



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

**Εναλλακτικός τρόπος εξόρυξης σε ορυχείο ποζολάνης με χρήση  
μηχανήματος τύπου Surface Miner**

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΛΕΠΕΝΙΤΣΑ ΑΝΤΙΓΟΝΗ

Επιβλέπων: Γεώργιος Παναγιώτου

Καθηγητής Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2013





# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

**Εναλλακτικός τρόπος εξόρυξης σε ορυχείο ποζολάνης με χρήση  
μηχανήματος τύπου Surface Miner**

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΛΕΠΕΝΙΤΣΑ ΑΝΤΙΓΟΝΗ

Επιβλέπων: Γεώργιος Παναγιώτου

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από τριμελή επιτροπή στις \_\_/\_\_/2013

Γ.Παναγιώτου, Καθηγητής Ε.Μ.Π., .....

Θ.Μιχαλακόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π., .....

Μ.Μενεγάκη, Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π., .....

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2013

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

### Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την εργαστηριακή διερεύνηση της δυνατότητας να εξορυχθεί ποζολάνη σε υπαίθριο λατομείο στην Νήσο Μήλο με χρήση μηχανήματος τύπου Surface Miner αντί της χρησιμοποιούμενης μεθόδου εξόρυξης με εκρηκτικές ύλες και με χρήση προωθητή/ρίπερ. Τούτο επιτεύχθηκε με την εκτέλεση σχετικών δοκιμών σε δείγματα προερχόμενα από τις εκσκαφές που πραγματοποιούνται στο εν λειτουργία τμήμα του ορυχείου της εταιρείας ΛΑΒΑ Α.Ε. που βρίσκεται στην περιοχή Ξυλοκερατιάς νοτιοδυτικά της Μήλου. Όλες οι δοκιμές έγιναν στο Εργαστήριο Εξόρυξης Πετρωμάτων της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστώ θερμά τον Καθηγητή κ.Γεώργιο Παναγιώτου, ο οποίος μου πρότεινε αυτό το τόσο ενδιαφέρον θέμα και επέβλεψε τη διεκπεραίωση της εργασίας μου. Ο χρόνος που διέθεσε, η καθοδήγηση και οι σημαντικές γνώσεις που μου προσέφερε οδήγησαν στην επιτυχή εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Μαρία Μπασάνου Δρ Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργό και το προσωπικό του Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων ΕΜΠ για την πολύτιμη βοήθειά που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των εργαστηριακών δοκιμών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία ΛΑΒΑ Α.Ε. που μου επέτρεψε να συλλέξω δείγματα από το ορυχείο της Μήλου, τον διευθυντή του ορυχείου κ. Τσίπρα Δημήτριο Μηχανικό Μεταλλείων για την πολύτιμη βοήθεια και συνεργασία που μου προσέφερε, καθώς και τους εργαζόμενους στο ορυχείο για την βοήθειά τους κατά την επιλογή και φόρτωση των δειγμάτων.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως θέμα τη διερεύνηση εναλλακτικού τρόπου εξόρυξης σε ορυχείο ποζολάνης με χρήση μηχανήματος τύπου Surface Miner. Για την πραγματοποίηση αυτής της διερεύνησης πραγματοποιήθηκε επίσκεψη και επί τόπου δειγματοληψία του πετρώματος ποζολάνης στην περιοχή Ξυλοκερατιάς της νήσου Μήλου όπου και βρίσκεται το ορυχείο.

Εν συνεχεία, διαμορφώθηκαν κατάλληλα δοκίμια και εκτελέστηκαν εργαστηριακές δοκιμές σημειακής φόρτισης και αποξεστικότητας κατά Cerchar, προκειμένου να προσδιοριστούν οι μηχανικές ιδιότητες του πετρώματος. Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Εξόρυξης Πετρωμάτων της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π. Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα της σημειακής φόρτισης βρέθηκε ότι το πέτρωμα χαρακτηρίζεται από λίγο έως πολύ σκληρό ενώ με βάση τα αποτελέσματα κατά Cerchar από λίγο έως πολύ φθοροποιό.

Λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του μηχανήματος Surface Miner, τα οποία αφορούν στη διαδικασία εξόρυξής του, όσο και τα πειραματικά αποτελέσματα πραγματοποιήθηκε προκαταρκτική διερεύνηση και επιλέχθηκαν κατάλληλοι τύποι του εν λόγω μηχανήματος, ενώ διερευνήθηκαν οι περιοχές εφαρμογής τους στο υπό μελέτη ορυχείο.

## **ABSTRACT**

The subject of this thesis is the investigation on the applicability of an alternative method of excavating pozzolana in a quarry using a Surface Miner excavator. For this purpose a visit to the quarry at Xylokeratia of Milos island was carried out, for the collection of production data and in situ sampling of pozzolana.

Subsequently, from the samples which were selected cylindrical samples were constructed and then their mechanical properties were determined using the laboratory tests of Point Load and Cerchar abrasiveness test. All testing was conducted in the Laboratory of Excavation Engineering of NTUA's School of Mining & Metallurgical Engineering. Based on the experimental results of Point Load tests it was found that the rock's strength is characterized from "weak" to "very strong", while based on the results of Cerchar abrasiveness tests rock is characterized from "low" to "high" abrasive.

Taking into account the test results as well as the technical and operational characteristics of the Surface Miner excavators, which are related to the mining process, a preliminary investigation was carried out on the applicability of this method in this particular quarry while the appropriate type of this machine was selected.

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>14</b>
1.1. ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	14
1.2. ΟΡΓΑΝΩΣΗ – ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	14
<b>2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΡΥΧΕΙΟΥ .....</b>	<b>16</b>
2.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΤΑΙΡΕΙΑ .....	16
2.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ .....	17
<b>3. ΕΡΓΑΣΙΑΚΟΣ ΧΩΡΟΣ-ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ.....</b>	<b>19</b>
3.1. ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ .....	23
3.2. ΥΠΑΙΘΡΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ .....	24
3.3. ΜΗΧΑΝΟΚΙΝΗΤΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ.....	24
3.4. ΕΞΟΡΥΞΗ ΤΗΣ ΠΟΖΟΛΑΝΗΣ .....	25
3.5. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΞΟΡΥΓΜΕΝΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΠΡΟΣ ΦΟΡΤΩΣΗ.....	25
3.6. ΦΟΡΤΩΣΗ ΤΟΥ ΕΞΟΡΥΓΜΕΝΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΑ ΦΟΡΤΗΓΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΑΥΤΟΥ .....	25
3.7. ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΥΛΩΝ .....	27
3.8. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟΚΟΜΙΔΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΤΟΥ .....	29
3.9. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ .....	31
<b>4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΧΩΡΟΥ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ.....</b>	<b>35</b>
4.1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΜΗΛΟΥ .....	35
4.1.1 ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ .....	36
4.1.2 ΝΕΟΓΕΝΕΣ.....	37
4.2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΣΤΕΝΟΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΟΡΥΧΕΙΟΥ .....	41
4.2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	41
4.2.2 ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑ .....	44
4.2.3 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ.....	44
<b>5. ΤΟ ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ SURFACE MINER.....</b>	<b>45</b>
5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ.....	45
5.2. ΤΑ ΜΕΡΗ ΠΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΟΥΝ ΤΟ SURFACE MINER .....	47
5.2.1 ΕΡΠΥΣΤΡΙΑΣ .....	48
5.2.2 ΚΑΜΠΙΝΑ ΧΕΙΡΙΣΤΗ .....	48
5.2.3 ΚΟΠΤΙΚΟ ΤΥΜΠΑΝΟ .....	49
5.2.4 ΚΥΡΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗ ΤΑΙΝΙΑ .....	51
5.2.5 ΒΡΑΧΙΟΝΑΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ .....	51
5.2.6 ΕΞΟΡΥΞΗ ΜΕ ΤΟ SURFACE MINER .....	52

5.3.	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ SURFACE MINER .....	57
5.4.	Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΕΛΙΓΜΩΝ ΤΟΥ SURFACE MINER .....	59
5.4.1	ΣΤΡΟΦΗ ΣΕ ΣΤΕΝΕΣ ΖΩΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	59
5.4.2	ΣΤΡΟΦΗ ΣΕ ΖΩΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕΣΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ.....	61
5.4.3	ΣΤΡΟΦΗ ΣΕ ΜΕΓΑΛΕΣ ΖΩΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	63
5.5.	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ.....	64
5.6.	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ.....	65
<b>6.</b>	<b>ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ .....</b>	<b>66</b>
6.1.	ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ.....	66
6.2.	ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	69
6.3.	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ .....	72
6.4.	ΔΟΚΙΜΗ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	73
6.4.1	ΘΕΩΡΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	74
6.4.2	ΠΡΟΤΥΠΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	78
6.4.3	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	81
6.5.	ΔΟΚΙΜΗ ΑΠΟΞΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ CERCHAR .....	86
6.5.1	ΘΕΩΡΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ CERCHAR .....	86
6.5.2	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ.....	87
6.5.3	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	88
6.5.4	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ CERCHAR .....	91
<b>7.</b>	<b>ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΞΟΡΥΞΗΣ SURFACE MINER.....</b>	<b>108</b>
7.1.	ΚΟΠΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ 2200SM - 2500SM.....	110
7.2.	ΔΙΕΡΕΥΝΙΣΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΚΑ ΜΟΗΣ .....	112
7.3.	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ 2200SM-2500SM .....	113
7.4.	ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ-ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ 2200SM ΚΑΙ 2500SM .....	117
7.5.	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΤΡΟΦΗΣ ΤΩΝ 2200SM ΚΑΙ 2500SM .....	122
<b>8.</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>124</b>
<b>9.</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ.....</b>	<b>131</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΠΟΖΟΛΑΝΗΣ .....</b>	<b>133</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΧΑΛΥΒΑΙΝΩΝ ΑΚΙΔΩΝ ΔΟΚΙΜΗΣ CERCHAR.....</b>	<b>149</b>



**ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 1. Δυναμικότητα εγκαταστάσεων.....	23
Πίνακας 2. Ταξινόμηση πετρώματος με βάση τον δείκτη σημειακής φόρτισης $I_s(50)$ σε MPa (Bieniawski, 1975).....	77
Πίνακας 3. Πίνακας με ισοδύναμη μονοαξονική αντοχή $\sigma_{ci}<50MPa$ .....	82
Πίνακας 4. Πίνακας με ισοδύναμη μονοαξονική αντοχή $50MPa<\sigma_{ci}<80MPa$ .....	82
Πίνακας 5. Πίνακας με ισοδύναμη μονοαξονική αντοχή $\sigma_{ci}>80MPa$ .....	83
Πίνακας 6. Κατηγοριοποίηση πετρωμάτων με βάση το εύρος μονοαξονικής αντοχής τους.....	84
Πίνακας 7. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 1.....	91
Πίνακας 8. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 3.....	92
Πίνακας 9. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 4.....	92
Πίνακας 10. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 5.....	93
Πίνακας 11. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 6.....	93
Πίνακας 12. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 7.....	93
Πίνακας 13. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 8.....	94
Πίνακας 14. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 9.....	94
Πίνακας 15. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 10.....	95
Πίνακας 16. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 11.....	95
Πίνακας 17. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 12.....	95
Πίνακας 18. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 13.....	96
Πίνακας 19. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 14.....	96
Πίνακας 20. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 15a.....	97
Πίνακας 21. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 15b.....	97
Πίνακας 22. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 17a.....	97
Πίνακας 23. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 17b.....	98
Πίνακας 24. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 18.....	98
Πίνακας 25. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 19.....	99
Πίνακας 26. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 20.....	99
Πίνακας 27. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 21.....	100
Πίνακας 28. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 22.....	100
Πίνακας 29. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 23.....	101
Πίνακας 30. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 25.....	101
Πίνακας 31. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 26.....	102
Πίνακας 32. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 27.....	102
Πίνακας 33. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 29.....	103
Πίνακας 34. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 30.....	103
Πίνακας 35. Κατάταξη πετρωμάτων με βάση τον δείκτη αποξεστικότητας CAI (Michalakopoulos et al.,2005).....	104
Πίνακας 36. Ομαδοποίηση δοκιμών ανάλογα με τον δείκτη αποξεστικότητας CAI.....	105
Πίνακας 37. Αντιστοιχία μέσων όρων δείκτη CAI των δοκιμών με την κλίμακα Mohs βάση του σχήματος 26.....	107
Πίνακας 38. Απεικόνιση οικονομικότητας εξόρυξης πετρώματος σε σχέση με τη μονοαξονική αντοχή του. Με μωβ χρώμα παρουσιάζεται η περιοχή για την 1 <sup>η</sup> κατηγορία, ενώ με σιελ η περιοχή για την 2 <sup>η</sup> κατηγορία.....	109
Πίνακας 39. Πίνακας ενδεικτικών τιμών σκληρότητας Mohs διαφόρων πετρωμάτων (Manual Wirtgen GmbH, 2010).....	112
Πίνακας 40. Πίνακας εκτίμησης μονοαξονικής αντοχής διαφόρων πετρωμάτων (Brown, 1981).....	114
Πίνακας 41. Πίνακας με αναγραφόμενα τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τύπου 2200SM (Manual Wirtgen GmbH, 2010).....	117

Πίνακας 42. Πίνακας με αναγραφόμενα τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τύπου 2500SM (Manual Wirtgen Gmbh, 2010). .....	120
Πίνακας 43. Κατηγοριοποίηση πετρωμάτων με βάση το εύρος μονοαξονικής αντοχής τους. ....	124
Πίνακας 44. Απεικόνιση οικονομικότητας εξόρυξης πετρώματος σε σχέση με τη μονοαξονική αντοχή του. Με μωβ χρώμα παρουσιάζεται η περιοχή για την 1 <sup>η</sup> κατηγορία, ενώ με σιελ η περιοχή για την 2 <sup>η</sup> κατηγορία. ....	126

## **ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

Σχήμα 1. Περιοχές δραστηριοποίησης της ΛΑΒΑ ΑΕ στο εσωτερικό. ....	16
Σχήμα 2. Περιοχές δραστηριοποίησης της ΛΑΒΑ ΑΕ στο εξωτερικό. ....	17
Σχήμα 3. Διάγραμμα ροής ορυχείου ποζολάνηςΜήλου. ....	21
Σχήμα 4. Τοπική διάταξη σχεδίου ανατίναξης. ....	28
Σχήμα 5. Γεωγραφική θέση Μήλου. ....	35
Σχήμα 6. Γεωλογικός χάρτης νήσου Μήλου (Στοιχεία Ι.Γ.Μ.Ε, 1997). ....	38
Σχήμα 7. Γεωλογικός χάρτης περιοχής ορυχείου νήσου Μήλου (Στοιχεία Ι.Γ.Μ.Ε, 1997) ....	39
Σχήμα 8. Υπόμνημα - στρωματογραφική στήλη γεωλογικού χάρτη της νήσου Μήλου (Ι.Γ.Μ.Ε, 1997). ....	40
Σχήμα 9. Γεωλογικός χάρτης εγγύτερης περιοχής του ορυχείου ποζολάνης. ....	41
Σχήμα 10. Χρήσεις Surface Miner. ....	46
Σχήμα 11. Μέρη που αποτελούν το Surface Miner (Manual Wirtgen Gmbh, 2010). ....	47
Σχήμα 12. Ερπύστριες Surface Miner (Manual Wirtgen Gmbh, 2010). ....	48
Σχήμα 13. Καμπίνα χειριστή (Manual Wirtgen Gmbh, 2010). ....	48
Σχήμα 14. Εφαρμογή κοπής κοπτικού άκρου στο πέτρωμα. (Manual Wirtgen Gmbh, 2010). ....	50
Σχήμα 15. Μεταφορική ταινία του Surface Miner (Manual Wirtgen Gmbh, 2010). ....	51
Σχήμα 16. Απεικόνιση επιφάνειας στην οποία λειτουργεί το Surface Miner σε υπαιθριο ορυχείο (Manual Wirtgen Gmbh, 2010). .	52
Σχήμα 17. Σχηματική απεικόνιση σειράς κοψίματος επιφάνειας του πετρώματος που ακολουθεί το Surface Miner (Manual Wirtgen Gmbh, 2010). ....	53
Σχήμα 18. Σχηματική απεικόνιση δημιουργίας βαθμίδων από το Surface Miner (Manual Wirtgen Gmbh, 2010). ....	58
Σχήμα 19. Σχηματική απεικόνιση δημιουργίας βαθμίδων από το Surface Miner (Manual Wirtgen Gmbh, 2002). ....	59
Σχήμα 20. Θέσεις συλλογής δειγμάτων εντός της περιοχής του ορυχείου. ....	67
Σχήμα 21. Αποτελέσματα δοκιμών σημειακής φόρτισης για διάφορες De και γραφικός υπολογισμός του P(50). ....	75
Σχήμα 22. Διάγραμμα γραφικού υπολογισμού του συντελεστή διόρθωσης μεγέθους F. ....	76
Σχήμα 23. Τύποι δοκιμής σημειακής φόρτισης: (a) Διαμετρική δοκιμή, (b) Αξονική δοκιμή, (c) Δοκιμή σε ορθογωνικό δοκίμιο και (d) Δοκιμή σε ακανόνιστο δοκίμιο. ....	79
Σχήμα 24. Τυπικές μορφές αστοχίας του δοκιμίου κατά τη δοκιμή σημειακής φορτίσεως: (a) Αποδεκτή διαμετρική δοκιμή, (b) Αποδεκτή αξονική δοκιμή, (c) Αποδεκτή δοκιμή σε ορθογωνικό δοκίμιο, (d) Μη αποδεκτή διαμετρική δοκιμή, (e) Μη αποδεκτή αξονική δοκιμή. ....	80
Σχήμα 25. Χάρτης κατηγοριοποίησης περιοχών. ....	84
Σχήμα 26. Πειραματική συσκευή «West» για τον προσδιορισμό του δείκτη αποξεστικότητας Cerchar (Plinninger 2003). ....	88
Σχήμα 27. Μορφή της ακίδας πριν (α) και μετά τη χρήση της (β). ....	90
Σχήμα 28. Συσχέτιση τιμών μεταξύ κλίμακας Mohs και δοκιμών Cerchar για διάφορα ορυκτά (Int. J. Rock Mech. Min. & Geomech., 1989). ....	106
Σχήμα 29. Διάγραμμα συσχέτισης μονοαξονικής αντοχής $\sigma_{ci}$ και κοπτικής απόδοσης για τον τύπο 2200SM (Manual Wirtgen Gmbh, 2010). ....	110

Σχήμα 30. Διάγραμμα συσχέτισης μονοαξονικής αντοχής $\sigma_{ci}$ και κοπτικής απόδοσης για τον τύπο 2500SM (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).....	111
Σχήμα 31. Διάγραμμα συσχέτισης μεγέθους κόκκου με ποσοστό κατά βάρος του υλικού για τον τύπο 2200SM (Manual Wirtgen Gmbh, 2010) .....	115
Σχήμα 32. Διάγραμμα συσχέτισης μεγέθους κόκκου με ποσοστό κατά βάρος του υλικού για τον τύπο 2500SM (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).....	116
Σχήμα 33. Πλευρική όψη του τύπου 2200SM με αναγραφόμενες τις διαστάσεις σε mm (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).....	118
Σχήμα 34. Κάτοψη του τύπου 2200SM με αναγραφόμενες τις διαστάσεις σε mm (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).....	119
Σχήμα 35. Πλευρική όψη του τύπου 2500SM με αναγραφόμενες τις διαστάσεις σε mm (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).....	121
Σχήμα 36. Κάτοψη του τύπου 2500SM με αναγραφόμενες τις διαστάσεις σε mm (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).....	121
Σχήμα 37. Διάγραμμα χρόνου στροφής του τύπου 2200SM σε σχέση με το μήκος εργασίας (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).....	122
Σχήμα 38. Διάγραμμα χρόνου στροφής του τύπου 2500SM σε σχέση με το μήκος εργασίας (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).....	123
Σχήμα 39. Διάγραμμα συσχέτισης μονοαξονικής αντοχής $\sigma_{ci}$ και κοπτικής απόδοσης για τον τύπο 2200SM (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).....	127
Σχήμα 40. Διάγραμμα συσχέτισης μονοαξονικής αντοχής $\sigma_{ci}$ και κοπτικής απόδοσης για τον τύπο 2500SM (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).....	128
Σχήμα 41. Χάρτης κατηγοριοποίησης περιοχών.....	129

## **ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ**

Εικόνα 1. Απόθεση υλικού.....	19
Εικόνα 2. Συστηματική δενδροφύτευση.....	20
Εικόνα 3. Εγκαταστάσεις προσωπικού.....	22
Εικόνα 4. Καρούτα τροφοδοσίας.....	26
Εικόνα 5. Σπαστήρας.....	29
Εικόνα 6. Υπαιθριος αποθηκεντικός χώρος.....	30
Εικόνα 7. Υπόγεια μεταφορική ταινία.....	32
Εικόνα 8. Μεταφορική ταινία No12.....	32
Εικόνα 9. Μεταφορική ταινία στο χώρο φόρτωσης.....	33
Εικόνα 10. Μορφή κοπτικού τυμπάνου Surface Miner (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).....	49
Εικόνα 11. Αλλαγή κοπτικού άκρου (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).....	50
Εικόνα 12. Surface Miner κατά τη διαδικασία εξόρυξης και φόρτωσης του πετρώματος.....	54
Εικόνα 13. Φόρτωση του εξορυγμένου υλικού πλευρικά του Surface Miner (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).....	55
Εικόνα 14. Φόρτωση του εξορυγμένου υλικού μπροστά από το Surface Miner (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).....	55
Εικόνα 15. Εναπόθεση του υλικού πίσω από το Surface Miner (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).....	56
Εικόνα 16. Εναπόθεση του υλικού πλευρικά του Surface Miner (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).....	57
Εικόνα 17. Σχηματική απεικόνιση περάσματος-αντιστροφής μηχανήματος στις μικρού μήκους ζώνες εργασίας (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).....	60
Εικόνα 18. Σχηματική απεικόνιση αντιστροφής μηχανήματος στις μεγάλου μήκους ζώνες εργασίας (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).....	61
Εικόνα 19. Σχηματική απεικόνιση στροφής μηχανήματος στις μεσαίου μήκους ζώνες εργασίας (Manual Wirtgen Gmbh, 2010)....	62

<i>Εικόνα 20. Σχηματική απεικόνιση ελιγμού-ανταστροφής μηχανήματος στις μεσαίου μήκους ζώνες εργασίας (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).</i> .....	63
<i>Εικόνα 21. Σχηματική απεικόνιση στροφής μηχανήματος στις μεγάλου μήκους ζώνες εργασίας (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).</i> ...	64
<i>Εικόνα 22. Καροταρία Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων για διαμόρφωση κυλινδρικών δοκιμίων πετρωμάτων.</i> .....	70
<i>Εικόνα 23. Πλευρική άποψη καροταρίας Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων για διαμόρφωση κυλινδρικών δοκιμίων πετρωμάτων.</i> .....	70
<i>Εικόνα 24. Συσκευή σημειακής φόρτισης.</i> .....	73
<i>Εικόνα 25. Πειραματική συσκευή «West» (<a href="http://www.ergotech.co.uk">www.ergotech.co.uk</a>).</i> .....	87
<i>Εικόνα 26. Δοκιμή Cerchar σε δοκίμιο ποζολάνης.</i> .....	89



## **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **1.1. ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η εργαστηριακή διερεύνηση της δυνατότητας εξόρυξης ποζολάνης σε ορυχείο της Μήλου με χρήση μηχανήματος τύπου surface miner.

Η εξορυξιμότητα ενός πετρώματος, δηλαδή η ευκολία ή η δυσκολία που παρουσιάζει το πέτρωμα στην εξόρυξη του εξαρτάται από ορισμένες παραμέτρους. Οι ιδιότητες της μάζας του πετρώματος έχουν καθοριστική σημασία για τη εκτίμησή της και προκειμένου να εκτιμηθεί το εύρος των τιμών ορισμένων εκ των ιδιοτήτων του πετρώματος, εκτελέστηκαν εργαστηριακές δοκιμές σημειακής φόρτισης και αποξεστικότητας Cerchar.

### **1.2. ΟΡΓΑΝΩΣΗ – ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Η διπλωματική εργασία περιλαμβάνει την παρουσίαση του ορυχείου και του τρόπου λειτουργίας του σήμερα καθώς και τις εργασίες που εκτελέστηκαν για τον προσδιορισμό των βασικών χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς του πετρώματος στην περιοχή Ξυλοκερατιάς της νήσου Μήλου, με στόχο τη διερεύνηση της δυνατότητας εξόρυξης της ποζολάνης στην περιοχή της Ξυλοκερατιάς με χρήση μηχανήματος τύπου surface miner.

Για το λόγο αυτό ελήφθησαν δείγματα πετρώματος ποζολάνης από το ορυχείο και εκτελέστηκαν εργαστηριακές δοκιμές από τις οποίες προσδιορίστηκαν η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη μέσω της δοκιμής της σημειακής φόρτισης και η αποξεστική ικανότητα του πετρώματος με τη δοκιμή αποξεστικότητας Cerchar.

Βάσει των πειραματικών αποτελεσμάτων έγινε μια κατ'αρχήν εκτίμηση της δυνατότητας εξόρυξης και διαστασιολογήθηκε ο κατάλληλος τύπος μηχανήματος surface miner για τη συγκεκριμένη περιοχή.

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια και δυο παραρτήματα :

**Κεφάλαιο 1.** Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή και περιγράφει το σκοπό και το περιεχόμενο της διπλωματικής εργασίας.

**Κεφάλαιο 2.** Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη παρουσίαση της εταιρείας ΛΑΒΑ Α.Ε. και μικρή ιστορική αναδρομή σε αυτή.

**Κεφάλαιο 3.** Το κεφάλαιο αυτό περιέχει μια γενική περιγραφή του ορυχείου και των εγκαταστάσεών του.

**Κεφάλαιο 4.** Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται η γεωλογία της ευρύτερης περιοχής αλλά και ειδικότερα της περιοχής του ορυχείου ποζολάνης της ΛΑΒΑ Α.Ε.

**Κεφάλαιο 5.** Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει αναλυτικά την εξόρυξη πετρωμάτων με χρήση του μηχανήματος surface miner. Επιπρόσθετα, αναλύονται όλα τα κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του μηχανήματος.

**Κεφάλαιο 6.** Στο έκτο κεφάλαιο περιλαμβάνονται στοιχεία για τη δειγματοληψία και την κατασκευή δοκιμών στο εργαστήριο καθώς και ο εργαστηριακός προσδιορισμός των ιδιοτήτων του πετρώματος, όπως αυτές προσδιορίζονται από τις εργαστηριακές δοκιμές σημειακής φόρτισης και αποξεστικότητας κατά Cerchar.

**Κεφάλαιο 7.** Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και τα διαγράμματα επίδοσης του surface miner τα οποία και βασίζονται στα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών.

Τέλος, τα παραρτήματα περιλαμβάνουν φωτογραφίες των δοκιμών στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές όπως επίσης και φωτογραφίες μικροσκοπίου των χαλύβδινων ακίδων της δοκιμής αποξεστικότητας Cerchar.

## 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΡΥΧΕΙΟΥ

### 2.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΤΑΙΡΕΙΑ

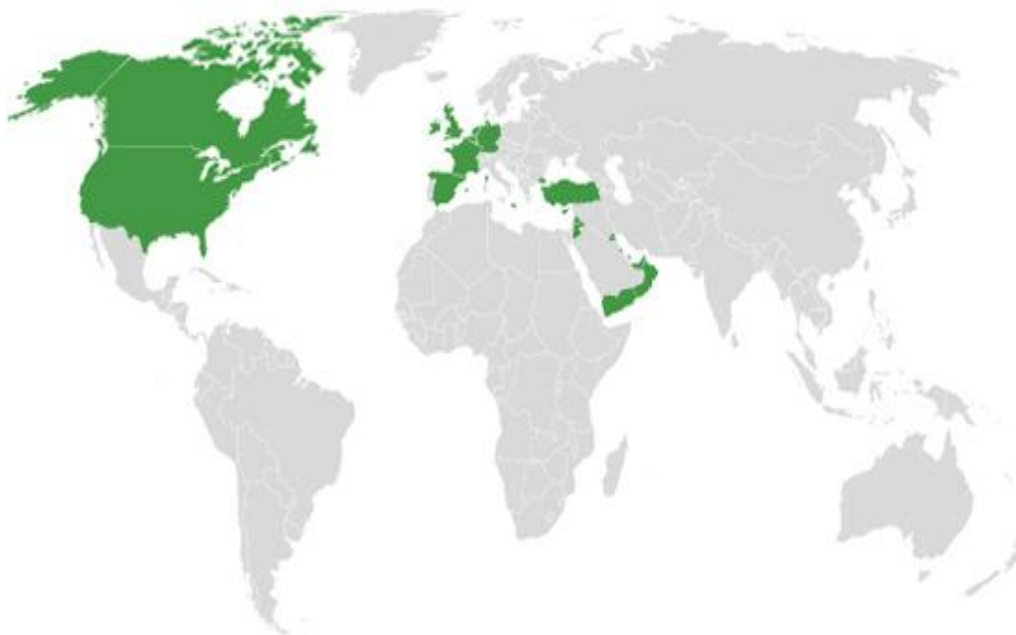
Η ΛΑΒΑ Μεταλλευτική & Λατομική ιδρύθηκε το 1952 για να εκμεταλλευτεί το Δημοτικό Ορυχείο ελαφρόπετρας που βρίσκεται στη νήσο Γυαλί βόρεια της νήσου Νισύρου. Η εταιρεία το 1977 εντάσσεται στον Όμιλο Εταιρειών ΗΡΑΚΛΗΣ και το 1980 ξεκινά η επέκτασή της σε νέες δραστηριότητες με την απόκτηση του ορυχείου γύψου στο Αλτσί Σητείας. Η ΛΑΒΑ το 1989 ξεκινά την εκμετάλλευση ορυχείου ποζολάνης στη Μήλο και το 1996 την εκμετάλλευση του ορυχείου πυριτικού στο ίδιο νησί. Το 2001 ο Όμιλος Εταιρειών ΗΡΑΚΛΗΣ γίνεται μέλος του πολυεθνικού Ομίλου Lafarge, ο οποίος έχει παρουσία σε 64 χώρες και ηγετική θέση παγκοσμίως στα δομικά υλικά. Από το 2002 έως το 2011 η ΛΑΒΑ ανέπτυξε δραστηριότητα στην εμπορία αδρανών υλικών από τη μονάδα της στον Αλμυρό Βόλου.

Η εταιρεία ΛΑΒΑ Μεταλλευτική & Λατομική δραστηριοποιείται σε περιοχές τόσο του εσωτερικού όσο και του εξωτερικού οι οποίες φαίνονται στα παρακάτω σχήματα με πράσινο χρώμα:



Σχήμα 1. Περιοχές δραστηριοποίησης της ΛΑΒΑ ΑΕ στο εσωτερικό.





**Σχήμα 2.** Περιοχές δραστηριοποίησης της LABA ΑΕ στο εξωτερικό.

## **2.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ**

Το 1952 η εταιρεία ιδρύεται από τον εφοπλιστή Μ.Νομικό και έως το 1962 δημιουργείται η κτιριακή υποδομή του ορυχείου ελαφρόπετρας. Στη συνέχεια, αγοράζεται ο εξοπλισμός για τη μεταφορά και την επεξεργασία της ελαφρόπετρας και η εγκατάσταση εναέριου συστήματος βαγονέτων για τη φόρτωση των πλοίων. Το 1977 η LABA ΑΕ εντάσσεται στον Όμιλο Εταιρειών ΗΡΑΚΛΗΣ και πραγματοποιείται εγκατάσταση δικτύου μεταφορικών ταινιών για τη φόρτωση πλοίων με μεγαλύτερο ρυθμό (1000t/h).

Από το 1980 η εταιρεία επεκτείνεται σε νέες δραστηριότητες και αποκτά το ορυχείο Γύψου στο Αλτσί Σητείας στην Κρήτη και μέχρι το 1988 οριστικοποιεί νέες μεθόδους εξόρυξης, με χρήση προωθητών στην ελαφρόπετρα και με τη μέθοδο των ορθών βαθμίδων στο γύψο. Ακόμη, στο ίδιο χρονικό διάστημα γίνονται επενδύσεις για την ανανέωση και τον εκσυγχρονισμό του κινητού και σταθερού εξοπλισμού στα ορυχεία ελαφρόπετρας και γύψου για την αύξηση της παραγωγικής δυναμικότητας.

Η ΛΑΒΑ ΑΕ ξεκινά το 1989 την εκμετάλλευση ορυχείου ποζολάνης στην Ξυλοκερατιά Μήλου, ενώ μετά από 7 χρόνια απορροφά την εταιρία “ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ ΑΕ” και ξεκινά την εκμετάλλευση του ορυχείου Πυριτικού ορυκτού στην Καστριανή της Μήλου.

Το 2001 ο Όμιλος Εταιρειών ΗΡΑΚΛΗΣ γίνεται μέλος του ομίλου LAFARGE, ο οποίος έχει ηγετική παρουσία σε 64 χώρες στον κόσμο με δραστηριότητες παραγωγής και εμπορίας τσιμέντου, σκυροδέματος, γύψου και αδρανών υλικών, ενώ μετά από 4 χρόνια η εταιρεία αποκτά το σήμα διαχείρισης ποιότητας ISO 9001:2008 για τη διαδικασία φόρτωσης πλοίων στα ορυχεία γύψου και ποζολάνης.

### **3. ΕΡΓΑΣΙΑΚΟΣ ΧΩΡΟΣ-ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ**

Ο εργασιακός χώρος περιλαμβάνει :

- ▶ το χώρο της υπαίθριας εκμετάλλευσης ,συμπεριλαμβανομένου του χώρου των τελικών βαθμίδων, όπου γίνεται η απόθεση υλικού και συστηματική δεινδροφύτευση (Εικόνα 1, Εικόνα 2).



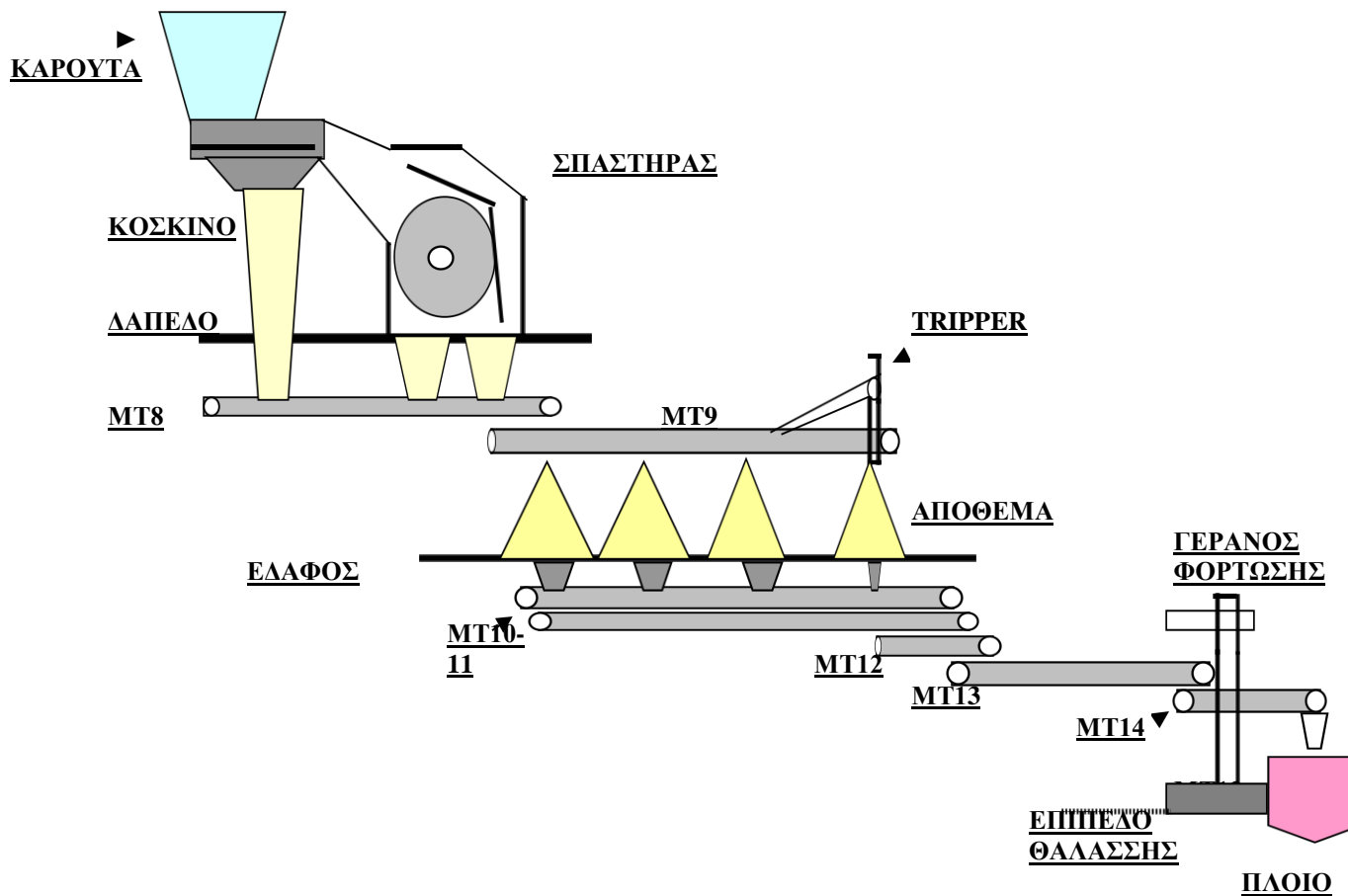
**Εικόνα 1. Απόθεση υλικού.**



**Εικόνα 2. Συστηματική δενδροφύτευση.**

- εγκαταστάσεις προδιαλογής και πρωτογενούς θραύσης (Σχήμα 3) οι οποίες περιλαμβάνουν το σιλό (καρούτα) της τροφοδοσίας (HOPPER) , το δονητικό τροφοδότη-προδιαλογέα (δονούμενο κόσκινο) και τον κρουστικό σπαστήρα
- τις εγκαταστάσεις απόληψης και απόθεσης του προϊόντος ,δηλαδή τις μεταφορικές ταινίες Νο8 & Νο9 (Σχήμα 3)
- τις εγκαταστάσεις μεταφοράς και φόρτωσης του προϊόντος ,δηλαδή τις μεταφορικές ταινίες Νο10,11,12,13 και 14 (Σχήμα 3)
- το συνεργείο συντήρησης & επισκευής του προαναφερόμενου μηχανολογικού εξοπλισμού

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΟΡΥΧΕΙΟΥ ΠΟΖΟΛΑΝΗΣ ΤΗΣ ΜΗΛΟΥ



Σχήμα 3. Διάγραμμα ροής ορυχείου ποζολάνηςΜήλου.

- το συνεργείο συντήρησης & επισκευής του μηχανικού εξοπλισμού (εργολαβικός) και τις εξής βοηθητικές εγκαταστάσεις :
- Ⓢ υπαίθρια δεξαμενή καυσίμων χωρητικότητας 50t
  - Ⓢ μηχανοστάσιο. Ο θάλαμος αυτός φιλοξενεί ένα Η/Ζ των 490 ΚVA , ένα των 90 ΚVA τον μετασχηματιστή και την ειδική κυψέλη για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο της Δ.Ε.Η. Επίσης, στο ίδιο κτίριο αλλά σε διαφορετικό θάλαμο είναι εγκατεστημένοι οι πίνακες διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, όπου βρίσκεται το γραφείο και το εργαστήριο του ηλεκτρολόγου.
  - Ⓢ δυο αποθήκες υλικών
  - Ⓢ γραφεία ορυχείου
  - Ⓢ ιατρείο
  - Ⓢ εστιατόριο, αποδυτήρια-τουαλέτες για το προσωπικό (Εικόνα 3)
  - Ⓢ υπόγεια αποθήκη πόσιμου νερού
  - Ⓢ δυο μεταλλικές βαρέλες για την άντληση και αποθήκευση θαλάσσιου ύδατος για τη διαβροχή των οδών εντός και εκτός του λατομικού χώρου και
  - Ⓢ ηλεκτρικό βαρούλκο για την ανέλκυση-καθέλκυση του πλωτού μέσου το οποίο χρησιμοποιείται για την νηοδέτηση των προς φόρτωση πλοίων



**Εικόνα 3. Εγκαταστάσεις προσωπικού.**

### **3.1. ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ**

Οι ετήσιες φορτώσεις στο ορυχείο φτάνουν τις 320.000t ποζολάνης , ενώ η ημερήσια παραγωγή κυμαίνεται από 1.800t έως 2.000t (απόδοση σπαστήρα 300 t/h). Η συνολική ισχύς (ονομαστική) του κυρίου μηχανολογικού εξοπλισμού , όπως αυτός παριστάνεται στο διάγραμμα ροής (Σχήμα 3) , είναι 825 HP και αναλύεται ως εξής:

**Πίνακας 1. Δυναμικότητα εγκαταστάσεων.**

<b>ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ</b>	<b>ΙΣΧΥΣ (HP)</b>
<b>Δονητικό κόσκινο (προδιαλογέας)</b>	40
<b>Σπαστήρας</b>	208
<b>MT-8</b>	30
<b>MT-9</b>	40
<b>MT-10 &amp; 11</b>	2*75=150
<b>MT-12</b>	50
<b>MT-13</b>	180
<b>MT-14</b>	40
<b>Πρόβολος (γερανός) φόρτωσης</b>	27 (συνολικά)
<b>Μυζητήρες αποκονίωσης</b>	2*15=30
<b>Λοιποί κινητήρες</b>	30

### **3.2. ΥΠΑΙΘΡΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ**

Στην υπαίθρια εκμετάλλευση απασχολούνται περίπου :

- 1 άτομο ως χειριστής του προωθητή
- 3 άτομα ως οδηγοί των τριαξονικών φορτηγών
- 1 άτομο ως οδηγός του υδροφόρου οχήματος διαβροχής (περίοδος ανομβρίας, Απρίλιος-Σεπτέμβριος)
- 1 άτομο ως χειριστής φορτωτή

### **3.3. ΜΗΧΑΝΟΚΙΝΗΤΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ**

Η μεταφορά του υλικού από τα μέτωπα της εκμετάλλευσης στο HOPPER του θραυστήρα ή στο παρακείμενο απόθεμα γίνεται με φορτηγά αυτοκίνητα ανατρεπόμενα. Ο μηχανοκίνητος εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στο λατομείο , όπως επίσης και το ανάλογο προσωπικό (οδηγοί, χειριστές, τεχνίτες) που απαιτείται για τη λειτουργία αυτών, είναι με σχέση εργολάβου προς την επιχείρηση. Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει:

- 1 προωθητή CAT D-9G
- 1 εφεδρικό προωθητή CAT D-9H
- 2 ελαστικοφόρους φορτωτές CAT 980-C
- 1 ελαστικοφόρο φορτωτή CAT 980-F
- 1 ελαστικοφόρο εκσκαφέα JCB
- 1 ερπυστριοφόρο εκσκαφέα με σφύρα
- 3 φορτηγά αυτοκίνητα ανατρεπόμενα
- 1 βυτιοφόρο όχημα (για τη διαβροχή οδών και πλατειών και νερό)



### **3.4. ΕΞΟΡΥΞΗ ΤΗΣ ΠΟΖΟΛΑΝΗΣ**

Είναι η κυρίως εργασία εξόρυξης που γίνεται με χρήση προωθητή (CAT-D-9H). Αρχικά γίνεται άροση με το μηχανικό girper του προωθητή πάνω σε μικρές ή μεγάλες διαμορφωμένες πλατείες και σε δυο ή τρεις κατευθύνσεις. Με αυτόν τον τρόπο περιορίζεται στο ελάχιστο δυνατό το μέγεθος των εξορυσσόμενων όγκων ποζολάνης. Σε αυτό βοηθά και το μεγάλο βάρος του προωθητή καθώς μετακινείται μπρος – πίσω πάνω στο πεδίο όπου κάνει την άροση.

### **3.5. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΞΟΡΥΓΜΕΝΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΠΡΟΣ ΦΟΡΤΩΣΗ**

Η εργασία αυτή είναι ακόλουθη ή ταυτόχρονη της προηγούμενης και συνίσταται στο στοίβαγμα του εξορυγμένου υλικού σε μικρού ύψους σωρούς (2-3m). Το στοίβαγμα σε σωρούς πραγματοποιείται όταν η απόληψη του υλικού γίνεται στην ίδια πλατεία εκμετάλλευσης με την εξόρυξη (κοινό υψόμετρο προωθητή και φορτωτή). Σε περιπτώσεις όμως που το μέγεθος της επιφάνειας της εκμεταλλευόμενης βαθμίδας δεν το επιτρέπει αυτό και το ύψος της βαθμίδας είναι μικρό τότε γίνεται προώθηση του υλικού προς το χείλος του πρανούς απ' όπου κατακρημνίζεται στην υποκείμενη βαθμίδα και στη συνέχεια η απόληψή του γίνεται από εκεί. Πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι οι ανάγκες της παραγωγής μπορούν να καλυφθούν με το 80% της λειτουργίας του προωθητή σε ημερήσια οκτάωρη βάση κατά μέσο όρο για όλο το έτος.

### **3.6. ΦΟΡΤΩΣΗ ΤΟΥ ΕΞΟΡΥΓΜΕΝΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΑ ΦΟΡΤΗΓΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΑΥΤΟΥ**

Η ημερήσια παραγωγή του λατομείου είναι περίπου 1800 – 2000 tn/8ωρο εργασίας και επαναλαμβάνεται σχεδόν κάθε μέρα. Εκτελείται με ένα ελαστικοφόρο φορτωτή (CAT-980 C) και 3-4 τριαξονικά φορτηγά αυτοκίνητα. Οι εργασίες που εκτελούνται είναι οι εξής:

- Απόληψη του υλικού η οποία περιλαμβάνει γέμισμα του κάδου του φορτωτή από τους προαναφερόμενους σωρούς που δημιουργούνται κατά την εξόρυξη και ακολούθως η ανατροπή αυτού (άδειασμα κάδου) εντός της καρότσας του φορτηγού.

- Μεταφορά του υλικού με τα φορτηγά διαμέσου των βοηθητικών προσπελαστικών οδών και της κύριας οδού , με τερματισμό το σημείο τροφοδοσίας των εγκαταστάσεων προδιαλογής – θραύσης.
- Εκφόρτωση του υλικού στην καρούτα (HOPPER) τροφοδοσίας (Εικόνα 4) της εγκατάστασης από τα τριαξονικά οχήματα



**Εικόνα 4. Καρούτα τροφοδοσίας.**

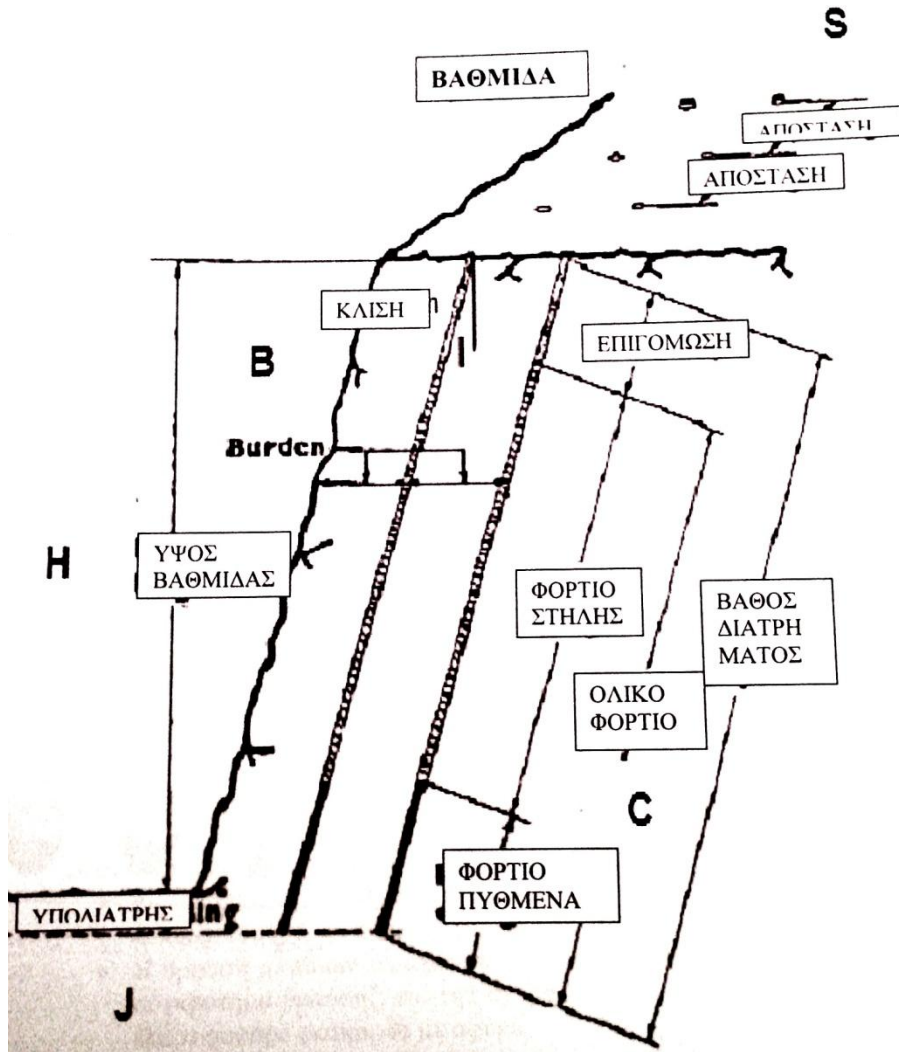
### **3.7. ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΥΛΩΝ**

Η ποζολάνη εν γένει μπορεί να εξορυχθεί σχεδόν στο σύνολο της παραγωγής αποκλειστικά με προωθητή. Όταν όμως απαντώνται ζώνες πολύ συνεκτικού πετρώματος και η καταπόνηση του προωθητή είναι μεγάλη και οι βλάβες συχνές χρησιμοποιούνται εκρηκτικά. Το πάχος των ζωνών αυτών ποικίλει από 2-10m και απαντώνται σε όλα τα υψόμετρα του χώρου της εκμετάλλευσης. Η χρήση εκρηκτικών έχει σκοπό να διαρρήξει και να χαλαρώσει το πέτρωμα ώστε να είναι δυνατή η αποτελεσματική χρήση του αρότρου του προωθητή. Ορύσσονται διατρήματα, διαμέτρου 64mm επί μιας ομαλής επιφάνειας σε βάθος από 3-11m (ανάλογα με το πάχος του σκληρού σχηματισμού).

Η γόμωση αποτελείται από ζελατοδυναμίτιδα στον πυθμένα (περί τα 3-20 kg) και ANFO στην γόμωση στήλης (γραμμική πυκνότητα γόμωσης 2,6 kg/m). Η πυροδότηση γίνεται με καψύλλια NONEL (με χρόνους επιβράδυνσης 25 έως 1000ms). Η πυροδότηση γίνεται με κοινά καψύλλια και θρυαλλίδα ασφαλείας. Το φορτίο και η απόσταση μεταξύ των σειρών διατρημάτων είναι 4m και μεταξύ των διατρημάτων της ίδιας σειράς είναι 4,5m.

Οι εργασίες που εκτελούνται είναι:

- Ορυξη των διατρημάτων
- Προφύλαξη αυτών (σκέπασμα)
- Προμήθεια των εκρηκτικών υλών (ANFO, ζελατοδυναμίτιδα, θρυαλλίδας και καψυλλίων). Η εργασία αυτή γίνεται από τον ίδιο τον εργολάβο, στο όνομα του οποίου εκδίδεται η άδεια αγοράς-μεταφοράς και κατανάλωσης των Ε.Υ. και φέρει την απαιτούμενη άδεια γομωτή-πυροδότη.
- Γόμωση των διατρημάτων
- Πυροδότηση



Σχήμα 4. Τοπική διάταξη σχεδίου ανατίναξης.

### **3.8. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟΚΟΜΙΔΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΤΟΥ**

Αποτελούνται από δύο μεταφορικές ταινίες , τη Νο8 και Νο9 (TRIPPER), (Σχήμα 3). Η ταινία MT Νο8 (μήκος 16m., πλάτος 1m. και ταχύτητα 3m/sec) είναι εγκατεστημένη υποκείμενα του θαλάμου όπου βρίσκονται το δονούμενο κόσκινο (προδιαλογέας) και ο σπαστήρας. Από το δονητικό κόσκινο το υλικό (-70mm) προωθείται και διαμέσου δύο κλειστών μεταλλικών οχετών (λούκια) τροφοδοτεί την MT Νο8. Το ίδιο ακριβώς γίνεται και με το προϊόν του σπαστήρα (θραύση του +70mm).



**Εικόνα 5. Σπαστήρας.**

Ακολούθως της MT Νο8 βρίσκεται εγκατεστημένη εν σειρά η MT Νο9 (μήκος 60m., πλάτος 1m και ταχύτητα 3m/sec), η οποία ως αποθέτης οδηγεί το προϊόν σε υπαίθριο αποθηκευτικό χώρο της τάξης των 7500t (Εικόνα 6). Το προσωπικό που απασχολείται στο χώρο αυτό είναι ο εργοδηγός, 2 τεχνίτες, 1 εργάτης και σε περίπτωση ηλεκτρολογικής βλάβης ή συντήρησης , ο ηλεκτρολόγος και ο βοηθός του.

Οι εργασίες που λαμβάνουν χώρα είναι:

- Η μετακίνηση του αποθέτη (TRIPPER) μπρος-πίσω, αναλόγως με το μέγεθος του αποθέματος
- Καθαρισμός , συντήρηση του εξοπλισμού και έλεγχος αυτού
- Επισκευές μεταλλικών μερών
- Αντικατάσταση ή επισκευή κινούμενων μερών (π.χ. ράουλα, ιμάντες μετάδοσης κίνησης, μεταφορικοί ιμάντες)
- Συντήρηση συστημάτων προστασίας (χαλινοδιακόπτες) από τον ηλεκτρολόγο και δικτύων παροχής ηλεκτρικού ρεύματος



**Εικόνα 6. Υπαίθριος αποθηκευτικός χώρος.**

### **3.9. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ**

Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι αυτές οι εγκαταστάσεις δε λειτουργούν καθημερινά. Η λειτουργία τους ταυτίζεται με τη φόρτωση του προϊόντος σε φορτηγά πλοία (ωφέλιμου φορτίου από 1500 έως 5300 tonnes) που έρχονται για το σκοπό αυτό και μεταφέρουν το υλικό από το ορυχείο στα εργοστάσια της Α.Γ.Ε.Τ. ΗΡΑΚΛΗΣ, στο Βόλο και τη Χαλκίδα. Ο μέσος όρος των μηνιαίων φορτώσεων είναι περίπου 35.000 tonnes. Επομένως γίνονται περίπου  $10 \pm 1$  φορτώσεις κάθε μήνα. Κάθε φόρτωση διαρκεί περίπου 5 ώρες από τη στιγμή που θα αφιχθεί το πλοίο έως τη στιγμή που θα αναχωρήσει με πλήρες φορτίο.

Οι εγκαταστάσεις αυτές αποτελούνται από 5 μεταφορικές ταινίες τις Νο10,11,12,13 και 14-πρόβολος φόρτωσης (Σχήμα 3). Στο δάπεδο του υπαίθριου αποθηκευτικού χώρου του προϊόντος είναι τοποθετημένες δυο παράλληλες σειρές από 33 συνολικά μεταλλικές χοάνες (dumpers, τετραγωνικής διατομής 1m x 1m). Από τη στιγμή που θα ξεκινήσει η φόρτωση ανοίγονται ορισμένες από τις χοάνες, αναλόγως του αποθέματος. Αυτό γίνεται υπόγεια από τα τούνελ και εφόσον πρώτα έχει γίνει εκκίνηση των ταινιών μεταφοράς και φόρτωσης. Υπεύθυνοι γι' αυτό είναι οι εργάτες γενικών καθηκόντων οι οποίοι καθορίζουν πόσες και ποιες χοάνες θα ανοιχτούν.

Η αποκομιδή του προϊόντος που εισρέει από τις χοάνες γίνεται με δυο όμοιες μεταφορικές ταινίες (Εικόνα 7) , τις Νο10 και 11 (μήκους 42m, πλάτους 1m και ταχύτητα 3,1 m/sec), η οποία είναι εγκατεστημένη σε χαμηλότερο επίπεδο από αυτές. Στη συνέχεια το προϊόν από τη μεταφορική ταινία Νο12 οδηγείται στη μεταφορική ταινία Νο13 (μήκους 132m, πλάτους 1m και ταχύτητας 3,2m/sec). Η ΜΤ Νο13 ξεκινά υπόγεια από τα τούνελ (Εικόνα 8) (το 1/3 του μήκους αυτής) για να καταλήξει στον πρόβολο φόρτωσης (Εικόνα 9).



**Εικόνα 7. Υπόγεια μεταφορική ταινία.**



**Εικόνα 8. Μεταφορική ταινία Νο12.**



Ο πρόβολος φόρτωσης είναι ειδική μεταλλική κατασκευή που στηρίζεται σε τσιμεντένιους πυλώνες, οι οποίοι ξεκινούν από το επίπεδο της θάλασσας όπου είχε κατασκευαστεί μια μικρή τσιμεντένια προβλήτα. Ο πρόβολος φόρτωσης είναι στην ουσία ο φορέας της MT No14 (μήκους 22m, πλάτους 1m και ταχύτητας 3,2 m/sec). Έχει τη δυνατότητα κάθετης και περιστροφικής μετατόπισης. Τέλος, το προϊόν οδηγείται από την MT No14 σε ένα μεταλλικό κυλινδρικό χωνί, το οποίο με τη σειρά του κατευθύνει το προϊόν εντός των κοιτών του πλοίου. Για το σκοπό αυτό υπάρχει ένα μικρό έμβολο στο πάνω μέρος του χωνιού που δίνει τη δυνατότητα σε αυτό να κάνει μικρές κινήσεις μπρος-πίσω ώστε να κατανέμεται ομοιόμορφα, καλύτερα και ασφαλέστερα.



**Εικόνα 9. Μεταφορική ταινία στο χώρο φόρτωσης.**

Οι εργασίες που εκτελούνται στις προαναφερόμενες εγκαταστάσεις είναι οι παρακάτω :

- Καθαρισμός, συντήρηση του εξοπλισμού και έλεγχος αυτού
- Επισκευές μεταλλικών μερών
- Αντικατάσταση ή επισκευή κινούμενων μερών (π.χ. ράουλα, ιμάντες μετάδοσης κίνησης, μεταφορικοί ιμάντες)
- Συντήρηση συστημάτων προστασίας (χαλινοδιακόπτες) από τον ηλεκτρολόγο και δικτύων παροχής ηλεκτρικού ρεύματος

Επιπλέον κατά τη διάρκεια των φορτώσεων :

- Απασφάλιση και μετακίνηση του προβόλου φόρτωσης (MT No14) σε οριζόντια θέση και στο τέλος της φόρτωσης αντίστροφα, ασφάλιση αυτού σε παρακατακόρυφη θέση. Οι εργασίες αυτές εκτελούνται από εξωτερικό χειριστήριο για μεγαλύτερη ασφάλεια.
- Άνοιγμα των χοανών (dumpers) φόρτωσης και ρύθμιση αυτών για την τροφοδοσία του προϊόντος από το χώρο απόθεσης προς τις ταινίες φόρτωσης (MT No10 – 14).

## 4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΧΩΡΟΥ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

### 4.1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΜΗΛΟΥ

Η Μήλος είναι ηφαιστειακό νησί που ανήκει στο ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου. Βρίσκεται στο νοτιοδυτικό άκρο του νησιωτικού συμπλέγματος των Κυκλάδων (Σχήμα 5), το οποίο ανήκει γεωλογικά στην Πελαγονική ζώνη. Αποτελεί μεταλλευτικό κέντρο παραγωγής βιομηχανικών ορυκτών και πετρωμάτων όπως καολίνη, μπετονίτη, περλίτη και πυριτικού υλικού.



Σχήμα 5. Γεωγραφική θέση Μήλου.

Στην ευρύτερη περιοχή της νήσου Μήλου συναντώνται οι ακόλουθοι λιθολογικοί σχηματισμοί που ταξινομούνται ανάλογα με τη γεωλογική περίοδο στην οποία εμφανίζονται:

- Τεταρτογενές
- Νεογενές

#### **4.1.1 ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ**

- Αλλουβιακές αποθέσεις
- Παράκτιες αποθέσεις ,όπως κροκαλολατύπες, άμμοι, ιλύς και άργιλοι, με πάχος μέχρι 100m
- Πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων
- Παλαιότερες ποταμοχειμάρριες αποθέσεις, από κροκάλες και λατύπες, ελαφρά συνδεδεμένες

Οι υπόλοιποι σχηματισμοί του Τεταρτογενούς είναι ηφαιστειακής προέλευσης όπως:

- Πορώδεις τόφφοι, στρωμένοι και συνεκτικοί
- Λαχάρ Φυρίπλακας, συνιστώμενο από ρυολιθικά –περλιτικά υλικά, που αποτελείται από εκτεταμένες αποθέσεις ασύνδετων ετερογενών κροκαλολατύπων μεταμορφωμένων, ηφαιστειακών και ασβεστολιθικών πετρωμάτων
- Ρυολιθικές, δακτιλικές, ρυοδακτιλικές και ανδεσιτικές λάβες, οι οποίες αποτελούνται από δόμους και αλλεπάλληλα ρεύματα με τις λάβες αυτές να εμφανίζονται κατά τόπους υδροθερμικά εξαλλοιωμένες
- Λεπτά στρώματα από πυροκλαστικά υλικά
- Πυροκλαστικοί κώνοι και αποθέσεις, οι οποίοι συνίστανται από στρώματα, σε συνεχείς εναλλαγές τέφρας, άμμου, κίσηρης και λάβας ποικίλης σύστασης

- Ρυολιθικοί ιγνιμβρίτες, μερικώς εξαλλοιωμένοι στη ΒΔ Μήλο, που παρεμβάλλονται σε ρεύματα λάβας, πάχους μέχρι 5m

#### **4.1.2 ΝΕΟΓΕΝΕΣ**

- Ανώτερο Πλειόκαινο

- Ⓢ Ιγνιμβρίτες, στα ΝΔ της Μήλου, καλά συγκολλημένους, εξαλλοιωμένους και αποτελούμενους από θραύσματα ύαλου, κίσηρης και ξενολίθων, οι οποίοι μεταβαίνουν προς τα πάνω σε τόφφους, το πάχος των οποίων δεν ξεπερνά τα 100m.

- Ⓢ Παλαιοί τοφφίτες, θαλάσσιας προέλευσης, λευκοί έως υποκίτρινοι, αποτελούμενοι από ηφαιστειακά υλικά και οι οποίοι εναλλάσσονται με παλαιούς τόφφους, χερσαίας απόθεσης, λευκούς έως στακτόμαυρους και γενικά όξινης σύστασης. Ενίοτε, οι τόφφοι, παρουσιάζονται πολύ εξαλλοιωμένοι, λόγω υδροθερμικής δράσης.

- Ⓢ Αποθέσεις ρευμάτων κίσηρης

- Ⓢ Ηφαιστίτες, υδροθερμικά πολύ εξαλλοιωμένοι

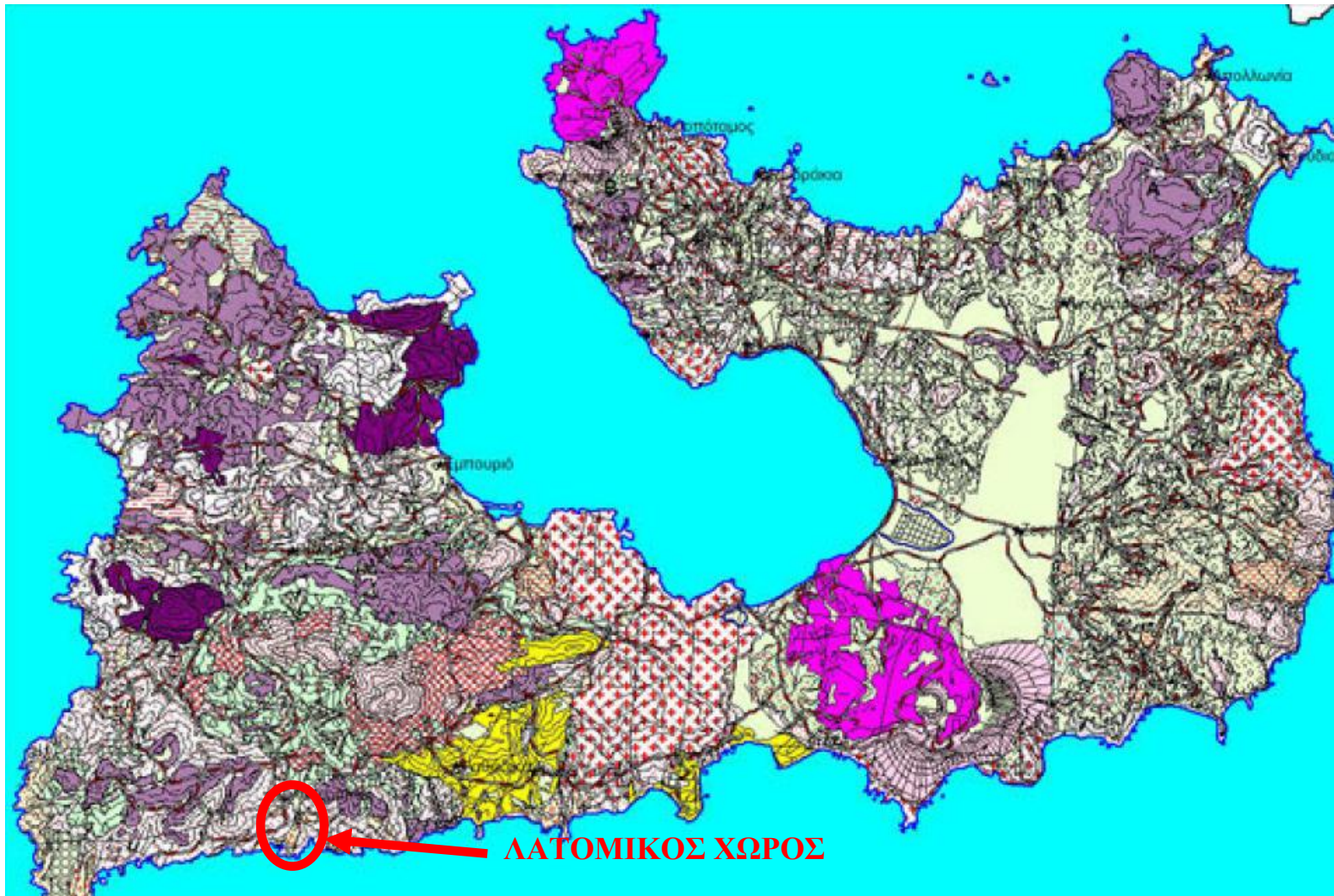
- Ανώτερο Μειόκαινο – Κατώτερο Πλειόκαινο

- Ⓢ Επικλυσιγενή κροκαλοπαγή, στα οποία παρεμβάλλονται στρώματα άμμου και ερυθρής αργίλου

- Ⓢ Ασβεστόλιθοι, οι οποίοι εμφανίζονται λεπτο-μεσοστρωματώδεις, λίγο ή καθόλου μαργαϊκοί, μερικές φορές στιφροί και με σπάνια στρώματα ερυθρής αργίλου

- Μεσοζωικό

Στη Μήλο απαντά το κρυσταλλικό υπόβαθρο, σε περιορισμένη έκταση στα ΝΑ του νησιού και συνιστάται από ένα σύστημα πρασινοσχιστόλιθων από φυλλίτες, μεταβασάλτες, σπανιότερα μάρμαρα έως και φλέβες χαλαζία, ενώ εμφανίζονται και μεταμορφωμένα πετρώματα υψηλής πίεσης (κυρίως γλαυκοφανιτικοί σχιστόλιθοι).



Σχήμα 6. Γεωλογικός χάρτης νήσου Μήλου (Στοιχεία Ι.Γ.Μ.Ε, 1997).



Σχήμα 7. Γεωλογικός χάρτης περιοχής ορυχείου νήσου Μήλου (Στοιχεία Ι.Γ.Μ.Ε, 1997)

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

	Θάλασσα
	a1 Αλλουβιακές αποθέσεις
	H.c2 Παράκτες αποθέσεις
	Q.c5 Κώνιοι κορημάτων
	Q.sc Πλευρικά Κορήματα
	Q.t Ποταμοχαμάρες αποθέσεις
	Q.th2 Λαχάρ Φυριπλάκας
	Q.p2 Ρυολθικές Λάβες
	Q.tf2 Πυροκλαστικά υλικά Φυριπλάκας
	Q.p1 Πυροκλαστικοί κώνιοι
	Q.th1 Πρόσνη Λαχάρ
	Q.th Διάφορα Λαχάρ
	Q.tf1 Πυροκλαστικές Αποθέσεις
	Q.(a,da)2 Λάβες Ανθεσπικές και δασπικές
	Q.br2 Πυροκλαστικά ρεύματα
	Q.ig Ιγνιβρίτες Αγκαθιάς
	Q.(a,da)1 Λάβες Ανθεσπικές ως Ρυοδακτικές
	Q.br1 Πυροκλαστικός σχηματισμός Βουδίων
	Q.p.p.da Λάβες Ρυολθικές Ρυοδακτικές
	Q.la Λάβες υδροθερμικά εξαλλοιωμένες
	Ne.ig Ιγνιβρίτες Νότιας Μήλου
	Ne.p Παλαιοί τοφίτες
	Ne.tf Παλαιοί τόφφοι
	Ne.la Αποθέσεις ρευμάτων κίσηρης
	t Τόφφοι πολύ εξαλλοιωμένοι
	vo Ηφαιστίτες Υδροθερμικά εξαλλοιωμένοι
	Ms-Pk Επικλυσιγενή κροκαλοποίηση και Ασβεστόλιθοι
	Mz.sch Κρυσταλλικό υπόβαθρο

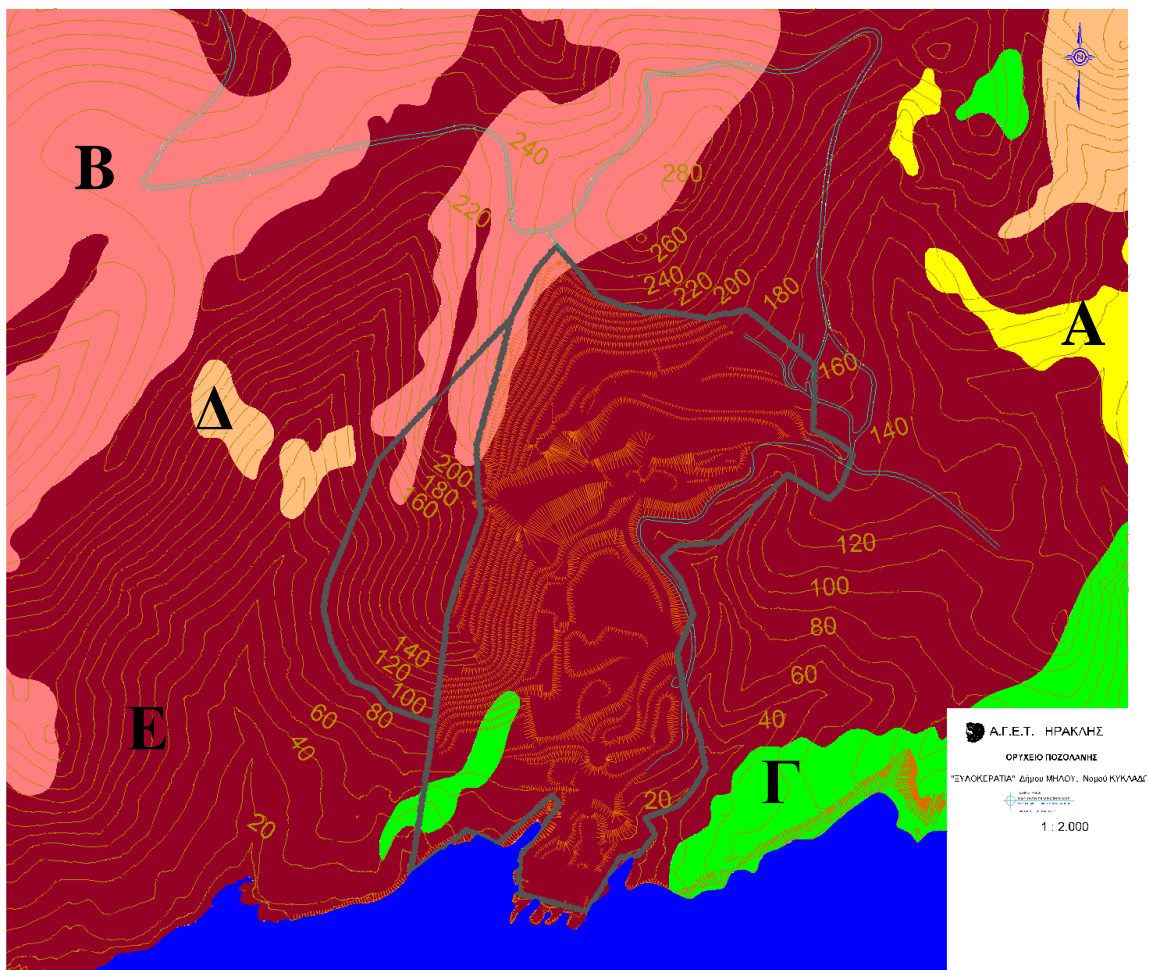
**Σχήμα 8. Υπόμνημα - στρωματογραφική στήλη γεωλογικού χάρτη της νήσου Μήλου (Ι.Γ.Μ.Ε,1997).**



## 4.2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΣΤΕΝΟΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΟΡΥΧΕΙΟΥ

### 4.2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Οι ποζολανικές γαίες αποτελούν τμήμα του πυροκλαστικού σχηματισμού που αναπτύσσεται στο νοτιοδυτικό άκρο του νησιού. Αποτελείται από άσπρους και γενικά όξινους τόφφους κατάλληλους να χρησιμοποιηθούν σαν υλικό προσθήκης στην παραγωγή τσιμέντων με ποζολάνη .



Σχήμα 9. Γεωλογικός χάρτης εγγύτερης περιοχής του ορυχείου ποζολάνης.

Από τον παραπάνω γεωλογικό χάρτη (Σχήμα 9) της εγγύτερης περιοχής του ορυχείου διακρίνονται γενικά οι εξής γεωλογικοί σχηματισμοί:

- **A:** Αλλουβιακές αποθέσεις, άμμοι, κροκάλες
- **B:** Πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων
- **Γ:** Διάφορα λαχάρ
- **Δ:** Λάβες ανδεσιτικές, ρυολιθικές έως ρυοδακτιτικές
- **Ε:** Παλαιοί τόφοι

**Ποζολάνες** χαρακτηρίζονται τα φυσικά ή τεχνητά υλικά πυριτικής ή αργιλοπυριτικής συστάσεως, τα οποία σε φυσική κατάσταση δεν παρουσιάζουν (ή παρουσιάζουν σε μικρή έκταση) υδραυλικές ιδιότητες, ενώ όταν μετατραπούν σε σκόνη, παρουσία υγρασίας, αντιδρούν χημικά με το υδροξείδιο του ασβεστίου  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και σχηματίζουν ενώσεις με υδραυλικές ιδιότητες. Η ποζολανική ενέργεια ενός υλικού είναι ανάλογη της περιεκτικότητας του σε άμορφο  $\text{SiO}_2$ . Η ποζολανική ενέργεια ελαττώνεται από το ηφαιστειακό γυαλί προς τα άλλα πυριτικά ορυκτά κατά την ακόλουθη σειρά: ηφαιστειακό γυαλί, οπάλιος, άργιλοι, ορυκτά της ομάδας του καολινίτη, ορυκτά της ομάδας του μοντμοριλονίτη, ορυκτά της ομάδας του ιλλίτη, μεικτές άργιλοι βερμικουλίτη-χλωρίτη, παλυγορσκήτης, ζεόλιθοι και τέλος ένυδρα οξείδια του αργιλίου (Κατερινόπουλος και Σταματάκης, 1995).

Ειδικότερα ο χώρος του ορυχείου αλλά και ο ευρύτερος αποτελείται αποκλειστικά από ηφαιστειακούς σχηματισμούς, ποικίλης πετρολογικής σύστασης και διαφορετικού τρόπου σχηματισμού. Οι βασικοί τύποι ηφαιστειακών πετρωμάτων που απαντώνται στο χώρο έρευνας είναι οι εξής:

- Λευκοί ως ανοιχτόχρωμοι τόφοι γενικά όξινοι που αποτελούνται από κισσηρούχα υλικά ανάμικτα με ηφαιστειακή τέφρα. Είναι ο ηφαιστειακός σχηματισμός που παρουσιάζει αυξημένη ποζολανικότητα και θεωρείται ο πιο κατάλληλος για την παραγωγή τσιμέντου.

Διακρίνουμε τρεις παραλλαγές του σχηματισμού αυτού :

- ⊗ Τόφφοι με παρεμβολές τοφφικών και άμμων, ιδιαίτερα στους ανώτερους ορίζοντες
  - ⊗ Τόφφοι με παρουσία κονδύλων πυριτικού στα ανώτερα κυρίως στρώματα
  - ⊗ Τόφφοι με παρεμβολές στρωμάτων από βολίδες λαβών, τοφφιτών ή αργιλιτών όπου τοπικά είναι ελαφρά πυριτωμένοι
- 
- Πυροκλαστικά αδρομερή υλικά με στρώματα από βολίδες, λιθάρια ,άμμους και σπανιότερα τέφρας
  - Ηφαιστειακά συνάγματα που αποτελούνται από γωνιώδη τεμάχια λαβών, ισχυρά συγκολλημένων μεταξύ τους
  - Ηφαιστειακά κορήματα από γωνιώδη τεμάχια λαβών που προέρχονται κατά κύριο λόγο από διάβρωση των ηφαιστειακών συναγμάτων κα καλύπτουν ,με μικρό πάχος τις πλαγιές των περισσότερων λόφων
  - Προσχώσεις μικρού πάχους και έκτασης οι οποίες χαρακτηρίζονται από πάσης φύσεως φερτών υλικών
  - Πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων με παλαιότερες και σύγχρονες αποθέσεις, μόνο τοπικά συνδεδεμένες
  - Πράσινο λαχάρ με εκτεταμένες αποθέσεις ασύνδετων ετερογενών υλικών που είναι, στο ανατολικό και νότιο μέρος του νησιού, κυρίως κροκαλολατύπες μεταμορφωμένων «πρασίνων» αλλά και ασβεστολιθικών και ηφαιστειακών πετρωμάτων, μαζί με λεπτομερή υλικά (ηφαιστειακές τέφρες και τρίμματα μεταμορφωμένων πετρωμάτων). Ο σχηματισμός είναι χαώδης με αταξινόμητες, ως προς το μέγεθος κροκαλολατύπες. Περιλαμβάνονται και οι αποθέσεις στα πλευρά των μεγάλων φρεατικών κρατήρων. Πάχος μέχρι 60m
  - Διάφορα λαχάρ με ποικιλία από άποψη ηλικίας και σύστασης και περιορισμένης έκτασης και πάχους
  - Λάβες ανδεσιτικές, δακτιτικές ως ρυοδακτιτικές σε μορφή δόμων εξωθήσεως ή εκροής (με τα λατυποπαγή τους) και ρευμάτων ως και συνθέτων ηφαιστειακών κέντρων. Οι

ανδευτικές λάβες έχουν πορφυριτικό ή μικρολιθικό ιστό, φαινοκρυστάλλους από πλαγιόκλαστα, πυροξένους (υπερσθενή και αυγίτη), κεροσίλβη, μαγνητίτη και φαινοκρυστάλλους από πλαγιόκλαστα, χαλαζία, κεροσίλβη, βιοτίτη, μαγνητίτη και σπάνια πυροξένους και θεμελιώδη μάζα υαλώδη – περλιτική ή μικρολιθική

- Λάβες ρυολιθικές - ρυοδακτικικές σε μορφή τυπικών ενδογενών δόμων, με τα λατυποπαγή τους και ρευμάτων. Στο εξωτερικό μέρος τους έχουν πολλές φορές οψιδιανό. Οι λάβες είναι ανοιχτόχρωμες, με πορφυριτικό συνήθως ιστό, φαινοκρυστάλλους από πλαγιόκλαστα, χαλαζία, σανίδινο, κεροσίλβη και βιοτίτη και θεμελιώδη μάζα συνήθως υαλώδη με περλιτική υφή

#### **4.2.2 ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑ**

Το κοίτασμα των ποζολανικών γαιών της Ν.Μήλου συνιστούν οι παλιοί τόφοι που αποτέθηκαν στην ευρύτερη περιοχή της Ξυλοκερατιάς κατά τη διάρκεια της πρώτης ηφαιστειακής δραστηριότητας που εκδηλώθηκε στο νησί. Είναι άσπροι μέχρι σταχτόμαυροι, γενικά όξινοι, με άφθονο λεπτομερές υαλώδες-κίσηρούχο συνδετικό υλικό, μέσα στο οποίο συναντώνται τεμάχια κίσηρης διαφόρων μεγεθών. Κατά θέσεις κυριαρχούν οριζόντες με άφθονα μεγάλα κομμάτια κίσηρης. Τα κομμάτια λάβας είναι πολύ περιορισμένα σε αριθμό και μέγεθος.

#### **4.2.3 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ**

Οι ποζολανικές γαίες συνίστανται σχεδόν εξ ολοκλήρου από μια υαλώδη αφαντική μάζα αποτελούμενη από θραύσματα ηφαιστειακού γυαλιού όξινης σύστασης. Σε ελάχιστο ποσοστό παρατηρούνται διάσπαρτοι ιδιόμορφοι κρύσταλλοι πλαγιόκλαστων, όξινοι-μέσης βασικότητας και διάσπαρτοι θραυσίγενείς κρύσταλλοι χαλαζία. Ακόμα, διακρίνονται κατά θέσεις διάσπαρτα φυλλάρια βιοτίτη εξαλλοιωμένου σε γλωρίτη και κρύσταλλοι γύψου-ανυδρίτη.

## 5. ΤΟ ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ SURFACE MINER

### 5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

Η δυσκολία εξόρυξης ορισμένων πετρωμάτων εξ αίτιας της γεωλογίας των καθώς και η περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση των ανθρώπων, οδήγησε στη βελτίωση των υπάρχοντων μεθόδων εξόρυξης και τη δημιουργία περισσότερων και αυστηρότερων περιβαλλοντικών νομοθεσιών για τα υπαίθρια μεταλλεία και λατομεία, ώστε να διαχειρίζονται καλύτερα οι βιομηχανικοί χώροι και να περιορίζονται ο θόρυβος, οι δονήσεις αλλά και η σκόνη.

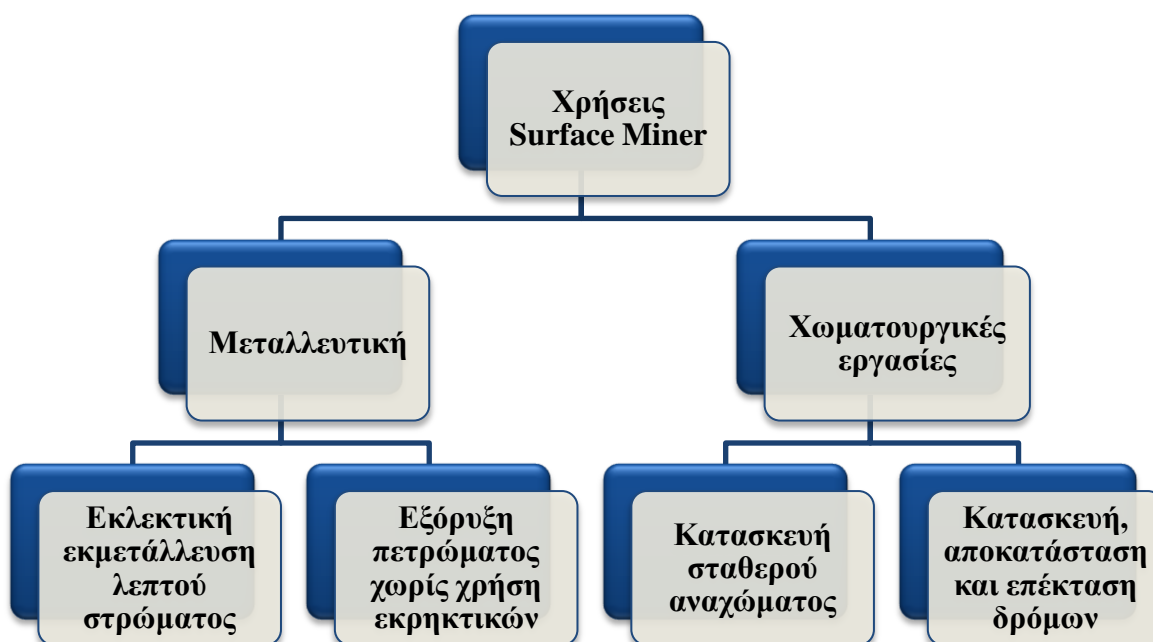
Το Surface Miner αποτελεί ένα σύγχρονο μηχάνημα εξόρυξης με μεγάλη αποδοτικότητα. Ουσιαστικά, είναι ένα αυτοκινούμενο μηχάνημα συνεχούς μηχανικής εξόρυξης που χρησιμοποιείται σε υπαίθρια λατομεία, ορυχεία, σε χωματουργικά έργα, σε εξορύξεις σε υπόγεια μέτωπα αλλά και σε διαμόρφωση χώρων.

Η μοναδικότητα της λειτουργίας του βασίζεται στο γεγονός ότι εκτελεί τις τρεις βασικές φάσεις της εξορυκτικής δραστηριότητας, δηλαδή την εκσκαφή, τη φόρτωση, και την απόθεση του υλικού όταν αυτό απαιτείται. Το Surface Miner είναι ένα μηχάνημα το οποίο χρησιμοποιείται στη μεταλλευτική δραστηριότητα για εξόρυξη πετρωμάτων μέτριας έως υψηλής αντοχής και εμφανίζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα συγκριτικά με άλλες μεθόδους:

- Αποτελεί οικονομική μέθοδο καθώς απαιτείται περιορισμένος μηχανολογικός εξοπλισμός και λιγότερο εργατικό προσωπικό
- Η διαδικασία της εκμετάλλευσης απαιτεί λιγότερο χρόνο
- Το υλικό που προκύπτει από την εξόρυξη είναι στην κατάλληλη κοκκομετρία και ως επί το πλείστον δεν χρειάζεται δευτερογενής θραύση
- Αποδοτικότερη εκμετάλλευση των κοιτασμάτων

Το Surface Miner έχει ως κύριο και βασικό χαρακτηριστικό του την ακρίβεια στην εξορυκτική του δραστηριότητα. Έχει τη δυνατότητα να εξορύσσει με μεγάλη επιλεκτικότητα και ενδείκνυται κυρίως για κοιτάσματα που εμφανίζουν οριζόντια εξάπλωση. Με τη χρήση του μηχανήματος αυτού επιτυγχάνεται εξόρυξη με την ελάχιστη δυνατή περιβαλλοντική επίπτωση . Συγκεκριμένα, αποφεύγονται οι διαδικασίες της διάτρησης και της εξόρυξης με εκρηκτικές ύλες που προκαλούν δονήσεις και εκτόξευση βραχώδους υλικού. Επίσης, ελαχιστοποιείται η όχληση και η έκλυση αερίων και σκόνης.

Το υλικό της εξόρυξης είναι στο κατάλληλο μέγεθος χωρίς να χρειάζεται τις περισσότερες φορές περαιτέρω επεξεργασία με ενεργοβόρες διαδικασίες όπως είναι η δευτερογενής θραύση. Ακόμα, το κόστος επένδυσης μιας τέτοιου είδους εκμετάλλευσης είναι πολύ μικρότερο από την καθιερωμένη συμβατική μέθοδο εξόρυξης , ενώ ταυτόχρονα ελαχιστοποιούνται και οι κίνδυνοι εργατικών ατυχημάτων.



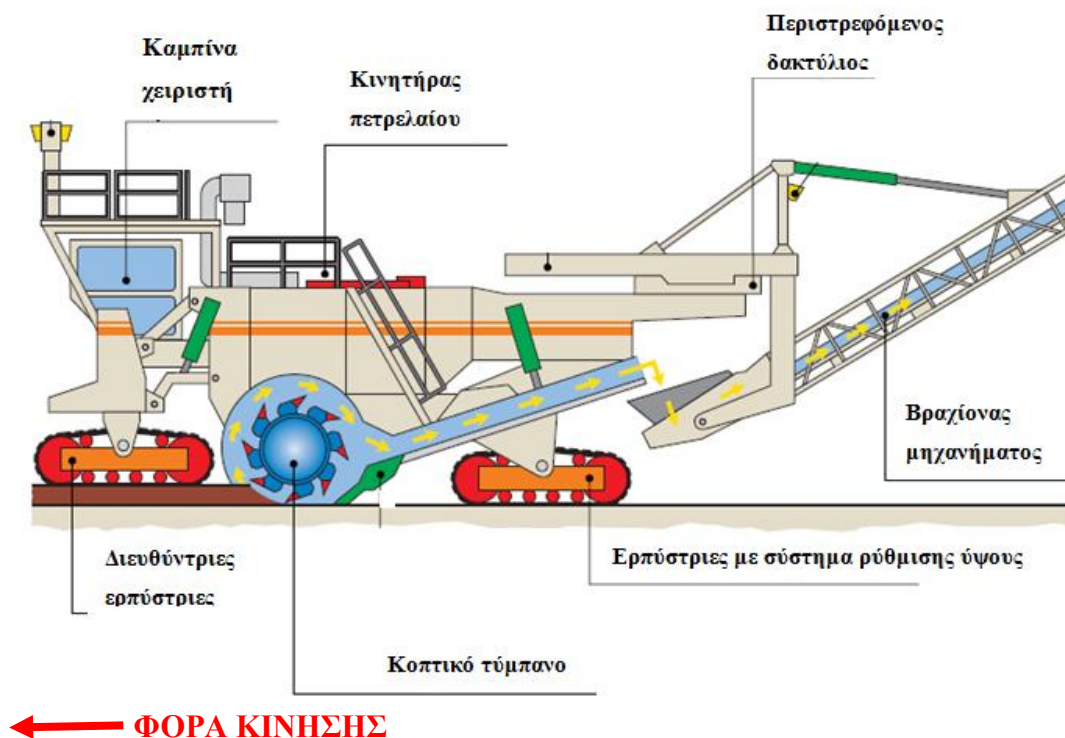
**Σχήμα 10. Χρήσεις Surface Miner.**

## 5.2. ΤΑ ΜΕΡΗ ΠΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΟΥΝ ΤΟ SURFACE MINER

Το Surface Miner αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

- Τέσσερις ερπύστριες
- Καμπίνα χειριστή
- Κοπτικό τύμπανο
- Κύρια μεταφορική ταινία
- Βραχίονας με την κύρια μεταφορική ταινία

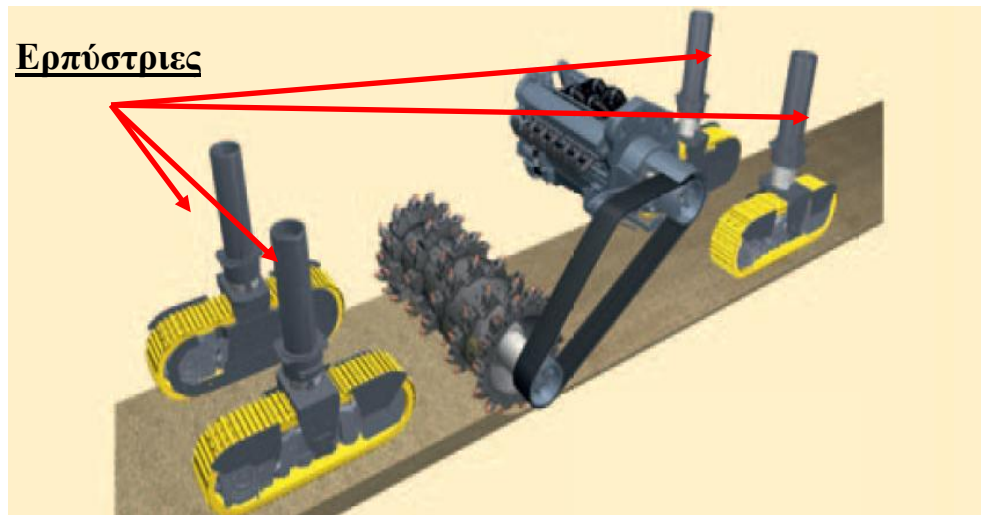
Η κίνηση του μηχανήματος αυτού πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός πετρελαιοκινητήρα ο οποίος προσδίδει ισχύ σε έναν ανθεκτικό μάντα ο οποίος με τη σειρά του κινεί το κοπτικό τύμπανο. Ενώ τα λοιπά μέρη κινούνται με τη βοήθεια υδραυλικού συστήματος.



Σχήμα 11. Μέρη που αποτελούν το Surface Miner (Manual Wirtgen GmbH, 2010).

### **5.2.1 ΕΡΠΥΣΤΡΙΑΣ**

Η εξαιρετική σταθερότητα που παρουσιάζει το Surface Miner ακόμα και σε περιπτώσεις κοπής σκληρού πετρώματος οφείλεται στις τέσσερις ερπύστριες οι οποίες είναι τοποθετημένες κατά τέτοιο τρόπο ώστε να προσφέρουν στο μηχάνημα την δυνατότητα για εύκολους ελιγμούς.



**Σχήμα 12. Ερπύστριες Surface Miner (Manual Wirtgen GmbH, 2010).**

### **5.2.2 ΚΑΜΠΙΝΑ ΧΕΙΡΙΣΤΗ**

Μέσα στην καμπίνα του χειριστή είναι κατάλληλα τοποθετημένα γύρω του όλα τα όργανα εκείνα με τα οποία ελέγχεται το Surface Miner ώστε να εξασφαλίζεται τόσο η ακριβής λειτουργία του μηχανήματος όσο και η άνεση και ασφάλεια του χειριστή.



**Σχήμα 13. Καμπίνα χειριστή (Manual Wirtgen GmbH, 2010).**



### **5.2.3 ΚΟΠΤΙΚΟ ΤΥΜΠΑΝΟ**

Πλησίον του κέντρου βάρους και μεταξύ των τεσσάρων ερπυστριών βρίσκεται το κοπτικό τύμπανο. Τα κοπτικά εργαλεία είναι τοποθετημένα ελικοειδώς επί της κυλινδρικής επιφάνειας του κοπτικού τυμπάνου έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η κοπή του πετρώματος. Στο εσωτερικό του μηχανήματος και πίσω από το τύμπανο κοπής βρίσκεται η κύρια μεταφορική ταινία η οποία συνδέεται με τα κοπτικά άκρα έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μεταφορά των εξορυγμένων τεμαχίων που παράγονται κατά τη κοπή του πετρώματος.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι κοπτικών εργαλείων και ο κάθε τύπος χρησιμοποιείται για συγκεκριμένες συνθήκες, έτσι η διάταξη των κοπτικών εργαλείων στο τύμπανο και τα αναλώσιμα κοπτικά εργαλεία του μηχανήματος επιλέγονται κάθε φορά ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του πετρώματος που πρόκειται να εξορυχτεί. Η ταχύτητα του κοπτικού τυμπάνου κυμαίνεται συνήθως από 60 έως 100 στροφές το λεπτό.

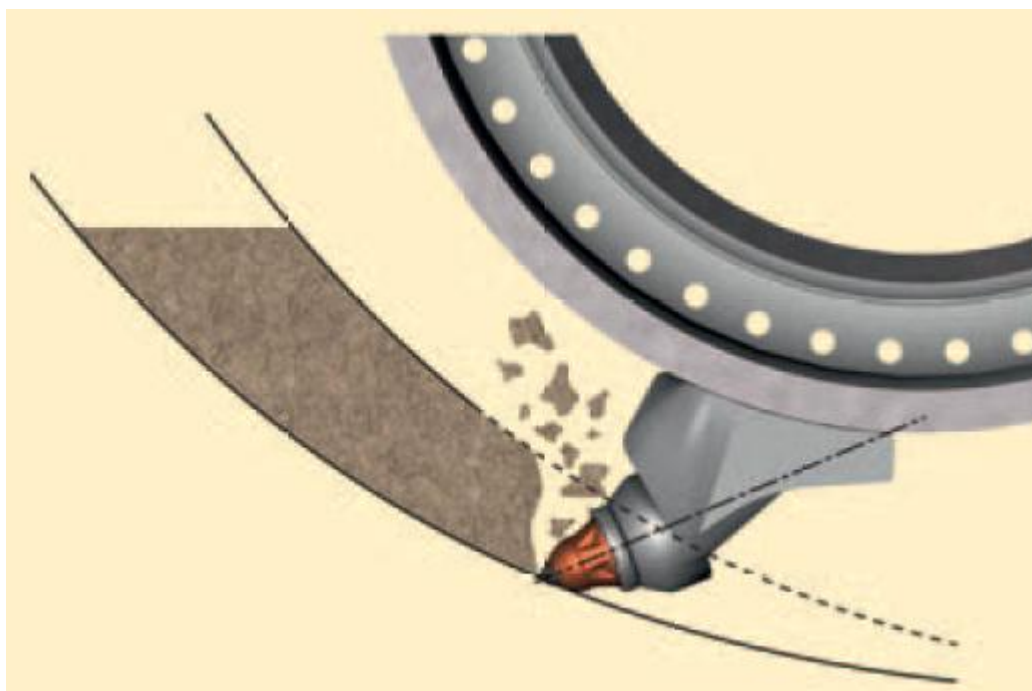
Χαρακτηριστικό του κοπτικού εργαλείου είναι η κατασκευή της κοπτικής ακμής από καρβίδια βολφραμίου και ο τύπος κάθε ακμής είναι διαφορετικός για κάθε περίπτωση. Τα κοπτικά είναι κολλημένα πάνω σε ένα δακτύλιο και εφαρμοζόμενα πάνω σε ένα δαχτυλίδι το οποίο τα συγκρατεί στη θέση τους ώστε να μπορούν να εξορύσσουν το πέτρωμα. Όταν επέρχεται φθορά των κοπτικών, αυτά απομακρύνονται απλά με τη χαλάρωση του δαχτυλιδιού.



**Εικόνα 10. Μορφή κοπτικού τυμπάνου Surface Miner (Manual Wirtgen GmbH, 2010).**



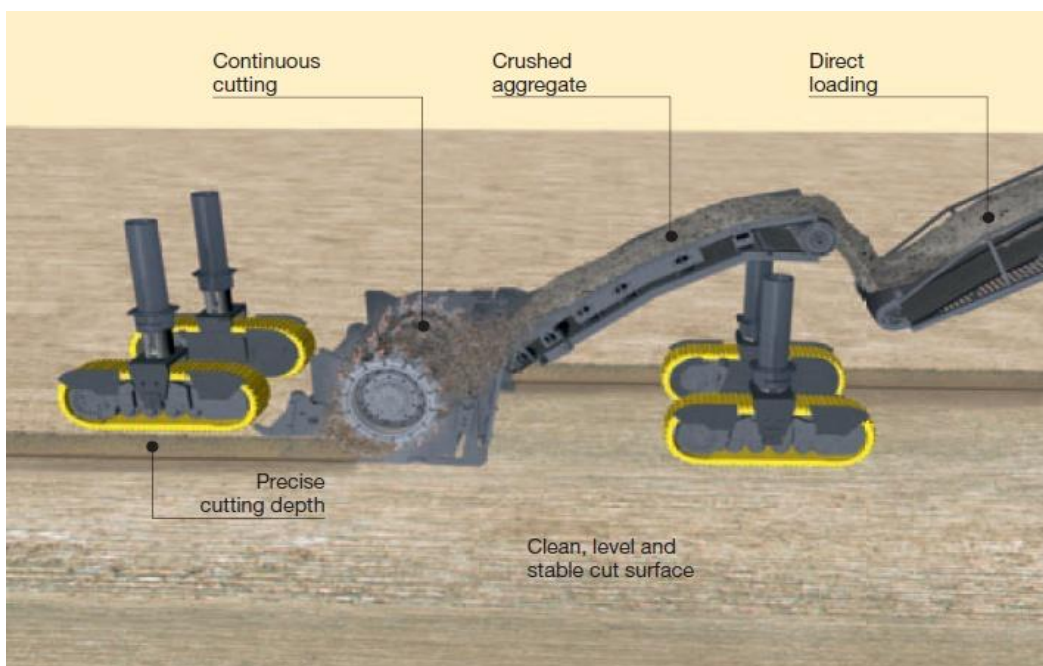
**Εικόνα 11. Αλλαγή κοπτικού άκρου (Manual Wirtgen GmbH, 2010).**



**Σχήμα 14. Εφαρμογή κοπής κοπτικού άκρου στο πέτρωμα. (Manual Wirtgen GmbH, 2010).**

#### **5.2.4 ΚΥΡΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗ ΤΑΙΝΙΑ**

Μπροστά από το κοπτικό τύμπανο και πολύ κοντά του είναι τοποθετημένη η κύρια μεταφορική ταινία και η οποία είναι κατασκευασμένη από ειδικό συνθετικό υλικό που του προσδίδει ανθεκτικότητα στη μεγάλη καταπόνηση που υφίσταται κατά τη λειτουργία του μηχανήματος.



**Σχήμα 15. Μεταφορική ταινία του Surface Miner (Manual Wirtgen GmbH, 2010).**

#### **5.2.5 ΒΡΑΧΙΟΝΑΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ**

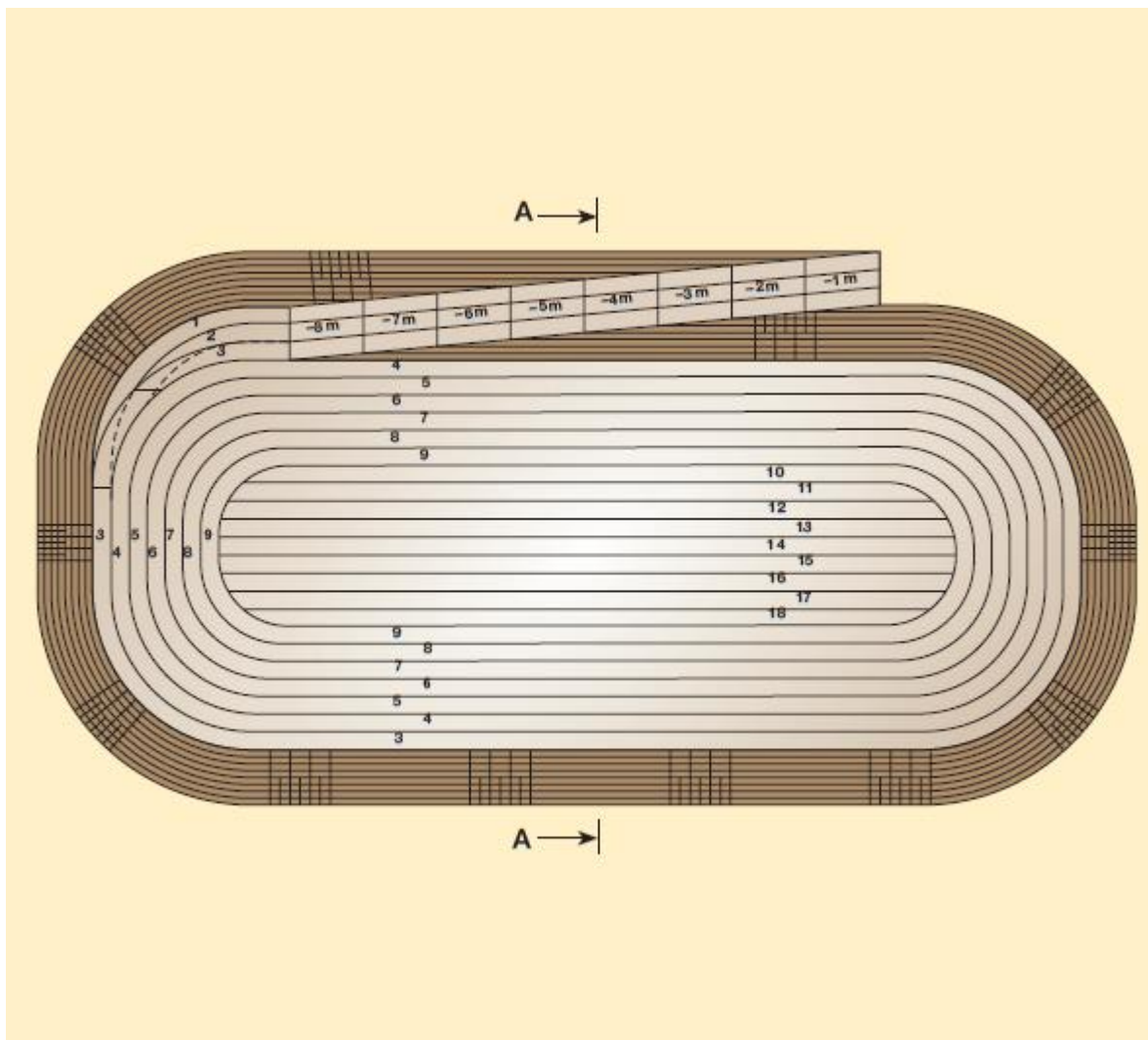
Ο βραχίονας έχει σταθερό μήκος και παρέχει δυνατότητα αλλαγής κλίσης και κατεύθυνσης ενώ δίνει τη δυνατότητα στο μηχάνημα είτε να φορτώσει απευθείας το υλικό σε χωματουργικά μηχανήματα είτε να τα αποθέσει σε κατάλληλη θέση.

Αποτελείται από ένα δικτύωμα χαλύβδινων δοκών και στηρίζεται με τη βοήθεια υδραυλικών κυλίνδρων και συρματόσχοινων στην καμπίνα. Κατά μήκος του βραχίονα υπάρχει μια μεταφορική ταινία η οποία ξεκινάει από το τέλος της κύριας μεταφορικής ταινίας και καταλήγει στο τέλος του βραχίονα από όπου φεύγει και το υλικό από την ταινία. Ακόμη, η ταινία αυτή είναι κατασκευασμένη από το ίδιο υλικό κατασκευής της κύριας μεταφορικής ταινίας και στην επιφάνειά της φέρει ραβδώσεις οι οποίες στοχεύουν στην αποφυγή της προς τα πίσω κύλισης του εξορυγμένου υλικού σε περιπτώσεις που η ταινία λαμβάνει μεγάλη κλίση.

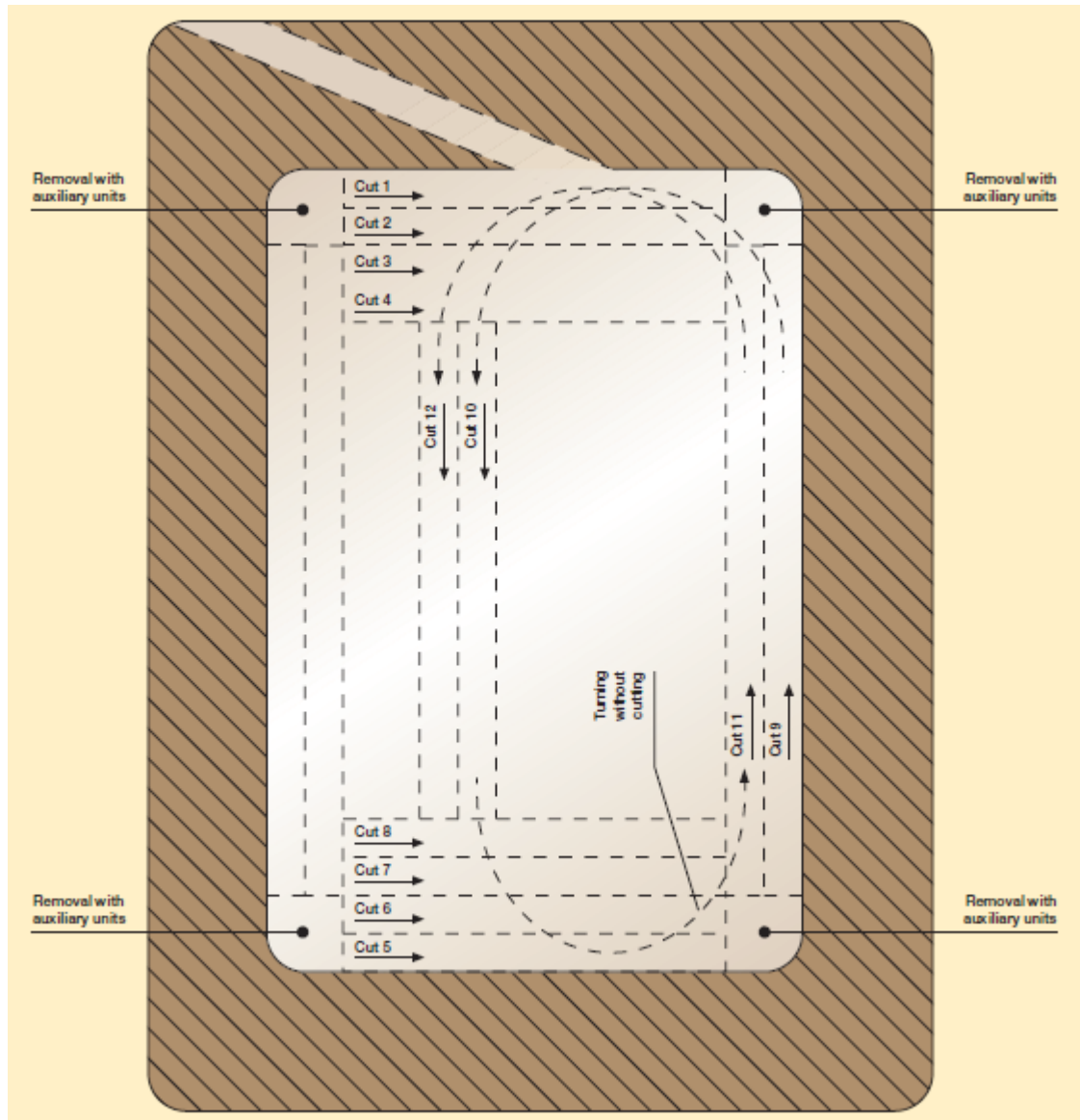
### 5.2.6 ΕΞΟΡΥΞΗ ΜΕ ΤΟ SURFACE MINER

Για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της εξόρυξης του πετρώματος με το Surface Miner είναι απαραίτητο η επιφάνεια του χώρου πάνω στην οποία θα κινηθεί να είναι σχετικά μεγάλη και ομαλή όπως επίσης και η κλίση της να μην ξεπερνά τις 5° για αποφυγή ανατροπής του μηχανήματος.

Στη συνέχεια, απεικονίζεται το σχήμα που πρέπει να έχει η προς εξόρυξη περιοχή (Σχήμα 16), το οποίο είναι ελλειψοειδές, καθώς επίσης και η σειρά που κόβονται οι τομές (Σχήμα 17).



Σχήμα 16. Απεικόνιση επιφάνειας στην οποία λειτουργεί το Surface Miner σε υπαίθριο ορυχείο (Manual Wirtgen GmbH, 2010).



Σχήμα 17. Σχηματική απεικόνιση σειράς κοψίματος επιφάνειας του πετρώματος που ακολουθεί το Surface Miner (Manual Wirtgen GmbH, 2010).

Αρχικά, τοποθετείται το πρώτο χωματουργικό αυτοκίνητο μπροστά από το Surface Miner και έπειτα ξεκινάει η διαδικασία εξόρυξης. Το κοπτικό τύμπανο του Surface Miner κατεβαίνει και αρχίζει να περιστρέφεται και τα κοπτικά κόβουν το πέτρωμα σε βάθος ανάλογα με τον τύπο του πετρώματος. Παράλληλα με την κοπή του πετρώματος γίνεται και φόρτωσή του στα μηχανήματα φόρτωσης και όταν το surface miner ολοκληρώσει την κοπή την εξόρυξη της πρώτης φέτας τότε το κοπτικό τύμπανο σηκώνεται και το μηχάνημα παίρνει νέα θέση για την κοπή της επόμενης φέτας πετρώματος.



**Εικόνα 12. Surface Miner κατά τη διαδικασία εξόρυξης και φόρτωσης του πετρώματος.**

Το Surface Miner κατά τη διαδικασία της εξόρυξης του πετρώματος ελέγχεται από δυο χειριστές. Ο κυρίως χειριστής βρίσκεται μέσα στην καμπίνα και ευθύνεται για την οδήγηση αλλά και για τον έλεγχο των οργάνων με τα οποία λειτουργεί το μηχάνημα, ενώ ο βοηθός χειριστής βρίσκεται στο δεξιό ή το αριστερό πίσω μέρος του μηχανήματος στο δάπεδο του ορυχείου. Είναι υπεύθυνος για τη ρύθμιση του βάθους κοπής και την κλίση του κοπτικού τυμπάνου καθώς και την απομάκρυνση χαλαρών ή θραυσμένων πετρωμάτων τα οποία βρίσκονται μπροστά από το μηχάνημα και είναι δυνατόν να προκαλέσουν προβλήματα στο κοπτικό τύμπανο όπως γίνεται στην περίπτωση όπου κομμάτι πετρώματος σφηνώνεται ανάμεσα στα κοπτικά.

Βασικό χαρακτηριστικό στοιχείο του Surface Miner είναι η ικανότητα του να φορτώνει απευθείας το υλικό που εξορύσσει. Συγκεκριμένα, υπάρχουν δύο τρόποι βάσει των οποίων φορτώνει το πέτρωμα. Ο πρώτος είναι αυτός όπου η φόρτωση του υλικού πραγματοποιείται σε φορτηγό που κινείται μπροστά από το Surface Miner και ο δεύτερος είναι αυτός όπου το εξορυγμένο υλικό τοποθετείται σε φορτηγό που κινείται πλαγίως του Surface Miner.



**Εικόνα 13. Φόρτωση του εξορυγμένου υλικού πλευρικά του Surface Miner (Manual Wirtgen Gmbh, 2010) .**



**Εικόνα 14. Φόρτωση του εξορυγμένου υλικού μπροστά από το Surface Miner (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).**

Πρέπει να τονιστεί ότι εκτός από τους δυο προαναφερόμενους τρόπους φόρτωσης του υλικού υπάρχουν και άλλοι δυο τρόποι έμμεσης φόρτωσης με εναπόθεση του εξορυγμένου υλικού από το Surface Miner είτε στο πλάι είτε πίσω του με τη βοήθεια της μεταφορικής του ταινίας. Και στις δύο περιπτώσεις δεν υπάρχει απώλεια χρόνου στην φάση της εκσκαφής επειδή είναι μία ανεξάρτητη διαδικασία χωρίς να εμπλέκονται φορτηγά.



**Εικόνα 15. Εναπόθεση του υλικού πίσω από το Surface Miner (Manual Wirtgen GmbH, 2010).**





Εικόνα 16. Εναπόθεση του υλικού πλευρικά του Surface Miner (Manual Wirtgen GmbH, 2010).

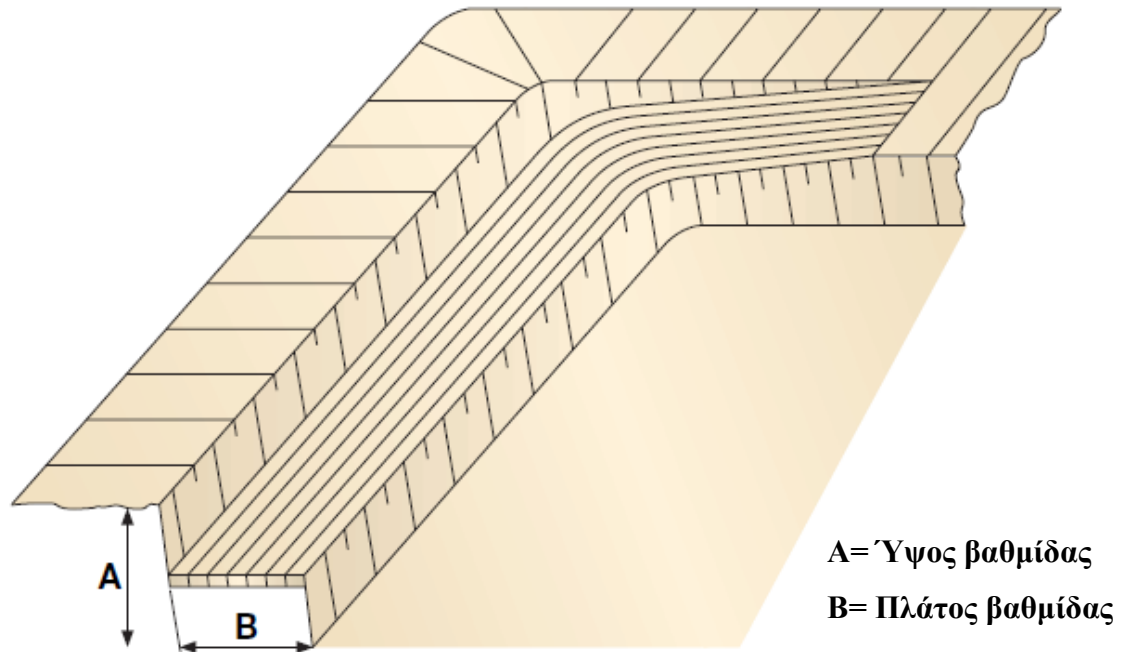
### **5.3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ SURFACE MINER**

Ο αρχικός σχεδιασμός του Surface Miner πραγματοποιήθηκε για κοπή πετρωμάτων με αντοχή σε θλίψη μέχρι 70 MPa. Πλέον υπάρχει η δυνατότητα να εξορύσσει πετρώματα με αντοχή σε μονοαξονική θλίψη μεταξύ 10 και 120 MPa, γεγονός που του προσδίδει χρησιμότητα σε ένα ικανοποιητικό εύρος πετρωμάτων και σχηματισμών.

Τόσο ο σχεδιασμός του μηχανήματος όσο και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του είναι κατάλληλα ώστε αυτό να μπορεί να δουλεύει σε διάφορες συνθήκες, να εξορύσσει πετρώματα σε απαιτητικά έργα και να έχει τη δυνατότητα να κάνει εκλεκτική εξόρυξη του κεκλιμένου στρώματος.

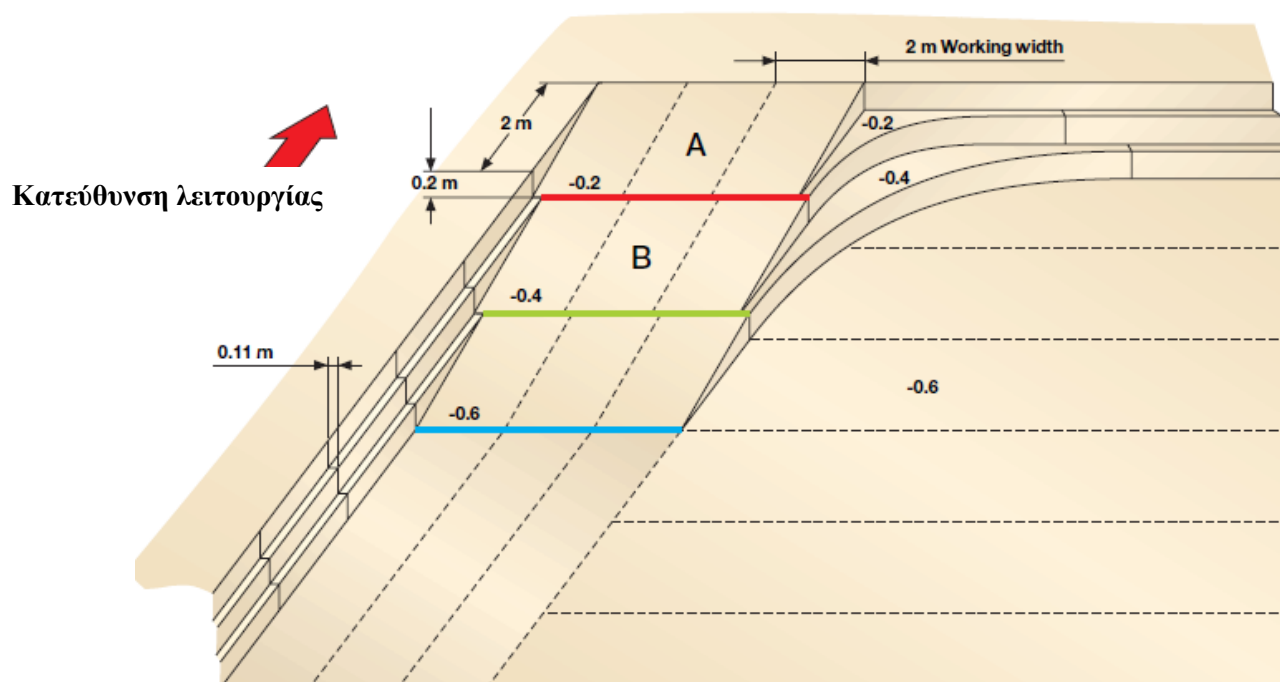
Ακόμη, το Surface Miner έχει την ικανότητα να μπορεί να ενσωματωθεί και να λειτουργήσει και σε εν λειτουργία ορυχεία που χρησιμοποιούν τη μέθοδο των βαθμίδων ως τρόπο εξόρυξης. Καθώς το μηχάνημα κόβει την προσχεδιασμένη με το επιθυμητό ύψος βαθμίδα κόβει

ταυτόχρονα τη δική του ράμπα. Μετά την ολοκλήρωση κοπής της πρώτης βαθμίδας, η κοπή της επόμενης μπορεί να ξεκινήσει γειτονικά της πρώτης (Σχήμα 18).



**Σχήμα 18. Σχηματική απεικόνιση δημιουργίας βαθμίδων από το Surface Miner (Manual Wirtgen GmbH, 2010).**

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι έχει την ικανότητα να μπορεί να διαμορφώσει μόνο του ράμπες οι οποίες μπορούν να κόβονται με διεύθυνση προς τα πάνω ή προς τα κάτω και έχουν κλίση περίπου 10-15% προκειμένου να είναι προσπελάσιμες από τα εν κυκλοφορία φορτηγά του ορυχείου. Η διαμόρφωση της ράμπας απεικονίζεται και επεξηγείται παρακάτω (Σχήμα 19).



Σχήμα 19. Σχηματική απεικόνιση δημιουργίας βαθμίδων από το Surface Miner (Manual Wirtgen Gmbh, 2002).

Το Surface Miner ξεκινάει τη δημιουργία της ράμπας, με κατεύθυνση ανοδική, κόβοντας το πρώτο κομμάτι. Όταν αρχίζει να πλησιάζει την κόκκινη γραμμή (Σχήμα 18) μειώνει σταδιακά το βάθος κοψίματος μέσα στα επόμενα 2m με αποτέλεσμα να κόβεται λιγότερο υλικό. Έτσι, έχει σχηματιστεί μια ράμπα. Από την κόκκινη γραμμή μέχρι και το σημείο από όπου θα ξεκινήσει το κόψιμο της επόμενης φέτας το μηχάνημα σηκώνει το κοπτικό. Αυτή η διαδικασία θα συνεχιστεί από φέτα σε φέτα μέχρι να επιτευχθεί το τελικό μήκος της ράμπας.

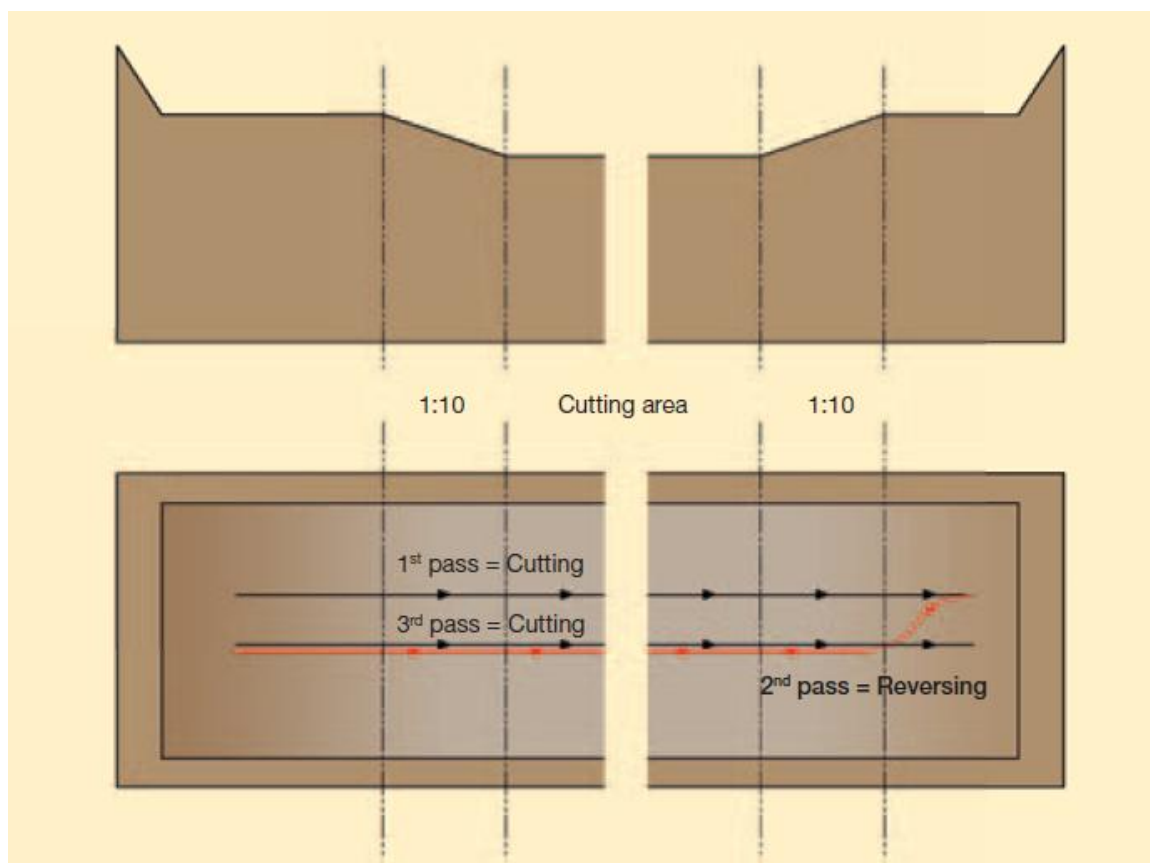
## 5.4. Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΕΛΙΓΜΩΝ ΤΟΥ SURFACE MINER

### 5.4.1 ΣΤΡΟΦΗ ΣΕ ΣΤΕΝΕΣ ΖΩΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Λόγω του ότι είναι αδύνατο και χρονοβόρο να στρίψει το Surface Miner στις στενές ζώνες εργασίας, πρέπει να έχουν κατασκευαστεί ράμπες στην αρχή και το τέλος της περιοχής που πρόκειται να εξορυχτεί ώστε να επιτρέπεται η προσπέλασή της τόσο από τα φορτηγά όσο και

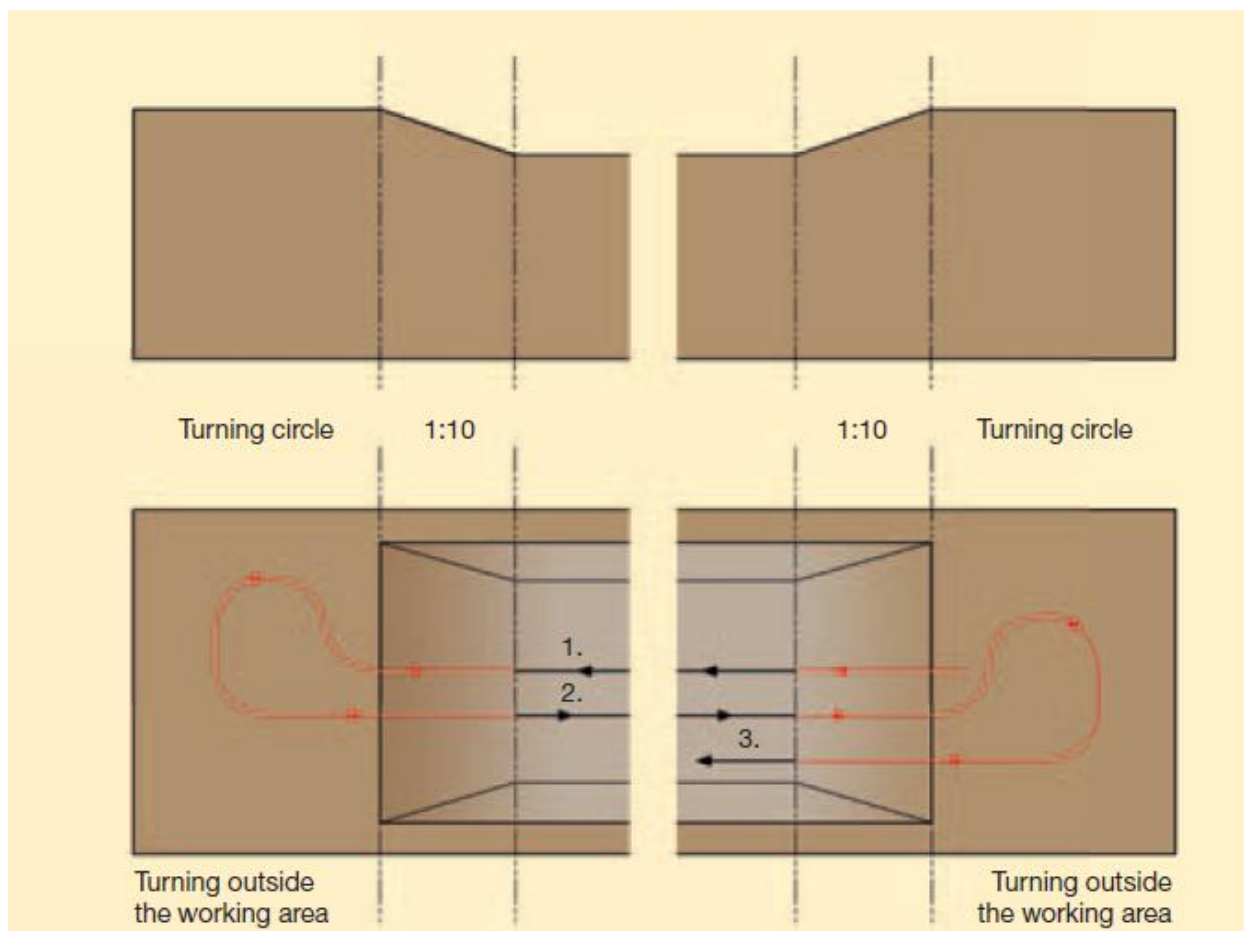
από το μηχάνημά μας. Οι μέθοδοι ελιγμού οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι δυο και εξαρτώνται από το μήκος της ζώνης εργασίας.

Όσον αφορά τις **μικρού μήκους ζώνες εργασίας (<150m)** είναι σκόπιμο να αντιστραφεί το μηχάνημα έτσι ώστε να λειτουργεί πάντα στην ίδια κατεύθυνση. Εάν το μηχάνημα απλώς αντιστραφεί για μια σύντομη απόσταση, θα χρειαστεί λιγότερο χρόνο για αντιστροφή παρά για πλήρη στροφή.



**Εικόνα 17. Σχηματική απεικόνιση περάσματος-αντιστροφής μηχανήματος στις μικρού μήκους ζώνες εργασίας (Manual Wirtgen GmbH, 2010).**

Όσον αφορά τις **μεγάλου μήκους ζώνες εργασίας (>150m)** οι ράμπες χρειάζεται να κατασκευαστούν και στα δύο άκρα της ζώνης εργασίας.

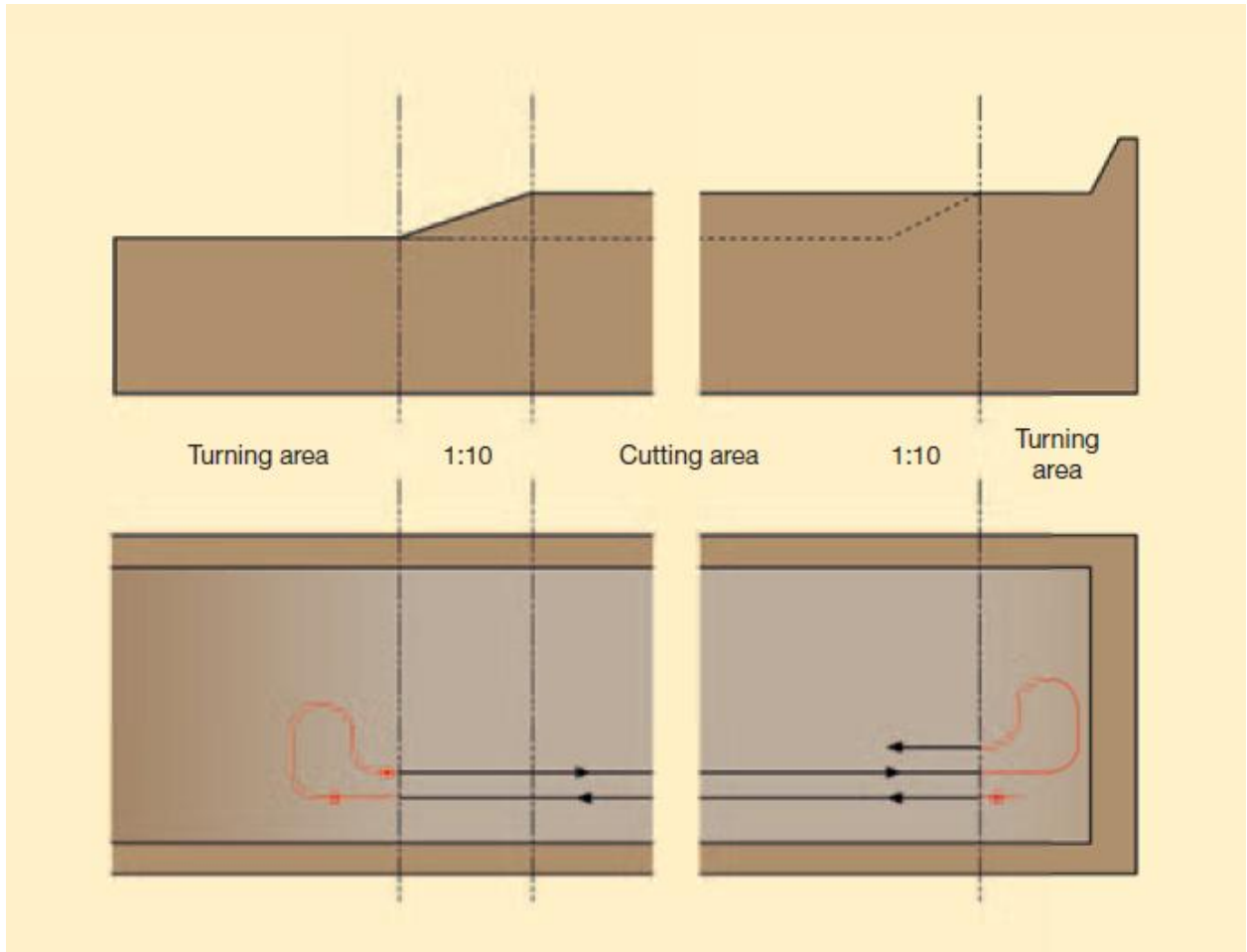


Εικόνα 18. Σχηματική απεικόνιση αντιστροφής μηχανήματος στις μεγάλου μήκους ζώνες εργασίας (Manual Wirtgen GmbH, 2010).

#### 5.4.2 ΣΤΡΟΦΗ ΣΕ ΖΩΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕΣΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ

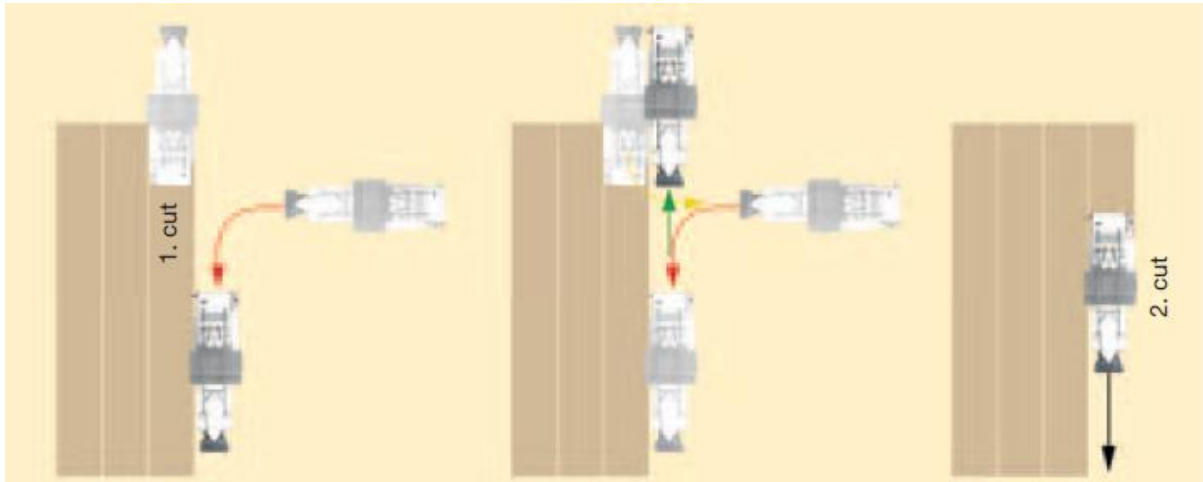
Στις ζώνες εργασίας μέσου πλάτους (μεγαλύτερες από 2 φορές και μικρότερες από 4 φορές την ακτίνα στροφής), είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί η δεύτερη κοπή παράλληλα με την πρώτη. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους:

- Με στροφή του Surface Miner όπως απεικονίζεται παρακάτω, όπου το μοναδικό μειονέκτημα είναι ότι μια περιοχή με πλάτος περίπου 3 φορές την ακτίνα στροφής παραμένει στο τέλος της κοπής και θα πρέπει να αφαιρεθεί με βοηθητικό εξοπλισμό.



**Εικόνα 19. Σχηματική απεικόνιση στροφής μηχανήματος στις μεσαίου μήκους ζώνες εργασίας (Manual Wirtgen GmbH, 2010).**

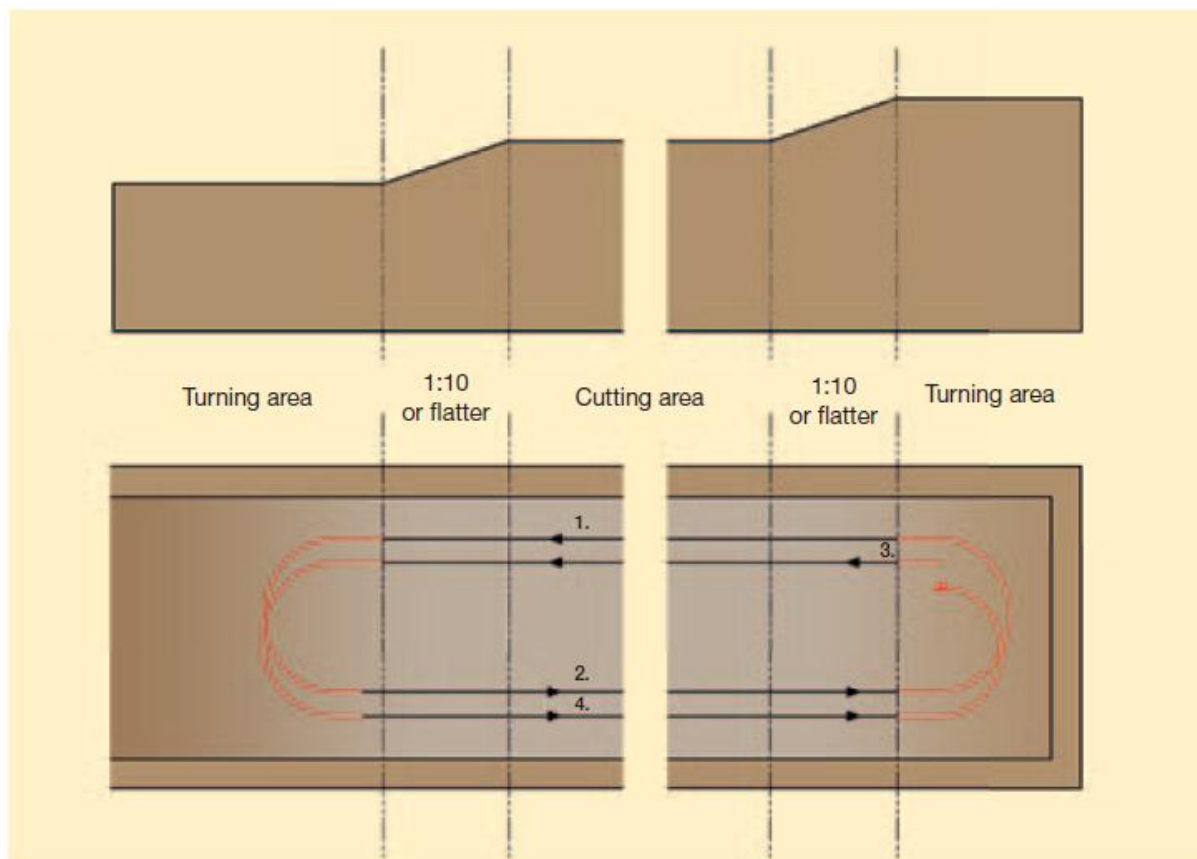
Με ελιγμό-αναστροφή του Surface Miner όπως απεικονίζεται παρακάτω, όπου το μοναδικό μειονέκτημα είναι ότι αυτή η διαδικασία απαιτεί παραπάνω χρόνο για να ολοκληρωθεί η στροφή του μηχανήματος.



**Εικόνα 20. Σχηματική απεικόνιση ελιγμού-ανταστροφής μηχανήματος στις μεσαίου μήκους ζώνες εργασίας (Manual Wirtgen GmbH, 2010).**

### **5.4.3 ΣΤΡΟΦΗ ΣΕ ΜΕΓΑΛΕΣ ΖΩΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Το Surface Miner έχει τη δυνατότητα να μπορεί να γυρίσει σε μεγάλες ζώνες εργασίας (μεγαλύτερες από 4 φορές την ακτίνα στροφής). Οι ράμπες κόβονται ταυτόχρονα στην αρχή και στο τέλος των προς εξόρυξη λωρίδων. Ανάλογα με την κλίση που έχει επιλεγεί για την ράμπα, η στροφή του μηχανήματος μπορεί να αρχίσει ενώ αυτό βρίσκεται ακόμα πάνω σε αυτή ή να πραγματοποιηθεί ολόκληρη η στροφή πάνω στη ράμπα.



**Εικόνα 21. Σχηματική απεικόνιση στροφής μηχανήματος στις μεγάλο μήκους ζώνες εργασίας (Manual Wirtgen GmbH, 2010).**

Όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα το Surface Miner γυρίζει κατά  $180^\circ$  και στη συνέχεια κόβει την δεύτερη τομή σε απόσταση μεγαλύτερη του διπλάσιου της ακτίνα στροφής από την πρώτη κοπή. Όταν η δεύτερη κοπή ολοκληρωθεί, πάλι γυρίζει πάλι κατά  $180^\circ$  και κόβει το τρίτο κομμάτι παράλληλα με την πρώτη κοπή.

### **5.5. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ**

Στη μεταλλευτική δραστηριότητα όλες οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται έχουν τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα. Τα προβλήματα που παρουσιάζονται είναι τεχνικής φύσεως και είναι τα εξής:

- Ⓢ Ο βοηθός χειριστή ο οποίος βρίσκεται είτε στο δεξί είτε στο αριστερό πίσω μέρος του μηχανήματος, είναι εκτεθειμένος τόσο κατά τους θερινούς μήνες στις υψηλές θερμοκρασίες όσο και κατά τους χειμερινούς μήνες στις χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ συχνά εκτίθεται σε επικίνδυνες συνθήκες.



- Ⓢ Η γωνία κλίσης του κοιτάσματος πρέπει να είναι κατάλληλη διότι το μηχάνημα δεν έχει εφαρμογή σε μεγάλες κλίσεις.
- Ⓢ Η τοπογραφική διαμόρφωση της υπό εξόρυξη περιοχής πρέπει να έχει μεγάλο πλάτος και μήκος και η κλίση να μην ξεπερνάει το 2%, ώστε το μηχάνημα να έχει αυξημένη δυναμικότητα και παραγωγικότητα.

## **5.6. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ**

Τα προβλήματα που προκύπτουν από το Surface Miner όσον αφορά στο περιβάλλον είναι τα παρακάτω:

- Ⓢ Προβλήματα σκόνης τα οποία δημιουργούνται κατά την κοπή και φόρτωση του πετρώματος. Αυτό αντιμετωπίζεται σημαντικά με τη διαβροχή του εξορυγμένου πετρώματος με νερό το οποίο ψεκάζεται από ακροφύσια που βρίσκονται επί του μηχανήματος, αλλά και με τη διαβροχή του τμήματος του δαπέδου που εξορύσσεται πριν την κοπή του.
- Ⓢ Ο θόρυβος είναι ένα αναπόφευκτο πρόβλημα που προκαλείται κατά τη λειτουργία τόσο του Surface Miner όσο και των υπόλοιπων μηχανημάτων οι οποίες σχετίζονται με τις διαδικασίες εξόρυξης - φόρτωσης – μεταφοράς.

## 6. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ

### 6.1. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Η δειγματοληψία της μάζας του πετρώματος απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή καθώς τα δείγματα που θα ληφθούν πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικά της μάζας από την οποία προέρχονται. Επειδή όμως η μάζα του πετρώματος στην έκταση, που ενδιαφέρει, είναι κατά κανόνα ανομοιογενής, τα δείγματα που θα ληφθούν από μια θέση είναι πολύ πιθανό να διαφέρουν σημαντικά από εκείνα μιας άλλης θέσης της ίδιας μάζας. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι μια αντιπροσωπευτική δειγματοληψία πρέπει να περιλαμβάνει δείγματα από πολλές θέσεις της ίδιας μάζας, ιδιαίτερα όταν τα χαρακτηριστικά της μάζας διαφοροποιούνται σημαντικά στην όλη έκταση της προ μελέτη περιοχής.

Οι θέσεις δειγματοληψίας πρέπει να καθορίζονται μετά από προσεκτική μακροσκοπική λιθολογική εξέταση της μάζας του πετρώματος. Περιοχές όπου παρατηρούνται διαφορές ορυκτολογικές ή στη φύση του συνδετικού υλικού ή στο βαθμό εξαλλοιώσεως ή στο χρώμα του πετρώματος ή εμφανίζεται στο πέτρωμα ζωνώδης υφή, αποτελούν τις πιο κατάλληλες για δειγματοληψία περιοχές.

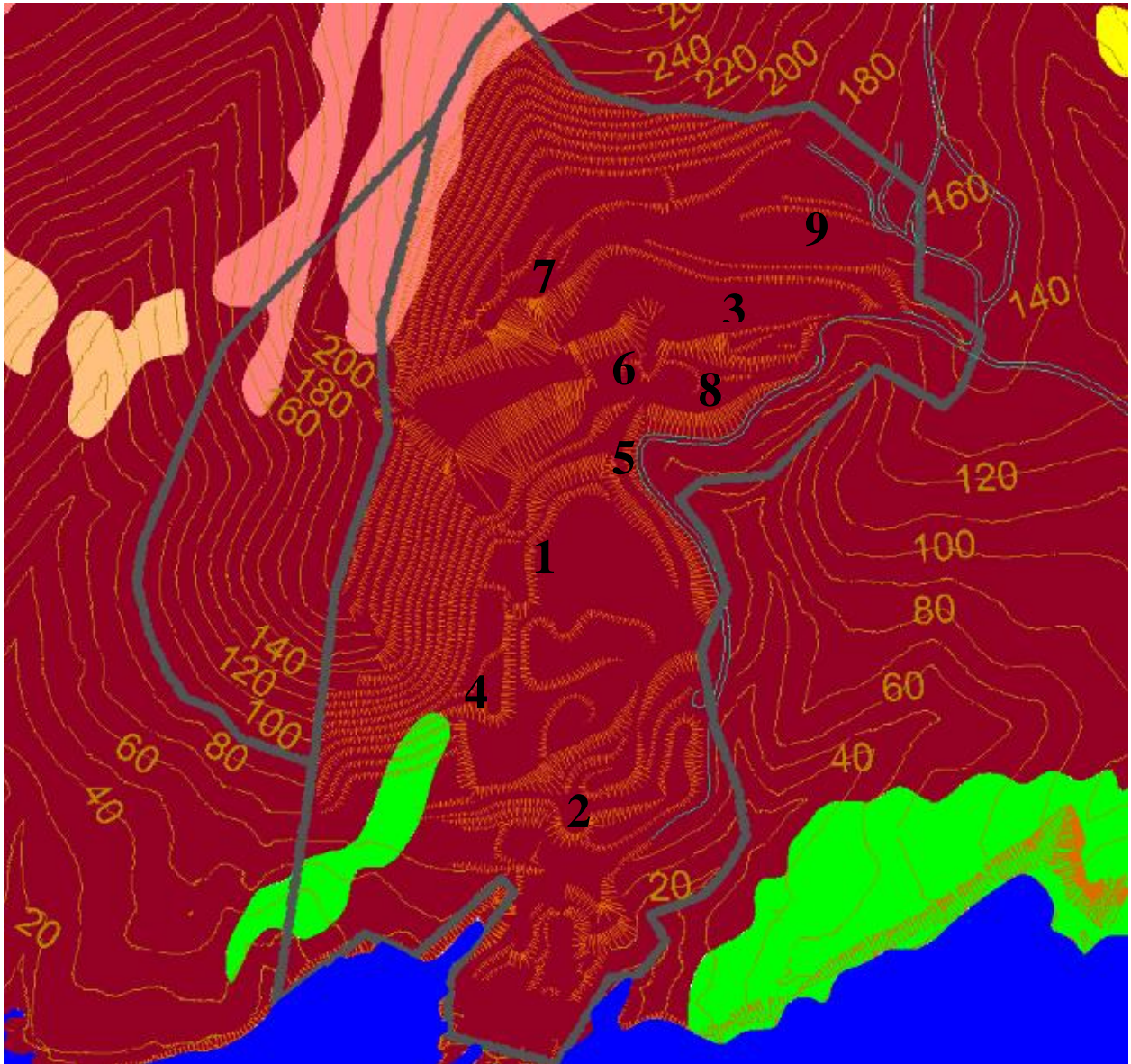
Τα δείγματα εξορύσσονται από τη μάζα του πετρώματος σε ογκόλιθους μορφής κύβου (κυβόλιθοι). Στην περίπτωση μαλακών πετρωμάτων η εξόρυξη μπορεί να γίνει εύκολα με τη βοήθεια κατάλληλου κοπτήρα.

Η θέση από την οποία λαμβάνεται το δείγμα καθώς και ο ακριβής προσανατολισμός του σημειώνονται πάνω σε χάρτη ενώ επάνω στο δείγμα σημειώνονται τα χαρακτηριστικά αναγνώρισής του με αύξοντα αριθμό ή άλλο τρόπο.

Κατά τη μεταφορά των δειγμάτων λαμβάνονται ορισμένα μέτρα προστασίας για να μη θραυσθούν, ενώ στο εργαστήριο προστατεύονται μέχρι να χρησιμοποιηθούν, από όλους τους παράγοντες εκείνους που μπορεί να προκαλέσουν αλλοιώσεις σε αυτά.

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία τα δείγματα συλλέχθηκαν από διαφορετικές περιοχές του ορυχείου ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικά και ανομοιογενή

ορυκτολογικά γίνεται. Η εξόρυξή τους έγινε σε ογκόλιθους ενώ κατά τη μεταφορά τους λήφθηκαν κατάλληλα μέτρα προστασίας για τυχόν αποφυγή θραύσης τη αλλοίωσής τους. Ειδικότερα, συλλέχτηκαν 30 δείγματα πετρώματος ποζολάνης από εννέα (9) διαφορετικές περιοχές του ορυχείου όπως αυτές απεικονίζονται στο Σχήμα 20.



**Σχήμα 20. Θέσεις συλλογής δειγμάτων εντός της περιοχής του ορυχείου.**

- **Περιοχή 1<sup>η</sup>** : Λήφθηκαν τα δείγματα με τους αριθμούς 1, 2, 3, 4
- **Περιοχή 2<sup>η</sup>** : Λήφθηκαν τα δείγματα με τους αριθμούς 5, 6, 7
- **Περιοχή 3<sup>η</sup>** : Λήφθηκαν τα δείγματα με τους αριθμούς 8, 9, 10

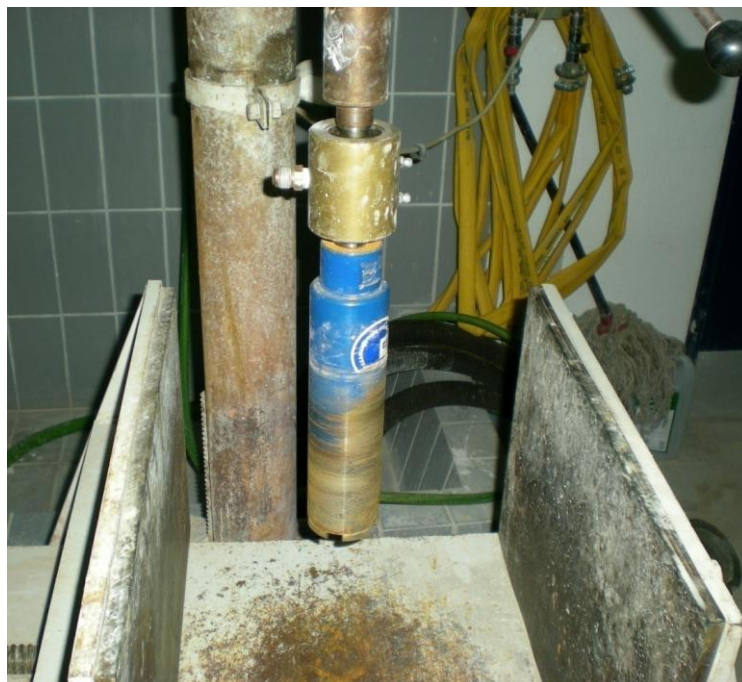
- **Περιοχή 4<sup>η</sup>** : Λήφθηκαν τα δείγματα με τους αριθμούς 11, 12, 13
- **Περιοχή 5<sup>η</sup>** : Λήφθηκαν τα δείγματα με τους αριθμούς 14, 15a, 15b, 16
- **Περιοχή 6<sup>η</sup>** : Λήφθηκαν τα δείγματα με τους αριθμούς 17a, 17b, 18, 19, 20
- **Περιοχή 7<sup>η</sup>** : Λήφθηκαν τα δείγματα με τους αριθμούς 21, 22, 23, 24
- **Περιοχή 8<sup>η</sup>** : Λήφθηκαν τα δείγματα με τους αριθμούς 25, 26, 27, 28
- **Περιοχή 9<sup>η</sup>** : Λήφθηκαν τα δείγματα με τους αριθμούς 29, 30

## **6.2. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

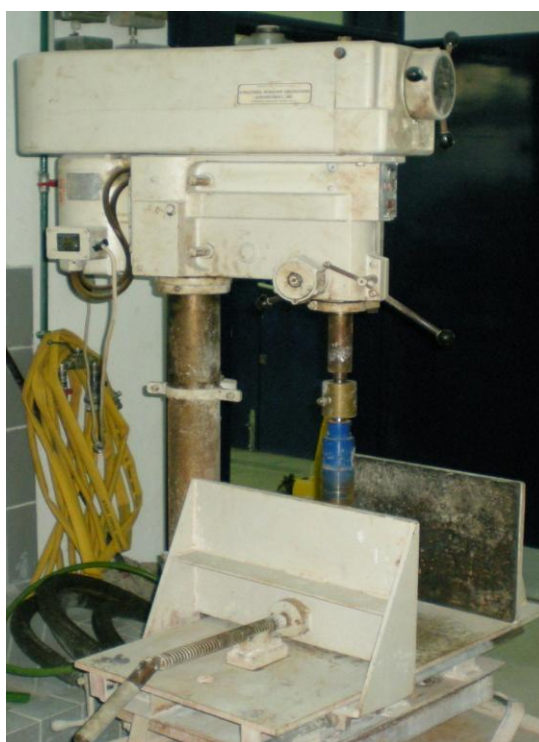
Από τα βραχώδη τεμάχια πρέπει να διαμορφωθούν δοκίμια κατάλληλα για την εκτέλεση των πειραματικών μετρήσεων. Τα δοκίμια, που χρησιμοποιούνται για τις εργαστηριακές δοκιμές είναι:

- Κανονικά, που είναι κυλινδρικής και σπανιότερα κυβικής μορφής
- Ακανόνιστα
- Ειδικής μορφής

Για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων σε βραχώδες υλικό χρησιμοποιούνται συνήθως κυλινδρικά δοκίμια. Οι τυπικές διαμέτροι κυμαίνονται μεταξύ 50-75mm ενώ ως βέλτιστη διάμετρος θεωρείται η τιμή 51mm (2in). Σπανιότερα χρησιμοποιούνται διαμέτροι μέχρι 100 ή 150mm. Τα κυλινδρικά δοκίμια συλλέγονται, όπως προαναφέρθηκε, στο ύπαιθρο εντός του χώρου της περιοχής εκμετάλλευσης και στη συνέχεια μορφώνονται στο εργαστήριο με τη χρήση αδαμαντογεωτρύπανου λεπτού τοιχώματος (καροταρία), όπως απεικονίζεται στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 22 -23). Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι από τα δείγματα πετρώματος με αριθμό 2, 16, 24 και 28 δε λήφθηκαν κυλινδρικά δοκίμια λόγω ακαταλληλότητας των συγκεκριμένων δειγμάτων.



**Εικόνα 22. Καροταρία Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων για διαμόρφωση κυλινδρικών δοκιμίων πετρωμάτων.**



**Εικόνα 23. Πλευρική άποψη καροταρίας Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων για διαμόρφωση κυλινδρικών δοκιμίων πετρωμάτων.**

Το κάθε τέμαχος τοποθετείται στην εργαστηριακή καροταρία και πραγματοποιείται η πυρηνοληψία. Από κάθε τέμαχος άρρηκτου βράχου γίνεται προσπάθεια να εξαχθούν όσο περισσότερα δοκίμια είναι δυνατόν με στόχο βεβαίως την καλύτερη στατιστική περιγραφή των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων του εκάστοτε υλικού. Τα δείγματα μορφής πυρήνα που έχουν προκύψει αποκóπτονται με αδαμαντοτροχό σε κατάλληλα μήκη ώστε να έχουμε την επιθυμητή σχέση μήκους-πλάτους (L/D).

Για κάθε εργαστηριακή δοκιμή, το δείγμα πρέπει να μορφώνεται με συγκεκριμένες διαστάσεις και αναλογίες έτσι ώστε να τηρεί τις απαιτούμενες προδιαγραφές των πρότυπων δοκιμών. Κατά την κοπή με τον αδαμαντοτροχό, είναι δυνατό μικρά τμήματα του δοκιμίου να αποκολλώνται κυρίως κατά την διεύθυνση της σχιστότητας. Για το λόγο αυτό τα δοκίμια πρέπει να κόβονται με μικρές σχετικά ταχύτητες και να τοποθετούνται σωστά στην μηχανή κοπής. Μετά την κοπή τα δοκίμια λειαίνονται προσεκτικά στην κυλινδρική τους επιφάνεια σε τόρνο.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι κατά τη λήψη των κυλινδρικών δοκιμών από την καροταρία, αντί νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ψύξη του κοπτικού άκρου και την απαγωγή των θραυσμάτων πεπιεσμένος αέρας στα πετρώματα εκείνα που επηρεάζονται από το νερό. Στην περίπτωση αυτή η διάτρηση είναι βραδύτερη και χρειάζεται μεγαλύτερη προσοχή.

Σε περίπτωση που απαιτούνται δείγματα ακανόνιστης μορφής, τότε αυτά διαμορφώνονται με τη βοήθεια ελαφρού σφυριού ώστε να απομακρυνθούν όλες οι αιχμηρές προεξοχές και να σχηματιστεί τελικά δοκίμιο σφαιρικού περίπου σχήματος.

### **6.3. ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

Ανεξάρτητα από την προετοιμασία του δοκιμίου και τη διαμόρφωσή του για την πειραματική διαδικασία, η εκτέλεση της ίδιας της δοκιμής σε δυο δοκίμια διαμορφωμένα από ένα συγκεκριμένο μεγάλο δείγμα σπάνια δίνει ικανοποιητικό αντιπροσωπευτικό αποτέλεσμα. Οι αποκλίσεις που παρατηρούνται στα πετρώματα είναι πολύ μεγαλύτερες από εκείνες των τεχνικών υλικών, γιατί εκτός από τις συνήθεις πειραματικές αποκλίσεις ενυπάρχουν και επιπρόσθετοι παράγοντες σφαλμάτων που προκύπτουν από:

- Τη γεωμετρία του δοκιμίου η οποία δεν μπορεί να φτάσει σε τελειότητα εκείνη των δοκιμίων των τεχνικών υλικών.
- Τη δομή του πετρώματος, που εκτός από λίγες εξαιρέσεις, λόγω παρουσίας μικροασυνεχειών δεν μπορεί να πλησιάσει την ομοιογένεια των τεχνικών υλικών.

Συνεπώς, εάν σε ένα πέτρωμα απαιτείται πολύ υψηλή προσέγγιση της τιμής μιας εργαστηριακής παραμέτρου τότε ο αριθμός των δοκιμίων που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να αυξηθεί τόσο ώστε να επιτύχουμε την απαιτούμενη στατιστική ακρίβεια.

Για τον περιορισμό όμως του κόστους και του χρόνου των δοκιμών χωρίς να μειωθεί η ζητούμενη αξιοπιστία των πειραματικών αποτελεσμάτων είναι απαραίτητο να καθορισθεί ένας ελάχιστος, για κάθε περίπτωση, αριθμός δοκιμίων που πρέπει να δοκιμασθούν. Ο αριθμός αυτός εξαρτάται από την διασπορά των πειραματικών τιμών σε σχέση με τη μέση τιμή και από την επιθυμητή ακρίβεια. Η διασπορά εξαρτάται με την σειρά της από την ανομοιογένεια του πετρώματος και από το μέγεθος του δοκιμίου, καθώς τα μικρά δοκίμια δίνουν μεγαλύτερη διασπορά. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι όταν χρησιμοποιούνται για δοκιμές στο εργαστήριο μικρών διαστάσεων δοκίμια, ο αριθμός τους πρέπει να είναι σχετικά μεγάλος.



#### **6.4. ΔΟΚΙΜΗ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ**

Η συσκευή (Εικόνα 24) χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αντοχής δοκιμίων πετρωμάτων τόσο στο ύπαιθρο όσο και στο εργαστήριο. Από τη δοκιμή λαμβάνεται ο Δείκτης Αντοχής σε Σημειακή Φόρτιση  $I_s(50)$ , ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατάταξη των πετρωμάτων από πλευράς αντοχής αλλά και για την έμμεση εκτίμηση χονδρικά της αντοχής του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη και μονοαξονικό εφελκυσμό. Από τα αποτελέσματα της δοκιμής σε διαφόρων διαστάσεων δοκίμια πετρώματος μπορεί επίσης να μελετηθεί και η επίδραση του όγκου του δοκιμίου στην αντοχή του.



**Εικόνα 24. Συσκευή σημειακής φόρτισης.**

Η δοκιμή σημειακής φόρτισης μπορεί να πραγματοποιηθεί σε κυλινδρικά δοκίμια αξονικά ή αντιδιαμετρικά, καθώς και σε ορθογωνικά ή ακανόνιστης μορφής δοκίμια.

#### 6.4.1 ΘΕΩΡΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Με τη φόρτιση του δοκιμίου μεταξύ των ακμών φόρτισης το δοκίμιο θραύεται σε εφελκυσμό κατ' αναλογία με τη δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης. Το φορτίο επομένως στο οποίο θραύεται το δοκίμιο συναρτάται άμεσα με την αντοχή του πετρώματος σε εφελκυσμό και έμμεσα με την αντοχή του σε θλίψη. Ο μη διορθωμένος Δείκτης Αντοχής σε Σημειακή Φόρτιση (Uncorrected Point Load Strength Index)  $I_s$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I_s = \frac{P}{D_e^2}$$

όπου:

P: το φορτίο τη στιγμή της θραύσης του δοκιμίου

$D_e$ : η ισοδύναμη διάμετρος του δοκιμίου, η οποία υπολογίζεται ως εξής:

$D_e^2 = D^2$ : για την περίπτωση διαμετρικής δοκιμής

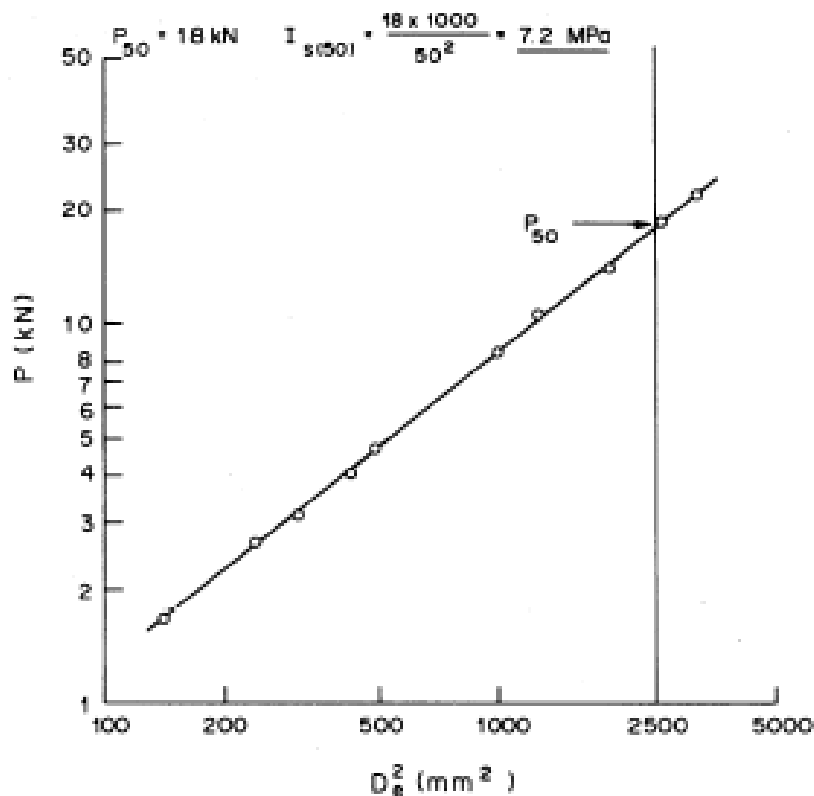
$D_e^2 = 4A/\pi$  :για την περίπτωση αξονικής δοκιμής και δοκιμής ορθογωνικού ή ακανόνιστου δοκιμίου, όπου  $A = W \times D$  η επιφάνεια του επιπέδου που διέρχεται από τα σημεία φόρτισης (Σχήμα 23).

Για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα δοκιμών σε διάφορες διαμέτρους απαιτείται διόρθωση του ως ανωτέρω υπολογιζόμενου δείκτη  $I_s$ , ο οποίος είναι συνάρτηση της ισοδύναμης διαμέτρου  $D_e$  του δοκιμίου. Ο διορθωμένος Δείκτης Αντοχής σε Σημειακή Φόρτιση  $I_{s(50)}$  (size-corrected Point Load Strength Index) ορίζεται ως η τιμή του  $I_s$  όταν πραγματοποιείται διαμετρική δοκιμή με  $D = 50$  mm.

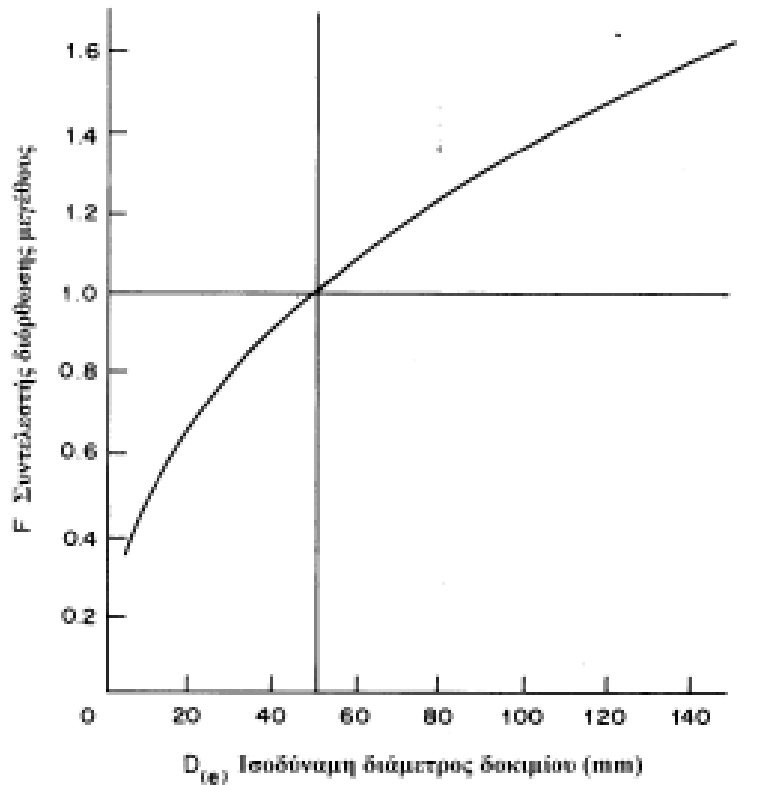
Η καλύτερη μέθοδος για τον υπολογισμό του  $I_{s(50)}$  είναι η πραγματοποίηση διαμετρικής δοκιμής με διάμετρο  $D$  να πλησιάζει τα 50 mm, ώστε είτε να μην απαιτείται διόρθωση ή αυτή να εισάγει ελάχιστο σφάλμα (π.χ. στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται δοκίμια διαμέτρου NX,  $D=54.7$  mm).

Η πιο αξιόπιστη μέθοδος για την πραγματοποίηση της διόρθωσης είναι η εκτέλεση μίας σειράς δοκιμών με διάφορες διαμέτρους  $D$  ή  $De$  και η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων σε σύστημα αξόνων  $(P, De^2)$  (Σχήμα 21). Εάν χρησιμοποιηθούν λογαριθμικές κλίμακες αξόνων η σχέση  $P-De^2$  είναι μία ευθεία από την οποία μπορεί να προσδιορισθεί γραφικά η τιμή  $P(50)$ , η οποία αντιστοιχεί σε  $De^2=2500 \text{ mm}^2$  ( $De=50\text{mm}$ ). Ο δείκτης  $I_{s(50)}$  υπολογίζεται τότε από τη σχέση:

$$I_{s(50)} = \frac{P_{(50)}}{50^2}$$



Σχήμα 21. Αποτελέσματα δοκιμών σημειακής φόρτισης για διάφορες  $De$  και γραφικός υπολογισμός του  $P(50)$ .



Σχήμα 22. Διάγραμμα γραφικού υπολογισμού του συντελεστή διόρθωσης μεγέθους F.

Όταν τα παραπάνω δεν είναι εφικτό να πραγματοποιηθούν, τότε η διόρθωση μεγέθους μπορεί να γίνει με τη σχέση:

$$I_{s(50)} = F \times I_s$$

όπου F ο συντελεστής διόρθωσης μεγέθους (Size Correction Factor, F), ο οποίος λαμβάνεται είτε από το Σχήμα 22 είτε από τη σχέση:

$$F = (D_e/50)^{0.45}$$

Όταν η ισοδύναμη διάμετρος  $D_e$  πλησιάζει τα 50 mm, τότε για τον υπολογισμό του F μπορεί να χρησιμοποιηθεί η προσεγγιστική σχέση:

$$F = \sqrt{(D_e/50)}$$

Σύμφωνα με τις οδηγίες της I.S.R.M. η παραπάνω διόρθωση μεγέθους είναι εφαρμόσιμη ανεξάρτητα από την ύπαρξη ανισοτροπίας στο πέτρωμα και από τη διεύθυνση της φορτίσεως σε σχέση με τα επίπεδα αδυναμίας του πετρώματος. Ο Πίνακας 2 δίνει τον χαρακτηρισμό της αντοχής του πετρώματος με βάση την τιμή του δείκτη.

**Πίνακας 2. Ταξινόμηση πετρώματος με βάση τον δείκτη σημειακής φόρτισης  $I_s(50)$  σε MPa (Bieniawski, 1975)**

<b>Περιγραφή</b>	<b>Δείκτης σημειακής φόρτισης</b>
Πολύ υψηλής αντοχής	>8
Υψηλής αντοχής	4-8
Μέσης αντοχής	2-4
Χαμηλής αντοχής	1-2
Πολύ χαμηλής αντοχής	Δεν συνίσταται η δοκιμή (<1)

Ο Δείκτης Ανισοτροπίας της Αντοχής σε σημειακή φόρτιση  $I_a(50)$  (Strength Anisotropy Index) ορίζεται ως ο λόγος του δείκτη  $I_s(50)$  για φόρτιση κάθετα προς το επίπεδο αδυναμίας του πετρώματος ως προς τον δείκτη  $I_s(50)$  για φόρτιση παράλληλα προς το επίπεδο αδυναμίας του πετρώματος. Ο δείκτης  $I_a(50)$  λαμβάνει τιμές κοντά στο 1.0 για την περίπτωση σχετικά ισότροπου πετρώματος και μεγαλύτερες τιμές όταν το πέτρωμα είναι ανισότροπο.

Σύμφωνα με τους Broch and Franklin (1972) ο μέσος όρος του δείκτη  $I_s(50)$ , που έχει προκύψει ύστερα από την εκτέλεση σημαντικού αριθμού δοκιμών, σε κυλινδρικής μορφής δοκίμια σε διαμετρική δοκιμή, μπορεί να συσχετισθεί με τη μονοαξονική αντοχή πετρώματος σε θλίψη του πετρώματος. Για δοκίμια με  $D=50$  mm, βρέθηκε ότι:

$$\sigma_{ci} = 24 \cdot I_s$$

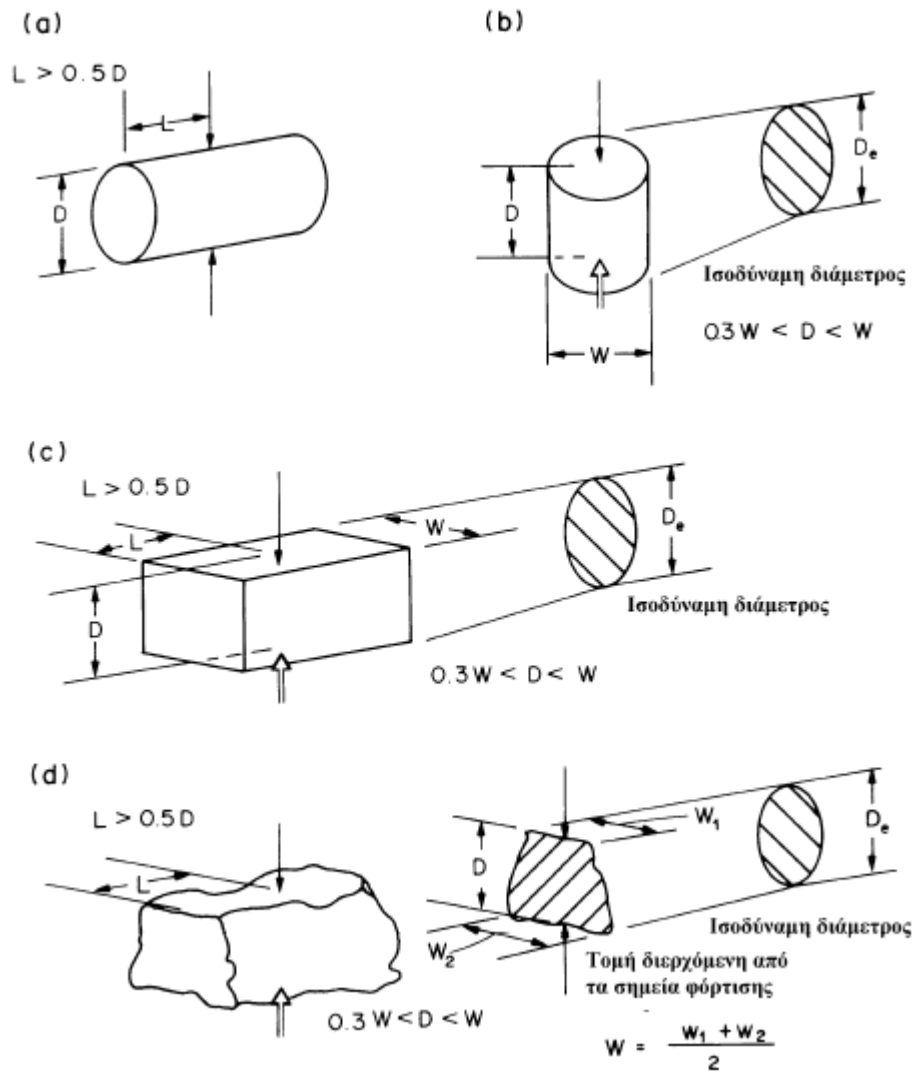
Για άλλες τιμές της διαμέτρου D απαιτείται μια σχετική διόρθωση. Ο Bieniawski (1975) προτείνει την ακόλουθη προσεγγιστική σχέση μεταξύ των  $\sigma_{ci}$ ,  $I_s$  και τη διάμετρο D (mm) του πυρήνα:

$$\sigma_{ci} = (14 + 0.175 \cdot D) \cdot I_s$$

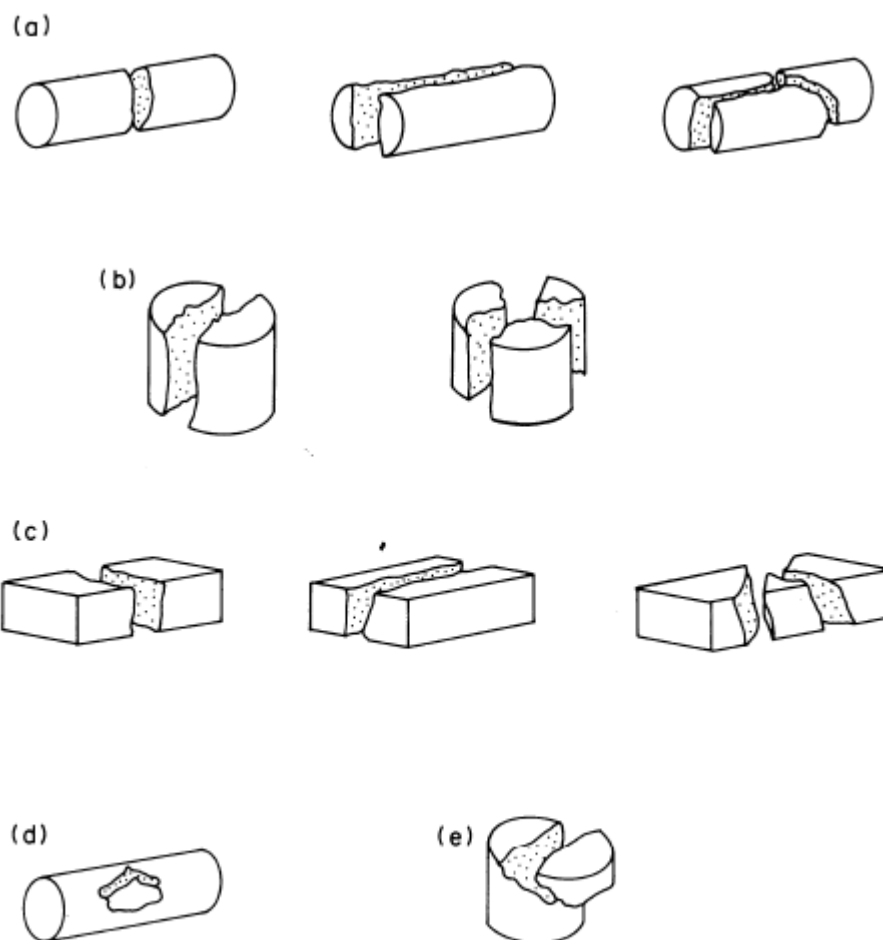
#### **6.4.2 ΠΡΟΤΥΠΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

Η ISRM (1985) δίνει οδηγίες για την εκτέλεση τεσσάρων τύπων δοκιμής, οι οποίοι είναι (Σχήμα 23): (a) Διαμετρική δοκιμή, (b) Αξονική δοκιμή, (c) Δοκιμή ορθογωνικού δοκιμίου και (d) Δοκιμή ακανόνιστου δοκιμίου.

Η διαμετρική δοκιμή, (Σχήμα 23 a, Σχήμα 24 a) πραγματοποιείται με αντιδιαμετρική φόρτιση ενός τεμαχίου πυρήνα μέχρι θραύσης με ένα ζεύγος χαλύβδινων ακμών. Κατάλληλα δοκίμια για την εκτέλεση της δοκιμής θεωρούνται αυτά με λόγο μήκους προς διάμετρο μεγαλύτερο από 1.0. Η απόσταση D μεταξύ των ακμών φορτίσεως, που εδώ είναι ίση με τη διάμετρο του δοκιμίου, καταγράφεται με ακρίβεια  $\pm 2\%$ . Το φορτίο αυξάνεται σταδιακά ώστε το δοκίμιο να αστοχήσει σε χρόνο 10-60 sec. Η δύναμη P στην οποία θραύεται ο πυρήνας δίνεται από το δείκτη καταγραφής φορτίου. Η δοκιμή δεν είναι αποδεκτή εάν η επιφάνεια αστοχίας του δοκιμίου διέρχεται μόνο από το ένα σημείο φόρτισης (Σχήμα 24 d).



Σχήμα 23. Τύποι δοκιμής σημειακής φόρτισης: (α) Διαμετρική δοκιμή, (β) Αξονική δοκιμή, (γ) Δοκιμή σε ορθογώνιο δοκίμιο και (δ) Δοκιμή σε ακανόνιστο δοκίμιο.



**Σχήμα 24. Τυπικές μορφές αστοχίας του δοκιμίου κατά τη δοκιμή σημειακής φορτίσεως: (α) Αποδεκτή διαμετρική δοκιμή, (β) Αποδεκτή αξονική δοκιμή, (γ) Αποδεκτή δοκιμή σε ορθογωνικό δοκίμιο, (δ) Μη αποδεκτή διαμετρική δοκιμή, (ε) Μη αποδεκτή αξονική δοκιμή.**

Η αξονική δοκιμή πραγματοποιείται με φόρτιση του δοκιμίου παράλληλα προς τον άξονά του (Σχήμα 23b). Τα χρησιμοποιούμενα δοκίμια πρέπει να έχουν λόγο ύψους προς διάμετρο  $0.3 \div 1.0$ . Η απόσταση  $D$  μεταξύ των ακμών φορτίσεως, που εδώ είναι ίση με το μήκος του δοκιμίου, καταγράφεται με ακρίβεια  $\pm 2\%$ . Το πλάτος του δοκιμίου  $W$  κάθετα προς τη διεύθυνση φορτίσεως καταγράφεται με ακρίβεια  $\pm 5\%$ . Το φορτίο αυξάνεται σταδιακά ώστε το δοκίμιο να αστοχήσει σε χρόνο 10 - 60 sec. Η δύναμη  $P$  στην οποία θραύεται ο πυρήνας δίνεται από το δείκτη καταγραφής φορτίου. Η δοκιμή δεν είναι αποδεκτή εάν η επιφάνεια αστοχίας του δοκιμίου διέρχεται μόνο από το ένα σημείο φόρτισης (Σχήμα 24e).



Η Δοκιμή Ορθογωνικού και Ακανόνιστου Δοκιμίου (Block Test and Irregular Lump Test) πραγματοποιείται σε δοκίμια ορθογωνικής ή ακανόνιστης μορφής που πρέπει να έχουν μέγεθος  $50 \pm 35$  mm και να είναι της μορφής που δίνεται στο Σχήμα 23c και Σχήμα 23d αντίστοιχα. Ο λόγος  $D/W$  πρέπει να είναι μεταξύ 0.3 και 1.0 και προτιμάται να πλησιάζει το 1.0. Η απόσταση  $L$  (Σχήμα 23c και Σχήμα 23d) πρέπει να είναι τουλάχιστον  $0,5W$ . Η απόσταση  $D$  μεταξύ των ακμών φορτίσεως καταγράφεται με ακρίβεια  $\pm 2$  %. Το μικρότερο πλάτος του δοκιμίου  $W$  κάθετα προς τη διεύθυνση φορτίσεως καταγράφεται με ακρίβεια  $\pm 5$  %. Εάν οι πλευρές του δοκιμίου δεν είναι παράλληλες τότε το  $W$  υπολογίζεται ως  $W = (W1 + W2) / 2$  όπως φαίνεται στο Σχήμα 23d. Το φορτίο αυξάνεται σταδιακά ώστε το δοκίμιο να αστοχήσει σε χρόνο  $10 \div 60$  sec. Η δύναμη  $P$  στην οποία θραύεται ο πυρήνας δίνεται από το δείκτη καταγραφής φορτίου. Η δοκιμή δεν είναι αποδεκτή εάν η επιφάνεια αστοχίας του δοκιμίου διέρχεται μόνο από το ένα σημείο φόρτισης.

#### **6.4.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ**

Τα δείγματα-πετρώματα με αριθμό 2, 16, 24 και 28 δεν υποβλήθηκαν στη δοκιμή σημειακής φόρτισης καθώς όπως προαναφέρθηκε δε λήφθηκαν δοκίμια από αυτά και γι αυτό δεν αναγράφονται στους πίνακες πειραματικών αποτελεσμάτων. Στο δοκίμιο με αριθμό 20 το αποτέλεσμα της σημειακής φόρτισης είναι μη αποδεκτό καθώς η επιφάνεια αστοχίας του δοκιμίου διήλθε μόνο από το ένα σημείο φόρτισης και το δοκίμιο πήρε τη μορφή που απεικονίζεται στο Σχήμα 24d. Από τη δοκιμή σημειακής φόρτισης που εκτελέστηκε στα δοκίμιά μας παρατηρήθηκε ότι η ισοδύναμη μονοαξονική αντοχή  $\sigma_{ci}$  λαμβάνει διάφορες τιμές οι οποίες και κατηγοριοποιούνται σε 3 πίνακες. Ο πρώτος περιλαμβάνει τις τιμές για  $\sigma_{ci}$  μέχρι 50 MPa, ο δεύτερος για  $\sigma_{ci}$  από 50 μέχρι 80 MPa και ο τρίτος για  $\sigma_{ci}$  από 80 MPa και πάνω.

Πίνακας 3. Πίνακας με ισοδύναμη μονοαξονική αντοχή  $\sigma_{ci} < 50 \text{MPa}$ .

Αριθμός δοκιμίου	Αντοχή σε σημειακή φόρτιση (MPa)								Ισοδύναμη μονοαξονική αντοχή $\sigma_{ci} (< 50 \text{MPa})$		
	D1(mm)	D2(mm)	D3(mm)	Dm(mm)	P (N)	F(N)	Is (Mpa)	Is <sub>(50)</sub> ↓ ☐	Bieniawski, 1975	Broch & Franklin, 1972	Wirtgen
									$\sigma_{ci} = (14+0,175*D)*I_{S(50)}$	$\sigma_{ci}=24*I_{S(50)}$	$\sigma_{ci}=22*I_{S(50)}$
1	52,25	52	52,46	52,24	804	1,02	0,29	0,30	6,94	7,20	6,60
3	52,34	53,08	53,66	53,03	1.340	1,03	0,48	0,49	11,41	11,76	10,78
4	52,71	52,74	52,4	52,62	670	1,02	0,24	0,24	5,57	5,76	5,28
12	52,45	53,17	53,5	53,04	2.000	1,03	0,71	0,73	17,00	17,52	16,06
13	53,3	52,56	52,66	52,84	1.608	1,03	0,58	0,60	13,95	14,40	13,20
14	54	54,2	53,7	53,97	3.015	1,03	1,04	1,07	25,09	25,68	23,54
15a	52,66	52,6	52,54	52,60	1.675	1,02	0,61	0,62	14,39	14,88	13,64
17a	52,2	52,55	53,76	52,84	335	1,03	0,12	0,12	2,79	2,88	2,64
17b	53	52,6	53,3	52,97	1.742	1,03	0,62	0,64	14,89	15,36	14,08
18	52	51,6	51,14	51,58	670	1,01	0,25	0,25	5,76	6,00	5,50
19	53,12	52,62	53,67	53,14	1.675	1,03	0,59	0,61	14,21	14,64	13,42
20	53,82	53,73	52,81	53,45	Μη Αποδεκτή						
21	52,85	53,16	53,15	53,05	1.005	1,03	0,36	0,37	8,61	8,88	8,14
22	54,13	54,27	54,34	54,25	1.742	1,04	0,59	0,61	14,33	14,64	13,42
23	53,7	53,2	52,38	53,09	2.010	1,03	0,71	0,73	17,00	17,52	16,06
26	42,22	51,87	51,6	48,56	1.876	0,99	0,80	0,79	17,77	18,96	17,38
29	52,75	52,74	53,22	52,90	804	1,03	0,29	0,30	6,98	7,20	6,60
30	53,26	53,65	53,68	53,53	1.340	1,03	0,47	0,48	11,22	11,52	10,56
Αριθμός δοκιμών								17	17	17	17
Ελάχιστη Τιμή								0,12	2,79	2,88	2,64
Μέγιστη τιμή								1,07	25,09	25,68	23,54
Μέση τιμή								0,53	12,23	12,64	11,58
Τυπική απόκλιση								0,24	5,65	5,83	5,34

Πίνακας 4. Πίνακας με ισοδύναμη μονοαξονική αντοχή  $50 \text{MPa} < \sigma_{ci} < 80 \text{MPa}$ .

Αριθμός δοκιμίου	Αντοχή σε σημειακή φόρτιση (MPa)								Ισοδύναμη μονοαξονική αντοχή $\sigma_{ci} (50-80 \text{MPa})$		
	D1(mm)	D2(mm)	D3(mm)	Dm(mm)	P (N)	F(N)	Is (Mpa)	Is <sub>(50)</sub> ↓ ☐	Bieniawski, 1975	Broch & Franklin, 1972	Wirtgen
									$\sigma_{ci} = (14+0,175*D)*I_{S(50)}$	$\sigma_{ci}=24*I_{S(50)}$	$\sigma_{ci}=22*I_{S(50)}$
5	53,5	53,41	53,25	53,39	8.107	1,03	2,84	2,93	68,40	70,32	64,46
7	53,71	53,66	53,27	53,55	7.370	1,03	2,57	2,65	61,93	63,60	58,30
11	53,93	53,84	54	53,92	9.447	1,03	3,25	3,35	78,51	80,40	73,70
15b	53,4	53,27	53,43	53,37	9380	1,03	3,29	3,39	79,12	81,36	74,58
Αριθμός δοκιμών								4	4	4	4
Ελάχιστη Τιμή								2,65	61,93	63,60	58,30
Μέγιστη τιμή								3,39	79,12	81,36	74,58
Μέση τιμή								3,08	71,99	73,92	67,76
Τυπική απόκλιση								0,35	8,32	8,50	7,79

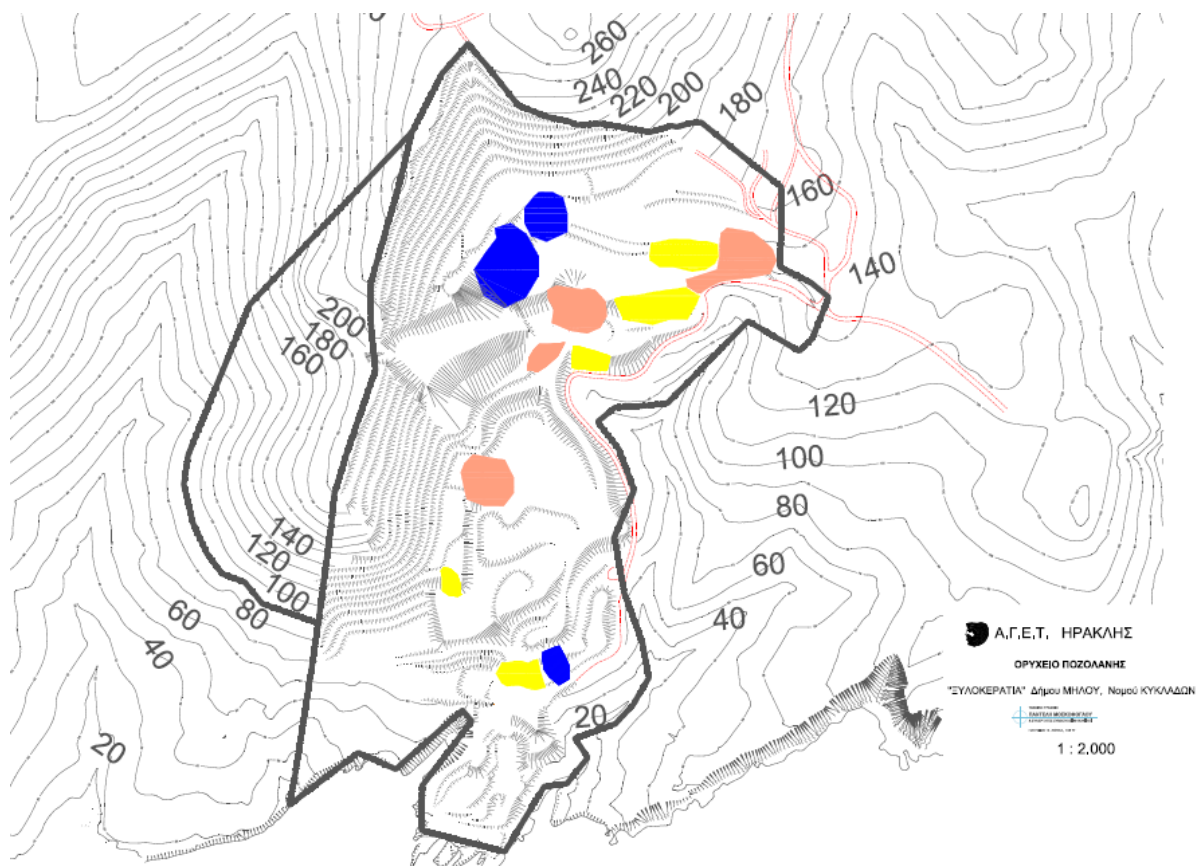
Πίνακας 5. Πίνακας με ισοδύναμη μονοαξονική αντοχή  $\sigma_{ci} > 80 \text{MPa}$ .

Αριθμός δοκιμίου	Αντοχή σε σημειακή φόρτιση (MPa)								Ισοδύναμη μονοαξονική αντοχή $\sigma_{ci} (>80 \text{MPa})$		
	D1(mm)	D2(mm)	D3(mm)	Dm(mm)	P (N)	F(N)	Is (Mpa)	Is <sub>(50)</sub> □	Biernawski, 1975	Broch & Franklin, 1972	Wirtgen
									$\sigma_{ci} = (14+0,175*D)*Is_{(50)}$	$\sigma_{ci}=24*Is_{(50)}$	$\sigma_{ci}=22*Is_{(50)}$
6	53,55	53,62	53,5	53,56	24.950	1,03	8,70	8,96	209,42	215,04	197,12
8	53,88	53,86	53,83	53,86	27.200	1,03	9,38	9,66	226,29	231,84	212,52
9	53,9	53,46	53,31	53,56	14.000	1,03	4,88	5,03	117,57	120,72	110,66
10	53,68	54,1	53,87	53,88	26.700	1,03	9,20	9,48	222,11	227,52	208,56
25	53,43	53,61	53,63	53,56	25.785	1,03	8,99	9,26	216,43	222,24	203,72
27	53,13	53,23	53,36	53,24	10.050	1,03	3,55	3,66	85,34	87,84	80,52
Αριθμός δοκιμών								6	6	6	6
Ελάχιστη Τιμή								3,66	85,34	87,84	80,52
Μέγιστη τιμή								9,66	226,29	231,84	212,52
Μέση τιμή								7,68	179,53	184,20	168,85
Τυπική απόκλιση								2,63	61,59	63,02	57,77

Σύμφωνα με τις πειραματικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν και τα αποτελέσματα που προέκυψαν τα πετρώματα χωρίστηκαν σε 3 κατηγορίες (Πίνακας 6) ανάλογα με τη μονοαξονική αντοχή τους  $\sigma_{ci}$ . Η πρώτη αφορά τα πετρώματα των οποίων ο μέσος όρος είναι  $\sigma_{ci} = 12,15 \text{MPa} < 50 \text{MPa}$ . Η δεύτερη κατηγορία αφορά αυτά των οποίων η μονοαξονική αντοχή τους είναι  $50 \text{MPa} < \sigma_{ci} < 80 \text{MPa}$  με μέσο όρο  $\sigma_{ci} = 71,22 \text{MPa}$ , ενώ η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει μονοαξονική αντοχή πετρωμάτων  $\sigma_{ci} = 177,52 \text{MPa} > 80 \text{MPa}$ . Ο διαχωρισμός αυτός έγινε ώστε ανάλογα με το μέσο όρο μονοαξονικής αντοχής της κάθε κατηγορίας να επιλεγεί και κατάλληλος τύπος Surface Miner. Για την πρώτη κατηγορία επιλέχτηκε ο τύπος 2200SM ο οποίος είναι ικανός να εξορύσσει πετρώματα μέχρι  $50 \text{MPa}$ , ενώ για τη δεύτερη κατηγορία ο τύπος 2500SM ο οποίος έχει τη δυνατότητα να εξορύσσει πετρώματα μέχρι  $80 \text{MPa}$ . Όσον αφορά την τρίτη κατηγορία πετρωμάτων λόγω του ότι ο μέσος όρος της μονοαξονικής αντοχής τους ξεπερνά τα  $80 \text{MPa}$ , η εξόρυξή τους είναι πραγματοποιήσιμη μόνο υπό ορισμένες συνθήκες.

**Πίνακας 6. Κατηγοριοποίηση πετρωμάτων με βάση το εύρος μονοαξονικής αντοχής τους.**

Κατηγορίες πετρωμάτων	Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών μονοαξονικής αντοχής σε MPa		
	Bieniawski	Broch & Franklin	Wirtgen
1 <sup>η</sup> κατηγορία ( $\sigma_{ci} < 50\text{MPa}$ )	2,79 – 25,09	2,88 – 25,68	2,64 – 23,54
2 <sup>η</sup> κατηγορία ( $50 < \sigma_{ci} < 80\text{MPa}$ )	61,93 – 79,12	63,60 – 81,36	58,30 – 74,58
3 <sup>η</sup> κατηγορία ( $\sigma_{ci} > 80\text{MPa}$ )	85,34 – 226,29	87,84 – 231,84	80,52 – 212,52



**Σχήμα 25. Χάρτης κατηγοριοποίησης περιοχών.**

Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα και τη δειγματοληψία από όπου συλλέχτηκαν τα δείγματα, στο Σχήμα 25 απεικονίζονται με **ροζ** απόχρωση οι περιοχές του ορυχείου οι οποίες περιλαμβάνουν πετρώματα της 1<sup>ης</sup> κατηγορίας με  $\sigma_{ci} < 50 \text{MPa}$ , με **μπλε** απόχρωση αυτές που περιλαμβάνουν πετρώματα της 2<sup>ης</sup> κατηγορίας με  $50 \text{MPa} < \sigma_{ci} < 80 \text{MPa}$ , ενώ με **κίτρινη** απόχρωση οι περιοχές που έχουν πετρώματα της 3<sup>ης</sup> κατηγορίας με  $\sigma_{ci} > 80 \text{MPa}$ .

## **6.5. ΔΟΚΙΜΗ ΑΠΟΞΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ CERCHAR**

Η ιδιότητα της αποξεστικής ικανότητας του πετρώματος (abrasiveness) είναι μία από τις ιδιότητες των πετρωμάτων η οποία μπορεί να προσδιοριστεί και να μετρηθεί έτσι ώστε να αποτιμηθεί εάν ένα πέτρωμα είναι κατάλληλο για μηχανική εκσκαφή. Η αποξεστική ικανότητα του πετρώματος αφορά στην φθορά που προκαλεί το πέτρωμα στα διάφορα κοπτικά άκρα μηχανημάτων και όχι στην φθορά (θραύση) που υφίσταται το ίδιο το πέτρωμα. Για αυτό τον λόγο πολυάριθμες πειραματικές δοκιμές προσδιορισμού της αποξεστικής ικανότητας των πετρωμάτων βρίσκουν εφαρμογή σήμερα. Ιδιαίτερα η δοκιμή Cerchar για πετρώματα, έχει επικρατήσει ως μέθοδος η αποτίμησης της αποξεστικής ικανότητας των πετρωμάτων στην εξόρυξη τους με μηχανικά μέσα.

### **6.5.1 ΘΕΩΡΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ CERCHAR**

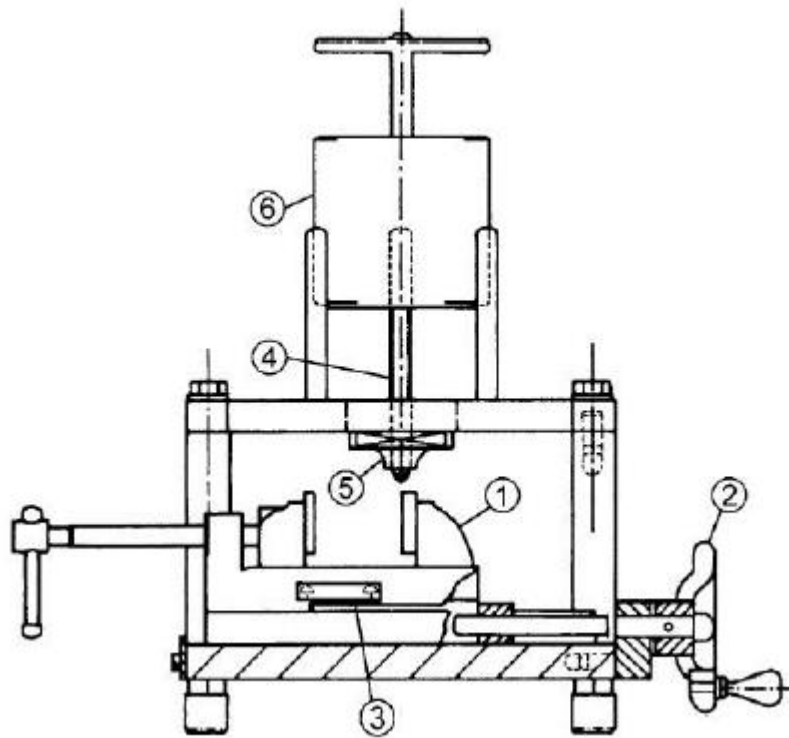
Με την δοκιμή CERCHAR προσδιορίζεται η φθορά που προκαλεί το δοκίμιο του πετρώματος σε μία κυλινδρική ράβδο της οποίας το κάτω άκρο καταλήγει σε ένα σημείο το οποίο είναι τομή κωνικών πλευρών γωνίας 90° (ακίδα). Η ράβδος αυτή εφαρμόζεται στην επιφάνεια του δοκιμίου με την βοήθεια φορτίου 70N. Κατά την επιβολή του φορτίου το δοκίμιο μέσω κατάλληλης διάταξης μετακινείται κατά 10mm με αποτέλεσμα την δημιουργία χαραγής στην επιφάνεια του. Η αποξεστικότητα (abrasiveness) του πετρώματος προσδιορίζεται μετρώντας την φθορά που προκαλείται στον χαλύβδινο κώνο ο οποίος παραμορφώνεται αποκτώντας επίπεδη επιφάνεια. Η μονάδα της αποξεστικότητας πετρώματος είναι η CAI (Cerchar Abrasiveness Index).

### **6.5.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ**

Στο Σχήμα 26 καθώς και στην Εικόνα 25 απεικονίζεται η πειραματική συσκευή «West» που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του CAI. Το δοκίμιο του πετρώματος συγκρατείται ασφαλώς από μία μέγγενη (1), η οποία μπορεί να μετακινηθεί κατά μήκος της βάσης της συσκευής από ένα χειροτροχό (2). Μία πλήρης περιστροφή του τροχού μετακινεί τη βάση κατά 1mm. Η μετακίνηση αυτή μπορεί να μετρηθεί στην κλίμακα (3). Μία χαλύβδινη ράβδος (4) που εφαρμόζει ομαλά στην υποδοχή της (5) έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του δοκιμίου του πετρώματος και φορτίζεται με βάρος 70N (6).



**Εικόνα 25. Πειραματική συσκευή «West» ([www.ergotech.co.uk](http://www.ergotech.co.uk)).**

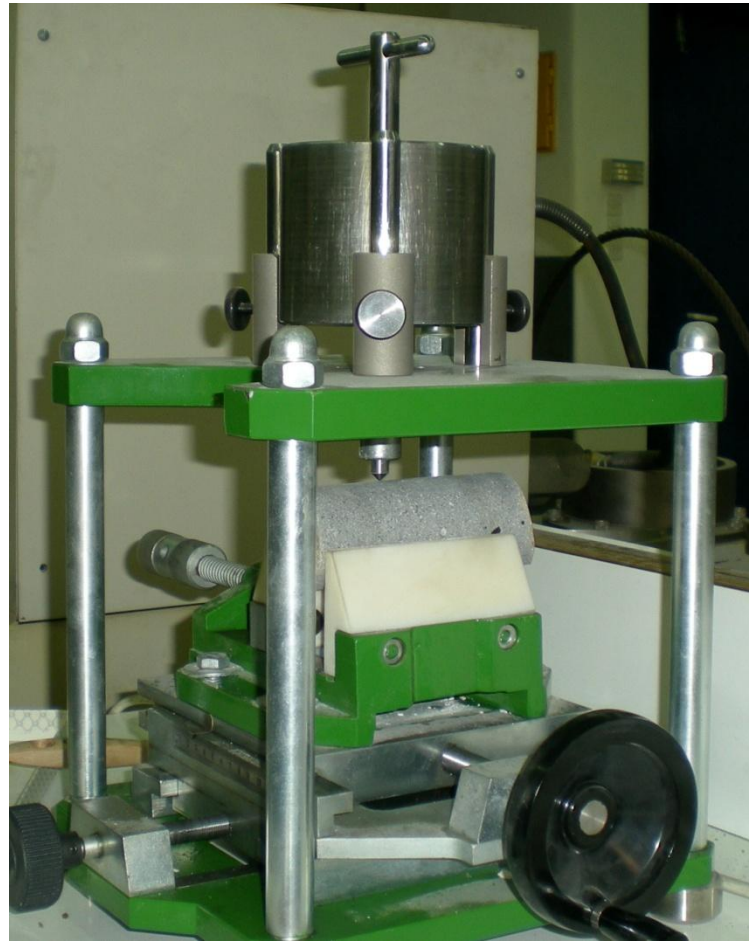


Σχήμα 26. Πειραματική συσκευή «West» για τον προσδιορισμό του δείκτη αποξεστικότητας Cerchar (Plinninger 2003)

### 6.5.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Αρχικά, επιλέγεται ένα κατάλληλου μεγέθους δοκίμιο του υπό εξέταση πετρώματος, έτσι ώστε να χωράει να τοποθετηθεί στις σιαγόνες της μέγγενης. Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν 26 κυλινδρικά δοκίμια ποζολάνης διαμέτρου 54.7 mm. Στη συνέχεια το δοκίμιο συσφίγγεται στη μέγγενη, χρησιμοποιώντας μικρές ξύλινες σφήνες για να στερεωθεί καλά, αν είναι απαραίτητο. Η χαλύβδινη ράβδος διαμέτρου 10mm και με αιχμηρή κωνική ακίδα, με γωνία κώνου 90° τοποθετείται στην υποδοχή της και η ακίδα της έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του πετρώματος. Το βάρος (70N) τοποθετείται πάνω στη χαλύβδινη ράβδο. Η μέγγενη συγκρατώντας το δοκίμιο μετακινείται αργά κατά 10mm με ταχύτητα περίπου 1mm/s, περιστρέφοντας το χειροτροχό 10 φορές κατά την επιθυμητή διεύθυνση. Έπειτα, απομακρύνονται το βάρος και η ράβδος από τη συσκευή.





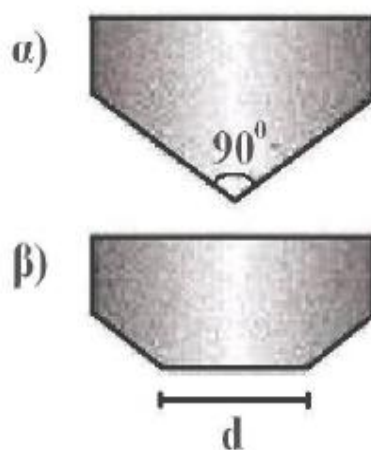
**Εικόνα 26. Δοκιμή Cerchar σε δοκίμιο ποζολάνης.**

Η ακίδα μετά τη χρήση της από αιχμηρή γίνεται επίπεδη, παίρνοντας το σχήμα βάσης κόλουρου κώνου διαμέτρου  $d$ , όπως φαίνεται στο Σχήμα 27. Αφού καθαριστεί η ακίδα από τυχόν υπολείμματα του πετρώματος, μετρείται η διάμετρος  $d$ , χρησιμοποιώντας μικροσκόπιο το οποίο είναι συνδεδεμένο με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Πραγματοποιούνται δύο μετρήσεις κατά μήκος δύο κάθετων μεταξύ τους διαμέτρων και λαμβάνεται η μέση τιμή τους.

Ο δείκτης αποξεστικότητα Cerchar (CAI) υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση (Michalakopoulos et al. 2006):

$$CAI = 10^{-2} \cdot d$$

όπου  $d$ : διάμετρος της φθαρμένης ακίδας της χαλύβδινης ράβδου σε mm



Σχήμα 27. Μορφή της ακίδας πριν (α) και μετά τη χρήση της (β).

Συνήθως χρησιμοποιούνται ράβδοι από χάλυβα σκληρότητας Rockwell HRC 40 και HRC 55. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εκτελέστηκαν πέντε δοκιμές με χρήση ακίδων HRC 40.

Ύστερα από τη χρήση τους οι ακίδες μπορούν να τροχιστούν, για να αποκτήσουν την αρχική τους μορφή και να επαναχρησιμοποιηθούν. Το τρόχισμα των ακίδων πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή. Οι μεγάλες θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά το τρόχισμα, ενδέχεται να επηρεάσουν τη σκληρότητα των ακίδων, με αποτέλεσμα η χρήση τους να δίνει εσφαλμένες τιμές του δείκτη αποξεστικότητας.

Κατά τη διάρκεια μιας φυσιολογικής δοκιμής η χαλύβδινη ακίδα δημιουργεί μία χαραγή στο πέτρωμα και το πέτρωμα προκαλεί απόξεση (φθορά) στην ακίδα. Τα περισσότερα πετρώματα έχει αποδειχτεί ότι είναι κατάλληλα για τη δοκιμή, με εξαίρεση τα πολύ μαλακά ή τα πολύ σκληρά. Ορισμένα πετρώματα είναι τόσο μαλακά, που δεν μπορούν να προκαλέσουν μετρήσιμη φθορά στην ακίδα και έτσι γι' αυτά τα πετρώματα καταγράφεται μηδενική τιμή. Στα πολύ σκληρά πετρώματα η ράβδος δεν είναι ικανή να χαράξει το δοκίμιο και παρά το ότι η ακίδα έχει αμβλυνθεί, δεν έχει αλληλεπιδράσει σωστά με το πέτρωμα, ώστε να θεωρηθεί ότι η φθορά της προκλήθηκε λόγω απόξεσης. Με τα σκληρά πετρώματα είναι επομένως απαραίτητο να εξετάζεται προσεκτικά το δοκίμιο μετά τη δοκιμή, για να εξασφαλίζεται ότι η ακίδα έχει εισχωρήσει στο πέτρωμα και το έχει χαράξει και δεν έχει απλά ολισθήσει πάνω στην επιφάνειά του. Αν αυτό συμβαίνει το πέτρωμα χαρακτηρίζεται ως πολύ σκληρό για να υποβληθεί στη δοκιμή (too hard to test).

**Προσοχή** πρέπει να δίνεται στην επιλογή των σημείων του δοκιμίου που εκτελούνται οι δοκιμές, όταν το πέτρωμα είναι χονδρόκοκκο, όταν περιέχει ασυνέχειες ή στρώσεις, ή είναι πορφυριτικό. Αν το δείγμα είναι ανισότροπο, ή στρωσιγενές, οι χαράξεις πρέπει να γίνονται με διαφορετικούς προσανατολισμούς.

#### 6.5.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ CERCHAR

Σε όλες τις μετρήσεις της δοκιμής Cerchar που πραγματοποιήθηκαν, χρησιμοποιήθηκαν ακίδες σκληρότητας HRC 40. Ακόμη, στο Παράρτημα 2 παρουσιάζονται όλες οι φωτογραφίες των χαλύβδινων ακίδων όπως ακριβώς εμφανίζονται στο μικροσκόπιο ενώ ταυτόχρονα αναγράφεται και η διάμετρος της κάθε ακίδας. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τόσο οι μετρήσεις των δοκιμών και ο δείκτης CAI, όσο και η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση. Πρέπει να σημειωθεί ότι στα δοκίμια 12,23,26 καθώς επίσης και όπου εμφανίζεται ο όρος **‘Μη αποδεκτή’** δεν έχουν καταγραφεί αποτελέσματα του δείκτη CAI διότι τα συγκεκριμένα πετρώματα αποδείχτηκαν πολύ μαλακά για να χαραχτούν από τις ακίδες.

**Πίνακας 7. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 1.**

Κωδικός Δοκιμίου:		1			Ημερομηνία Δοκιμής: 13/12/2012	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,134	0,161	0,148	1,48	
2	40-010	0,108	0,108	0,108	1,08	
3	40-017	0,108	0,108	0,108	1,08	
4	40-014	0,108	0,108	0,108	1,08	
5	40-006	0,134	0,108	0,121	1,21	
<b>Μέση τιμή:</b>					1,18	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					0,18	

Πίνακας 8. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 3.

Κωδικός Δοκιμίου:		3			Ημερομηνία Δοκιμής: 13/12/2012	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,038	0,056	0,047	0,47	
2	40-010	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
3	40-017	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
4	40-014	0,047	0,064	0,056	0,56	
5	40-006	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
<b>Μέση τιμή:</b>					0,21	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					0,28	

**Μη αποδεκτή\***: το πέτρωμα είναι πολύ μαλακό για να χαραχτεί

Πίνακας 9. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 4.

Κωδικός Δοκιμίου:		4			Ημερομηνία Δοκιμής: 13/12/2012	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,030	0,034	0,032	0,32	
2	40-010	0,017	0,026	0,021	0,21	
3	40-017	0,043	0,043	0,043	0,43	
4	40-014	0,056	0,064	0,060	0,60	
5	40-006	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
<b>Μέση τιμή:</b>					1,18	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					0,23	

**Μη αποδεκτή\***: το πέτρωμα είναι πολύ μαλακό για να χαραχτεί

Πίνακας 10. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 5.

Κωδικός Δοκιμίου:		5			Ημερομηνία Δοκιμής: 13/12/2012	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,188	0,188	0,188	1,88	
2	40-010	0,215	0,161	0,188	1,88	
3	40-017	0,161	0,108	0,134	1,34	
4	40-014	0,134	0,161	0,148	1,48	
5	40-006	0,134	0,161	0,148	1,48	
<b>Μέση τιμή:</b>					1,61	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					0,25	

Πίνακας 11. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 6.

Κωδικός Δοκιμίου:		6			Ημερομηνία Δοκιμής: 13/12/2012	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,531	0,565	0,548	5,48	
2	40-010	0,462	0,617	0,539	5,39	
3	40-017	0,514	0,531	0,522	5,22	
4	40-014	0,462	0,497	0,480	4,80	
5	40-006	0,531	0,617	0,574	5,74	
<b>Μέση τιμή:</b>					5,33	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					0,35	

Πίνακας 12. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 7.

Κωδικός Δοκιμίου:		7			Ημερομηνία Δοκιμής: 13/12/2012	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
2	40-010	0,240	0,171	0,206	2,06	
3	40-017	0,240	0,137	0,188	1,88	
4	40-014	0,257	0,206	0,231	2,31	
5	40-006	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
<b>Μέση τιμή:</b>					1,25	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					1,15	

**Μη αποδεκτή\***: το πέτρωμα είναι πολύ μαλακό για να χαραχτεί

Πίνακας 13. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 8.

Κωδικός Δοκιμίου:		8			Ημερομηνία Δοκιμής: 13/12/2012	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,565	0,599	0,582	5,82	
2	40-010	0,548	0,480	0,514	5,14	
3	40-017	0,720	0,617	0,668	6,68	
4	40-014	0,514	0,548	0,531	5,31	
5	40-006	0,599	0,548	0,574	5,74	
<b>Μέση τιμή:</b>					5,74	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					0,60	

Πίνακας 14. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 9.

Κωδικός Δοκιμίου:		9			Ημερομηνία Δοκιμής: 14/12/2012	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,736	0,736	0,736	7,36	
2	40-010	0,514	0,617	0,565	5,65	
3	40-017	0,599	0,685	0,642	6,42	
4	40-014	0,480	0,462	0,471	4,71	
5	40-006	0,582	0,565	0,574	5,74	
<b>Μέση τιμή:</b>					5,98	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					0,99	

Πίνακας 15. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 10.

Κωδικός Δοκιμίου:		10			Ημερομηνία Δοκιμής: 14/12/2012	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,269	0,269	0,269	2,69	
2	40-010	0,403	0,349	0,376	3,76	
3	40-017	0,323	0,323	0,323	3,23	
4	40-014	0,323	0,403	0,363	3,63	
5	40-006	0,296	0,430	0,363	3,63	
<b>Μέση τιμή:</b>					3,39	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					0,44	

Πίνακας 16. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 11.

Κωδικός Δοκιμίου:		11			Ημερομηνία Δοκιμής: 14/12/2012	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,215	0,269	0,242	2,42	
2	40-010	0,240	0,291	0,265	2,65	
3	40-017	0,154	0,215	0,185	1,85	
4	40-014	0,134	0,108	0,121	1,21	
5	40-006	0,134	0,161	0,148	1,48	
<b>Μέση τιμή:</b>					1,92	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					0,61	

Πίνακας 17. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 12.

Κωδικός Δοκιμίου:		12			Ημερομηνία Δοκιμής: 14/12/2012	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
2	40-010	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
3	40-017	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
4	40-014	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
5	40-006	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
<b>Μέση τιμή:</b>						
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>						

**Μη αποδεκτή\***: το πέτρωμα είναι πολύ μαλακό για να χαραχτεί

Πίνακας 18. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 13.

Κωδικός Δοκιμίου:		13			Ημερομηνία Δοκιμής: 14/12/2012	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,047	0,038	0,043	0,43	
2	40-010	0,051	0,056	0,053	0,53	
3	40-017	0,068	0,073	0,071	0,71	
4	40-014	0,056	0,038	0,047	0,47	
5	40-006	0,060	0,043	0,051	0,51	
<b>Μέση τιμή:</b>					0,53	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					0,59	

Πίνακας 19. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 14.

Κωδικός Δοκιμίου:		14			Ημερομηνία Δοκιμής: 14/12/2012	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,134	0,188	0,161	1,61	
2	40-010	0,134	0,188	0,161	1,61	
3	40-017	0,108	0,134	0,121	1,21	
4	40-014	0,188	0,269	0,228	2,28	
5	40-006	0,242	0,296	0,269	2,69	
<b>Μέση τιμή:</b>					1,88	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					0,59	



Πίνακας 20. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 15a.

Κωδικός Δοκιμίου:		15a			Ημερομηνία Δοκιμής: 14/12/2012	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,060	0,056	0,058	0,58	
2	40-010	0,030	0,030	0,030	0,30	
3	40-017	0,257	0,030	0,143	1,43	
4	40-014	0,180	0,163	0,171	1,71	
5	40-006	0,043	0,030	0,036	0,36	
<b>Μέση τιμή:</b>					0,88	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					0,65	

Πίνακας 21. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 15b.

Κωδικός Δοκιμίου:		15b			Ημερομηνία Δοκιμής: 14/12/2012	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,565	0,548	0,557	5,57	
2	40-010	0,223	0,206	0,214	2,14	
3	40-017	0,445	0,445	0,445	4,45	
4	40-014	0,411	0,394	0,402	4,02	
5	40-006	0,291	0,291	0,291	2,91	
<b>Μέση τιμή:</b>					3,82	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					1,34	

Πίνακας 22. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 17a.

Κωδικός Δοκιμίου:		17a			Ημερομηνία Δοκιμής: 14/12/2012	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,021	0,385	0,203	2,03	
2	40-010	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
3	40-017	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
4	40-014	0,056	0,064	0,060	0,60	
5	40-006	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
<b>Μέση τιμή:</b>					0,53	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					0,88	

**Μη αποδεκτή\***: το πέτρωμα είναι πολύ μαλακό για να χαραχτεί

Πίνακας 23. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 17b.

Κωδικός Δοκιμίου:		17b			Ημερομηνία Δοκιμής: 8/1/2013	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,034	0,428	0,231	2,31	
2	40-010	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
3	40-017	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
4	40-014	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
5	40-006	0,043	0,043	0,043	0,43	
<b>Μέση τιμή:</b>					0,55	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					1,00	

**Μη αποδεκτή\***: το πέτρωμα είναι πολύ μαλακό για να χαραχτεί

Πίνακας 24. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 18.

Κωδικός Δοκιμίου:		18			Ημερομηνία Δοκιμής: 8/1/2013	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,034	0,038	0,036	0,36	
2	40-010	0,060	0,077	0,068	0,68	
3	40-017	0,081	0,068	0,075	0,75	
4	40-014	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
5	40-006	0,043	0,073	0,058	0,58	
<b>Μέση τιμή:</b>					0,47	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					0,30	

**Μη αποδεκτή\***: το πέτρωμα είναι πολύ μαλακό για να χαραχτεί

Πίνακας 25. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 19.

Κωδικός Δοκιμίου:		19			Ημερομηνία Δοκιμής: 8/1/2013	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
2	40-010	0,021	0,026	0,024	0,24	
3	40-017	0,954	0,911	0,932	9,32	
4	40-014	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
5	40-006	0,068	0,056	0,062	0,62	
<b>Μέση τιμή:</b>					2,04	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					4,14	

**Μη αποδεκτή\***: το πέτρωμα είναι πολύ μαλακό για να χαραχτεί

Πίνακας 26. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 20.

Κωδικός Δοκιμίου:		20			Ημερομηνία Δοκιμής: 8/1/2013	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,047	0,038	0,043	0,43	
2	40-010	0,297	0,324	0,311	3,11	
3	40-017	0,066	0,060	0,063	0,63	
4	40-014	0,285	0,304	0,295	2,95	
5	40-006	0,053	0,064	0,058	0,58	
<b>Μέση τιμή:</b>					1,54	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					1,34	

Πίνακας 27. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 21.

Κωδικός Δοκιμίου:		21			Ημερομηνία Δοκιμής: 8/1/2013	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,043	0,043	0,043	0,43	
2	40-010	0,038	0,021	0,030	0,30	
3	40-017	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
4	40-014	0,034	0,043	0,038	0,38	
5	40-006	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
<b>Μέση τιμή:</b>					0,22	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					0,21	

**Μη αποδεκτή\***: το πέτρωμα είναι πολύ μαλακό για να χαραχτεί

Πίνακας 28. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 22.

Κωδικός Δοκιμίου:		22			Ημερομηνία Δοκιμής: 9/1/2013	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
2	40-010	0,030	0,030	0,030	0,30	
3	40-017	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
4	40-014	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
5	40-006	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
<b>Μέση τιμή:</b>					0,06	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					0,13	

**Μη αποδεκτή\***: το πέτρωμα είναι πολύ μαλακό για να χαραχτεί

Πίνακας 29. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 23.

Κωδικός Δοκιμίου:		23			Ημερομηνία Δοκιμής: 9/1/2013	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
2	40-010	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
3	40-017	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
4	40-014	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
5	40-006	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
<b>Μέση τιμή:</b>						
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>						

**Μη αποδεκτή\***: το πέτρωμα είναι πολύ μαλακό για να χαραχτεί

Πίνακας 30. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 25.

Κωδικός Δοκιμίου:		25			Ημερομηνία Δοκιμής: 9/1/2013	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,497	0,497	0,497	4,97	
2	40-010	0,514	0,736	0,625	6,25	
3	40-017	0,497	0,531	0,514	5,14	
4	40-014	0,531	0,480	0,505	5,05	
5	40-006	0,462	0,462	0,462	4,62	
<b>Μέση τιμή:</b>					5,21	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					0,62	

Πίνακας 31. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 26.

Κωδικός Δοκιμίου:		26			Ημερομηνία Δοκιμής: 9/1/2013	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
2	40-010	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
3	40-017	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
4	40-014	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
5	40-006	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
<b>Μέση τιμή:</b>						
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>						

**Μη αποδεκτή\***: το πέτρωμα είναι πολύ μαλακό για να χαραχτεί

Πίνακας 32. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 27.

Κωδικός Δοκιμίου:		27			Ημερομηνία Δοκιμής: 10/1/2013	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,161	0,134	0,148	1,48	
2	40-010	0,161	0,188	0,175	1,75	
3	40-017	0,134	0,108	0,121	1,21	
4	40-014	0,161	0,134	0,148	1,48	
5	40-006	0,108	0,134	0,121	1,21	
<b>Μέση τιμή:</b>					1,42	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					0,22	

Πίνακας 33. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 29.

Κωδικός Δοκιμίου:		29			Ημερομηνία Δοκιμής: 10/1/2013	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,026	0,021	0,024	0,24	
2	40-010	0,026	0,026	0,026	0,26	
3	40-017	0,026	0,026	0,026	0,26	
4	40-014	0,026	0,030	0,028	0,28	
5	40-006	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
<b>Μέση τιμή:</b>					0,21	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					0,12	

**Μη αποδεκτή\***: το πέτρωμα είναι πολύ μαλακό για να χαραχτεί

Πίνακας 34. Πίνακας με πειραματικά αποτελέσματα Cerchar δοκιμίου 30.

Κωδικός Δοκιμίου:		30			Ημερομηνία Δοκιμής: 10/1/2013	
α/α χαραγής (scratch)	Κωδικός ακίδας	Φθορά ακίδας			Δείκτης CERCHAR (CAI)	
		Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)		
1	40-008	0,047	0,021	0,034	0,34	
2	40-010	0,073	0,094	0,083	0,83	
3	40-017	0,381	0,351	0,366	3,66	
4	40-014	0,026	0,038	0,032	0,32	
5	40-006	Μη αποδεκτή*	Μη αποδεκτή*			
<b>Μέση τιμή:</b>					1,03	
<b>Τυπική Απόκλιση:</b>					1,78	

**Μη αποδεκτή\***: το πέτρωμα είναι πολύ μαλακό για να χαραχτεί

Στον πίνακα που ακολουθεί αποδίδεται η κατάταξη των πετρωμάτων σε σχέση με τον δείκτη αποξεστικότητας Cerchar κατά HRC40.

Πίνακας 35. Κατάταξη πετρωμάτων με βάση τον δείκτη αποξεστικότητας CAI (Michalakopoulos et al.,2005).

Κατάταξη	Δείκτης Cerchar(40)
Ελάχιστα φθοροποιό	0,32-0,66
Λίγο φθοροποιό	0,66-1,51
Μετρίως φθοροποιό	1,51-3,22
Πολύ φθοροποιό	3,22-6,62
Εξαιρετικά φθοροποιό	6,62-10,03

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα της αποξεστικής ικανότητας Cerchar των δοκιμίων και λαμβάνοντας υπόψη τον Πίνακα 35, παρατηρούμε ότι το πέτρωμά μας χαρακτηρίζεται από ελάχιστα έως πολύ φθοροποιό καθώς η ελάχιστη τιμή CAI παρατηρούμε ότι είναι η 0,06 του δοκιμίου με αριθμό 21 ενώ η μεγαλύτερη τιμή η 5,98 του δοκιμίου με αριθμό 9. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα δοκίμια ανάλογα με την φθοροποιό τους ικανότητα αλλά και ο μέσος όρος CAI της κάθε κατηγορίας.

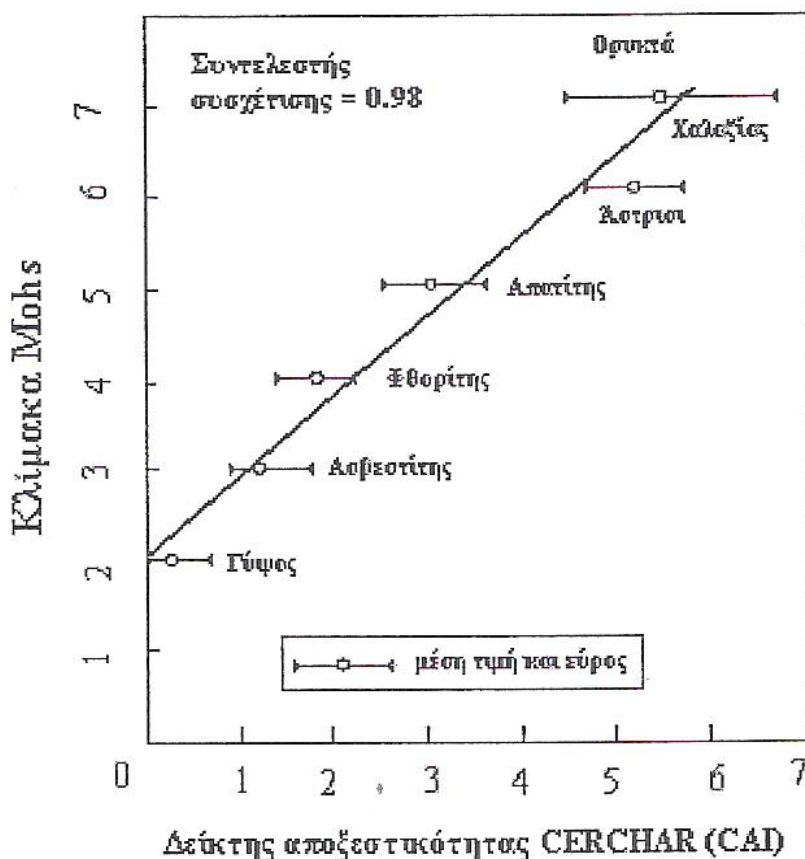


**Πίνακας 36. Ομαδοποίηση δοκιμών ανάλογα με τον δείκτη αποξεστικότητας CAI.**

<b>Κατάταξη</b>	<b>α/α Δοκιμών</b>	<b>Μέσος όρος CAI δοκιμών</b>
A)Ελάχιστα φθοροποιού	13,17a,17b,18	0,52
B)Λίγο φθοροποιού	1,4,7,14,15a,27,30	1,26
Γ)Μετρίως φθοροποιού	5,11,19,20	1,8
Δ)Πολύ φθοροποιού	6,8,9,10,15,25	4,92

*\*Πρέπει να τονιστεί ότι υπάρχουν δοκίμια τα οποία έχουν CAI πολύ χαμηλό (τα δοκίμια αυτά είναι τα 3,21,22,29) συνεπώς η κατάταξή τους χαρακτηρίζεται κάτω του ελάχιστα φθοροποιού.*

Τα αποτελέσματα της δοκιμής Cerchar έχουν συγκριθεί με την κλίμακα σκληρότητας κατά Mohs η οποία αναφέρεται στην ικανότητα ενός σκληρότερου ορυκτού να φθείρει ένα μαλακότερο ορυκτό. Έτσι δοκιμές Cerchar έχουν πραγματοποιηθεί σε ορυκτά γνωστής σκληρότητας κατά Mohs προκειμένου να ελεγχθεί η αξιοπιστία της μεθόδου από τους κατασκευαστές, τα αποτελέσματα των οποίων δίνονται συγκριτικά στο διάγραμμα του επόμενου σχήματος με συντελεστή συσχέτισης  $r = 0.98$



Σχήμα 28. Συσχέτιση τιμών μεταξύ κλίμακας Mohs και δοκιμών Cerchar για διάφορα ορυκτά (Int. J. Rock Mech. Min. & Geomech., 1989)

Γενικότερα, η αποξεστικότητα του πετρώματος δεν είναι αναγκαστικά η ίδια με την αποξεστικότητα των ορυκτών του, διότι παράγοντες όπως υλικά συνένωσης, το μέγεθος και η μορφή του κόκκου παίζουν ένα σημαντικό ρόλο και διαφοροποιούν την παραπάνω ικανότητα του πετρώματος. Έτσι το πλεονέκτημα της δοκιμής Cerchar έναντι της κλίμακας Mohs είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί και στα ορυκτά και στα πετρώματα σε αντίθεση με την κλίμακα Mohs που έχει εφαρμογή αποκλειστικά και μόνο στα ορυκτά.

Στον Πίνακα 37 δίνεται μια εκτίμηση αντιστοιχίας των μέσων όρων του δείκτη CAI των δοκιμών με την κλίμακα σκληρότητας Mohs η οποία βασίζεται στο Σχήμα 28.

**Πίνακας 37. Αντιστοιχία μέσων όρων δείκτη CAI των δοκιμών με την κλίμακα Mohs βάση του σχήματος 26**

<b>Μέσος όρος CAI δοκιμών</b>	<b>Κλίμακα Mohs</b>
0,52	2,7
1,26	3,2
1,8	3,8
4,92	6

---

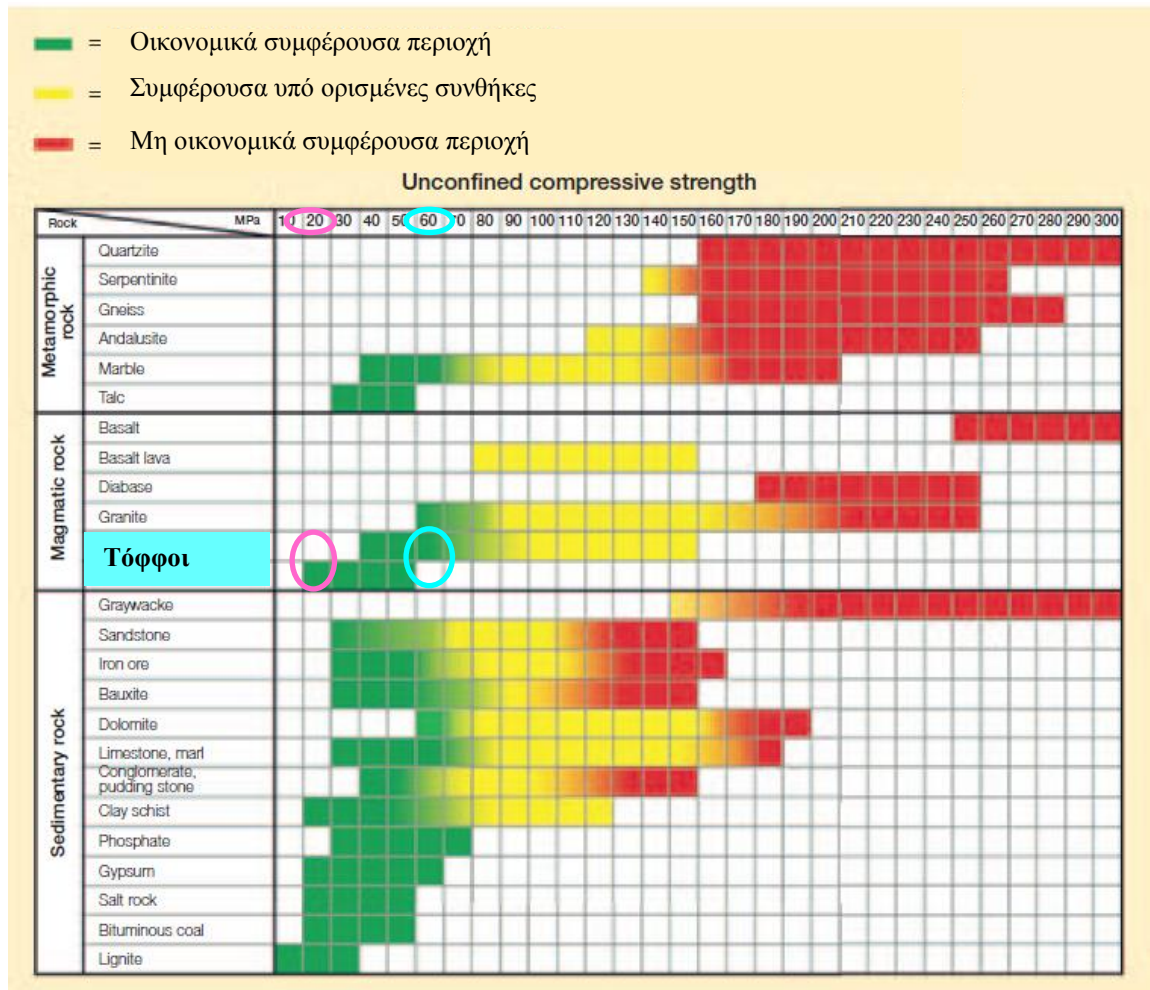
## 7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΞΟΡΥΞΗΣ SURFACE MINER

Σύμφωνα με τα στοιχεία του συγκεκριμένου ορυχείου όπως αυτά παρουσιάζονται στο υποκεφάλαιο 3.6 η ημερήσια παραγωγή, δηλαδή ανά 8ωρο εργασίας είναι 1.800 – 2.000t/h. Αναφορικά με τον τύπο 2200SM, αυτός εκτιμάται ότι δίνει μια ωριαία παραγωγή της τάξης των 450 t/h, ενώ ανά 8ωρο εργασίας είναι 3.000t. Ο τύπος 2500 SM εκτιμάται ότι δίνει μια ωριαία παραγωγή της τάξης των 1000 t/h, ενώ ανά 8ωρο εργασίας εξορύσσει περίπου 8.000t. Συμπεραίνουμε ότι η ημερήσια παραγωγή του ορυχείου καλύπτεται από την αυτή που δίνουν τόσο ο 2200SM όσο και ο 2500 SM.

Είναι απαραίτητο να τονιστεί ότι το Surface Miner είναι ικανό να εξορύσσει πετρώματα με  $\sigma_{ci} > 80\text{MPa}$  μόνο κάτω από ορισμένες συνθήκες. Συνεπώς, η 3<sup>η</sup> κατηγορία πετρωμάτων που έδωσε μέσο όρο  $\sigma_{ci} = 177,52\text{MPa}$  δε μπορεί να εξορυχτεί με κάποιον από τους δύο προαναφερόμενους τύπους του συγκεκριμένου μηχανήματος.

Λαμβάνοντας υπόψη τα συμπεράσματα από τη δοκιμή σημειακής φόρτισης και δεδομένου του τύπου του προς εξόρυξη πετρώματος, η εξόρυξη ποζολάνης, η οποία ανήκει ορυκτολογικά στους τόφφους, με μηχανήμα τύπου Surface Miner είναι οικονομικά συμφέρουσα για την πρώτη κατηγορία πετρωμάτων, ήτοι τα πετρώματα με αντοχή σε μονοαξονική θλίψη με εύρος τιμών από  $\sigma_{ci} = 2,64\text{MPa}$  έως  $\sigma_{ci} = 23,54\text{MPa}$  (κατά Wirtgen). Για τη δεύτερη κατηγορία πετρωμάτων, ήτοι τα πετρώματα με αντοχή σε μονοαξονική θλίψη με εύρος τιμών από  $\sigma_{ci} = 58,30\text{MPa}$  έως  $\sigma_{ci} = 74,58\text{MPa}$  (κατά Wirtgen), η εξόρυξή τους κυμαίνεται μεταξύ της οικονομικά συμφέρουσας περιοχής και της οικονομικά συμφέρουσας περιοχής υπό ορισμένες συνθήκες, όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

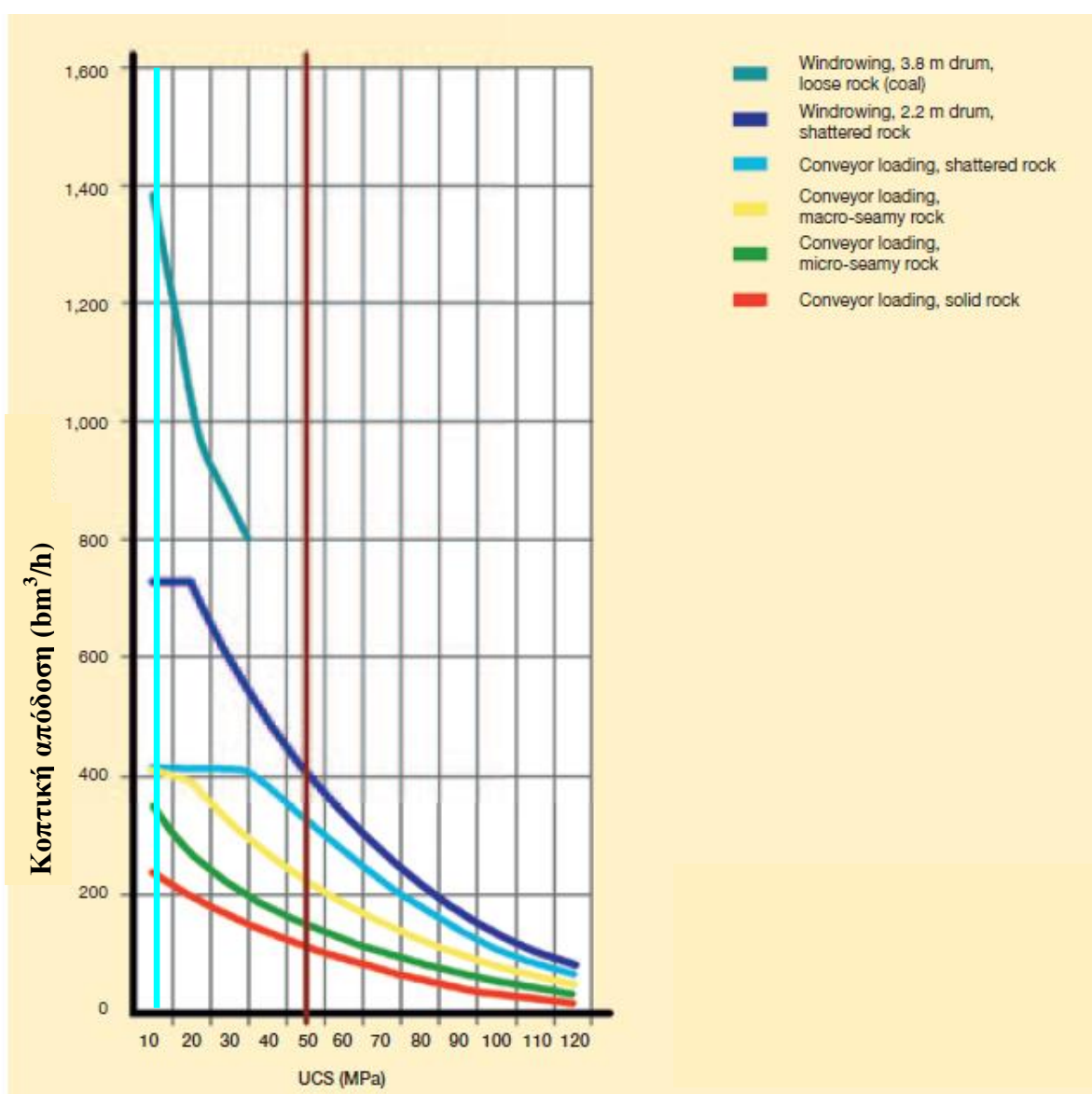
Πίνακας 38. Απεικόνιση οικονομικότητας εξόρυξης πετρώματος σε σχέση με τη μονοαξονική αντοχή του. Με μωβ χρώμα παρουσιάζεται η περιοχή για την 1<sup>η</sup> κατηγορία, ενώ με σιελ η περιοχή για την 2<sup>η</sup> κατηγορία.



Όσον αφορά στην 3η κατηγορία, λόγω της υψηλής αντοχής σε μονοαξονική θλίψη, η χρήση του μηχανήματος τύπου Surface Miner για την εξόρυξη κρίνεται οικονομικά μη συμφέρουσα με βάση το σχήμα.

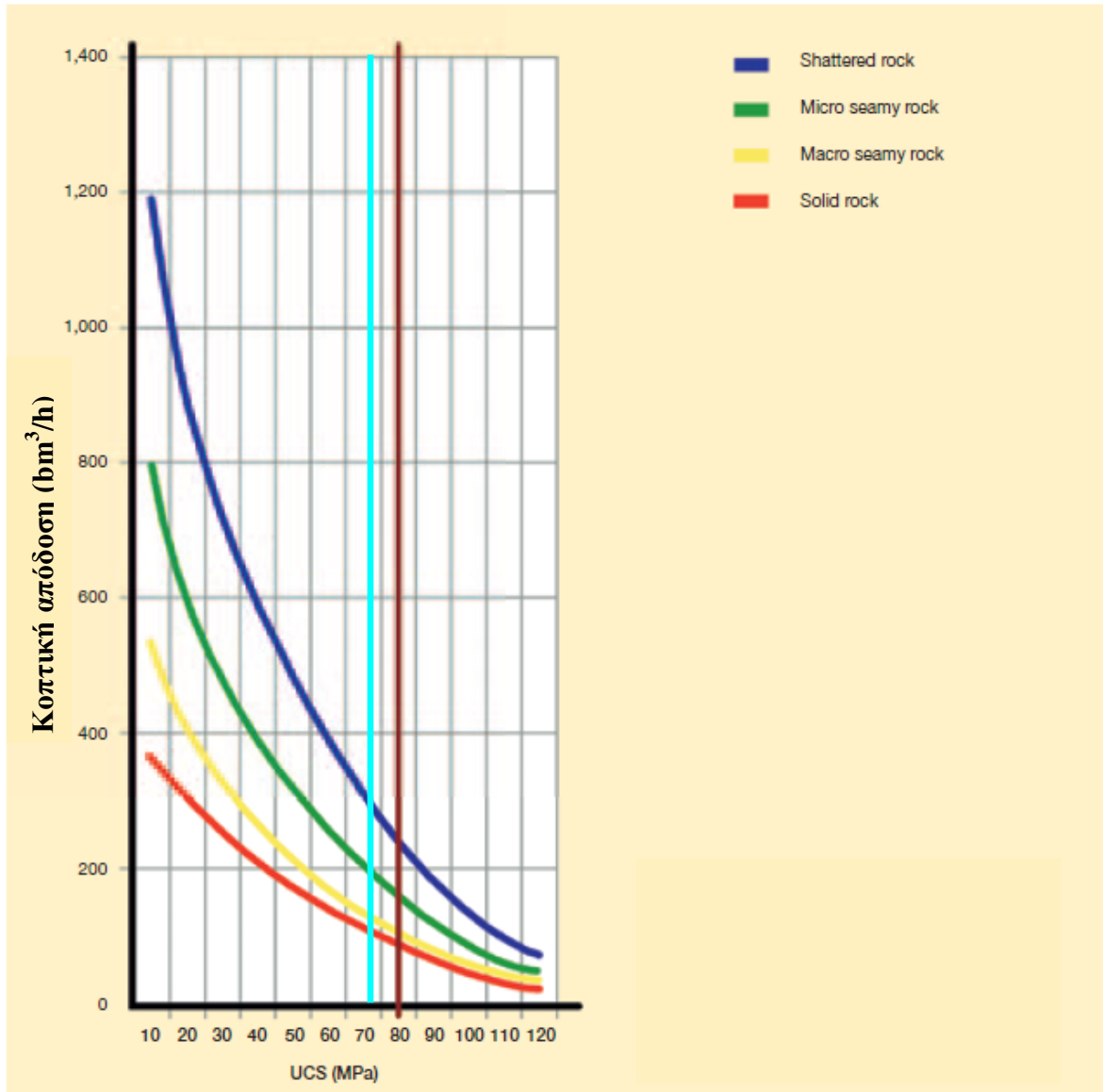
## 7.1. ΚΟΠΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ 2200SM - 2500SM

Όσον αφορά την πρώτη κατηγορία πετρωμάτων όπως αυτή ορίστηκε στο υποκεφάλαιο 6.4.3 με μέσο όρο μονοαξονικής αντοχής  $\sigma_{ci}=12,15 \text{ MPa}$  η οποία και είναι μικρότερη των 50MPa, όπως προαναφέρθηκε ο καταλληλότερος τύπος Surface Miner για την εξόρυξή τους είναι ο 2200SM. Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η κοπτική απόδοση του τύπου 2200SM σε συνάρτηση με τη μονοαξονική αντοχή  $\sigma_{ci}$  και τον τύπο πετρώματος ο οποίος μπορεί να χαρακτηριστεί από ‘**micro-seamy rock**’ έως ‘**macro-seamy rock**’ όπου για δεδομένο  $\sigma_{ci}$  η κοπτική απόδοση κυμαίνεται από 350 έως 400  $\text{bm}^3/\text{h}$ .



Σχήμα 29. Διάγραμμα συσχέτισης μονοαξονικής αντοχής  $\sigma_{ci}$  και κοπτικής απόδοσης για τον τύπο 2200SM (Manual Wirtgen GmbH, 2010).

Όσον αφορά τη δεύτερη κατηγορία πετρωμάτων με μέσο όρο μονοαξονικής αντοχής  $\sigma_{ci}=71,22$  MPa η οποία και είναι μεταξύ 50 και 80MPa, ο καταλληλότερος τύπος Surface Miner για την εξόρυξή τους είναι ο 2500SM. Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η κοπτική απόδοση του τύπου 2500S σε συνάρτηση με τη μονοαξονική αντοχή όπου για δεδομένο  $\sigma_{ci}$  και τύπο πετρώματος από 'micro-seamy rock' έως 'macro-seamy rock' η κοπτική απόδοση κυμαίνεται από 150 έως 200  $\text{bm}^3/\text{h}$ .



Σχήμα 30. Διάγραμμα συσχέτισης μονοαξονικής αντοχής  $\sigma_{ci}$  και κοπτικής απόδοσης για τον τύπο 2500SM (Manual Wirtgen GmbH, 2010).

## 7.2. ΔΙΕΡΕΥΝΙΣΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΚΑ ΜΟΗΣ

Λαμβάνοντας υπόψη τον Πίνακα 39 που ακολουθεί αλλά και τον Πίνακα 37 παρατηρούμε ότι το πέτρωμά μας (ποζολάνη) για τις τιμές 2.7, 3.2, 3.8 και 6 της κλίμακας Mohs είναι πιο κοντά στις αντίστοιχες τιμές Mohs των **Serpentinite**, **Dolomite** και **Quartzite**. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι δύο τύποι Surface Miner που επιλέχθηκαν είναι ικανοί να εξορύξουν πετρώματα σκληρότητας κάτω των 5 Mohs. Κατά συνέπεια μπορούν να εξορύξουν μόνο τα ελάχιστα έως μετρίως σκληρά όπως αυτά ορίστηκαν με βάση τον Πίνακα 36.

Πίνακας 39. Πίνακας ενδεικτικών τιμών σκληρότητας Mohs διαφόρων πετρωμάτων (Manual Wirtgen GmbH, 2010).

Rock	Specific gravity (g/cm <sup>3</sup> )	Bulking coefficient	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Mohs hardness	
Metamorphic rock	Quartzite	2.6 – 2.7	1.7	1.6 – 1.7	7.0
	Serpentinite	2.4 – 3.0			2.5 – 3.5
	Gneiss	2.7 – 3.0	1.6	1.7 – 1.9	
	Andalusite	3.0 – 3.2			7.5
	Marble	2.7 – 2.9	1.7	1.6 – 1.7	
	Talc	2.7 – 2.8			1.0
Magmatic rock	Basalt	2.7 – 3.2	1.7	1.7 – 1.9	
	Basalt lava	2.2 – 2.5			
	Diabase	2.8 – 2.9	1.7	1.6 – 1.7	
	Granite	2.5 – 2.8	1.7	1.5 – 1.7	
	Tuffaceous rock	1.8 – 2.0			
	Tuff	1.6 – 2.0			
Sedimentary rock	Graywacke	2.6 – 2.7	1.6	1.6 – 1.7	
	Sandstone	2.0 – 2.7	1.7	1.2 – 1.6	
	Iron ore	3.8 – 5.3	1.2	3.2 – 4.5	5.5
	Bauxite	2.3 – 3.5	1.3	1.7 – 2.6	2 – 3
	Dolomite	2.1 – 2.9	1.6	1.3 – 1.8	3.5 – 4
	Limestone, marl	1.7 – 2.9	1.6	1.0 – 1.78	3.0
	Conglomerate, pudding stone	1.7 – 2.6	1.8		
	Clay schist	1.8 – 2.8	1.6	1.1 – 1.8	
	Phosphate	4.3 – 4.5			5.0
	Gypsum	2.0 – 2.3	1.6	1.3 – 1.5	1.5 – 2
	Salt rock	1.6 – 3.0			2.0
	Bituminous coal	1.2 – 2.5			
	Lignite	1.0 – 1.2	1.2	0.8 – 1.0	



### 7.3. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ 2200SM-2500SM

Το Surface Miner έχει τη δυνατότητα κόβει άμεσα και σε μικρό μέγεθος το υλικό που εξορύσσει. Το μέγεθος των κόκκων που λαμβάνεται μετά την κοπή μπορεί να είναι το ίδιο με αυτό που λαμβάνεται μετά το δεύτερο ή το τρίτο στάδιο των συμβατικών διεργασιών θρυμματισμού. Το μέγεθος του κόκκου του πετρώματος που προκύπτει κατά την κοπή του Surface Miner εξαρτάται επίσης από τη δομή του πετρώματος, τη θλιπτική αντοχή και τη σκληρότητά του.

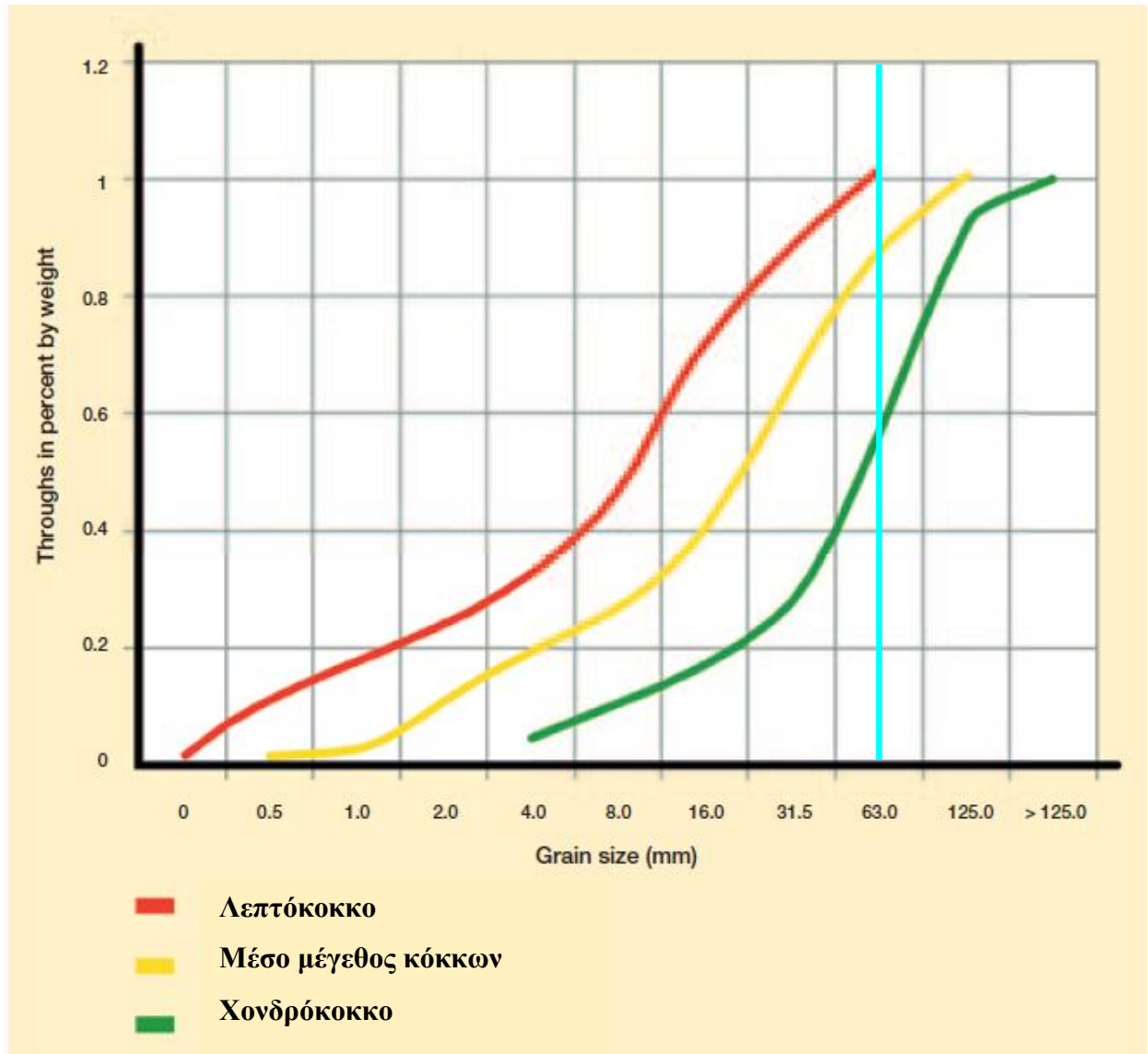
Ένα μικρό μέγεθος κόκκων προκύπτει συνήθως από υλικό με λίγες ή καθόλου ασυνέχειες, με υψηλή θλιπτική αντοχή και μεγάλη σκληρότητα. Ενώ ένα μεγαλύτερο μέγεθος κόκκων προκύπτει συνήθως από πολλές και μεγάλες ασυνέχειες, χαμηλή θλιπτική αντοχή και μικρή τιμή σκληρότητας.

Με βάση τον Πίνακα 40 η πρώτη κατηγορία πετρωμάτων με  $\sigma_{ci} < 50$  MPa χαρακτηρίζεται **‘weak’** έως **‘medium strong’** κατά Brown. Η δεύτερη κατηγορία με  $50 < \sigma_{ci} < 80$  MPa χαρακτηρίζεται **‘strong’**, ενώ για  $\sigma_{ci} > 80$ MPa χαρακτηρίζεται ως **‘very strong’**.

Πίνακας 40. Πίνακας εκτίμησης μονοαξονικής αντοχής διαφόρων πετρωμάτων (Brown, 1981).

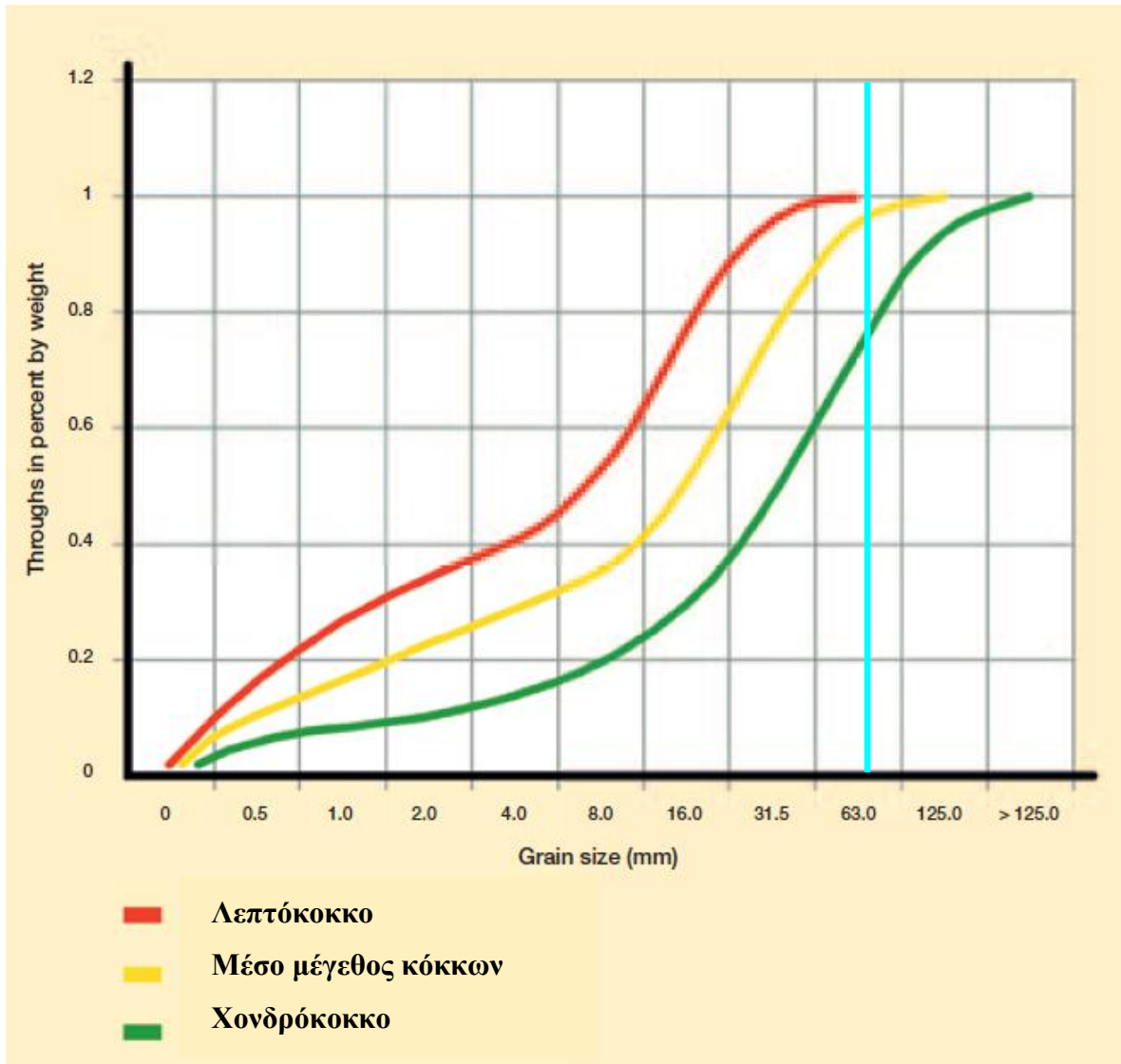
Grade*	Term	Uniaxial Comp. Strength (MPa)	Point Load Index (MPa)	Field estimate of strength	Examples
R6	Extremely Strong	> 250	>10	Specimen can only be chipped with a geological hammer	Fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite
R5	Very strong	100 - 250	4 - 10	Specimen requires many blows of a geological hammer to fracture it	Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, limestone, marble, rhyolite, tuff
R4	Strong	50 - 100	2 - 4	Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it	Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale
R3	Medium strong	25 - 50	1 - 2	Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer	Claystone, coal, concrete, schist, shale, siltstone
R2	Weak	5 - 25	**	Can be peeled with a pocket knife with difficulty, shallow indentation made by firm blow with point of a geological hammer	Chalk, rocksalt, potash
R1	Very weak	1 - 5	**	Crumbles under firm blows with point of a geological hammer, can be peeled by a pocket knife	Highly weathered or altered rock
R0	Extremely weak	0.25 - 1	**	Indented by thumbnail	Stiff fault gouge

Όσον αφορά τα δοκίμια με μέσο όρο  $\sigma_{ci} = 12,15 \text{ MPa}$  που έχουν χαμηλή αντοχή επιλέχθηκε το παρακάτω διάγραμμα το οποίο για δεδομένο μέγεθος κόκκων δίνει μια εκτίμηση της κοκκομετρίας του υλικού που εξορύσσεται από το μηχάνημα. Συνεπώς, για τον τύπο 2200SM που έχει επιλεγεί για εξόρυξη με  $\sigma_{ci} = 12,15 \text{ MPa} < 50 \text{ MPa}$ , και για μέγεθος κόκκων 70mm (όπως αυτό ορίστηκε στο υποκεφάλαιο 3.8) το ποσοστό του υλικού που δεν ξεπερνάει τα 70mm κυμαίνεται κατά βάρος από 60 έως 100%.



Σχήμα 31. Διάγραμμα συσχέτισης μεγέθους κόκκου με ποσοστό κατά βάρος του υλικού για τον τύπο 2200SM (Manual Wirtgen GmbH, 2010) .

Όσον αφορά τα δοκίμια με μέσο όρο  $\sigma_{ci} = 68,85\text{MPa}$  που έχουν υψηλή αντοχή επιλέχθηκε ενδεικτικά το παρακάτω διάγραμμα το οποίο για δεδομένο μέγεθος κόκκων δίνει μια εκτίμηση της κοκκομετρίας του υλικού που εξορύσσεται από το μηχάνημα. Συνεπώς, για τον τύπο 2200SM που έχει επιλεγεί για εξόρυξη με  $50 < \sigma_{ci} (=68,85\text{MPa}) < 80\text{MPa}$ , και για μέγεθος κόκκων 70mm (όπως αυτό ορίστηκε στο υποκεφάλαιο 3.8) το ποσοστό του υλικού που δεν ξεπερνάει τα 70mm κυμαίνεται από 75 έως 100%.



Σχήμα 32. . Διάγραμμα συσχέτισης μεγέθους κόκκου με ποσοστό κατά βάρος του υλικού για τον τύπο 2500SM (Manual Wirtgen GmbH, 2010).

## 7.4. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ-ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ 2200SM ΚΑΙ 2500SM

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τόσο τα τεχνικά χαρακτηριστικά όσο και οι διαστάσεις σε mm για τον τύπο 2200SM.

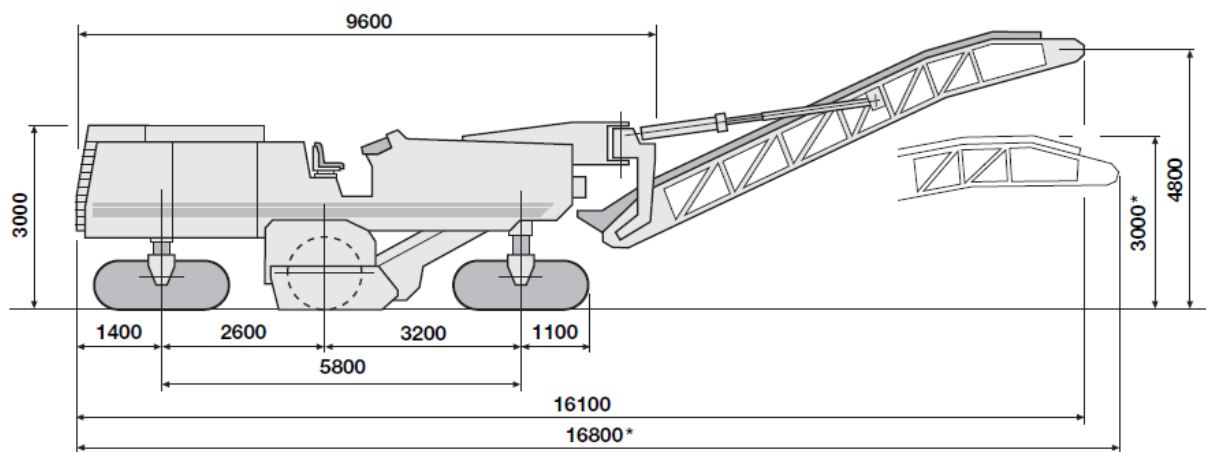
Πίνακας 41. Πίνακας με αναγραφόμενα τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τύπου 2200SM (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).

		Surface Miner 2200 SM	
<b>Cutting width max.</b>	mm	2,200	
<b>Cutting depth *1</b>	mm	0-350	
<b>Cutting drum</b>			
Spacing	mm	38	
Number of tools		76	
Drum diameter with tools	mm	1,140	
Drum inclination, max.	°	5	
<b>Engine</b>			
Manufacturer		Caterpillar	
Type		3412E	
Cooling		Water	
No. of cylinders		12	
Output	kW/HP/PS	596.5/800/811	
Engine speed	min <sup>-1</sup>	2,100	
Displacement	cm <sup>3</sup>	27,000	
Fuel consumption: 1/1 load	l/h	150	
Fuel consumption: 2/3 load	l/h	100	
<b>Speed/gradeability</b>			
Travel speed	m/min (km/h)	0 - 84 (0 - 5)	
Theoretical gradeability	%	90	
Ground clearance	mm	370	
<b>Weights *2</b>			
Front axle load, full tanks	daN (kg)	25,430	
Rear axle load, full tanks	daN (kg)	25,350	
Own weight	daN (kg)	44,500	
Operating weight, CE *3	daN (kg)	47,730	
Operating weight, full tanks	daN (kg)	50,780	
<b>Tracks</b>			
Front tracks (L x W x H)	mm	2.200 x 370 x 790	
Rear tracks (L x W x H)	mm	2.200 x 370 x 790	
<b>Tank capacities</b>			
Fuel tank	l	1,500	
Hydraulic fluid tank	l	450	
Water tank	l	5,000	
<b>Elektrical system</b>	V	24	
<b>Conveyor system</b>			
Belt width 1 <sup>st</sup> belt (loading belt)	mm	1,100	
Belt width 2 <sup>nd</sup> belt (discharge belt)	mm	1,100	
Theoretical conveying capacity	m <sup>3</sup> /h	668	
<b>Shipping dimensions / Weights *2</b>			
Dimensions of machine (L x W x H)	mm	9,600 x 2,750 x 3,000	
Dimensions of discharge conveyor (L x W x H)	mm	8,600 x 1,600 x 1,200	
Upper part of operator's cab (L x W x H)	mm	2,600 x 2,900 x 1,500	
Weight of machine	daN (kg)	41,700	
Weight of discharge conveyor	daN (kg)	1,800	
Weight of upper part of operator's cab	daN (kg)	1,000	

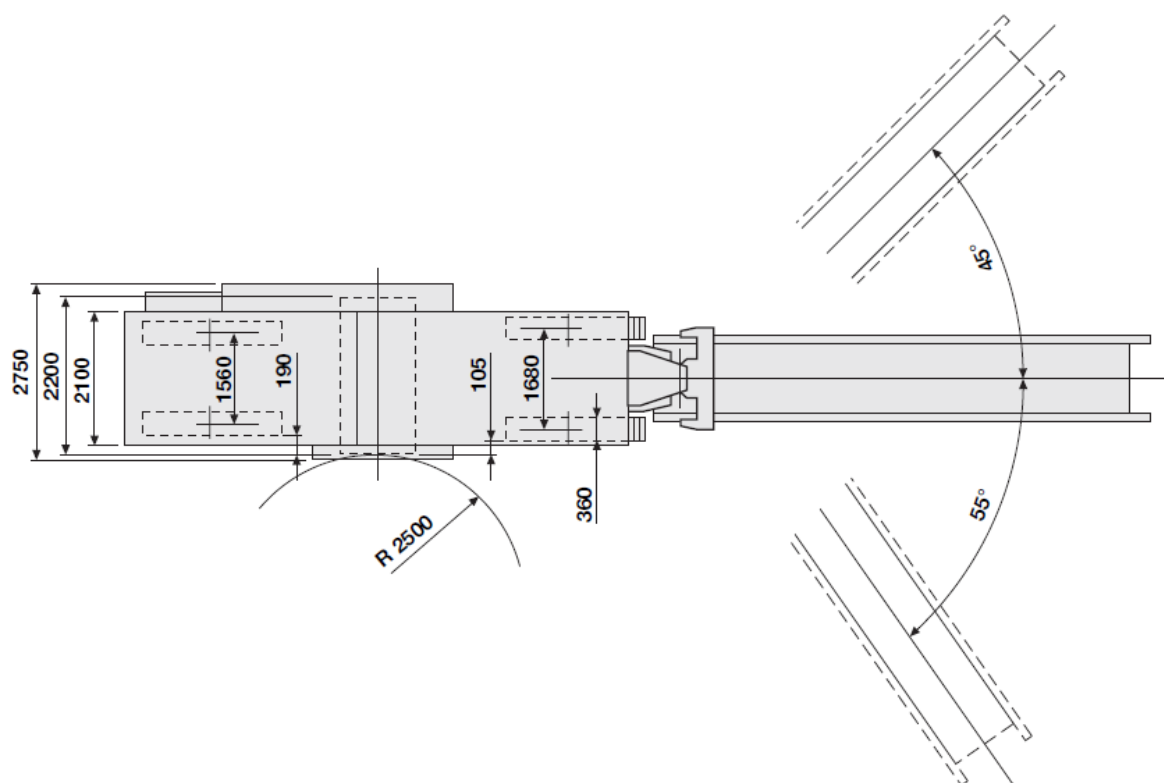
\*1 = Το μέγιστο βάθος κοψίματος μπορεί να αποκλίνει από την αναφερόμενη τιμή.

\*2 = Όλα τα βάρη αναφέρονται στο βασικό μηχάνημα χωρίς επιπλέον εξοπλισμό.

\*3 = Βάρος του μηχανήματος με μισογεμάτο ντεπόζιτο νερού και καυσίμου, οδηγό (75 kg) και εργαλεία.



**Σχήμα 33. Πλευρική όψη του τύπου 2200SM με αναγραφόμενες τις διαστάσεις σε mm (Manual Wirtgen GmbH, 2010).**



**Σχήμα 34. Κάτοψη του τύπου 2200SM με αναγραφόμενες τις διαστάσεις σε mm (Manual Wirtgen GmbH, 2010).**

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τόσο τα τεχνικά χαρακτηριστικά όσο και οι διαστάσεις σε mm για τον τύπο 2500SM.

Πίνακας 42. Πίνακας με αναγραφόμενα τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τύπου 2500SM (Manual Wirtgen Gmbh, 2010).

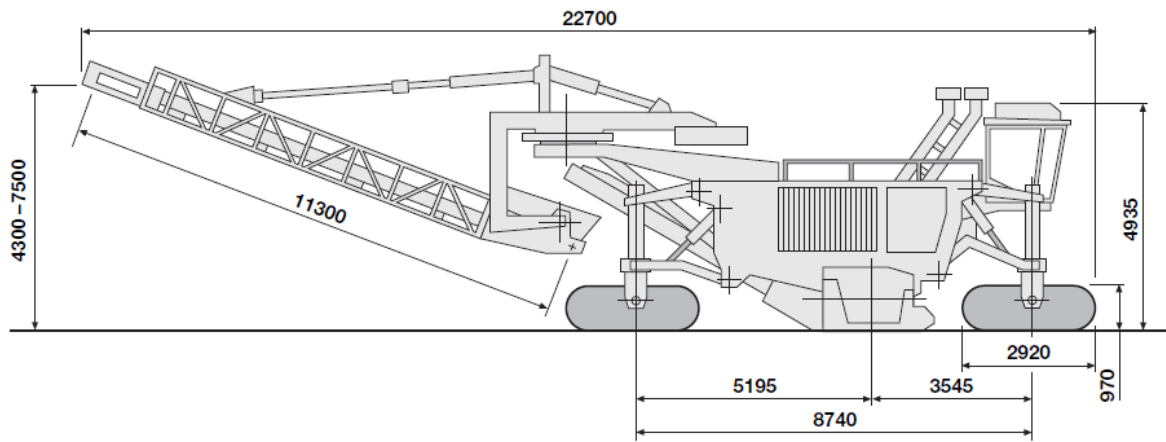
		Surface Miner 2500 SM	
Cutting width, max.	mm	2,500	
Cutting depth <sup>*1</sup>	mm	0-600	
<b>Cutting drum</b>			
Number of cutting tools on drum		Depends on application	
Cutting drum diameter with tools	mm	1,400	
Drum inclination max.	°	4	
<b>Engine</b>			
Manufacturer		Cummins	
Type		QST 30	
Cooling		Water	
Number of cylinders		12	
Output	kW/HP/PS	783/1,050/1,065	
Engine speed	min <sup>-1</sup>	2,100	
Displacement	cm <sup>3</sup>	30,500	
Fuel consumption, 1/1 load	l/h	191.5	
Fuel consumption, 2/3 load	l/h	127.6	
<b>Speed/gradeability</b>			
Operating speed	m/min	0 - 25	
Travel speed	km/h	0 - 3.9	
Theor. gradeability	%	20	
Max. transverse gradient	%	8	
<b>Weights<sup>*2</sup></b>			
Front axle load, full tanks	daN (kg)	39,200	
Rear axle load, full tanks	daN (kg)	63,800	
Own weight	daN (kg)	98,000	
Operating weight, CE <sup>*3</sup>	daN (kg)	100,500	
Operating weight, full tanks	daN (kg)	103,000	
<b>Crawler tracks</b>			
Front crawlers (L x W x H)	mm	2,920 x 400 x 970	
Rear crawlers (L x W x H)	mm	2,920 x 400 x 970	
<b>Tank capacities</b>			
Fuel tank	l	2,400	
Hydraulic fluid tank	l	500	
Water tank	l	2,800	
<b>Electrical system</b>			
Control	V	24	
Lighting	V	24	
<b>Conveyor system</b>			
Width of primary belt (Loading belt)	mm	1,400	
Width of secondary belt (Discharge belt)	mm	1,400	
Theoretical discharge belt capacity	m <sup>3</sup> /h	1,100	
<b>Shipping weights/Weights<sup>*2</sup></b>			
1 <sup>st</sup> module (L x W x H)	mm	12,800 x 3,470 x 3,300	
2 <sup>nd</sup> module (L x W x H)	mm	15,700 x 2,750 x 3,400	
Weight 1 <sup>st</sup> module	daN (kg)	76,600	
Weight 2 <sup>nd</sup> module	daN (kg)	21,400	

\*1 = Το μέγιστο βάθος κοψίματος μπορεί να αποκλίνει από την αναφερόμενη τιμή.

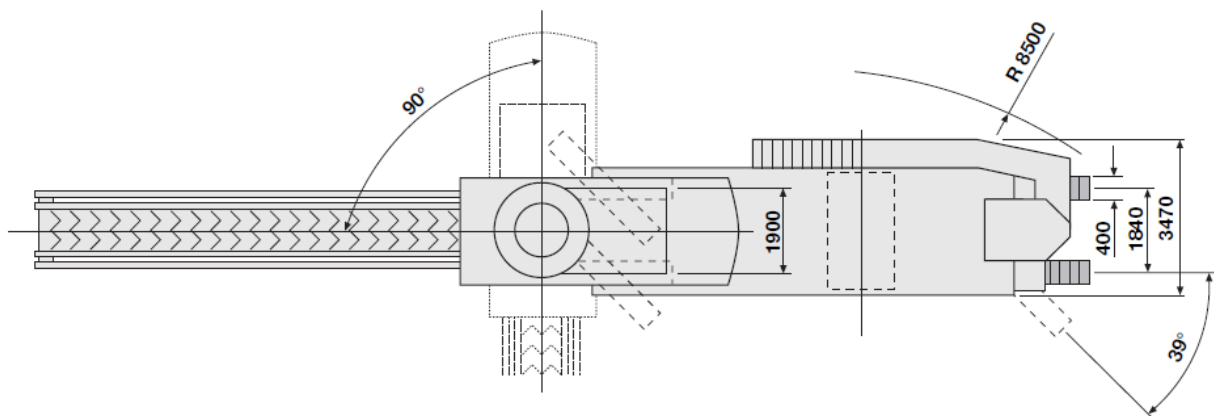
\*2 = Όλα τα βάρη αναφέρονται στο βασικό μηχάνημα χωρίς επιπλέον εξοπλισμό.

\*3 = Βάρος του μηχανήματος με μισογεμάτο ντεπόζιτο νερού και καυσίμου, οδηγό (75 kg) και εργαλεία.





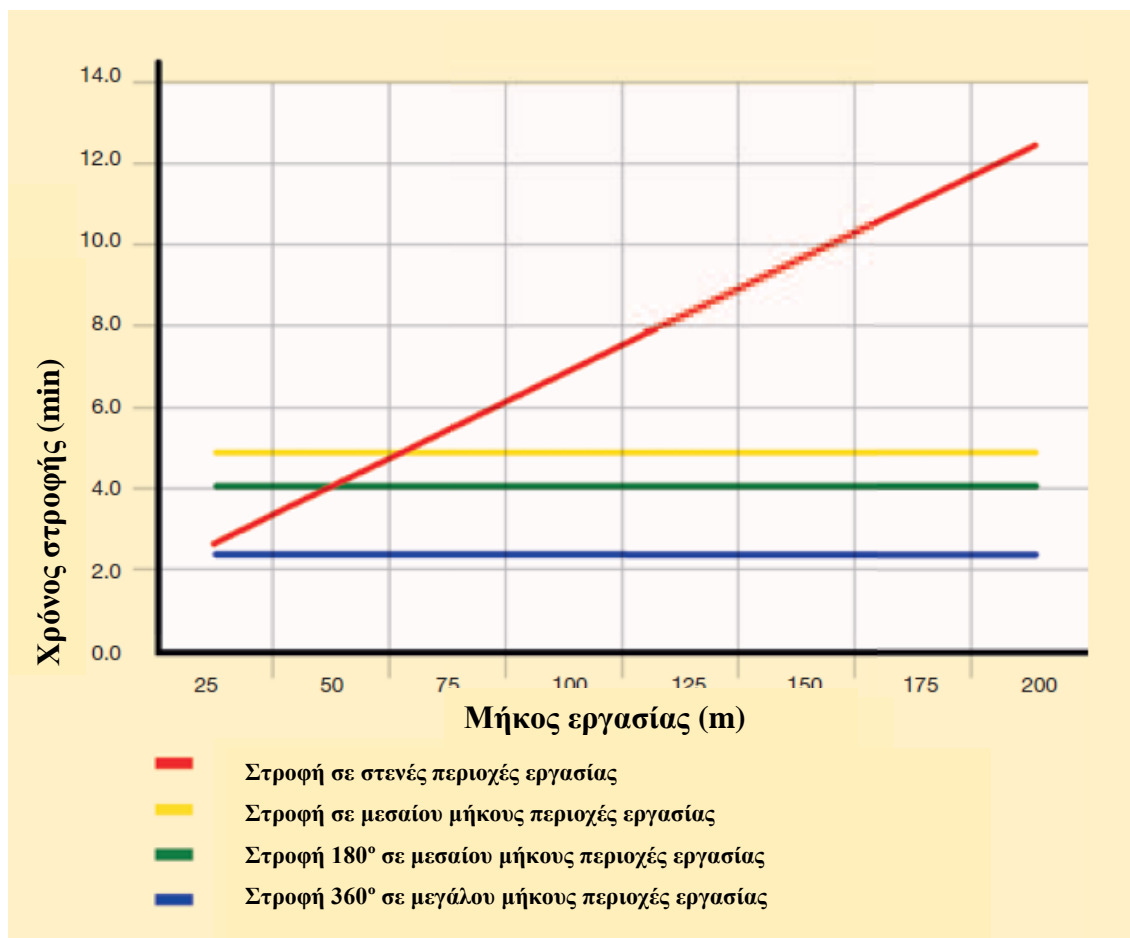
**Σχήμα 35. Πλευρική όψη του τύπου 2500SM με αναγραφόμενες τις διαστάσεις σε mm (Manual Wirtgen GmbH, 2010).**



**Σχήμα 36. Κάτοψη του τύπου 2500SM με αναγραφόμενες τις διαστάσεις σε mm (Manual Wirtgen GmbH, 2010).**

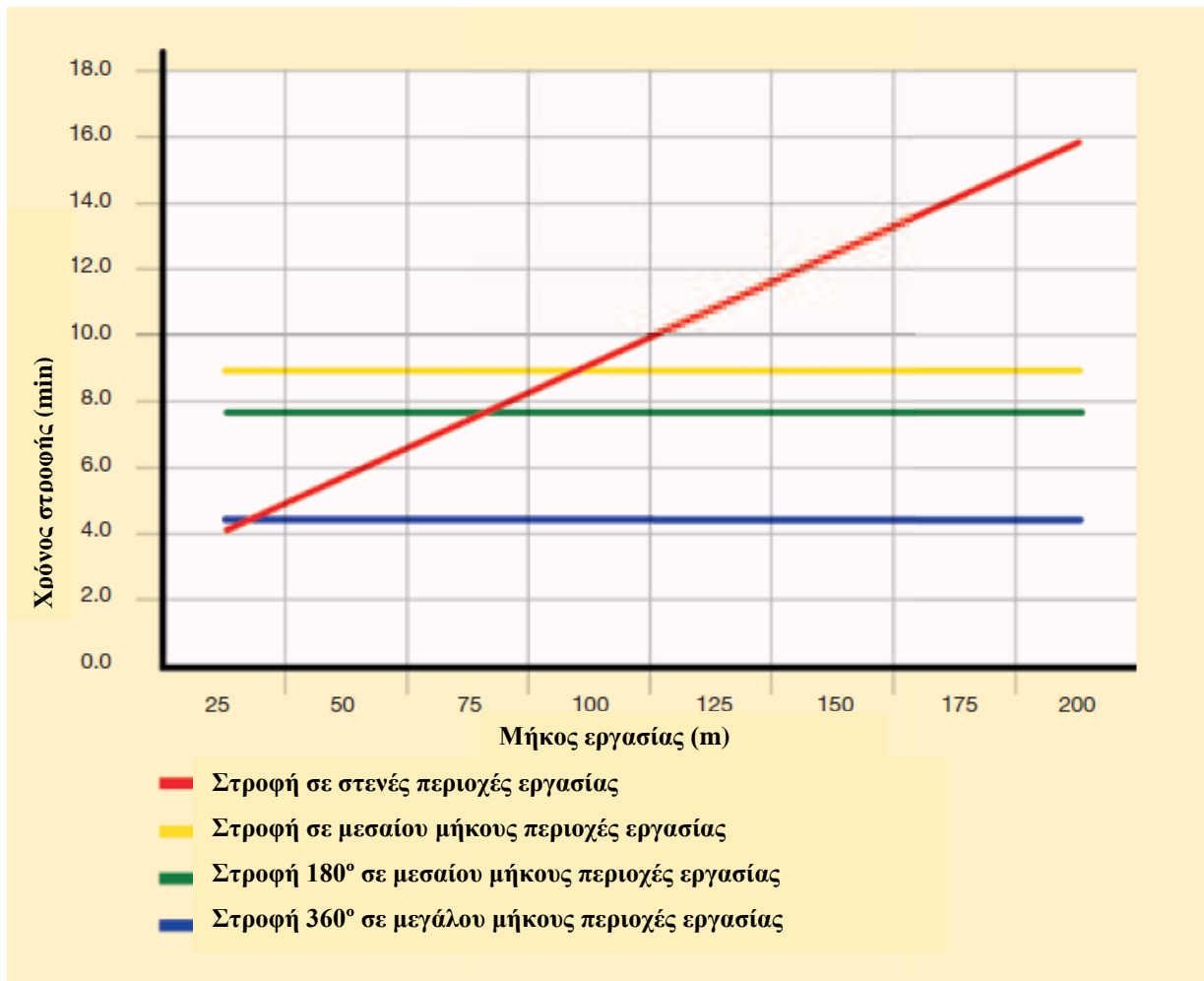
### 7.5. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΤΡΟΦΗΣ ΤΩΝ 2200SM ΚΑΙ 2500SM

Τα διαγράμματα στροφής βασίζονται στο κεφάλαιο 5.5 και δίνουν μια εκτίμηση χρόνου στροφής των τύπων 2200SM και 2500SM σε συνάρτηση με το μήκος επιφάνειας που εξορύσσουν. Η καταλληλότερη μέθοδος στροφής που θα υιοθετηθεί εξαρτάται ουσιαστικά από το χρόνο που απαιτείται και από το μήκος λειτουργίας του μηχανήματος.



Σχήμα 37. Διάγραμμα χρόνου στροφής του τύπου 2200SM σε σχέση με το μήκος εργασίας (Manual Wirtgen GmbH, 2010).

Η περιοχή του ορυχείου κατατάσσεται στην κατηγορία των στενών περιοχών (κόκκινη γραμμή). Συνεπώς, από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι όσον αφορά στις στενές περιοχές για μήκος εργασίας από 25 – 200 m ο χρόνος στροφής του 2200SM κυμαίνεται περίπου από 2 έως 13 min.



Σχήμα 38. Διάγραμμα χρόνου στροφής του τύπου 2500SM σε σχέση με το μήκος εργασίας (Manual Wirtgen GmbH, 2010).

Ενώ για τον τύπο 2500SM από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι όσον αφορά στις στενές περιοχές για μήκος εργασίας από 25 – 200 m ο χρόνος στροφής του μηχανήματος κυμαίνεται περίπου από 4 έως 16 min.

## 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη διπλωματική αυτή εργασία διερευνήθηκε ένας εναλλακτικός τρόπος εξόρυξης ποζολάνης με χρήση μηχανήματος τύπου Surface Miner. Για την ολοκλήρωση της διερεύνησης αυτής, η οποία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Εξόρυξης Πετρωμάτων της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π., συγκεντρώθηκαν δείγματα πετρώματος ποζολάνης από ορυχείο το οποίο βρίσκεται στην περιοχή της Ξυλοκερατιάς της νήσου Μήλου.

Αφού πρώτα διαμορφώθηκαν τα δείγματα σε κατάλληλα δοκίμια, εκτελέστηκαν εργαστηριακές δοκιμές σημειακής φόρτισης και αποξεστικότητα κατά Cerchar, προκειμένου να προσδιοριστούν οι μηχανικές ιδιότητες του πετρώματος.

Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα διεξήχθησαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

### ➤ Δοκιμή σημειακής φόρτισης

Από την εκτέλεση της εν λόγω δοκιμής προέκυψαν τιμές του δείκτη σημειακής φόρτισης και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε αναγωγή των τιμών αυτών σε ισοδύναμες τιμές μονοαξονικής αντοχής. Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων διακρίθηκαν 3 κατηγορίες πετρωμάτων λόγω του μεγάλου εύρους που εμφάνισαν οι τιμές μεταξύ τους όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 43. Κατηγοριοποίηση πετρωμάτων με βάση το εύρος μονοαξονικής αντοχής τους.

Κατηγορίες πετρωμάτων	Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών μονοαξονικής αντοχής σε MPa		
	Bieniawski	Brock & Franklin	Wirtgen
1 <sup>η</sup> κατηγορία ( $\sigma_{ci} < 50\text{MPa}$ )	2,79 – 25,09	2,88 – 25,68	2,64 – 23,54
2 <sup>η</sup> κατηγορία ( $50 < \sigma_{ci} < 80\text{MPa}$ )	61,93 – 79,12	63,60 – 81,36	58,30 – 74,58
3 <sup>η</sup> κατηγορία ( $\sigma_{ci} > 80\text{MPa}$ )	85,34 – 226,29	87,84 – 231,84	80,52 – 212,52

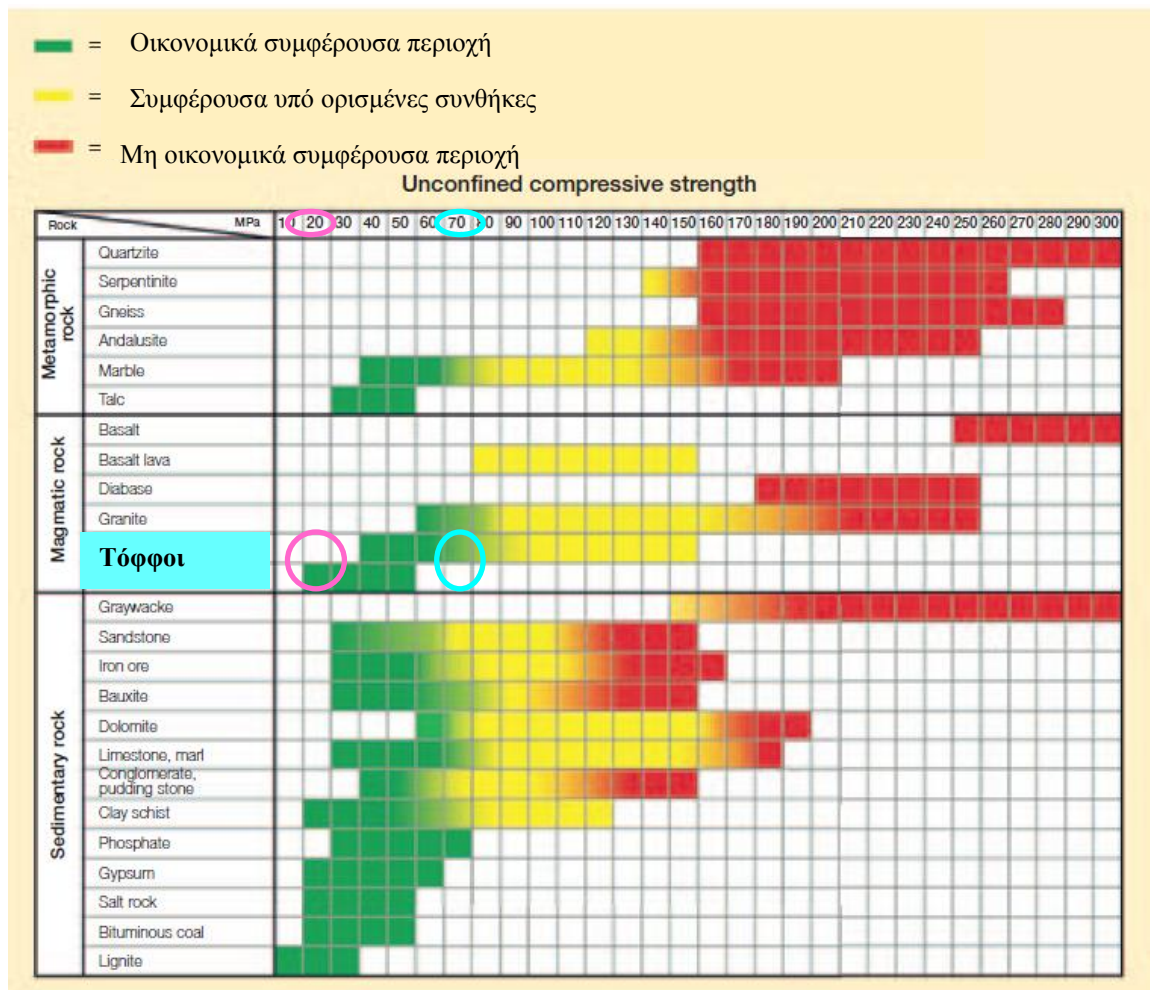
### ➤ Δοκιμή αποξεστικότητας κατά Cerchar

Στη δοκιμή αποξεστικότητας κατά Cerchar χρησιμοποιήθηκε τύπος ακίδας σκληρότητας Rockwell HRC 40. Από την εκτέλεση της εν λόγω δοκιμής προκύπτει εύρος τιμών του δείκτη CAI από 0,52 έως 4,92. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, το πέτρωμα χαρακτηρίζεται κατά Michalakopoulos (2005) από ελάχιστα έως πολύ φθοροποιό.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε διερεύνηση των κατασκευαστικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών των μηχανημάτων τύπου Surface Miner, τα οποία αφορούν στη διαδικασία εξόρυξης του πετρώματος. Λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα χαρακτηριστικά του μηχανήματος όσο και τα πειραματικά αποτελέσματα πραγματοποιήθηκε προκαταρκτική διερεύνηση και επιλογή κατάλληλου τύπου Surface Miner, ενώ στη συνέχεια εξετάστηκε η εφαρμογή του για τις περιοχές διαφορετικής σκληρότητας πετρώματος του ορυχείου.

Λαμβάνοντας υπόψη τα συμπεράσματα από τη δοκιμή σημειακής φόρτισης και δεδομένου του τύπου του προς εξόρυξη πετρώματος, η εξόρυξη ποζολάνης, η οποία ανήκει ορυκτολογικά στους τόφφους, με μηχάνημα τύπου Surface Miner είναι οικονομικά συμφέρουσα για την πρώτη κατηγορία πετρωμάτων, ήτοι τα πετρώματα με αντοχή σε μονοαξονική θλίψη με εύρος τιμών από  $\sigma_{ci} = 2,64\text{MPa}$  έως  $\sigma_{ci} = 23,54\text{MPa}$  (κατά Wirtgen). Για τη δεύτερη κατηγορία πετρωμάτων, ήτοι τα πετρώματα με αντοχή σε μονοαξονική θλίψη με εύρος τιμών από  $\sigma_{ci} = 58,30\text{MPa}$  έως  $\sigma_{ci} = 74,58\text{MPa}$  (κατά Wirtgen), η εξόρυξή τους κυμαίνεται μεταξύ της οικονομικά συμφέρουσας περιοχής και της οικονομικά συμφέρουσας περιοχής υπό ορισμένες συνθήκες, όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

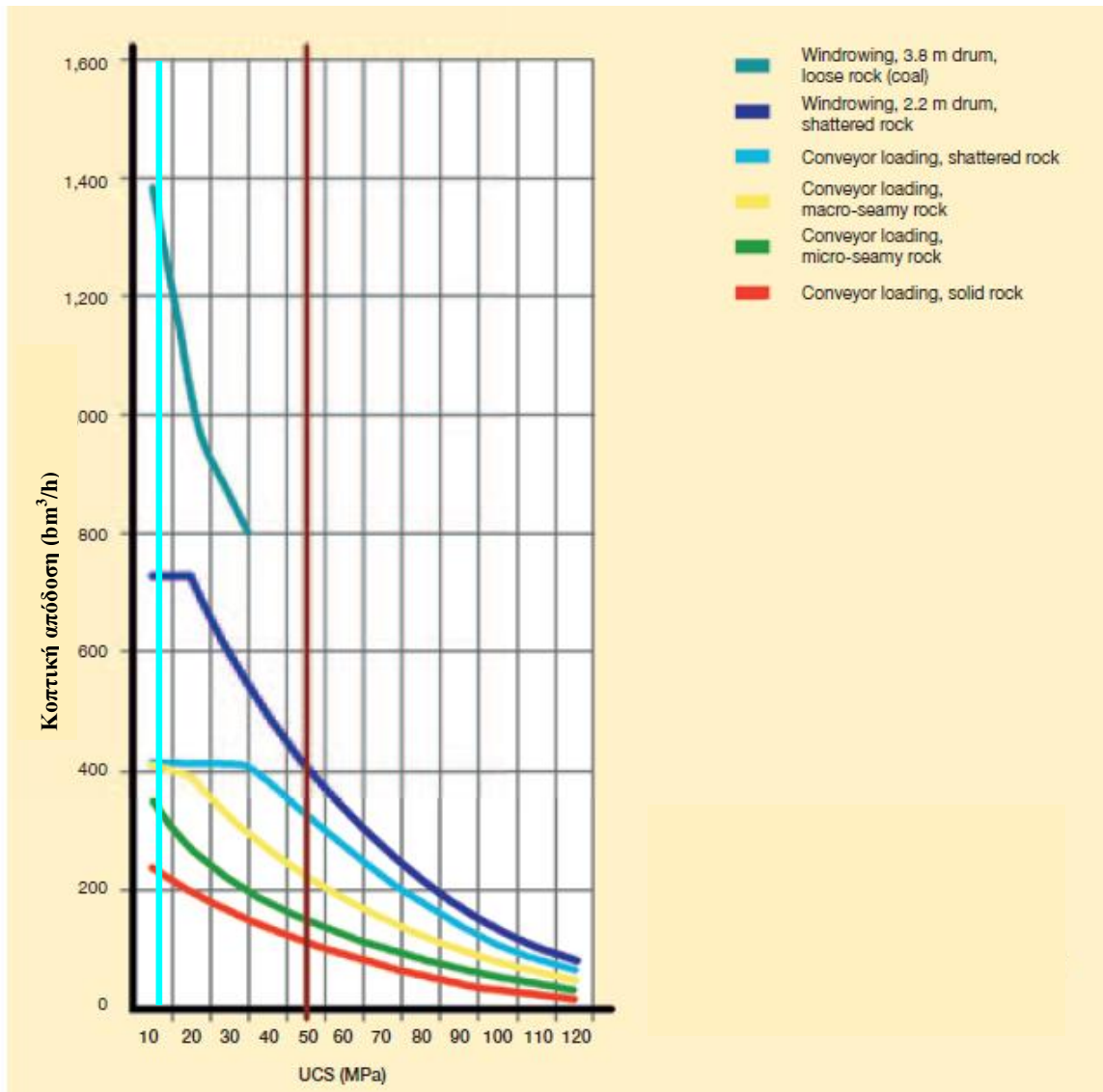
Πίνακας 44. Απεικόνιση οικονομικότητας εξόρυξης πετρώματος σε σχέση με τη μονοαξονική αντοχή του. Με μωβ χρώμα παρουσιάζεται η περιοχή για την 1<sup>η</sup> κατηγορία, ενώ με σιελ η περιοχή για την 2<sup>η</sup> κατηγορία.



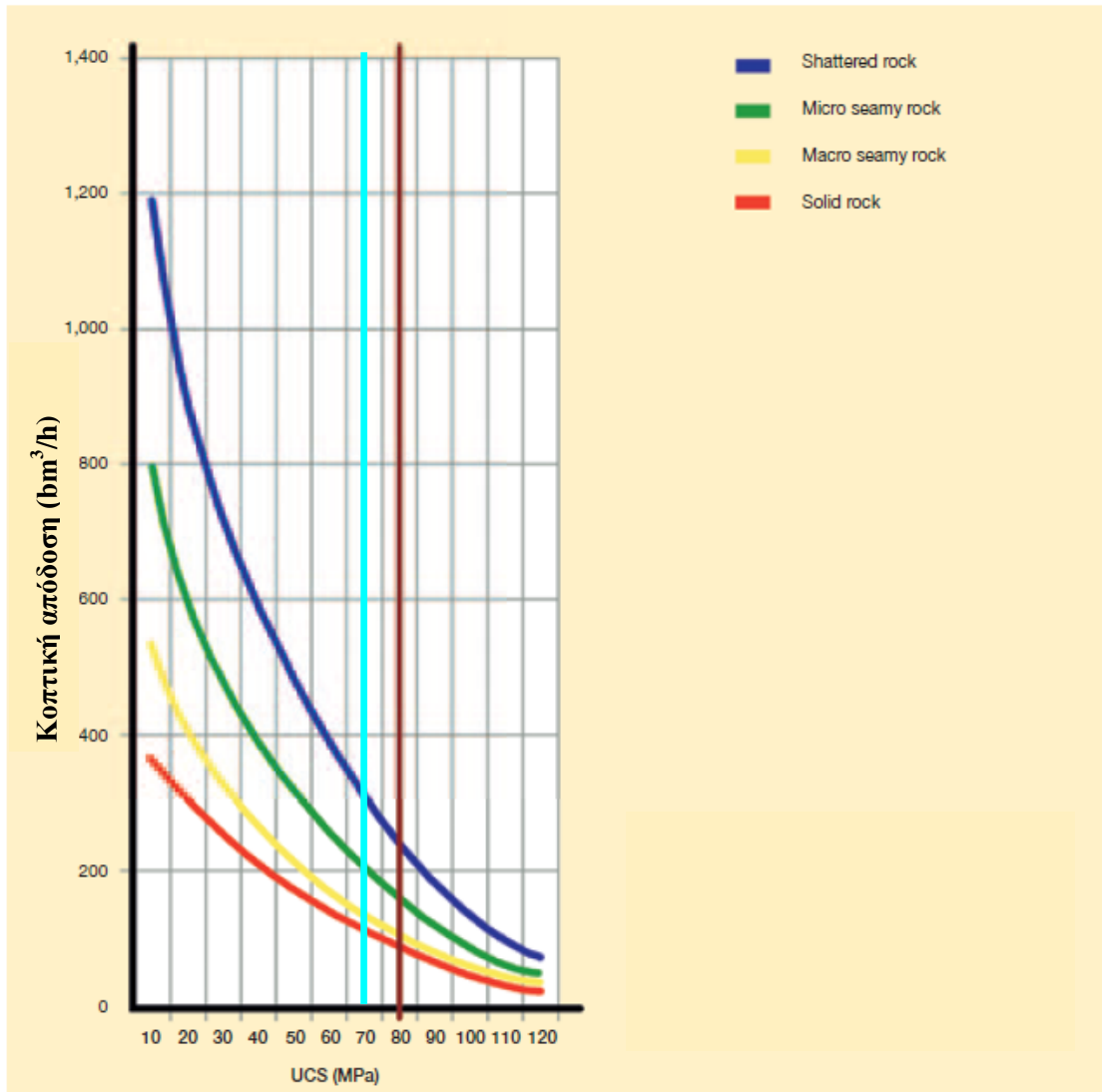
Όσον αφορά στην 3η κατηγορία, λόγω της υψηλής αντοχής σε μονοαξονική θλίψη, η χρήση του μηχανήματος τύπου Surface Miner για την εξόρυξη κρίνεται οικονομικά μη συμφέρουσα.

Εν συνεχεία και λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω, πραγματοποιήθηκε διερεύνηση των κατάλληλων μηχανημάτων τύπου Surface Miner για την εξόρυξη των πετρωμάτων της πρώτης και της δεύτερης κατηγορίας. Συγκεκριμένα επιλέχτηκαν οι τύποι 2200SM και 2500SM. Ο 2200SM είναι ικανός να εξορύσσει πετρώματα με  $\sigma_{ci} < 50\text{MPa}$ , δηλαδή μόνο την πρώτη κατηγορία, ενώ ο τύπος 2500SM με  $\sigma_{ci} < 80\text{MPa}$ , δηλαδή τόσο την πρώτη όσο και τη δεύτερη κατηγορία. Στα σχήματα που ακολουθούν παρατηρείται ότι ο ρυθμός εξόρυξης για τα μηχανήματα Surface Miner τύπου 2200SM κυμαίνεται από 350 έως 400  $\text{bm}^3/\text{h}$ , για τον μέσο όρο τιμών αντοχής των πετρωμάτων της πρώτης κατηγορίας και τον τύπο της υφής του πετρώματος. Για τον τύπο 2500 SM ο ρυθμός εξόρυξης κυμαίνεται από 150 έως 200  $\text{bm}^3/\text{h}$  για

τον μέσο όρο τιμών αντοχής των πετρωμάτων της δεύτερης κατηγορίας και τον τύπο της υφής του πετρώματος.



**Σχήμα 39. Διάγραμμα συσχέτισης μονοαξονικής αντοχής  $\sigma_{ci}$  και κοπτικής απόδοσης για τον τύπο 2200SM (Manual Wirtgen GmbH, 2010).**

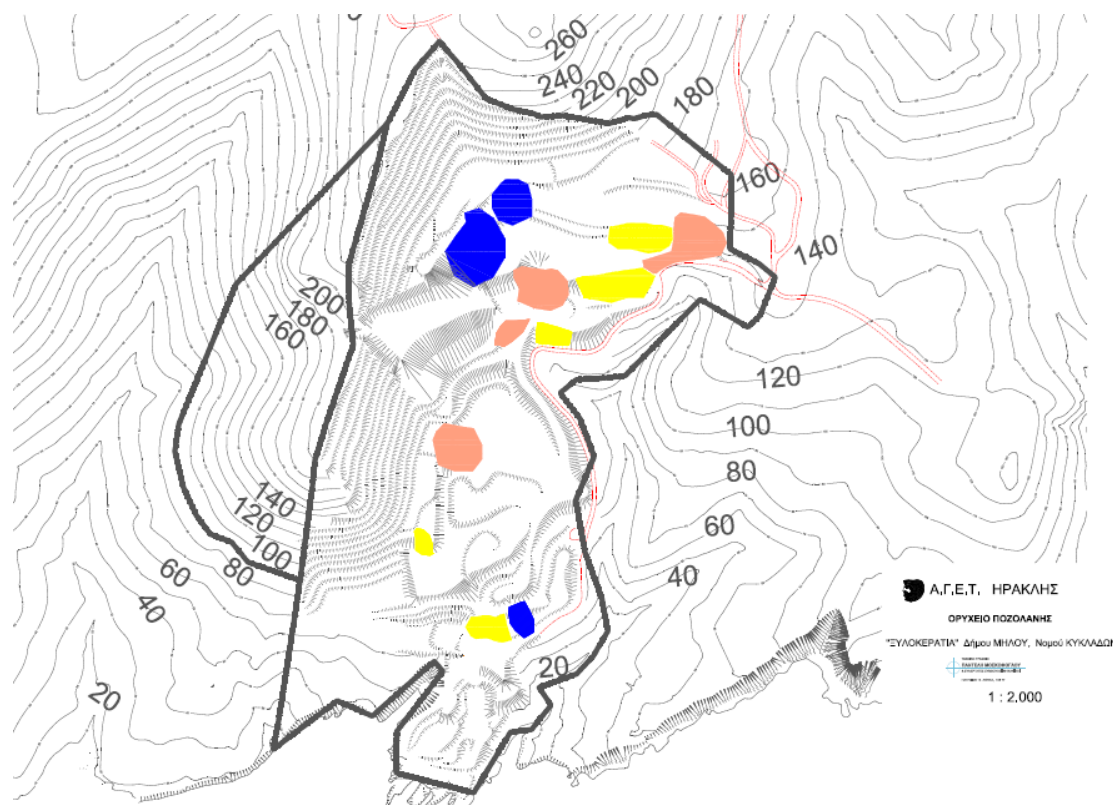


Σχήμα 40. Διάγραμμα συσχέτισης μονοαξονικής αντοχής  $\sigma_{ci}$  και κοπτικής απόδοσης για τον τύπο 2500SM (Manual Wirtgen GmbH, 2010).

Σύμφωνα με πληροφορίες που δόθηκαν από τον αντιπρόσωπο του κατασκευαστή στη χώρα μας, το κόστος ενός Surface Miner τύπου 2200SM είναι της τάξης των 2.500.000€ ενώ ενός Surface Miner τύπου 2500SM είναι της τάξης των 4.000.000€.

Με βάση τα εργαστηριακά αποτελέσματα πραγματοποιήθηκε προκαταρκτική διερεύνηση των περιοχών εφαρμογής για το κάθε μηχάνημα που επιλέχθηκε, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί:





Σχήμα 41. Χάρτης κατηγοριοποίησης περιοχών.

Με **ροζ** απόχρωση απεικονίζονται οι περιοχές του ορυχείου οι οποίες περιλαμβάνουν πετρώματα με  $\sigma_{ci} < 50\text{MPa}$  (αφορά την 1<sup>η</sup> κατηγορία πετρωμάτων), με **μπλε** απόχρωση αυτές που περιλαμβάνουν πετρώματα με  $50\text{MPa} < \sigma_{ci} < 80\text{MPa}$  (αφορά την 2<sup>η</sup> κατηγορία πετρωμάτων), ενώ με **κίτρινη** απόχρωση οι περιοχές που έχουν πετρώματα με  $\sigma_{ci} > 80\text{MPa}$  (αφορά την 3<sup>η</sup> κατηγορία πετρωμάτων). Κατά συνέπεια, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω οι περιοχές που αφορούν την 1<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup> κατηγορία πετρωμάτων είναι δυνατό να εξορύσσονται με χρήση του μηχανήματος Surface Miner ενώ οι περιοχές που αφορούν την τρίτη κατηγορία πετρωμάτων θα πρέπει να εξορύσσεται με χρήση εκρηκτικών υλών καθώς η εξόρυξη με Surface Miner σε αυτή την κατηγορία δεν είναι οικονομική με βάση τις υπάρχουσες συνθήκες.

Η επιλογή ή όχι της εφαρμογής μεθόδου εξόρυξης με Surface Miner στην περίπτωση του ορυχείου ποζολάνης της Μήλου, πρέπει να βασιστεί, πέραν από τα χαρακτηριστικά μεγέθη του προς εξόρυξη πετρώματος και σε οικονομικές παραμέτρους, μεταξύ των οποίων είναι η επιβάρυνση του κόστους κτήσης και λειτουργίας του μηχανήματος στην διαμόρφωση του συνολικού κόστους του παραγόμενου προϊόντος, λαμβάνοντας υπόψη και τα σχετικά οφέλη που θα υπάρχουν λόγω π.χ. του γεγονότος ότι οι διαστάσεις του εξορυγμένου πετρώματος θα είναι

τέτοιες που θα μειώσουν κατά πολύ το φόρτο λειτουργίας του σπαστήρα ή του ότι δεν θα απαιτείται η φόρτωση του εξορυγμένου υλικού με φορτωτές στα φορτηγά αυτοκίνητα.

Τα ανωτέρω όμως, αν και είναι κρίσιμης σημασίας για την επιλογή ή όχι της μεθόδου είναι πέραν του σκοπού της παρούσης διπλωματικής εργασίας.

## **9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ**

### **ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Bieniawski Z.T. (1975), «The Point Load Test in Geotechnical Practice», 9: 1-11, Engineering Geology
2. Broch E. and Franklin J.A. (1972), «The Point Load Strength Test», International Journal of Rock Mechanics and Mineral Sciences, 9: 669-69.
3. West G. (1989). Rock abrasiveness testing for tunneling. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts (1989), Vol.26, No.2, pp.151-160
4. Wirtgen Gmbh Surface Mining Manual (2010) «Application and Planning Guide»
5. Wirtgen Gmbh Surface Mining Manual Edition (2002)

### **ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Α.Γ.Ε.Τ. ΗΡΑΚΛΗΣ (2005). «ΜΠΕ Τύπου Α΄ στο ορυχείο ποζολάνης στην περιοχή Ευλοκερατιάς της νήσου Μήλου», Αθήνα
2. Α.Γ.Ε.Τ. ΗΡΑΚΛΗΣ (2008). «Τεχνική Μελέτη στο ορυχείο ποζολάνης στην περιοχή Ευλοκερατιάς της νήσου Μήλου», Αθήνα
3. ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ (1983), «Οι Ποζολανικές Γαίες της Νήσου Μήλου», Αθήνα
4. Κούκης Γ. και Σαμπατακάκης Ν. (2007). «Γεωλογία Τεχνικών Έργων», Αθήνα
5. Παναγιώτου Γ. (2003), «Μηχανική Εξόρυξη των Πετρωμάτων», ΕΜΠ, Αθήνα
6. Σοφιανός ΑΙ, Νομικός ΠΠ, (2008), « Προχωρημένη Μηχανική Πετρωμάτων», Αθήνα
7. ΤΕΧΝΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΛΑΒΑ Α.Ε. (2000), «Γραπτή Εκτίμηση Επαγγελματικών Κινδύνων/ορυχείο ποζολάνης», Αθήνα

8. Τσουτρέλης Χ. (1985), «Στοιχεία μηχανικής πετρωμάτων», Μέρος Ι, Βασικά θεωρητικά στοιχεία και πειραματικοί μέθοδοι, Αθήνα

**ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ**

- i. <http://www.lava.gr/> (Ημερομηνία πρόσβασης 15/1/2013)
- ii. <http://www.wirtgen.de/en/> (Ημερομηνία πρόσβασης 3/2/2013)
- iii. [www.tunnellingmetal.ntua.gr](http://www.tunnellingmetal.ntua.gr) (Ημερομηνία πρόσβασης 20/12/2012)

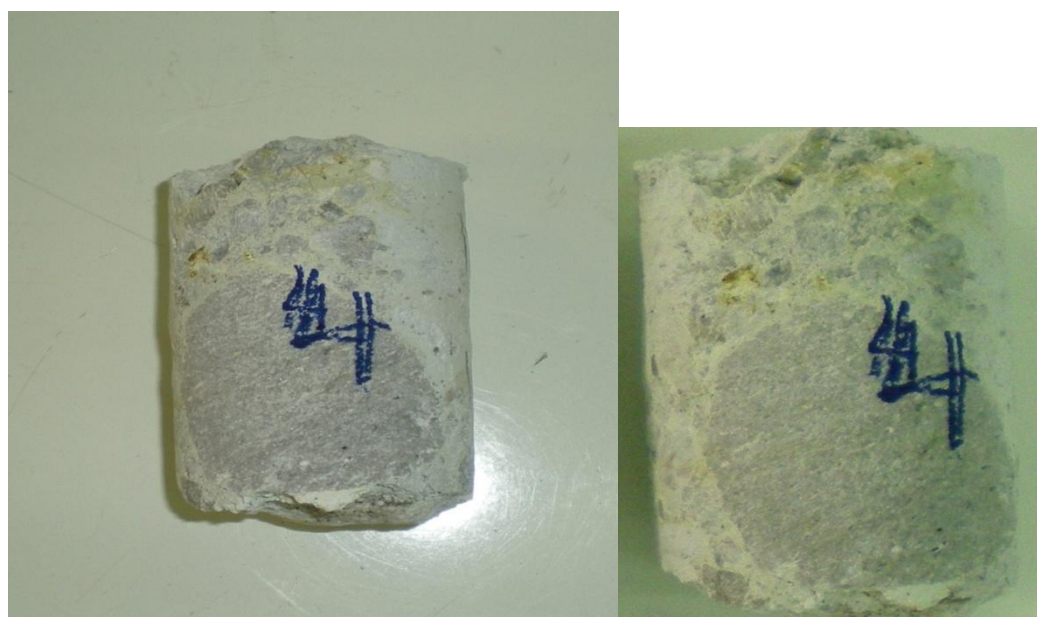
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΠΟΖΟΛΑΝΗΣ



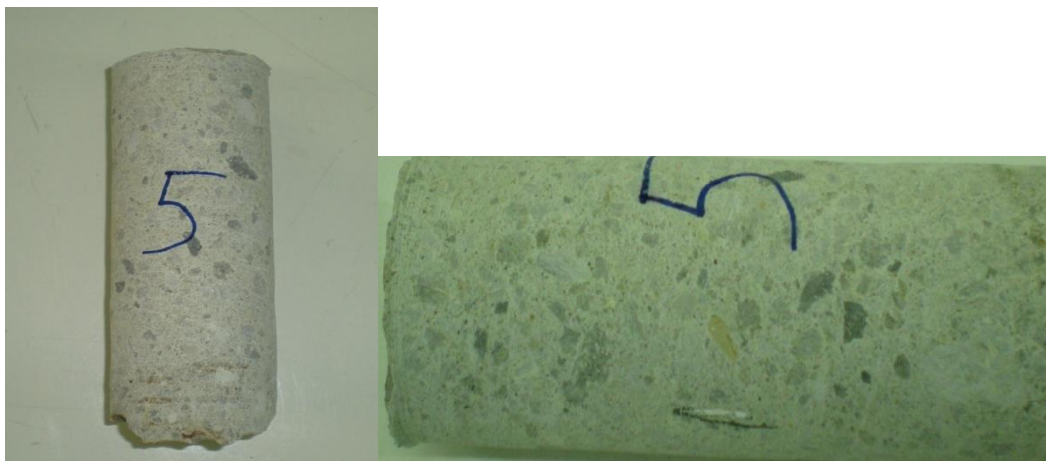
Εικόνα Π.1.1. Δοκίμιο με α/α 1.



Εικόνα Π.1.2. Δοκίμιο με α/α 3



Εικόνα Π.1.3. Δοκίμιο με α/α 4



Εικόνα Π.1.4. Δοκίμιο με α/α 5



Εικόνα Π.1.5. Δοκίμιο με α/α 6

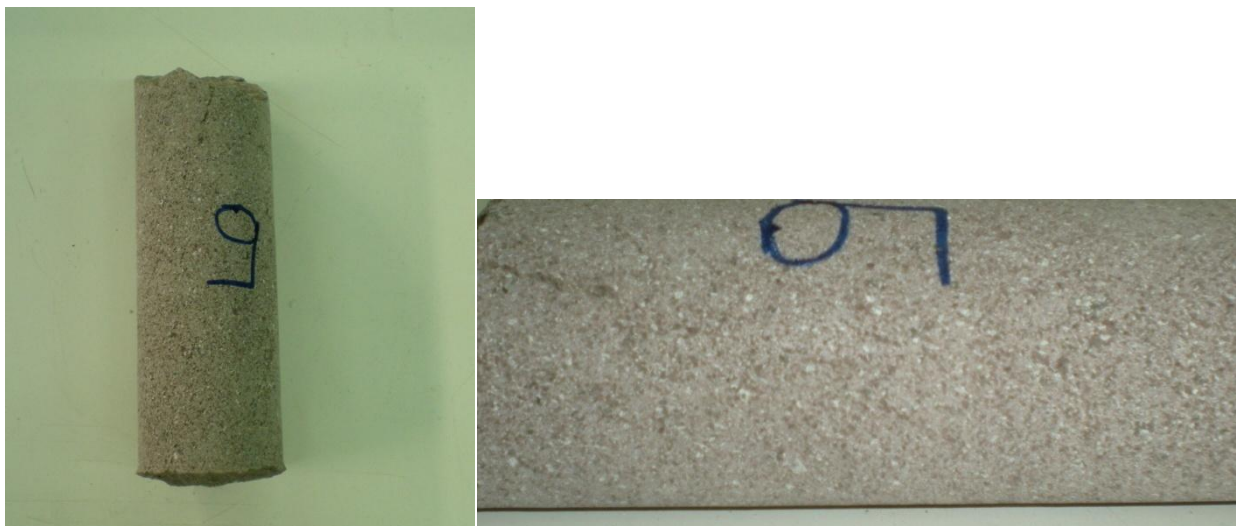


Εικόνα Π.1.6. Δοκίμιο με α/α 7



Εικόνα Π.1.7. Δοκίμιο με α/α 8





Εικόνα Π.1.8. Δοκίμιο με α/α 9



Εικόνα Π.1.9. Δοκίμιο με α/α 10



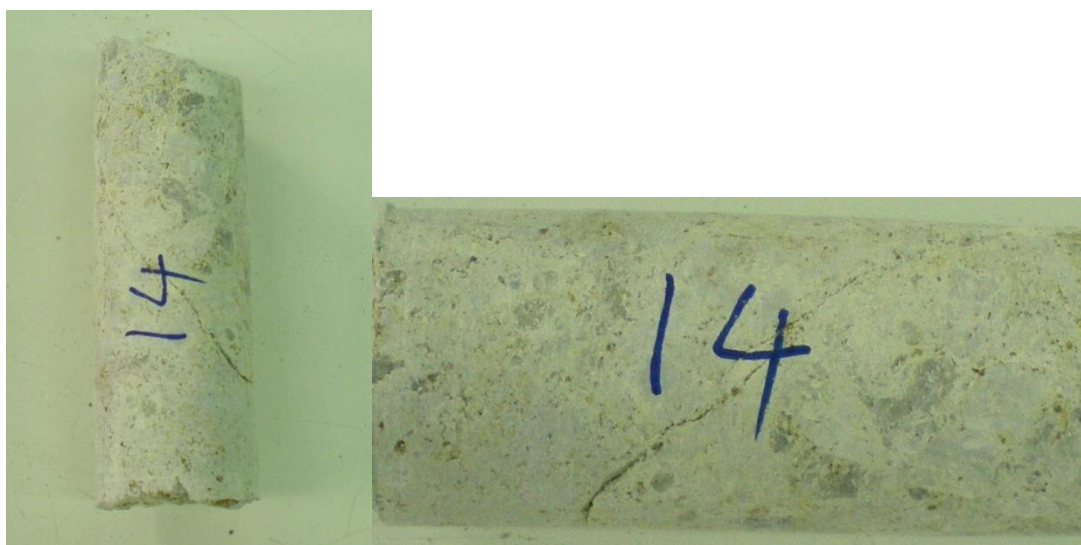
Εικόνα Π.1.9. Δοκίμιο με α/α 11



Εικόνα Π.1.10. Δοκίμιο με α/α 12



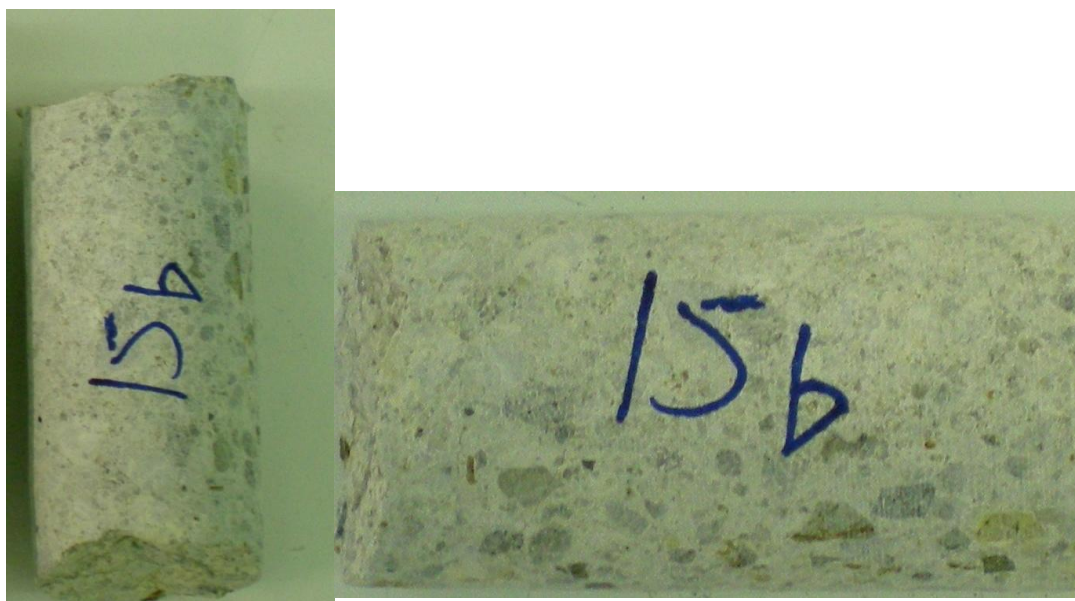
Εικόνα Π.1.11. Δοκίμιο με α/α 13



Εικόνα Π.1.12. Δοκίμιο με α/α 14



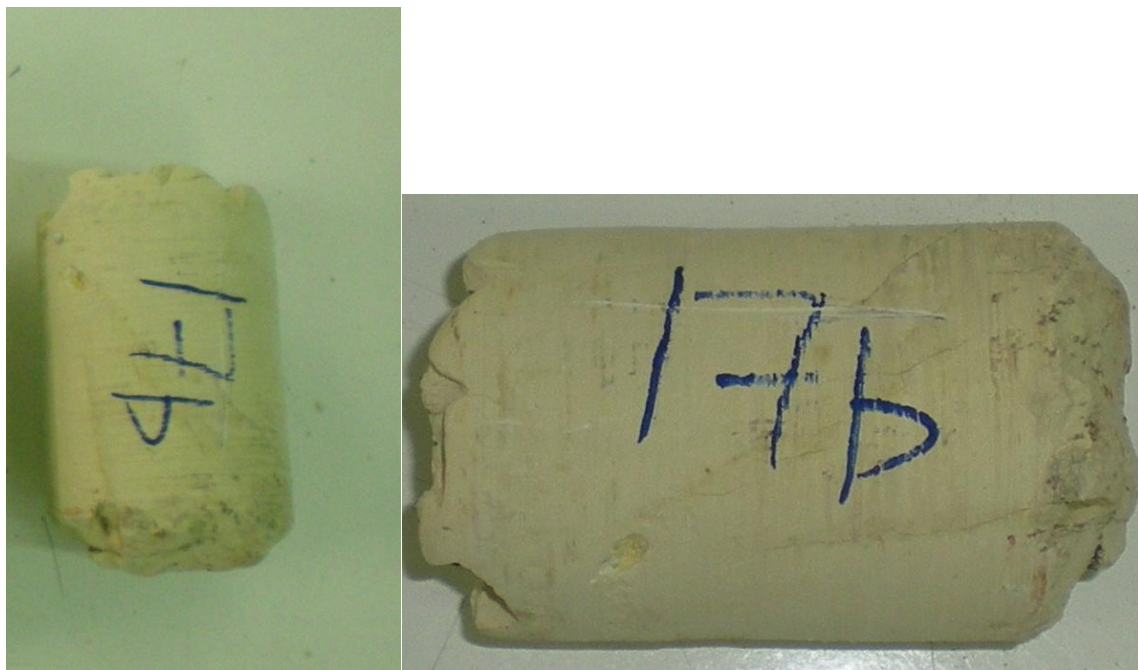
Εικόνα Π.1.13. Δοκίμο με α/α 15α



Εικόνα Π.1.14. Δοκίμιο με α/α 15b



Εικόνα Π.1.15. Δοκίμιο με α/α 17a



Εικόνα Π.1.16. Δοκίμιο με α/α 17b



Εικόνα Π.1.17. Δοκίμιο με α/α 18



Εικόνα Π.1.18. Δοκίμιο με α/α 19



Εικόνα Π.1.19. Δοκίμιο με α/α 20



Εικόνα Π.1.20. Δοκίμιο με α/α 21

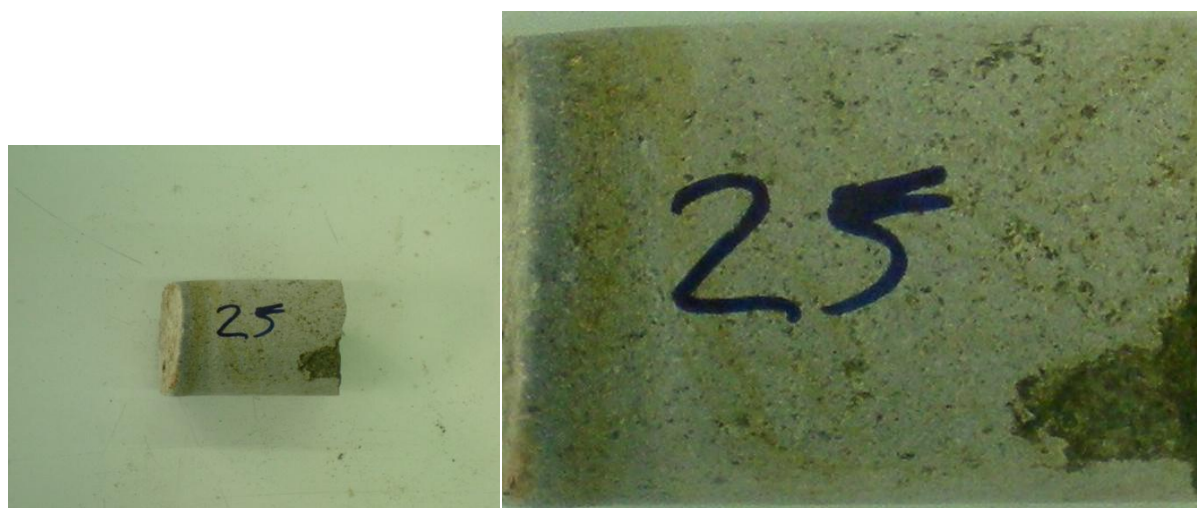




Εικόνα Π.1.21. Δοκίμιο με α/α 22



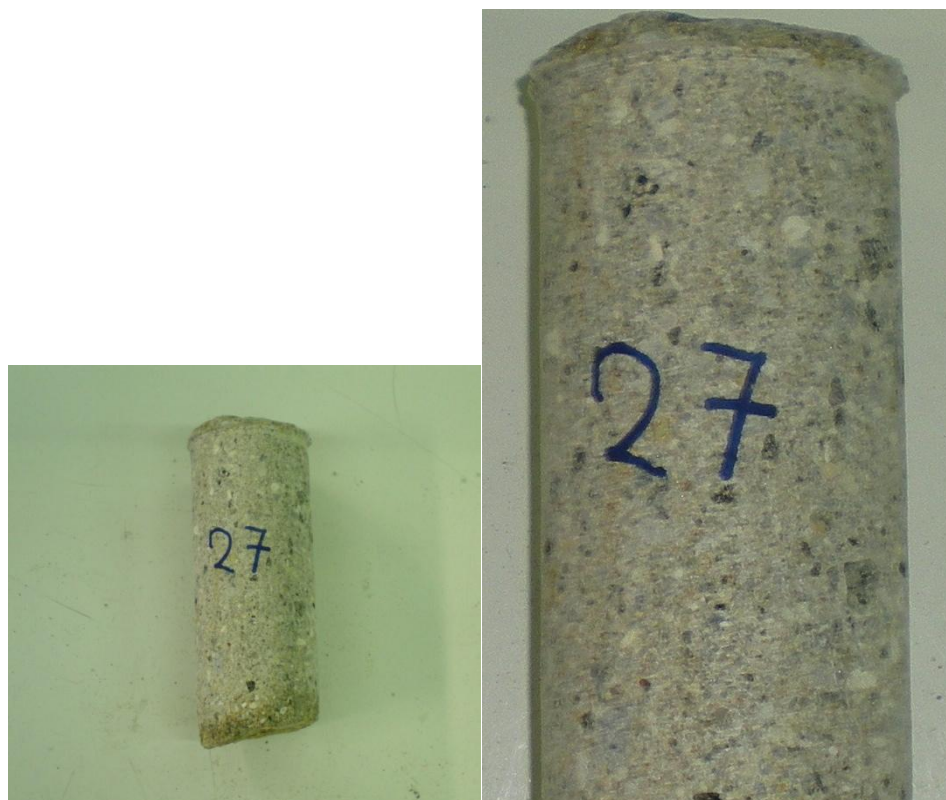
Εικόνα Π.1.22. Δοκίμιο με α/α 23



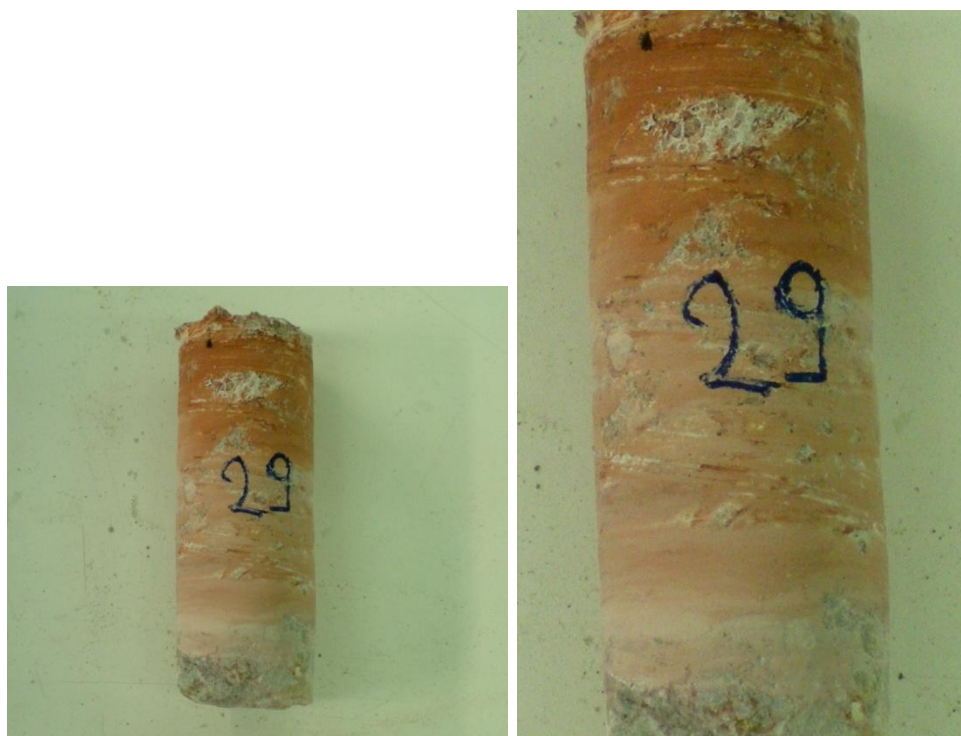
Εικόνα Π.1.23. Δοκίμιο με α/α 25



Εικόνα Π.1.24. Δοκίμιο με α/α 26



Εικόνα Π.1.25. Δοκίμιο με α/α 27



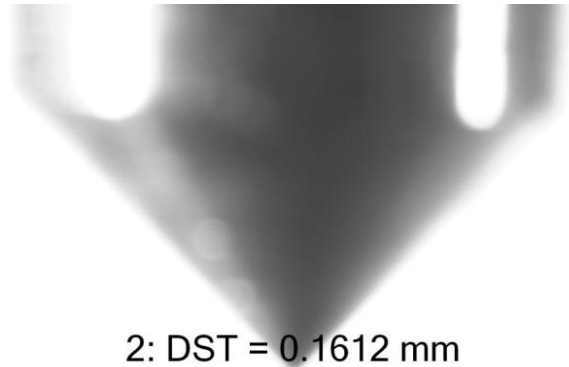
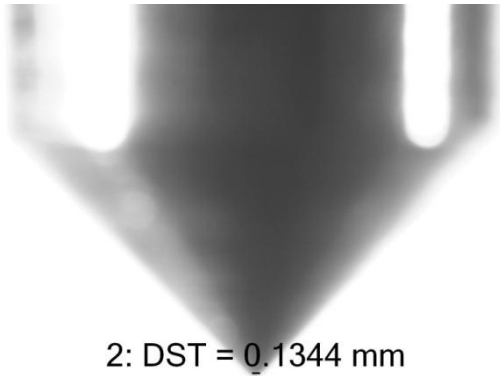
Εικόνα Π.1.26. Δοκίμιο με α/α 29



Εικόνα Π.1.27. Δοκίμιο με α/α 30

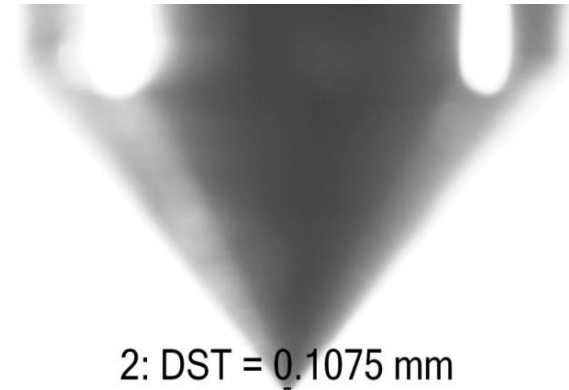
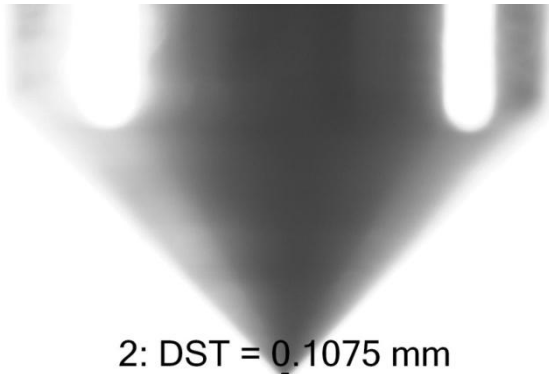
## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΑΚΙΔΩΝ ΔΟΚΙΜΗΣ CERCHAR**

Παρακάτω δίδεται φωτογραφική τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων της δοκιμής CERCHAR. Συγκεκριμένα απεικονίζονται οι χαλύβδινες ακίδες (σκληρότητας HRC40), οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση της εν λόγω δοκιμής (λήψη εικόνας από το μικροσκόπιο)



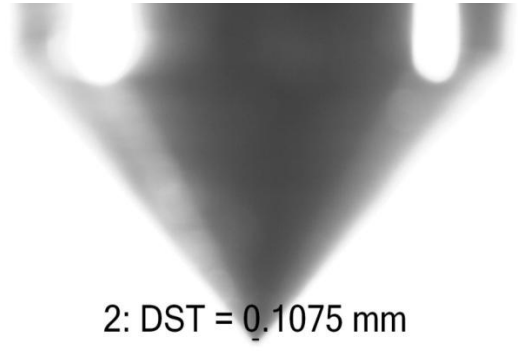
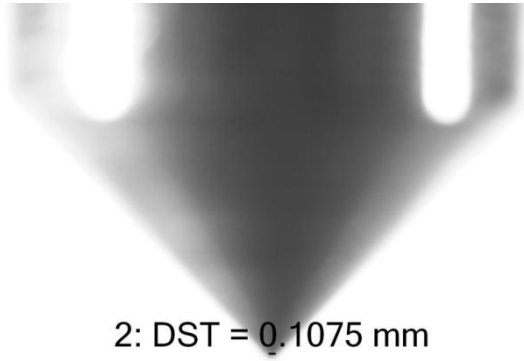
Εικόνα Π.2.1. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 1/Διάμετρος 1η

Εικόνα Π.2.2. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 1/Διάμετρος 2η



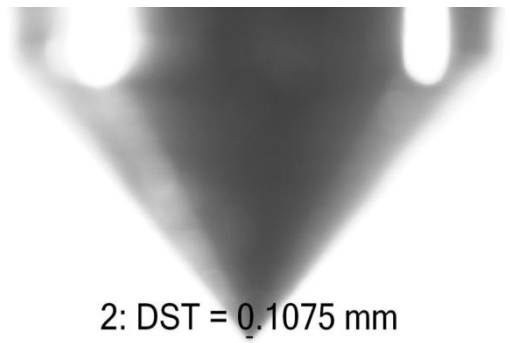
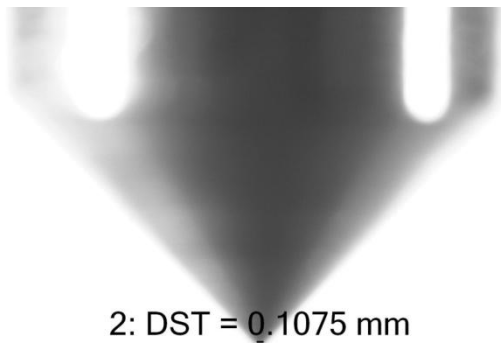
Εικόνα Π.2.3. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 1/Διάμετρος 1η

Εικόνα Π.2.4. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 1/Διάμετρος 2η



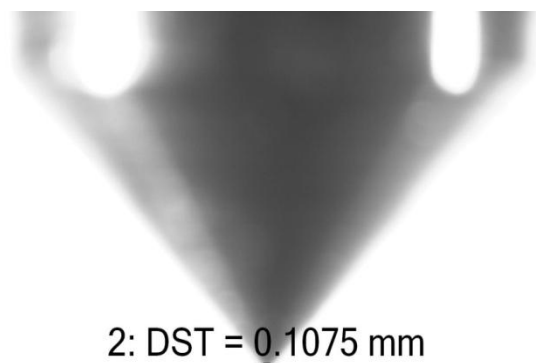
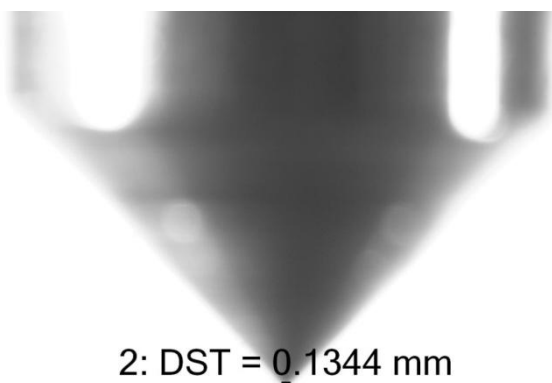
Εικόνα Π.2.5. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 1/Διάμετρος 1η

Εικόνα Π.2.6. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 1/Διάμετρος 2η



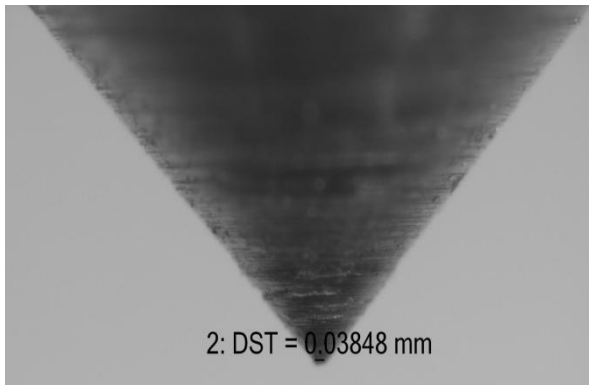
Εικόνα Π.2.7. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 1/Διάμετρος 1η

Εικόνα Π.2.8. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 1/Διάμετρος 2η

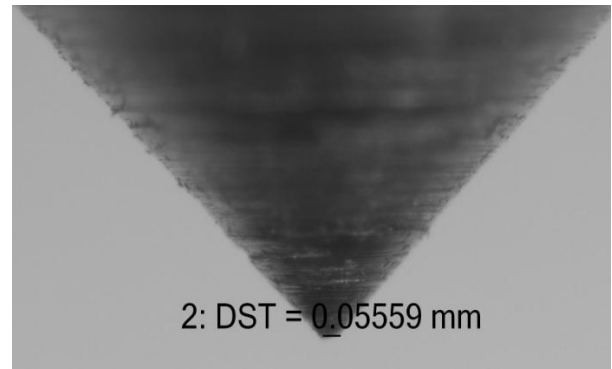


Εικόνα Π.2.9. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 1/Διάμετρος 1η

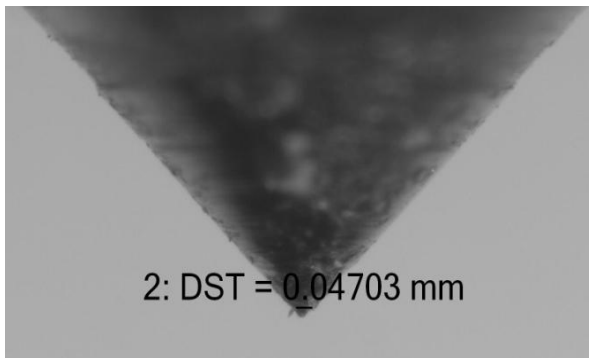
Εικόνα Π.2.10. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 1/Διάμετρος 2η



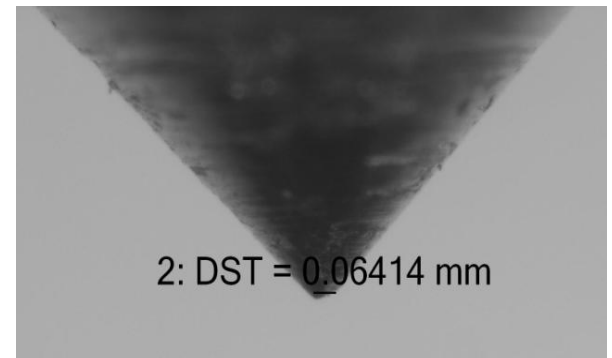
Εικόνα Π.2.11. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 3/Διάμετρος 1η



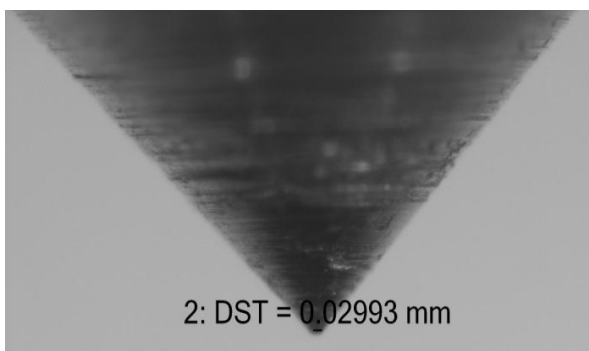
Εικόνα Π.2.12. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 3/Διάμετρος 2η



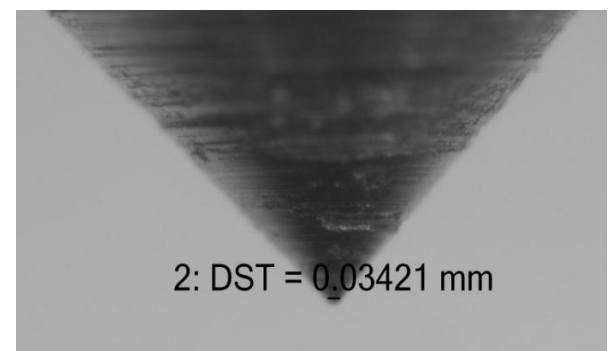
Εικόνα Π.2.13. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 3/Διάμετρος 1η



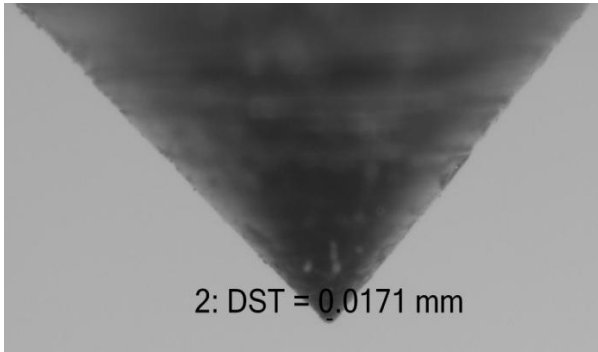
Εικόνα Π.2.14. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 3/Διάμετρος 2η



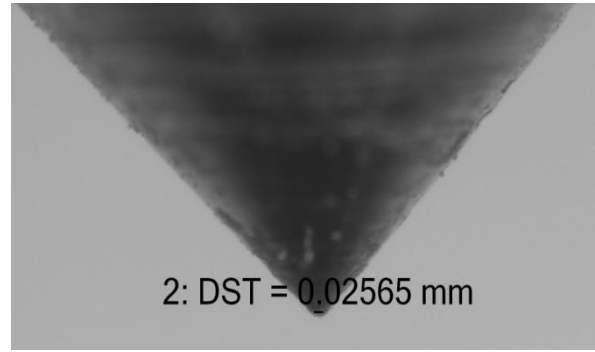
Εικόνα Π.2.15. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 4/Διάμετρος 1η



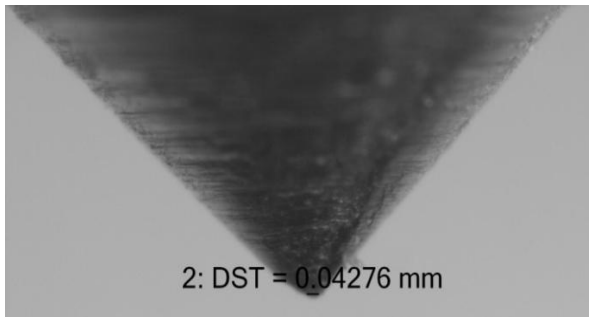
Εικόνα Π.2.16. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 4/Διάμετρος 2η



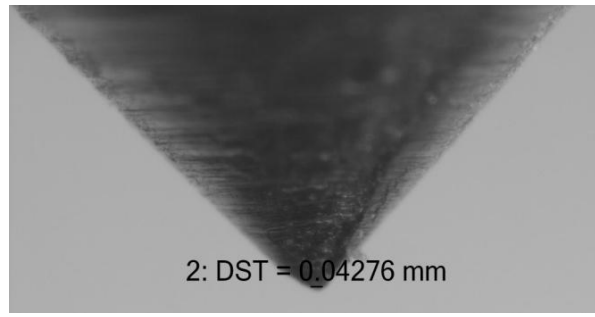
Εικόνα Π.2.17. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 4/Διάμετρος 1η



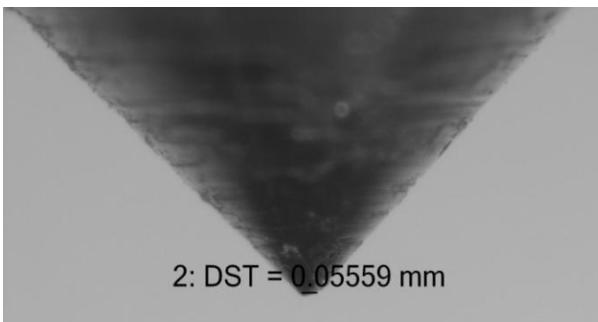
Εικόνα Π.2.18. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 4/Διάμετρος 2η



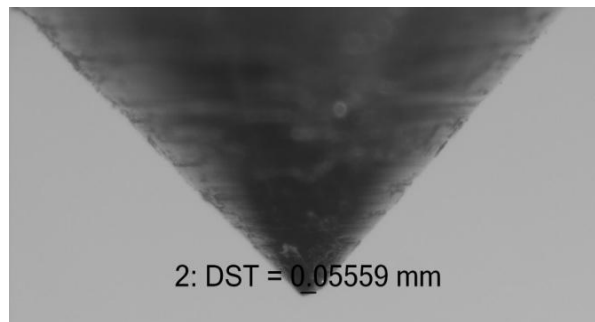
Εικόνα Π.2.19. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 4/Διάμετρος 1η



Εικόνα Π.2.20. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 4/Διάμετρος 2η

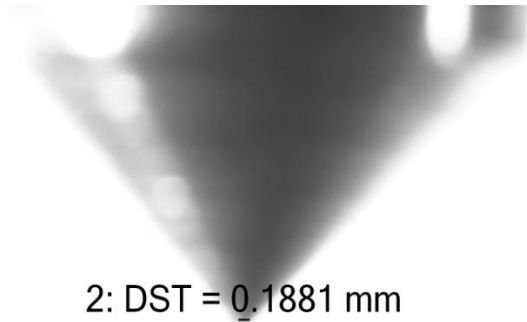


Εικόνα Π.2.21. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 4/Διάμετρος 1η

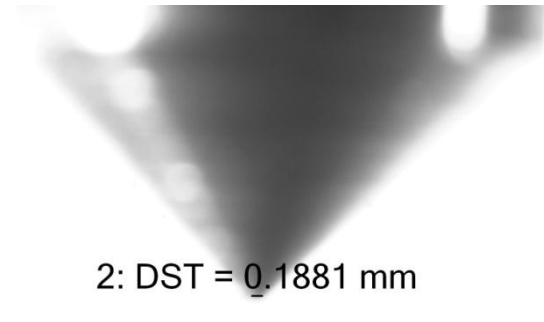


Εικόνα Π.2.22. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 4/Διάμετρος 2η

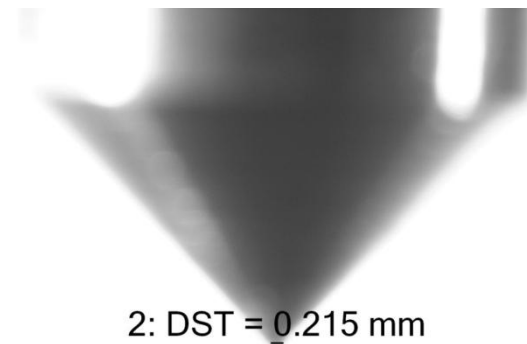




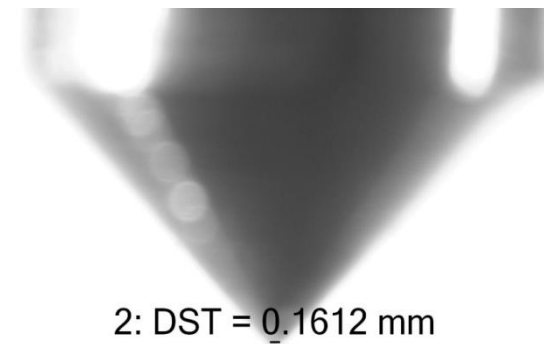
Εικόνα Π.2.23. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 5/Διάμετρος 1η



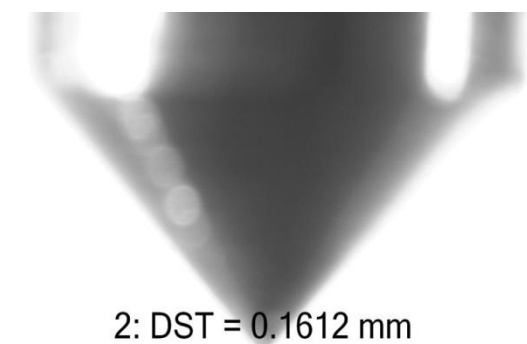
Εικόνα Π.2.24. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 5/Διάμετρος 2η



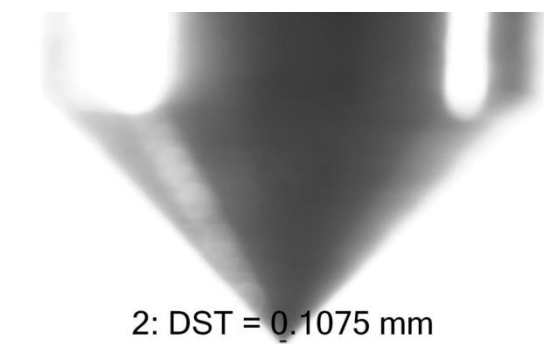
Εικόνα Π.2.25. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 5/Διάμετρος 1η



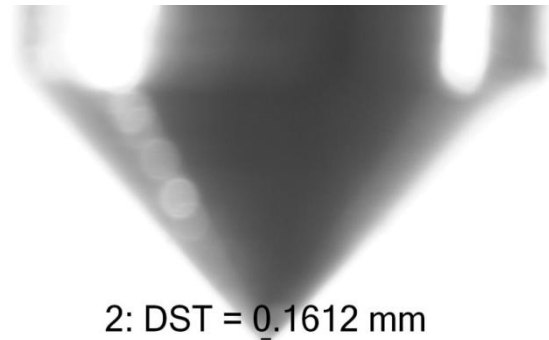
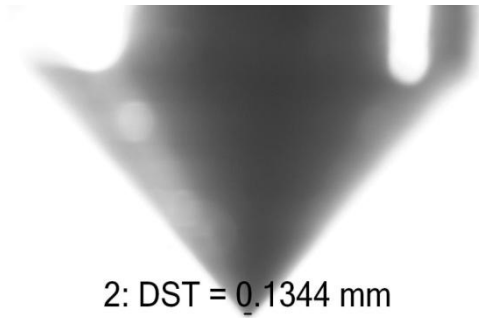
Εικόνα Π.2.26. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 5/Διάμετρος 2η



Εικόνα Π.2.27. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 5/Διάμετρος 1η

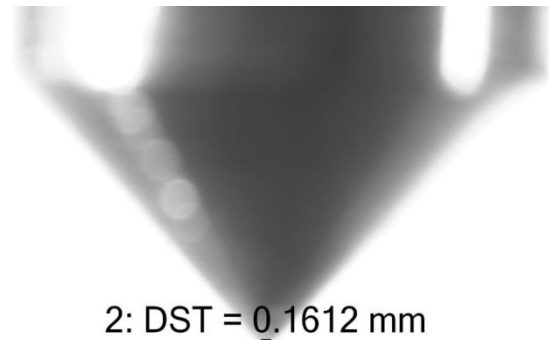
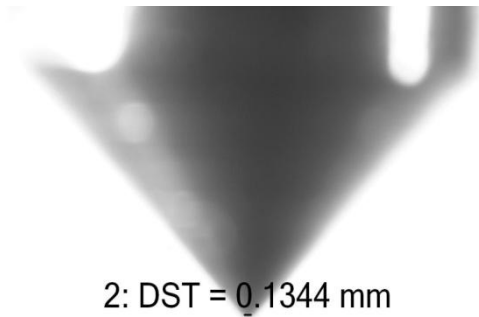


Εικόνα Π.2.28. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 5/Διάμετρος 2η



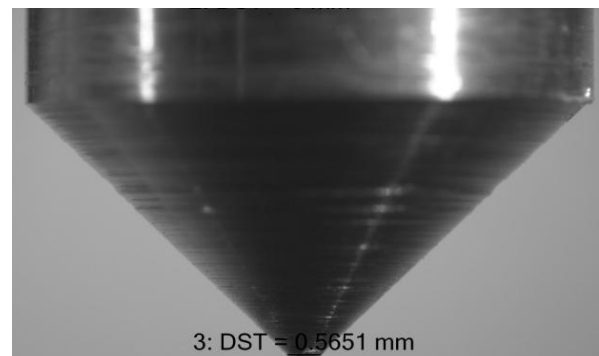
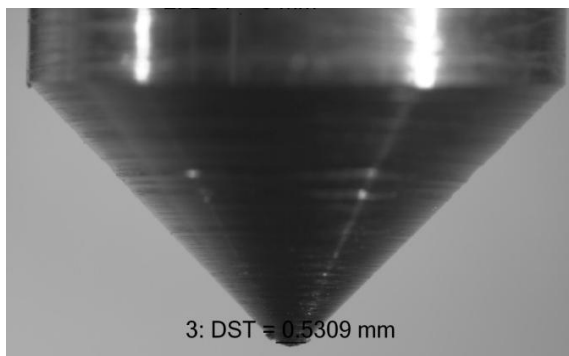
Εικόνα Π.2.27. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 5/Διάμετρος 1η

Εικόνα Π.2.28. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 5/Διάμετρος 2η



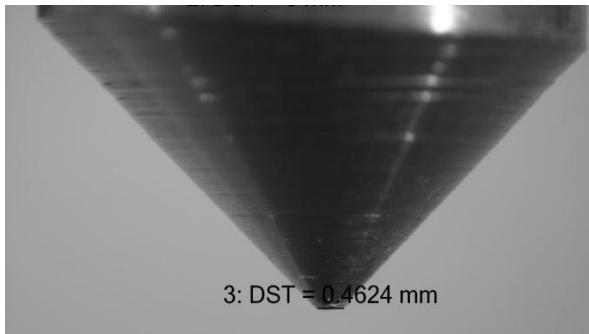
Εικόνα Π.2.29. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 5/Διάμετρος 1η

Εικόνα Π.2.30. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 5/Διάμετρος 2η

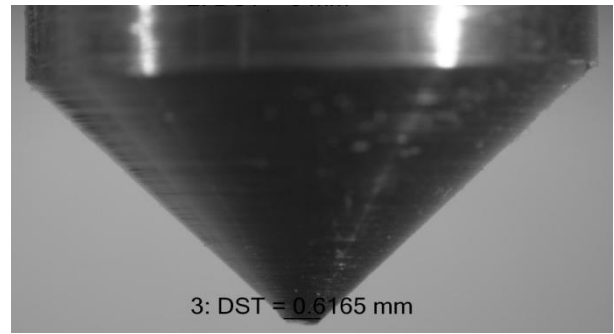


Εικόνα Π.2.30. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 6 /Διάμετρος 1η

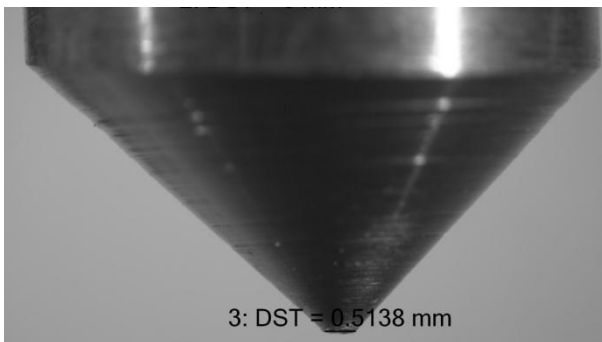
Εικόνα Π.2.31. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 6 /Διάμετρος 2η



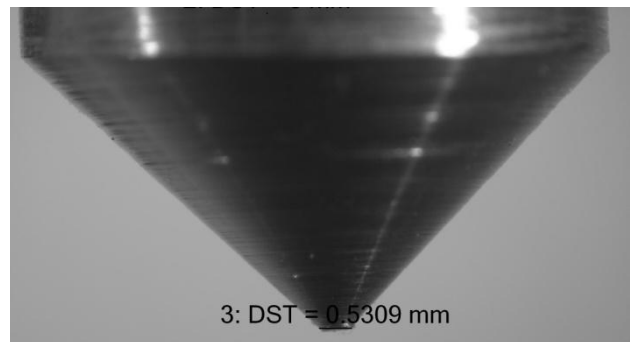
Εικόνα Π.2.32. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 6/Διάμετρος 1η



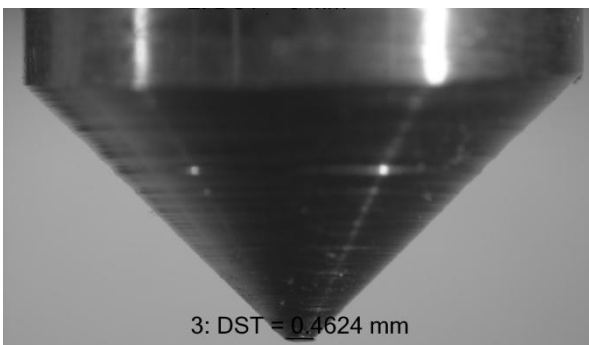
Εικόνα Π.2.33. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 6/Διάμετρος 2η



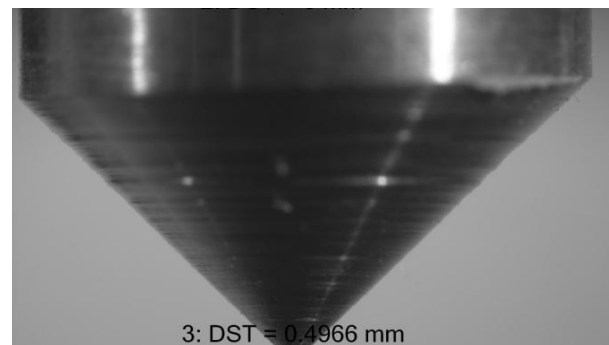
Εικόνα Π.2.34. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 6/Διάμετρος 1η



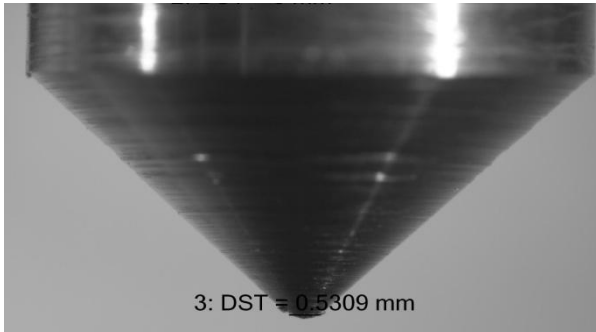
Εικόνα Π.2.35. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 6/Διάμετρος 2η



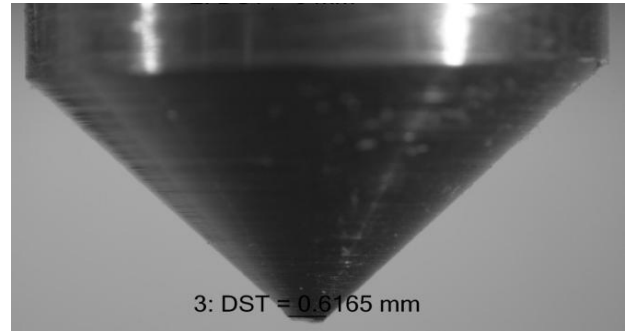
Εικόνα Π.2.36. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 6/Διάμετρος 1η



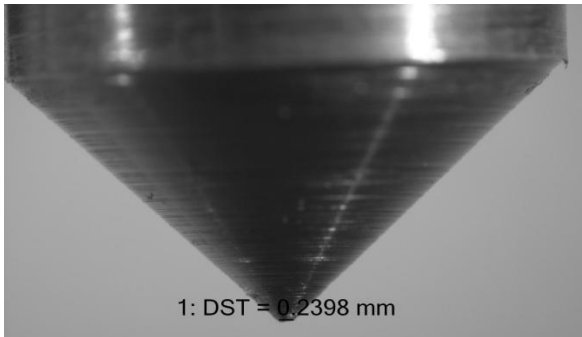
Εικόνα Π.2.37. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 6/Διάμετρος 2η



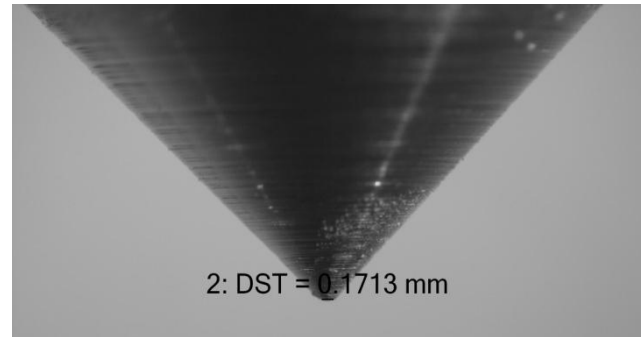
Εικόνα Π.2.38. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 6/Διάμετρος 1η



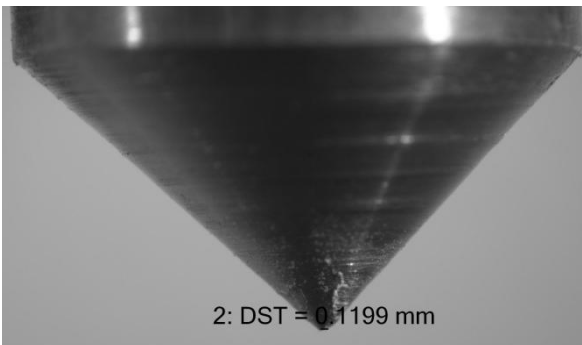
Εικόνα Π.2.39. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 6/Διάμετρος 2η



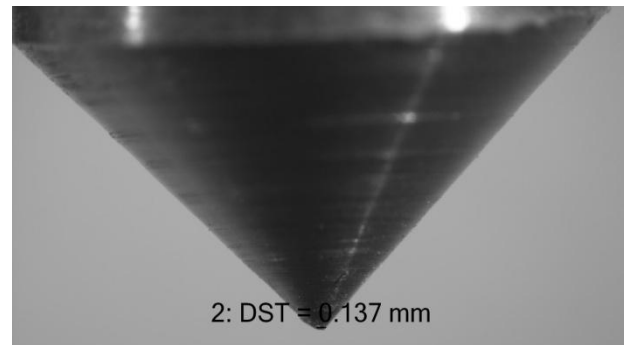
Εικόνα Π.2.40. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 7/Διάμετρος 1η



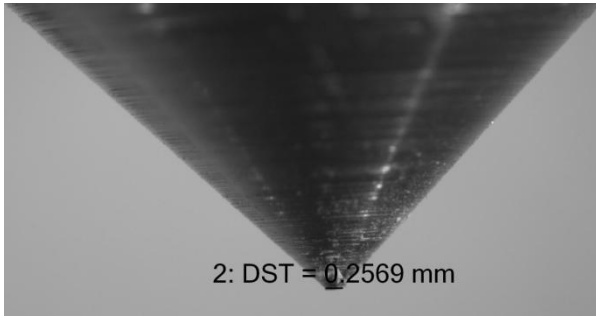
Εικόνα Π.2.41. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 7/Διάμετρος 2η



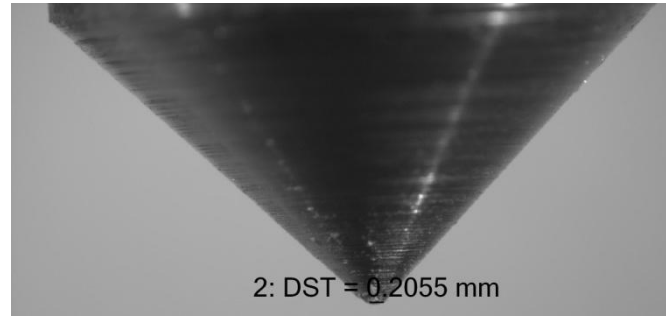
Εικόνα Π.2.42. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 7/Διάμετρος 1η



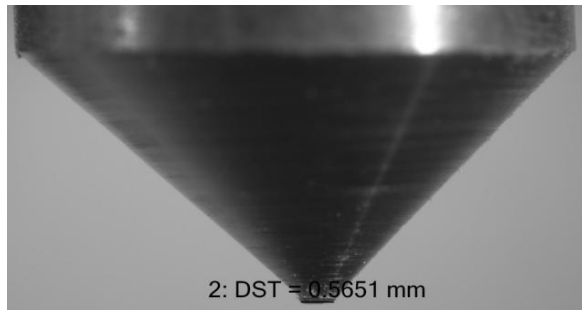
Εικόνα Π.2.43. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 7/Διάμετρος 2η



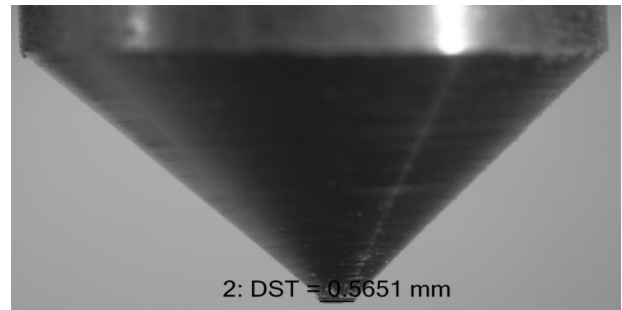
Εικόνα Π.244. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 7/Διάμετρος 1η



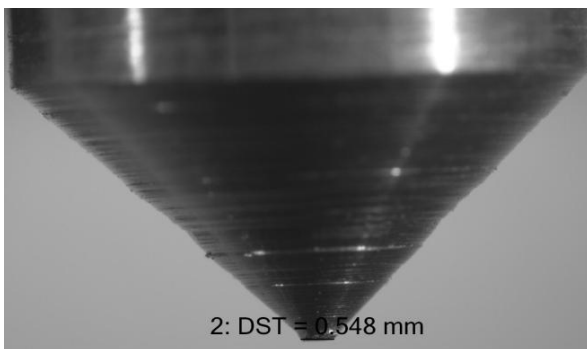
Εικόνα Π.2.45. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 7/Διάμετρος 2η



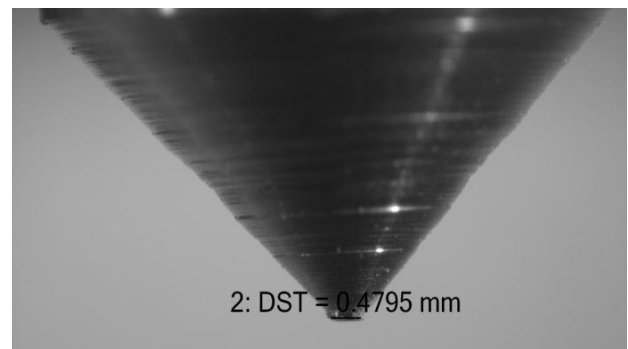
Εικόνα Π.246. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 8/Διάμετρος 1η



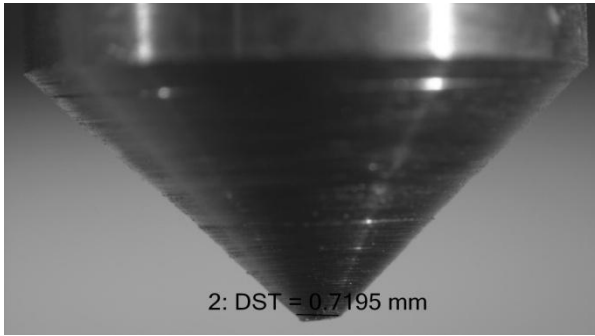
Εικόνα Π.2.47. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 8/Διάμετρος 2η



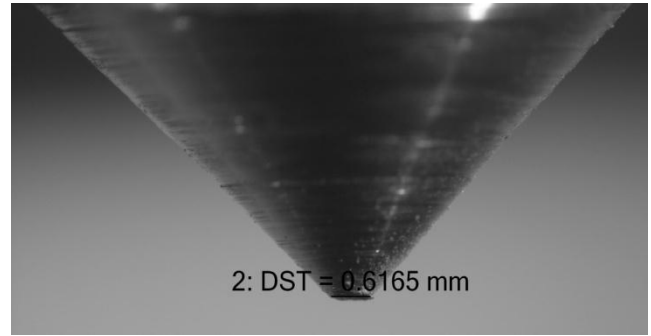
Εικόνα Π.248. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 7/Διάμετρος 1η



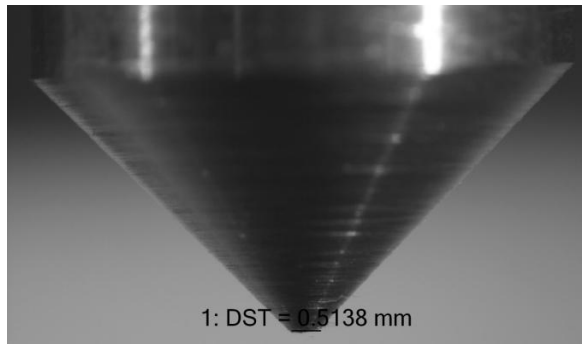
Εικόνα Π.2.49. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 7/Διάμετρος 2η



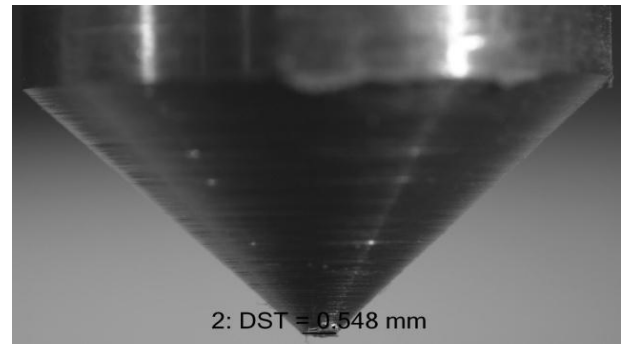
Εικόνα Π.2.50. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 8/Διάμετρος 1η



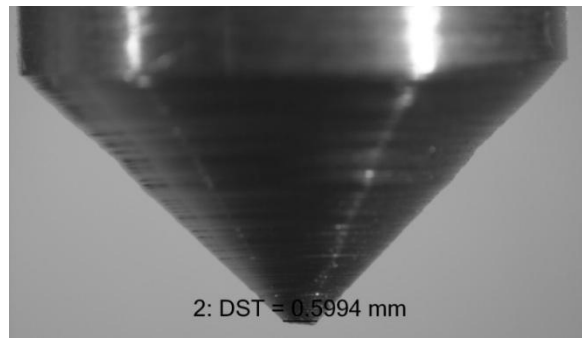
Εικόνα Π.2.51. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 8/Διάμετρος 2η



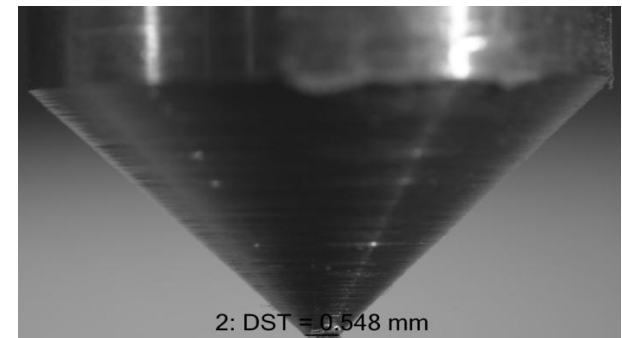
Εικόνα Π.2.52. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 8/Διάμετρος 1η



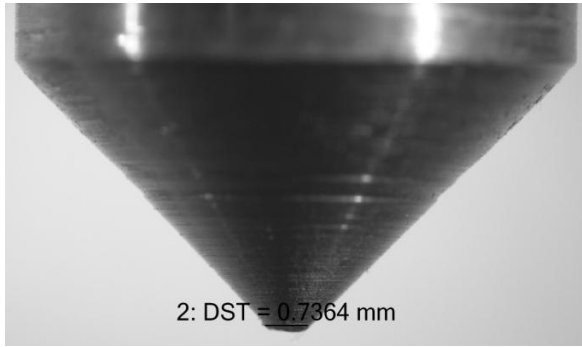
Εικόνα Π.2.53. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 8/Διάμετρος 2η



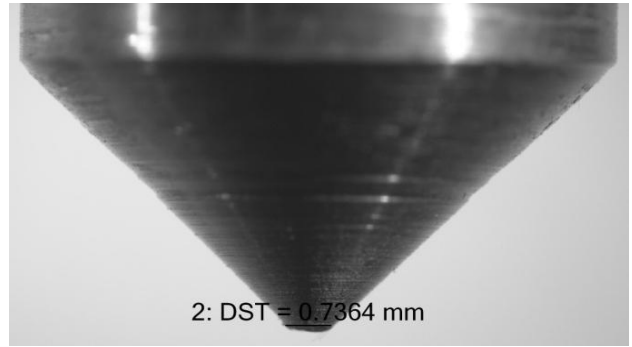
Εικόνα Π.2.54. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 8/Διάμετρος 1η



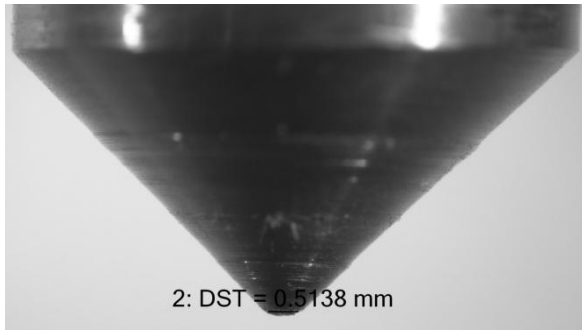
Εικόνα Π.2.55. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 8/Διάμετρος 2η



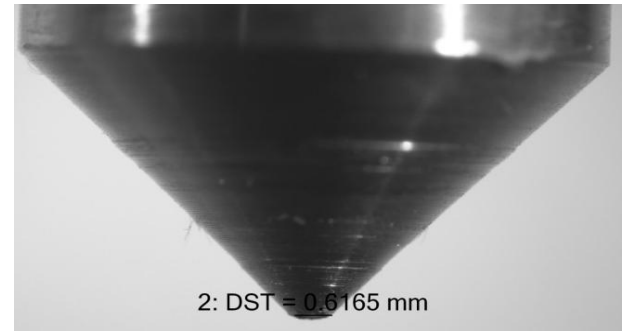
Εικόνα Π.2.56. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 9/Διάμετρος 1η



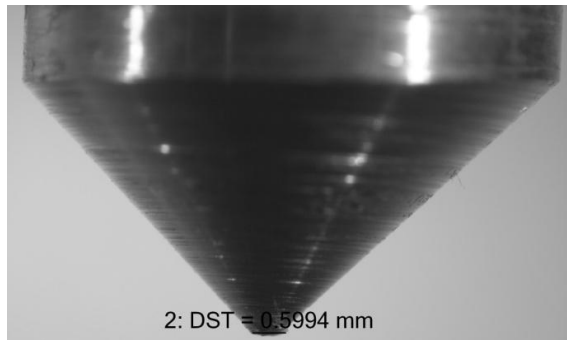
Εικόνα Π.2.57. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 9/Διάμετρος 2η



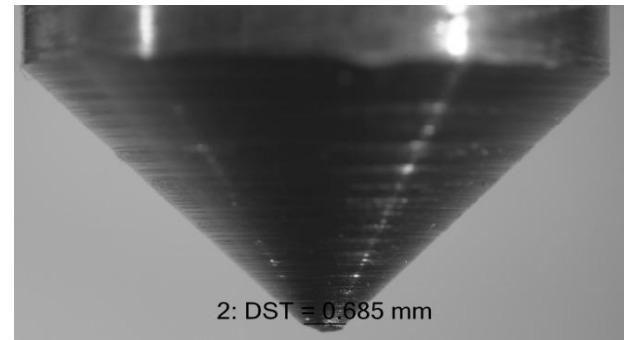
Εικόνα Π.2.58. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 9/Διάμετρος 1η



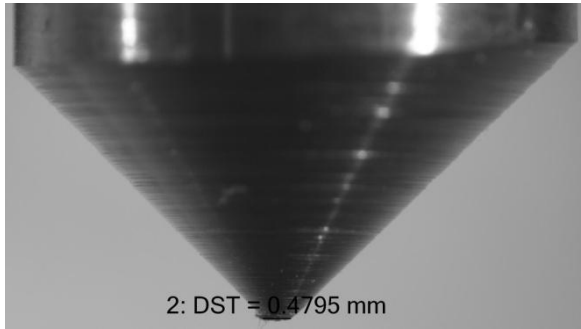
Εικόνα Π.2.59. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 9/Διάμετρος 2η



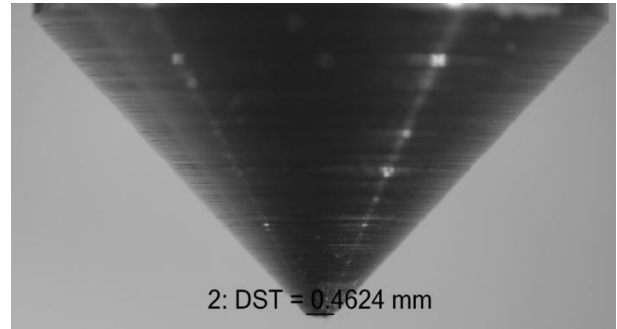
Εικόνα Π.2.60. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 9/Διάμετρος 1η



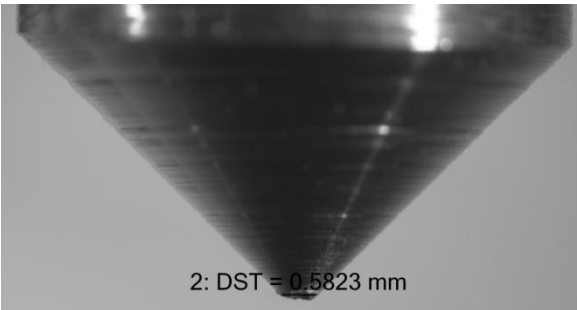
Εικόνα Π.2.61. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 9/Διάμετρος 2η



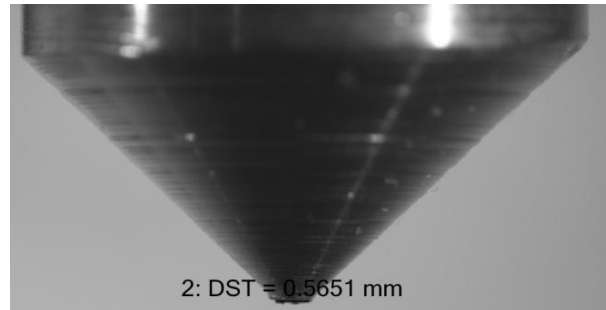
Εικόνα Π.2.62. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 9/Διάμετρος 1η



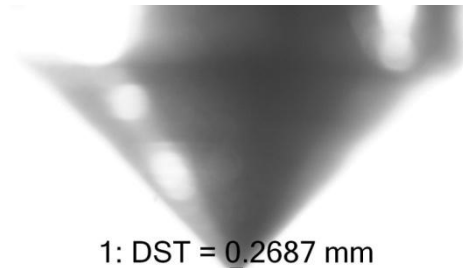
Εικόνα Π.2.63. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 9/Διάμετρος 2η



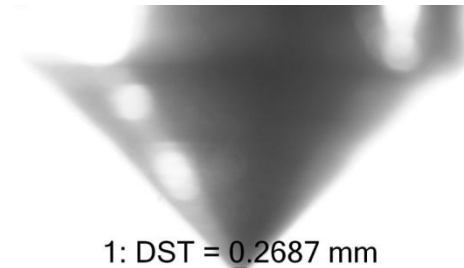
Εικόνα Π.2.64. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 9/Διάμετρος 1η



Εικόνα Π.2.65. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 9/Διάμετρος 2η

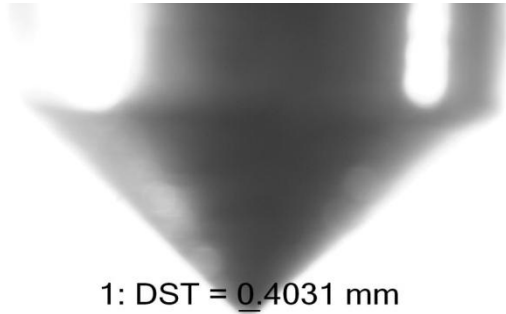


Εικόνα Π.2.66. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 10/Διάμετρος 1η

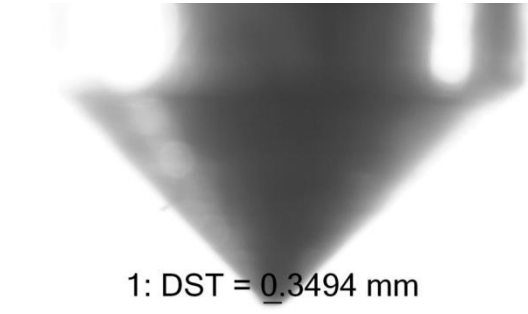


Εικόνα Π.2.67. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 10/Διάμετρος 2η

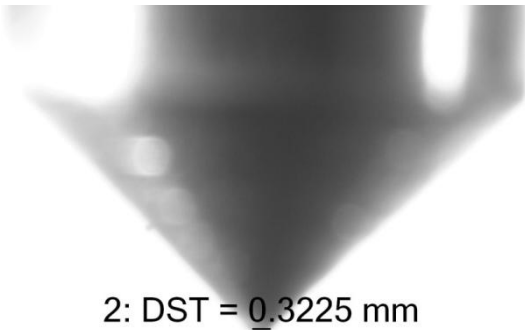




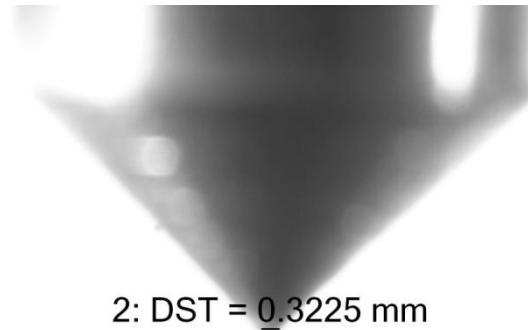
Εικόνα Π.2.68. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 10/Διάμετρος 1η



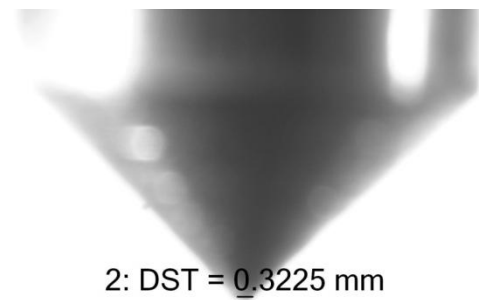
Εικόνα Π.2.69. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 10/Διάμετρος 2η



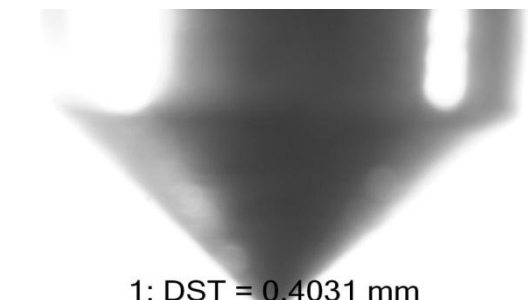
Εικόνα Π.2.70. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 10/Διάμετρος 1η



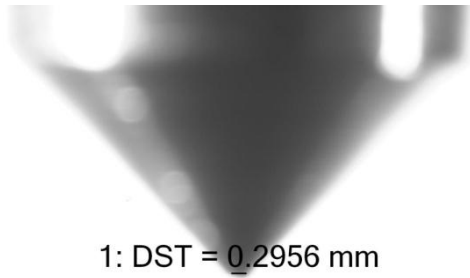
Εικόνα Π.2.71. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 10/Διάμετρος 2η



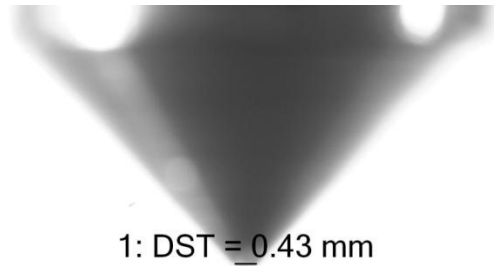
Εικόνα Π.2.72. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 10/Διάμετρος 1η



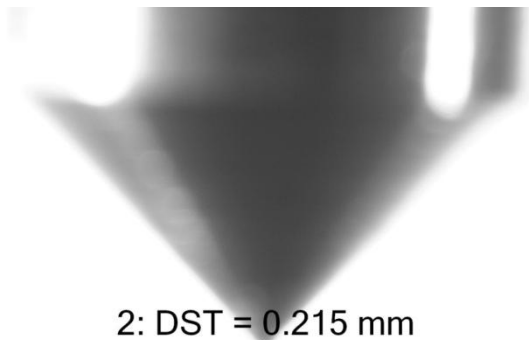
Εικόνα Π.2.73. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 10/Διάμετρος 2η



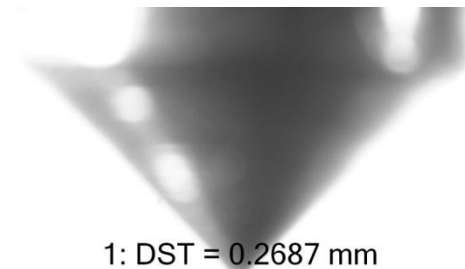
Εικόνα Π.2.74. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 10/Διάμετρος 1η



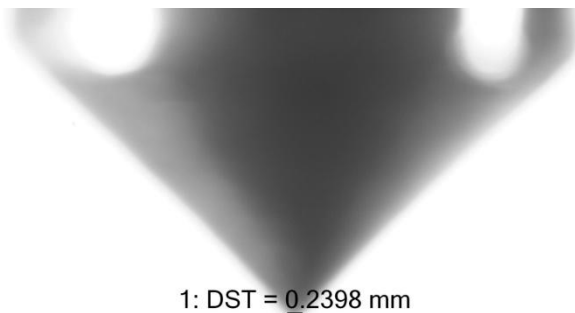
Εικόνα Π.2.75. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 10/Διάμετρος 2η



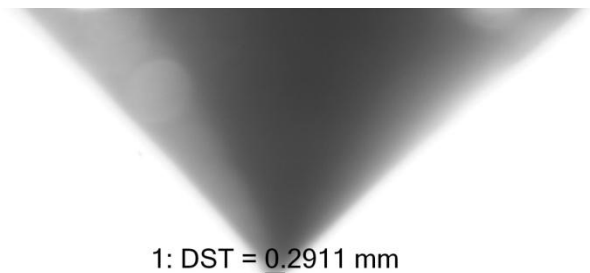
Εικόνα Π.2.76. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 11/Διάμετρος 1η



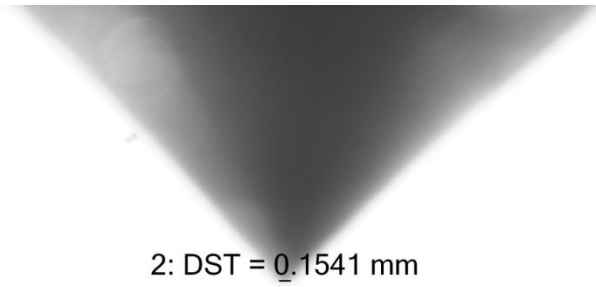
Εικόνα Π.2.77. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 11/Διάμετρος 2η



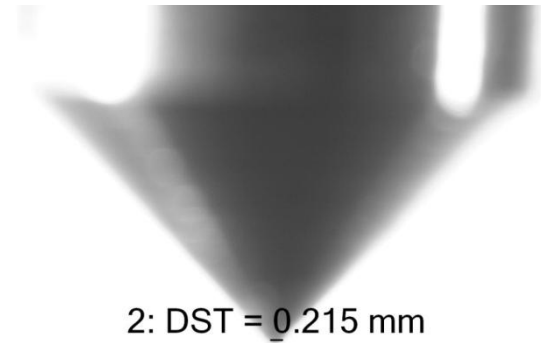
Εικόνα Π.2.78. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 11/Διάμετρος 1η



Εικόνα Π.2.79. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 11/Διάμετρος 2η



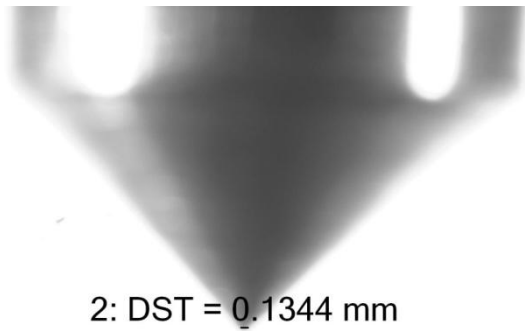
2: DST = 0.1541 mm



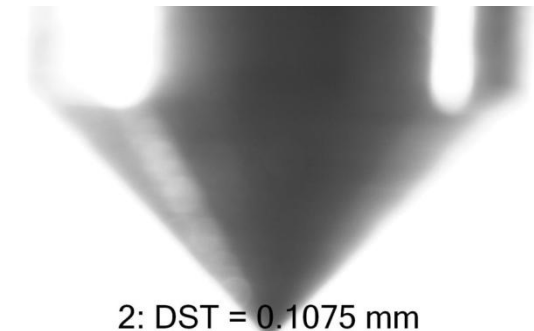
2: DST = 0.215 mm

Εικόνα Π.2.78. . Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 11/Διάμετρος 1η

Εικόνα Π.2.79. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 11/Διάμετρος 2η



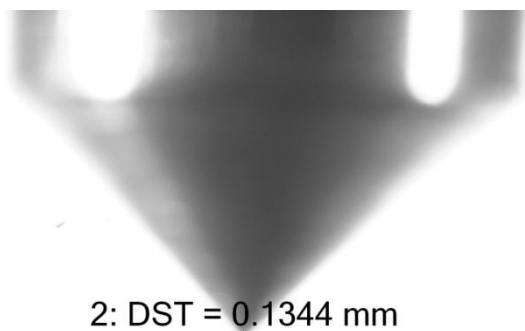
2: DST = 0.1344 mm



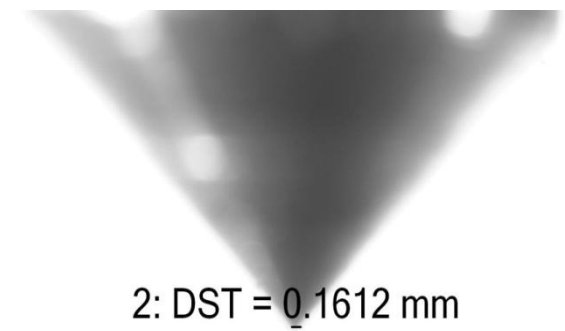
2: DST = 0.1075 mm

Εικόνα Π.2.80. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 11/Διάμετρος 1η

Εικόνα Π.2.81. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 11/Διάμετρος 2η



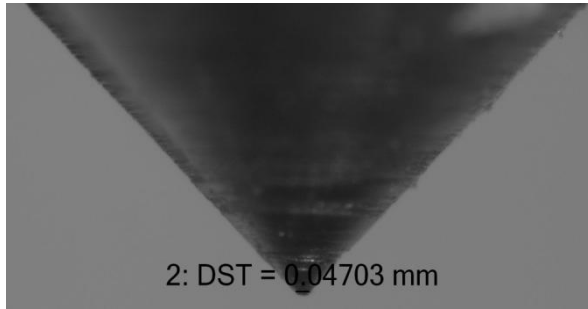
2: DST = 0.1344 mm



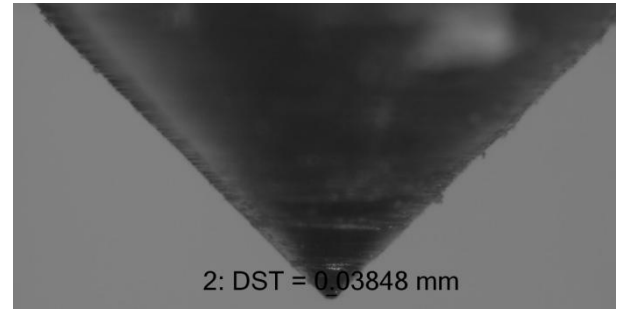
2: DST = 0.1612 mm

Εικόνα Π.2.82. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 11/Διάμετρος 1η

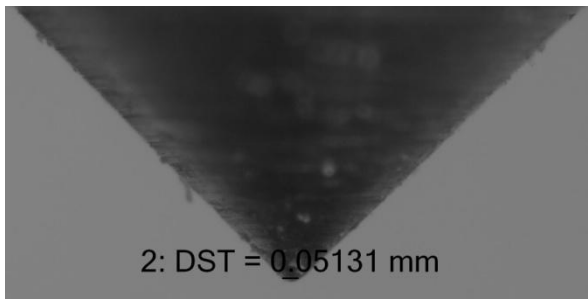
Εικόνα Π.2.82. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 11/Διάμετρος 2η



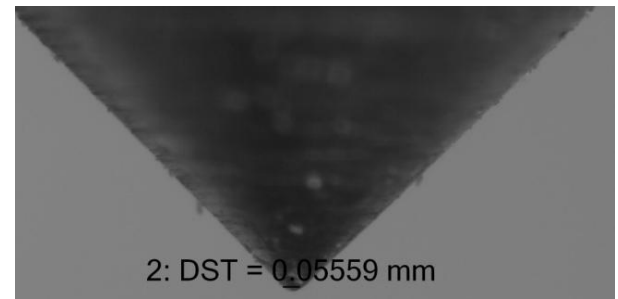
Εικόνα Π.2.83. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 13/Διάμετρος 1η



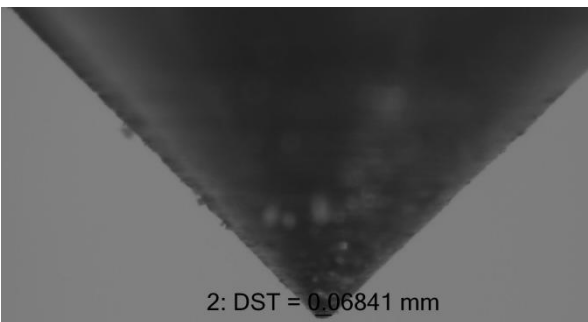
Εικόνα Π.2.84. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 13/Διάμετρος 2η



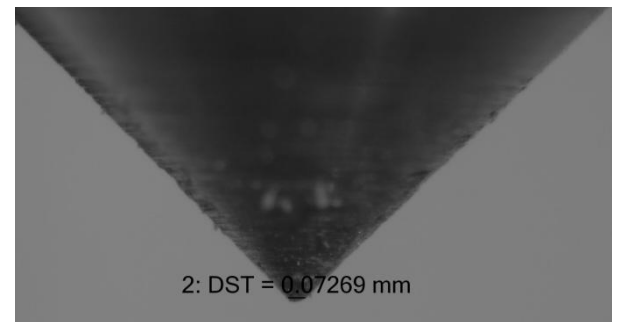
Εικόνα Π.2.85. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 13/Διάμετρος 1η



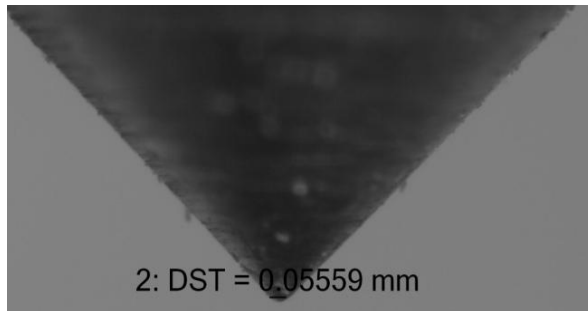
Εικόνα Π.2.86. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 13/Διάμετρος 2η



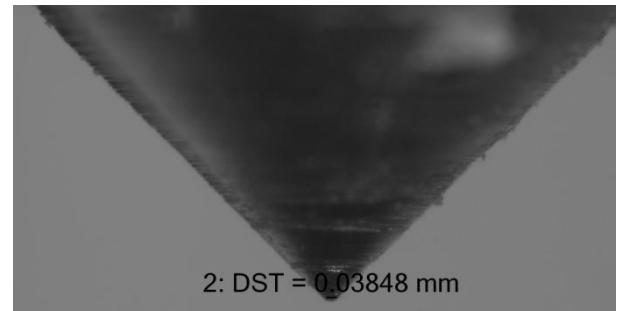
Εικόνα Π.2.87. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 13/Διάμετρος 1η



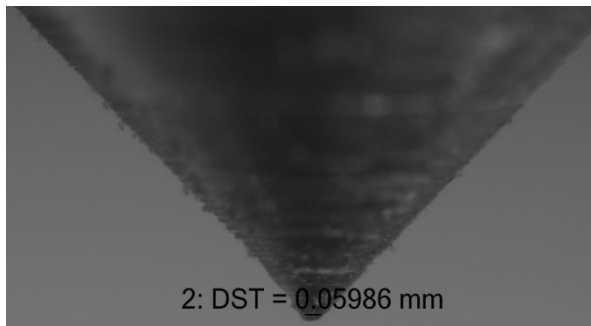
Εικόνα Π.2.88. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 13/Διάμετρος 2η



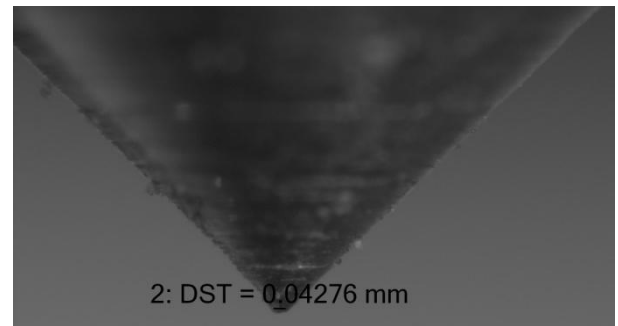
Εικόνα Π.2.89. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 13/Διάμετρος 1η



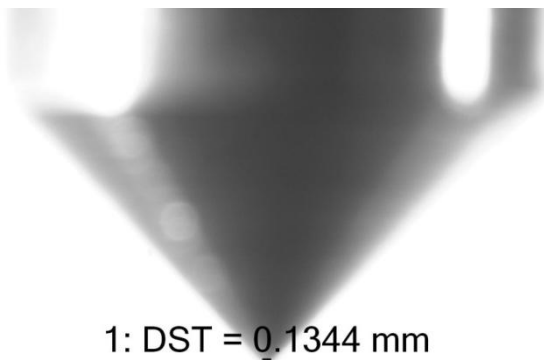
Εικόνα Π.2.90. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 13/Διάμετρος 2η



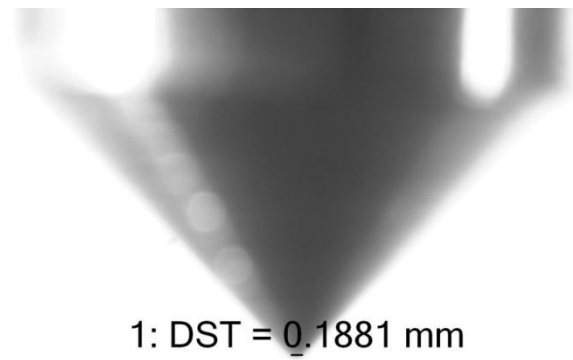
Εικόνα Π.2.91. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 13/Διάμετρος 1η



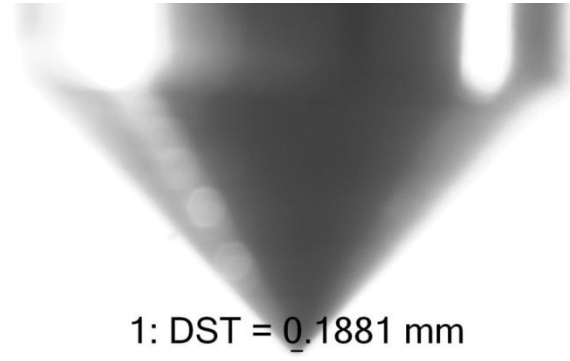
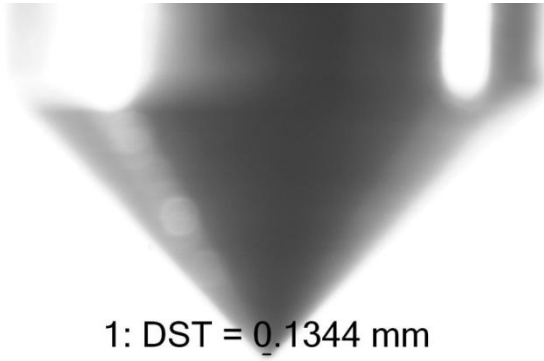
Εικόνα Π.2.92. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 13/Διάμετρος 2η



Εικόνα Π.2.93. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 14/Διάμετρος 1η

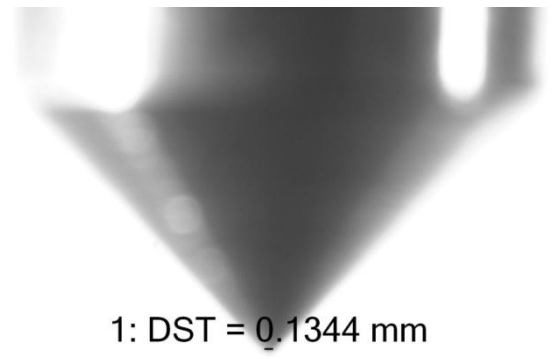
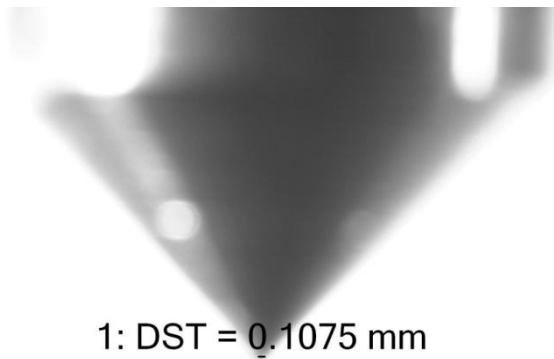


Εικόνα Π.2.94. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 14/Διάμετρος 2η



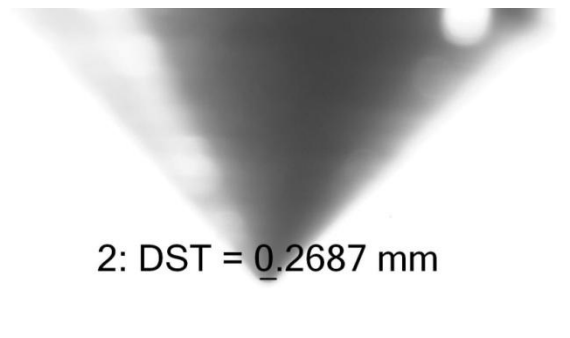
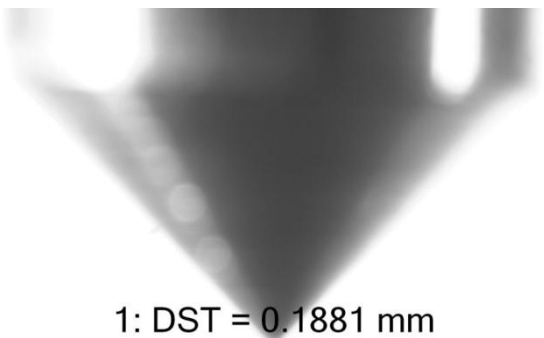
Εικόνα Π.2.95. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 14/Διάμετρος 1η

Εικόνα Π.2.96. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 14/Διάμετρος 2η



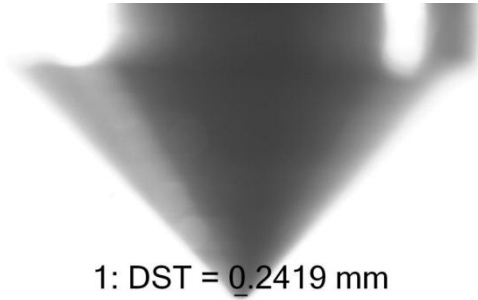
Εικόνα Π.2.97. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 14/Διάμετρος 1η

Εικόνα Π.2.98. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 14/Διάμετρος 2η

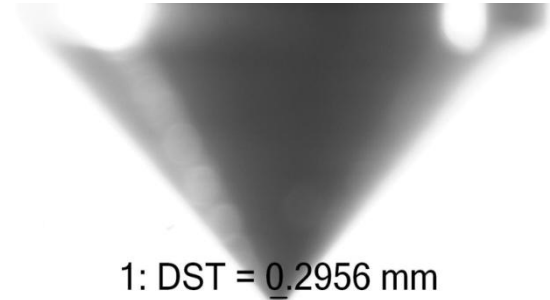


Εικόνα Π.2.99. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 14/Διάμετρος 1η

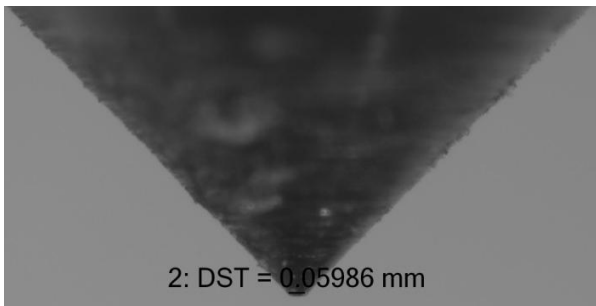
Εικόνα Π.2.100. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 14/Διάμετρος 2η



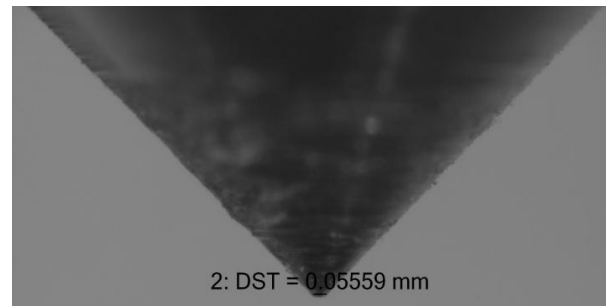
Εικόνα Π.2.101. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 14/Διάμετρος 1η



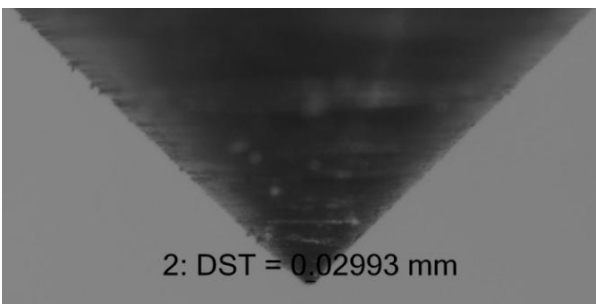
Εικόνα Π.2.102. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 14/Διάμετρος 2η



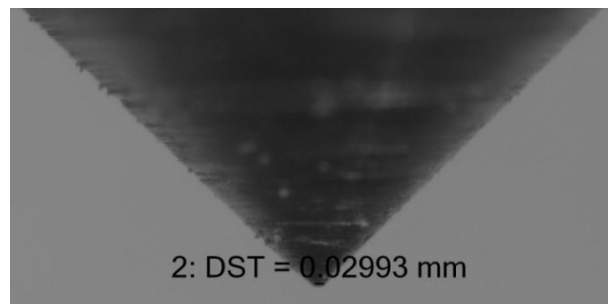
Εικόνα Π.2.103. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 15a/Διάμετρος 1η



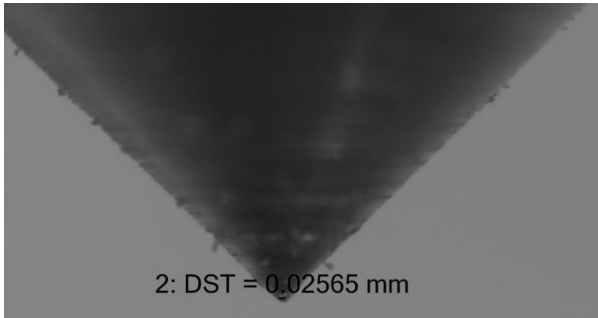
Εικόνα Π.2.104. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 15a/Διάμετρος 2η



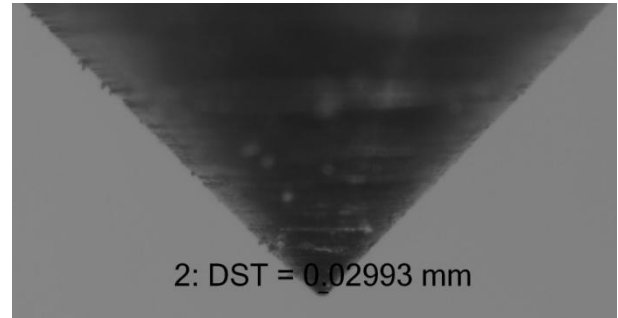
Εικόνα Π.2.105. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 15a/Διάμετρος 1η



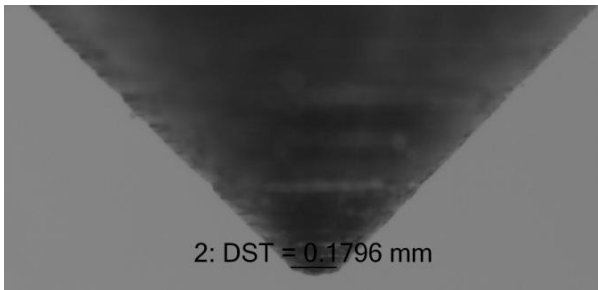
Εικόνα Π.2.106. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 15a/Διάμετρος 2η



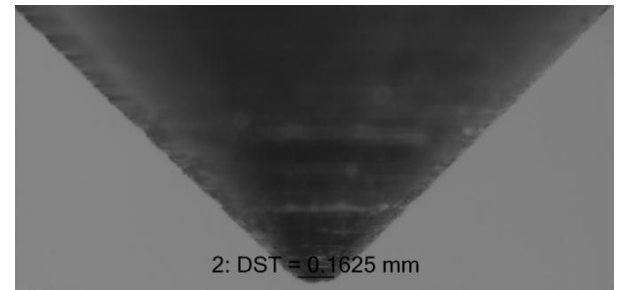
Εικόνα Π.2.107. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 15a/Διάμετρος 1η



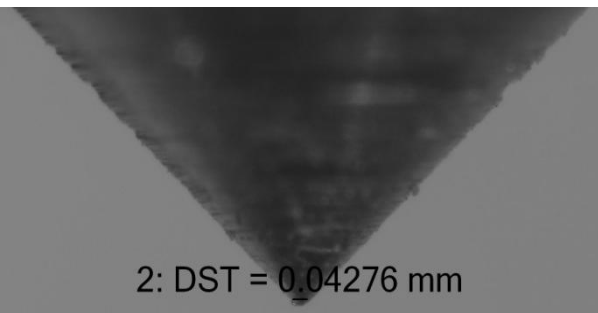
Εικόνα Π.2.108. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 15a/Διάμετρος 2η



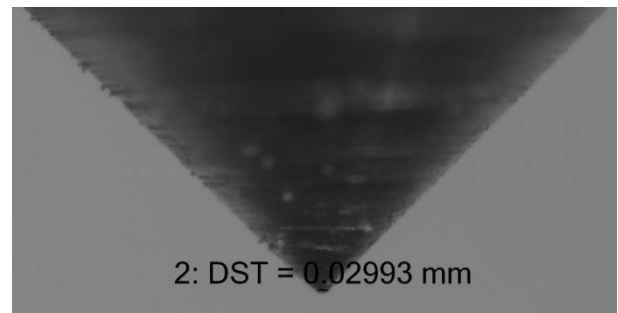
Εικόνα Π.2.109. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 15a/Διάμετρος 1η



Εικόνα Π.2.110. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 15a/Διάμετρος 2η

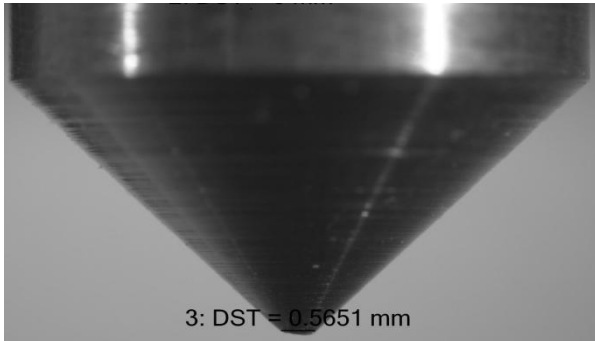


Εικόνα Π.2.111. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 15a/Διάμετρος 1η

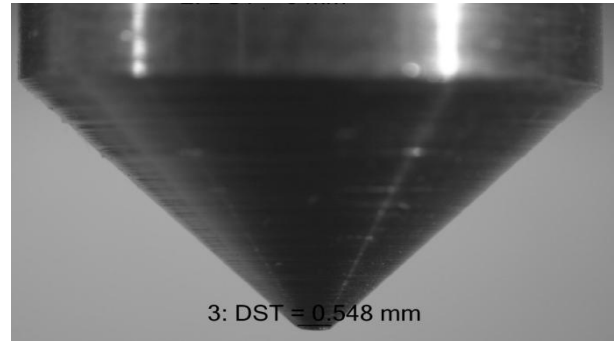


Εικόνα Π.2.112. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 15a/Διάμετρος 2η

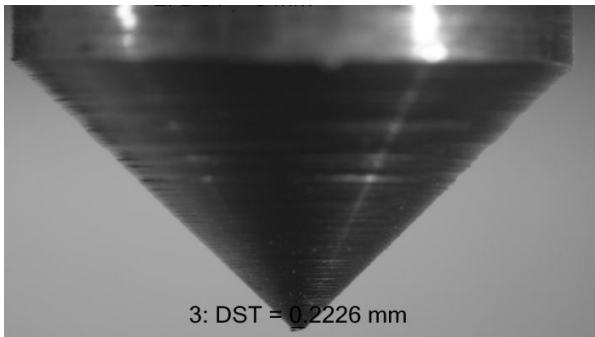




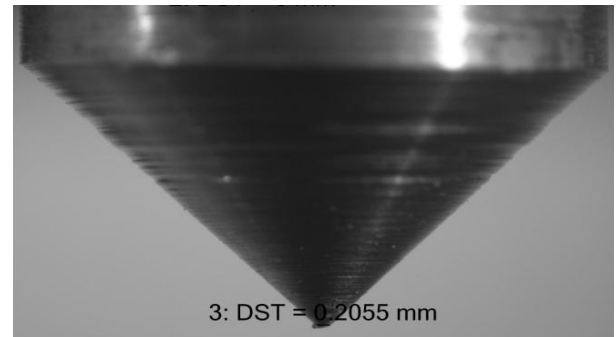
Εικόνα Π.2.113. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 15b/Διάμετρος 1η



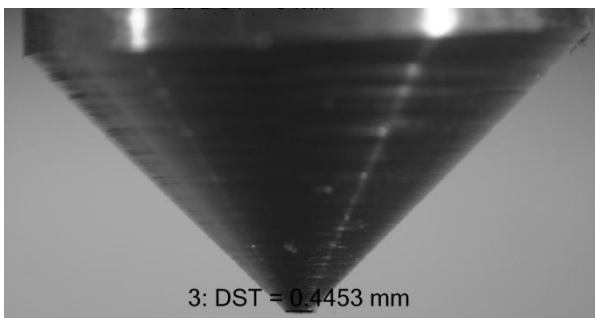
Εικόνα Π.2.114. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 15b/Διάμετρος 2η



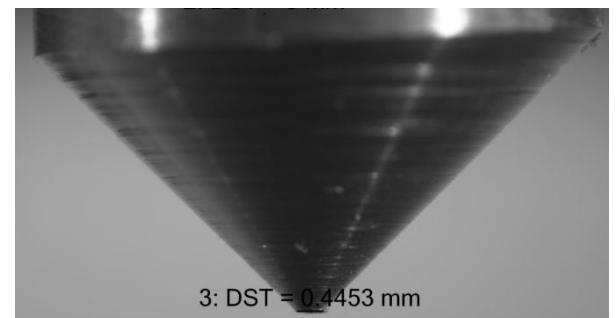
Εικόνα Π.2.115. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 15b/Διάμετρος 1η



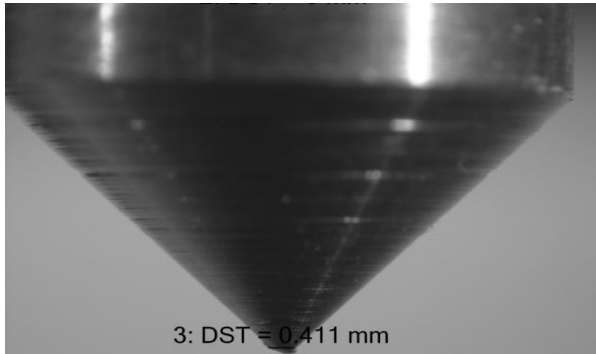
Εικόνα Π.2.116. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 15b/Διάμετρος 2η



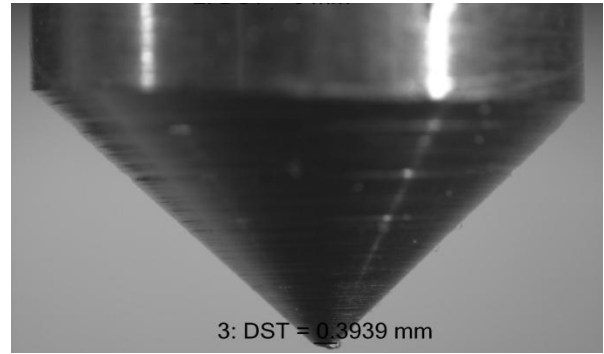
Εικόνα Π.2.117. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 15b/Διάμετρος 1η



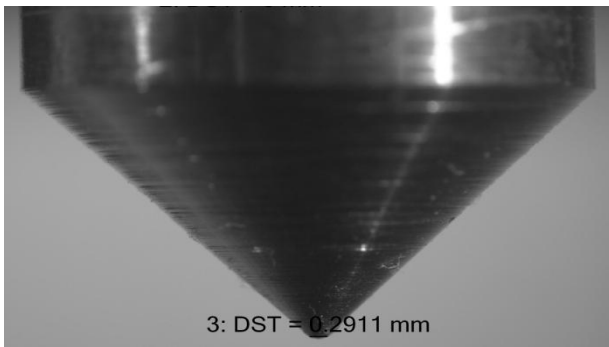
Εικόνα Π.2.118 Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 15b/Διάμετρος 2η



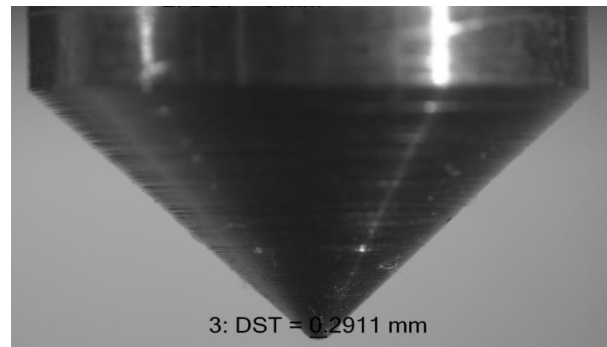
Εικόνα Π.2.119. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 15b/Διάμετρος 1η



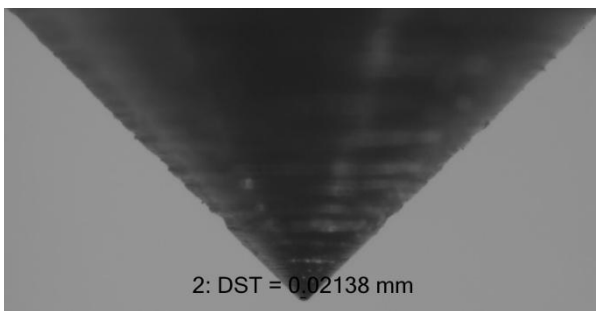
Εικόνα Π.2.120. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 15b/Διάμετρος 2η



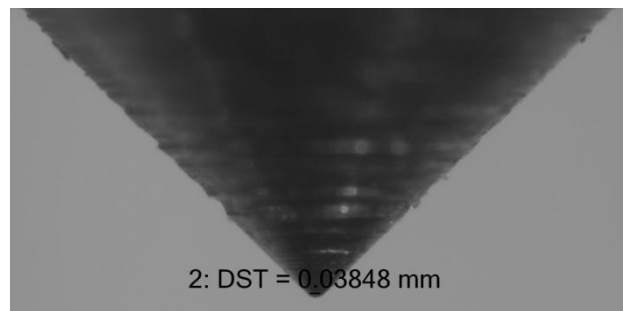
Εικόνα Π.2.121. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 15b/Διάμετρος 1η



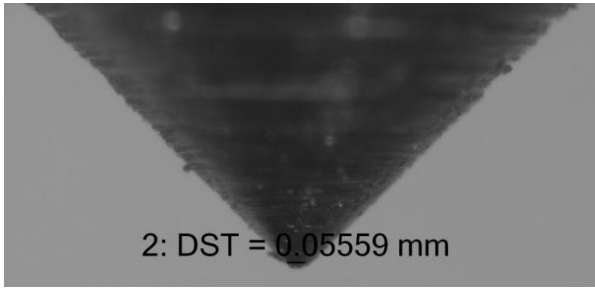
Εικόνα Π.2.122. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 15b/Διάμετρος 2η



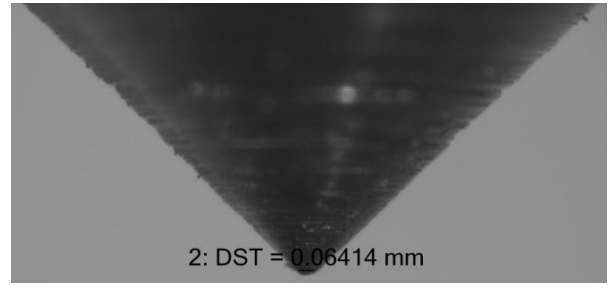
Εικόνα Π.2.123. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 17a/Διάμετρος 1η



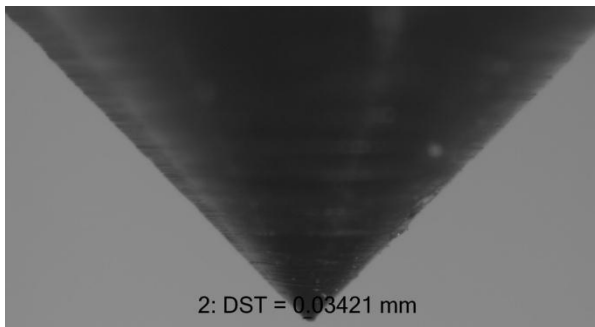
Εικόνα Π.2.124. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 17a/Διάμετρος 2η



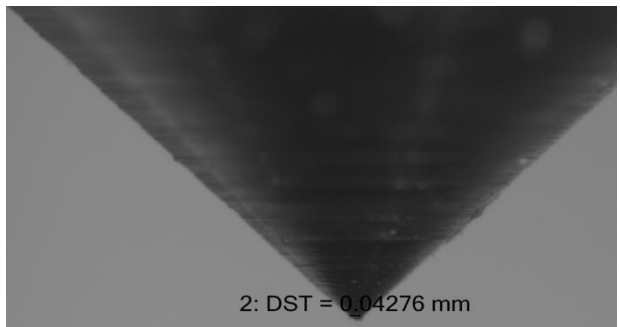
Εικόνα Π.2.125. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 17a/Διάμετρος 1η



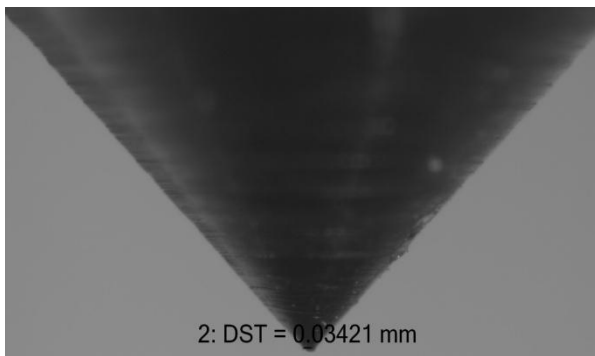
Εικόνα Π.2.126. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 17a/Διάμετρος 2η



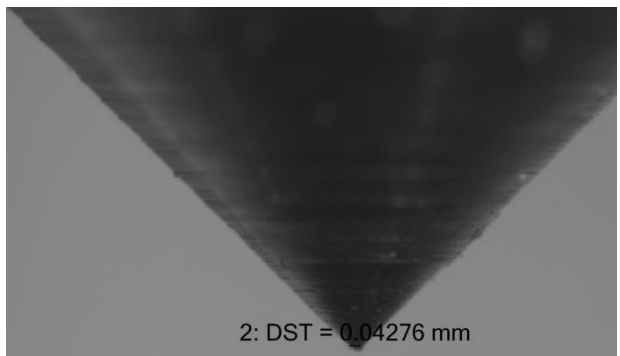
Εικόνα Π.2.127. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 17b/Διάμετρος 1η



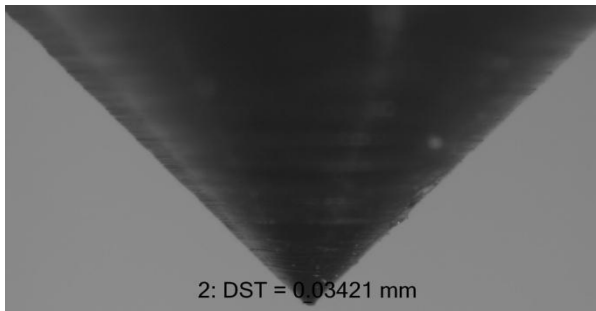
Εικόνα Π.2.128. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 17b/Διάμετρος 2η



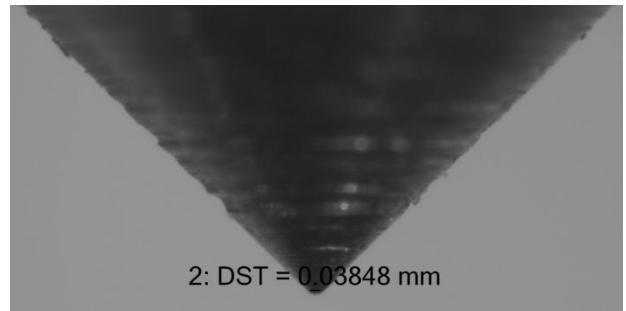
Εικόνα Π.2.129. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 17b/Διάμετρος 1η



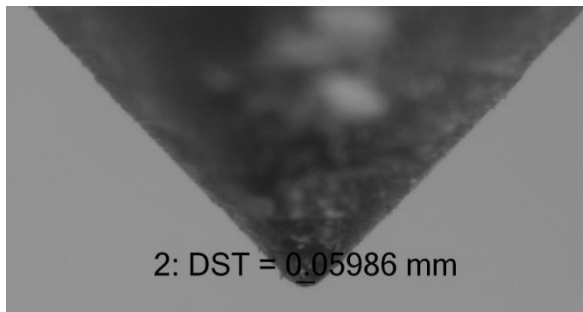
Εικόνα Π.2.130. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 17b/Διάμετρος 2η



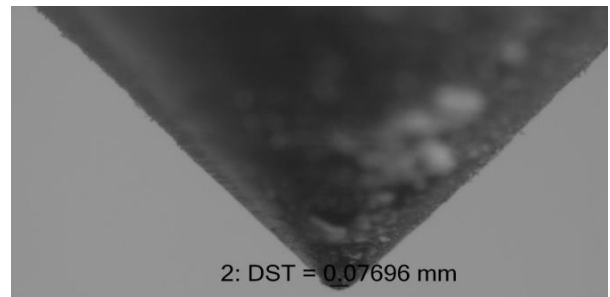
Εικόνα Π.2.131. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 18/Διάμετρος 1η



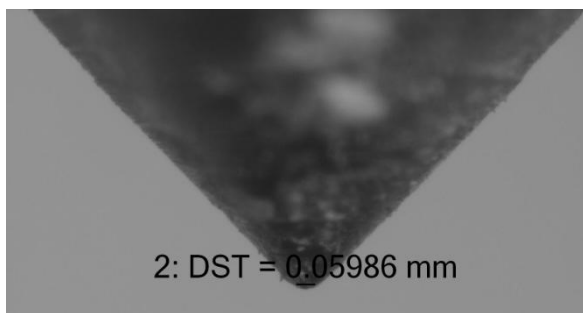
Εικόνα Π.2.132. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 18/Διάμετρος 2η



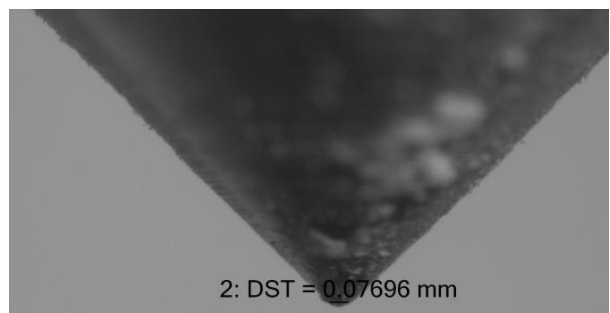
Εικόνα Π.2.133. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 18/Διάμετρος 1η



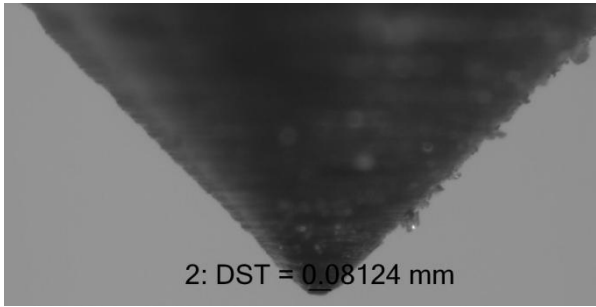
Εικόνα Π.2.134. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 18/Διάμετρος 2η



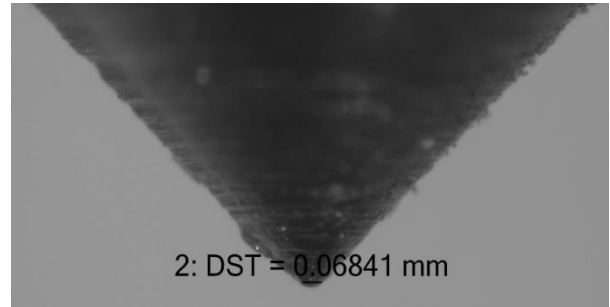
Εικόνα Π.2.135. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 18/Διάμετρος 1η



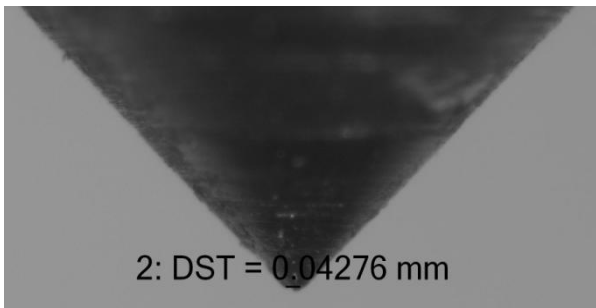
Εικόνα Π.2.136. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 18/Διάμετρος 2η



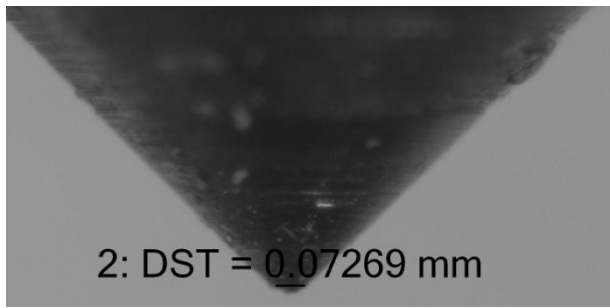
Εικόνα Π.2.137. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 18/Διάμετρος 1η



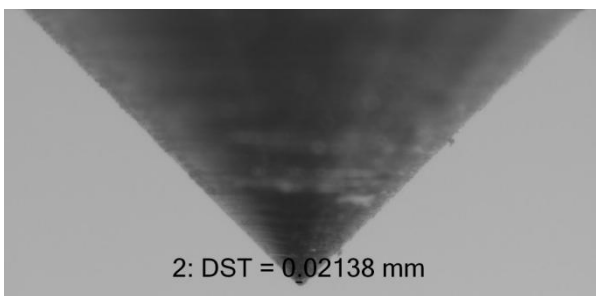
Εικόνα Π.2.138. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 18/Διάμετρος 2η



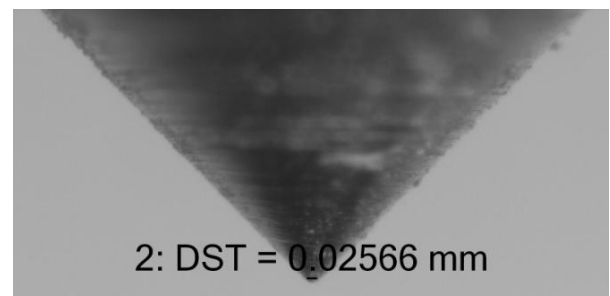
Εικόνα Π.2.139. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 18/Διάμετρος 1η



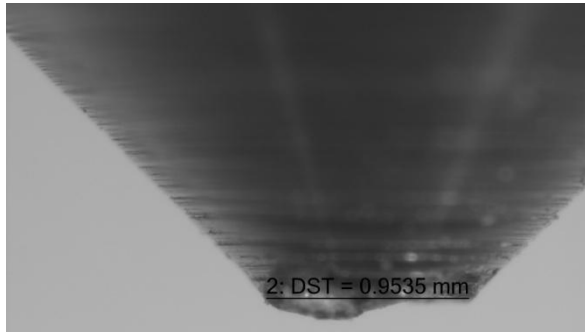
Εικόνα Π.2.140. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 18/Διάμετρος 2η



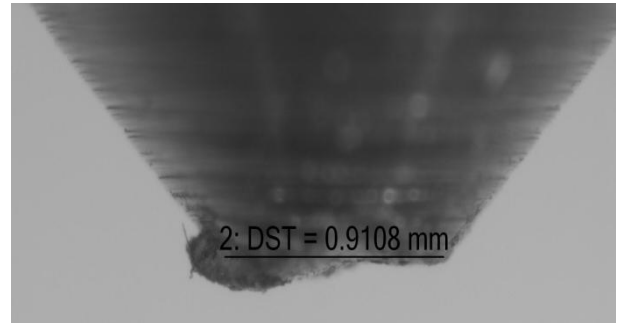
Εικόνα Π.2.141. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 19/Διάμετρος 1η



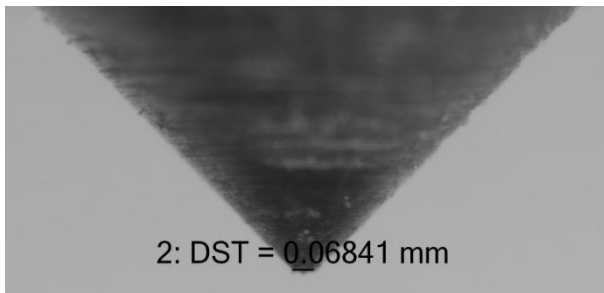
Εικόνα Π.2.142. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 19/Διάμετρος 2η



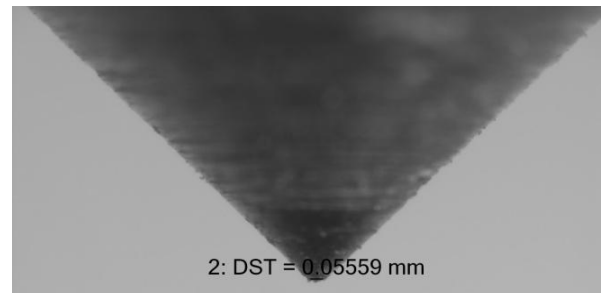
Εικόνα Π.2.143. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 19/Διάμετρος 1η



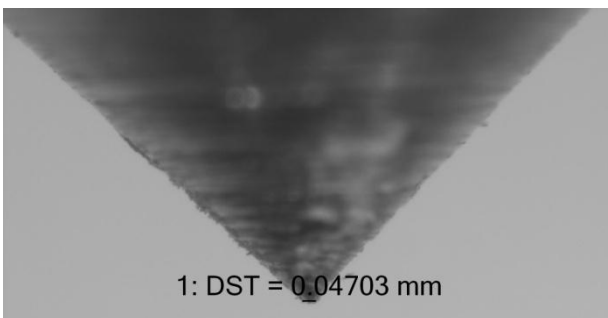
Εικόνα Π.2.144. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 19/Διάμετρος 2η



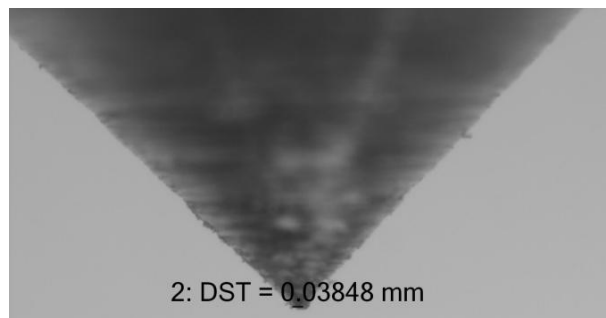
Εικόνα Π.2.145. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 19/Διάμετρος 1η



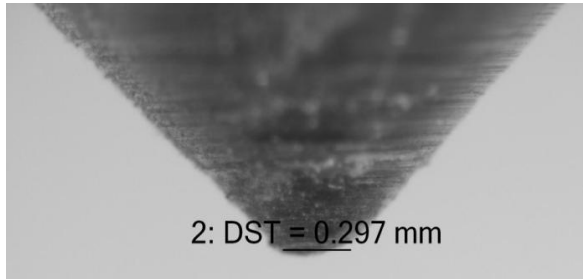
Εικόνα Π.2.146. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 19/Διάμετρος 2η



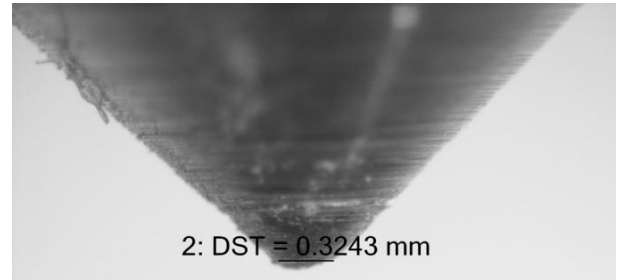
Εικόνα Π.2.147. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 20/Διάμετρος 1η



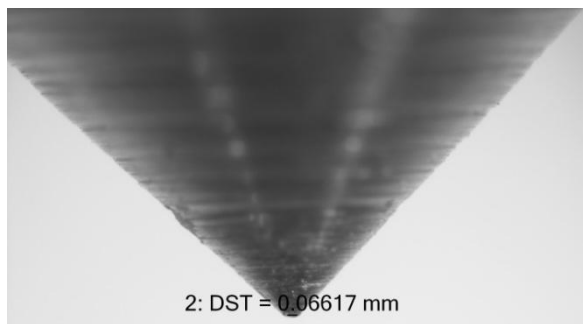
Εικόνα Π.2.148. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 20/Διάμετρος 2η



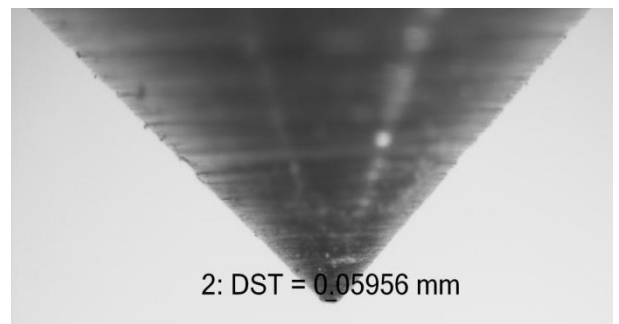
Εικόνα Π.2.149. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 20/Διάμετρος 1η



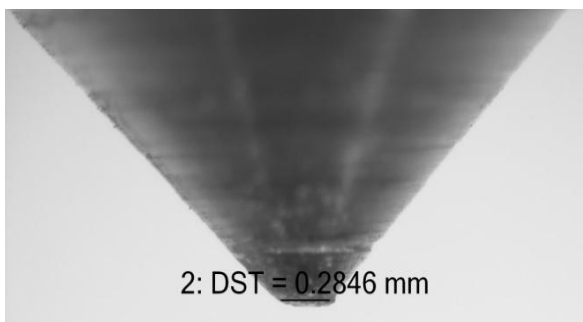
Εικόνα Π.2.150. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 20/Διάμετρος 2η



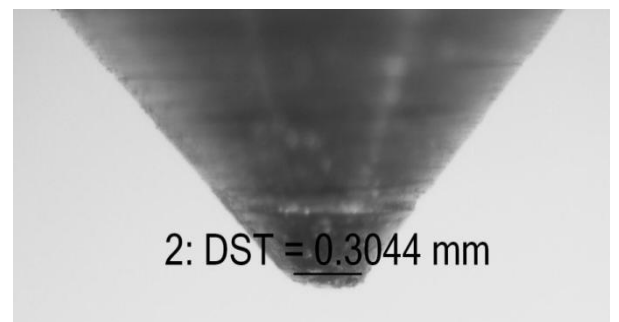
Εικόνα Π.2.150. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 20/Διάμετρος 1η



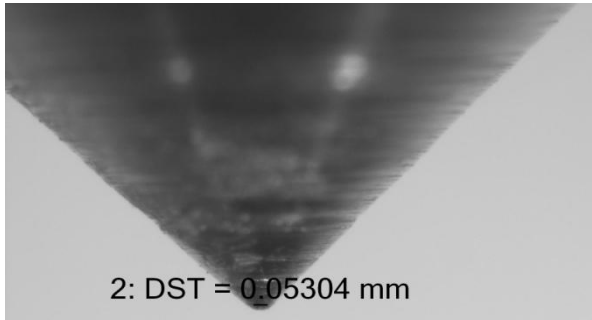
Εικόνα Π.2.151. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 20/Διάμετρος 2η



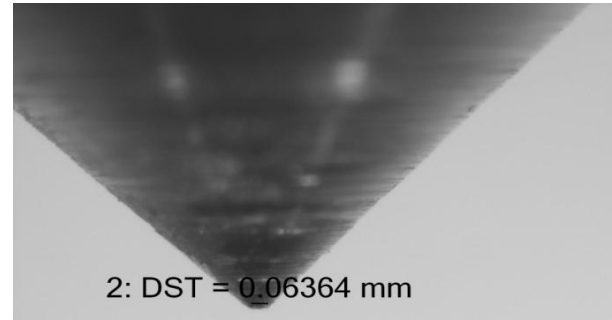
Εικόνα Π.2.152. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 20/Διάμετρος 1η



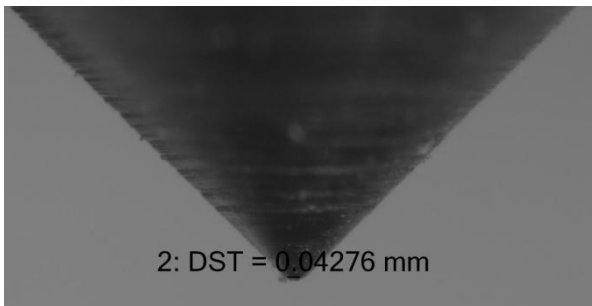
Εικόνα Π.2.153. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 20/Διάμετρος 2η



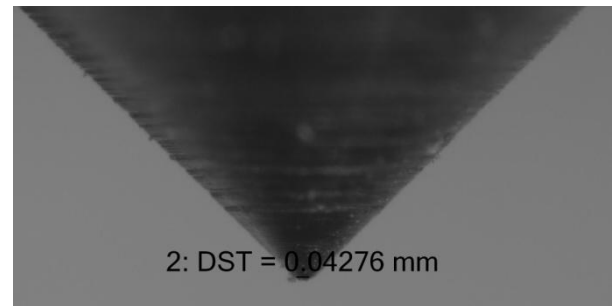
Εικόνα Π.2.154. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 20/Διάμετρος 1η



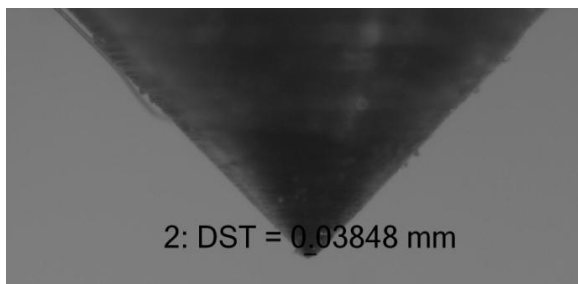
Εικόνα Π.2.155. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 20/Διάμετρος 2η



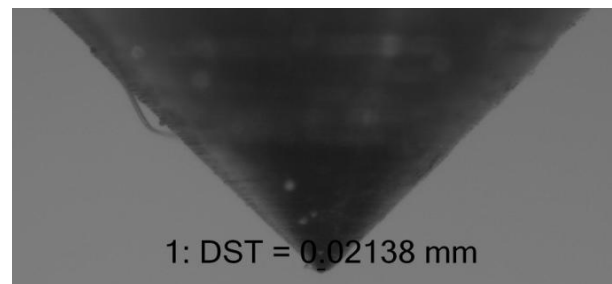
Εικόνα Π.2.156. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 21/Διάμετρος 1η



Εικόνα Π.2.157. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 21/Διάμετρος 2η

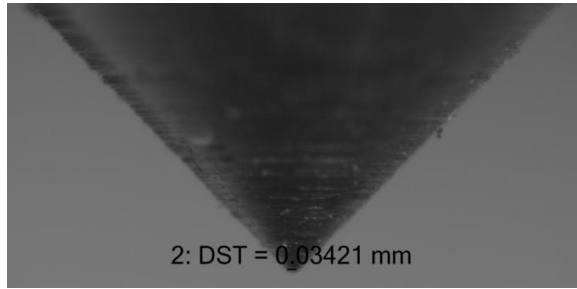


Εικόνα Π.2.158. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 21/Διάμετρος 1η

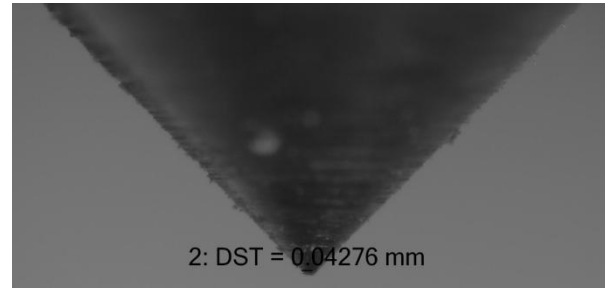


Εικόνα Π.2.159. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 21/Διάμετρος 2η

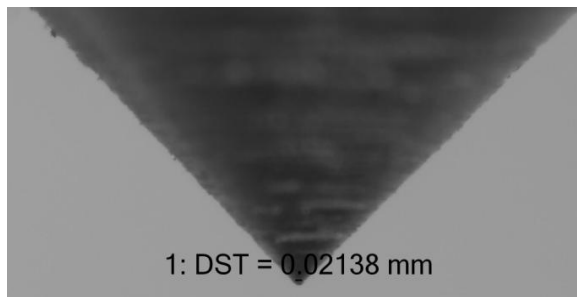




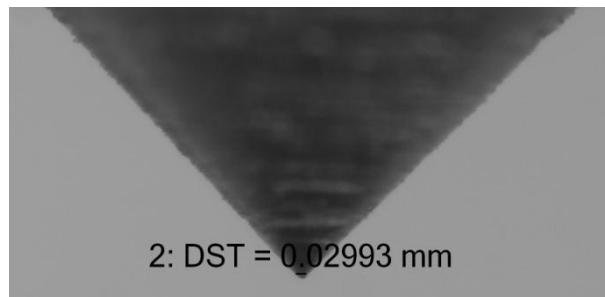
Εικόνα Π.2.160. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 21/Διάμετρος 1η



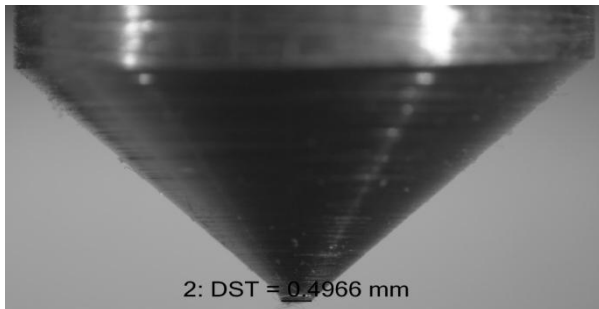
Εικόνα Π.2.161 Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 21/Διάμετρος 2η



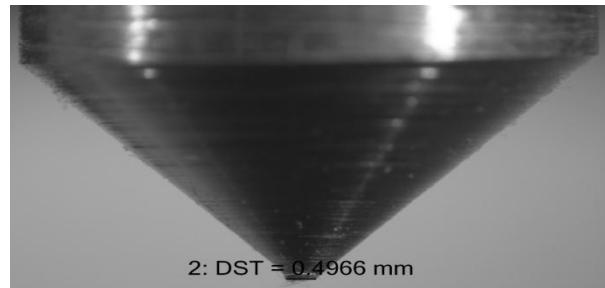
Εικόνα Π.2.162. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 22/Διάμετρος 1η



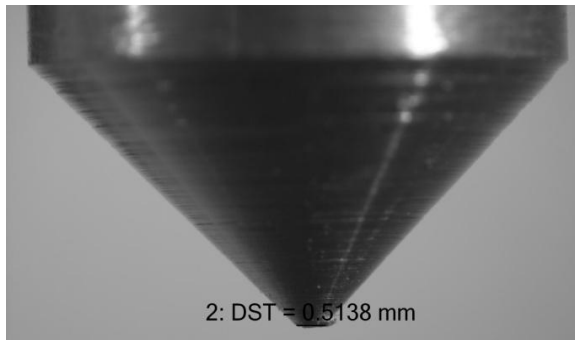
Εικόνα Π.2.163. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 22/Διάμετρος 2η



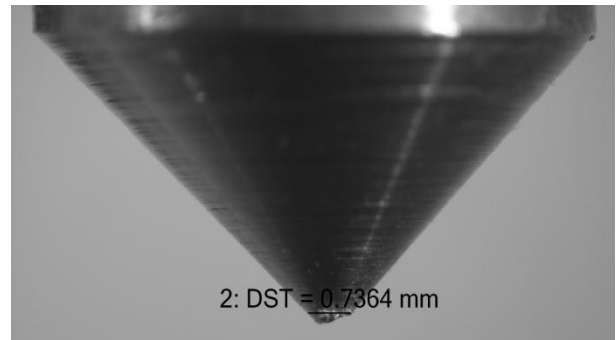
Εικόνα Π.2.164. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 25/Διάμετρος 1η



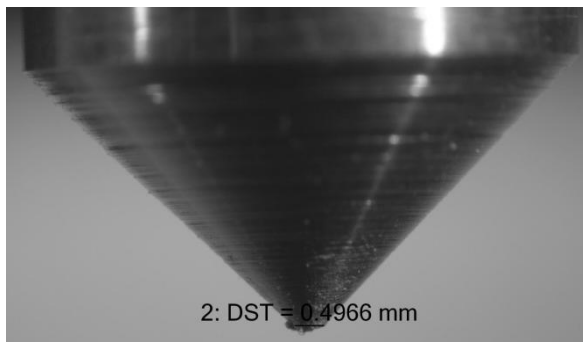
Εικόνα Π.2.165. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 25/Διάμετρος 2η



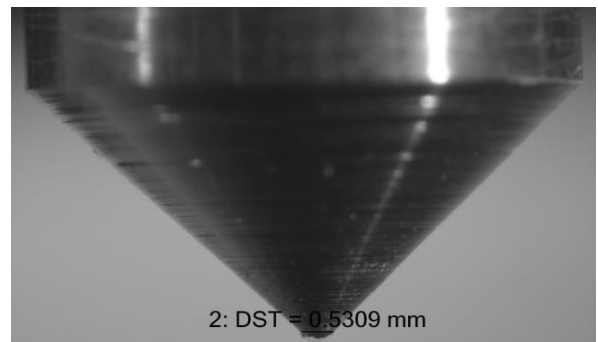
Εικόνα Π.2.166. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 25/Διάμετρος 1η



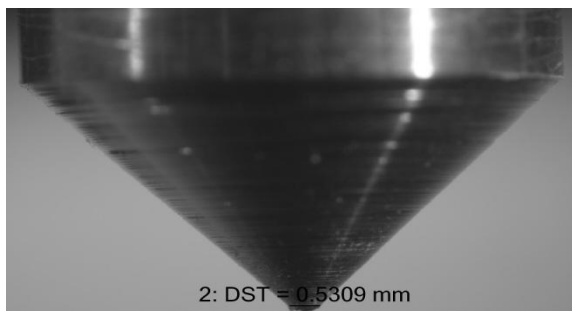
Εικόνα Π.2.167. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 25/Διάμετρος 2η



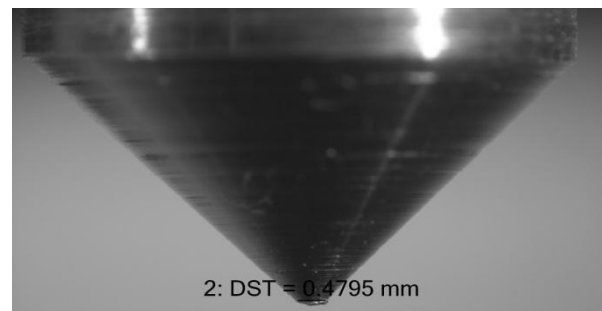
Εικόνα Π.2.168. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 25/Διάμετρος 1η



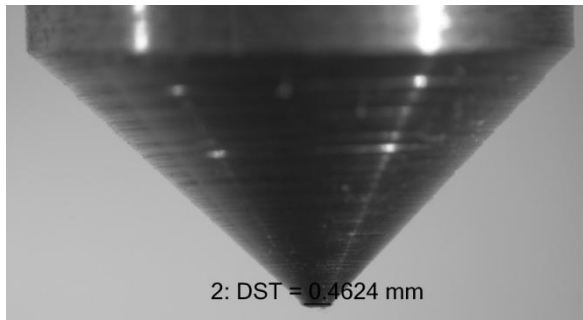
Εικόνα Π.2.169 Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 25/Διάμετρος 2η



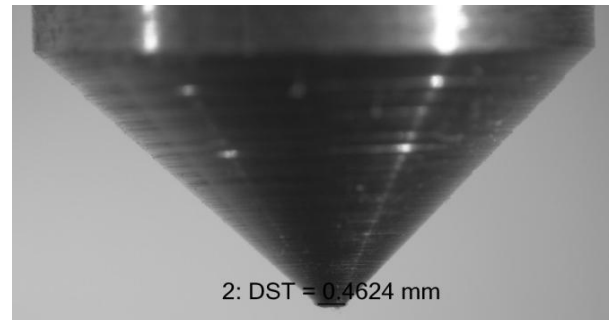
Εικόνα Π.2.170. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 25/Διάμετρος 1η



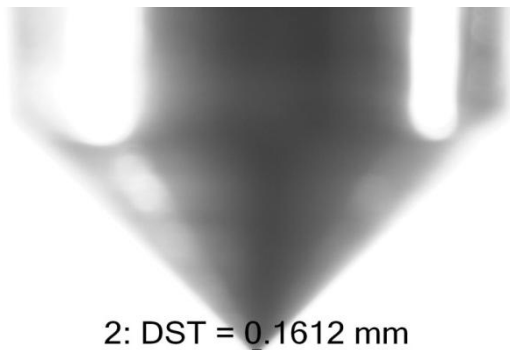
Εικόνα Π.2.171. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 25/Διάμετρος 2η



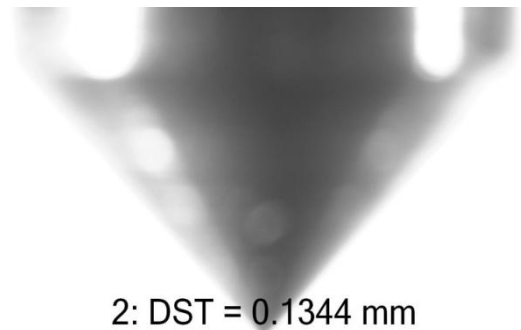
Εικόνα Π.2.172. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 25/Διάμετρος 1η



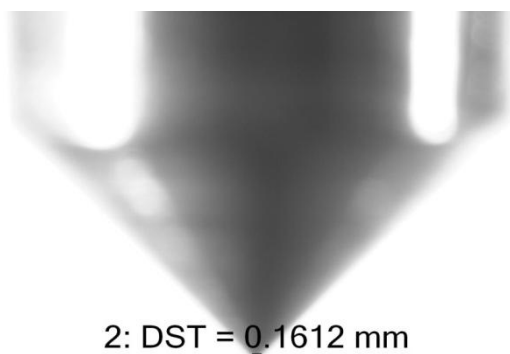
Εικόνα Π.2.173. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 25/Διάμετρος 2η



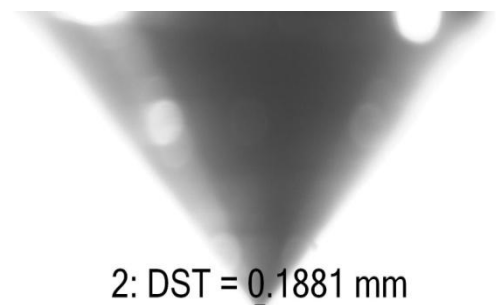
Εικόνα Π.2.174. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 27/Διάμετρος 1η



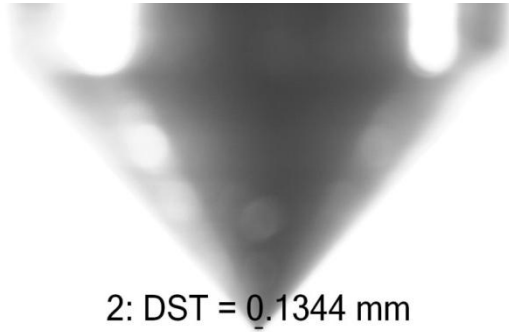
Εικόνα Π.2.175. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 27/Διάμετρος 2η



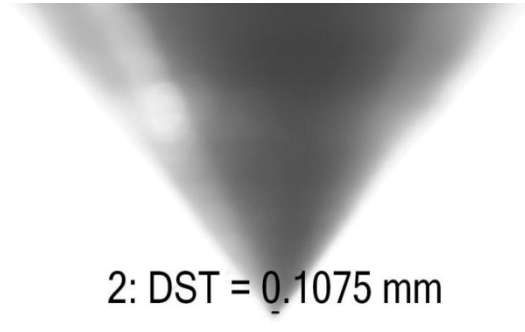
Εικόνα Π.2.176. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 27/Διάμετρος 1η



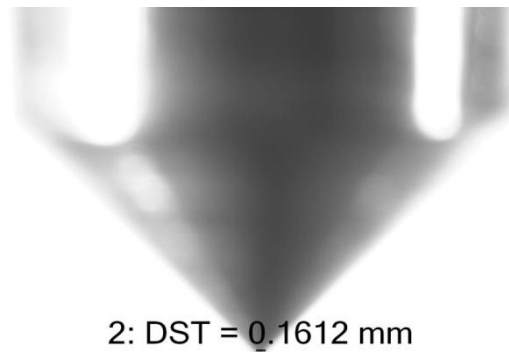
Εικόνα Π.2.177 Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 27/Διάμετρος 2η



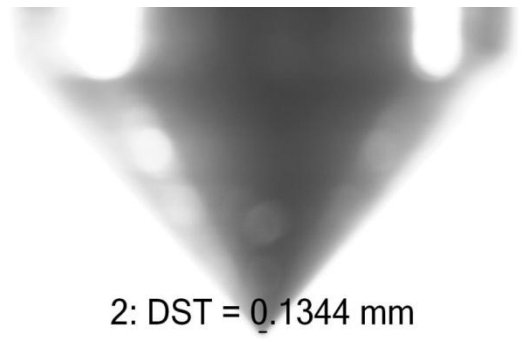
Εικόνα Π.2.178. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 27/Διάμετρος 1η



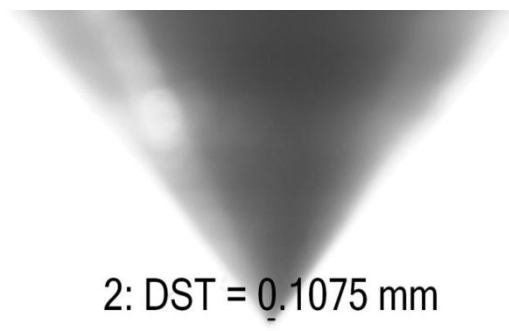
Εικόνα Π.2.179. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 27/Διάμετρος 2η



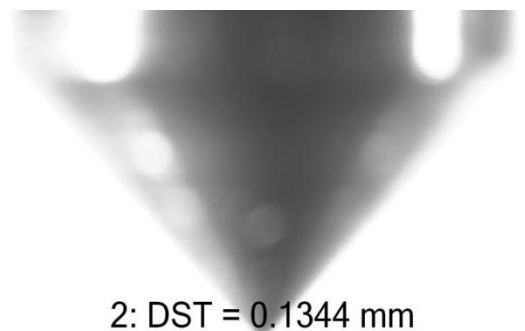
Εικόνα Π.2.180. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 27/Διάμετρος 1η



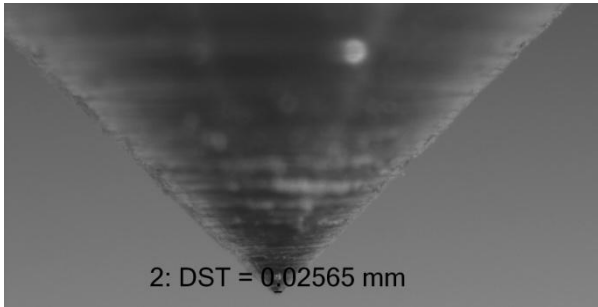
Εικόνα Π.2.182. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 27/Διάμετρος 2η



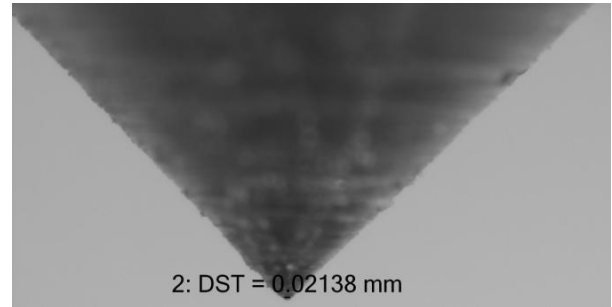
Εικόνα Π.2.183. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 27/Διάμετρος 1η



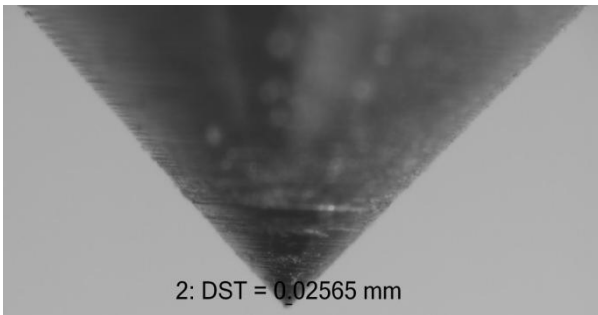
Εικόνα Π.2.184. Πέμπτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 27/Διάμετρος 2η



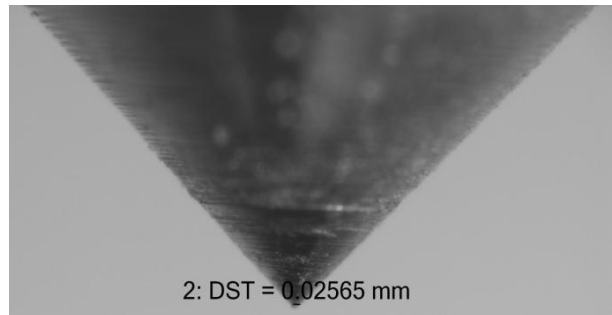
Εικόνα Π.2.185. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 29/Διάμετρος 1η



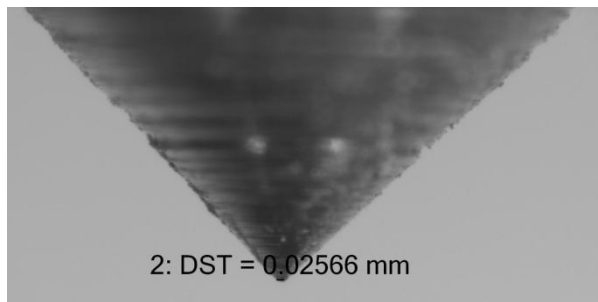
Εικόνα Π.2.186 Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 29/Διάμετρος 2η



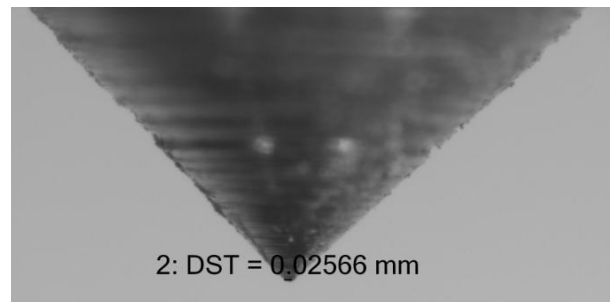
Εικόνα Π.2.187. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 29/Διάμετρος 1η



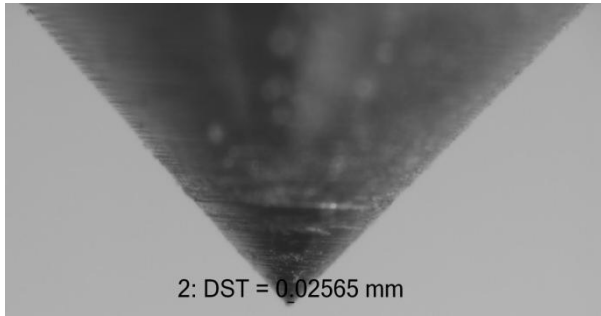
Εικόνα Π.2.188. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 29/Διάμετρος 2η



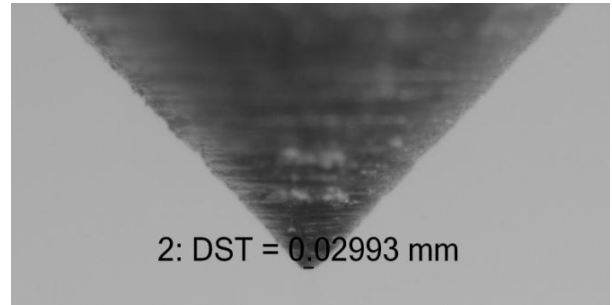
Εικόνα Π.2.189. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 29/Διάμετρος 1η



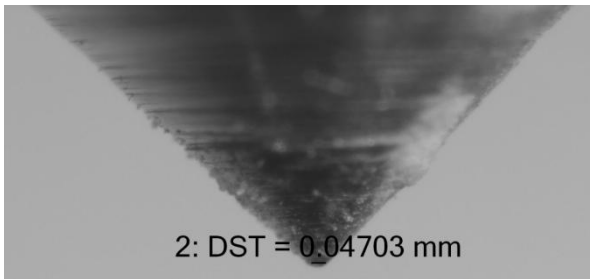
Εικόνα Π.2.190. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 29/Διάμετρος 2η



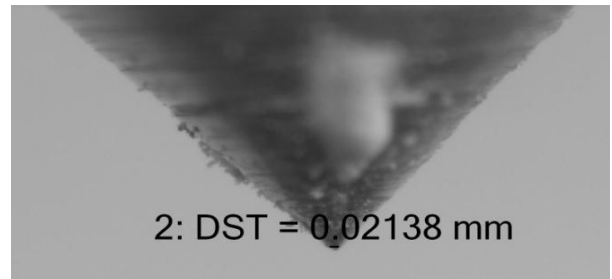
Εικόνα Π.2.191. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 29/Διάμετρος 1η



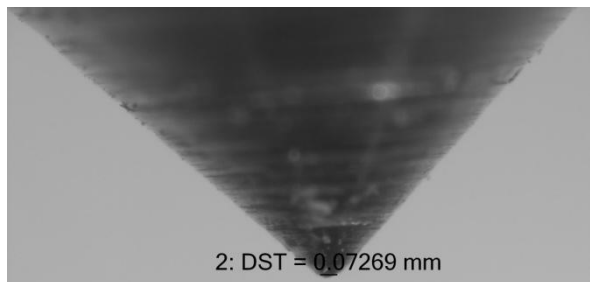
Εικόνα Π.2.192. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 29/Διάμετρος 2η



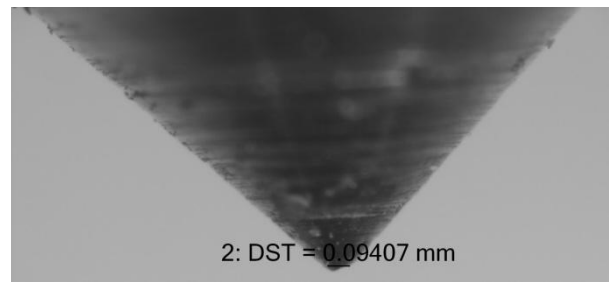
Εικόνα Π.2.193. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 30/Διάμετρος 1η



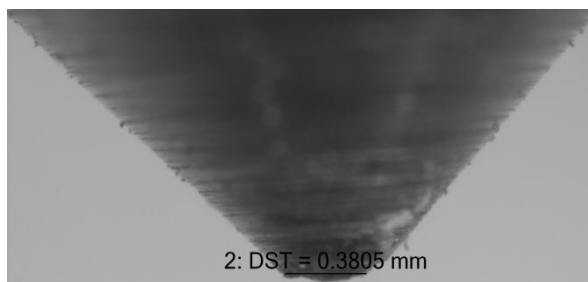
Εικόνα Π.2.194. Πρώτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 30/Διάμετρος 2η



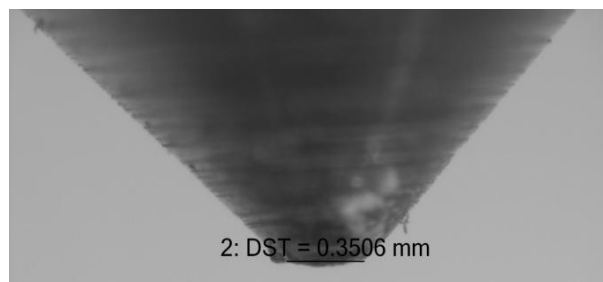
Εικόνα Π.2.195. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 30/Διάμετρος 1η



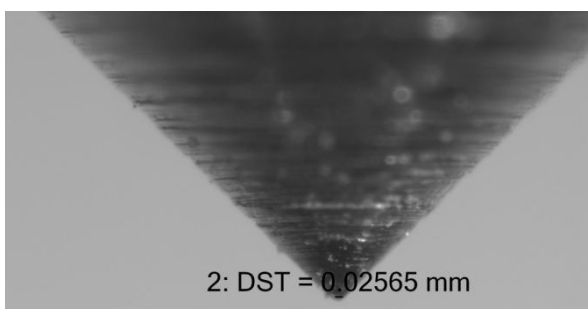
Εικόνα Π.2.196. Δεύτερη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 30/Διάμετρος 2η



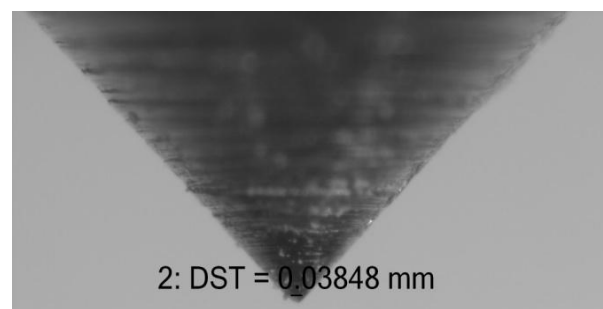
Εικόνα Π.2.197. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 30/Διάμετρος 1η



Εικόνα Π.2.198. Τρίτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 30/Διάμετρος 2η



Εικόνα Π.2.199. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 30/Διάμετρος 1η



Εικόνα Π.2.200. Τέταρτη φθαρμένη ακίδα στο δοκίμιο 30/Διάμετρος 2η