

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΗΜΗΤΡΑ Γ. ΖΕΡΒΑ

**Φυσικομηχανικές Ιδιότητες Γρανιτικών Πετρωμάτων
που χρησιμοποιούνται ως Δομικοί Λίθοι
μετά από Αλατονέφωση και κύκλους Ψύξης-Απόψυξης**

Διπλωματική Εργασία

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2014

ΔΗΜΗΤΡΑ Γ. ΖΕΡΒΑ

Φυσικομηχανικές Ιδιότητες Γρανιτικών Πετρωμάτων
που χρησιμοποιούνται ως Δομικοί Λίθοι
μετά από Αλατονέφωση και κύκλους Ψύξης-Απόψυξης

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας

Επιβλέπων:

Αντώνιος Κορωναίος
Καθηγητής
Τμ. Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Συνεπιβλέπουσα :

Μαρία Στεφανίδου
Επίκουρη Καθηγήτρια
Τμ. Πολιτικών Μηχανικών
Α.Π.Θ.

Φυσικομηχανικές Ιδιότητες Γρανιτικών Πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται ως Δομικοί Λίθοι μετά από Αλατονέφωση και κύκλους Ψύξης-Απόψυξης.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξολοκλήρου 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 η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	σελ. 1
Abstract.....	σελ.2
Εισαγωγή	σελ.3
Πετρογραφικά-Ορυκτολογικά στοιχεία	σελ.4
Δοκιμές	σελ. 8
1. Φυσικοχημικές ιδιότητες	σελ.8
2. Μη καταστροφικές μέθοδοι	σελ.10
3.1. Καταστροφικές μέθοδοι	σελ.11
3.1.1. 260 κύκλοι Ψύξης-Απόψυξης.....	σελ.11
3.1.2. 260 κύκλοι Ψύξης-Απόψυξης και επίδραση χρόνου	σελ.12
3.2. Αλατονέφωση	σελ.13
3.2.1. Αλατονέφωση (NaCl 10%)	σελ.13
3.2.2. Αλατονέφωση (NaCl 10%) και επίδραση χρόνου.....	σελ.15
3.2.3. Αλατονέφωση (NaCl 14%)	σελ.15
3.4. Αλατονέφωση & Ψύξη-Απόψυξη	σελ.16
3.5. Δοκιμασία Μονοαξονικής Θλίψης	σελ.17
Μικροσκοπική εξέταση δοκιμίων	σελ.20
Συμπεράσματα	σελ.23
Πίνακες	σελ. 25
Διαγράμματα	σελ. 37
Βιβλιογραφία	σελ.45

Περίληψη

Η ολοένα και περισσότερο χρήση των γρανιτών ως διακοσμητικοί λίθοι δημιουργεί την ανάγκη για εξακρίβωση της αντίστασής τους στη διάβρωση και της εν γένει ανθεκτικότητάς τους σε διαβρωτικούς παράγοντες. Με την παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρείται τόσο με καταστροφικές όσο και με μη καταστροφικές μεθόδους ο προσδιορισμός της αντοχής και της διαβρωσιμότητας των γρανιτικών πετρωμάτων στα διαβρωτικά περιβάλλοντα τόσο των παράκτιων όσο και των περιπαγετωδών περιοχών.

Για τον σκοπό αυτό σε επιλεγμένα είδη γρανιτών, των πιο εμπορεύσιμων, πραγματοποιήθηκε μελέτη των φυσικοχημικών ιδιοτήτων της υδατοαπορρόφησης, του ειδικού βάρους και του ανοικτού πορώδους με σκοπό τον προσδιορισμό της ικανότητάς τους στην προσρόφηση νερού και υγρασίας, τον υπολογισμό μέτρων αντιστήριξης των εξωτερικών επενδύσεων καθώς και την δυνατότητα κρυστάλλωσης αλάτων, για κάθε μια από τις ιδιότητές τους αντίστοιχα.

Στη συνέχεια υποβλήθησαν στις δοκιμές (1) της αλατονέφωσης με σκοπό τον προσδιορισμό της ανθεκτικότητας των γρανιτών τόσο στην διάβρωση όσο και την επίδραση στην αντοχή λόγω της κρυστάλλωσης των αλάτων σε παράκτια διαβρωτικά περιβάλλοντα, (2) της ψύξης – απόψυξης με σκοπό τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων των λίθων σε περιπαγετώδη διαβρωτικά περιβάλλοντα και (3) στον συνδυασμό και των δύο δοκιμών. Επίσης πραγματοποιήθηκε και έλεγχος της επίδρασης του χρόνου στην ανθεκτικότητα των γρανιτικών αυτών πετρωμάτων.

Επιπλέον πέραν της μακροσκοπικής παρατήρησης, συλλέχθηκαν στοιχεία από μετρήσεις της ταχύτητας διάδοσης των επιμήκων κυμάτων κατά μήκος των δοκιμίων, όπως επίσης και από την μικροσκοπική παρατήρηση των δειγμάτων με πολωτικό μικροσκόπιο για την επίδραση των δοκιμασιών τόσο στην ορυκτολογική τους σύσταση όσο και στην ποιοτική κατάσταση της μικροδομής τους.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με την διαδικασία της αλατονέφωσης παρατηρείται αύξηση της μηχανικής αντοχής των διακοσμητικών αυτών λίθων προφανώς λόγω κρυστάλλωσης αλάτων, ενώ με την δοκιμασία της ψύξης – απόψυξης παρουσιάζεται μικρή πτώση της αντοχής. Τέλος ο συνδυασμός και των δυο αυτών διαβρωτικών περιβαλλόντων επιφέρουν μεγαλύτερη επιβάρυνση.

Abstract

The increase in the usage of Granite as ornamental stones creates the need of verification of their resistance to the erosion and to their resistance, in general. In this thesis an attempt is being made with destructive and nondestructive methods to determine the resistance and erodibility of Granites in corrosive environments such as coastal and glacial areas.

For this cause, specific kinds of Granites were chosen and underwent studies of physicochemical properties of water absorption specific gravity and open porosity to determine their ability to absorb water and moisture retaining, calculating measures of external masonry and the possibility of crystallization of salts, for each of their properties respectively.

Afterwards, they were subjected to the tests (1) salt spray to determine the durability of granite both from corrosion and the effects on the durability due to crystallization of the salts in coastal corrosive environments, (2) Freeze - Thaw to determine the mechanical properties of the stones in glacial corrosive environments and (3) the combination of both tests. Also the effect of time were studied on how it affects the durability of these rocks.

Furthermore, beyond the macroscopic observation, data were collected from measurements of the propagation velocity of the primary waves along the specimens as well as the microscopic observation of the samples with a polarizing microscope for the impact of the tests both in mineral composition and the quality status of their microstructure.

The results showed that the process of salt spray increase the mechanical durability of ornamental stones such apparently from the crystallization of salts, while the test of Freeze – Thaw causes a small deduction of durability. Finally, the combination of these two corrosive environments causes additional degradation.

Εισαγωγή

Οι γρανίτες έχουν αποκτήσει μια ευρεία χρήση στην καθημερινότητα, καθώς χρησιμοποιούνται τόσο για εξωτερική όσο και για εσωτερική χρήση.

Τόσο όμως η καταλληλότητα όσο και το είδος της χρήσης για την οποία προορίζονται, καθορίζονται από φυσικοχημικές ιδιότητες όπως το πορώδες και η υδατοαπορρόφηση όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στην τοιχοποιία, στην επίστρωση δαπέδων αλλά στην κατασκευή πάγκων κουζίνας, τραπεζιών, και διακοσμητικών στοιχείων εξωτερικών χώρων όπως τα συντριβάνια και φυσικομηχανικές ιδιότητες όπως διαβρωσιμότητα και αντοχή όταν η χρήση τους αφορά εξωτερική τοιχοποιία και δαπεδοστρώσεις αντίστοιχα.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο έλεγχος των φυσικοχημικών ιδιοτήτων της υδατοαπορρόφησης, του ειδικού βάρους και του ανοικτού πορώδους με σκοπό τον προσδιορισμό της ικανότητάς τους στην προσρόφηση νερού και υγρασίας, τον υπολογισμό μέτρων αντιστήριξης των εξωτερικών επενδύσεων καθώς και την δυνατότητα κρυστάλλωσης αλάτων, για κάθε μια από τις ιδιότητές τους αντίστοιχα όπως επίσης και ο έλεγχος των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων της αντοχής για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας του υλικού.

Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν 5 διαφορετικά είδη πυριγενών πετρωμάτων, των πιο εμπορεύσιμων, με την εμπορική ονομασία Zimbabwe Black, Baltic Brown, Gris Mondariz, African Red και Balmoral τα οποία υπεβλήθησαν τόσο σε μη καταστροφικές δοκιμασίες όπως αυτής της μέτρησης της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων (Vp) όσο και σε καταστροφικές όπως της Αλατονέφωσης και της Ψύξης-Απόψυξης.

Τα υπό εξέταση δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν λήφθηκαν από την εταιρεία Παυλίδης των οποίων οι διαστάσεις σε γενικές γραμμές ήταν 5*5*5 (κύβοι), 16*5*4 (ράβδοι), 15*15*4 (πλακίδια).

Ο εμπορικός όρος γρανίτης περιλαμβάνει μια μεγάλη ποικιλία πυριγενών πετρωμάτων από όξινη ως και βασική σύσταση. Στο εξής όμως, στην παρούσα εργασία θα γίνεται χρήση της εμπορικής ορολογίας.

Πετρογραφικά – Ορυκτολογικά Στοιχεία

Όπως προαναφέρθηκε στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται ο εμπορικός όρος «γρανίτες» και περιλαμβάνει μια μεγάλη ποικιλία πυριγενών πετρωμάτων από όξινη ως και βασική σύσταση.

Πετρογραφικά όμως η ταξινόμηση των πετρωμάτων αυτών (Παυλίδου κ.α. 2005) χρησιμοποιώντας την χημική ταξινόμηση κατά Streckeisen and Le Maitre (1979) και κατά I.U.G.S. (1973) έχει ως εξής:

Δείγμα	Πετρογραφικός τύπος	
	I.U.G.S. (1973)	Streckeisen and Le Maitre(1979)
Zimbabwe	Χαλαζιακός γάββρος	Χαλαζιακός μονζοδιοριτης
Baltic Brown	Χαλαζιακός συηνίτης	Γρανίτης
Gris Mondariz	Βιοτιτικός γρανίτης	Γρανίτης
African Red	Γρανίτης	Γρανίτης
Balmoral	Αλκαλι γρανίτης	Γρανίτης

Για την παρατήρηση και μελέτη σε μικροσκοπικό επίπεδο, από υγιή δείγμα των γρανιτών, κατασκευάστηκαν λεπτές τομές οι οποίες μελετήθηκαν αρχικά στο πολωτικό μικροσκόπιο και στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε εμβαδομέτρηση για την καταγραφή του ποσοστού συμμετοχής τόσο των κυριότερων ορυκτών όσο και των αλλοιώσεων και μικρορωγμών (Πιν. 1). Γενικά πρόκειται για μεσόκοκκα (3-5 mm) έως αδροκόκκα (>10 mm) πλουτωνικά πετρώματα με χρωματικό δείκτη από Λευκοκρατικό ως Μελανοκρατικό.

Σύμφωνα λοιπόν με την παραπάνω χημική ταξινόμηση και τον πίνακα ποσοστιαίας ορυκτολογικής σύστασης :

Zimbabwe. Πρόκειται για έναν Χαλαζιακό γάββρο κατά I.U.G.S. (1973) ή Χαλαζιακό μονζοδιορίτη κατά Streckeisen and Le Maitre (1979) ο οποίος αποτελείται από 38% πυρόξενους, 26,62% πυρόξενους οι οποίοι αλλοιώνονται σε ινώδη αμφίβολο (ουραλιτίωση) και σε βασίτη, 20,19% πλαγιόκλαστα, 4,88% χαλαζία, 3,66% αδιαφανή ορυκτά και 6,54% συμφύσεις αστρίων με χαλαζία. Το ποσοστό των μικρορωγμών είναι 0%. Στο δείγμα, έντονη είναι η παρουσία συμφύσεων χαλαζία-αστρίων ενώ παρατηρείται ότι οι περισσότεροι κρύσταλλοι πλαγιοκλάστων εμφανίζουν χρώμα καστανωπό έως καστανοκίτρινο σχηματίζοντας τα

λεγόμενα «νεφελώδη πλαγιόκλαστα» με κυμαινόμενη την ένταση της «νέφωσης» κατά μήκος του κρυστάλλου. Η εικόνα αυτή των πλαγιόκλαστων είναι αποτέλεσμα της παρουσίας πολυάριθμων και μικροσκοπικών εγκλεισμάτων που δημιουργούνται με διάμειξη ή διάχυση (Poldervaart and Gilkey 1954). Τα εγκλείσματα αυτά μπορεί να είναι βιοτίτης, αμφίβολος, πυρόξενος, ζιρκόνιο, απατίτης ή μεταλλικά ορυκτά όπως πρωτογενής μαγνητίτης, αιματίτης κ.α.

Baltic Brown. Πρόκειται για ένα Χαλαζιακό συηνίτη κατά I.U.G.S. (1973) ή Γρανίτη κατά Streckeisen and Le Maitre (1979) και αποτελείται από 43,38% χαλαζία, 21,08% αλκαλιούχους άστριους εκ των οποίων το 7,66% αλλοιώνεται σε καολινίτη (καολινιώση), 14,8% πλαγιόκλαστα εκ των οποίων το 6,97% αλλοιώνεται σε σερικήτη (σερικιτίωση), 12,37% κεροστίλβη, 5,4% βιοτίτη, 1,04% αδιαφανή ορυκτά, 1,04% επουσιώδη ορυκτά και 0,17% συμφύσεις αστρίων με χαλαζία. Τα ποσοστά των μικρορωγμών είναι 0,52%. Το Baltic Brown είναι αδρόκοκκο με πορφυροειδή ιστό με μεγακρυστάλλους αλκαλιούχων αστρίων. Οι άστριοι αυτοί περιβάλλονται από αλβίτη (όξινο πλαγιόκλαστο) σχηματίζοντας έτσι τον χαρακτηριστικό ιστό rapakivi (Haapala and Ramo 1999).

Gris Mondariz. Πρόκειται για ένα Βιοτιτικό γρανίτη κατά I.U.G.S. (1973) ή Γρανίτη κατά Streckeisen and Le Maitre (1979) και αποτελείται από 23,59% χαλαζία, 40,29% αλκαλιούχους αστρίους εκ των οποίων το 13,36% αλλοιώνεται σε καολινίτη (καολινιώση), 28,18 % πλαγιόκλαστα εκ των οποίων το 19,62% αλλοιώνεται σε σερικήτη (σερικιτίωση), 4,17% βιοτίτη εκ του οποίου το 1,04% αλλοιώνεται σε χλωρίτη, 0,62% χλωρίτη, 0,2% επουσιώδη ορυκτά και 1,04% συμφύσεις αστρίων με χαλαζία. Το ποσοστό μικρορωγμών είναι 1,88%.

African Red. Πρόκειται για έναν Γρανίτη τόσο κατά I.U.G.S. (1973) όσο και κατά Streckeisen and Le Maitre (1979) και αποτελείται από 35,18% χαλαζία, 24,81% αλκαλιούχους αστρίους εκ των οποίων 9,44% είναι καολινιωμένοι και το 12,22% έχει μετατραπεί σχεδόν ολοκληρωτικά σε καολινίτη, 35,92% πλαγιόκλαστα εκ των οποίων το 15,92% αλλοιώνεται σε σερικήτη (σερικιτίωση) και το 16,29% έχει μετατραπεί σχεδόν ολοκληρωτικά σε σερικήτη, 1,29% κεροστίλβη εκ της οποίας το 0,37% αλλοιώνεται σε χλωρίτη και 0,92% βιοτίτης του οποίου αλλοιώνεται σε χλωρίτη. Το ποσοστό των μικρορωγμών είναι 0%.

Balmoral. Πρόκειται για έναν Αλκαλι-γρανίτη κατά I.U.G.S. (1973) ή Γρανίτη κατά Streckeisen and Le Maitre (1979) και αποτελείται από 21,6% χαλαζία, 57,9% αλκαλιούχους άστριους εκ των οποίων το 28,06% αλλοιώνεται σε καολινίτη (καολινίωση), 10,24% πλαγιόκλαστα εκ των οποίων το 3,78% αλλοιώνεται σε σερικήτη (σερικιτίωση), 8,01% βιοτίτη εκ του οποίου το 0,44% αλλοιώνεται σε χλωρίτη, 0,66% χλωρίτη, 0,22% επουσιώδη ορυκτά και 0,44% συμφύσεις αστρίων με χαλαζία. Το ποσοστό των μικρορωγμών είναι 0,89%.

Σε όλα τα δείγματα εκτός του Zimbabwe οι άστριοι (αλκαλιούχοι και πλαγιόκλαστα) εμφανίζουν αλλοιώσεις (καολινίωση και σερικιτίωση αντίστοιχα).

Τα κυριότερα πρωτογενή ορυκτά των δειγμάτων είναι ο χαλαζίας οι άστριοι, Μαρμαρυγίες (βιοτίτης), Αμφίβολοι (κεροστίλβη) και πυρόξενοι.

Χαλαζίας: μακροσκοπικά πρόκειται για ένα πυριτικό ορυκτό λευκού χρώματος, με κογχώδη θραυσμό. Έχει μεγάλη σκληρότητα (7 στην κλίμακα Mohs) και δεν αλλοιώνεται αλλά και δύσκολα αποσαθρώνεται. Δεν έχει σχισμό αλλά θραύεται εύκολα.

Άστριοι: πρόκειται για αργιλοπυριτικά ορυκτά του καλίου (K), νατρίου (Na) και ασβεστίου (Ca). Είναι σκληρά ορυκτά (6 στην κλίμακα Mohs) που παρουσιάζουν όμως πολύ καλό σχισμό. Οι αλλοιώσεις που υφίστανται είναι η καολινίωση και η σερικιτίωση. Κατά τη διαδικασία της καολινίωσης οι άστριοι, υπό την επίδραση του νερού και του CO₂ μετατρέπονται σε καολονίτη (αργιλικό ορυκτό). Η καολινίωση είναι ισχυρότερη υπό την επίδραση θερμών υδάτων ή υδάτων που περιέχουν οξέα. Κατά την διαδικασία της σερικιτίωσης οι άστριοι μετατρέπονται σε σερικήτη (λεπτόκοκκο μοσχοβίτη).

Σε όλα τα δείγματα οι άστριοι εμφανίζουν κυμαινόμενο ποσοστό αλλοιώσεων εκτός του δείγματος Zimbabwe όπου τα πλαγιόκλαστα εμφανίζονται αναλλοίωτα.

Μαρμαρυγίες (βιοτίτης): Τα ορυκτά της ομάδας των μαρμαρυγιών χαρακτηρίζονται από φυλλώδη ανάπτυξη των κρυστάλλων και τέλειο σχισμό. Παρουσιάζει σκληρότητα 2,5-3 της κλίμακας Mohs. Αλλοιώνεται σε χλωρίτη. Κατά την αποσάθρωση του βιοτίτη απελευθερώνεται σίδηρος με αποτέλεσμα στα σημεία που βρίσκεται να δημιουργείται σκωριώδης χροιά.

Γενικά οι μαρμαρυγίες όταν κατέχουν ένα σημαντικό ποσοστό του δομικού λίθου θεωρούνται ανεπιθύμητα ορυκτά διότι αφενός η φθορά που προκαλούν είναι μεγαλύτερη όσο πιο τέλεια είναι η διάταξή τους σε παράλληλες στρώσεις έτσι το πέτρωμα παρουσιάζει χαμηλές διατμητικές αντοχές σε διεύθυνση παράλληλη στο επίπεδο της στρώσης και αφετέρου όταν περιέχουν σίδηρο (Fe) προκαλούν κιτρινωπές κηλίδες από λειμωνίτη. Ο βιοτίτης αλλοιώνεται σε χλωρίτη.

Βάσει των αποτελεσμάτων της εμβαδομέτρησης, στα δείγματα Gris Mondariz, African Red και Balmoral ο βιοτίτης εμφανίζεται υγιής και με κυμαινόμενο ποσοστό αλλοίωσης από 0,92% – 1,04% ενώ στο δείγμα Baltic Brown εμφανίζεται αναλλοίωτος. Και στα τέσσερα δείγματα λόγω της παρουσίας του ζirkονίου σχηματίζει πλεοχρωικές άλω. Στο δείγμα Zimbabwe εμφανίζεται ακτινολίθος ως προϊόν αλλοίωσης των κλινοπυρόξενων (ουραλιτίωση).

Εν προκειμένω όμως τα μειονεκτήματα τόσο του σχισμού όσο και της σκωριώδους χροιάς δεν αποτελεί πρόβλημα διότι ο βιοτίτης συμμετέχει με χαμηλά ποσοστά και επιπλέον το μακροσκοπικό χρώμα των γρανιτών την υπερκαλύπτει.

Αμφίβολοι (κεροσίλβη): Η κεροσίλβη ανήκει στους ασβεστιούχους αμφίβολους και στο πλέγμα της περιλαμβάνει $(OH)_2$. Η σκληρότητά της φθάνει τους 6 βαθμούς της κλίμακας Mohs. Γενικά παρουσιάζει καλή γεωτεχνική συμπεριφορά και αποσαθρώνεται σχετικά δύσκολα. Αλλοιώνεται σε χλωρίτη.

Στο δείγμα Baltic Brown συμμετέχει με σχετικά υψηλά ποσοστά και είναι υγιής ενώ στο δείγμα African Red συμμετέχει με χαμηλά ποσοστά και με μικρό βαθμό αλλοίωσης.

Πυρόξενοι : Οι πυρόξενοι ανάλογα με το σύστημα κρυστάλλωσης διακρίνονται σε ορθοπυρόξενους (ρομβικό σύστημα) και στους κλινοπυρόξενους (μονοκλινές σύστημα). Έχουν την ίδια σχεδόν σκληρότητα με τους αμφίβολους στην κλίμακα Mohs (5-6). Οι κλινοπυρόξενοι αλλοιώνονται σε ουραλίτη (ινώδη αμφίβολο) και σε βασίτη οι ορθοπυρόξενοι ενώ αμφότεροι παρουσιάζουν ικανοποιητική αντοχή στην αποσάθρωση.

Ορυκτολογικά οι πυρόξενοι κατέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό στο δείγμα Zimbabwe και εμφανίζονται με ένα μεγάλο ποσοστό αλλοίωσης σε ινώδη αμφίβολο.

Ένας τρόπος για να καθοριστεί η σκληρότητα ενός πετρώματος είναι η χρήση του σκληρόμετρου αναπήδησης 'Shore'. Το όργανο αυτό διαθέτει σφύρα με κεφαλή από αδάμαντα. Η σφύρα αφήνεται να πέσει από καθορισμένο ύψος πάνω από την επιφάνεια του πετρώματος και το μετρούμενο ύψος αναπήδησης της σφύρας χαρακτηρίζει τη σκληρότητα του υλικού. Σύμφωνα λοιπόν με τα ανωτέρω οι γρανίτες έχουν ως αντιπροσωπευτική τιμή τους 88 βαθμούς της κλίμακας Shore ενώ και για λόγους σύγκρισης τα μάρμαρα έχουν 37 βαθμούς (Πινέλη, 2003).

Δοκιμές

1. Φυσικοχημικές Ιδιότητες

Για την πιστοποίηση της ποιότητας και κατ'επέκταση της καταλληλότητας ενός γρανίτη ως δομικός λίθος, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός διαφόρων φυσικοχημικών του ιδιοτήτων όπως το η υδατοαπορρόφηση, το ειδικό βάρος και το πορώδες.

Ως **υδατοαπορρόφηση** ονομάζουμε την ικανότητα ενός πετρώματος στην προσρόφηση νερού και εξαρτάται τόσο από την ορυκτολογική του σύσταση όσο και από το πορώδες του. Η ιδιότητα αυτή μπορεί να καθορίσει την καταλληλότητα ενός γρανίτη για χρήση σε εξωτερικούς χώρους καθόσον θα εκτίθεται στις διάφορες καιρικές συνθήκες (βροχή, χιόνι, υγρασία) αλλά και για την χρήση του σε εσωτερικούς χώρους (δαπεδοστρώσεις, πάγκους κουζινών κ.λπ.). Γενικά στο εμπόριο οι γρανίτες που παρουσιάζουν συντελεστή υδατοαπορρόφησης $< 0,5 \%$ θεωρούνται κατάλληλοι για οικοδομική χρήση.

Το **ειδικό βάρος** είναι μια ιδιότητα η οποία πρέπει να είναι απαραίτητα γνωστή καθώς βάσει αυτής υπολογίζεται το βάρος κάθε τετραγωνικού μέτρου του δομικού υλικού που θα αποτελέσει είτε επίστρωση είτε επένδυση και έτσι μπορεί να υπολογιστεί το συνολικό βάρος της κατασκευής και το είδος των μέτρων αντιστήριξης των εξωτερικών επενδύσεων.

Το **πορώδες** εκτός από την επίδρασή του στην ιδιότητα της υδατοαπορρόφησης παίζει και σημαντικό ρόλο στην κρυστάλλωση αλάτων μέσα στη δομή του πετρώματος σε συνθήκες παράκτιων

περιβάλλοντων. Όσο μεγαλύτερο είναι το πορώδες τόσο ευνοείται η κρυστάλλωση και το μέγεθος των κρυστάλλων του άλατος.

Υπολογισμός της απορροφητικότητας, ειδικού βάρους και ανοικτού πορώδους.

Ο υπολογισμός της απορροφητικότητας, του ειδικού βάρους καθώς και του ανοικτού πορώδους, έγινε βάσει του κανονισμού RILEM CPC 11.3.

Αρχικά ένα δοκίμιο από κάθε είδος γρανίτη σχήματος κύβου τοποθετήθηκε σε φούρνο ξήρανσης στους 104°C για 24 ώρες. Στη συνέχεια και αφού τα δοκίμια απέκτησαν θερμοκρασία δωματίου ζυγίστηκαν ως προς α) το ξηρό βάρος τους, β) βάρος κορεσμένων σε νερό δοκιμίων και γ) βάρος των δοκιμίων μέσα σε νερό.

Κατόπιν για κάθε δείγμα υπολογίστηκε η απορροφητικότητα βάσει του τύπου $((\beta-\alpha)/\alpha)*100$, το ειδικό βάρος βάσει του τύπου $\alpha/(\beta-\gamma)$ και το ανοικτό πορώδες $((\beta-\alpha)/(\beta-\gamma))*100$.

α = το ξηρό βάρος τους,

β = βάρος κορεσμένων σε νερό δοκιμίων και

γ = βάρος των δοκιμίων μέσα σε νερό.

Από τα αποτελέσματα που παρατίθενται στον πίνακα 2 βλέπουμε ότι το ειδικό βάρος κυμαίνεται από 2,55(African red) – 3 (Zimbabwe). Πιο συγκεκριμένα αν παραθέσουμε τα αποτελέσματα κατά αύξουσα σειρά διαπιστώνουμε ότι η αύξηση του βάρους έχει άμεση σχέση με την αύξηση του ποσοστού των φεμικών ορυκτών (πυρόξενοι, χλωρίτης, βιοτίτης και κερυστίνη).

	African Red	Gris Mondariz	Balmoral	Baltic Brown	Zimbabwe
Ειδικό βάρος	2,55	2,59	2,61	2,63	3
Φεμικά ορυκτά (%)	4,06	4,79	8,67	17,77	64,68

Αυτό εξηγείται λόγω της χημικής σύστασης των ορυκτών αυτών που αποτελείται από σίδηρο (Fe), Μαγνήσιο (Mg), Μαγγάνιο (Mn) και Τιτάνιο (Ti), στοιχεία με μεγάλο ειδικό βάρος.

Όσον αφορά το ανοικτό πορώδες και την υδατοαπορρόφηση, οι τιμές κυμαίνονται από 0,38 (Balmoral) ως 1,26 (African Red) και 0,14 (Balmoral) ως 0,49 (African Red) αντίστοιχα. Για λόγους σύγκρισης

αναφέρουμε ότι οι μέσες τιμές το ανοικτού πορώδους και της απορροφητικότητας των μαρμάρων είναι 0,5-2,0 (ΕΛΟΤ EN 1936) και 0,2 (Πινέλη, 2003) αντίστοιχα.

ενώ η υδατοαπορρόφηση από

Πιο συγκεκριμένα αν παραθέσουμε τα αποτελέσματα κατά αύξουσα σειρά διαπιστώνουμε ότι η αύξηση του ανοικτού πορώδους είναι άμεση συνάρτηση της αύξησης της απορροφητικότητας.

	Balmoral	Baltic Brown	Gris Mondariz	Zimbabwe	African Red
Ανοικτό πορώδες	0,38	0,55	0,68	1,15	1,26
Απορροφητικότητα	0,14	0,21	0,26	0,38	0,49

Η συσχέτιση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι η απορροφητικότητα ενός πυριγενούς πετρώματος γενικά, εξαρτάται κυρίως από το πορώδες δηλαδή το ποσοστό των διακένων μεταξύ των κρυστάλλων των ορυκτών.

2. Μη καταστροφικές μέθοδοι (μέτρηση υπερήχων (Vp)

Η συσκευή PUNDIT Lab (Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Tester) χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση δοκιμών μέτρησης της ταχύτητας υπερήχων. Μέσω αυτής της δοκιμής πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός της ταχύτητας διάδοσης των επιμήκων κυμάτων (Vp) σε εργαστηριακές συνθήκες. Η δοκιμή αυτή αποτελεί μια μη καταστροφική δοκιμή ελέγχου της ομοιογένειας και της ποιότητας του υπό εξέταση δοκιμίου για να εντοπιστούν τυχόν ασυνέχειες ή κενά. Η συσκευή PUNDIT Lab είναι φορητή για δοκιμές στο ύπαιθρο αλλά και στο εργαστήριο.

Για τη δοκιμή χρησιμοποιήθηκε η συσκευή PUNDIT στην οποία είναι ενσωματωμένο ένα ζεύγος πιεζοηλεκτρικών ακροδεκτών με δυνατότητα παραγωγής υπέρηχου το οποίο προσαρμόζεται στη συσκευή. Ο ένας ακροδέκτης παίζει το ρόλο του πομπού ενώ ο άλλος του δέκτη. Έτσι κατά αυτό τον τρόπο μετρήθηκε ο χρόνος που κάνει ο παραγόμενος υπέρηχος να φτάσει από το πομπό, που εκπέμπει τον υπέρηχο, στο δέκτη. Η ένδειξη δίνεται σε μsec , από το όργανο. Ο υπολογισμός της ταχύτητας έγινε βάσει του τύπου $V_p = x/t$ όπου x είναι η απόσταση σε εκατοστά (cm) του δοκιμίου κατά μήκος της οποίας έγινε η μέτρηση και t ο χρόνος (μsec) που χρειάστηκε για να διανύσει το κύμα την απόσταση αυτή.

Οι δύο ακροδέκτες τοποθετήθηκαν στις δύο βάσεις του δοκιμίου κατά μήκος της μεγάλης τους διάστασης. Ιδιαίτερης σημασίας είναι η καλή επαφή μεταξύ δοκιμίου και ακροδέκτη. Για το λόγο αυτό τοποθετήθηκε λεπτή επίστρωση γράσου και στις δύο βάσεις.

Τα αποτελέσματα της δοκιμασίας πριν και μετά την εφαρμογή των μεθόδων παρατίθενται στους πίνακες 3, 5, 6, 7, 8 και 10.

3.1. Καταστροφικές μέθοδοι

3.1.1. 260 κύκλοι Ψύξης-Απόψυξης (freeze-thaw cycles)

Ο μηχανισμός της Ψύξης-Απόψυξης λειτουργεί ως εξής: όταν τα πετρώματα εκτίθενται σε χαμηλές θερμοκρασίες το νερό των μικροπόρων εκτείνεται κατά 9%. Η αύξηση αυτή του όγκου προκαλεί τάσεις εφελκυσμού και καταστροφή των μικροπόρων. Στην συνέχεια όταν τα πετρώματα ξεπαγώνουν το παγωμένο νερό τήκεται και κυκλοφορεί ανάμεσα στους διαρρηγμένους μικροπόρους αυξάνοντας την φθορά (Chen et al . 2004, Hori and Morihiro 1998) και κυρίως όταν η διαδικασία αυτή είναι επαναλαμβανόμενη. Σημαντικό ρόλο παίζουν το αρχικό πορώδες του πετρώματος, το μέγεθος των πόρων καθώς και η ορυκτολογική του σύσταση. Γενικά θα πρέπει να αναφέρουμε ότι τα πολύμεικτα πετρώματα είναι λιγότερο ανθεκτικά από ότι τα μονόμεικτα, καθώς το κάθε ορυκτό έχει το δικό του συντελεστή θερμικής διαστολής. Το ζητούμενο της δοκιμασίας αυτής είναι πως επιδρούν οι κύκλοι Ψύξης-Απόψυξης στις μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων στις περιπαγετώδεις περιοχές.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε έγινε βάσει του κανονισμού περί Παγετού (EN/TS 15 177:2006).

Από κάθε πέτρωμα λήφθηκαν 2 δοκίμια για κάθε είδος διαστάσεων (στο σύνολο 30 δοκίμια, 6 από κάθε γρανίτη). Ζυγίστηκαν, μετρήθηκε η ταχύτητα των επιμήκων (V_p) κυμάτων κατά τη μεγάλη τους διάσταση στα δοκίμια σχήματος ράβδου ενώ στα δοκίμια σχήματος πλάκας η μέτρηση V_p πραγματοποιήθηκε και στις 2 μεγάλες τους διαστάσεις. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον πίνακα 3.

Από τα αποτελέσματα της δοκιμής διαπιστώθηκε ότι:

Για τα δοκίμια σχήματος κύβου οι τιμές τους βάρους τους κυμαίνονται από 204 gr (Zimbabwe) ως 310 gr (Baltic Brown).

Για τα δοκίμια σχήματος ράβδου οι τιμές του βάρους τους κυμαίνονται από 830 gr (African Red) ως 1180 gr (Baltic Brown) ενώ οι τιμές της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων κυμαίνονται από 16,25 χλμ/sec (Zimbabwe) ως 23,88 χλμ./sec (Gris Mondariz και Balmoral).

Για τα δοκίμια σχήματος πλακιδίου οι τιμές τους βάρους τους κυμαίνονται από 2950 gr (Gris Mondariz) ως 5035 gr (African red) ενώ οι τιμές της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων κυμαίνονται από 16,6 χλμ./sec (Zimbabwe) ως 21,6 χλμ./sec (Baltic Brown).

Στη συνέχεια βυθίστηκαν σε νερό βρύσης για 9 μέρες. Μετά το πέρας των 9 ημερών τα δοκίμια ζυγίστηκαν σε απλό ζυγό μετά από σκούπισμα. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον πίνακα 4.

Συγκρίνοντας τα βάρη των δοκιμίων πριν και μετά την βύθιση στο νερό διαπιστώθηκε ότι δεν υπήρξε καμία μεταβολή πράγμα που έρχεται σε συμφωνία με τις τιμές της απορροφητικότητας (Πιν. 2).

Στη συνέχεια τα δοκίμια αυτά τοποθετήθηκαν στο θάλαμο για 260 κύκλους Ψύξης- Θέρμανσης. Οι μέσοι όροι των αποτελεσμάτων πριν και μετά την δοκιμασία καθώς και η ανοιγμένη μεταβολή τους παρατίθενται στον πίνακα 5.

Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκαν τα εξής:

Για τα δοκίμια σχήματος κύβου η μεταβολή του βάρους τους κυμαίνεται από 0,92% για το δείγμα Zimbabwe ως 0% για όλα τα υπόλοιπα δείγματα.

Για τα δοκίμια σχήματος ράβδου η μεταβολή του βάρους τους κυμαίνεται από 0,20% για το δείγμα Gris Mondariz ως 0% για όλα τα υπόλοιπα δείγματα.

Για τα δοκίμια σχήματος πλακιδίου η μεταβολή του βάρους τους κυμαίνεται από 0,50% για το δείγμα African Red ως 0% για το δείγμα Zimbabwe.

Ως ταχύτητα V_p , ορίστηκε ο μέσος όρος των τιμών της ράβδου και του πλακιδίου. Από τους μέσους όρους των τιμών της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων που λήφθησαν παρατηρήθηκε μεταβολή κυμαίνεται από 2,20% για το δείγμα Balmoral ως 4,25% για το δείγμα African Red.

3.1.2. Θέλοντας να διαπιστώσουμε την επίδραση της δοκιμής πάνω στους γρανίτες υπό την επίδραση του χρόνου, επιλέχθηκαν 3 είδη γρανιτών. Η επιλογή έγινε με κριτήριο στην μία περίπτωση των μεγακρυστάλλων των αστρίων του δείγματος Baltic Brown και το μεγάλο ποσοστό συμμετοχής

τους στην ορυκτολογική σύσταση των African Red και Balmoral. Τα δοκίμια ήταν σχήματος ράβδου και 1 χρόνο μετά από έκθεση σε ατμοσφαιρικές συνθήκες τοποθετήθηκαν σε φούρνο ξήρανσης για 24 h και στους 104⁰ C.

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν και λήφθηκαν οι εξής μετρήσεις:

Μέτρηση Α: βάρος δοκιμίων αμέσως μετά την δοκιμή των 260 κύκλων Ψύξης-Απόψυξης.

Μέτρηση Β: βάρος δοκιμίων 1 χρόνο μετά την δοκιμή των 260 κύκλων Ψύξης-Απόψυξης και *πριν* την ξήρανση

Μέτρηση Γ: βάρος δοκιμίων 1 χρόνο μετά την δοκιμή των 260 κύκλων Ψύξης -Απόψυξης και *μετά* την ξήρανση

Η σύγκριση της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων αφορά μετρήσεις αμέσως μετά την περάτωση της δοκιμασίας των 260 κύκλων Ψύξης-Απόψυξης και μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν 1 χρόνο μετά και σε ξηρά δοκίμια.

Λόγω της διαφορά των διαστάσεων μεταξύ των δοκιμίων που χρησιμοποιήθηκαν ένα χρόνο πριν και ένα χρόνο μετά των μετρήσεων θεωρήθηκε σωστό να υπολογιστεί ο όγκος των δοκιμίων και να υπολογιστεί η ανοιγμένη μεταβολή τους ως προς το βάρος τους. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να υπολογίσουμε το βάρος ανά κυβικό εκατοστό (gr/cm³) που αντιστοιχεί στο δοκίμιο κάθε είδους γρανίτη.

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον πίνακα 6.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα:

Μεταξύ των Μετρήσεων Α και Β, παρατηρήθηκε αύξηση του βάρους των δοκιμίων ανά κυβικό εκατοστά κατά 3,85% στο δείγμα Baltic Brown, 4,47% στο δείγμα African Red και 9,42% στο δείγμα Balmoral και

Μεταξύ των Μετρήσεων Α και Γ, παρατηρήθηκε μείωση της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων κατά 2,27% στο δείγμα African Red, 2,41% στο δείγμα Balmoral και 5,74% στο δείγμα Baltic Brown.

3.2. Αλατονέφωση (salt spray corrosion)

3.2.1. Για την δοκιμή χρησιμοποιήθηκε αλατούχο διάλυμα περιεκτικότητας 10% NaCl για να προσομοιώσει τα αποτελέσματα που δημιουργούνται σε γρανίτες και υπό συνθήκες παράκτιου

περιβάλλοντος. Εξετάζεται η ανθεκτικότητα στην φθορά των συγκεκριμένων πυριγενών πετρωμάτων κάτω από τις τεχνητές αυτές καιρικές συνθήκες. Για τον λόγο αυτό διεξήχθη ορυκτολογική μελέτη καθενός από τα διάφορα πετρώματα πριν και μετά τη δοκιμή προκειμένου να διαπιστωθούν οι τυχόν αλλοιώσεις των δειγμάτων γρανίτη. Σημαντικό ρόλο στην εν λόγω δοκιμή διαδραματίζουν διάφορα χαρακτηριστικά της μικροδομής των πετρωμάτων όπως για παράδειγμα η κατανομή μεγέθους πόρων, καθώς επηρεάζουν την μεταφορά του αλατούχου διαλύματος όπως επίσης και τις πιέσεις που αναπτύσσονται μέσα στα πετρώματα κατά τη διάρκεια της κρυστάλλωσης.

Από κάθε είδους γρανίτη λήφθηκαν 2 δοκίμια για κάθε είδους διαστάσεων (στο σύνολο 30 δοκίμια, 6 από κάθε γρανίτη). Ζυγίστηκαν, μετρήθηκε η ταχύτητα (V_p) των επιμήκων κυμάτων κατά τη μεγάλη τους διάσταση στα δοκίμια σχήματος ράβδου ενώ στα δοκίμια σχήματος πλάκας η μέτρηση V_p πραγματοποιήθηκε και στις 2 μεγάλες τους διαστάσεις.

Στη συνέχεια ετοιμάστηκε διάλυμα NaCl περιεκτικότητας 10%. Τα δοκίμια τοποθετήθηκαν στο μηχάνημα Αλατονέφωσης για 7 μέρες. Μέρος των δοκιμίων με κωδική ονομασία A+Ψ/A μετά το πέρας της δοκιμασίας της Αλατονέφωσης τοποθετήθηκαν στον θάλαμο για 240 κύκλους Ψύξης-Απόψυξης όπως θα αναλυθεί παρακάτω. Οι διαφορές πριν και μετά την δοκιμή καθώς και οι ανοιγμένες μεταβολές τους παρατίθενται στον πίνακα 7.

Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι:

Για τα δοκίμια σχήματος κύβου η μεταβολή του βάρους κυμαίνεται από 1,10% για τα δείγματα Zimbabwe και African Red ως 2,90% για το δείγμα Balmoral.

Για τα δοκίμια σχήματος ράβδου η μεταβολή του βάρους κυμαίνεται από 0,80% για το δείγμα Balmoral ως 2,30% για το δείγμα African Red.

Για τα δοκίμια σχήματος πλακιδίου η μεταβολή του βάρους κυμαίνεται από 0% για όλα τα δείγματα εκτός από το Zimbabwe που είναι 0,23%.

Ως ταχύτητα V_p του κάθε είδους πετρώματος είναι ο μέσος όρος των τιμών της ράβδου και του πλακιδίου. Από τους μέσους όρους των τιμών της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων που λήφθηκαν παρατηρήθηκε μείωση η οποία κυμαίνεται από 12,93% για το δείγμα Baltic Brown ως 0,09% για το δείγμα Zimbabwe.

3.2.2. Θέλοντας να διαπιστώσουμε την επίδραση των αλάτων στην δομή των γρανιτών με την πάροδο του χρόνου, ένα χρόνο μετά την πραγματοποίηση της προαναφερόμενης διαδικασίας αλατονέφωσης με διάλυμα NaCl περιεκτικότητας 10% σε 3 από τα είδη γρανιτών και συγκεκριμένα στα Baltic Brown, African Red και Balmoral τα οποία επελέγησαν λόγω των μεγακρυστάλλων των αστρίων του δείγματος Baltic Brown και το μεγάλο ποσοστό συμμετοχής τους στην ορυκτολογική σύσταση των African Red και Balmoral. Αφού ζυγίστηκαν, τοποθετήθηκαν σε θάλαμο ξήρανσης στους 104⁰ C για 24 h. Στην συνέχεια έγινε ζύγιση του ξηρού τους βάρους και μετρήθηκε η ταχύτητα των επιμήκων κυμάτων (Vp) κατά την μεγάλη διάσταση των δοκιμίων. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον πίνακα 8.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα:

Μεταξύ των Μετρήσεων Α και Β, παρατηρήθηκε μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ανά κυβικό εκατοστό κατά 32,40% για το δείγμα Baltic Brown, 2,85% για το δείγμα African Red και 6,83% για το δείγμα Balmoral και

Μεταξύ των μετρήσεων Α και Γ παρατηρήθηκε μεταβολή της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων κατά 1,72% για το δείγμα African Red, 1,96% Balmoral και 40,28% για το δείγμα Baltic Brown.

3.2.3. Σε 3 από τα είδη γρανιτών και συγκεκριμένα στα Baltic Brown, African Red και Balmoral πραγματοποιήθηκε επαναληπτική δοκιμασία Αλατονέφωσης σε υγιή δοκίμια, αυτή τη φορά σε περιεκτικότητα NaCl 14%. Σκοπός της επανάληψης ήταν να λάβουμε μια πιο λεπτομερή εικόνα της επίδρασης της κρυστάλλωσης αλάτων μέσα στη μικροδομή των πετρωμάτων αλλά και όσον αφορά την επίδραση στην αντοχή τους στην θραύση.

Αρχικά 3 δοκίμια από κάθε είδος από τους προαναφερόμενους γρανίτες, σχήματος κύβου ζυγίστηκαν (1^η μέτρηση) σε ζυγαριά ακριβείας δυο δεκαδικών. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στο θάλαμο αλατονέφωσης με διάλυμα NaCl περιεκτικότητας 14% για 72 h (3 μέρες) και έπειτα ξηράνθησαν στους 104⁰ C για 24 h. και ξαναζυγίστηκαν (2^η μέτρηση). Στη συνέχεια επανατοποθετήθηκαν στο διάλυμα NaCl για 24 h, απομακρύνθηκαν και αφέθηκαν σε ατμοσφαιρικές συνθήκες για 120 h (5 μέρες). Τέλος ξηράνθησαν στους 104⁰ C για 24 h για να πραγματοποιηθεί το τελικό ζύγισμα (3^η μέτρηση). Μετά το πέρας της διαδικασίας της

αλατονέφωσης τα δοκίμια υπέστησαν την δοκιμή της Μονοαξονικής Θλίψης. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στο πίνακα 9 αντιπαραβαλλόμενα με τις αντίστοιχες τιμές Μονοαξονικής αντοχής που λήφθηκαν από υγιή δοκίμια.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι:

Για το δείγμα Baltic Brown, μεταξύ της 1^{ης} μέτρησης και της 2^{ης} παρατηρείται μείωση του βάρους κατά 0,07% ενώ μεταξύ της 2^{ης} και της 3^{ης} μέτρησης μικρή αύξηση κατά 0,02%. Η Μονοαξονική Αντοχή του δοκιμίου μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας παρουσίασε σημαντική αύξηση κατά 48,41% σε σύγκριση με υγιές δοκίμιο.

Για το δείγμα African Red, μεταξύ της 1^{ης} μέτρησης και της 2^{ης} παρατηρείται μείωση του βάρους κατά 25,02% ενώ μεταξύ της 2^{ης} και της 3^{ης} μέτρησης δεν υπήρξε καμία μεταβολή. Η Μονοαξονική Αντοχή του δοκιμίου μετά το πέρας της διαδικασίας παρουσίασε αύξηση κατά 8,63% σε σύγκριση με υγιές δοκίμιο. Η Μονοαξονική Αντοχή του δοκιμίου μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας παρουσίασε σημαντική αύξηση κατά 27,69% σε σύγκριση με υγιές δοκίμιο.

Για το δείγμα Balmoral, μεταξύ της 1^{ης} μέτρησης και της 2^{ης} παρατηρείται μείωση του βάρους κατά 8,65% ενώ μεταξύ της 2^{ης} και της 3^{ης} μέτρησης μικρή αύξηση κατά 0,02%.

3.4. Αλατονέφωση & Ψύξη/Απόψυξη

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο μέρος των δοκιμίων με κωδική ονομασία A+Ψ/A μετά το πέρας της δοκιμασίας της Αλατονέφωσης τοποθετήθηκαν στον θάλαμο για 240 κύκλους Ψύξης-Απόψυξης. Σκοπός της δοκιμής αυτής ήταν η επιβολή μέγιστης καταπόνησης στα δοκίμια συνδυάζοντας συνθήκες όχι μόνο παράκτιων περιβάλλοντων αλλά και περιπαγετωδών περιοχών. Στον πίνακα 10 παρατίθενται τα αποτελέσματα πριν και μετά τη δοκιμασία καθώς και η ανοιγμένες μεταβολές αυτών.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η μεταβολή του βάρους των δοκιμίων κυμαίνεται από 0,60% (African Red) ως 0% (Zimbabwe, Baltic Brown, Gris Mondariz) ενώ η μεταβολή της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων κυμαίνεται από 0% (Balmoral) ως 3,46% (Gris Mondariz και African Red).

3.5. Δοκιμασία Μονοαξονικής Θλίψης

Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη είναι το φορτίο ανά μονάδα επιφανείας που μπορεί να προκαλέσει παραμόρφωση ή θραύση του πετρώματος υπό διατμητική τάση.

Στα στρωσιγενή πετρώματα ή στα πετρώματα που παρουσιάζουν σχιστότητα η αντοχή σε θλίψη παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις, ανάλογα με το επίπεδο στο οποίο μετρείται. Είναι μεγαλύτερη όταν μετρείται κάθετα στο επίπεδο σχιστότητας και μικρότερη σε επίπεδο παράλληλο της σχιστότητας. Στα γρανιτικά πετρώματα η σχιστότητα καθορίζεται από τον τρόπο διάταξης των φυλλοπυριτικών ορυκτών. Εν προκειμένω όμως το χαμηλό ποσοστό συμμετοχής τους όμως στην ορυκτολογική σύστασή τους δεν επιφέρει κάποια επίδραση στον τρόπο πραγματοποίησης της δοκιμής. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή ενός πετρώματος στη θλίψη είναι το πορώδες, το μέγεθος και το σχήμα των κρυστάλλων των ορυκτών καθώς και ορυκτολογική σύστασή του. Οι γρανίτες γενικά κατατάσσονται στα ανθεκτικά πετρώματα διότι τα κύρια ορυκτά τους είναι Χαλαζίας και Άστριοι (7 και 6 αντίστοιχα στην κλίμακα Mohs). Επιβαρυντικά επιδρά η καλή σχιστότητα των Αστρίων καθώς και οι αλλοιώσεις τους (καολονίωση, σερικιτίωση).

Δοκιμές για μέτρηση της αντοχής σε θλίψη είναι απαραίτητες σε προϊόντα από φυσικούς λίθους που προορίζονται για στοιχεία τοιχοποιίας και για φέροντα στοιχεία, καθώς και σε κυβόλιθους για λιθοστρώσεις.

Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη υπολογίζεται με βάση το μετρούμενο φορτίο θραύσης του δοκιμίου, σε επίπεδο κάθετο ή/και παράλληλο στο επίπεδο της στρώσης /ανισοτροπίας του πετρώματος, κατά περίπτωση και εκφράζεται σε MPa ($1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2 = 10,197 \text{ Kp/cm}^2$).

Η Ευρωπαϊκή και η Αμερικανική προδιαγραφή για τη δοκιμή αντοχής σε θλίψη είναι σχεδόν παρόμοιες, με διαφοροποιήσεις, κυρίως, στις διαστάσεις των δοκιμίων. Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή προδιαγραφή περιλαμβάνει και στατιστικούς υπολογισμούς για να δηλωθεί η «ελάχιστη αναμενόμενη τιμή». Αντίθετα, με βάση τις αμερικανικές προδιαγραφές, έχουν καθοριστεί για τους διάφορους τύπους διακοσμητικών πετρωμάτων ελάχιστες αποδεκτές τιμές για την αντοχή σε θλίψη.

Για την πραγματοποίηση της δοκιμασίας χρησιμοποιήθηκαν 3 υγιή δοκίμια, τα οποία δεν είχαν υποστεί κάποια δοκιμασία, από κάθε είδους γρανίτη. Στη συνέχεια την δοκιμή υπέστησαν δοκίμια στα οποία είχαν προηγηθεί οι δοκιμές της Αλατονέφωσης (Μ.Ο.1), της Ψύξης-απόψυξης (Μ.Ο.2) και της Αλατονέφωσης + Ψύξης/Απόψυξης (Μ.Ο.3). Στον πίνακα 11 παρατίθενται ο μέσος όρος των τιμών των αποτελεσμάτων της Μονοαξονικής Θλίψης καθώς και οι ανοιγμένες διαφορές αυτών.

Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων παρατηρείται μια γενική αύξηση της αντοχής των δοκιμίων μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της Αλατονέφωσης ενώ μετά το πέρας της διαδικασίας της Ψύξης-Απόψυξης η αντοχή των δοκιμίων υφίσταται μικρή μείωση η οποία γίνεται μεγαλύτερη μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας που συνδυάζει τις δυο καταστροφικές μεθόδους.

Πιο συγκεκριμένα:

Η Μονοαξονική Αντοχή των δοκιμίων μεταξύ υγιών δοκιμίων και δοκιμίων που υπεβλήθησαν στην διαδικασία της Αλατονέφωσης παρουσιάζει αύξηση η οποία κυμαίνεται από 6,46% (African Red) ως 10,36% (Zimbabwe).

Η Μονοαξονική Αντοχή των δοκιμίων μεταξύ υγιών δοκιμίων και δοκιμίων που υπεβλήθησαν στην διαδικασία της Ψύξης-Απόψυξης παρουσιάζει μείωση η οποία κυμαίνεται από 8,77% (Gris Mondariz) ως 2,71% (Baltic Brown).

Η Μονοαξονική Αντοχή των δοκιμίων μεταξύ υγιών δοκιμίων και δοκιμίων που υπεβλήθησαν στην διαδικασία της Αλατονέφωσης + Ψύξης/Απόψυξης παρουσιάζει επιπλέον μείωση η οποία κυμαίνεται από 18,13% (Baltic Brown) ως 4,30% (African Red).

Στις εικόνες 1 και 2 απεικονίζεται η Μονοαξονική Αντοχή πριν και μετά το πέρας αντίστοιχα της διαδικασίας του δείγματος Baltic Brown .



Εικόνα 1. Δείγμα Baltic Brown πριν την διαδικασία Μονοαξονικής Αντοχής.



Εικόνα 2. Δείγμα Baltic Brown μετά το πέρας της δοκιμασίας Μονοαξονικής Αντοχής.

Μικροσκοπική εξέταση των δοκιμών

Για να γίνει μικροσκοπική εξέταση των αποτελεσμάτων των δοκιμών, κατασκευάστηκαν λεπτές τομές των δοκιμών που είχαν υποστεί την δοκιμασία των 260 κύκλων Ψύξης-Απόψυξης. Οι τομές αυτές μελετήθηκαν στο πολωτικό μικροσκόπιο, βρέθηκε η ορυκτολογική τους σύσταση και στη συνέχεια έγινε εμβαδομέτρηση με σκοπό τον υπολογισμό της ποσοστιαίας αναλογίας των ορυκτών στην σύστασή τους και τυχόν μεταβολές στο ποσοστό των αλλοιώσεων των ορυκτών σε σχέση με τα ποσοστά που υπολογίστηκαν στις τομές των υγιών δοκιμών. Ο λόγος που δεν κατασκευάστηκαν τομές των δοκιμών που είχαν υποστεί τις δοκιμασίες της Αλατονέφωσης και Αλατονέφωσης και Ψύξης-Απόψυξης είναι διότι κατά την κατασκευή των λεπτών τομών απαιτείται η χρήση νερού με αποτέλεσμα την διάλυση των υδατοδιαλυτών αλάτων. Στον πίνακα 12 παρατίθενται τα αποτελέσματα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εμβαδομέτρησης η ποσοστιαία αναλογία ορυκτών και μικρορωγμών για κάθε είδους πέτρωμα έχει ως εξής:

Το δείγμα *Zimbabwe* αποτελείται από 38,67% πυρόξενους, 24,15% πυρόξενους οι οποίοι αλλοιώνονται σε ινώδη αμφίβολο (ουραλιτίωση) και σε βασίτη, 20,80% πλαγιόκλαστα, 2,7% χαλαζία, 3,68% αδιαφανή ορυκτά και 9,96% συμφύσεις αστρίων με χαλαζία. Το ποσοστό των μικρορωγμών είναι 0%

Το δείγμα *Baltic Brown* αποτελείται από 41,62% χαλαζία, 24,70% αλκαλιούχους άστριους εκ των οποίων το 14,38% αλλοιώνεται σε καολινίτη (καολινιώση), 26,22 % πλαγιόκλαστα εκ των οποίων το 6,93% αλλοιώνεται σε σερικήτη (σερικιτίωση), 4,73% κεροστίλβη, 0,50% βιοτίτη, 0,67% αδιαφανή ορυκτά, 0,33% επουσιώδη ορυκτά και 0,50% συμφύσεις αστρίων με χαλαζία. Τα ποσοστά των μικρορωγμών είναι 0,67%.

Το δείγμα *Gris Mondariz* αποτελείται από 12,1% χαλαζία, 42,15% αλκαλιούχους αστρίους εκ των οποίων το 13,72% αλλοιώνεται σε καολινίτη (καολινιώση), 30,87 % πλαγιόκλαστα εκ των οποίων το 19,93% αλλοιώνεται σε σερικήτη (σερικιτίωση), 10,94% βιοτίτη εκ του οποίου το 4,08% αλλοιώνεται σε χλωρίτη, 1,47% χλωρίτη, 0,49% επουσιώδη ορυκτά και 0,32% συμφύσεις αστρίων με χαλαζία. Το ποσοστό μικρορωγμών είναι 1,63%.

Το δείγμα *African Red* αποτελείται από 30,75% χαλαζία, 35,31% αλκαλιούχους αστρίους εκ των οποίων 9,92% είναι καολινιωμένοι και το 19,44% έχει μετατραπεί σχεδόν ολοκληρωτικά σε καολινίτη, 29,16% πλαγιόκλαστα εκ των οποίων το 10,12% αλλοιώνεται σε σερικήτη (σερικιτίωση) και το 15,07% έχει μετατραπεί σχεδόν ολοκληρωτικά σε σερικήτη, 2,97% κεροστίλβη εκ της οποίας το 0,79% αλλοιώνεται σε χλωρίτη και 0,19% βιοτίτης ο οποίος αλλοιώνεται σε χλωρίτη. Το ποσοστό των μικρορωγμών είναι 0%.

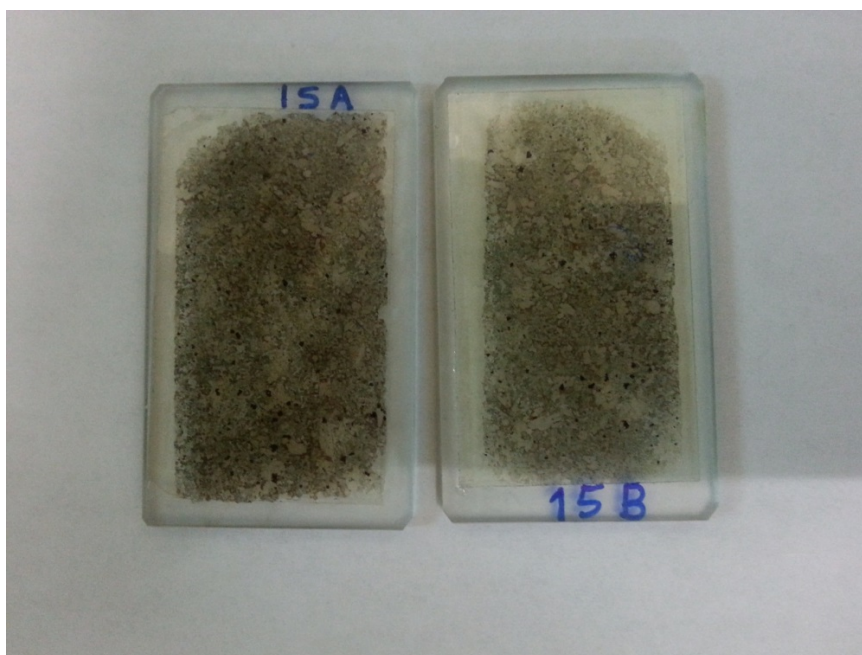
Το δείγμα *Balmoral* αποτελείται από 41,23% χαλαζία, 34,39% αλκαλιούχους άστριους εκ των οποίων το 21,41% αλλοιώνεται σε καολινίτη (καολινίωση), 9,11% πλαγιόκλαστα εκ των οποίων το 5,69% αλλοιώνεται σε σερικήτη (σερικιτίωση), 11,38% βιοτίτη εκ του οποίου το 1,59% αλλοιώνεται σε χλωρίτη, 0,22% χλωρίτη, 2,73% επουσιώδη ορυκτά και 0% συμφύσεις αστρίων με χαλαζία. Το ποσοστό των μικρορωγμών είναι 0,91%.

Κατά την ολοκλήρωση της μελέτης παρατηρήθηκε ότι υπάρχει σαφής διαφορά των ποσοστών της ορυκτολογικής σύστασης και κατά συνέπεια των αντίστοιχων αλλοιώσεων. Ωστόσο οι μεταβολές αυτές δεν είναι αποτέλεσμα της δράσης των δοκιμασιών αλλά εξαρτώνται από την περιοχή μελέτης της τομής κατά την εμβαδομέτρηση. Επιπλέον σε όλη την έκταση ενός μαγματικού πετρώματος η ποσοστιαία ορυκτολογική σύσταση δεν είναι ακριβώς η ίδια, έτσι κατά την εξόρυξη, τεμάχια μπορούν να ληφθούν από διάφορες περιοχές του με συνέπεια οι μεγάλες γρανιτικές πλάκες που φθάνουν στο εμπόριο να έχουν διαφορετικά ποσοστά ορυκτών. Βεβαίως σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να αλλάξει ο πετρογραφικός τύπος ενός γρανίτη. Στη εικόνα 3 βλέπουμε τις λεπτές στιλπνές τομές δείγματος *Baltic Brown* που προέρχονται από υγιές δοκίμιο το οποίο υποβλήθηκε στη δοκιμασία της ψύξης – απόψυξης. Διαπιστώνουμε ότι παρά το γεγονός ότι οι τομές παρασκευάστηκαν από το ίδιο ακριβώς δοκίμιο εντούτοις ακόμα και μακροσκοπικά είναι εμφανής η αύξηση των φεμικών ορυκτών (κεροστίλβη και βιοτίτη) .

Συνεπώς τα αποτελέσματα δεν μπορούν να αξιοποιηθούν ως προς την επίδραση των δοκιμών στο ποσοστό των αλλοιώσεων των ορυκτών. Όσον αφορά τις επιπτώσεις στη μικροδομή των δοκιμίων, ουδεμία περαιτέρω χαλάρωση παρατηρήθηκε καθόσον οι μεταβολές του ποσοστού των μικρορωγμών (microcracks) κατά τη μελέτη των τομών είναι ανεπαίσθητες.



Εικόνα 3. Δείγμα Baltic Brown . 11Α τομή υγιούς δοκιμίου και 11Β τομή δοκιμίου μετά την δοκιμή της Ψύξης-Απόψυξης.



Εικόνα 5. Δείγμα Zimbabwe. 15Α τομή υγιούς δοκιμίου και 15Β τομή δοκιμίου μετά τη δοκιμή της Ψύξης-Απόψυξης.

Συμπεράσματα.

Στην εργασία ελέγχθηκαν 5 διαφορετικά είδη γρανιτών σε σχέση με την έκθεσή τους σε 3 διαφορετικά διαβρωτικά περιβάλλοντα.

Οι ιδιότητες που καταγράφηκαν πριν και μετά την έκθεσή τους αφορούν την μονοαξονική αντοχή σε θλίψη, καταμέτρηση βάρους και ταχύτητας επιμήκων κυμάτων, υδατοαπορρόφησης, ειδικού βάρους και ανοικτό πορώδες.

Τα περιβάλλοντα έκθεσης είναι Ψύξης-Απόψυξης για 260 κύκλους, αλατονέφωσης (NaCl 10%) για 7 ημέρες καθώς και συνδυασμός αυτών, δηλαδή μετά το πέρας της αλατονέφωσης τα δείγματα υποβλήθησαν σε δοκιμασία Ψύξης-Απόψυξης .

Στη συνέχεια από εκτεθειμένα και από υγιή δείγματα κατασκευάστηκαν λεπτές τομές και μελετήθηκαν με σκοπό τη καταγραφή τυχόν μικροδομικές αλλοιώσεις .

Από τις δοκιμές προκύπτει ότι:

Πραγματοποιώντας συσχέτιση του πορώδους των δειγμάτων μας των τιμών της Μονοαξονικής Αντοχής όπως φαίνεται στα διαγράμματα 1,2,3,4 και 5 διαπιστώθηκε ότι το πορώδες δεν αποτελεί δείκτη καθώς η αντοχή των λίθων εξαρτάται από το ποσοστό συμμετοχής σκληρών ορυκτών (χαλαζίας, άστριοι) το ποσοστό αλλοίωσης των αστρίων καθώς και το μέγεθος όπως και η ομοιομορφία των διαστάσεων των κρυστάλλων των ορυκτών , με χαρακτηριστικό παράδειγμα τον γρανίτη Zimbabwe ο οποίος παρά του σχετικά μεγάλου πορώδους και του μικρού ποσοστού συμμετοχής χαλαζία και αστρίων εν τούτοις κατέχει τις υψηλότερες τιμές αντοχής προφανώς λόγω της ομοιομορφίας του και του λεπτόκοκκου υλικού (Εικ. 5) .

Τα αποτελέσματα της δοκιμασίας της Αλατονέφωσης με περιεκτικότητα NaCl 10% μας δείχνουν ότι η διάρκεια και η ένταση της διαδικασίας δεν είναι επιβαρυντική για την ποιότητα των λίθων. Αντίθετα επιφέρει ελαφριά ενίσχυση της αντοχής περίπου από 6 %-10% το οποίο βρίσκεται και σε συμφωνία με την βιβλιογραφία (Stefanidou M. & I. Papayianni (2006). Η αύξηση αυτή καταδεικνύεται σαφέστερα όταν δοκίμια εκτέθηκαν σε διάλυμα NaCl πιο εμπλουτισμένο (14%). Η αύξηση της αντοχής μπορεί να ερμηνευθεί ως αποτέλεσμα της κρυστάλλωσης αλάτων ανάμεσα στα κενά που δημιουργούνται κατά τον σχηματισμό των ορυκτών .

Η δοκιμασία των 260 κύκλων Ψύξης-Απόψυξης λειτούργησε ως επιβαρυντικός παράγοντας με μία μέση μείωση της αντοχής της τάξεως περίπου 5%. Η μείωση αυτή δείχνει την ανθεκτικότητα και ταυτόχρονα την καταλληλότητα των γρανιτών ως δομικούς λίθους σε τόσο έντονη καταπόνηση. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνονται και από την μικροσκοπική μελέτη των δειγμάτων, σε λεπτές τομές μετά το πέρας της διαδικασίας, όπου η μελέτη της μικροδομής δεν κατέγραψε χαλάρωση της δομής (microcracks).

Ο συνδυασμός διαβρωτικών περιβαλλόντων (έκθεση των λίθων τόσο σε ακραίες θερμοκρασίες όσο και σε παράκτιες περιοχές) ήταν ιδιαίτερα επιβαρυντικός με διακύμανση της πτώσης της αντοχής από 4,30% έως 18,13% πράγμα αναμενόμενο λόγω της ιδιαίτερης επιβάρυνσης των λίθων.

Πραγματοποιώντας συσχέτιση των τιμών της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων (V_p) με τις αντίστοιχες τιμές της Μονοαξονικής Αντοχής όπως φαίνεται στα διαγράμματα 6, 7, 8 και 9 διαπιστώθηκε ότι τα αποτελέσματα των μετρήσεων V_p δεν συνάδουν με αυτά της Μονοαξονικής Αντοχής. Το συμπέρασμα αυτό γίνεται ακόμα πιο εμφανές από τα διαγράμματα 10, 11, 12, 13 και 14 όπου για κάθε είδος πέτρωμα ξεχωριστά, πραγματοποιήθηκε συσχέτιση των V_p τιμών του με τις αντίστοιχες τιμές της Μονοαξονικής του αντοχής μετά από κάθε δοκιμασία. Πιο συγκεκριμένα ενώ σύμφωνα με τα αποτελέσματα της Μονοαξονικής αντοχής οι τιμές της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων θα έπρεπε να είναι $V_{pNaCl10\%} > V_{pυγιών} > V_{p\Psi/A} > V_{pA+\Psi/A}$, εντούτοις για τα δείγματα Zimbabwe και Baltic Brown είναι: $V_{pA+\Psi/A} > V_{p\Psi/A} > V_{pυγιών} > V_{pNaCl10\%}$, για το δείγμα Griz Mondariz $V_{p\Psi/A} > V_{pυγιών} > V_{pNaCl10\%} > V_{pA+\Psi/A}$, για το δείγμα African Red $V_{pA+\Psi/A} > V_{p\Psi/A} > V_{pNaCl10\%} > V_{pυγιών}$ και για το δείγμα Balmoral $V_{pA+\Psi/A} > V_{pυγιών} > V_{p\Psi/A} > V_{pNaCl10\%}$. Ο συσχετισμός αυτός δεν μπόρεσε πιθανόν να επιτευχθεί λόγω του περιορισμένου αριθμού δοκιμίων που υπεβλήθησαν στις δοκιμασίες.

Τέλος από τη μικροσκοπική μελέτη δεν τεκμηριώνεται συσχέτιση του ποσοστού αλλοίωσης πριν και μετά της δοκιμής με την αντοχή τους.

Επομένως συμπεραίνει κανείς ότι οι συγκεκριμένοι γρανίτες είναι εξαιρετικά ανθεκτικοί στις συνθήκες τις οποίες εκτέθηκαν.

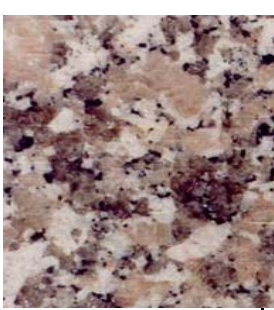
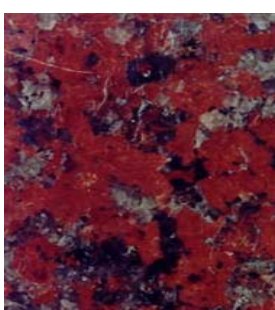
Προτείνονται περαιτέρω έλεγχοι προς διασταύρωση της καλής ποιότητας των λίθων.

Πίνακας 1. Ποσοστιαία ορυκτολογική σύσταση υγιών δειγμάτων.

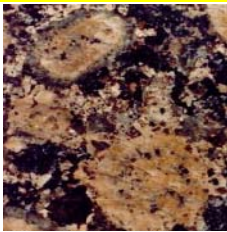
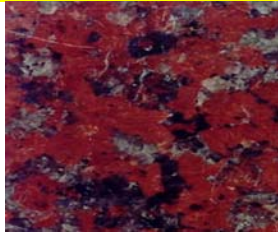
Δείγμα	Ορυκτολογική σύσταση %																	Μικρορωγμές
	Qz	Kf	*Kf	Pl	*Pl	Kaol.	Ser.	Clr.	Bt.	*Bt.	Hb.	*Hb.	Px.	*Px.	Αδ.	Διαφ.	Σύμφ.	
Zimbabwe	4,88			20,19									38,06	26,62	3,66		6,54	0
Baltic Brown	43,38	13,41	7,66	7,84	6,97				5,4		12,37				1,04	1,04	0,17	0,52
Gris Mondariz	23,59	26,93	13,36	8,56	19,62			0,62	3,13	1,04						0,2	1,04	1,88
African Red	35,18	3,14	9,44	3,70	15,92	12,22	16,29	1,85		0,92	0,92	0,37						0
Balmoral	21,60	29,84	28,06	6,45	3,78			0,66	7,57	0,44						0,22	0,44	0,89

Qz=χαλαζίας, Kf= αλκαλιούχοι άστριοι, *Kf=καολινιωμένοι αλκαλιούχοι άστριοι, Pl= πλαγιοκλαστα, *Pl= Αλλοιωμένα (σερεκίτιωση / σωσσυριτίωση) πλαγιόκλαστα, Kaol.=καολινίτης, Ser. = σερεκίτης, Clr.=χλωρίτης, Bt. =βιοτίτης, *Bt= χλωριτωμένος βιοτίτης, Hb=κεροσίλβη, *Hb=χλωριτωμένη κεροσίλβη, Px=πυρόξενοι, *Px=αλλοιωμένοι πυρόξενοι, Αδ.= αδιαφανή ορυκτά, Διαφ. = διάφορα επουσιώδη ορυκτά , Σύμφ.= συμφύσεις αστρίων με χαλαζία.

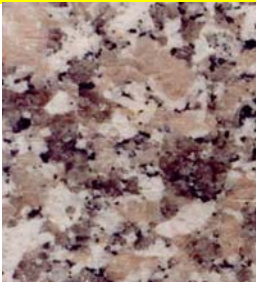
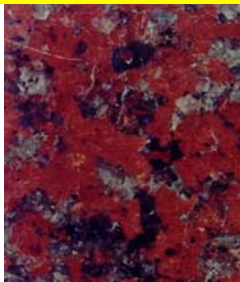
Πίνακας 2. Απορροφητικότητα, ειδικό βάρος και πορώδες υγιών δειγμάτων.

Δείγμα	Zimbabwe Black	Baltic Brown	Gris Mondariz	African Red	Balmoral
					
Δείγμα	1	1	1	1	1
Βάρος σε gr ξηρό κορεσμ. σε νερό μέσα στο νερό	206,89	326,45	222,16	219,35	250,73
	207,68	327,13	222,74	220,43	251,09
	138,71	202,82	136,83	134,56	155,13
Απορροφητικότητα	0,38	0,21	0,26	0,49	0,14
ειδ. Βάρος	3,00	2,63	2,59	2,55	2,61
Πορώδες	1,15	0,55	0,68	1,26	0,38

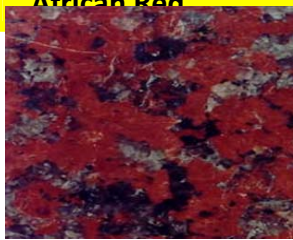
Πίνακας 3. Μετρήσεις βάρους και ταχύτητας επιμήκων κυμάτων υγίων δοκιμίων πριν τη διαδικασία Ψύξης-Απόψυξης.

Δείγμα		Zimbabwe Black		Baltic Brown		Gris Mondariz		African Red		Balmoral	
											
Δοκίμια		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Διαστάσεις	μήκος*	4*4*4	4*4*4	4*4*6,5	4*4*6,5	4*4*5	4*4*5	4*4*5	4*4*5	4*4*6	4*4*6
cm	πλάτος*ύψος										
κύβου	Βάρος gr	230	204	300	310	215	230	240	220	260	270
Διαστάσεις	μήκος*	16*4*4	16*4*4	16*6,5*4	16*6,5*4	16*5*4	16*5*4	16*5*4	16*5*4	16*6*4	16*6*4
cm	πλάτος*ύψος										
ράβδου	Βάρος gr	845	840	1175	1180	883	865	830	830	995	970
	Vp (μsec/cm)	16,25	16,50	22,00	22,25	23,88	22,50	21,19	20,50	23,88	22,25
Διαστάσεις	μήκος*	15*15*4,5	15*15*4,5	15*14*6,5	15*14*6,5	15*15*5	15*15*5	19*19,5*5	19*19,5*5	15*13*6	15*13*6
cm	πλάτος*ύψος										
πλάκας	Βάρος gr	3245	3245	3805	3800	2950	2950	5035	5015	3165	3155
	Vp (μsec/cm)	16,6	16,67	2,12	2,16	20,20	20,27	2,02	2,01	2,13	2,11

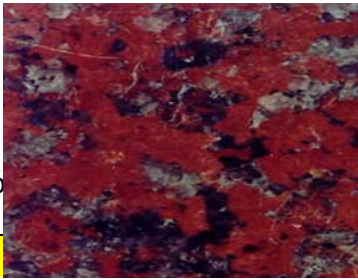
Πίνακας 4. Μετρήσεις βάρους υγιών δοκιμίων μετά από 9 μέρες βύθισης σε νερό.

Δείγμα		Zimbabwe Black		Baltic Brown		Gris Mondariz		African Red		Balmoral	
											
Δοκίμια		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Διαστάσεις cm κυβου	μήκος*πλάτος*ύψος	4*4*4	4*4*4	4*4*6,5	4*4*6,5	4*4*5	4*4*5	4*4*5	4*4*5	4*4*6	4*4*6
	Βάρος gr	230	204	300	310	215	230	240	220	260	270
Διαστάσεις cm ράβδου	μήκος*πλάτος*ύψος	16*4*4	16*4*4	16*6,5*4	16*6,5*4	16*5*4	16*5*4	16*5*4	16*5*4	16*6*4	16*6*4
	Βάρος gr	845	840	1175	1180	883	865	830	830	995	970
Διαστάσεις cm πλάκας	μήκος*πλάτος*ύψος	15*15*4,5	15*15*4,5	15*14*6,5	15*14*6,5	15*15*5	15*15*5	19*19,5*5	19*19,5*5	15*13*6	15*13*6
	Βάρος gr	3245	3245	3805	3800	2950	2950	5035	5015	3165	3155

Πίνακας 5. Μέσοι Όροι (Μ.Ο.) των μετρήσεων πριν και μετά την δοκιμασία Ψύξης-Απόψυξης. Ανοιγμένες Διαφορές (Α.Δ. %) των μετρήσεων πριν και μετά τη δοκιμασία.

Δείγμα		Zimbabwe			Baltic Brown			Gris Mondariz			African Red			Baltic Brown		
																
Δοκίμια		Μ.Ο. Πριν	Μ.Ο. μετά	Α.Δ. %	Μ.Ο. πριν	Μ.Ο. Μετά	Α.Δ. %	Μ.Ο. Πριν	Μ.Ο. Μετά	Α.Δ. %	Μ.Ο. Πριν	Μ.Ο. Μετά	Α.Δ. %	Μ.Ο. Πριν	Μ.Ο. Μετά	Α.Δ. %
Διαστάσεις	μήκος*	4*4*4			4*4*6,5			4*4*5			4*4*5			4*4*6		
cm	πλάτος*ύψος															
Βάρος		217	215	-0,92%	305	305	0,00%	222,5	222,5	0,00%	230	230	0,00%	265	265	0,00%
Διαστάσεις	μήκος*	16*4*4			16*6,5*4			16*5*4			16*5*4			16*6*4		
cm	πλάτος*ύψος															
Βάρος		842,5	842,5	0,00%	1177,5	1177,5	0,00%	874	872,5	-0,20%	830	830	0,00%	982,5	982,5	0,00%
Διαστάσεις	μήκος*	15*15*4,5			15*14*6,5			15*15*5			19*19,5*5			15*13*6		
cm	πλάτος*ύψος															
βάρος		3245	3245	0,00%	3802,5	3802	-0,01%	2950	2947,5	-0,10%	5045	5017,5	-0,50%	3160	3155	-0,20%
νρ	χλμ/sec	16,51	16,36	-0,88%	21,77	22,42	2,97%	21,71	21,63	-0,37%	19,63	20,47	4,25%	22,14	21,65	-2,20%

Πίνακας 6. Μετρήσεις δοκιμών 1 χρόνο μετά τη διαδικασία Ψύξης-Απόψυξης (Α.Δ.%) των αποτελεσμάτων.

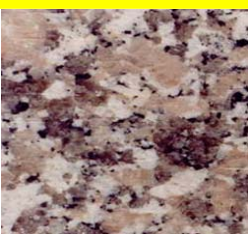
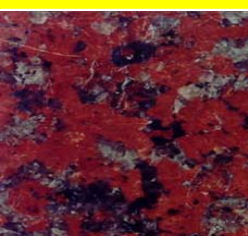
Δείγμα		Baltic Brown												Balmoral			
																	
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ		A	B	Γ	A.Δ. %	A	B	Γ	A.Δ. %	A	B	Γ	A.Δ. %				
Διαστάσεις	cm	16*6,5*4	15*6,5*4			16*5*4	15,5*5*4			16*6*4	15*5,8*5						
όγκος	cm ³	416	390			320	310			384	435						
gr/cm ³		2,83	2,94		3,85%	2,59	2,71		4,47%	2,56	2,8		9,42%				
βάρος	gr	1177,5	1148	1147	-2,59%	830	842	840	1,20%	982,5	1218	1218	23,97%				
Vp	χλμ/sec	22,42		21,13	-5,74%	20,47		20	-2,27%	21,65		21,13	-2,41%				

Μέτρηση A: Μετρήσεις δοκιμών αμέσως μετά τη δοκιμασία της Ψύξης-Απόψυξης

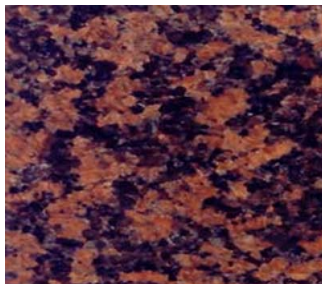
Μέτρηση B: Μετρήσεις δοκιμών **1 χρόνο** μετά τη δοκιμασία και **πριν** την ξήρανση.

Μέτρηση Γ: Μετρήσεις δοκιμών **1 χρόνο** μετά τη δοκιμασία και **μετά** την ξήρανση

Πίνακας 7. Μέσοι Όροι μετρήσεων βάρους και ταχύτητας επιμήκων κυμάτων πριν και μετά τη δοκιμασία της Αλατονέφωσης (NaCl 10%). Ανοιγμένες Διαφορές (Α.Δ.%) των αποτελεσμάτων.

Δείγμα		Zimbabwe			Baltic Brown			Gris Mondariz			African Red			Balmoral		
																
Δοκίμια		M.O	M.O.	A.Δ. %	M.O.	M.O.	A.Δ. %	M.O.	M.O.	A.Δ. %	M.O.	M.O.	A.Δ. %	M.O.	M.O.	A.Δ. %
		Πριν	Μετά		Πριν	Μετά		Πριν	Μετά		Πριν	Μετά		Πριν	Μετά	
Διαστάσεις	μήκος*	4*4*4			4*4*6,5			4*4*5			4*4*5			4*4*6		
cm	πλάτος*ύψος															
Βάρος		227,5	225	-1,10%	305,5	305	-0,20%	224	223	-0,70%	220	217,5	-1,10%	257,5	265	2,90%
Διαστάσεις	μήκος*	16*4*4			16*6,5*4			16*5*4			16*5*4			16*6*4		
cm	πλάτος*ύψος															
Βάρος		835	835	0,00%	1188	1190	0,20%	880	875	-0,60%	855	875	2,30%	997,5	990	-0,80%
Διαστάσεις	μήκος*	15*15*4,5			15*14*6,5			15*15*5			19*19,5*5			15*13*6		
cm	πλάτος*ύψος															
βάρος		3252,5	3260	0,23%	3800	3800	0,00%	3010	3010	0,00%	5010	5010	0,00%	3162,5	3162,5	0,00%
Vp	χλμ/sec	15,99	15,98	-0,09%	16,76	14,59	-12,93%	21,30	20,54	-3,57%	19,75	19,72	-0,15%	21,65	20,53	-5,17%

Πίνακας 8. Μετρήσεις δοκιμίων 1 χρόνο μετά τη διαδικασία της Αλατονέφωσης (NaCl 10%). Ανοιγμένες διαφορές (Α.Δ%) των αποτελεσμάτων.

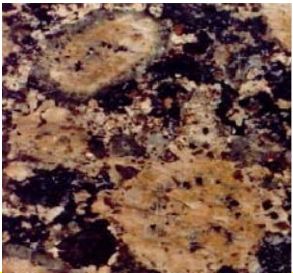
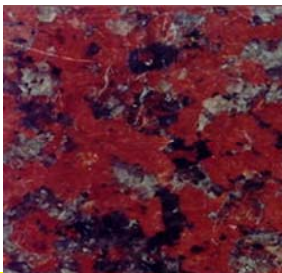
Δείγμα		Baltic Brown				African Red				Balmoral			
													
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ		A	B	Γ	Α.Δ. %	A	B	Γ	Α.Δ.%	A	B	Γ	Α.Δ.%
Διαστάσεις	cm	16*4*4	15*6,5*4,8			16*5*4	19,5*5*4,7			16*6*4	15*4,7*6		
όγκος	cm ³	416	684			320	458,25			384	423		
gr/cm ³		2,86	1,93		-32,40%	2,73	2,66		-2,85%	2,58	2,75		6,83%
βάρος	gr	1190	1323	1322	11,09%	875	1217	1215	38,86%	990	1165	1164	17,58%
Vp	χλμ/sec	14,59		20,47	40,28%	19,72		19,38	-1,72%	20,53		20,93	1,96%

Μέτρηση Α: Μετρήσεις δοκιμίων αμέσως μετά τη διαδικασία της Αλατονέφωσης (NaCl 10%)

Μέτρηση Β: Μετρήσεις δοκιμίων **1 χρόνο** μετά τη διαδικασία της Αλατονέφωσης (NaCl 10%) και **πριν** τη ξήρανση

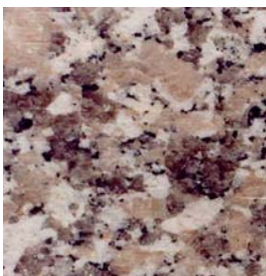
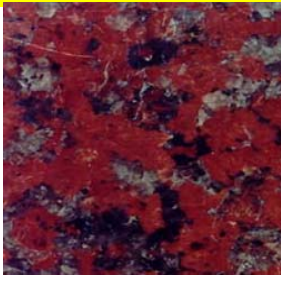
Μέτρηση Γ: Μετρήσεις δοκιμίων **1 χρόνο** μετά τη διαδικασία της Αλατονέφωσης (NaCl 10%) και **μετά** την ξήρανση

Πίνακας 9. Μετρήσεις βάρους και Μονοαξονικής Αντοχής κατά την διαδικασία της Αλατονέφωσης (NaCl 14%). Ανοιγμένες διαφορές (Α.Δ.%) των αποτελεσμάτων.

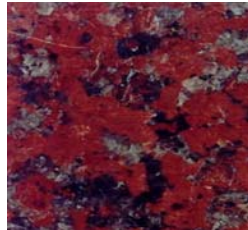
Δείγμα	Baltic Brown						African Red						Balmoral					
																		
Δοκίμιο	1	2	3	M.O.	A.Δ.%		1	2	3	M.O.	A.Δ.%		1	2	3	M.O.	A.Δ.%	
Βάρος	1η μετρηση	289,81	292,32	245,5	275,87		271,23	264,20	270,43	268,62			267,75	268,93	268,43	268,37		
	2η μέτρηση	289,59	292,19	245,3	275,69	-0,07%	208,48	197,67	198,09	201,41	-25,02%		265,57	236,01	233,86	245,15		-8,65%
	3η μέτρηση	289,62	292,26	245,3	275,73	0,02%	208,47	197,68	198,06	201,40	0,00%		265,63	236,11	233,88	245,21		0,02%
MPa		138,88	195,38	161,99	165,42	48,41%	85,03	149,22	76,82	103,69	8,63%		159,84	139,39	153,43	150,89		27,69%
και σε αντιπαραβολή τιμές δοκιμών σε υγιή δοκίμια																		
111,46							95,45						118,17					

Πίνακας 10. Μετρήσεις βάρους και ταχύτητας επιμήκων κυμάτων μετά την διαδικασία Αλατονέφωσης & Ψύξης – Απόψυξης.

Ανοιγμένες διαφορές (Α.Δ.%) των αποτελεσμάτων.

Δείγμα		Zimbabwe			Baltic Brown			Gris Mondariz			African Red			Balmoral		
																
Δοκίμια		Πριν	Μετά	Α.Δ. %	Πριν	Μετά	Α.Δ. %	Πριν	Μετά	Α.Δ. %	Πριν	Μετά	Α.Δ. %	Πριν	Μετά	Α.Δ. %
Διαστάσεις	μήκος*	15*15*4,5			16*6,5*4			15*15*5			16*5*4			16*6*4		
cm	πλάτος*υψος															
Βάρος (gr)		3245	3245	0,00%	1185	1185	0,00%	2955	2955	0,00%	835	830	-0,60%	1000	995	-0,50%
Vp (χλμ/sec)		16,33	16,60	1,63%	22,94	23,69	3,27%	19,27	19,93	3,46%	19,88	20,56	3,46%	22,38	22,38	0,00%

Πίνακας 11. Μετρήσεις Μονοαξονικής Αντοχής δοκιμίων. Ανοιγμένες διαφορές (Α.Δ.%) των αποτελεσμάτων.

Δείγματα	Zimbabwe		Baltic Brown		Gris Mondariz		African red		Balmoral		
											
Αποτελέσματα δοκιμών σε Μρα											
Δοκίμια	Μ.Ο.	273,13	Διαφορά %	164,61	Διαφορά %	179,07	Διαφορά%	133,62	Διαφορά%	148,27	Διαφορά%
Μ.Ο.1		301,43	10,36%	176,55	7,25%	193,5	8,06%	142,25	6,46%	158,13	6,65%
Μ.Ο.2		258,52	-5,35%	160,15	-2,71%	163,36	-8,77%	127,086	-4,89%	140	-5,58%
Μ.Ο.3		246,24	-9,85%	134,76	-18,13%	148,79	-16,91%	127,87	-4,30%	133,28	-10,11%

Μ.Ο : Μέσος όρος μετρήσεων Μονοαξονικής Αντοχής υγίων δοκιμίων

Μ.Ο.1: Μέσος όρος μετρήσεων Μονοαξονικής Αντοχής δοκιμών μετά τη δοκιμασία Αλατονέφωσης (NaCl 10%)

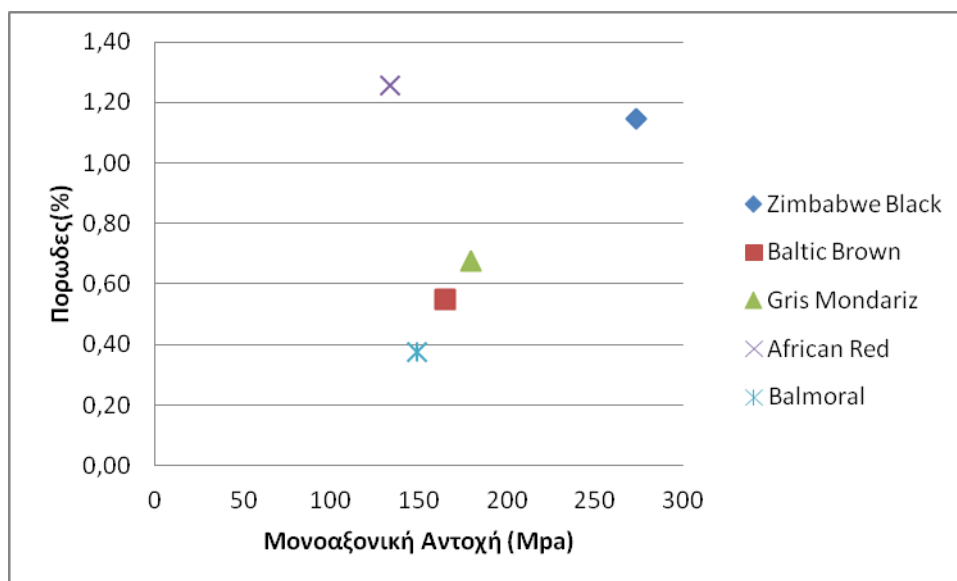
Μ.Ο.2: Μέσος όρος μετρήσεων Μονοαξονικής Αντοχής δοκιμίων μετά τη δοκιμασία Ψυξης - Απόψυξης

Μ.Ο.3: Μέσος όρος μετρήσεων Μονοαξονικής Αντοχής δοκιμίων μετά τη δοκιμασία Αλατονέφωσης & Ψύξης – Απόψυξης.

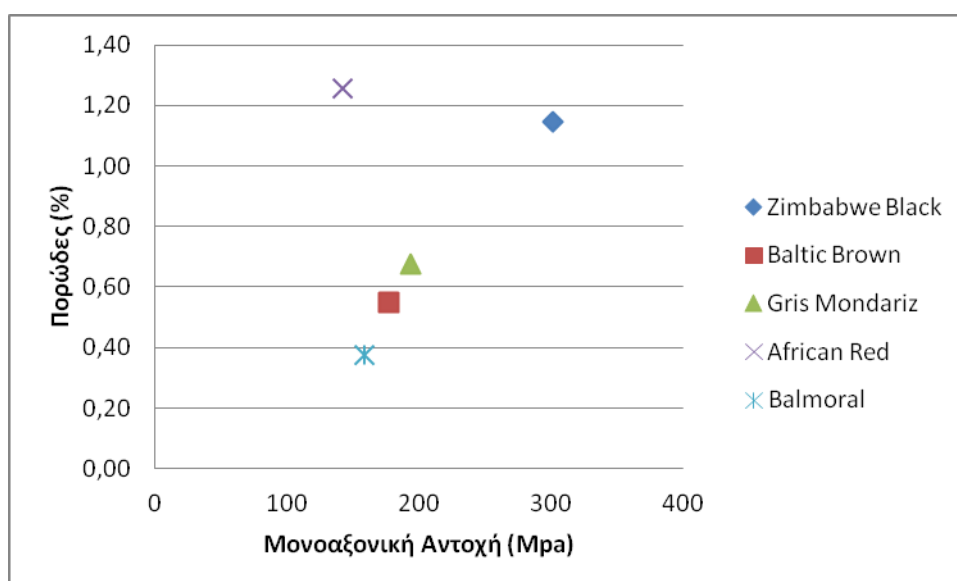
Πίνακας 12. Ποσοστιαία ορυκτολογική σύσταση δειγμάτων μετά τη διαδικασία Ψύξης-Απόψυξης.

Δείγμα	Ορυκτολογική σύσταση %																	
	Qz	Kf	*Kf	Pl	*Pl	Kaol.	Ser.	Clr.	Bt.	*Bt.	Hb.	*Hb.	Px.	*Px.	Αδ.	Διαφ.	Σύμφ.	Μικρορωγμές
Zimbabwe	2,7			20,80									38,67	24,15	3,68		9,96	0
Baltic Brown	41,62	10,32	14,38	19,29	6,93				0,5		6,93				0,67	0,33	0,50	0,67
Gris Mondariz	12,1	28,43	13,72	10,94	19,93			1,47	6,86	4,08						0,49	0,32	1,63
African Red	30,75	5,95	9,92	3,96	10,12	19,44	15,07	1,58		0,19	2,18	0,79						0,19
Balmoral	41,23	12,98	21,41	3,41	5,69			0,22	9,79	1,59						2,73		0,91

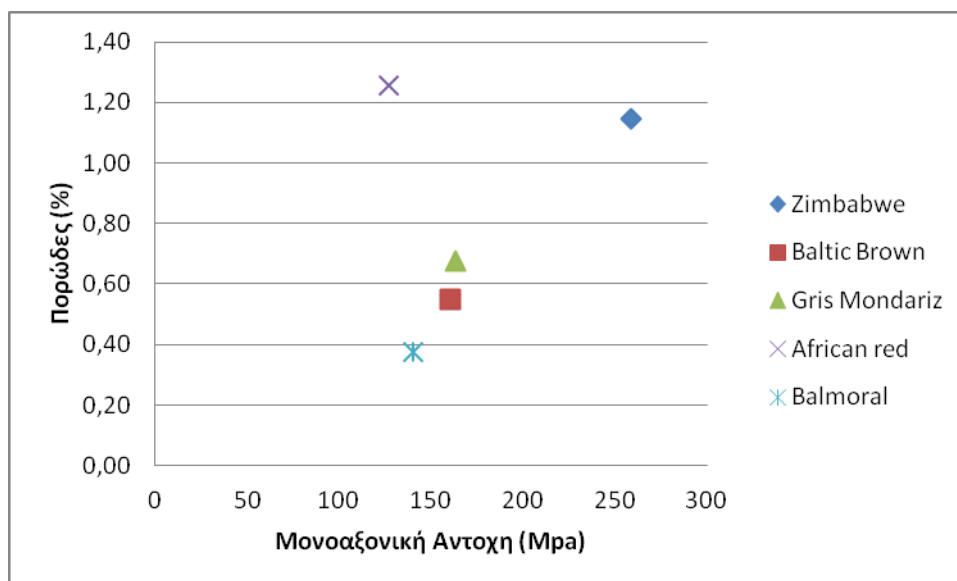
Qz=χαλαζίας, Kf= αλκαλιούχοι άστριοι, *Kf=καολινιωμένοι αλκαλιούχοι άστριοι, Pl= πλαγιοκλαστα, *Pl= Αλλοιωμένα (σερεκίτιωση/ σωσσυριτίωση) πλαγιόκλαστα, Kaol.=καολινίτης, Ser. = σερεκίτης, Clr.=χλωρίτης, Bt. =βιοτίτης, *Bt= χλωριτωμένος βιοτίτης, Hb=κεροστίλβη, *Hb=χλωριτωμένη κεροστίλβη, Px=πυρόξενοι, *Px=αλλοιωμένοι πυρόξενοι, Αδ.= αδιαφανή ορυκτά, Διαφ.=διάφορα επουσιώδη ορυκτά , Σύμφ.= συμφύσεις αστρίων με χαλαζία.



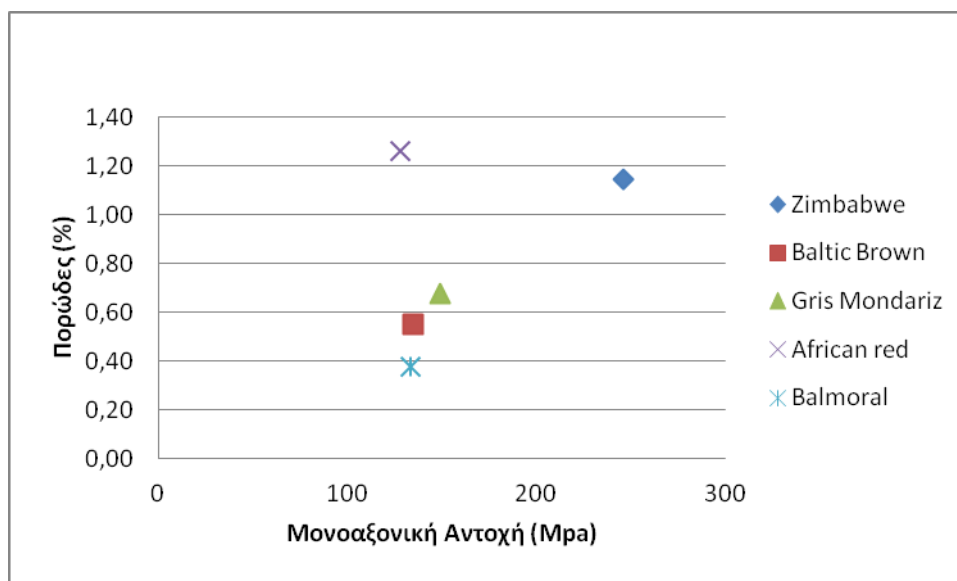
Σχήμα 1. Διάγραμμα Μονοαξονικής Αντοχής υγιών δοκιμίων σε συνάρτηση με το ανοικτό πορώδες.



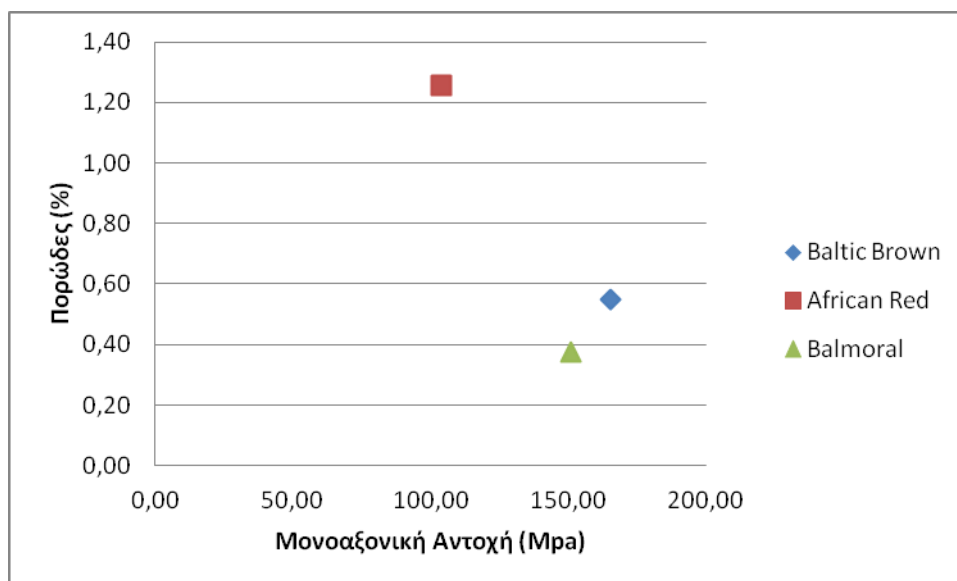
Σχήμα 2. Διάγραμμα Μονοαξονικής Αντοχής δοκιμίων μετά τη διαδικασία της Αλατονέφωσης (NaCl 10%) σε συνάρτηση με το ανοικτό πορώδες.



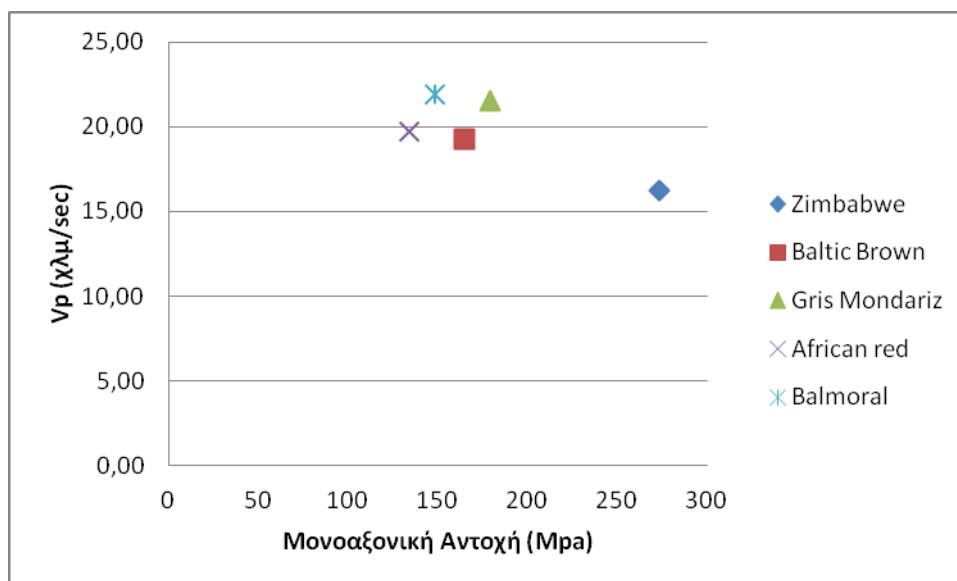
Σχήμα 3. Διάγραμμα Μονοαξονικής Αντοχής δοκιμών μετά τη διαδικασία της Ψύξης-Απόψυξης σε συνάρτηση με το ανοικτό πορώδες.



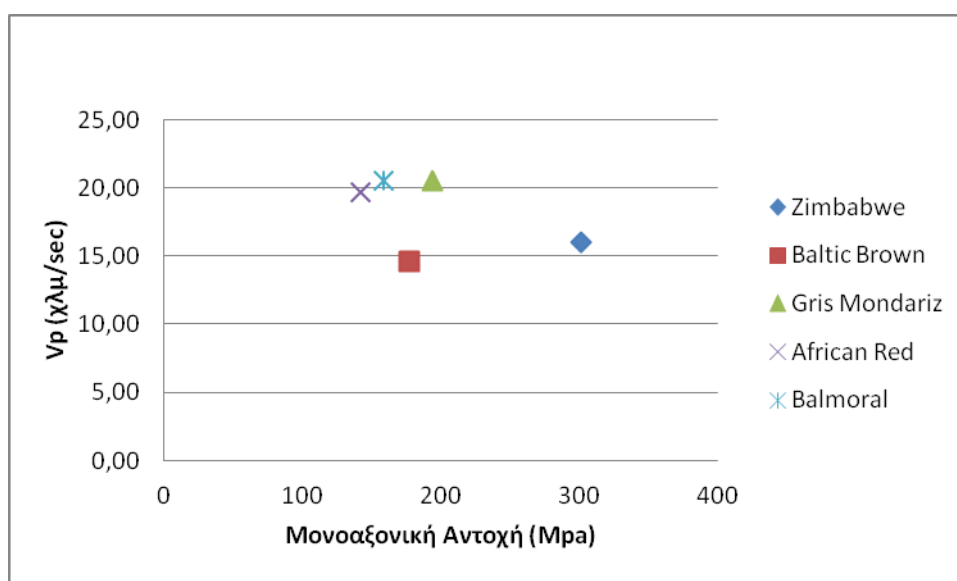
Σχήμα 4. Διάγραμμα Μονοαξονικής Αντοχής δοκιμών μετά τη διαδικασία της Αλατονέφωσης (NaCl 10%) & Ψύξης-Απόψυξης σε συνάρτηση με το ανοικτό πορώδες.



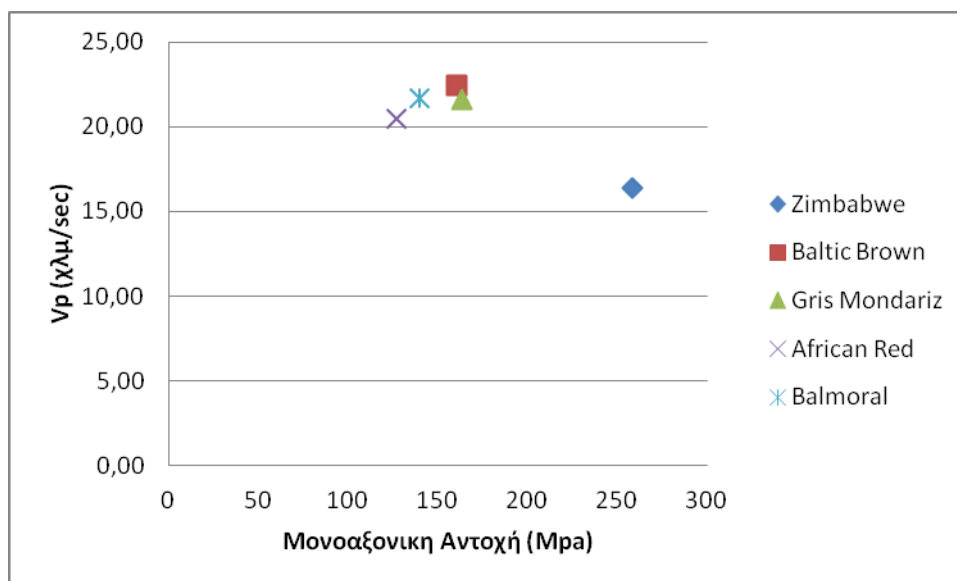
Σχήμα 5. Διάγραμμα Μονοαξονικής Αντοχής δοκιμίων μετά τη διαδικασία της Αλατονέφωσης (NaCl 14%) σε συνάρτηση με το ανοικτό πορώδες.



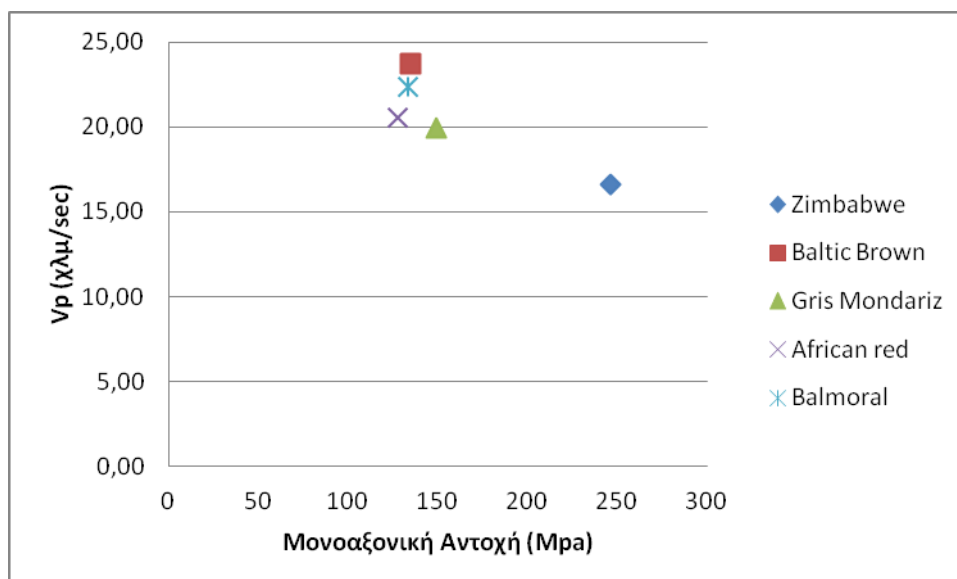
Σχήμα 6. Διάγραμμα Μονοαξονικής Αντοχής υγιών δοκιμών σε συνάρτηση με τη ταχύτητα των επιμήκων κυμάτων V_p .



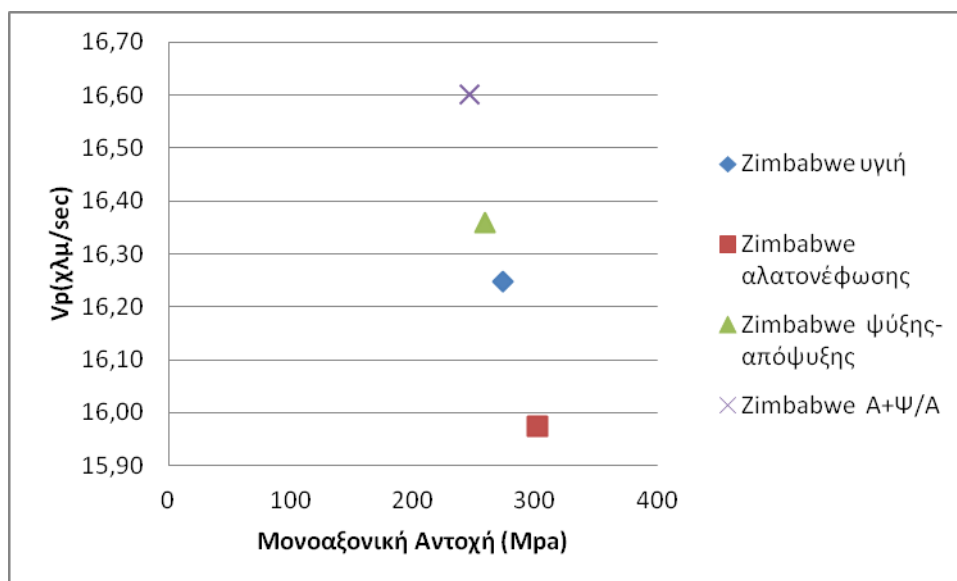
Σχήμα 7. Διάγραμμα Μονοαξονικής Αντοχής δοκιμών μετά τη διαδικασία της Αλατονέφωσης (NaCl 10%) σε συνάρτηση με τη ταχύτητα των επιμήκων κυμάτων V_p .



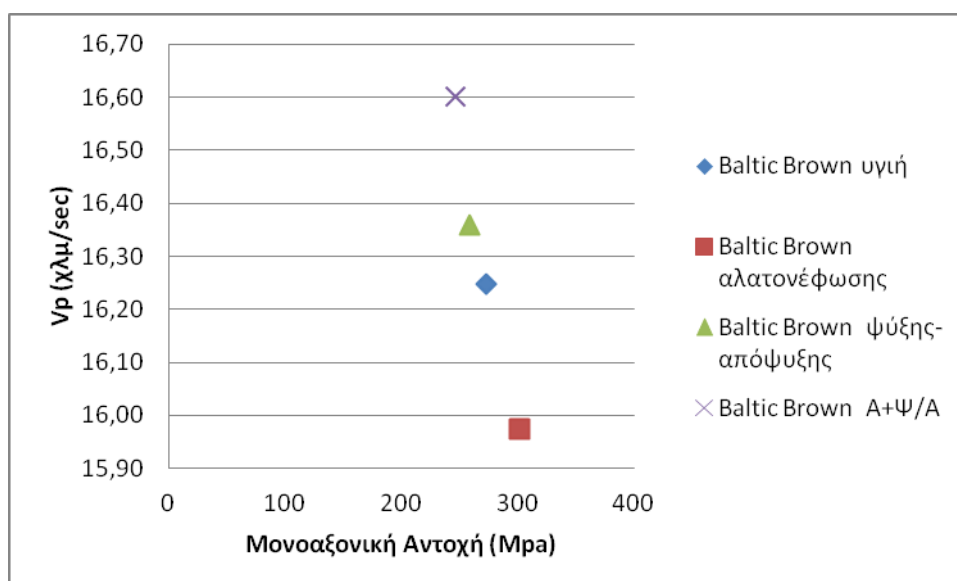
Σχήμα 8. Διάγραμμα Μονοαξονικής Αντοχής δοκιμών μετά τη διαδικασία της Ψύξης-Απόψυξης σε συνάρτηση με τη ταχύτητα των επιμήκων κυμάτων Vp.



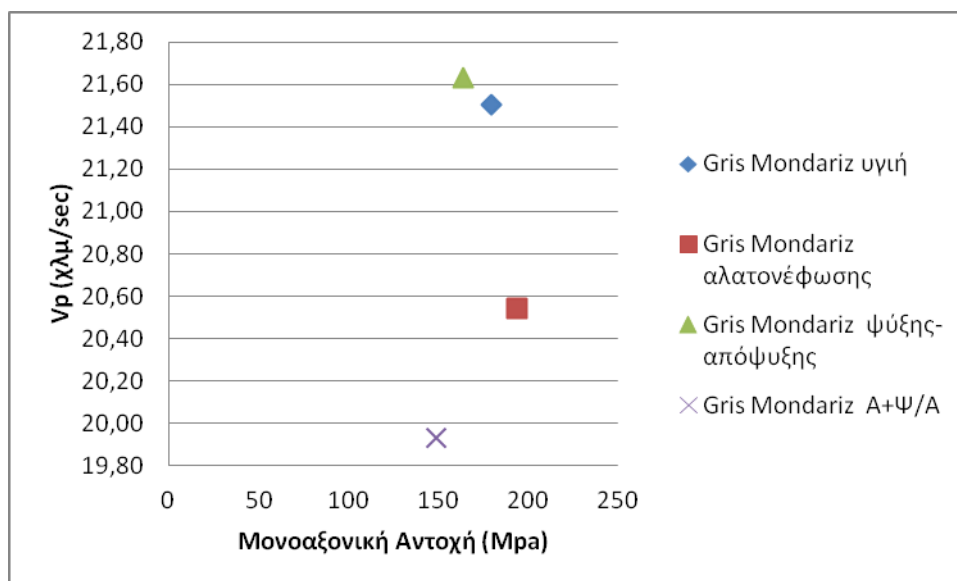
Σχήμα 9. Διάγραμμα Μονοαξονικής Αντοχής δοκιμών μετά τη διαδικασία της Αλατονέφωσης (NaCl 10%) & Ψύξης-Απόψυξης σε συνάρτηση με τη ταχύτητα των επιμήκων κυμάτων Vp.



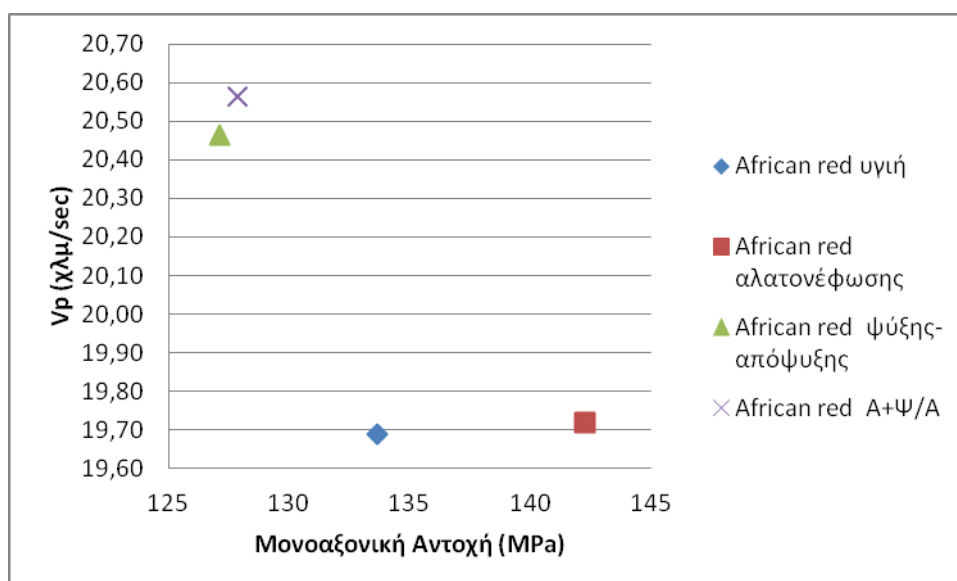
Σχήμα 10. Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων V_p σε συνάρτηση με την μεταβολή της Μονοαξονικής Αντοχής των δοκιμών του δείγματος Zimbabwe μετά από κάθε δοκιμασία.



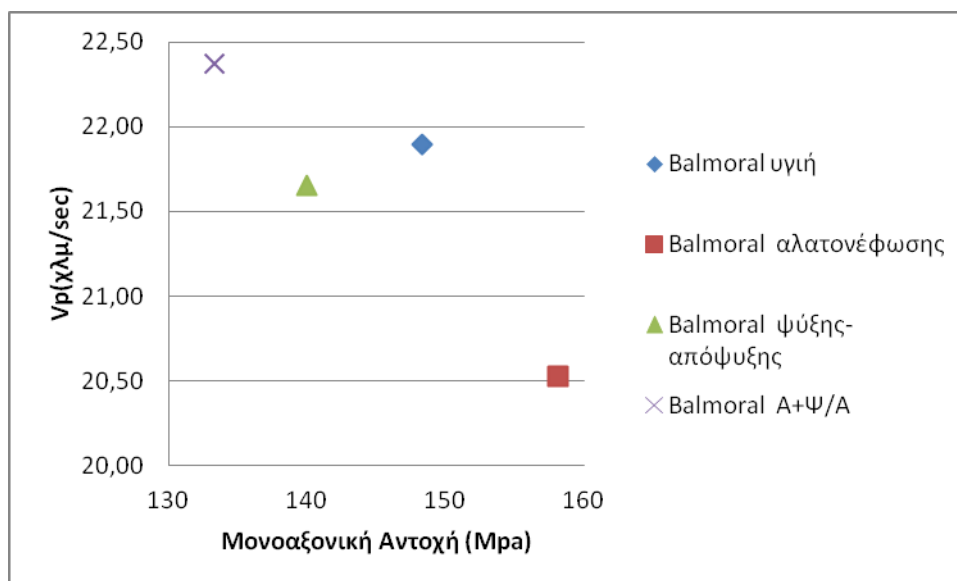
Σχήμα 11. Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων V_p σε συνάρτηση με την μεταβολή της Μονοαξονικής Αντοχής των δοκιμών του δείγματος Baltic Brown μετά από κάθε δοκιμασία.



Σχήμα 12. Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων V_p σε συνάρτηση με την μεταβολή της Μονοαξονικής Αντοχής των δοκιμών του δείγματος Gris Mondariz μετά από κάθε δοκιμασία.



Σχήμα 13. Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων V_p σε συνάρτηση με την μεταβολή της Μονοαξονικής Αντοχής των δοκιμών του δείγματος African Red μετά από κάθε δοκιμασία.



Σχήμα 14. Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων V_p σε συνάρτηση με την μεταβολή της Μονοαξονικής Αντοχής των δοκιμίων του δείγματος Balmoral μετά από κάθε δοκιμασία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- (1) Stefanidou M. & I. Papayianni “Salt accumulation in historic and repair mortars” Heritage, Weathering and Conservation, HWC June (2006) Madrid pp.269-272
- (2) Poldervaart A. and Gilkey ,A.K. 1954. On clouded plagioclase. Amer.Mineral 39:75-91.
- (3) Haapala and Ramo 1999 Rapakivi granites and related rocks :an introduction . Precambrian research 95:1-7
- (4) Xianjun Tan, Weizhong Chen, Jianping Yang, Junjie Cao 2011 ‘Laboratory investigations on the mechanical properties degradation of granite under Freeze-Thaw cycles’. Cold Regions Science and Technology 68:130-138.
- (5) Παυλίδου Σ., Κορωναίος Α. και Χριστοφίδης Γ. 2005 ‘Εισαγόμενα Πλουτωνικά Πετρώματα που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα ως δομικά υλικά : ορυκτολογία , πετρολογία , γεωχημεία και φυσικομηχανικές ιδιότητες’. Ορυκτός πλούτος 135, 37-54.
- (6) Α. Κορωναίος , Σ. Παυλίδου 2003 ‘Τα πυριγενή πετρώματα ως δομικά υλικά : Χαρακτηριστικά και επεξεργασία’. Ημερίδα ‘Αδρανή Πετρώματα και Δομικοί Λίθοι’ 83-106.
- (7) Πινέλη Τ., 2003 ‘Συσχέτιση αποτελεσμάτων δοκιμών υπερηχοσκόπησης, μηχανικών αντοχών και χαρακτηριστικών μικροδομής δομικών λίθων ιστορικών τοιχοποιιών’. Scribd. 19-20, 25.