

Πρακτικά	βου	Συνεδρίου	Μάιος	1992
Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.	Τομ.	XXVIII/3	σελ.	349-358
Bull. Geol. Soc. Greece	Vol.		pag.	
			Αθήνα	1993
			Athens	

**ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΛΕΠΤΩΝ
ΤΟΜΩΝ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΤΗΣ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ**

Β.ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ

ABSTRACT

Hardness of rocks can be expressed by the "abrasion loss of weight (AR)" as a measure of their mechanical behaviour and their ability to resist weathering. The used method is based to the calculation of the loss of weight of a pre-weighted sample after abrasion for a constant time under constant conditions. For this purpose a LOGITECH - LP 30 thin section lapping machine with constant rotation of 40 rpm is used. The polishing material (sand) is emery No 400 and the specimens are loaded with 2 Kg. The abrasion time is 1/2 h.

Twenty specimens from the gabbros and the peridotites of Chalkidiki are used for the tests. Tests are applied on mini cores of 24 mm diameter and 10 mm high, instead of 48 mm which is the ordinary hight used for other tests. The calculated mean values are 0.993% (standard deviation, $\sigma_{n-1}=0.232$) for the gabbros and 1.361% (standard deviation, $\sigma_{n-1}=0.225$) for the peridotites. The total mean value, for both ophiolitic types, is 1.177% with standard deviation $\sigma_{n-1}=0.292$.

Relationships between the abrasion loss of weight (AR, %) and properties such as dry density (d, gr/cc) and ultrasonic velocity (vp, m/msec) are determined, confirming the precision of the method. For sound rocks the existing relationships could

¹Department of Geology & Phys. Geography (Lab. of Engineering Geology & Hydrogeology), School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 54006 Thessaloniki, Greece.

be expressed by linear regressions. Yet, in weathered materials, especially in multiphase rocks, the rate of change of the abrasion loss of weight increases more quickly than the decrease of the dry density and the ultra sonic velocity. An exponential regression could express better the existing relationships in case that tests cover a big range of values, from sound to weathered specimens.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μελέτη η σκληρότητα γάββρων και περιδοτιτών της Χαλκιδικής υπολογίζεται ως "απώλεια βάρους τριβής, AR %" είκοσι προ-ζυγισμένων κυλινδρικών δοκιμίων, μετά από λείανση για συγκεκριμένο χρόνο υπό σταθερές συνθήκες λείανσης. Για την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκε συσκευή κατασκευής ορυκτολογικών λεπτών τομών. Οι διάφορες ποσοτικές παράμετροι της πειραματικής διαδικασίας προσδιορίστηκαν με ακρίβεια ώστε α) να υπάρχει επαναληψιμότητα της μεθόδου και β) τα αποτελέσματα να είναι αντιπροσωπευτικά και συγκρίσιμα.

Εκτός της σκληρότητας τα δοκίμια μελετήθηκαν και ως προς την ξηρή πυκνότητα (d , gr/cc) και την ταχύτητα διέλευσης των υπερήχων (v_p , m/msec). Από τη επεξεργασία των αποτελεσμάτων διαπιστώθηκε ότι σε υγιή δείγματα η "απώλεια βάρους τριβής" συσχετίζεται γραμμικά με την ξηρή πυκνότητα και την ταχύτητα υπερήχων. Σε αποσαθρωμένα δείγματα όμως διαπιστώθηκε ότι μικρή μείωση της ξηρής πυκνότητας και της ταχύτητας υπερήχων συνδέεται με ταυτόχρονη μεγάλη αύξηση της απώλειας βάρους τριβής. Έτσι η προηγούμενη σχέση εκφράζεται καλύτερα με εκθετική συνάρτηση, σε περιπτώσεις που το εύρος τιμών είναι αρκετό μεγάλο, περιλαμβάνοντας δεδομένα υγιών και αποσαθρωμένων δειγμάτων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.
Ως σκληρότητα χαρακτηρίζεται η ικανότητα των πετρωμάτων να αντιστέκονται στη χάραξη και στην τριβή. Περισσότερο ακριβής

χαρακτηριστική μηχανική ιδιότητα των στερεών σωμάτων που οφείλεται στις δυνάμεις που συνδέουν τα άτομα που τα αποτελούν. Υπάρχουν επομένως πετρώματα σκληρά, που δύσκολα χαράσσονται, λειαινόνται ή αποσπώνται τεμάχια από αυτά, και πετρώματα μαλακά που είναι εύθριπτα ή χαράσσονται με μεγάλη ευκολία.

Η σκληρότητα συνδέεται άμεσα με ιδιότητες όπως η αντοχή σε θλίψη, η ταχύτητα υπερήχων, η ξηρή πυκνότητα, ο ρυθμός διάτρησης της βραχομάζας, η φθορά των δομικών υλικών κλπ. (Hunt, 1984).

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η ποσοτική προσέγγιση της σκληρότητας ως "απώλεια βάρους τριβής" κατά την λείανση των δοκιμίων υπό σταθερές συνθήκες χρησιμοποιώντας την λειαντική συσκευή κατασκευής ορυκτολογικών λεπτών τομών, αντί της ειδικής συσκευής που ορίζεται στην δοκιμή αντοχής σε τριβή της προδιαγραφής ASTM C 241 - 85. Ο καθορισμός των διαφόρων παραμέτρων της μεθόδου, συντελεί στην επαναληψιμότητα της μεθόδου. Τέλος η μεταβολή των αποτελεσμάτων συγκρίνεται με τη μεταβολή των αποτελεσμάτων της ξηρής πυκνότητας και της ταχύτητας υπερήχων, ώστε να προσδιορισθεί η σχέση που εκφράζει τη μεταξύ τους μεταβολή.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

Για την ποσοτική έκφραση της σκληρότητας έχουν διατυπωθεί διάφορες έμμεσες μέθοδοι, αφού άμεσος προσδιορισμός δεν είναι δυνατός. Οι μέθοδοι αυτές αναφέρονται α) στην αντοχή του πετρώματος σε χάραξη [μέθοδος Knoop (National Bureau of Standards, USA, Verfel, 1989)], β) στο ύψος αναπήδησηςπίπτοντος σφαιριδίου [μέθοδος Shore (Tsoutrelis, 1968)] γ) στην αντοχή σε τριβή και κρούση [μέθοδος Los Angeles (ASTM C 131 - 47, Johnson & DeGraff, 1988)] και δ) στην αντοχή σε τριβή [προδιαγραφή ASTM C 241 - 85].

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη, μπορεί να χαρακτηριστεί ως παραλλαγή της μεθόδου αντοχής σε τριβή της προδιαγραφής ASTM C 241 - 85 και αναφέρεται στον υπολογισμό της απώλειας βάρους του δοκιμίου κατά τη λείανση του. Ομως η δοκιμή γίνεται με χρήση λειαντικής συσκευής κατασκευής ορυκτολογικών

λεπτών τομών, αντί της ειδικής συσκευής τριβής που προβλέπεται στην παραπάνω προδιαγραφή.

Οι εργαστηριακές δοκιμές έγιναν σε 20 οφιολιθικά δείγματα, 10 γάββρου και 10 περιδοτίτη, από την ευρύτερη περιοχή Γερακινής, Χαλκιδικής (Εικ. 1). Τα δείγματα 1 - 10 αφορούν τους γάββρους και τα δείγματα 11 - 20 τους περιδοτίτες.

Τα δείγματα αυτά μελετήθηκαν αφ ενός ως προς την σκληρότητα, αφ ετέρου δε ως προς την ξηρή πυκνότητα και την ταχύτητα υπερήχων. Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν επελέγησαν προσεκτικά, ώστε να είναι συμπαγή και χωρίς ρωγμές. Τα αποτελέσματα των δοκιμών δίδονται στον Πίνακα 1.

Οι δοκιμές ξηρής πυκνότητας και ταχύτητας υπερήχων έγιναν σε κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 24 mm και ύψους 48 mm. Οι δοκιμές "απώλειας βάρους τριβής" έγιναν σε μια κυλινδρική φέτα 10 mm που κόπηκε από τα προηγούμενα δοκίμια.

Η τροποποίηση των διαστάσεων των δοκιμίων από τη συνήθη σχέση διάμετρος / ύψος = 1/2, έγινε για τους παρακάτω λόγους: α) Το μεγάλο ύψος των δοκιμίων, σε σχέση με τη διάμετρο, προκαλεί ασταθή ισορροπία κατά τη περιστροφή του λειαντικού δίσκου, με αποτέλεσμα την πιθανή ανατροπή των δοκιμίων και τον αποχωρισμό τεμαχίων. β) Κατά τη διάρκεια της δοκιμής μόνο η κάτω κυλινδρική επιφάνεια λειαινείται, επομένως η απώλεια βάρους κατά τη λείανση συνδέεται με το μέγεθος της και είναι ανεξάρτητη τού ύψους του δοκιμίου. Ετσι όσο το ύψος είναι μικρότερο τόσο η μεταβολή των τιμών γίνεται περισσότερο ευδιάκριτη.



Εικ. 1. Περιοχή δειγματοληψίας.

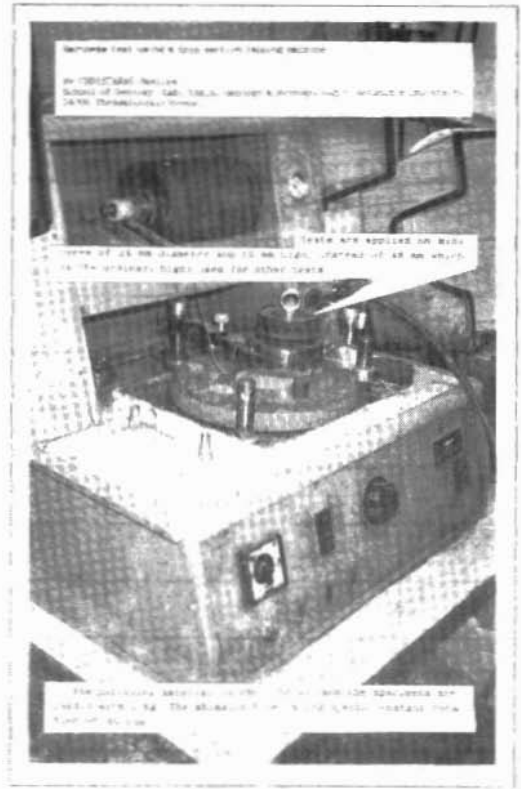
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ: Η σκληρότητα υπολογίστηκε ως "απώλεια βάρους τριβής, AR, %", δηλαδή ως ποσοστό ολικού βάρους της μεταβολής του βάρους των δοκιμίων, πριν και μετά τη λείανση των. Για την υλοποίηση της δοκιμής χρησιμοποιήθηκε η συσκευή κατασκευής λεπτών τομών Φηφιακή Βιβλιοθήκη Θεοφράστου - Γμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. LOGITECH - LP30 (Εικ.2).

Πίνακας 1. Εργαστηριακά αποτελέσματα ξηρής πυκνότητας (d), "απόλειας βάρους τριβής (AR)" και ταχύτητας υπερήχων. Τα δοκίμια είναι γάββροι (1-10) και περιδοτίτες (11-20) από τη Χαλκιδική.

No	d (gr/cc)	AR (%)	vp (m/msec)
1	2.845	1.28	5.84
2	2.889	0.89	6.03
3	2.800	0.98	5.82
4	3.005	0.65	6.62
5	2.862	1.16	6.10
6	3.044	0.65	6.66
7	2.827	1.31	5.94
8	2.857	1.00	6.18
9	2.932	0.89	6.41
10	2.908	1.12	5.97
11	2.769	1.24	5.94
12	2.774	1.69	5.82
13	2.793	1.18	5.78
14	2.755	1.60	5.74
15	2.840	1.37	5.90
16	2.806	1.62	5.78
17	2.872	1.07	6.04
18	2.792	1.33	5.70
19	2.796	1.44	5.87
20	2.848	1.07	5.92

Ο χρόνος περιστροφής του λειαντικού δίσκου ορίστηκε σε 1/2 h με ταχύτητα περιστροφής 40 στροφές ανά λεπτό. Ως λειαντικό μέσο χρησιμοποιήθηκε σμυριδόσκονη Νο 400 διαλυμένη σε νερό, σε περιεκτικότητα 1:10. Η ταχύτητα ροής του νερού με τη σμύριδα ρυθμίστηκε σε 1 - 2 σταγόνες ανά στροφή. Τα δοκίμια τοποθετούνται σε ειδική κυλινδρική υποδοχή, που επιτρέπει την περιστροφή τους για ομοιόμορφη λείανση και φορτίζονται με βάρος 2 Kg.

Η μέση τιμή "απόλειας βάρους τριβής" υπολογίστηκε για τους γάββρους σε $AR = 0.993 \%$, με τυπική απόκλιση $\sigma_{n-1} = 0.232$ και για τους περιδοτίτες σε $AR = 1.361 \%$, με τυπική απόκλιση $\sigma_{n-1} = 0.225$. Συνολικά για όλα τα οφιολιθικά δείγματα που μελετήσαμε, η μέση τιμή είναι $AR = 1.177 \%$, με τυπική απόκλιση $\sigma_{n-1} = 0.292$.



Εικ. 2. Λειαντική συσκευή λεπτών τομών LOGITECH - LP30.

ΞΗΡΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (d, gr/cc, ASTM C 97 - 47): Ορίζεται ως ο λόγος του ξηρού βάρους του δοκιμίου προς τον ολικό του όγκο, μετά από ξήρανση στους 110° , επί 24 ώρες. Η μέση τιμή ξηρής πυκνότητας υπολογίστηκε για τους γάββρους σε $d = 2.897 \text{ gr/cc}$, με τυπική απόκλιση $\sigma_{n-1} = 0.078$, και για τους περιδοτίτες σε $d = 2.804 \text{ gr/cc}$, με τυπική απόκλιση $\sigma_{n-1} = 0.037$. Η μέση τιμή, συνολικά για τους οφιολίθους που μελετήθηκαν υπολογίστηκε σε $d = 2.851 \text{ gr/cc}$, με τυπική απόκλιση $\sigma_{n-1} = 0.076$.

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΥΠΕΡΗΧΩΝ (vp, m/msec, ASTM 597, ASTM D 2845 - 83):

Πρόκειται για ιδιότητα που αντικατοπτρίζει με ακρίβεια τη φυσική κατάσταση των πετρωμάτων, συνδεδεμένη με τη μηχανική τους

συμπεριφορά. Οι μετρήσεις έγιναν με τη βοήθεια της φορητής συσκευής υπερήχων, τύπου PUNDIT. Η μέση τιμή υπολογίστηκε για τους γάββρους σε $v_p = 6.157$ m/msec, με τυπική απόκλιση $\sigma_{p-1} = 0.307$ και για τους περιδοτίτες σε $v_p = 5.841$ m/msec, με τυπική απόκλιση $\sigma_{p-1} = 0.107$. Η μέση τιμή συνολικά για τους οφιόλιθους που μελετήσαμε είναι $v_p = 6.003$ m/msec, με τυπική απόκλιση $\sigma_{p-1} = 0.273$.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

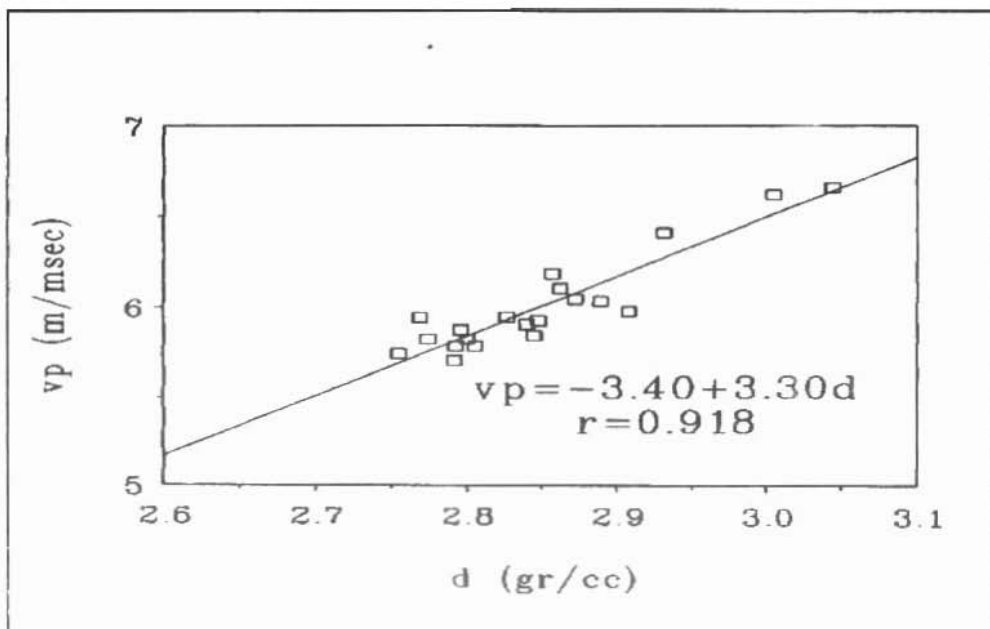
Τα αποτελέσματα της εργαστηριακής μελέτης επεξεργάστηκαν στατιστικά με στόχο να ερευνηθεί η πιθανή σχέση μεταβολής μεταξύ των ιδιοτήτων (Πιν. 2). Από τον υπολογισμό των συντελεστών συσχέτισης διαπιστώθηκε ότι οι συσχετίσεις αυτές είναι σημαντικές στο επίπεδο του 99 %.

Πίνακας 2. Μαθηματικές σχέσεις (L: γραμμική, E: εκθετική) μεταβολής της "απώλειας βάρους τριβής (AR)" σε συνάρτηση της ξηρής πυκνότητας (d) και της ταχύτητας υπερήχων (v_p).

L/E	Συνάρτηση X - Y Μεγ. Δείγμ: 20	Συντελεστής Συσχέτισης	Τυπική Από- κλιση Y
L	$AR=10.21-3.17d$	$r=-0.826$	0.292
E	$AR=6760.89e^{-3.05d}$	$r=-0.870$	0.292
L	$AR=6.34-0.86v_p$	$r=-0.806$	0.292
E	$AR=175.38e^{-0.84v_p}$	$r=-0.860$	0.292
L	$v_p=-3.40+3.30d$	$r= 0.918$	0.273

Οι παραπάνω σχέσεις, μεταξύ των ιδιοτήτων που μελετήθηκαν, δίδονται γραφικά στα διαγράμματα των Εικόνων 3, 4, 5.

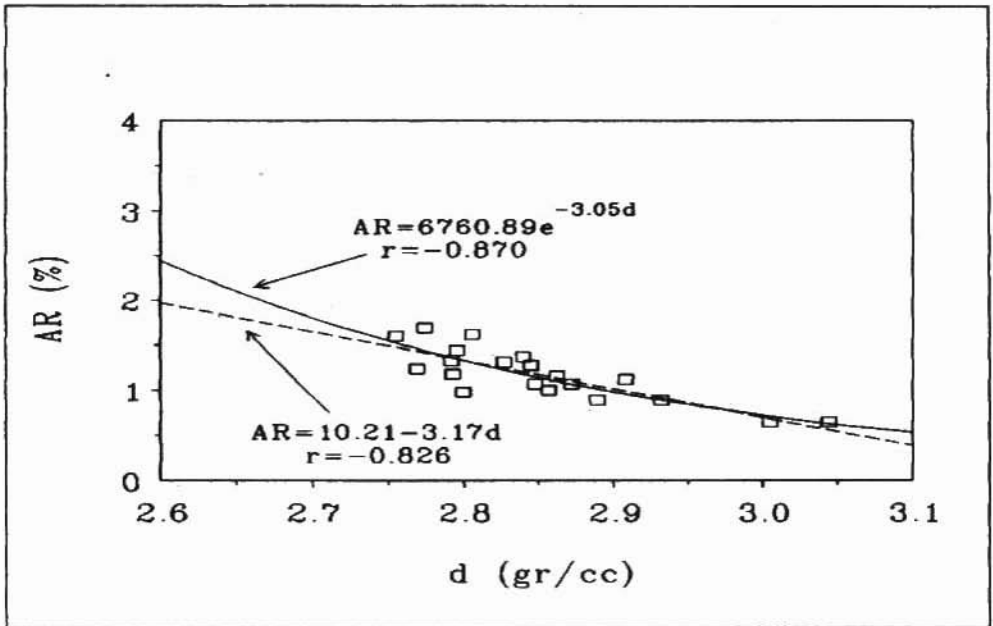
Κατά τη στατιστική επεξεργασία τα 20 οφιολιθικά δείγματα μελετήθηκαν συνολικά, αφ' ενός μεν γιατί πρόκειται για συγγενή πετρώματα αφ' ετέρου δε γιατί οι μετρήσεις δεν παρουσιάζουν σημαντική διαφορά μεταξύ γάββρων και περιδοτιτών.



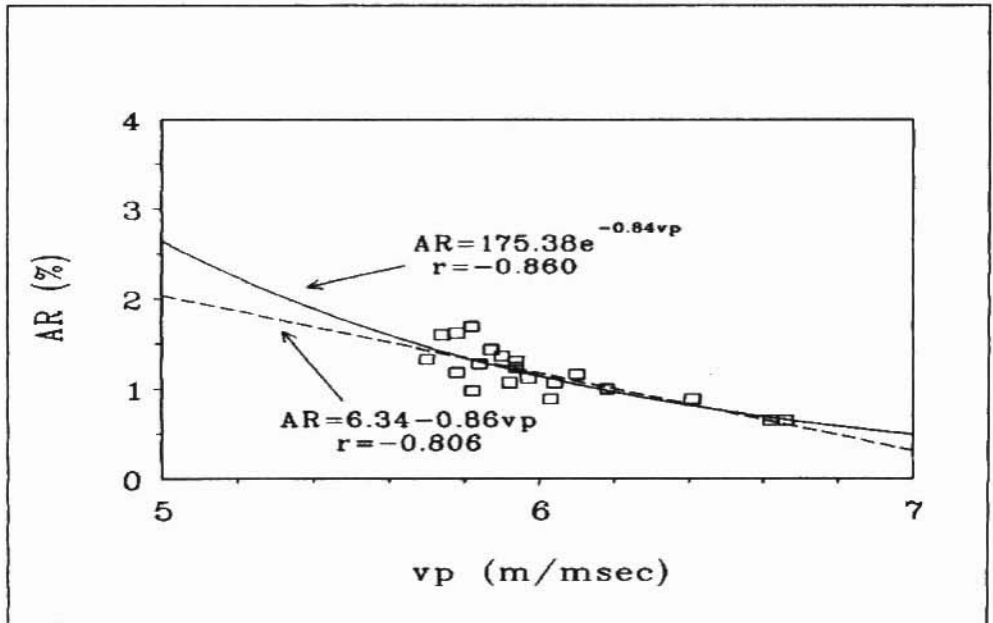
Εικ. 3. Σχέση ξηρής πυκνότητας (d) και ταχύτητας υπερήχων (AR).

Συγκρίνοντας τις μέσες τιμές των τριών ιδιοτήτων για τα δύο πετρώματα, διαπιστώνουμε μια γενική τάση του γάββρου να εμφανίζει σχετικά υψηλότερες τιμές ξηρής πυκνότητας και ταχύτητας υπερήχων και χαμηλότερη τιμή "απόλειας βάρους τριβής" σε σχέση με τον περιδοσίτη. Όμως σε συνδυασμό με τις τυπικές αποκλίσεις οι μέσες τιμές των ιδιοτήτων δεν παρουσιάζουν σημαντική διαφορά στα δύο πετρώματα, τέτοια που θα δικαιολογούσε τη χωριστή μελέτη. Τα δεδομένα μέσων τιμών και τυπικών αποκλίσεων δίδονται με τη ιδιότητα χωριστά στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Από τη μελέτη συσχέτισης των εργαστηριακών μετρήσεων, διαπιστώνεται ότι η μεταβολή της "απόλειας βάρους τριβής" συνδέεται αρνητικά με την μεταβολή τόσο της ξηρής πυκνότητας όσο και της ταχύτητας υπερήχων, εμφανίζοντας υψηλό συντελεστή συσχέτισης (Πιν. 2). Το γεγονός αυτό προσδίδει στα αποτελέσματα "απόλειας βάρους τριβής" της συγκεκριμένης μεθόδου συγκρισιμότητα, γεγονός που επιτρέπει την εφαρμογή της μεθόδου. Όπως είναι αναμενόμενο η ξηρή πυκνότητα εμφανίζει θετική γραμμική συσχέτιση με τη



Εικ. 4. Σχέση ξηρής πυκνότητας (d) και απώλειας βάρους τριβής (AR)



Εικ. 5. Σχέση ταχύτητας υπερήχων (vp) και απώλειας βάρους τριβής (AR).

Από τα αποτελέσματα των δοκιμών διαπιστώσαμε ότι σε υγειή δείγματα η "απώλεια βάρους τριβής" παρουσιάζει γραμμική μεταβολή τόσο με την ξηρή πυκνότητα όσο και με την ταχύτητα υπερήχων. Σε αποσαθρωμένα όμως δείγματα ο ρυθμός μεταβολής της "απώλειας βάρους τριβής" είναι πολύ μεγαλύτερος των άλλων ιδιοτήτων, έτσι ώστε μια εκθετική συνάρτηση να ερμηνεύει ακριβέστερα την μεταβολή αυτή πρόκειμένου για ευρύ φάσμα τιμών, από αποσαθρωμένα μέχρι υγειή δείγματα (Εικ. 4, 5).

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν 20 κυλινδρικά δοκίμια ως προς τη σκληρότητα, την ξηρή πυκνότητα και την ταχύτητα υπερήχων.

Η σκληρότητα εκφράστηκε ως "απώλεια βάρους τριβής", κατά την λείανση των δοκιμίων. Η δοκιμή έγινε με χρήση της συσκευής κατασκευής ορυκτολογικών λεπτών τομών και καθορίστηκε η διαδικασία της δοκιμής.

Η υψηλή συσχέτιση που παρουσιάζουν η ξηρή πυκνότητα και η ταχύτητα υπερήχων με την "απώλεια βάρους τριβής" καθιστά τα αποτελέσματα της μεθόδου υπολογισμού της τελευταίας συγκρίσιμα και αξιοποιήσιμα.

Από τη στατιστική επεξεργασία διαπιστώθηκε ότι σε υγειή πετρώματα η "απώλεια βάρους τριβής" εμφανίζει αρνητική γραμμική συσχέτιση με την ξηρή πυκνότητα και την ταχύτητα υπερήχων. Όμως για μεγάλο εύρος τιμών, από υγειή μέχρι αποσαθρωμένα δείγματα, οι παραπάνω σχέσεις εκγυρίζονται ακριβέστερα με εκθετικές συναρτήσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- HUNT, r. (1984). Geotechnical engineering investigation manual. McGraw - Hill Book Co., New York, 983p.
- JOHNSON, R. & DEGRAFF, J. (1988). Principles of Engineering Geology. John Wiley & Sons, New York, 497p.
- TSOUTRELIS, T. C. (1968). An investigation on the effects of the physical properties of rocks on the speed of penetration by diamond drilling. Geol. Geogr. Research, Athens, 259p.
- VERFEL, J. (1989). Rock grouting and diaphragm wall construction. Pitman, Englewood Cliffs, New Jersey, 222p.