



**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών  
«Σχεδιασμός και Κατασκευή Τεχνικών Έργων»**

**Πειραματική διερεύνηση της σκληρότητας άρρηκτων πετρωμάτων με τη  
μέθοδο διείσδυσης Brinell**

**Αργυρώ Παπαϊωάννου**

**Πτυχιούχος Πολιτικός Μηχανικός Τ.Ε.**

**Σίνδος**

**Φεβρουάριος 2023**

# Πειραματική διερεύνηση της σκληρότητας άρρηκτων πετρωμάτων με τη μέθοδο διεΐσδυσης Brinell

Αργυρώ Παπαϊωάννου

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Παπαλιάγκας Θεοδόσιος, Ομότιμος Καθηγητής, Επιβλέπων

Αναγνωστόπουλος Κωνσταντίνος, Καθηγητής, Μέλος

Κωνσταντινίδης Δημήτριος, Καθηγητής, Μέλος

Σίνδος

Φεβρουάριος 2023

©Αργυρώ Παπαϊωάννου, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται ο τίτλος και το όνομα του συγγραφέα καθώς και το ΔΙ.ΠΑ.Ε. όπου εκπονήθηκε.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο εργαστήριο Γεωμηχανικής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος κατά το ακαδημαϊκό έτος 2022 – 2023 στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Σχεδιασμός και Κατασκευή Τεχνικών Έργων».

Με την ολοκλήρωση της διατριβής θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Παπαλιάγκα Θεοδόσιο για την ανάθεση του θέματος, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθώς και τη συνεχή καθοδήγηση σε όλα τα στάδια εκπόνησης της διατριβής αυτής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδάκτορα Τσικρίκη Αναστάσιο για την πολύτιμη βοήθειά του και για τον χρόνο που αφιέρωσε για τη διαμόρφωση των δειγμάτων και στις εργαστηριακές δοκιμές, καθώς και το εργαστήριο Γεωμηχανικής του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Δι.ΠΑ.Ε. και όλους τους συντελεστές του, που παρείχαν τα μηχανήματα και τις υποδομές για την υλοποίηση του πειραματικού σκέλους της διατριβής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τον σύντροφό μου, για την αμέριστη υποστήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	1
1. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....	3
1.1 ΓΕΝΙΚΑ .....	3
1.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	5
1.2.1 Μέθοδος Brinell .....	5
1.2.2 Μέθοδος Rockwell .....	6
1.2.3 Μέθοδος Vickers .....	6
1.2.4 Μέθοδος Knoop .....	7
1.2.5 Κρουσίμετρο Schmidt .....	7
1.2.6 Σκληροσκόπιο Shore .....	10
2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	11
2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	11
2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ .....	32
2.3 ΔΟΚΙΜΗ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ BRINELL (ASTM E10) .....	33
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ .....	38
3.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ BRINELL.....	39
3.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ .....	65
3.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ BRINELL.....	113
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	117
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	119
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	121



## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Η εμπειρική κλίμακα Mohs ( <a href="http://www.geo.auth.gr/106/0_properties/hardness.htm">http://www.geo.auth.gr/106/0_properties/hardness.htm</a> ). .....	3
Πίνακας 2. Τιμές της σκληρότητας αντιπροσωπευτικών πετρωμάτων (Proctor, 1970). .....	3
Πίνακας 3. Ταξινόμηση του βραχώδους υλικού ανάλογα με τη σκληρότητά του (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2019). .....	9
Πίνακας 4. Συγκεντρωτικός πίνακας των εξεταζόμενων πετρωμάτων. ....	11
Πίνακας 5. Εμβαδομέτρηση Γρανίτη Αρναίας (Τσικρίκης, 2015). .....	12
Πίνακας 6. Ποσοστό λευκοκρατικών ορυκτών % (Τσικρίκης, 2015). .....	12
Πίνακας 7. Ορυκτολογική και χημική σύσταση Γρανοδιορίτη (Ab-d-Allah et al., 2014 & Kol'tson, 2013). .....	13
Πίνακας 8. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Γρανοδιορίτη (Gomah et al., 2021).....	13
Πίνακας 9. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Ασβεστόλιθου Μεσαίου (Τσικρίκης, 2015). .....	14
Πίνακας 10. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Ασβεστόλιθου ( <a href="https://www.academia.edu/11169854/Chapter_4_Properties_of_Rock_Materials">https://www.academia.edu/11169854/Chapter_4_Properties_of_Rock_Materials</a> ). .....	15
Πίνακας 11. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Ασβεστόλιθου Γρεβενών (Τζιλίνη, 2020). .....	16
Πίνακας 12. Πετρογραφική περιγραφή του Ασβεστόλιθου Ιντιάνα (Vajdova et al., 2012). .....	17
Πίνακας 13. Ορυκτολογική και χημική σύσταση Ψαμμίτη Δεματίου (Τσικρίκης, 2015). .....	17
Πίνακας 14. Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά Ψαμμίτη Δεματίου (Τσικρίκης, 2015).....	18
Πίνακας 15. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Ψαμμίτη Γρεβενών I (Τζιλίνη, 2020).....	19
Πίνακας 16. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Ψαμμίτη Γρεβενών II (Τζιλίνη, 2020).....	20
Πίνακας 17. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) του Berea Sandstone (El-Monier et al, 2015). ....	21
Πίνακας 18. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Berea Sandstone (Katsman et al, 2009). .....	21
Πίνακας 19. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Μαρμάρου Καβάλας (Ι.Γ.Μ.Ε.). .....	22
Πίνακας 20. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Μαρμάρου Καβάλας (Ι.Γ.Μ.Ε.). .....	22
Πίνακας 21. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Μαρμάρου Θάσου (Ι.Γ.Μ.Ε.). .....	23
Πίνακας 22. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Μαρμάρου Θάσου (Ι.Γ.Μ.Ε.). .....	23
Πίνακας 23. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Μαρμάρου Βέροιας (Ι.Γ.Μ.Ε.). .....	24
Πίνακας 24. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Μαρμάρου Βέροιας (Ι.Γ.Μ.Ε.). .....	24
Πίνακας 25. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Μαρμάρου Διονύσου (Ι.Γ.Μ.Ε.). .....	25
Πίνακας 26. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Μαρμάρου Διονύσου (Ι.Γ.Μ.Ε.). .....	25
Πίνακας 27. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Μαρμάρου Νευροκοπίου (Ι.Γ.Μ.Ε.). .....	26
Πίνακας 28. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Μαρμάρου Νευροκοπίου (Ι.Γ.Μ.Ε.). .....	26
Πίνακας 29. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Μαρμάρου Γρανίτη Δράμας (Ι.Γ.Μ.Ε.). .....	27
Πίνακας 30. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Μαρμάρου Γρανίτη Δράμας (Ι.Γ.Μ.Ε.). .....	27
Πίνακας 31. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Σχιστόλιθου Καβάλας (Ι.Γ.Μ.Ε.). .....	28
Πίνακας 32. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Σχιστόλιθου Καβάλας (Ι.Γ.Μ.Ε.). .....	29
Πίνακας 33. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Σερπεντινίτη Γρεβενών (Τζιλίνη, 2020). .....	30
Πίνακας 34. Φυσικές ιδιότητες γυψοκονιάματος Rocanit 0,08 (Protechno). .....	31
Πίνακας 35. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Τσιμεντοκονιάματος (Αρμαανίδης, 2002). .....	31
Πίνακας 36. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για τον Γρανίτη Αρναίας. ....	39

Πίνακας 37. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για τον Γρανοδιορίτη Σερρών.....	40
Πίνακας 38. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για τον Γρανοδιορίτη Καβάλας. ....	41
Πίνακας 39. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για τον Πορφύρη Χαλκιδικής.....	42
Πίνακας 40. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για τον Ασβεστόλιθο Μεσαίου.....	43
Πίνακας 41. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για τον Ασβεστόλιθο Γρεβενών.....	44
Πίνακας 42. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για τον Indiana Limestone.....	45
Πίνακας 43. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για τον Ψαμμίτη Δεματίου. ....	46
Πίνακας 44. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών I.....	47
Πίνακας 45. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών II.....	48
Πίνακας 46. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για τον Berea Sandstone.....	49
Πίνακας 47. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Καβάλας. ....	50
Πίνακας 48. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Θάσου. ....	51
Πίνακας 49. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Βεροίας.....	52
Πίνακας 50. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Διονύσου.....	53
Πίνακας 51. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Νευροκοπίου.....	54
Πίνακας 52. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας.....	55
Πίνακας 53. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για τον Σχιστόλιθο Χαλκιδικής.....	56
Πίνακας 54. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για τον Σχιστόλιθο Καβάλας. ....	57
Πίνακας 55. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για τον Πρασινοσχιστόλιθο.....	58
Πίνακας 56. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για τον Σερπεντινίτη Γρεβενών. ....	59
Πίνακας 57. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείδυσης δοκιμής Brinell για το Γυψοκονίαμα. ....	60

Πίνακας 58. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για το Τσιμεντοκονίαμα.....	61
Πίνακας 59. Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων δοκιμής σκληρότητας Brinell με τη μέτρηση του βάθους διείσδυσης για όλα τα εξεταζόμενα πετρώματα.....	63
Πίνακας 60. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Γρανίτη Αρναίας. ....	65
Πίνακας 61. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Γρανοδιορίτη Σερρών. ....	67
Πίνακας 62. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Γρανοδιορίτη Καβάλας. ....	69
Πίνακας 63. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Πορφύρη Χαλκιδικής.....	71
Πίνακας 64. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Ασβεστόλιθο Μεσαίου.....	73
Πίνακας 65. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Ασβεστόλιθο Γρεβενών.....	75
Πίνακας 66. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Indiana Limestone.....	77
Πίνακας 67. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Ψαμμίτη Δεματίου. ....	79
Πίνακας 68. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών I.....	81
Πίνακας 69. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών II.....	83
Πίνακας 70. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Berea Sandstone.....	85
Πίνακας 71. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Καβάλας. ....	87
Πίνακας 72. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Θάσου. ....	89
Πίνακας 73. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Βεροίας.....	91
Πίνακας 74. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Διονύσου.....	93
Πίνακας 75. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Νευροκοπίου.....	95
Πίνακας 76. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας.....	97
Πίνακας 77. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Σχιστόλιθο Χαλκιδικής.....	99
Πίνακας 78. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Σχιστόλιθο Καβάλας. ....	101

Πίνακας 79. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Πρασινοσχιστόλιθο.....	103
Πίνακας 80. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Σερπεντινίτη Γρεβενών.....	105
Πίνακας 81. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για το Γυψοκονίαμα.....	107
Πίνακας 82. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για το Τσιμεντοκονίαμα.....	109
Πίνακας 83. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα δοκιμής διείσδυσης Brinell με τη μέθοδο μέτρησης της διαμέτρου του αποτυπώματος για όλα τα εξεταζόμενα πετρώματα.....	111
Πίνακας 84. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα δοκιμών σκληρότητας Brinell.....	114
Πίνακας Π. 1. Φωτογραφίες δειγμάτων Γρανίτη Αρναίας πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell.	122
Πίνακας Π. 2. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Γρανίτη Αρναίας.....	123
Πίνακας Π. 3. Φωτογραφίες δειγμάτων Γρανοδιορίτη Ορειν. Σερρών πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell.....	124
Πίνακας Π. 4. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Γρανοδιορίτη Σερρών.....	125
Πίνακας Π. 5. Φωτογραφίες δειγμάτων Γρανοδιορίτη Καβάλας πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell.....	126
Πίνακας Π. 6. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Γρανοδιορίτη Καβάλας.....	127
Πίνακας Π. 7. Φωτογραφίες δειγμάτων Πορφύρη Χαλκιδικής πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell.....	128
Πίνακας Π. 8. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Πορφύρη Χαλκιδικής.....	129
Πίνακας Π. 9. Φωτογραφίες δειγμάτων Ασβεστόλιθου Μεσαίου πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell.....	130
Πίνακας Π. 10. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Ασβεστόλιθο Μεσαίου.....	131
Πίνακας Π. 11. Φωτογραφίες δειγμάτων Ασβεστόλιθου Γρεβενών πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell.....	132
Πίνακας Π. 12. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ασβεστόλιθο Γρεβενών.....	133
Πίνακας Π. 13. Φωτογραφίες δειγμάτων Indiana Limestone πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell.....	134
Πίνακας Π. 14. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Indiana Limestone.....	135
Πίνακας Π. 15. Φωτογραφίες δειγμάτων Ψαμμίτη Δεματίου πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell.....	136

Πίνακας Π. 16. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ψαμμίτη Δεματίου.....	137
Πίνακας Π. 17. Φωτογραφίες δειγμάτων Ψαμμίτη Γρεβενών Ι πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell.....	139
Πίνακας Π. 18. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών Ι.....	140
Πίνακας Π. 19. Φωτογραφίες δειγμάτων Ψαμμίτη Γρεβενών ΙΙ πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell.....	142
Πίνακας Π. 20. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών ΙΙ.....	143
Πίνακας Π. 21. Φωτογραφίες δειγμάτων Berea Sandstone πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell.....	144
Πίνακας Π. 22. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Berea Sandstone.....	145
Πίνακας Π. 23. Φωτογραφίες δειγμάτων Μαρμάρου Καβάλας πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell.....	146
Πίνακας Π. 24. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Καβάλας.....	147
Πίνακας Π. 25. Φωτογραφίες δειγμάτων Μαρμάρου Θάσου πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell.....	148
Πίνακας Π. 26. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Θάσου.....	149
Πίνακας Π. 27. Φωτογραφίες δειγμάτων Μαρμάρου Βεροίας πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell.....	150
Πίνακας Π. 28. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Βεροίας.....	151
Πίνακας Π. 29. Φωτογραφίες δειγμάτων Μαρμάρου Διονύσου πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell.....	153
Πίνακας Π. 30. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Διονύσου.....	154
Πίνακας Π. 31. Φωτογραφίες δειγμάτων Μαρμάρου Νευροκοπίου πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell.....	155
Πίνακας Π. 32. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος της δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Νευροκοπίου.....	156
Πίνακας Π. 33. Φωτογραφίες δειγμάτων Μαρμάρου Γρανίτη Δράμας πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell.....	158
Πίνακας Π. 34. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας.....	159
Πίνακας Π. 35. Φωτογραφίες δειγμάτων Σχιστόλιθου Χαλκιδικής πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell.....	160
Πίνακας Π.36. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Σχιστόλιθο Χαλκιδικής.....	161

Πίνακας Π. 37. Φωτογραφίες δειγμάτων Σχιστόλιθου Καβάλας πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell. ....	162
Πίνακας Π. 38. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Σχιστόλιθο Καβάλας.....	163
Πίνακας Π. 39. Φωτογραφίες δειγμάτων Πρασινοσχιστόλιθου πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell. ....	164
Πίνακας Π. 40. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Πρασινοσχιστόλιθο. ....	165
Πίνακας Π. 41. Φωτογραφίες δειγμάτων Σερπεντινίτη Γρεβενών πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell. ....	166
Πίνακας Π. 42. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Σερπεντινίτη Γρεβενών. ....	167
Πίνακας Π. 43. Φωτογραφίες δειγμάτων Γυψοκονιάματος πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell. ....	168
Πίνακας Π. 44. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Γυψοκονίαμα. ....	169
Πίνακας Π. 45. Φωτογραφίες δειγμάτων Τσιμεντοκονιάματος πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell. ....	170
Πίνακας Π. 46. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Τσιμεντοκονίαμα.....	171

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Περιθλασιόγραμμα του Ασβεστόλιθου Μεσαίου (Τσικρίκης, 2015). .....	15
Εικόνα 2. Περιθλασιόγραμμα Ασβεστόλιθου Γρεβενών (Τζιλίνη, 2020).....	16
Εικόνα 3. Περιθλασιόγραμμα Ψαμμίτη Δεματίου (Τσικρίκης, 2015).....	18
Εικόνα 4. Περιθλασιόγραμμα Ψαμμίτη Γρεβενών I (Τζιλίνη, 2020).....	19
Εικόνα 5. Περιθλασιόγραμμα Ψαμμίτη Γρεβενών II (Τζιλίνη, 2020).....	20
Εικόνα 6. Περιθλασιόγραμμα XRD για τον Berea Sandstone (Dahbag et al, 2015). .....	21
Εικόνα 7. Περιθλασιόγραμμα για το Μάρμαρο Θάσου (Ι.Γ.Μ.Ε.).....	23
Εικόνα 8. Περιθλασιόγραμμα για το Μάρμαρο Βέροιας (Ι.Γ.Μ.Ε.).....	24
Εικόνα 9. Περιθλασιόγραμμα για το Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας (Ι.Γ.Μ.Ε.).....	27
Εικόνα 10. Περιθλασιόγραμμα Σερπεντινίτη Γρεβενών (Τζιλίνη, 2020). .....	30
Εικόνα 11. Κοπή των άκρων του δοκιμίου με τη χρήση αδαμαντοτροχού (αριστερά) και συσκευής λείανσης δοκιμίων (δεξιά).....	32
Εικόνα 12. Πειραματική διάταξη δοκιμών σκληρότητας διείδυσης με την μέθοδο Brinell. ...	34
Εικόνα 13. Μικροσκόπιο Nikon SMZ25.....	34
Εικόνα 14. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (Α) και ελάχιστης (Β) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Γρανίτη Αρναίας. ....	66
Εικόνα 15. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (Α) και ελάχιστης (Β) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Γρανοδιορίτη Σερρών.....	68
Εικόνα 16. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (Α) και ελάχιστης (Β) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Γρανοδιορίτη Καβάλας.....	70
Εικόνα 17. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (Α) και ελάχιστης (Β) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Πορφύρη Χαλκιδικής.....	72
Εικόνα 18. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (Α) και ελάχιστης (Β) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ασβεστόλιθο Μεσαίου.....	74
Εικόνα 19. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (Α) και ελάχιστης (Β) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ασβεστόλιθο Γρεβενών.....	76
Εικόνα 20. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (Α) και ελάχιστης (Β) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Indiana Limestone. ....	78
Εικόνα 21. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (Α) και ελάχιστης (Β) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ψαμμίτη Δεματίου. ....	80
Εικόνα 22. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (Α) και ελάχιστης (Β) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών I.....	82
Εικόνα 23. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (Α) και ελάχιστης (Β) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών II.....	84
Εικόνα 24. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (Α) και ελάχιστης (Β) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Berea Sandstone.....	86
Εικόνα 25. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (Α) και ελάχιστης (Β) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Καβάλας.....	88
Εικόνα 26. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (Α) και ελάχιστης (Β) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Θάσου. ....	90

Εικόνα 27. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Βεροίας.....	92
Εικόνα 28. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Διονύσου.....	94
Εικόνα 29. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Νευροκοπίου. ....	96
Εικόνα 30. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας.....	98
Εικόνα 31. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Σχιστόλιθο Χαλκιδικής.....	100
Εικόνα 32. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Σχιστόλιθο Καβάλας. ....	102
Εικόνα 33. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Πρασινοσχιστόλιθο. ....	104
Εικόνα 34. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Σερπεντινίτη Γρεβενών.....	106
Εικόνα 35. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για το Γυψοκονίαμα.....	108
Εικόνα 36. Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για το Τσιμεντοκονίαμα.....	110



## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας διείδυσης και της κλίμακας Mohs (Sundararagan & Roy). .....	4
Σχήμα 2. Μέθοδοι μέτρησης της σκληρότητας των πετρωμάτων. ....	5
Σχήμα 3. Σχέση αντοχής σε μονοαξονική θλίψη με τη σκληρότητα Schmidt, Deere and Miller (1966) (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2019). .....	8
Σχήμα 4. Σχέση ξηρής πυκνότητας ( $\rho_d$ ) και σκληρότητας (SHV) για ασβεστολιθικά πετρώματα του Ελληνικού χώρου (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2019). ....	8
Σχήμα 5. Σχέση ταχυτήτων υπερήχων ( $V_p$ και $V_s$ ) και σκληρότητας (SHV) για ασβεστολιθικά πετρώματα (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2019). .....	9
Σχήμα 6. Σχηματική απεικόνιση της σφαίρας του διειδυτή και του βάθους διείδυσης.....	35
Σχήμα 7. Συγκριτική απεικόνιση της σκληρότητας Brinell με βάση τη μετρηθείσα διείδυση και τη μετρηθείσα διάμετρο του αποτυπώματος του συνόλου των εξεταζόμενων πετρωμάτων. ....	116
Σχήμα 8. Απεικόνιση της σκληρότητας Brinell με βάση τη μετρηθείσα διάμετρο του αποτυπώματος του συνόλου των εξεταζόμενων πετρωμάτων.....	116

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι ο προσδιορισμός της σκληρότητας άρρηκτων πετρωμάτων με τη μέθοδο διείδυσης Brinell. Η δοκιμή αυτή συνίσταται στη συμπίεση, πάνω στο δοκίμιο, χαλύβδινου σφαιρικού διείδυτη διαμέτρου  $D$ , με φορτίο  $F$  για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και τη μέτρηση της μέσης διαμέτρου  $d$  του σχηματιζόμενου αποτυπώματος στην επιφάνεια του δοκίμιου μετά την άρση του φορτίου. Από την εφαρμογή της δοκιμής αυτής προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα για την επίδραση της ορυκτολογικής σύστασης και του φορτίου διείδυσης στην τιμή της σκληρότητας καθώς και η συσχέτισή της με άλλες μηχανικές παραμέτρους, όπως η αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη και το μέτρο ελαστικότητας.

Το πρόγραμμα εργαστηριακών δοκιμών περιελάμβανε μία σειρά από δοκιμές διείδυσης Brinell σε πρισματικά και κυλινδρικά δοκίμια τα οποία διαμορφώθηκαν από μεγαλύτερα τεμάχια φυσικών πετρωμάτων. Εξετάστηκαν είκοσι ένα πετρώματα και από τις τρεις κατηγορίες πετρωμάτων (πυριγενή, ιζηματογενή, μεταμορφωμένα) για την κάλυψη όσο το δυνατόν μεγαλύτερου εύρους σκληρότητας. Συνολικά εκτελέστηκαν 263 δοκιμές διείδυσης Brinell. Όλες οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με εφαρμογή σταθερού φορτίου 500 kgf για 15 δευτερόλεπτα. Μετά το πέρας των δοκιμών, ακολούθησε η φωτογράφιση και η μέτρηση της διαμέτρου του αποτυπώματος με τη βοήθεια μικροσκοπίου Nikon SMZ25.

Από το σύνολο των δοκιμών σκληρότητας διείδυσης προέκυψε η σκληρότητα κάθε πετρώματος. Τα ιζηματογενή πετρώματα εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές σκληρότητας Brinell σε σχέση με τα πυριγενή. Η δοκιμή Brinell προβάλλει την απομείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών των πετρωμάτων. Επίσης, το πορώδες επηρεάζει σημαντικά την τιμή της σκληρότητας.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων των αποτυπωμάτων με το μικροσκόπιο προκύπτουν σημαντικές διαφορές στις τιμές του βάθους διείδυσης που μετρήθηκε με το καταγραφικό σε σχέση με αυτές που υπολογίστηκαν με βάση τη διάμετρο του αποτυπώματος που μετρήθηκε. Επομένως, οι τιμές της σκληρότητας κατά Brinell που προέκυψαν από τη μέτρηση του βάθους διείδυσης είναι μικρότερες σε σχέση με τις τιμές της σκληρότητας που υπολογίστηκαν με βάση τις μετρήσεις της διαμέτρου του αποτυπώματος, οι οποίες θεωρούνται πλέον αξιόπιστες.

## ABSTRACT

The aim of this thesis is the experimental investigation of hardness of intact rocks by the Brinell indentation method. This test consists of compressing, into the surface of a test piece, a steel spherical indenter of diameter  $D$ , with a load  $F$  for a certain period of time and measuring the diameter of the indentation  $d$  left in the surface after removal of the test force. The application of this test resulting useful conclusions for the effect of mineralogical composition and indentation load on hardness value as well as its correlation with other mechanical parameters such as uniaxial compressive strength and modulus of elasticity.

The testing program consisted of a series of Brinell penetration tests on prismatic and cylindrical specimens formed from larger blocks of intact rocks. Twenty – one rocks from all three rock categories (igneous, sedimentary, metamorphic) were examined to cover the maximum possible hardness range. The total number of Brinell penetration tests was 263. All tests were performed applying a constant load of 500 kgf for 15 sec. After the tests were completed, photographs were taken and the diameter of the impression was measured using a Nikon SMZ25 microscope.

From the set of penetration hardness tests the hardness of each rock was derived. Sedimentary rocks show lower Brinell hardness values than igneous rocks. The Brinell test projects the deterioration of the mechanical characteristics of rocks. Also, porosity significantly affects the hardness value.

According to the results of the measurements of the impressions with the microscope, there are significant differences in the values of the depth of penetration measured with the recorder in relation to those calculated based on the diameter of the impression measured.

Therefore, the Brinell hardness values obtained from the penetration depth measurement are lower than the hardness values calculated from the indentation diameter measurements, which are now considered reliable.

## 1. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

### 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η σκληρότητα αποτελεί ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των ορυκτών και των πετρωμάτων και αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της μηχανικής των πετρωμάτων. Η έννοια της σκληρότητας είναι μία από τις πιο διερευνημένες ιδιότητες των υλικών και είναι δύσκολο να κατανοηθεί (Ghorbani et al., 2012).

Ως σκληρότητα ορίζεται η αντίσταση που παρουσιάζουν τα ορυκτά κατά τη χάραξή τους. Για τον προσδιορισμό της σκληρότητας χρησιμοποιείται η εμπειρική κλίμακα Mohs, η οποία αποτελεί μία δεκαβάθμια κλίμακα που αντιπροσωπεύεται από δέκα τυπικά ορυκτά αυξανόμενης σκληρότητας, και παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.

**Πίνακας 1.** Η εμπειρική κλίμακα Mohs ([http://www.geo.auth.gr/106/0\\_properties/hardness.htm](http://www.geo.auth.gr/106/0_properties/hardness.htm)).

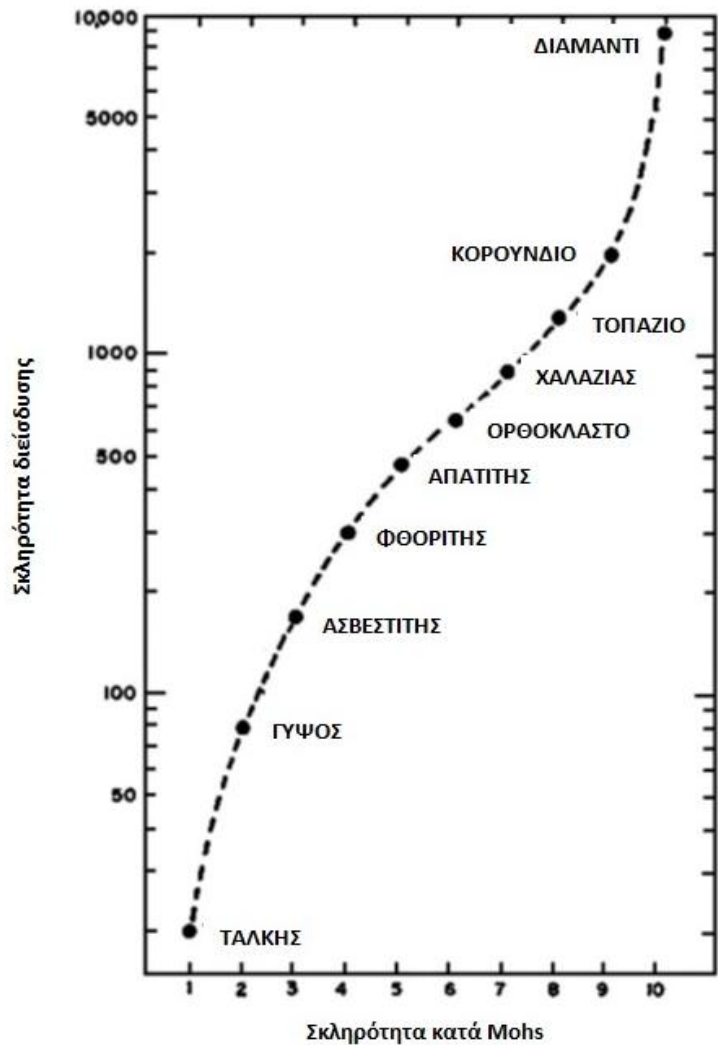
Κλίμακα Mohs	
1	Τάλκης [1]*
2	Γύψος [3]
3	Ασβεστίτης [9]
4	Φθορίτης [21]
5	Απατίτης [48]
6	Ορθόκλαστο [72]
7	Χαλαζίας [100]
8	Τοπάζιο [200]
9	Κορούνδιο [400]
10	Διαμάντι [1600]

\*Οι αριθμοί στις αγκύλες δείχνουν τη σκληρότητα σε απόλυτες αναλογίες.

**Πίνακας 2.** Τιμές της σκληρότητας αντιπροσωπευτικών πετρωμάτων (Proctor, 1970).

Πέτρωμα	Σκληρότητα κλίμακα Mohs
Γρανίτες, Γνεύσιοι	5,5 - 7,5
Βασάλτες	4,5 - 6,6
Αργιλικοί σχιστόλιθοι	1,5 - 3,5
Ψαμμίτες	1,5 - 7,5
Ασβεστόλιθοι, μάρμαρα	2,5 - 3,5
Δολομίτες	2,5 - 4,5
Φυλλίτες	2,5 - 5,5
Χαλαζίτες	6,5 - 7,5

Στο Σχήμα 1 δίνεται η συσχέτιση της σκληρότητας διείδυσης με την εμπειρική κλίμακα Mohs.



**Σχήμα 1.** Συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας διείδυσης και της κλίμακας Mohs (Sundararagan & Roy).

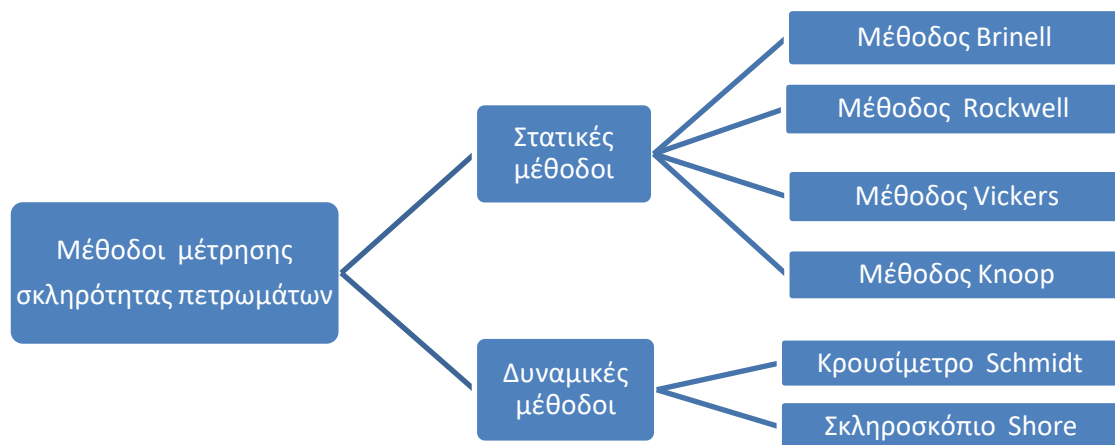
Η κλίμακα σκληρότητας Mohs είναι μία από τις πιο γνωστές και ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους μέτρησης της σκληρότητας των πετρωμάτων. Όταν όμως πρόκειται για άρρηκτο πέτρωμα, το οποίο συνίσταται από ορυκτά διαφορετικής σκληρότητας κατά Mohs, ο προσδιορισμός της σκληρότητας με τη χρήση αυτής της κλίμακας δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί και εφαρμόζονται άλλες μέθοδοι.

## 1.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

Έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι μέτρησης της σκληρότητας των πετρωμάτων, οι οποίες χωρίζονται σε δύο γενικές κατηγορίες:

1. Στατικές μέθοδοι
2. Δυναμικές μέθοδοι

Στις στατικές μεθόδους, το ασκούμενο φορτίο αυξάνεται σταδιακά και εφαρμόζεται ομοιόμορφα για χρονικό διάστημα που ορίζεται από τα πρότυπα και τους κανονισμούς. Στις δυναμικές μεθόδους, το φορτίο ασκείται απότομα και το εξεταζόμενο δείγμα υπόκειται σε κρούση.



Σχήμα 2. Μέθοδοι μέτρησης της σκληρότητας των πετρωμάτων.

### 1.2.1 Μέθοδος Brinell

Η μέθοδος προσδιορισμού της σκληρότητας των υλικών κατά Brinell επινοήθηκε και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1900 από τον Σουηδό μηχανικό Joan Brinell.

Συνίσταται στη συμπίεση, πάνω στο δοκίμιο, χαλύβδινου σφαιρικού διεισδυτή διαμέτρου  $D$ , με φορτίο  $F$  για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (10 – 15 sec.) και τη μέτρηση της μέσης διαμέτρου  $d$  του σχηματιζόμενου αποτυπώματος στην επιφάνεια του δοκιμίου μετά την άρση του φορτίου. Ο προσδιορισμός της σκληρότητας των πετρωμάτων με τη μέθοδο Brinell γίνεται με τον ίδιο τρόπο που αφορά τα μεταλλικά υλικά (Boutrid et al., 2015).

### 1.2.2 Μέθοδος Rockwell

Η μέθοδος Rockwell επινοήθηκε από τους Rockwell and Rockwell το 1914 και βασίζεται στην ίδια αρχή με εκείνη της μεθόδου Brinell.

Ως προς τη μορφή και το υλικό του διεισδυτή, η μέθοδος Rockwell διακρίνεται σε δύο περιπτώσεις: α) Δοκιμή B: όπου χρησιμοποιείται μία σφαίρα από βαμμένο χάλυβα διαμέτρου  $D = 1,5875 \text{ mm}$  και β) Δοκιμή C: όπου χρησιμοποιείται ένας κώνος από διαμάντι με γωνία ανοίγματος  $120^\circ$ .

Κατά τη δοκιμή Rockwell η φόρτιση ξεκινά με μία αρχική δύναμη 100 N, η οποία στη συνέχεια αυξάνεται κατά 900 N για τη δοκιμή B και κατά 1500 N για τη μέθοδο C. Η διάρκεια της επιπρόσθετης φόρτισης διαρκεί 10 δευτερόλεπτα και μετά την απομάκρυνσή της μετράται το βάθος διείσδυσης υπό την επίδραση της αρχικής φόρτισης. Η ανάγνωση του βάθους διείσδυσης αποτελεί το μέτρο σκληρότητας.

### 1.2.3 Μέθοδος Vickers

Η μέθοδος αυτή εισήχθει για πρώτη φορά το 1922 από τους Smith και Sandly ως εναλλακτική της μεθόδου Brinell.

Βασίζεται στη συμπίεση επάνω στο δοκίμιο με δύναμη  $F$ , μιας πυραμίδας με τετραγωνική βάση και γωνία ανοίγματος  $136^\circ$  κατασκευασμένη από διαμάντι. Η διάρκεια του αποτυπώματος είναι 10 – 15 sec για υλικά, στα οποία το μέγεθος του αποτυπώματος δεν μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το χρόνο.

Η σκληρότητα κατά Vickers είναι ο λόγος της δυνάμεως πίεσεως του σώματος διεισδύσεως προς την επιφάνεια του αποτυπώματος.

#### 1.2.4 Μέθοδος Κnoop

Η μέθοδος Κnoop επινοήθηκε από τους Κnoop et al. το 1939 και βασίζεται στην ίδια αρχή με εκείνη της μεθόδου Brinell.

Σε αυτή τη δοκιμή, η επιφάνεια του δείγματος δέχεται πίεση από έναν διεισδυτή, όπου η άκρη του αποτελείται από διαμάντι ρομβοειδούς σχήματος. Η αιχμή του διαμαντιού ασκεί δύναμη 1 gf έως 2 kgf για χρονικό διάστημα 10 – 15 sec. Μετά την αποφόρτιση το μήκος του διαγωνίου αποτυπώματος μετριέται με τη χρήση μικροσκοπίου. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα αποτυπώματα της διείσδυσης διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του πετρώματος και την εφαρμοζόμενη δύναμη (Ghorbani et al, 2022).

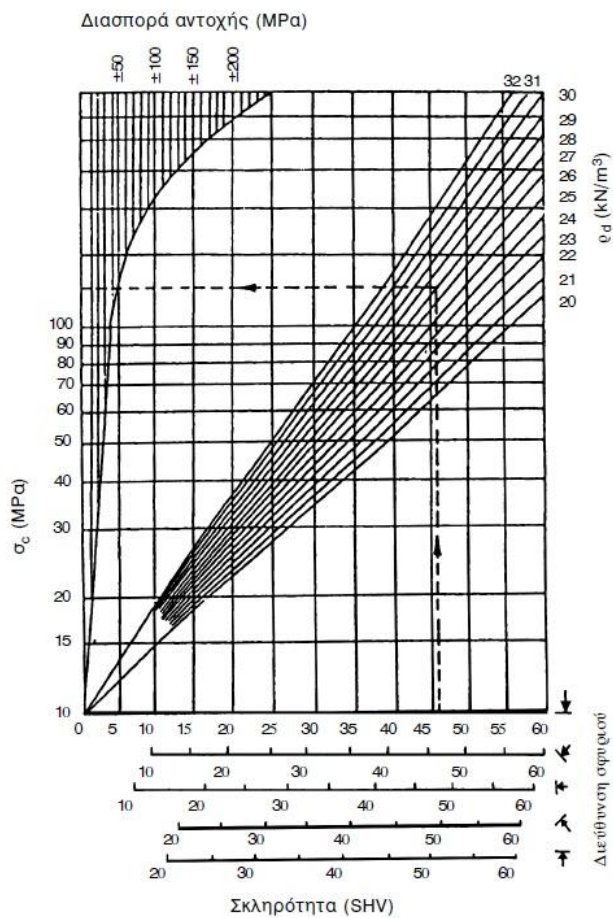
#### 1.2.5 Κρουσίμετρο Schmidt

Το σφυρί αναπήδησης Schmidt τύπου L, είναι εφοδιασμένο με μία τυποποιημένη κλίμακα ενδείξεων των «τιμών αναπήδησης», οι οποίες αντιστοιχούν στη σκληρότητα του πετρώματος.

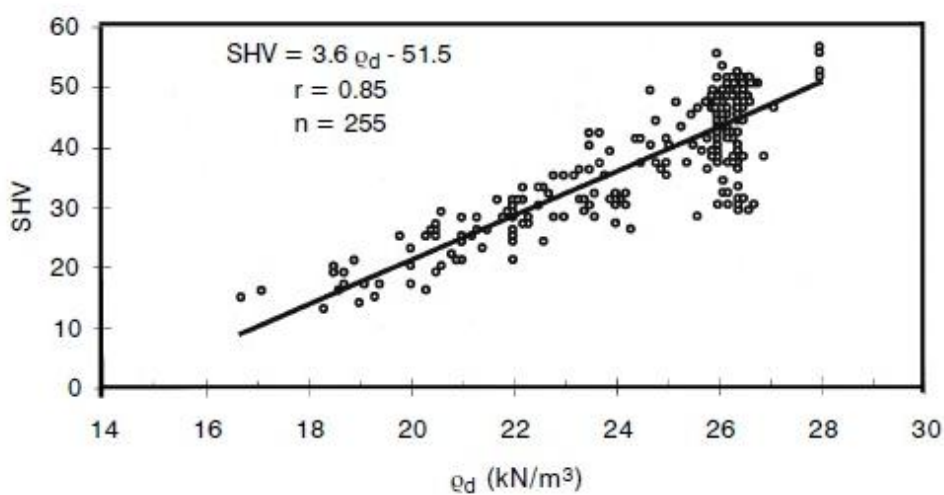
Σύμφωνα με τους Deere & Miller (1966), με την εκτίμηση της σκληρότητας είναι δυνατός ο έμμεσος προσδιορισμός της μηχανικής αντοχής του ακέραίου πετρώματος σε ανεμπόδιση θλίψη, με τη χρήση του νομογράμματος που παρουσιάζεται στην Εικόνα, στο οποίο συσχετίζεται η σκληρότητα (SHV) με την αντοχή και την πυκνότητα του πετρώματος σε ξηρή κατάσταση ( $\rho_d$ ). Στο διάγραμμα αυτό δίνεται σαν παράδειγμα εφαρμογής η εκτίμηση της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη ( $\sigma_c$ ) ακέραίου πετρώματος που παρουσιάζει σκληρότητα (SHV): 46 και ξηρή πυκνότητα ( $\rho_d$ ): 27 KN/m<sup>3</sup>. Η εκτιμώμενη τιμή αντοχής είναι περίπου 120 MPa με διασπορά  $\pm 50$  MPa (Κτενά, 2020).

Γενικά η σκληρότητα του ακέραίου πετρώματος εξαρτάται από το είδος και την αναλογία των ορυκτών που το συνιστούν, το είδος και την αντοχή των δεσμών που υπάρχουν μεταξύ των ορυκτών αυτών, αλλά και της συγκολλητικής ύλης. Η αύξηση της πυκνότητας του ακέραίου πετρώματος έχει ως αποτέλεσμα της αύξησης της σκληρότητάς του (Σχήμα 4). Επίσης, η σκληρότητα μεταβάλλεται ανάλογα με την ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων P και S στο βραχώδες υλικό (Σχήμα 5) (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2019).

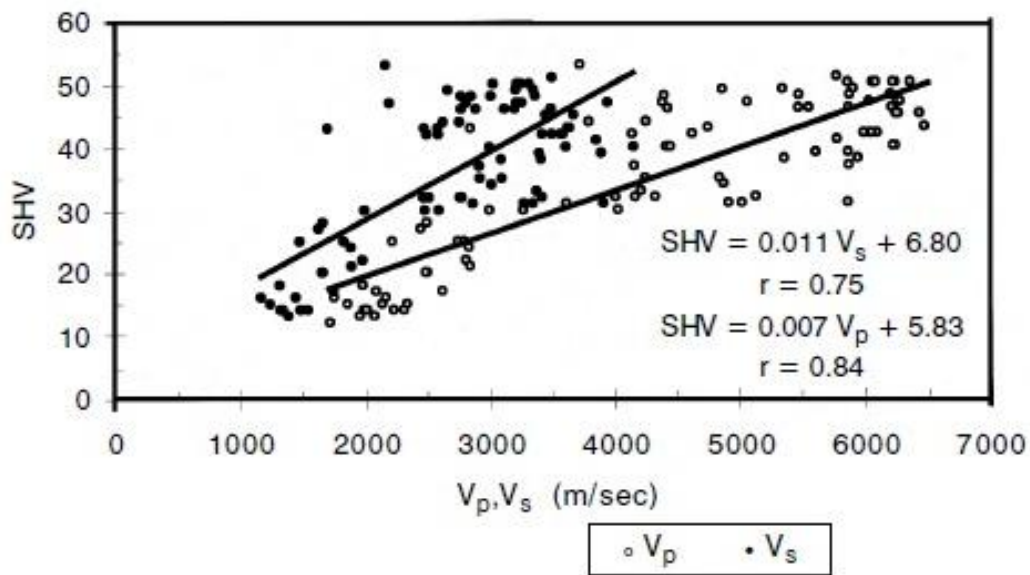




**Σχήμα 3.** Σχέση αντοχής σε μονοαξονική θλίψη με τη σκληρότητα Schmidt, Deere and Miller (1966) (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2019).



**Σχήμα 4.** Σχέση ξηρής πυκνότητας (ρ<sub>d</sub>) και σκληρότητας (SHV) για ασβεστολιθικά πετρώματα του Ελληνικού χώρου (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2019).



**Σχήμα 5.** Σχέση ταχυτήτων υπερήχων ( $V_p$  και  $V_s$ ) και σκληρότητας (SHV) για ασβεστολιθικά πετρώματα (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2019).

Στον παρακάτω Πίνακα 3 παρουσιάζεται η ταξινόμηση του βραχώδους υλικού ανάλογα με την σκληρότητά του.

**Πίνακας 3.** Ταξινόμηση του βραχώδους υλικού ανάλογα με τη σκληρότητά του (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2019).

Κατηγορία πετρωμάτων	Μέση ένδειξη σφυριού (SHV)
Πολύ μαλακά πετρώματα	< 10
Μαλακά πετρώματα	10 – 20
Μέτρια πετρώματα	20 – 50
Σκληρά πετρώματα	50 – 60
Πολύ σκληρά πετρώματα	> 60

### 1.2.6 Σκληροσκόπιο Shore

Η δοκιμή Shore είναι μία μη καταστροφική μέθοδος μέτρησης της σκληρότητας των πετρωμάτων και χρησιμοποιείται ευρέως στη μηχανική των πετρωμάτων (Ghorbani et al, 2022).

Η συσκευή της δοκιμής αυτής αποτελείται από μία μικρή σφύρα από διαμάντι και πλαστική φουσαλίδα. Η σφύρα αφήνεται να πέσει από ένα συγκεκριμένο ύψος επάνω στην επιφάνεια του δοκιμίου. Το ύψος επαναφοράς της σφύρας είναι ενδεικτικό της σκληρότητας του εξεταζόμενου πετρώματος. Με δεδομένο αυτό το ύψος και μέσω μίας βαθμονομημένης κλίμακας προκύπτει η σκληρότητα κατά Shore, η οποία κυμαίνεται από 0 – 140 (Ghorbani et al, 2022).

## 2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

### 2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκαν είκοσι τρία πετρώματα. Η επιλογή των συγκεκριμένων πετρωμάτων έγινε με βάση δύο κριτήρια, πρώτον, την κάλυψη όσο το δυνατόν μεγαλύτερου εύρους σκληρότητας και δεύτερον να υπάρχουν πετρώματα και από τις τρεις κατηγορίες πετρωμάτων (πυριγενή, ιζηματογενή, μεταμορφωμένα). Σύμφωνα με τα παραπάνω τα πετρώματα που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Συγκεντρωτικός πίνακας των εξεταζόμενων πετρωμάτων.

α/α	Τύπος	Πετρώματα	Σύμβ.
1	Πυριγενή	Γρανίτης Αρναίας	AG
2		Γρανοδιορίτης Ορειν. Σερρών	SGd
3		Γρανοδιορίτης Καβάλας	KGd
4		Πορφύρης Χαλκιδικής	HP
5	Ιζηματογενή	Ασβεστόλιθος Μεσαίου	ML
6		Ασβεστόλιθος Γρεβενών	GL
7		Indiana Limestone	IL
8		Ψαμμίτης Δεματίου	DS
9		Ψαμμίτης Γρεβενών I	GS
10		Ψαμμίτης Γρεβενών II	SST
11		Berea Sandstone	BS
12	Μεταμορφωμένα	Μάρμαρο Καβάλας	KM
13		Μάρμαρο Θάσου	TSM
14		Μάρμαρο Βεροίας	VM
15		Μάρμαρο Διονύσου	DM
16		Μάρμαρο Νευροκοπίου	NM
17		Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας	GDM
18		Σχιστόλιθος Χαλκιδικής	HSh
19		Σχιστόλιθος Καβάλας	XSh
20		Πρασινοσχιστόλιθος Θ.	TGs
21		Σερπεντινίτης Γρεβενών	GP
22	Γυψοκονίαμα	PMr	
23	Τσιμεντοκονίαμα	CMr	

## ΓΡΑΝΙΤΗΣ

Ο Γρανίτης Αρναίας ανήκει στην σερβομακεδονική μάζα. Δεν έχει σημάδια σημαντικών μεταβολών του υλικού του. Το χρώμα του είναι λευκό έως ανοικτό γκρίζο, συνεπώς αποτελεί έναν λευκοκρατικό γρανίτη και ο χρωματικός του δείκτης κυμαίνεται από 0.1 – 7.5%. Το μέγεθος των κόκκων του κυμαίνεται από <1mm (λεπτόκοκκο) έως <5mm (μεσόκοκκο). Εντούτοις σε ορισμένα δείγματα που έχουν αναλυθεί παρουσιάζει σχεδόν ισομετρικούς μεσόκοκκους κρυστάλλους με μέσο όρο μεγέθους περίπου 2mm. Γενικά ο γρανίτης Αρναίας μοιάζει με έναν απλίτη ή απλιτικό γρανίτη, ενώ σε μερικές θέσεις μεταπίπτει σε τυπικό γρανίτη. Μακροσκοπικά παρατηρείται ότι είναι σχιστοποιημένος και γνευσιωμένος σχεδόν στο μεγαλύτερο μέρος του με σχετικά λίγες περιοχές που δείχνουν λιγότερη σχιστότητα. Ο γρανίτης Αρναίας εμπεριέχει ένα σημαντικό πλήθος μελανοκρατικών φλεβών με πολύ λίγες περιπτώσεις λευκοκρατικών αν και στα γειτονικά μεταμορφωμένα πετρώματα παρατηρούνται και τα δύο είδη (Τσικρίκης, 2015).

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εμβαδομέτρησης σε λεπτές τομές για τον γρανίτη Αρναίας.

Πίνακας 5. Εμβαδομέτρηση Γρανίτη Αρναίας (Τσικρίκης, 2015).

<b>ΟΡΥΚΤΑ</b>	
Χαλαζίας	49,6
Καλιούχος άστριος	26,3
Πλαγιόκλαστο	15,15
Μοσχοβίτης	6,25
Βιοτίτης	-
Επουσιώδη ορυκτά	0,05
Δευτερογενή ορυκτά	2,65
Σύνολο	100
Αριθμός σημείων κατά τη μέτρηση	2000

Πίνακας 6. Ποσοστό λευκοκρατικών ορυκτών % (Τσικρίκης, 2015).

Χαλαζίας	54,48
Καλιούχος άστριος	28,89
Πλαγιόκλαστο	16,64

## ΓΡΑΝΟΔΙΟΡΙΤΗΣ

Τα κύρια συστατικά του γρανοδιορίτη είναι ο χαλαζίας, τα πλαγιόκλαστα, το ορθόκλαστο, οι καλιούχοι άστριοι, η κεροσίλβη και ο βιοτίτης. Ως επουσιώδη συστατικά συμμετέχουν ο τιτανίτης, ο μαγνητίτης, ο απατίτης, το ζirkόνιο και οι πυρόξενοι. Χαρακτηρίζεται από γρανιτοειδή ιστό και μαζί με τον γρανίτη αποτελούν το περισσότερο διαδεδομένο πλουτώνιο πέτρωμα του στερεού φλοιού της Γης. Στον Ελλαδικό χώρο απαντάται στην περιοχή των Σερρών – Δράμας, της Καβάλας και της Σιθωνίας.

Ελλείπει στοιχεία για την ορυκτολογική και χημική σύσταση καθώς και των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων του γρανοδιορίτη Σερρών και Καβάλας, παρατίθενται ενδεικτικές τιμές για τις προαναφερόμενες ιδιότητες για τον γρανοδιορίτη.

**Πίνακας 7.** Ορυκτολογική και χημική σύσταση Γρανοδιορίτη (Ab-d-Allah et al., 2014 & Kol'tsov, 2013).

Ορυκτό	Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.)	Χημική σύσταση	% κ.β.
Πλαγιόκλαστο	34	SiO <sub>2</sub>	64,45
Χαλαζίας	21	TiO <sub>2</sub>	0,53
Αμφίβολοι	18	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,78
Καλιούχοι άστριοι	3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,74
Πυρόξενοι	12	FeO	2,68
Ολιβίνης	7,5	MnO	0,13
Βιοτίτης	2	MgO	1,89
Χλωρίτης	0,5	CaO	3,86
		Na <sub>2</sub> O	4,36
		K <sub>2</sub> O	3,02
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,25
		CO <sub>2</sub>	n.d.
		H <sub>2</sub> O	1,31

**Πίνακας 8.** Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Γρανοδιορίτη (Gomah et al., 2021).

Φυσικές και Μηχανικές Ιδιότητες	Μ.Ο.
Φαινόμενη πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	2610
Πορώδες (%)	0,54
Θλιπτική αντοχή (MPa)	67,8
Μέτρο ελαστικότητας, E (GPa)	35,5
Λόγος Poisson	0,19

## ΠΟΡΦΥΡΗΣ

Ο Πορφύρης αποτέλεσε ένα από τα πυριγενή πετρώματα που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή των εργαστηριακών δοκιμών. Το εξεταζόμενο δείγμα προέρχεται από τα έργα στις Σκουριές Χαλκιδικής και η θλιπτική του αντοχή αντιστοιχεί σε 130 MPa.

## ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ

Ο Ασβεστόλιθος Μεσαίου ανήκει στην κατηγορία των ιζηματογενών πετρωμάτων. Χαρακτηρίζεται μακροσκοπικά από συμπαγή δομή, ιδιαίτερα υψηλή συνεκτικότητα, τεφρό έως τεφρόμαυρο χρώμα και εμφανίζει διάσπαρτα δευτερογενή φλεβίδια πληρωμένα με λευκό υλικό που πιθανόν είναι δευτερογενής ασβεσίτης. Από τη μικροσκοπική μελέτη προέκυψε ότι το εξεταζόμενο πέτρωμα αποτελείται κυρίως από ασβεσίτη, ο οποίος εμφανίζεται αρκετά λεπτομερής στην κύρια μάζα και ιδιαίτερα αδρομερής στα φλεβίδια. Επιπλέον, κατά θέσεις και σε συσχέτιση κυρίως με τα δευτερογενή φλεβίδια, αναγνωρίστηκαν ιδιόμορφοι ρομβοεδρικοί κρύσταλλοι δολομίτη. Η υφή του πετρώματος χαρακτηρίζεται ως ισότροπη, δεν παρουσιάζει φολίδωση και ο ιστός του χαρακτηρίζεται ως λοβοειδής γρानοβλαστικός όσον αφορά την κύρια μάζα και πολυγωνικός γρानοβλαστικός όσον αφορά τα φλεβίδια. Δεν παρατηρούνται εξαλλοιώσεις ή οξειδώσεις (Τσικρίκης, 2015).

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η ορυκτολογική σύσταση του εξεταζόμενου πετρώματος.

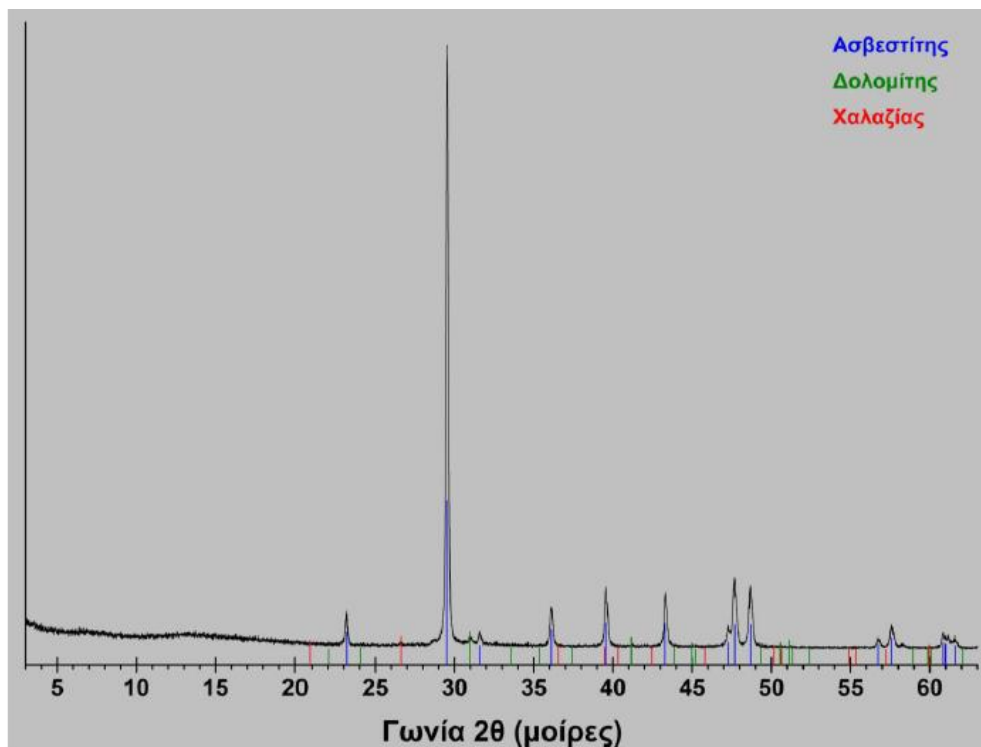
Πίνακας 9. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Ασβεστόλιθου Μεσαίου (Τσικρίκης, 2015).

Ορυκτό	Χημικός τύπος	% κ.β.	Ισοδύναμο MgO (% κ.β.)
Ασβεσίτης	CaCO <sub>3</sub>	99,0	-
Δολομίτης	MgCa(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,8	0,21
Χαλαζίας	SiO <sub>2</sub>	0,2	-

Ελλείπει στοιχείων για τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του Ασβεστόλιθου Μεσαίου, παρατίθενται ενδεικτικές τιμές για τις προαναφερόμενες ιδιότητες για τον Ασβεστόλιθο. Η πυκνότητα και το ξηρό φαινόμενο βάρος υπολογίστηκαν 2.699,87 kg/m<sup>3</sup> και 26,49 kN/m<sup>3</sup> αντίστοιχα.

**Πίνακας 10.** Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Ασβεστόλιθου  
([https://www.academia.edu/11169854/Chapter\\_4\\_Properties\\_of\\_Rock\\_Materials](https://www.academia.edu/11169854/Chapter_4_Properties_of_Rock_Materials)).

<b>ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ</b>	<b>Μ.Ο</b>
Φαινόμενη πυκνότητα ( $\text{kg/m}^3$ )	2670 - 2720
Ειδικό βάρος ( $\text{kN/m}^3$ )	27
Θλιπτική αντοχή (MPa)	30 - 250
Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	20 - 70
Λόγος Poisson	0,3



**Εικόνα 1.** Περιθλασιόγραμμα του Ασβεστόλιθου Μεσαίου (Τσικρίκης, 2015).

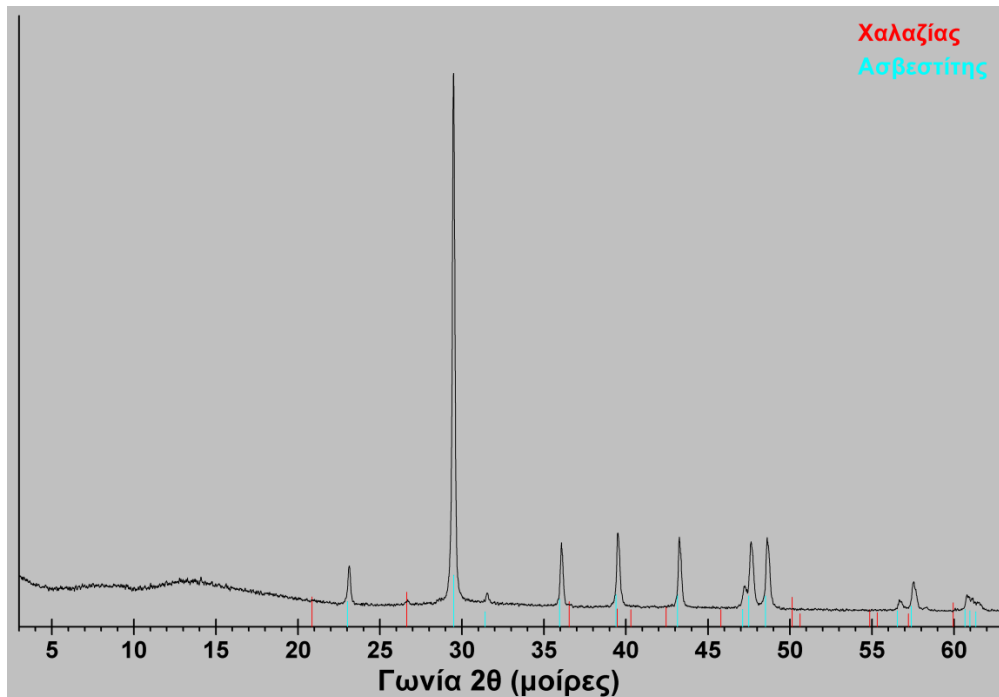
### Ασβεστόλιθος Γρεβενών

Στον Πίνακα 11 δίνεται η ορυκτολογική σύσταση του ασβεστόλιθου Γρεβενών, ενώ στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται το περιθλασιόγραμμα ακτίνων-Χ για το συγκεκριμένο πέτρωμα.



Πίνακας 11. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Ασβεστόλιθου Γρεβενών (Τζιλίνη, 2020).

Ορυκτό	Χημικός τύπος	% κ.β.
Ασβεσίτης	CaCO <sub>3</sub>	99
Χαλαζίας	SiO <sub>2</sub>	1



Εικόνα 2. Περιθλασιόγραμμα Ασβεστόλιθου Γρεβενών (Τζιλίνη, 2020).

### Indiana Limestone

Το δείγμα του Ασβεστόλιθου Ιντιάνα που χρησιμοποιήθηκε στη διατριβή, προέρχεται από την περιοχή Bedford – Bloomington (Ιντιάνα των ΗΠΑ). Σχηματίστηκε κατά την περίοδο των Μισσισιπών και ανήκει στους Ασβεστολιθικούς σχηματισμούς Salem. Το σχήμα των αλλοχημικών της δομής τους είναι επίμηκες και τείνουν να ευθυγραμμίζονται υπό-παράλληλα στο ιζηματογενές στρώμα. Στην ταξινόμηση κατά Folk (1959), ο Ασβεστόλιθος Ιντιάνα είναι ένας αλλοχημικός ασβεστόλιθος που θα μπορούσε να ονομαστεί βιομακρίτης και βιοπαρίτης (Vajdona et al., 2012). Στον Πίνακα 12 παρουσιάζεται η πετρογραφική περιγραφή του Ασβεστόλιθου Ιντιάνα.

Πίνακας 12. Πετρογραφική περιγραφή του Ασβεστόλιθου Ιντιάνα (Vajdova et al., 2012).

Πορώδες (%)	Μέγεθος κόκκων (μm)	Σύσταση (%)	Δομή
17,9	5 - 300	Ασβεσίτης	Αλλοχημικά: 65 % (απολιθώματα)
		Μαγνησίτης	
		Πυρίτιο	
		Αλουμίνα	
		Οξειδία του σιδήρου	

## ΨΑΜΜΙΤΗΣ

### Ψαμμίτης Δεματίου

Η ορυκτολογική και χημική σύσταση του ψαμμίτη Δεματίου δίνεται στον Πίνακα 13, ενώ στην Εικόνα 3 παρουσιάζεται το περιθλασιόγραμμα ακτίνων-Χ του συγκεκριμένου πετρώματος.

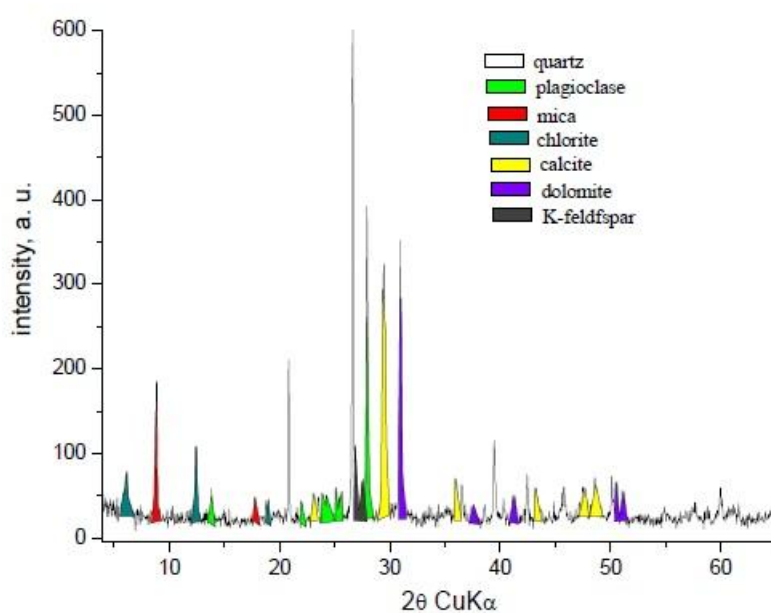
Πίνακας 13. Ορυκτολογική και χημική σύσταση Ψαμμίτη Δεματίου (Τσικρίκης, 2015).

Ορυκτό	Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.)	Χημική σύσταση	% κ.β.
Ασβεσίτης	45	CaCO <sub>3</sub>	18
Δολομίτης	16	MgO	7
Χαλαζία	12,5	SiO <sub>2</sub>	43
Μοσχοβίτης	13	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,72
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,84
Χλωρίτης	2	K <sub>2</sub> O	1,43
		Na <sub>2</sub> O	1,34
Αλβίτης	10,5	MnO	0,07
		CO <sub>2</sub>	19,8

Τα φυσικά και μηχανικά του χαρακτηριστικά αναφέρονται από τον Τσικρίκη (2015) και παρουσιάζονται στον Πίνακα 14.

**Πίνακας 14.** Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά Ψαμμίτη Δεματίου (Τσικρίκης, 2015).

Φαινόμενο βάρος (MPa)	26,21
Υδαταπορροφητικότητα (%)	1,06
Θλιπτική αντοχή (MPa)	68,9
Αντοχή σε κάμψη (MPa)	6,21
Αντοχή στη φθορά από τριβή (mm)	4,45



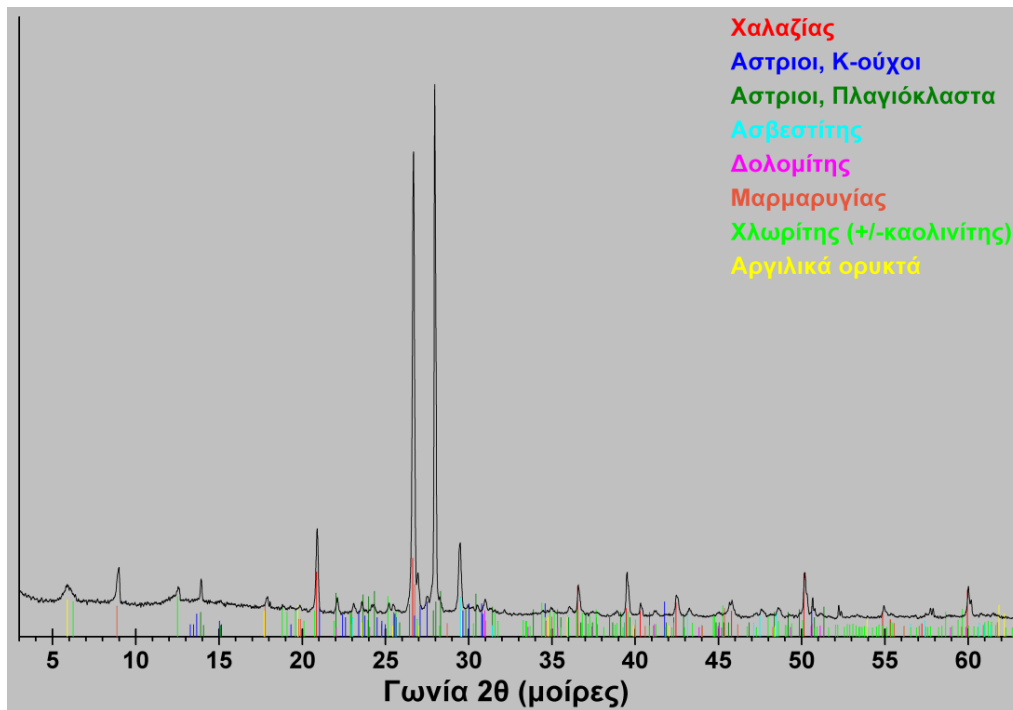
**Εικόνα 3.** Περιθλασιόγραμμα Ψαμμίτη Δεματίου (Τσικρίκης, 2015).

### Ψαμμίτης Γρεβενών Ι

Στον Πίνακα 12 δίνεται η ορυκτολογική σύσταση του Ψαμμίτη Γρεβενών Ι, ενώ στην Εικόνα 4 παρουσιάζεται το περιθλασιόγραμμα ακτίνων-Χ για το συγκεκριμένο πέτρωμα.

Πίνακας 15. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Ψαμμίτη Γρεβενών Ι (Τζιλίνη, 2020).

Ορυκτό	Χημικός τύπος	% κ.β.
Άστριοι, Πλαγιόκλαστα	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	48
Χαλαζία	$\text{SiO}_2$	28
Ασβεστίτης	$\text{CaCO}_3$	12
Χλωρίτης	$\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	3
Μαρμαρυγίας		3
Δολομίτης	$\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$	2
Άστριοι Κ-ούχοι		2
Αργιλικά ορυκτά		2



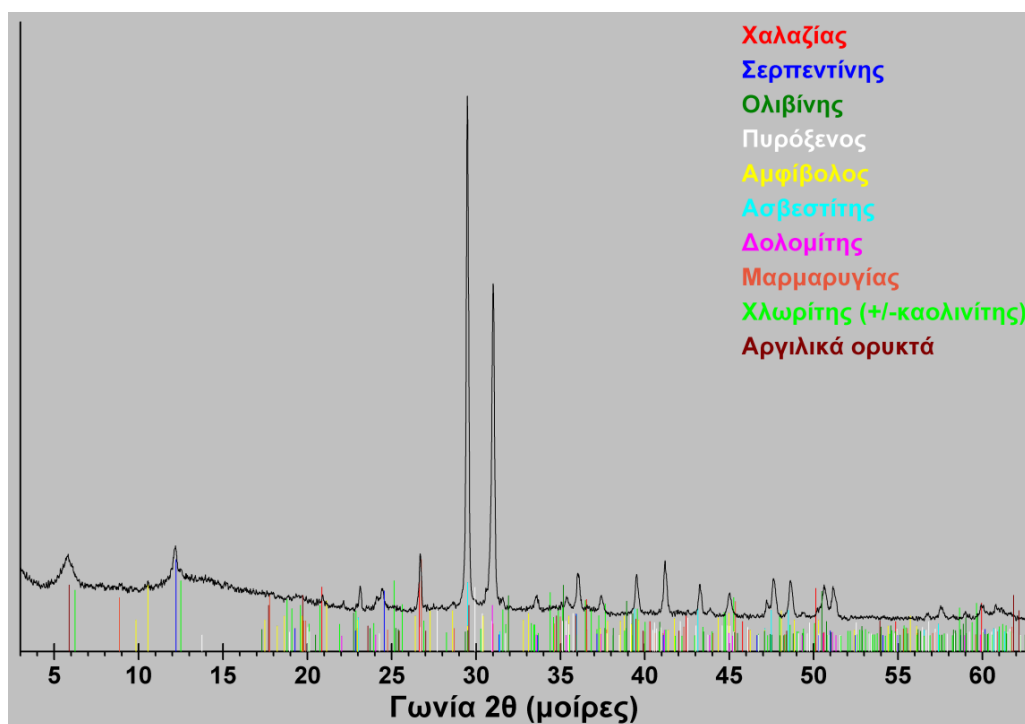
Εικόνα 4. Περιθλασιόγραμμα Ψαμμίτη Γρεβενών Ι (Τζιλίνη, 2020).

### Ψαμμίτης Γρεβενών ΙΙ

Στον Πίνακα 16 δίνεται η ορυκτολογική σύσταση του Ψαμμίτη Γρεβενών ΙΙ, ενώ στην Εικόνα 5 παρουσιάζεται το περιθλασιόγραμμα ακτίνων-Χ του συγκεκριμένου πετρώματος.

Πίνακας 16. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Ψαμμίτη Γρεβενών II (Τζιλίνη, 2020).

Ορυκτό	Χημικός τύπος	% κ.β.
Ασβεστίτης	CaCO <sub>3</sub>	58
Δολομίτης	MgCa(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	24
Αργιλικά ορυκτά		5
Χλωρίτης	Mg <sub>6</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	3
Σερπεντίνης	Mg <sub>6</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>9</sub>	3
Χαλαζίας	SiO <sub>2</sub>	2
Πυρόξενος		2
Ολιβίνης	(Mg,Fe) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	1
Αμφίβολος		1
Μαρμαρυγίας		1



Εικόνα 5. Περιθλασιόγραμμα Ψαμμίτη Γρεβενών II (Τζιλίνη, 2020).

### Berea Sandstone

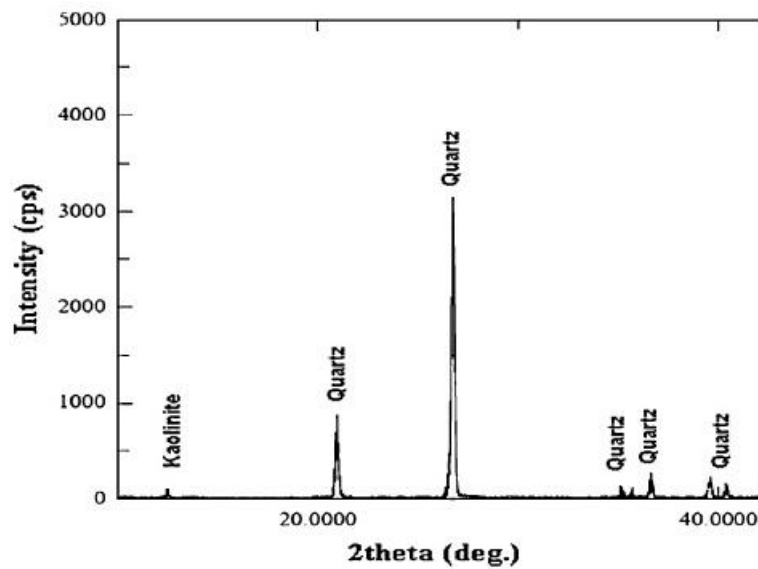
Στον Πίνακα 17 δίνεται η ορυκτολογική σύσταση τον Ψαμμίτη Berea, ενώ στην Εικόνα 6 παρουσιάζεται το περιθλασιόγραμμα ακτίνων-Χ του συγκεκριμένου πετρώματος.

Πίνακας 17. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) του Berea Sandstone (El-Monier et al, 2015).

Ορυκτό	Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.)
Χαλαζίας	86
Καολινίτης	5
Άστριοι	3
Χλωρίτης	2
Ασβεστίτης	2
Δολομίτης	1
Ιλλίτης	1

Πίνακας 18. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Berea Sandstone (Katsman et al, 2009).

Φυσικές και Μηχανικές Ιδιότητες	Μ.Ο.
Φαινόμενη πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	2647
Πορώδες (%)	19,5
Θλιπτική αντοχή (MPa)	24,6
Μέτρο ελαστικότητας, E (GPa)	9,24
Λόγος Poisson	0,25



Εικόνα 6. Περιθλασιόγραμμα XRD για τον Berea Sandstone (Dahbag et al, 2015).

## ΜΑΡΜΑΡΟ

Τα μάρμαρα ανήκουν στην κατηγορία των μεταμορφωμένων πετρωμάτων, και είναι μονόμεικτα πετρώματα. Κύριο συστατικό τους είναι ο Ασβεστίτης και αποτελούν προϊόντα ανακρυστάλλωσης των Ασβεστολίθων. Τα μάρμαρα είναι λεπτόκοκκα έως αδρόκοκκα πετρώματα και το χρώμα τους κυμαίνεται συνήθως από λευκό και γκρίζο έως ροζ και πράσινο. Η ορυκτολογική σύσταση καθώς επίσης και οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες για κάθε τύπο μαρμάρου που επιλέχθηκε, αναφέρονται από το Ινστιτούτο Γεωλογικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.) και παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

### Μάρμαρο Καβάλας Λευκό

Πίνακας 19. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Μαρμάρου Καβάλας (Ι.Γ.Μ.Ε.).

Ορυκτό	Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.)	Χημική σύσταση	% κ.β.
Ασβεστίτης	97	CaCO <sub>3</sub>	55
Δολομίτης	1	MgO	0,5
Χαλαζίας	2	SiO <sub>2</sub>	0,7
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2
		K <sub>2</sub> O	0,02
		Na <sub>2</sub> O	0,03
		MnO	0
		CO <sub>2</sub>	43,5

Πίνακας 20. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Μαρμάρου Καβάλας (Ι.Γ.Μ.Ε.).

ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μ.Ο
Φαινόμενο βάρος (MPa)	26,8
Υδαταπορροφητικότητα (%)	0,09
Θλιπτική αντοχή (MPa)	78,5
Αντοχή σε κάμψη (MPa)	16,95
Αντοχή στη φθορά από τριβή (mm)	6,16

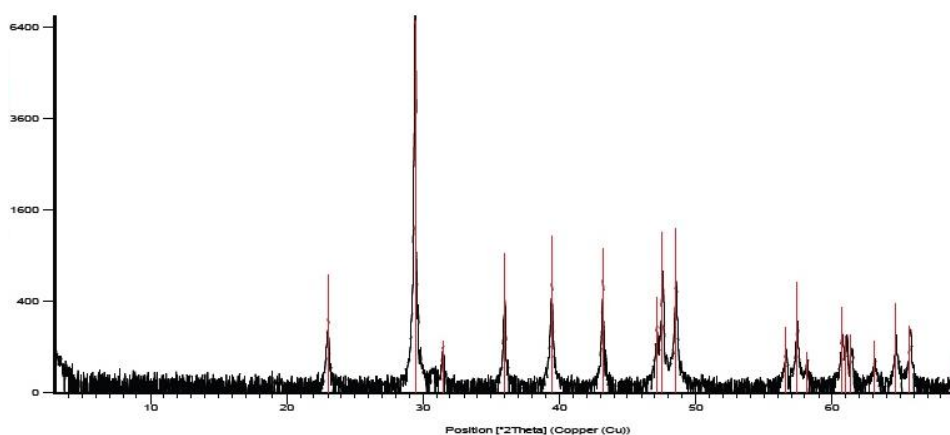
## Μάρμαρο Θάσου Ημίλευκο

Πίνακας 21. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Μαρμάρου Θάσου (Ι.Γ.Μ.Ε.).

Ορυκτό	Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.)	Χημική σύσταση	% κ.β.
Ασβεστίτης	100	SiO <sub>2</sub>	0,10
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10
		CaO	51,80
		MgO	0,60
		MnO	0,05
		TiO <sub>2</sub>	0,10
		K <sub>2</sub> O	1,00
		Na <sub>2</sub> O	3,90
		LOI	42,7

Πίνακας 22. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Μαρμάρου Θάσου (Ι.Γ.Μ.Ε.).

ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μ.Ο
Φαινόμενη πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	2710
Πορώδες (%)	0,2
Υδαταπορροφητικότητα (%)	0,1
Θλιπτική αντοχή (MPa)	71
Αντοχή σε κάμψη (MPa)	10,6
Αντίσταση σε τριβή (mm <sup>3</sup> )	20176



Εικόνα 7. Περιθλασιόγραμμα για το Μάρμαρο Θάσου (Ι.Γ.Μ.Ε.).



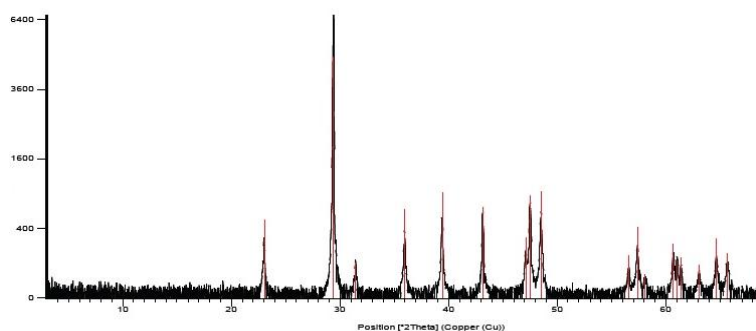
Μάρμαρο Βέροιας Ημίλευκο

Πίνακας 23. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Μαρμάρου Βέροιας (Ι.Γ.Μ.Ε.).

Ορυκτό	Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.)	Χημική σύσταση	% κ.β.
Ασβεσίτης	100	SiO <sub>2</sub>	0,15
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05
		CaO	54,30
		MgO	0,35
		MnO	0,05
		TiO <sub>2</sub>	0,05
		K <sub>2</sub> O	0,05
		Na <sub>2</sub> O	0,25
		LOI	43,50

Πίνακας 24. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Μαρμάρου Βέροιας (Ι.Γ.Μ.Ε.).

ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μ.Ο
Φαινόμενη πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	2710
Πορώδες (%)	0,2
Υδαταπορροφητικότητα (%)	0,1
Θλιπτική αντοχή (MPa)	110
Αντοχή σε κάμψη (MPa)	22,0
Αντίσταση σε τριβή (mm <sup>3</sup> )	24676



Εικόνα 8. Περιθλασιόγραμμα για το Μάρμαρο Βέροιας (Ι.Γ.Μ.Ε.).

## Μάρμαρο Διονύσου

Πίνακας 25. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Μαρμάρου Διονύσου (Ι.Γ.Μ.Ε.).

Ορυκτό	Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.)	Χημική σύσταση	% κ.β.
Ασβεσίτης	92	SiO <sub>2</sub>	2,95
Χαλαζίας	2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,60
Μοσχοβίτης	4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,30
Χλωρίτης	1	CaO	50,90
Δολομίτης	1	MgO	1,30
		MnO	0,05
		K <sub>2</sub> O	0,53
		Na <sub>2</sub> O	0,14
		LOI	41,40

Πίνακας 26. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Μαρμάρου Διονύσου (Ι.Γ.Μ.Ε.).

ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μ.Ο
Φαινόμενη πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	2720
Πορώδες (%)	0,5
Υδαταπορροφητικότητα (%)	0,1
Θλιπτική αντοχή (MPa)	97
Αντοχή σε κάμψη (MPa)	18,9
Αντίσταση σε τριβή (mm <sup>3</sup> )	21378

Μάρμαρο Νευροκοπίου Λευκό

Πίνακας 27. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Μαρμάρου Νευροκοπίου (Ι.Γ.Μ.Ε.).

Ορυκτό	Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.)	Χημική σύσταση	% κ.β.
Δολομίτης	99	SiO <sub>2</sub>	0,18
Ασβεστίτης	1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05
		CaO	32,80
		MgO	19,80
		MnO	0,05
		TiO <sub>2</sub>	0,05
		K <sub>2</sub> O	0,11
		Na <sub>2</sub> O	0,65
		LOI	45,15

Πίνακας 28. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Μαρμάρου Νευροκοπίου (Ι.Γ.Μ.Ε.).

ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μ.Ο
Φαινόμενη πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	2840
Πορώδες (%)	0,8
Υδαταπορροφητικότητα (%)	0,3
Θλιπτική αντοχή (MPa)	179
Αντοχή σε κάμψη (MPa)	5,0
Αντίσταση σε τριβή (mm <sup>3</sup> )	33003

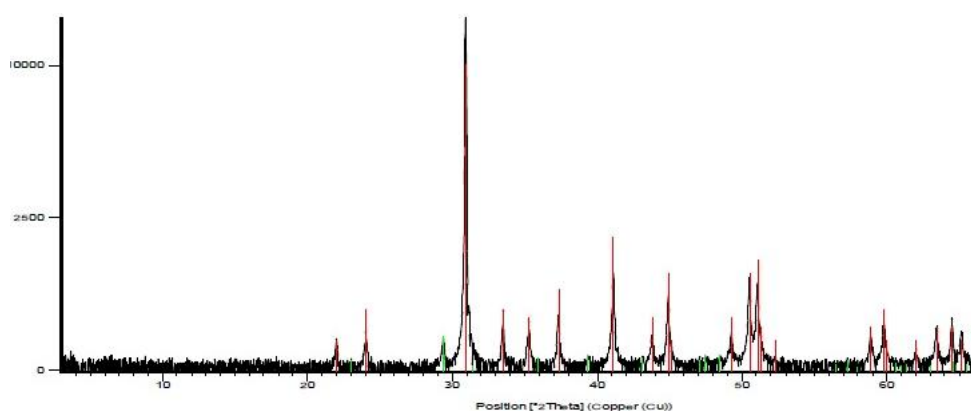
## Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας

Πίνακας 29. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Μαρμάρου Γρανίτη Δράμας (Ι.Γ.Μ.Ε.).

Ορυκτό	Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.)	Χημική σύσταση	% κ.β.
Δολομίτης	99	SiO <sub>2</sub>	0,10
Ασβεστίτης	1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10
		CaO	30,90
		MgO	21,10
		MnO	0,05
		TiO <sub>2</sub>	0,10
		K <sub>2</sub> O	0,28
		Na <sub>2</sub> O	1,09
		LOI	46,24

Πίνακας 30. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Μαρμάρου Γρανίτη Δράμας (Ι.Γ.Μ.Ε.).

ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μ.Ο
Φαινόμενη πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	2840
Πορώδες (%)	1,0
Υδαταπορροφητικότητα (%)	0,3
Θλιπτική αντοχή (MPa)	190
Αντοχή σε κάμψη (MPa)	2,3
Αντίσταση σε τριβή (mm <sup>3</sup> )	26900



Εικόνα 9. Περιθλασιόγραμμα για το Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας (Ι.Γ.Μ.Ε.).

## ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ

Κύρια συστατικά των Σχιστόλιθων είναι ο χαλαζίας και οι μαρμαρυγίες, ενώ ως επουσιώδη απαντούν χλωρίτης, απατίτης, ζιρκόνιο, γραφίτης κ.α. Αποτελούν προϊόντα μεσαίου έως υψηλού βαθμού μεταμόρφωσης υπερβασικών πετρωμάτων παρουσία ύδατος.

### Σχιστόλιθος Χαλκιδικής

Το εξεταζόμενο δείγμα προέρχεται από τα έργα στις Σκουριές Χαλκιδικής και η θλιπτική του αντοχή αντιστοιχεί σε 30 MPa.

### Σχιστόλιθος Καβάλας

Ένα από τα μεταμορφωμένα πετρώματα που χρησιμοποιήθηκαν στη διατριβή ήταν ο Σχιστόλιθος Καβάλας και συγκεκριμένα ο Σχιστόλιθος Ελευθερούπολης Ακροβουνίου. Η ορυκτολογική σύσταση καθώς επίσης και οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες για τον Σχιστόλιθο Καβάλας, αναφέρονται από το Ινστιτούτο Γεωλογικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.) και παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 31. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Σχιστόλιθου Καβάλας (Ι.Γ.Μ.Ε.).

Ορυκτό	Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.)	Χημική σύσταση	% κ.β.
Χαλαζίας	49	SiO <sub>2</sub>	80,20
Μοσχοβίτης	28	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,35
Ορθόκλαστο	12	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,95
Αλβίτης	10	CaO	1,15
Ασβεστίτης	1	MgO	0,65
		MnO	<0,05
		TiO <sub>2</sub>	0,2
		K <sub>2</sub> O	2,90
		Na <sub>2</sub> O	2,20
		LOI	1,25

**Πίνακας 32.** Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Σχιστόλιθου Καβάλας (Ι.Γ.Μ.Ε.).

<b>ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ</b>	<b>Μ.Ο</b>
Φαινόμενη πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	2670
Πορώδες (%)	1,0
Υδαταπορροφητικότητα (%)	0,3
Θλιπτική αντοχή (MPa)	-
Αντοχή σε κάμψη (MPa)	31,0
Αντίσταση σε τριβή (mm <sup>3</sup> )	17,0

### **ΠΡΑΣΙΝΟΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ**

Κύρια συστατικά του πρασινοσχιστόλιθου είναι ο αλβίτης, ο χλωρίτης και το επίδοτο. Ως επουσιώδη συμμετέχουν ο βιοτίτης, ο χαλαζίας, ο γρανάτης και ο ακτινόλιθος. Είναι προϊόν μεταμόρφωσης βασικών πυριγενών πετρωμάτων (δολερίτες, βασάλτες, γάββροι) ή βιοτικών σχιστολίθων και αμφιβολιτών.

Το δείγμα του Πρασινοσχιστόλιθου που χρησιμοποιήθηκε στη διατριβή προέρχεται από την περιοχή των 40 Εκκλησιών στη θέση του Σεισμολογικού Σταθμού του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ).

### **ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ**

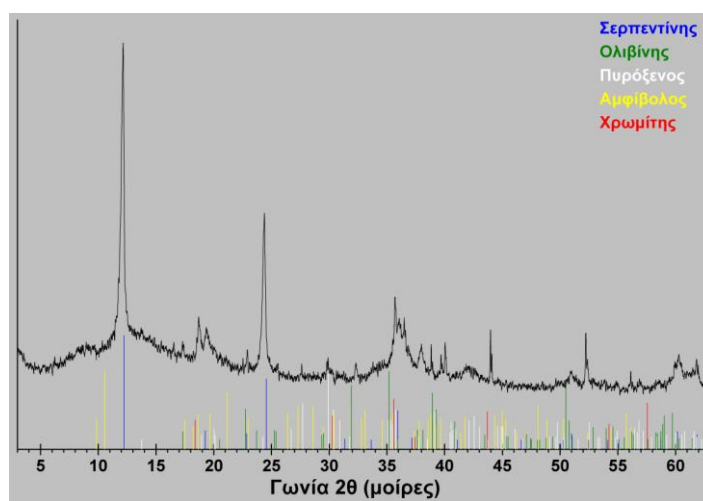
Ο σερπεντινίτης ανήκει στην κατηγορία των μεταμορφωμένων πετρωμάτων. Κύριο συστατικό του είναι ο σερπεντίνης, αλλά μπορούν να βρεθούν και άλλα ορυκτά όπως τάλκης, χλωρίτης και αμφίβολο. Το χρώμα του είναι ανοικτό έως σκούρο γκριζο, πράσινο και μαύρο. Το μέγεθος των κόκκων του είναι <1 mm, γεγονός που το κατατάσσει στα λεπτόκοκκα πετρώματα και επίσης δεν εμφανίζει σχιστότητα. Προέρχεται από τη διαδικασία της σερπεντινίωσης των περιδοτιτών. Αποτελεί μητρικό πέτρωμα σημαντικών κοιτασμάτων όπως Χρωμίου, Αμιάντου, Χαλκού, Σιδήρου και Νικελίου.

### Σερπεντινίτης Γρεβενών

Η ορυκτολογική και χημική σύσταση του σερπεντινίτη Γρεβενών δίνεται στον Πίνακα 33, ενώ στην Εικόνα 10 παρουσιάζεται το περιθλασιόγραμμα ακτίνων-Χ του συγκεκριμένου πετρώματος.

**Πίνακας 33.** Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) Σερπεντινίτη Γρεβενών (Τζιλίνη, 2020).

Ορυκτό	Χημικός τύπος	% κ.β.
Σερπεντίνης	$Mg_6Si_4O_{10}(OH)_9$	70
Ολιβίνης	$(Mg,Fe)_2SiO_4$	19
Χρωμίτης	$FeCr_2O_4$	6
Πυρόξενος		3
Αμφίβολος		2



**Εικόνα 10.** Περιθλασιόγραμμα Σερπεντινίτη Γρεβενών (Τζιλίνη, 2020).

## ΓΥΨΟΚΟΝΙΑΜΑ

Το γυψοκονίαμα που χρησιμοποιήθηκε στη διατριβή προέρχεται από οδοντιατρική γύψο κίτρινου χρώματος, με την επωνυμία: Rocanit 0,08. Οι φυσικές ιδιότητες της οδοντιατρικής γύψου παρουσιάζονται στον Πίνακα 34.

**Πίνακας 34.** Φυσικές ιδιότητες γυψοκονιάματος Rocanit 0,08 (Protechno).

<b>Φυσικές ιδιότητες</b>	
Χρόνος εργασίας	5 – 6 min
Αρχική πήξη	7 – 7.30 min
Τελική πήξη	8,30 – 9.0 min
Χρόνος σκλήρυνσης	20 min
Διαστολή πήξης (2h)	0.08 %
Σκληρότητα (24h)	137 N/mm <sup>2</sup>

## ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑ

Το τσιμεντοκονίαμα που χρησιμοποιήθηκε στη διατριβή προέρχεται από λευκό τσιμέντο και μαρμαρόσκονη. Η μαρμαρόσκονη αποτελεί αδρανές υλικό του κονιάματος, καθώς η κοκκομετρική σύνθεση, το μέγεθος και η μορφή των κόκκων αντιστοιχούν σε αρκετά πετρώματα. Στον Πίνακα 35 δίνονται οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες για το Τσιμεντοκονίαμα.

**Πίνακας 35.** Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες Τσιμεντοκονιάματος (Αρμανίδης, 2002).

<b>ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ</b>	
Φαινόμενη πυκνότητα (kN/m <sup>3</sup> )	21,00
Ξηρή πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	2017,44
Πορώδες (%)	22.72
Θλιπτική αντοχή (MPa)	33,69
Αντοχή σε εφελκυσμό (MPa)	5,23
Δείκτης κρουσίμετρου Schmidt	32,84



## 2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν στην διατριβή υπήρχαν στο εργαστήριο Γεωμηχανικής από προηγούμενες έρευνες. Η διαμόρφωση των δειγμάτων σε δοκίμια κανονικού σχήματος, έγινε με τη χρήση αδαμαντοτροχού (Εικόνα 11) και ακολούθησε λείανσή τους, έτσι ώστε να έχουν δύο παράλληλες και όσο το δυνατόν επίπεδες επιφάνειες και να μην υπάρχουν επιφανειακές προεξοχές, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η δοκιμή σκληρότητας Brinell.

Τα δοκίμια διαμορφώθηκαν και υποβλήθηκαν σε εργαστηριακές δοκιμές στο Εργαστήριο Γεωμηχανικής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος (πρώην τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. του Αλεξάνδρειου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Θεσσαλονίκης).



**Εικόνα 11.** Κοπή των άκρων του δοκίμιου με τη χρήση αδαμαντοτροχού (αριστερά) και συσκευή λείανσης δοκιμίων (δεξιά).

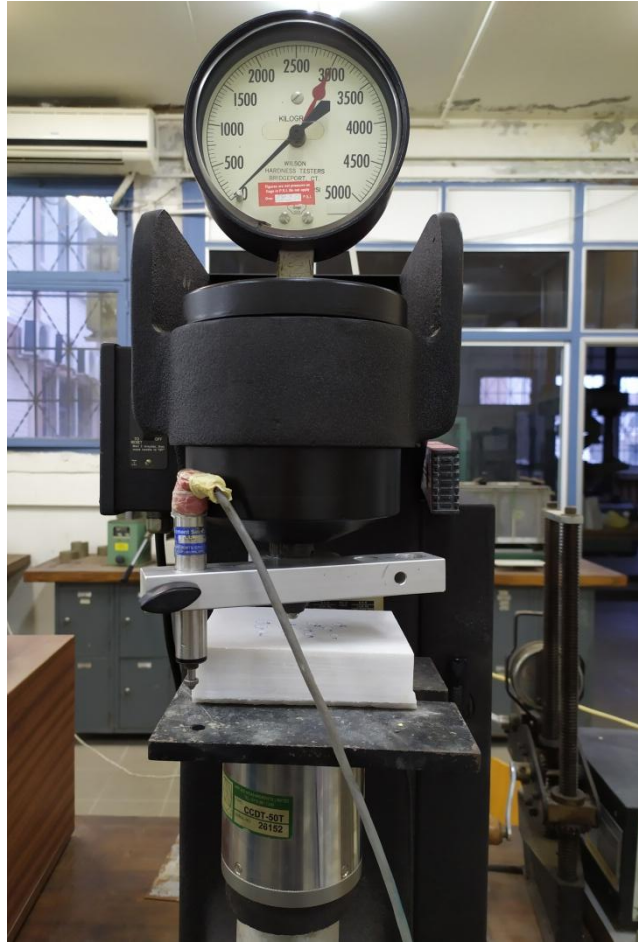
### **2.3 ΔΟΚΙΜΗ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ BRINELL (ASTM E10)**

Σκοπός της δοκιμής σκληρότητας Brinell είναι ο προσδιορισμός της σκληρότητας. Από την εφαρμογή της δοκιμής αυτής προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα για την επίδραση της ορυκτολογικής σύστασης και του φορτίου διεיסδυσης στην τιμή σκληρότητας. Ελλείψει κάποιου διεθνούς κανονισμού όσον αφορά την εφαρμογή της δοκιμής σκληρότητας Brinell σε βράχο, έγινε εφαρμογή του κανονισμού της ASTM E10 ο οποίος αφορά τα μεταλλικά υλικά.

#### **Εκτέλεση της δοκιμής**

Κατά τη δοκιμή σκληρότητας Brinell μία σφαίρα (καρβίδιο του βολφραμίου ή από χάλυβα) διαμέτρου  $D$  των 10 mm διεισδύει στο δοκίμιο με βαθμιαία ανύψωση του φορτίου για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία σφαιρικού αποτυπώματος στο υλικό. Ανάλογα με το εξεταζόμενο υλικό το εφαρμοζόμενο φορτίο ποικίλει. Έτσι για μαλακά υλικά εφαρμόζεται το φορτίο των 500 kgf, για μεσαίας σκληρότητας υλικά το φορτίο των 1500 kgf και για πιο σκληρά υλικά το φορτίο των 3000 kgf. Η επιλογή του εφαρμοζόμενου φορτίου εξαρτάται επίσης από τη διάμετρο του αποτυπώματος που αφήνει στο δοκίμιο, καθώς σύμφωνα με τον κανονισμό συνιστάται να είναι μεταξύ 24 – 60 % της διαμέτρου του διεισδυτή 2,4 mm έως 6 mm (ASTM E10.). Η διάρκεια φορτίσεως κυμαίνεται από 10 έως 15 δευτερόλεπτα.

Στην πειραματική διαδικασία της διπλωματικής επιλέχθηκε το φορτίο των 500 kgf για διάρκεια φορτίσεως 15 δευτερόλεπτα. Η επιλογή του παραπάνω φορτίου έγινε με βάση δύο κριτήρια. Πρώτον, τα πετρώματα βρίσκονται πιο κοντά στα μαλακά μέταλλα από πλευράς σκληρότητας και δεύτερον η εφαρμογή μεγαλύτερου φορτίου είχε ως αποτέλεσμα τη θραύση του δοκιμίου. Μετά το πέρας των δοκιμών ακολούθησε η μέτρηση της διαμέτρου του αποτυπώματος με τη βοήθεια μικροσκοπίου σύγχρονης τεχνολογίας Nikon SMZ25.



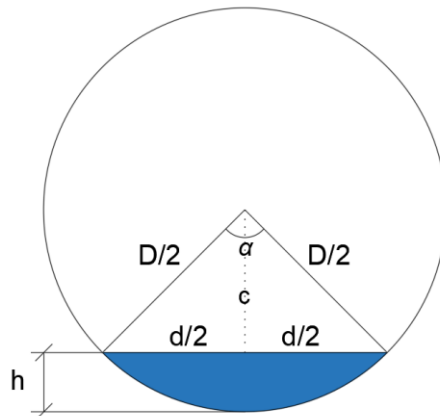
**Εικόνα 12.** Πειραματική διάταξη δοκιμών σκληρότητας διείδυσης με την μέθοδο Brinell.



**Εικόνα 13.** Μικροσκόπιο Nikon SMZ25

[\(https://industry.nikon.com/en-aom/products/industrial-microscopy/stereo-microscope-zoom/smz25-smz18/\)](https://industry.nikon.com/en-aom/products/industrial-microscopy/stereo-microscope-zoom/smz25-smz18/).

## Υπολογισμοί



Σχήμα 6. Σχηματική απεικόνιση της σφαίρας του διεισδυτή και του βάθους διείδυσης  $h$ .

Η σκληρότητα κατά Brinell ορίζεται ως το πηλίκο του ασκούμενου φορτίου δια του εμβαδού της κοίλης επιφάνειας του αποτυπώματος και υπολογίζεται με την εφαρμογή του τύπου:

$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$$

ή εναλλακτικά από τη σχέση

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h}$$

Όπου,

BHN: η τιμή της σκληρότητας Brinell (kgf/mm<sup>2</sup>)

P: το ασκούμενο φορτίο (kgf)

D: η διάμετρος της σφαίρας του διεισδυτή (mm)

d: η διάμετρος του αποτυπώματος (mm)

h: το βάθος διείδυσης (mm).

Η πρώτη σχέση χρησιμοποιείται όταν είναι γνωστή η διάμετρος του αποτυπώματος  $d$  και η δεύτερη όταν είναι γνωστό το βάθος διείσδυσης  $h$ .

Από το παραπάνω σχήμα προκύπτει ότι το βάθος διείσδυσης προκύπτει από τη διάμετρο του αποτυπώματος με την εφαρμογή της σχέσης:

$$h = \frac{D}{2} - c \quad \text{και} \quad c = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{1}{2}\sqrt{D^2 - d^2}$$

$$h = \frac{D}{2} - c = \frac{D}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{D^2 - d^2} = \frac{1}{2}\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)$$

Επομένως, εάν γνωρίζουμε ένα από τα  $h$  και  $d$  μπορούμε να προσδιορίσουμε το άλλο.

Κατά τη διεξαγωγή των δοκιμών μετρήθηκε τόσο η διάμετρος του αποτυπώματος όσο και το βάθος διείσδυσης σε όλες ανεξαιρέτως τις θέσεις μέτρησης κάθε δοκιμίου.

Προκειμένου να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της σκληρότητας που προκύπτουν με τους δύο τρόπους, δηλαδή με χρήση του βάθους διείσδυσης ή της διαμέτρου του αποτυπώματος, από τις μετρήσεις που έχουμε για τη διάμετρο του αποτυπώματος υπολογίστηκε το βάθος διείσδυσης.

Έτσι η σκληρότητα Brinell υπολογίστηκε ως εξής:

A) Με βάση τη μέτρηση της διαμέτρου του αποτυπώματος:

$$BHN = \frac{2P}{\pi * D * (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

B) Με βάση τη μέτρηση του βάθους διείσδυσης από τη σχέση:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h}$$

Και επιπλέον με βάση το βάθος διείσδυσης  $h'$  που προκύπτει έμμεσα από τη διάμετρο του αποτυπώματος  $d$  με την εφαρμογή του τύπου:

$$h' = \frac{D}{2} - c = \frac{D}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{D^2 - d^2} = \frac{1}{2}(1 - \sqrt{D^2 - d^2})$$

Στην περίπτωση αυτή η σκληρότητα υπολογίστηκε με βάση τη σχέση:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h'}$$

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Το πρόγραμμα των εργαστηριακών δοκιμών σκληρότητας κατά Brinell περιελάμβανε ένα αριθμό δοκιμών, έτσι ώστε να προκύψουν τουλάχιστον 10 μετρήσεις διείσδυσης για κάθε πέτρωμα. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 263 δοκιμές σκληρότητας Brinell. Όλες οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με εφαρμογή σταθερού φορτίου 500 kgf για 15 δευτερόλεπτα. Μετά το πέρας των δοκιμών, ακολούθησε η φωτογράφιση και η μέτρηση της διαμέτρου του αποτυπώματος με τη χρήση μικροσκοπίου Nikon SMZ25, καθώς και του βάθους διείσδυσης με τη χρήση μηκυνσιομέτρου. Από τον Πίνακα 36 έως τον Πίνακα 58 και από τον Πίνακα 60 έως τον Πίνακα 82 παρουσιάζονται όλες οι μετρήσεις του βάθους διείσδυσης και της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής Brinell αντίστοιχα, για όλα τα εξεταζόμενα πετρώματα, η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, ο συντελεστής διακύμανσης, η αβεβαιότητα μέσης τιμής και το πλήθος των μετρήσεων. Επιπλέον, στον Πίνακα 59 και στον Πίνακα 83 παρατίθενται συγκριτικά όλες οι τιμές σκληρότητας Brinell για όλα τα πετρώματα και για τις δύο μεθόδους.

### 3.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ BRINELL

#### 1. Γρανίτης Αρναίας (AG)

Στον Πίνακα 36 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για τον Γρανίτη Αρναίας (AG).

**Πίνακας 36.** Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για τον Γρανίτη Αρναίας.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
AG	1	0,194
	2	0,190
	3	0,236
	4	0,269
	5	0,194
	6	0,194
	7	0,198
	8	0,166
	9	0,128
	10	0,183
	11	0,20
<b>Μέση τιμή:</b>		<b>0,20</b>
<b>Τυπική απόκλιση s:</b>		<b>0,04</b>
<b>Συντελεστής διακύμανσης v (%):</b>		<b>18,21%</b>
<b>Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):</b>		<b>0,32%</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (AG) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,20 \pm 0,04$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,20} = 79,6 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 96,9 , ελάχιστη: 67,3)}$$



## 2. Γρανοδιορίτης Ορεινών Σερρών (SGd)

Στον Πίνακα 37 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για τον Γρανοδιορίτη Σερρών (SGd).

**Πίνακας 37.** Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για τον Γρανοδιορίτη Σερρών.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
SGd	1	0,058
	2	0,066
	3	0,079
	4	0,058
	5	0,095
	6	0,104
	7	0,149
	8	0,145
	9	0,096
<b>Μέση τιμή:</b>		<b>0,09</b>
<b>Τυπική απόκλιση s:</b>		<b>0,03</b>
<b>Συντελεστής διακύμανσης v (%):</b>		<b>36,16%</b>
<b>Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):</b>		<b>0,38%</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (SGd) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,09 \pm 0,03$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,09} = 176,8 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 265,3, ελάχιστη: 132,6)}$$

### 3. Γρανοδιορίτης Καβάλας (KGd)

Στον Πίνακα 38 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για τον Γρανοδιορίτη Καβάλας (KGd).

**Πίνακας 38.** Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για τον Γρανοδιορίτη Καβάλας.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
KGd	1	0,165
	2	0,144
	3	0,111
	4	0,120
	5	0,124
	6	0,112
	7	0,121
	8	0,170
	9	0,116
	10	0,120
<b>Μέση τιμή:</b>		<b>0,13</b>
<b>Τυπική απόκλιση s:</b>		<b>0,02</b>
<b>Συντελεστής διακύμανσης v (%):</b>		<b>16,61%</b>
<b>Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):</b>		<b>0,22%</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (KGd) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,13 \pm 0,02$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,13} = 122,4 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 144,7, ελάχιστη: 106,1)}$$

#### 4. Πορφύρης Χαλκιδικής (HP)

Στον Πίνακα 39 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για τον Πορφύρη Χαλκιδικής (HP).

Πίνακας 39. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για τον Πορφύρη Χαλκιδικής.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
HP	1	0,219
	2	0,190
	3	0,190
	4	0,203
	5	0,232
	6	0,182
	7	0,190
	8	0,194
	9	0,157
Μέση τιμή διείσδυσης (mm):		<b>0,20</b>
Τυπική απόκλιση s:		<b>0,02</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):		<b>11,01%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):		<b>0,24%</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (HP) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,20 \pm 0,02$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,20} = 79,6 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 88,4, ελάχιστη: 72,3)}$$

## 5. Ασβεστόλιθος Μεσαίου (ML)

Στον Πίνακα 40 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για τον Ασβεστόλιθο Μεσαίου (ML).

**Πίνακας 40.** Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για τον Ασβεστόλιθο Μεσαίου.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
ML	1	0,409
	2	0,144
	3	0,211
	4	0,430
	5	0,203
	6	0,402
	7	0,314
	8	0,158
	9	0,145
	10	0,145
Μέση τιμή:		<b>0,26</b>
Τυπική απόκλιση s:		<b>0,12</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):		<b>46,93%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):		<b>1,20%</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (ML) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,26 \pm 0,12$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,26} = 61,2 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 113,7, ελάχιστη: 41,9)}$$

## 6. Ασβεστόλιθος Γρεβενών (GL)

Στον Πίνακα 41 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για τον Ασβεστόλιθο Γρεβενών (GL).

Πίνακας 41. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για τον Ασβεστόλιθο Γρεβενών.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
GL	1	0,269
	2	0,294
	3	0,434
	4	0,186
	5	0,199
	6	0,161
	7	0,563
	8	0,228
Μέση τιμή:		<b>0,29</b>
Τυπική απόκλιση s:		<b>0,14</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):		<b>47,65%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):		<b>1,74%</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (GL) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,26 \pm 0,14$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,29} = 54,9 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 106,1 , ελάχιστη: 37,0)}$$

## 7. Indiana Limestone (IL)

Στον Πίνακα 42 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάρους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για τον Indiana Limestone (IL).

**Πίνακας 42.** Αποτελέσματα μετρήσεων βάρους διείσδυσης δοκιμής Brinell για τον Indiana Limestone.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
IL	2	0,591
	3	0,542
	4	0,435
	5	0,347
	6	0,401
	7	0,330
	8	0,433
	9	0,364
	10	0,438
	11	0,422
	<b>Μέση τιμή διείσδυσης (mm):</b>	
<b>Τυπική απόκλιση s:</b>		<b>0,08</b>
<b>Συντελεστής διακύμανσης v (%):</b>		<b>19,09%</b>
<b>Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):</b>		<b>0,82%</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (IL) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,43 \pm 0,08$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,43} = 37,0 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 45,5 , ελάχιστη: 31,2)}$$

## 8. Ψαμμίτης Δεματίου (DS)

Στον Πίνακα 43 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για τον Ψαμμίτη Δεματίου (DS).

Πίνακας 43. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για τον Ψαμμίτη Δεματίου.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
DS	1	0,244
	2	0,265
	3	0,207
	4	0,223
	5	0,244
	6	0,211
	7	0,166
	8	0,206
	9	0,216
	10	0,203
	11	0,195
	12	0,203
	13	0,220
	14	0,249
	15	0,186
	16	0,170
	17	0,191
	18	0,232
Μέση τιμή:		<b>0,21</b>
Τυπική απόκλιση s:		<b>0,03</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):		<b>12,65%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):		<b>0,15%</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (DS) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,21 \pm 0,03$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,21} = 75,8 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 88,4, ελάχιστη: 66,3)}$$

## 9. Ψαμμίτης Γρεβενών Ι (GS)

Στον Πίνακα 44 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών Ι (GS).

**Πίνακας 44.** Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών Ι.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
GS	1	0,215
	2	0,231
	3	0,190
	4	0,322
	5	0,232
	6	0,236
	7	0,194
	8	0,199
	9	0,182
	10	0,236
	11	0,174
	12	0,178
	13	0,186
	14	0,219
	15	0,170
Μέση τιμή:		<b>0,21</b>
Τυπική απόκλιση s:		<b>0,04</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):		<b>18,35%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):		<b>0,26%</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (GS) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,21 \pm 0,04$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,21} = 75,8 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 93,6, ελάχιστη: 63,7)}$$



## 10. Ψαμμίτης Γρεβενών II (SST)

Στον Πίνακα 45 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών II (SST).

Πίνακας 45. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών II.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
SST	2	0,567
	3	0,646
	4	0,638
	5	0,447
	6	0,459
	7	0,509
	8	0,588
	9	0,580
	10	0,608
	Μέση τιμή:	
Τυπική απόκλιση s:		0,07
Συντελεστής διακύμανσης v (%):		13,02%
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):		0,81%

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (SST) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,56 \pm 0,07$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,56} = 28,4 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 32,5, ελάχιστη: 25,3)}$$

## 11. Berea Sandstone (BS)

Στον Πίνακα 46 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για τον Berea Sandstone (BS).

**Πίνακας 46.** Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για τον Berea Sandstone.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
BS	1	0,525
	2	0,703
	3	0,450
	4	0,744
	5	0,790
	6	0,724
	7	0,781
	8	0,435
	9	0,781
	10	0,381
<b>Μέση τιμή:</b>		<b>0,63</b>
<b>Τυπική απόκλιση s:</b>		<b>0,16</b>
<b>Συντελεστής διακύμανσης v (%):</b>		<b>25,96%</b>
<b>Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):</b>		<b>1,6%</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (BS) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,63 \pm 0,16$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,63} = 25,3 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 33,9 , ελάχιστη: 20,1)}$$

## 12. Μάρμαρο Καβάλας (KM)

Στον Πίνακα 47 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Καβάλας (KM).

Πίνακας 47. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Καβάλας.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
KM	1	0,186
	2	0,129
	3	0,153
	4	0,154
	5	0,157
	6	0,170
	7	0,153
	8	0,149
	9	0,128
	10	0,165
	11	0,199
	12	0,120
Μέση τιμή:		<b>0,16</b>
Τυπική απόκλιση s:		<b>0,02</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):		<b>14,92%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):		<b>0,19%</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (KM) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,16 \pm 0,02$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,16} = 99,5 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 113,7, ελάχιστη: 88,4)}$$

### 13. Μάρμαρο Θάσου (TSM)

Στον Πίνακα 48 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Θάσου (TSM).

**Πίνακας 48.** Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Θάσου.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
TSM	2	0,215
	3	0,253
	4	0,249
	5	0,273
	6	0,265
	7	0,224
	8	0,207
	9	0,203
	10	0,207
	<b>Μέση τιμή:</b>	
<b>Τυπική απόκλιση s:</b>		<b>0,03</b>
<b>Συντελεστής διακύμανσης v (%):</b>		<b>11,70%</b>
<b>Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):</b>		<b>0,30%</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (TSM) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,23 \pm 0,03$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,23} = 69,2 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 79,6, ελάχιστη: 61,2)}$$

#### 14. Μάρμαρο Βεροίας (VM)

Στον Πίνακα 49 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Βεροίας (VM).

**Πίνακας 49.** Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Βεροίας.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
VM	1	0,559
	2	0,240
	3	0,256
	4	0,381
	5	0,195
	6	0,227
	8	0,241
	9	0,248
	10	0,241
	11	0,840
	12	0,224
	13	0,224
	<b>Μέση τιμή:</b>	
<b>Τυπική απόκλιση s:</b>		<b>0,19</b>
<b>Συντελεστής διακύμανσης v (%):</b>		<b>59,19%</b>
<b>Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):</b>		<b>1,59%</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (VM) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,32 \pm 0,19$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,32} = 49,7 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 122,4 , ελάχιστη: 31,2)}$$

## 15. Μάρμαρο Διονύσου (DM)

Στον Πίνακα 50 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Διονύσου (DM).

**Πίνακας 50.** Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Διονύσου.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
DM	1	0,100
	2	0,099
	3	0,112
	4	0,141
	5	0,107
	6	0,116
	7	0,111
	8	0,128
	9	0,103
	10	0,128
	11	0,144
	12	0,137
<b>Μέση τιμή:</b>		<b>0,12</b>
<b>Τυπική απόκλιση s:</b>		<b>0,02</b>
<b>Συντελεστής διακύμανσης v (%):</b>		<b>13,61%</b>
<b>Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):</b>		<b>0,13%</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (DM) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,12 \pm 0,02$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,12} = 132,6 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 159,2, ελάχιστη: 113,7)}$$

## 16. Μάρμαρο Νευροκοπίου (NM)

Στον Πίνακα 51 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Νευροκοπίου (NM).

**Πίνακας 51.** Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Νευροκοπίου.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
NM	1	0,236
	2	0,194
	3	0,186
	4	0,281
	5	0,199
	6	0,207
	7	0,203
	8	0,174
	9	0,203
	10	0,223
	11	0,170
	12	0,215
	13	0,232
	14	0,199
<b>Μέση τιμή:</b>		<b>0,21</b>
<b>Τυπική απόκλιση s:</b>		<b>0,03</b>
<b>Συντελεστής διακύμανσης v (%):</b>		<b>13,58%</b>
<b>Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):</b>		<b>0,20%</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (NM) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,21 \pm 0,03$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,21} = 75,8 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 88,4 , ελάχιστη: 66,3)}$$

## 17. Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας (GDM)

Στον Πίνακα 52 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας (GDM).

Πίνακας 52. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
GDM	1	0,116
	2	0,099
	3	0,194
	4	0,174
	5	0,141
	6	0,107
	7	0,174
	8	0,162
	9	0,144
	10	0,195
Μέση τιμή:		<b>0,15</b>
Τυπική απόκλιση s:		<b>0,03</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):		<b>23,19%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):		<b>0,35%</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (GDM) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,15 \pm 0,03$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,15} = 106,1 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 132,6 , ελάχιστη: 88,4)}$$



## 18. Σχιστόλιθος Χαλκιδικής (HSh)

Στον Πίνακα 53 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για τον Σχιστόλιθο Χαλκιδικής (HSh).

**Πίνακας 53.** Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για τον Σχιστόλιθο Χαλκιδικής.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
HSh	1	0,087
	2	0,075
	3	0,087
	4	0,112
	5	0,124
	6	0,079
	7	0,108
	8	0,095
	9	0,082
	10	0,074
	11	0,066
<b>Μέση τιμή:</b>		<b>0,09</b>
<b>Τυπική απόκλιση s:</b>		<b>0,02</b>
<b>Συντελεστής διακύμανσης v (%):</b>		<b>20,05%</b>
<b>Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):</b>		<b>0,16%</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (HSh) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,09 \pm 0,02$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,09} = 176,8 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 277,4, ελάχιστη: 144,7)}$$

## 19. Σχιστόλιθος Καβάλας (XSh)

Στον Πίνακα 54 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για τον Σχιστόλιθο Καβάλας (XSh).

**Πίνακας 54.** Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για τον Σχιστόλιθο Καβάλας.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
XSh	1	0,111
	2	0,186
	3	0,277
	4	0,202
	5	0,277
	6	0,141
	7	0,100
	8	0,096
	9	0,103
	10	0,103
	11	0,165
<b>Μέση τιμή:</b>		<b>0,16</b>
<b>Τυπική απόκλιση s:</b>		<b>0,07</b>
<b>Συντελεστής διακύμανσης v (%):</b>		<b>42,73%</b>
<b>Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):</b>		<b>0,62%</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (XSh) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,16 \pm 0,07$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,16} = 99,5 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 176,8, ελάχιστη: 69,2)}$$

## 20. Πρασινοσχιστόλιθος Θ. (TGs)

Στον Πίνακα 55 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για τον Πρασινοσχιστόλιθο (TGs).

**Πίνακας 55.** Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για τον Πρασινοσχιστόλιθο.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
TGs	1	0,518
	2	0,207
	3	0,385
	4	0,274
	5	0,509
	6	0,166
	7	0,195
	8	0,393
	9	0,149
	10	0,348
<b>Μέση τιμή:</b>		<b>0,31</b>
<b>Τυπική απόκλιση s:</b>		<b>0,14</b>
<b>Συντελεστής διακύμανσης v (%):</b>		<b>43,51%</b>
<b>Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):</b>		<b>1,37%</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (TGs) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,31 \pm 0,14$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,31} = 51,3 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 93,6 , ελάχιστη: 35,4)}$$

## 21. Σερπεντινίτης Γρεβενών (GP)

Στον Πίνακα 56 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για τον Σερπεντινίτη Γρεβενών (GP).

**Πίνακας 56.** Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για τον Σερπεντινίτη Γρεβενών.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
GP	1	0,261
	2	0,261
	3	0,211
	4	0,223
	5	0,183
	6	0,195
	7	0,223
	8	0,252
	9	0,298
	10	0,269
<b>Μέση τιμή:</b>		<b>0,24</b>
<b>Τυπική απόκλιση s:</b>		<b>0,04</b>
<b>Συντελεστής διακύμανσης v (%):</b>		<b>15,28%</b>
<b>Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):</b>		<b>0,36%</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (GP) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,24 \pm 0,04$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,24} = 66,3 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 79,6 , ελάχιστη: 56,8)}$$

## 22. Γυψοκονίαμα (PMr)

Στον Πίνακα 57 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής Brinell για το Γυψοκονίαμα (PMr).

Πίνακας 57. Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για το Γυψοκονίαμα.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
PMr	1	0,989
	2	0,918
	3	0,985
	4	0,944
	5	0,878
	6	0,948
	7	0,960
	8	0,952
	9	0,948
	10	1,126
Μέση τιμή:		0,96
Τυπική απόκλιση s:		0,06
Συντελεστής διακύμανσης v (%):		6,72%
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):		0,65%

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (PMr) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,96 \pm 0,06$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,96} = 16,6 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 17,7, ελάχιστη: 15,6)}$$

### 23. Τιμμεντοκονίαμα (CΜr)

Στον Πίνακα 58 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους διείσδυσης της δοκιμής διείσδυσης Brinell για το Τιμμεντοκονίαμα (CΜr).

**Πίνακας 58.** Αποτελέσματα μετρήσεων βάθους διείσδυσης δοκιμής Brinell για το Τιμμεντοκονίαμα.

Δοκίμιο	α/α	Διείσδυση (mm)
CΜr	1	0,547
	2	0,464
	3	0,381
	4	0,538
	5	0,443
	6	0,273
	7	0,410
	8	0,264
	9	0,372
	10	0,517
<b>Μέση τιμή:</b>		<b>0,42</b>
<b>Τυπική απόκλιση s:</b>		<b>0,10</b>
<b>Συντελεστής διακύμανσης v (%):</b>		<b>23,99%</b>
<b>Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):</b>		<b>1,01%</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (CΜr) η μέση τιμή της διείσδυσης η οποία προκύπτει με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $0,42 \pm 0,10$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\pi * D * h} = \frac{500}{3,14 * 10 * 0,42} = 37,9 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 49,7 , ελάχιστη: 30,6)}$$

#### **24. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα δοκιμών σκληρότητας διείσδυσης Brinell**

Παρακάτω παρατίθενται ένας συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 59) για όλα τα εξεταζόμενα πετρώματα. Επίσης, στον Πίνακα 59 δίνεται η μέση μετρούμενη διείσδυση, η τυπική απόκλιση, ο συντελεστής διακύμανσης, η αβεβαιότητα της μέσης τιμής καθώς και ο αντίστοιχος αριθμός των δοκιμών για κάθε πέτρωμα. Επιπλέον, δίνονται οι τιμές σκληρότητας κατά Brinell καθώς και η μέγιστη και ελάχιστη τιμή της αντίστοιχα, όπως προέκυψαν από τη μέτρηση του βάθους διείσδυσης.

Πίνακας 59. Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων δοκιμής σκληρότητας Brinell με τη μέτρηση του βάθους διείσδυσης για όλα τα εξεταζόμενα πετρώματα.

**ΔΟΚΙΜΗ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ BRINELL (ASTM E10)**

α/α	Πέτρωμα	Βάθος διείσδυσης h' μετρηθέν mm	Τυπική απόκλιση s mm	Συντελεστής διακύμανσης ν mm	Αβεβαιότητα μέσης τιμής mm	Αριθμός δοκιμών (N)	Φορτίο (kgf)	Σκληρότητα Brinell (BHN) kgf/mm <sup>2</sup>	Σκληρότητα Brinell (BHN) max kgf/mm <sup>2</sup>	Σκληρότητα Brinell (BHN) min kgf/mm <sup>2</sup>
1	Γρανίτης Αρναίας (AG)	0,20	0,04	18,21%	0,32%	11	500	79,6	96,9	67,5
2	Γρανοδιορίτης Ορειν. Σερρών (SGd)	0,09	0,03	36,16%	0,38%	11	500	176,8	265,3	132,6
3	Γρανοδιορίτης Καβάλας (KGd)	0,13	0,02	16,61%	0,22%	10	500	122,4	144,7	106,1
4	Πορφύρης Χαλκιδικής (HP)	0,20	0,02	11,01%	0,24%	11	500	79,6	88,4	72,3
5	Ασβεστόλιθος Μεσαίου (ML)	0,26	0,12	46,93%	1,20%	11	500	61,2	113,7	41,9
6	Ασβεστόλιθος Γρεβενών (GL)	0,29	0,14	47,65%	1,74%	10	500	54,9	106,1	37,0
7	Indiana Limestone (IL)	0,43	0,08	19,09%	0,82%	11	500	37,0	45,5	31,2
8	Ψαμμίτης Δεματίου (DS)	0,21	0,03	12,65%	0,15%	18	500	75,8	88,4	66,3
9	Ψαμμίτης Γρεβενών I (GS)	0,21	0,04	18,35%	0,26%	16	500	75,8	93,6	63,7
10	Ψαμμίτης Γρεβενών II (SST)	0,56	0,07	13,02%	0,81%	10	500	28,4	32,5	25,3
11	Berea Sandstone (BS)	0,63	0,16	25,96%	1,60%	10	500	25,3	33,9	20,1
12	Μάρμαρο Καβάλας (KM)	0,16	0,02	14,92%	0,19%	12	500	99,5	113,7	88,4
13	Μάρμαρο Θάσου (TSM)	0,23	0,03	11,70%	0,30%	10	500	69,2	79,6	61,2
14	Μάρμαρο Βεροίας (VM)	0,32	0,19	59,19%	1,59%	13	500	49,7	122,4	31,2
15	Μάρμαρο Διονύσου (DM)	0,12	0,02	13,61%	0,13%	12	500	132,6	159,2	113,7
16	Μάρμαρο Νευροκοπίου (NM)	0,21	0,03	13,58%	0,20%	14	500	75,8	88,4	66,3
17	Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας (GDM)	0,15	0,03	23,19%	0,35%	10	500	106,1	132,6	88,4
18	Σχιστόλιθος Χαλκιδικής (HSh)	0,09	0,02	20,05%	0,16%	11	500	176,8	227,4	144,7
19	Σχιστόλιθος Καβάλας (XSh)	0,16	0,07	42,73%	0,62%	11	500	99,5	176,8	69,2
20	Πρασινοσχιστόλιθος Θ. (TGs)	0,31	0,14	43,51%	1,37%	11	500	51,3	93,6	35,4
21	Σερπεντινίτης Γρεβενών (GP)	0,24	0,04	15,28%	0,36%	10	500	66,3	79,6	56,8
22	Γυψοκονίαμα (PMr)	0,96	0,06	6,72%	0,65%	10	500	16,6	17,7	15,6
23	Τσιμεντοκονίαμα (CMr)	0,42	0,1	23,99%	1,01%	10	500	37,9	49,7	30,6



Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα για την σκληρότητα διείδυσης Brinell με τη μέτρηση του βάθους διείδυσης προκύπτουν τα εξής:

- Για τα εξεταζόμενα πετρώματα καλύπτει ένα μεγάλο εύρος με μεγαλύτερη τιμή για τον Γρανοδιορίτη Σερρών (SGd)  $BHN=179,8 \text{ kgf/mm}^2$  και με χαμηλότερη τιμή για το Γυψοκονίαμα (PMr)  $BHN=16,6 \text{ kgf/mm}^2$ .
- Υπάρχει διαχωρισμός των πιο σκληρών πετρωμάτων (πυριγενή) από τα πιο μαλακά πετρώματα (ιζηματογενή).
- Προβάλλει την απομείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών λόγω του πορώδους. Ο Ασβεστόλιθος Μεσαίου (ML)  $61,29 \text{ kgf/mm}^2$  και ο Ασβεστόλιθος Γρεβενών (GL)  $54,9 \text{ kgf/mm}^2$  έχουν μεγαλύτερη σκληρότητα σε σχέση με τον Ασβεστόλιθο Indiana (IL)  $37,0 \text{ kgf/mm}^2$ . Η σημαντική διαφορά σκληρότητας μεταξύ των Ασβεστόλιθων ML και GL αφενός και του Ασβεστόλιθου Indiana (IL) αφετέρου αποδίδεται στο μεγαλύτερο πορώδες (17,9%) του τελευταίου σε σχέση με τους δύο πρώτους (<1,0%).
- Οι ψαμμίτες DS και GS παρουσιάζουν μεγαλύτερη τιμή σκληρότητας ( $75,8 \text{ kgf/mm}^2$ ) σε σχέση με τον Ψαμμίτη SST ( $28,4 \text{ kgf/mm}^2$ ), ο οποίος εμφανίζει χαμηλότερη τιμή σκληρότητας λόγω του πορώδους (12,3%). Επίσης, ο ψαμμίτης BS παρουσιάζει χαμηλότερη τιμή σκληρότητας  $BHN=25,3 \text{ kgf/mm}^2$  παρόλο που έχει μεγαλύτερο ποσοστό χαλαζία στην ορυκτολογική του σύσταση εμφανίζει χαμηλότερη τιμή σκληρότητας λόγω του πορώδους (21,0%).

### 3.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ

#### 1. Γρανίτης Αρναίας (AG)

Στον Πίνακα 60 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείδυσης Brinell για τον Γρανίτη Αρναίας (AG).

Πίνακας 60. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Γρανίτη Αρναίας.

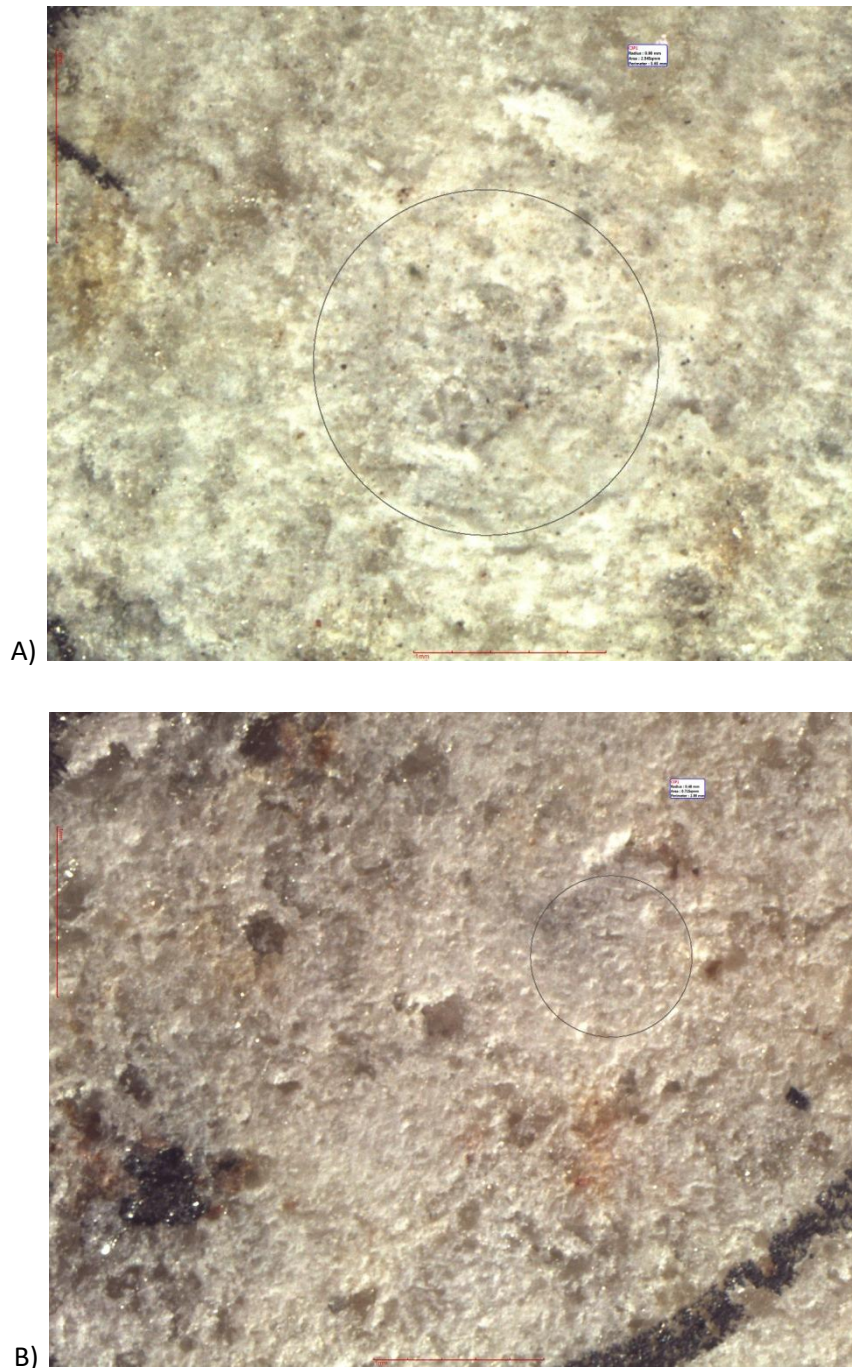
Γρανίτης Αρναίας - AG			
Δοκίμιο	α/α	R (mm)	d (mm)
AG	1	0,67	1,34
	2	0,61	1,22
	3	0,71	1,42
	4	0,90	1,80
	5	0,62	1,24
	6	0,56	1,12
	7	0,70	1,40
	8	0,48	0,96
	9	0,50	1,00
	10	0,70	1,40
	11	0,69	1,38
Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):			<b>1,30</b>
Τυπική απόκλιση s:			<b>0,23</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):			<b>17,91%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):			<b>2,11%</b>
Πλήθος μετρήσεων:			<b>11</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (AG) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $1,30 \pm 0,23$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 1,30^2}]}$$

$$= 375,1 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 554,5, ελάχιστη: 270,4)}$$

Ενδεικτικά στην Εικόνα 14 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Γρανίτη Αρναίας.



**Εικόνα 14.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Γρανίτη Αρναίας.

## 2. Γρανοδιορίτης Ορεινών Σερρών (SGd)

Στον Πίνακα 61 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείδυσης Brinell για τον Γρανοδιορίτη Σερρών (SGd).

Πίνακας 61. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Γρανοδιορίτη Σερρών.

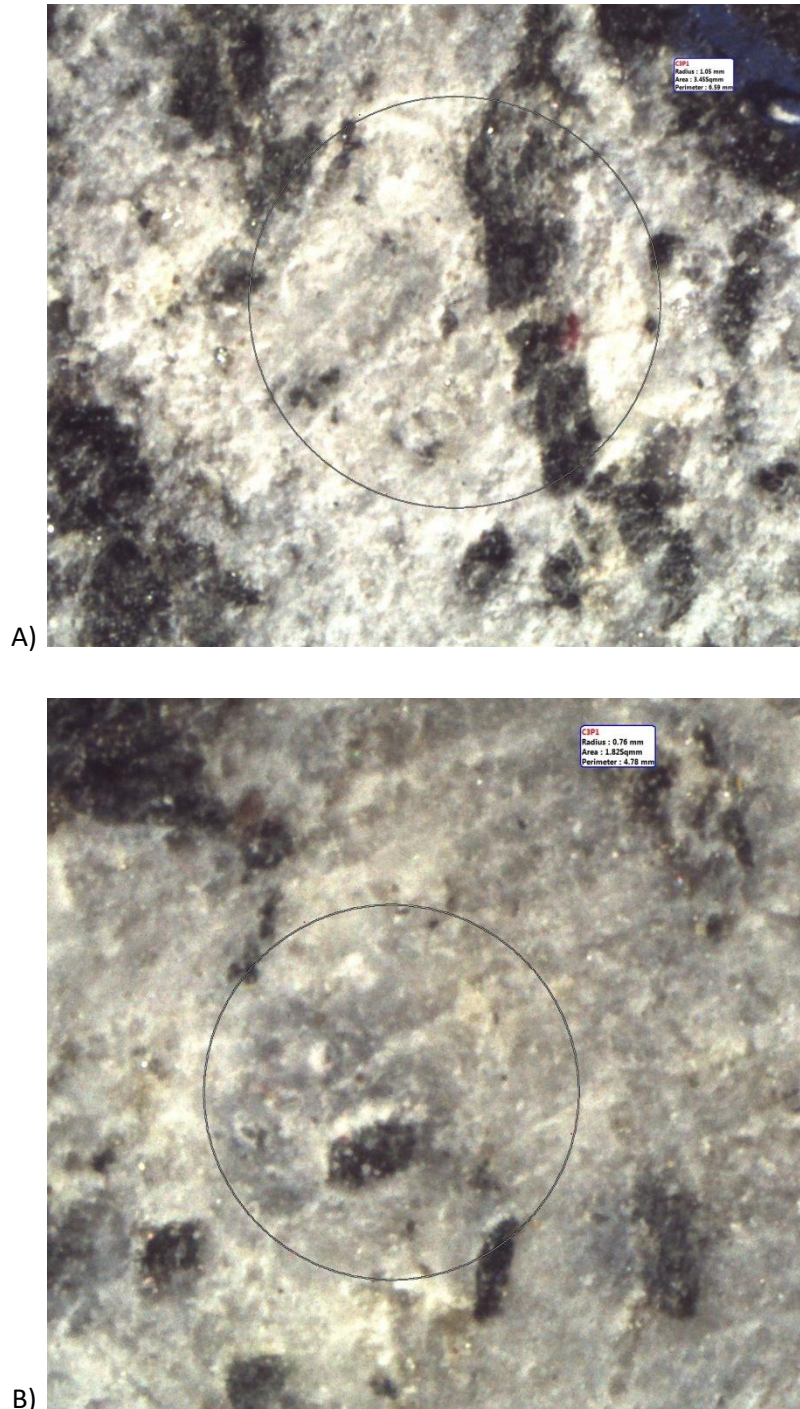
Γρανοδιορίτης Ορειν. Σερρών - SGd			
Δοκίμιο	α/α	R (mm)	d (mm)
SGd	1	1,01	2,02
	2	0,78	1,56
	3	1,04	2,08
	4	0,98	1,96
	5	1,03	2,06
	6	1,03	2,06
	7	0,97	1,94
	8	0,76	1,52
	9	1,05	2,10
	10	0,79	1,58
	11	0,87	1,74
Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):			<b>1,87</b>
Τυπική απόκλιση s:			<b>0,23</b>
Συντελεστής διακύμανσης ν (%):			<b>12,21%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):			<b>2,08%</b>
Πλήθος μετρήσεων:			<b>11</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (SGd) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $1,87 \pm 0,23$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 1,87^2}]}$$
$$= 180,4 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 235,1 , ελάχιστη: 142,7)}$$



Ενδεικτικά στην Εικόνα 15 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Γρανодиορίτη Σερρών.



**Εικόνα 15.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Γρανодиορίτη Σερρών.

### 3. Γρανοδιορίτης Καβάλας (KGd)

Στον Πίνακα 62 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείδυσης Brinell για τον Γρανοδιορίτη Καβάλας (KGd).

**Πίνακας 62.** Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Γρανοδιορίτη Καβάλας.

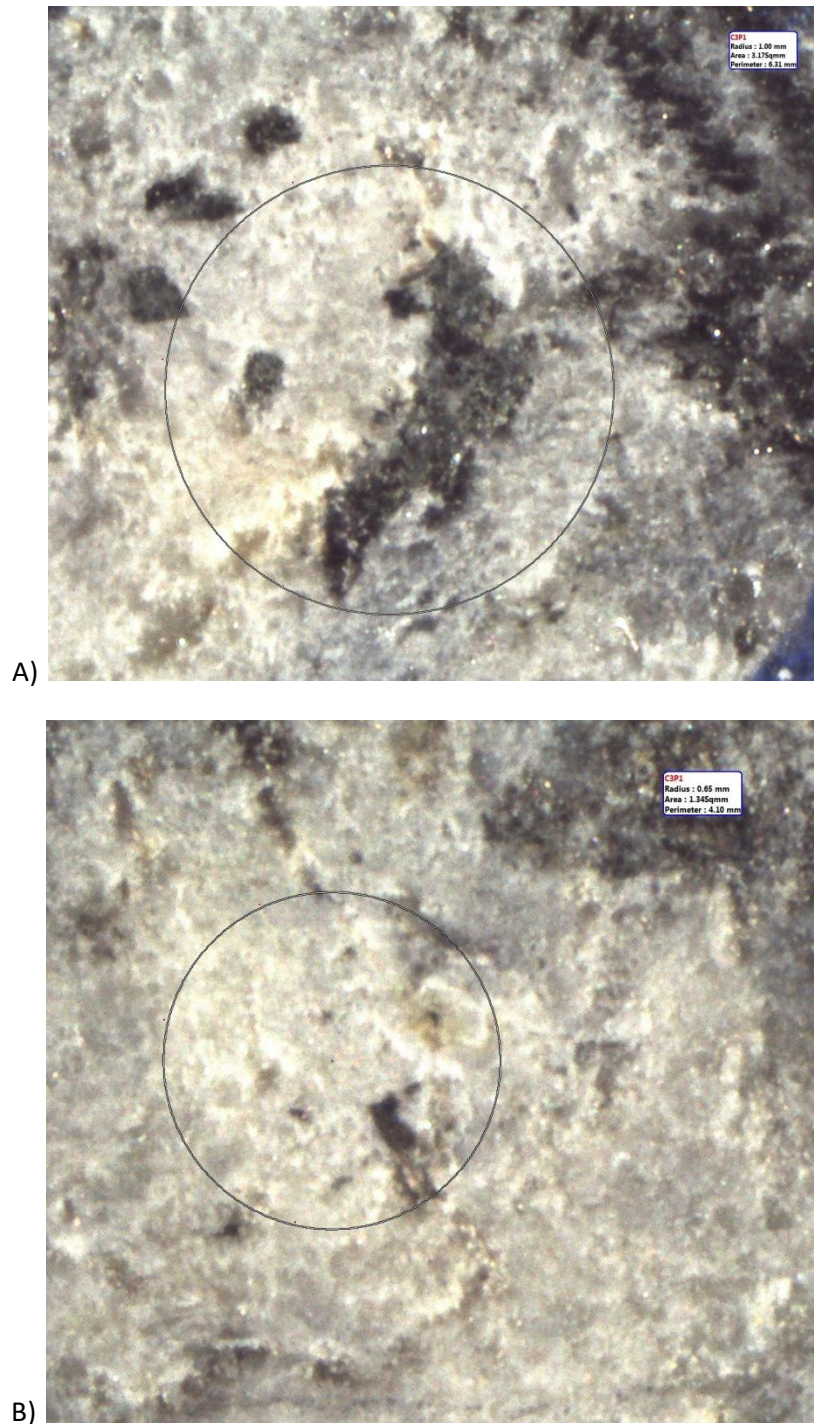
<b>Γρανοδιορίτης Καβάλας - KGd</b>			
<b>Δοκίμιο</b>	<b>α/α</b>	<b>R (mm)</b>	<b>d (mm)</b>
<b>KGd</b>	1	0,69	1,38
	2	0,73	1,46
	3	0,76	1,52
	4	0,91	1,82
	5	0,80	1,60
	6	1,01	2,02
	7	0,81	1,62
	8	0,92	1,84
	9	1,00	2,00
	10	0,65	1,30
<b>Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):</b>			<b>1,66</b>
<b>Τυπική απόκλιση s:</b>			<b>0,25</b>
<b>Συντελεστής διακύμανσης v (%):</b>			<b>15,27%</b>
<b>Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):</b>			<b>2,53%</b>
<b>Πλήθος μετρήσεων:</b>			<b>10</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (KGd) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $1,66 \pm 0,25$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 1,66^2}]}$$

$$= 229,4 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 318,6, ελάχιστη: 172,9)}$$

Ενδεικτικά στην Εικόνα 16 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Γρανοδιορίτη Καβάλας.



**Εικόνα 16.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Γρανοδιορίτη Καβάλας.

#### 4. Πορφύρης Χαλκιδικής (HP)

Στον Πίνακα 63 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείδυσης Brinell για τον Πορφύρη Χαλκιδικής (HP).

Πίνακας 63. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Πορφύρη Χαλκιδικής.

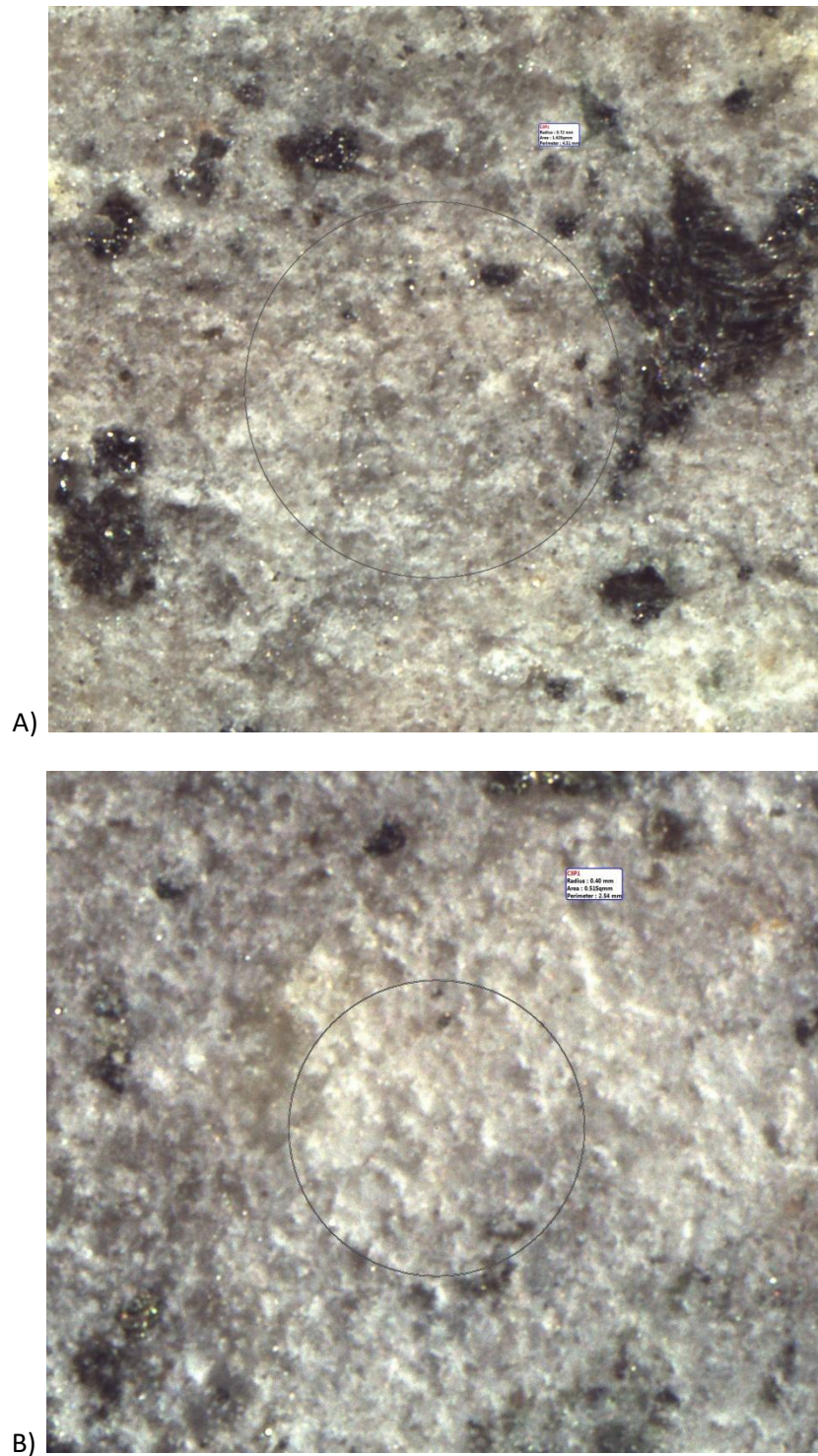
Πορφύρης Χαλκιδικής - HP			
Δοκίμιο	α/α	R (mm)	d (mm)
HP	1	0,48	0,96
	2	0,60	1,20
	3	0,66	1,32
	4	0,71	1,42
	5	0,72	1,44
	6	0,60	1,20
	7	0,37	0,74
	8	0,45	0,90
	9	0,48	0,96
	10	0,40	0,80
	11	0,74	1,49
Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):			<b>1,13</b>
Τυπική απόκλιση s:			<b>0,27</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):			<b>23,83%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):			<b>2,45%</b>
Πλήθος μετρήσεων:			<b>11</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (HP) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $1,13 \pm 0,27$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 1,13^2}]}$$
$$= 497,0 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 859,2 , ελάχιστη: 323,2)}$$



Ενδεικτικά στην Εικόνα 17 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Πορφύρη Χαλκιδικής.



**Εικόνα 17.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Πορφύρη Χαλκιδικής.

## 5. Ασβεστόλιθος Μεσαίου (ML)

Στον Πίνακα 64 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείσδυσης Brinell για τον Ασβεστόλιθο Μεσαίου (ML).

**Πίνακας 64.** Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Ασβεστόλιθο Μεσαίου.

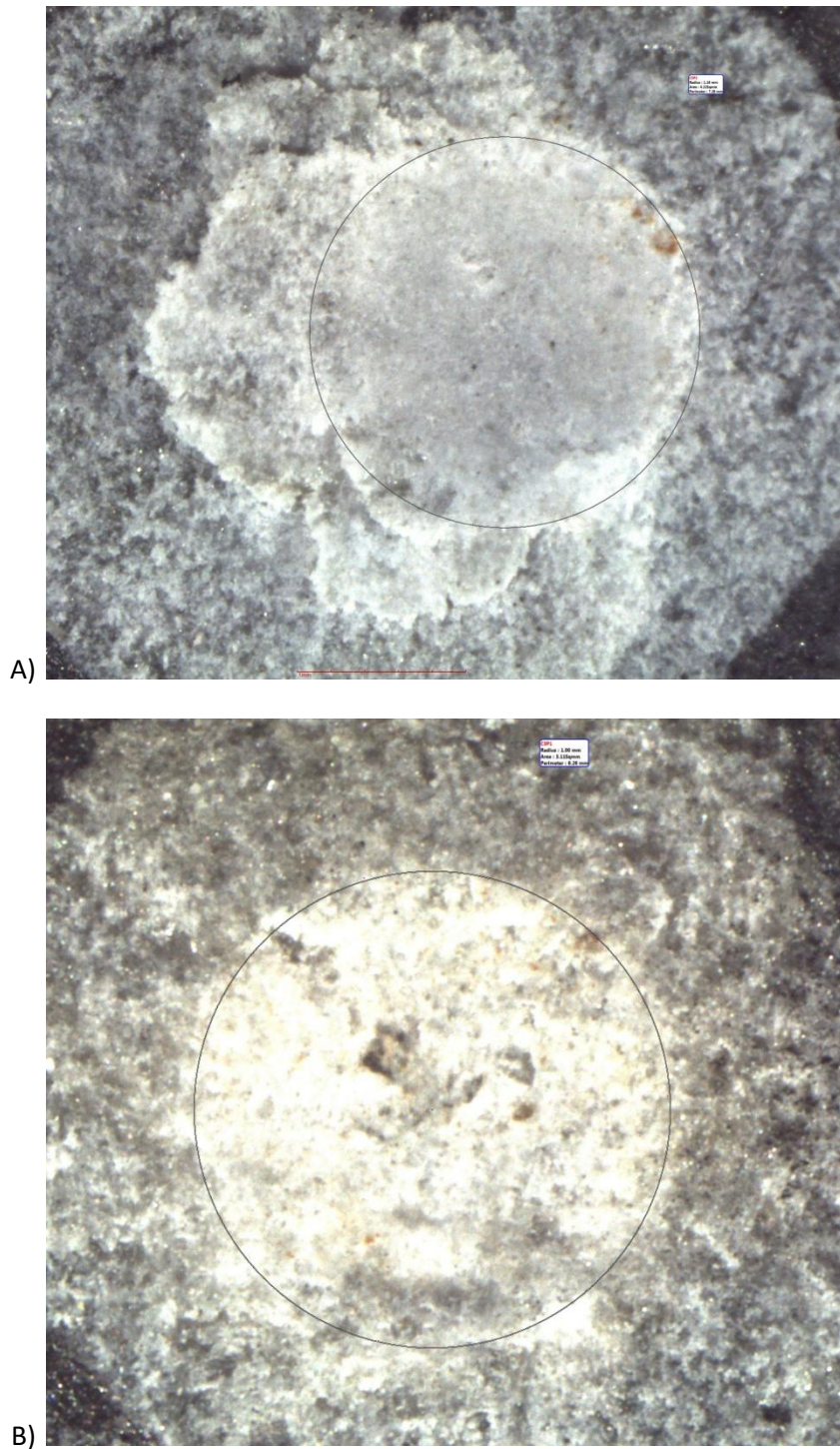
<b>Ασβεστόλιθος Μεσαίου - ML</b>			
<b>Δοκίμιο</b>	<b>α/α</b>	<b>R (mm)</b>	<b>d (mm)</b>
<b>ML</b>	1	1,00	2,00
	2	1,03	2,06
	3	1,14	2,28
	4	1,02	2,04
	5	1,08	2,16
	6	1,01	2,02
	7	1,05	2,10
	8	1,05	2,10
	9	1,14	2,28
	10	1,08	2,16
	11	1,16	2,32
<b>Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):</b>			<b>2,14</b>
<b>Τυπική απόκλιση s:</b>			<b>0,11</b>
<b>Συντελεστής διακύμανσης v (%):</b>			<b>5,25%</b>
<b>Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):</b>			<b>1,02%</b>
<b>Πλήθος μετρήσεων:</b>			<b>11</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (ML) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $2,14 \pm 0,11$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 2,14^2}]}$$

$$= 137,4 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 152,9 , ελάχιστη: 124,1)}$$

Ενδεικτικά στην Εικόνα 18 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ασβεστόλιθο Μεσαίου.



**Εικόνα 18.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ασβεστόλιθο Μεσαίου.



## 6. Ασβεστόλιθος Γρεβενών (GL)

Στον Πίνακα 65 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείδυσης Brinell για τον Ασβεστόλιθο Γρεβενών (GL).

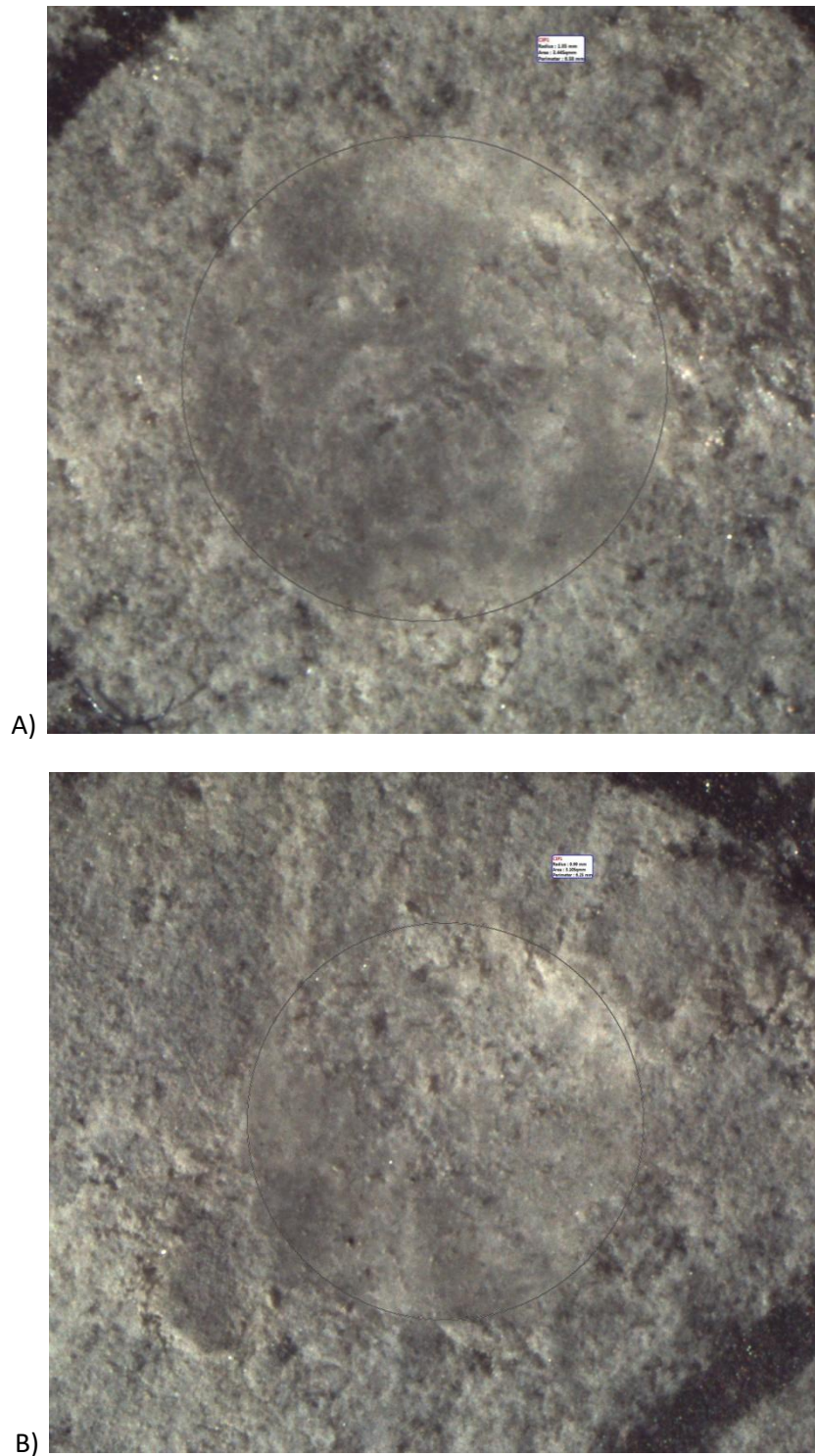
Πίνακας 65. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Ασβεστόλιθο Γρεβενών.

Ασβεστόλιθος Γρεβενών - GL			
Δοκίμιο	α/α	R (mm)	d (mm)
GL	1	1,00	2,00
	2	1,14	2,28
	3	1,02	2,04
	4	1,02	2,04
	5	1,00	2,00
	6	1,05	2,10
	7	1,05	2,10
	8	0,99	1,98
	9	1,02	2,04
	10	1,01	2,02
Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):			<b>2,06</b>
Τυπική απόκλιση s:			<b>0,09</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):			<b>4,22%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):			<b>0,87%</b>
Πλήθος μετρήσεων:			<b>10</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (GL) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $2,06 \pm 0,09$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 2,06^2}]}$$
$$= 148,4 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 162,4 , ελάχιστη: 136,1)}$$

Ενδεικτικά στην Εικόνα 19 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ασβεστόλιθο Γρεβενών.



**Εικόνα 19.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ασβεστόλιθο Γρεβενών.

## 7. Indiana Limestone (IL)

Στον Πίνακα 66 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείσδυσης Brinell για τον Indiana Limestone (IL).

**Πίνακας 66.** Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Indiana Limestone.

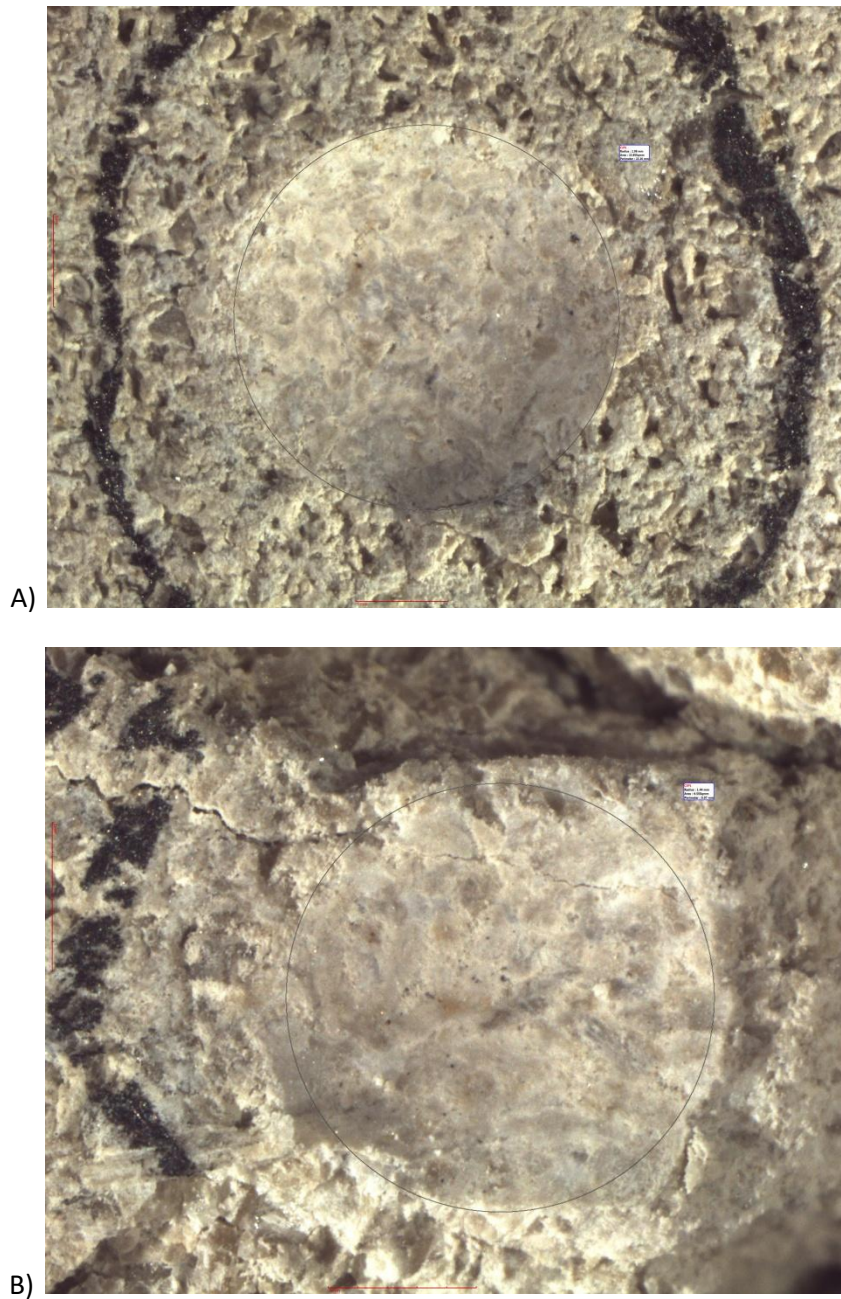
<b>Indiana Limestone - IL</b>			
<b>Δοκίμιο</b>	<b>α/α</b>	<b>R (mm)</b>	<b>d (mm)</b>
<b>IL</b>	2	1,44	2,88
	3	1,87	3,74
	4	2,03	4,06
	5	2,07	4,14
	6	2,02	4,04
	7	2,08	4,16
	8	1,99	3,98
	9	2,13	4,26
	10	2,05	4,10
	11	2,03	4,06
	12	2,00	4,00
	<b>Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):</b>		
<b>Τυπική απόκλιση s:</b>			<b>0,38</b>
<b>Συντελεστής διακύμανσης v (%):</b>			<b>9,56%</b>
<b>Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):</b>			<b>3,43%</b>
<b>Πλήθος μετρήσεων:</b>			<b>11</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (IL) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείσδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $3,95 \pm 0,38$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 3,95^2}]}$$

$$= 39,1 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 48,3 , ελάχιστη: 32,3)}$$

Ενδεικτικά στην Εικόνα 20 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Indiana Limestone.



**Εικόνα 20.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Indiana Limestone.



## 8. Ψαμμίτης Δεματίου (DS)

Στον Πίνακα 67 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείδυσης Brinell για τον Ψαμμίτη Δεματίου (DS).

Πίνακας 67. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Ψαμμίτη Δεματίου.

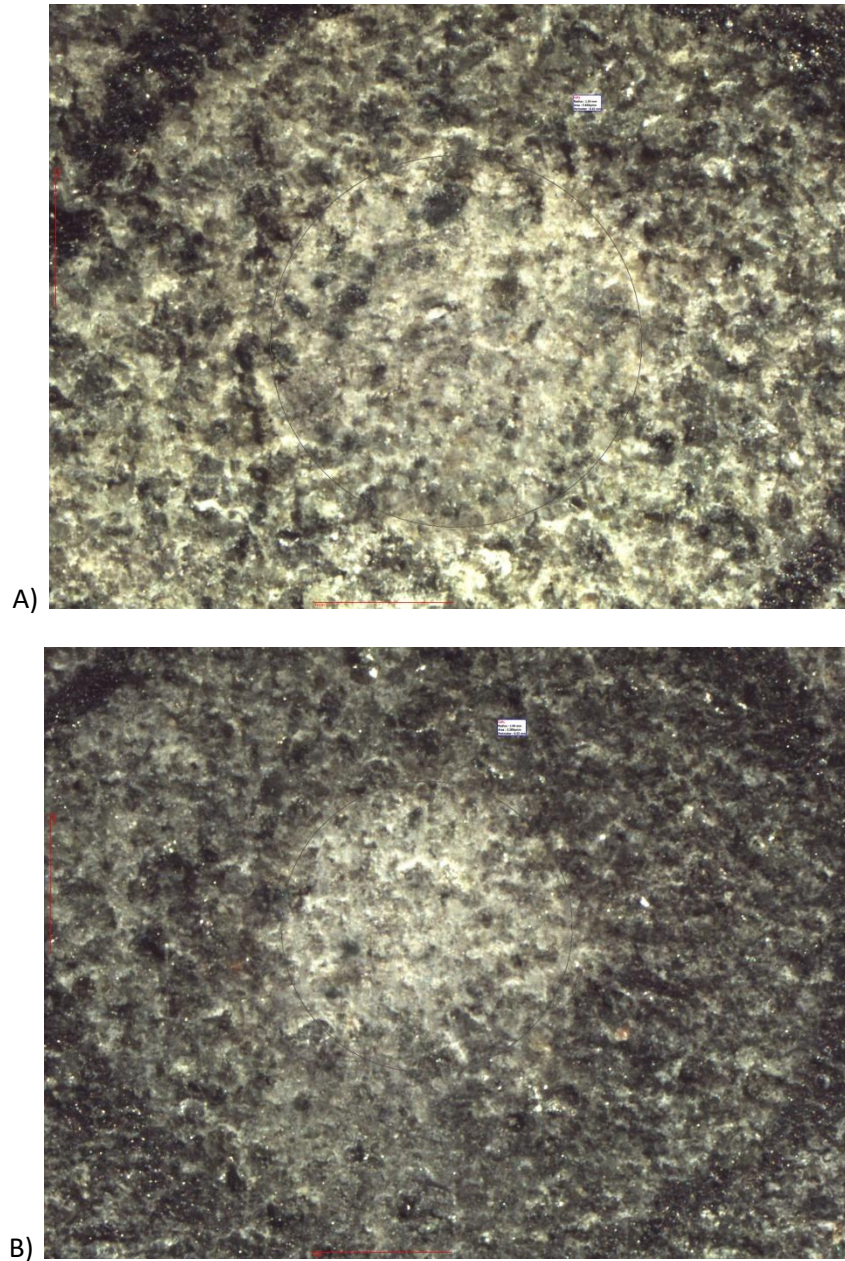
Ψαμμίτης Δεματίου - DS			
Δοκίμιο	α/α	R (mm)	d (mm)
DS	1	1,19	2,38
	2	1,14	2,28
	3	1,11	2,22
	4	1,15	2,30
	5	1,16	2,32
	6	1,12	2,24
	7	1,04	2,08
	8	1,22	2,44
	9	1,24	2,48
	10	1,2	2,40
	11	1,21	2,42
	12	1,26	2,52
	13	1,31	2,62
	14	1,34	2,68
	15	1,3	2,60
	16	1,15	2,30
	17	1,22	2,44
	18	1,35	2,70
Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):			<b>2,41</b>
Τυπική απόκλιση s:			<b>0,17</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):			<b>6,97%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):			<b>0,93%</b>
Πλήθος μετρήσεων:			<b>18</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (DS) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $2,41 \pm 0,17$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 2,41^2}]}$$
$$= 108,0 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 125,3 , ελάχιστη: 94,0)}$$



Ενδεικτικά στην Εικόνα 21 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ψαμμίτη Δεματίου.



**Εικόνα 21.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ψαμμίτη Δεματίου.

## 9. Ψαμμίτης Γρεβενών Ι (GS)

Στον Πίνακα 68 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείδυσης Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών Ι (GS).

Πίνακας 68. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών Ι.

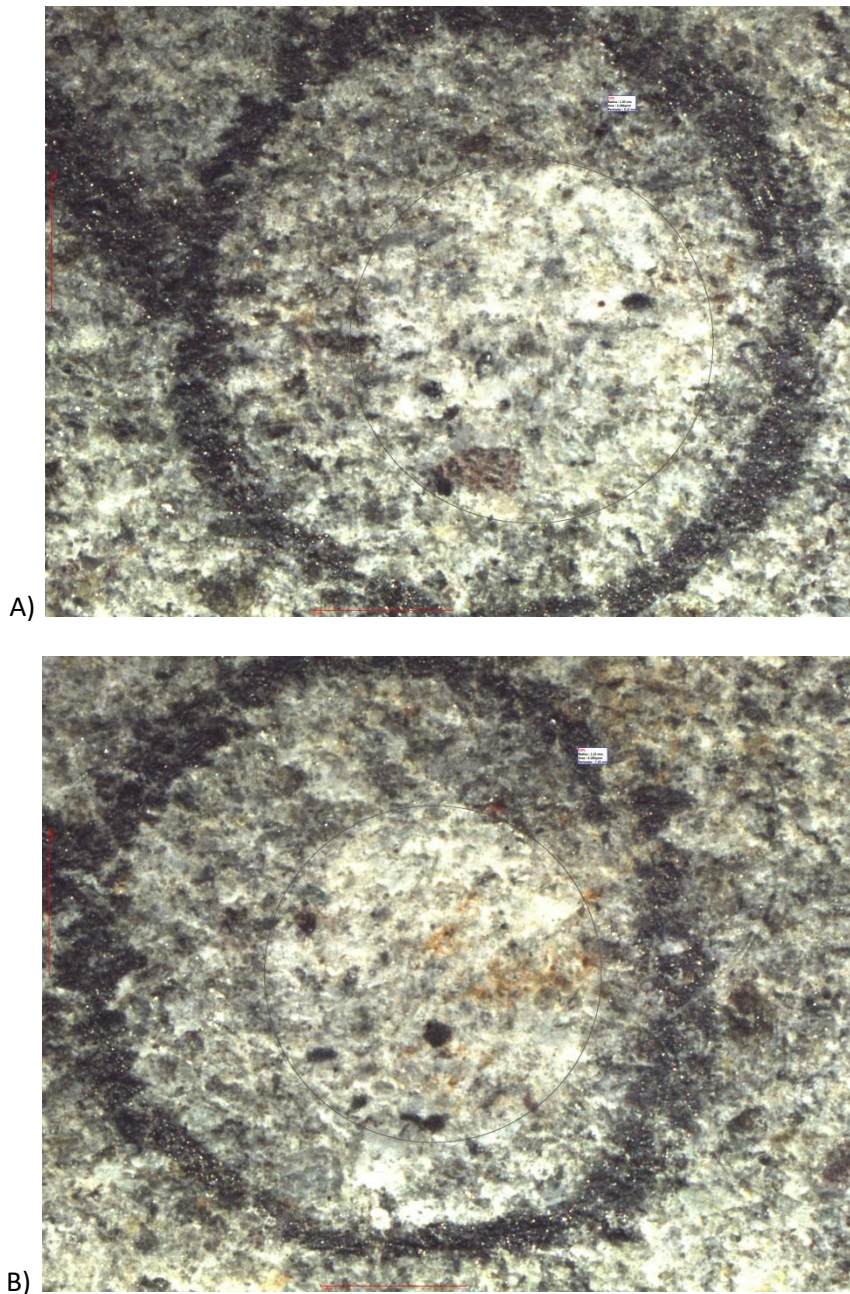
Ψαμμίτης Γρεβενών Ι - GS			
Δοκίμιο	α/α	R (mm)	d (mm)
GS	1	1,30	2,60
	2	1,18	2,36
	3	1,28	2,56
	4	1,21	2,42
	5	1,15	2,30
	6	1,26	2,52
	7	1,21	2,42
	8	1,20	2,40
	9	1,19	2,38
	10	1,29	2,58
	11	1,21	2,42
	12	1,18	2,36
	13	1,20	2,40
	14	1,19	2,38
	15	1,21	2,42
	16	1,22	2,44
Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):			<b>2,44</b>
Τυπική απόκλιση s:			<b>0,09</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):			<b>3,52%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):			<b>0,54%</b>
Πλήθος μετρήσεων:			<b>16</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (GS) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $2,44 \pm 0,09$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$\begin{aligned}
 BHN &= \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 2,44^2}]} \\
 &= 105,3 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 113,7, ελάχιστη: 97,8)}
 \end{aligned}$$



Ενδεικτικά στην Εικόνα 22 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών Ι.



**Εικόνα 22.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (Α) και ελάχιστης (Β) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών Ι.

## 10. Ψαμμίτης Γρεβενών II (SST)

Στον Πίνακα 69 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείδυσης Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών II (SST).

Πίνακας 69. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών II.

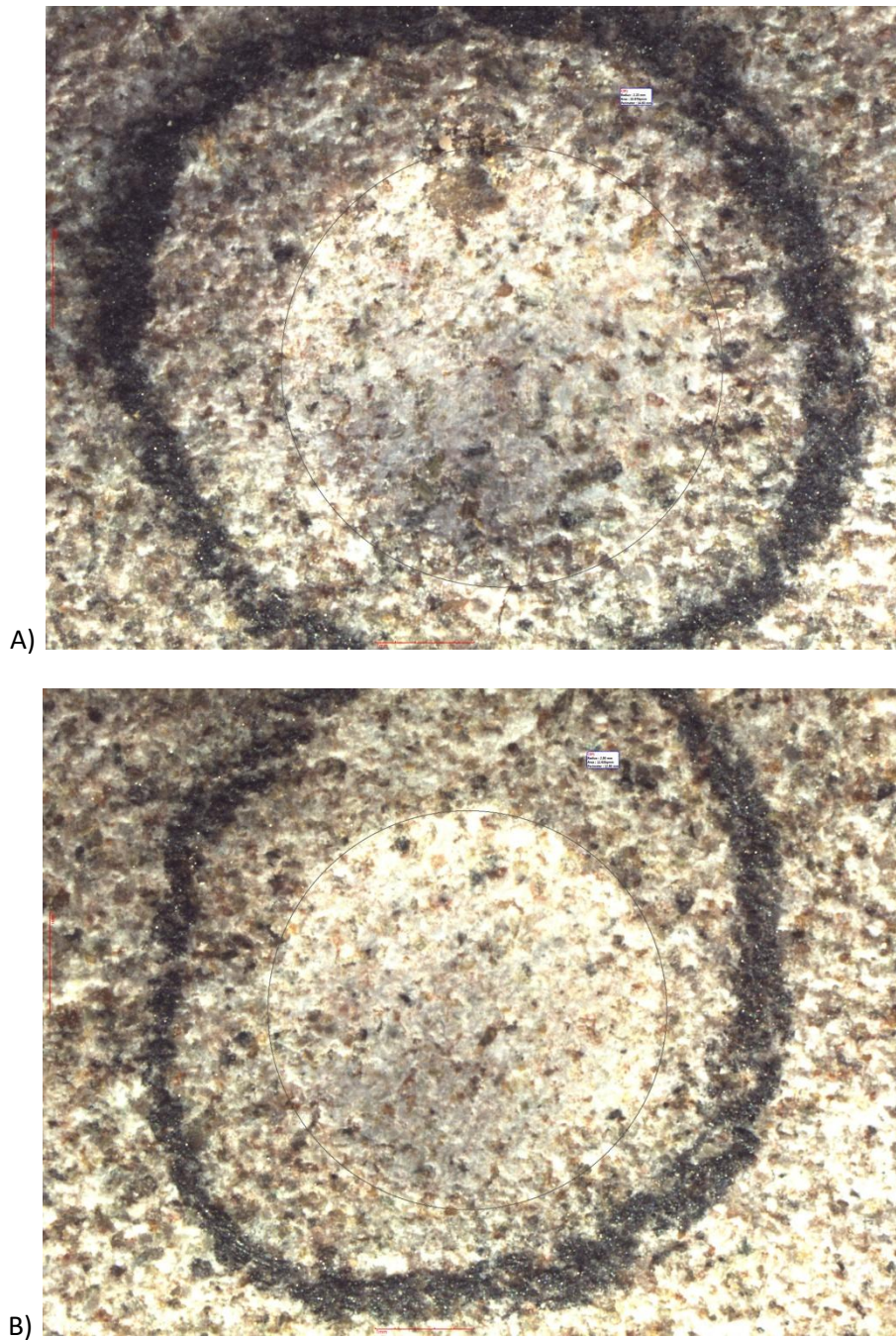
Ψαμμίτης Γρεβενών II - SST			
Δοκίμιο	α/α	R (mm)	d (mm)
SST	1	χάθηκε	
	2	2,17	4,34
	3	2,23	4,46
	4	2,07	4,14
	5	2,00	4,00
	6	2,09	4,18
	7	2,02	4,04
	8	2,00	4,00
	9	2,05	4,10
	10	2,08	4,16
	11	2,00	4,00
Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):			<b>4,14</b>
Τυπική απόκλιση s:			<b>0,15</b>
Συντελεστής διακύμανσης ν (%):			<b>3,73%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):			<b>1,54%</b>
Πλήθος μετρήσεων:			<b>10</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (SST) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $4,14 \pm 0,15$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$\begin{aligned} BHN &= \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 4,14^2}]} \\ &= 35,5 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 38,3 , ελάχιστη: 32,9)} \end{aligned}$$



Ενδεικτικά στην Εικόνα 23 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών ΙΙ.



**Εικόνα 23.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (Α) και ελάχιστης (Β) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών ΙΙ.

## 11. Berea Sandstone (BS)

Στον Πίνακα 70 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείδυσης Brinell για τον Berea Sandstone (BS).

Πίνακας 70. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Berea Sandstone.

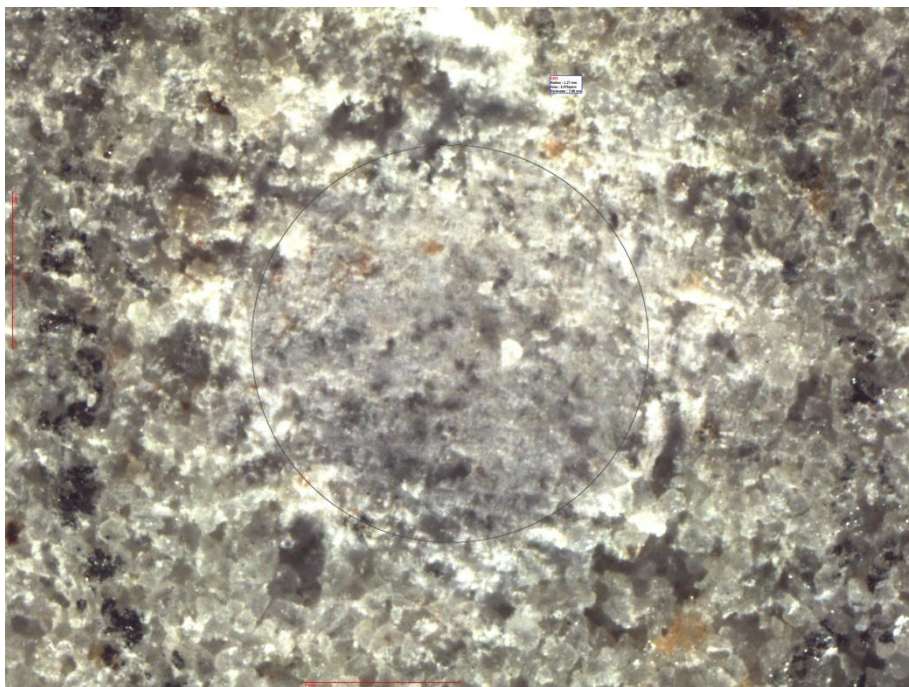
Berea Sandstone - BS			
Δοκίμιο	α/α	R (mm)	d (mm)
BS	1	1,90	3,80
	2	1,43	2,86
	3	1,27	2,54
	4	1,65	3,30
	5	1,51	3,02
	6	1,44	2,88
	7	1,62	3,24
	8	1,91	3,82
	9	1,63	3,26
	10	1,66	3,32
Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):			<b>3,20</b>
Τυπική απόκλιση s:			<b>0,40</b>
Συντελεστής διακύμανσης ν (%):			<b>12,57%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):			<b>4,03%</b>
Πλήθος μετρήσεων:			<b>10</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (BS) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $3,20 \pm 0,40$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 3,20^2}]}$$
$$= 60,5 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 79,6 , ελάχιστη: 47,5)}$$



Ενδεικτικά στην Εικόνα 24 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Berea Sandstone.



**Εικόνα 24.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Berea Sandstone.

## 12. Μάρμαρο Καβάλας (KM)

Στον Πίνακα 71 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείδυσης Brinell για το Μάρμαρο Καβάλας (KM).

Πίνακας 71. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Καβάλας.

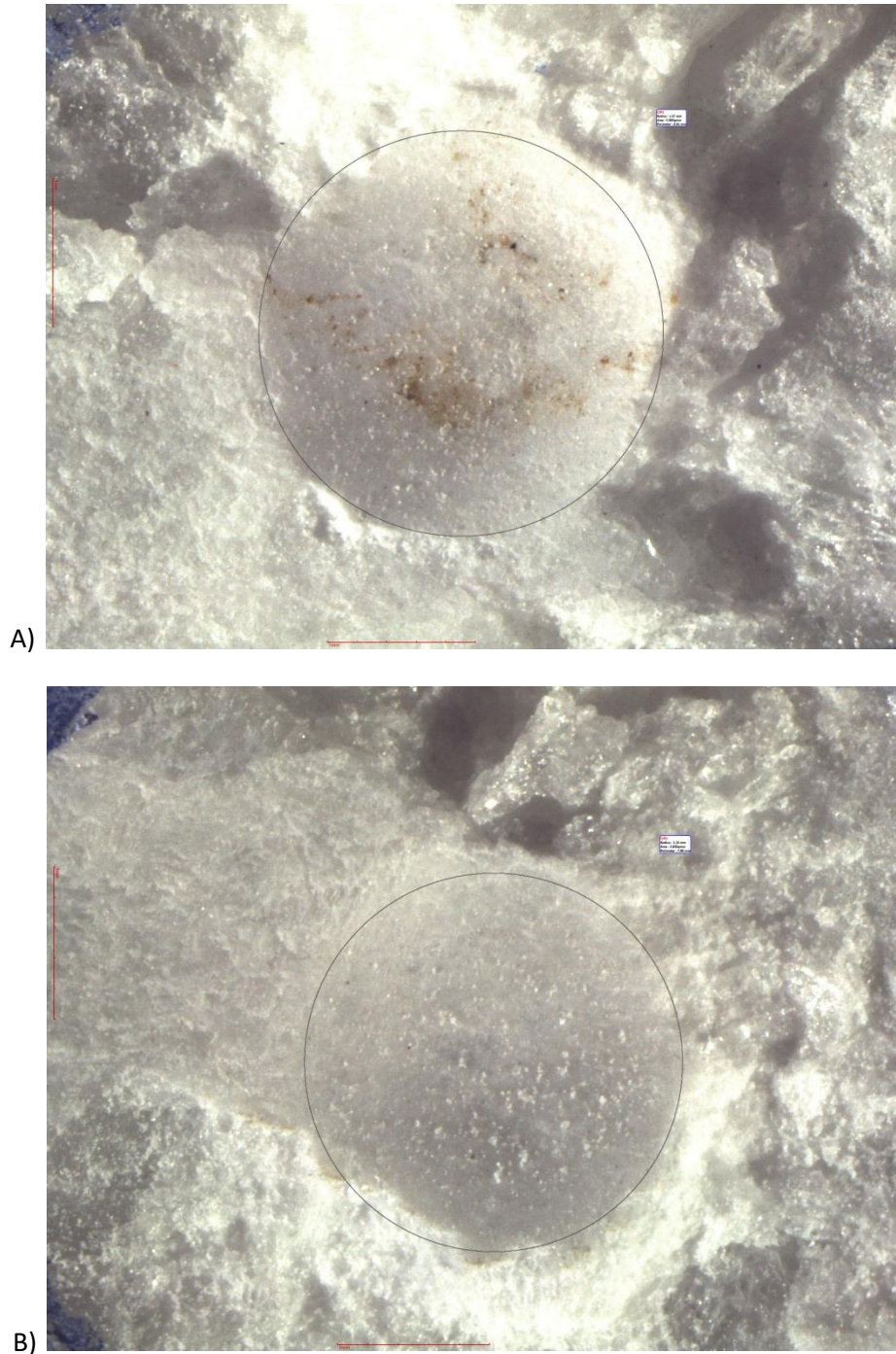
Μάρμαρο Καβάλας - KM			
Δοκίμιο	α/α	R (mm)	d (mm)
KM	1	1,30	2,60
	2	1,29	2,58
	3	1,25	2,50
	4	1,37	2,74
	5	1,27	2,54
	6	1,29	2,58
	7	1,30	2,60
	8	1,25	2,50
	9	1,29	2,58
	10	1,30	2,60
	11	1,24	2,48
	12	1,33	2,66
Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):			<b>2,58</b>
Τυπική απόκλιση s:			<b>0,07</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):			<b>2,80%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):			<b>0,60%</b>
Πλήθος μετρήσεων:			<b>12</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (KM) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $2,58 \pm 0,07$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$\begin{aligned} BHN &= \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 2,58^2}]} \\ &= 94,0 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 99,4 , ελάχιστη: 89,0)} \end{aligned}$$



Ενδεικτικά στην Εικόνα 25 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Καβάλας.



**Εικόνα 25.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Καβάλας.

### 13. Μάρμαρο Θάσου (TSM)

Στον Πίνακα 72 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείδυσης Brinell για το Μάρμαρο Θάσου (TSM).

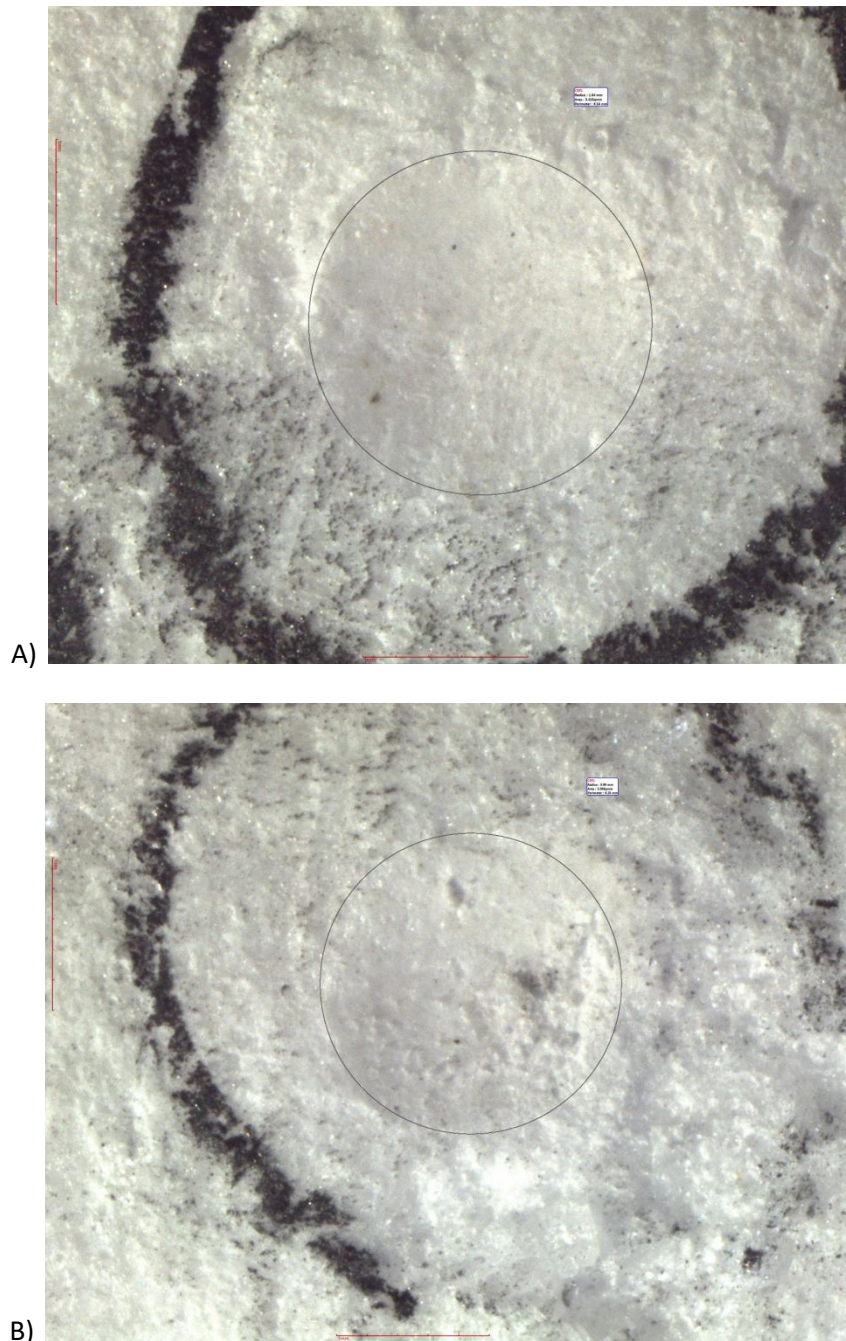
Πίνακας 72. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Θάσου.

Μάρμαρο Θάσου - TSM			
Δοκίμιο	α/α	R (mm)	d (mm)
TSM	1	1,00	2,00
	2	0,99	1,98
	3	1,01	2,02
	4	1,00	2,00
	5	1,00	2,00
	6	1,04	2,08
	7	0,99	1,98
	8	1,03	2,06
	9	0,99	1,98
	10	0,99	1,98
Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):			<b>2,01</b>
Τυπική απόκλιση s:			<b>0,04</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):			<b>1,77%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):			<b>0,36%</b>
Πλήθος μετρήσεων:			<b>10</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (TSM) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $2,01 \pm 0,04$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$\begin{aligned} BHN &= \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 2,01^2}]} \\ &= 156,0 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 162,4 , ελάχιστη: 149,9)} \end{aligned}$$

Ενδεικτικά στην Εικόνα 26 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Θάσου.



**Εικόνα 26.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Θάσου.

#### 14. Μάρμαρο Βεροίας (VM)

Στον Πίνακα 73 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείδυσης Brinell για το Μάρμαρο Βεροίας (VM).

Πίνακας 73. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Βεροίας.

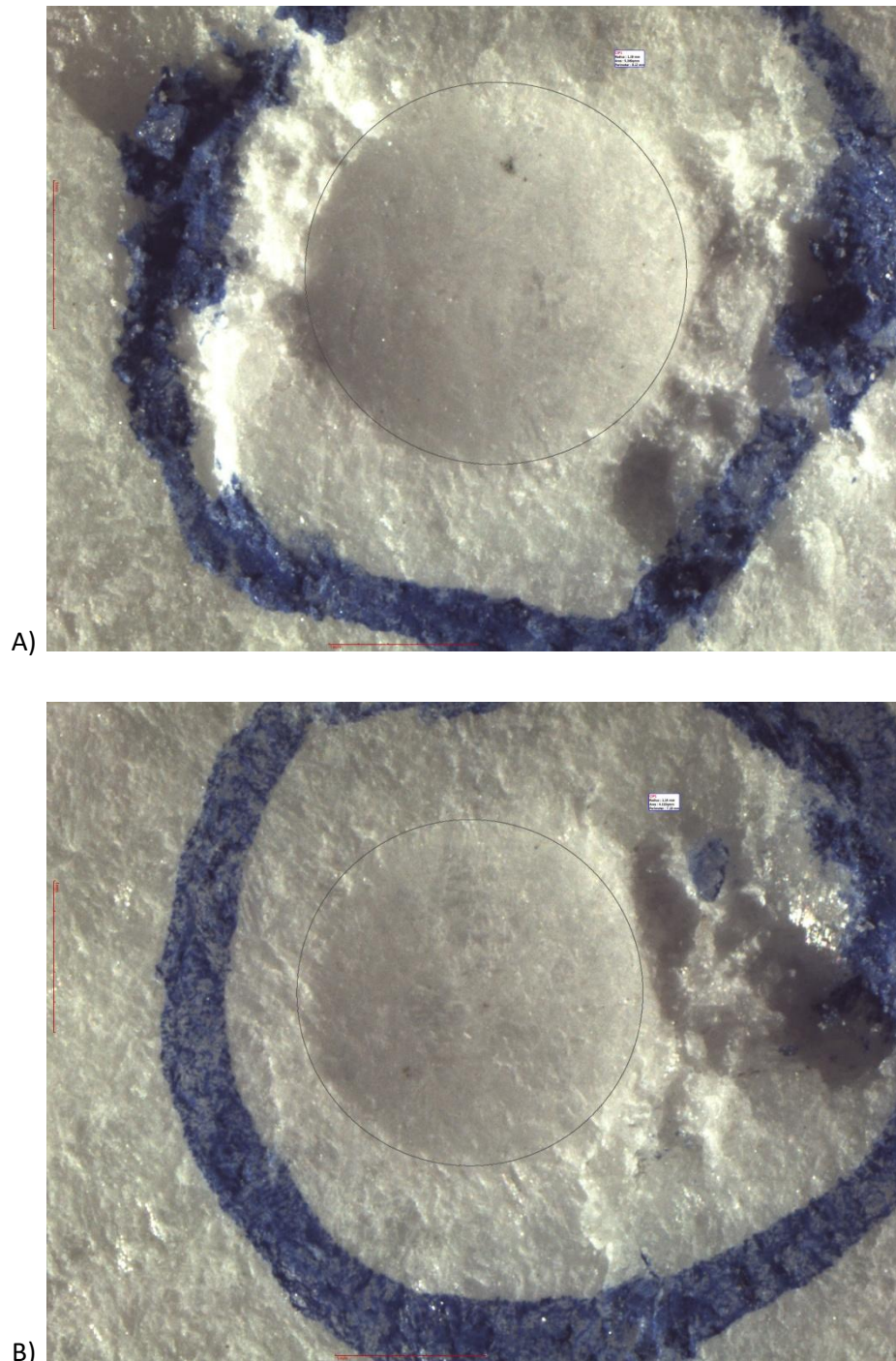
Μάρμαρο Βεροίας - VM			
Δοκίμιο	α/α	R (mm)	d (mm)
VM	1	1,18	2,36
	2	1,17	2,34
	3	1,19	2,38
	4	1,19	2,38
	5	1,14	2,28
	6	1,20	2,40
	7	1,21	2,42
	8	1,25	2,50
	9	1,20	2,40
	10	1,28	2,56
	11	1,29	2,58
	12	1,19	2,38
	13	1,20	2,40
Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):			<b>2,41</b>
Τυπική απόκλιση s:			<b>0,09</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):			<b>3,52%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):			<b>0,65%</b>
Πλήθος μετρήσεων:			<b>13</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (VM) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $2,41 \pm 0,09$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 2,41^2}]}$$
$$= 108,09 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 116,7 , ελάχιστη: 100,2)}$$



Ενδεικτικά στην Εικόνα 27 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Βεροίας.



**Εικόνα 27.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Βεροίας.

## 15. Μάρμαρο Διονύσου (DM)

Στον Πίνακα 74 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείδυσης Brinell για το Μάρμαρο Διονύσου (DM).

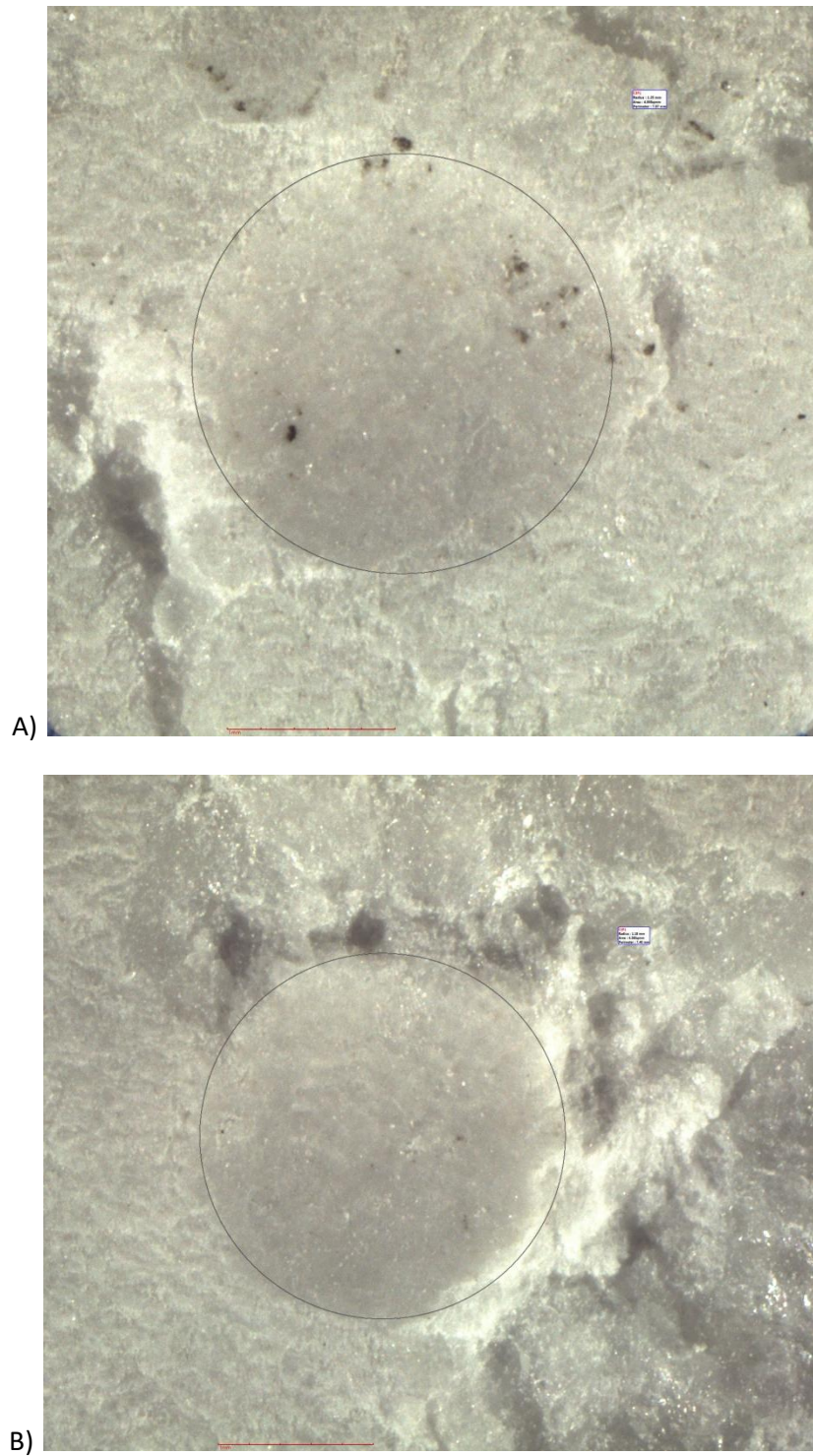
Πίνακας 74. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Διονύσου.

Μάρμαρο Διονύσου - DM			
Δοκίμιο	α/α	R (mm)	d (mm)
DM	1	1,23	2,46
	2	1,21	2,42
	3	1,23	2,46
	4	1,24	2,48
	5	1,23	2,46
	6	1,23	2,46
	7	1,24	2,48
	8	1,21	2,42
	9	1,18	2,36
	10	1,27	2,54
	11	1,25	2,50
	12	1,24	2,48
Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):			<b>2,46</b>
Τυπική απόκλιση s:			<b>0,05</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):			<b>1,83%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):			<b>0,38%</b>
Πλήθος μετρήσεων:			<b>12</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (DM) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $2,46 \pm 0,05$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$\begin{aligned} BHN &= \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 2,46^2}]} \\ &= 103,6 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: } 108,0 \text{ , ελάχιστη: } 99,4\text{)} \end{aligned}$$

Ενδεικτικά στην Εικόνα 28 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Διονύσου.



**Εικόνα 28.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Διονύσου.

## 16. Μάρμαρο Νευροκοπίου (NM)

Στον Πίνακα 75 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείδυσης Brinell για το Μάρμαρο Νευροκοπίου (NM).

Πίνακας 75. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Νευροκοπίου.

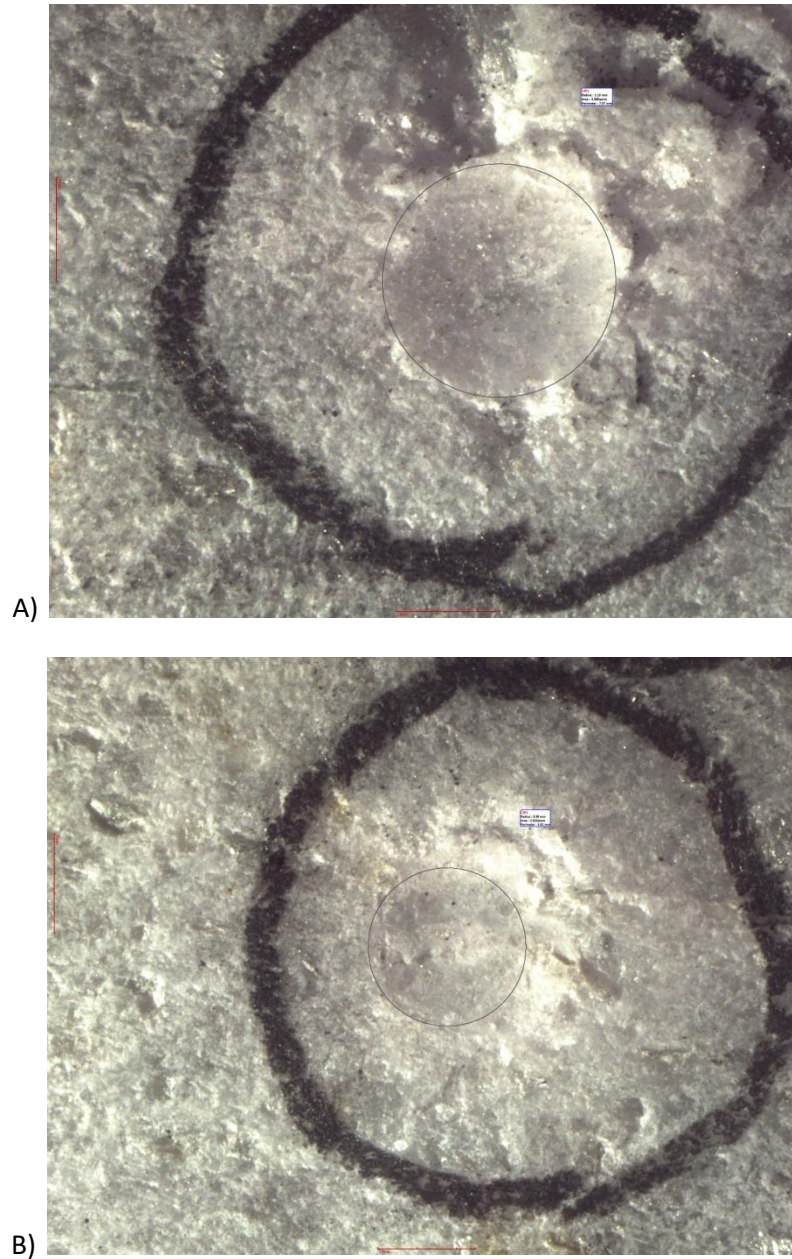
<b>Μάρμαρο Νευροκοπίου - NM</b>			
<b>Δοκίμιο</b>	<b>α/α</b>	<b>R (mm)</b>	<b>d (mm)</b>
<b>NM</b>	1	1,11	2,22
	2	1,02	2,04
	3	1,04	2,08
	4	1,09	2,18
	5	1,01	2,02
	6	1,10	2,20
	7	1,07	2,14
	8	0,96	1,92
	9	1,13	2,26
	10	1,08	2,16
	11	0,80	1,60
	12	1,05	2,10
	13	1,06	2,12
	14	1,02	2,04
<b>Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):</b>			<b>2,08</b>
<b>Τυπική απόκλιση s:</b>			<b>0,16</b>
<b>Συντελεστής διακύμανσης ν (%):</b>			<b>7,91%</b>
<b>Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):</b>			<b>1,17%</b>
<b>Πλήθος μετρήσεων:</b>			<b>14</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (NM) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $2,08 \pm 0,16$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 2,08^2}]}$$
$$= 145,5 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 171,1 , ελάχιστη: 125,3)}$$



Ενδεικτικά στην Εικόνα 29 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Νευροκοπίου.



**Εικόνα 29.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Νευροκοπίου.

## 17. Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας (GDM)

Στον Πίνακα 76 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείδυσης Brinell για το Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας (GDM).

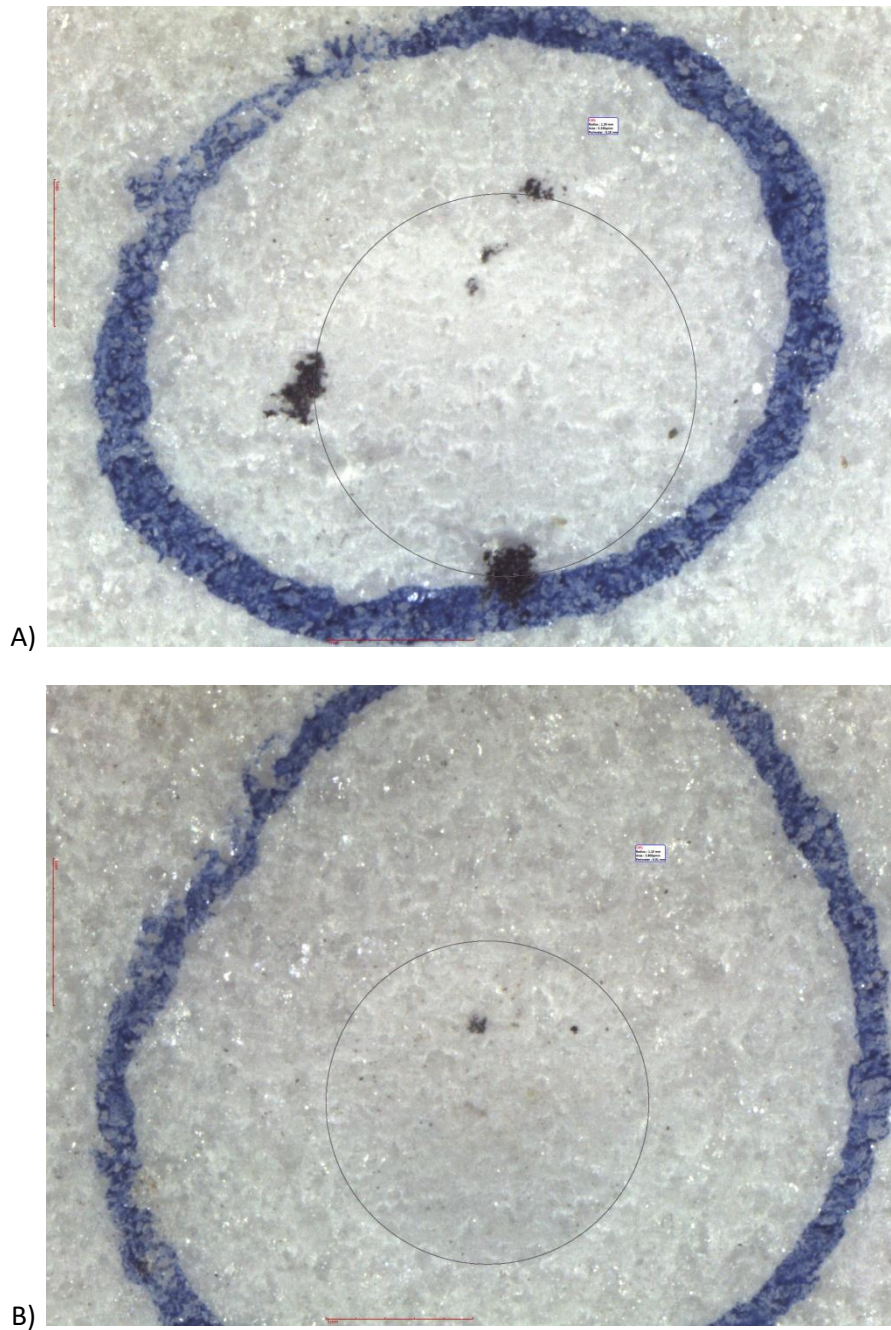
Πίνακας 76. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας.

Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας - GDM			
Δοκίμιο	α/α	R (mm)	d (mm)
GDM	1	1,10	2,20
	2	1,13	2,26
	3	1,23	2,46
	4	1,21	2,42
	5	1,30	2,60
	6	1,23	2,46
	7	1,25	2,50
	8	1,17	2,34
	9	1,24	2,48
	10	1,27	2,54
Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):			<b>2,43</b>
Τυπική απόκλιση s:			<b>0,12</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):			<b>5,14%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):			<b>1,25%</b>
Πλήθος μετρήσεων:			<b>10</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (GDM) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $2,43 \pm 0,12$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$\begin{aligned} BHN &= \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 2,43^2}]} \\ &= 106,2 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 117,7 , ελάχιστη: 96,3)} \end{aligned}$$

Ενδεικτικά στην Εικόνα 30 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας.



**Εικόνα 30.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας.

## 18. Σχιστόλιθος Χαλκιδικής (HSh)

Στον Πίνακα 77 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείδυσης Brinell για τον Σχιστόλιθο Χαλκιδικής (HSh).

Πίνακας 77. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Σχιστόλιθο Χαλκιδικής.

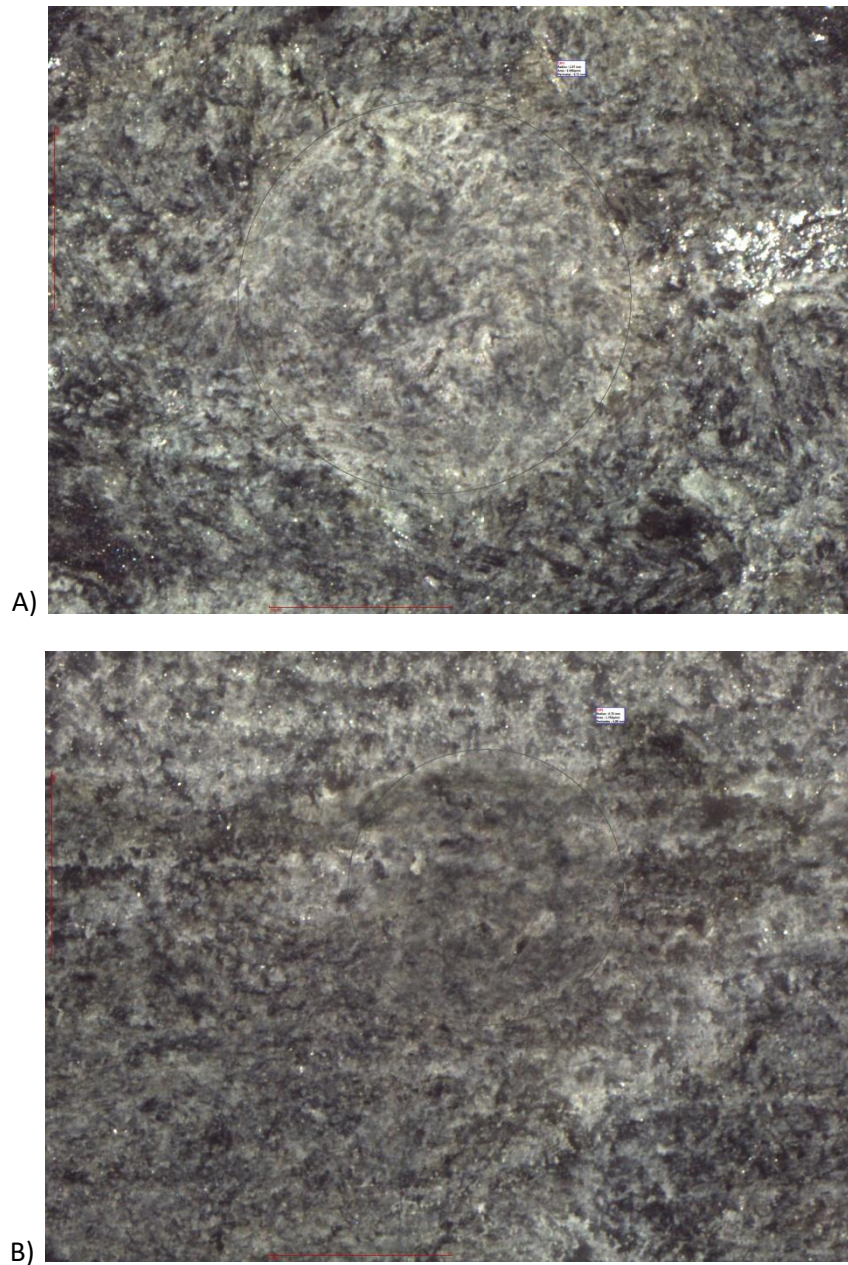
Σχιστόλιθος Χαλκιδικής - HSh			
Δοκίμιο	α/α	R (mm)	d (mm)
HSh	1	0,86	1,72
	2	0,75	1,50
	3	0,86	1,72
	4	1,07	2,14
	5	0,75	1,50
	6	0,82	1,64
	7	0,98	1,96
	8	0,96	1,92
	9	0,78	1,56
	10	0,84	1,68
	11	0,95	1,90
Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):			<b>1,75</b>
Τυπική απόκλιση s:			<b>0,21</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):			<b>11,82%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):			<b>1,88%</b>
Πλήθος μετρήσεων:			<b>11</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (HSh) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $1,75 \pm 0,21$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$\begin{aligned} BHN &= \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 1,75^2}]} \\ &= 206,3 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 266,8 , ελάχιστη: 164,1)} \end{aligned}$$



Ενδεικτικά στην Εικόνα 31 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Σχιστόλιθο Χαλκιδικής.



**Εικόνα 31.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Σχιστόλιθο Χαλκιδικής.

## 19. Σχιστόλιθος Καβάλας (XSh)

Στον Πίνακα 78 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείδυσης Brinell για τον Σχιστόλιθο Καβάλας (XSh).

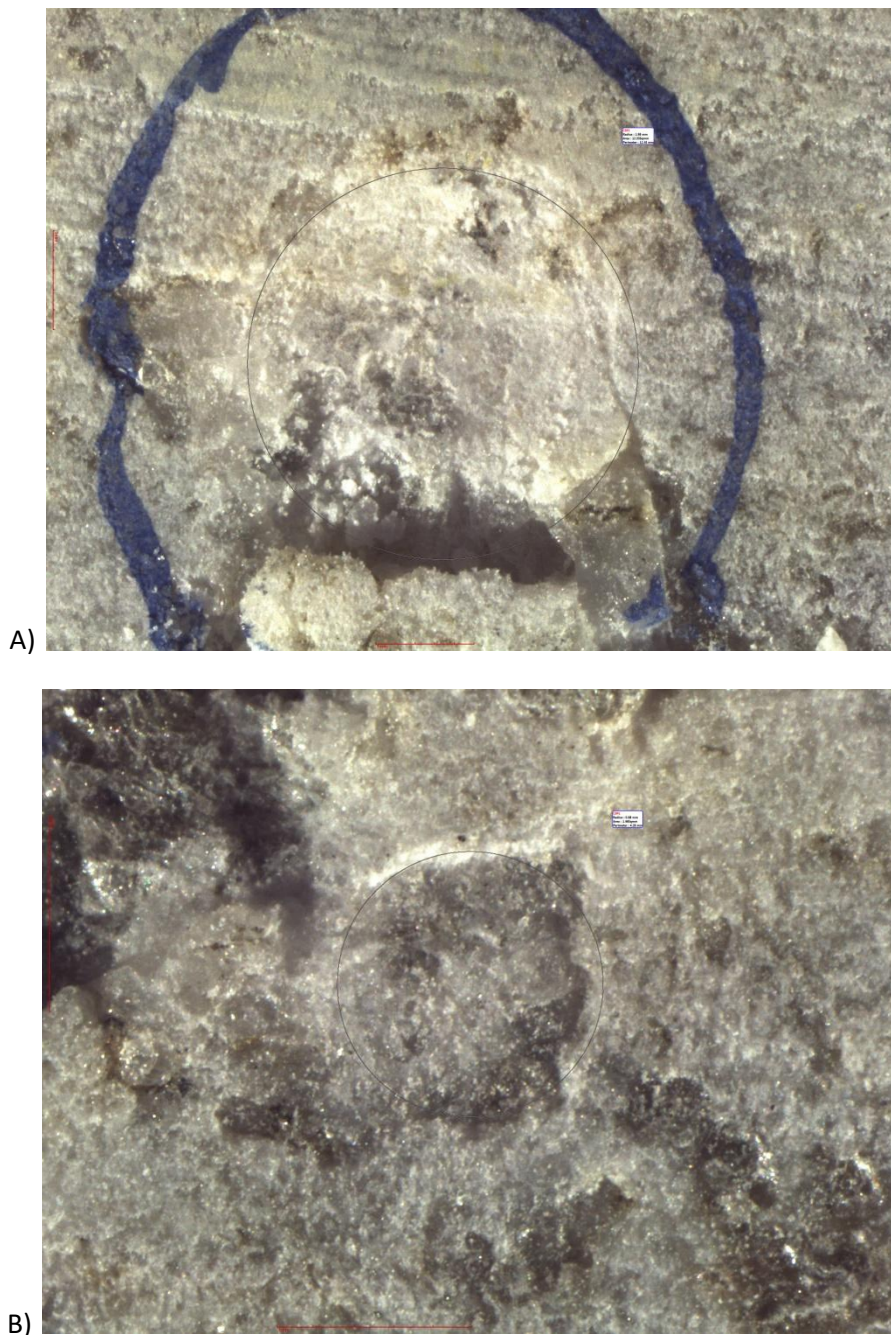
Πίνακας 78. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Σχιστόλιθο Καβάλας.

Σχιστόλιθος Καβάλας - XSh			
Δοκίμιο	α/α	R (mm)	d (mm)
XSh	1	0,96	1,92
	2	0,90	1,80
	3	1,98	3,96
	4	1,00	2,00
	5	0,91	1,82
	6	0,68	1,36
	7	0,87	1,74
	8	1,03	2,06
	9	0,85	1,70
	10	1,04	2,08
	11	0,92	1,84
Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):			<b>2,03</b>
Τυπική απόκλιση s:			<b>0,67</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):			<b>33,18%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):			<b>6,11%</b>
Πλήθος μετρήσεων:			<b>11</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (XSh) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $2,03 \pm 0,67$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 2,03^2}]}$$
$$= 152,9 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 342,6 , ελάχιστη: 85,7)}$$

Ενδεικτικά στην Εικόνα 32 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Σχιστόλιθο Καβάλας.



**Εικόνα 32.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Σχιστόλιθο Καβάλας.



## 20. Πρασινοσχιστόλιθος Θ. (TGs)

Στον Πίνακα 79 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείδυσης Brinell για τον Πρασινοσχιστόλιθο Θ. (TGs).

Πίνακας 79. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Πρασινοσχιστόλιθο.

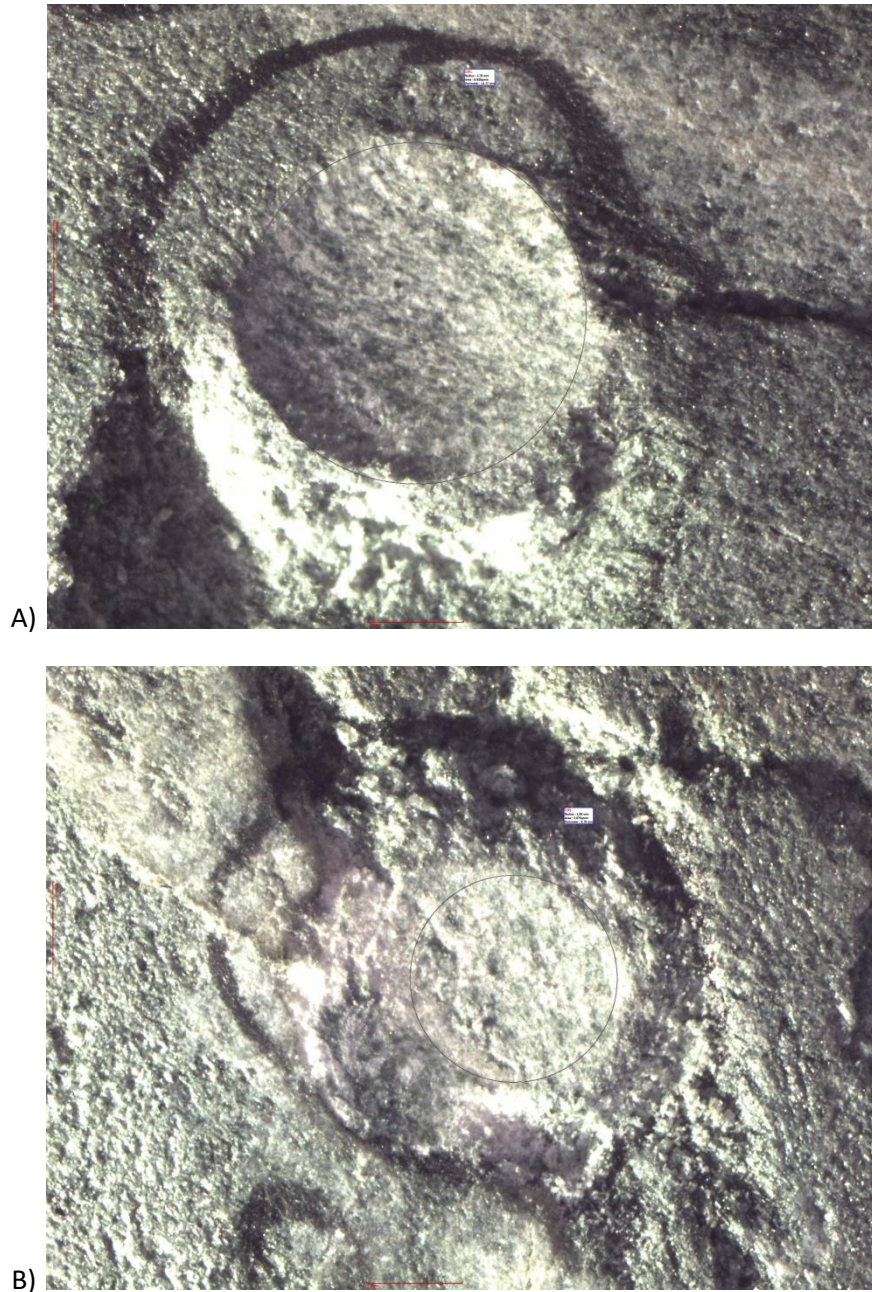
Πρασινοσχιστόλιθος Θ. - TGs			
Δοκίμιο	α/α	R (mm)	d (mm)
TGs	1	1,74	3,48
	2	1,11	2,22
	3	1,30	2,60
	4	1,39	2,78
	5	1,78	3,56
	6	1,19	2,38
	7	1,24	2,48
	8	1,08	2,16
	9	1,54	3,08
	10	1,47	2,94
	11	1,43	2,86
Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):			<b>2,78</b>
Τυπική απόκλιση s:			<b>0,45</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):			<b>16,11%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):			<b>4,07%</b>
Πλήθος μετρήσεων:			<b>11</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (TGs) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $2,78 \pm 0,45$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$\begin{aligned} BHN &= \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 2,78^2}]} \\ &= 80,8 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 115,7 , ελάχιστη: 59,4)} \end{aligned}$$



Ενδεικτικά στην Εικόνα 33 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Πρασινοσχιστόλιθο.



**Εικόνα 33.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Πρασινοσχιστόλιθο.

## 21. Σερπεντινίτης Γρεβενών (GP)

Στον Πίνακα 80 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείδυσης Brinell για τον Σερπεντινίτη Γρεβενών (GP).

Πίνακας 80. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Σερπεντινίτη Γρεβενών.

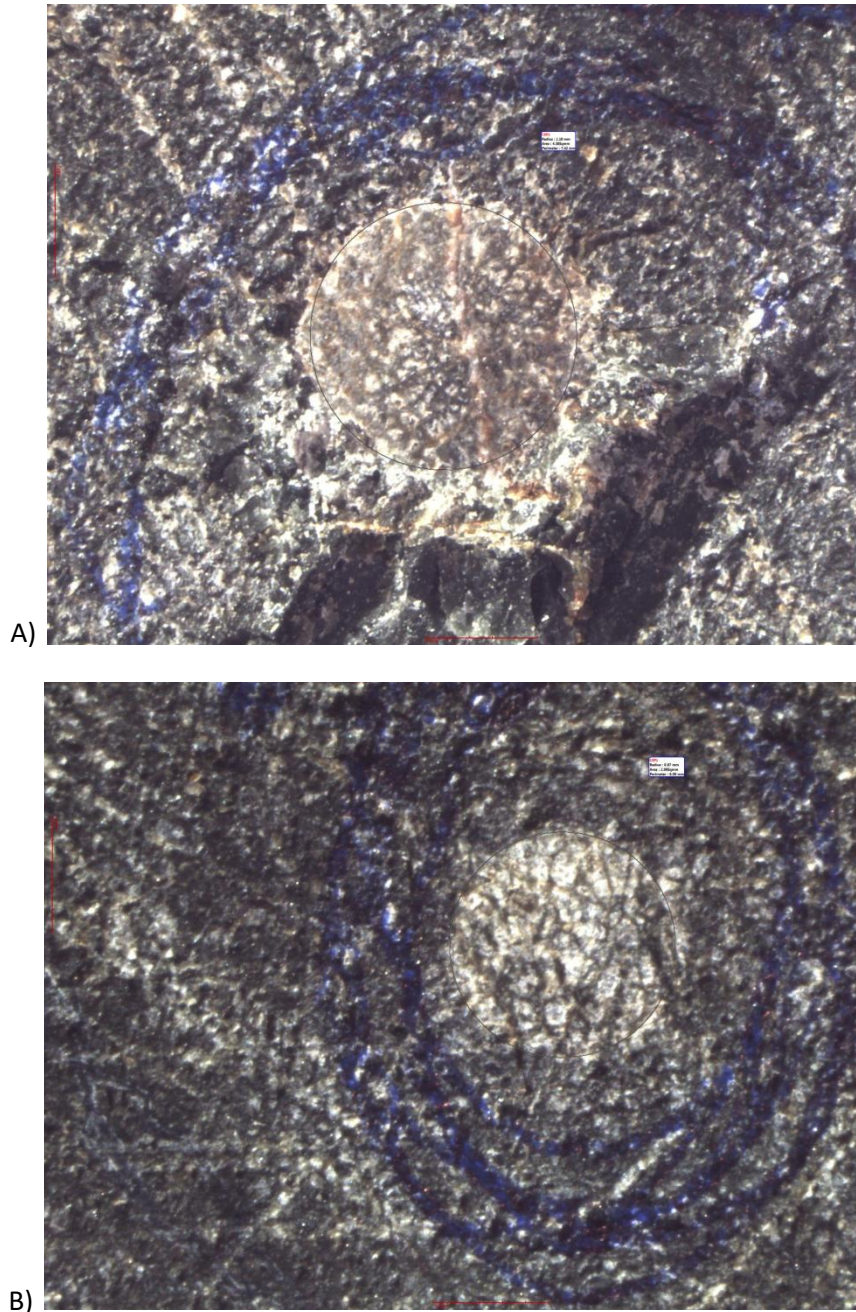
Σερπεντινίτης Γρεβενών - GP			
Δοκίμιο	α/α	R (mm)	d (mm)
GP	1	1,02	2,04
	2	0,97	1,94
	3	1,00	2,00
	4	1,03	2,06
	5	1,01	2,02
	6	1,00	2,00
	7	1,0	2,00
	8	1,01	2,02
	9	1,18	2,36
	10	1,03	2,06
Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):			<b>2,05</b>
Τυπική απόκλιση s:			<b>0,11</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):			<b>5,58%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):			<b>1,14%</b>
Πλήθος μετρήσεων:			<b>10</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (GP) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $2,05 \pm 0,11$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$\begin{aligned} BHN &= \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 2,05^2}]} \\ &= 149,9 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 167,5 , ελάχιστη: 134,8)} \end{aligned}$$



Ενδεικτικά στην Εικόνα 34 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Σερπεντινίτη Γρεβενών.



**Εικόνα 34.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για τον Σερπεντινίτη Γρεβενών.

## 22. Γυψοκονίαμα (PMr)

Στον Πίνακα 81 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείδυσης Brinell για το Γυψοκονίαμα (PMr).

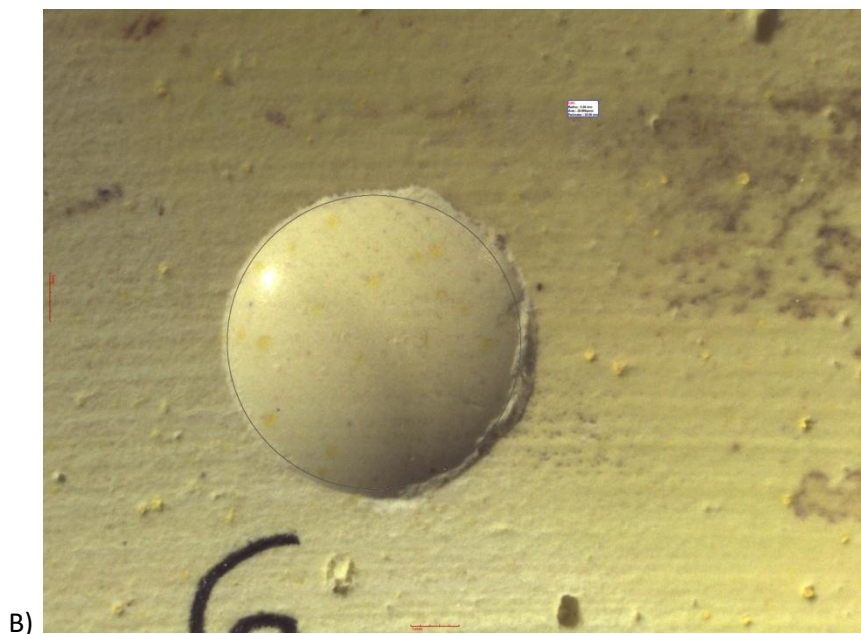
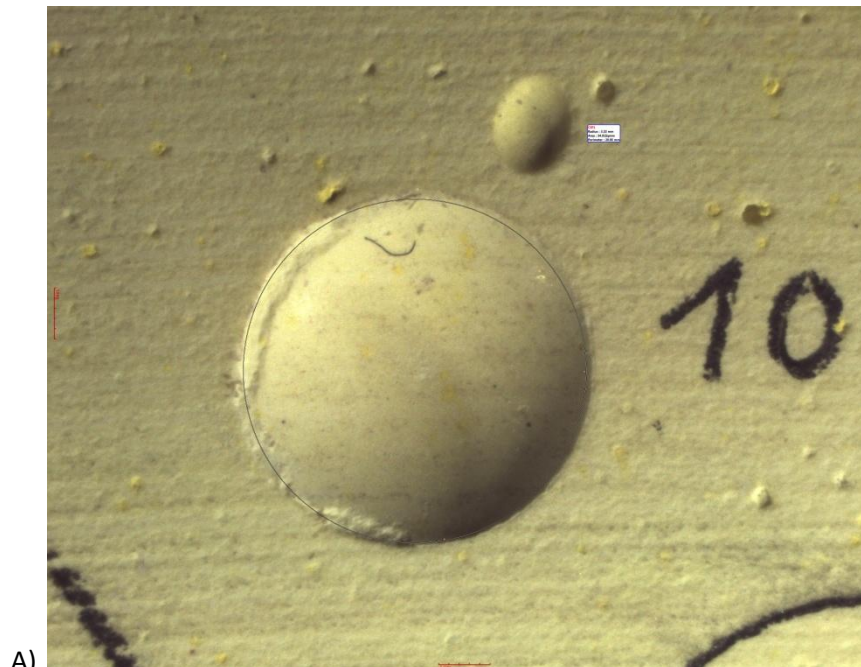
Πίνακας 81. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για το Γυψοκονίαμα.

Γυψοκονίαμα - PMr			
Δοκίμιο	α/α	R (mm)	d (mm)
PMr	1	3,25	6,50
	2	3,20	6,40
	3	3,27	6,54
	4	3,24	6,48
	5	3,25	6,50
	6	3,04	6,08
	7	3,20	6,40
	8	3,15	6,30
	9	3,1	6,20
	10	3,33	6,66
Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):			<b>6,41</b>
Τυπική απόκλιση s:			<b>0,17</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):			<b>2,68%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):			<b>1,72%</b>
Πλήθος μετρήσεων:			<b>10</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (PMr) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $6,41 \pm 0,17$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 6,41^2}]}$$
$$= 13,7 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 14,6 , ελάχιστη: 12,9)}$$

Ενδεικτικά στην Εικόνα 35 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Γυψοκονίαμα.



**Εικόνα 35.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για το Γυψοκονίαμα.

### 23. Τσιμεντοκονίαμα (CΜr)

Στον Πίνακα 82 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του αποτυπώματος της δοκιμής διείδυσης Brinell για το Τσιμεντοκονίαμα (CΜr).

Πίνακας 82. Αποτελέσματα μετρήσεων αποτυπώματος δοκιμής Brinell για το Τσιμεντοκονίαμα.

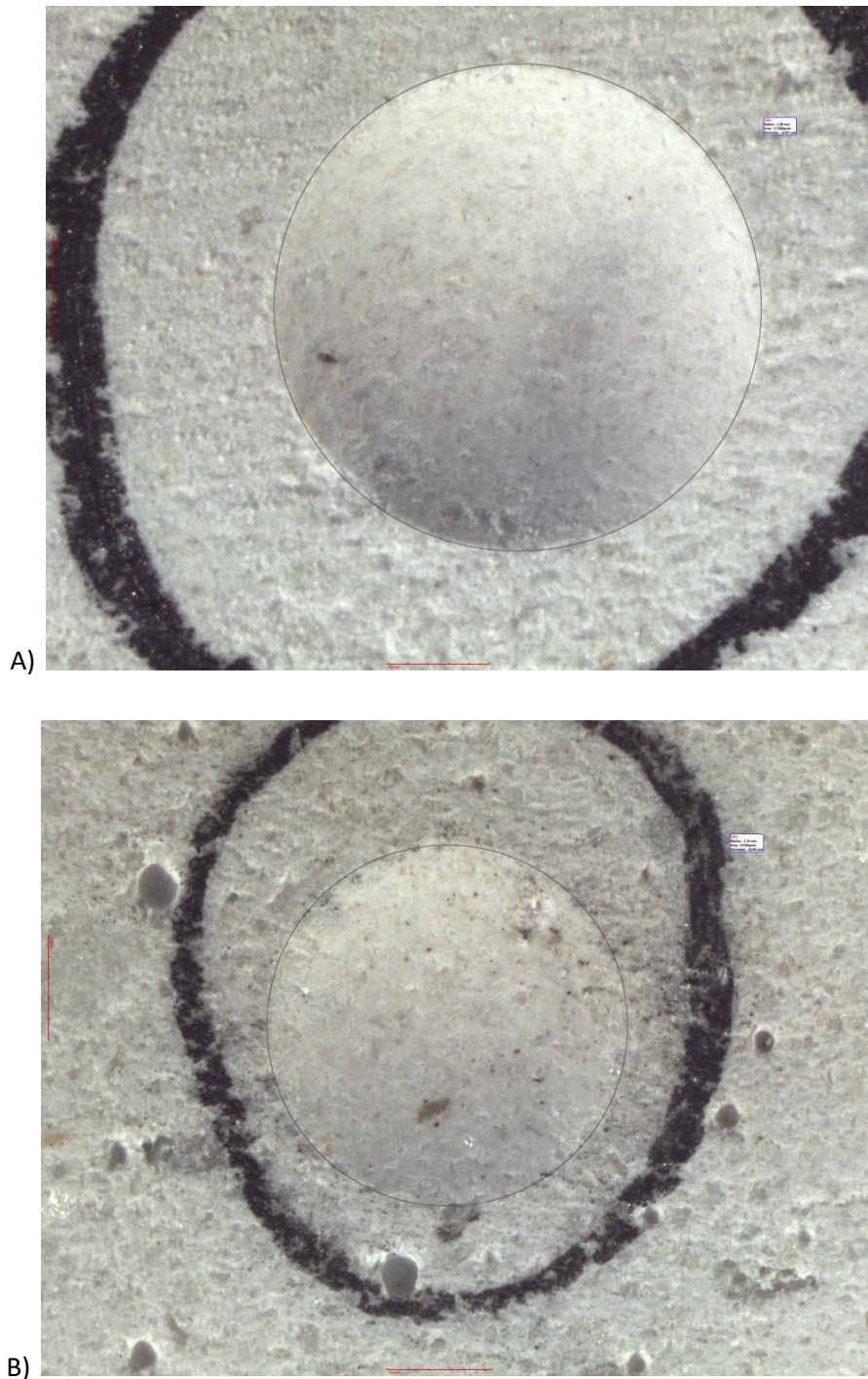
Τσιμεντοκονίαμα - CΜr			
Δοκίμιο	α/α	R (mm)	d (mm)
CΜr	1	2,38	4,76
	2	2,30	4,60
	3	2,08	4,16
	4	2,38	4,76
	5	2,03	4,06
	6	1,74	3,48
	7	2,11	4,22
	8	1,75	3,50
	9	2,05	4,10
	10	2,33	4,66
Μέση τιμή διαμέτρου d (mm):			<b>4,23</b>
Τυπική απόκλιση s:			<b>0,47</b>
Συντελεστής διακύμανσης v (%):			<b>11,23%</b>
Αβεβαιότητα μέσης τιμής (%):			<b>4,75%</b>
Πλήθος μετρήσεων:			<b>10</b>

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα του δείγματος (CΜr) η μέση τιμή της διαμέτρου η οποία αποτυπώνεται με την δοκιμή διείδυσης Brinell υπό σταθερό φορτίο 500 kgf ισούται με  $4,23 \pm 0,47$  mm. Επομένως, η σκληρότητα κατά Brinell με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου είναι:

$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi * D}{2} * [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi * 10}{2} * [10 - \sqrt{10^2 - 0,47^2}]}$$
$$= 33,9 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (μέγιστη: 43,4 , ελάχιστη: 27,1)}$$



Ενδεικτικά στην Εικόνα 36 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέτρησης του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Τσιμεντοκονίαμα.



**Εικόνα 36.** Ενδεικτικές μικροφωτογραφίες μέγιστης (A) και ελάχιστης (B) τιμής μετά τη δοκιμή Brinell για το Τσιμεντοκονίαμα.

Πίνακας 83. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα δοκιμής διείδυσης Brinell με τη μέθοδο μέτρησης της διαμέτρου του αποτυπώματος για όλα τα εξεταζόμενα πετρώματα.

ΔΟΚΙΜΗ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ BRINELL (ASTM E10)

α/α	Πέτρωμα	Διάμετρος (Brinell)	Τυπική απόκλιση s	Συντελεστής διακύμανσης v	Αβεβαιότητα μέσης τιμής	Αριθμός δοκιμών	Φορτίο	Σκληρότητα Brinell (BHN)	Σκληρότητα Brinell (BHN) max	Σκληρότητα Brinell (BHN) min
		mm	mm	%	%	(N)	(kgf)	kgf/mm <sup>2</sup>	kgf/mm <sup>2</sup>	kgf/mm <sup>2</sup>
1	Γρανίτης Αρναίας (AG)	1,30	0,23	17,91%	2,11%	11	500	375,1	554,5	270,4
2	Γρανοδιορίτης Ορειν. Σερρών (SGd)	1,87	0,23	12,21%	2,08%	11	500	180,4	235,1	142,7
3	Γρανοδιορίτης Καβάλας (KGd)	1,66	0,25	15,27%	2,53%	10	500	229,4	318,6	172,9
4	Πορφύρης Χαλκιδικής (HP)	1,13	0,27	23,83%	2,45%	11	500	497,0	859,2	323,2
5	Ασβεστόλιθος Μεσαίου (ML)	2,14	0,11	5,25%	1,02%	11	500	137,4	152,9	124,1
6	Ασβεστόλιθος Γρεβενών (GL)	2,06	0,09	4,22%	0,87%	10	500	148,4	162,4	136,1
7	Indiana Limestone (IL)	3,95	0,38	9,56%	3,43%	11	500	39,1	48,3	32,3
8	Ψαμμίτης Δεματίου (DS)	2,41	0,17	6,97%	0,93%	18	500	108,0	125,3	94,0
9	Ψαμμίτης Γρεβενών I (GS)	2,44	0,09	3,52%	0,54%	16	500	105,3	113,7	97,8
10	Ψαμμίτης Γρεβενών II (SST)	4,14	0,15	3,73%	1,54%	10	500	35,5	38,3	32,9
11	Berea Sandstone (BS)	3,20	0,40	12,57%	4,03%	10	500	60,5	79,6	47,5
12	Μάρμαρο Καβάλας (KM)	2,58	0,07	2,80%	0,60%	12	500	94,0	99,4	89,0
13	Μάρμαρο Θάσου (TSM)	2,01	0,04	1,77%	0,36%	10	500	156,0	162,4	149,9
14	Μάρμαρο Βεροίας (VM)	2,41	0,09	3,52%	0,65%	13	500	108,0	116,7	100,2
15	Μάρμαρο Διονύσου (DM)	2,46	0,05	1,83%	0,38%	12	500	103,6	108,0	99,4
16	Μάρμαρο Νευροκοπίου (NM)	2,08	0,16	7,91%	1,17%	14	500	145,5	171,1	125,3
17	Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας (GDM)	2,43	0,12	5,14%	1,25%	10	500	106,2	117,7	96,3
18	Σχιστόλιθος Χαλκιδικής (HSh)	1,75	0,21	11,82%	1,88%	11	500	206,3	266,8	164,1
19	Σχιστόλιθος Καβάλας (XSh)	2,03	0,67	33,18%	6,11%	11	500	152,9	342,6	85,7
20	Πρασινοσχιστόλιθος Θ. (TGs)	2,78	0,45	16,11%	4,07%	11	500	80,8	115,7	59,4
21	Σερπεντινίτης Γρεβενών (GP)	2,05	0,11	5,58%	1,14%	10	500	149,9	167,5	134,8
22	Γυψοκονίαμα (PMr)	6,41	0,17	2,68%	1,72%	10	500	13,7	14,6	12,9
23	Τσιμεντοκονίαμα (CMr)	4,23	0,47	11,23%	4,75%	10	500	33,9	43,4	27,1



Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα για την σκληρότητα διείδυσης Brinell προκύπτουν τα εξής:

- Για τα εξεταζόμενα πετρώματα καλύπτει ένα μεγάλο εύρος με μεγαλύτερη τιμή για τον Πορφύρη Χαλκιδικής (HP)  $BHN=497,0 \text{ kgf/mm}^2$  και με χαμηλότερη τιμή για το Γυψοκονίαμα (PMr)  $BHN=13,7 \text{ kgf/mm}^2$ .
- Υπάρχει διαχωρισμός των πιο σκληρών πετρωμάτων (πυριγενή) από τα πιο μαλακά πετρώματα (ιζηματογενή).
- Τα ασβεστιτικά μάρμαρα εμφανίζουν χαμηλότερη τιμή σκληρότητας (μέση τιμή  $101,2 \text{ kgf/mm}^2$ , εύρος  $94,0 - 108,0 \text{ kgf/mm}^2$ ), Θάσου (TSM) και Νευροκοπίου (NM) (μέση τιμή  $150,8 \text{ kgf/mm}^2$ , εύρος  $145,5 - 156,0 \text{ kgf/mm}^2$ ). Η αυξημένη κατά 50% τιμή της σκληρότητας αποδίδεται στη δολομιτική τους σύσταση.
- Προβάλλει την απομείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών λόγω του πορώδους. Ο Ασβεστόλιθος Μεσαίου (ML)  $152,9 \text{ kgf/mm}^2$  και ο Ασβεστόλιθος Γρεβενών (GL)  $162,4 \text{ kgf/mm}^2$  έχουν μεγαλύτερη σκληρότητα σε σχέση με τον Ασβεστόλιθο Indiana (IL)  $48,3 \text{ kgf/mm}^2$ . Η σημαντική διαφορά σκληρότητας μεταξύ των Ασβεστόλιθων ML και GL αφενός και του Ασβεστόλιθου Indiana (IL) αφετέρου αποδίδεται στο μεγαλύτερο πορώδες (17,9%) του τελευταίου σε σχέση με τους δύο πρώτους (<1,0%).
- Οι ψαμμίτες DS και GS παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές σκληρότητας ( $125,3$  και  $113,7 \text{ kgf/mm}^2$ ) σε σχέση με τον Ψαμμίτη Berea ( $78,3 \text{ kgf/mm}^2$ ), ο οποίος αν και έχει μεγαλύτερο ποσοστό χαλαζία στην ορυκτολογική του σύσταση εμφανίζει χαμηλότερη τιμή σκληρότητας λόγω του πορώδους (21,0%). Εξάιρεση αποτελεί ο ψαμμίτης SST  $BHN=38,3 \text{ kgf/mm}^2$ , ο οποίος εμφανίζει σημαντικά χαμηλότερη τιμή σκληρότητας, που αποδίδεται επίσης στη χαμηλότερη τιμή πορώδους (12,3%) σε σχέση με τους δύο πρώτους (1,1 και 4,7%).

### **3.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ BRINELL**

Στην ενότητα αυτή παρατίθενται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της σκληρότητας κατά Brinell για όλα τα εξεταζόμενα πετρώματα. Ειδικότερα, στον Πίνακα 84 παρουσιάζονται συγκριτικά η διάμετρος του αποτυπώματος, τα βάθος διείσδυσης υπολογισμένο με βάση τη διάμετρο, το μετρηθέν βάθος διείσδυσης, ο αριθμός των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν και τέλος η σκληρότητα του συνόλου των πετρωμάτων που υποβλήθηκαν σε δοκιμές ταξινομημένη κατά φθίνουσα σειρά.

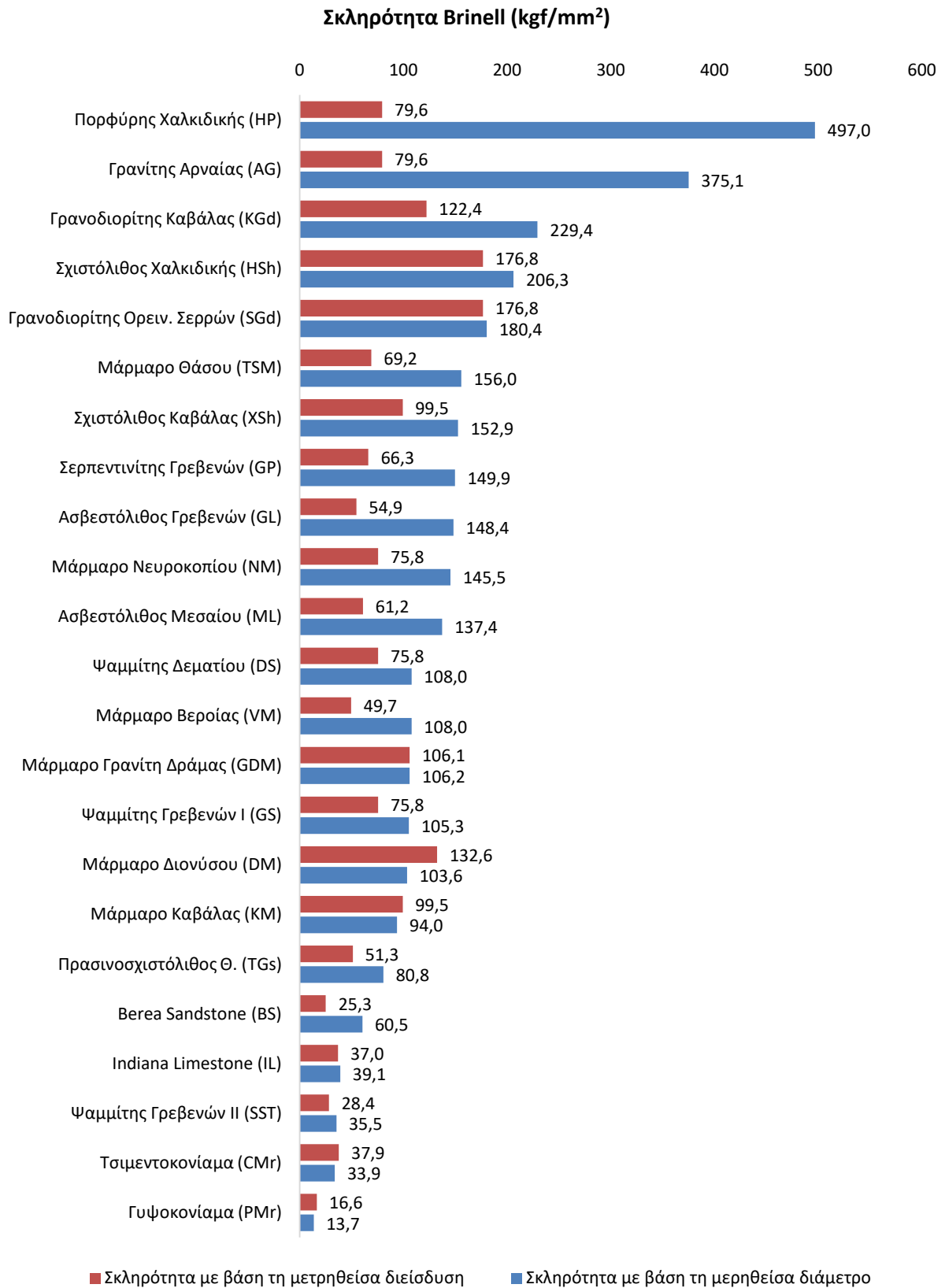
Πίνακας 84. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα δοκιμών σκληρότητας Brinell.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ BRINELL									
α/α	Πέτρωμα	Διάμετρος αποτυπώματος	Βάθος διείσδυσης h με βάση τη διάμετρο	Βάθος διείσδυσης h' μετρηθέν	Αριθμός δοκιμών	Φορτίο	Σκληρότητα με βάση τη μετρηθείσα διάμετρο (2)	Σκληρότητα με βάση τη μετρηθείσα διείσδυση (1)	Λόγος (1)/(2)
		mm	mm	mm	(N)	(kgf)	kgf/mm <sup>2</sup>	kgf/mm <sup>2</sup>	%
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]
1	Πορφύρης Χαλκιδικής (HP)	1,13	0,03	0,20	11	500	497,0	79,6	16%
2	Γρανίτης Αρναίας (AG)	1,30	0,04	0,20	11	500	375,1	79,6	21%
3	Γρανοδιорίτης Καβάλας (KGd)	1,66	0,07	0,13	10	500	229,4	122,4	53%
4	Σχιστόλιθος Χαλκιδικής (HSh)	1,75	0,08	0,09	11	500	206,3	176,8	86%
5	Γρανοδιорίτης Ορειν. Σερρών (SGd)	1,87	0,09	0,09	11	500	180,4	176,8	98%
6	Μάρμαρο Θάσου (TSM)	2,01	0,10	0,23	10	500	156,0	69,2	44%
7	Σχιστόλιθος Καβάλας (XSh)	2,03	0,10	0,16	11	500	152,9	99,5	65%
8	Σερπεντινίτης Γρεβενών (GP)	2,05	0,11	0,24	10	500	149,9	66,3	44%
9	Ασβεστόλιθος Γρεβενών (GL)	2,06	0,11	0,29	10	500	148,4	54,9	37%
10	Μάρμαρο Νευροκοπίου (NM)	2,08	0,11	0,21	14	500	145,5	75,8	52%
11	Ασβεστόλιθος Μεσαίου (ML)	2,14	0,12	0,26	11	500	137,4	61,2	45%
12	Ψαμμίτης Δεματίου (DS)	2,41	0,15	0,21	18	500	108,0	75,8	70%
13	Μάρμαρο Βεροίας (VM)	2,41	0,15	0,32	13	500	108,0	49,7	46%
14	Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας (GDM)	2,43	0,15	0,15	10	500	106,2	106,1	100%
15	Ψαμμίτης Γρεβενών I (GS)	2,44	0,15	0,21	16	500	105,3	75,8	72%
16	Μάρμαρο Διονύσου (DM)	2,46	0,15	0,12	12	500	103,6	132,6	128%
17	Μάρμαρο Καβάλας (KM)	2,58	0,17	0,16	12	500	94,0	99,5	106%
18	Πρασινοσχιστόλιθος Θ. (TGs)	2,78	0,20	0,31	11	500	80,8	51,3	64%
19	Berea Sandstone (BS)	3,20	0,26	0,63	10	500	60,5	25,3	42%
20	Indiana Limestone (IL)	3,95	0,41	0,43	11	500	39,1	37,0	95%
21	Ψαμμίτης Γρεβενών II (SST)	4,14	0,45	0,56	10	500	35,5	28,4	80%
22	Τσιμεντοκονίαμα (CMr)	4,23	0,47	0,42	10	500	33,9	37,9	112%
23	Γυψοκονίαμα (PMr)	6,41	1,16	0,96	10	500	13,7	16,6	121%
<b>Μέση τιμή:</b>							142,0	78,2	69%
<b>Τυπική απόκλιση:</b>							109,4	43,2	32%
<b>Μέση τιμή + Τυπ. απόκλιση</b>							251,4	121,4	101%

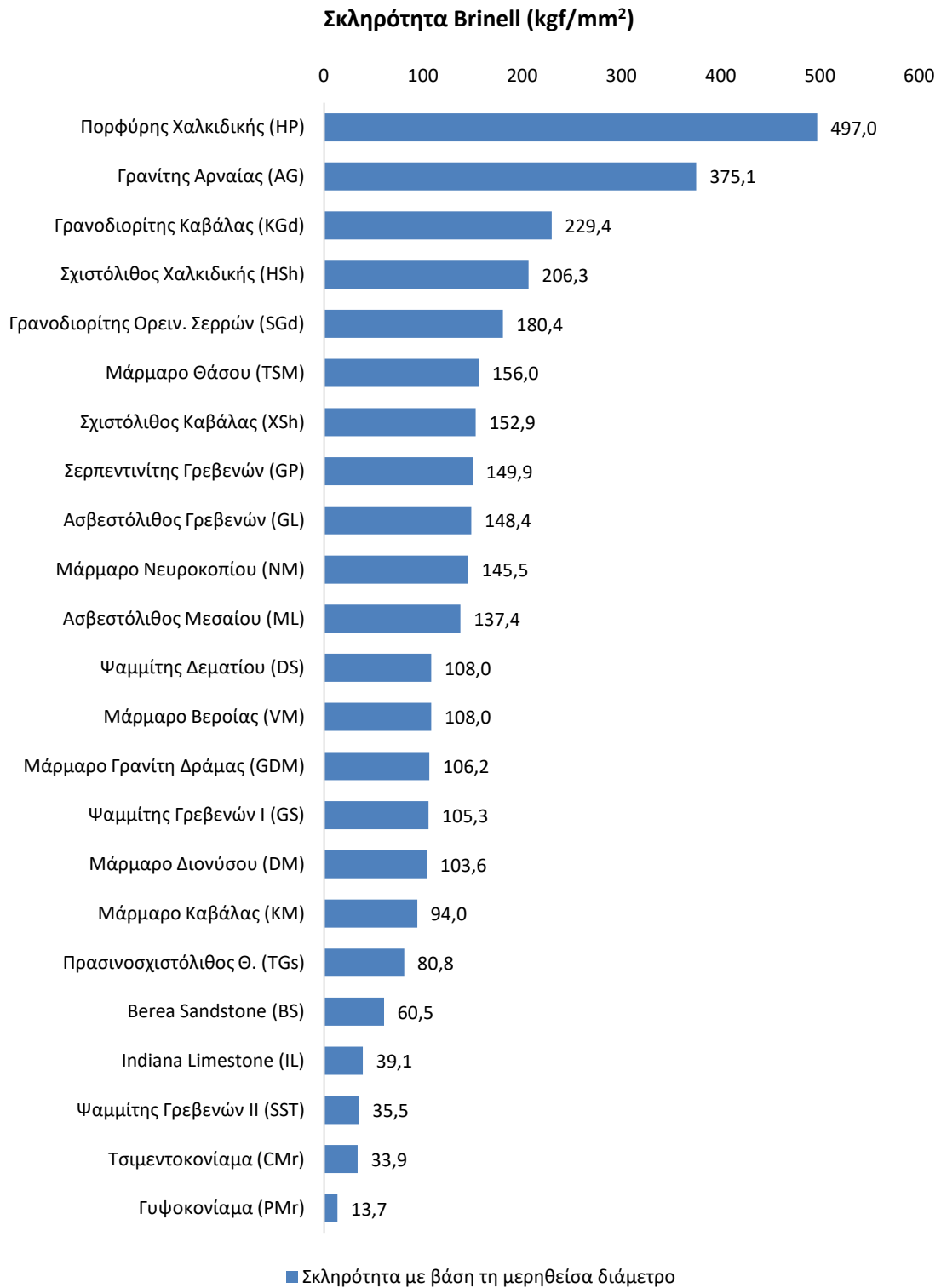
Παίρνοντας ως βάση τα αποτελέσματα με τις μετρήσεις των αποτυπωμάτων με το μικροσκόπιο Νίκον και το φορτίο σε όλες τις δοκιμές ίσο με 500 kgf, από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 84 προκύπτουν τα παρακάτω:

- Υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις τιμές του βάθους διείδυσης που μετρήθηκε με το καταγραφικό Winhost συγκριτικά με αυτές που υπολογίστηκαν με βάση τη διάμετρο του αποτυπώματος που μετρήθηκε.
- Από τα 23 δείγματα στα 4 μετρήθηκε διάμετρος μεγαλύτερη από αυτήν που υπολογίστηκε. Πρόκειται για το γυψοκονίαμα και το τσιμεντοκονίαμα καθώς για τα μάρμαρα Καβάλας και Διονύσου. Οι διαφορές ήταν 0,20 – 0,05 – 0,01 και 0,03 mm. Για όλα τα υπόλοιπα η μετρηθείσα διείδυση ήταν μεγαλύτερη, και αντίστοιχα η προκύπτουσα σκληρότητα προκύπτει μικρότερη. Με δεδομένο δε τις μεγαλύτερες τιμές διείδυσης η σκληρότητα βγαίνει μικρότερη.
- Τέτοιες μικρές μεταβολές διείδυσης μπορεί να μην καταγράφονται επειδή το μηκυσιόμετρο καταγραφής δεν έχει τέτοια ακρίβεια και σίγουρα επηρεάζονται από παράγοντες όπως η απόκλιση της επιφάνειας του δοκιμίου από την οριζόντια, η επιφανειακή τραχύτητα κ.α.
- Από τη στήλη [10] προκύπτει ότι η τιμή της σκληρότητας με βάση τη διείδυση είναι το 69% της αντίστοιχης τιμής που προέκυψε από τη μέτρηση του αποτυπώματος (τυπική απόκλιση 32%. Δηλαδή υπολείπεται κατά μία τυπική απόκλιση της δεύτερης).
- Αν αφαιρέσουμε τις τιμές που αντιστοιχούν στα δύο κονιάματα οι αντίστοιχες τιμές είναι 65% (μικρότερη από τα 2/3) και 29%.

Στο Σχήμα 7 απεικονίζονται με ραβδοδιάγραμμα οι τιμές της σκληρότητας κατά Brinell των εξεταζόμενων πετρωμάτων με βάση τη μέτρηση του βάθους διείδυσης και με βάση τη μέτρηση της διαμέτρου του αποτυπώματος. Από το σχήμα προκύπτει πως οι τιμές της σκληρότητας που υπολογίστηκαν με βάση τις μετρήσεις της διαμέτρου του αποτυπώματος είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τιμές της σκληρότητας που προέκυψαν από τη μέτρηση του βάθους της διείδυσης. Εξάιρεση αποτελεί το Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας (GDM) το οποίο παρουσιάζει την ίδια τιμή σκληρότητας και με τους δύο τρόπους.



**Σχήμα 7.** Συγκριτική απεικόνιση της σκληρότητας Brinell με βάση τη μετρηθείσα διείσδυση και τη μετρηθείσα διάμετρο του αποτυπώματος του συνόλου των εξεταζόμενων πετρωμάτων.



**Σχήμα 8.** Απεικόνιση της σκληρότητας Brinell με βάση τη μετρηθείσα διάμετρο του αποτυπώματος του συνόλου των εξεταζόμενων πετρωμάτων.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αντικείμενο της διατριβής είναι η διερεύνηση της σκληρότητας άρρηκτων πετρωμάτων με τη μέθοδο διείδυσης Brinell. Ο προσδιορισμός της σκληρότητας βασίστηκε στα αποτελέσματα προγράμματος εργαστηριακών δοκιμών σκληρότητας διείδυσης Brinell σε πρισματικά και κυλινδρικά δοκίμια.

Για την υλοποίηση της διατριβής εξετάστηκαν (21) διαφορετικά πετρώματα από τον Ελλαδικό χώρο και κυρίως από τη Βόρεια Ελλάδα, στα οποία περιλαμβάνονται ένας γρανίτης, δύο γρανοδιορίτες, ένας πορφύρης, τρεις ασβεστόλιθοι, τέσσερις ψαμμίτες, έξι μάρμαρα, δύο σχιστόλιθοι, ένας πρασινοσχιστόλιθος και ένας σερπεντινίτης. Περιλαμβάνονται επίσης, για συγκριτικούς λόγους, ένα γυψοκονίαμα και ένα τσιμεντοκονίαμα.

Από το σύνολο των δοκιμών σκληρότητας διείδυσης Brinell προέκυψε η σκληρότητα κάθε πετρώματος. Τα ιζηματογενή πετρώματα εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές σκληρότητας Brinell σε σχέση με τα πυριγενή.

Η δοκιμή Brinell προβάλλει την απομείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών των πετρωμάτων. Το πορώδες επηρεάζει σημαντικά την τιμή της σκληρότητας. Οι ψαμμίτες DS και GS παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές σκληρότητας ( $125,3$  και  $113,7 \text{ kgf/mm}^2$ ) σε σχέση με τον Ψαμμίτη Berea ( $78,3 \text{ kgf/mm}^2$ ), ο οποίος αν και έχει μεγαλύτερο ποσοστό χαλαζία στην ορυκτολογική του σύσταση εμφανίζει χαμηλότερη τιμή σκληρότητας λόγω του πορώδους (21,0%). Εξάιρεση αποτελεί ο ψαμμίτης SST BHN= $38,3 \text{ kgf/mm}^2$ , ο οποίος εμφανίζει σημαντικά χαμηλότερη τιμή σκληρότητας, που αποδίδεται επίσης στη χαμηλότερη τιμή πορώδους (12,3%) σε σχέση με τους δύο πρώτους (1,1 και 4,7%).

Παίρνοντας ως βάση τα αποτελέσματα με τις μετρήσεις των αποτυπωμάτων με το μικροσκόπιο προκύπτουν σημαντικές διαφορές στις τιμές του βάθους διείδυσης που μετρήθηκε με το καταγραφικό συγκριτικά με αυτές που υπολογίστηκαν με βάση τη διάμετρο του αποτυπώματος που μετρήθηκε. Η τιμή της σκληρότητας με βάση τη διείδυση είναι το 69% της αντίστοιχης τιμής που προέκυψε από τη μέτρηση του αποτυπώματος.

Επομένως, γίνεται κατανοητό πως οι τιμές της σκληρότητας Brinell των εξεταζόμενων πετρωμάτων που υπολογίστηκαν με βάση τη διείδυση είναι σημαντικά μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές που προέκυψαν με βάση τη διάμετρο του αποτυπώματος, οι οποίες θεωρούνται πιο αξιόπιστες.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Academia edu:

[https://www.academia.edu/11169854/Chapter\\_4\\_Properties\\_of\\_Rock\\_Materials](https://www.academia.edu/11169854/Chapter_4_Properties_of_Rock_Materials).

Πρόσβαση 10-01-2023.

Boutrid A., Bensehamdi S., Chaib R., (2013). Investigation into Brinell hardness test applied to rocks. *World Journal of Engineering*, 10(4): 369-382.

Dahbag M.B, AlQuraishi A., Benzagouta M.2, (2015). Efficiency of ionic liquids for chemical enhanced oil recovery. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 5(4): 353-361.

El-Monier & Nasr-El-Din., (2015). Mud Acid Effect on Fines Migration Problem Using a Newly Developed Al/ Zr- Based Clay Stabilizer (A): Mitigation Can Happen. *Journal of Petroleum Engineering and Technology*, 5(3): 11-29.

Ghobani S., Hoseinie S.H., Ghasemi E., Sherizadeh T., (2022). A review on rock hardness testing methods and their applications in rock engineering. *Arabian Journal for Science and Engineering*. (15): 1067.

Ghobani S., Hoseinie S.H., Ghasemi E., Sherizadeh T., Wanhainen C., (2022). A new rock hardness classification system based on portable dynamic testing. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*., p.179.

Gomah M.E., Li G., Bader S., Elkarmoty M. & Ismael M., (2021). Damage Evolution of Granodiorite after Heating and Cooling Treatments. *Minerals*, 11:779. Ανάκτηση από <https://doi.org/10.3390/min11070779>.

Hoseinie S.H., Ataei M., Mikaiel R., (2012). Comparison of Some Rock Hardness Scales Applied in Drillability Studies. *Arabian Journal for Science and Engineering*, (37): 1451-1458.

Katsman R., Aharonov E., Haimson B.C., (2009). Compaction bands induced by borehole drilling. *Acta Geotechnica*, (4): 151-162.



Kol'tsov A.B., (2013). Effect of the Sources and Evolution of Solutions on the Composition of Metasomatites. *Geochemistry International*, 53(2): 133-149.




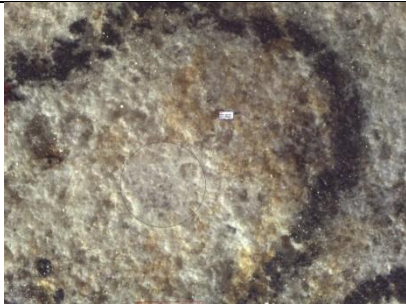

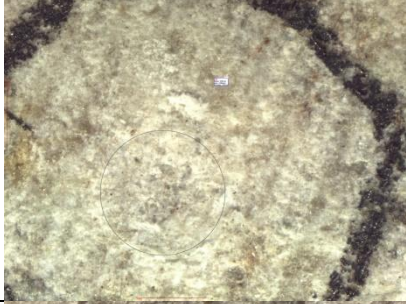
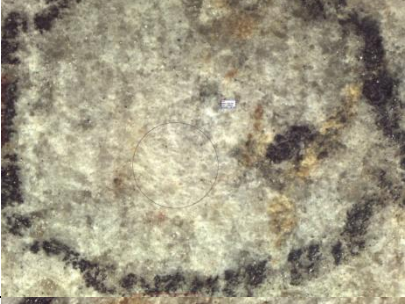





- Standard, A. (2001). "Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials". American Society for Testing and Materials.
- Vadjova V., Baud P., Wu L., Wong T., (2012). Micromechanics of inelastic compaction in two allochemical limestones. *Journal of Structural Geology*, Elsevier (43): 100-117.
- Αρμανίδης Β., (2002). Δοκιμές άμεσης διάτμησης ασυνεχειών βράχων. Πτυχιακή Εργασία. Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής Α.Τ.Ε.Ι.Θ.
- Βουθούνης Π., (2014). Αντοχή των Υλικών. Αθήνα.
- Δεμίρης Κ., (1983). Τεχνική Γεωλογία (Μέρος Α'). Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
- Κούκης Γ. και Σαμπατακάκης Ν., (2019). Τεχνική Γεωλογία. Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Κτενά Σ., (2020). Επίδραση της μικροδομής στη μηχανική συμπεριφορά των ψαμμιτών. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Λασκαρίδης Κ., (2015). Άτλαντας Ελληνικών Διακοσμητικών Πετρωμάτων και Δομικών Λίθων. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.).
- Παπαλιάγκας Θ., (2003). Πειραματική Αντοχή Υλικών. Α.Τ.Ε.Ι.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Σαββίδης Σ., (2014). Περιβαλλοντική Τεχνική Γεωλογία. Εκδόσεις S.G.S., Κοζάνη.
- Τζιλίνη Μ., (2020). Γεωτεχνική διερεύνηση μολασσικών σχηματισμών της λεκάνης των Γρεβενών. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.
- Τσικρίκης Α., (2015). Πειραματική συσχέτιση μεταξύ γωνίας τριβής ασυνεχειών πετρωμάτων και συντελεστή  $m_i$  του κριτηρίου Hoek & Brown. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.
- Τσικρίκης Α., (2021). Συσχέτιση παραμέτρων διατμητικής συμπεριφοράς ασυνεχειών και άρρηκτου πετρώματος. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας Π. 1. Φωτογραφίες δειγμάτων Γρανίτη Αρναίας πριν και μετά τη δοκιμή διεύθυνσης Brinell.

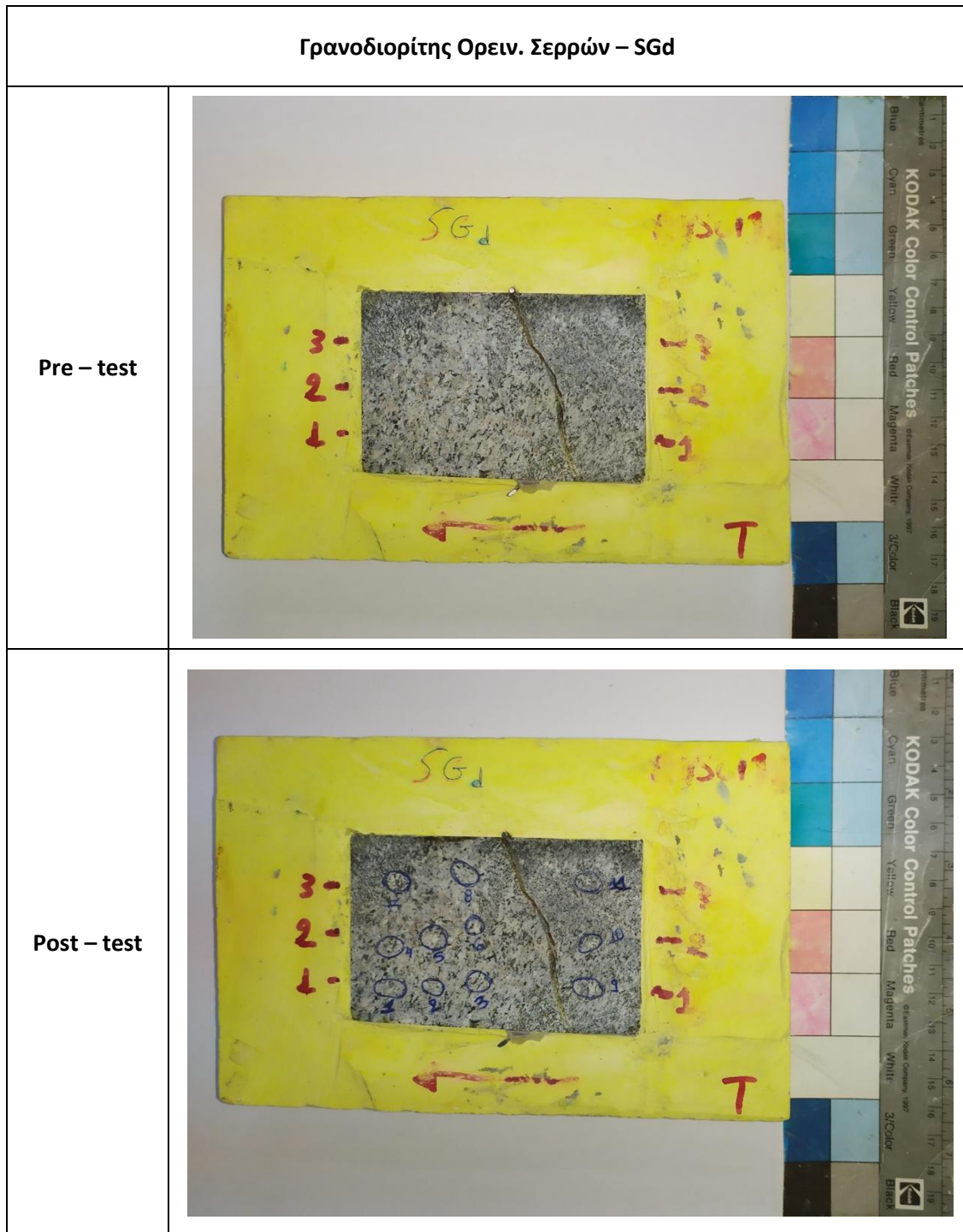
Γρανίτης Αρναίας – AG	
Pre – test	
Post – test	

Πίνακας Π. 2. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Γρανίτη Αρναίας.

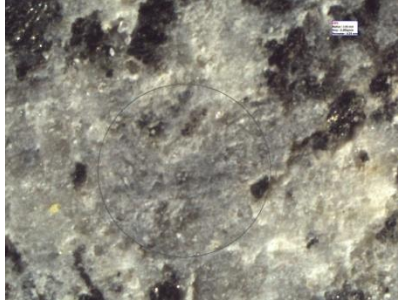
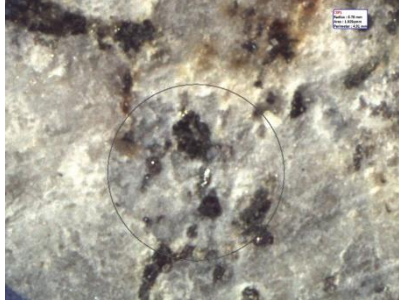


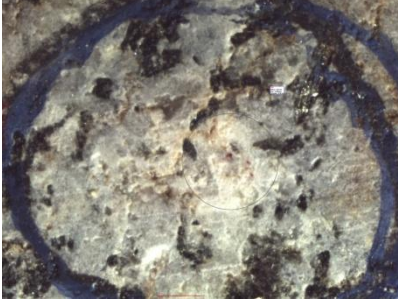






AG			
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	
11			



Πίνακας Π. 3. Φωτογραφίες δειγμάτων Γρανодиρίτη Ορειν. Σερρών πριν και μετά τη δοκιμή διείδυσης Brinell.

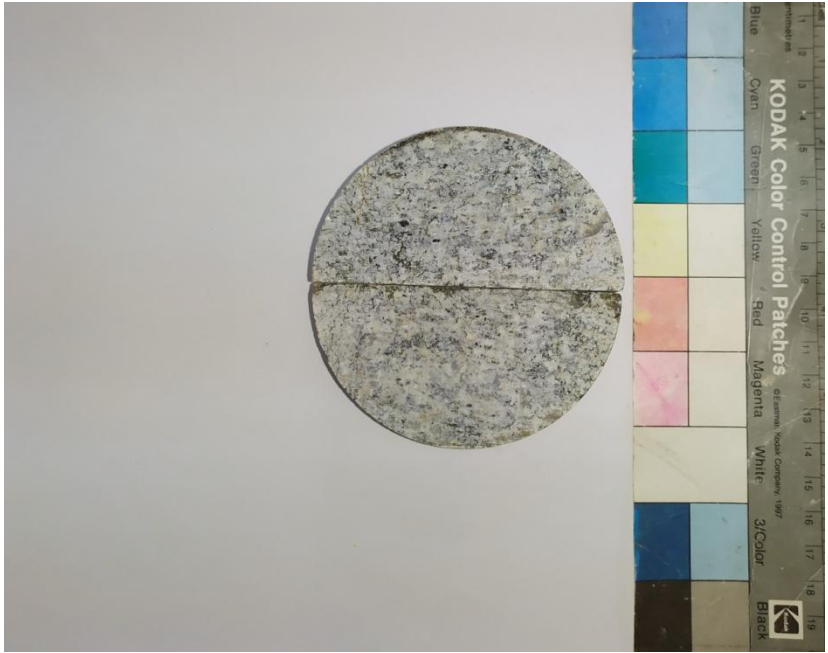



Πίνακας Π. 4. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυλώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Γρανодиόριτη Σερρών.

SGd			
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	
11			












Πίνακας Π. 5. Φωτογραφίες δειγμάτων Γρανодиρίτη Καβάλας πριν και μετά τη δοκιμή διείδουσης Brinell.

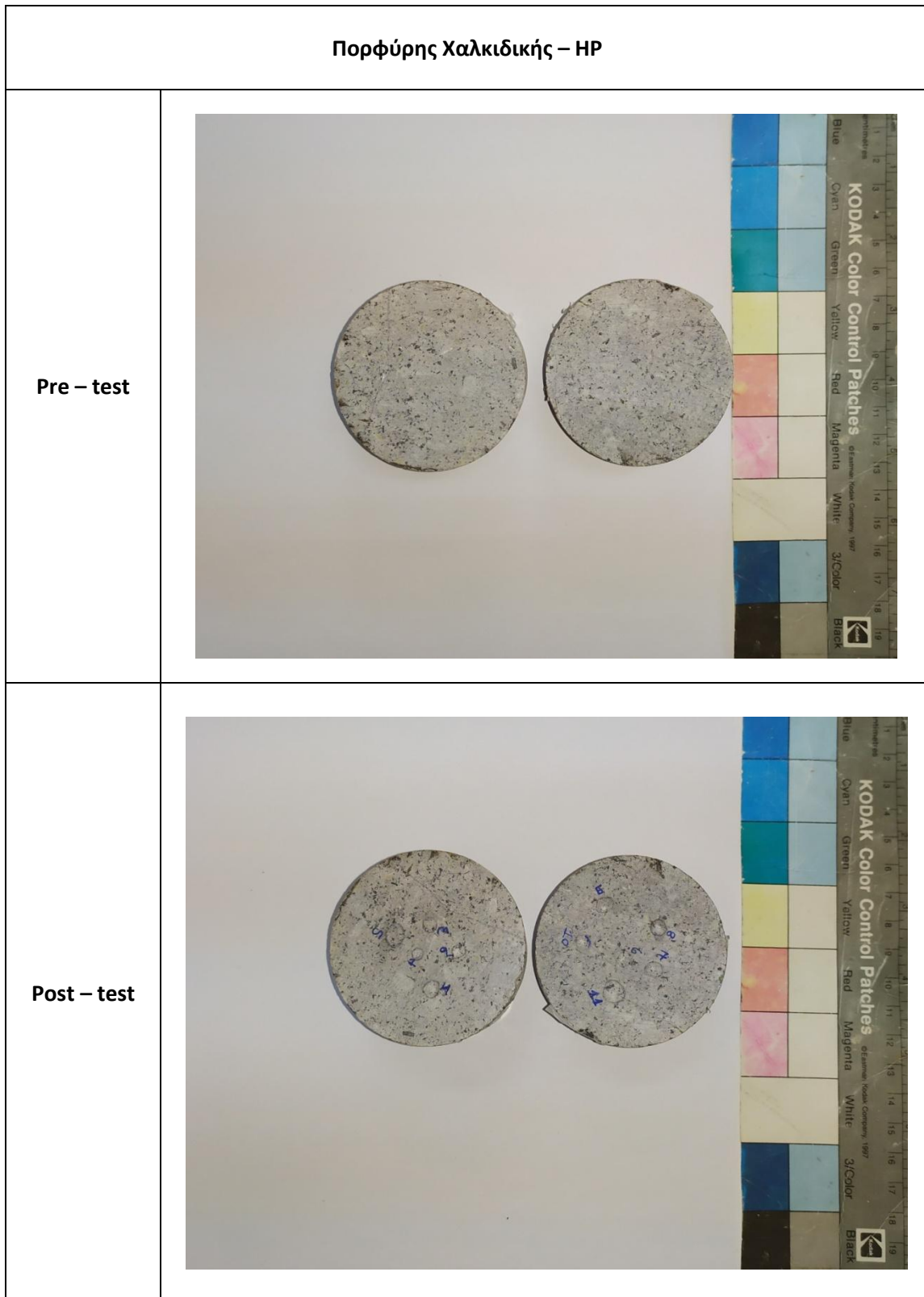
Γρανодиρίτη Καβάλας – KGd	
Pre – test	 A circular granite sample is shown in two halves, separated by a vertical line. To the right of the sample is a color calibration chart with 18 color patches labeled Blue, Cyan, Green, Yellow, Red, Magenta, White, 3/Color, and Black. A ruler is placed vertically to the right of the chart, showing measurements in centimeters and millimeters.
Post – test	 The same circular granite sample is shown in two halves, separated by a vertical line. The surface of the granite is marked with several small, circular Brinell test marks, each labeled with a number from 1 to 10. To the right of the sample is a color calibration chart with 18 color patches labeled Blue, Cyan, Green, Yellow, Red, Magenta, White, 3/Color, and Black. A ruler is placed vertically to the right of the chart, showing measurements in centimeters and millimeters.



Πίνακας Π. 6. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Γρανодиόριτη Καβάλας.

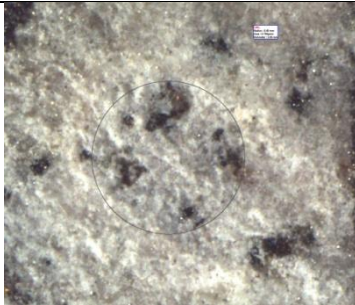
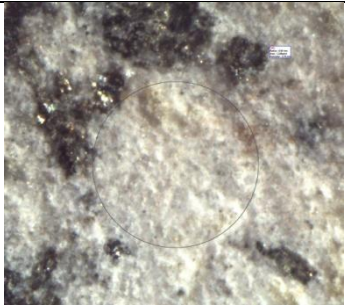
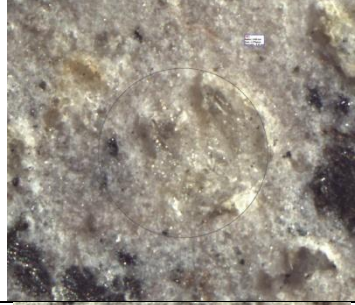
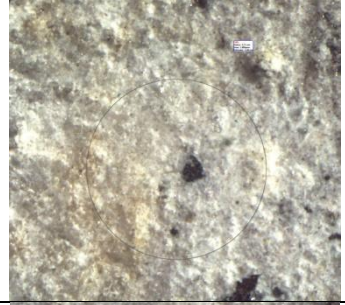
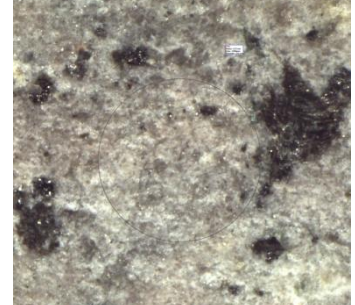
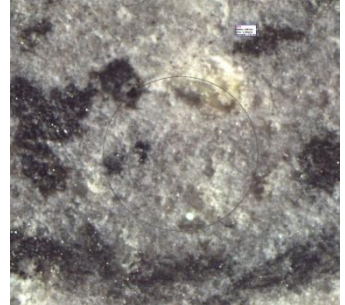
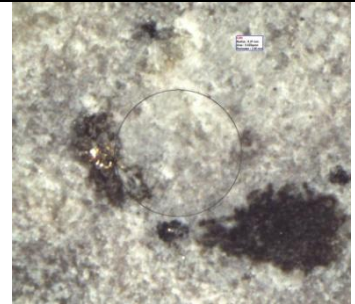

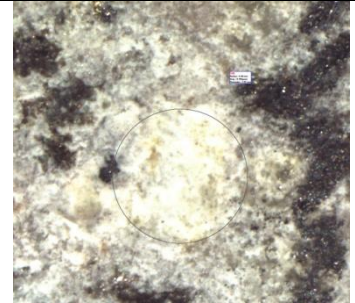
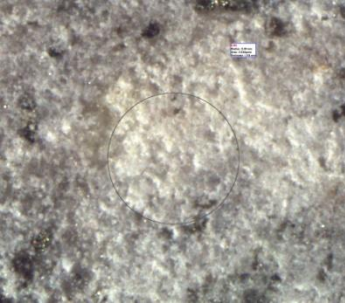

KGd			
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	

Πίνακας Π. 7. Φωτογραφίες δειγμάτων Πορφύρη Χαλκιδικής πριν και μετά τη δοκιμή διείδυσης Brinell.

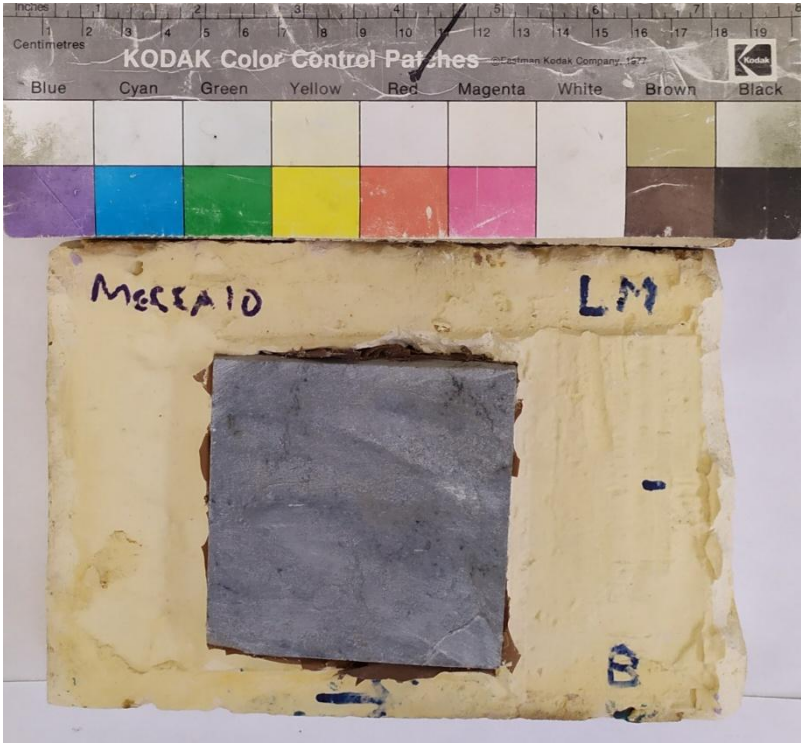





Πίνακας Π. 8. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυλώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Πορφύρη Χαλκιδικής.

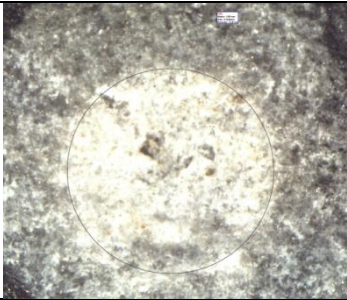
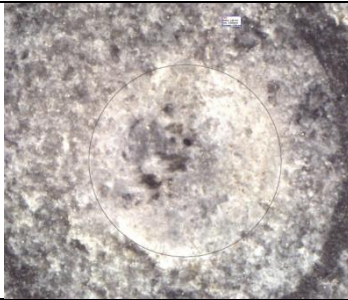
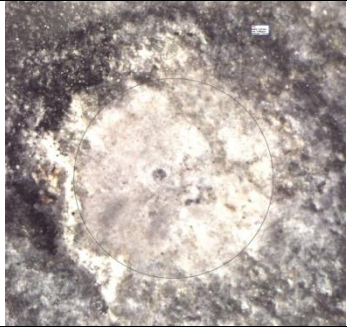
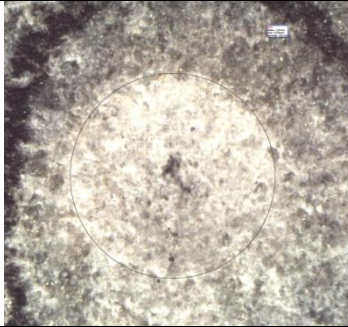
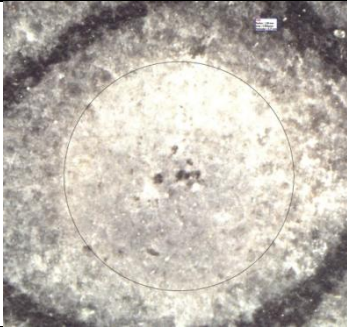

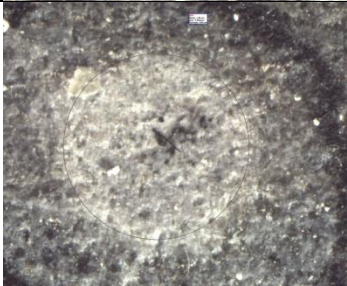
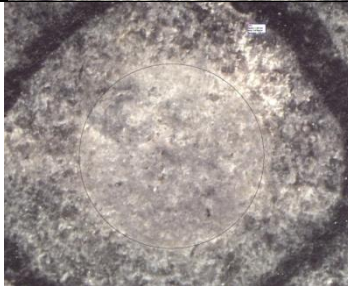
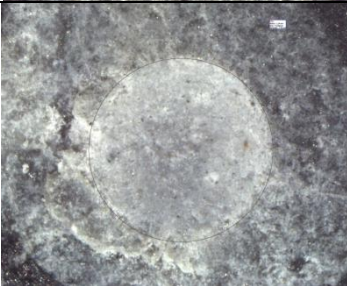
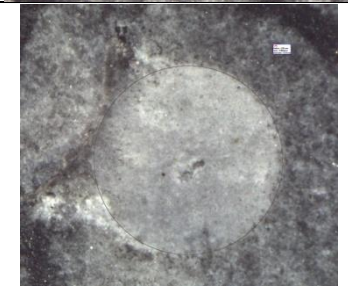

HP			
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	
11			

Πίνακας Π. 9. Φωτογραφίες δειγμάτων Ασβεστόλιθου Μεσαίου πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell.

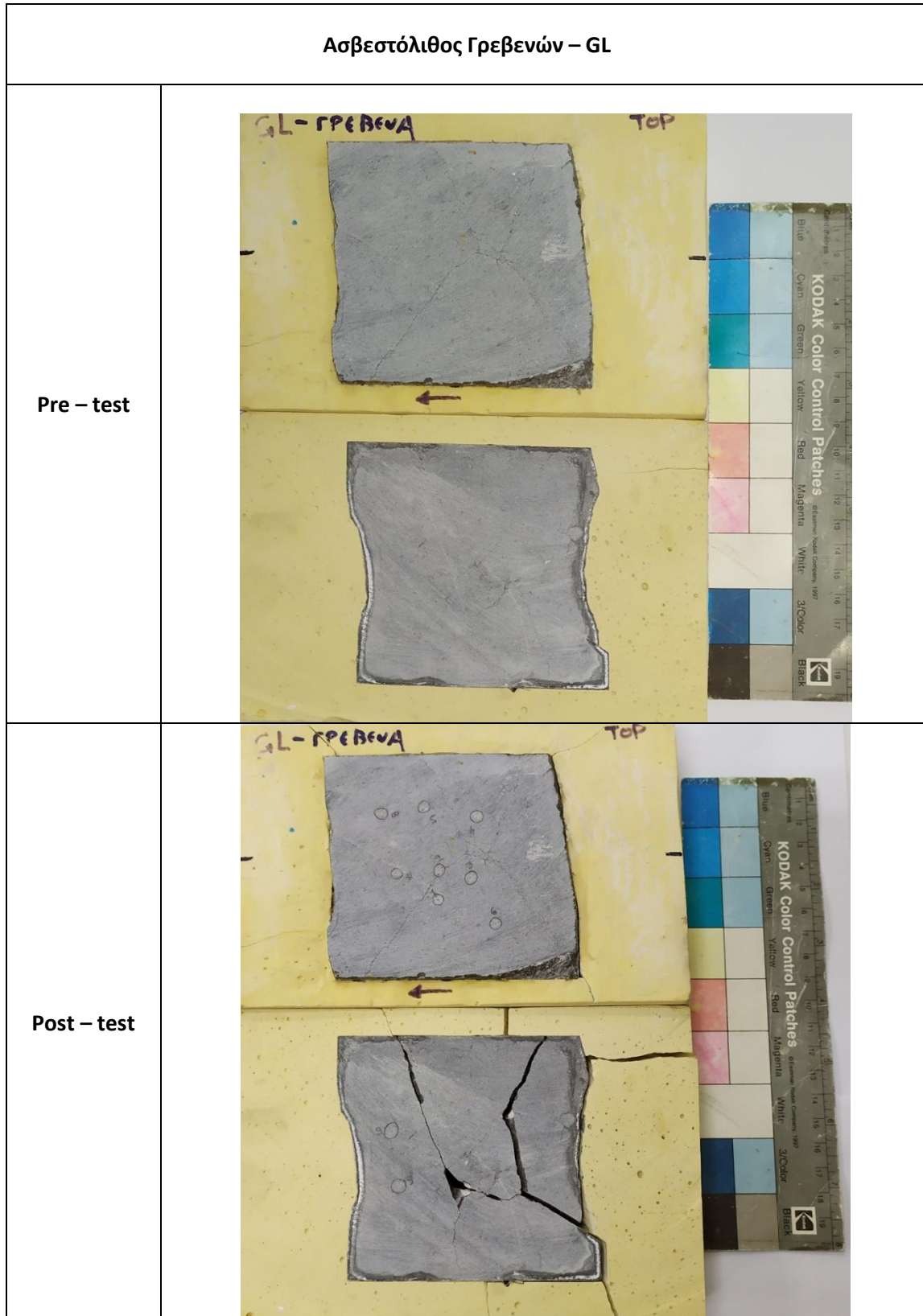
<b>Ασβεστόλιθος Μεσαίου – ΜΙ</b>	
<b>Pre – test</b>	 A photograph of a rectangular limestone sample, labeled "Μεσαίο" on the left and "LM" on the right, mounted on a piece of yellowish paper. The sample is a dark grey, rectangular block. Above the sample is a ruler showing centimeters and inches, and a Kodak Color Control Patches strip with various color swatches (Blue, Cyan, Green, Yellow, Red, Magenta, White, Brown, Black). The sample shows a smooth surface.
<b>Post – test</b>	 A photograph of the same limestone sample, labeled "Μεσαίο" and "LM", after a Brinell hardness test. The sample is mounted on yellowish paper. The dark grey rectangular block now shows several circular indentations on its surface, indicating the test results. A ruler and a Kodak Color Control Patches strip are visible to the right of the sample for scale and color reference.



Πίνακας Π. 10. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος δοκιμής Brinell για τον Ασβεστόλιθο Μεσαίου.











ML			
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	
11			

Πίνακας Π. 11. Φωτογραφίες δειγμάτων Ασβεστόλιθου Γρεβενών πριν και μετά τη δοκιμή διεύθυνσης Brinell.



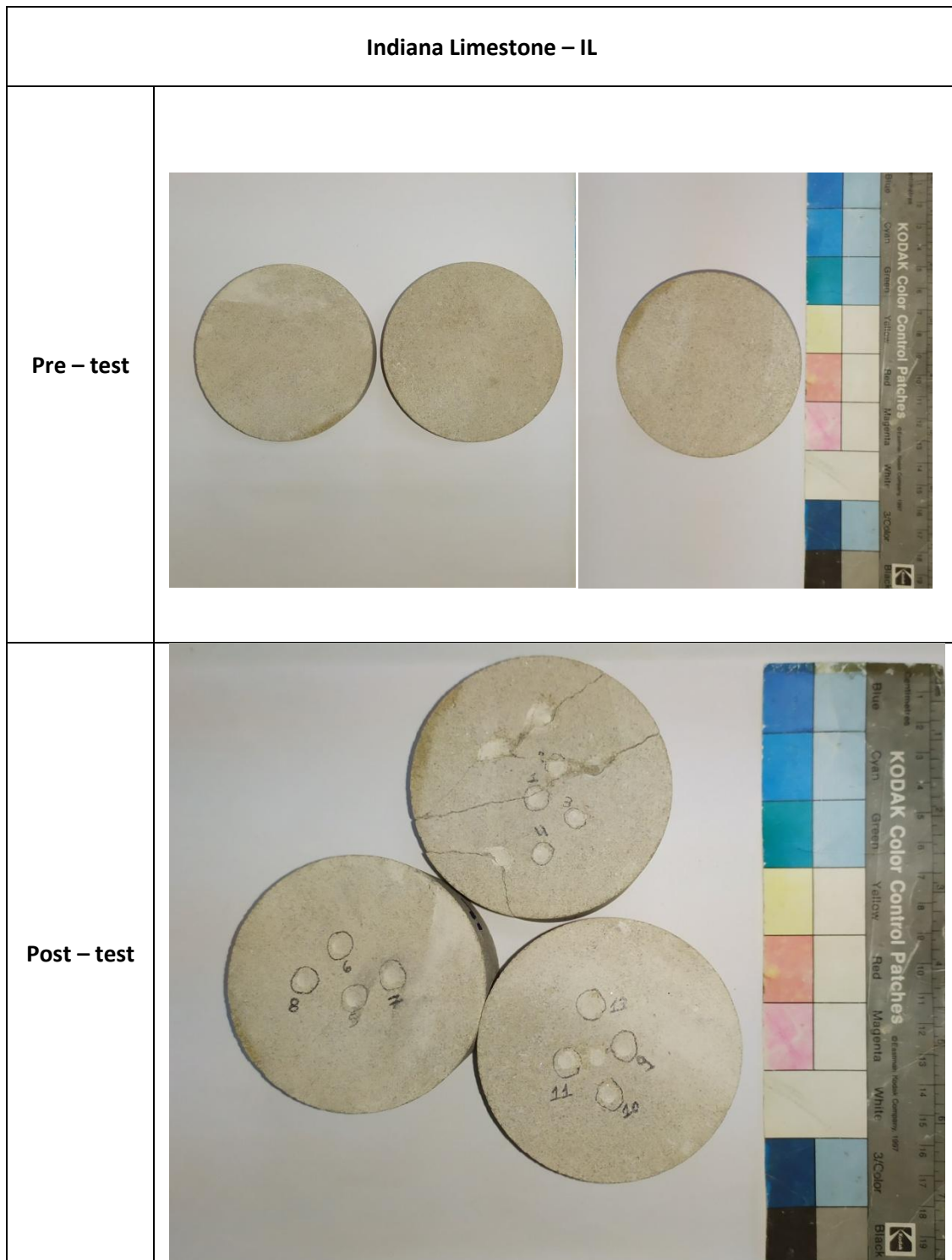


**Πίνακας Π. 12.** Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ασβεστόλιθο Γρεβενών.

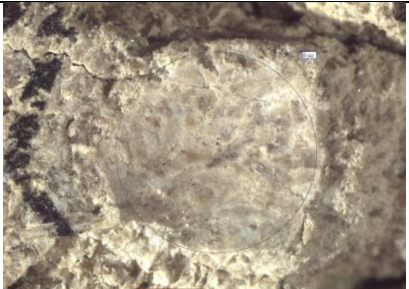

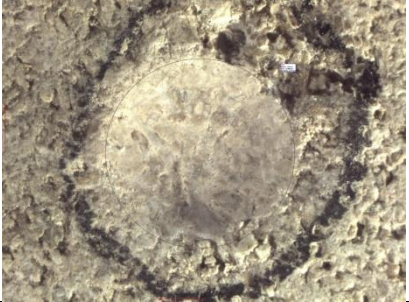
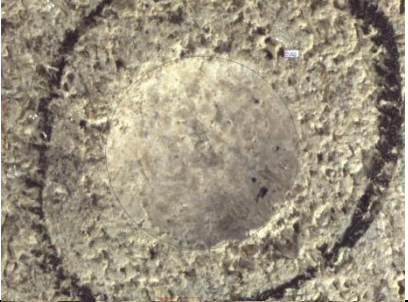
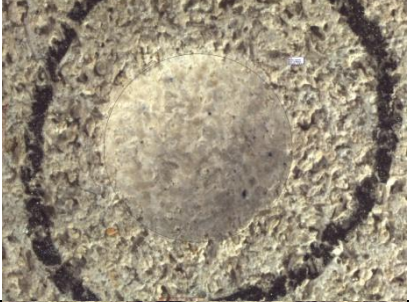
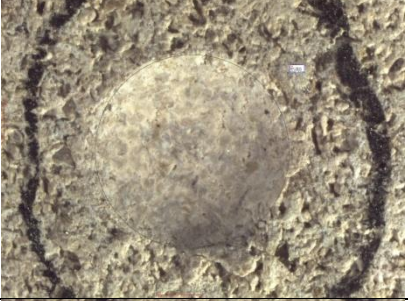
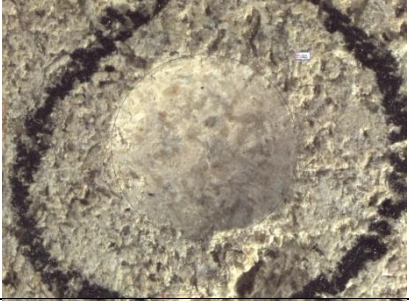

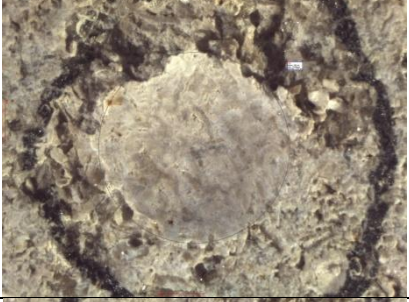

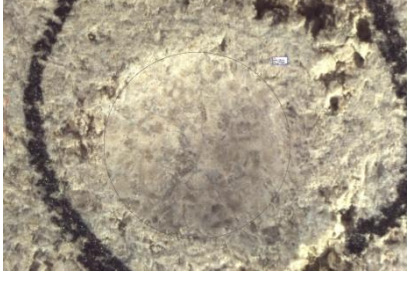
		<b>GL</b>			
1		2			
3		4			
5		6			
7		8			
9		10			



Πίνακας Π. 13. Φωτογραφίες δειγμάτων Indiana Limestone πριν και μετά τη δοκιμή διεύθυνσης Brinell.

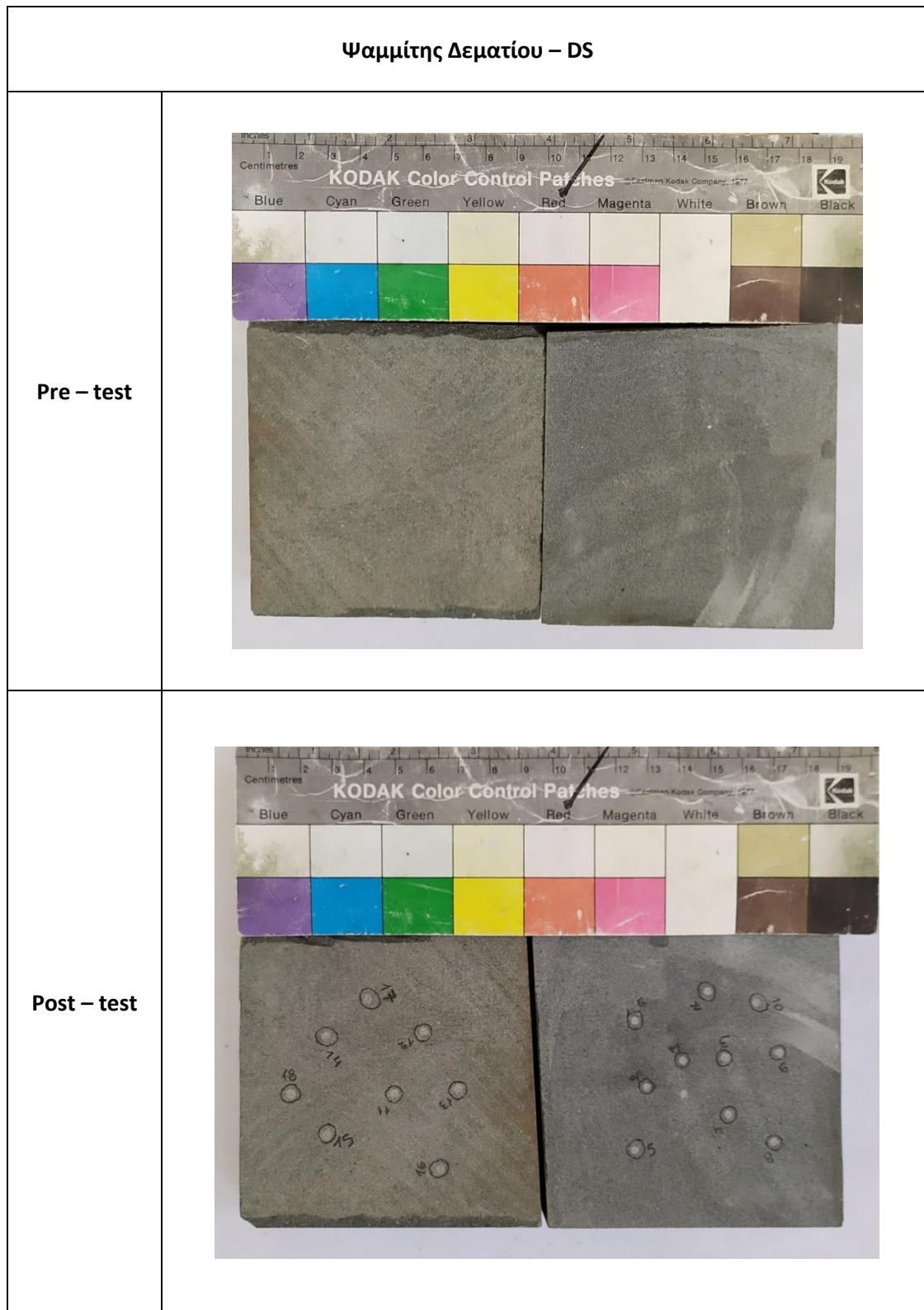


**Πίνακας Π. 14.** Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Indiana Limestone.

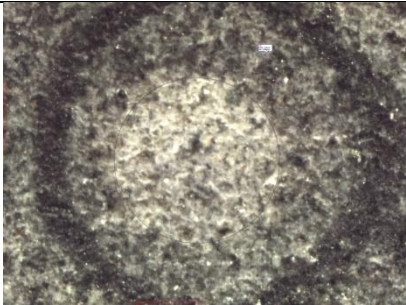
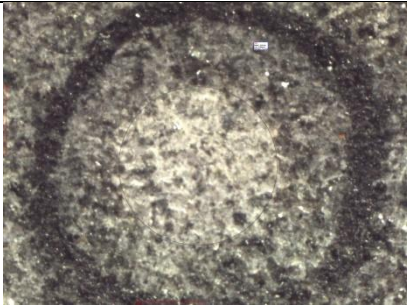
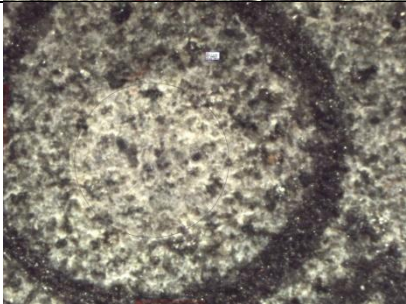
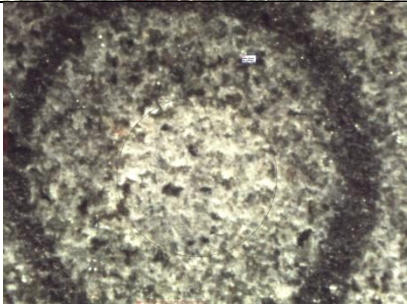
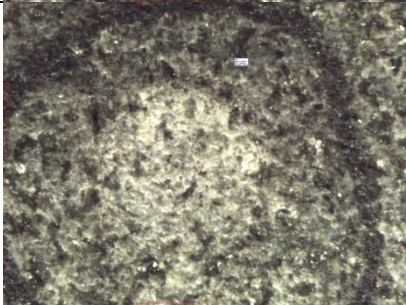
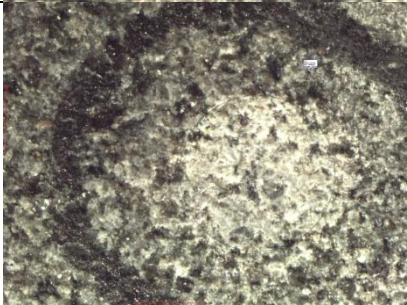
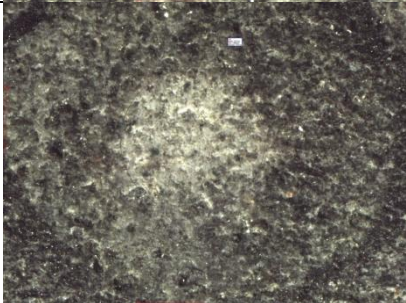
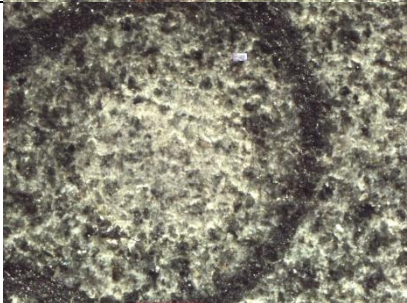
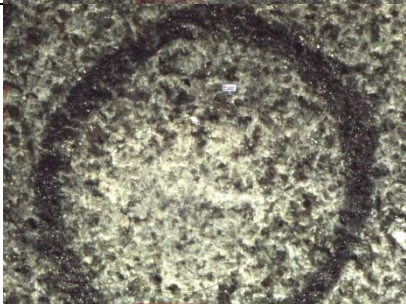
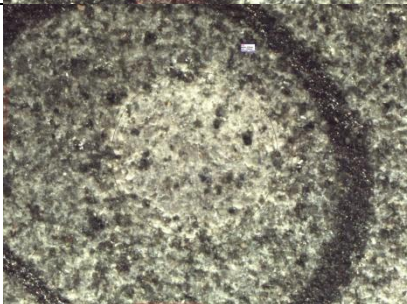
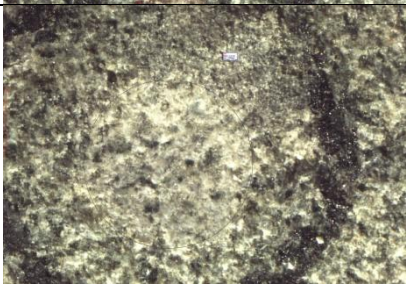

<b>II</b>			
		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	
11		12	



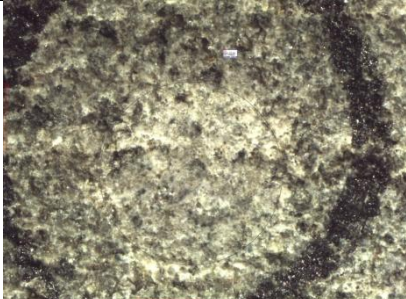

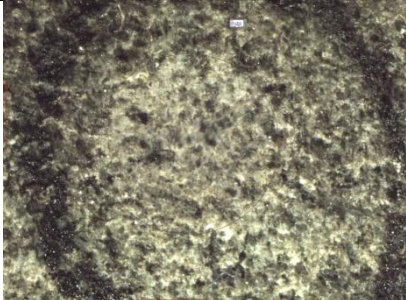
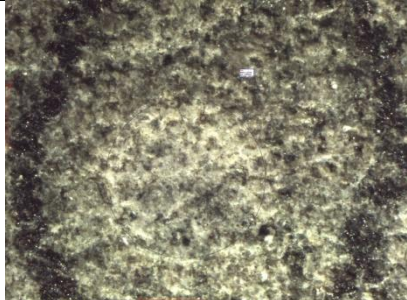
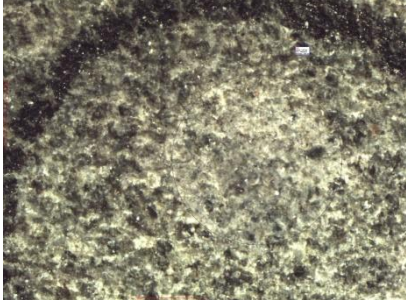

Πίνακας Π. 15. Φωτογραφίες δειγμάτων Ψαμμίτη Δεματίου πριν και μετά τη δοκιμή διεύθυνσης Brinell.



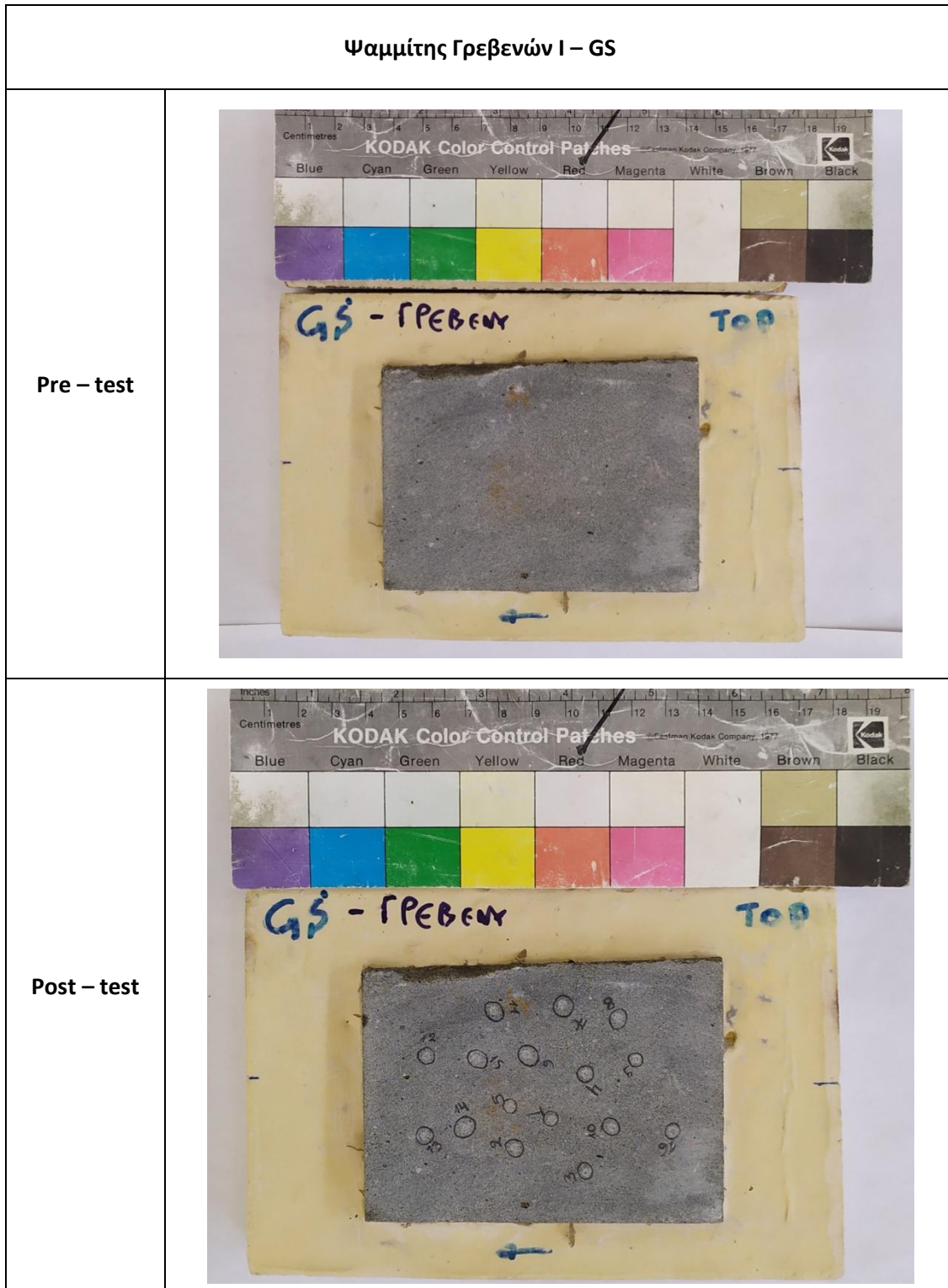
Πίνακας Π. 16. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ψαμμίτη Δεματίου.

DS			
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	
11		12	



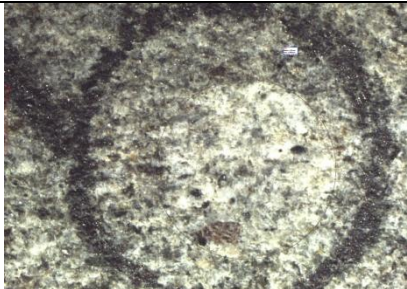
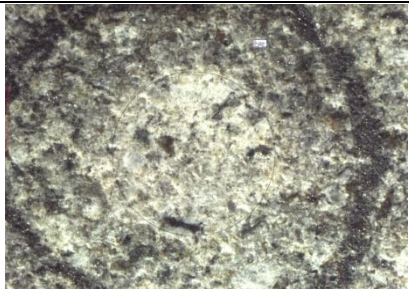








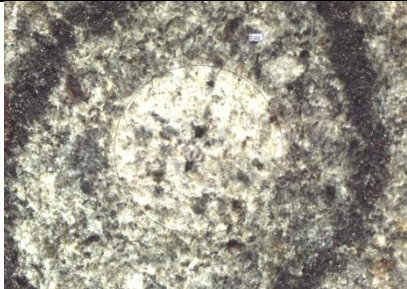
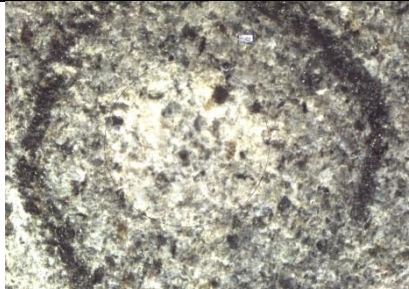
13		14	
15		16	
17		18	



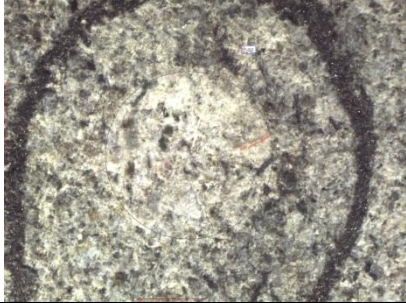
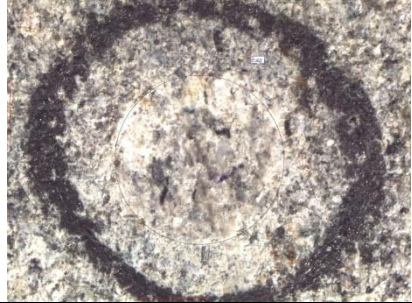
Πίνακας Π. 17. Φωτογραφίες δειγμάτων Ψαμμίτη Γρεβενών Ι πριν και μετά τη δοκιμή διείσδυσης Brinell.





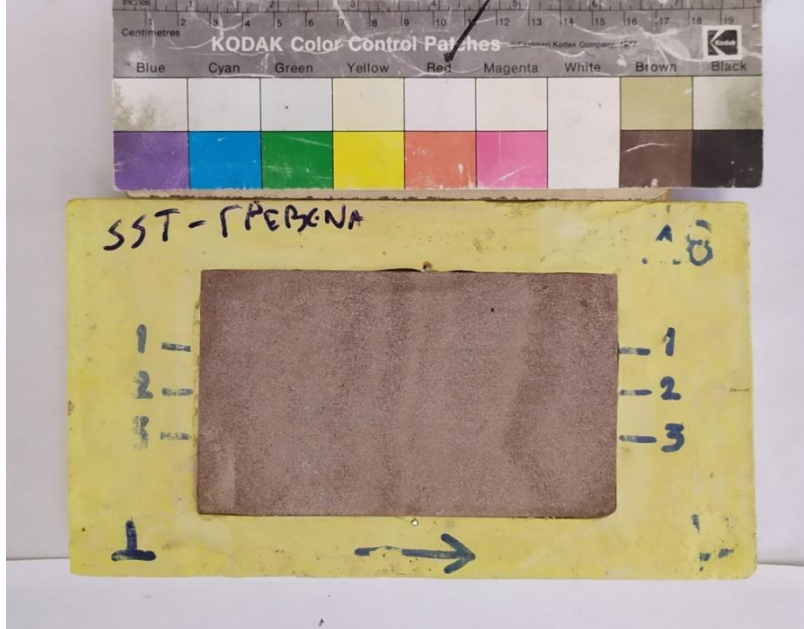

Πίνακας Π. 18. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών Ι.

GS			
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	
11		12	

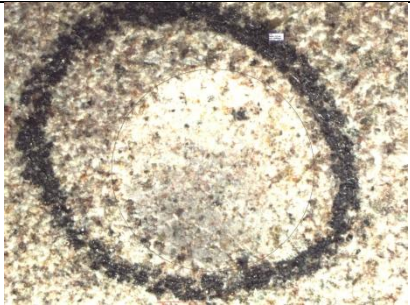









13		14	
15		16	




Πίνακας Π. 19. Φωτογραφίες δειγμάτων Ψαμμίτη Γρεβενών II πριν και μετά τη δοκιμή διείδυσης Brinell.

Ψαμμίτης Γρεβενών II – SST	
Pre – test	
Post – test	

Πίνακας Π. 20. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Ψαμμίτη Γρεβενών II.

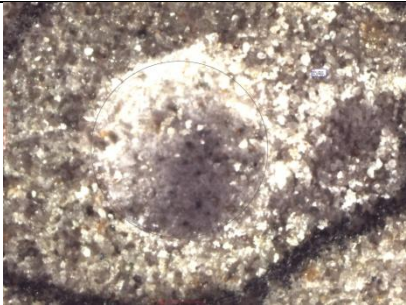

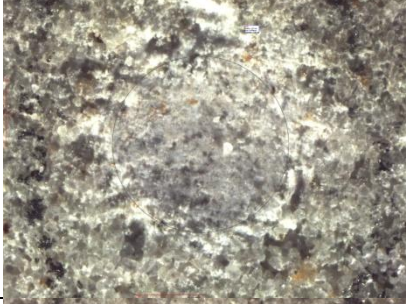

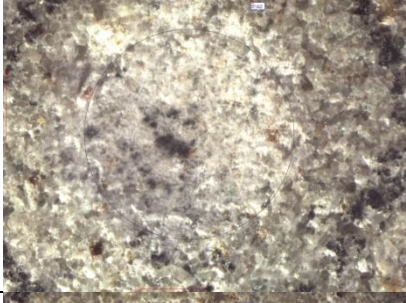
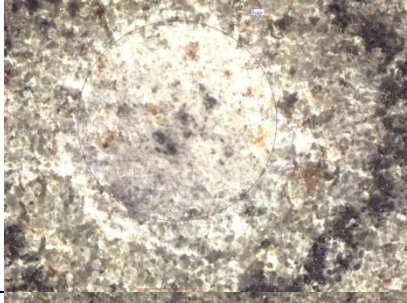




SST			
		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	
11			

Πίνακας Π. 21. Φωτογραφίες δειγμάτων Berea Sandstone πριν και μετά τη δοκιμή διείδυσης Brinell.

<b>Berea Sandstone – BS</b>	
<b>Pre – test</b>	
<b>Post – test</b>	

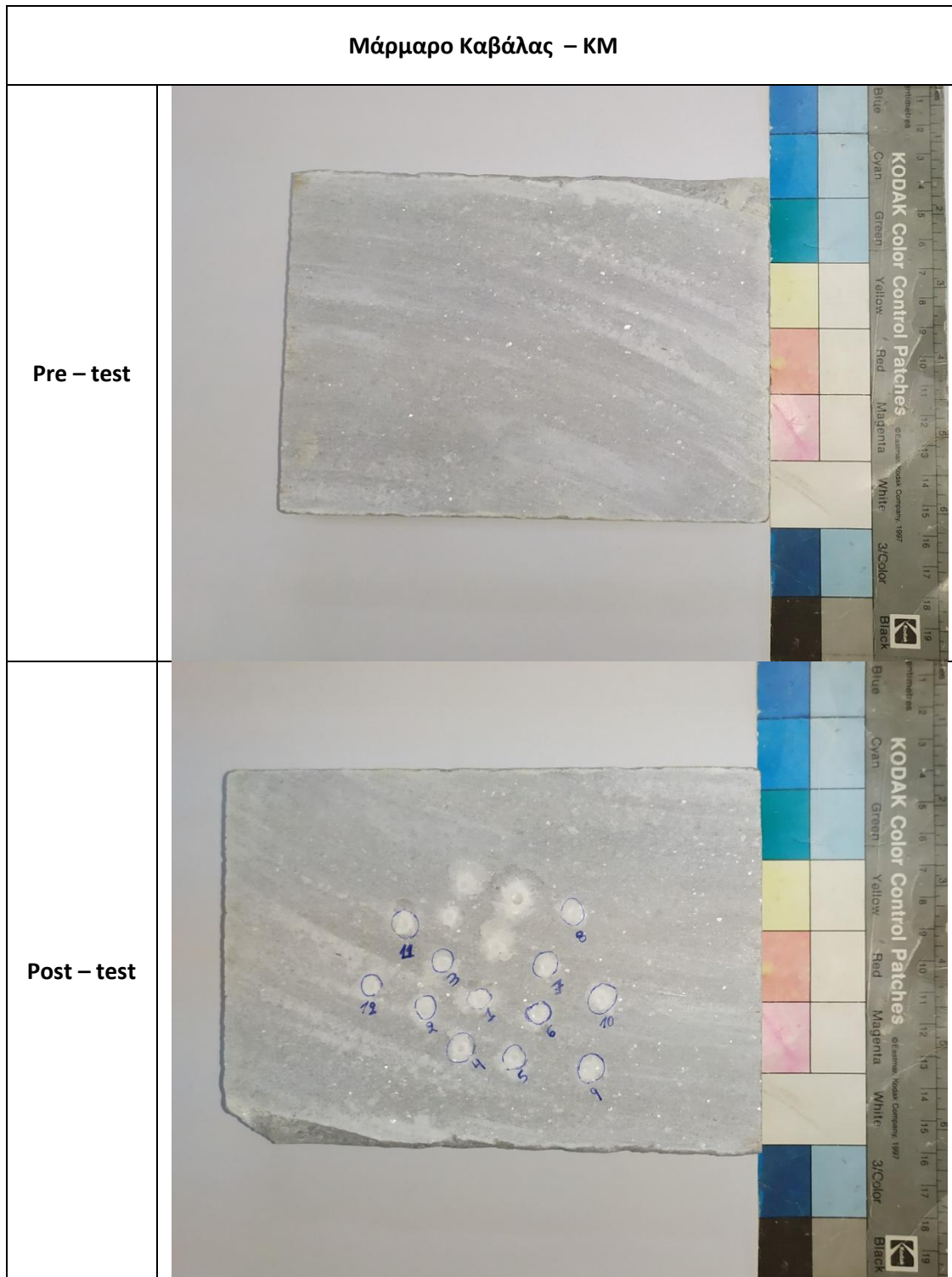


Πίνακας Π. 22. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Berea Sandstone.

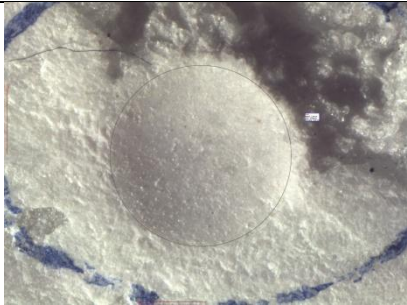
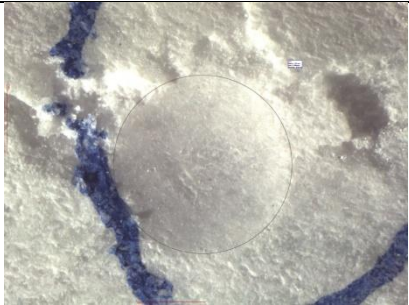










BS			
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	




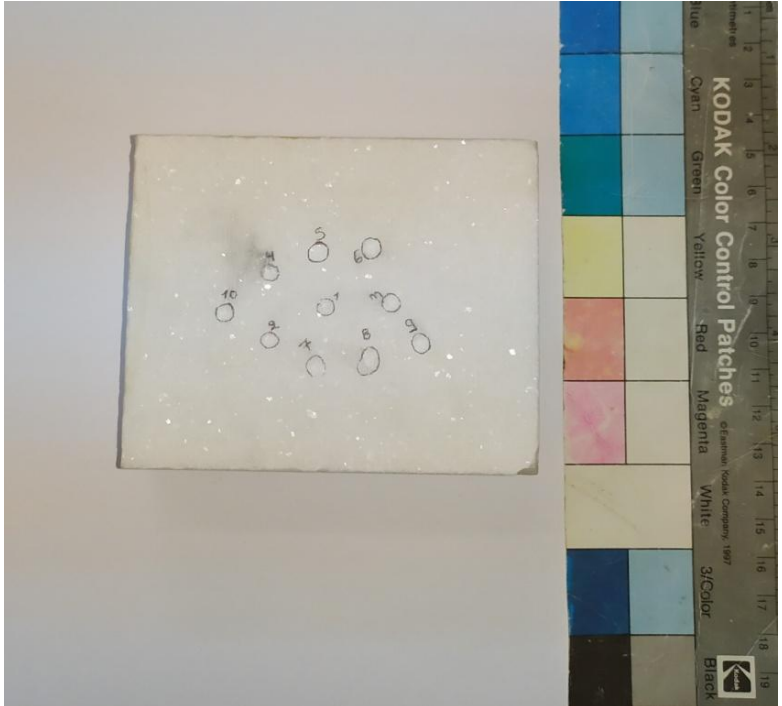
Πίνακας Π. 23. Φωτογραφίες δειγμάτων Μαρμάρου Καβάλας πριν και μετά τη δοκιμή διεύθυνσης Brinell.



Πίνακας Π. 24. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Καβάλας.






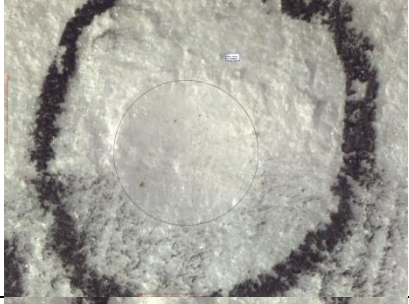


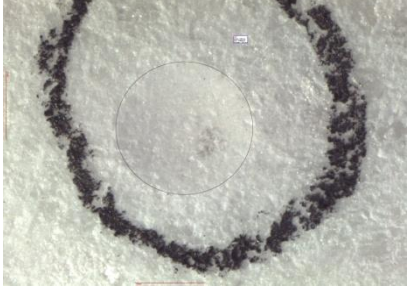
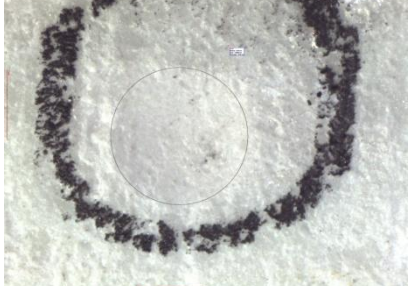
ΚΜ			
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	
11		12	

Πίνακας Π. 25. Φωτογραφίες δειγμάτων Μαρμάρου Θάσου πριν και μετά τη δοκιμή διείδυσης Brinell.

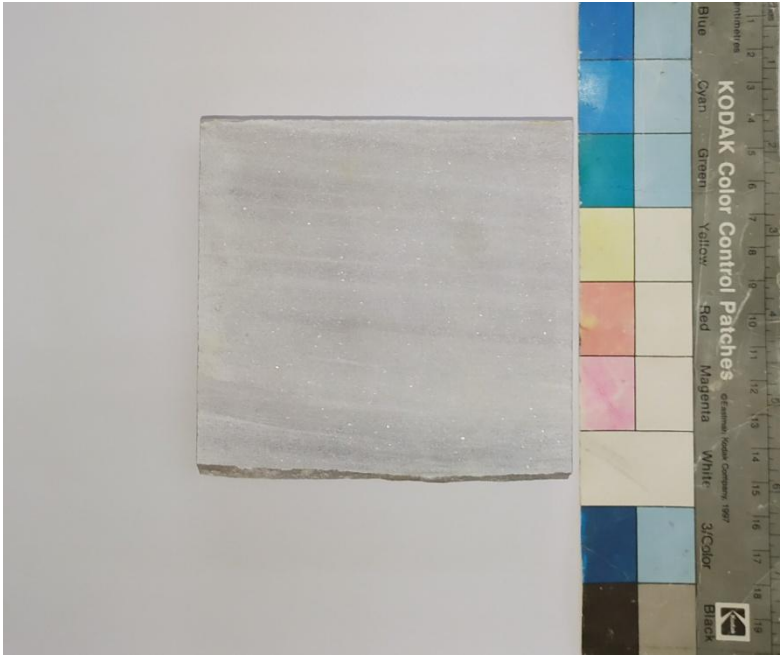
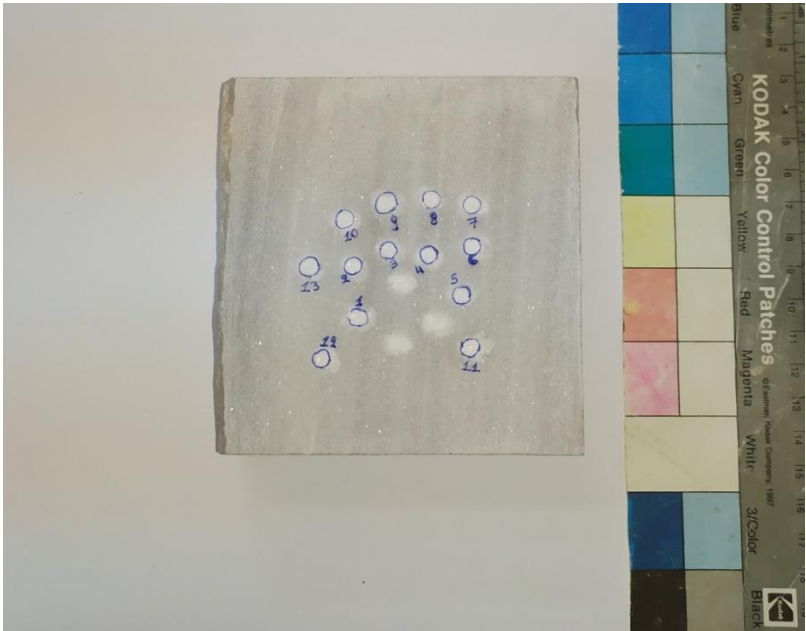
<b>Μάρμαρο Θάσου – TSM</b>	
<b>Pre – test</b>	 A photograph of a rectangular, white, crystalline marble sample. To the right of the sample is a color calibration chart with various colored squares and a ruler. The chart includes labels for Blue, Cyan, Green, Yellow, Red, Magenta, White, 3/Color, and Black. The ruler shows centimeter markings.
<b>Post – test</b>	 A photograph of the same marble sample after a Brinell test. The surface shows several circular indentations, each marked with a small 'X' and a handwritten number (1 through 6). The color calibration chart and ruler are visible to the right, providing a scale for the indentations.



Πίνακας Π. 26. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Θάσου.

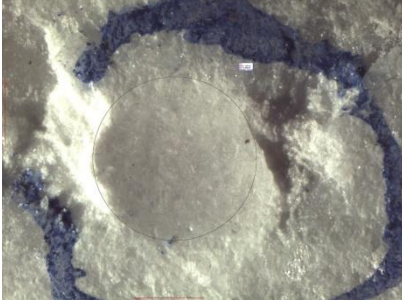

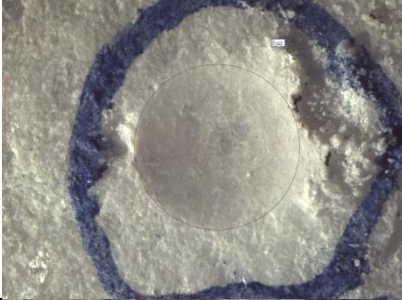

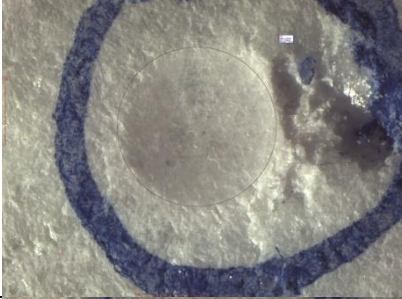
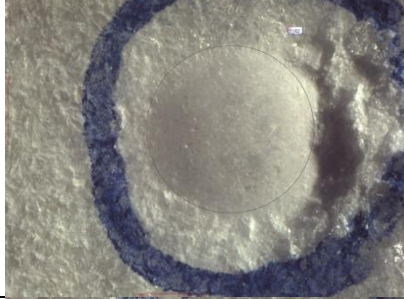
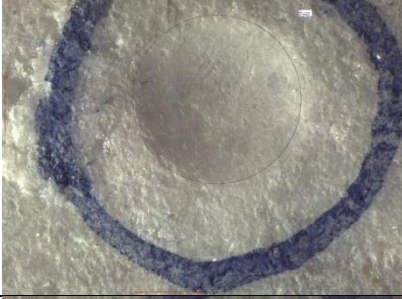
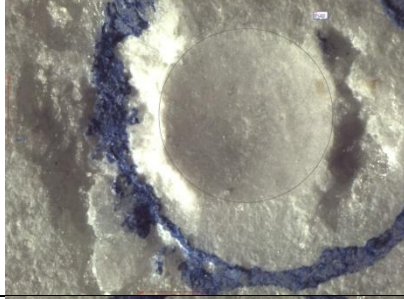


TSM			
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	

Πίνακας Π. 27. Φωτογραφίες δειγμάτων Μαρμάρου Βεροίας πριν και μετά τη δοκιμή διείδυσης Brinell.


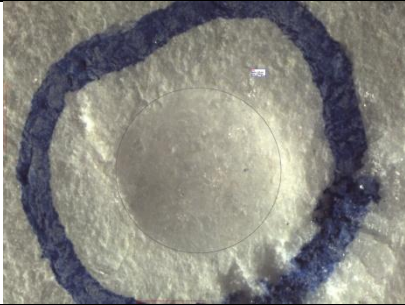

<b>Μάρμαρο Βεροίας – VM</b>	
<b>Pre – test</b>	
<b>Post – test</b>	



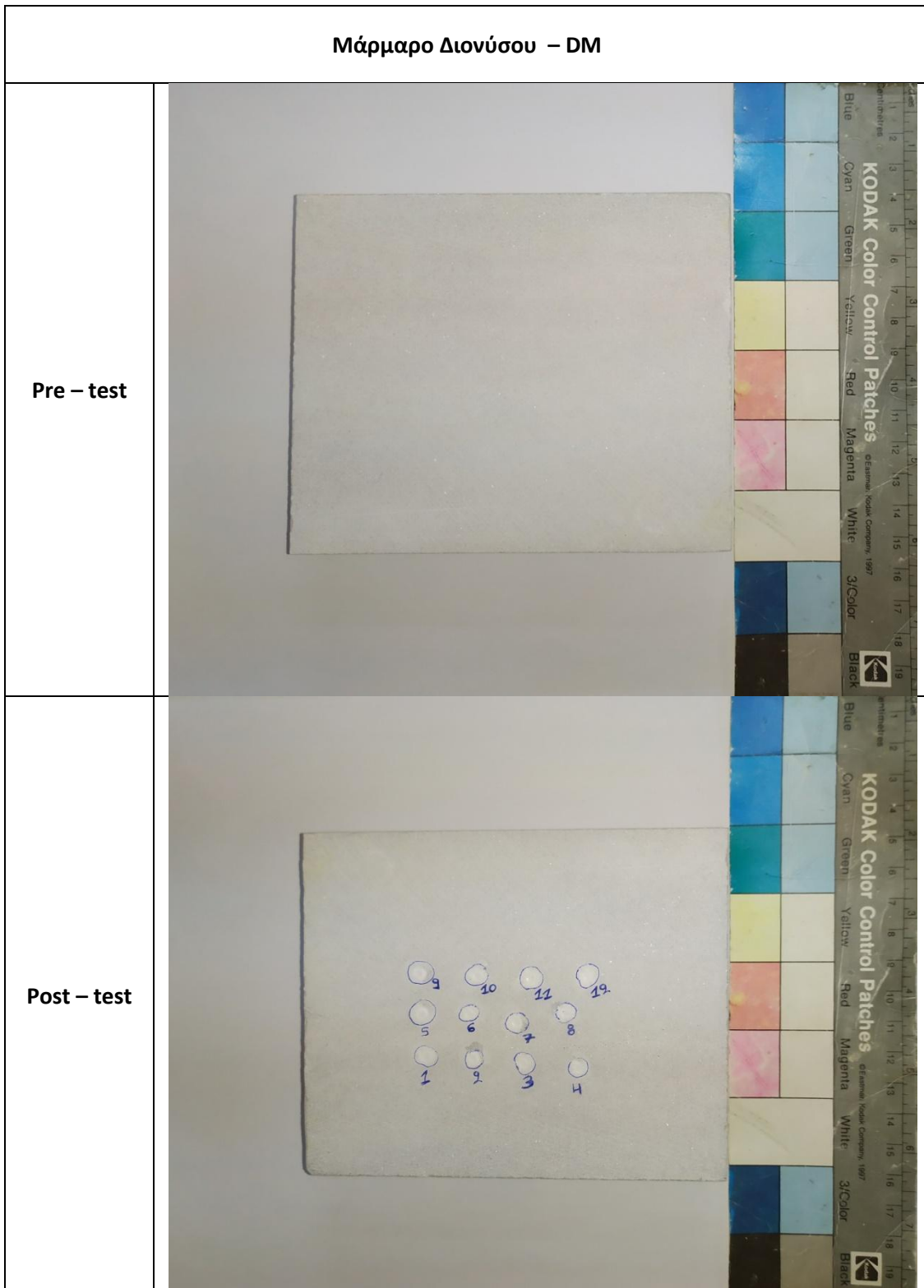
Πίνακας Π. 28. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Βεροίας.

VM			
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	


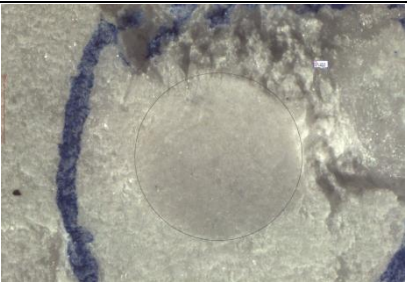


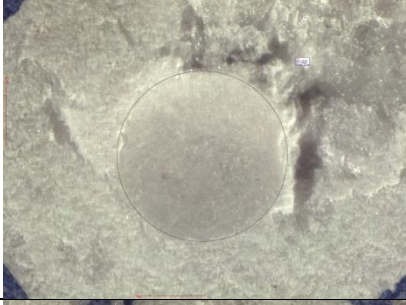
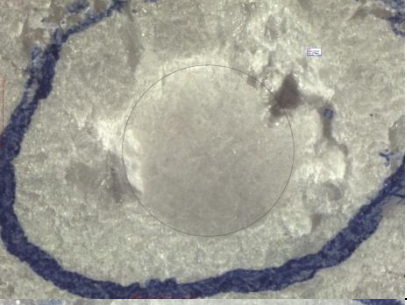



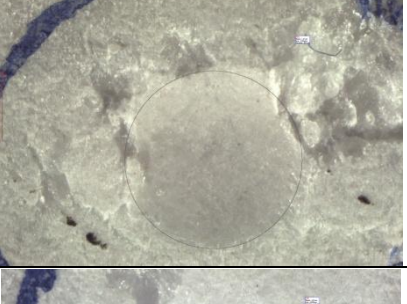

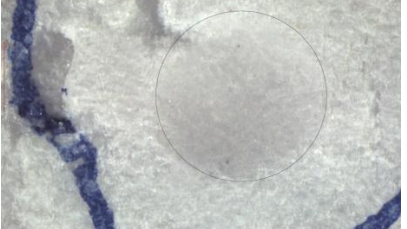


11		12	
13			

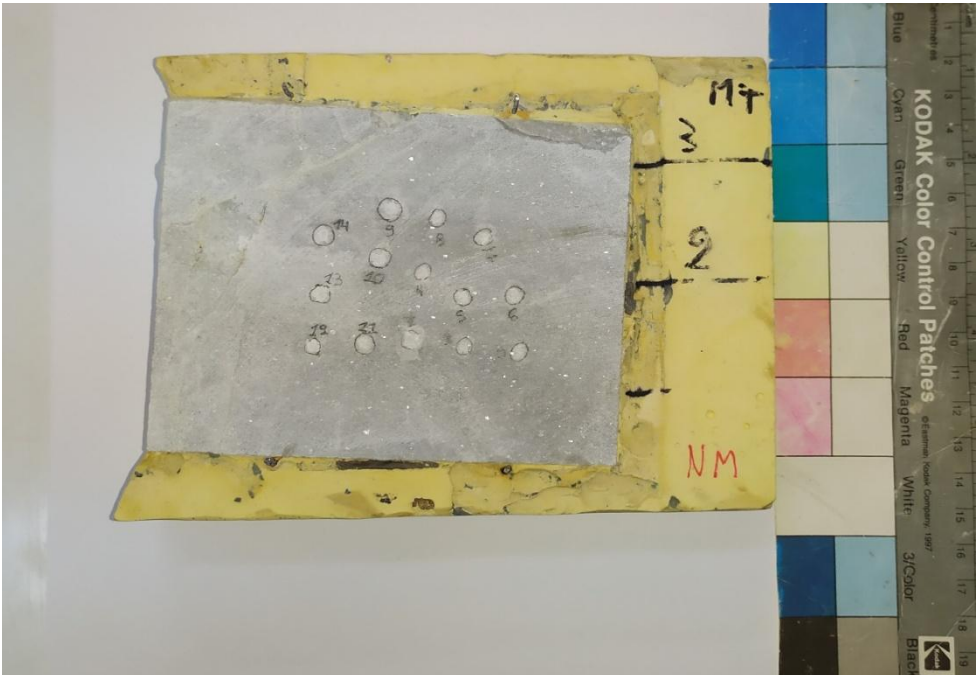
Πίνακας Π. 29. Φωτογραφίες δειγμάτων Μαρμάρου Διονύσου πριν και μετά τη δοκιμή διεύθυνσης Brinell.



Πίνακας Π. 30. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Διονύσου.











DM			
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	
11		12	

Πίνακας Π. 31. Φωτογραφίες δειγμάτων Μαρμάρου Νευροκοπίου πριν και μετά τη δοκιμή διείδυσης Brinell.

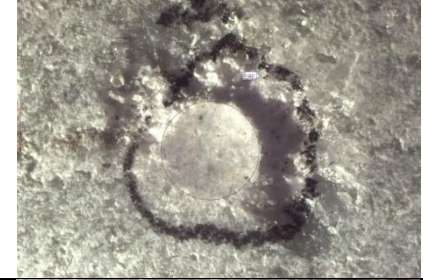


<b>Μάρμαρο Νευροκοπίου – NM</b>	
<b>Pre – test</b>	
<b>Post – test</b>	



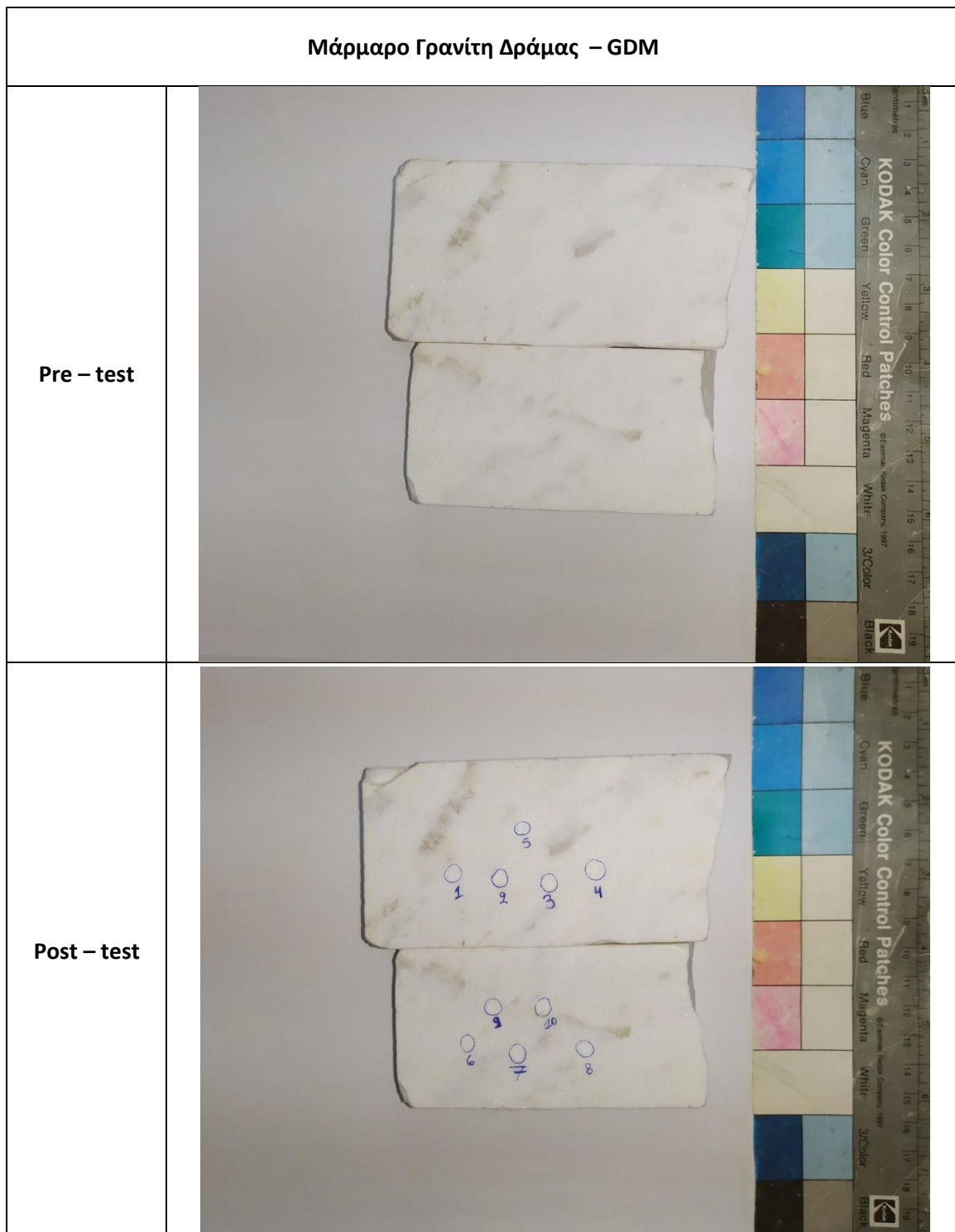
Πίνακας Π. 32. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυλώματος της δοκιμής Brinell για το Μάρμαρο Νευροκοπίου.

NM			
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	

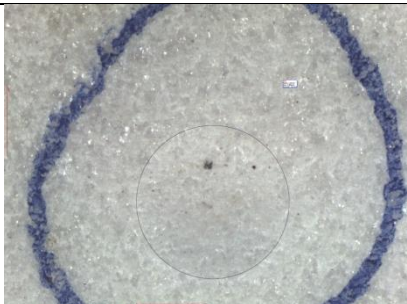
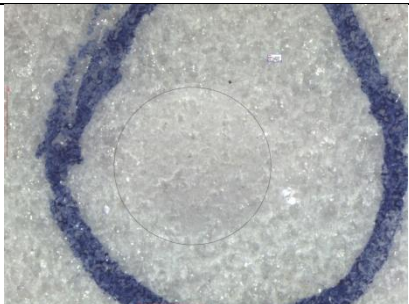

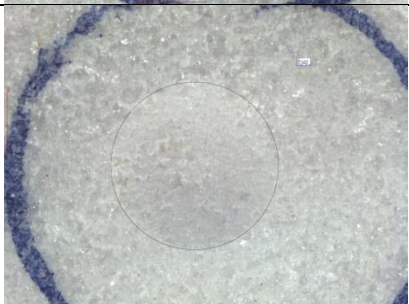
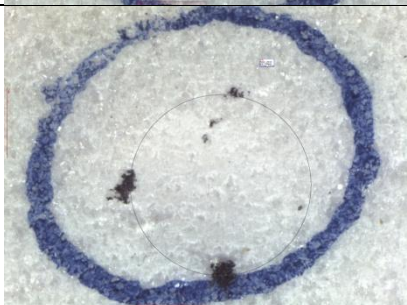
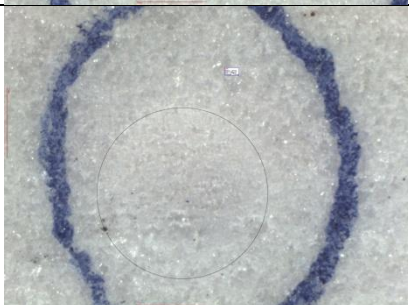
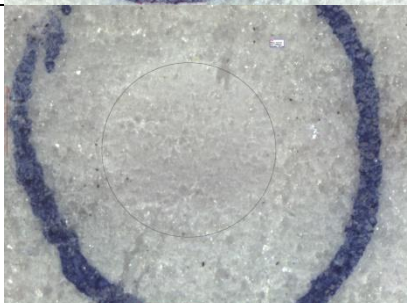

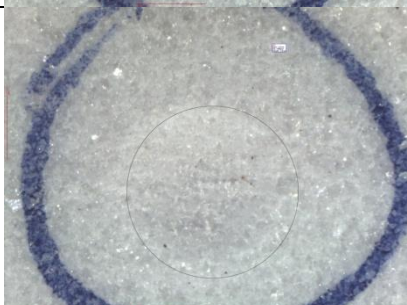
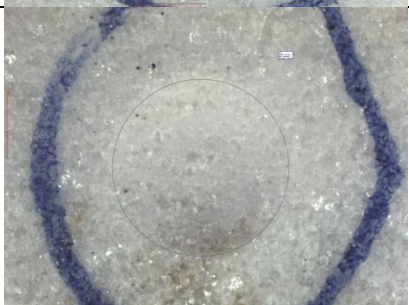


11		12	
13		14	

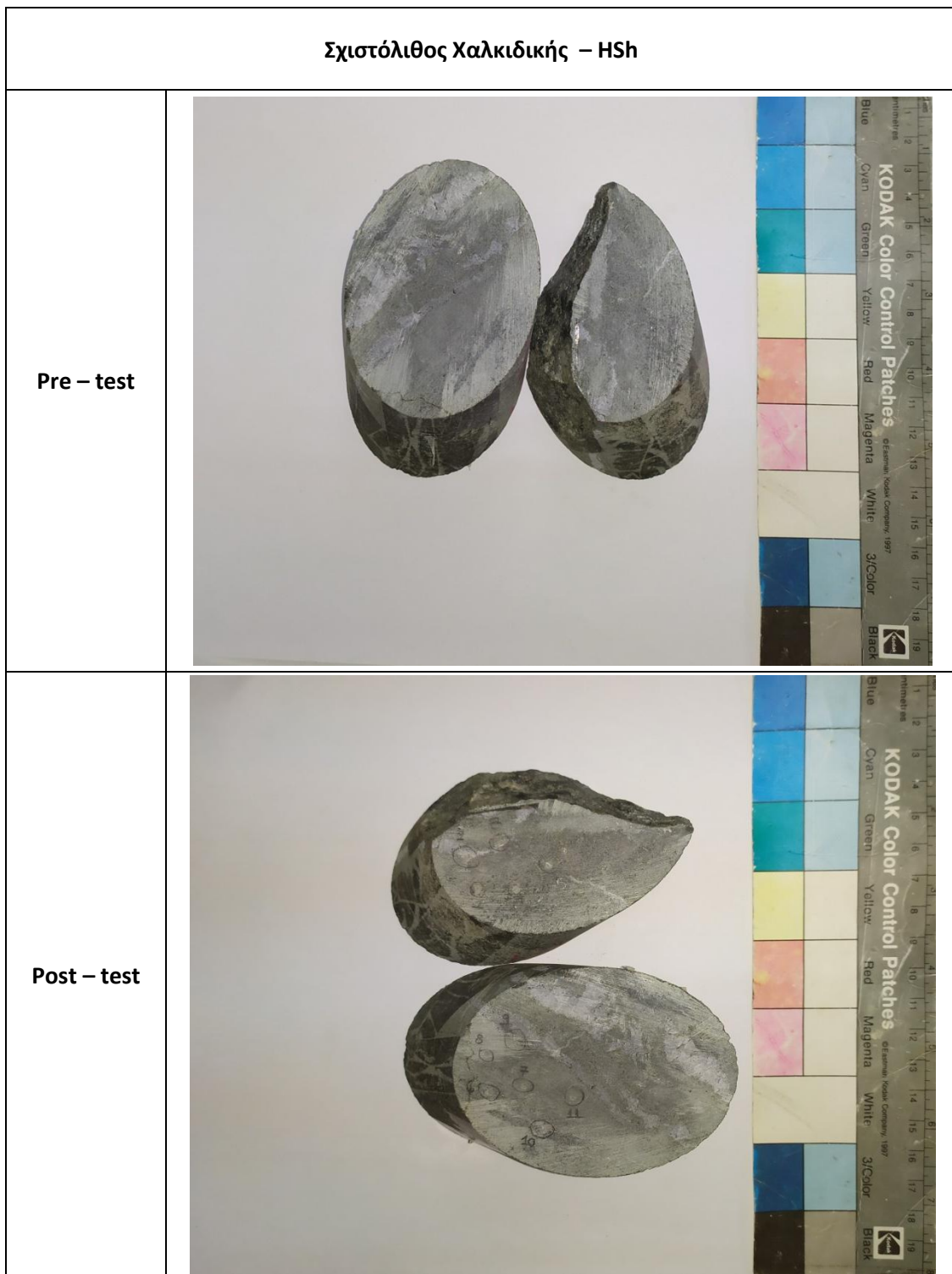
Πίνακας Π. 33. Φωτογραφίες δειγμάτων Μαρμάρου Γρανίτη Δράμας πριν και μετά τη δοκιμή διείδυσης Brinell.



**Πίνακας Π. 34.** Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυλώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Μάρμαρο Γρανίτη Δράμας.

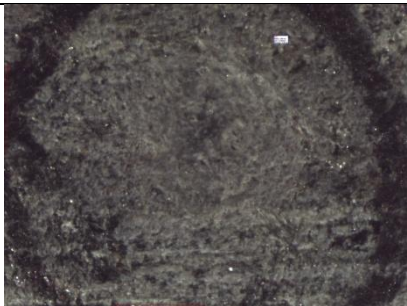
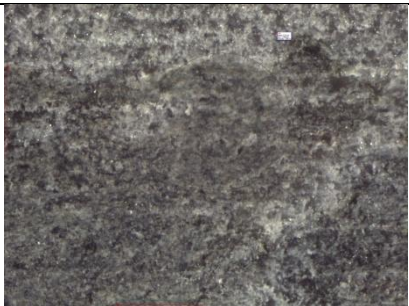

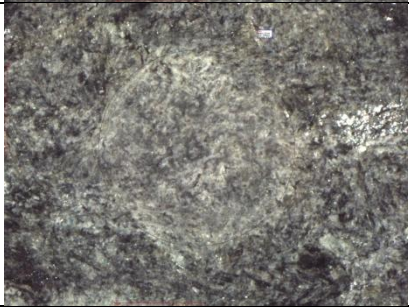
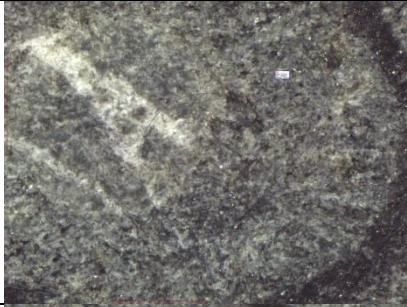
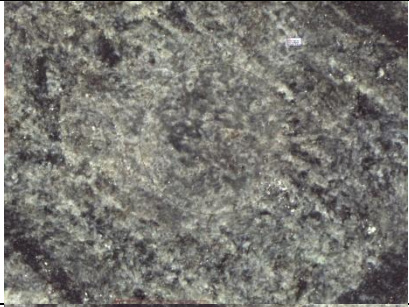

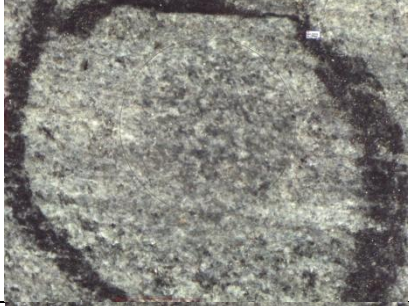
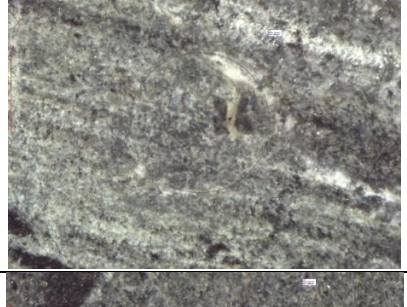


<b>GDM</b>			
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	

Πίνακας Π. 35. Φωτογραφίες δειγμάτων Σχιστόλιθου Χαλκιδικής πριν και μετά τη δοκιμή διείδσδυσης Brinell.



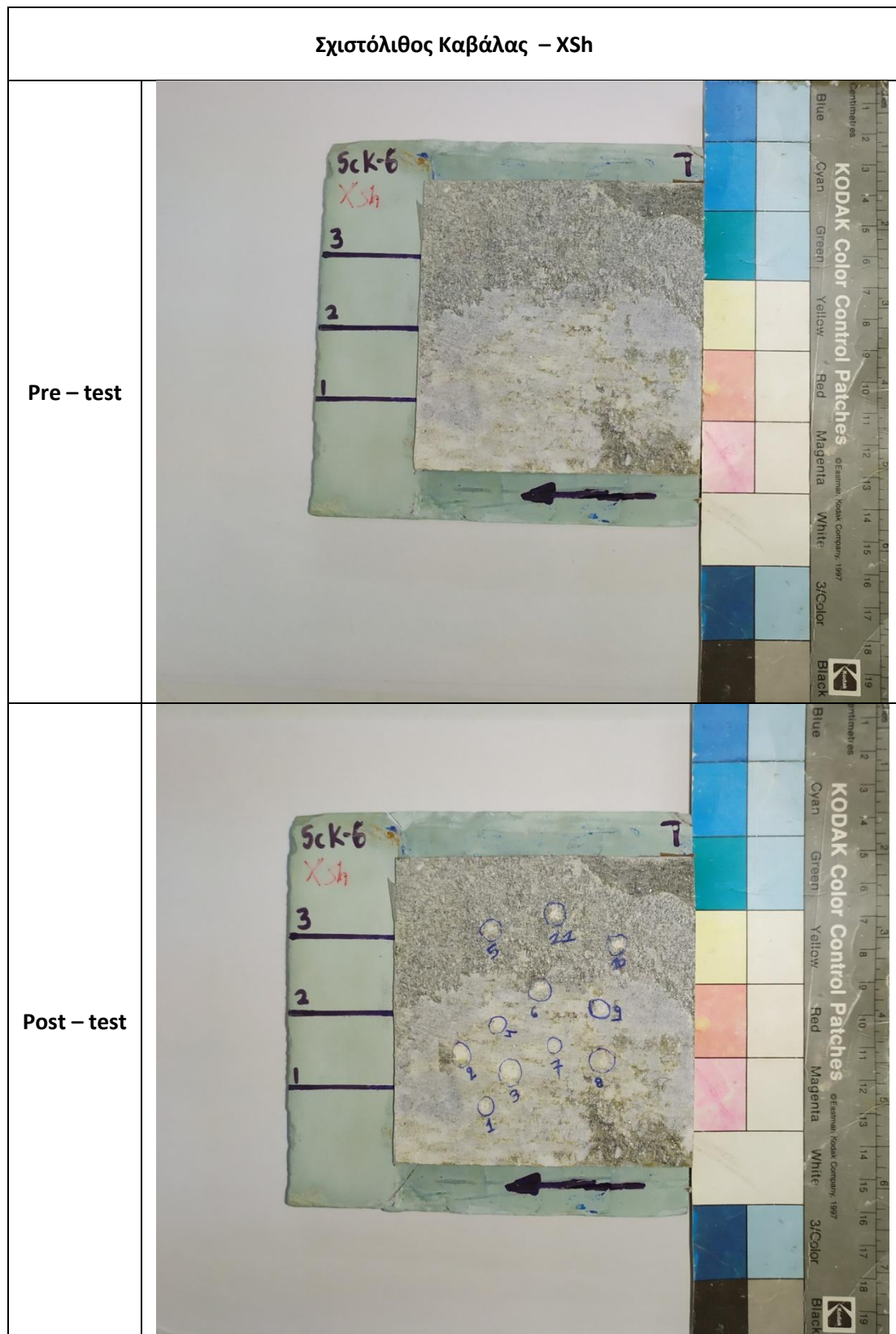


**Πίνακας Π.36.** Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Σχιστόλιθο Χαλκιδικής.

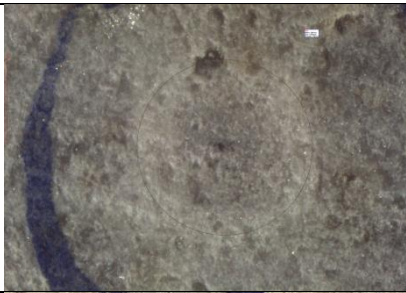
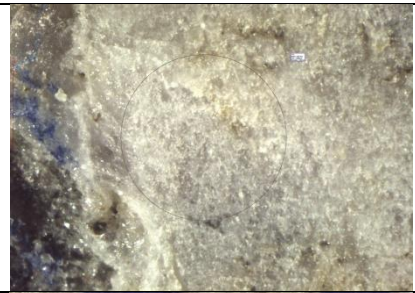


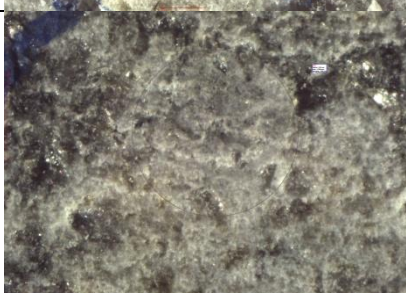
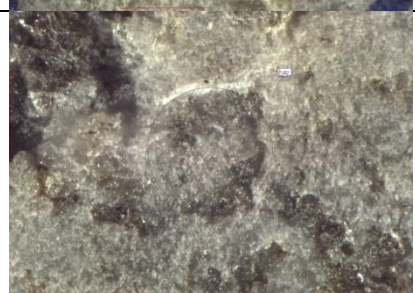
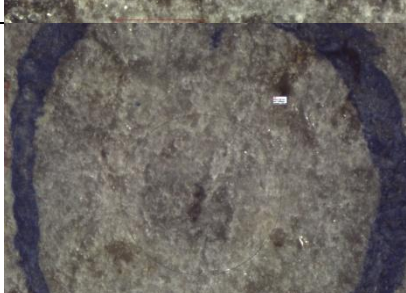
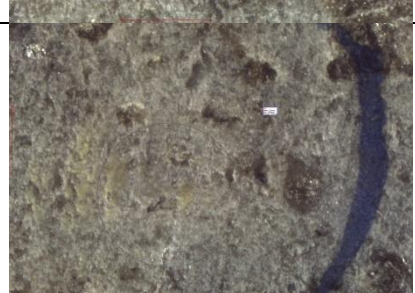


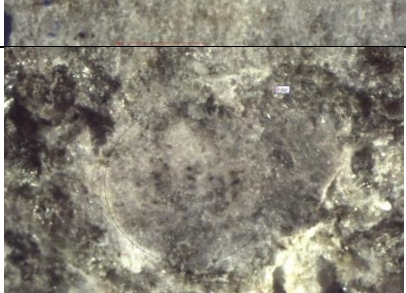
<b>HSh</b>			
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	
11			



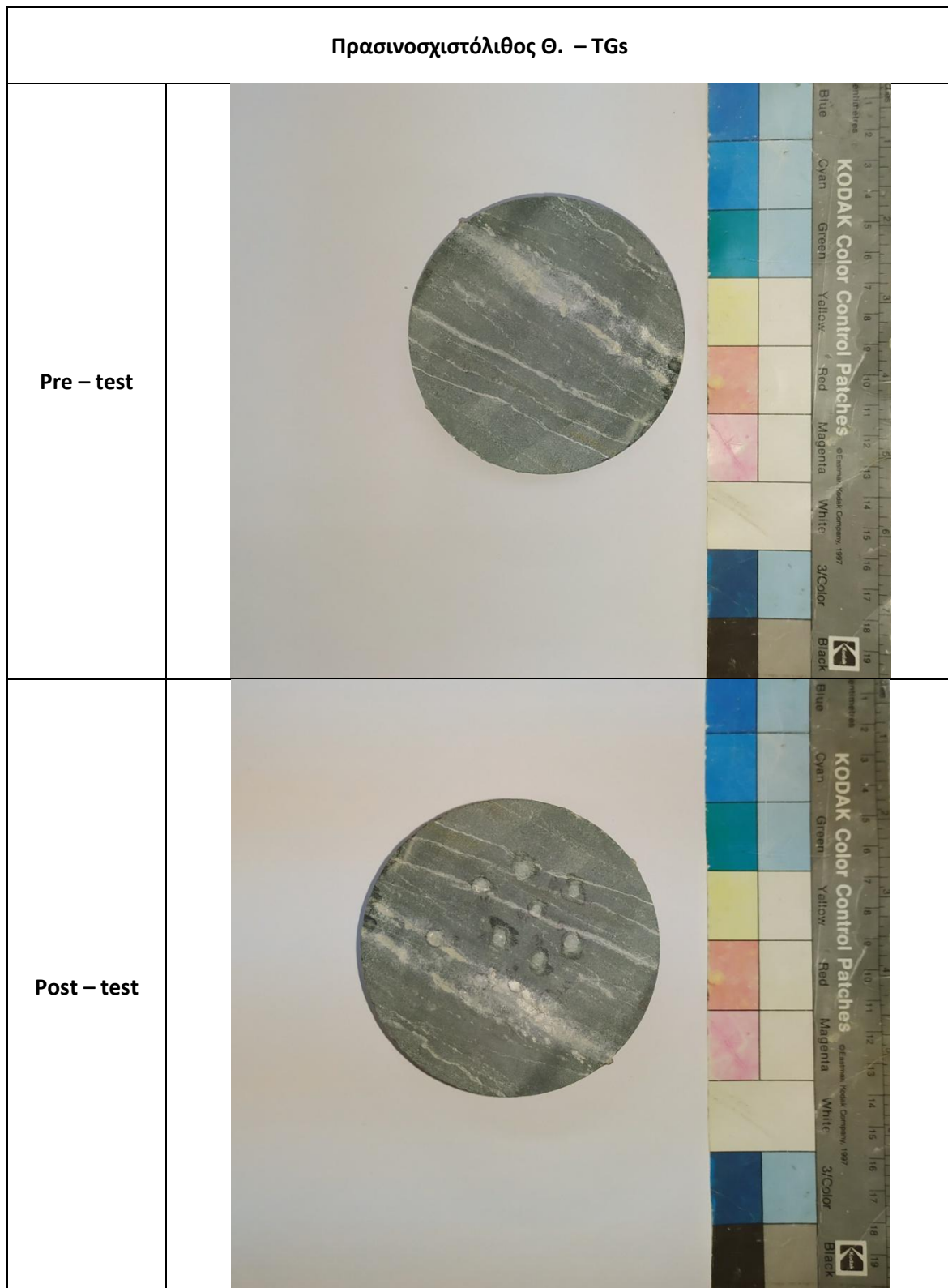
Πίνακας Π. 37. Φωτογραφίες δειγμάτων Σχιστόλιθου Καβάλας πριν και μετά τη δοκιμή διείδυσης Brinell.



Πίνακας Π. 38. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Σχιστόλιθο Καβάλας.


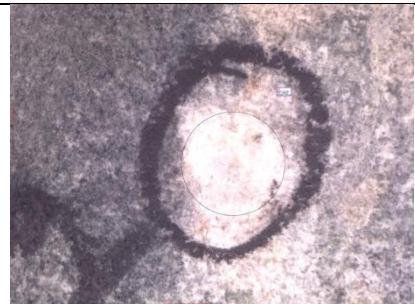









XSh			
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	
11			

Πίνακας Π. 39. Φωτογραφίες δειγμάτων Πρασινοσχιστόλιθου πριν και μετά τη δοκιμή διείδυσης Brinell.

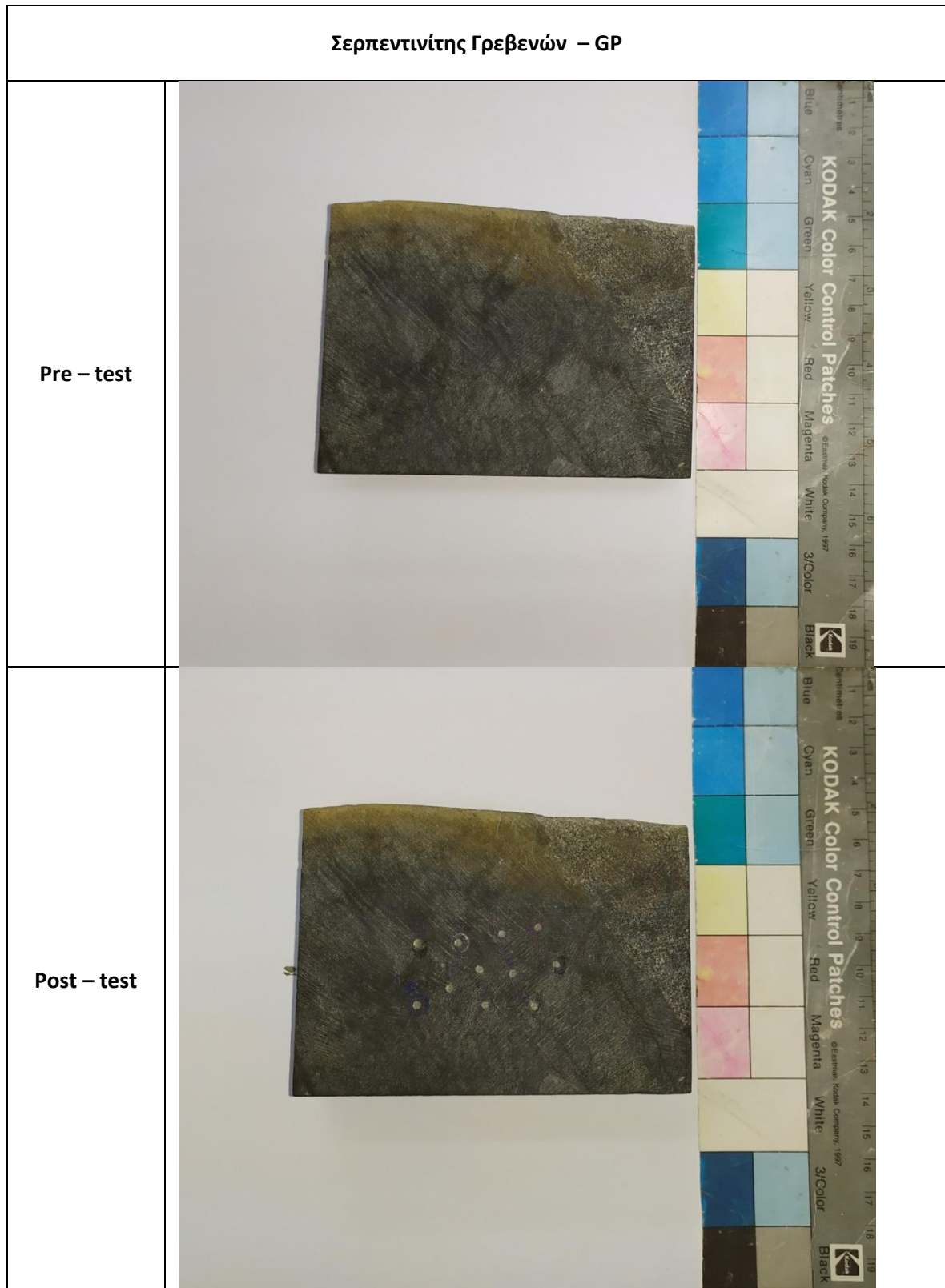




Πίνακας Π. 40. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Πρασινοςχιστόλιθο.

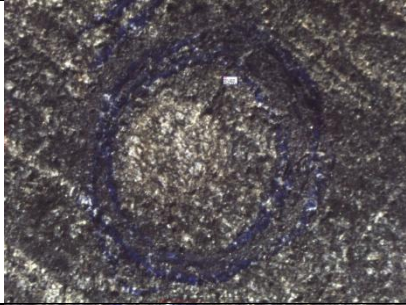
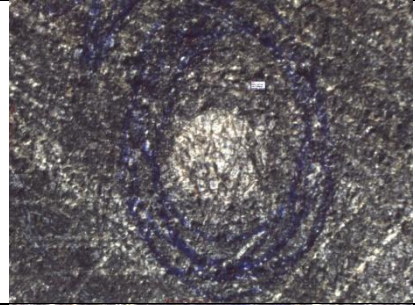
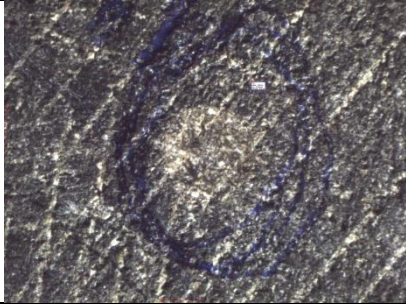


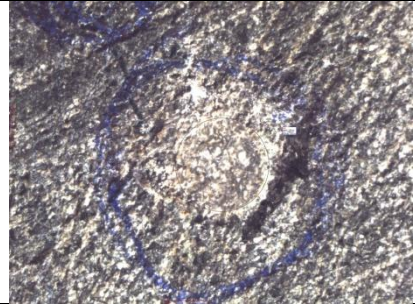
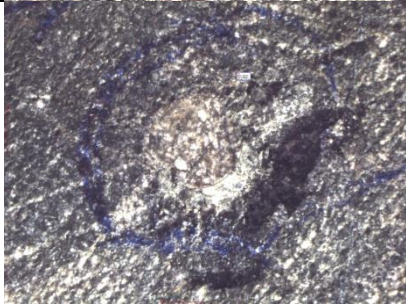
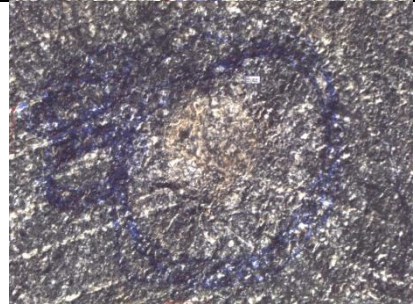


TGs			
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	
11			

Πίνακας Π. 41. Φωτογραφίες δειγμάτων Σερπεντινίτη Γρεβενών πριν και μετά τη δοκιμή διεύθυνσης Brinell.







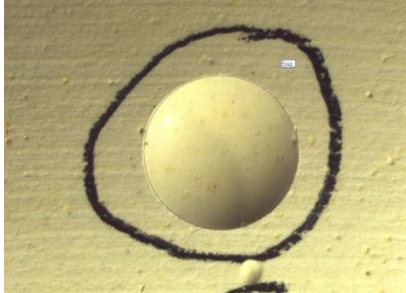
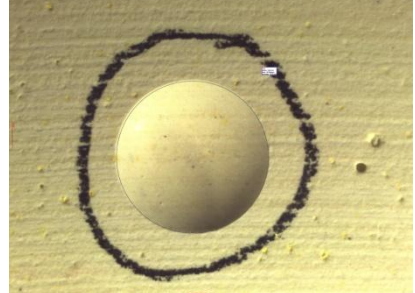




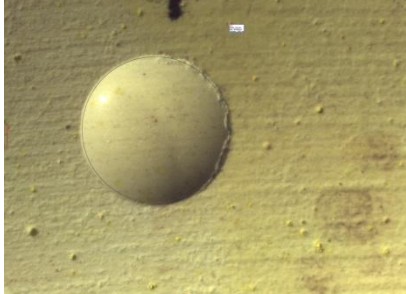

**Πίνακας Π. 42.** Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για τον Σερπεντινίτη Γρεβενών.

<b>GP</b>			
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	

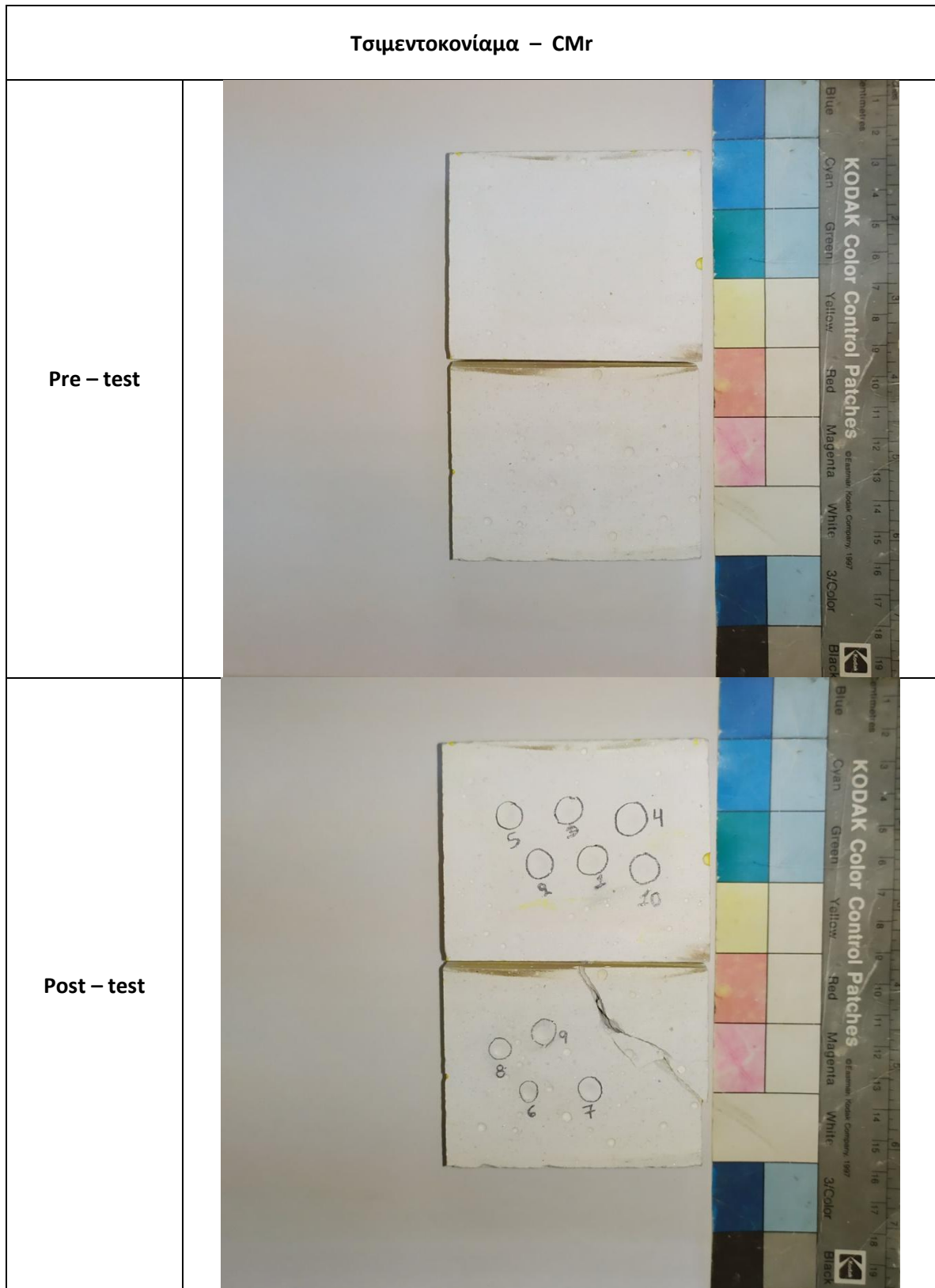







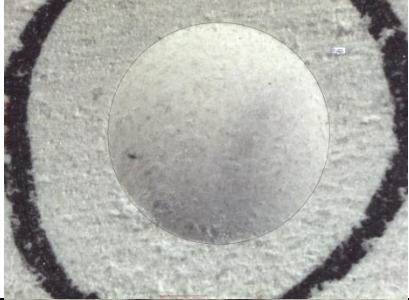



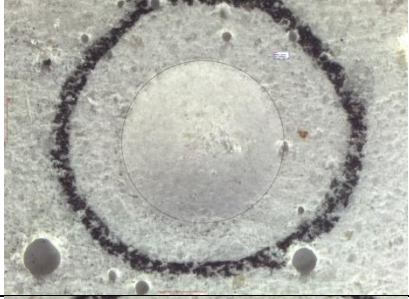

Πίνακας Π. 44. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Γυψοκόνιαμα.

PMr			
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	

Πίνακας Π. 45. Φωτογραφίες δειγμάτων Τσιμεντοκονιάματος πριν και μετά τη δοκιμή διεύθυνσης Brinell.



Πίνακας Π. 46. Φωτογραφίες μετρήσεων του αποτυπώματος μετά τη δοκιμή Brinell για το Τσιμεντοκονίαμα.

CMr			
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	