

# MIMX

ΔΙΜΗΝΙΑΙΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ

ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΙΚΑ  
ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΑ  
ΧΡΟΝΙΚΑ

Τεύχος 68



Πανελλήνιος Σύλλογος  
Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών

Μάρτιος - Ιούνιος



# Η επίδραση της μεταμόρφωσης εξ επαφής στη γεωτεχνική συμπεριφορά των αδρανών υλικών του ασβεστόλιθου Great της Αγγλίας

Κ.Ι. Σαχπάζης

Ο Ασβεστολιθικός σχηματισμός Great του Μπερνίσιου, είναι μια ομοιόμορφη, χαρακτηριστική και σταθερά εμφανιζόμενη γεωλογική ενότητα, μέσου πάχους 15 μέτρων, που υπόκειται στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής Northumberland της Αγγλίας.

Επίσης, σε αρκετές θέσεις, όπως π.χ. στο λατομείο Longhoughton, παρεισδύει η κοίτη Whin sill (Δολερίτης) με τις σχετιζόμενες φλέβες της, μεταξύ των επιπέδων στρώσης του ασβεστόλιθου, προξενώντας έτσι κάποια μεταμορφωτική δράση σε αυτόν.

Επειδή ο ασβεστόλιθος αυτός υπόκειται ευρείας εκμετάλλευσης σε πολλά λατομεία της περιοχής για παραγωγή αδρανών υλικών, η γνώση των ιδιοτήτων του στις διάφορες βαθμίδες μεταμόρφωσης —κυμαινόμενες από αρχικό μη μεταμορφωμένο ασβεστόλιθο έως μάρμαρο— καθώς επίσης και ο τρόπος με τον οποίο η μεταμόρφωση επαφής επηρεάζει και μεταβάλλει τις αρχικές γεωτεχνικές ιδιότητες των αδρανών, είναι υψίστης σημασίας για τους μηχανικούς.

Για το λόγο αυτό, αντιπροσωπευτικά δοκίμια από τέσσερις διαφορετικές βαθμίδες μεταμόρφωσης συλλέχτηκαν και μελετήθηκαν με λεπτομέρεια στο εργαστήριο. Η μελέτη συμπεριέλαβε τον προσδιορισμό των πετρογραφικών και ορυκτολογικών ιδιοτήτων που κυριαρχούν σε κάθε βαθμίδα μεταμόρφωσης, τους δείκτες μορφής των αδρανών υλικών, τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες, καθώς και την αποσαθρωσιμότητά τους σε διάφορα μεγέθη και σχήματα κομματιών αδρανών υλικών.

Η μελέτη τελικά αποκάλυψε, ότι η μεταμόρφωση επαφής, σαν γεωλογικός παράγοντας, επηρεάζει αρνητικά τη γεωτεχνική συμπεριφορά των ασβεστολιθικών αυτών αδρανών υλικών.

Τέλος μια ανασκόπηση των οριακών τιμών καταλληλότητας των αδρανών υλικών, για διάφορους κατασκευαστικούς σκοπούς, όπως έχουν καθοριστεί από μερικούς ερευνητικούς φορείς, καθιστά δυνατό τον προσδιορισμό του βαθμού καταλληλότητας των μελετηθέντων υλικών.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα έρευνα διερευνάται η γεωτεχνική συμπεριφορά των αδρανών υλικών του ασβεστολιθικού σχηματισμού Great, σε σχέση με τις επιδράσεις που προξενούνται από τη δράση της μεταμόρφωσης επαφής.

Διάφοροι συγγραφείς, όπως ο Johnson 1953 και 1958, Westoll, Rodson και Green 1955, Shiells 1961 και Fattohi 1971, έχουν μελετήσει

τον ασβεστολιθικό σχηματισμό Great από την άποψη της λιθολογίας, στρωματογραφίας, πετρογραφίας, παλαιοντολογίας και τεχνικής γεωλογίας του. Η επίδραση όμως της μεταμόρφωσης επαφής επί της γεωτεχνικής συμπεριφοράς των αδρανών υλικών του μελετάται με την παρούσα έρευνα.

Επειδή ο ασβεστόλιθος Great είναι μια ομογενής, σταθερά εμφανιζόμενη και παχιά γεωλογική ενότητα, που υπόκειται στο μεγαλύτερο τμήμα της Northumberland, παίζει κάποιο σημαντικό ρόλο σε πολλά τεχνικά έργα.



Πολλά λατομεία στη γύρω περιοχή εξορύσσουν και εκμεταλλεύονται το υλικό αυτό για μαζική παραγωγή αδρανών υλικών, που καταναλώνονται σε μεγάλες ποσότητες, για μια ποικιλία κατασκευαστικών σκοπών όπως: σκυρόδεμα για διάφορες χρήσεις, οδοποιία καθώς και μεταλλουργικές διεργασίες.

Επιπλέον σε πολλές περιοχές στη Northumberland, όπως π.χ. στο Longhoughton, παρεισδύει η κοίτη Whin sill με τις σχετιζόμενες φλέβες της είτε ανάμεσα υπό τα επίπεδα στρώσης, είτε σε άμεση γειτνίαση του εξορυσσόμενου ασβεστολίθου Great, προξενώντας έτσι μεταμορφωτική δράση σε αυτόν, και επομένως κάποια μεταβολή στις τεχνικογεωλογικές ιδιότητές του.

Επομένως, η γνώση της βασικής τεχνικής συμπεριφοράς και των ιδιοτήτων των αδρανών τους, καθώς και ο βαθμός κατά τον οποίο οι ιδιότητες αυτές έχουν επηρεαστεί με τη μεταμόρφωση, καθιστώντας ενδεχομένως το υλικό ακατάλληλο για τεχνικούς σκοπούς, είναι υψίστης σημασίας για τους μηχανικούς κατασκευής και έπρεπε να διερευνηθεί.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των διαφόρων ιδιοτήτων, θα προσδιορίσει τη γεωτεχνική συμπεριφορά των αδρανών υλικών της κάθε βαθμίδας μεταμόρφωσης, την καταλληλότητά τους για διάφορους κατασκευαστικούς σκοπούς και τέλος τη βαθμιαία επίδραση του αυξανόμενου βαθμού μεταμόρφωσης επαφής επί του υλικού του πετρώματος αυτού.

## 2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Ο μελετητής ασβεστολιθικός σχηματισμός Great είναι το παχύτερο ασβεστολιθικό στρώμα της σειράς Northubrian και η πιο χαρακτηριστική, ομοιόμορφη και σταθερά εμφανιζόμενη ενότητα στο Yoredale της Βόρειας Αγγλίας. Ανήκει στην ευρύτερη σειρά του ασβεστολίθου του κατώτερου λιθανθρακοφόρου (ηλικία Δινάντιο, κατά τον G.A. Lebour, 1878) ο οποίος είναι ένα ίζημα κυρίως θαλάσσιας φάσης, πάχους 1.000 μέτρων.

Ο ασβεστόλιθος Great έχει ένα μέσο κανονικό πάχος 15 μέτρων, του οποίου η απόθεση έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια της βαθμίδας του ανώτερου Μπερνίσιου (κατά G.A.L. Johnson 1958) και εξαπλώνεται από την περιοχή των νότιων Απέννινων μέσω των βορείων Απέννινων έως την περιοχή Northumberland.

Στη Northumberland επικάθεται είτε επί ψαμιτών και σχιστών αργίλων, είτε επί λεπτών στρώσεων άνθρακα με συχνές μαρτυρίες ασυνεχείας. Σε μερικές θέσεις του ασβεστολίθου

αυτού, έχει παρεισδύσει η κοίτη Whin, προξενώντας μεταμορφωτική δράση επαφής στο μητρικό πέτρωμα.

## 3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Με σκοπό τη συλλογή δοκιμίων διαφόρων βαθμίδων μεταμόρφωσης, κυμαινόμενων από πρωτογενή ασβεστόλιθο Great έως μεταμορφωμένο μάρμαρο Great, επιλέχθηκαν δυο λατομεία.

Το ένα λατομείο, του Mootlaw, βρίσκεται σε περιοχή πρωτογενούς ασβεστολίθου Great, χωρίς να έχει επηρεαστεί από οποιοδήποτε τύπο μεταμόρφωσης. Από αυτό το λατομείο έγινε η δειγματοληψία του μη μεταμορφωμένου ασβεστολίθου, βαθμίδας A. Το άλλο λατομείο, του Longhoughton, βρίσκεται στη γεωλογική επαφή μεταξύ του ασβεστολίθου Great και της κοίτης Whin sill, η οποία παρείσδυσε παράλληλα προς τα επίπεδα στρώσης του ασβεστολίθου.

Σαν αποτέλεσμα της παρείσδυσης, στο λατομείο του Longhoughton, προξενήθηκε μεταμορφωτική δράση στο μητρικό πέτρωμα του ασβεστολίθου. Από το λατομείο αυτό έγινε δειγματοληψία τριών διαφορετικών ομάδων δοκιμίων μεταμορφωμένου ασβεστόλιθου, οι οποίες πάρθηκαν από διάφορες αποστάσεις από την επαφή ασβεστολίθου-κοίτης Whin sill. Κάθε ομάδα είναι μεταμορφωμένη σε διαφορετικό βαθμό, ανάλογα με την απόστασή της από την επαφή: όσο πιο κοντά προς την κοίτη, τόσο υψηλότερος είναι και ο βαθμός μεταμόρφωσής της.

Τα δοκίμια που συλλέχθηκαν είναι: 1) Βαθμίδα B: πάρθηκε από απόσταση 5,5-5,75 μέτρων μακριά από την επαφή (βαθμίδα χαμηλής μεταμόρφωσης), 2) Βαθμίδα Γ: πάρθηκε από απόσταση 2,25-2,50 μέτρων (βαθμίδα μέσης μεταμόρφωσης), και 3) Βαθμίδα Δ: πάρθηκε από απόσταση 0,25-0,50 μέτρων (βαθμίδα υψηλής μεταμόρφωσης). Στο σχήμα 1 φαίνεται το μέτωπο του λατομείου Longhoughton, καθώς επίσης και οι θέσεις που έγινε η δειγματοληψία.

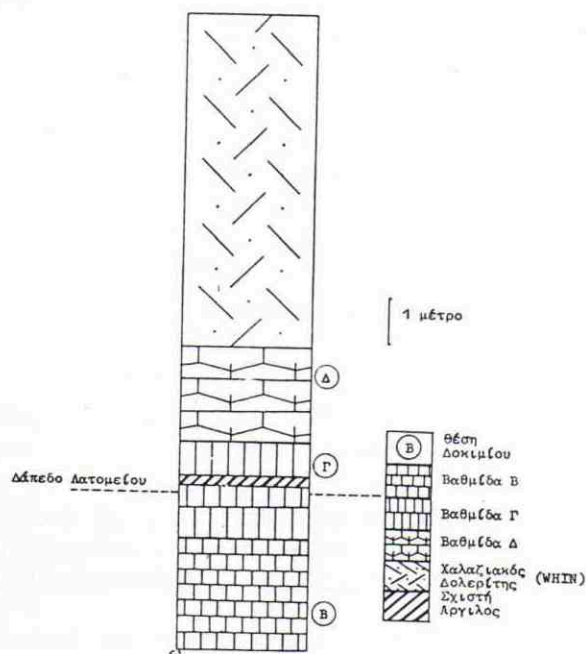
Επομένως, πάρθηκαν συνολικά τέσσερις διαφορετικές βαθμίδες μεταμόρφωσης κυμαινόμενες — με σειρά αυξανόμενου βαθμού μεταμόρφωσης — από τη βαθμίδα A, B, Γ και Δ: η A αντιπροσωπεύει τον πρωτογενή ασβεστόλιθο και η Δ το μάρμαρο. Η σειρά αυτή ονομάζεται «προοδευτική μεταμορφωσιγενής αλληλουχία».

## 4. ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ

Για τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύνθεσης, της υφής και του ιστού, του μεγέθους των ορυκτών κόκκων, της αμοιβαίας σχέσης



μεταξύ του ασβεστίτη και των άλλων ορυκτών, καθώς και της επίδρασης της μεταμορφωτικής δράσης επί των πετρογραφικών ιδιοτήτων, χρησιμοποιήθηκε ένα πετρογραφικό πολωτικό μικροσκόπιο και λεπτές τομές. Κατασκευάστηκαν τρεις λεπτές τομές σε κάθε βαθμίδα μεταμόρφωσης – η κάθε λεπτή τομή αντιπροσωπεύει ένα ορθογώνιο άξονα στη μάζα του πετρώματος – και παρατηρήθηκαν τα εξής:



Σχ. 1: Τομή του μετώπου του λατομείου LONGHOUGH-TON, δείχνοντας τη γεωλογική αλληλουχία και τις θέσεις δειγματοληψίας.

Fig. 1: Section of the LONGHOUGHTON Quarry Face showing geological succession and sample localities.

**Βαθμίδα Α:** Αποτελείται από θραύσματα οστράκων (40 μικρά έως 40mm) που σχηματίζουν το σκελετό του πετρώματος και τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με μικριτικό συνδετικό υλικό. Τα σκελετικά αυτά θραύσματα ονομάζονται αλλοχημικά και αποτελούνται κυρίως από τριματοφόρα, βρυόζωα, κρινοειδή, κοράλια, θραύσματα απολιθωμάτων και μερικούς πελίτες. Σύμφωνα με τη μέθοδο ονοματολογίας των ασβεστολίθων του Folk (1959-1962-1965), η βαθμίδα αυτή ονομάζεται «Διασκορπισμένος Βιομικρίτης».

Επίσης παρατηρούνται λίγοι υποεδρικοί έως ολοεδρικοί κρύσταλλοι σιδηρούχου δολομίτη. Τέλος δεν υπάρχουν ενώσεις ή συστατικά οι οποίες θα μπορούσαν να αντιδράσουν καταστροφικά με την σιμεντούχα πάστα.

**Βαθμίδα Β:** Οι ελαφρές επιδράσεις της μεταμόρφωσης επαφής μπορούν να παρατηρηθούν τόσο στον μικροϊστό όσο και στην ορυκτολογική σύνθεση. Η βαθμίδα αυτή αποτελείται από θραύσματα οστράκων που σχηματίζουν το σκελετό (διασκορπισμένα αλλοχημικά) τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με μικροσπαριτικό συνδετικό υλικό (5 μικρά έως 15 μικρά και σπάνια έως 30 μικρά) που δημιουργήθηκε από την ανακρυστάλλωση του μικρίτη. Μόνο τα μεγαλύτερα θραύσματα των οστράκων μπορούν ακόμα να αναγνωρισθούν εύκολα στη βαθμίδα αυτή, ενώ τα υπόλοιπα από αυτά έχουν χάσει τη μορφή τους λόγω της αρχόμενης ανακρυστάλλωσης. Η βαθμίδα αυτή σύμφωνα με την ονοματολογία του Folk, ονομάζεται «Διασκορπισμένος Βιομικροσπαρίτης». Τα ορυκτά που προσδιορίστηκαν είναι κυρίως ασβεστίτης, επίσης λίγος διοψίδιος, ουωλοστονίτης ( $\text{CaSiO}_3$ ), οξείδια του σιδήρου και μερικοί διασκορπισμένοι κρύσταλλοι δολομίτη. Επιβλαβείς για το τσιμέντο ουσίες δεν υφίστανται.

**Βαθμίδα Γ:** Οι επιδράσεις της αναक्रυστάλλωσης επί της υψής και του ιστού του πετρώματος είναι πιο εμφανείς εδώ, δείχνοντας καθαρά τη μετατροπή των αρχικών μικριτικών και σπαριτικών κόκκων του ασβεστίτη, σε κόκκους μεγαλύτερου μεγέθους (φαινόμενο γνωστό σαν «ανάπτυξη κρυστάλλων»). Η βαθμίδα αυτή καλείται «ψευδοσπαρίτης». Σχεδόν όλα τα αλλοχημικά συστατικά εδώ έχουν εξαλλοιωθεί ή εξαληφθεί.

Παρατηρήθηκαν μερικοί υποεδρικοί έως ολοεδρικοί κρύσταλλοι δολομίτη που σχηματίζουν εδώ κάποιο μεγαλύτερο ποσοστό από προηγούμενως. Επίσης, προσδιορίστηκαν λίγοι κρύσταλλοι διοψιδίου, ουλωστονίτη και οξειδίων του σιδήρου.

**Βαθμίδα Δ:** Όλοι οι κρύσταλλοι στη βαθμίδα αυτή έχουν ανακρυσταλλωθεί ολοκληρωτικά και αναπτυχθεί δίνοντας αδρώτερη υφή. Το μέσο μέγεθος των κρυστάλλων είναι περίπου 1mm και το πέτρωμα ονομάζεται «Αρενώδες μάρμαρο». Τα κύρια ορυκτολογικά χαρακτηριστικά είναι ασβεστίτης και 10% δολομίτης. Επίσης προσδιορίστηκαν μικρές ποσότητες διοσιδίου και ουωλοστονίτη. Στη σύνθεση δεν υφίστανται καταστροφικές για το τσιμέντο ουσίες.

## 5. ΔΟΚΙΜΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Τα δοκίμια των τεσσάρων διαφορετικών ομάδων τεμαχίστηκαν, παρασκευάστηκαν από αυτά λεπτές τομές, θραύστηκαν, σε θραυστήρα με σιαγόνες, σε αδρανή υλικά και κοσκινίστηκαν

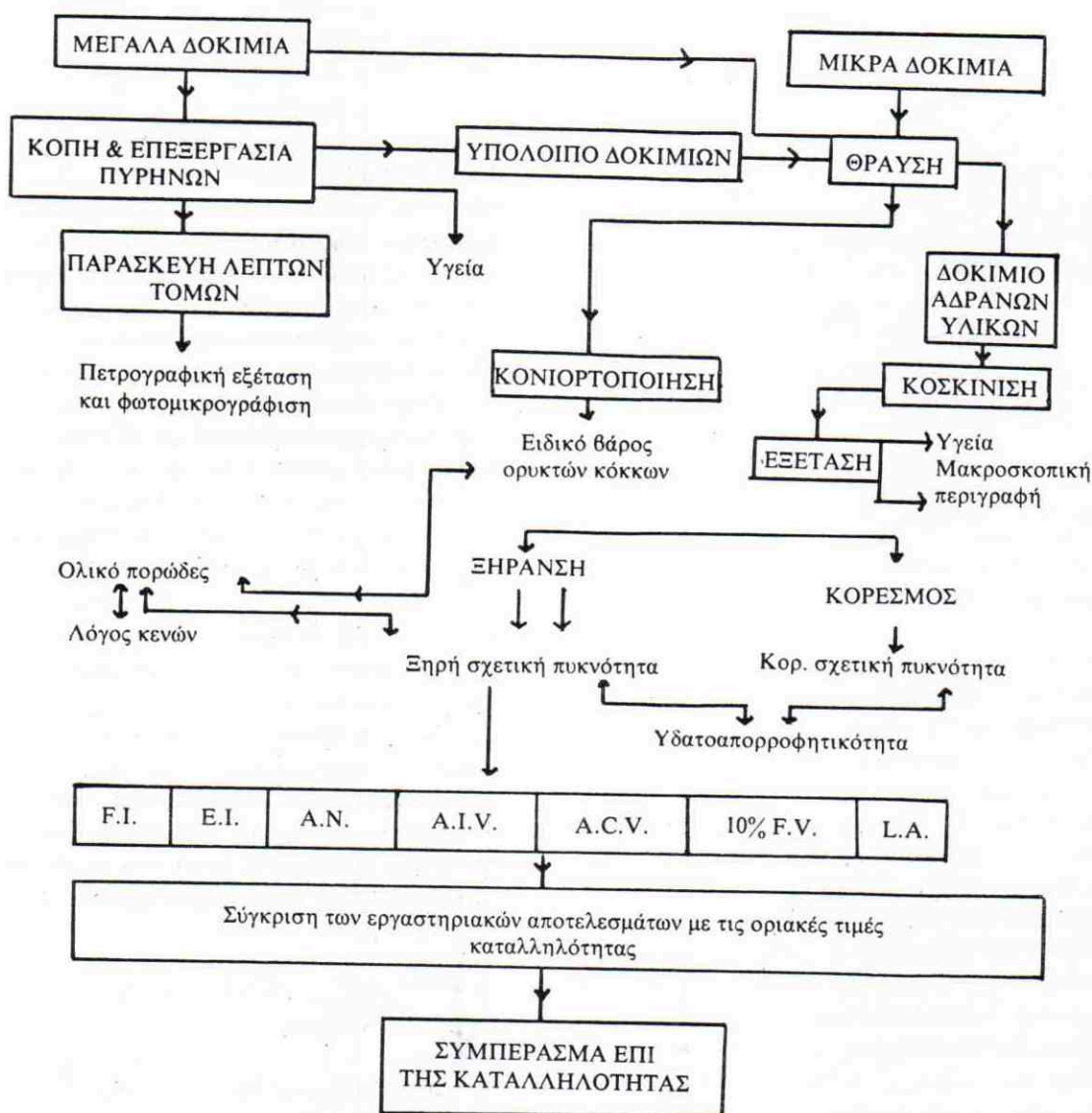


χρησιμοποιώντας πρότυπα κόσκινα A.S.T.M. με τετράγωνους βρόγχους μεγέθους 10mm έως 14mm.

Επί αυτών εκτελέστηκαν διάφορες εργαστηριακές δοκιμές. Οι δοκιμές αυτές περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό του δείκτη επιμήκυνσης, του δείκτη πλάτυνσης, του δείκτη γωνιώδους, του ειδικού βάρους των ορυκτών κόκκων, της ξηρής και κορεσμένης σχετικής πυκνότητας, του ολικού πορώδους, της υδατοαπορροφητικότητας, του δείκτη αντοχής σε πρόσκρουση αδρανών,

του δείκτη συντριβής αδρανών, του δείκτη συντριβής λεπτόκοκκων 10% αδρανών, του συντελεστή Los Angeles και της τιμής υγείας των αδρανών. Οι ιδιότητες αυτές είναι απαραίτητες ώστε να προβλεφθεί και να προσδιοριστεί η καταλληλότητα και η ανθεκτικότητα των αδρανών υλικών για μια ποικιλία κατασκευαστικών σκοπών. Κάθε δοκιμή εκτελέστηκε τρεις φορές και υπολογίστηκε η μέση τιμή τους.

Το διάγραμμα ροής της εργαστηριακής πορείας φαίνεται στο σχήμα 2.



Σχ. 2: Διάγραμμα ροής της εργαστηριακής εξέτασης.

Fig. 2: Flow Chart of Testing Procedure.



## 5.1. Μακροσκοπική περιγραφή των αδρανών υλικών

Τα εξετασθέντα αδρανή υλικά παρουσιάζουν την ακόλουθη μακροσκοπική εικόνα (σύμφωνα με τον προταθέντα τρόπο περιγραφής στο B.S.: 5930:1981, § 44.2 και B.S.: 812:1975).

**Βαθμίδα Α:** «Χρώμα σκούρο πρασινογκρί, ιστός πολύ λεπτόκοκκος, υφή συμπαγής, υγιής, σχηματίζοντας μια τραχεία και ανώμαλη θραυστιγενή επιφάνεια, γωνιωδών αδρανών υλικών ασβεστόλιθου».

**Βαθμίδα Β:** «Χρώμα σκούρο γκρι, ιστός πολύ λεπτόκοκκος έως λεπτόκοκκος, υφή συμπαγής, υγιής, σχηματίζοντας μια τραχεία και ανώμαλη θραυστιγενή επιφάνεια, γωνιωδών αδρανών υλικών ασβεστόλιθου ελαφρά μεταμορφωμένου».

**Βαθμίδα Γ:** «Χρώμα σκούρο γαλαζογκρί, ιστός λεπτόκοκκος ολοκρυσταλλικός, υφή συμπαγής, υγιής, σχηματίζοντας μια τραχεία και ανώμαλη θραυστιγενή επιφάνεια, γωνιωδών αδρανών υλικών ασβεστόλιθου έντονα μεταμορφωμένου και μερικά ανακρυσταλλωμένου».

**Βαθμίδα Δ:** «Χρώμα ανοικτό γαλαζογκρί, ιστός μεσόκοκκος ολοκρυσταλλικός, υφή συμπαγής, υγιής, σχηματίζοντας τραχεία και ανώμαλη θραυστιγενή επιφάνεια, γωνιωδών αδρανών υλικών μεταμορφωμένου και εντελώς ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου ή μαρμάρου».

## 5.2. Δοκιμές προσδιορισμού δεικτών μορφής

Οι δοκιμές αυτές περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό των δεικτών πλάτυνσης (flakiness index), επιμήκυνσης (elongation index) και γωνιώδους (angularity number) των τεμαχίων των αδρανών υλικών και καθορίζουν τη μέση γενική μορφή των ψηφίδων η οποία με τη σειρά της επηρεάζει την ευκολία επεξεργασίας του μίγματος, την προκύπτουσα σταθερότητα και αντοχή του, την αναλογία των αδρανών υλικών σε σχέση με το συνδετικό υλικό, π.χ. το τσιμέντο, ή ασφαλτο κ.λπ. Πριν από τις δοκιμές τα αδρανή υλικά πλύθηκαν και ξηράνθηκαν στο φούρνο ώστε να απομακρυνθούν τα καταστροφικά λεπτομερή προσκολλημένα υλικά από την επιφάνεια των δοκιμίων. Οι προσδιορισμοί εκτελέστηκαν σύμφωνα με το B.S.: 812:part 1:1975 σε ψηφίδες μεγέθους 10 έως 14mm, εκτός εάν αναφέρονται διαφορετικά.

### 5.2.1. Δείκτης Πλάτυνσης (F.I.)

Σαν δείκτης πλάτυνσης των αδρανών υλικών ορίζεται ο λόγος της μάζας των πεπλατυσμένων

ψηφίδων ( $M_3$ ), των οποίων το πάχος (μικρότερη διάσταση) είναι μικρότερο από 7,2mm, προς τη μάζα της ολικής ποσότητας αδρανούς υλικού του δείγματος ( $M_2$ ), που χρησιμοποιήθηκε στη δοκιμή εκφρασμένος επί τοις εκατό. Έτσι:

$$F.I. = \frac{M_3 \times 100}{M_2}$$

Αύξηση του δείκτη πλάτυνσης μειώνει την καταλληλότητα των αδρανών υλικών, γιατί μειώνεται η ευκολία ανάμιξης και επεξεργασίας του μίγματος καθώς και η αντοχή και σταθερότητά του.

### 5.2.2. Δείκτης Επιμήκυνσης (E.I.)

Σαν δείκτης επιμήκυνσης των αδρανών υλικών ορίζεται ο λόγος της μάζας των επιμήκων ψηφίδων ( $M_3$ ), των οποίων το μήκος (μεγαλύτερη διάσταση) είναι μεγαλύτερο από 21,6mm, προς τη μάζα της ολικής ποσότητας αδρανούς υλικού ( $M_2$ ), που χρησιμοποιήθηκε στη δοκιμή, εκφρασμένος επί τοις εκατό. Έτσι:

$$E.I. = \frac{M_3 \times 100}{M_2}$$

Υψηλή τιμή του δείκτη επιμήκυνσης μειώνει την τελική ποιότητα του μίγματος, για τους λόγους που αναφέρθηκαν και στην περίπτωση των πεπλατυσμένων ψηφίδων.

### 5.2.3. Δείκτης Γωνιώδους (A.N.)

Ο δείκτης γωνιώδους προσδιορίζεται από την αναλογία των κενών που δημιουργούνται μεταξύ των ψηφίδων ενός δοκιμίου αδρανών υλικών αφού αυτό έχει συμπυκνωθεί σύμφωνα με κάποιο προκαθορισμένο τρόπο. Ο δείκτης αυτός εκφράζει το κατά πόσο τα τεμάχια του μελετηθέντος αδρανούς υλικού είναι αποστρογγυλεμένα ή έχουν ακανόνιστη και γωνιώδη μορφή. Η ιδιότητα αυτή χρησιμοποιείται κυρίως στον καθορισμό της αναλογίας μεταξύ των αδρανών και του συνδετικού υλικού στη σύνθεση του μίγματος και στην έρευνα γενικότερα.

Το γωνιώδες των ψηφίδων ενός αδρανούς υλικού είναι μια σημαντική ιδιότητα επειδή επηρεάζει την ευκολία ανάμιξης και επεξεργασίας του μίγματος των αδρανών υλικών και του συνδετικού υλικού κατά την παρασκευή σιμεντούχου ή ασφαλτικού σκυροδέματος, τη σταθερότητα και αντοχή των μιγμάτων η οποία βασίζεται στο βαθμό της αλληλοεμπλοκής των ψηφίδων, καθώς και στο παραγόμενο Βάθος Επιφανειακής Μακροτραχύτητας (B.E.M.) του τάπητα κύλισης των οδοστρωμάτων. Τα εργαστηριακά αποτελέ-



σματα των δοκιμών αυτών φαίνονται στον πίνακα 1.

#### 5.2.4. Συζήτηση επί των αποτελεσμάτων των δεικτών μορφής

Ο πίνακας 1 συνοψίζει τα αποτελέσματα:

Πίνακας 1.

Βαθμίδα Πετρώματος	Δείκτης Πλάτυνσης (F.I.)	Δείκτης Επιμήκυνσης (E.I.)	Δείκτης Γωνιώδους (A.N.)
A	16,7	31,8	8,0
B	16,6	30,0	7,7
Γ	19,2	28,4	5,3
Δ	18,9	27,8	6,8

Σύμφωνα με τα πιο πάνω αναφερθέντα αποτελέσματα, είναι δύσκολο να εξαχθεί κάποια σταθερή σχέση μεταξύ της μορφής των αδρανών υλικών και του βαθμού μεταμόρφωσης, επειδή η μορφή και επιφανειακή υφή των ψηφίδων υπαγορεύεται, σε κάποιο βαθμό, όχι μόνο από τη φύση και τις εσωτερικές ιδιότητες του υλικού, αλλά επίσης από τις μικρορωγμές και άλλα στρωσιγενή και ελασματοειδή χαρακτηριστικά τα οποία παρουσιάζονται ιδιαίτερα στα ιζηματογενή πετρώματα. Επιπλέον, η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τη θραύση των αδρανών υλικών, έχει συνήθως μεγαλύτερη επίδραση επί της μορφής σε σχέση με τη σύνθεση και την κατάσταση εξαλλοίωσης των υλικών. Παρόλα αυτά όμως, μπορεί να παρατηρηθεί κάποια γενική τάση στο δείκτη πλάτυνσης, να αυξάνεται με την πρόοδο του βαθμού μεταμόρφωσης ενώ στον δείκτη επιμήκυνσης και δείκτη γωνιώδους αντίθετα να μειώνεται.

Γενικά, θεωρείται ότι πεπλατυσμένες ψηφίδες είναι ανεπιθύμητες στα μίγματα, επειδή τείνουν να θραύονται σε μικρότερα τεμάχια όταν κυλινδρώνονται σε μια βάση οδοστρώματος και επειδή επίσης δίνουν χαμηλότερης σταθερότητας σκυρόδεμα. Οι δείκτες επιμήκυνσης και γωνιώδους έχουν επίσης σπουδαίες επιδράσεις στην ανάμιξη, διάστρωση, σύνθεση και σταθερότητα των αδρανών υλικών στα οδοστρώματα και στο μπετόν.

Τα πιο πάνω χαρακτηριστικά του πετρώματος, όσον αφορά τους δείκτες μορφής είναι σημαντικά για την ανθεκτικότητα και αντοχή

του μπετόν καθώς και στην τιμή του Συντελεστή Αντίστασης σε Ολίσθηση, των εύκαμπτων ταπήτων κύλισης και οδοστρωμάτων. Ο Czurgyszkiewicz (1973), κατά τις έρευνές του, σχετικά με την επίδραση της μορφής των αδρανών υλικών επί της αντοχής του μπετόν, διαπίστωσε ότι μπετόν κατασκευασμένο με κυβικές ψηφίδες είχε μια θλιπτική αντοχή περίπου  $6-8\text{N/mm}^2$  μεγαλύτερη από εκείνο που παρασκευάστηκε με επιμήκεις και πεπλατυσμένες ψηφίδες. Επίσης ο M. Herrin και W.H. Goetz (1954) και W.H. Compren και J.R. Smith (1948), μελέτησαν την επίδραση του βαθμού γωνιώδους των αδρανών υλικών επί της σταθερότητας των ασφαλτομιγμάτων. Αδρανή υλικά μορφής κυμαινόμενης από αποστρογγυλευμένης έως άκρως γωνιώδους, διαπιστώθηκε ότι επιφέρουν σημαντικές μεταβολές στη σταθερότητα των ασφαλτομιγμάτων. Αυτοί συμπέραναν ότι όσο πιο αποστρογγυλευμένες ήταν οι ψηφίδες του χονδρόκοκκου κλάσματος των αδρανών υλικών, τόσο χαμηλότερη ήταν και η παραγόμενη σταθερότητα. Ο πίνακας 4 πιο κάτω εκθέτει τις αντίστοιχες οριακές τιμές καταλληλότητας των δεικτών μορφής.

#### 5.3. Μηχανικές ιδιότητες των αδρανών υλικών

Οι ιδιότητες αυτές προσδιορίζουν τη μηχανική συμπεριφορά των αδρανών υλικών κάτω από συνθήκες στατικής ή δυναμικής καταπόνησής τους και είναι οι ακόλουθες:

- α) Δείκτης Αντοχής σε Πρόσκρουση Αδρανών (A.I.V.) (Aggregate Impact Value).
- β) Δείκτης Συντριβής Αδρανών (A.C.V.) (Aggregate Crushing Value).
- γ) Δείκτης Συντριβής Λεπτοκόκκων 10% Αδρανών (10% F.V.) (10% Fines Aggregate Crushing Value).
- δ) Αντοχή σε Τριβή και Κρούση Αδρανών κατά Los Angeles (L.A.).

Οι δοκιμές εκτελέστηκαν σύμφωνα με τις προδιαγραφές B.S.: 812:part 3:1975.

- α) Προσδιορισμός του Δείκτη Αντοχής σε Πρόσκρουση Αδρανών (A.I.V.)

Ο δείκτης αυτός δίνει ένα σχετικό μέτρο της αντοχής ενός αδρανούς υλικού σε μια ξαφνική πρόσκρουση ή δυναμική φόρτιση, το οποίο σε μερικά αδρανή υλικά διαφέρει από την αντοχή τους σε κάποιο αργά και σταθερά επιβαλλόμενο θλιπτικό φορτίο (στατική φόρτιση).

Η δοκιμή αυτή εκτελείται σε αδρανή υλικά μεγέθους 10-14mm. Ο Δείκτης A.I.V. ορίζεται σαν το λόγο της μάζας του θραυσθέντος κλάσματος (B), που περνά το κόσκινο B.S. No. 7 προς την ολική μάζα (A) του εξετασθέντος δοκιμίου



και εκφράζεται επί τοις εκατό, ως ακολούθως:

$$A.I.V. = \frac{B}{A} \times 100$$

β) Προσδιορισμός του Δείκτη Συντριβής Αδρανών (A.C.V.)

Ο δείκτης A.C.V. δίνει ένα σχετικό μέτρο της αντοχής του αδρανούς υλικού σε ένα θλιπτικό φορτίο το οποίο εφαρμόζεται αργά και σταθερά, έτσι ώστε επιβάλλεται τελικά ένα ολικό φορτίο 40 τόννων σε χρονικό διάστημα 10 λεπτών. Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$A.C.V. = \frac{B}{A} \times 100$$

A=Το ολικό βάρος του εξετασθέντος δοκιμίου, και B=το βάρος του θραυσθέντος κλάσματος που περνά το κόσκινο B.S. No. 7.

γ) Προσδιορισμός του Δείκτη Συντριβής Λεπτοκόκκων 10% Αδρανών (10% F.V.)

Ο δείκτης αυτός δίνει επίσης ένα μέτρο της αντίστασης του αδρανούς υλικού σε ένα θλιπτικό φορτίο που εφαρμόζεται αργά και σταθερά. Η δοκιμή αυτή βασίζεται στις ίδιες αρχές με την προηγούμενη, αλλά επιπλέον είναι κατάλληλη τόσο για ισχυρά όσο και για ασθενή αδρανή υλικά· ενώ η προηγούμενη είναι ακατάλληλη για ασθενή υλικά με A.C.V. μικρότερο από 30%.

Μια δύναμη (χ), σε τόννους, εφαρμόζεται με σταθερό ρυθμό ώστε να προξενηθεί τελικά μια ολική διεύθυνση της πλάκας φόρτισης της τάξης των 20mm σε χρονικό διάστημα 10 λεπτών.

Το μέσο ποσοστό των λεπτοκόκκων (Υ), που παράγεται μετά την συντριβή, υπολογίζεται με τον ακόλουθο τρόπο:

$$Y = \frac{B}{A} \times 100$$

A=Το ολικό βάρος του εξετασθέντος δοκιμίου, και B=το βάρος του θραυσθέντος κλάσματος, που περνά το κόσκινο B.S. No. 7.

Τέλος ο δείκτης 10% F.V. είναι:

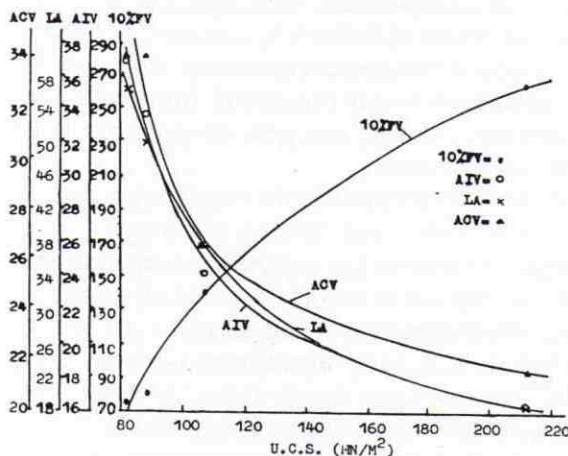
$$10\% F.V. = \frac{14\chi}{Y+4}$$

δ) Προσδιορισμός της Αντοχής σε Τριβή και Κρούση Αδρανών κατά Los Angeles (L.A.)

Η σκληρότητα και αντοχή στη φθορά από απότριψη ενός πετρώματος εξαρτάται από το είδος και την ποιότητα των διαφόρων συνιστώντων ορυκτών του, καθώς και από την αντοχή του δεσμού που υφίσταται μεταξύ των ορυκτών αυτών κόκκων ή κρυστάλλων.

Αυτές οι ιδιότητες μπορούν έμμεσα να προ-

διοριστούν ποσοτικά χρησιμοποιώντας τη δοκιμή Los Angeles, όπως προτείνεται από την I.S.R.M.: Suggested Methods. Κατά τη δοκιμή αυτή στην παρούσα έρευνα, επιλέχθηκαν μεγέθη ψηφίδων της διαβάθμισης C.



Σχ. 3: Συσχετισμός μεταξύ των μηχανικών ιδιοτήτων.

Fig. 3: Correlation of Mechanical Properties.

5.3.1. Συζήτηση των αποτελεσμάτων των μηχανικών ιδιοτήτων

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μηχανικών ιδιοτήτων των τεσσάρων βαθμίδων μεταμόρφωσης του ασβεστολίθου Great.

Πίνακας 2.

Βαθμίδα Πετρώμ.	U.C.S.* MN/M <sup>2</sup>	A.I.V. %	A.C.V. %	10% F.V. KN	L.A. %
A	211,2	16,9	21,5	270	20,4
B	106,1	24,1	26,3	140	37,9
Γ	81,3	36,7	33,8	75	55,3
Δ	87,8	31,5	34,0	80	49,2

\* U.C.S.=Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη. Τα αποτελέσματα της U.C.S. της κάθε βαθμίδας μεταμόρφωσης προσδιορίστηκαν από τον ίδιο συγγραφέα σε μια άλλη έρευνα και παρουσιάζονται σε υπό δημοσίευση δελτίο του Κ.Ε.Δ.Ε. Εδώ απλώς επαναλαμβάνονται για λόγους σύγκρισης και συσχετισμού.



Όπως φαίνεται, η μεταμόρφωση επιφέρει σημαντικές μεταβολές επί των μηχανικών ιδιοτήτων των αδρανών υλικών του ασβεστολίθου Great, καθιστώντας τα, από γεωτεχνική άποψη, κατώτερα υλικά. Με άλλα λόγια, τα αποτελέσματα των μηχανικών ιδιοτήτων επηρεάζονται σημαντικά από το βαθμό της ανακρυστάλλωσης, τα ορυκτολογικά χαρακτηριστικά και από άλλα πετρογραφικά χαρακτηριστικά του υλικού του πετρώματος, καθώς και από το πορώδες όπως φαίνεται πιο κάτω.

Επίσης, οι μηχανικές ιδιότητες των αδρανών υλικών δείχνουν μια συνεπή συμφωνία με την αντοχή του υλικού του πετρώματος, όπως συμπεραίνεται από τη σύγκριση της U.C.S. με τα πιο πάνω αποτελέσματα. Όσο πιο υψηλή είναι η αντοχή U.C.S. του πετρώματος αυτού, τόσο καλύτερες είναι και οι μηχανικές ιδιότητες των αδρανών του. Στο σχήμα 3 παριστάνεται διαγραμματικά ο συσχετισμός μεταξύ της αντοχής U.C.S. της κάθε βαθμίδας μεταμόρφωσης και των A.I.V., A.C.V., 10% F.V. και L.A. αντίστοιχα.

Όπως θα αποδειχτεί πιο κάτω, όταν η υδατοαπορροφητικότητα και το πορώδες του πετρώματος αυξάνουν, τότε οι μηχανικές ιδιότητες των αδρανών υλικών του υποβιβάζονται. Όταν συγκρίνεται η βαθμίδα μεταμόρφωσης Γ με τη Δ, προκύπτει ότι αν και η βαθμίδα Δ είναι μεταμορφωμένη σε υψηλότερο βαθμό από τη Γ, οι μηχανικές ιδιότητές της είναι ανώτερες από αυτές της Γ. Το γεγονός αυτό θεωρείται ότι οφείλεται στο υψηλότερο πορώδες της βαθμίδας Γ, που ως γνωστό επιδρά αρνητικά στις μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων.

#### 5.4. Φυσικές ιδιότητες των αδρανών υλικών

Οι φυσικές ιδιότητες που προσδιορίστηκαν στις τέσσερις βαθμίδες μεταμόρφωσης του ασβεστολίθου είναι οι ακόλουθες:

- Ξηρή σχετική πυκνότητα.
- Κορεσμένη σχετική πυκνότητα.
- Ειδικό βάρος ορυκτών κόκκων.
- Ολικό πορώδες, και
- Υδατοαπορροφητικότητα.

Οι ιδιότητες αυτές προσδιορίστηκαν σύμφωνα με τα πρότυπα: B.S.: 812:part 2:1975 και B.S.: 1377:April 1975. Στον πίνακα 3 παραθέτονται τα αποτελέσματα.

Είναι επομένως φανερό ότι η μεταμόρφωση αυξάνει τις σχετικές πυκνότητες και το ειδικό βάρος των ορυκτών κόκκων. Παρόλα αυτά όμως, τα αποτελέσματα του ολικού πορώδους είναι κάπως ανώμαλα. Αν και είναι προφανής κάποια

**Πίνακας 3.**

Βαθμίδα Πετρώμ.	Ξηρή σχετ. πυκνότητα	Κορ. σχετ. πυκνότητα	Ειδ. Βάρος ορ. κόκκων	Ολικό Πο- ρώδες %	Υδατοαπορ- ροφητ. %
A	2,605	2,609	2,632	0,94	0,153
B	2,658	2,677	2,688	1,06	0,320
Γ	2,664	2,679	2,703	1,57	0,544
Δ	2,700	2,706	2,719	0,98	0,223

τάση του ολικού πορώδους να αυξάνεται με τη μεταμόρφωση, αυτή η τάση δεν διατηρείται σταθερή στην περίπτωση της ολοκληρωτικά μεταμορφωμένης βαθμίδας Δ (μάρμαρο), δίνοντας μια οξεία μείωση στο πορώδες. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην προκύπτουσα εγγύτερη διάταξη των κρυστάλλων λόγω της ολικής αναδιάταξης και ανάπτυξής τους, που οφείλεται στην ολοκληρωτική ανακρυστάλλωση.

#### 6. ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ

Έχοντας ήδη παραθέσει τις πετρογραφικές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες, καθώς και τους δείκτες μορφής των τεσσάρων μελετηθέντων βαθμίδων μεταμόρφωσης του ασβεστολίθου Great, μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των βρετανικών (B.S.) και αμερικάνικων (A.S.T.M.) προτύπων και προδιαγραφών καθώς και άλλων ερευνητικών φορέων – τέτοιων όπως: 1. Higginbottom I.E. (1976), 2. Reynolds C.E. (1950), 3. Hosking J.R. και Tubey L.W. (1969), 4. Anon. (1969), και 5. Hosking J.R. (1970) – έδωσε μερικές τιμές – οδηγούς των οριακών τιμών καταλληλότητας για τις διάφορες δοκιμές που εκτελούνται με σκοπό την αξιολόγηση και προσδιορισμό της καταλληλότητας των αδρανών υλικών για τους διάφορους κατασκευαστικούς σκοπούς.

Ο ακόλουθος πίνακας (4) συνοψίζει όλες αυτές τις οριακές τιμές καταλληλότητας. Κατ' αυτό τον τρόπο, είναι δυνατό να προσδιοριστεί η καταλληλότητα και υγεία, των τεσσάρων βαθμίδων του ασβεστολίθου Great, για διάφορους σκοπούς, συγκρίνοντας τα πιο πάνω αποτελέσματά τους με τις οριακές αυτές τιμές καταλληλότητας.

#### 7. ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ

**Δοκιμή υγείας σε αδρανή υλικά και σε πυρήνες πετρώματος με χρήση θειικού νατρίου**

Η δοκιμή αυτή εκτελέστηκε τόσο σε δοκίμια αδρανών υλικών μεγέθους 10-14mm, όσο και σε



**Πίνακας 4.**

Χρήση	Δοκιμή	Οριακή Τιμή Καταλληλότητας	Φορέας
Σ.Ο.	Πυκνότητα	>2.6 gr/cm <sup>3</sup>	1
Σ.Ο.	Υδατοαπορροφητικότητα	<3%	1
Σ.	Αντοχή σε μονο- αξονική θλίψη	>34,5 MN/m <sup>2</sup>	2
Σ.Ο.	Δείκτης Αντοχής σε Πρόσκρουση		
	Αδρανών	≤45% Σ και ≤30% Ο	BS:882:1973
Ο.	Δείκτης Φθοράς σε Απότριψη Αδρανών	<10% για δύσκολες συνθήκες, και <12% για ενδιάμεσες συνθήκες	4
Σ.Ο.	Δείκτης Συντριβής Αδρανών	≤40% Σ και ≤30% Ο	5
Σ.Ο.	Δείκτης Πλάτυνσης	≤30%	BS:1984:1967
Σ.Ο.	Δεικ. Επιμήκυνσης	≤45%	BS:1984:1967
Ο.	Τροποποιημένος Δεί- κτης Αντοχής σε Πρόσκρουση		
	Αδρανών	≤40%*	3
Σ.Ο.	Δείκτης Συντριβής	≥100 για τάπητες	BS:882:1973
	Λεπτόκοκκων	κύλισης οδοστρωμ.	
	Αδρανών	≥50 Σ.	3
Σ.Ο.	Δοκιμή υγείας με θειικό νάτριο	<12%	ASTM D692-79

Συμβολισμοί του πίνακα (4): Σ=Αδρανή Σκυροδέματος, Ο=Αδρανή Οδοποι-  
ίας, \*=η δοκιμή χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των χαμηλής ποιότητας  
αδρανών.

πυρήνες πετρώματος, με σκοπό να προσομοιω-  
θούν τα φαινόμενα της κρυσταλλοποίησης διά-  
φορων αλάτων, τα οποία παρουσιάζονται κάτω  
από κανονικές περιβαλλοντικές συνθήκες, και  
έτσι να προσδιοριστεί η αποσθρωσιμότητα και  
ανθεκτικότητα των εξετασθέντων υλικών στη  
φυσική υποβάθμιση, χρησιμοποιώντας κορε-  
σμένο διάλυμα θειικού νατρίου. Οι δοκιμές εκτε-  
λέστηκαν σύμφωνα με τα πρότυπα: A.S.T.M.  
Designation - C88 - 71a (1972), καθώς και με την  
αποδεκτή μέθοδο από: Commission 25 Pem. Pro-  
tection et Erosion de Monuments, για τα αδρανή  
υλικά και τους πυρήνες πετρώματος αντίστοιχα.

Ο ακόλουθος πίνακας 5 παραθέτει τα αποτελέ-  
σματα.

**Πίνακας 5.**

Βαθμίδα Πετρώματος	Απώλεια βάρους των αδρανών υλικών %	Απώλεια βάρους των πυρήνων πετρώματος %
A	0,76	0
B	2,98	0
Γ	3,37	0,2
Δ	1,90	0

Από τα αποτελέσματα των αδρανών υλικών  
συμπεραίνεται ότι τα αδρανή υλικά με υψηλό-  
τερη υδατοαπορροφητικότητα, παράγουν υψη-  
λότερο ποσοστό απώλειας βάρους, από εκείνα με  
χαμηλότερη. Επομένως, το ποσοστό της υδατο-  
απορροφητικότητας των αδρανών υλικών θα μπο-  
ρούσε να συμβάλλει σημαντικά στην πρόβλεψη  
της αποσθρωσιμότητας ενός υλικού, δηλ. όσο  
υψηλότερη υδατοαπορροφητικότητα έχει ένα  
υλικό τόσο και ευκολότερα αποσθρώνεται. Στο  
συμπέρασμα αυτό κατέληξαν σε έρευνές τους και  
οι Chorley 1969 και Evans 1970.

Επίσης, τα αποτελέσματα των πυρήνων του  
πετρώματος δείχνουν ότι οι πυρήνες παρέμειναν  
ανεπηρέαστοι από το διάλυμα μετά από τους 5  
κύκλους διαβροχής και ξήρανσης, εκτός από τη  
βαθμίδα Γ, στην οποία παρατηρείται μια πολύ  
μικρή απώλεια των 0,2%. Συμπερασματικά λοι-  
πόν μπορεί να σημειωθεί ότι το μέγεθος και το  
σχήμα των εξεταζομένων υλικών έχουν επίσης  
σπουδαία επιρροή στην αποσάθρωση του υλι-  
κού.

## 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η έρευνα αυτή αποδεικνύει ότι η μεταμόρ-  
φωση επαφής, σαν γεωλογικός παράγοντας,  
υποβαθμίζει τη γεωτεχνική συμπεριφορά των  
αδρανών υλικών του ασβεστολίθου Great.
2. Πετρογραφική και ορυκτολογική εξέταση  
αποκάλυψε ότι τόσο η ορυκτολογική σύνθεση  
όσο και η μικροϋφή και ο ιστός μεταβάλλον-  
ται προοδευτικά, όσο η μεταμόρφωση προχω-  
ρεί: παρατηρήθηκε το φαινόμενο της «ανά-  
πτυξης των ορυκτών κόκκων» με την πρόοδο  
της ανακρυστάλλωσης.  
Σαν συνέπεια, οι μηχανικές ιδιότητες των  
αδρανών υλικών υποβαθμίζονται αξιοση-



μείωτα με τη μεταμόρφωση. Παρόλα αυτά, όταν συγκρίνονται οι βαθμίδες Γ και Δ, παρατηρείται ότι υφίσταται μια διακοπή στην αρμονική εξέλιξη των τιμών, σχεδόν σε όλες τις μηχανικές ιδιότητες, αποδεικνύοντας ότι εκτός του παράγοντα μεταμόρφωση και το πορώδες παίζει σημαντικό ρόλο στην τελική διαμόρφωση των μηχανικών ιδιοτήτων του πετρώματος αυτού.

3. Όλες οι βαθμίδες μεταμόρφωσης του ασβεστολιθικού σχηματισμού Great, έχουν υψηλή ανθεκτικότητα και χαμηλή αποσθρωσιμότητα όπως προσδιορίστηκε από τη δοκιμή υγείας με θειικό νάτριο, που εκτελέστηκε τόσο σε αδρανή υλικά, όσο και σε πυρήνες πετρώματος. Τα αποτελέσματα δείχνουν την επίδραση της μορφής και του μεγέθους του εξεταζομένου υλικού επί της ανθεκτικότητάς του στους αποσθρωτικούς παράγοντες, καθώς επίσης και τον αλληλοσυσχετισμό και εξάρτηση της αποσθρωσιμότητας και του πορώδους.
4. Επιπλέον, τα αποτελέσματα των δοκιμών προσδιορισμού της μορφής των αδρανών υλικών δείχνουν ότι δεν υφίσταται καμία αξιοσημείωτη σχέση μεταξύ του βαθμού μεταμόρφωσης και των δεικτών μορφής των αδρανών υλικών.
5. Τέλος, άμεση σύγκριση μεταξύ των οριακών τιμών καταλληλότητας, για διάφορους κατασκευαστικούς σκοπούς, και των αντιστοίχων εργαστηριακών αποτελεσμάτων όλων των βαθμίδων μεταμόρφωσης, αποδεικνύει ότι τα υλικά όλου του φάσματος της μεταμόρφωσης, από αρχικό μη μεταμορφωμένο ασβεστόλιθο Great έως μάρμαρο Great, ικανοποιούν τις απαιτήσεις και τα όρια καταλληλότητας των αδρανών υλικών. Επομένως, ακόμη και τα γεωτεχνικώς υποβαθμισμένα, μεταμορφωμένα, αδρανή υλικά του ασβεστολιθίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή των διαφόρων τεχνικών έργων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. AL-Jassar, S.H. and Hawkins, A.B. (1979) Geotechnical Properties of the carboniferous limestone of the Bristol area. The influence of petrography and chemistry. 4th Int. Congress on Rock Mechanics. Montreux (Suisse). Vol. 1.
2. Anon. (1969) British standards 1377 Methods of testing soils for civil engineering purposes. British standards institution. Gr. 9.
3. Anon. (1969) Specification for road and bridge works, U.K. Department of the Environment, H.M.S.O., London.
4. Anon. (1973) British Standard 882, 1201. Part 2. Aggregates from natural sources for concrete (including granolithic) British Standards Institution, London.
5. Anon. (1975) British Standard 812: Parts 1,2,3 Methods for sampling and testing of mineral aggregates, sands and filters. British Standards Institution, London.
6. Anon. (1979) International Society for Rock Mechanics. Commission on standardization of laboratory and field tests. Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake durability index properties. Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr. Vol. 16, pp. 141-156.
7. Ashurst, J. and Dimes, F.G. (1977) Stones in building. Architectural Press, London, pp. 105.
8. American Society for testing materials (1944) «Tentative Specification for Materials for Stabilized Base and Surface Courses». Designation D 556-40T and D 557-40T Book of A.S.T.M. Standards including Tentative Standards.
9. ASTM (1979) Standard specification for building stone ASTM C 568-79 Amer. Soc. Testing Material pp. 32-33.
10. Bell, E.G. (1987) Engineering properties of soils and rocks, Butterworth Ltd., pp. 109-116.
11. Brown, E.T. (1981) Rock characterization testing and monitoring ISRM suggested methods. Pergamon Press, 1981.
12. Chorley, R.J. (1969) The role of water in rock disintegration: Water, Earth and Man. pp. 135-155 Pub. Methuen, London.
13. Compen, W.H. and Smith, J.R. (1948) «A study of the Role of Angular Aggregates in the Development of Stability in Bituminous Mixtures» Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 17.
14. Czuryzkiewicz (1973) The effect of aggregate shape upon the strength of structural light weight aggregates concrete. Magazine of Concrete. Vol. 25. no. 83, pp. 81-86.
15. Dearman, W.R. (1981) General report session: Engineering properties of carbonate rocks. Bull. of the Int. Ass. of Eng. Geol. No. 24, 3-17.
16. Deere, D.V. and Miller, R.P. (1966) Engineering classification and index properties for intact rock report AFWLTR-65-116 Air Force Base, New Mexico, pp. 308.
17. Evans, I.S. (1970) Salt crystallization and rock weathering A review: Revue De Geomorphologie, Dynamique, Vol. 19, No. 4, pp. 153-177.
18. Fattohi, Z.R. (1971) Engineering geological study of the great limestone in Northumberland England (unpublished M.Sc. thesis Univ. of Newcastle upon Tyne).
19. Fitch, F.J. and Miller, J.A., (1966) The age of the whin sill. Geol. J. Vol. 5, Part 2, pp. 233-250.
20. Folk, R.L. (1962) Spectral subdivision of limestone types in W.E. Ham. ed., Classification of carbonate rocks: AAPG Memoir 1, pp. 62-84.
21. Folk, R.L. (1965) Some aspects of recrystallization in ancient limestones, in L.C. Pray and R.C. Murray, eds. Dolomitization and limestone diagenesis, a Symposium SEPM Spec. Publ. 13, pp. 14-48.
22. Folk, R.L. (1959) Practical petrographic classification of limestones. Bull. Am. Ass. Pet. Geol. j. 43, pp. 1-38.
23. Franklin, J.A. (1971) Suggested method for determining the slaking, swelling, porosity, density and related rock index properties. Final draft produced for Int. Soc. Rock Mech. Commission on Standardization of laboratory and field tests, Lisbon.



24. *Herrin, M. and Goetz, W.H.* (1954) Effect of Aggregate shape on Stability of Bituminous Mixes. Proceedings Highway Research Board (Washington), Vol. 33.
25. *Higginbottom, I.E.* (1976) Section 11.1 General requirements for rocks and aggregates. In. Anon. 1976 Applied Geology for Engineers. H.M.S.O. 378.
26. *Holmes, A.* (1928) The age and composition of the whin sill and the related dykes of the North England. The Mineralogical Magazine 21, pp. 493-543.
27. *Hosking, J.R.* (1970) Road aggregates and their testing. One day Symposium on Quarrying, Bristol University.
28. *Johnson, G.A.L.* (1953) The biostratigraphy of the carboniferous middle limestone group succession between Tripal Burn and the river north Tyne in south west Northumberland (unpublished Ph.D. Thesis, Vol. 1, at King's College, University of Durham).
29. *Johnson, G.A.L.* (1958) Biostromes in the Namurian Great limestone of northern England.
30. *Lebour, G.A.* (1878) Geology of Northumberland.
31. *McGraw Hill* Optical mineralogy.
32. *Reynolds, C.E.* (1950) Concrete construction (2nd edition) Concrete Publications Ltd. London.
33. *Sachpazis, C.I.* (1983) The effects of contact-metamorphism on the engineering geological properties of the Great limestone. Northumberland, England. M.Sc. Thesis, University of Newcastle upon Tyne.
34. *Shiells, K.A.G.* (1961) The geology of part of the limestone group of north-Northumberland (Ph.D. Thesis, Vol. 11, at King's College, University of Durham).
35. *Westoll, S.T., Robson, D.A. and Green, R.* (1955). A guide to the geology of the district around Alnwick, Northumberland. Proceeding of the Yorkshire Geological Society.



# **The Influence of Contact-Metamorphism on the Geotechnical Behaviour of the GREAT Limestone Aggregates from Northumberland England**

**C.I. Sachpazis**

**ABSTRACT:** The Bernician Great Limestone is the thickest and the most characteristic, well defined and persistent band, underlying the greatest part of Northumberland. Moreover, in many localities the Whin sill (dolerite) has been intruded between the limestone bedding planes, causing a profound contact-metamorphosing action.

Since this formation is being widely exploited in many quarries for aggregate production, a basic knowledge of its properties in different grades of metamorphism ranging from original limestone to marble, as well as the manner that metamorphism influences the aggregate properties is of utmost concern to engineers.

Hence, representative samples of four metamorphic grades have been collected, their petrography and mineralogy determined and various laboratory aggregate tests carried out.

Among the tests performed were shape index tests, physical properties tests, mechanical properties tests as well as weather susceptibility tests.

These revealed that metamorphism, as a geological agent, adversely affects the engineering behaviour of the limestone aggregates.

A review of aggregate acceptance values for various construction purposes as established by certain authorities and sources has been included, mainly for comparison reasons.