

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΙΚΡΟΚΛΕΙΣΟΥΡΑΣ ΓΡΕΒΕΝΩΝ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥΣ ΩΣ ΑΝΤΙΟΛΙΣΘΗΡΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΚΑΙ ΣΚΥΡΩΝ ΒΑΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΩΝ

Τσικούρας Β., Πομώνης Π., Ρηγόπουλος Ι. και Χατζηπαναγιώτου Κ.

Τομέας Ορυκτών Πρώτων Υλών, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 265 00 Πάτρα,

v.tsikouras@upatras.gr, ppomonis@upatras.gr, rigopoul@upatras.gr, k.hatzipanagiotou@upatras.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή αξιολογούνται οι ορυκτοπετρογραφικές, γεωχημικές και φυσικομηχανικές ιδιότητες των δολεριτικών πετρωμάτων της περιοχής Μικροκλεισούρας Γρεβενών για την καταλληλότητα τους ως αντιολισθηρών αδρανών οδοποιίας και σκληρών αδρανών. Τα πετρώματα αυτά ανήκουν στα βασικά μέλη του οφιολιθικού συμπλέγματος του Βούρινου και εμφανίζουν γεωχημικά χαρακτηριστικά βασαλών τύπου N-MORB. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στη συμμετοχή αμιαντούχων ορυκτών, τα οποία θεωρούνται επικίνδυνα για τη δημόσια υγεία, όταν απαντώνται σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις. Οι τιμές των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των υπό μελέτη δολεριτών συγκρίθηκαν με ελληνικά και διεθνή πρότυπα, στα οποία αναφέρονται οι τυπικές αποδεκτές οριακές τιμές όσον αφορά στην καταλληλότητά τους για χρήση ως αδρανών. Από τα αποτελέσματα που εξήχθησαν τόσο από την ορυκτοπετρογραφική και γεωχημική μελέτη όσο και από τον προσδιορισμό των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων αυτών των δολεριτών Μικροκλεισούρας Γρεβενών, προκύπτει ότι τα πετρώματα αυτά πληρούν τις προδιαγραφές καταλληλότητας για χρήση τους ως σκληρά αδρανή οδοποιίας και σκύρα για βάση σιδηροτροχιών.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

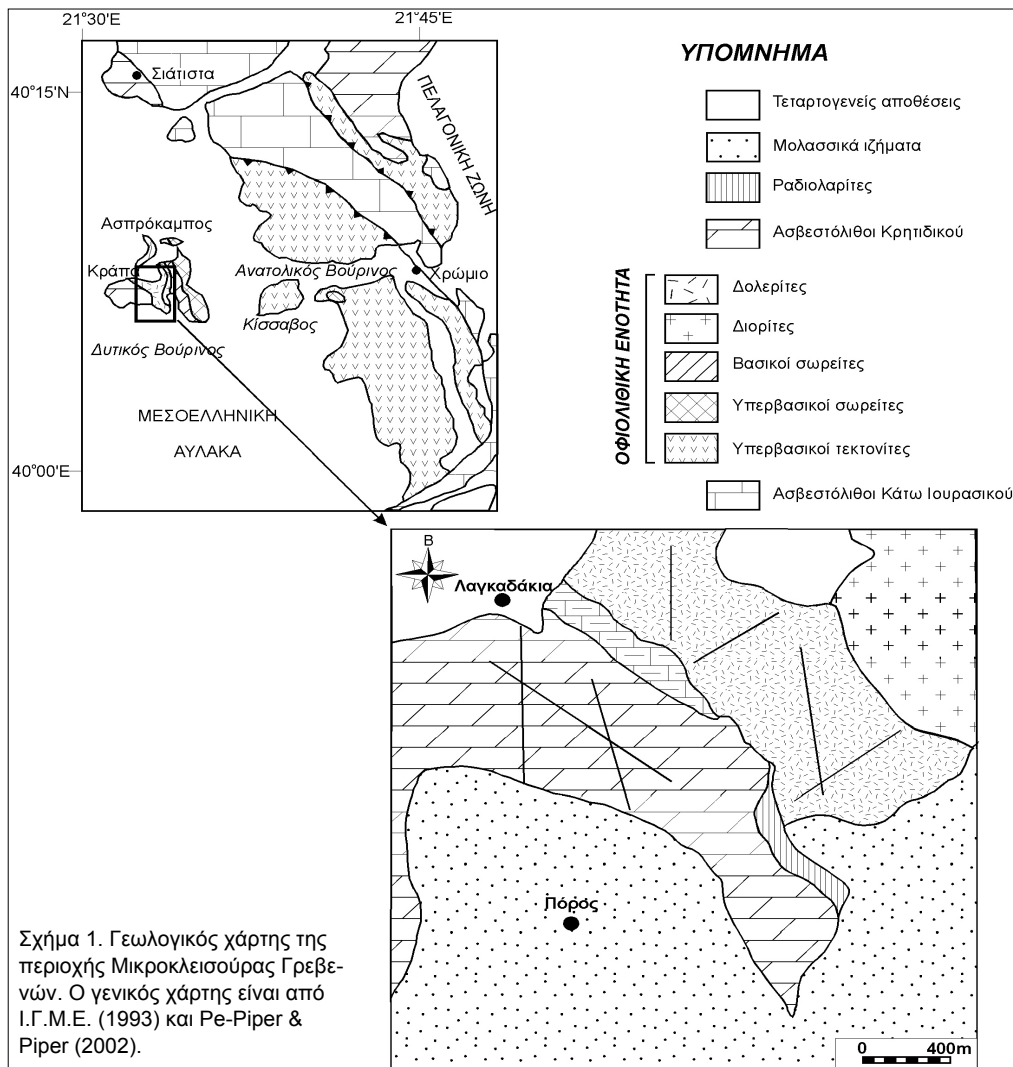
Η μελέτη της πετρογενετικής και γεωτεκτονικής εξέλιξης οφιολιθικών συμπλεγμάτων στις μέρες μας είναι από τα πλέον εξελιγμένα αντικείμενα των γεωεπιστημών. Η εξέλιξη της έρευνας των οφιολιθικών λιθολογιών σε επίπεδο βιομηχανικής εκμετάλλευσής τους, ακολουθεί και αυτή σε παγκόσμιο επίπεδο μια συνεχώς ανερχόμενη πορεία. Οι κορυφαίες χώρες εκμετάλλευσης οφιολιθων σήμερα είναι η Νορβηγία, η Αυστρία και οι Η.Π.Α. και λιγότερο η Ισπανία, η Ιταλία και η Ιαπωνία (π.χ. Ragan 1967, Griffiths 1989, Harben & Bates 1990, Olerud 1995). Στην Ελλάδα η έρευνα για οικονομική εκμετάλλευση οφιολιθων δεν έχει σημαντικούς ρυθμούς ανάπτυξης, παρά το γεγονός ότι έχει σημαντικές εμφανίσεις οφιολιθικών πετρωμάτων ανάμεσα στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ωστόσο, η ολοένα αυξανόμενη ζήτηση σκληρών πετρωμάτων σε πολλές εφαρμογές και ιδιαίτερα οι απαιτήσεις σε σκληρά αδρανή, σε πολλά μεγάλα έργα που πραγματοποιούνται σήμερα στον Ελληνικό χώρο, έχει κάνει επιτακτική την ανάγκη αναζήτησης κατάλληλων οφιολιθικών εμφανίσεων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως πηγές αδρανών υλικών για διάφορες χρήσεις.

Σκοπός της μελέτης αυτής είναι η αξιολόγηση ορυκτοπετρογραφικών και φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των δολεριτικών πετρωμάτων της περιοχής Μικροκλεισούρας του Νομού Γρεβενών, για την καταλληλότητά τους ως αντιολισθηρών αδρανών οδοποιίας και σκύρων. Στην περιοχή αυτή λειτουργεί ήδη λατομική μονάδα από την εταιρεία "Λατομεία Βούρκα Α.Β.Ε.Ε."

2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ

Το οφιολιθικό σύμπλεγμα του Βούρινου (Σχ. 1) καλύπτει έκταση περίπου 450 km² και τοποθετείται στα όρια των νομών Κοζάνης-Γρεβενών. Αποτελεί ένα πλήρες αλλά τεκτονικά διαμελισμένο οφιολιθικό σύμπλεγμα, το οποίο είναι επωθημένο σε μια μετα-ιζηματογενή ακολουθία (πιθανά Τρι-αδικής ηλικίας). Η τεκτονική αυτή επαφή εκτίθεται σε πολλά σημεία από το ΝΑ μέχρι το βόρειο τμήμα του οφιολιθικού συμπλέγματος. Το οφιολιθικό σύμπλεγμα του Βούρινου δομείται γεωλογικά από

έντονα τεκτονισμένους περιδοτίτες στη βάση του, ενώ πάνω από αυτούς ακολουθεί μια μερικής διατηρημένη μαγματική ακολουθία από γάβρους, φλέβες πλαγιογρανιτών, σύστημα πολλαπλών φλεβών (φλέβες Ασπρόκαμπου) και μαξιλαροειδείς λάβες. Οι τεκτονισμένοι περιδοτίτες αποτελούνται κυρίως από συμπαγείς χαρτζβουργίτες και δουνίτες πλούσιους σε χρωμικά κοιτάσματα, οικονομικά εκμεταλλεύσιμα, ενώ πάνω από αυτούς ακολουθούν σωρειτικοί γάββροι και ολιβινικοί κλινοπυροξενίτες (Rassios & Smith 2000). Στην ενότητα της Κράπας, πάνω από τους γάββρους ακολουθούν αμφιβολιτικοί διορίτες, οι οποίοι καλύπτονται από ανδεσίτες και βασάλτες με γεωχημικούς χαρακτήρες θολειτών νησιωτικού τόξου (IAT), ενώ στην ενότητα Ασπρόκαμπου, τα ανώτερα 100 m της σωρειτικής ακολουθίας αποτελούνται από αμφιβολιτικούς διορίτες που καλύπτουν τους γάββρους και οι ίδιοι καλύπτονται από πλαγιογρανίτες, σμήνη φλεβών και λάβες με γεωχημικούς χαρακτήρες IAT και μπονιτιτών (Beccaluva et al. 1984). Ραδιολαρίτες του Άνω Ιουρασικού, επικαλύπτουν το σύμπλεγμα από τα δυτικά, ακολουθούμενοι στρωματογραφικά από επικλυσιγενείς ασβεστολίθους. Οι ανώτεροι στρωματογραφικοί ορίζοντες αποτελούνται από πελαγικά και νηριτικά ιζήματα, που φανερώνουν ένα περιβάλλον ηπειρωτικής κατωφέρειας πριν από την επίκλυση του Άνω Κρητιδικού και την απόθεση της μολάσσας.



Στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκε γεωλογική χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:5.000 (Σχ. 1). Αυτή ανήκει στο δυτικό τμήμα του οφιολιθικού συμπλέγματος του Βούρινου και συγκεκριμένα στη

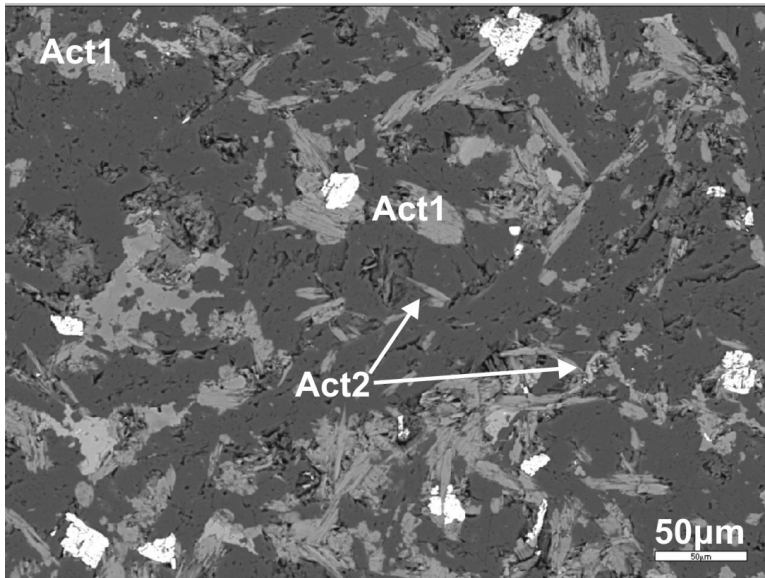
Σειρά Κράπας. Αποτελείται αποκλειστικά από δολερίτες, οι οποίοι συνιστούν το ανώτερο τμήμα της οφιολιθικής ενότητας (Σχ. 1). Οι υγιείς δολερίτες έχουν σκουροπράσινο χρώμα και καλύπτονται σε όλη την έκτασή τους από έναν καστανόχρωμο μανδύα αποσάθρωσης με πάχος που κυμαίνεται από 3 m έως και 8 m. Στα υγιή αυτά δολερίτικα πετρώματα δεν παρατηρήθηκε εξαλλοίωση τύπου Sonnenbrand, ενώ το ορατό πάχος τους στην περιοχή μελέτης ξεπερνά τα 100 m. Η φολίωση των δολερίτων ακολουθεί μια γενική διεύθυνση Β-N και ήπια κλίση (από 20° έως 35° προς τα δυτικά). Η περιοχή μελέτης τέμνεται από δύο αραιές ρηξιγενείς ζώνες, κάθετες στη διεύθυνση της φολίωσης, η μία με διεύθυνση σχεδόν Β-N και κλίση 70° έως 80° προς τα ανατολικά και η δεύτερη, σχεδόν κατακόρυφη, με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ (Σχ. 1). Στα πρηνή της υπό μελέτη περιοχής συναντώνται επίσης διακλάσεις, οι διευθύνσεις των οποίων τέμνουν σχεδόν κάθετα την κύρια διεύθυνση της φολίωσης. Στατιστική ανάλυση από τις μετρήσεις των διακλάσεων έδειξε ότι η κύρια διεύθυνση που επικρατεί είναι σχεδόν Β-N με αποκλίσεις προς τα ΒΒΔ-NNA και κλίσεις που κυμαίνονται από 70° έως 80° περίπου προς τα ανατολικά, παράλληλα δηλαδή με τις κύριες διευθύνσεις των ρηγμάτων που υπάρχουν στην περιοχή. Οι διακλάσεις είναι συνήθως χαίνουσες και έχουν άνοιγμα μέχρι και 3-4 cm. Επιπλέον, σε αρκετές θέσεις και παράλληλα στις ασυνέχειες της φολίωσης των πετρωμάτων παρατηρούνται ζώνες εξαλλοίωσης και υδροθερμικής απόθεσης ορυκτών, κυρίως ανοιχτοπράσινου επιδότου. Οι ζώνες αυτές έχουν πάχος έως 5 cm και απέχουν μεταξύ τους από περίπου 0,8m έως 1m.

3 ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΑ

Τα δολερίτικα πετρώματα, που εξετάστηκαν, συλλέχθηκαν από αντιπροσωπευτικές θέσεις από τα διάφορα μέτωπα εξόρυξης του λατομείου, ώστε να είναι υγιή και να αντιπροσωπεύουν καλύτερα τα λατομικά προϊόντα. Αυτά εμφανίζουν μακροσκοπικά σκουροπράσινο χρώμα και συμπαγή ακανόνιστη υφή, ενώ διακρίνονται κρύσταλλοι πλαγιόκλαστων και διάσπαρτοι κόκκοι σιδηροπυρίτη. Η μικροσκοπική τους εξέταση πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια πολωτικού μικροσκοπίου στο Τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών καθώς και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (S.E.M.) στο Εργαστήριο Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας και Μικροανάλυσης της Σχολής Θετικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Πατρών. Από τη μελέτη των δειγμάτων προέκυψε ότι πρόκειται για αρκετά λεπτόκοκκα πετρώματα που παρουσιάζουν χαρακτηριστικό υποφειτικό ιστό. Η κύρια ορυκτολογική σύσταση των υπό μελέτη δολερίτων περιλαμβάνει πλαγιόκλαστο σε ποσοστό που κυμαίνεται μεταξύ 30% και 60%. Σε ορισμένα δείγματα παρατηρούνται υπολειμματικοί κρύσταλλοι πυρόξενου σε ποσοστό μικρότερο από 5%, οι οποίοι γεμίζουν τα διάκενα του πλέγματος που σχηματίζουν τα πλαγιόκλαστα στον υποφειτικό ιστό. Συμμετέχει επίσης τιτανίτης ως επουσιώδης ορυκτό και μεταλλικά ορυκτά (αιματίτης, τιτανομαγνητίτης, μαγνητίτης και σιδηροπυρίτης) σε ποσοστό που κυμαίνεται από 8% μέχρι 15%. Οι χαμηλού βαθμού μεταμορφικές διεργασίες έχουν επηρεάσει σε μεγάλη έκταση τους υπό μελέτη δολερίτες, με αποτέλεσμα να συμμετέχουν τα δευτερογενή ορυκτά χλωρίτης (10-35%), χαλαζίας (3-20%), επίδοτο (2-8%) και τοπικά πρενίτης (έως 2%) και ασβεσίτης (1%-10%). Σε δύο μόνο δείγματα συμμετέχει ακτινόλιθος (20-25%). Η παρουσία του ακτινόλιθου είναι κρίσιμος παράγοντας καταλληλότητας των πετρωμάτων, καθότι όταν αυτός συμμετέχει με την αμιαντούχο μορφή του καθίσταται επικίνδυνος παράγοντας για τη δημόσια υγεία. Για το λόγο αυτό δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην εμφάνιση του ακτινόλιθου όσον αφορά τόσο στην περιεκτικότητα του όσο και στη μορφή του. Διακρίθηκαν δύο γενιές κρυστάλλων ακτινόλιθου όσον αφορά στο μέγεθος της διαμέτρου τους (Σχ. 2). Η πρώτη γενιά, η οποία αποτελεί και τη συντριπτική πλειοψηφία, περιλαμβάνει κρυστάλλους με διάμετρο 3,2 μm έως 326 μm, ενώ η δεύτερη γενιά αντιπροσωπεύεται από κρυστάλλους με αμιαντούχο μορφή, έχοντας διάμετρο 1,6 μm έως 2,9 μm και λόγο μήκους προς διάμετρο >5 (σε ποσοστό κατά μέσο όρο 1,55% επί των δειγμάτων VOLA6 και VOLA7). Λεπτομερείς μετρήσεις στα δύο δείγματα που συμμετέχει ακτινόλιθος, έδειξαν ότι οι κρύσταλλοι της δεύτερης γενιάς συμμετέχουν σε ποσοστό 1,2-1,9%. Το ποσοστό αυτό γίνεται ακόμη μικρότερο στο σύνολο των υλικών εξόρυξης, λαμβάνοντας υπόψη ότι στα περισσότερα δείγματα απουσιάζει ο ακτινόλιθος.

Ο δευτερογενής χαλαζίας κατανέμεται ανομοιογενώς στους δολερίτες της περιοχής μελέτης, εμφανιζόμενος σε μερικά δείγματα σε μικρά ποσοστά ενώ σε άλλα παρουσιάζεται σε υψηλή αναλογία. Συνήθως πληρώνει πόρους και ασυνέχειες, αλλά βρίσκεται και διάσπαρτος στο πέτρωμα, παρουσιάζοντας συχνά κυματοειδή κατάσβεση. Οι υπό μελέτη δολερίτες διαφοροποιούνται σε δύο ομάδες με βάση τη δευτερογενή ορυκτολογική τους σύσταση: Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει δείγ-

ματα πλούσια σε χαλαζία με περιεκτικότητα που κυμαίνεται από 10% μέχρι και 20%. Όλα τα δείγματα της πρώτης ομάδας έχουν σε γενικές γραμμές την ίδια κύρια ορυκτολογική σύσταση. Στα δείγματα της δεύτερης ομάδας το ποσοστό σε χαλαζία είναι πολύ χαμηλό (3-4%). Επιπλέον μόνο σε ορισμένα δείγματα της ομάδας αυτής εμφανίζεται και ο ακτινολίθος.



Σχήμα 2. Εικόνα οπίσθιας σκέδασης ηλεκτρονίων (BSEI) από το Δείγμα VOLA6. (Act1: μη αμιαντούχος μορφή ακτινολίθου, Act2: αμιαντούχος μορφή ακτινολίθου).

4 ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ

Πραγματοποιήθηκαν 48 σημειακές μικροανάλυσεις ορυκτών, αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα των οποίων δίνονται ομαδοποιημένα κατά τύπο ορυκτού, στον Πίνακα 1.

4.1 Πλαγιόκλαστα

Η στοιχειομετρική κατανομή των δευτερογενών πλαγιόκλαστων που αναλύθηκαν υπολογίστηκε με βάση 8 άτομα οξυγόνου και με την παραδοχή ότι όλος ο σίδηρος είναι τρισθενής (Πιν. 1). Από τον πίνακα των αναλύσεων προκύπτει ότι τα πλαγιόκλαστα των υπό μελέτη δολεριτών είναι δευτερογενή και έχουν σύσταση αλβίτη ($Ab_{89} - Ab_{100}$).

4.2 Πυρόξενοι

Αντιπροσωπευτικές αναλύσεις από περιοχές υπολειμματικών πρωτογενών κρυστάλλων πυρόξενων, μαζί με τη στοιχειομετρική κατανομή των κατιόντων δίνονται στον Πίνακα 1. Η περιεκτικότητα των αναλυμένων πυρόξενων σε Wo-En-Fs, υποδεικνύει ότι έχουν σύσταση αυγίτη, σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης της I.M.A. (Morimoto et al. 1988).

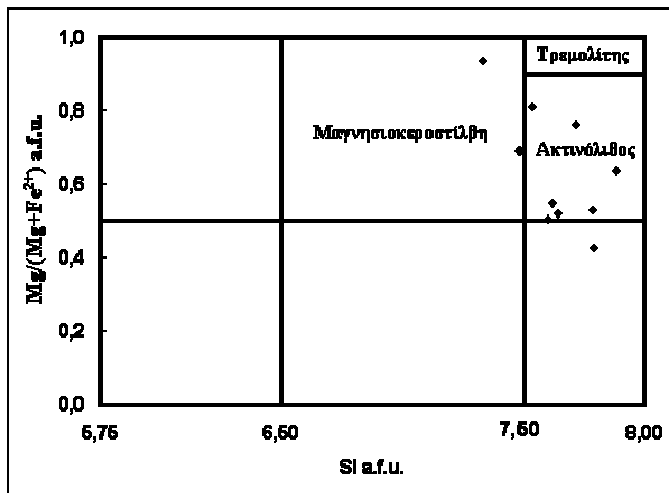
4.3 Αμφίβολοι

Οι αναλύσεις των αμφιβόλων που πραγματοποιήθηκαν σε αντιπροσωπευτικούς κρυστάλλους, μαζί με τη στοιχειομετρία τους, δίνονται στον Πίνακα 1. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στη μελέτη πιθανής ύπαρξης ινωδών (αμιαντούχων) προϊόντων και για το λόγο αυτό ο αριθμός των αναλύσεων ανά τύπο αμφιβόλων δεν είναι αντιπροσωπευτικός της συμμετοχής τους στο πέτρωμα. Οι μικροανάλυσεις των αμφιβόλων προβλήθηκαν στο διάγραμμα ταξινόμησης τους (κατά Leake et al. 1997), απ' όπου και προκύπτει ότι πρόκειται για ακτινολίθο και μαγνησιοκεροσίλβη (Σχ. 3). Από τα υπόλοιπα

αμφιβολικά, αμιαντούχα ορυκτά, αξιοσημείωτο είναι ότι δεν παρατηρήθηκαν τρεμολίτης, κροκιδόλιθος (αμιαντούχος μορφή του ριβεκίτη) και αμοσίτης (αμιαντούχος μορφή του γκρουνερίτη). Συγκεκριμένα για την παρουσία γκρουνερίτη απαιτούνται οι παράμετροι: $Ca + Na_B < 1,0$, $(Mg, Fe^{+2}, Mn, Li) \geq 1,0$, $Al^{VI} < Fe^{+3}$ και μονοκλινής συμμετρία, ενώ για την παρουσία ριβεκίτη απαιτούνται οι παράμετροι: $Na_B > 1,0$, $(Mg + Fe^{+2} + Mn) \geq 2,5$, $Al^{VI} \text{ ή } Fe^{+3} > Mn^{+3}$, $Mg \text{ ή } Fe^{+2} > Mn^{+2}$ και $Na_A + K_A < 0,5$.

4.4 Χλωρίτης

Αντιπροσωπευτικές αναλύσεις χλωριτών που πραγματοποιήθηκαν στους υπό μελέτη δολερίτες μαζί με τη στοιχειομετρία τους, δίνονται στον Πίνακα 1. Τα χαμηλά σύνολα που εμφανίζονται σε ορισμένες αναλύσεις οφείλονται πιθανά σε οξειδωση μέρους του Fe από Fe^{+2} σε Fe^{+3} , συνοδευόμενη από απώλεια σε H (Deer et al. 1992). Από το διάγραμμα ταξινόμησης των χλωριτών (κατά Hey 1954), προκύπτει ότι οι κρύσταλλοι χλωρίτη που αναλύθηκαν έχουν σύσταση διαβαντίτη και πυκνοχλωρίτη (δεν παρουσιάζεται).



Σχήμα 3. Διάγραμμα ταξινόμησης αμφιβόλων κατά Leake et al. (1997).

Πίνακας 1. Ορυκτοχημικές αναλύσεις αντιπροσωπευτικών κρυστάλλων πλαγιοκλάστων, πυροξένων, αμφιβόλων και χλωριτών από δείγματα δολεριτών της περιοχής Μικροκλεισούρας Γρεβενών. (*: κάτω από το όριο ανιχνευσιμότητας)

Πλαγιόκλαστο			Πυροξένος			Αμφίβολος			Χλωρίτης		
	B3/1	B3/2		VOLA1/1	VOLA1/2		VOLA6/1	VOLA6/2		B3/1	B3/2
SiO ₂	68,92	69,53	SiO ₂	54,49	52,56	SiO ₂	51,15	52,36	SiO ₂	30,90	31,18
TiO ₂	*	*	TiO ₂	*	0,76	TiO ₂	*	0,74	TiO ₂	*	*
Al ₂ O ₃	19,43	19,84	Al ₂ O ₃	2,39	2,87	Al ₂ O ₃	1,12	4,22	Al ₂ O ₃	17,06	18,46
Fe ₂ O ₃	0,54	0,20	FeO ^I	5,55	13,74	FeO ^I	15,80	18,08	FeO ^I	23,43	22,00
MgO	*	*	MnO	*	*	MnO	0,85	0,31	MnO	*	*
MnO	*	*	MgO	15,39	11,15	MgO	6,59	10,78	MgO	15,26	15,28
CaO	0,16	0,49	CaO	21,47	18,74	CaO	21,19	11,14	CaO	*	*
Na ₂ O	10,35	9,83	Na ₂ O	*	*	Na ₂ O	0,32	0,49	Na ₂ O	*	*
K ₂ O	0,54	*	K ₂ O	*	*	K ₂ O	*	*	K ₂ O	0,48	0,43
Σύνολο	99,94	99,89	Cr ₂ O ₃	*	*	Cr ₂ O ₃	*	*	NiO	*	*
			Σύνολο	99,29	99,82	Σύνολο	97,02	98,12	Cr ₂ O ₃	*	*
			Αριθμός ιόντων με βάση 8 άτομα οξυγόνου	Αριθμός ιόντων με βάση 6 άτομα οξυγόνου		Αριθμός ιόντων με βάση 23 άτομα οξυγόνου και άθροισμα κατιόντων Ca-Na-K = 42			Αριθμός ιόντων με βάση 28 άτομα οξυγόνου		
Si	3,010	3,017	Si	1,996	1,977	Si	7,789	7,619	Si	6,428	6,398
Al	0,999	1,014	Al ^{IV}	0,004	0,023	Al ^{IV}	0,201	0,381	Al ^{IV}	1,572	1,602
	4,010	4,030	T	2,000	2,000	T	7,990	8,000		8,000	8,000
Ti	-	-	Al ^{VI}	0,099	0,104	Al ^{VI}	-	0,342	Al ^{VI}	2,610	2,863
Fe ³⁺	0,020	0,007	Fe ³⁺	-	-	Ti	0,010	0,081	Ti	-	-
Mg	-	-	Ti	-	0,021	Fe ³⁺	-	0,265	Cr	-	-
Mn	-	-	Cr	-	-	Cr	-	-	Mg	4,732	4,674
Ca	0,007	0,023	Ni	-	-	Mg	1,496	2,338	Fe	4,076	3,776
Na	0,876	0,827	Mg	0,840	0,625	Fe ²⁺	2,012	1,935	Ni	-	-
K	0,030	-	Fe ²⁺	0,060	0,249	Mn	0,110	0,038	Mn	-	-
	0,913	0,857	Mn	-	-	C	3,607	5,000	Ca	-	-
Ab	95,947	97,294	M1	1,000	1,000	Mg	-	-	Na	-	-
An	0,767	2,706	Mg	-	-	Fe ²⁺	-	-	K	0,127	0,113
Or	3,286	0,000	Fe ²⁺	0,110	0,183	Mn	-	-		11,545	11,426
			Mn	-	-	Ca	2,000	1,737			
			Ca	0,843	0,755	Na	-	0,138			
			Na	-	-	B(M4)	2,000	2,000			
			K	-	-	Ca	1,457	-			
			M2	0,952	0,938	Na	0,094	-			
			En	45,4	34,5	K	-	-			
			Fs	9,2	23,8	A	1,551	-			
			Wo	45,5	41,7						

5 ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ

Οι γεωχημικές αναλύσεις σε κύρια στοιχεία, ιχνοστοιχεία και σπάνιες γαίες που πραγματοποιήθηκαν σε τέσσερα αντιπροσωπευτικά δείγματα δολεριτών, δίνονται στον Πίνακα 2. Παρατηρείται ότι πρόκειται για τυπικά βασικά πετρώματα βασαλτικής σύστασης με ποσοστά SiO₂ που κυμαίνονται από 54,29% έως 56,55%. Από τη χημική σύσταση των δολεριτών παρατηρούμε ότι το ποσοστό σε απώλεια πύρωσης (LOI) είναι αρκετά υψηλό, υποδεικνύοντας σημαντική επίδραση των εξαλλοιωτικών διεργασιών που έχουν λάβει χώρα εξαιτίας της κυκλοφορίας υδροθερμικών διαλυμάτων. Τα δείγματα VOLA1 και VOLA2 παρουσιάζουν υψηλότερα ποσοστά σε LOI σε σχέση με τα VOLA6 και VOLA7, υποδεικνύοντας το μεγαλύτερο βαθμό εξαλλοίωσής τους. Αυτό συμπίπτει με τα πετρογραφικά στοιχεία, αφού στα δείγματα VOLA1 και VOLA2 ο χλωρίτης συμμετέχει σε σημαντικό ποσοστό (~25%). Τα ποσοστά Na, Ca και Al αντικατοπτρίζουν τη συμμετοχή των πλαγιοκλάστων και επιδότη στα πετρώματα αυτά, ενώ το ποσοστό συμμετοχής Fe και Mg αντικατοπτρίζει κυρίως την περιεκτικότητά τους σε χλωρίτη. Από τις προβολές των αναλύσεων στο διάγραμμα Zr/TiO₂ προς Nb/Y (Winchester & Floyd 1977), οι υπό μελέτη δολερίτες εμφανίζουν σύσταση βασαλτών.

Πίνακας 2. Γεωχημικές αναλύσεις αντιπροσωπευτικών δειγμάτων δολεριτών της περιοχής Μικροκλεισούρας Γρεβενών (*: κάτω από το όριο ανιχνευσιμότητας)

	VOLA1	VOLA4	VOLA6	VOLA7
Κύρια στοιχεία (% κ.β.)				
SiO ₂	55,75	54,29	56,55	56,19
TiO ₂	0,67	0,74	0,85	0,80
Al ₂ O ₃	14,07	14,94	13,95	14,84
Fe ₂ O ₃ ^t	10,68	10,41	11,57	10,04
MnO	0,16	0,15	0,17	0,15
MgO	3,93	5,21	4,34	3,82
CaO	5,25	3,84	4,16	5,89
Na ₂ O	5,43	5,68	6,01	6,47
K ₂ O	0,04	0,26	0,12	0,10
P ₂ O ₅	0,05	0,05	0,06	0,06
LOI	3,55	4,39	2,20	1,12
Σύνολο	99,58	99,99	99,97	99,46
Ιχνοστοιχεία (ppm)				
Be	*	*	*	*
Sc	37,50	32	35	33
V	380	334	299	303
Cr	*	*	*	*
Co	29,50	28	30	24
Ni	*	*	*	*
Cu	80,50	93	11	*
Zn	86	99	86	47
Ga	17	17	14	18
Ge	1,40	1,10	1,40	2,30
As	*	*	*	*
Rb	*	1	*	*
Sr	98,50	48	89	150
Y	19,90	19,90	23,30	24,40
Zr	25	27	33	34
Nb	0,60	0,50	0,60	0,50
Mo	*	*	*	*
Ag	*	*	*	*
In	*	*	*	*
Sn	*	*	*	*
Sb	0,95	*	*	*
Cs	*	0,10	*	*
Ba	10	23	10	6
Hf	0,90	1	1,10	1,20
Ta	0,04	0,03	0,02	0,03
W	*	*	*	*
Tl	*	*	*	*
Pb	*	*	*	*
Bi	0,65	0,40	0,30	0,30
Th	0,31	0,33	0,31	0,23
U	0,15		0,15	0,11
Σπάνιες γαίες (ppm)				
La	1,67	1,53	1,83	1,59
Ce	3,97	3,80	4,55	4,24
Pr	0,63	0,62	0,74	0,74
Nd	3,60	3,71	4,51	4,58
Sm	1,32	1,31	1,59	1,57
Eu	0,59	0,59	0,62	0,67
Gd	2,13	2,00	2,35	2,46
Tb	0,39	0,37	0,46	0,47
Dy	2,67	2,52	3,13	3,07
Ho	0,62	0,57	0,69	0,68
Er	1,96	1,87	2,20	2,21
Tm	0,30	0,30	0,33	0,34
Yb	2,11	1,95	2,35	2,37
Lu	0,34	0,30	0,36	0,39

φησης, ο οποίος προσδιορίστηκε μετά από εμποτισμό των δειγμάτων για 24 ώρες, εμφανίζει μεγα-

Οι τιμές των σπάνιων γαίων (REE) των αναλυμένων δολεριτών (βλ. Πίνακα 2) δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των δειγμάτων και είναι ανάλογες με τιμές REE από πετρώματα τύπου N-MORB από τα γειτονικά οφιολιθικά συμπλέγματα της Πίνδου (Jones et al. 1991), της Όθρυς (Rassios 1990, Valsami 1990) και του Κόζιακα (Πομώνης 2003).

6 ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Για τον προσδιορισμό του βαθμού καταλληλότητας των δολεριτών Μικροκλεισούρας του Νομού Γρεβενών για χρήση τους ως αδρανών υλικών πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές δοκιμές, οι οποίες αναφέρονται στα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων αυτών. Ο προσδιορισμός των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των υπό μελέτη δολεριτών πραγματοποιήθηκε σε δύο αντιπροσωπευτικά δείγματα, B4 και B5, από τις υποομάδες που διακρίθηκαν πετρογραφικά. Το B4 αντιστοιχεί στην ομάδα που είναι πλούσια σε δευτερογενή χαλαζία, ενώ το B5 στην ομάδα με μικρότερη περιεκτικότητα σε χαλαζία.

6.1 Φυσικές ιδιότητες

Όσον αφορά στις φυσικές ιδιότητες, προσδιορίστηκαν το φαινόμενο ειδικό βάρος, το απόλυτο ειδικό βάρος, η φυσική υγρασία και ο συντελεστής υδαταπορρόφησης. Οι προσδιορισμοί αυτοί έγιναν με βάση διεθνή πρότυπα (AASHTO, ASTM, ISRM), ενώ πραγματοποιήθηκαν τέσσερις δοκιμές για κάθε δείγμα και υπολογίστηκε ο μέσος όρος αυτών. Το πορώδες (n) και ο λόγος κενών (e) υπολογίστηκαν αντίστοιχα από τις σχέσεις:

$$n = \frac{\rho_a - \rho_\phi}{\rho_a} \quad \text{και} \quad e = \frac{n}{1 - n}, \quad \text{με } \rho_a$$

και ρ_ϕ το απόλυτο και φαινόμενο ειδικό βάρος αντίστοιχα.

Το δείγμα B5 εμφανίζει μεγαλύτερο φαινόμενο ειδικό βάρος (2490 kg/m³) σε σχέση με το B4 (2620 kg/m³, AASHTO T147). Το απόλυτο ειδικό βάρος προσδιορίστηκε μετά από κονιοποίηση και μέτρηση του απόλυτου όγκου (AASHTO T100-T85, ASTM D 854-83) κι εμφανίζει παραπλήσιες τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 2680 kg/m³ και 2690 kg/m³, με τη μεγαλύτερη τιμή να ανήκει στο δείγμα B5. Η φυσική υγρασία έχει τιμή 0,42% για το δείγμα B4 και είναι μεγαλύτερη από το B5 με τιμή 0,24% (ISRM 1981). Αντίστοιχα ο συντελεστής υδαταπορρό-

λύτερη τιμή (0,699%) στο δείγμα B4 σε σχέση με το δείγμα B5 (0,417%). Επιπλέον το B4 εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές πορώδους (7,09%) και λόγου κενών (0,08) σε σχέση με το δείγμα B5, το οποίο έχει τιμές 2,60% και 0,03 αντίστοιχα.

6.2 Μηχανικές ιδιότητες

Οι μηχανικές ιδιότητες, οι οποίες προσδιορίστηκαν εργαστηριακά με βάση διεθνή και ελληνικά πρότυπα είναι η φθορά σε αποσάθρωση με χρήση Na_2SO_4 και MgSO_4 , η δοκιμή Los Angeles, ο Καλιφορνιακός λόγος φέρουσας ικανότητας (C.B.R.), η δοκιμή Deval υγρό, η αντοχή σε μοναξονική θλίψη, το ισοδύναμο άμμου, ο προσδιορισμός του δείκτη αντοχής σε στίλβωση (P.S.V.) και ο προσδιορισμός του δείκτη αντοχής σε τριβή (A.A.V.). Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν δίδονται στον Πίνακα 3. Ειδικά για τη δοκιμή φθοράς σε τριβή και κρούση ή επικρατέστερα δοκιμή Los Angeles, πραγματοποιήθηκαν δυο κύκλοι δοκιμών στα ίδια δείγματα: μια με 500 στροφές και 12 σφαίρες, όπως απαιτείται για αντιολισθηρά αδρανή (AASHTO T96-65) και μια με 1000 στροφές και 12 σφαίρες, όπως απαιτείται για τα σκύρα βάσης σιδηρότροχιών NEP 18573). Οι τιμές που προέκυψαν, από την πρώτη περίπτωση, είναι 18,70% για το δείγμα B4 και 17,06% για το B5.

Από το δεύτερο κύκλο δοκιμών προέκυψαν τιμές ελαφρά υψηλότερες, που είναι 19,78% και 17,87%, για τα δείγματα B4 και B5 αντίστοιχα. Η δοκιμή φθοράς σε αποσάθρωση με Na_2SO_4 έδωσε τιμή 3,69% για το δείγμα B4 και ελαφρά μικρότερη τιμή 3,41% για το B5 (AASHTO T104-65). Αντίστοιχα, η δοκιμή φθοράς σε αποσάθρωση με MgSO_4 έδωσε τιμή 5,28% για το B4 και 5,12% για το B5 (EN 1367-2). Όσον αφορά στη δοκιμή προσδιορισμού Καλιφορνιακού λόγου φέρουσας ικανότητας (C.B.R.), οι τιμές που προέκυψαν είναι παραπλήσιες στα δύο δείγματα με μεγαλύτερη τιμή 86% για το B5 και ελαφρά χαμηλότερη τιμή 82% για το B4 (E105/86/12). Η δοκιμή Deval υγρό (D_H) έδωσε παραπλήσιες τιμές για τα δύο δείγματα, με τιμή 10,7% για το δείγμα B4 και 10,1% για το B5 (EN 1097-1). Όσον αφορά στη δοκιμή αντοχής σε μοναξονική θλίψη, το δείγμα B5 εμφανίζει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα με τιμή 100,6 MPa σε σχέση με το B4, του οποίου η τιμή είναι 94,8 MPa. Από τη δοκιμή ισοδύναμου άμμου (AASHTO T176-65) προέκυψε ότι και τα δύο δείγματα δολεριτών εμφανίζουν παραπλήσιες και υψηλότερες τιμές (66 για το B4 και 67 για το B5) από τις ελάχιστες τιμές (>55) που απαιτούνται για διάφορες εργασίες (ασφαλομίγματα, βάσεις, υποβάσεις ασφαλτικές επαλειψείς κ.λ.π.). Ο προσδιορισμός του δείκτη αντοχής σε στίλβωση (P.S.V.) έδωσε τιμή 58 για το δείγμα B4 και 60 για το B5 (BS 812: Part 114:1989). Οι τιμές αυτές κυμαίνονται στα επιτρεπτά όρια χρήσης αδρανών για αντιολισθηρές στρώσεις. Από τη δοκιμή προσδιορισμού του δείκτη αντοχής σε τριβή (A.A.V.) προέκυψε η τιμή 3,9% για το δείγμα B4 και η ελαφρώς χαμηλότερη τιμή 3,1% για το δείγμα B5.

7 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Καθοριστικοί παράγοντες όσον αφορά στην ποιότητα των αδρανών υλικών αποτελούν η ορυκτολογική σύσταση του πετρώματος, το ποσοστό συμμετοχής και το μέγεθος των διάφορων ορυκτολογικών συστατικών του, η αμοιβαία κατανομή τους στο χώρο, καθώς επίσης το πορώδες, το ποσοστό εξαλλοίωσης και ο βαθμός τεκτονισμού του (Hartley 1974, Ramsay et al. 1974, Lees & Kennedy 1975, Kazi & Al-Mansour 1980, Smith & Collis 2001). Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στη συμμετοχή αμιαντούχων ορυκτών στα δολεριτικά πετρώματα από την περιοχή Μικροκλεισούρας Γρεβενών. Με βάση την Ελληνική νομοθεσία (π.χ. Υπουργική Απόφαση 1154/93), ως αμιαντούχα ορυκτά θεωρούνται ο ακτινολίθος, ο τρεμολίτης, ο κροκιδόλιθος, ο αμοσίτης και ο χρυσοσίλης. Τα μεγέθη των κρυστάλλων που θεωρούνται επικίνδυνα για τη δημόσια υγεία, παρουσιάζουν διάμετρο < 3 μm και μήκος > 5 μm. Ταυτόχρονα ο λόγος του μήκους προς τη διάμετρο θα πρέπει να έχει τιμή > 3. Από τα παραπάνω αμιαντούχα ορυκτά ανιχνεύθηκε μόνο ακτινολίθος. Όπως ήδη αναφέρθηκε, ακτινολίθος συμμετέχει μόνο σε δύο δείγματα. Τα δείγματα αυτά εξετάστηκαν λεπτομερώς με τη βοήθεια ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM). Πραγματοποιήθηκαν στατιστικά 80 μετρήσεις σε κρυστάλλους ακτινολίθου από όλες τις τάξεις μεγέθους και από όλη την έκταση των τομών. Με βάση αυτές τις μετρήσεις και από τη στατιστική επεξεργασία τους, προκύπτει ότι ακτινολίθος με αμιαντούχο μορφή συμμετέχει σε ποσοστό 1,9% στο σύνολο του πετρώματος στο δείγμα VOLA6 και 1,2% στο σύνολο του πετρώματος στο δείγμα VOLA7. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι περισσότεροι

Πίνακας 3. Αποτελέσματα φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των δειγμάτων B4 και B5 της περιοχής Μικροκλεισούρας Γρεβενών.

Δείγμα	B4	B5
<i>Πετρογραφικός Τύπος</i>	<i>Δολερίτης</i>	<i>Δολερίτης</i>
Φαινόμενο ειδικό βάρος	2490 kg/m ³	2620 kg/m ³
Απόλυτο ειδικό βάρος	2620 kg/m ³	2690 kg/m ³
Φυσική υγρασία	0,42%	0,24%
Συντελεστής υδαταπορρόφησης	0,699%	0,417%
Πορώδες	7,09%	2,60%
Λόγος κενών	0,08	0,03
Δοκιμή υγείας (Na_2SO_4)	3,69%	3,41%
Δοκιμή Υγείας (MgSO_4)	5,28%	5,12%
Αντοχή σε μοναξονική θλίψη (Μ.Ο. 6 δοκιμών)	94,8 MPa	100,6 MPa
Los Angeles (500 στρ.)	18,70%	17,06%
Los Angeles (1000 στρ.)	19,78%	17,87%
Deval υγρό	10,7%	10,1%
C.B.R.	82%	86%
Μέγ. πυκνότητα Proctor/	2269 kg/m ³ /	2267 kg/m ³ /
Βέλτιστη Υγρασία	5,6%	5,4%
Ισοδύναμο άμμου (Μ.Ο. 3 δοκιμών)	66,0	67,0
P.S.V.	58	60
A.A.V.	3,9%	3,1%

κρύσταλλοι ακτινολίθου στα παραπάνω δείγματα παρουσιάζονται με μικρό λόγο επιμήκυνσης (=μήκος/διάμετρος) με αποτέλεσμα να μη θεωρούνται επικίνδυνοι για τη δημόσια υγεία.

Οι τιμές του απόλυτου ειδικού βάρους των υπό μελέτη δολεριτών, οι οποίες εξαρτώνται από την ορυκτολογική σύσταση του πετρώματος θεωρούνται μέσες έως υψηλές και κυμαίνονται στα επιτρεπτά όρια καταλληλότητας αδρανών (NBG 1985, Shakoor et al. 1982, Cargill 1989). Ο συντελεστής υδαταπορρόφησης αποτελεί μια άλλη σημαντική ιδιότητα όσον αφορά στην ανθεκτικότητα των διάφορων πετρωμάτων για χρήση τους ως αδρανή υλικά. Πειραματικές μετρήσεις έχουν δείξει ότι πετρώματα με υδαταπορροφητικότητα μεγαλύτερη από 3% είναι ευπαθή σε απότομες θερμοκρασιακές μεταβολές (Shakoor et al. 1982). Το δείγμα B4 παρουσιάζει υψηλότερο συντελεστή υδαταπορρόφησης (0,699%) σε σχέση με το B5 (0,417%), εξαιτίας του μεγαλύτερου πορώδους (Πίνακας 3) και πιθανά λόγω της συμμετοχής σε αυτό του χλωρίτη σε σημαντικό ποσοστό.

Με τη δοκιμή υγείας προσδιορίζεται η αντοχή ενός αδρανούς υλικού στις μεταβολές του όγκου του, οι οποίες μπορούν να προκληθούν από τις απότομες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις του φυσικού περιβάλλοντος (Smith & Collis 2001). Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται διαλύματα με άλατα (Na_2SO_4 ή MgSO_4) τα οποία κρυσταλλώνονται στους πόρους ή στις ασυνέχειες των αδρανών και προκαλούν την αποικοδόμησή τους μετά από κύκλους θέρμανσης-ψύξης και εναλλαγές υγρασίας και ξηρασίας (Bloem 1966). Οι τιμές που προέκυψαν από τις δοκιμές υγείας των δολεριτών Μικροκλεισούρας είναι αρκετά χαμηλότερες από την οριακή τιμή (<18) όσον αφορά στην καταλληλότητα των αδρανών για αντιολισθηρές στρώσεις.

Όσον αφορά στη δοκιμή φθοράς σε τριβή και κρούση (Los Angeles) οι τιμές που προσδιορίστηκαν για τους υπό μελέτη δολερίτες είναι χαμηλότερες από την ελάχιστη οριακή τιμή 24 των προδιαγραφών για σκληρά αδρανή και αντιολισθηρά υλικά του Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε. Οι μεγαλύτερες τιμές Los Angeles στο δείγμα B4 (18,70% και 19,78% κατά τις δυο δοκιμές αντίστοιχα) σε σχέση με το B5 (17,06% και 17,87% κατά τις δυο δοκιμές αντίστοιχα), μπορούν να αποδοθούν στο μεγαλύτερο ποσοστό του χλωρίτη στο πρώτο δείγμα.

Από τις μετρήσεις προσδιορισμού του δείκτη αντοχής σε στίλβωση (P.S.V.) προκύπτει ότι τα αδρανή που αντιπροσωπεύονται από το δείγμα B4 θεωρούνται κατάλληλα για χρήση αντιολισθηρών στρώσεων σε συνήθεις θέσεις δρόμων με βαριά ημερήσια κυκλοφορία εμπορικών οχημάτων και σε επικίνδυνες θέσεις δρόμων με μέση ημερήσια κυκλοφορία εμπορικών οχημάτων (Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε. 1985). Σύμφωνα με τις ίδιες προδιαγραφές το δείγμα B5 θεωρείται οριακά κατάλληλο για χρήση αντιολισθηρών στρώσεων σε συνήθεις θέσεις δρόμων με πολύ βαριά ημερήσια κυκλοφορία και σε επικίνδυνες θέσεις δρόμων με βαριά ημερήσια κυκλοφορία εμπορικών οχημάτων.

8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την πετρογραφική εξέταση των πετρωμάτων, προκύπτει ότι πρόκειται για εξαλλοιωμένα και τεκτονισμένα δολεριτικά πετρώματα με υποφειτικό ιστό. Οι χαμηλού βαθμού μεταμορφικές διεργασίες που τα έχουν επηρεάσει σε μεγάλη έκταση, υποδεικνύεται κατά κύριο λόγο από το μεγάλο ποσοστό συμμετοχής του χλωρίτη σε αυτά. Επιπρόσθετα, διασχίζονται από ασυνέχειες οι οποίες έχουν πληρωθεί με δευτερογενή ορυκτά (επίδοτο, ασβεσίτη και χαλαζία). Τοπικά παρατηρούνται ζώνες κατακερματισμού, υποδεικνύοντας την έντονη τεκτονική καταπόνηση που έχουν υποστεί. Η παρουσία των παραπάνω ορυκτολογικών φάσεων επιβεβαιώθηκε και με τη βοήθεια ηλεκτρονικής μικροανάλυσης. Επίσης, με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη διερεύνηση αμιαντούχων ορυκτών, όπως ο ακτινολίθος. Προέκυψε, ότι ο ακτινολίθος συμμετέχει σε δυο μόνο δείγματα, όπου κυρίως εμφανίζεται σχετικά αδροκρυσταλλικός. Οι ινώδεις κρύσταλλοι ακτινολίθου, οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως αμιαντούχοι από άποψη μεγέθους, δεν υπερβαίνουν το 1,9%, στο σύνολο του πετρώματος.

Από τις γεωχημικές αναλύσεις αντιπροσωπευτικών δειγμάτων των υπό μελέτη δολεριτών σε κύρια στοιχεία, ιχνοστοιχεία και σπάνιες γαίες, προέκυψε ότι έχουν χημισμό ανάλογο με πετρώματα βασικής σύστασης. Συγκεκριμένα οι τιμές των λόγων Zr/TiO_2 και Nb/Y υποδηλώνουν σύσταση βασικών, ενώ οι τιμές των ιχνοστοιχείων συμπεριλαμβανομένων και των σπάνιων γαίων (REE) υποδηλώνουν χαρακτήρες τύπου N-MORB. Οι φυσικομηχανικές δοκιμές που εκτελέστηκαν σε αντιπροσωπευτικά δείγματα υποδεικνύουν ότι πρόκειται για πετρώματα με εξαιρετικές ιδιότητες και αντοχή, κατάλληλα για πολλές εφαρμογές.

Οι εξεταζόμενοι δολερίτες διαφοροποιούνται σε δύο ομάδες με βάση τη δευτερογενή ορυκτολογική τους σύσταση: Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει δείγματα πλούσια σε χαλαζία με περιεκτικότητα που κυμαίνεται από 10% μέχρι και 20%. Όλα τα δείγματα της πρώτης ομάδας έχουν σε γενικές γραμμές την ίδια κύρια ορυκτολογική σύσταση. Στα δείγματα της δεύτερης ομάδας το ποσοστό σε χαλαζία είναι πολύ χαμηλό (3-4%), ενώ σε ορισμένα από αυτά εμφανίζεται και ακτινολίθος, ο οποίος όμως βρίσκεται σε ελάχιστα ποσοστά με την αμιαντούχο μορφή του.

Τα παραπάνω πετρώματα θεωρούνται κατάλληλα για χρήση τους ως σκύρα και αδρανή υλικά.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο (ΕΚΤ), Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Εκπαίδευση και Αρχική Επαγγελματική Κατάρτιση (ΕΠΕΑΕΚ II) και ειδικότερα το Πρόγραμμα ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ I, για τη χρηματοδότηση αυτού του έργου. Επίσης ευχαριστούμε θερμά τον Δρ. Σ. Νταμπίτζια και έναν ανώνυμο κριτή για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους που βελτίωσαν το αρχικό κείμενο.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- I.G.M.E. 1993. Γεωλογικός χάρτης, φύλλο Κνίδη. Εκδ. I.G.M.E. Αθήνα.
Πομώνης Π. 2003. Οι οφιόλιθοι της Οροσειράς του Κόζιακα: Γεωλογική μελέτη – Πετρογενετική εξέλιξη – Γεωτεκτονική Ερμηνεία. Διδ. Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, 328σ.
- Beccaluna L., Ohnestetter D., Ohnestetter M. & Paupy A. 1984. Two magmatic series with island arc affinities within the Vourinos ophiolites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 85, 253-271.
- Bloem D.L. 1966. Soundness and deleterious substances. Significance of tests and properties of concrete and concrete making materials. ASTM STP 169A, 497-512.
- Cargill J.S. 1989. Evaluation of Empirical Methods of Measuring the Uniaxial Compressive Strength of Rock. Thesis, Department of Geology, Kent State University, Kent, OH, 80 p.
- Deer W.A., Howie R.A. & Zussman J. 1992. Rock-forming minerals, vol. 1A, Orthosilicates (2nd ed.) Longman Group, London, 919 p.
- Griffiths J. 1989. Olivine, volume the key to success. *Ind. Minerals*, 1, 25-36.
- Harben P.W. & Bates R.L. 1990. Industrial minerals, geology and world deposits. London: Industrial Minerals Division, Metal Bulletin Plc, 312p.
- Hartley A. 1974. A review of the geological factors influencing the mechanical properties of road surface aggregates. *Quart. J. Eng. Geol.*, 7, 69-100.
- Hey M.H. 1954. A new review on the chlorites. *Mineral. Mag.*, 224, 277-298.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics) 1981. Rock characterization, testing and monitoring: ISRM suggested methods. Brown E.T. (ed.), Pergamon, Oxford, 211p.
- Jones G., Robertson A.H.F. & Cann J.R. 1991. Genesis and emplacement of the Supra-Subduction Zone Pindos Ophiolite, Northwestern Greece. In: *Ophiolite Genesis and Evolution of the Oceanic Lithosphere*, Peters, T.J. et al. (eds.), 771-799.
- Kazi A. & Al-Mansour Z.R. 1980. Influence of geological factors on abrasion and soundness characteristics of aggregates. *Eng. Geol.*, 15, 195-203.
- Leake B. E., Wooley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W. & Youzhi G. 1997. Nomenclature of amphiboles; report of the Subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *Eur. J. Mineral.*, 9, 623-651.
- Lees G. & Kennedy C.K. 1975. Quality, shape and degradation of aggregates. *Quart. J. Eng. Geol.*, 8, 28-35.
- Morimoto N., Fabries J., Ferguson A.K., Ginzburg I.V., Ross M., Seifert F.A., Zussman J., Aoki K. & Gottardi G. 1988. Nomenclature of pyroxenes. *Am. Mineral.*, 73, 1123-1133.
- NBG (Norwegian Group for Rock Mechanics) 1985. Engineering Geology and Rock Engineering. Handbook No.2, 249 p.
- Olerud S. 1995. Norway's industrial minerals. *Ind. Minerals*, 12, 23-31.
- Pe-Piper G. & Piper D.J.W. 2002. The Igneous Rocks of Greece. Borntraeger, Stuttgart, 645p.
- Ragan D.M. 1967. The twin Sisters dunite, Washington. In: *Ultramafic and related rocks*, Wyllie P.J. (ed.), John Wiley, New York, 100-107.
- Ramsay D.M., Dhir R.K. & Spence I.M. 1974. The role of rock and clast fabric in the physical performance of crushed-rock aggregate. *Eng. Geol.* 8, 267-285.
- Rassios A. 1990. Geology and copper mineralization of the Vrinera area, east Othris ophiolite, Greece. *Ofoliti*, 15, 287-304.
- Rassios A. & Smith A.G. 2000. Constraints on the formation and emplacement age of western Greek ophiolites (Vourinos, Pindos, and Othris) inferred from deformation structures in peridotites. *Geol. Soc. Amer. Sp. Pap.*, 349, 473-483.
- Shakoor A., West T.R. & Scholer C.F. 1982. Physical characteristics of some Indiana argillaceous carbonates regarding their freeze-thaw resistance in concrete. *Bull. Ass. Eng. Geol.*, 19, 4, 371-384.
- Smith M.R. & Collis L. 2001. Aggregates: Sand Gravel and Crushed Rock aggregates for Construction Purposes. Geological Society, London Eng. Geol. Sp. Publ. 17, 339p.
- Valsami E. 1990. Mineralogy and petrology of hydrothermal discharge zones in the Pindos and Othris ophiolites. Ph.D. Thesis, University of Newcastle-on-Tyne, 359p.
- Winchester J.A. & Floyd P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geology*, 20, 325-343.

ABSTRACT

INVESTIGATION FOR THE SUITABILITY OF BASIC OPHIOLITIC ROCKS FROM THE MIKROKLISSOURA GREVENA AREA AS ANTI-SKID AGGREGATE MATERIAL AND RAILROAD BALLAST

Tsikouras B., Pomonis P., Rigopoulos I. and Hatzipanagiotou K.

Section of Earth Materials, Department of Geology, University of Patras, 265 00, Patras
v.tsikouras@upatras.gr, ppomonis@upatras.gr, rigopoul@upatras.gr, k.hatzipanagiotou@upatras.gr

The study presented in this paper deals with the suitability of the dolerites from the Mikroklioussa-Grevena area as anti-skid materials. Petrographical, mineralogical, geochemical and physico-mechanical properties were investigated in order to determine the suitability of these dolerites as aggregates resource. These rocks belong to the mafic members of the Vourinos ophiolitic complex and they display N-type MORB geochemical characteristics. Particular accent was given in the determination of fibers of actinolitic asbestos, which are considered dangerous for the public health when they participate in the rock at relatively high concentrations. The values obtained from the physico-mechanical properties were compared with the typical acceptance limits in greek and international standards. All studied doleritic samples were found to be suitable for production of crushed rock anti-skid aggregates for highway base courses and railroad ballast.