

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΚΡΟΚΑΛΩΝ ΤΗΣ ΚΟΙΤΗΣ ΤΟΥ ΒΟΙΩΤΙΚΟΥ ΚΗΦΙΣΟΥ

Καρκάνας Α. Π. , Κοντόπουλος Ν. Σ.

Εργαστήριο Ιζηματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 265 00, Ρίο,
al-kar@aias.gr, kontopou@upatras.gr, sediment@upatras.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή μελετά τη λιθολογία, τον αριθμητικό μέσο, τη στρογγυλότητα, τη σφαιρικότητα και το σχήμα των κροκαλών της κοίτης του Βοιωτικού Κηφισού ποταμού σε έντεκα σταθμούς δειγματοληψίας στη μέση ροή του.

Λιθολογικά οι κροκάλες είναι ασβεστολιθικές, ψαμμιτικές, κερατολιθικές και εκρηξιγενείς. Οι αντίστοιχοι ποσοστιαίοι μέσοι όροι συμμετοχής των είναι: 78,89%, 11,40%, 6,48% και 7,23%. Η μεταβολή της ποσοτικής συμμετοχής των λιθολογικών τύπων με την απόσταση οφείλεται κυρίως στη πρόσμιξη από «εισροή νέου υλικού» χωρίς να αποκλείεται η δράση της τριβής και της θραύσης από τον έκτο μέχρι τον τελευταίο σταθμό δειγματοληψίας.

Ο αριθμητικός μέσος των κροκαλών όλων των λιθολογιών μειώνεται με την απόσταση μεταφοράς. Αυτό οφείλεται κυρίως στην εκλεκτική ταξινόμηση εξαιτίας της μείωσης της κλίσης του ποταμού.

Ο βαθμός στρογγυλότητας των κροκαλών κατά Powers (1982) είναι 3,81 για τις ασβεστολιθικές, 4,65 για τις ψαμμιτικές, 2,13 για τις κερατολιθικές και 3,01 για τις εκρηξιγενείς.

Η σφαιρικότητα των κροκαλών για τις ασβεστολιθικές, ψαμμιτικές, κερατολιθικές και εκρηξιγενείς είναι 0,70, 0,66, 0,72 και 0,70 αντίστοιχα. Ο μέσος όρος της σφαιρικότητας του συνόλου των κροκαλών είναι 0,69.

Η στρογγυλότητα δε σχετίζεται με την απόσταση μεταφοράς επειδή πιθανώς έχει αποκτήσει τη μέγιστη τιμή της πριν από τον πρώτο σταθμό δειγματοληψίας ή η απόσταση μεταφοράς δεν ευνοεί αλλαγές.

Όμοια η σφαιρικότητα δε σχετίζεται με την απόσταση μεταφοράς των μαλακών λιθολογιών λόγω συνδυασμού θραύσης κατά τη στρώση και ανισοτροπικής τριβής, ενώ οι κερατόλιθοι δείχνουν συσχέτιση επειδή υφίστανται απολεπίωση κατά τη μεταφορά.

Ο Βοιωτικός Κηφισός ποταμός έχει την τάση να παράγει περισσότερο σφαιρικές και δισκοειδείς κροκάλες παρά πλατυσμένες και κυλινδρικές. Επιπλέον, τα δύο πρώτα σχήματα δείχνουν να μειώνονται με την απόσταση μεταφοράς ενώ αυτό δε συμβαίνει με τα υπόλοιπα δύο σχήματα.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

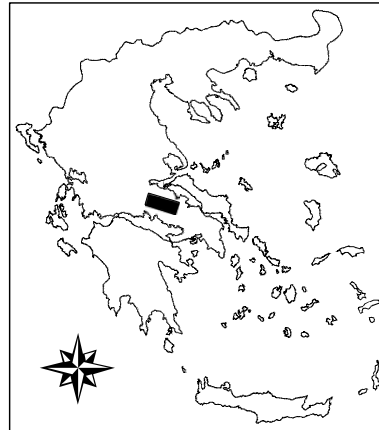
Η βιβλιογραφία σε θέματα Ιζηματολογίας χαλικωδών ποταμών στον Ελλαδικό χώρο είναι εντελώς περιορισμένη. Η εργασία αυτή αποτελεί μια πρώτη προσέγγιση στη μελέτη και ερμηνεία των ιστολογικών χαρακτήρων των κροκαλών της κοίτης του Βοιωτικού Κηφισού.

2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

Ο Βοιωτικός (ή/και) Φωκικός Κηφισός ποταμός είναι ο κύριος ρευματικός κλάδος και αποδέκτης των επιφανειακών υδάτων της ομώνυμης υδρογεωλογικής λεκάνης, με σχεδόν μόνιμη ροή. Κάνοντας μια διαδρομή ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης μέσα από τις κοιλάδες Γραβιάς – Μπράλου – Αμφίκλειας, Τιθορέας – Ελάτειας και Δαύλειας – Χαιρώνειας, διασχίζει σήμερα μέσω τεχνητών διωρύγων την αποξηραθείσα λίμνη της Κωπαΐδας και εκβάλλει μέσω της σήραγγας Καρδίτσας της περιοχής Ακραιφνίας στη λίμνη Υλίκη.

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (Σχ.1) και περιλαμβάνει μέρος του δυτικού τμήματος της λεκάνης και εκτείνεται από τη θέση του Σιδηροδρομικού Σταθμού Λιλαίας, όπου ο Βοιωτικός Κηφισός εμφανίζεται ως ένας ενιαίος κλάδος μετά τη συμβολή των ρευμάτων του άνω ρού, μέχρι τη θέση Καράμουσα, στο ΒΔ άκρο του όρους Ακόντιο. Οριοθετείται δυτικά από τα όρη Γκιώνα και Οίτη, νοτιοδυτικά από τα όρη Παρνασσός και Ελικώνας, νοτιοανατολικά από το όρος Θούριο, βόρεια και βορειοανατολικά από το Καλλίδρομο όρος και ανατολικά από τα όρη Χλωμό, Υφάντειο και Ακόντιο.

Η συνολική έκταση που περικλείεται από την υδροκριτική γραμμή της περιοχής μελέτης είναι περίπου 1158 km².



Σχήμα 1. Περιοχή έρευνας

3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Οι λιθολογικοί σχηματισμοί που κυριαρχούν στην περιοχή μελέτης (Σχ.2), ανήκουν από γεωτεκτονικής πλευράς σε τρεις ζώνες. Τη ζώνη Ανατολικής Ελλάδας (Υποπελαγονική), τη Βοιωτική ζώνη και τη ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας. Επί πλέον απαντώνται αποθέσεις του Τριτογενούς και του Τεταρτογενούς.

Η ζώνη Ανατολικής Ελλάδας περιλαμβάνει δολομιτικούς ασβεστόλιθους, δολομίτες, κροκαλοπαγή, πετρώματα της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης (αργιλικούς σχιστόλιθους σε εναλλαγές με κερατολίθους, ψαμμίτες και ασβεστόλιθους), οφιολιθικές μάζες, ασβεστόλιθο και φλύσχη.

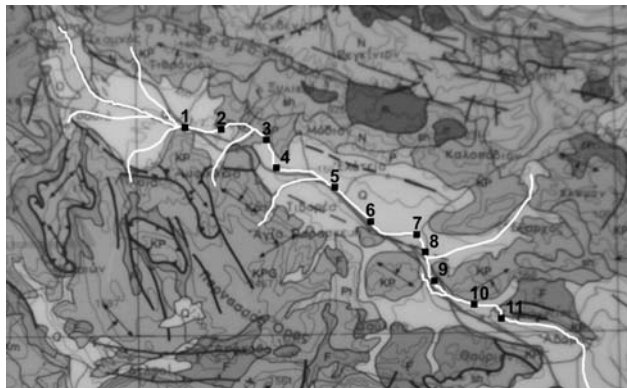
Τα πετρώματα που κυριαρχούν στη Βοιωτική ζώνη είναι κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, οφιόλιθοι και αργιλομαργαίκοι σχιστόλιθοι με ενστρώσεις ασβεστόλιθων και κερατολιθων.

Στη ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας εμφανίζονται δολομίτες, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, ασβεστόλιθοι και φλύσχης ο οποίος συνίσταται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και αργιλικούς σχιστόλιθους.

Κατά το Νεογενές σχηματίστηκαν ιζήματα λιμναίας και λιμνοθαλάσσιας κυρίως προέλευσης, μάργες και μαργαίκοι ασβεστόλιθοι, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και άργιλοι. Οι σχηματισμοί αυτοί επικάθονται ασύμφωνα είτε στο φλύσχη είτε άμεσα στους ασβεστόλιθους και στους οφιόλιθους.

Οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί περιλαμβάνουν λιμναίες και χειμαρρώδεις αποθέσεις, αλλουβιακές προσχώσεις, πλευρικά κορήματα, κώνους ριπιδίων, και προϊόντα διάλυσης ασβεστόλιθων (terra rossa). Συνίστανται από αργίλους, πηλούς, άμμους, κροκάλες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή.

Οι αλπικές ορογενετικές κινήσεις προκάλεσαν στην περιοχή πτυχώσεις και εφραπτομενικές κινήσεις (επιπτεύσεις και επωθήσεις). Σε αυτές οφείλεται η ύπαρξη επωθημένων ασβεστολιθικών μαζών της ζώνης Ανατολικής Ελλάδας πάνω στη ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας. Οι τριτο- τεταρτογενείς ηπειρωτικές κινήσεις προκάλεσαν τη διάρρηξη των στρωμάτων και την κατακόρυφη μετακίνηση μεγάλων τμημάτων της περιοχής, με αποτέλεσμα τη δημιουργία τεκτονικών τάφρων και κεράτων. Το βύθισμα του Βοιωτικού Κηφισού οφείλεται σε ένα σύστημα ρηγμάτων ΒΔ–ΝΑ διεύθυνσης το οποίο σε συνδυασμό με ένα άλλο σύστημα ρηγμάτων ΝΔ–ΒΑ διεύθυνσης, υπέστη τεμαχισμό σε μικρότερα τεκτονικά τεμάχια που χαρακτηρίζουν τη σημερινή δομή της περιοχής και αντιστοιχούν στις λε-



Σχήμα 2. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας με τους σταθμούς δειγματοληψίας. Q=Ολόκαινο, Ρt=Πλειστόκαινο, N=Νεογενές, F=Φλύσχης, K=ανθρακικά πετρώματα, Sh=σχιστοκερατολιθική διάπλαση και οφιόλιθοι, π=εκρηξιγενή.

κάνες του άνω, μέσου και κάτω ρού του ποταμού. (Renz 1940, Renz 1955, Μαρίνος 1957, Aubouin 1959, Μαράτος 1971, Celet et al 1976, Clement 1977, Rimpel & Rothenhöfer 1983).

4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 Εργασία υπαίθρου

Για τη μελέτη του κοκκομετρικού μεγέθους και των μορφομετρικών χαρακτηριστικών των κροκαλών της κοίτης του Βοιωτικού Κηφισού, πραγματοποιήθηκε συλλογή κόκκων από την επιφάνεια της κοίτης του ρεύματος. Κατά μήκος της κοίτης του κύριου ποτάμιου κλάδου, επιλέχτηκαν 11 σταθμοί δειγματοληψίας που καλύπτουν μήκος 46,120 km του ποτάμιου ρεύματος (Πιν. 1). Ως σταθμός δειγματοληψίας θεωρήθηκε ένα τμήμα του ρεύματος του οποίου το μήκος είναι 5-7 φορές μεγαλύτερο από το εύρος της κοίτης του ή το μήκος ενός μαιανδρικού κύματος.

Πίνακας 1: Θέσεις σταθμών δειγματοληψίας κατά μήκος της κοίτης του Βοιωτικού Κηφισού.

ΣΥΜΒΟΛΙ- ΣΜΟΣ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΑΠΟΣΤΑ- ΣΕΙΣ ΜΕ- ΤΑΞΥ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ (km)	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΗ (km)	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΣΤΑΘΜΟΥ (m)	ΘΕΣΗ - ΠΕΡΙΟΧΗ
Σ1	0,000	0,000	278,00	Σιδηροδρομικός Σταθμός Λιλαίας
Σ2	3,100	3,100	272,00	Κορομπίλι Άνω Καλυβιών Αμφίκλειας
Σ3	8,720	11,820	198,00	Κάμπος Κάτω Καλυβιών Τιθορέας
Σ4	3,100	14,920	183,10	Βρίλια Κάτω Καλυβιών Τιθορέας
Σ5	7,050	21,970	157,20	Κορομηλίτσα Κάτω Τιθορέας
Σ6	6,250	28,220	138,90	Μαγούλα Αγίας Παρασκευής
Σ7	5,620	33,840	128,30	Κουκούλι Βασιλικών
Σ8	3,150	36,990	125,00	Παραποτάμιοι Ανθοχωρίου
Σ9	4,630	41,620	119,00	Σιδηροδρομικός Σταθμός Δαύλειας
Σ10	1,750	43,370	118,10	Χιλιαδού Χαιρώνειας
Σ11	2,750	46,120	112,20	Καράμουσα Ακοντίου

Σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας χρησιμοποιήθηκε αναλόγως τόσο η στρωματογραφική όσο και η μη στρωματογραφική δειγματοληψία (Wolman, 1954 και Leorold, 1970).

Ο αριθμός των κροκαλών που συλλέχτηκαν σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας κυμαίνεται από 141-533. Συλλέχτηκαν συνολικά 4.431 κροκάλες. Σε κάθε κροκάλα μετρήθηκαν και οι τρεις άξονες a,b,c, σύμφωνα με τη μέθοδο Griffiths (1967) και με τη χρήση μετροταινίας, παχυμέτρου και τρισδιάστατου κροκαλόμετρου, αναλόγου αυτού που ανέπτυξαν οι Ibbeken & Denzer (1988). Επίσης υπολογίστηκε ο βαθμός στρογγυλότητας των κροκαλών με τη βοήθεια του οπτικού χάρτη του Powers (1982).

4.2 Εργαστηριακές μέθοδοι

Για τον προσδιορισμό του σχήματος των κροκαλών χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα κατά Zingg (1935). Για τον προσδιορισμό της σφαιρικότητας χρησιμοποιήθηκε ο τύπος $(c^2/ab)^{1/3}$ κατά Sneed και Folk (1958). Για την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων της υπαίθρου και του εργαστηρίου χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο SPSS 11.

5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΙΣΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

5.1 Αποτελέσματα ανάλυσης της λιθολογίας

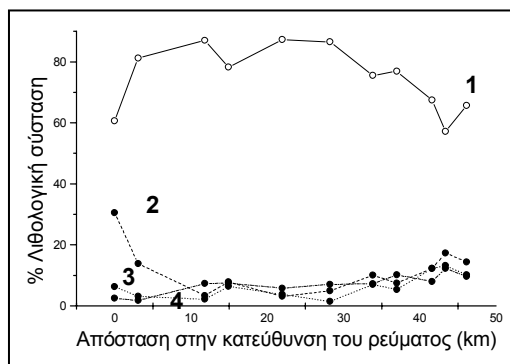
Ο λιθολογικός τύπος των κροκαλών που απαντούν στην ποτάμια αύλακα είναι ο ασβεστολιθικός, ο φαμμικικός, ο κερατολιθικός και ο εκρηξιγενής. Από αυτούς κυριαρχούν ο πρώτος με 74,89% κατά μέσο όρο, ενώ 11,40%, 6,48% και 7,23% είναι οι μέσοι όροι αντίστοιχα των υπολοίπων λιθολογικών τύπων. Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται τα εκατοστιαία μεγέθη των τεσσάρων λιθολογικών τύ-

πων, για κάθε σταθμό δειγματοληψίας, ενώ στο σχήμα 3 φαίνονται οι μεταβολές της επί τοις % λιθολογικής σύστασης της ποτάμιας κοίτης, σε σχέση με την απόσταση κατά τη διεύθυνση ροής του ρεύματος.

Πίνακας 2: Λιθολογική επί τοις % σύσταση χαλικών στις κοίτες των σταθμών δειγματοληψίας.

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ (%)	ΨΑΜΜΙΤΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ (%)	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ (%)	ΚΟΚΚΟΙ ΕΚΡΗΞΙΓΕΝΩΝ (%)
Σ1	60,63	30,54	6,34	2,49
Σ2	81,21	13,87	3,13	1,79
Σ3	87,04	3,42	2,20	7,34
Σ4	78,24	7,88	6,38	7,50
Σ5	87,28	3,13	3,79	5,80
Σ6	86,52	4,96	1,43	7,09
Σ7	75,59	10,09	7,04	7,28
Σ8	76,88	7,53	5,38	10,21
Σ9	67,46	12,26	12,28	8,02
Σ10	57,14	17,32	13,20	12,34
Σ11	65,72	14,42	10,17	9,69
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	78,89	11,40	6,48	7,23

Στους τρεις πρώτους σταθμούς δειγματοληψίας, παρατηρείται αξιοσημείωτη αύξηση των ασβεστολιθικών κροκαλών (Σχ. 3). Οι ψαμμιτικές και οι κερατολιθικές κροκάλες παρουσιάζουν σχετική μείωση παρακολουθώντας τις μεταβολές των ασβεστολιθικών κροκαλών. Οι κροκάλες των εκρηξιγενών πετρωμάτων ενώ μειώνονται σχετικά από τον πρώτο στο δεύτερο σταθμό, παρουσιάζουν εντυπωσιακή αύξηση στον τρίτο, χωρίς όμως να επηρεάζουν τη σχετική αύξηση των ασβεστολιθικών κροκαλών. Οι αυξήσεις αυτές οφείλονται στην εισροή υλικού λόγω πλευρικών πηγών τροφοδοσίας. Από τον τρίτο σταθμό δειγματοληψίας και για μια απόσταση 34,3km, υπάρχει μια βαθμιαία, αλλά σταθερή μείωση της παρουσίας των ασβεστολιθικών κροκαλών, ενώ οι υπόλοιποι λιθολογικοί τύποι παρακολουθώντας τις αλλαγές της ποσοτικής παρουσίας των ασβεστολιθικών κροκαλών, δείχνουν μια βαθμιαία συνεχή αύξηση (Σχ. 3).



Σχ. 3. Μεταβολή της επί τοις % λιθολογικής σύστασης σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς. 1= Ασβεστολιθικές κροκάλες. 2= Ψαμμιτικές κροκάλες. 3= Κερατολιθικές κροκάλες. 4= Κροκάλες εκρηξιγενών πετρωμάτων.

Για την μαθηματικοποίηση των σχέσεων που συνδέουν τα επί τοις % ποσοστά του κάθε λιθολογικού τύπου με την απόσταση από τον πρώτο σταθμό δειγματοληψίας, ερευνήθηκε η πιθανότητα υπακοής των μεγεθών αυτών σε εξισώσεις γραμμικής και εκθετικής συμμεταβολής μέσω της εύρεσης του συντελεστή συσχέτισης (r). Ο συντελεστής συσχέτισης για τη γραμμική ή την εκθετική μεταβολή σε σχέση με την απόσταση, της επί τοις % παρουσίας των ασβεστολιθικών κροκαλών, από τον τρίτο μέχρι τον τελευταίο κατάντη σταθμό δειγματοληψίας, ισούται με 0,80 και 0,79, ενώ για τις κερατολιθικές 0,75 και 0,67, για τις ψαμμιτικές 0,81 και 0,81 και για τις εκρηξιγενείς 0,66 και 0,67 αντίστοιχα. Είναι προφανές ότι η συστηματική μεταβολή (αύξηση ή μείωση) της επί τοις % συμμετοχής των ασβεστολιθικών και ψαμμιτικών κροκαλών κατά τη διεύθυνση μεταφοράς είναι στατιστικά σημαντική. Το γεγονός αυτό είναι λιγότερο στατιστικά σημαντικό για τις κερατολιθικές και ιδιαίτερα για τις εκρηξιγενείς κροκάλες (Σχ. 3).

Η παρατηρούμενη μείωση των ασβεστολιθικών κροκαλών και η συνακόλουθη αύξηση των υπολοίπων λιθολογιών μπορεί να οφείλεται: α) στην εισροή νέου υλικού των τριών λιθολογιών από σταθμό σε σταθμό δειγματοληψίας που οδηγεί στη σχετική μείωση της ποσοστιαίας συμμετοχής των ασβεστολιθικών κροκαλών, β) στη μείωση των ασβεστολιθικών κροκαλών λόγω τριβής και

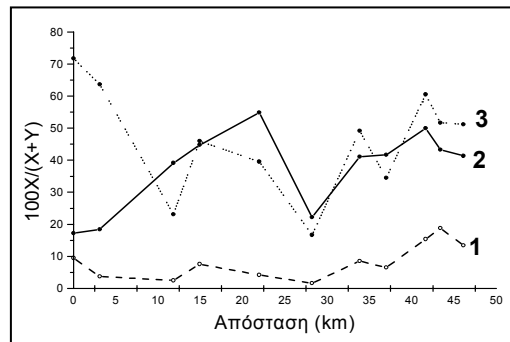
θραύσης με ρυθμούς υψηλότερους από αυτούς που συμβαίνουν στις υπόλοιπες τρεις λιθολογίες και γ) στην ταυτόχρονη παρουσία των δύο προηγούμενων περιπτώσεων.

Επομένως, για να ερμηνευθούν ορθά τα αποτελέσματα της μεταφοράς πάνω στη λιθολογία των κροκαλών, υπολογίστηκε η αναλογία του ενός λιθολογικού τύπου προς τον άλλο.

Η χρήση της αναλογίας αυτής και όχι απ' ευθείας το επί τοις % ποσοστό, αποφεύγει το αποτέλεσμα μιας φαινομενικά μείωσης ενός πετρολογικού τύπου εξαιτίας της προσθήκης νέου υλικού από άλλο πετρολογικό τύπο, την επιφανειακή εμφάνιση του οποίου διασχίζει το ρεύμα (Plumley 1948). Ο κερατόλιθος επειδή είναι παρών σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας και συγχρόνως το σκληρότερο υλικό σε σχέση προς τις υπόλοιπες παρούσες λιθολογίες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα στάνταρ. Με τη σύγκριση των παρόντων λιθολογικών τύπων προς τον κερατόλιθο ως ένα στάνταρ, μπορεί να υπολογιστεί η σχετική αντίσταση αυτών στην τριβή και τη θραύση. Οι υπολογισμοί γίνονται με την εύρεση της «αναλογίας του κερατολίθου» (chert ratio) με βάση τον τύπο $100X/(X+Y)$ (Plumley 1948), όπου με X παριστάνεται ο αριθμός των κερατολιθικών κροκαλών και με Y ο αριθμός των κροκαλών των άλλων λιθολογικών τύπων. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών δίνονται στον πίνακα 3, ενώ στο σχήμα 4 προβάλλεται η αναλογία αυτή σε σχέση με την απόσταση.

Πίνακας 3: Υπολογισμοί της αναλογίας του κερατολίθου.

ΣΤΑΘΜΟΣ	100K/K+A	100K/K+Ψ	100K/K+E
Σ1	9,46	17,17	71,79
Σ2	3,71	18,42	63,64
Σ3	2,47	39,13	23,08
Σ4	7,54	44,74	45,95
Σ5	4,17	54,84	39,53
Σ6	1,61	22,22	16,67
Σ7	8,52	41,10	49,18
Σ8	6,54	41,67	34,48
Σ9	15,38	50,00	60,47
Σ10	18,77	43,26	51,69
Σ11	13,40	41,34	51,19



Σχήμα 4. Προβολή της αναλογίας του κερατολίθου για τις ασβεστολιθικές (1), τις ψαμμιτικές (2) και τις εκρηξιγενείς κροκάλες (3) σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς.

Οι καμπύλες που προκύπτουν έχουν ένα σχεδόν ανώμαλο σχήμα, ενώ απουσιάζει μια συνεχής αύξηση ή ελάττωση της «αναλογίας του κερατολίθου» για όλες τις λιθολογίες στο σύνολο των σταθμών δειγματοληψίας. Αυτό δηλώνει ότι ο ρόλος της τριβής και της θραύσης στη μεταβολή της ποσοτικής συμμετοχής των λιθολογιών με την απόσταση ή απουσιάζει ή μάλλον έχει συγκαλυφθεί από τη μόλυνση από «εισροή νέου υλικού» κάποιας ή κάποιων λιθολογιών. Εν τούτοις, από τον έκτο μέχρι τον τελευταίο σταθμό δειγματοληψίας διαπιστώνεται σε ένα βαθμό η εκδήλωση της δράσης της τριβής και της θραύσης αφού και οι τρεις καμπύλες δείχνουν αδρά την «αναλογία του κερατολίθου» να αυξάνεται.

5.2 Αποτελέσματα ανάλυσης του αριθμητικού μέσου

Υπολογίστηκε ο αριθμητικός μέσος των κροκαλών όλων των λιθολογικών τύπων και για κάθε σταθμό δειγματοληψίας κατά μήκος της κοίτης του ποτάμιου ρεύματος (Πιν.4). Στο σχήμα 6 απεικονίζεται η μεταβολή του αριθμητικού μέσου κάθε λιθολογίας σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς, σε γραμμική κλίμακα συντεταγμένων.

Όπως φαίνονται στον πίνακα 4 και στο σχήμα 5, ο αριθμητικός μέσος των ασβεστολιθικών κροκαλών παρουσιάζει μια σημαντική συνεχή αύξηση μέχρι τον τρίτο σταθμό δειγματοληψίας, που οφείλεται στις μολύνσεις από πλευρικούς σταθμούς δειγματοληψίας.

Από τον σταθμό αυτόν και μετά, ο αριθμητικός μέσος μειώνεται ακολουθώντας εξίσου άριστα, τόσο μια γραμμική, όσο και μια εκθετική εξίσωση. Ο συντελεστής συσχέτισης και για τις δυο αυτές συμμεταβολές είναι $r=0,97$. Ανάλογη συμπεριφορά επιδεικνύει ο αριθμητικός μέσος των κροκαλών και των υπολοίπων λιθολογιών. Ειδικότερα, οι κερατολιθικές κροκάλες δείχνουν μια καλή προσαρμογή προς τις προηγούμενες εξισώσεις ($r_{in}=0,83$ και $r_{exp}=0,86$), οι ψαμμιτικές κροκάλες επίσης πο-

λύ καλή προσαρμογή ($r_{lin}=0,90$ και $r_{exp}=0,90$) και οι κροκάλες των εκρηξιγενών άριστη ($r_{lin}=0,94$ και $r_{exp}=0,96$).

Πίνακας 4: Τιμές αριθμητικού μέσου όλων των λιθολογικών τύπων κατά μήκος της κοίτης του ρεύματος.

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΕΣ ΚΡΟΚΑΛΕΣ	ΨΑΜΜΙΤΙΚΕΣ ΚΡΟΚΑΛΕΣ	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΙΚΕΣ ΚΡΟΚΑΛΕΣ	ΚΡΟΚΑΛΕΣ ΕΚΡΗΞΙΓΕΝΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ
Σ1	21,95	24,44	19,25	16,18	22,39
Σ2	57,40	30,62	55,14	33,25	53,18
Σ3	87,23	42,86	74,67	57,40	83,23
Σ4	70,97	35,71	37,48	43,30	63,98
Σ5	63,40	36,50	52,76	41,65	61,00
Σ6	49,02	17,00	16,00	21,90	45,04
Σ7	23,24	19,14	22,70	18,52	22,44
Σ8	19,75	18,21	17,60	14,68	19,00
Σ9	20,82	19,85	19,82	17,77	20,38
Σ10	18,40	16,86	17,44	15,35	17,63
Σ11	14,95	16,16	15,93	14,00	15,13

Επίσης με χρήση λογαριθμικής κλίμακας στον άξονα των αποστάσεων οι καμπύλες που προκύπτουν περιγράφουν την προηγούμενη μείωση του αριθμητικού μέσου εξίσου άριστα για όλες τις λιθολογίες. Συγκεκριμένα οι ασβεστολιθικές κροκάλες εμφανίζουν συντελεστές συσχέτισης 0,98, 0,95 και 0,98 για γραμμική, εκθετική και λογαριθμική συμμεταβολή, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για τις ψαμμιτικές κροκάλες είναι $r_{lin}=0,93$, $r_{exp}=0,92$ και $r_{log}=0,93$, για τις κερατολιθικές κροκάλες $r_{lin}=0,87$, $r_{exp}=0,88$ και $r_{log}=0,87$ και για τις κροκάλες των εκρηξιγενών πετρωμάτων $r_{lin}=0,97$, $r_{exp}=0,96$ και $r_{log}=0,97$.

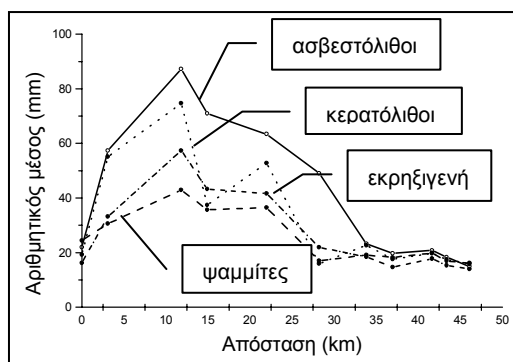
Η προβολή των υψομέτρων των σταθμών δειγματοληψίας με την απόσταση, είτε αυτή εκφράζεται σε αριθμητική κλίμακα, δίνει συντελεστές συσχέτισης $r_{lin}=0,91$, $r_{exp}=0,96$ για γραμμική και εκθετική προσαρμογή. Όταν δε η απόσταση εκφράζεται σε λογαριθμική κλίμακα, παράγεται μια καμπύλη, η εξίσωση της οποίας μπορεί να είναι εξίσου άριστα γραμμική (0,99), λογαριθμική (0,99) ή εκθετική (0,97). Με βάση το γεγονός ότι η μεταβολή του κοκκομετρικού μεγέθους με την απόσταση και το ποτάμιο προφίλ δείχνουν ανάλογη μαθηματική απεικόνιση, θα πρέπει να θεωρηθεί ότι ο κύριος μηχανισμός μείωσης του κοκκομετρικού μεγέθους είναι η εκλεκτική ταξινόμηση εξαιτίας της μείωσης της κλίσης του ποταμού.

5.3 Αποτελέσματα ανάλυσης της στρωγγυλότητας

Στον πίνακα 5 αναγράφονται οι τιμές του βαθμού στρωγγυλότητας των κροκαλών όλων των λιθολογικών τύπων και για κάθε σταθμό δειγματοληψίας, όπως αυτοί προέκυψαν μετά από σύγκριση με τον οπτικό χάρτη του Powers (1982). Στο σχήμα 6 φαίνεται η εξέλιξη του βαθμού στρωγγυλότητας κάθε λιθολογικού τύπου με την απόσταση κατά μήκος της κοίτης της ποτάμιας αύλακας.

Ο βαθμός στρωγγυλότητας των ασβεστολιθικών κροκαλών κατά μέσο όρο είναι 3,81, των ψαμμιτικών 4,65, των κερατολιθικών 2,13 και των κροκαλών των εκρηξιγενών πετρωμάτων 3,01.

Ο βαθμός στρωγγυλότητας δεν συσχετίζεται με την απόσταση μεταφοράς. Ο συντελεστής συσχέτισης είναι μικρός για ένα σύνολο συσχετίσεων που περιλαμβάνει γραμμικές, λογαριθμικές και εκθετικές προσαρμογές, είτε η απόσταση δίνεται σε απλή αριθμητική κλίμακα, είτε σε λογαριθμική κλίμακα.

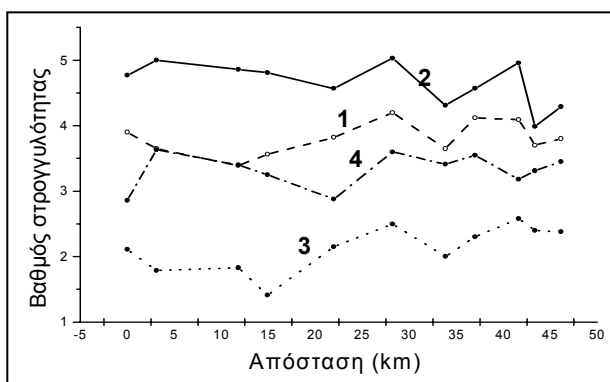


Σχήμα 5. Προβολή του αριθμητικού μέσου των κροκαλών σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς.

Πίνακας 5: Τιμές του βαθμού στρογγυλότητας όλων των λιθολογικών τύπων κατά μήκος της κοίτης του ρεύματος.

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΕΣ ΚΡΟΚΑΛΕΣ	ΨΑΜΜΙΤΙΚΕΣ ΚΡΟΚΑΛΕΣ	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΙΚΕΣ ΚΡΟΚΑΛΕΣ	ΚΡΟΚΑΛΕΣ ΕΚΡΗΞΙΓΕΝΩΝ
Σ1	3,90	4,77	2,11	2,86
Σ2	3,65	5,00	1,79	3,63
Σ3	3,39	4,86	1,83	3,40
Σ4	3,56	4,81	1,41	3,25
Σ5	3,82	4,57	2,15	2,88
Σ6	4,20	5,03	2,50	3,60
Σ7	3,65	4,31	2,00	3,41
Σ8	4,12	4,57	2,30	3,55
Σ9	4,09	4,96	2,58	3,18
Σ10	3,70	3,99	2,40	3,31
Σ11	3,80	4,29	2,38	3,45

Η παρατηρούμενη έλλειψη συσχέτισης πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι οι κροκάλες, οι λιγότερο ανθιστάμενες στην τριβή και τη θραύση δηλαδή οι ψαμμιτικές, οι ασβεστολιθικές και οι εκρηξιγενείς, για κάθε λιθολογικό τύπο έχουν αποκτήσει ήδη τη μέγιστη τιμή στρογγυλότητας πριν από τον πρώτο σταθμό δειγματοληψίας στον άνω ρου του ποταμού (Sneed & Folk, 1958). Αντίθετα, οι ισχυρά ανθιστάμενες κερατολιθικές κροκάλες απαιτούν πολύ μεγάλη απόσταση μεταφοράς για να καταδείξουν βελτίωση της στρογγυλότητας (Potter, 1955).



Σχήμα 6. Μεταβολή του βαθμού στρογγυλότητας των ασβεστολιθικών (1), των ψαμμιτικών (2) των κερατολιθικών (3) και των εκρηξιγενών κροκαλών (4) με την απόσταση μεταφοράς.

5.4 Αποτελέσματα ανάλυσης της σφαιρικότητας

Για τον προσδιορισμό της σφαιρικότητας των κροκαλών χρησιμοποιήθηκε ο τύπος $(c^2/ab)^{1/3}$ κατά Sneed και Folk (1958). Η σφαιρικότητα των κροκαλών ποικίλει ελαφρώς μεταξύ των διαφόρων λιθολογικών τύπων και ειδικότερα οι κερατολιθικές κροκάλες δείχνουν μια καλύτερη μέση τιμή της σφαιρικότητας απ' ό,τι οι υπόλοιποι λιθολογικοί τύποι, όπως αναμένεται (Sneed & Folk, 1958). Συγκεκριμένα οι ασβεστολιθικές κροκάλες έχουν μια μέση τιμή 0,70, οι ψαμμιτικές 0,66, οι κερατολιθικές 0,72 και οι κροκάλες των εκρηξιγενών πετρωμάτων 0,70. Ο μέσος όρος της σφαιρικότητας του συνόλου των κροκαλών είναι 0,69 (Πιν. 6 και Σχ. 7)

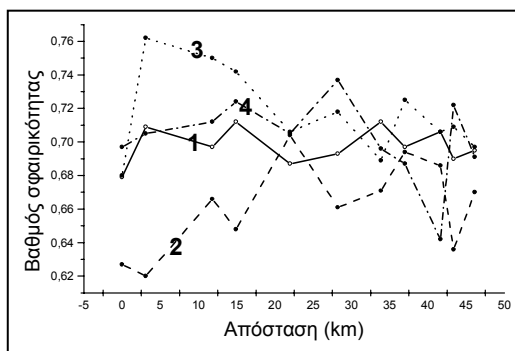
Εν τούτοις δεν παρατηρείται κάποια σχέση μεταξύ σφαιρικότητας και απόστασης μεταφοράς. Η τιμή της σφαιρικότητας των λιγότερο ανθιστάμενων κροκαλών ανεξαρτήτως λιθολογίας παραμένει σταθερή κατά μήκος της κοίτης του ποταμού. Αυτό οφείλεται στο συνδυασμό της τάσης αποχωρισμού κατά τη στρώση και της ανισοτροπικής τριβής (Sneed & Folk, 1958). Αυτό προκύπτει από την έλλειψη συσχέτισης οποιασδήποτε συμμεταβολής του ιστολογικού αυτού χαρακτήρα με την απόσταση μεταφοράς. Εξάιρεση αποτελούν οι κερατολιθικές κροκάλες εφόσον η απόσταση μεταφοράς εκφραστεί σε λογαριθμική κλίμακα, οπότε παρατηρείται μια βαθμιαία μείωση της σφαιρικότητας κατά μήκος της κοίτης του ποταμού (Sneed & Folk, 1958). Η συμμεταβολή αυτή είναι λογαριθμική και ο συντελεστής συσχέτισης για γραμμική, εκθετική και λογαριθμική προσαρμογή είναι 0,85.

Πίνακας 6: Τιμές σφαιρικότητας όλων των λιθολογικών τύπων καθώς και του συνόλου των κροκάλων κατά μήκος της κοίτης του ρεύματος.

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΕΣ ΚΡΟΚΑΛΕΣ	ΨΑΜΜΙΤΙΚΕΣ ΚΡΟΚΑΛΕΣ	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΙΚΕΣ ΚΡΟΚΑΛΕΣ	ΚΡΟΚΑΛΕΣ ΕΚΡΗΞΙΓΕΝΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ
Σ1	0,679	0,627	0,680	0,697	0,663
Σ2	0,709	0,620	0,762	0,705	0,698
Σ3	0,697	0,666	0,750	0,712	0,699
Σ4	0,712	0,648	0,742	0,724	0,710
Σ5	0,687	0,704	0,706	0,705	0,689
Σ6	0,693	0,661	0,718	0,737	0,694
Σ7	0,712	0,671	0,689	0,696	0,705
Σ8	0,697	0,694	0,725	0,687	0,697
Σ9	0,706	0,686	0,706	0,642	0,700
Σ10	0,690	0,636	0,709	0,722	0,687
Σ11	0,695	0,670	0,697	0,691	0,692

Το σχήμα των κροκαλών μελετήθηκε με τη βοήθεια του διαγράμματος κατά Zingg (1935). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των υπολογισμών, όπως φαίνεται στον πίνακα 7, ο μέσος όρος των σφαιρικών κροκαλών είναι 32,59%, των δισκοειδών 36,89%, των πλατυσμένων 10,10% και των κυλινδρικών 20,43%.

Οι σφαιρικές και οι δισκοειδείς κροκάλες δείχνουν μια καλή προσαρμογή για γραμμική ή εκθετική προσαρμογή της ποσοτικής παρουσίας τους κατά μήκος της κοίτης του ποταμού από τον τρίτο μέχρι τον τελευταίο σταθμό δειγματοληψίας με την κλίμακα της απόστασης να είναι είτε απλή αριθμητική είτε λογαριθμική. Αυτό σημαίνει ότι οι σφαιρικές και οι δισκοειδείς κροκάλες δείχνουν μια στατιστικώς σημαντική μείωση κατά μήκος της κοίτης του ποταμού. Η ίδια συμπεριφορά σημειώνεται και για τις δυο αυτές κατηγορίες κροκαλών για το σύνολο των σταθμών δειγματοληψίας εφ' όσον η κλίμακα της απόστασης είναι λογαριθμική.



Σχήμα 7. Μεταβολή του βαθμού σφαιρικότητας των ασβεστολιθικών (1), των ψαμμιτικών (2) των κερατολιθικών (3) και των εκρηξιγενών κροκαλών (4) με την απόσταση μεταφοράς.

Πίνακας 7: Ποσοστά χαλικών επί τοις % για κάθε σχήμα στις κοίτες των σταθμών δειγματοληψίας.

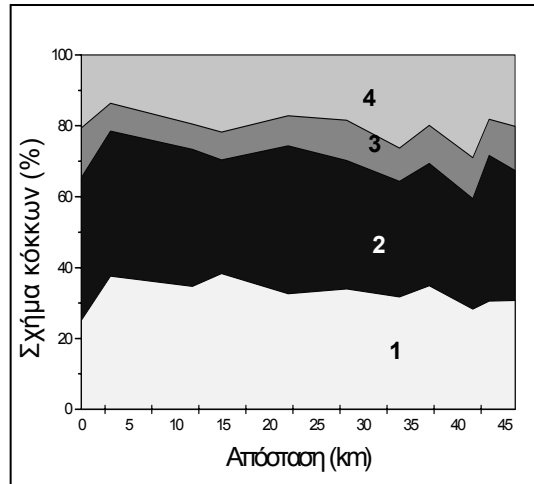
ΣΤΑΘΜΟΣ	ΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΚΡΟΚΑΛΕΣ	ΔΙΣΚΟΕΙΔΕΙΣ ΚΡΟΚΑΛΕΣ	ΠΕΠΛΑΤΥΣΜΕΝΕΣ ΚΡΟΚΑΛΕΣ	ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΕΣ ΚΡΟΚΑΛΕΣ
Σ1	25,11	40,27	14,03	20,59
Σ2	37,58	40,94	7,83	13,65
Σ3	34,72	38,63	7,09	19,56
Σ4	38,27	32,08	7,88	21,77
Σ5	32,57	41,74	8,49	17,20
Σ6	34,04	36,17	11,35	18,44
Σ7	31,69	32,63	9,39	26,29
Σ8	34,95	34,41	10,75	19,89
Σ9	28,30	31,13	11,56	29,01
Σ10	30,52	41,12	10,17	18,19
Σ11	30,73	36,64	12,53	20,10

Αντίθετα οι πλατυσμένες και οι κυλινδρικές κροκάλες δεν δείχνουν κάποια συσχέτιση μεταξύ της μεταβολής της εκατοστιαίας ποσοτικής τους παρουσίας με την απόσταση μεταφοράς. Στο σχήμα 8 φαίνεται η εκατοστιαία μεταβολή του σχήματος των κροκαλών, σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς κατά μήκος της κοίτης του ρεύματος.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μελέτη των ιστολογικών χαρακτηριστικών των χαλίκων κατά μήκος της κοίτης του Βοιωτικού Κηφισού, έδειξε ότι:

1. Η μεταβολή της ποσοτικής παρουσίας των λιθολογιών που μελετήθηκαν με την απόσταση μεταφοράς στο σύνολο των σταθμών δειγματοληψίας σχετίζεται με την ανάμιξη από «εισροή νέου υλικού». Εν τούτοις, από τον έκτο μέχρι τον δέκατο σταθμό δειγματοληψίας, η επί τοις % μεταβολή της λιθολογίας οφείλεται πιθανώς και στην τριβή και στη θραύση των μικρότερης αντοχής λιθολογικών τύπων, δηλαδή των ασβεστόλιθων, των εκρηξιγενών και των ψαμμιτών.
2. Το κοκκομετρικό μέγεθος των κροκαλών, αυξάνεται σημαντικά από σταθμό σε σταθμό στους τρεις πρώτους σταθμούς δειγματοληψίας, λόγω προσμίξεων εξ αιτίας πλευρικών πηγών τροφοδοσίας και στη συνέχεια μειώνεται κατά τρόπο στατιστικά σημαντικό μέχρι τον τελευταίο σταθμό δειγματοληψίας. Η αιτία αυτής της μείωσης του αριθμητικού μέσου φαίνεται να είναι η εκλεκτική ταξινόμηση, λόγω της μείωσης της κλίσης του ποταμού.
3. Δεν παρατηρήθηκε κάποια σχέση της στρογγυλότητας με την απόσταση μεταφοράς. Η έλλειψη συσχέτισης πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι οι κροκάλες όλων των λιθολογικών τύπων να έχουν αποκτήσει τις μέγιστες τιμές των βαθμών στρογγυλότητας πριν από τον πρώτο σταθμό δειγματοληψίας (ψαμμιτικές, ασβεστολιθικές, εκρηξιγενείς) ή η απόσταση μεταφοράς ήταν μικρή (κερατολιθικές κροκάλες).
4. Δεν παρατηρήθηκε κάποια σχέση της σφαιρικότητας με την απόσταση μεταφοράς των ασβεστολιθικών, των ψαμμιτικών και των εκρηξιγενών κροκαλών. Αυτό οφείλεται στο συνδυασμό της τάσης αποχωρισμού κατά τη στρώση και της ανισοτροπικής τριβής. Αντίθετα παρατηρήθηκε σχέση μείωσης της σφαιρικότητας των κερατολιθικών κροκαλών επειδή αυτές απολεπίζονται παράλληλα προς τη στρώση.
5. Όσον αφορά το σχήμα των κροκαλών, οι σφαιρικές και οι δισκοειδείς κροκάλες δείχνουν να μειώνονται κατά μήκος της κοίτης του ρεύματος, ενώ οι πλατυσμένες και οι ραβδοειδείς κροκάλες δε δείχνουν κάποια συστηματική μεταβολή με την απόσταση μεταφοράς.



Σχήμα 8. Μεταβολή του σχήματος των χαλίκων με την απόσταση μεταφοράς. 1= Σφαιρικές κροκάλες. 2= Δισκοειδείς κροκάλες. 3= Πλατυσμένες κροκάλες. 4= Κυλινδρικές κροκάλες.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Μαράτος, Γ., 1971. Βωξίται Ελικώνος. Περιοχή Α.Β.Μ.Ε. Γ.Λ. Μπάρλος, Γεωτεχνικών Γραφείων ΓΕΜΕΛΕΡ.
- Μαρίνος, Γ., 1957. Περί της κατά γεωτεκτονικές ζώνες διαίρεσης της Ανατολικής Ελλάδος. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ.ΙΙΙ, σελ. 73-83.
- Μουντράκης, Δ., 1985. Γεωλογία της Ελλάδας, Θεσσαλονίκη.
- Aubouin, J., 1959. Contribution a l' étude géologique de la Grèce septentrionale: les confins de l' Epire et de la Thessalie. Ann. geol. Pays Hellen., 10, 1-483.
- Celet, P., Clement, B., Ferrière, 1976. La zone Bèotienne en Grèce: Implications paléogéographiques et structurales. Eclogae geol. Helv., 69, 577-599.
- Clement, B., 1977. Relations structurales entre la zone du Parnasse et la zone Pelagonienne en Beotie (Grèce continentale). VI Coll. geol. Aegean region, 237-250.

- Griggiths, J. C., 1967. *Scientific Method in Analysis of Sedimentary*. McGraw-Hill, New York.
- Ibbeken, H. and Denzer, P., 1988. Clast measurement: a simple manual device and its semiautomatic electronic equivalent. *Jour. Sed. Petrol.*, 58, No 4, 751-752.
- Leopold, L. B., 1970. An improved method for size distribution of stream bed gravel
- Plumley, W. J., 1948. Black Hills terrace gravels: a study in sediment transport. *Journal of Geology*, 56, 526 – 577.
- Potter, P.E., 1955. The petrology and origin of the Lafayette gravel. Part I. Mineralogy and petrology: *Jour. Geology*, v. 63, p. 1-38.
- Powers, M. C., 1982. Comparison chart for estimating roundness and sphericity. AGI Data sheet 18. American Geological Institute
- Renz, C., 1940. Die Tektonik der Griechischen Gebirge, *Πρακτ. Ακαδ. Αθηνών*, 8, 1-171
- Renz, C., 1955. Die vorneogene Stratigraphie der normal sedimentären Formationen Griechenlands, I.G.S.R., 637p., Athens.
- Rimpel, K. & Rothenhöfer, H., 1983. Stratigraphie und Tektonik der Toufa – Decke und ihres Unterlagers (Parnass – Kiona – Zone, Helleniden). *Z. dt. geol. Ges.*, 134, 467-481, Hannover.
- Sneed, E. D., Folk, R.L., 1958. Pebbles in the lower Colorado River, Texas—a study in particle morphogenesis. *J. Geol.* 66, 114-150.
- Wolman, M. G., 1954. A method for sampling coarse river-bed material. *American Geophysical Union Transactions*, 35, 951-956.
- Zingg, T., 1935. Beiträge zur Schotteranalyse. *Min. Petrogr. Mitt. Schweiz.* 15, 39-140.

ABSTRACT

GRAIN SIZE AND MORPHOMETRICAL CHARACTERISTICS OF BOEOTIAN KIFISOS STREAM GRAVEL-BED AND THEIR GEOLOGICAL IMPORTANCE

Karkanias A., Kontopoulos N.

Sedimentology Labor, Geology Department, University of Patras, 265 00, Rion, al-kar@aias.gr, kontopou@upatras.gr, sediment@upatras.gr

This work studies the lithology, mean size, roundness, sphericity and form of gravels of Boeotian Kifisos river bed, in eleven stations of sampling in middlestream area. The lithology of gravels are limestone, sandstone, chert and igneous.

Limestone percentage averages 78.89%, sandstone 11.40%, chert 6.48% and igneous 7.23%. The changes in litho

logy with distance of transport is due mostly to influx of new material and partly to abrasion and breakage of less resistant lithologies (limestone, igneous, sandstone).

The mean size of the gravels of all lithologies decreases with the distance of transport. This is due to mainly in the selective sorting because of the reduction of the river slope.

The roundness according to Powers (1982) for limestone, sandstone, chert and igneous gravels is 3,81, 4,65, 2,13 and 3,01 respectively.

The sphericity of the limestone, sandstone, chert and igneous gravels is 0,70, 0,66, 0,72 and 0,70 respectively. The arithmetic mean of sphericity of total of gravels is 0,69.

The roundness is not related with the distance of transport. This suggests that this parameter has acquired the biggest values of degree of roundness before the first station of sampling.

Also, the sphericity of the non-resistance lithologies (limestone, sandstone, igneous) does not show any relationship with distance. This suggests a breakage along the bedding in combination with anisotropic wear. On the contrary the sphericity of chert decreases with distance because it was chipped during transport.

Boeotian Kifisos river has the tendency to produce more spherical and discoidal gravels than blade and prolate. Moreover the two first forms tend to decrease with the distance of transport while this does not happen with the remainder two forms.