσης σε διάσπαρτες θέσεις απαντώνται κώνοι κορημάτων, παλαιοί και νέοι συνήθως συγκολλημένοι, αποτελούμενοι από υλικά των μεταμορφωμένων πετρωμάτων.

Στα ανατολικά και νότια της περιοχής συναντάμε νεογενείς σχηματισμούς: τη σειρά ερυθρών αργίλων του ανώτερου μειόκαινου - κατώτερου πλειόκαινου. Πρόκειται για ερυθρές έως κεραμόχρωμες αργίλους, ιλυώδεις με φυλλάρια μαρμαρυγία, κατά θέσεις αμμούχες με ψηφίδες και κροκαλοπαγή μικρής συνοχής ή συνεκτικά. Ενστρώσεις τραβερτινοειδών ασβεστόλιθων και ασβεστιτικών ψαμμιτών. Οι τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι, ΒΑ του χωριού Νέα Τένεδος, είναι περιορισμένης εκτάσεως και πάχους και αποτελούν ενστρώσεις μέσα στις ερυθρές αργίλους.

Βασική σειρά κροκαλοπαγών του ανώτερου μειόκαινου. Συνιστούν τους κατώτερους ορίζοντες της όλης σειράς των ερυθρών αργίλων προς τις οποίες μεταβαίνουν πλευρικά. Αναπτύσσονται περισσότερο στις ακραίες περιοχές της λεκάνης, στις προσβάσεις των λόφων που αποτελούνται από προνεογενή (παλαιοζωικά) πετρώματα. Είναι συνήθως μικρής συνοχής, αλλά μερικές φορές είναι πολύ συνεκτικά (π.χ. βόρεια του Μικρού Βάβδου). Περιέχουν κροκάλες χαλαζιτών, σχιστολίθων, ασβεστόλιθων και μαγματικών πετρωμάτων. Σ' αυτά τα κροκαλοπαγή παρεμβάλλονται σταθερά ερυθρές άργιλοι.

Τα μεταίζηματογενή πετρώματα της ενότητας Άσπρης βρύσης - Χορτιάτη περιλαμβάνουν αργιλικούς σχιστόλιθους ηλικίας κατώτερου και μέσου ιουρασικού και μάρμαρα μέσου και ανώτερου τριαδικού. Οι αργιλικόι σχιστόλιθοι είναι πρασινωποί, αμμούχοι και τεφροπράσινοι, κοκκομετρικά αδιαβάθμιτοι ψαμμίτες που μεταβαίνουν σε πράσινους, αμμούχους φυλλίτες και σε καστανούς και μαύρους λεπτόκοκκους φυλλίτες με γραφίτη. Παρατηρούνται ενστρώσεις από παχείς ορίζοντες μαύρων, λεπτοστρωματωδών κερατόλιθων και φακών ή στρωμάτων σερικιτιωμένων, χλωριτιωμένων, σωσσυριτιωμένων

δολεριτών. Τα μάρμαρα τεφρογάλανα ή λευκά, συμπαγή ή σε παχιά στρώματα σχηματίζουν τεκτονικούς φακούς ή στρώματα που παρεμβάλλονται μέσα στη μαγματική σειρά Χορτιάτη και στους φιλιτικούς - αργιλικούς σχιστόλιθους.

Η ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα αποτελείται από χαλαζίτες κοκκινοκάστανους, λεπτό έως μεσόκοκκους, λεπτοστρωματώδεις, σιδηρούχους και σκοτεινότεφρους, ασβεστιτικούς, χαλαζιτικούς ψαμμίτες με ενστρώσεις από σκοτεινότεφρους φυλλίτες τοπικά γραφιτικούς σχιστόλιθους και σκοτεινότεφρες ταινίες από ψαμμιτικούς ασβεστόλιθους.

Η ζώνη των χαλαζιτών εναλλάσσεται παράλληλα με τη ζώνη των φυλλιτών οποίοι είναι σκοτεινότεφροι έως μαύροι, μερικώς γρανατούχοι, γραφιτικοί με μικρές ενστρώσεις χαλαζιτών και ζώνη ανακρυσταλλωμένων ασβεστολίθων και μαρμάρων. Όλα τα παραπάνω ηλικίας τριαδικού, μέσου ιουρασικού.

Οι διμαρμαρυγικοί γενεύσιοι και μοσχοβιτικοί γενεύσιοι του παλαιοζωϊκού συνεχίζουν σε βάθος κάτω από τη σειρά των ερυθρών αργίλων και των τραβερτινοειδών ασβεστόλιθων. Αυτοί είναι σκοτεινοπράσινοι έως καστανοί, κυρίως απομεταμορφωμένοι σε σερικιτικούς, χλωριτικούς σχιστόλιθους με υπολείμματα πλαγιόκλαστων. Νοτίως του οικισμού Βάβδου απαντούν ενστρώσεις από αμφιβολίτες και μάρμαρα.

Στη μαγματική σειρά Χορτιάτη ανήκουν οι επιγενεύσιοι και οι πρασινοσχιστόλιθοι της περιοχής. Οι επιγενεύσιοι είναι ανοιχτοκάστανοι ή πράσινοι, στρωματώδεις με γενευσιακό ιστό και πράσινα στρεβλωμένα χλωριτικά στρώματα. Ακτινολιθικοί-επιδοτικοί-χλωριτικοί επιγενεύσιοι, σερικιτικοί-χλωριτικοί επιγενεύσιοι, κεροστιλβικοί-βιοτιτικοί-μοσχοβιτικοί επιγενεύσιοι, μοσχοβιτικοί-χλωριτικοί-επιδοτικοί επιγενεύσιοι (υπολείμματα πλαγιόκλαστων που μετασχηματίστηκαν σε αλβίτη, νεοσχηματισμένοι χλωρίτης, σερικήτης και ακτινόλιθος). Οι πρασινόλιθοι είναι σκοτεινοπράσινοι και καστανωποί, λεπτόκοκκοι σερικιτικοί-χλωριτικοί σχιστόλιθοι, χλωριτικοί-μοσχοβιτικοί-βιοτιτικοί σχιστόλιθοι, μοσχοβιτικοί-χλωριτικοί-αλμανδινικοί σχιστόλιθοι, επιδοτιτικοί και ακτινολιθικοί-χλωριτικοί σχιστόλιθοι και λεπτόκοκκοι χλωριτικοί-επιδοτιτικοί-σερικιτικοί-αλβιτικοί γενεύσιοι.

Ο γάββρος της περιοχής (γαββρική σειρά Λαναριού) - Διαλλαγής, βρονζίτης, υπερσθενής, πλαγιόκλαστα με ανορθίτη 55 - 80%, αδιαφανή ορυκτά, δευτερογενής ζωισίτης, επίδοτο και ακτινόλιθος. Επιπλέον υπάρχουν ολιβινικός γάββρος, υπερσθενικός γάββρος, αυγιτικός νορίτης, κεροστιλβικός γάββρος και μελαγάββρος που μεταβαίνουν προς πυροξενίτη. Το γαββρικό σύστημα συνίσταται κυρίως από γαββρονορίτες και σε

μικρότερη ένταση από ολιβινικούς, αυγιτικούς, κεροστιλβικούς γάββρους. Οι γαββρονορίτες είναι μελανοκρατικοί, μέσο- έως ανδρόκοκοι και υγιείς ακόμη και κοντά στην επιφάνεια. Οι υπόλοιποι γάββροι έχουν λευκογκρί έως ελαφρά λευκοπράσινο χρώμα, είναι συνήθως πολύ αδρόκοκοι και τα επιφανειακά δείγματα παρουσιάζουν μεγάλη σαθρότητα. Πρόκειται για εξαλλοίωση των αστρίων τους. Σε βαθύτερα τμήματα (ρυάκια) ο βαθμός εξαλλοίωσης ελαττώνεται σημαντικά και το πέτρωμα είναι συμπαγές.

Στην υπερβασική σειρά της περιοχής περιλαμβάνονται οι πυροξενίτες και οι δουνίτες και περιδοτίτες. Οι πυροξενίτες είναι κυρίως βεμπστερίτης (διαλλαγής, βρονζίτης, αδιαφανή ορυκτά, πλαγιόκλαστα με ανορθίτη 55 - 80%) και επουσιώδης διαλλαγίτης και ολιβινικός διαλλαγίτης. Οι δουνίτες και περιδοτίτες είναι κυρίως βερλίτης, μερικών λερζολιθικός (ολιβίνης, διαλλαγής, βρονζίτης) και σπανιότερα μεταπεριδοτίτες. Χρωμίτης απαντά σε μορφή φακών και ταινιών κυρίως μέσα σε δουνίτες, εξαλλοίωση πολύ διαδεδομένη στην περιοχή μεταλλοφορίας λευκολίθου. Τουρμαλινικές πηγματιτικές φλέβες και άλλοι πηγματίτες είναι συχνοί. Η ηλικία τους είναι παλαιότεροι από του γάββρους Λαναριού και από τη μαγματική σειρά Χορτιάτη και νεώτεροι του Ανώτερου Τριαδικού. Αξιόλογη είναι η μεταλλοφορία του λευκολίθου σε πλέγμα φλεβιδίων και φλέβες.

Το μεγαλύτερο κομμάτι του οφιολιθικού συμπλέγματος είναι σερπεντινωμένος σε διαφορετικό βαθμό δουνίτης (κυρίως) και χαζβουργίτης. Οι δουνίτες συνίστανται από βαθύ πράσινου χρώματος ολιβίνη, σερπεντίνες κυρίως λιζαρδίτης και ελάχιστος βελονοειδής αντιγορίτης) και διάσπαρτους κόκκους χρωμίτη (συνήθως 1 - 2% κατ' όγκο). Ο βαθμός σερπεντινίωσης κυμαίνεται από 10% έως 50%. Φλεβίδια ανθρακικού (κυρίως μαγνησίτης και κατά δεύτερο λόγο δολομίτης) πάχους μέχρι 1mm απαντούν σε όλα τα δείγματα που έχουν μελετηθεί, ενώ ο βρουσίτης, ένα σχετικά κοινό ορυκτό σε σερπεντινωμένα υπερβασικά λείπει από όλα τα δείγματα που έχουν μελετηθεί.

Ολιβίνης και σερπεντίνης, ενσταντίτης και τα προϊόντα εξαλλοίωσης του τάλκη κυρίως, ή τάλκης και αμφίβολος καθώς και λίγος χρωμίτης (1-2%) είναι η ορυκτολογική σύσταση του χαρζβουργίτη. Χαρζβουργίτης και δουνίτης είναι οι ξενιστές της μεταλλοφορίας του λευκολίθου.

Φλέβες και ακανόνιστης μορφής μάζες ολιβινικού κλινοπυροξένη (ολιβίνης 20-30%, ορθοπυρόξενος <5%, κλινοπυρόξενος το υπόλοιπο) και βαιμπστερίτης (ορθοπυρόξενος 20 - 30% και κλινοπυρόξενος κυρίως) απαντούν αποκλειστικά σε δουνίτες.

Τέλος φλέβες πλαγιογρανίτη (χαλαζίας, αλβίτης, λίγος ακτινόλιθος και τουρμαλίνη) και το «δολομιτικό-πυριτικό κάλυμμα» της μεταλλοφορίας του λευκολίθου είναι οι άλλοι δύο πετρολογικοί σχηματισμοί μέσα στο οφιολιθικό σύμπλεγμα. Η μαγματική σειρά Χορτιάτη (πρασινογενέσιοι, πρασινοσχιστόλιθοι) και ανάδρομα μεταμορφωμένοι γνευσιοσχιστόλιθοι τύπου «Βερτίσκου» απαντούν στο ανατολικό και δυτικό, αντίστοιχα, περιθώριο του οφιολιθικού συμπλέγματος. (Κουγιουρούκης, 2007a)

3.3.2 Γεωλογικά και κοιτασματολογικά στοιχεία λατομικού χώρου

Ο λατομικός χώρος τοποθετείται στο κατώτερο τμήμα της μεταμορφωμένης ακολουθίας. Στο λατομικό χώρο εμφανίζονται οι εξής επιμέρους ενότητες του μεταμορφωμένου συστήματος: Μεταμορφωμένοι ασβεστόλιθοι και επιγνεύσιοι.

Οι μεταμορφωμένοι ασβεστόλιθοι είναι μέσου και ανώτερου τριαδικού, εντάσσονται στα μεταϊζηματογενή πετρώματα της ενότητας Άσπρης βρύσης -Χορτιάτη στα οποία επίσης εντάσσονται και οι αργιλικοί σχιστόλιθοι ηλικίας κατώτερου και μέσοι ιουρασικού. Τεφρογάλανοι ή λευκοί, συμπαγείς ή σε παχιά στρώματα σχηματίζουν τεκτονικούς φακούς ή στρώματα που παρεμβάλλονται μέσα στη μαγματική σειρά Χορτιάτη και στους φιλλιτικούς -αργιλικούς σχιστόλιθους.

Ειδικότερα για την περιοχή της μελέτης πρόκειται για ένα σχηματισμό πάχους μέχρι 2.000 m, μήκους μερικών km και βάθους άνω των 300 m, ο οποίος παρεμβάλλεται μέσα στη μαγματική σειρά του Χορτιάτη. Ο σχηματισμός αυτός ξεκινά από τον οικισμό Γαλάτιστας, εκτείνεται με διαστήματα ασυνέχειας, σε μήκος αρκετών km με διεύθυνση ΒΔ προς ΝΑ. Η διάταξη του μαρμαροφόρου σχηματισμού είναι παράλληλη της ζώνης των επιγνεύσιων στην οποία παρεμβάλλεται και η κλίση του 40° - 80° (Κουγιουρούκης, 2007a).

3.3.3. Ποιοτικά χαρακτηριστικά-Ιδιότητες

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες σύμφωνα με την τεχνική μελέτη του λατομείου (Κουγιουρούκης, 2007a) έχουν ως εξής:

- **Χημική Σύνθεση :**

CaO	55,20 %
SiO ₂	0,09 %
Fe ₂ O ₃	0,14 %
Al ₂ O ₃	0,08 %

MgO	0,21 %
Απώλεια πύρωσης	44,38 %

• **Φυσικές και Χημικές Ιδιότητες :**

* Φαινόμενο ειδικό βάρος	: 2.709 kg/m ³ .
* Απώλειες σε τριβή και κρούση κατά I_A	: 27 %
* Αντοχή σε θλίψη	: 650 kg/cm ² = 63,7 MPa
* Δοκιμή υγείας του πετρώματος	: 1,52 % .

3.4 Εκμετάλλευση

Η εκμετάλλευση του λατομικού χώρου γίνεται με τη μέθοδο των ορθών ανοιχτών διαδοχικών βαθμίδων.

Οι εξορυκτικές εργασίες ξεκίνησαν από το ανώτερο υψομετρικά σημείο του λατομικού χώρου (υψόμετρο +915 m) το οποίο βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα του. Η εξόρυξη στην ανώτερη βαθμίδα του λατομικού χώρου σταματάει σε απόσταση ασφαλείας 8 m από τα όριά του (άρθρο 80 παρ. 2 του Κ.Μ.Λ.Ε). Οι εργασίες προσωρινά έχουν μεταφερθεί σε χαμηλότερο υψομετρικά σημείο με σκοπό την διάνοιξη παταριού.



Σχήμα 3.3 Πατάρι υπό σχηματισμό σε υψόμετρο +820 m

Η εκμετάλλευση του λατομείου γίνεται σε βαθμίδες ύψους 15 m. Το ύψος αυτό θεωρείται κατάλληλο για να εξασφαλίζεται ορθολογική εκμετάλλευση του κοιτάσματος και ασφαλείς συνθήκες εξόρυξης και χρήσης του μηχανολογικού εξοπλισμού. Η γωνία κλίσης των βαθμίδων εξόρυξης είναι 75° . Το πλάτος των βαθμίδων δεν είναι μικρότερο από 15 m, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής εκτέλεση των εργασιών στα μέτωπα (εργασίες διάτρησης, πυροδότησης, κίνηση τροχοφόρων & ερπιστριοφόρων οχημάτων).

Με τον τερματισμό (εξόφληση) των βαθμίδων εξόρυξης προβλέπεται η διατήρηση του τελικού ύψους των 15 m. Έτσι θα διαμορφωθούν συνολικά 11 τελικές βαθμίδες μέγιστου ύψους 15 m. Μεταξύ δύο διαδοχικών τελικών βαθμίδων προβλέπεται διατήρηση πλατείας πλάτους 6 m. Η τελική γωνία κλίσης του πρανούς δεν θα ξεπερνά τις 55° .

Ο δρόμος εξωτερικής προσπέλασης διέρχεται από την ανατολική πλευρά του λατομικού χώρου και φτάνει μέχρι το χώρο της πλατείας της υφιστάμενης εκσκαφής. Για την προσπέλαση στις βαθμίδες εξόρυξης γίνεται επέκταση του υπάρχοντος τμήματος του δρόμου που διέρχεται μέσα στο λατομικό χώρο μέχρι την ανώτερη βαθμίδα εξόρυξης στο βορειοδυτικό τμήμα του λατομείου.

Η εταιρεία έχει τοποθετήσει κινητή μονάδα για την επεξεργασία του εξορυγμένου υλικού εντός του λατομικού χώρου, στην οποία γίνεται μόνο η πρωτογενής επεξεργασία του υλικού.

Περαιτέρω επεξεργασία των εξορυγμένων υλικών γίνεται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, που βρίσκονται κυρίως εντός των ορίων του λατομικού χώρου και εν μέρει σε όμορη αυτού έκταση.

Οι βοηθητικές εγκαταστάσεις που υπάρχουν στο λατομικό χώρο περιλαμβάνουν χώρο γραφείων, αποθήκη, μικρό συνεργείο και χώρο για τους εργαζόμενους και έχουν κατασκευαστεί κοντά στην είσοδο του λατομείου στην περιοχή της πλατείας παλαιάς εκσκαφής που ήδη υπάρχει στο δυτικό τμήμα του χώρου. Έχει κατασκευασθεί επίσης και υποσταθμός ηλεκτρικού ρεύματος.

3.5 Φάσεις εργασίας

Συνοπτικά τα στάδια ανάπτυξης των εργασιών εκμετάλλευσης του λατομείου είναι τα εξής:

- 1) Οι εργασίες προσπέλασης του λατομικού χώρου.
- 2) Οι εργασίες αποκάλυψης του κοιτάσματος και οι διάφορες προπαρασκευαστικές εργασίες.

Η αποψίλωση του λατομικού χώρου γίνεται τμηματικά και έχει αρχίσει πριν από την έναρξη της εκμετάλλευσης. Περιλαμβάνει όλη των έκταση του χαραχθέντος δρόμου προσπέλασης και καταλήγει στο βορειοδυτικό τμήμα του, από το οποίο έχει γίνει και η έναρξη της εκμετάλλευσης.

Επίσης στην περιοχή της μελέτης δεν απαντώνται υπερκείμενα στείρα υλικά ή άλλου είδους πετρώματα, εκτός του λεπτού στρώματος εδαφικού υλικού που καλύπτει κατά σημεία το ασβεστολιθικό πέτρωμα και του αποσαθρωμένου ασβεστολίθου.

Στις προπαρασκευαστικές εργασίες επίσης εντάσσεται και η κατασκευή των λοιπών βοηθητικών χώρων που έχουν γίνει.

- 3) Οι κυρίως εξορυκτικές εργασίες.

Στις κυρίως εξορυκτικές εργασίες περιλαμβάνονται οι εργασίες διάτρησης, γόμωσης, πυροδότησης, φόρτωσης και μεταφοράς.

Η εξόρυξη του πετρώματος γίνεται με εφαρμογή της τεχνολογίας των εκρηκτικών.

- Διάτρηση

Όταν το λατομείο δουλεύεται στις ψηλότερες βαθμίδες και ανάλογα με την διαθεσιμότητα και προσπελασιμότητα των διατρητικών μηχανημάτων τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των διατρημάτων έχουν ως εξής:

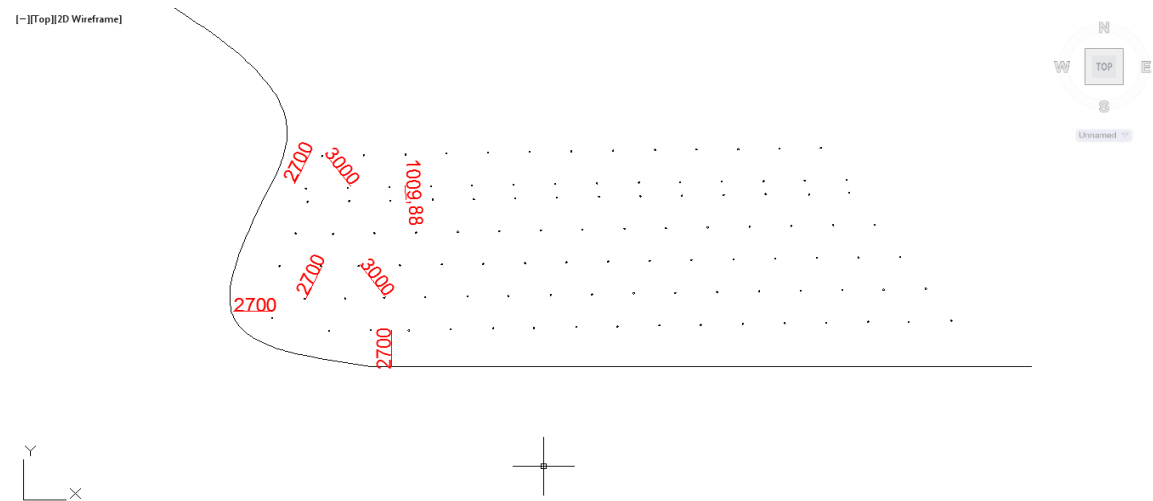
Η όρυξη των διατρημάτων γίνεται με χρήση διατρητικού φορείου Wagon – Drill το οποίο εξυπηρετείται από συρόμενο αεροσυμπιεστή δυναμικότητας 700 atm/min πεπιεσμένου αέρα.

Η διάμετρος διατρήσεως είναι είτε 102 mm είτε 89 mm. Η επιλογή της κατάλληλης διαμέτρου των διατρημάτων, πρέπει να σημειωθεί ότι είναι πολύ σημαντικός παράγων για την επίτευξη της επιθυμητή ποιότητας του εξορυγμένου υλικού.

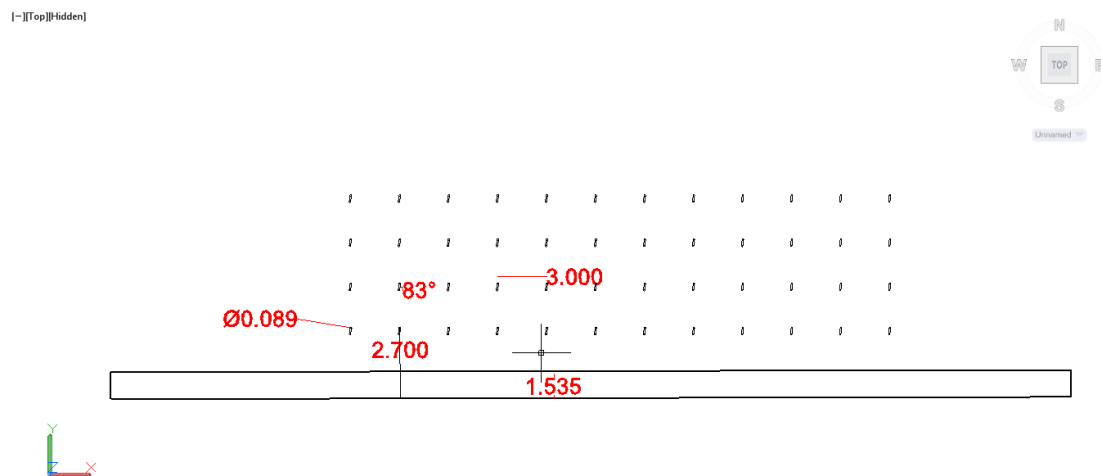
Η επιλογή της διαμέτρου γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τον επιθυμητό θρυμματισμό του πετρώματος, ώστε να μην απαιτείται δευτερογενής θραύση του, να γίνεται ομαλά η φόρτωσή του και να επιτυγχάνεται στη συνέχεια η καλή επεξεργασία του (θραύση κλπ). Για το λόγο αυτό η επιλογή μια μέσης διαμέτρου διατρήσεως βοηθάει στην επίτευξη ικανοποιητικού θρυμματισμού του πετρώματος, μειώνοντας το κόστος εξορύξεως, μεταφοράς και επεξεργασίας καθώς και τα τεκτονικά χαρακτηριστικά του πετρώματος και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (θόρυβος, δονήσεις).

Τα διατρήματα διανοίγονται με ελαφρά κλίση 75°. Διάτρηση υπό τον πόδα της βαθμίδας (υποδιάτρηση) αρχικά υπολογιζόταν ότι θα γίνεται διότι αποσκοπεί στη συγκέντρωση μεγαλύτερης ποσότητας εκρηκτικής ύλης στο πόδι της βαθμίδας, όπου συναντώνται οι δυσμενέστερες συνθήκες εξορύξεως του πετρώματος, για να αποφεύγονται τα «ποδαρικά» στο δάπεδο της βαθμίδας. Όμως χρησιμοποιώντας υποδιάτρηση στο μέτωπο παρατηρήθηκε ότι δημιουργεί κρατήρες οπότε και καταργήθηκε χωρίς περαιτέρω συνέπειες στον επιθυμητό θραυσμό των πετρωμάτων.

Σε αυτήν την φάση όμως που γίνονται εργασίες σε χαμηλότερο υψόμετρο, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η διάμετρος των διατρημάτων είναι 89 mm. Πέρα από την διάμετρο και οι υπόλοιπες παράμετροι της ανατινάξεως είναι διαφορετικοί. Το μέγιστο φορτίο είναι 2.7 m. Υποδιάτρηση δεν υπάρχει, διότι όπως προαναφέρθηκε προκαλούνταν προβλήματα στην διαμόρφωση του παταριού, καθώς δημιουργούνταν κρατήρες βάθους μέχρι ενός μέτρου. Τέλος οι αποστάσεις που χρησιμοποιούνται μεταξύ των διατρημάτων της ίδιας επιβράδυνσης είναι 3 m, ενώ το βάθος των διατρημάτων είναι 15 m. Στα σχήματα 3.4 και 3.5 παρατίθενται οι κατόψεις δύο ανατινάξεων στο υπόψιν λατομείο.

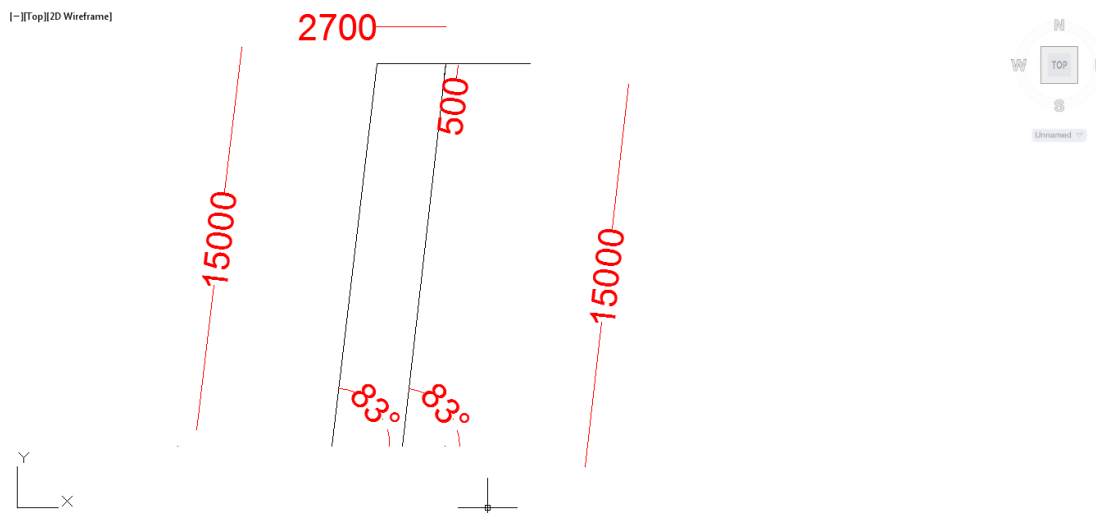


Σχήμα 3.4 Κάτοψη ανατίναξης 30-10-2013



Σχήμα 3.5 Κάτοψη ανατίναξης 21-2-2014

Στο σχήμα 3.6 δίνεται η πλάγια όψη των διατρημάτων που χρησιμοποιούνται στο εν λόγω λατομείο.



Σχήμα 3.6 Πλάγια όψη

- Γόμωση

Η γόμωση των διατρημάτων είναι συνεχής. Η εκρηκτική ύλη που χρησιμοποιείται για τη γόμωση των διατρημάτων είναι ANFO το οποίο έχει την ιδιότητα να καλύπτει πετρώματα με ευρύ φάσμα ιδιοτήτων και έχει, σε σχέση με άλλες εκρηκτικές ύλες, χαμηλότερο κόστος.

Ως ενισχυτικό μέσο χρησιμοποιείται ζελατινοδυναμίτιδα σε φυσίγγιο βάρους 2.5 kg. Το ανώτερο τμήμα του διατρήματος πληρώνεται με λεπτόκοκκο υλικό επιγομώσεως το οποίο προέρχεται από τη διάτρηση του διατρήματος. Η επιγόμωση είναι κατά μέσο όρο 1 m. Στο συγκεκριμένο λατομείο το μέγεθος της επιγόμωσης είναι μικρότερο από το προβλεπόμενο, διότι σε προηγούμενες ανατινάξεις που η επιγόμωση ήταν μεγαλύτερη υπήρχε πρόβλημα γιατί εξορύσσονταν πολλά μεγάλα τεμάχια τα οποία χρειαζόντουσαν περαιτέρω θραύση με σφύρα.

Η ποσότητα εκρηκτικής ύλης ανά διάτρημα σύμφωνα με την τεχνική μελέτη του λατομείου (Κουγιουρούκης, 2007a): $Q = 73,14 \text{ kg}$ (συμπεριλαμβανομένου και του ενισχυτικού εκρηκτικού το οποίο έχει βάρος 2,5 kg).

Η ειδική κατανάλωση εκρηκτικής ύλης (powder factor) : $P.F = 0,60 \text{ kg/m}^3$.

- Πυροδότηση

Εφαρμόζεται μη ηλεκτρική πυροδότηση των φουρνέλων με χρήση επιβραδυντών (M.S.). Με τη βοήθεια των μέσων επιβράδυνσης επιτυγχάνεται η μείωση των

παραγόμενων από την έκρηξη δονήσεων, ο έλεγχος του θρυματισμού του εξορυχθέντος πετρώματος, μέσω της δημιουργίας ελεύθερων επιφανειών μεταξύ των διαδοχικών διατρημάτων και ο έλεγχος της μετακινήσεως του εξορυχθέντος πετρώματος από τη φυσική του θέση.

Ανατίναξη στο λατομείο πραγματοποιείται ανά 15 ημέρες (δύο εβδομάδες) και πρέπει να εξασφαλίζει την αναγκαία ποσότητα εξορυγμένου υλικού για την περίοδο αυτή.

Η μεταφορά των εκρηκτικών, η γόμωση, η συνδεσμολογία, η πυροδότηση και ο έλεγχος του αποτελέσματος της ανατίναξης γίνονται πάντοτε με την αυστηρή τήρηση των προβλεπόμενων μέτρων ασφαλείας στον Κ.Μ.Λ.Ε.

- Αποθήκευση-Φύλαξη εκρηκτικών υλών

Οι απαιτούμενες ποσότητες εκρηκτικών υλών διακινούνται με τη διαδικασία της ημερήσιας κατανάλωσης. Δηλαδή με ευθύνη της προμηθεύτριας εταιρίας προωθούνται στο χώρο του λατομείου, οι απαραίτητες ποσότητες κάθε φορά και αμέσως γίνεται γόμωση και πυροδότηση των φουρνέλων.

Ωστόσο στο λατομικό χώρο και συγκεκριμένα στο νοτιοανατολικό τμήμα του αρχικά προβλεπόταν από τις μελέτες (Κουγιουρούκης, 2007a, 2009) η κατασκευή αποθήκης εκρηκτικών και αποθήκης καψυλλίων για την προσωρινή φύλαξη εκρηκτικών υλών. Η κατασκευή των αποθηκών δεν έχει γίνει ακόμα, όμως προβλέπεται να γίνει σύμφωνα με τις προδιαγραφές που επιβάλλονται από τον Κανονισμό Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών και τη σχετική περί εκρηκτικών νομοθεσία.

- Φόρτωση και μεταφορά εξορυγμένου υλικού

Το υλικό που προκύπτει από την ανατίναξη μεταφέρεται για περαιτέρω επεξεργασία στις εγκαταστάσεις θραύσης της εταιρείας με της εξής διαδικασία. Το εξορυγμένο υλικό μετά την ανατίναξη είναι συγκεντρωμένο σε σωρό στο μέτωπο της βαθμίδας. Με τη βοήθεια φορτωτή γίνεται επιτόπου διαχωρισμός του υλικού ως εξής. Το κατάλληλο για φόρτωση υλικό διαχωρίζεται σε σωρό προκειμένου να φορτωθεί. Οι μεγάλοι όγκοι, ακατάλληλοι για φόρτωση ή για την τροφοδοσία των εγκαταστάσεων θραύσης διαχωρίζονται επίσης και υπόκεινται σε θραύση με υδραυλική σφύρα.

Το εξορυγμένο υλικό αποτελεί την πρώτη ύλη τροφοδοσίας των εγκαταστάσεων θραύσης. Αυτό αρχικά οδηγείται στην κινητή μονάδα πρωτογενούς θραύσης, η οποία βρίσκεται εντός του λατομικού χώρου, στο υψόμετρο +768 m.

Η φόρτωση του εξορυσσόμενου υλικού στο δάπεδο των βαθμίδων εξόρυξης γίνεται από υδραυλικό εκσκαφέα με Liebherr-942 και από τις εγκαταστάσεις με έναν ελαστικοφόρο φορτωτή τύπου Cat 980C.

Η μεταφορά του υλικού από τους χώρους εξόρυξης γίνεται με φορτηγά αυτοκίνητα.

Η μέση απόσταση μεταφοράς του υλικού από τις βαθμίδες εξόρυξης μέχρι τη κινητή μονάδα θραύσης είναι 400 m. Ο μέσος χρόνος φόρτωσης – αποστολής – κένωσης – επιστροφής από το μέτωπο μέχρι την κινητή μονάδα επεξεργασίας είναι περίπου 15 λεπτά για το κάθε φορτηγό.

Η ημερήσια παραγωγή ανέρχεται σε 740 m³ (μάζας πετρώματος) ή 2000 tn. Το υλικό μετά την πρωτογενή θραύση στην κινητή μονάδα επεξεργασίας, μεταφέρεται για περαιτέρω επεξεργασία στις κύριες εγκαταστάσεις Θραύσης οι οποίες επίσης βρίσκονται στο υψόμετρο +768 m, οι οποίες βρίσκονται στο δυτικό μέρος του λατομικού χώρου, κυρίως εντός των ορίων του και εν μέρει σε όμορη αυτού έκταση.

- Επιλογή θέσεων και τρόπου απορρίψεως των στείρων υλικών

Στείρα υλικά δεν παράγονται και ως εκ τούτου δεν τίθεται θέμα διαχείρισης στείρων. Σε κάθε περίπτωση εάν προκύψει κάποια ποσότητα στείρων υλικών προβλέπεται η απόθεσή τους στο ανατολικό τμήμα του λατομικού χώρου.

Το επιφανειακό εδαφικό υλικό το οποίο απομακρύνεται, κυρίως κατά το στάδιο των εργασιών αποκάλυψης του κοιτάσματος, συγκεντρώνεται σε θέσεις εντός του λατομικού χώρου και στη συνέχεια θα διαστρώνεται στα δάπεδα των εξοφλημένων βαθμίδων για την επαναφορά της βλάστησης.

3.6. Κύριες και βοηθητικές εγκαταστάσεις

3.6.1. Θέση των εγκαταστάσεων

Το εξορυσσόμενο υλικό αποτελεί την πρώτη ύλη τροφοδοσίας των εγκαταστάσεων θραύσης οι οποίες είναι χωροθετημένες κυρίως εντός των ορίων του λατομικού χώρου, στο

χώρο της πλατείας της υφιστάμενης εκσκαφής στο δυτικό τμήμα του και εν μέρει σε όμορη αυτού έκταση.

Συγκεκριμένα, η εταιρεία έχει τοποθετήσει κινητή μονάδα για την επεξεργασία του εξορυγμένου υλικού εντός του λατομικού χώρου, στην οποία γίνεται μόνο πρωτογενής επεξεργασία του υλικού. Στη συνέχεια η κύρια επεξεργασία του υλικού γίνεται στις εγκαταστάσεις Θραύσης της εταιρείας οι οποίες βρίσκονται στο δυτικό μέρος του λατομικού χώρου, κυρίως εντός των ορίων του λατομικού χώρου και εν μέρει σε όμορη αυτού έκταση εκτός του λατομικού χώρου.

Η κινητή μονάδα επεξεργασία έχει τοποθετηθεί στο υψόμετρο +768 m. Το υλικό μετά την πρωτογενή θραύση στην κινητή μονάδα επεξεργασίας, μεταφέρεται μέσω ταινίας για περαιτέρω επεξεργασία στις κύριες εγκαταστάσεις Θραύσης, οι οποίες βρίσκονται στο δυτικό μέρος του λατομικού χώρου, κυρίως εντός των ορίων του και εν μέρει σε όμορη αυτού έκταση.

Για την εγκατάσταση του συγκροτήματος θραύσης έγινε κατασκευή βάσης από οπλισμένο σκυρόδεμα για το σπαστήρα και βάση από οπλισμένο σκυρόδεμα για τα τριβεία.

Επίσης έχει κατασκευαστεί κτίριο που λειτουργεί σαν υποσταθμός διανομής ηλεκτρικού ρεύματος και είναι διαστάσεων 5m×5m×3m.

Πιο συγκεκριμένα οι σπαστήρες που χρησιμοποιούνται είναι:

- A) Η πρωτογενής θραύση γίνεται σε κινητή μονάδα επεξεργασίας Brown-Lenox ο οποίος είναι σιαγωνοφόρος σπαστήρας ανοίγματος 120cm x 90cm με προδιαλογέα, καρούτα, ταινία και ταινία τροφοδοσίας.



Σχήμα 3.7 Κινητή μονάδα επεξεργασίας Brown-Lenox



Σχήμα 3.8 Κινητή μονάδα επεξεργασίας Brown-Lenox

Β) Η δευτερογενής θραύση γίνεται με σπαστηρα-ροτορα ανοίγματος 1.60 m και είναι για πέτρα μέχρι και 25 cm.



Σχήμα 3.9 Σπαστήρας-Ρότορας

Γ) Ρότορας με σφυριά με διάμετρο 125 cm και άνοιγμα 100 cm x 60 cm. Ο ρότορας με σφυριά περιέχει 6 σειρές (3 σειρές με 12 σφυριά και 3 σειρές με 11 σφυριά) και σύνολο 69 σφυριά βάρους 15 kg το καθένα. Η εκκίνηση του γίνεται με υδραυλικό σύστημα, δηλαδή χρησιμοποιείται ένα υδραυλικό σασμάν.



Σχήμα 3.10 Σπαστήρας ρότορας με σφυριά

3.6.2. Βοηθητικές εγκαταστάσεις

Στο λατομικό χώρο υπάρχουν οι παρακάτω βοηθητικές εγκαταστάσεις:

1. Γραφείο κινήσεως
2. Αποθήκη ανταλλακτικών-συνεργείο
3. Αποδυτήρια εργαζόμενων
4. Υποσταθμός διανομής ηλεκτρικού ρεύματος



Σχήμα 3.11 Βοηθητικές εγκαταστάσεις

Ο υποσταθμός ηλεκτρικού ρεύματος έχει κατασκευαστεί από οπλισμένο σκυρόδεμα σύμφωνα με τις ισχύουσες κατά περίπτωση προδιαγραφές.

Οι υπόλοιποι χώροι είναι ελαφριές κατασκευές από διασκευασμένα εμπορευματοκιβώτια και βρίσκονται στην είσοδο του λατομικού χώρου.

3.7. Εξοπλισμός και προσωπικό εξόρυξης-φόρτωσης-μεταφοράς

Στο λατομείο γίνεται η χρήση του μηχανολογικού εξοπλισμού εξόρυξης φόρτωσης – μεταφοράς που παρουσιάζεται στον πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1 Μηχανήματα-Εξοπλισμός λατομείου

Είδος Μηχανήματος
Φορτωτής ελαστικοφόρος Cat 980 C
Φορτωτής ελαστικοφόρος Furukawa 365
Εκσκαφέας υδραυλικός με βραχύσφυρα Liebherr-942
Φορητά ανατρεπόμενα τέτραξονικα Man (3 τεμ)
Φορητός αεροσυμπιεστής Atlas-Copco PR 700
Διατρητικό Φορείο Wagon – Drill Atlas-Copco 713
Διατρητικό Φορείο Wagon – Drill Atlas-Copco 830
Αυτοκίνητο γενικής χρήσης
Διατρητικός εξοπλισμός (Χειροκίνητη αερόσφηρα)
Διάφορα εργαλεία και βοηθητικός εξοπλισμός

Στις εργασίες εξόρυξης – φόρτωσης – μεταφοράς απασχολούνται οι εργαζόμενοι κατά ειδικότητα και αριθμητικά που φαίνονται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2 Εργαζόμενοι Εξόρυξης-Μεταφοράς

Εργοδηγός	1
Γομωτής – πυροδότης	1
Χειριστής φορτωτή	1
Χειριστής υδραυλικής τσάπας και φορτωτή	1
Χειριστής διατρητικού φορείου	1
Οδηγοί αυτοκινήτων	3
Μηχανοτεχνίτης	1
Υπάλληλος γραφείου κινήσεως	1
Σύνολο εργαζομένων εξόρυξης-μεταφοράς	10

3.8.Περιγραφή μεθόδου επεξεργασίας-διαγράμματα ροής

Η επεξεργασία του εξορυγμένου υλικού γίνεται ως εξής:

Αρχικά το εξορυγμένο υλικό θα οδηγείται στην κινητή μονάδα επεξεργασίας, εντός του λατομικού χώρου.

Η μονάδα επεξεργασίας περιλαμβάνει σιαγωνωτό σπαστήρα, σιλό τροφοδοσίας, δονητικό τροφοδότη-προδιαλογέα και κύρια μεταφορική ταινία και σε αυτήν γίνεται η πρωτογενής θραύση του υλικού. Το υλικό που εξάγεται μετά τη πρωτογενή θραύση έχει κοκκομετρία 0 – 150 mm.

Στη συνέχεια το υλικό αυτό μεταφέρεται για περαιτέρω επεξεργασία και παραγωγή τελικών προϊόντων στις κύριες εγκαταστάσεις Θραύσης, οι οποίες βρίσκονται στο δυτικό μέρος του λατομικού χώρου, κυρίως εντός των ορίων του και εν μέρει σε όμορη αυτού ιδιωτική (της εταιρείας) έκταση.

Πιο συγκεκριμένα το υλικό, μέσω μεταφορικής ταινίας μεταφέρεται στο προκόσκινο. Από εκεί γίνεται διαχωρισμός του υλικού με την απομάκρυνση των

ακατάλληλων υλικών και προσμίξεων και οδηγείται για την δευτερογενή θραύση μέσω ταινίας σε σπαστήρα ρότορα.

Το θραυσμένο υλικό με μεταφορική ταινία μεταφέρεται σε δονούμενο κόσκινο τεσσάρων τμημάτων. Από το κόσκινο παράγονται οι κατηγορίες αδρανών υλικών που φαίνονται στον Πίνακα 3.3.

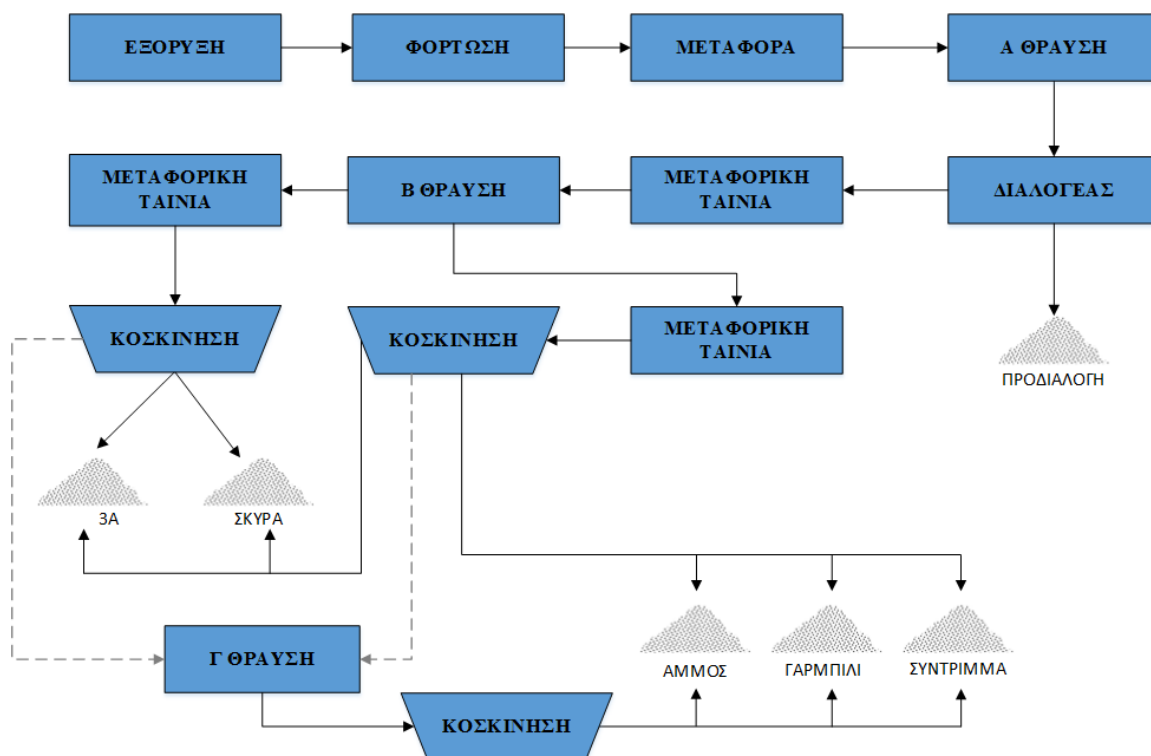
Πίνακας 3.3 Κατηγορίες αδρανών που παράγονται

- | | |
|----|---------------|
| 1. | 0 mm - 4 mm |
| 2. | 4 mm - 7 mm |
| 3. | 7 mm - 16 mm |
| 4. | 16 mm - 32 mm |
| 5. | 32 mm - 63 mm |

Οι ποσότητες αυτές πέφτουν κάτω από κάθε κόσκινο και μέσω μεταφορικών ταινιών, χύδην, σε σωρό – χώρο αποθήκευσης στο δάπεδο, και φόρτωσης (= υπαίθρια ανοικτά σιλό) .

Το κλάσμα του υλικού που είναι μεγαλύτερο των 28 mm οδηγείται μέσω μεταφορικής ταινίας στο αμμοτριβείο. Μετά τη θραύση το υλικό καταπίπτει στο παλινδρομικό κόσκινο, όπου, εκεί θα χωρίζεται και πάλι σε άμμο, ρύζι, γαρμπίλι και σύντριμμα.

Η διαδικασία των φορτώσεων από τους σωρούς αποθήκευσης γίνεται με φορτωτή.



Σχήμα 3.12 Διάγραμμα ροής

3.9. Προϊόντα που παράγονται

Παρακάτω παρατίθενται οι κατηγορίες των προϊόντων που παράγονται από το λατομείο.

- 3^A
- Άμμος
- Ρύζι
- Γαρμπίλι
- Σύντριμμα
- Σκύρα
- Πέτρα διαλογής

3.10. Περιγραφή των έργων αποκατάστασης

Τέλος σύμφωνα με την μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων του λατομείου (Κουγιουρούκης, 2007b) θα υπάρξει στάδιο αποκατάστασης. Το λατομείο είναι ακόμα σε

αρχικό στάδιο με συνέπεια να μην έχουν ξεκινήσει ακόμα οι εργασίες αποκατάστασης. Με τον όρο αποκατάσταση δεν εννοείται η επαναφορά του τοπίου στην αρχική του κατάσταση, αλλά στόχος είναι τα εξής:

- Να εξαιρεθούν οι κίνδυνοι και οι δυναμικές δυσμενείς επιδράσεις,
- να επιταχυνθούν οι διαδικασίες βελτίωσης του φυτευτικού αποθέματος και εγκατάστασης της βλάστησης,
- να δεθεί και να εναρμονιστεί οπτικά ο χώρος αυτός με το γύρω φυσικό τοπίο, ανάγλυφο,
- να γίνει εκμετάλλευση όσο το δυνατόν καλύτερα στις δυνατότητες που παρέχει το τοπίο του λατομείου, δεδομένου ότι θα διαμορφωθούν επιφάνειες με μεγάλη ποικιλία κλίσεων, οι οποίες μπορούν να διαμορφωθούν αισθητικά και λειτουργικά και να επιτρέψουν την οργάνωση διαφόρων δραστηριοτήτων και χρήσεων γης.

Έτσι προτείνεται:

- Μερική ή ολική επιχωμάτωση τμημάτων του λατομικού χώρου (κυρίων δαπέδων βαθμίδων) με στείρα υλικά που θα προκύψουν από τις εργασίες επέμβασης, με στόχο τη δημιουργία ενός φυσικότερου ή ευνοϊκότερου, προς αποκατάσταση, ανάγλυφου.
- Δημιουργία στις οριζόντιες επιφάνειες αντίρροπων κλίσεων (2-3%) ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα διάβρωσης στις κεκλιμένες επιφάνειες, από τη συγκέντρωση ύδατος και διοχέτευσή του σ' αυτές.
- Επικάλυψη με έδαφος πάχους τουλάχιστον 20 cm για τις οριζόντιες επιφάνειες. Οι επιφάνειες στις οποίες θα γίνει φυτοκομική επέμβαση θα χαρακτηρίζονται από συμμετοχή λεπτού υλικού σε ποσοστό μεγαλύτερο από 20%.

Για την αναθάμνωση η οποία είναι επιβεβλημένη λόγω της θαμνώδους περιοχής, προτείνεται το είδος *spartium junceum* που είναι εδαφοσυγκρατικό και ανθεκτικό στη ξηρασία. Θα αναθαμνωθούν όλες οι περιοχές της επέμβασης (μέτωπα, δρόμοι κλπ). Τα φυτά θα φυτευτούν με φυτευτικό σύνδεσμο 4X4.

Για την πλήρη κάλυψη των μετώπων που θα δημιουργηθούν, θα γίνει φύτευση ακακίας και πεύκης και αριζόνας στις τελικές πλατείες που θα προκύψουν, σε ακανόνιστο σχήμα και με φυτικό σύνδεσμο 4X4. Η πεύκη και η αριζόνα επιλέχθηκαν επειδή είναι ανθεκτικά, προσαρμόζονται εύκολα (είναι φυτά λιτοδίαιτα, δυνάμενα να αναπτυχθούν επί πτωχών εδαφών, ανεξαρτήτως υπεδαφίου πετρώματος). Η ακακία επιλέχθηκε επειδή είναι επίσης

φυτό με μεγάλη αντοχή.

Επίσης κατά την επικάλυψη των επιφανειών με εδαφικό υλικό, προτείνεται να αναμιχθεί αυτό με σπόρους κάποιου αγροστωδούς ή ψυχανθούς. Αυτό θα βοηθήσει την ταχύτερη επαναφορά της βλάστησης.

Οι δενδροφυτεύσεις θα γίνονται κατά την φθινοπωρινή περίοδο και μέχρι τις αρχές της άνοιξης.

Περιμετρικά και εντός των ορίων του λατομικού χώρου θα διατηρηθεί μία ζώνη πλάτους 8 m με την υφιστάμενη βλάστηση (Κουγιουρούκης, 2007b).

3.10.1. Μηχανικά μέσα για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος

Στις εργασίες αποκατάστασης του περιβάλλοντος θα απασχοληθεί μηχανολογικός εξοπλισμός του λατομείου. Συγκεκριμένα προβλέπεται να χρησιμοποιηθούν: Ένας φορτωτής, ένας εκσκαφέας (τσάπα), ένα χωματουργικό φορτηγό και διάφορα εκσκαπτικά εργαλεία. Οι εργασίες αποκατάστασης και η χρησιμοποίηση του μηχανολογικού εξοπλισμού θα γίνονται κατά τις ώρες λειτουργίας του λατομείου (Κουγιουρούκης, 2007b).

3.10.2. Τρόποι συντήρησης

Κατά τη φύτευση θα γίνεται ένα πότισμα με κατανάλωση περίπου 10 λίτρων νερού ανά φυτάριο. Κατά τη διάρκεια του πρώτου καλοκαιριού μετά τη φύτευση (ιδιαίτερα τους μήνες αιχμής) θα γίνεται πότισμα κάθε 20 ημέρες με τη ίδια ποσότητα νερού για κάθε φυτό.

Προσθήκη λιπάσματος συνίσταται χωρίς να κρίνεται αναγκαία. Ο χώρος αποκατάστασης θα περιφραχθεί με σειρά πασσάλων και 3 σειρές ακιδωτό σύρμα για την προφύλαξη των φυτών από διερχόμενα ζώα.

Επίσης το επόμενο φθινόπωρο κάθε περιόδου φύτευσης σύμφωνα με την μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Κουγιουρούκης, 2007b) θα γίνεται έλεγχος για τυχόν απώλειες και θα γίνονται συμπληρώσεις φυτών.

Κεφάλαιο 4

Εργαστηριακή και θεωρητική μελέτη

4.1 Εργαστηριακές μετρήσεις

Για να ξεκινήσει η μελέτη ήταν αναγκαίο να βρεθούν οι αντοχές του πετρώματος του λατομείου. Αρχικά έγινε η επιλογή του κατάλληλου δείγματος από το εν λόγω λατομείο και ύστερα από μία ανατίναξη με τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί μέχρι και σήμερα. Ύστερα από την μεταφορά του στο εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης πραγματοποιήθηκαν οι εξής διαδικασίες:

- Διάτρηση του ακανόνιστους δείγματος και λήψη πυρήνων υλικού. Για αυτό το σκοπό, το δείγμα στερεώνεται σε κατάλληλη βάση στήριξης (drill press). Δημιουργήθηκαν 12 κυλινδρικά δοκίμια τα οποία οδηγήθηκαν για περαιτέρω επεξεργασία.



Σχήμα 4.1 Εργαστηριακός πυρηνολήπτης δοκιμίων

- Κοπή των άκρων των κυλίνδρων (πυρήνων) σε κατάλληλο δισκοπρίονο με αδαμαντοτροχό (diamond saw) και δημιουργία έξι δοκιμίων ύψους της τάξεως των 11cm και οκτώ δοκιμίων ύψους της τάξεως των 2.7 cm.



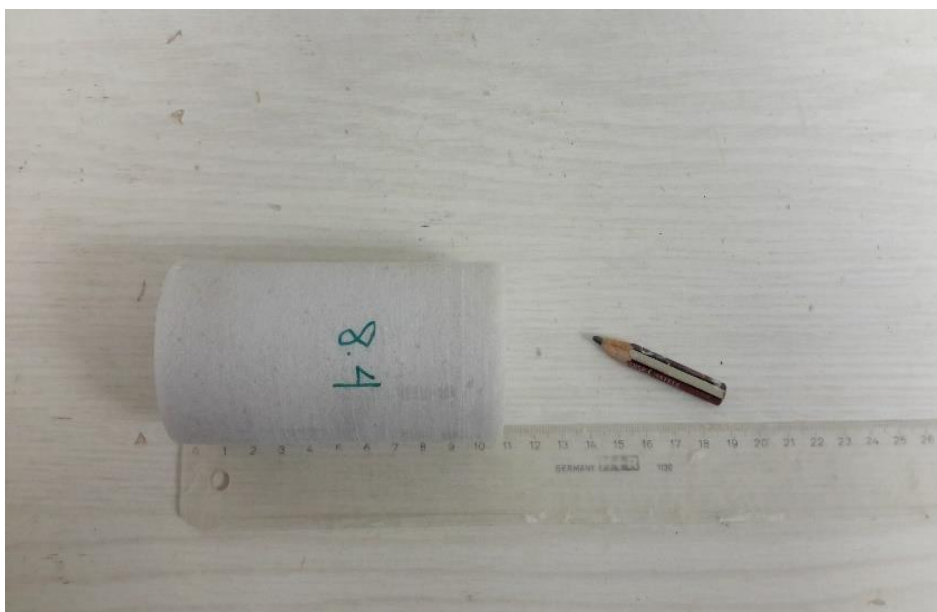
Σχήμα 4.2 Εργαστηριακό δισκοπρίονο δοκιμών

- Λείανση των βάσεων των κυλίνδρων (πυρήνων) σε κατάλληλο λειαντικό μηχάνημα (grinding machine) .



Σχήμα 4.3 Εργαστηριακός λειαντής δοκιμών

Μέτρηση των διαστάσεων των δοκιμίων και επιβεβαίωση ότι τα 6 δοκίμια, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της αντοχής του ασβεστολίθου σε μονοαξονική θλίψη, είχαν διάμετρο περίπου 5 cm και ύψος περίπου 11 cm. Τα υπόλοιπα 8 δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της αντοχής σε εφελκυσμό έπρεπε να μετρηθούν και να έχουν διάμετρο της τάξης των 5 cm και ύψος της τάξης των 3 cm.



Σχήμα 4.4 Μέτρηση ύψους δοκιμίου

4.1.1 Αντοχή σε Μονοαξονική θλίψη

Ύστερα από τις παραπάνω διαδικασίες τα δοκίμια θεωρήθηκαν κατάλληλα για να μεταφερθούν στο σύστημα θλιπτικών δοκιμών του Εργαστηρίου Μηχανικής Πετρωμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης με σκοπό να ληφθούν τα δεδομένα ώστε να γίνουν οι υπολογισμοί για να προκύψουν οι αντοχές του δείγματος σε μονοαξονική θλίψη και εφελκυσμό. Στην παρούσα παράγραφο θα αναλυθούν τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη.

Όπως φαίνεται και στα σχήματα 4.5 και 4.6 ενώ η διάμετρος των δοκιμίων είναι ίδια διαφέρουν μεταξύ τους στο ύψος. Η δοκιμή έγινε σε 6 δοκίμια για να υπάρξει πιο αξιόπιστο αποτέλεσμα.

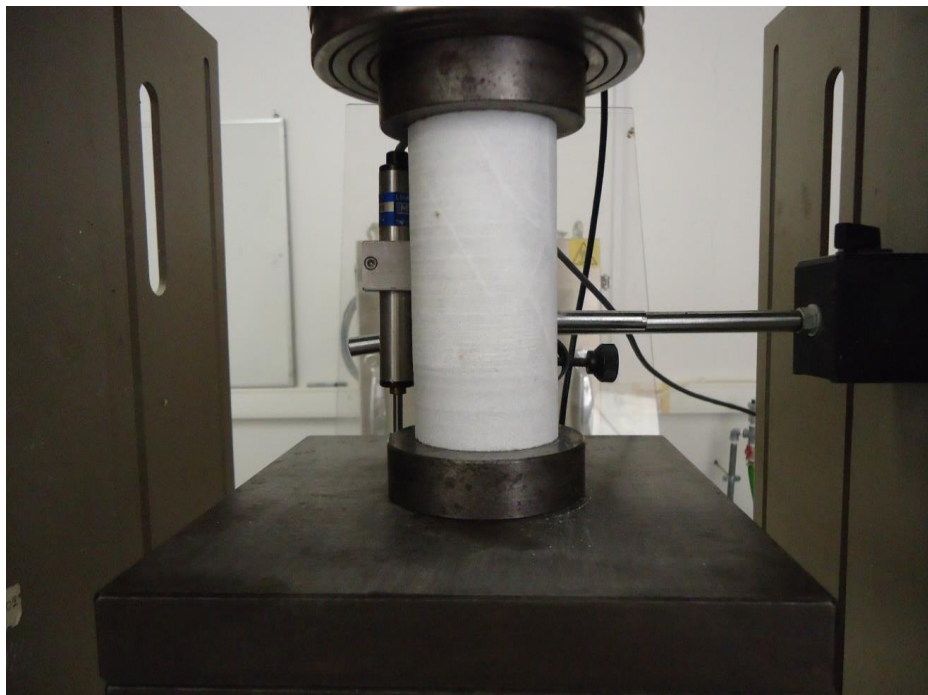


Σχήμα 4.5 Δοκίμια 1,2,3



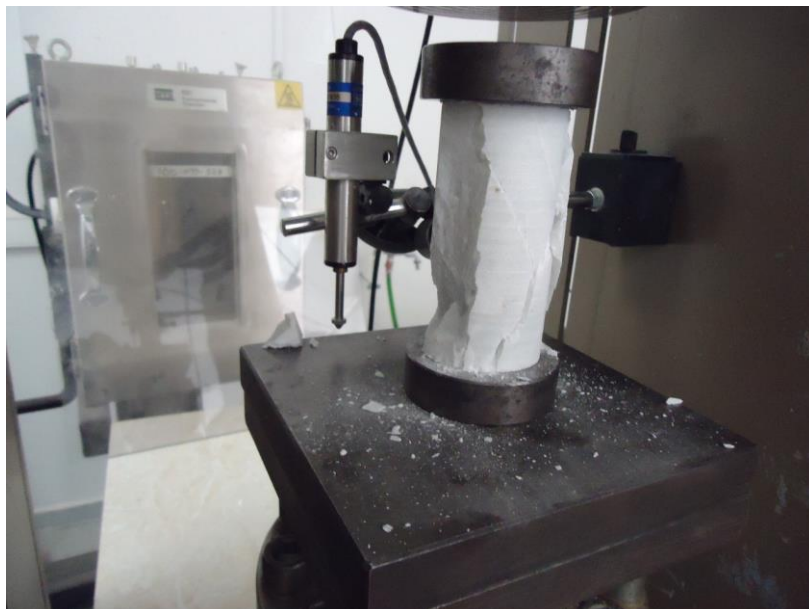
Σχήμα 4.6 Δοκίμια 4,5,6

Η ετοιμασία για την εισαγωγή στο σύστημα θλιπτικών δοκιμών περιλαμβάνει επάλειψη με βαζελίνη έτσι ώστε να μειώνονται οι τριβές και εισαγωγή στο σύστημα θλιπτικών δοκιμών όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.7.



Σχήμα 4.7 Δοκίμιο πριν την επιβολή φορτίου

Οι δοκιμές για την αντοχή μονοαξονικής θλίψης έγιναν με έλεγχο μετατόπισης με σταθερό ρυθμό 0.001mm/s. Το φορτίο κατά την διάρκεια της δοκιμής υπήρξε σταθερό καθ' όλη την διάρκεια της δοκιμής και η επιβολή του σταμάτησε με την θλίψη του δοκιμίου.



Σχήμα 4.8 δοκίμιο μετά το πέρας της δοκιμής

Στην συνέχεια πάρθηκαν από το Σύστημα θλιπτικών δοκιμών τα δεδομένα για να υπολογιστούν οι αντοχές και τα μέτρα ελαστικότητας. Για κάθε δοκίμιο ξεχωριστά λήφθηκαν 3 μετρήσεις ύψους και μέσης διαμέτρου από τις οποίες προέκυψε ο μέσος όρος αυτών για τη μείωση πιθανού σφάλματος.

- Δοκίμιο 1

Στον πίνακα 4.1 δίνονται τρεις μετρήσεις καθώς και το μέσο ύψος και η μέση διάμετρος.

Πίνακας 4.1 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι

A/M	Ύψος (mm)	Μέσο Ύψος (mm)	Διάμετρος (cm)	Μέση διάμετρος (cm)
1	110.250	110.250	5.230	5.227
2	110.250		5.225	
3	110.250		5.225	

Στον πίνακα 4.2 παρουσιάζονται οι μετρήσεις που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια του εργαστηρίου καθώς και η τάση και η αξονική παραμόρφωση που υπολογίστηκαν για την κάθε μέτρηση:

Πίνακας 4.2 Πίνακας δεδομένων και υπολογισμένων τάσεων-παραμορφώσεων

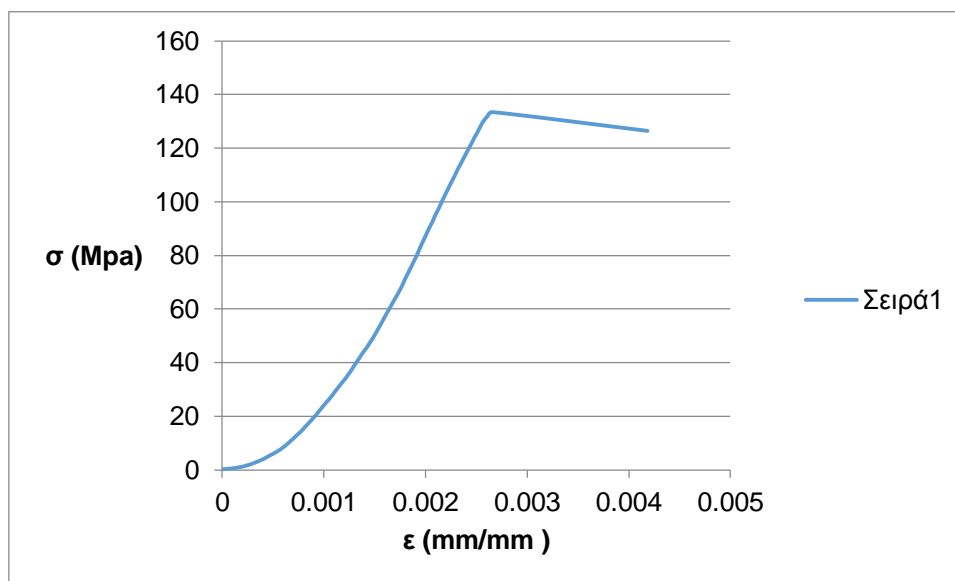
Load Cell MTS (kN)	LVDT 25 (mm)	ε (mm/mm)	σ (Mpa)
0.473	4.282	0	0.221
0.671	4.285	2.9E-05	0.313
0.880	4.288	6.01E-05	0.410
1.128	4.291	8.75E-05	0.526
1.421	4.294	0.000115	0.663
1.736	4.297	0.00014	0.810
2.069	4.300	0.000165	0.965
2.450	4.302	0.000189	1.143
2.873	4.305	0.000211	1.340
3.348	4.307	0.000232	1.561

Οι υπόλοιπες τιμές του πίνακα 4.2 παρατίθενται στο Παράρτημα Α στον πίνακα ΔΜ1 Παράρτημα Α.

Η τάση υπολογίστηκε ως εξής: $\sigma = \frac{F}{A}$

Η αξονική παραμόρφωση υπολογίστηκε ως εξής: $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$.

Στο σχήμα 4.9 δίνεται το διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης



Σχήμα 4.9 Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης

Ακόμα υπολογίστηκε η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη μέσω του τύπου

$$C_0 = \frac{F_{\max}}{\frac{3.14 \times d_{\text{average}}^2}{4}} = 133.5 \text{ MPa}$$

Όπως προαναφέρθηκε όλα τα δοκίμια έχουν την ίδια διάμετρο αλλά δεν έχουν ακριβώς το ίδιο ύψος, δηλαδή δεν έχουν τον ίδιο λόγο ύψους προς διάμετρο. Έτσι για την σωστή σύγκριση των τιμών της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη μεταξύ των δοκιμίων, έγινε αναγωγή στον σταθερό λόγο $h/d = 2.109375$ και ακολουθώντας την σχέση αναγωγής του Protodyakonov (1969) προέκυψε:

$$C_2 = \frac{C_0}{\frac{7}{8} + \frac{2}{8h/d}} = 134.3 \text{ MPa}.$$

Τέλος, με την βοήθεια του υπολογιστικού φύλλου excel και πιο συγκεκριμένα της συνάρτησης slope υπολογίστηκε το μέσο μέτρο ελαστικότητας Young ίσο με 71.93 GPa.

- Δοκίμιο 2

Στον πίνακα 4.3 δίνονται τρεις μετρήσεις καθώς και το μέσο ύψος και η μέση διάμετρος.

Πίνακας 4.3 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι

A/M	Ύψος (mm)	Μέσο Ύψος (mm)	Διάμετρος (cm)	Μέση διάμετρος (cm)
1	106.100	106.117	5.235	5.238
2	106.050		5.235	
3	106.20		5.245	

Στην συνέχεια υπολογίστηκε η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς οι οποίοι βρίσκονται στον πίνακα ΔΜ2 Παράρτημα

$$\text{Α μέσω του τύπου } C_0 = \frac{F_{\max}}{\frac{3.14 \times d_{\text{average}}^2}{4}} = 138.6 \text{ MPa} .$$

Όπως προαναφέρθηκε όλα τα δοκίμια έχουν την ίδια διάμετρο αλλά δεν έχουν ακριβώς το ίδιο ύψος, δηλαδή δεν έχουν τον ίδιο λόγο ύψους προς διάμετρο. Έτσι για την σωστή σύγκριση των τιμών της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη μεταξύ των δοκιμίων, έγινε αναγωγή στον σταθερό λόγο $h/d = 2.025772$ και ακολουθώντας την σχέση αναγωγής του Protodyakonov (1969) προέκυψε:

$$C_2 = \frac{C_0}{\frac{7}{8} + \frac{2}{8h/d}} = 138.9 \text{ MPa} .$$

Τέλος, με την βοήθεια του υπολογιστικού φύλλου excel και πιο συγκεκριμένα της συνάρτησης slope υπολογίσαμε το μέσο μέτρο ελαστικότητας Young ίσο με 72.54 GPa.

- Δοκίμιο 3

Στον πίνακα 4.4 δίνονται τρεις μετρήσεις καθώς και το μέσο ύψος και η μέση διάμετρος

Πίνακας 4.4 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι

A/M	Ύψος (mm)	Μέσο Ύψος (mm)	Διάμετρος (cm)	Μέση διάμετρος (cm)
1	110.750	110.933	5.235	5.232
2	111.050		5.240	
3	111.000		5.220	

Στην συνέχεια υπολογίστηκε η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς οι οποίοι βρίσκονται στον πίνακα ΔΜ3 Παράρτημα Α

$$\text{μέσω του τύπου } C_0 = \frac{F_{\max}}{\frac{3.14 \times d_{\text{average}}^2}{4}} = 102 \text{ MPa} .$$

Όπως προαναφέρθηκε όλα τα δοκίμια έχουν την ίδια διάμετρο αλλά δεν έχουν ακριβώς το ίδιο ύψος, δηλαδή δεν έχουν τον ίδιο λόγο ύψους προς διάμετρο. Έτσι για την σωστή σύγκριση των τιμών της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη μεταξύ των δοκιμίων, έγινε αναγωγή στον σταθερό λόγο $h/d = 2.120421$ και ακολουθώντας την σχέση αναγωγής του Protodyakonov (1969) προέκυψε:

$$C_2 = \frac{C_0}{\frac{7}{8} + \frac{2}{8h/d}} = 102.7 \text{ MPa} .$$

Τέλος, με την βοήθεια του υπολογιστικού φύλλου excel και πιο συγκεκριμένα της συνάρτησης slope υπολογίσαμε το μέσο μέτρο ελαστικότητας Young ίσο με 62.26 GPa.

- Δοκίμιο 4

Στον πίνακα 4.5 δίνονται τρεις μετρήσεις καθώς και το μέσο ύψος και η μέση διάμετρος.

Πίνακας 4.5 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι

A/M	Ύψος (mm)	Μέσο Ύψος (mm)	Διάμετρος (cm)	Μέση διάμετρος (cm)
1	103.900	103.867	5.230	5.230
2	103.850		5.230	
3	103.850		5.230	

Στην συνέχεια υπολογίστηκε η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς οι οποίοι βρίσκονται στον πίνακα ΔΜ4 Παράρτημα

$$\text{Α μέσω του τύπου } C_0 = \frac{F_{\max}}{\frac{3.14 \times d_{\text{average}}^2}{4}} = 72.3 \text{ MPa} .$$

Όπως προαναφέρθηκε όλα τα δοκίμια έχουν την ίδια διάμετρο αλλά δεν έχουν ακριβώς το ίδιο ύψος, δηλαδή δεν έχουν τον ίδιο λόγο ύψους προς διάμετρο. Έτσι για την σωστή σύγκριση των τιμών της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη μεταξύ των δοκιμίων, έγινε αναγωγή στον σταθερό λόγο $h/d = 1.985978$ και ακολουθώντας την σχέση αναγωγής του Protodyakonov (1969) προέκυψε:

$$C_2 = \frac{C_0}{\frac{7}{8} + \frac{2}{8h/d}} = 72.3 \text{ MPa} .$$

Τέλος, με την βοήθεια του υπολογιστικού φύλλου excel και πιο συγκεκριμένα της συνάρτησης slope υπολογίσαμε το μέσο μέτρο ελαστικότητας Young ίσο με 42.72 GPa.

• Δοκίμιο 5

Στον πίνακα 4.6 δίνονται τρεις μετρήσεις καθώς και το μέσο ύψος και η μέση διάμετρος.

Πίνακας 4.6 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι

A/M	Ύψος (mm)	Μέσο Ύψος (mm)	Διάμετρος (cm)	Μέση διάμετρος (cm)
1	108.550	108.533	5.230	5.227
2	108.500		5.230	
3	108.550		5.220	

Στην συνέχεια υπολογίστηκε η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς οι οποίοι βρίσκονται στον πίνακα ΔΜ5 Παράρτημα

$$\text{Α μέσω του τύπου } C_0 = \frac{F_{\max}}{\frac{3.14 \times d_{\text{average}}^2}{4}} = 87.8 \text{MPa} .$$

Όπως προαναφέρθηκε όλα τα δοκίμια έχουν την ίδια διάμετρο αλλά δεν έχουν ακριβώς το ίδιο ύψος, δηλαδή δεν έχουν τον ίδιο λόγο ύψους προς διάμετρο. Έτσι για την σωστή σύγκριση των τιμών της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη μεταξύ των δοκιμίων, έγινε αναγωγή στον σταθερό λόγο $h/d = 2.076531$ και ακολουθώντας την σχέση αναγωγής του Protodyakonov (1969) προέκυψε:

$$C_2 = \frac{C_0}{\frac{7}{8} + \frac{2}{8h/d}} = 88.2 \text{MPa} .$$

Τέλος, με την βοήθεια του υπολογιστικού φύλλου excel και πιο συγκεκριμένα της συνάρτησης slope υπολογίσαμε το μέσο μέτρο ελαστικότητας Young ίσο με 58.46 GPa.

- Δοκίμιο 6

Στον πίνακα 4.7 δίνονται τρεις μετρήσεις καθώς και το μέσο ύψος και η μέση διάμετρος.

Πίνακας 4.7 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι

A/M	Ύψος (mm)	Μέσο Ύψος (mm)	Διάμετρος (cm)	Μέση διάμετρος (cm)
1	108.500	108.500	5.230	5.233
2	108.550		5.230	
3	108.450		5.240	

Στην συνέχεια υπολογίστηκε η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς οι οποίοι βρίσκονται στον πίνακα ΔΜ6 Παράρτημα Α

$$\text{μέσω του τύπου } C_0 = \frac{F_{\max}}{\frac{3.14 \times d_{\text{average}}^2}{4}} = 133.8 \text{ MPa} .$$

Όπως προαναφέρθηκε όλα τα δοκίμια έχουν την ίδια διάμετρο αλλά δεν έχουν ακριβώς το ίδιο ύψος, δηλαδή δεν έχουν τον ίδιο λόγο ύψους προς διάμετρο. Έτσι για την σωστή σύγκριση των τιμών της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη μεταξύ των δοκιμίων, έγινε αναγωγή στον σταθερό λόγο $h/d = 2.073248$ και ακολουθώντας την σχέση αναγωγής του Protodyakonov (1969) προέκυψε:

$$C_2 = \frac{C_0}{\frac{7}{8} + \frac{2}{8h/d}} = 134.4 \text{ MPa} .$$

Τέλος, με την βοήθεια του υπολογιστικού φύλλου excel και πιο συγκεκριμένα της συνάρτησης slope υπολογίσαμε το μέσο μέτρο ελαστικότητας Young ίσο με 23.78 GPa.

Τέλος παρατίθεται πίνακας με τα αποτελέσματα της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη.

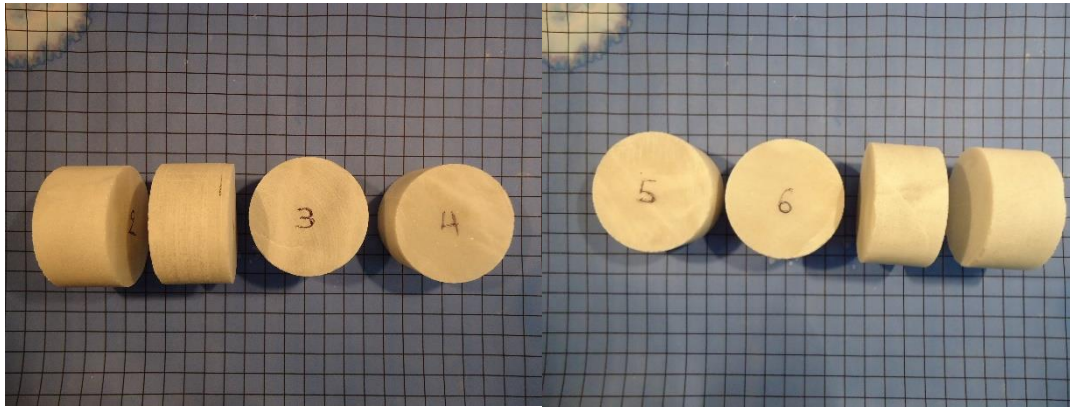
Πίνακας 4.8 Υπολογισμένες αντοχές σε μονοαξονική θλίψη

Δοκίμιο	Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη(C_0) (MPa)	Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (C_2) (MPa)	Μέτρα ελαστικότητας (GPa)
1	133.5	134.3	71.93
2	138.6	138.9	72.54
3	102	102.7	62.26
4	72.3	72.3	42.72
5	87.8	88.2	58.46
6	133.8	134.4	23.78
Μέσος όρος	111.3	111.8	55.28
Τυπική απόκλιση	27.9	28.1	18.89

4.1.2 Αντοχή σε εφελκυσμό

Στην παρούσα παράγραφο θα αναλυθεί η επεξεργασία των δοκιμών τα οποία προορίζονται για μελέτη της αντοχής του συγκεκριμένου ασβεστολίθου σε εφελκυσμό. Η μελέτη έγινε με την μέθοδο Brazil, η οποία είναι μέθοδος έμμεσου προσδιορισμού της αντοχής σε εφελκυσμό με την χρήση δοκιμών κανονικής γεωμετρίας. Η μέθοδος αυτή σύμφωνα με τον Αγιουτάντη (2009) βασίζεται στην πειραματική παρατήρηση σύμφωνα με την οποία τα περισσότερα πετρώματα που βρίσκονται σε δισδιάστατα εντατικά πεδία αστοχούν σε εφελκυσμό, όταν η μία κύρια τάση είναι εφελκυστική και η άλλη κύρια τάση είναι θλιπτική με τιμή μικρότερη από το τριπλάσιο της εφελκυστικής τάσης.

Για την μέθοδο Brazil προετοιμάστηκαν 8 δοκίμια έτσι ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα της δοκιμής. Τα δοκίμια έχουν διάμετρο της τάξεως των 5.2 cm και ύψος της τάξεως των 2.7 cm.



Σχήμα 4.10 Δοκίμια για μέθοδο Brazil

Τα δοκίμια επικαλύφθηκαν με χαρτοταινία στην παράπλευρη επιφάνειά του και τοποθετήθηκαν μέσα στις σιαγόνες φόρτισης και στην πορεία στο σύστημα θλιπτικών δοκιμών του εργαστηρίου Μηχανικής Πετρωμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης όπως φαίνεται και στην Φωτογραφία 4.11.



Σχήμα 4.11 Μέθοδος Brazil. Δοκίμιο πριν την επιβολή φορτίου.

Οι δοκιμές Brazil έγιναν με έλεγχο φορτίου με σταθερό ρυθμό 200 N/s.



Σχήμα 4.12 Σπασμένο δοκίμιο με την μέθοδο Brazil

Στην συνέχεια ελήφθησαν από το σύστημα θλιπτικών δοκιμών τα δεδομένα για να υπολογιστεί η αντοχή σε εφελκυσμό. Για κάθε δοκίμιο ξεχωριστά λήφθηκαν 3 μετρήσεις ύψους και μέσης διαμέτρου από τις οποίες προέκυψε ο μέσος όρος αυτών για τη μείωση πιθανού σφάλματος.

- Δοκίμιο 1

Στον πίνακα 4.9 δίνονται τρεις μετρήσεις καθώς και το μέσο ύψος και η μέση διάμετρος.

Πίνακας 4.9 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι

A/M	Ύψος (cm)	Μέσο Ύψος (cm)	Διάμετρος (cm)	Μέση διάμετρος (cm)
1	3.000	3.000	5.220	5.222
2	3.000		5.225	
3	3.000		5.220	

Στον πίνακα 4.10 παρουσιάζονται οι μετρήσεις που λήφθηκαν από το Σύστημα Θλιπτικών Δοκιμών καθώς και τα διαφορεικά φορτία που υπολογίστηκαν.

Πίνακας 4.10 Πίνακας δεδομένων και υπολογισμένων διαφορικών φορτίων

Displacement MTS (mm)	Load Cell MTS (kN)	Μετατόπιση (mm)
0.435	3.594	0.000
0.708	3.618	0.023
0.960	3.637	0.042
1.332	3.653	0.058
1.775	3.666	0.071
2.342	3.675	0.081
2.863	3.683	0.089
3.354	3.688	0.094
3.831	3.692	0.098
4.227	3.695	0.101

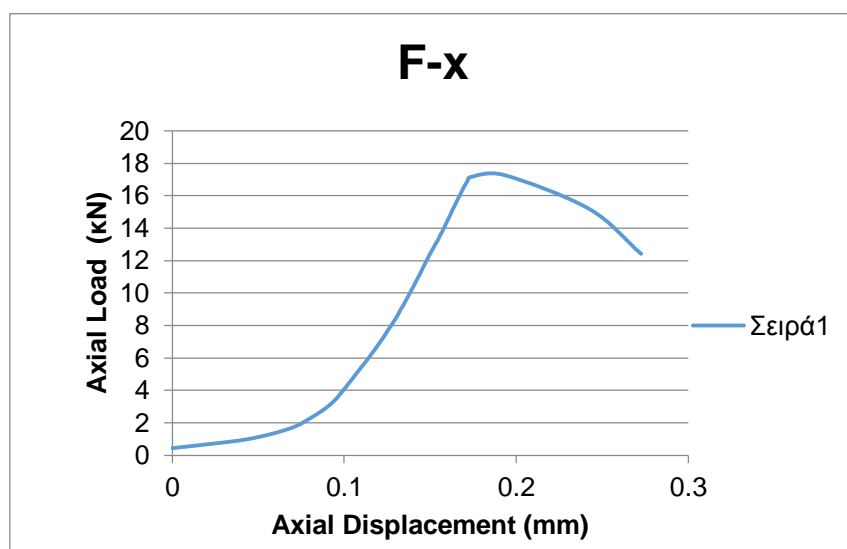
Οι υπόλοιπες τιμές του πίνακα 4.10 παρατίθενται στο Παράρτημα Α στον πίνακα ΔΕ1 Παράρτημα Α.

Στην συνέχεια υπολογίστηκε η αντοχή σε εφελκυσμό σύμφωνα με τον τύπο

$$T_0 = \frac{0.637 \times F_{\max}}{Dt} = 7 \text{ MPa}$$

Όπου $F_{\max} = 17.28634 \text{ kN}$.

Τέλος δίνεται το διάγραμμα φορτίου-Displacement.



Σχήμα 4.13 Διάγραμμα Φορτίου-Displacement

- Δοκίμιο 2

Στον πίνακα 4.11 δίνονται τρεις μετρήσεις καθώς και το μέσο ύψος και η μέση διάμετρος.

Πίνακας 4.11 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι

A/M	Ύψος (cm)	Μέσο Ύψος (cm)	Διάμετρος (cm)	Μέση διάμετρος (cm)
1	2.720	2.723	5.235	5.238
2	2.725		5.230	
3	2.725		5.250	

Στην συνέχεια υπολογίστηκε η αντοχή σε εφελκυσμό χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς του πίνακα ΔΕ2 Παράρτημα Α και σύμφωνα με τον τύπο

$$T_0 = \frac{0.637 \times F_{\max}}{Dt} = 7.3 \text{ MPa}$$

Όπου $F_{\max} = 16.40305 \text{ kN}$.

Το διάγραμμα δίνεται στο Παράρτημα Α στο σχήμα ΔΕ2 Παράρτημα Α.

- Δοκίμιο 3

Στον πίνακα 4.12 δίνονται τρεις μετρήσεις καθώς και το μέσο ύψος και η μέση διάμετρος.

Πίνακας 4.12 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι

A/M	Ύψος (cm)	Μέσο Ύψος (cm)	Διάμετρος (cm)	Μέση διάμετρος (cm)
1	2.785	2.788	5.240	5.238
2	2.800		5.230	
3	2.780		5.245	

Στην συνέχεια υπολογίστηκε η αντοχή σε εφελκυσμό χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς του πίνακα ΔΕ3 Παράρτημα Α και σύμφωνα με τον τύπο

$$T_0 = \frac{0.637 \times F_{\max}}{Dt} = 6.7 \text{ MPa}$$

Όπου $F_{\max} = 15.415 \text{ kN}$.

Το διάγραμμα δίνεται στο Παράρτημα Α στο σχήμα ΔΕ3 Παράρτημα Α.

- Δοκίμιο 4

Στον πίνακα 4.13 δίνονται τρεις μετρήσεις καθώς και το μέσο ύψος και η μέση διάμετρος.

Πίνακας 4.13 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι

A/M	Ύψος (cm)	Μέσο Ύψος (cm)	Διάμετρος (cm)	Μέση διάμετρος (cm)
1	2.870	2.873	5.230	5.233
2	2.865		5.240	
3	2.885		5.230	

Στην συνέχεια υπολογίστηκε η αντοχή σε εφελκυσμό χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς του πίνακα ΔΕ4 Παράρτημα Α και σύμφωνα με τον τύπο

$$T_0 = \frac{0.637 \times F_{\max}}{Dt} = 8.4 \text{ MPa}$$

Όπου $F_{\max} = 19.71201 \text{ kN}$.

Το διάγραμμα δίνεται στο Παράρτημα Α στο σχήμα ΔΕ4 Παράρτημα Α.

• Δοκίμιο 5

Στον πίνακα 4.14 δίνονται τρεις μετρήσεις καθώς και το μέσο ύψος και η μέση διάμετρος.

Πίνακας 4.14 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι

A/M	Ύψος (cm)	Μέσο Ύψος (cm)	Διάμετρος (cm)	Μέση διάμετρος (cm)
1	2.760	2.763	5.235	5.232
2	2.760		5.230	
3	2.770		5.230	

Στην συνέχεια υπολογίστηκε η αντοχή σε εφελκυσμό χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς του πίνακα ΔΕ5 Παράρτημα Α και σύμφωνα με τον τύπο

$$T_0 = \frac{0.637 \times F_{\max}}{Dt} = 8.4 \text{ MPa}$$

Όπου $F_{\max} = 19.1461 \text{ kN}$.

Το διάγραμμα δίνεται στο Παράρτημα Α στο σχήμα ΔΕ5 Παράρτημα Α.

• Δοκίμιο 6

Στον πίνακα 4.15 δίνονται τρεις μετρήσεις καθώς και το μέσο ύψος και η μέση διάμετρος.

Πίνακας 4.15 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι

A/M	Ύψος (cm)	Μέσο Ύψος (cm)	Διάμετρος (cm)	Μέση διάμετρος (cm)
1	2.750	2.750	5.245	5.243
2	2.750		5.240	
3	2.750		5.245	

Στην συνέχεια υπολογίστηκε η αντοχή σε εφελκυσμό χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς του πίνακα ΔΕ6 Παράρτημα Α και σύμφωνα με τον τύπο

$$T_0 = \frac{0.637 \times F_{\max}}{Dt} = 7.1 \text{ MPa}$$

Όπου $F_{\max} = 15.95024 \text{ kN}$.

Το διάγραμμα δίνεται στο Παράρτημα Α στο σχήμα ΔΕ6 Παράρτημα Α.

- Δοκίμιο 7

Στον πίνακα 4.16 δίνονται τρεις μετρήσεις καθώς και το μέσο ύψος και η μέση διάμετρος.

Πίνακας 4.16 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι

A/M	Ύψος (cm)	Μέσο Ύψος (cm)	Διάμετρος (cm)	Μέση διάμετρος (cm)
1	2.855	2.853	5.245	5.245
2	2.845		5.245	
3	2.860		5.245	

Στην συνέχεια υπολογίστηκε η αντοχή σε εφελκυσμό χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς του πίνακα ΔΕ7 Παράρτημα Α και σύμφωνα με τον τύπο

$$T_0 = \frac{0.637 \times F_{\max}}{Dt} = 4.4 \text{ MPa}$$

Όπου $F_{\max} = 10.43146 \text{ kN}$.

Το διάγραμμα δίνεται στο Παράρτημα Α στο σχήμα ΔΕ7 Παράρτημα Α.

- Δοκίμιο 8

Στον πίνακα 4.17 δίνονται τρεις μετρήσεις καθώς και το μέσο ύψος και η μέση διάμετρος.

Πίνακας 4.17 Μετρήσεις ύψους-πλάτους και μέσοι όροι

A/M	Ύψος (cm)	Μέσο Ύψος (cm)	Διάμετρος (cm)	Μέση διάμετρος (cm)
1	2.780	2.780	5.230	5.235
2	2.775		5.245	
3	2.785		5.230	

Στην συνέχεια υπολογίστηκε η αντοχή σε εφελκυσμό χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς του πίνακα ΔΕ8 Παράρτημα Α και σύμφωνα με τον τύπο

$$T_0 = \frac{0.637 \times F_{\max}}{Dt} = 7.5 \text{ MPa}$$

Όπου $F_{\max} = 10.43146 \text{ kN}$.

Το διάγραμμα δίνεται στο Παράρτημα Α στο σχήμα ΔΕ8 Παράρτημα Α.

Τέλος παρατίθεται πίνακας με όλες τις αντοχές σε εφελκυσμό

Πίνακας 4.18 Αντοχές σε εφελκυσμό

Δοκίμιο	Αντοχή σε εφελκυσμό(MPa)
1	7
2	7.3
3	6.7
4	8.4
5	8.4
6	7.1
7	4.4
8	7.5
Μέσος όρος	7.1
Τυπική απόκλιση	1.3

4.2 Υπολογισμός των ενεργών φορτίων

Μία από τις βασικότερες ενέργειες στην εκπόνηση μίας μελέτης ανατίναξης είναι ο υπολογισμός των ενεργών φορτίων. Για να υπολογιστεί το ακριβές ενεργό φορτίο θα πρέπει να γίνουν δοκιμές στο πεδίο, όμως ο αρχικός υπολογισμός τους μπορεί να γίνει μέσω εμπειρικών σχέσεων. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας υπολογίστηκαν τα ενεργά φορτία με δύο τρόπους. Αρχικά χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα BlastWin (Αγιουτάντης, 2014), τις μετρήσεις του εργαστηρίου καθώς και τα χαρακτηριστικά των εκρηκτικών που χρησιμοποιούνται στο ήδη στο μέτωπο, και εν συνεχεία χρησιμοποιώντας τις εμπειρικές σχέσεις που θα αναλυθούν στα παρακάτω. Στον πίνακα 4.19 δίνονται συγκεντρωτικά τα ενεργά φορτία που υπολογίστηκαν.

Πίνακας 4.19 Πίνακας υπολογισμένων Ενεργών Φορτίων.

ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΣΧΕΣΗ	ΦΟΡΤΙΟ (m)
LANGFORS	4.0
PEARCE	1.4
CARR	5.5
ROBERTS	3.0
ANDERSON	4.0
ASH	2.0
FRAENKEL	6.8
KONYA	2.6
JIMENO	3.4

4.2.1 Εμπειρική εξίσωση του Langefors

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από τον Langefors (όπως αναφέρεται από τον Αγιουτάντη, 2009) στο ινστιτούτο Εκρηκτικών στη Σουηδία στη δεκαετία του 1950. Ο υπολογισμός του φορτίου δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$B_m = \frac{d}{33} \sqrt{\frac{Ps}{cf(\frac{s}{B})}}$$

Όπου:

B_m = το μέγιστο φορτίο (m),

d = η διάμετρος του διατρήματος (mm),

P = ο βαθμός συμπίκνωσης του εκρηκτικού ($P = 1-1.6 \text{ kg/dm}^3$) (σημειώνεται ότι η τιμή αυτή είναι συνήθως κατά τι μεγαλύτερη του μοναδιαίου βάρους του εκρηκτικού λόγω της συμπίκνωσής του κατά την γόμωση των διατρημάτων),

s = η ισχύς του εκρηκτικού κατά βάρος (π.χ $s = 1.3$ για ζελατίνη),

c = σταθερά που εξαρτάται από το πέτρωμα (συνήθως $c = 0.45$),

f = συντελεστής που εξαρτάται από την κλίση του διατρήματος, όπου για κλίση 2:1 (κλίση πρανούς 63°) $f = 0.85$ για κλίση 3:1 (κλίση πρανούς 72°) $f = 0.9$, για κλίση $\infty:1$ (κατακόρυφο πρανές) $f = 1$,

S/B = λόγος απόστασης των διατρημάτων προς φορτίο, (συνήθως $S/B = 1.25$).

Χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους του λατομείου υπολογίστηκε:

$$B = \frac{d}{33} \sqrt{\frac{\rho_e RWS}{cf(S/B)}} = \frac{89}{33} \sqrt{\frac{1}{0.45 \times 0.95 \times (1.1)}} = 2.7 \sqrt{\frac{1}{0.47025}} = 2.7 \times 1.46 = 3.942\text{m} = 4\text{m}$$

Όπου,

$\rho_e = 1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/dm}^3$ (Πολυχρονόπουλος, 1979),

$RWS = 1$, γιατί $RWS_{\text{explosive}} = AWS_{\text{explosive}} \times 100 / AWS_{\text{ANFO}}$, άρα αφού το εκρηκτικό είναι το ANFO, $RWS = 1$.

\bar{c} : ειδική κατανάλωση εκρηκτικής ύλης = 0,45 (Τσουτρέλης, 2001).

$f = 0,95$.

Με τη βοήθεια του προγράμματος BlastWin υπολογίστηκε το ενεργό φορτίο

$B = 4,02 = 4\text{m}$. Η διαφοροποίηση οφείλεται στο ότι το πρόγραμμα έχει τρεις τυποποιημένες κλίσεις διατρημάτων και έτσι ενώ τα διατρήματα του λατομείου γίνονται σε κλίση 82° χρησιμοποιήθηκε ότι γίνονται σε κλίση 72° .

Με την απλοποίηση του Langefors υπολογίστηκε:

$$B_m = 45 \times d = 45 \times 0.089 = 4.005\text{m} = 4\text{m}.$$

4.2.2 Εμπειρική εξίσωση του Pearse

Ο Pearse (1955) (όπως αναφέρεται από τον Αγιουτάντη, 2009) πρότεινε τον υπολογισμό του φορτίου ως συνάρτηση του συντελεστή ανατίναξης (rock blastability factor) σύμφωνα με την σχέση:

$$B = K \frac{d}{12} \left[\frac{P_s}{T_0} \right]$$

Όπου:

B = το φορτίο (ft),

K = ο συντελεστής ανατίναξης που κυμαίνεται από 0.7 έως 1.2 ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του πετρώματος,

d = η διάμετρος του διατρήματος (in),

P_s = η πίεση έκρηξης στην σταθερή κατάσταση (psi) (reaction stability pressure),

T_0 = η αντοχή του πετρώματος σε εφελκυσμό (psi).

Χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους του λατομείου υπολογίστηκε:

$$B = 0.8 \times 10^{-3} \times 89 \times \sqrt{\frac{370260}{997.18}} = 1.372\text{m} = 1.4\text{m},$$

Όπου,

P_s : Πίεση εκρήξεως ασβεστολίθου (Τσουτρέλης, 2001),

$T_0 = 7,1 \text{ MPa} = 72.5 \text{ kg/cm}^2 = 72.5 \times 2.2/0.16 \text{ lb/in}^2 = 997.18 \text{ lb/in}^2$. Είναι υπολογισμένο από τις εργαστηριακές δοκιμές που γίνανε και αναφέρονται παραπάνω στην ενότητα 4.1.

4.2.3 Εμπειρική εξίσωση του Carr

Η εμπειρική εξίσωση του Carr (όπως αναφέρεται από τον Jimeno, 1995) δεν υπολογίστηκε μέσω του προγράμματος BlastWin. Για να βρεθεί το ενεργό φορτίο με τον συγκεκριμένο τρόπο αρχικά χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση:

$$Z_r = 1.31 \times \rho_r \times \frac{VC}{1000}$$

Όπου,

Z_r = χαρακτηριστική αντίσταση των πετρωμάτων,

ρ_r = ειδικό βάρος του πετρώματος,

VC = ταχύτητα μετάδοσης του ήχου στο πέτρωμα

Στην συνέχεια βρέθηκε η πίεση έκρηξης μέσω του τύπου

$$PD = \frac{0.418 \times \rho_e \times \left[\frac{VD}{1000} \right]^2}{0.8 \times \rho_e + 1},$$

Όπου,

ρ_e = πυκνότητα του εκρηκτικού,

VD = ταχύτητα έκρηξης του εκρηκτικού (ft/s)

Ακόμα υπολογίστηκε η απόσταση μεταξύ των διατρημάτων μέσω του τύπου

$$S = 3 \sqrt{\frac{\rho_e \times d^2}{CEC}},$$

Όπου,

S = απόσταση μεταξύ των διατρημάτων,

d = διάμετρος (in)

CEC = Z_r / PD .

Τέλος υπολογίστηκε το ενεργό φορτίο από τον τύπο

$$B = S \times 0.833.$$

Χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους του λατομείου υπολογίστηκε:

Πρωτίστως βρέθηκε στο διαδίκτυο η ταχύτητα μετάδοσης του ήχου στον ασβεστόλιθο και η οποία είναι 5000m/s = 16400 ft/s.

$$\text{Έτσι } Z_r = 1.31 \times 2.7 \times \frac{16400}{1000} = 58.0068$$

$$Pd = \frac{0.418 \times 1 \times \left[\frac{9840}{1000} \right]^2}{0.8 \times 1 + 1} = \frac{0.418 \times 96.8256}{1.8} = 22.485$$

$$S = 3 \times \sqrt{\frac{1 \times (3.5)^2}{58.0068}} = 3 \times \sqrt{\frac{12.25}{22.485}} = 3 \times 2.180 = 6.54\text{m} = 6.5\text{m}$$

Και τέλος υπολογίστηκε το ενεργό φορτίο

$$B = S \times 0.8333 = 5.45\text{m} = 5.5\text{m}$$

4.2.4 Εμπειρική εξίσωση του Roberts

Μια σχέση που αναφέρεται από τον Roberts (1981) (όπως αναφέρεται από τον Αγιουτάντη, 2009) ότι έχει πολύ καλά αποτελέσματα στην πράξη είναι η ακόλουθη:

$$B = 0.024d + 0.85,$$

Όπου,

B = το φορτίο (m),

d = η διάμετρος του διατρήματος (mm).

Χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους του λατομείου:

$$B = 0.024d + 0.85 = 0.024 \times 89 + 0.85 = 2.986 = 3\text{m}$$

4.2.5 Εμπειρική εξίσωση του Anderson

Η εξίσωση που προτείνεται από τον Anderson (1952) (όπως αναφέρεται από τον Αγιουτάντη, 2009) προσδιορίζει το φορτίο, που αντιστοιχεί στην ανατίναξη ενός διατρήματος σύμφωνα με την σχέση:

$$B = c\sqrt{dL},$$

Όπου,

c = εμπειρική σταθερά (c = 1, για L σε ft και d σε in),

d = διάμετρος του διατρήματος (in),

L = μήκος του διατρήματος (ft).

Η μέθοδος αυτή έχει τα εξής μειονεκτήματα:

- Αντιστοιχεί στην ανατίναξη ενός διατρήματος
- Δεν λαμβάνει υπόψη τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας

- Δεν λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά του κάθε εκρηκτικού
- Η τιμή της σταθεράς c μεταβάλλεται για ισχυρά εκρηκτικά. Παρόλα αυτά η μέθοδος είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη προσέγγιση στον σχεδιασμό της ανατίναξης.

Χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους του λατομείου:

$$B = c \times \sqrt{d \times L} = 1 \times \sqrt{3.505 \times 49.20} = 13.13 \text{ ft} = 4 \text{ m},$$

Όπου,

$$d = 89 \text{ mm} = 3.505 \text{ in},$$

$$L = 15 \text{ m} = 49.20 \text{ ft}.$$

4.2.6 Εμπειρική εξίσωση του Ash

Ο Ash (όπως αναφέρεται από τον Τσουτρέλη, 2001) πρότεινε μία απλή σχέση αντικαθιστώντας το γινόμενο $k \sqrt{\frac{P_d}{\sigma_t}}$ της σχέσεως του Pearse με τον συντελεστή k_b οπότε αυτή λαμβάνει τη μορφή:

$$B = \frac{k_b \times d}{12},$$

Όπου,

B = ενεργό φορτίο (ft),

d = διάμετρος του διατρήματος (in)

Η εφαρμογή της σχέσεως αυτής σε διάφορες συνθήκες υπαίθριας εξορύξεως απέδειξε ότι η τιμή k_b κυμαίνεται μεταξύ 14 και 49 με μέση τιμή το 30.

Ο συντελεστής αυτός είναι συνάρτηση των χαρακτηριστικών του προς εξόρυξη πετρώματος και του είδους της χρησιμοποιούμενης εκρηκτικής ύλης.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι τιμές του συντελεστή k_b για διάφορες εκρηκτικές ύλες και πετρώματα

Πίνακας 4.20 Τιμές του συντελεστή k_b

Πυκνότητα και ισχύς εκρ. Ύλης	Είδος πετρώματος		
	Μαλακό	Ημίσκληρο	Σκληρό
Χαμηλής πυκνότητας (0,8-0,9 g/cm ³) και ισχύος	30	25	20
Μέσης πυκνότητας (1-1,2 g/cm ³) και ισχύος	35	30	25
Μεγάλης πυκνότητας (1,3-1,6 g/cm ³) και ισχύος	40	35	30

Με χρήση των παραμέτρων του λατομείου:

$$B = \frac{21.8 \times 3.53}{12} = 6.41 \text{ ft} = 1.95 \text{ m} = 2 \text{ m},$$

Όπου $K_b = 21,8$ και το οποίο υπολογίστηκε με την βοήθεια του προγράμματος BlastWin,

d = διάμετρος (in).

4.2.7 Εμπειρική εξίσωση του Fraenkel

Ο Fraenkel (όπως αναφέρεται από τον Τσουτρέλη, 2001) διατύπωσε την κατωτέρω σχέση βασιζόμενος κυρίως σε δοκιμές στον σουηδικό γρανίτη με χρήση ζελατινοδυναμίτιδας ισχύος 30%:

$$B = \frac{R_v l^{0.3} h_c^{0.3} d^{0.8}}{50},$$

Όπου,

B = το ενεργό φορτίο (m),

l = μήκος του διατρήματος (m),

h_c = μήκος γομώσεως (m),

d = διάμετρος του διατρήματος (mm),

R_v = συντελεστής αντιστάσεως του πετρώματος στη θραύση. Οι τιμές του κυμαίνονται από 1,5 για πετρώματα μεγάλης αντοχής σε μονοαξονική θλίψη μέχρις 6,0 για ένα εύκολα εξορύξιμο πέτρωμα. Συνήθεις τιμές είναι μεταξύ 1,8-2,0.

Οι περιορισμοί ισχύος της σχέσεως του Fraenkel και οι απλοποιητικές παραδοχές στην πράξη έχουν ως κάτωθι:

- Η απόσταση μεταξύ των διατρημάτων καθορίζεται από την σχέση: $S < 1.5B$
- h_c λαμβάνεται ως ίσο με 0,75 του πραγματικού μήκους του διατρήματος.
- Η προκύπτουσα τιμή B πρέπει στην πράξη να ελαττωθεί κατά 10-20%, έτσι ώστε να γίνει $B' = 0,8B$, ώστε σε κάθε περίπτωση να είναι μικρότερη των $2/3$ του πραγματικού μήκους του διατρήματος.

Χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους του λατομείου:

$$B = \frac{1.8 \times 16^{0.3} \times 15^{0.3} \times 89^{0.3}}{50} = 6.76\text{m} = 6.8\text{m}$$

4.2.8 Εμπειρική εξίσωση του Konya

Η εξίσωση αυτή αποτελεί βελτίωση της μεθόδου του Ash (όπως αναφέρεται από τον Αγιουτάντη, 2009) και εξαρτάται από την διάμετρο του διατρήματος και τα ειδικά βάρη του εκρηκτικού και του πετρώματος σύμφωνα με την σχέση:

$$B = 3.59d^3 \sqrt{\frac{\rho_e}{\rho_r}},$$

Όπου,

B = το φορτίο (ft),

d = η διάμετρος του εκρηκτικού (in),

ρ_e = η πυκνότητα του εκρηκτικού,

ρ_r = η πυκνότητα του πετρώματος.

Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, το βέλτιστο φορτίο συνδέεται με το μήκος του διατρήματος, σύμφωνα με την σχέση:

$$B = L/3,$$

Όπου,

B = το φορτίο,

L = το μήκος του διατρήματος.

Χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους του λατομείου:

$$B = 3.59 \times 3.505 \times \sqrt[3]{\frac{0.8}{2.7}} = 8.39 \text{ ft} = 2.56 = 2.6 \text{ m}.$$

4.2.9 Εμπειρική εξίσωση του Jimeno

Ο Lopez Jimeno (1980) (όπως αναφέρεται από τον Τσουτρέλη, 2001) τροποποίησε την σχέση του Ash (1963) εισάγοντας μία πρόσθετη παράμετρο στην προηγούμενη σχέση, που γίνεται τώρα:

$$B = 0,76 \times d \times F,$$

Όπου,

B = το φορτίο (m),

d = η διάμετρος του διατρήματος (in),

F = διορθωτικός συντελεστής, που λαμβάνει πρόνοια για το είδος του πετρώματος και τον τύπο της εκρηκτικής ύλης. Ο συντελεστής αυτός F ισούται προς $F = f_r \times f_e$.

$$\text{Στην σχέση αυτή είναι } f_r = \left(\frac{2,7 \times 3500}{\rho \times c_p} \right)^{1/3} \text{ και } f_e = \left(\frac{\rho_e \times D^2}{1,3 \times 3660^2} \right)^{1/3},$$

Όπου,

ρ = ειδικό βάρος πετρώματος (g/cm^3),

c_p = ταχύτητα διαδόσεως του διαμήκους κύματος εντός του πετρώματος (m/s),

ρ_e = ειδικό βάρος γομώσεως της εκρηκτικής ύλης (g/cm^3),

D = ταχύτητα εκρήξεως της εκρηκτικής ύλης (m/s).

Η σχέση του Lopez Jimeno ισχύει για διαμέτρους διατρημάτων 165-200 mm. Για μεγαλύτερες διαμέτρους το φορτίο πρέπει να μειωθεί πολλαπλασιάζοντας με 0.9.

Χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους του λατομείου:

$$B = 0.76 \times 3.53 \times 1.26 = 3.38\text{m} = 3.4\text{m},$$

Όπου,

F = 1.26. Υπολογίστηκε με την βοήθεια του προγράμματος BlastWin.

d = διάμετρος (in).

4.3 Υπολογισμός παραμέτρων ανατίναξης

Μετά τον προσδιορισμό του φορτίων, και ύστερα από την διαλογή έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν τα ενεργά φορτία τα οποία είναι κοντά σε αυτά που χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα στο εν λόγω λατομείο, και τα οποία είναι τα ενεργά φορτία που υπολογίστηκαν με την μέθοδο του Roberts η οποία έδωσε $B = 3\text{ m}$, με την μέθοδο του Konya και η οποία έδωσε $B = 2.6\text{ m}$, και το ενεργό φορτίο από την μέθοδο του Jimeno το οποίο είναι $B = 3.4\text{ m}$, μπορούν να υπολογιστούν και οι υπόλοιπες παράμετροι των ανατινάξεων όπως η απόσταση των διατρημάτων, το μήκος των διατρημάτων, η επιγύμωση και η υπόδιατρηση. Παράμετροι οι οποίες έχουν εξίσου μεγάλο μερίδιο ευθύνης με τα φορτία για την επίτευξη μίας επιτυχημένης ανατίναξης. Έτσι παρακάτω θα αναλυθούν τρεις διαφορετικοί τρόποι εύρεσης αυτών των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Ο υπολογισμός των συντελεστών κατανάλωσης ο οποίος θα αναγράφεται στην κάθε περίπτωση έγινε με την βοήθεια του λογισμικού BlastWin και θα συμβολίζεται με τα αρχικά P.F (Powder Factor).

4.3.1 Εμπειρικές σχέσεις του Pearse

Ο υπολογισμός των παραμέτρων σύμφωνα με τον Pearse (όπως αναφέρεται από τον Αγιουτάντη, 2009) γίνεται με την χρήση των παρακάτω εξισώσεων:

- $S = 2B$
- $L = H + 0.15H$
- $H_c = H - 1.25B$ για $B < 0.4H$,

Όπου,

H = το ύψος της βαθμίδας,

H_c = το ύψος της εκρηκτικής στήλης,

L = το μήκος του διατρήματος.

Οι υπολογισμοί σε σχέση με τα ενεργά φορτία της έρευνας:

$$1) \text{ Roberts} = 3 \text{ m}$$

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

$$L = 15 + 0.15 \times 15 = 17.25 \text{ m}$$

$$H_c = 15 - 1.25 \times B = 15 - 1.25 \times 15 = 11.25 \text{ m}$$

Άρα η επιγύμωση πρέπει να είναι 6 m

Η υποδιάτρηση πρέπει να είναι 2.25 m

$$P.F = 0.22 \text{ kg/m}^3.$$

$$2) \text{ Konya} = 2.6 \text{ m}$$

$$S = 2 \times 2.6 = 5.2 \text{ m}$$

$$L = 15 + 0.15 \times 15 = 17.25$$

$$H_c = 15 - 1.25 \times B = 15 - 1.25 \times 2.6 = 11.75 \text{ m}$$

Άρα η επιγύμωση πρέπει να είναι 5.5 m

Η υποδιάτρηση πρέπει να είναι 2.25 m

$$P.F = 0.3 \text{ kg/m}^3.$$

$$3) \text{ Jimeno} = 3.4 \text{ m}$$

$$S = 2 \times 3.4 = 6.8 \text{ m}$$

$$L = 15 + 0.15 \times 15 = 17.25 \text{ m}$$

$$H_c = 15 - 1.25 \times 3.4 = 10.75 \text{ m}$$

Άρα η επιγύμωση πρέπει να είναι 6.5 m

Η υποδιάτρηση πρέπει να είναι 2.25 m

$$P.F = 0.16 \text{ kg/m}^3.$$

4.3.2 Εμπειρικές σχέσεις του Langefors

Σύμφωνα με τον Langefors (όπως αναφέρεται από τον Αγιουτάντη, 2009):

- η πραγματική απόσταση των διατρημάτων υπολογίζεται από την σχέση: $S = 1.25 \times B$.
- Η επιγύμωση υπολογίζεται ίση με το φορτίο.
- Η υποδιάτρηση υπολογίζεται ίση με $0,3 \times B$.

Οι υπολογισμοί σε σχέση με τα ενεργά φορτία της έρευνας:

1) Roberts = 3m

$$S = 1.25 \times B = 1.25 \times 3 = 3.75 = 3.8 \text{ m}$$

$$\text{Επιγύμωση} = B = 3 \text{ m}$$

$$\text{Υποδιάτρηση} = 0.3 \times B = 0.3 \times 3 = 0.9 \text{ m}$$

$$P.F = 0.39 \text{ kg/m}^3.$$

2) Konya = 2.6m

$$S = 1.25 \times 2.6 = 3.25 = 3.3 \text{ m}$$

$$\text{Επιγύμωση} = B = 2.6 \text{ m}$$

$$\text{Υποδιάτρηση} = 0.3 \times B = 0.3 \times 2.6 = 0.78 = 0.8 \text{ m}$$

$$P.F = 0.54 \text{ kg/m}^3.$$

3) Jimeno = 3.4 m

$$S = 1.25 \times 3.4 = 4.25 \text{ m}$$

$$\text{Επιγύμωση} = B = 3.4 \text{ m}$$

$$\text{Υποδιάτρηση} = 0.3 \times B = 0.3 \times 3.4 = 1.02 = 1 \text{ m}$$

$$P.F = 0.3 \text{ kg/m}^3.$$

4.3.3 Εμπειρικές σχέσεις του Vutukari και Bhandari

Οι Vutukari και Bhandari (1961) (όπως αναφέρεται από τον Αγιουτάντη, 2009) προτείνουν την ακόλουθη σχέση για την απόσταση μεταξύ των διατρημάτων:

$$S = 0.9B + 0.9,$$

Όπου,

B = το φορτίο (m),

S = η απόσταση μεταξύ των διατρημάτων (m).

Οι υπολογισμοί σε σχέση με τα ενεργά φορτία της έρευνας:

$$1) \text{ Roberts} = 3 \text{ m}$$

$$S = 0.9 \times B + 0.9 = 0.9 \times 3 + 0.9 = 3.6 \text{ m}$$

$$P.F = 0.45 \text{ kg/m}^3.$$

$$2) \text{ Konya} = 2.6 \text{ m}$$

$$S = 0.9 \times B + 0.9 = 0.9 \times 2.6 + 0.9 = 3.24 = 3.2 \text{ m}$$

$$P.F = 0.59 \text{ kg/m}^3.$$

$$3) \text{ Jimeno} = 3.4 \text{ m}$$

$$S = 0.9 \times B + 0.9 = 0.9 \times 3.4 + 0.9 = 3.96 = 4 \text{ m}.$$

$$P.F = 0.36 \text{ kg/m}^3.$$

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα-Προτάσεις

5.1 Συμπεράσματα

Με την ολοκλήρωση της μελέτης (εύρεση διαφόρων ενεργών φορτίων, εύρεση των υπόλοιπων παραμέτρων μιας ανατινάξης, κ.α) που χρειάστηκε για την παρούσα εργασία, και η οποία παρατίθενται λεπτομερώς στο κεφάλαιο 4, και με την βοήθεια του λογισμικού BlastWin, μέσω του οποίου υπολογίστηκαν οι περισσότεροι συντελεστές κατανάλωσης, προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Το εν λόγω λατομείο λειτουργεί στις ανατινάξεις με συντελεστή κατανάλωσης 0.60 kg/m^3 . Παρατηρώντας στο κεφάλαιο 2.6 τις μέσες τιμές του συντελεστή κατανάλωσης σε υπαίθριες εκμεταλλεύσεις και με γνώμονα ότι ο συγκεκριμένος ασβεστόλιθος θεωρείται αρκετά σκληρός καθώς η αντοχή του σε μονοαξονική θλίψη είναι 107.28 MPa συμπεραίνουμε ότι ο συντελεστής με τον οποίο δουλεύουν τις ανατινάξεις δεν είναι υψηλότερος από την μέση τιμή σύμφωνα με τον Jimeno (1995), αφού όπως αναφέρει αν πρόκειται για βράχους υψηλής αντοχής η μέση τιμή του συντελεστή κατανάλωσης είναι της τάξης των $0.6\text{-}1.5 \text{ kg/m}^3$ και έτσι βρίσκεται στο κατώτερο όριο. Όμως πιθανόν να υπάρχει περιθώριο βελτίωσης αν λάβουμε υπόψιν τις μέσες τιμές του συντελεστή κατανάλωσης που δίνεται από τον Τσουτρέλη (2001) και ο οποίος για υγιή πετρώματα είναι της τάξης των 0.20 kg/m^3 . Τέλος σύμφωνα με τον Αγιουτάντη (2009), φαίνεται ότι υπάρχουν επίσης περιθώρια βελτίωσης του συντελεστή αφού η μέση τιμή του κυμαίνεται από $0.25\text{-}1.6 \text{ kg/m}^3$.
- Σύμφωνα με τις μετρήσεις των συντελεστών κατανάλωσης σε κάθε υποπερίπτωση στα κεφάλαια 4.3.1, 4.3.2 και 4.3.3 συμπεραίνεται ότι υπάρχουν συνδυασμοί ενεργών φορτίων και παραμέτρων των ανατινάξεων διαφορετικές από αυτές που χρησιμοποιούνται ήδη στο εν λόγω λατομείο και οι οποίες δίνουν μέχρι και υποτριπλάσιο συντελεστή κατανάλωσης.

- Σύμφωνα με τα δεδομένα τα οποία ελήφθησαν από το λατομείο συμπεραίνεται ότι οι επιγομώσεις που χρησιμοποιούνται στις ανατινάξεις είναι αισθητά μικρότερες από τις προβλεπόμενες.
- Τέλος παρατηρήθηκε ότι και η υποδιάτρηση η οποία χρησιμοποιείται είναι μικρότερη από αυτήν που προβλέπεται.

5.2 Προτάσεις

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα τα οποία αναφέρονται στην ενότητα 5.1 μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες προτάσεις.

Αρχικά θα πρέπει να εξετασθεί πέρα από το θεωρητικό κομμάτι το οποίο καλύπτει η συγκεκριμένη εργασία και με εφαρμογή στο πεδίο και πιο συγκεκριμένα εφαρμογή διαφορετικών παραμέτρων ανατίναξης (ενεργών φορτίων, αποστάσεις διατρημάτων, κ.α), έτσι ώστε να εξετασθεί πλήρως η πιθανότητα να μπορεί να μειωθεί ο συντελεστής κατανάλωσης και κατά συνέπεια και το κόστος λειτουργίας του λατομείου.

Στην συνέχεια προτείνεται να μελετηθούν οι ασυνέχειες και ο επι τόπου κατακερματισμός του πετρώματος.

Ακόμα όπως παρατηρήθηκε και στα συμπεράσματα το μέγεθος της επιγόμωσης που χρησιμοποιείται είναι μικρότερο από το προβλεπόμενο και κατά συνέπεια θα πρέπει να μελετηθεί και θεωρητικά και πρακτικά το συγκεκριμένο πρόβλημα. Πρέπει να εξετασθεί και θεωρητικά καθώς δεν ήταν στο πεδίο μελέτης που κάλυπτε η συγκεκριμένη εργασία.

Τέλος όπως και με την επιγόμωση το ίδιο ισχύει και με την υποδιάτρηση, η οποία σύμφωνα με τα δεδομένα τα οποία πάρθηκαν από το εν λόγω λατομείο είναι μηδενική και έτσι θα πρέπει να μελετηθεί και αυτή και θεωρητικά αλλά και πρακτικά.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Αγιουτάντης, Ζ., 2009. Στοιχεία Διάτρησης και Ανατίναξης, εκδόσεις Ίων, Αθήνα.
2. Αγιουτάντης, Ζ., 2014. BlastWin, Λογισμικό πακέτο υπολογισμού παραμέτρων ανατινάξεων.
3. Κουγιουρούκης, Κ., 2007a, Τεχνική μελέτη εκμετάλλευσης λατομείου αδρανών έκτασης 153,06 στρεμμάτων στη θέση «Προφήτης Ηλίας» του Δημοτικού Διαμερίσματος Γαλάτιστας του Δήμου Ανθεμούντα Ν. Χαλκιδικής (Λατομική Περιοχή Γαλάτιστας)
4. Κουγιουρούκης, Κ., 2007b, Μελέτη επιπτώσεων και αποκατάστασης περιβάλλοντος από την εκμετάλλευση λατομείου αδρανών έκτασης 153,06 στρεμμάτων στη θέση «Προφήτης Ηλίας» του Δημοτικού Διαμερίσματος Γαλάτιστας του Δήμου Ανθεμούντα Ν. Χαλκιδικής (Λατομική Περιοχή Γαλάτιστας)
5. Κουγιουρούκης, Κ., 2009, Τροποποίηση Τεχνικής μελέτης εκμετάλλευσης λατομείου αδρανών έκτασης 153,06 στρεμμάτων στη θέση «Προφήτης Ηλίας» του Δημοτικού Διαμερίσματος Γαλάτιστας του Δήμου Ανθεμούντα Ν. Χαλκιδικής (Λατομική Περιοχή Γαλάτιστας)
6. Μπαρμποπούλου, Ε., 2012. Διπλωματική εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης. Χανιά.
7. Πολυχρονόπουλος, Γ., 1979. Εκρηκτικές ύλες, Τεχνική εξορύξεως των πετρωμάτων, Καθαίρεση κτιρίων, εκδόσεις Β. Σελλούντος. Αθήνα.
8. Τσουτρέλης, Χ., 1997. Εκρηκτικές ύλες και τεχνική των ανατινάξεων, Τόμος 1, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π. Αθήνα.
9. Τσουτρέλης, Χ., 2001. Εκρηκτικές Ύλες και τεχνική των ανατινάξεων, Τόμος 2, εκδόσεις Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής βιβλιογραφία-

1. Jimeno, C. L., Jimeno, E.L and Carcedo, F. J. A. (1995). Drilling and blasting of rocks. A.A. Balkema

Διαδικτυακές πηγές

1. el.Wikipedia.org (Βικιπαιδεία εκρηκτικές ύλες)
2. http://www.metal.ntua.gr/uploads/3283/EXORIXI_PETROMATON_I_Part_2.pdf
3. http://www.metal.ntua.gr/uploads/3284/EXORIXI_PETROMATON_I_Part_3.pdf

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Παράρτημα Α

Μετρήσεις μονοαξονικής θλίψης και υπολογισμένες αξονικής παραμόρφωσης και τάσης

- Δοκίμιο 1

Πίνακας ΔΜ1 Παράρτημα Α

Load Cell MTS (kN)	LVDT 25 (mm)	ε (mm/mm)	σ (Mpa)
3.833	4.309	0.000253	1.787
4.328	4.312	0.000273	2.018
4.857	4.314	0.000291	2.265
5.399	4.316	0.000308	2.518
5.970	4.317	0.000326	2.784
6.549	4.320	0.000344	3.054
7.146	4.322	0.000363	3.332
7.743	4.323	0.000379	3.611
8.365	4.325	0.000396	3.901
9.028	4.327	0.000413	4.210
9.746	4.329	0.000428	4.545
10.457	4.331	0.000444	4.876
11.167	4.332	0.00046	5.208
11.936	4.334	0.000476	5.566
12.765	4.336	0.000497	5.953
13.746	4.339	0.00052	6.410
14.875	4.341	0.000542	6.937
16.156	4.344	0.000567	7.534
17.543	4.347	0.000591	8.180
19.078	4.349	0.000615	8.896
20.682	4.352	0.000639	9.644
22.335	4.355	0.000662	10.415
24.082	4.357	0.000686	11.230
25.939	4.360	0.000711	12.096
27.909	4.363	0.000736	13.015

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

29.979	4.366	0.000764	13.980
32.182	4.369	0.000791	15.007
34.471	4.371	0.000815	16.075
36.752	4.374	0.000842	17.138
39.160	4.377	0.00087	18.261
41.667	4.380	0.000897	19.430
44.234	4.384	0.000926	20.627
46.899	4.386	0.000951	21.870
49.627	4.389	0.000979	23.142
52.394	4.392	0.001006	24.432
55.230	4.396	0.001037	25.755
58.150	4.399	0.001068	27.116
61.174	4.402	0.001096	28.526
64.150	4.405	0.001123	29.914
67.260	4.409	0.001154	31.364
70.408	4.412	0.001184	32.832
73.676	4.416	0.001217	34.356
76.958	4.419	0.001246	35.887
80.255	4.422	0.001274	37.424
83.733	4.425	0.001301	39.046
87.134	4.428	0.00133	40.632
90.708	4.431	0.001358	42.298
94.219	4.435	0.001387	43.936
97.780	4.438	0.001421	45.596
101.456	4.441	0.00145	47.311
105.250	4.445	0.00148	49.080
109.225	4.448	0.001509	50.934
113.188	4.451	0.001536	52.781
117.324	4.454	0.001565	54.710
121.561	4.457	0.001593	56.686
125.746	4.460	0.001622	58.637
130.271	4.464	0.001653	60.748
134.665	4.467	0.001683	62.796
139.217	4.471	0.001716	64.919

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

143.895	4.474	0.001747	67.101
148.503	4.477	0.001776	69.249
153.377	4.480	0.001803	71.522
158.095	4.484	0.001833	73.722
162.993	4.487	0.001862	76.006
167.991	4.490	0.001892	78.337
173.184	4.494	0.001923	80.759
178.273	4.496	0.001949	83.132
183.050	4.499	0.001977	85.359
187.924	4.503	0.002004	87.632
193.050	4.506	0.002033	90.022
198.338	4.509	0.002067	92.488
203.691	4.513	0.002095	94.984
208.802	4.516	0.002128	97.368
214.211	4.520	0.002159	99.890
219.387	4.523	0.002189	102.304
224.582	4.526	0.00222	104.726
229.933	4.530	0.002253	107.221
235.144	4.534	0.002286	109.651
240.522	4.537	0.002318	112.159
245.571	4.541	0.002351	114.514
250.732	4.544	0.002384	116.921
255.814	4.548	0.002417	119.290
260.612	4.552	0.002449	121.528
265.602	4.555	0.00248	123.854
270.367	4.559	0.002513	126.076
275.112	4.562	0.002542	128.289
279.158	4.565	0.002572	130.176
282.860	4.569	0.002609	131.902
286.210	4.575	0.002657	133.464
271.197	4.743	0.004184	126.464
117.310	4.764	0.004378	54.703
32.697	4.397	0.001051	15.247

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

- Δοκίμιο 2

Πίνακας ΔΜ2 Παράρτημα Α

Load Cell MTS (kN)	LVDT 25 (mm)	ε (mm/mm)	σ (Mpa)
0.214	6.500	0	0.099
0.211	6.506	6.33E-05	0.098
0.211	6.512	0.000116	0.098
0.211	6.517	0.000164	0.098
0.212	6.521	0.000204	0.098
0.274	6.524	0.000234	0.127
0.456	6.527	0.000261	0.212
0.697	6.531	0.000294	0.324
0.958	6.534	0.000328	0.445
1.256	6.538	0.000359	0.583
1.568	6.541	0.000387	0.728
1.934	6.543	0.000413	0.898
2.307	6.546	0.000438	1.071
2.733	6.548	0.000461	1.269
3.162	6.551	0.000485	1.468
3.623	6.553	0.000506	1.682
4.111	6.555	0.000526	1.908
4.623	6.557	0.000544	2.146
5.145	6.559	0.000562	2.388
5.677	6.561	0.000581	2.636
6.252	6.563	0.000601	2.903
6.838	6.565	0.00062	3.174
7.454	6.567	0.000638	3.460
8.060	6.569	0.000657	3.742
8.717	6.571	0.000677	4.047
9.370	6.573	0.000694	4.350
10.079	6.575	0.000711	4.679
10.771	6.577	0.000728	5.001

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

11.501	6.578	0.000743	5.339
12.268	6.580	0.000762	5.695
13.152	6.583	0.000785	6.106
14.155	6.585	0.000809	6.571
15.323	6.588	0.000833	7.113
16.670	6.591	0.000858	7.739
18.121	6.593	0.000883	8.412
19.669	6.596	0.000908	9.131
21.324	6.599	0.000933	9.900
23.042	6.601	0.000956	10.697
24.845	6.603	0.000977	11.534
26.784	6.606	0.000999	12.434
28.870	6.608	0.00102	13.403
31.052	6.610	0.001043	14.416
33.348	6.613	0.001066	15.481
35.735	6.615	0.001088	16.590
38.207	6.618	0.001113	17.737
40.809	6.620	0.001135	18.945
43.466	6.623	0.00116	20.179
46.188	6.626	0.001187	21.442
48.934	6.628	0.001214	22.717
51.816	6.631	0.001243	24.055
54.711	6.634	0.001271	25.399
57.678	6.637	0.001299	26.776
60.719	6.641	0.001329	28.188
63.805	6.644	0.001359	29.621
67.009	6.647	0.001388	31.109
70.288	6.650	0.001418	32.631
73.602	6.653	0.001447	34.169
76.960	6.656	0.001475	35.728
80.330	6.659	0.001507	37.293
83.819	6.662	0.001535	38.912
87.347	6.665	0.001561	40.550
90.903	6.668	0.001586	42.201

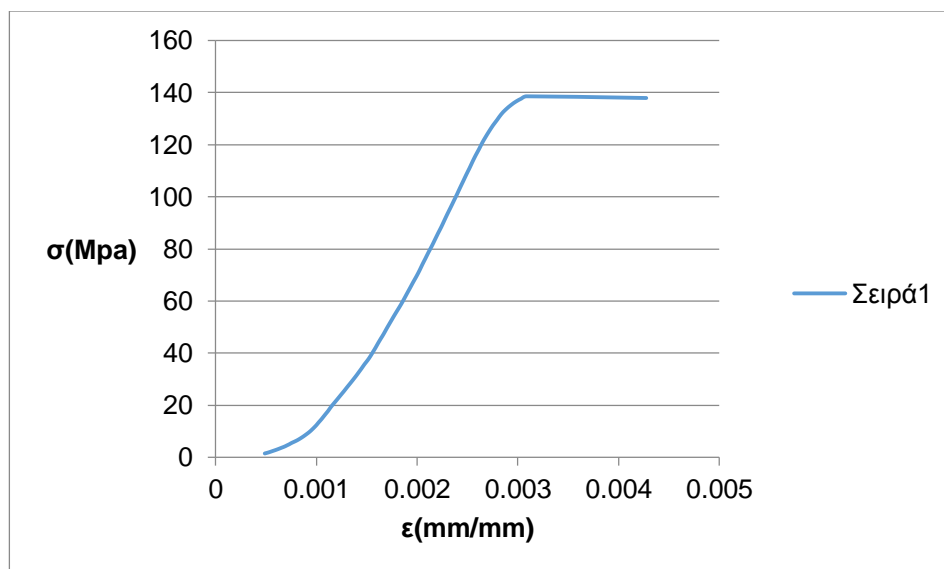
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

94.521	6.670	0.001611	43.880
98.180	6.673	0.001637	45.579
101.914	6.676	0.001665	47.313
105.788	6.679	0.00169	49.111
109.793	6.682	0.001718	50.971
113.911	6.685	0.001747	52.882
118.067	6.688	0.001776	54.811
122.261	6.691	0.001807	56.759
126.542	6.695	0.001838	58.746
131.011	6.698	0.001868	60.821
135.641	6.701	0.001898	62.970
140.175	6.704	0.001928	65.075
144.869	6.707	0.001958	67.254
149.638	6.711	0.00199	69.468
154.627	6.714	0.002022	71.784
159.615	6.717	0.00205	74.100
164.555	6.720	0.00208	76.393
169.664	6.724	0.002111	78.765
174.812	6.727	0.002144	81.155
180.056	6.730	0.002174	83.589
185.203	6.733	0.002205	85.979
190.393	6.737	0.002236	88.388
195.775	6.740	0.002267	90.887
201.117	6.743	0.002297	93.367
206.545	6.747	0.002329	95.887
212.024	6.750	0.002361	98.430
217.474	6.753	0.002393	100.961
222.923	6.757	0.002423	103.490
228.292	6.760	0.002454	105.983
233.858	6.763	0.002486	108.567
239.134	6.767	0.002517	111.016
244.405	6.770	0.002547	113.463
249.705	6.773	0.002578	115.924
254.864	6.777	0.002612	118.319

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

260.141	6.780	0.002644	120.768
264.994	6.784	0.002677	123.021
269.866	6.787	0.002713	125.283
274.591	6.791	0.002751	127.476
279.171	6.796	0.002792	129.603
283.672	6.800	0.002831	131.692
287.647	6.805	0.002877	133.538
291.397	6.810	0.00293	135.279
294.343	6.816	0.00298	136.646
296.690	6.821	0.003032	137.736
298.616	6.827	0.003084	138.630
297.196	6.953	0.004272	137.971
178.258	7.020	0.004902	82.755

Διάγραμμα



Σχήμα ΔΜ2 Παράρτημα Α

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

- Δοκίμιο 3

Πίνακας ΔΜ3 Παράρτημα Α

Load Cell MTS (kN)	LVDT 25 (mm)	ε (mm/mm)	σ (Mpa)
0.205	3.802	0	0.095
0.197	3.804	2.34E-05	0.092
0.198	3.809	7.02E-05	0.092
0.243	3.814	0.000107	0.113
0.380	3.817	0.000136	0.177
0.593	3.820	0.000167	0.276
0.889	3.824	0.000198	0.414
1.258	3.828	0.000233	0.586
1.601	3.832	0.00027	0.745
1.912	3.836	0.000305	0.890
2.234	3.840	0.000341	1.040
2.589	3.843	0.000372	1.205
2.976	3.846	0.000403	1.385
3.375	3.850	0.000434	1.571
3.789	3.853	0.000462	1.763
4.239	3.856	0.00049	1.973
4.744	3.859	0.000517	2.208
5.224	3.862	0.000541	2.432
5.705	3.865	0.000566	2.655
6.236	3.867	0.000591	2.902
6.767	3.870	0.000614	3.149
7.360	3.873	0.000639	3.425
7.941	3.875	0.000663	3.696
8.552	3.878	0.000687	3.980
9.210	3.881	0.000712	4.286
9.863	3.883	0.000734	4.591
10.558	3.886	0.000757	4.914
11.285	3.888	0.00078	5.252

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

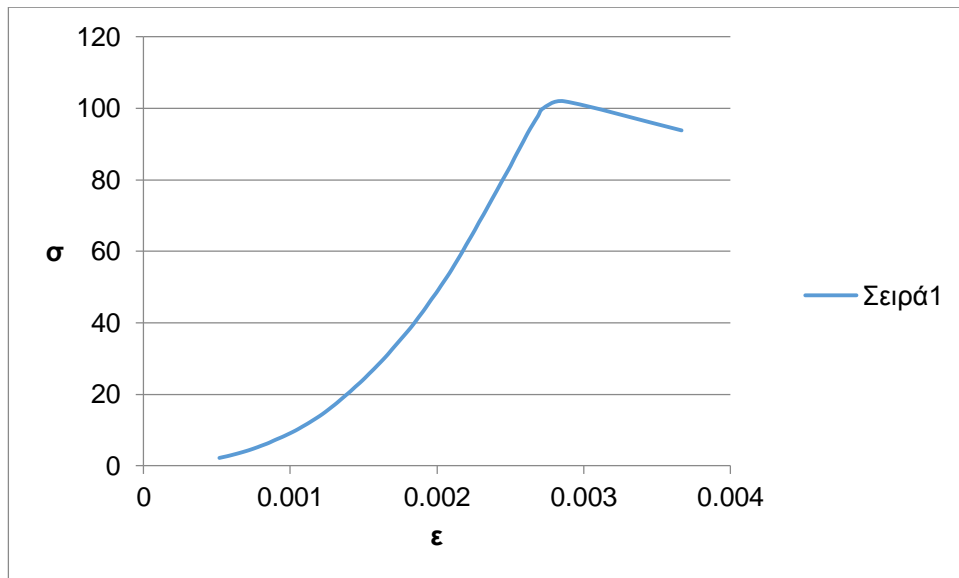
12.052	3.891	0.000802	5.609
12.850	3.893	0.000827	5.981
13.804	3.896	0.000854	6.425
14.864	3.899	0.00088	6.918
16.042	3.903	0.00091	7.466
17.351	3.907	0.000946	8.076
18.791	3.910	0.00098	8.746
20.301	3.914	0.001016	9.449
21.873	3.918	0.00105	10.180
23.520	3.922	0.001082	10.947
25.279	3.926	0.001117	11.765
27.118	3.929	0.00115	12.622
29.035	3.933	0.001184	13.514
31.087	3.937	0.001219	14.469
33.217	3.941	0.001252	15.460
35.394	3.944	0.001283	16.473
37.697	3.948	0.001316	17.545
40.033	3.951	0.001347	18.633
42.462	3.955	0.001379	19.763
44.925	3.958	0.001412	20.909
47.442	3.962	0.001443	22.081
49.988	3.965	0.001476	23.266
52.659	3.969	0.001507	24.509
55.372	3.972	0.001538	25.771
58.104	3.976	0.001569	27.043
60.935	3.979	0.001601	28.361
63.834	3.983	0.001632	29.710
66.832	3.986	0.001664	31.105
69.856	3.989	0.001692	32.513
72.974	3.993	0.001723	33.964
76.140	3.996	0.001754	35.437
79.370	4.000	0.001786	36.941
82.721	4.003	0.001818	38.500
86.115	4.007	0.001848	40.080

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

89.569	4.010	0.001877	41.688
93.093	4.013	0.001908	43.328
96.663	4.016	0.001936	44.990
100.285	4.020	0.001964	46.675
103.984	4.023	0.001995	48.397
107.790	4.026	0.002024	50.168
111.699	4.030	0.002054	51.987
115.717	4.033	0.002085	53.857
119.865	4.036	0.002113	55.788
124.071	4.039	0.002142	57.746
128.354	4.043	0.002171	59.739
132.736	4.046	0.002199	61.778
137.195	4.049	0.002229	63.854
141.732	4.052	0.002259	65.966
146.385	4.055	0.002287	68.131
151.039	4.059	0.002318	70.297
155.771	4.062	0.002347	72.500
160.590	4.065	0.002377	74.743
165.480	4.069	0.002408	77.018
170.411	4.072	0.002439	79.314
175.379	4.076	0.002471	81.626
180.355	4.079	0.002502	83.942
185.271	4.082	0.00253	86.230
190.147	4.086	0.00256	88.499
195.203	4.089	0.00259	90.852
200.227	4.092	0.00262	93.191
205.277	4.096	0.002654	95.541
210.195	4.100	0.002689	97.830
214.999	4.104	0.002726	100.066
219.129	4.120	0.002866	101.988
201.605	4.209	0.003668	93.832

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Διάγραμμα



Σχήμα ΔΜ3 Παράρτημα Α

- Δοκίμιο 4

Πίνακας ΔΜ4 Παράρτημα Α

Load Cell MTS (kN)	LVDT 25 (mm)	ϵ (mm/mm)	σ (Mpa)
0.363	7.629	0	0.169
0.524	7.634	4.69E-05	0.244
0.680	7.634	4.72E-05	0.317
0.795	7.635	4.99E-05	0.370
0.929	7.637	7.38E-05	0.433
1.078	7.641	0.000109	0.502
1.285	7.644	0.000141	0.598
1.483	7.647	0.000172	0.690
1.696	7.651	0.000203	0.790
1.967	7.654	0.000234	0.916
2.254	7.657	0.000266	1.050
2.601	7.660	0.000296	1.211
2.955	7.663	0.000327	1.376
3.335	7.667	0.00036	1.553
3.753	7.670	0.000394	1.748

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

4.165	7.674	0.000425	1.940
4.606	7.677	0.000458	2.145
5.056	7.680	0.000489	2.355
5.529	7.683	0.000519	2.575
6.010	7.687	0.000551	2.799
6.529	7.690	0.000583	3.041
7.038	7.693	0.000617	3.278
7.585	7.697	0.000653	3.532
8.158	7.699	0.00067	3.799
8.737	7.701	0.000687	4.069
9.316	7.704	0.000714	4.339
9.945	7.706	0.000739	4.632
10.588	7.709	0.000766	4.931
11.298	7.712	0.000794	5.262
12.047	7.715	0.000823	5.611
12.862	7.718	0.000857	5.990
13.815	7.722	0.000894	6.434
14.879	7.726	0.00093	6.930
16.054	7.730	0.000966	7.477
17.313	7.733	0.001	8.063
18.635	7.737	0.001036	8.679
20.063	7.741	0.001076	9.344
21.547	7.745	0.001113	10.035
23.079	7.749	0.001147	10.749
24.654	7.752	0.001181	11.482
26.313	7.756	0.001218	12.255
28.062	7.760	0.001256	13.069
29.902	7.764	0.001294	13.926
31.798	7.767	0.001328	14.809
33.750	7.771	0.001363	15.718
35.816	7.775	0.001397	16.680
37.952	7.778	0.001431	17.675
40.168	7.782	0.001467	18.707
42.452	7.785	0.001499	19.771

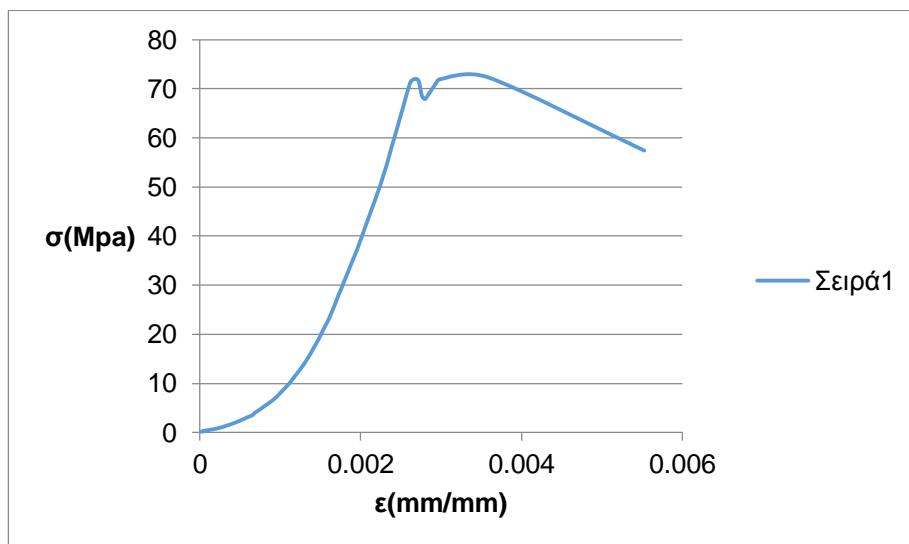
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

44.775	7.789	0.001532	20.853
47.177	7.792	0.001568	21.971
49.607	7.796	0.001602	23.103
52.094	7.799	0.001633	24.261
54.659	7.802	0.001664	25.456
57.289	7.805	0.001693	26.681
59.980	7.808	0.001723	27.934
62.726	7.812	0.001756	29.213
65.521	7.815	0.001788	30.515
68.364	7.819	0.001821	31.839
71.287	7.822	0.001854	33.200
74.312	7.826	0.001889	34.609
77.390	7.829	0.001925	36.042
80.549	7.833	0.001961	37.513
83.754	7.837	0.001994	39.006
87.042	7.840	0.002028	40.538
90.409	7.844	0.002061	42.105
93.791	7.847	0.002097	43.680
97.260	7.851	0.002132	45.296
100.777	7.855	0.002169	46.934
104.405	7.859	0.002206	48.624
108.165	7.863	0.002244	50.375
112.107	7.866	0.002279	52.211
116.135	7.870	0.002315	54.086
120.207	7.873	0.002349	55.983
124.408	7.877	0.002381	57.939
128.647	7.880	0.002417	59.914
132.938	7.884	0.002453	61.912
137.267	7.888	0.002486	63.928
141.602	7.891	0.002522	65.947
145.961	7.895	0.002556	67.977
150.144	7.898	0.00259	69.925
153.868	7.903	0.002633	71.660
154.014	7.912	0.002716	71.728

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

147.224	7.916	0.002761	68.565
145.797	7.920	0.002799	67.901
147.616	7.924	0.002839	68.748
150.152	7.929	0.002888	69.929
152.549	7.934	0.002935	71.045
154.465	7.940	0.002988	71.938
155.269	8.002	0.003586	72.312
123.270	8.203	0.005527	57.409

Διάγραμμα



Σχήμα ΔΜ4 Παράρτημα Α

- Δοκίμιο 5

Πίνακας ΔΜ5 Παράρτημα Α

Load Cell MTS (kN)	LVDT 25 (mm)	ε (mm/mm)	σ (Mpa)
-----------------------	--------------	-----------	---------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

0.264	5.139	0	0.123
0.256	5.142	2.52E-05	0.119
0.256	5.147	7.4945E-05	0.119
0.256	5.152	0.00012144	0.120
0.255	5.157	0.00016453	0.119
0.294	5.161	0.00020399	0.137
0.395	5.165	0.00023644	0.184
0.586	5.168	0.0002676	0.273
0.812	5.171	0.00029692	0.379
1.088	5.174	0.00032363	0.507
1.427	5.178	0.00035507	0.665
1.752	5.181	0.0003892	0.817
2.051	5.185	0.00042627	0.956
2.358	5.189	0.00046296	1.100
2.690	5.193	0.00049833	1.254
3.030	5.197	0.00053201	1.413
3.387	5.200	0.000566	1.579
3.747	5.204	0.00059704	1.747
4.186	5.207	0.00062654	1.952
4.626	5.210	0.00065772	2.157
5.110	5.213	0.00068444	2.383
5.610	5.216	0.00071064	2.616
6.146	5.219	0.00073718	2.866
6.679	5.222	0.0007626	3.114
7.245	5.224	0.00078756	3.379
7.876	5.227	0.00081252	3.673
8.496	5.230	0.00083626	3.962
9.139	5.232	0.00086	4.262
9.839	5.235	0.00088205	4.588
10.526	5.237	0.00090222	4.908
11.239	5.239	0.00092202	5.241
12.018	5.241	0.0009405	5.604
12.869	5.243	0.00096112	6.001
13.808	5.246	0.00098379	6.439

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

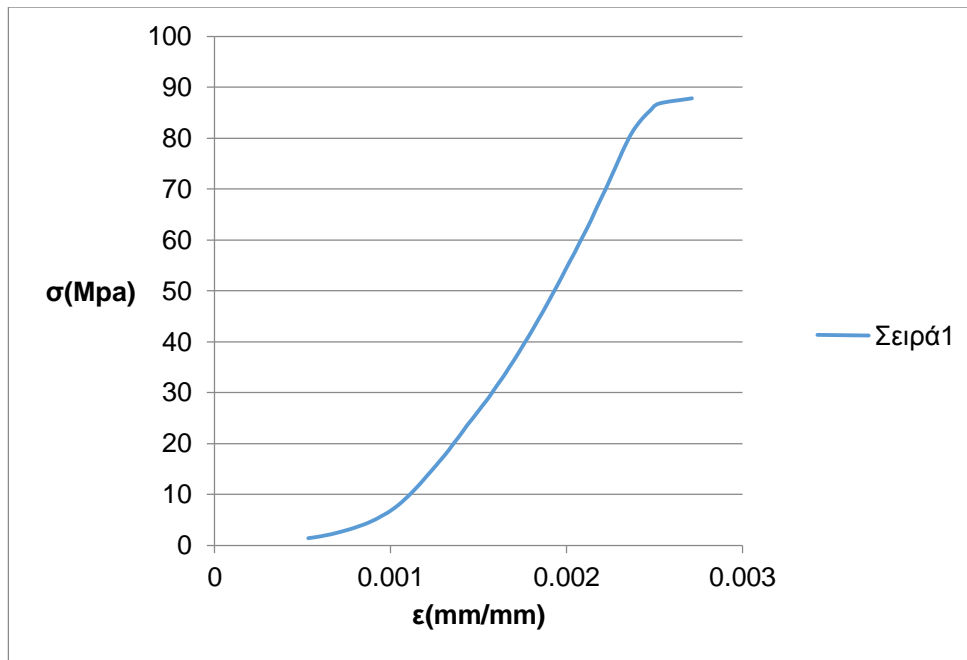
14.955	5.248	0.00100671	6.974
16.246	5.251	0.00103098	7.576
17.716	5.254	0.00105551	8.261
19.253	5.256	0.0010786	8.978
20.870	5.259	0.00110198	9.732
22.580	5.261	0.00112486	10.529
24.355	5.264	0.00114779	11.357
26.255	5.266	0.00117144	12.243
28.292	5.269	0.00119503	13.193
30.446	5.271	0.00122045	14.197
32.693	5.274	0.0012472	15.245
35.011	5.277	0.00127335	16.326
37.435	5.280	0.00130136	17.457
39.924	5.283	0.00132878	18.617
42.469	5.286	0.00135358	19.804
45.094	5.289	0.00138134	21.028
47.816	5.292	0.00140866	22.297
50.592	5.295	0.00143526	23.592
53.370	5.298	0.00146544	24.887
56.207	5.301	0.00149513	26.210
59.109	5.305	0.00152491	27.564
62.107	5.308	0.00155673	28.962
65.159	5.311	0.00158446	30.385
68.275	5.314	0.0016137	31.838
71.457	5.317	0.00164435	33.321
74.725	5.321	0.00167233	34.846
78.028	5.324	0.0017016	36.386
81.436	5.327	0.00173042	37.975
84.840	5.330	0.00175798	39.562
88.327	5.333	0.00178717	41.188
91.849	5.336	0.00181506	42.831
95.448	5.339	0.00184275	44.509
99.079	5.342	0.00187107	46.202
102.814	5.345	0.00189862	47.944

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

106.677	5.348	0.00192686	49.745
110.709	5.351	0.00195652	51.625
114.802	5.354	0.00198532	53.534
118.995	5.358	0.0020145	55.489
123.289	5.361	0.00204616	57.492
127.619	5.364	0.00207515	59.511
132.067	5.368	0.00210661	61.585
136.550	5.371	0.00213703	63.676
141.114	5.374	0.00216487	65.804
145.748	5.377	0.00219425	67.965
150.468	5.381	0.00222518	70.166
155.267	5.384	0.00225414	72.403
160.094	5.387	0.00228361	74.655
164.975	5.390	0.00231241	76.930
169.878	5.393	0.00234381	79.217
174.802	5.397	0.00237999	81.513
179.512	5.403	0.00242783	83.709
183.033	5.408	0.00247415	85.351
186.149	5.413	0.00252623	86.804
188.356	5.434	0.00271343	87.834
182.738	4.564	-0.0053003	85.214
136.292	-0.194	-0.0491332	63.555
39.035	-0.196	-0.0491536	18.202

Διάγραμμα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



Σχήμα ΔΜ5 Παράρτημα Α

- Δοκίμιο 6

Πίνακας ΔΜ6 Παράρτημα Α

Load Cell MTS (kN)	LVDT 25 (mm)	ε (mm/mm)	σ (Mpa)
0.283	-0.198	0	0.132
0.343	-0.198	9.23502E-05	0.160
0.417	-0.198	0.000181198	0.194
0.491	-0.198	0.000278157	0.228
0.582	-0.198	0.000366359	0.271
0.681	-0.198	0.000458618	0.317
0.815	-0.198	0.000554654	0.379
0.971	-0.198	0.000642028	0.452
1.213	-0.198	0.000734378	0.564
1.436	-0.198	0.000829954	0.668
1.721	-0.198	0.00091788	0.801
2.056	-0.198	0.001012995	0.956
2.365	-0.198	0.001105806	1.100
2.725	-0.198	0.001194286	1.268
3.123	-0.198	0.001289954	1.453

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

3.526	-0.198	0.001381198	1.640
3.974	-0.198	0.001469862	1.849
4.428	-0.198	0.001564885	2.060
4.906	-0.198	0.001653733	2.282
5.435	-0.198	0.0017447	2.528
5.978	-0.198	0.001842304	2.781
6.536	-0.198	0.00193023	3.040
7.128	-0.198	0.002023226	3.315
7.750	-0.198	0.002116959	3.605
8.376	-0.198	0.002204424	3.896
9.021	-0.198	0.002300184	4.196
9.716	-0.198	0.002392166	4.519
10.440	-0.198	0.002482949	4.856
11.197	-0.198	0.00257788	5.208
11.966	-0.198	0.002669309	5.566
12.835	-0.198	0.002759447	5.970
13.793	-0.198	0.00285447	6.416
14.898	-0.198	0.002944608	6.930
16.212	-0.198	0.003035484	7.540
17.699	-0.198	0.003130876	8.232
19.294	-0.198	0.003219171	8.974
20.969	-0.198	0.00331235	9.754
22.745	-0.198	0.003405714	10.579
24.565	-0.198	0.003494101	11.426
26.508	-0.198	0.003587742	12.330
28.583	-0.198	0.003681106	13.295
30.727	-0.198	0.003770876	14.292
32.992	-0.198	0.003865714	15.346
35.314	-0.198	0.003956037	16.425
37.728	-0.198	0.00404765	17.548
40.203	-0.198	0.004142028	18.700
42.769	-0.198	0.004231336	19.893
45.360	-0.198	0.004321382	21.098
48.033	-0.198	0.004417512	22.342

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

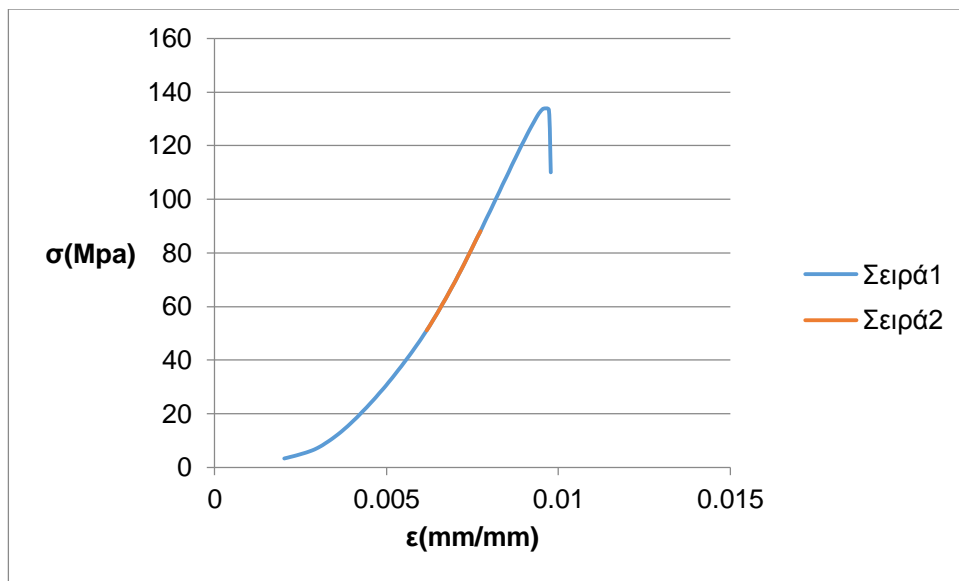
50.770	-0.198	0.004507373	23.615
53.543	-0.198	0.00460129	24.905
56.390	-0.198	0.004694747	26.228
59.285	-0.198	0.004782765	27.575
62.218	-0.198	0.004877788	28.939
65.210	-0.198	0.004971982	30.331
68.313	-0.198	0.00506129	31.775
71.453	-0.198	0.0051553	33.235
74.616	-0.198	0.005245899	34.706
77.872	-0.198	0.005336498	36.221
81.166	-0.198	0.005431613	37.753
84.485	-0.198	0.005521106	39.296
87.870	-0.198	0.005613641	40.871
91.338	-0.198	0.005707558	42.484
94.854	-0.198	0.005797143	44.120
98.463	-0.198	0.005889493	45.798
102.159	-0.198	0.005983687	47.517
105.961	-0.198	0.006073364	49.286
109.852	-0.198	0.00616765	51.096
113.870	-0.198	0.006261198	52.964
118.007	-0.198	0.00635106	54.888
122.243	-0.198	0.00644553	56.859
126.492	-0.198	0.006535392	58.835
130.876	-0.198	0.0066247	60.874
135.366	-0.198	0.006720645	62.963
139.908	-0.198	0.006810507	65.075
144.522	-0.198	0.006902396	67.221
149.223	-0.198	0.006997327	69.408
154.010	-0.198	0.007085714	71.634
158.935	-0.198	0.007180092	73.925
163.960	-0.198	0.00727318	76.262
169.009	-0.198	0.007363134	78.611
174.146	-0.198	0.007456774	81.000
179.306	-0.198	0.007547742	83.400

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

184.339	-0.198	0.00763788	85.741
189.420	-0.198	0.00773318	88.105
194.668	-0.198	0.007821659	90.546
199.953	-0.198	0.007912166	93.004
205.245	-0.198	0.008007926	95.465
210.572	-0.198	0.00809871	97.943
215.964	-0.198	0.008190968	100.451
221.299	-0.198	0.008285069	102.932
226.624	-0.198	0.008372719	105.409
231.872	-0.198	0.008467005	107.850
237.188	-0.198	0.008560553	110.323
242.556	-0.198	0.008648664	112.820
247.803	-0.198	0.00874341	115.261
252.976	-0.198	0.00883447	117.666
258.041	-0.198	0.008923687	120.022
263.070	-0.198	0.009018894	122.361
267.986	-0.198	0.009108387	124.648
272.759	-0.198	0.009201014	126.868
277.410	-0.198	0.009295484	129.032
281.749	-0.198	0.009383779	131.050
285.516	-0.198	0.009478618	132.802
287.714	-0.198	0.009574654	133.824
286.582	-0.198	0.00972212	133.297
236.597	-0.199	0.009777235	110.048
74.488	-0.199	0.00235318	34.647

Διάγραμμα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



Σχήμα ΔΜ6 Παράρτημα Α

Μετρήσεις αντοχής σε εφελκυσμό και υπολογισμένες μετατοπίσεις

- Δοκίμιο 1

Πίνακας ΔΕ1 Παράρτημα Α

Displacement MTS (mm)	Load Cell MTS (kN)	Μετατόπιση (mm)
4.553	3.698	0.104
4.832	3.700	0.106
5.076	3.702	0.107
5.319	3.703	0.109
5.539	3.705	0.111
5.763	3.707	0.112
5.983	3.708	0.114
6.197	3.710	0.116
6.412	3.711	0.117
6.634	3.713	0.119
6.837	3.714	0.120
7.032	3.715	0.121
7.242	3.717	0.123
7.453	3.718	0.124
7.670	3.719	0.125
7.845	3.721	0.126

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

8.034	3.722	0.128
8.227	3.723	0.129
8.421	3.724	0.130
8.615	3.725	0.131
8.832	3.726	0.132
9.033	3.727	0.133
9.204	3.728	0.134
9.413	3.729	0.135
9.613	3.730	0.136
9.808	3.731	0.137
10.013	3.732	0.138
10.213	3.733	0.139
10.403	3.734	0.140
10.614	3.735	0.141
10.812	3.736	0.142
11.007	3.737	0.143
11.224	3.738	0.144
11.425	3.739	0.145
11.635	3.740	0.146
11.828	3.741	0.147
12.023	3.742	0.148
12.230	3.743	0.149
12.426	3.744	0.150
12.610	3.745	0.151
12.794	3.746	0.152
12.996	3.747	0.153
13.172	3.748	0.154
13.368	3.749	0.155
13.577	3.750	0.156
13.754	3.751	0.157
13.942	3.752	0.158
14.135	3.753	0.159
14.329	3.754	0.159
14.523	3.755	0.160

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

14.716	3.755	0.161
14.909	3.756	0.162
15.127	3.757	0.163
15.304	3.758	0.164
15.515	3.759	0.165
15.715	3.760	0.166
15.910	3.761	0.167
16.118	3.762	0.168
16.352	3.763	0.169
16.555	3.764	0.170
16.750	3.765	0.171
16.945	3.766	0.172
17.137	3.767	0.173
17.286	3.787	0.193
15.190	3.837	0.242
12.418	3.867	0.273

- Δοκίμιο 2

Πίνακας ΔΕ2 Παράρτημα Α

Displacement MTS (mm)	Load Cell MTS (kN)	Μετατόπιση (mm)
0.249	3.602	0.000
0.240	3.605	0.003
0.279	3.608	0.007
0.326	3.612	0.010
0.337	3.615	0.014
0.370	3.619	0.017
0.444	3.623	0.021
0.501	3.627	0.025

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

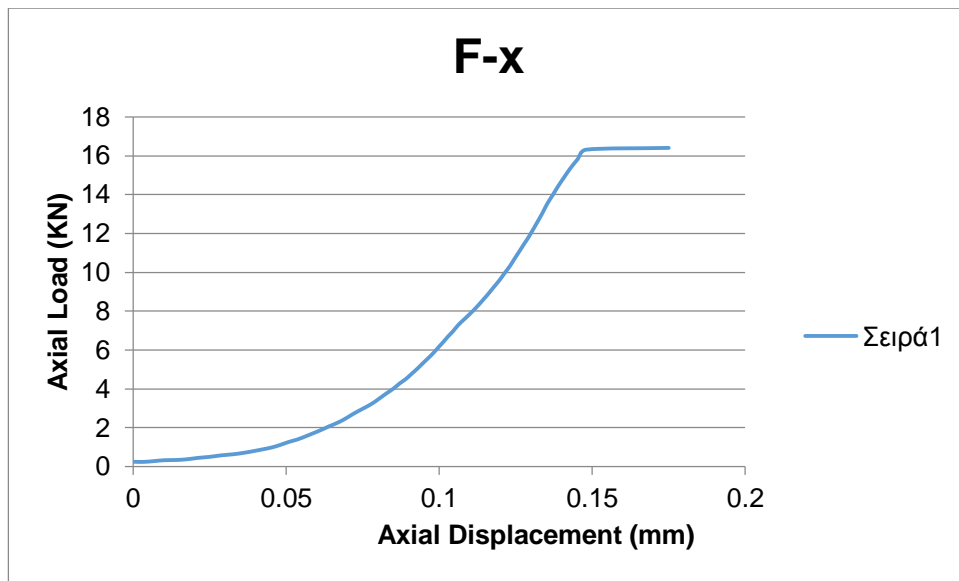
0.581	3.630	0.029
0.634	3.634	0.033
0.709	3.638	0.036
0.802	3.641	0.040
0.897	3.644	0.043
0.993	3.647	0.046
1.123	3.650	0.048
1.271	3.652	0.051
1.390	3.655	0.054
1.551	3.658	0.056
1.709	3.660	0.059
1.880	3.663	0.061
2.062	3.665	0.064
2.232	3.668	0.066
2.425	3.670	0.069
2.656	3.673	0.071
2.871	3.675	0.074
3.080	3.678	0.076
3.292	3.680	0.079
3.533	3.682	0.081
3.772	3.684	0.083
4.007	3.687	0.085
4.270	3.689	0.087
4.511	3.691	0.089
4.782	3.693	0.091
5.047	3.695	0.093
5.315	3.696	0.095
5.566	3.698	0.096
5.846	3.700	0.098
6.133	3.701	0.100
6.423	3.703	0.101
6.705	3.705	0.103
6.976	3.706	0.105
7.286	3.708	0.106

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

7.588	3.710	0.108
7.916	3.712	0.110
8.249	3.714	0.112
8.575	3.716	0.114
8.903	3.718	0.116
9.257	3.720	0.118
9.584	3.721	0.120
9.957	3.723	0.121
10.300	3.725	0.123
10.667	3.726	0.125
11.034	3.728	0.126
11.407	3.729	0.128
11.793	3.731	0.129
12.215	3.732	0.131
12.624	3.734	0.132
13.051	3.735	0.134
13.517	3.737	0.135
13.954	3.739	0.137
14.419	3.740	0.139
14.874	3.742	0.141
15.349	3.744	0.143
15.832	3.747	0.145
16.311	3.750	0.148
16.403	3.777	0.175
13.220	3.760	0.158

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Διάγραμμα



Σχήμα ΔΕ2 Παράρτημα Α

- Δοκίμιο 3

Πίνακας ΔΕ3 Παράρτημα Α

Displacement MTS (mm)	Load Cell MTS (kN)	Μετατόπιση (mm)
0.140	3.588	0.000
0.138	3.586	-0.002
0.138	3.585	-0.003
0.138	3.585	-0.003
0.138	3.585	-0.003
0.138	3.585	-0.003
0.137	3.585	-0.003
0.137	3.585	-0.003
0.138	3.587	-0.001
0.138	3.592	0.004
0.137	3.598	0.010
0.159	3.604	0.016
0.218	3.612	0.024
0.233	3.620	0.032
0.242	3.630	0.042
0.300	3.640	0.052
0.365	3.650	0.062

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

0.508	3.662	0.074
0.701	3.673	0.085
0.971	3.684	0.096
1.322	3.693	0.105
1.742	3.698	0.110
2.108	3.701	0.113
2.474	3.704	0.116
2.795	3.707	0.119
3.068	3.709	0.121
3.314	3.711	0.123
3.549	3.713	0.125
3.780	3.715	0.127
4.005	3.716	0.128
4.205	3.718	0.130
4.399	3.719	0.131
4.617	3.721	0.133
4.833	3.722	0.134
5.029	3.724	0.136
5.224	3.725	0.137
5.430	3.726	0.138
5.626	3.728	0.140
5.821	3.729	0.141
6.039	3.730	0.142
6.257	3.731	0.143
6.447	3.732	0.144
6.647	3.733	0.145
6.851	3.734	0.146
7.048	3.736	0.148
7.243	3.737	0.149
7.460	3.738	0.150
7.662	3.739	0.151
7.877	3.740	0.152
8.082	3.741	0.153
8.287	3.742	0.154

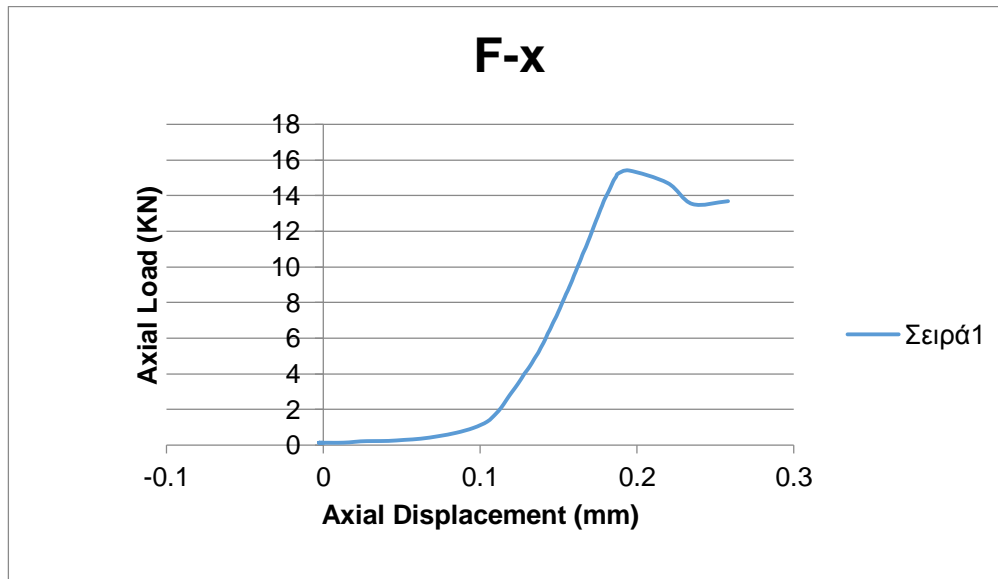
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

8.492	3.743	0.155
8.676	3.744	0.156
8.886	3.745	0.157
9.080	3.746	0.158
9.278	3.747	0.159
9.498	3.748	0.160
9.697	3.749	0.161
9.904	3.750	0.162
10.104	3.751	0.163
10.285	3.751	0.164
10.483	3.752	0.164
10.695	3.753	0.165
10.887	3.754	0.166
11.059	3.755	0.167
11.249	3.756	0.168
11.441	3.757	0.169
11.635	3.758	0.170
11.828	3.759	0.171
12.022	3.759	0.171
12.240	3.760	0.172
12.439	3.761	0.173
12.634	3.762	0.174
12.828	3.763	0.175
13.038	3.764	0.176
13.244	3.765	0.177
13.444	3.766	0.178
13.662	3.767	0.179
13.860	3.768	0.180
14.054	3.769	0.181
14.268	3.770	0.182
14.474	3.771	0.183
14.676	3.772	0.184
14.885	3.773	0.185
15.062	3.775	0.187

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

15.237	3.776	0.188
15.415	3.783	0.195
14.709	3.808	0.220
13.536	3.823	0.235
13.693	3.846	0.258

Διάγραμμα



Σχήμα ΔΕ3 Παράρτημα Α

- Δοκίμιο 4

Πίνακας ΔΕ4 Παράρτημα Α

Displacement MTS (mm)	Load Cell MTS (kN)	Μετατόπιση (mm)
0.152	3.594	0.000
0.138	3.582	-0.012
0.138	3.572	-0.023
0.138	3.562	-0.033
0.138	3.553	-0.042
0.138	3.545	-0.049
0.138	3.539	-0.056
0.138	3.533	-0.061
0.138	3.529	-0.066

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

0.137	3.526	-0.069
0.138	3.524	-0.070
0.138	3.524	-0.071
0.138	3.524	-0.071
0.138	3.524	-0.071
0.136	3.524	-0.071
0.137	3.524	-0.070
0.137	3.527	-0.068
0.137	3.531	-0.064
0.137	3.536	-0.058
0.137	3.543	-0.051
0.136	3.551	-0.043
0.137	3.561	-0.034
0.137	3.572	-0.023
0.137	3.584	-0.010
0.136	3.599	0.004
0.136	3.614	0.020
0.139	3.632	0.038
0.210	3.650	0.055
0.437	3.665	0.071
0.822	3.678	0.084
1.277	3.688	0.094
1.753	3.696	0.101
2.205	3.701	0.107
2.638	3.706	0.111
2.995	3.710	0.115
3.300	3.713	0.119
3.597	3.715	0.121
3.875	3.716	0.122
4.103	3.717	0.122
4.319	3.718	0.123
4.517	3.719	0.124
4.711	3.720	0.125
4.904	3.721	0.126

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

5.098	3.722	0.127
5.316	3.723	0.129
5.516	3.724	0.130
5.712	3.725	0.131
5.918	3.726	0.132
6.116	3.727	0.133
6.307	3.728	0.134
6.514	3.729	0.135
6.711	3.730	0.135
6.905	3.731	0.136
7.092	3.732	0.137
7.295	3.733	0.138
7.513	3.734	0.139
7.712	3.734	0.140
7.921	3.735	0.141
8.117	3.736	0.142
8.311	3.737	0.143
8.508	3.738	0.144
8.697	3.739	0.145
8.903	3.740	0.145
9.124	3.740	0.146
9.326	3.741	0.147
9.536	3.742	0.148
9.729	3.743	0.148
9.928	3.744	0.149
10.155	3.745	0.150
10.333	3.745	0.151
10.524	3.746	0.152
10.742	3.747	0.153
10.941	3.748	0.153
11.136	3.748	0.154
11.330	3.749	0.155
11.499	3.750	0.156
11.684	3.751	0.156

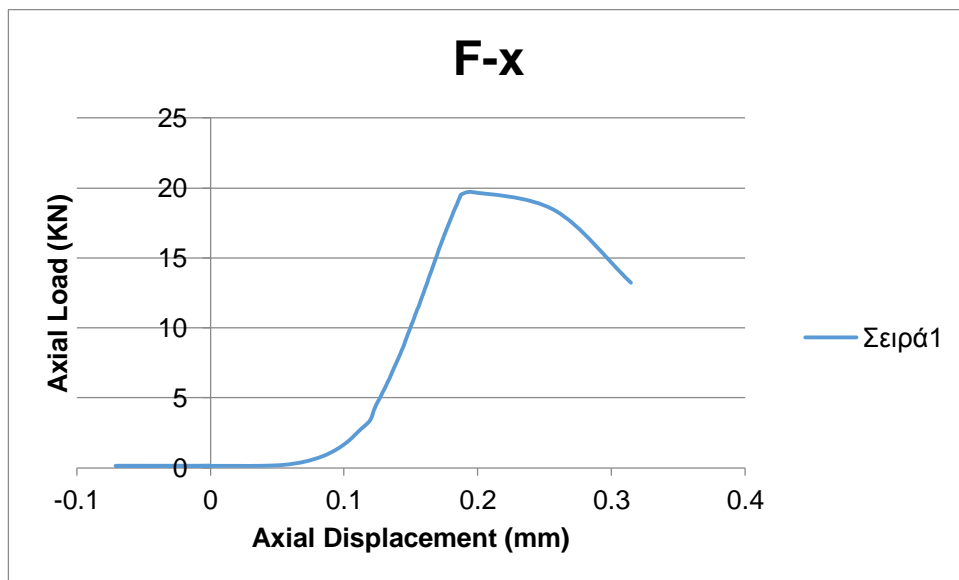
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

11.898	3.752	0.157
12.102	3.752	0.158
12.299	3.753	0.159
12.493	3.754	0.159
12.698	3.755	0.160
12.898	3.755	0.161
13.077	3.756	0.162
13.275	3.757	0.162
13.488	3.757	0.163
13.686	3.758	0.164
13.876	3.759	0.165
14.051	3.760	0.165
14.263	3.760	0.166
14.460	3.761	0.167
14.654	3.762	0.167
14.848	3.763	0.168
15.041	3.763	0.169
15.210	3.764	0.170
15.415	3.765	0.170
15.625	3.765	0.171
15.832	3.766	0.172
16.038	3.767	0.173
16.234	3.768	0.173
16.430	3.769	0.174
16.647	3.769	0.175
16.822	3.770	0.176
17.036	3.771	0.177
17.234	3.772	0.177
17.428	3.773	0.178
17.621	3.773	0.179
17.815	3.774	0.180
18.009	3.775	0.181
18.217	3.776	0.182
18.412	3.777	0.182

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

18.593	3.778	0.183
18.784	3.779	0.184
18.976	3.779	0.185
19.169	3.780	0.186
19.345	3.781	0.187
19.526	3.782	0.188
19.712	3.790	0.195
18.387	3.852	0.258
13.227	3.909	0.315

Διάγραμμα



Σχήμα ΔΕ4 Παράρτημα Α

- Δοκίμιο 5

Πίνακας ΔΕ5 Παράρτημα Α

Displacement MTS (mm)	Load Cell MTS (kN)	Μετατόπιση (mm)
0.239	3.533	0.000
0.232	3.536	0.002
0.232	3.540	0.006
0.234	3.545	0.012
0.289	3.552	0.019

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

0.323	3.560	0.027
0.383	3.569	0.036
0.471	3.579	0.045
0.572	3.588	0.054
0.704	3.597	0.064
0.847	3.607	0.073
1.035	3.615	0.081
1.298	3.623	0.089
1.618	3.629	0.096
1.989	3.635	0.102
2.343	3.640	0.107
2.699	3.644	0.110
3.029	3.647	0.114
3.280	3.650	0.116
3.532	3.652	0.119
3.793	3.654	0.121
4.005	3.657	0.123
4.217	3.659	0.126
4.428	3.661	0.127
4.648	3.663	0.129
4.848	3.664	0.131
5.054	3.666	0.133
5.276	3.667	0.134
5.465	3.669	0.135
5.658	3.670	0.137
5.856	3.672	0.138
6.072	3.673	0.140
6.270	3.674	0.141
6.464	3.676	0.142
6.657	3.677	0.144
6.827	3.678	0.145
7.004	3.680	0.146
7.186	3.681	0.148
7.387	3.682	0.149

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

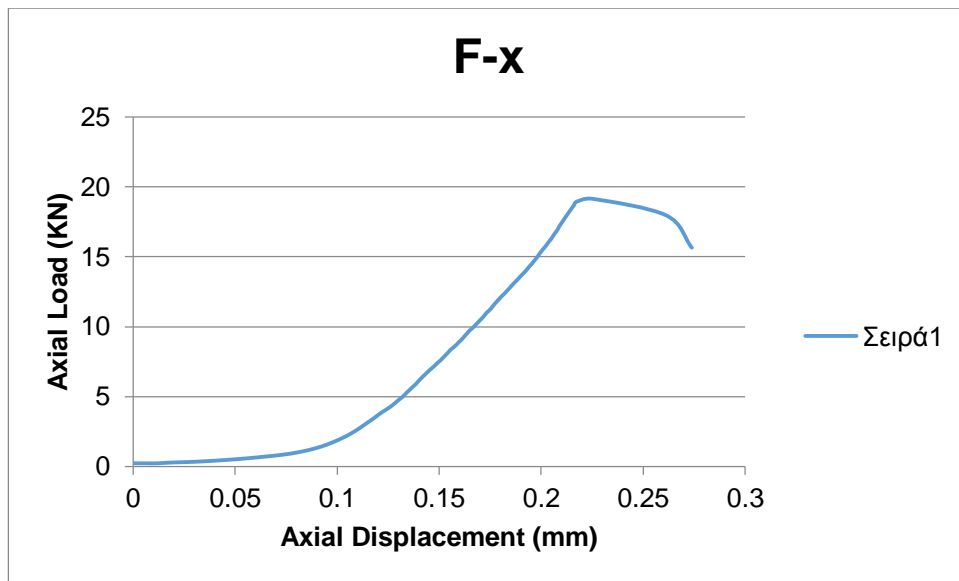
7.564	3.684	0.150
7.752	3.685	0.152
7.945	3.686	0.153
8.142	3.688	0.154
8.357	3.689	0.156
8.523	3.690	0.157
8.709	3.692	0.158
8.915	3.693	0.160
9.100	3.695	0.161
9.310	3.696	0.162
9.525	3.697	0.164
9.724	3.698	0.165
9.894	3.700	0.166
10.104	3.701	0.168
10.304	3.702	0.169
10.498	3.704	0.170
10.706	3.705	0.172
10.939	3.706	0.173
11.117	3.708	0.174
11.306	3.709	0.175
11.542	3.710	0.177
11.754	3.711	0.178
11.957	3.713	0.179
12.168	3.714	0.181
12.347	3.715	0.182
12.560	3.717	0.183
12.779	3.718	0.185
12.995	3.719	0.186
13.207	3.721	0.187
13.405	3.722	0.189
13.624	3.723	0.190
13.824	3.725	0.191
14.019	3.726	0.193
14.229	3.727	0.194

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

14.437	3.728	0.195
14.636	3.730	0.196
14.853	3.731	0.197
15.051	3.732	0.198
15.246	3.733	0.199
15.460	3.734	0.200
15.664	3.735	0.202
15.859	3.736	0.203
16.055	3.737	0.204
16.247	3.738	0.205
16.444	3.739	0.206
16.658	3.740	0.207
16.835	3.741	0.208
17.049	3.742	0.208
17.270	3.743	0.209
17.455	3.744	0.210
17.661	3.745	0.211
17.872	3.746	0.212
18.086	3.747	0.213
18.309	3.748	0.214
18.511	3.749	0.215
18.706	3.750	0.216
18.916	3.751	0.217
19.146	3.758	0.225
17.954	3.795	0.261
15.648	3.807	0.274

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Διάγραμμα



Σχήμα ΔΕ5 Παράρτημα Α

- Δοκίμιο 6

Πίνακας ΔΕ6 Παράρτημα Α

Displacement MTS (mm)	Load Cell MTS (kN)	Μετατόπιση (mm)
0.140	3.537	0.000
0.132	3.521	-0.015
0.132	3.507	-0.029
0.133	3.494	-0.042
0.133	3.483	-0.054
0.132	3.473	-0.064
0.132	3.464	-0.072
0.132	3.457	-0.080
0.131	3.451	-0.086
0.131	3.446	-0.091
0.132	3.443	-0.094
0.131	3.440	-0.096
0.132	3.439	-0.098
0.132	3.439	-0.098
0.131	3.439	-0.098
0.132	3.439	-0.098

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

0.132	3.439	-0.098
0.132	3.440	-0.097
0.132	3.443	-0.093
0.132	3.448	-0.088
0.132	3.454	-0.082
0.132	3.462	-0.074
0.131	3.472	-0.065
0.132	3.483	-0.054
0.131	3.496	-0.041
0.132	3.510	-0.027
0.132	3.526	-0.011
0.132	3.543	0.006
0.132	3.561	0.024
0.131	3.580	0.044
0.131	3.603	0.066
0.185	3.629	0.092
0.359	3.653	0.116
0.666	3.675	0.138
1.116	3.692	0.156
1.677	3.704	0.167
2.275	3.711	0.174
2.816	3.716	0.179
3.281	3.720	0.183
3.661	3.723	0.187
4.012	3.726	0.190
4.257	3.728	0.192
4.521	3.730	0.194
4.746	3.732	0.195
4.969	3.734	0.197
5.191	3.735	0.199
5.394	3.737	0.200
5.601	3.739	0.202
5.801	3.740	0.204
5.989	3.742	0.205

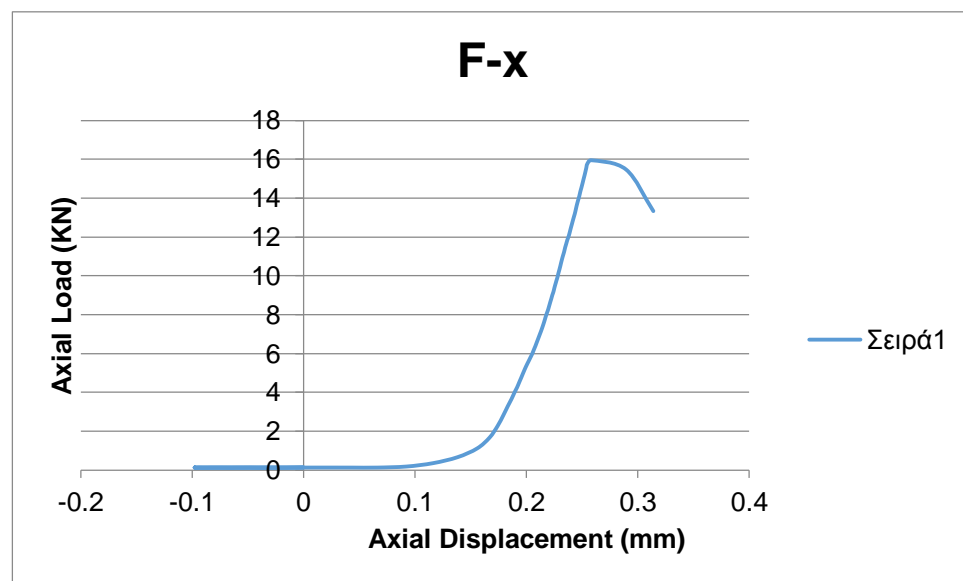
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

6.199	3.743	0.207
6.394	3.745	0.208
6.589	3.746	0.209
6.806	3.747	0.211
7.008	3.749	0.212
7.194	3.750	0.213
7.403	3.751	0.215
7.605	3.752	0.216
7.802	3.754	0.217
8.015	3.755	0.218
8.206	3.756	0.219
8.399	3.757	0.220
8.616	3.758	0.221
8.820	3.759	0.222
9.015	3.760	0.223
9.186	3.761	0.224
9.394	3.762	0.225
9.572	3.763	0.226
9.757	3.764	0.227
9.925	3.765	0.228
10.136	3.765	0.229
10.334	3.766	0.230
10.505	3.767	0.231
10.691	3.768	0.231
10.883	3.769	0.232
11.072	3.770	0.233
11.247	3.771	0.234
11.456	3.771	0.235
11.633	3.772	0.236
11.846	3.773	0.237
12.020	3.774	0.238
12.230	3.776	0.239
12.448	3.776	0.240
12.662	3.778	0.241

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

12.878	3.778	0.242
13.076	3.779	0.243
13.270	3.780	0.244
13.501	3.781	0.245
13.718	3.782	0.246
13.906	3.783	0.247
14.094	3.784	0.248
14.326	3.785	0.248
14.531	3.786	0.249
14.742	3.787	0.250
14.950	3.788	0.251
15.145	3.789	0.252
15.343	3.790	0.253
15.560	3.790	0.254
15.758	3.791	0.255
15.950	3.795	0.258
15.469	3.826	0.290
13.330	3.851	0.314

Διάγραμμα



Σχήμα ΔΕ6 Παράρτημα Α

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

- Δοκίμιο 7

Πίνακας ΔΕ7 Παράρτημα Α

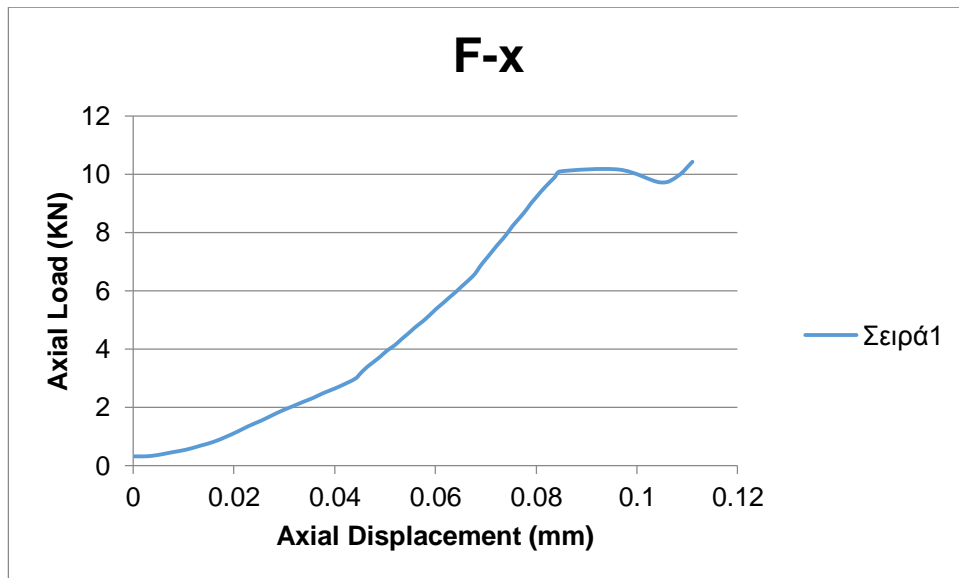
Displacement MTS (mm)	Load Cell MTS (kN)	Μετατόπιση (mm)
0.324	3.630	0.000
0.325	3.631	0.001
0.327	3.633	0.003
0.370	3.635	0.005
0.456	3.638	0.007
0.552	3.641	0.010
0.684	3.643	0.013
0.824	3.646	0.016
0.991	3.649	0.018
1.178	3.651	0.021
1.369	3.653	0.023
1.545	3.656	0.025
1.725	3.658	0.027
1.889	3.660	0.029
2.036	3.662	0.032
2.183	3.664	0.034
2.325	3.666	0.036
2.495	3.668	0.038
2.663	3.670	0.040
2.845	3.673	0.042
3.003	3.674	0.044
3.177	3.675	0.045
3.379	3.677	0.046
3.554	3.678	0.048
3.747	3.679	0.049
3.960	3.681	0.050
4.137	3.682	0.052
4.350	3.683	0.053
4.548	3.685	0.055

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

4.762	3.686	0.056
4.947	3.688	0.057
5.157	3.689	0.059
5.380	3.690	0.060
5.581	3.692	0.061
5.776	3.693	0.063
5.970	3.694	0.064
6.185	3.696	0.065
6.388	3.697	0.067
6.596	3.698	0.068
6.809	3.699	0.069
7.006	3.700	0.070
7.201	3.701	0.071
7.419	3.702	0.072
7.619	3.703	0.073
7.815	3.704	0.073
8.024	3.705	0.074
8.232	3.706	0.075
8.414	3.706	0.076
8.606	3.707	0.077
8.812	3.708	0.078
9.009	3.709	0.079
9.203	3.710	0.080
9.388	3.711	0.081
9.562	3.712	0.082
9.734	3.713	0.083
9.914	3.714	0.084
10.103	3.715	0.085
10.164	3.727	0.096
9.726	3.735	0.105
9.947	3.738	0.108
10.431	3.741	0.111

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Διάγραμμα



Σχήμα ΔΕ7 Παράρτημα Α

- Δοκίμιο 8

Πίνακας ΔΕ8 Παράρτημα Α

Displacement MTS (mm)	Load Cell MTS (kN)	Μετατόπιση (mm)
0.435	3.636	0.000
0.426	3.636	0.000
0.439	3.637	0.001
0.500	3.638	0.002
0.521	3.640	0.004
0.577	3.643	0.007
0.640	3.646	0.010
0.728	3.649	0.013
0.823	3.653	0.017
0.945	3.656	0.021
1.087	3.661	0.025
1.206	3.666	0.030
1.341	3.671	0.035
1.522	3.676	0.040

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

1.766	3.681	0.045
1.995	3.685	0.049
2.245	3.689	0.053
2.526	3.693	0.057
2.794	3.697	0.061
3.024	3.699	0.064
3.282	3.701	0.065
3.492	3.702	0.066
3.704	3.703	0.067
3.938	3.705	0.069
4.141	3.706	0.070
4.338	3.707	0.071
4.535	3.708	0.072
4.728	3.710	0.074
4.892	3.711	0.075
5.062	3.712	0.076
5.266	3.714	0.078
5.441	3.715	0.079
5.631	3.716	0.080
5.824	3.718	0.082
6.016	3.719	0.083
6.210	3.720	0.084
6.403	3.721	0.085
6.621	3.722	0.087
6.821	3.724	0.088
7.016	3.725	0.089
7.225	3.726	0.090
7.435	3.728	0.092
7.655	3.729	0.093
7.855	3.730	0.094
8.051	3.731	0.095
8.263	3.733	0.097
8.467	3.734	0.098
8.671	3.735	0.099

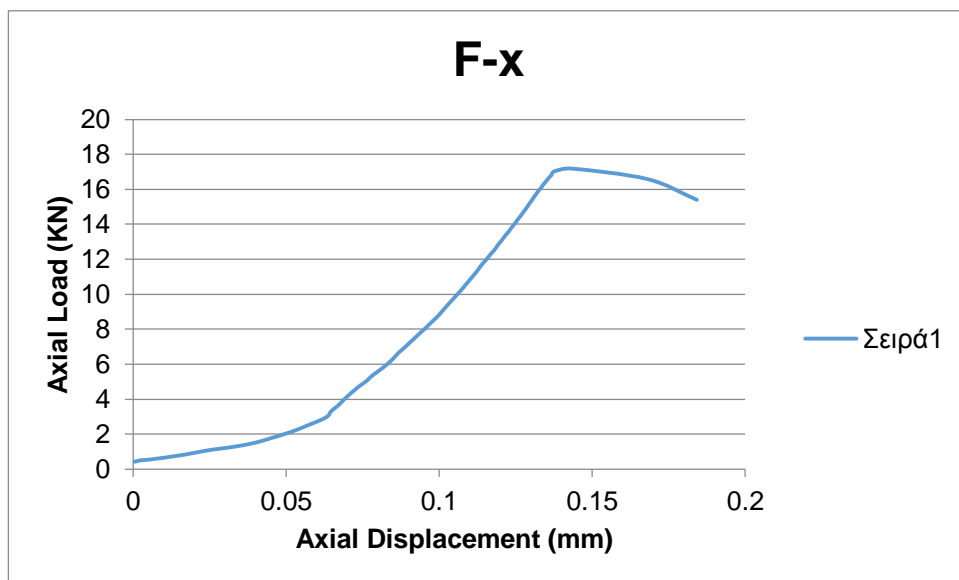
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

8.884	3.736	0.100
9.081	3.737	0.101
9.299	3.738	0.102
9.501	3.739	0.103
9.696	3.740	0.104
9.891	3.741	0.105
10.084	3.742	0.106
10.278	3.743	0.107
10.471	3.744	0.108
10.663	3.745	0.109
10.857	3.746	0.110
11.051	3.747	0.111
11.229	3.748	0.112
11.408	3.749	0.113
11.614	3.750	0.114
11.808	3.750	0.115
12.001	3.751	0.116
12.198	3.752	0.116
12.386	3.753	0.117
12.585	3.754	0.118
12.797	3.755	0.119
12.989	3.756	0.120
13.183	3.757	0.121
13.401	3.758	0.122
13.601	3.759	0.123
13.811	3.760	0.124
14.022	3.761	0.125
14.243	3.761	0.126
14.442	3.762	0.126
14.667	3.763	0.127
14.890	3.764	0.128
15.114	3.765	0.129
15.315	3.766	0.130
15.527	3.767	0.131

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

15.719	3.768	0.132
15.900	3.768	0.132
16.071	3.769	0.133
16.277	3.770	0.134
16.456	3.771	0.135
16.640	3.772	0.136
16.809	3.773	0.137
17.020	3.774	0.138
17.186	3.779	0.143
16.583	3.804	0.168
15.398	3.820	0.184

Διάγραμμα



Σχήμα ΔΕ8 Παράρτημα Α

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α