

# **ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΚΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΩΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΟ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΤΗΣ ΠΙΝΔΟΥ (ΒΔ ΕΛΛΑΔΑ)**

Ιωάννης Ρηγόπουλος

*Υπ. Διδάκτωρ, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Ορυκτών Πρώτων Υλών*

Παναγιώτης Πομώνης

*Λέκτορας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας*

Βασίλειος Τσικούρας

*Επ. Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Ορυκτών Πρώτων Υλών*

Κωνσταντίνος Χατζηπαναγιώτου

*Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Ορυκτών Πρώτων Υλών*

Κωνσταντίνος Στουρνάρας

*Διευθυντής Ε.Κ.Ε.Π.Υ. Α.Ε.*

*Λέξεις κλειδιά: Αδρανή υλικά, φυσικομηχανικές ιδιότητες, δολερίτες, τροκτόλιθοι, δουνίτες, χαρτσβουργίτες*

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Προσδιορίστηκαν πετρογραφικά, ορυκτοχημικά, γεωχημικά και φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά σε 6 αντιπροσωπευτικά δείγματα βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων από το οφιολιθικό σύμπλεγμα της Πίνδου, στη ΒΔ Ελλάδα. Με ανάλυση παλινδρόμησης διερευνήθηκαν οι συσχετίσεις μεταξύ των διαφόρων φυσικομηχανικών ιδιοτήτων και πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ βασικών και υπερβασικών λιθοτύπων. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι τα ορυκτολογικά και ιστολογικά τους χαρακτηριστικά αποτελούν τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν τις φυσικομηχανικές τους ιδιότητες. Οι βασικοί λιθότυποι, παρουσιάζουν υψηλότερη αντοχή σε φθορά από τριβή και κρούση με τη μηχανή Los Angeles και σε φθορά με τη μηχανή Micro-Deval σε σχέση με τους υγιείς υπερβασικούς λιθότυπους, οι οποίοι παρουσιάζουν καλύτερες τιμές ισοδύναμου άμμου (SE) και αντίστασης σε στίλβωση (PSV). Ωστόσο, όλα τα υπό μελέτη δείγματα, με εξαίρεση ένα δείγμα σερπεντινωμένου χαρτσβουργίτη, θεωρούνται κατάλληλα για την παραγωγή υψηλής ποιότητας θραυστών αδρανών υλικών.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

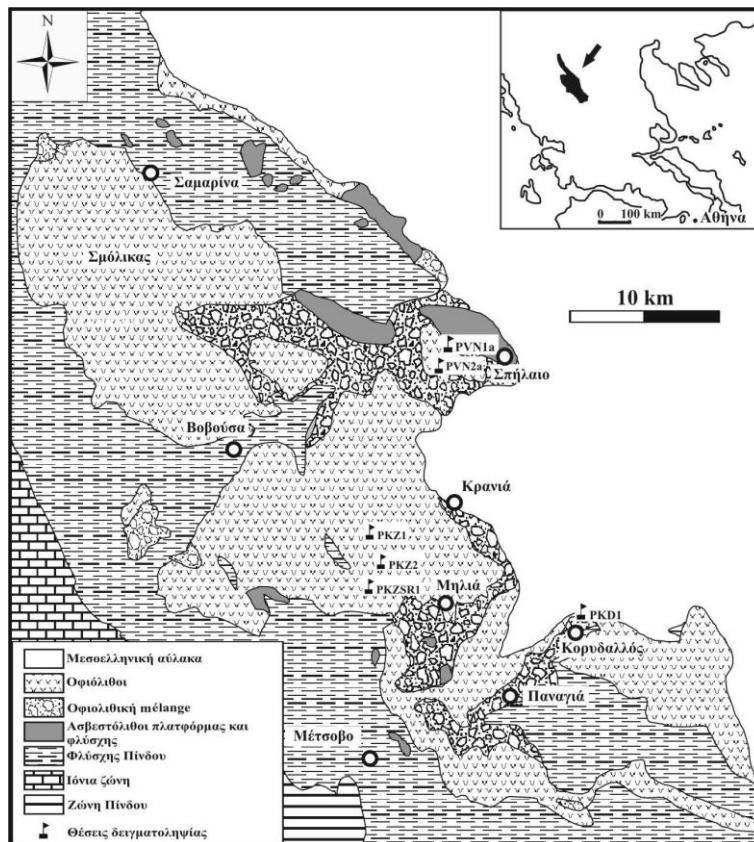
Η εξέλιξη της έρευνας των οφιολιθικών συμπλεγμάτων, από τη σκοπιά των βιομηχανικών εφαρμογών των πετρολογικών τύπων που περιλαμβάνουν, ακολουθεί σε παγκόσμιο επίπεδο μία συνεχώς ανερχόμενη πορεία. Οι βασικοί και υπερβασικοί λιθότυποι χρησιμοποιούνται ευρέως ως αντιολισθηρά αδρανή οδοποιίας, αδρανή σκυροδεμάτων, σκύρα σιδοροτροχιών κ.ά. (π.χ. French & Crammond 1980, Ρηγόπουλος κ.ά. 2005, Τσικούρας κ.ά. 2005).

Παρά την ιδιαίτερη σημασία των οφιολίθων, η λατόμευσή τους έχει αρχίσει μόλις τα τελευταία χρόνια, λόγω της ολοένα αυξανόμενης ζήτησης σκληρών αδρανών υλικών, σε πολλά μεγάλα έργα που πραγματοποιούνται στον Ελληνικό χώρο. Επιπλέον, η θέσπιση των νέων Ευρωπαϊκών προδιαγραφών (EN) από το 2004, έχει κάνει επιτακτική την ανάγκη αναζήτησης υψηλής ποιότητας αδρανών υλικών, τα οποία βρίσκονται εντός των νέων ορίων καταλληλότητας.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η συγκριτική μελέτη των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων, από το οφιολιθικό σύμπλεγμα της Πίνδου. Συλλέχθηκαν συνολικά 6 αντιπροσωπευτικά δείγματα, τα οποία περιλαμβάνουν δολερίτες, τροκτόλιθους, δουνίτες, μεταβατικούς χαρτσβουργίτες και σερπεντινωμένους χαρτσβουργίτες. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στα πετρογραφικά τους χαρακτηριστικά, ενώ παρατηρήθηκε επίσης η μικροτραχύτητα μεμονωμένων κόκκων τους με χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM).

## 2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ

Οι ορεινοί όγκοι της βόρειας Πίνδου περιλαμβάνουν μία από τις καλύτερα διατηρημένες οφιολιθικές ακολουθίες στον Ελληνικό χώρο (Εικ. 1). Το οφιολιθικό σύμπλεγμα της Πίνδου είναι τοποθετημένο στην Υποελαγονική ζώνη και συνίσταται από τρεις κύριες τεκτονικές ενότητες (Jones & Robertson 1991): (i) το Σύστημα της Δραμάλας, το οποίο αποτελείται από τοπικά σερπεντινωμένους χαρτσβουργίτες με άφθονους θυλακοειδείς δουνίτες και σε μικρότερο ποσοστό από λερζόλιθους και σωρειτικά πετρώματα (Rassios 1991), (ii) το Σύστημα του Ασπροπόταμου, το οποίο περιλαμβάνει υπερβασικούς και βασικούς σωρείτες, φλεβικά και ηφαιστειακά πετρώματα και (iii) την Ενότητα της Λουμνίτσας που αποτελεί το μεταμορφικό πέλμα του οφιολιθικού συμπλέγματος της Πίνδου. Οι παραπάνω τεκτονικές ενότητες υπέρκεινται της *mélange* της Αβδέλλας, η οποία έχει πάχος περίπου 1 km και περιλαμβάνει τεκτονικά τεμάχη ποικίλων διαστάσεων και λιθολογιών.



Εικόνα 1. Γεωλογικός - δειγματοληπτικός χάρτης του οφιολιθικού συμπλέγματος της Πίνδου (τροποποιημένος από Jones & Robertson 1991).

Συλλέχθηκαν 2 δείγματα δολερίτη (PVN1a, PVN2a) από την περιοχή δυτικά του Σπηλαιού (Σύστημα Ασπροπόταμου), 3 υπερβασικά δείγματα (PKZ1, PKZ2, PKZSR1) από την περιοχή ΒΔ της Μηλιάς (Σύστημα Δραμάλας) και ένα δείγμα τροκτόλιθου (PKD1) από την οφιολιθική μέλανγε βόρεια του Κορυδαλλού (Εικ. 1).

### 3. ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΑ

Η ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων ποσοτικοποιήθηκε από μία λεπτή τομή για κάθε δείγμα, με “point count” ανάλυση (Πίνακας 1). Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν αντιπροσωπευτικές σημειακές μικροαναλύσεις ορυκτών, προκειμένου να προσδιοριστούν οι συστάσεις τους.

Πίνακας 1. Περιεκτικότητα (% κ.ο.) ορυκτών στα πετρώματα που μελετήθηκαν από ανάλυση “point count”

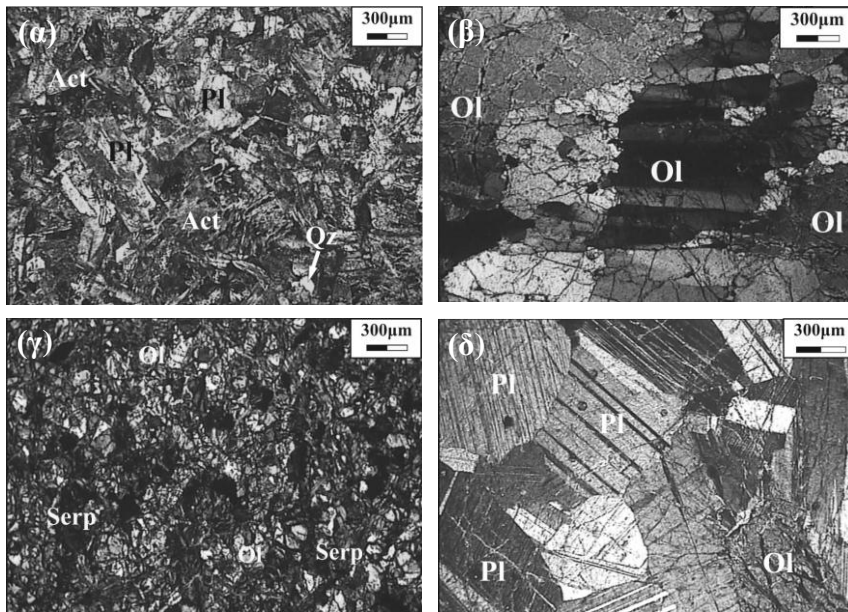
Δείγμα	Pl	Orp	Cpx	Oi	Op	Act/Tr	Ep	Serp	Chl	Qz	Tc
PVN1a	47.7	-	13.7	-	2.0	23.3	1.3	-	4.3	7.7	-
PVN2a	50.7	-	38.0	-	2.0	0.3	0.7	-	7.3	1.0	-
PKD1	68.7	-	1.0	12.7	0.3	-	-	17.3	-	-	-
PKZ1	-	2.5	-	85.5	1.5	-	-	9.5	-	-	1.0
PKZ2	-	13.5	-	74.0	1.5	-	-	10.0	-	-	1.0
PKZSR1	-	2.0	-	36.5	9.0	2.0	-	46.5	1.5	-	2.5

(Pl: πλαγιόκλαστο, Orp: ορθοπυρόξενος, Cpx: κλινοπυρόξενος, Oi: ολιβίνης, Op: μεταλλικά, Act/Tr: ακτινόλιθος/τρεμολίτης, Ep: επίδοτο, Serp: σερπεντίνης, Chl: χλωρίτης, Qz: χαλαζίας, Tc: τάλκης)

Οι δολερίτες που συλλέχθηκαν, αποτελούν λεπτόκοκκα έως μεσόκοκκα ισότροπα πετρώματα με υποφειτικό έως πορφυροειδή ιστό (Εικ. 2α). Η κύρια ορυκτολογική τους σύσταση περιλαμβάνει πλαγιόκλαστο (λαβραδορίτης-ανορθίτης) και κλινοπυρόξeno (αυγίτης), ενώ συμμετέχουν επίσης τα δευτερογενή ορυκτά ακτινόλιθος, χλωρίτης, επίδοτο, κλινοζωϊσίτης, χαλαζίας και τιτανίτης. Τα πλαγιόκλαστα παρουσιάζονται άλλοτε καολινιτιωμένα και άλλοτε σωσσυριτιωμένα, ενώ αρκετοί από τους κλινοπυρόξενους έχουν αντικατασταθεί από ακτινόλιθο και/ή χλωρίτη. Ακόμη εντοπίζονται τα μεταλλικά ορυκτά σιδηροπυρίτης, χαλκοπυρίτης, μαγνητίτης και αιματίτης σε χαμηλά ποσοστά. Όσον αφορά στις μικρορωγμές, οι περισσότερες περιορίζονται στο εσωτερικό των κρυστάλλων (intragranular), ενώ λιγότερες είναι εκείνες που τέμνουν περισσότερους από έναν κρυστάλλους (intergranular).

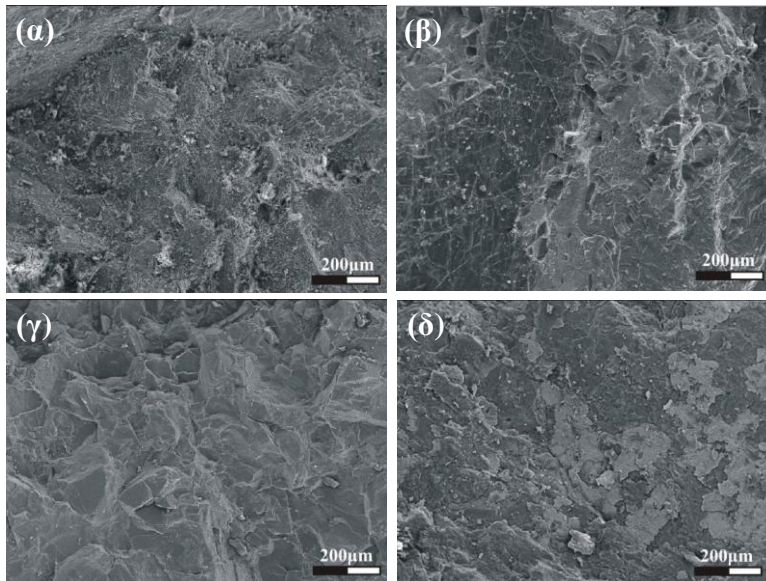
Από τους υπερβασικούς λιθότυπους που εξετάστηκαν, οι δουνίτες και οι μεταβατικοί χαρτσβουργίτες παρουσιάζουν κοκκώδη έως πορφυροκλαστικό (Εικ. 2β) και κατά τόπους κατακλαστικό ιστό. Αποτελούνται κατά κύριο λόγο από ολιβίνη (Fo<sub>90-92</sub>), ορθοπυρόξeno (ενστατίτης) συχνά με λαμέλλες απόμιξης κλινοπυρόξενου σύστασης διοψίδιου και χρωμίτη. Σε μικρά ποσοστά συμμετέχουν τα δευτερογενή ορυκτά σερπεντίνης, χλωρίτης και τάλκης. Πολύ συχνές είναι οι γωνιάσεις των κόκκων του ολιβίνης, καθώς και οι επιμήκεις πορφυροκλάστες ολιβίνης και ορθοπυρόξενου, που αποτελούν ένδειξη των παραμορφωτικών τάσεων που έχουν επιδράσει στους λιθότυπους αυτούς. Όσον αφορά στους σερπεντινωμένους χαρτσβουργίτες (Εικ. 2γ), παρουσιάζουν κατακλαστικό έως κυψελώδη ιστό και αποτελούνται από τα υπολειμματικά πρωτογενή ορυκτά ολιβίνη, ορθοπυρόξeno και σπινέλλιο. Από τα δευτερογενή ορυκτά επικρατεί ο σερπεντίνης, ενώ σε μικρότερα ποσοστά εντοπίζονται τάλκης, ακτινόλιθος, τρεμολίτης, χλωρίτης και ασβεστίτης. Οι “intragranular” και “intergranular” μικρορωγμές που παρατηρούνται στα υπερβασικά πετρώματα, παρουσιάζουν σημαντικά μεγαλύτερη συχνότητα στον σερπεντινωμένο χαρτσβουργίτη.

Οι τροκτόλιθοι του Κορυδαλλού αποτελούν μεσόκοκκα έως αδρόκοκκα πετρώματα με κοκκώδη ιστό (Εικ. 2δ). Η κύρια ορυκτολογική τους σύσταση περιλαμβάνει πλαγιόκλαστο (βυτοβίτης-ανορθίτης) και ολιβίνη (F<sub>088-91</sub>), ενώ συμμετέχουν επίσης κλινοπυρόξενος (διοψίδιος) και μεταλλικά ορυκτά (μαγνητίτης, ιμηνίτης) σε επουσιώδη ποσοστά. Οι εξαλλοιωτικές διεργασίες που έχουν επιδράσει στους τροκτόλιθους, υποδεικνύονται από τη μερική σερπεντινίωση του ολιβίνης και από την πλήρωση “intergranular” μικρορωγμών που διασχίζουν το πέτρωμα με επίδοτο και χαλαζία.



Εικόνα 2. Εικόνες πολωτικού μικροσκοπίου των δειγμάτων (α) PVN1a, (β) PKZ1, (γ) PKZSR1 και (δ) PKD1 (Pl: πλαγιόκλαστο, Ol: ολιβίνης, Qz: χαλαζίας, Act: ακτινόλιθος, Serp: σερπεντίνης - διασταυρωμένα nicols).

Η μικροτραχύτητα μεμονωμένων κόκκων αδρανούς υλικού από τα υπό μελέτη δείγματα, προσδιορίστηκε με χρήση εικόνων ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM). Είναι εμφανές ότι η μικροτραχύτητα των δολεριτών (Εικ. 3α) είναι ιδιαίτερα αυξημένη σε σχέση με των τροκτολίθων (Εικ. 3β). Σημαντικά υψηλό είναι επίσης το μικροανάγλυφο των υγιών υπερβασικών λιθοτύπων (Εικ. 3γ), σε αντίθεση με τον σερπεντινωμένο χαρτσβουργίτη, του οποίου οι επιφάνειες είναι αρκετά εξομαλυμένες (Εικ. 3δ).



Εικόνα 3. Εικόνες δευτερογενούς εκτομής ηλεκτρονίων από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, σε θραυσμένες επιφάνειες: (α) PVN1a, (β) PKD1, (γ) PKZ1 και (δ) PKZSR1.

#### 4. ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ

Από τις γεωχημικές αναλύσεις με τη μέθοδο FUS-ICP (Πίνακας 2), φαίνεται ότι οι δολερίτες και οι τροκτόλιθοι περιέχουν  $\text{SiO}_2$  που κυμαίνεται από 42.30% έως 55.42%. Είναι εμφανές ότι οι δολερίτες έχουν χαμηλότερο ποσοστό σε απώλεια πύρωσης (LOI: 2.32-2.97%) συγκριτικά με τους τροκτόλιθους (LOI: 6.32%), λόγω της συμμετοχής σημαντικού ποσοστού σερπεντίνη στους τελευταίους.

Πίνακας 2. Γεωχημικές αναλύσεις των υπό μελέτη δειγμάτων

Δείγμα	PVN1a	PVN2a	PKD1	PKZ1	PKZ2	PKZSR1
<b>Κύρια στοιχεία (% κ.β.)</b>						
$\text{SiO}_2$	55.42	49.15	42.30	42.57	42.06	37.72
$\text{Al}_2\text{O}_3$	14.68	17.33	25.51	0.27	0.47	0.74
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	9.33	8.46	2.89	8.10	8.33	8.29
$\text{MnO}$	0.13	0.12	0.03	0.10	0.10	*
$\text{MgO}$	6.70	7.56	9.63	47.72	44.84	37.09
$\text{CaO}$	8.30	10.69	11.88	0.33	0.52	0.08
$\text{Na}_2\text{O}$	1.84	2.66	1.03	*	*	0.06
$\text{K}_2\text{O}$	0.10	0.05	0.05	*	0.03	*
$\text{TiO}_2$	0.20	0.98	0.01	*	*	*
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.02	0.08	*	*	*	*
<b>LOI</b>	<b>2.97</b>	<b>2.32</b>	<b>6.32</b>	<b>0.91</b>	<b>2.94</b>	<b>16.57</b>
<b>Σύνολο</b>	<b>99.69</b>	<b>99.40</b>	<b>99.65</b>	<b>100.00</b>	<b>99.29</b>	<b>100.55</b>

(\* κάτω από το όριο ανιχνευσιμότητας)

Όσον αφορά στους υπερβασικούς λιθότυπους, δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στο χημισμό μεταξύ δουνιτών και μεταβατικών χαρτσβουργιτών. Το ποσοστό  $\text{SiO}_2$  και ο λόγος  $\text{MgO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ <sup>1</sup> κυμαίνονται από 37.72% έως 42.06% και από 4.47 έως 5.89 αντίστοιχα. Το δείγμα PKZSR1 χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα υψηλό ποσοστό σε LOI (16.57%), υποδεικνύοντας την εκτεταμένη σερπεντινίωσή του.

## 5. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

### 5.1 Φυσικές ιδιότητες

Από τις φυσικές ιδιότητες (Πίνακας 3), προσδιορίστηκαν η φυσική υγρασία (AASHTO T255), η υδαταπορροφητικότητα (ΕΛΟΤ EN 1097-06), το φαινόμενο ειδικό βάρος (ΕΛΟΤ EN 1097-06), το απόλυτο ειδικό βάρος (ASTM D 854-83) και το ισοδύναμο άμμου (ASTM D 2419), ενώ υπολογίστηκαν επίσης το ολικό πορώδες και ο λόγος κενών.

### 5.2 Μηχανικές ιδιότητες

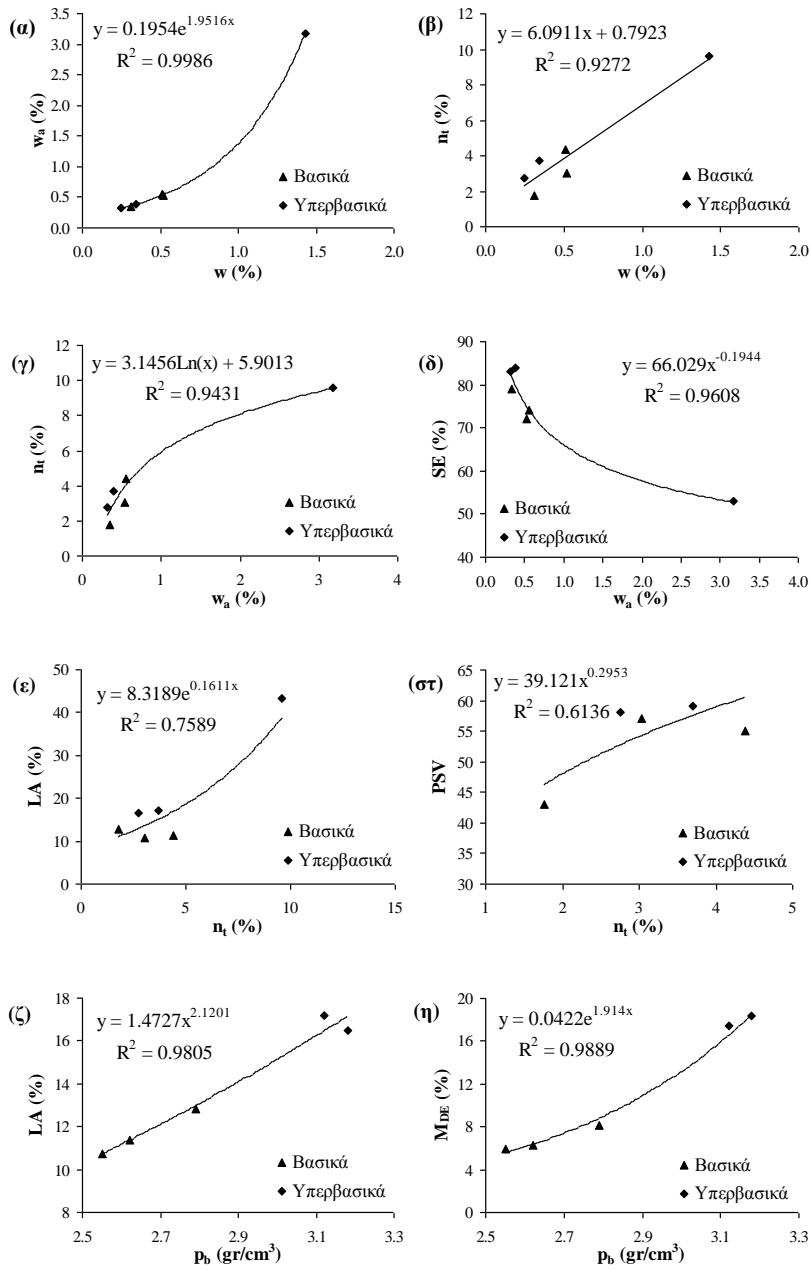
Η μηχανική αντοχή των πετρωμάτων προσδιορίστηκε με βάση τις παρακάτω εργαστηριακές δοκιμές: αντοχή σε φθορά από τριβή και κρούση (Los Angeles, ASTM C 131), αντοχή σε φθορά (Micro-Deval, ΕΛΟΤ EN 1097-01), αντίσταση σε κρούση (AIV, BS 812: Part 112) και αντίσταση σε στίλβωση (PSV, ΕΛΟΤ EN 1097-08) (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Αποτελέσματα φυσικομηχανικών ιδιοτήτων

Αρ. Δείγματος	PVN1a	PVN2a	PKD1	PKZ1	PKZ2	PKZSR1
Φυσική υγρασία (w, %)	0.52	0.51	0.31	0.25	0.34	1.43
Υδαταπορροφητικότητα ( $w_a$ , %)	0.53	0.55	0.34	0.32	0.39	3.17
Ολικό πορώδες ( $n_p$ , %)	3.04	4.38	1.76	2.75	3.70	9.59
Λόγος κενών (e)	0.031	0.046	0.017	0.028	0.038	0.104
Απόλυτο ειδικό βάρος ( $\rho_a$ , $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	2.63	2.74	2.84	3.27	3.24	2.71
Φαινόμενο ειδικό βάρος ( $\rho_b$ , $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	2.55	2.62	2.79	3.18	3.12	2.45
Ισοδύναμο άμμου (SE, %)	72	74	79	83	84	53
Δείκτης Los Angeles (LA, %)	10.72	11.37	12.84	16.48	17.20	43.40
Δείκτης Micro-Deval ( $M_{DE}$ , %)	5.91	6.25	8.10	18.35	17.39	21.83
Δείκτης αντίστασης σε κρούση (AIV, %)	12.98	7.37	10.50	12.90	13.02	24.77
Δείκτης αντίστασης σε στίλβωση (PSV)	57	55	43	58	59	48

### 5.3 Σχέσεις μεταξύ φυσικομηχανικών ιδιοτήτων

Το εύρος των τιμών των προσδιορισθέντων φυσικομηχανικών ιδιοτήτων και οι μεταξύ τους συσχετισμοί παρουσιάζονται με ανάλυση παλινδρόμησης (regression analysis). Οι συσχετίσεις που παρατίθενται παρακάτω έχουν ταυτόχρονα φυσική σημασία και δίνεται για καθεμία από αυτές η συνάρτηση που ορίζει την καλύτερη δυνατή καμπύλη συσχέτισης.

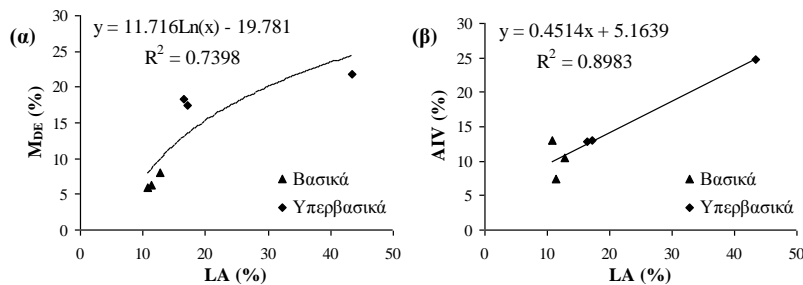


Εικόνα 4. Συσχετίσεις μεταξύ των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων: (α)  $w$ - $w_a$ , (β)  $w$ - $n_t$ , (γ)  $w_a$ - $n_t$ , (δ)  $w_a$ - $SE$ , (ε)  $n_t$ - $LA$ , (στ)  $n_t$ - $PSV$ , (ζ)  $\rho_b$ - $LA$ , (η)  $\rho_b$ - $MDE$  (για σύμβολα ιδιοτήτων βλ. Πίνακα 3).



Από την Εικόνα 4α προκύπτει ότι όσο αυξάνεται η φυσική υγρασία των υπό μελέτη οφιολιθικών πετρωμάτων, τόσο αυξάνεται και η υδαταπορροφητικότητά τους. Επιπλέον, παρατηρείται ότι η φυσική υγρασία και η υδαταπορροφητικότητα παρουσιάζουν υψηλό βαθμό θετικής συσχέτισης με το πορώδες (Εικ. 4β, γ), ενώ αρνητική είναι η συσχέτιση μεταξύ του ισοδύναμου άμμου και της υδαταπορροφητικότητας ( Εικ. 4δ).

Όσον αφορά στις σχέσεις μεταξύ φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων, παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνεται η τιμή του πορώδους τόσο αυξάνονται οι δείκτες Los Angeles (Εικ. 4ε) και PSV (Εικ. 4στ). Ακόμη, είναι εμφανές ότι το φαινόμενο ειδικό βάρος, η τιμή του οποίου εξαρτάται από τα ορυκτολογικά και ιστολογικά χαρακτηριστικά του πετρώματος, συσχετίζεται θετικά με τους δείκτες Los Angeles και Micro-Deval (Εικ. 4ζ, η). Αξιόλογες σχέσεις παρατηρήθηκαν επίσης μεταξύ του δείκτη Los Angeles και των δεικτών Micro-Deval και AIV (Εικ. 5).



Εικόνα 5. Συσχετίσεις μεταξύ των μηχανικών ιδιοτήτων: (α) LA-MDE, (β) LA-AIV (για σύμβολα ιδιοτήτων βλ. Πίνακα 3).

## 6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η ορυκτολογική σύσταση, τα ιστολογικά χαρακτηριστικά, ο βαθμός εξαλλοίωσης, αποσάθρωσης και παραμόρφωσης, αποτελούν τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν τις φυσικομηχανικές ιδιότητες και συνεπώς την καταλληλότητα των αδρανών υλικών για χρήση τους σε διάφορες εφαρμογές (π.χ. Hartley 1974, Brattli 1992, Smith & Collis 2001, Rigopoulos et al. 2007).

Η υδαταπορροφητικότητα ( $w_a$ ) και το πορώδες ( $n_i$ ) είναι ιδιαίτερης σημασίας όσον αφορά στην ποιότητα των αδρανών υλικών, αφού υψηλές τιμές των παραμέτρων αυτών έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της επιδεκτικότητας των αδρανών σε απότομες θερμοκρασιακές μεταβολές (Bell 1998). Οι υπό μελέτη λιθότυποι χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές  $w_a$  και  $n_i$ , με εξαίρεση το δείγμα PKZSR1, στο οποίο οι υψηλές τιμές  $w_a$  και  $n_i$  αποδίδονται στον έντονο βαθμό εξαλλοίωσης και στην υψηλή συχνότητα των μικροδιακλάσεων.

Οι τιμές του απόλυτου και φαινόμενου ειδικού βάρους, οι οποίες

εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από την ορυκτολογική σύσταση του πετρώματος, είναι μικρότερες για τους δολερίτες και τους τροκτόλιθους όπου συμμετέχει πλαγιόκλαστο σε σημαντικό ποσοστό και υψηλότερες για τους δουνίτες και μεταβατικούς χαρτσβουργίτες όπου επικρατεί ο ολιβίνης. Από την άλλη πλευρά, το δείγμα PKZSR1 έχει μικρό ειδικό βάρος, λόγω της συμμετοχής του σερπεντίνη σε υψηλό ποσοστό.

Από τη δοκιμή ισοδύναμου άμμου, προκύπτει ότι το κλάσμα των δουνιτών, των μεταβατικών χαρτσβουργιτών και των τροκτολίθων που διέρχεται από το κόσκινο No. 4 (4,75 mm), περιέχει μικρότερο ποσοστό σε λεπτόκοκκο υλικό σε σχέση με τους δολερίτες, πιθανά λόγω της εξαλλοίωσης των πλαγιοκλάστων και γενικότερα της συμμετοχής σημαντικού ποσοστού δευτερογενών ορυκτών στους τελευταίους.

Οι δολερίτες και οι τροκτόλιθοι χαρακτηρίζονται από υψηλότερη αντοχή σε φθορά από τριβή και κρούση με τη μηχανή Los Angeles και σε φθορά με τη μηχανή micro-Deval σε σχέση με τους δουνίτες και τους μεταβατικούς χαρτσβουργίτες. Η υψηλότερη μηχανική αντοχή των δολεριτών οφείλεται στον λεπτόκοκκο χαρακτήρα τους, ενώ των τροκτολίθων στη σημαντικά μικρότερη συχνότητα μικροδιακλάσεων εντός της μάζας τους συγκριτικά με τους υπερβασικούς λιθότυπους. Οι τιμές AIV είναι παρόμοιες για τις δύο κατηγορίες πετρωμάτων. Παρόμοιες σχέσεις έχουν αναφερθεί από τους Ifan & Dearman (1978), Haraldsson (1984) και Räisänen (2004).

Σύμφωνα με τον Knill (1960), τα μαγματικά πετρώματα που περιέχουν μικρό ποσοστό σε δευτερογενή ορυκτά χαμηλής σκληρότητας, καθώς και εκείνα που αποτελούνται από σημαντικό μέγεθος ρωγματομένους κρυστάλλους, τείνουν να παρουσιάζουν υψηλή αντίσταση στη στίλβωση. Το μέγεθος των ορυκτών κόκκων δεν επηρεάζει σημαντικά το βαθμό στίλβωσης, ωστόσο έχει παρατηρηθεί ότι όσο μειώνεται, τόσο αυξάνεται η επιδεκτικότητα των αδρανών υλικών σε στίλβωση. Η αυξημένη διαφορική σκληρότητα που προκύπτει από τη συμμετοχή του χλωρίτη στους δολερίτες και του σερπεντίνη στους δουνίτες και τους μεταβατικούς χαρτσβουργίτες, καθιστά δυνατή τη διατήρηση της μικροτραχύτητας των πετρωμάτων αυτών. Οι ασθενώς χαμηλότερες τιμές PSV των δολεριτών, αποδίδονται στο λεπτοκρυσταλλικό μέγεθος των ορυκτολογικών συστατικών τους. Οι τροκτόλιθοι λόγω της χαμηλής διαφορικής σκληρότητας των ορυκτών τους και οι σερπεντινωμένοι χαρτσβουργίτες λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε δευτερογενή ορυκτά, χαρακτηρίζονται από υψηλή επιδεκτικότητα σε στίλβωση.

Από τους συσχετισμούς που πραγματοποιήθηκαν μεταξύ των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων, παρατηρήθηκαν υψηλού βαθμού θετικές συσχετίσεις μεταξύ της φυσικής υγρασίας, της υδαταπορροφητικότητας και του πορώδους, καθώς και αρνητική συσχέτιση μεταξύ της υδαταπορροφητικότητας και του ισοδύναμου άμμου. Ακόμη, παρατηρήθηκε ότι αυξανόμενου του πορώδους, αυξάνονται οι δείκτες Los Angeles και PSV. Σημαντικές είναι επίσης οι θετικές συσχετίσεις μεταξύ

του φαινομένου ειδικού βάρους και των δεικτών Los Angeles και Micro-Deval, οι οποίες υποδεικνύουν τη χαμηλότερη μηχανική αντοχή των δουνιτών και μεταβατικών χαρτςβουργιτών σε σχέση με τους δολερίτες και τους τροκτόλιθους. Όσον αφορά στις σχέσεις μεταξύ των μηχανικών ιδιοτήτων, ενδιάμεσος και υψηλός βαθμός θετικής συσχέτισης παρατηρήθηκε μεταξύ του δείκτη Los Angeles και των δεικτών Micro-Deval και AIV αντίστοιχα. Παρόμοιες σχέσεις αναφέρονται από διάφορους ερευνητές (π.χ. Hartley 1974, Σαχπάζης 1988, Rogers 1998).

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την πετρογραφική εξέταση προκύπτει ότι οι διεργασίες μεταμόρφωσης ωκεάνιου πυθμένα έχουν επηρεάσει σε μικρό έως μέσο βαθμό τους δολερίτες, τους τροκτόλιθους, τους δουνίτες και τους μεταβατικούς χαρτςβουργίτες. Τα ιστολογικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων αυτών, υποδεικνύουν ότι οι υπερβασικοί λιθότυποι είναι περισσότερο τεκτονισμένοι σε σχέση με τους βασικούς. Όσον αφορά στο δείγμα του σερπεντινωμένου χαρτςβουργίτη, το υψηλό ποσοστό σε δευτερογενή ορυκτά και οι πυκνές μικροδιακλάσεις που παρατηρούνται, υποδεικνύουν τη χαμηλή μηχανική αντοχή του.

Τα ορυκτολογικά και ιστολογικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη δειγμάτων αποτελούν τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν τις φυσικομηχανικές τους ιδιότητες και ως εκ τούτου την ποιότητά τους για χρήση τους ως αδρανή υλικά. Από τα αποτελέσματα των προσδιορισθέντων ιδιοτήτων συμπεραίνεται ότι οι δολερίτες και οι τροκτόλιθοι χαρακτηρίζονται από υψηλότερη μηχανική αντοχή σε σχέση με τους δουνίτες και τους μεταβατικούς χαρτςβουργίτες. Η διαφοροποίηση αυτή, αποδίδεται τόσο στον λεπτόκοκκο χαρακτήρα των δολεριτών όσο και στη μικρή συχνότητα των μικροδιακλάσεων των τροκτόλιθων, συγκριτικά με τα περισσότερο αδρόκοκκα και τεκτονισμένα υπερβασικά πετρώματα. Ο χλωρίτης στους δολερίτες και ο σερπεντίνης στους δουνίτες και τους μεταβατικούς χαρτςβουργίτες έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της διαφορικής σκληρότητας των πετρωμάτων αυτών, καθιστώντας δυνατή τη διατήρηση της μικροτραχύτητάς τους. Από την άλλη πλευρά, οι χαμηλές τιμές PSV του τροκτόλιθου και του σερπεντινωμένου χαρτςβουργίτη, αποδίδονται στη χαμηλή διαφορική σκληρότητα των ορυκτολογικών συστατικών του πρώτου και στο υψηλό ποσοστό των δευτερογενών ορυκτών του δεύτερου λιθότυπου αντίστοιχα.

Από τις συσχετίσεις μεταξύ των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων, προκύπτει ότι η υδαταπορροφητικότητα συσχετίζεται θετικά με τη φυσική υγρασία και το πορώδες και αρνητικά με το ισοδύναμο άμμου. Παρατηρήθηκαν ακόμη θετικές συσχετίσεις μεταξύ του πορώδους και των δεικτών Los Angeles και PSV, καθώς και μεταξύ του φαινομένου ειδικού βάρους και των δεικτών Los Angeles και Micro-Deval. Επιπλέον, προέκυψε ότι ο δείκτης Los

Angeles αυξάνεται αυξανόμενων των δεικτών Micro-Deval και AIV.

Τα υπό μελέτη βασικά και υπερβασικά πετρώματα, με εξαίρεση τον σερπεντινωμένο χαρτσβουργίτη, θεωρούνται κατάλληλα για την παραγωγή υψηλής ποιότητας θραυστών αδρανών υλικών, καθότι οι τιμές των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων τους βρίσκονται εντός των προδιαγραφών που ορίζουν τα νέα ευρωπαϊκά πρότυπα.

## 8. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο (ΕΚΤ), Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Εκπαίδευση και Αρχική Επαγγελματική Κατάρτιση (ΕΠΕΑΕΚ ΙΙ) και ειδικότερα το Πρόγραμμα ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ Ι, για τη χρηματοδότηση αυτού του έργου.

## 9. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

AASHTO, Standard method of test for total evaporable moisture content of aggregate by drying, T255 (2004)

ASTM, Resistance to abrasion of small-size coarse aggregate by use of the Los Angeles machine, C131-89 (1989)

ASTM, Standard test method for specific gravity of soils, D 854-83 (1989)

ASTM, Test method for Sand Equivalent value of soils and fine aggregate, D 2419, Annual Book of Standards, 4.03 (2002)

Bell, F.G., "Engineering geology", 3<sup>rd</sup> edn. Blackwell Science, Oxford (1998)

Brattli, B., "The influence of geological factors on the mechanical properties of basic igneous rocks used as road surface aggregates". Eng. Geol., Vol. 33 (1992) 31-44

British Standards Institution, Testing Aggregates, Part: 112: Method for determination of Aggregate Impact Value (1990)

ΕΛΟΤ EN 1097-01, Tests for mechanical and physical properties of aggregates-Part 1: Determination of the resistance to wear (micro-Deval) (1996)

ΕΛΟΤ EN 1097-06, Tests for mechanical and physical properties of aggregates-Part 6: Determination of particle density and water absorption (1997)

ΕΛΟΤ EN 1097-08, Tests for mechanical and physical properties of aggregates-Part 8: Determination of the polished stone value (1999)

French, W. J. & Crammond, N. J., "The influence of serpentinite and other rocks on the stability of concretes in the Middle East". Q. Jl. Engng. Geol., Vol. 13 (1980) 255-280

Haraldsson, H., "Relations between petrography and the aggregate

properties of Icelandic rocks". IAEG Bull., Vol. 30 (1984) 73-76

Hartley, A., "A review of the geological factors influencing the mechanical properties of road surface aggregates". Quart. J. Eng. Geol., Vol. 7 (1974) 69-100

Irfan, T.Y. & Dearman, W.R., "The engineering petrography of weathered granite in Cornwall, England". Quart. J. Eng. Geol., Vol. 11 (1978) 233-244

Jones, G. & Robertson, A.H.F., "Tectono-stratigraphy and evolution of the Mesozoic Pindos ophiolite and related units, northwestern Greece". J. Geol. Soc. London, Vol. 148 (1991) 267-288

Knill, D. C., "Petrographic aspects of the polishing of natural roadstones". J. Appl. Chem. Vol. 10 (1960) 28-35

Räisänen, M., "Relationships between texture and mechanical properties of hybrid rocks from the Jaala-Iitti complex, southeastern Finland". Eng. Geol., Vol. 74 (2004) 197-211

Rassios, A. "Internal structure and pseudostratigraphy of the Dramala peridotite massif, Pindos mountains, Greece". Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. 25, No 1 (1991) 293-305

Ρηγόπουλος, Ι., Πομώνης, Π., Τσικούρας, Β. & Χατζηπαναγιώτου, Κ., «Συγκριτική αξιολόγηση δολεριτών από τα οφιολιθικά πετρώματα της Πίνδου και του Βούρινου για χρήση τους ως αδρανών υλικών». Τεχν. Χρον. Επιστ. Εκδ. ΤΕΕ, Ι, τεύχ. 3 (2006) 49-61

Rigoropoulos, I., Pomonis, P., Tsikouras, B., Hatzipanagiotou, K. & Stournaras, C.J., "The influence of alteration on the engineering properties of dolerites: the examples from the Pindos and Vourinos ophiolites (northern Greece)", in the Bicentennial Conference of the Geological Society of London Abstract Book (2007) 90

Rogers, C., "Canadian experience with the micro-Deval test for aggregates". Geol. Soc. London, Eng. Geol. Spec. Publ, Vol. 13 (1998), 139-147

Σαχπάζης, Κ.Ι., «Τεχνικογεωλογική έρευνα για αδρανή υλικά αντιολισθηρών οδοστρωμάτων». Διδ. Διατριβή, Ε.Μ.Π., Αθήνα (1988)

Smith, M.R. & Collis, L., "Aggregates: Sand Gravel and Crushed Rock aggregates for Construction Purposes", Geological Society, Engineering Geology Special Publications, London (2001)

Τσικούρας, Β., Πομώνης, Π., Ρηγόπουλος, Ι. & Χατζηπαναγιώτου, Κ., «Διερεύνηση καταλληλότητας βασικών οφιολιθικών πετρωμάτων της περιοχής Μικροκλεισούρας Γρεβενών για χρήση τους ως αντιολισθηρών αδρανών και σκύρων βάσης σιδηροτροχιών». Πρακ. 2<sup>ο</sup> Συνεδρίου της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας και Γεωχημείας, Θεσσαλονίκη (2005) 347-356

