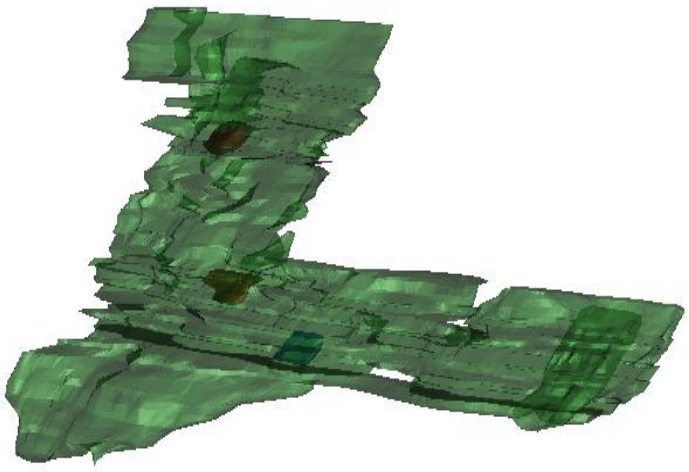
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

Νεστόροβ Β. Νικόλαος

Σαπουντζή Μαρία

ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΤΩΝ ΜΑΥΡΩΝ ΠΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2009

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Περιεχόμενα

	Σελ.
Περιεχόμενα	i
Πρόλογος	1
Κεφάλαιο 1^{ο}: Εισαγωγή	3
Κεφάλαιο 2^{ο}: Γεωλογία της περιοχής μελέτης	4
Κεφάλαιο 3^{ο}: Κοιτασματολογία Μαύρων Πετρών	9
Κεφάλαιο 4^{ο}: Μέθοδοι έρευνας	12
Κεφάλαιο 5^{ο}: Αποτελέσματα	14
Κεφάλαιο 6^{ο}: Ερμηνεία αποτελεσμάτων	49
Κεφάλαιο 7^{ο}: Συμπεράσματα	59
Κεφάλαιο 8^{ο}: Προτάσεις	61
Βιβλιογραφία	62-63

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Ορυκτολογία – Πετρολογία – Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας, της Σχολής Θετικών Επιστημών (Σ.Θ.Ε.), του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.) στα πλαίσια του προγράμματος σπουδών (Η' εξάμηνο 6 Δ.Μ.).

Η περάτωση τη διπλωματικής εργασίας έγινε υπό την επίβλεψη του καθηγητή του τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας της Σ.Θ.Ε. του Α.Π.Θ.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόψυχα τον κ. Γεώργιο Βουτσά, Καθηγητή Κρυσταλλοδομής του Τομέα Εφαρμοσμένης Φυσικής του Τμήματος Φυσικής, για την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθειά του.

Επίσης εκφράζω την ευγνωμοσύνη μου και ένα μεγάλο ευχαριστώ στην εταιρεία «Ελληνικός Χρυσός Α.Ε. Μεταλλευτικές Επιχειρήσεις», για την στήριξη που προσέφερε, κατά τη διάρκεια περάτωσης της παρούσας διπλωματικής εργασίας και ιδιαίτερα τον κ. Γεώργιο Περαντώνη, υπεύθυνο Γεωλόγο της εταιρείας.

Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω το παρόν στην οικογένειά μου, διότι αν δεν είχα την στήριξή της δε θα έφτανα ποτέ ως εδώ.

Θεσσαλονίκη 2009

Νικόλαος Β. Νεστόροβ
(Α.Ε.Μ. 4031)
Σαπουντζή Μαρία
(Α.Ε.Μ. 4096)

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σαν σκοπό τη μελέτη του κοιτάσματος των Μαύρων Πετρών (Β.Α. Χαλκιδική), από τη σκοπιά της Οικονομικής Γεωλογίας. Επιπλέον, από τη μελέτη αυτή ευελπιστούμε να καταλήξουμε στη διαπίστωση κάποιας χαρακτηριστικής γεωχημικής κατανομής, η ύπαρξη και ο καθορισμός της οποίας θα διευκόλυνε τους συναδέλφους Μεταλλειολόγους της εταιρείας, στον υπολογισμό των μεταλλευτικών αποθεμάτων.

Πολύτιμα βοηθήματα για την επίτευξη του στόχου μας είναι οι χημικές αναλύσεις που έχουν ήδη γίνει στο σώμα του κοιτάσματος. Από κάθε χημική ανάλυση θα λαμβάνεται ένα στοιχείο, του οποίου η κατανομή θα εξετάζεται σε ένα συγκεκριμένο υψόμετρο.

Κατόπιν, με τη χρήση της στατιστικής, θα αντιπαραβάλλουμε σε γραφήματα το κάθε στοιχείο σε σχέση με το υψόμετρο. Επομένως, θα επιχειρηθεί η σε βάθος αναπαράσταση της κατανομής των χημικών στοιχειών.

Για να σταθεί μια πλήρης παραγωγική διαδικασία θα πρέπει να εξασφαλίσουμε τις αληθείς βάσεις της. Συγκεκριμένα, για να μπορούμε να συγκρίνουμε τις χημικές αναλύσεις μεταξύ τους και να καταλήξουμε σε ασφαλή συμπεράσματα, οι χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με την ίδια μέθοδο (ICP – ES), από το ίδιο όργανο και με βάση τα ίδια πρότυπα τέλεσης ποσοτικών χημικών αναλύσεων.

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Κεφάλαιο 2ο: Γεωλογία της περιοχής μελέτης

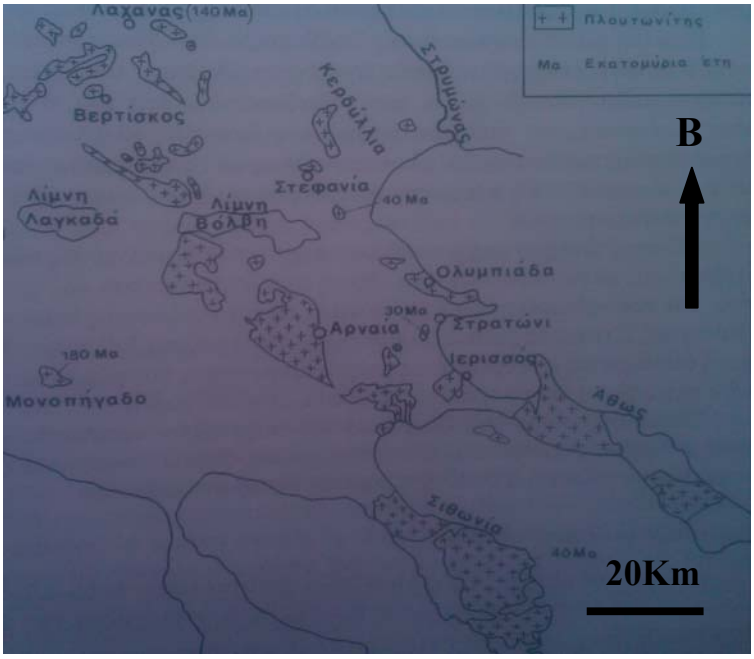
Γενικά

Η μεταλλογενετική περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής, στην οποία εντάσσεται η ευρύτερη περιοχή των Μεταλλευτικών Εγκαταστάσεων Στρατωνίου (ΜΕΣ), δομείται γεωλογικά κατά κύριο λόγο από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα της Σερβομακεδονικής Μάζας Προκάμβριας ηλικίας, τα οποία διαπερνώνται από ποικίλες Μεσοζωϊκές και Καινοζωικές πυριγενείς διεισδύσεις. Γειτονικές προς τη Σερβομακεδονική Μάζα είναι η Μάζα της Ροδόπης προς Β και η Περιροδοπική προς Δ.

Περαιτέρω, η Σερβομακεδονική μάζα της ΒΑ Χαλκιδικής υποδιαιρείται σε δύο επιμέρους σχηματισμούς, στον ανώτερο και νεότερο σχηματισμό του Βερτίσκου (στα Δυτικά και Νότια), και στον υποκείμενο σχηματισμό των Κερδυλλίων (στα Βορειοανατολικά). Ο ανώτερος και νεότερος σχηματισμός του Βερτίσκου αποτελείται από μια ακολουθία μαρμαρυγιακών γνευσίων, σχιστολίθων και αμφιβολιτών, φέροντας επίσης σερπεντινικά λέπη, τα οποία πιστεύεται ότι αντιπροσωπεύουν είτε Μεσοζωικά μέλη οφιολιθικού συμπλέγματος, είτε λείψανα της Παλαιοτηθύος (Kalogeropoulos et al. 1989a). Αντίστοιχα, ο υποκείμενος σχηματισμός των Κερδυλλίων συνίσταται από βιοτιτικούς γνεύσιους, οι οποίοι φέρουν πηγματίτες, σπάνια αμφιβολίτες και αναπτύσσουν ορίζοντες μαρμάρου (Fournaraki A. 1981. & Kalogeropoulos et al. 1989b)

Το όριο μεταξύ των δύο παραπάνω σχηματισμών Βερτίσκου - Κερδυλλίων τοποθετείται κατά μήκος μίας τεκτονικής διαταραχής, του ανάστροφου ρήγματος (επώθησης) Στρατωνίου – Πιάβιτσας - Βαρβάρας. Στο σημείο αυτό επισημαίνεται ότι οι παραπάνω σειρές Κερδυλίων – Βερτίσκου έχουν υποστεί πλαστική παραμόρφωση (με κλειστές και ισοκλινείς κατακεκλιμένες πτυχές) και καθολικό μεταμορφισμό ο οποίος φθάνει την αμφιβολιτική φάση από το Ιουρασικό έως το Άνω Κρητιδικό. Κατά το στάδιο αυτό πιθανώς τα ιζηματογενή λέπη της Περιροδοπικής ζώνης να επωθήθηκαν επί της σειράς του Βερτίσκου, ενώ συγχρόνως να διείσδυσε ο συντεκτονικός γρανίτης της Αρναίας στα δυτικά και νότια της περιοχής μελέτης.

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 1: Οι κυριώτερες εμφανίσεις πλουτωνικών σωμάτων στη Χαλκιδική. Σκαρίφημα από Μουντράκης, 1985

Τα συμπιεστικά φαινόμενα του Κρητιδικού – Ηωκαίνου ακολουθεί μία πολυφασική εφελκιστική τεκτονική από το Μειόκαινο έως σήμερα. Οι κύριες διευθύνσεις των ρηγμάτων είναι ΒΔ-ΝΑ, ΒΑ-ΝΔ και Α-Δ.

Τα μεταμορφικά πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας από το Άνω Κρητιδικό έως το Τριτογενές υπόκεινται σε συνεχείς διαφορικές ανοδικές κινήσεις που είχαν σαν αποτέλεσμα την κορύφωση των ανατηκτικών φαινομένων, αλλά και τον ασβεσταλκαλικό μαγματισμό.

Στην ευρύτερη περιοχή, ο μαγματισμός αυτός εκφράζεται όχι μόνο από τους γρανοδιορίτες του Ηωκαίνου – Ολιγικαίνου (Ιερισσού – Στρατωνίου) αλλά και από τους ασβεσταλκαλικούς πορφυρίτες του Μειοκαίνου (Σκουριές – Αλατίνα – Φυσώκα). Η μαγματική αυτή δραστηριότητα, εκτός των φαινομένων μεταμορφισμού επαφής και ανάδρομης πρασινοσχιστολιθικής φάσης, οδήγησε και στις υδροθερμικές μεταλλοφόρες συγκεντρώσεις της περιοχής (Frei, 1995).

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Γεωλογική δομή – Λιθοστρωματογραφική διάρθρωση

Σειρά Βερτίσκου (Προπαλαιοζωικής ηλικίας). Αποτελείται από λεπτο-μεσοκοκκώδεις διμαρμαρυγιακούς γνεύσιους με ενστρώσεις οφθαλμογνευσίων ιζηματογενούς προέλευσης, μέσα στους οποίους απαντούν υπό μορφή φακών έως και εκατομετρικών διαστάσεων ή υπό μορφή Boudins ταινιώδεις αμφιβολίτες αλλά και ταινιώδεις αμφιβολίτες σε πυκνές εναλλαγές με τους γνεύσιους.

Περιδοτίτες – αμφιβολίτες απαντούν ως μεγάλα τεμάχια που μεταβαίνουν σε μεταγάβρους και συμπαρασύρονται τεκτονικά με σερπεντινιωμένους και ταλκοποιημένους περιδοτίτες (δουνιτικής και χαρτζβουργιτικής προέλευσης). Θεωρούνται ότι αποτελούν μέλη Παλαιοτηθύος (Sengor et al., 1984) αλλά και ως μέλη in-situ Μεσοζωικού οφιολίθου (Dixon and Dimitriadis, 1984, Michailidis and Soldatos, 1995) απ' όπου προήλθαν με επωθητικές διαδικασίες στην παρούσα θέση τους. Φέρουν χαρακτήρες εκλογιτικής φάσης μεταμόρφωσης (Dimitriadis and Godelitsas, 1991).

Σειρά Κερδυλίων (Προκάμβριας ηλικίας). Αποτελείται κυρίως από βιοτιτικούς γνεύσιους, οι οποίοι στα βαθύτερα τμήματα μεταβαίνουν σε μιγματιτικούς γνεύσιους με οφθαλμοειδή δομή, με λεπτές παρεμβολές αμφιβολιτικών ενστρώσεων μεταηφαιστειογενούς προέλευσης. Στους γνευσιακούς σχηματισμούς παρεμβάλλονται ορίζοντες μαρμάρου, το πάχος των οποίων ποικίλει από λίγα έως και 500 m, τα οποία φιλοξενούν εξ' αντικαταστάσεως τις μεταλλοφόρες θειούχες συγκεντρώσεις (Kalogeropoulos et al., 1989a) και τα μαγγανιούχα κοιτάσματα (Theodoroudis and Galanopoulos, 1994). Οι βιοτιτικοί γνεύσιοι διακόπτονται από πυκνό κατά θέσεις δίκτυο πηγματιτικών και απλιτικών φλεβών και από παρείσακτες κοίτες μυλωνιτιωμένων πηγματιτών, παράλληλες στα επίπεδα S.

Στην περιοχή μεταξύ Βαρβάρας - Στανού εντοπίζεται η Περιροδοπική ζώνη και αντιπροσωπεύεται από *Σχηματισμούς της ομάδας Σβούλας* (Άνω Παλαιοζωικής – Τριαδικής Ηλικίας). Πρόκειται για ημιμεταμορφωμένα μεταϊζηματογενή πετρώματα της Ενότητας Μελισσοχωρίου – Χολομώντα της Περιροδοπικής ζώνης και βρίσκονται υπό μορφή λεπιών στους σχηματισμούς του Βερτίσκου. Αποτελούνται από χαλαζίτες σε εναλλαγές με κυανόλευκα μάρμαρα.

Γρανίτης Αρναίας (ηλικίας 155±11 Μα κατά DeWet et al., 1989). Πρόκειται για βιοτιτικό μοσχοβιτικό λευκογρανίτη μεσοκοκκώδη έως πηγματιτικό, εν μέρει λευκοκρατικό, ο οποίος βρίσκεται σε τεκτονική

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

επαφή με τους γνευσίους του Βερτίσκου, αναπτύσσοντας στις επαφές του φυλλωνίτες.

Ανατηξίτες (Ανώτερο Κρητιδικό – Ηώκαινο). Αναπτύσσονται μέσα στους βιοτιτικούς γνεύσιους των Κερδυλίων και μεταβαίνουν σε χονδρόκοκκους διατηξίτες. Πρόκειται για πυκνό δίκτυο πηγματιτικών και απλιτικών φλεβών, υλικό ανατηκτικής προέλευσης, το οποίο προκαλεί έντονη Κ-ούχα μετασωμάτωση στο περιβάλλον γνευσιακό πέτρωμα.

Γρανοδιορίτης Ιερισσού (ηλικίας 50,4±0,7 Μα κατά Frei, 1992). Πρόκειται για αδρομεσοκρυσταλλική διείσδυση, ασβεσταλκαλικής σύστασης που διεισδύει στα υπερβασικά πετρώματα της περιοχής, αλλά και στους γνεύσιους του Βερτίσκου. Οι επαφές με τα περιβάλλοντα πετρώματα είναι απότομες και έχουν επηρεαστεί θερμικά, ενώ απλιτικές και πηγματιτικές φλέβες εμφανίζονται σε απόσταση από την επαφή.

Γρανοδιορίτης Στρατωνίου (ηλικίας 27,6±1,0 Μα κατά Frei, 1992). Αποτελεί μία λεπτο- έως αδρο- κρυσταλλική διείσδυση ασβεσταλκαλικής σύστασης εντός της σειράς των Κερδυλλίων. Η έκταση του στην επιφάνεια είναι μικρή ενώ με βάση τα γεωφυσικά δεδομένα, επεκτείνεται σε βάθος μεταξύ Στρατωνίου-Ολυμπιάδας. Φέρει διάσπαρτη μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη, που συνοδεύεται από φαινόμενα προπυλιτικής υδροθερμικής εξαλλοίωσης και παρουσιάζει φαινόμενα επαφής με ανάπτυξη απλιτικών φλεβών και σκαρν.

Υποηφαιστιακές διεισδύσεις (ηλικίας 20±1 Μα κατά Frei, 1992). Πρόκειται για κεροστιλβικές βιοτιτικές χαλαζοδιοριτικές – διοριτικές και ανδεσιτικές πορφυριτικές διεισδύσεις που φέρουν διάσπαρτη και φλεβική μεταλλοφορία Cu, Au (Σκουριές, Φυσώκα) με σημαντική άλω υδροθερμικής εξαλλοίωσης (Σκουριές – Αλατίνα – Φυσώκα). Αποτελούν υποηφαιστιακές διεισδύσεις κατανεμημένες μέσα στα ρήγματα με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ, του τριτογενούς εφελκυστικού τεκτονισμού. Η μαγματική αυτή δραστηριότητα, εκτός των φαινομένων μεταμορφισμού επαφής και ανάδρομης πρασινοσχιστολιθικής φάσης μεταμόρφωσης, οδηγεί και στις υδροθερμικές μεταλλοφόρες συγκεντρώσεις της περιοχής.

Νεογενείς – Τεταρτογενείς αποθέσεις. Επί των προνεογενών λιθολογικών σχηματισμών σε πολύ περιορισμένη έκταση της ευρύτερης περιοχής μελέτης απαντούν Νεογενή ιζήματα. Πλειστοκαινικά χερσαία ιζήματα από πλευρικά κορήματα, κώνους κορημάτων, ποτάμιες αναβαθμίδες και χειμάριες αποθέσεις, καθώς

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

και ελουβιακός και εδαφικός μανδύας καλύπτουν κύρια στους λεκάνιους χώρους τα κρυσταλλωσχιστώδη πετρώματα.

Όσον αφορά την ευρύτερη περιοχή των ΜΕΣ, αυτή δομείται γεωλογικά από τα πετρώματα και των δύο ανωτέρω σχηματισμών, δηλαδή του Βερτίσκου και των Κερδυλλίων, με τα κοιτάσματα των μικτών θειούχων μεταλλευμάτων των Μαύρων Πετρών και μέχρι πρότινος και του Μαντέμ Λάκκου να εντοπίζονται στον σχηματισμό των Κερδυλλίων και συγκεκριμένα στη ζώνη επαφής του σχηματισμού των Κερδυλλίων με τον υπερκείμενο σχηματισμό του Βερτίσκου, ζώνη η οποία καθορίζεται από την επώθηση Στρατωνίου - Πιάβιτσας - Βαρβάρας.

Τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά των γνευσιακών πετρωμάτων με τις απλιτικές και πηγματιτικές φλέβες είναι άστριοι, χαλαζίας, βιοτίτης, κεροστίλβη και μοσχοβίτης.

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Κεφάλαιο 4^{ο}: Μέθοδοι έρευνας

Δειγματοληψία εντός των στοών

Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης εξετάσθηκαν από χημική άποψη, όλα τα αναλυθέντα δείγματα μεταλλεύματος, τα οποία προέκυψαν από τη συστηματική δειγματοληψία του μεταλλείου για τον ποιοτικό προσδιορισμό του κοιτάσματος.

Η δειγματοληψία εντός των στοών του μεταλλείου, πραγματοποιήθηκε στο μέτωπο και στα πλευρά της στοάς. Συγκεκριμένα λήφθηκαν σημειακά δείγματα μεταλλεύματος κατά μήκος μιας ευθείας, προσέχοντας τα τελευταία να είναι όσο το δυνατόν πιο ομοιογενή και να έχουν περίπου το ίδιο μέγεθος και βάρος.

Μέθοδος χημικής ανάλυσης

Φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης

Η φασματοφωτομετρία εκπομπής με επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα (φασματοφωτομετρία ICP) χρησιμοποιεί σαν μέσο διέγερσης του δείγματος πλάσμα αργού, το οποίο έχει εξαιρετική σταθερότητα, σε αντίθεση με τις παλαιότερες φασματοσκοπικές τεχνικές εκπομπής τόξου και εκκενώσεως. Με την τεχνική αυτή είναι δυνατός ο σύγχρονος προσδιορισμός μέχρι και 60 στοιχείων, με υψηλή ευαισθησία και ασυνήθιστα μεγάλη γραμμική αναλυτική περιοχή.

Το πλάσμα σχηματίζεται με τη δίοδο υψηλής καθαρότητας αργού μεταξύ του μεσαίου και εσωτερικού σωλήνα ενός συστήματος τριών ομόκεντρων σωλήνων από χαλαζία. Το αέριο ιονίζεται, καθώς διέρχεται από ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο, που δημιουργείται από ένα επαγωγικό πηνίο ραδιοκυμάτων (27MHz) και το δημιουργούμενο πλάσμα έχει θερμοκρασία 6000K – 10000K. ένα δεύτερο ψυκτικό ρεύμα αργού διέρχεται ελικοειδώς μεταξύ του μεσαίου και του εξωτερικού σωλήνα για να ψύξει το μεσαίο και να τον προφυλάξει από το πλάσμα υψηλής θερμοκρασίας που περιέχει. Το διάλυμα του δείγματος εισάγεται με ένα συμβατικό πνευματικό εκφωνητή με τη βοήθεια ρεύματος αργού. Η υψηλή θερμοκρασία του πλάσματος

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

προκαλεί σχεδόν ποσοτική εξαέρωση και ατμοποίηση του δείγματος, ακόμη και για στοιχεία που η κλασική φλόγα καύσεως αδυνατεί να ατμοποιήσει σε ικανοποιητικό βαθμό. Κατά κανόνα η ευαισθησία της φασματοφωτομετρίας ICP είναι συγκρίσιμη με εκείνη της ΦΦΑΑ (Φασματοφωτομετρία Ατομικής Απορρόφησης).

Το εκπεμπόμενο πολύπλοκο γραμμικό φάσμα αναλύεται και μετράται, είτε με τη χρήση μονοχρωμάτορα ταχείας σάρωσης και ένα φωτοπολλαπλασιαστή, είτε με τη βοήθεια ενός πολυχρωμάτορα (κοίλο φράγμα περίθλασης με σειρά φωτοπολλαπλασιαστών).

Για την επεξεργασία των σημάτων είναι οπωσδήποτε απαραίτητη η ύπαρξη μικροϋπολογιστή. Η επίδραση μήτρας (*επίδραση της μήτρας: βλ. σελ. 280 «ενόργανησανάλυση», Θ.Π. Χατζηϊωάννου & Μ.Α. Κουππάρη, 2000*) διορθώνεται ουσιαστικά με την προσθήκη εσωτερικού προτύπου, πετυχαίνοντας έτσι πολύ καλή επαναληπτικότητα. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της φασματοφωτομετρίας ICP είναι η μεγάλη αναλυτική περιοχή. Αυτό οφείλεται στην «οπτική λεπτότητα του πλάσματος» με αποτέλεσμα να μην εμφανίζεται το φαινόμενο της αυτοαπορροφήσεως (*αυτοαπορρόφηση: βλ. σελ. 281 «ενόργανησανάλυση», Θ.Π. Χατζηϊωάννου & Μ.Α. Κουππάρη, 2000*).

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Κεφάλαιο 3^{ο} : Κοιτασματολογία Μαύρων Πετρών

Γενικά

Η περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής παρουσιάζει έντονο κοιτασματολογικό και μεταλλευτικό ενδιαφέρον λόγω των μεγάλων κοιτασμάτων θειούχων βασικών και πολυτίμων μετάλλων, των κοιτασμάτων μαγγανίου, αλλά και των πολλών εμφανίσεων μεταλλικών κυρίως ορυκτών. Τα σημαντικότερα κοιτάσματα απαντούν στο σχηματισμό των Κερδυλίων, κατά μήκος του μεταλλοφόρου ρήγματος Στρατωνίου-Βαρβάρας, ενώ στο σχηματισμό του Βερτίσκου απαντούν τα πορφυριτικού τύπου χαλκού-χρυσού κοιτάσματα των Σκουριών και Φυσώκας. Σημαντικές μεταλλοφόρες συγκεντρώσεις πολυτίμων και βασικών μετάλλων εντοπίζονται και στη ρηξιγενή περιοχή Βίνα–Παπάδες–Στρεμπενίκος (Theodoroudis et al., 1999 και 2000).

Αντικλινική δομή

Τα πετρώματα του ανώτερου τμήματος του σχηματισμού των Κερδυλλίων, δηλαδή τα μάρμαρα, ο βιοτιτικός γνεύσιος και ο βιοτιτικός σχιστόλιθος, έχουν πτυχωθεί εντός ενός αντικλίνου, το οποίο είναι γνωστό και ως αντίκλινο των Κερδυλλίων. Το αντίκλινο αυτό έχει άξονα διεύθυνσης ΑΝΑ-ΔΒΔ, με βύθιση προς τα ΝΑ, και οριοθετείται στα βόρεια από τον αμφιβολιτικό γνεύσιο και στα νότια από το ρήγμα – επώθηση Στρατωνίου-Βαρβάρας, το οποίο όπως προαναφέρθηκε αποτελεί το διαχωριστικό όριο των σχηματισμών Κερδυλλίων-Βερτίσκου. Στο αντίκλινο αυτό και συγκεκριμένα εντός του ορίζοντα του μαρμάρου του σχηματισμού των Κερδυλλίων και κοντά στην επαφή με το ρήγμα Στρατωνίου φιλοξενείται η μεταλλοφορία των μικτών θειούχων κοιτασμάτων Μαύρων Πετρών-Μαντέμ Λάκκου.

Μεταλλοφορεία Μαύρων Πετρών

Συγκεκριμένα, η μεταλλοφορία στην περιοχή των Μαύρων Πετρών συνίσταται από φακούς Pb-Zn-Ag, και εντοπίζεται κατά μήκος του ρήγματος Στρατωνίου – Βαρβάρας και εντός του ορίζοντα του μαρμάρου, με διεύθυνση Ανατολή – Δύση και κλίση 35° προς Νότο. Ο ορίζοντας των Μαύρων Πετρών καταλαμβάνει το νοτιότερο άκρο του αντικλίνου. Το μεταλλοφόρο σώμα των Μαύρων Πετρών είναι ουσιαστικά ένα ενιαίο στρωματοειδές σώμα που φιλοξενείται εντός του

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

στρωματογραφικά ανώτερου από τους δύο ορίζοντες μαρμάρου, κοντά στην επαφή του μαρμάρου με τον υπερκείμενο τεκτονικό αμφιβολίτη, ο οποίος στην επαφή του με την μεταλλοφορία παρουσιάζεται έντονα εξαλλοιωμένος, καολινιωμένος. Η θειούχος μεταλλοφορία συνδέεται γενετικά με τους απλίτες της περιοχής, που είναι έντονα σερικιτιωμένοι-καολινιωμένοι λεπτόκοκκοι έως μεσόκοκκοι πηγματίτες. Το μάρμαρο μέσα στο οποίο αναπτύσσεται το κοίτασμα είναι παχυστρωματώδες, χονδρόκοκκο, γαλαζωπό ή λευκό, τοπικά δολομιτιωμένο και κατακερματισμένο, ενίοτε δε καρστικοποιημένο. Κάτω από τον ορίζοντα των μαρμάρων έχουμε τους γνευσίους της στρώσης, κυρίως αμφιβολιτικούς και τοπικά σχιστόλιθους. Απλιτικές και πηγματιτικές φλέβες ποικίλου μεγέθους διασχίζουν τα παραπάνω μεταμορφωμένα πετρώματα. Τη μεταλλοφορία συνοδεύει η έντονη υδροθερμική εξαλλοίωση των απλιτών, πηγματιτών, αμφιβολιτών και των τμημάτων των γειτονικών γνευσίων που έχουν εξαλλοιωθεί σε μορφή καολίνη.

Τα μεταλλοφόρα σώματα του Μαντέμ Λάκκου βρίσκονται στον στρωματογραφικά κατώτερο από τους δύο ορίζοντες μαρμάρων. Η μεταλλοφορία του Μαντέμ Λάκκου ακολουθεί τη γεωμετρία του κυρίως αντικλίνου, με διεύθυνση ΑΝΑ-ΔΒΔ και βύθιση προς τα ΝΑ. Στο κεντρικό τμήμα του κοιτάσματος του Μαντέμ Λάκκου, κοντά στον άξονα του αντικλίνου, τα μεταλλοφόρα σώματα είναι υπο-οριζόντια, ενώ μακριά από την κεντρική περιοχή, τα μεταλλοφόρα σώματα βαθαίνουν απότομα, προσεγγίζοντας τις άκρες του αντικλίνου. Οι ζώνες μεταλλοφορίας του Μαντέμ Λάκκου συνίστανται από ακανόνιστους φακούς σιδηροπυρίτη, γαληνίτη και σφαλερίτη. Κάτω από τον ορίζοντα μεταλλοφορίας του Μαντέμ Λάκκου βρίσκεται ο αμφιβολιτικός γνεύσιος, ο οποίος αποτελεί και τον πυρήνα του αντικλίνου. Το νότιο άκρο αυτού του αντικλίνου βρίσκεται κάτω από το ρήγμα του Στρατωνίου. Αυτοί οι φακοί παρουσιάζουν μεγαλύτερη βύθιση, με γωνία 25°-65° ΝΔ και διεύθυνση ΒΔ. Ορισμένα τμήματα του κοιτάσματος εμφανίζονται να έχουν μεγαλύτερη συνέχεια από άλλα, με μέσο πλάτος 8m και μήκος εμφάνισης 70-200m.

Ο τομέας «Μορφούλι» χρήζει έρευνας. Ο τομέας αυτός βρίσκεται στο νότιο άκρο του αντικλίνου των Κερδυλλίων, πολύ κοντά στο ρήγμα του Στρατωνίου. Δεδομένου ότι οι μεταλλοφόροι ορίζοντες του Μαντέμ Λάκκου και των Μαύρων Πετρών θεωρούνται ότι ανήκουν σε διαφορετικούς ορίζοντες μαρμάρων, δεν είναι σαφές σε ποιόν ορίζοντα

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

μαρμάρου ανήκει ο τομέας του «Μορφούλι». Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία γεωτρητικής έρευνας στην περιοχή, εκτιμάται ότι υπάρχουν 5 παράλληλοι φακοί μεταλλεύματος θειούχων ορυκτών εντός εξαλλοιωμένου απλίτη και μαρμάρου.

Ορυκτολογική σύσταση μεταλλοφορείας

Η μικτή θειούχος μεταλλοφορία των Μεταλλείων Μαντέμ Λάκκου και Μαύρων Πετρών συνίσταται κυρίως από σιδηροπυρίτη, γαληνίτη και σφαλερίτη. Δευτερεύοντα ορυκτά είναι οι: τετραεδρίτης, χαλκοπυρίτης, βουρνοτίτης, βουλανζερίτης, αρσενοπυρίτης, μαρκασίτης, πυρροτίνης και εναργίτης. Μεταξύ των ορυκτών της στείρας παραγένεσης τα κυριότερα είναι ασβεστίτης, σερικίτης, χαλαζίας και ροδοχρωσίτης. Απαντάται επίσης χρυσός, γενικώς υπομικροσκοπικών διαστάσεων (<1μm), που επειδή δεν είναι άμεσα ανακτήσιμος, χαρακτηρίζεται ως δυσκατέργαστος.

Η διαφοροποίηση που διαπιστώνεται μεταξύ της μεταλλοφορίας που απαντάται στις Μαύρες Πέτρες σε σχέση με αυτή του Μαντέμ Λάκκου, είναι ότι η πρώτη έχει ιστό πιο λεπτοκρυσταλλικό. Η μέση σύσταση του κοιτάσματος των Μαύρων Πετρών είναι *Au 5-7gr/tn, Ag 179 gr/tn, Zn 10,25%* και *Pb 7,62%* έναντι του Μαντέμ Λάκκου που ήταν: Au 1-2 gr/tn, *Ag 279 gr/t, Zn 12%, Pb 10,4%*.

Τα κοιτάσματα των Μαύρων Πετρών και του Μαντέμ Λάκκου βρίσκονται εντός των διοικητικών ορίων του Δ.Δ. Στρατονίκης του Δήμου Σταγίρων – Ακάνθου. Το υπόγειο μεταλλείο Μαύρων Πετρών βρίσκεται ανατολικά του οικισμού καθώς και κάτω από αυτόν ενώ του Μαντέμ Λάκκου βρίσκεται 2 km Α των ορίων του οικισμού. Το σύνολο της περιοχής των μεταλλείων Στρατωνίου αποτελεί μεταλλειοκτησία της Ελληνικός Χρυσός Α.Ε. και ανήκει στις μεταλλευτικές παραχωρήσεις Φ16 και ΟΠ25.

Παρελθοντική εκμετάλλευση

Η μεταλλοφορία που απαντάται στην περιοχή των ΜΕΣ κατατάσσεται στην κατηγορία των συμπαγών κοιτασμάτων Pb-Zn-Ag υδροθερμικής αντικατάστασης. Με βάση τα ιστορικά στοιχεία παραγωγής, η συνολική ποσότητα μεταλλεύματος που έχει εξορυχθεί από την περιοχή από τις δύο προηγούμενες μεταλλειοκτήτριες εταιρείες Α.Ε.Ε.Χ.Π.&Λ και TVX Hellas Α.Ε. ανέρχεται σε περίπου 24

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Mt. Από αυτά, οι 15,5 Mt προήλθαν από τα υπόγεια Μεταλλεία των Μαύρων Πετρών και Μαντέμ Λάκκου ενώ οι υπόλοιποι 8,5 Mt από την παλαιά επιφανειακή εκμετάλλευση στην περιοχή Σεβαλιέ.

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Κεφάλαιο 4ο: Αποτελέσματα – Συσχετίσεις χημικών αναλύσεων

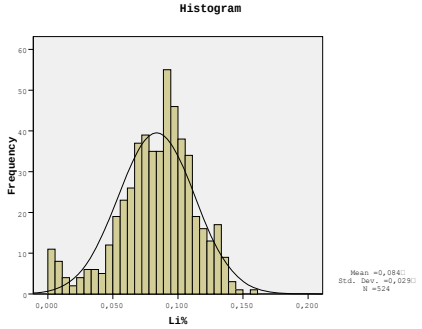
Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων δειγμάτων στοών

Πίνακας 1: Συγκεντρωτικός – περιγραφικός πίνακας αποτελεσμάτων χημικών αναλύσεων

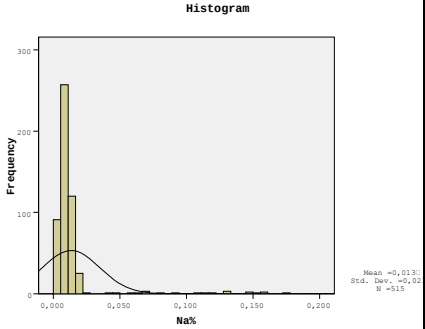
	N Αριθμός μετρήσεων	Mean Μέση τιμή	Std. Deviation Απόκλιση	Missing Απορριπτέες τιμές		No. of Extremes(a,b) Πλήθως μέγιστων μετρήσεων	
	Count Πλήθως	Percent Ποσοστό %	Low Ελάχιστο%	High Μέγιστο	Counts Τιμές	Percent Πόσοστό	Low Ελάχιστο
Pb	527	9.31486	9.330054	2	0.4	0	23
Ni	212	0.00265	0.003133	317	59.9	0	31
Cu	513	0.07726	0.109157	16	3.0	0	35
Zn	528	11.89646	7.623823	1	0.2	0	12
Fe	528	25.10705	8.824588	1	0.2	30	0
Mn	528	0.77831	1.212674	1	0.2	0	56
Cr	259	0.02771	0.016363	270	51.0	0	0
Cd	509	0.08014	0.041180	20	3.8	0	9
Al	522	0.10352	0.250657	7	1.3	0	73
As	511	3.36275	3.389397	18	3.4	0	30
Ba	379	0.00181	0.000888	150	28.4	0	15
Be	529	0.00100	0.000000	0	0.0	0.0	0.0
Bi	440	0.01196	0.003632	89	16.8	5	8
B	529	0.02424	0.034754	0	0.0	0,0	0,0
Ca	528	1.34234	2.482420	1	0.2	0	56
Co	529	0.00100	0.000027	0	0.0	0,0	0.0
Li	524	0.08356	0.029392	5	0.9	21	1
Mg	528	0.36021	0.804269	1	0.2	0,0	57
Mo	36	0.00212	0.001885	493	93.2	0,0	4
K	527	0.04379	0.090874	2	0.4	0,0	72
Se	41	0.01240	0.018596	488	92.2	0,0	3
Sr	524	0.20386	0.073247	5	0.9	25	4
Tl	529	0.00122	0.005174	0	0.0	0,0	0,0
Ti	428	0.00361	0.009728	101	19.1	0,0	77
V	491	0.00610	0.002770	38	7.2	0,0	3
Na	515	0.01336	0.021458	14	2.6	0,0	27
Sb	499	0.15997	0.274154	30	5.7	0,0	53
Ag (gr/tn)	511	244.56289	246.553078	18	3.4	0,0	29

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

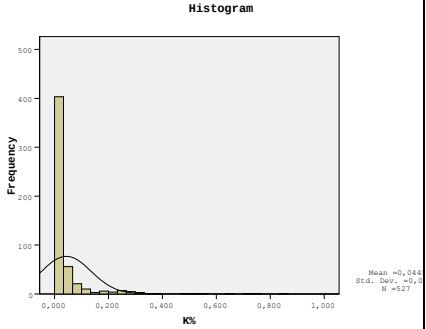
Διαγράμματα κατανομής συχνοτήτων των διαφόρων στοιχείων



Σχήμα 2: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Li%

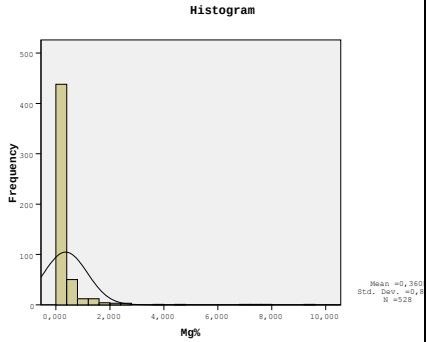


Σχήμα 3: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Na%

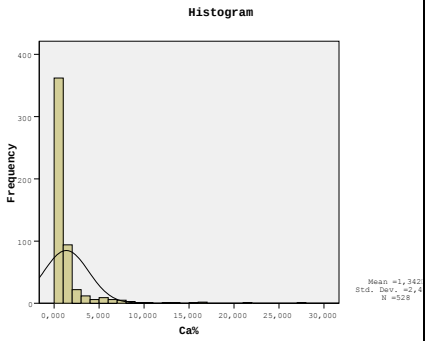


Σχήμα 4: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του K%

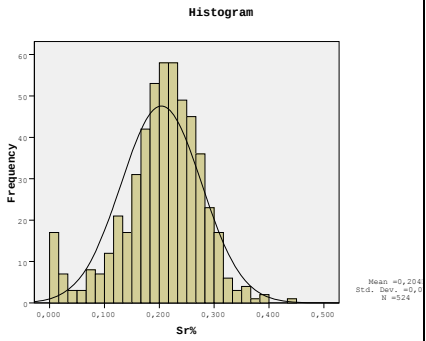
Τα τρία αυτά στοιχεία αποτελούν τμήμα της 1ης ομάδας του περιοδικού πίνακα. Από αυτά μόνο το Li παρουσιάζει μια σχετικά κανονική κατανομή κατά Gauss.



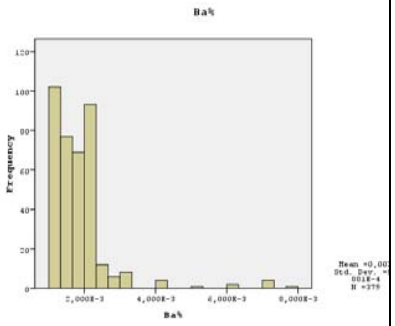
Σχήμα 5: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Mg%



Σχήμα 6: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Ca%



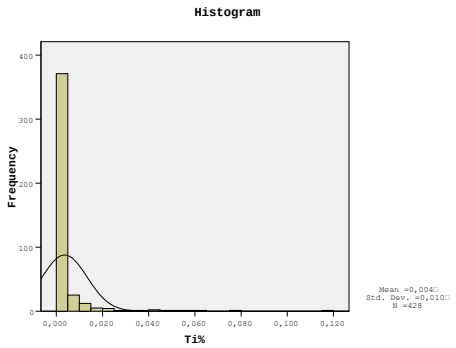
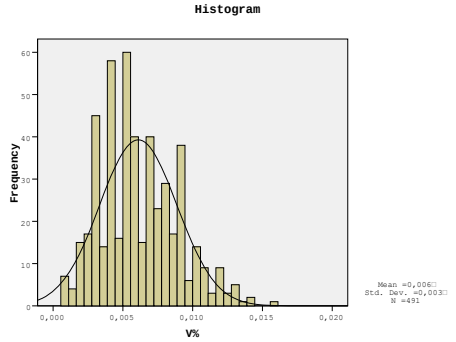
Σχήμα 7: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Sr%

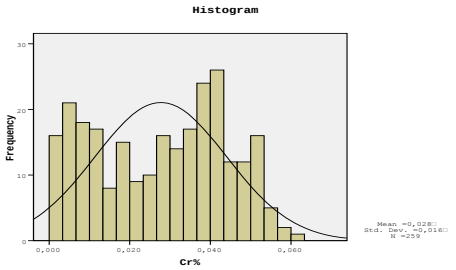


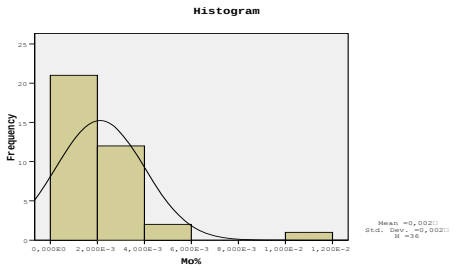
Σχήμα 8: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Ba%

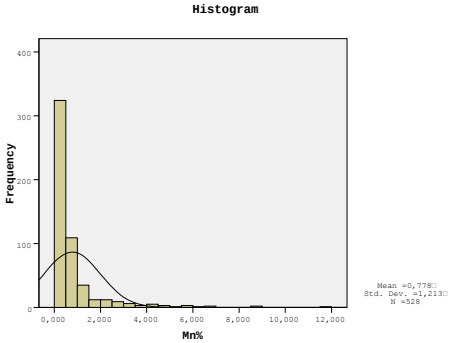
Τα τρία αυτά στοιχεία αποτελούν τμήμα της 2ης ομάδας του περιοδικού πίνακα. Από αυτά μόνο το Sr παρουσιάζει μια σχετικά κανονική κατανομή κατά Gauss

Διαγράμματα κατανομής συχνοτήτων των διαφόρων στοιχείων

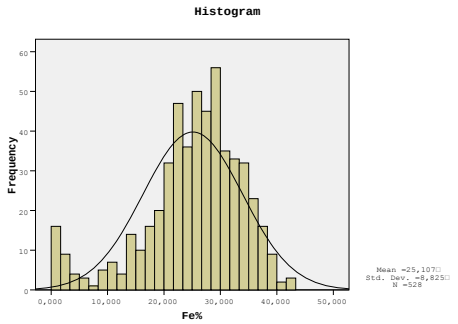
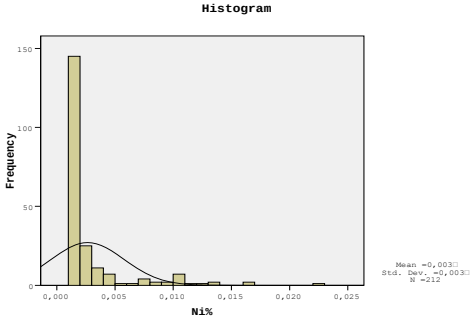
 **Σχήμα 9: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Ti%**			**Το στοιχείο αυτό ανήκει στην 4η ομάδα του περιοδικού πίνακα**
 **Σχήμα 10: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του V%**			**Το στοιχείο αυτό ανήκει στην 5η ομάδα του περιοδικού πίνακα. Το V παρουσιάζει μια σχετική κανονική κατανομή.**

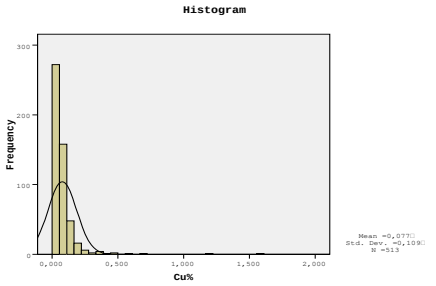
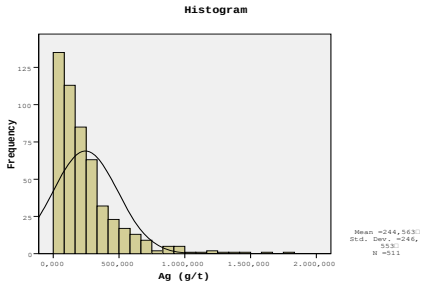
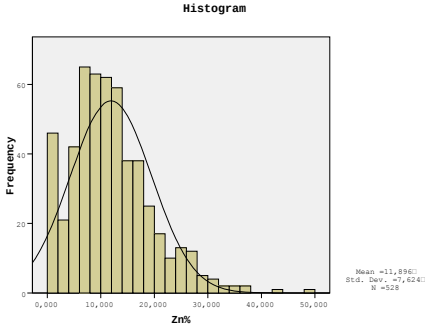
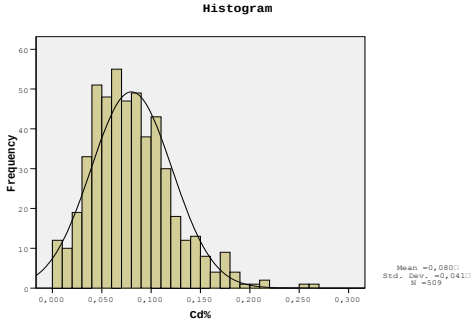
<table>
<tr>
<td> 

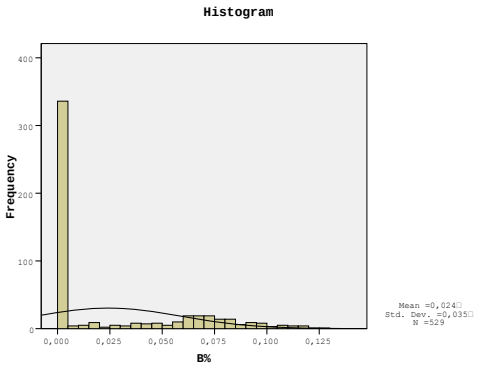
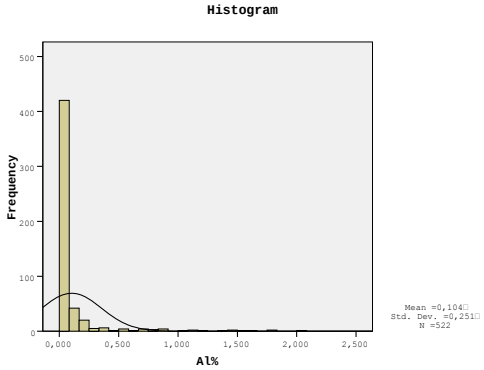
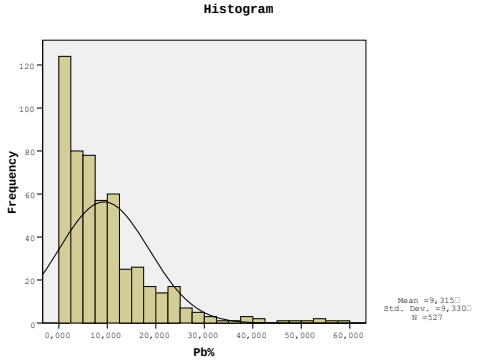
Σχήμα 11: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Cr%</td>
<td> 

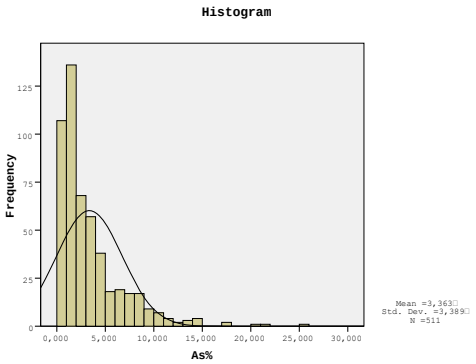
Σχήμα 12: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Mo%</td>
<td></td>
<td>Τα δύο αυτά στοιχεία ανήκουν στη 6η ομάδα του περιοδικού πίνακα.</td>
</tr>
<tr>
<td> 

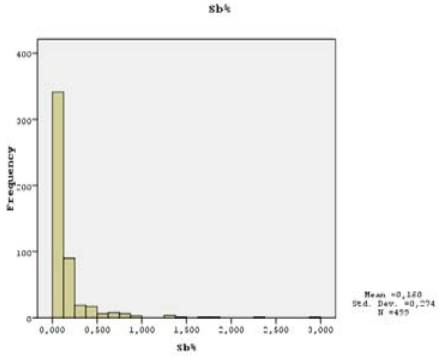
Σχήμα 13: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Mo%</td>
<td></td>
<td></td>
<td>Το στοιχείο αυτό ανήκει στην 7η ομάδα του περιοδικού πίνακα</td>
</tr>
</table>

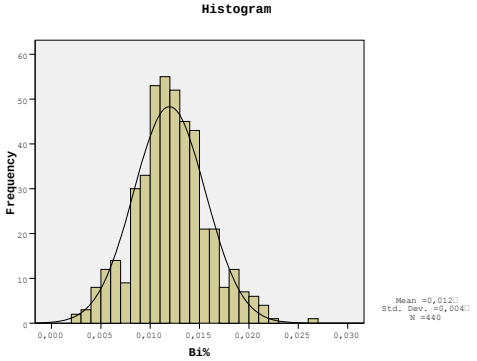
 **Σχήμα 14: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Fe%**			**Το στοιχείο αυτό ανήκει στην 8η ομάδα του περιοδικού πίνακα. Το στοιχείο Fe παρουσιάζει μια ικανοποιητική κανονική κατανομή κατά Gauss με θετική κύρτωση.**
Το στοιχείο Co σε όλες τις αναλύσεις βρίσκεται σε συγκεντρώσεις κάτω από την αναλυτική ικανότητα του οργάνου (< 1ppm)			**Το στοιχείο αυτό ανήκει στην 9η ομάδα του περιοδικού πίνακα**
 **Σχήμα 15: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Ni%**			**Το στοιχείο αυτό ανήκει στην 10η ομάδα του περιοδικού πίνακα**

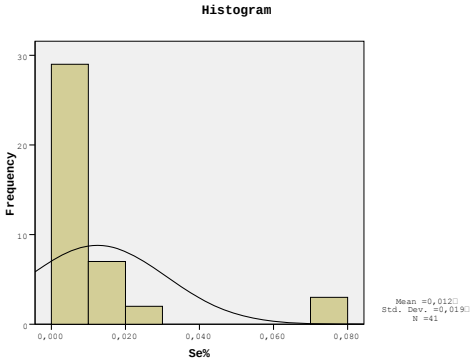
 **Σχήμα 16: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Cu%**	 **Σχήμα 17: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Ag%**		**Τα στοιχεία αυτά ανήκουν στην 11η ομάδα του περιοδικού πίνακα**
 **Σχήμα 18: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Zn%**	 **Σχήμα 19: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Cd%**		**Τα στοιχεία αυτά ανήκουν στην 12η ομάδα του περιοδικού πίνακα. Τα στοιχεία Zn και Cd παρουσιάζουν ικανοποιητική κανονική κατανομή, με θετική κύρτωση.**

 **Σχήμα 20: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του B%**	 **Σχήμα 21: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Al%**	**Το στοιχείο Tl εντοπίζεται σε όλες τις αναλύσεις κάτω από τη διακριτική ικανότητα του οργάνου**	**Τα στοιχεία αυτά ανήκουν στην 13η ομάδα του περιοδικού πίνακα**
 **Σχήμα 22: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Pb%**			**Το στοιχείο αυτό ανήκει στην 14η ομάδα του περιοδικού πίνακα**

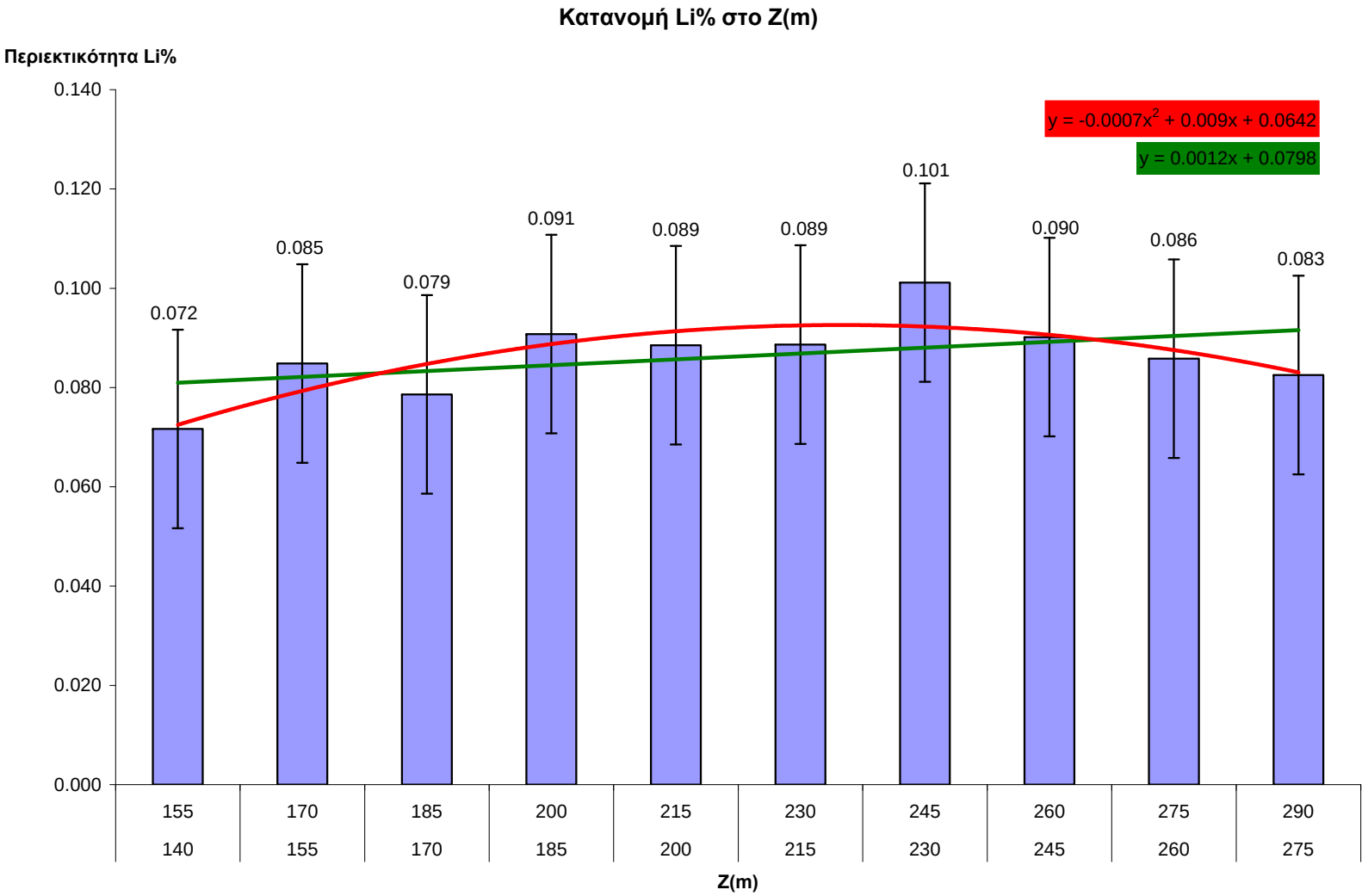
<table>
<tr>
<td> 

Σχήμα 23: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Pb%</td>
<td> 

Σχήμα 24: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Pb%</td>
<td> 

Σχήμα 25: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Bi%</td>
<td>Τα στοιχεία αυτά ανήκουν στην 13η ομάδα του περιοδικού πίνακα. Από αυτά μόνο το Bi παρουσιάζει μια ικανοποιητική κανονική κατανομή κατά Gauss. Οι τιμές του στοιχείου Bi παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη κανονικότητα από όλες τις κατανομές.</td>
</tr>
<tr>
<td> 

Σχήμα 26: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Se%</td>
<td></td>
<td></td>
<td>Το στοιχείο αυτό ανήκει στην 16η ομάδα του περιοδικού πίνακα</td>
</tr>
</table>


Κατανομή Li% στο Z(m)
Περιεκτικότητα Li%
y = -0.0007x2 + 0.009x + 0.0642
y = 0.0012x + 0.0798
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
0.072
0.085
0.079
0.091
0.089
0.089
0.101
0.090
0.086
0.083
155 170 185 200 215 230 245 260 275 290
140 155 170 185 200 215 230 245 260 275
Z(m)

Κεφάλαιο 6ο: Ερμηνεία αποτελεσμάτων

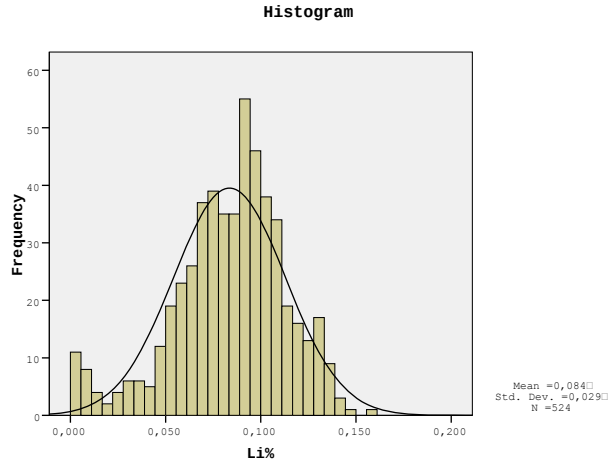
Ερμηνεία αποτελεσμάτων χαρακτηριστικών ιχνοστοιχείων

Ερμηνεία αποτελεσμάτων 1ης ομάδας (Li, Na, K)

Li (Lithium, Li^+, r=0.68Å)

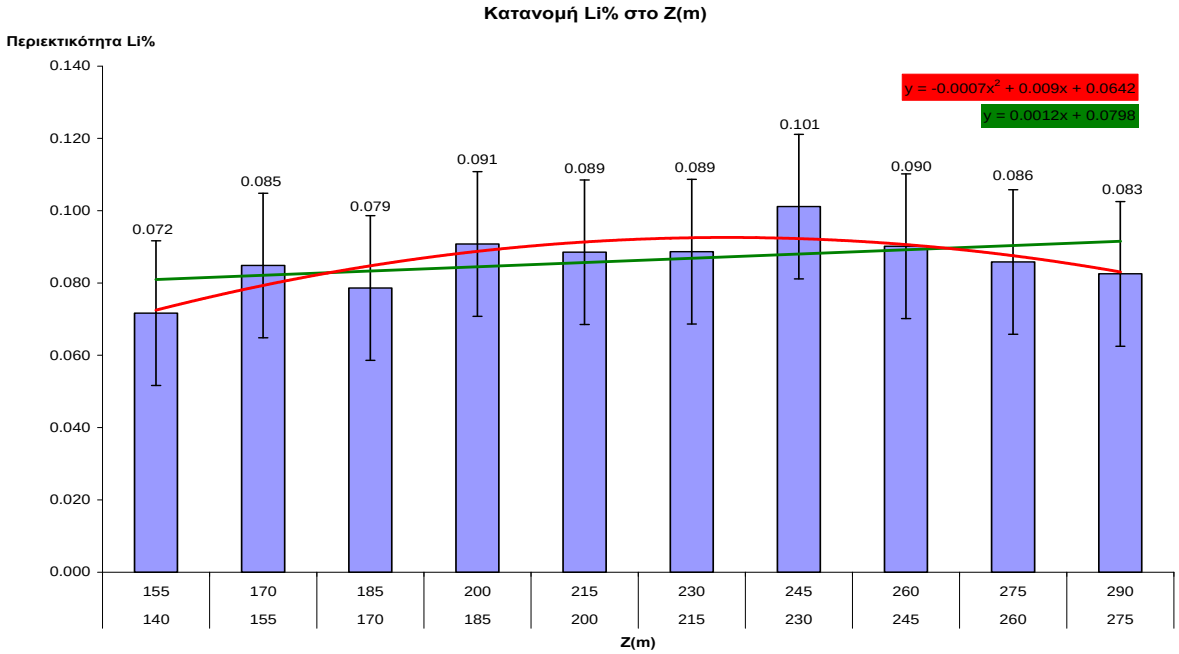
Το λίθιο, κατά τη διάρκεια της κλασματικής κρυστάλλωσης θα έπρεπε να ακολουθήσει τα χημικά στοιχεία των αλκαλίων. Το μέγεθος της ακτίνας του ιόντος του και όχι οι χημικές του ιδιότητες είναι εκείνο που καθορίζει την είσοδο του Li στο κρυσταλλικό πλέγμα των ορυκτών. Η ακτίνα του ιόντος του λιθίου είναι η μικρότερη από όλα τα άλλα αλκάλια (Na^+, r = 0.97Å, K^+, r=1.33Å), γι' αυτό εισέρχεται στο πλέγμα των ορυκτών του μαγνησίου που οι ακτίνες τους είναι περίπου ίσες.

Το λίθιο γίνεται αποδεκτό στα ορυκτά του μαγνησίου, αν και δεν έχουν το ίδιο ηλεκτρικό φορτίο. Ο λόγος (Li^+/Mg^{2+}) αυξάνει καθώς προχωρά η κλασμα-τική κρυστάλλωση και για το λόγο αυτό ο Strock πρότεινε τη χρήση του λόγου ως κριτήριο για τον προσδιορισμό του σταδίου της διαφοροποίησης κατά το οποίο σχηματίσθηκε ένα πυριγενές πέτρωμα.



Σχήμα 2, σελ. 24: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Li%

Το λίθιο απαντά στους πυροξένους, τους αμφιβόλους και ιδιαίτερα στους μαρμαρυγίες. Σημαντικά ποσά λιθίου παραμένουν στο τήγμα, γι' αυτό στους πηγματίτες εμφανίζεται συγκέντρωση του Li σχηματίζοντας τα ορυκτά λεπιδόλιθος [lepidolite $KLi_2Al(Si_4O_{10})$], σποδουμένης [spodumene $LiAlSi_2O_6$], αμβλυγωνίτης [amblygonite $LiAlPO_4(F, OH)$] και πεταλίτης [petalite $LiAlSi_4O_{10}$].



Σχήμα 28:Κατανομή του Li% στο υψόμετρο Z(m) από χημικές αναλύσεις δειγμάτων που πάρθηκαν από το σώμα του κοιτάσματος.

Η μικρότερη τιμή του Li, στο κοίτασμα των Μαύρων Πετρών, είναι 10 ppm ενώ η μέγιστη είναι 1600 ppm. Η μέση τιμή του Li στη λιθόσφαιρα είναι 2,7ppm ενώ η αντίστοιχη μέση τιμή του στοιχείου στο κοίτασμα είναι 835,6ppm. Επομένως, όλες οι μετρήσεις αποτελούν γεωχημικές ανωμαλίες.

Η βέλτιστη μαθηματική περιγραφή της κατακόρυφης κατανομής του Li δίδεται από τη συνάρτηση $f(x) = -7x^2 + 90x + 642$ (τιμές σε ppm). Από τη γραμμική συνάρτηση $y=12x+798$ συμπεραίνουμε ότι υπάρχει μια αυξητική σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας σε Li% και του υψομέτρου Z(m).

Οι υψηλές συγκεντρώσεις του Li συμφωνούν με την επικρατούσα άποψη περί σύνθετης υδροθερμικής κοιτασματογένεσης με πληθώρα πηγματιτικών διεισδύσεων.

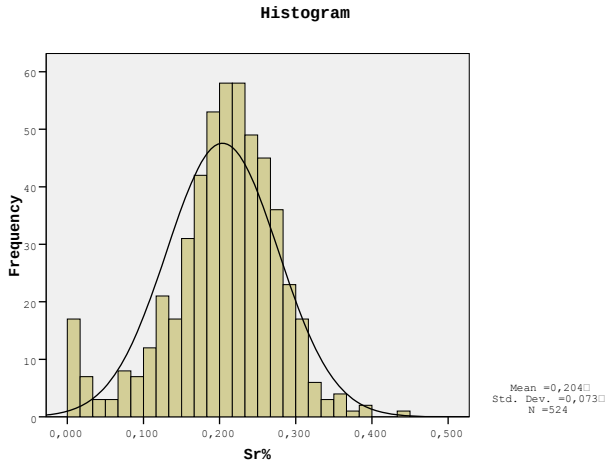
Ερμηνεία αποτελεσμάτων 2ης ομάδας (Be, Mg, Ca, Sr, Ba)

Sr (Strontium, Sr^{2+}, r=1,12Å)

Το στρόντιο δύναται να αντικαταστήσει το ασβέστιο ή το κάλιο στα πυριγενή πετρώματα κυρίως στα κρυσταλλικά πλέγματα των πλαγιοκλάστων και των καλιούχων αστρίων.

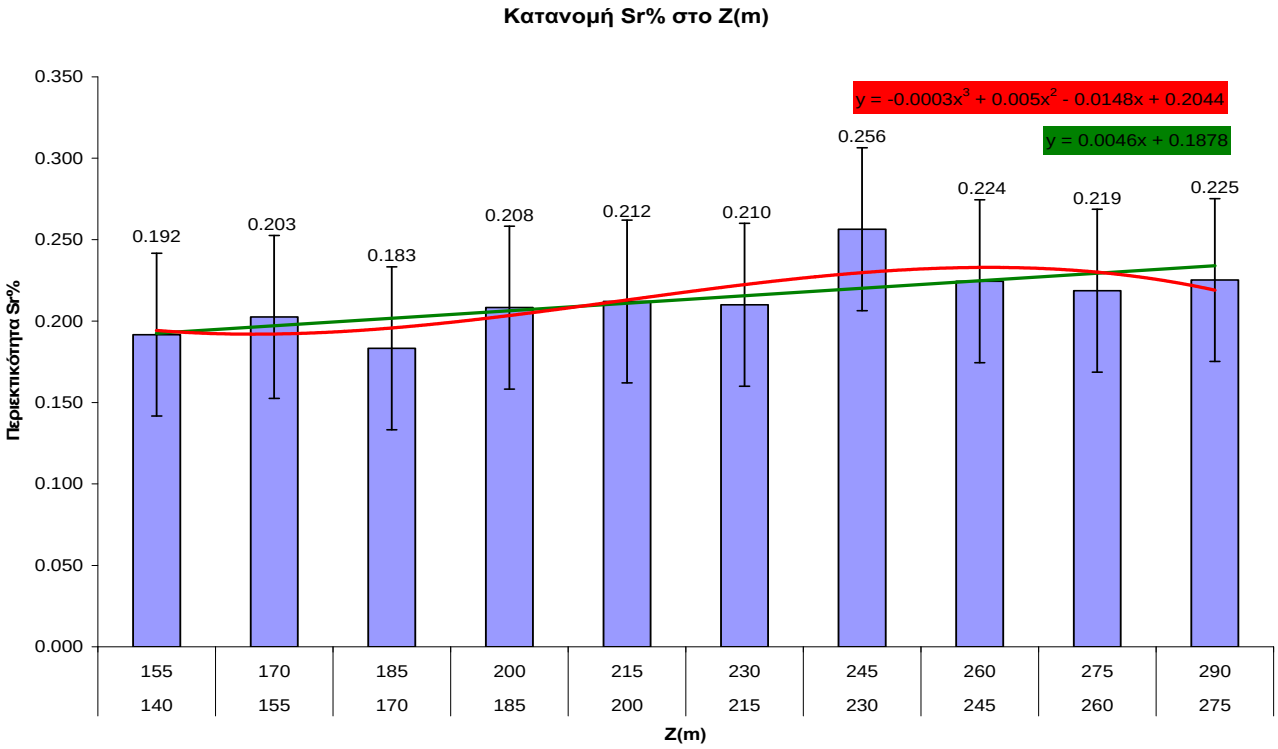
Η συγκέντρωση του στροντίου αυξάνει στα ορυκτά καθώς εξελίσσεται η κρυστάλλωση του μάγματος. Το στρόντιο εμφανίζεται αφθονότερο στα βασαλτικά και γαββρικά πετρώματα σε σχέση με τα γρανιτικά. Η αντικατάσταση του ασβεστίου από το στρόντιο θεωρείται μια λειτουργία απομάκρυνσης του στροντίου από το μάγμα.

Σχήμα 7, σελ. 24: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Sr%



Η μικρότερη τιμή του στροντίου, στο κοίτασμα των Μαύρων Πετρών, είναι 30ppm ενώ η μέγιστη είναι 4390ppm. Η μέση συγκέντρωση του Sr στο γήινο φλοιό είναι 18.2ppm, ενώ στο κοίτασμα 2038,6ppm. Επομένως, το 94,69% των μετρήσεων αποτελούν γεωχημικές ανωμαλίες.

Οι μέσες μέγιστες περιεκτικότητες παρατηρούνται στα υψόμετρα [155,170], [185, 200] και [200, 290]. Η βέλτιστη περιγραφή της κατανομής του στροντίου δίδεται από τη συνάρτηση: $f(x) = -3x^3 + 50x^2 – 148x + 2044$ (τιμές σε ppm). Επιπλέον από τη σχέση y=46x+1878 διαπιστώνουμε την ύπαρξη μιας γενικότερης αυξητικής τάσης του στροντίου ανάλογα με το υψόμετρο Z(m).

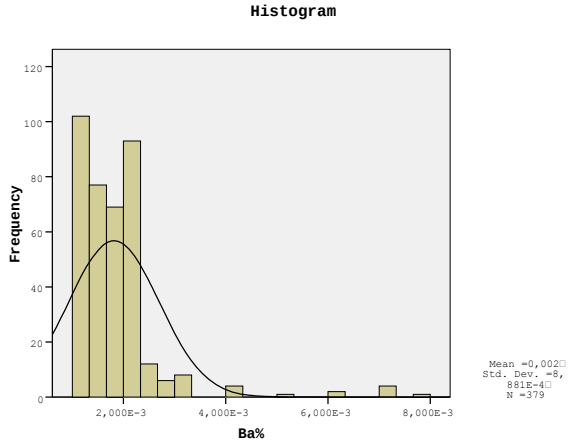


Σχήμα 29: Κατανομή του Sr% στο υψόμετρο Z(m) από χημικές αναλύσεις δειγμάτων που πάρθηκαν από το σώμα του κοιτάσματος.

Ba (Barium, Ba^{2+}, r=0.84Å)

Το βάριο παγιδεύεται στα κρυσταλλικά πλέγματα των καλιούχων ορυκτών, διότι έχει υψηλό ηλεκτρικό φορτίο και παρόμοια ακτίνα με το κάλιο. Επίσης, είναι δυνατό να γίνει αποδεκτό στο κρυσταλλικό πλέγμα των πλαγιοκλάστων μέχρι ποσοστού 0,1%, καθώς και στο κρυσταλλικό πλέγμα της κεροστίλβης σε μικρό ποσοστό, διότι υπάρχουν στην κρυσταλλική της δομή θέσεις για μεγάλα ιόντα.

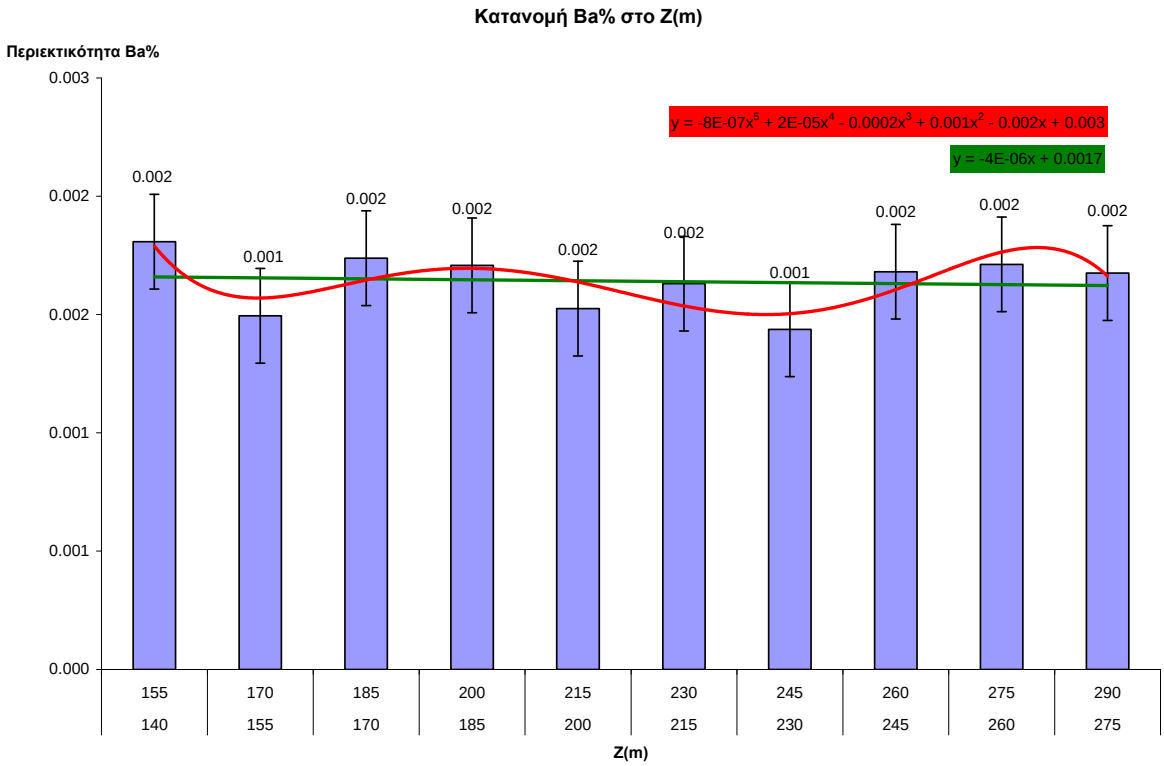
Σχήμα 8, σελ. 24: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Ba%



Η ελάχιστη τιμή του βαρίου στο κοίτασμα των Μαύρων Πετρών είναι 10ppm και η μέγιστη τιμή 80ppm. Η μέση συγκέντρωση του βαρίου στο γήινο φλοιό είναι 5,1ppm ενώ στο κοίτασμα η αντίστοιχη τιμή είναι

18,1ppm. Επομένως, το 71,97% των μετρήσεων αποτελούν γεωχημική ανωμαλία.

Οι μέσες μέγιστες περιεκτικότητες παρατηρούνται στα παρακάτω υψόμετρα: [140, 155], [170, 200] και [245,290]. Η κατανομή των τιμών περιγράφεται βέλτιστα από την παρακάτω συνάρτηση: $f(x) = -8e^{-0.07}x^5 + 2e^{-0.05}x^4 - 2x^3 + 10x^2 - 20x + 30$. Από τη σχέση $y=-4e^{-0.06}x+17$ διαπιστώνουμε την έλλειψη προφανούς εξάρτησης μεταξύ των δύο μεγεθών.



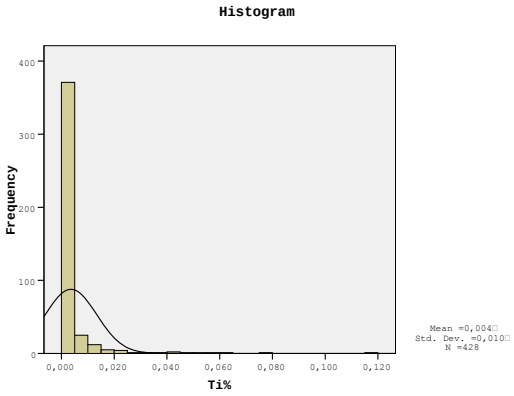
Σχήμα 30: Κατανομή του Ba% στο υψόμετρο Z(m) από χημικές αναλύσεις δειγμάτων που πάρθηκαν από το σώμα του κοιτάσματος.

Ερμηνεία αποτελεσμάτων 4ης ομάδας (Ti)

Ti (Titanium, Ti^{3+},r=0.76Å, Ti^{4+}, r=0.68Å)

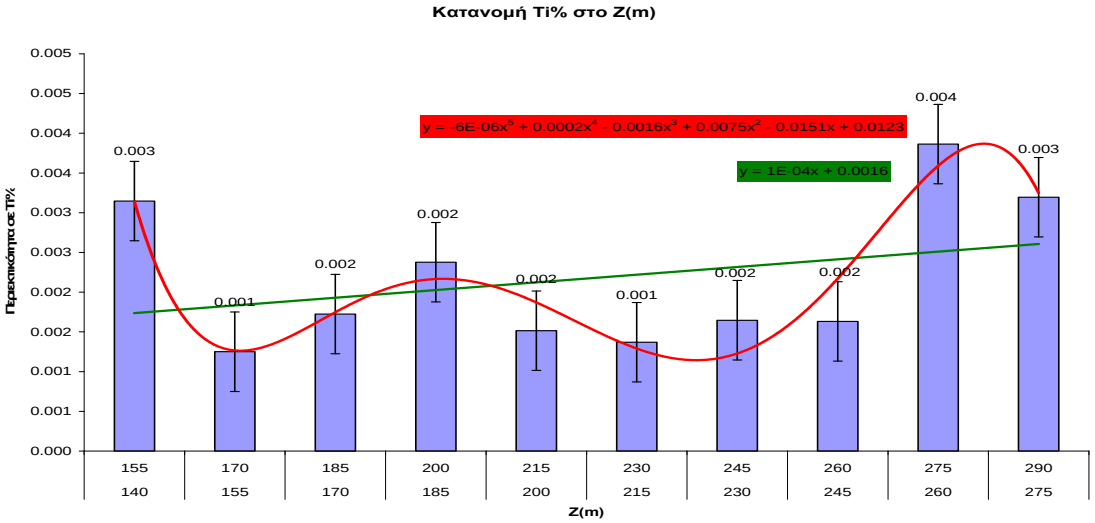
Το Τιτάνιο στα πυριγενή πετρώματα απαντάται στο ορυκτό ιλμενίτης ($FeTiO_3$). Επειδή αντικαθιστά το Al, το συναντάμε στους πυροξένους, στις αμφιβόλους (κεροστίλβη) και στο βιοτίτη $K(Mg, Fe)_3(OH)_2(AlSi_3O_{10})(Mg/Fe<2:1)$.

Επίσης, το τιτάνιο είναι δυνατό να παγιδεύεται στα κρυσταλλικά πλέγματα των παραπάνω ορυκτών λόγω του υψηλότερου ηλεκτρικού φορτίου. Στο μοσχοβίτη δεν εμφανίζεται, καθώς σε πολύ όξινα μάγματα απομακρύνεται σαν τιτανίτης ($CaTiOSiO_4$).



Σχήμα 9, σελ. 25: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Ti%

Η ελάχιστη τιμή του τιτανίου στο κοίτασμα των Μαύρων Πετρών είναι 0,001ppm και η μέγιστη 0,120ppm. Η μέση συγκέντρωση του τιτανίου στο γήινο φλοιό είναι 1030ppm ενώ στο κοίτασμα η αντίστοιχη τιμή είναι 36,1ppm. Επομένως δεν παρατηρούνται γεωχημικές ανωμαλίες.



Σχήμα 30: Κατανομή του Ti% στο υψόμετρο Z(m) από χημικές αναλύσεις δειγμάτων που πάρθηκαν από το σώμα του κοιτάσματος.

Οι μέσες μέγιστες περιεκτικότητες παρατηρούνται στα υψόμετρα:

[140,155] και [260,290]. Η κατανομή των τιμών περιγράφεται βέλτιστα από την παρακάτω συνάρτηση:

$$f(x)=-6e^{-0.06}x^5+2\ 10^{-4}x^4 - 16\ 10^{-4}x^3 + 75\ 10^{-4}x^2-151\ 10^{-4}x+123\ 10^{-4}.$$

Ενώ από τη σχέση

$$f(x)= e^{-0.04}x+0.0016$$

συμπεραίνουμε ότι τα μεγέθη Ti% και Z(m) είναι ανάλογα.

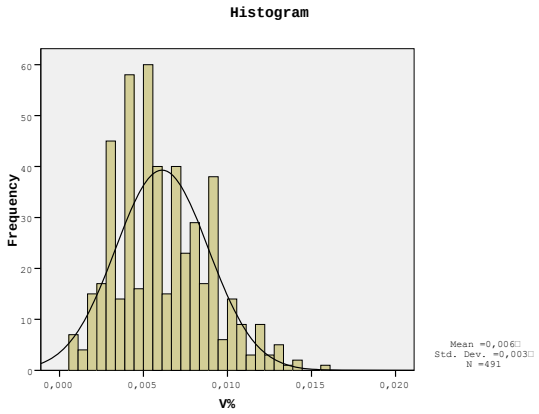
22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Ερμηνεία αποτελεσμάτων 5ης ομάδας (V)

V(Vanadium, V^{3+}, r=0.63Å και V^{5+}, r=0.59Å

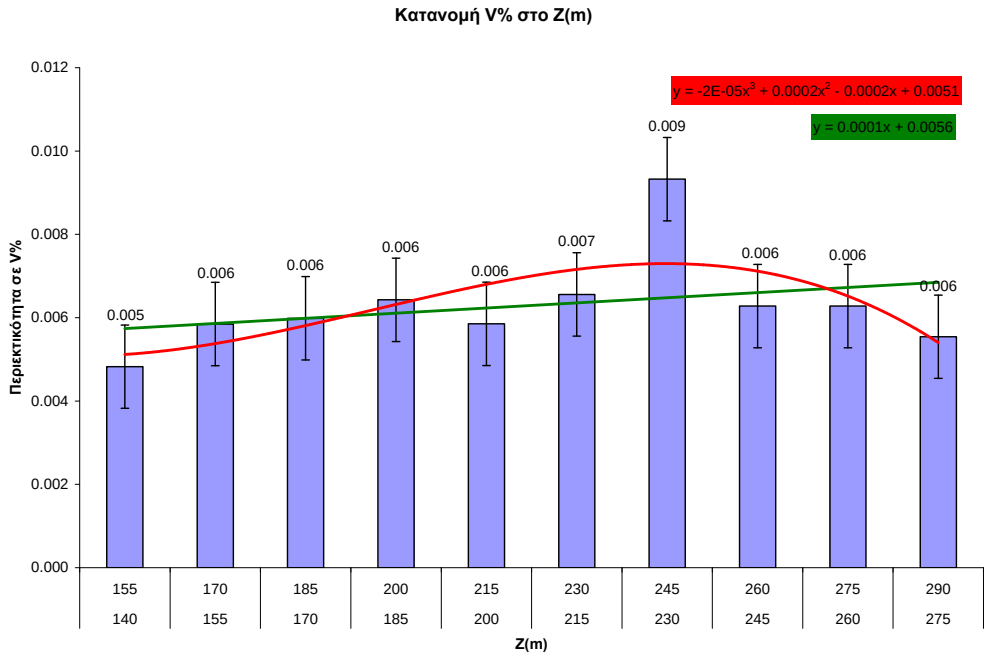
Συγκεντρώνεται από το μάγμα στο κρυσταλλικό πλέγμα του μαγνητίτη, διότι έχει παρόμοια ακτίνα ιόντος με τον τρισθενή σίδηρο. Επειδή έχει μικρότερη ηλεκτραρνητικότητα, το συναντάμε σε μαγνητίτες που σχηματίσθηκαν πρώιμα. Το βανάδιο το βρίσκουμε και σε πυροξένους, αμφιβόλους, βιοτίτες και σε αξιόλογες ποσότητες στο κρυσταλλικό πλέγμα του αιγιρίνη.

Σχήμα 9, σελ. 25: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Ti%



Η ελάχιστη τιμή του βαναδίου στο κοίτασμα των μαύρων Πετρών είναι 0,001ppm ενώ η μέγιστη είναι 160ppm. Η μέση περιεκτικότητα του βαναδίου στο γήινο φλοιό είναι 103ppm, ενώ η αντίστοιχη τιμή στο κοίτασμα είναι 610ppm. Επομένως, το 4,5% των τιμών αποτελούν γεωχημική ανωμαλία.

Σχήμα 31: Κατανομή του V% στο υψόμετρο Z(m) από χημικές αναλύσεις δειγμάτων που πάρθηκαν από το σώμα του κοιτάσματος.

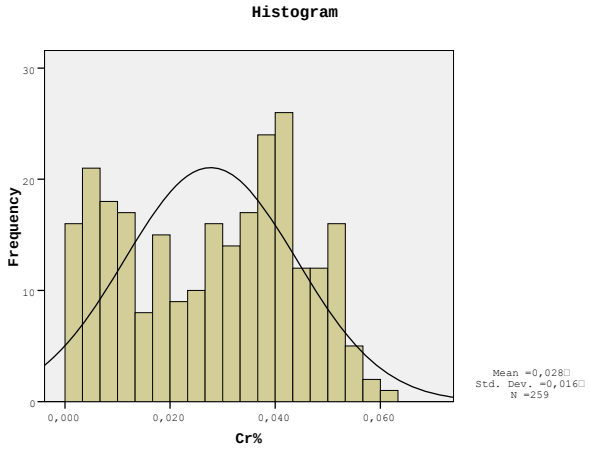


Ερμηνεία αποτελεσμάτων 6ης ομάδας (Cr)

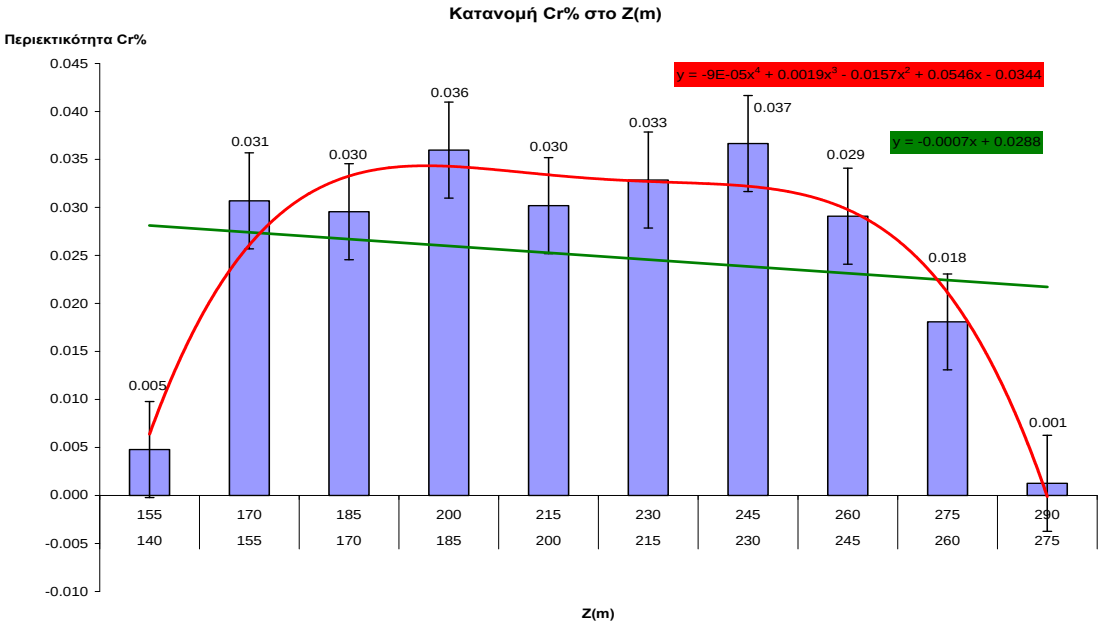
Cr(Chromium, Cr^{3+}, r=0.63Å και Cr^{6+}, r=0.52Å

Το χρώμιο βρίσκεται στο μάγμα ως τρισθενές. Η ακτίνα του ιόντος του χρωμίου είναι σχεδόν η ίδια με εκείνη του τρισθενούς σιδήρου, αλλά παρουσιάζει μεγαλύτερη συγκέντρωση και απομακρύνεται από το μάγμα στα πρώτα στάδια της κλασματικής κρυστάλλωσης ως χρωμίτης. Η ερμηνεία αποδίδεται στη μικρότερη ηλεκτραρνητικότητα του χρωμίου σε σύγκριση με τον τρισθενή σίδηρο. Το χρώμιο απαντά στους πυροξένους και περισσότερο σε εκείνους που βρίσκονται στα υπερβασικά πετρώματα.

Σχήμα 9, σελ. 25: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Ti%

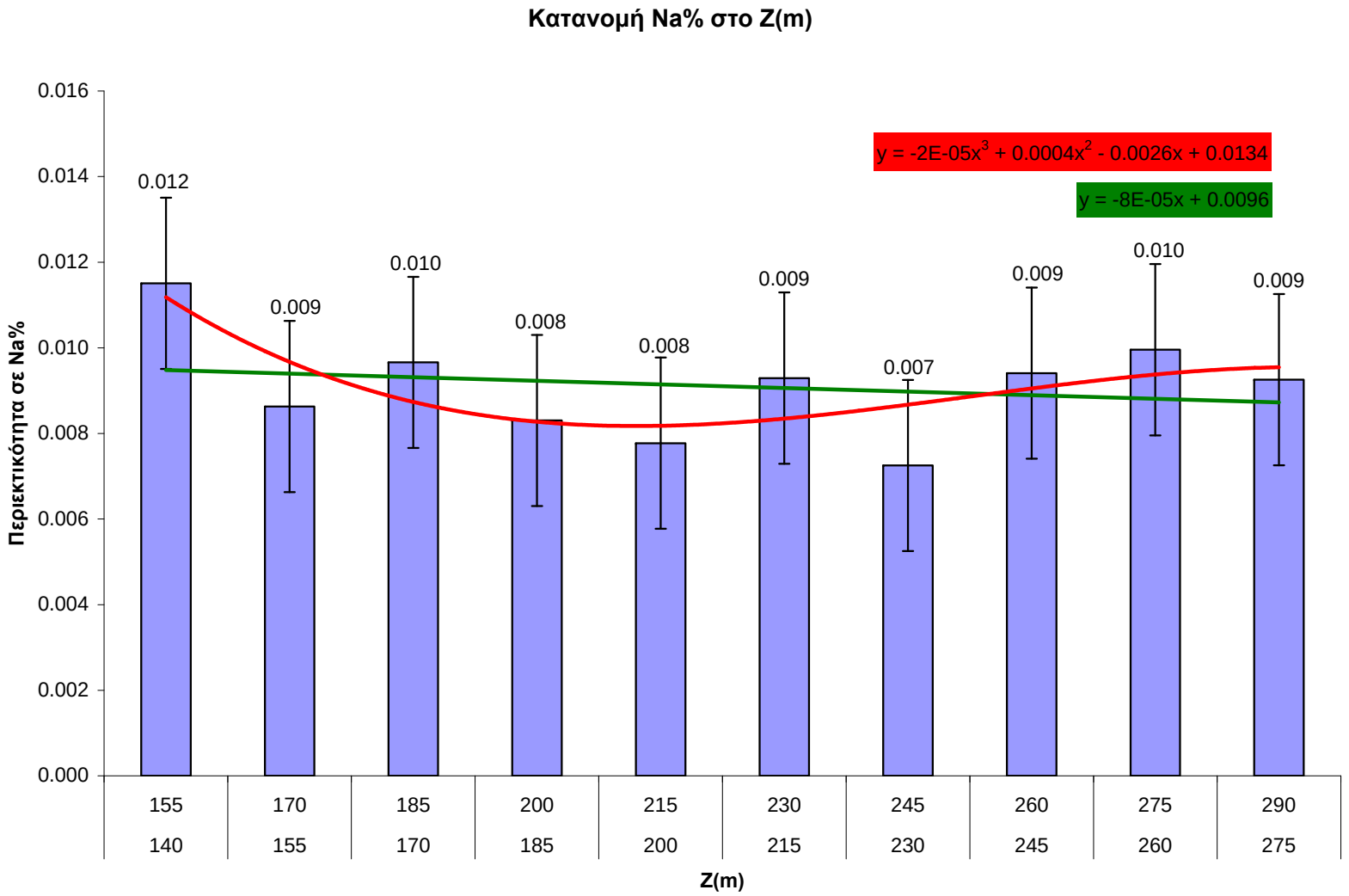


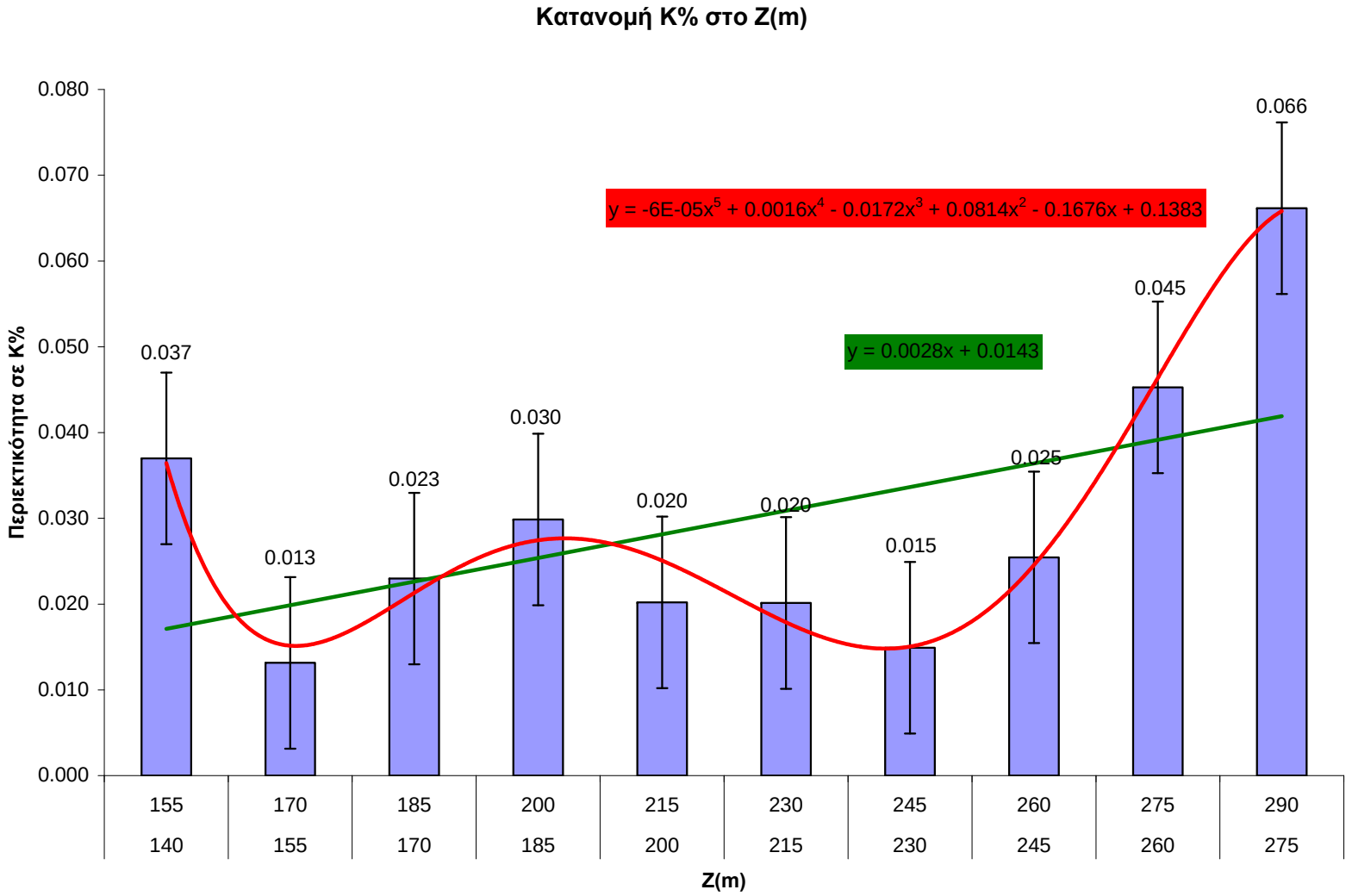
Η ελάχιστη τιμή του χρωμίου στο κοίτασμα των Μαύρων Πετρών είναι 10ppm ενώ η μέγιστη τιμή είναι 610ppm. Η μέση περιεκτικότητα του χρωμίου στο γήινο φλοιό είναι 4780ppm ενώ η αντίστοιχη τιμή στο κοίτασμα είναι 277,1ppm. Επομένως, καμιά μέτρηση δεν αποτελεί γεωχημική ανωμαλία.

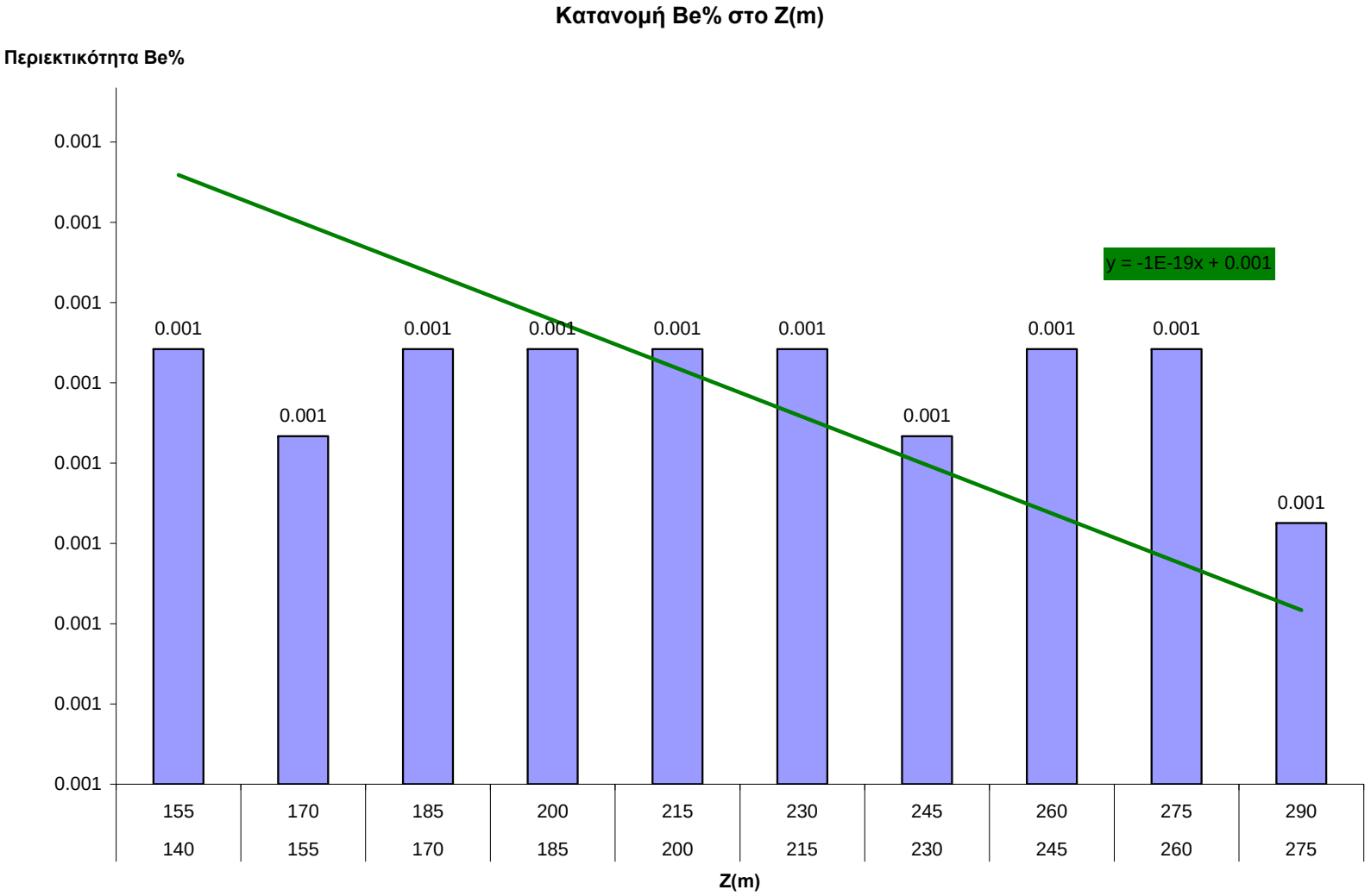


Σχήμα 32: Κατανομή του Cr% στο υψόμετρο Z(m) από χημικές αναλύσεις δειγμάτων που πάρθηκαν από το σώμα του κοιτάσματος.

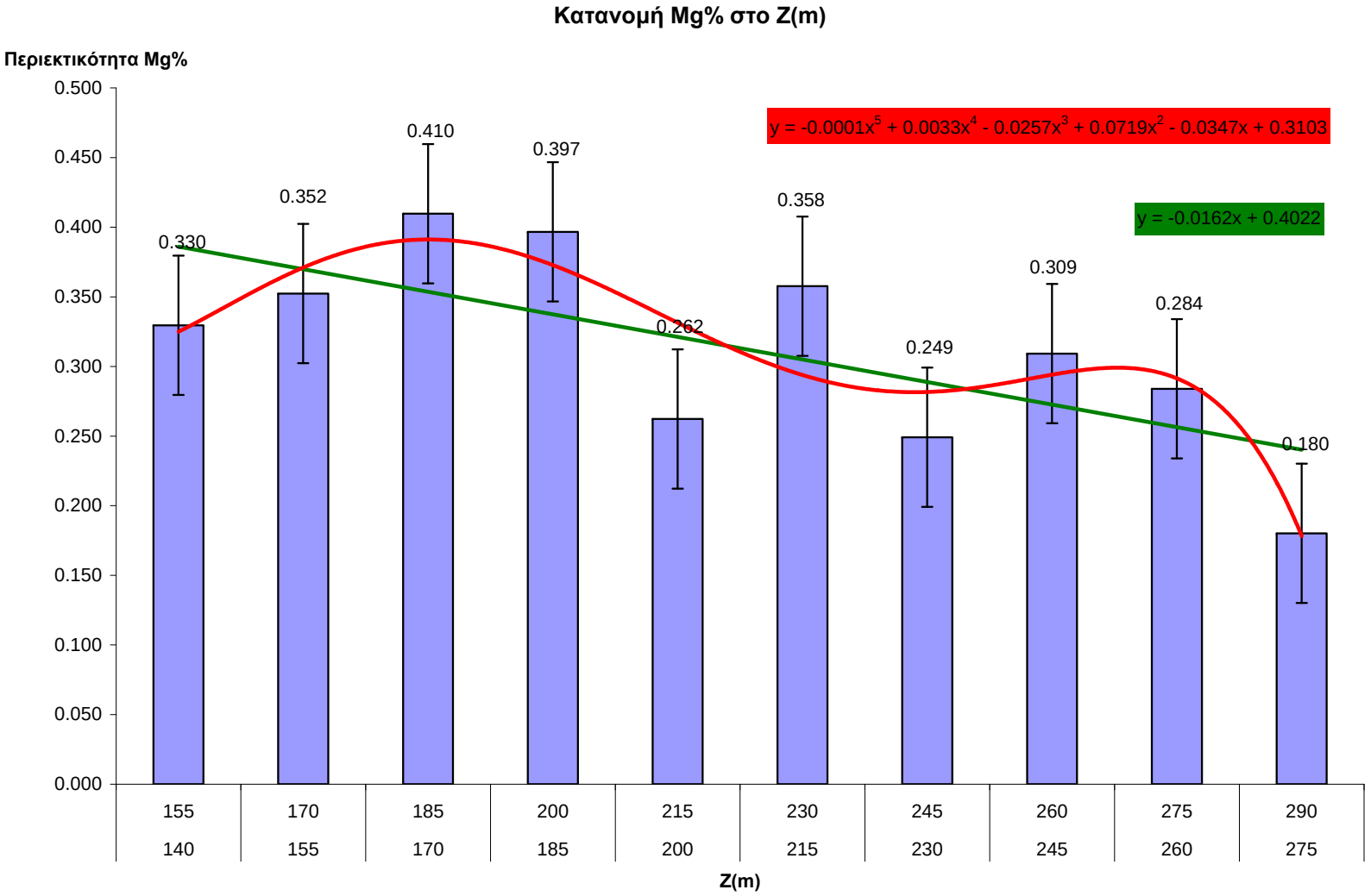
22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

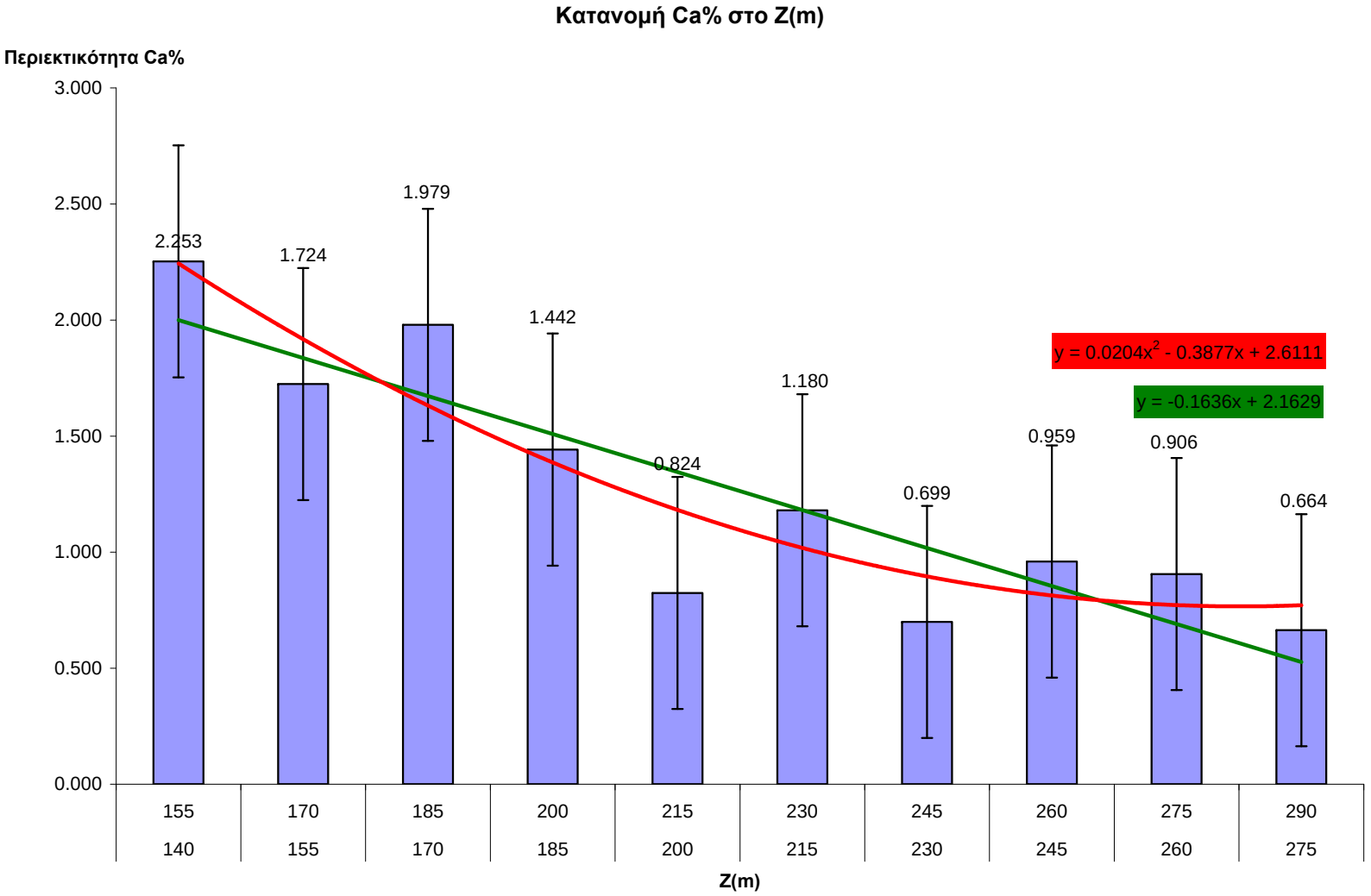

Κατανομή Na% στο Z(m)
y = -2E-05x3 + 0.0004x2 - 0.0026x + 0.0134
y = -8E-05x + 0.0096
Περιεκτικότητα σε Na%
0.016
0.014
0.012
0.010
0.008
0.006
0.004
0.002
0.000
0.012
0.009
0.010
0.008
0.008
0.009
0.007
0.009
0.010
0.009
155
140
170
155
185
170
200
185
215
200
230
215
245
230
260
245
275
260
290
275
Z(m)

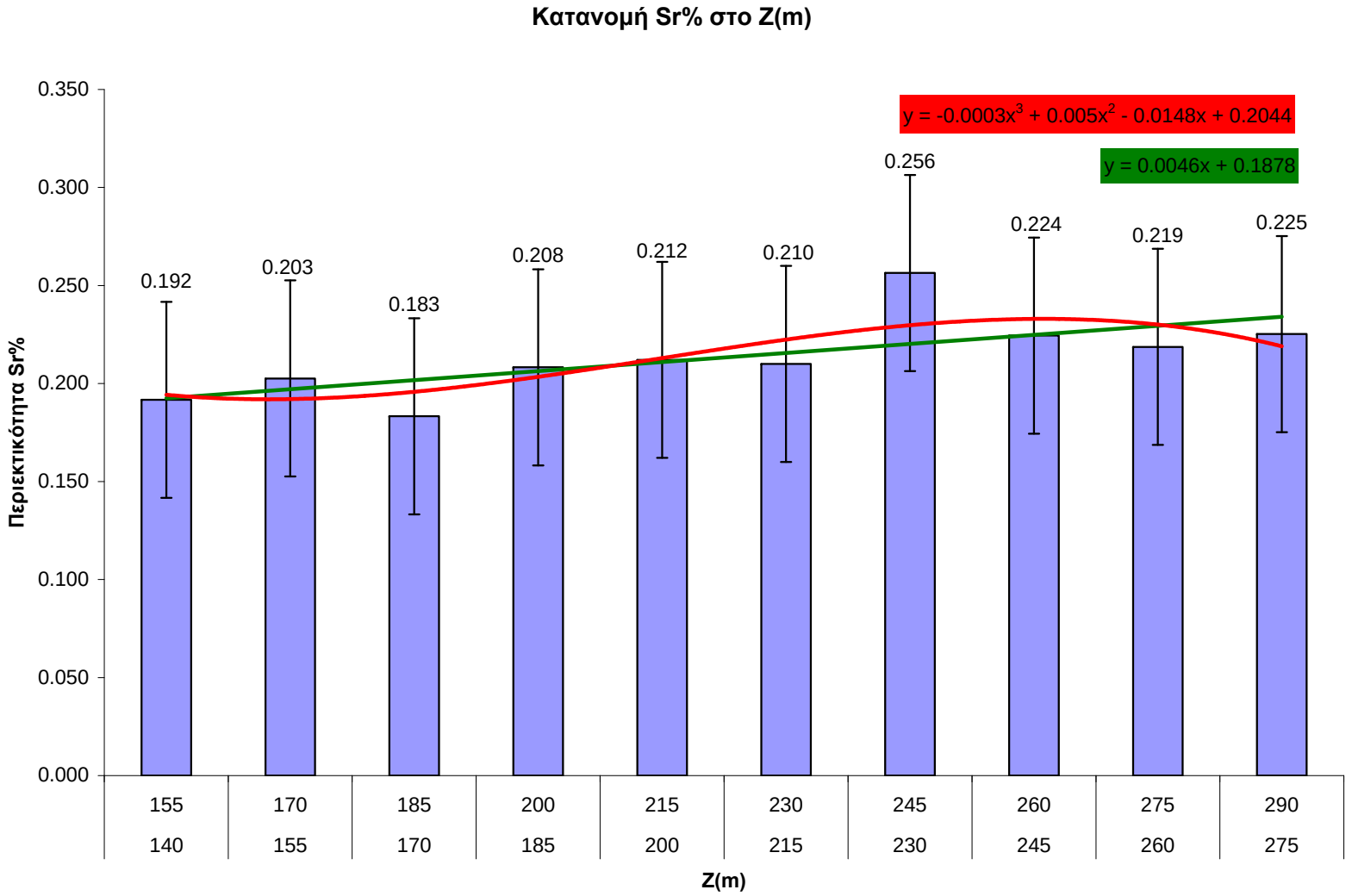

Κατανομή K% στο Z(m)
y = -6E-05x5 + 0.0016x4 - 0.0172x3 + 0.0814x2 - 0.1676x + 0.1383
y = 0.0028x + 0.0143
Περιεκτικότητα σε K%
0.080
0.070
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
0.037
0.013
0.023
0.030
0.020
0.020
0.015
0.025
0.045
0.066
155
140
170
155
185
170
200
185
215
200
230
215
245
230
260
245
275
260
290
275
Z(m)

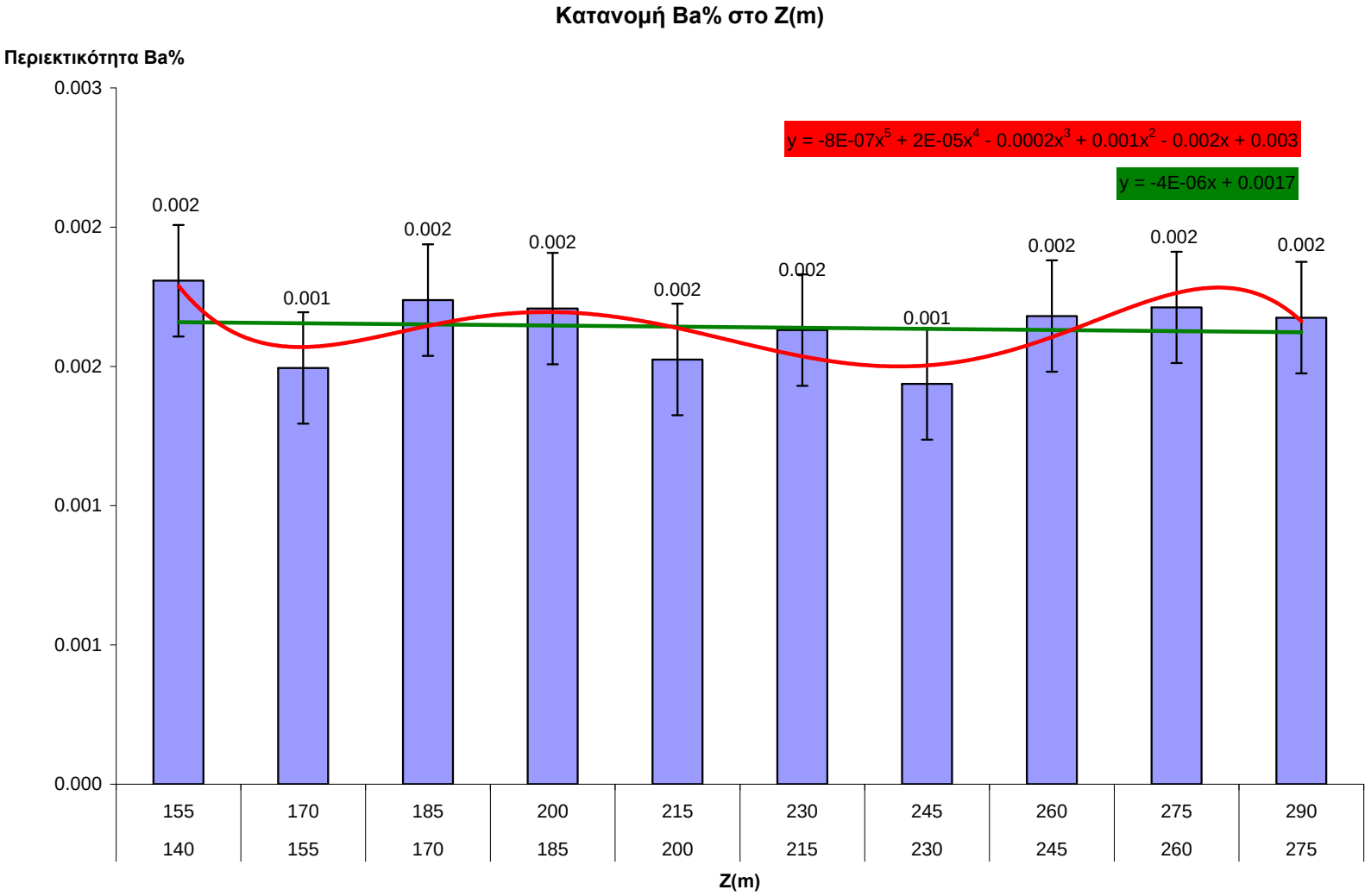


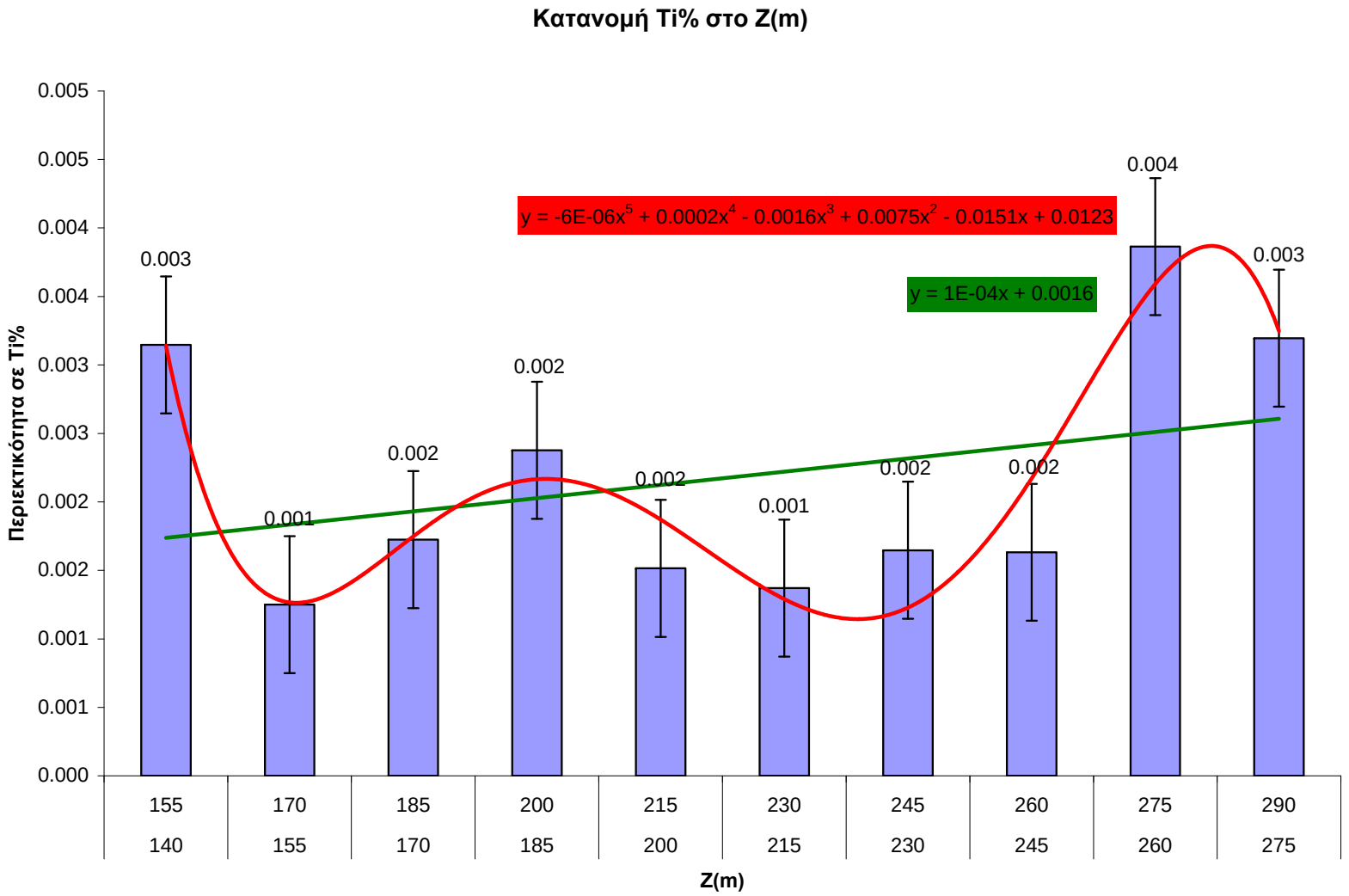
22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

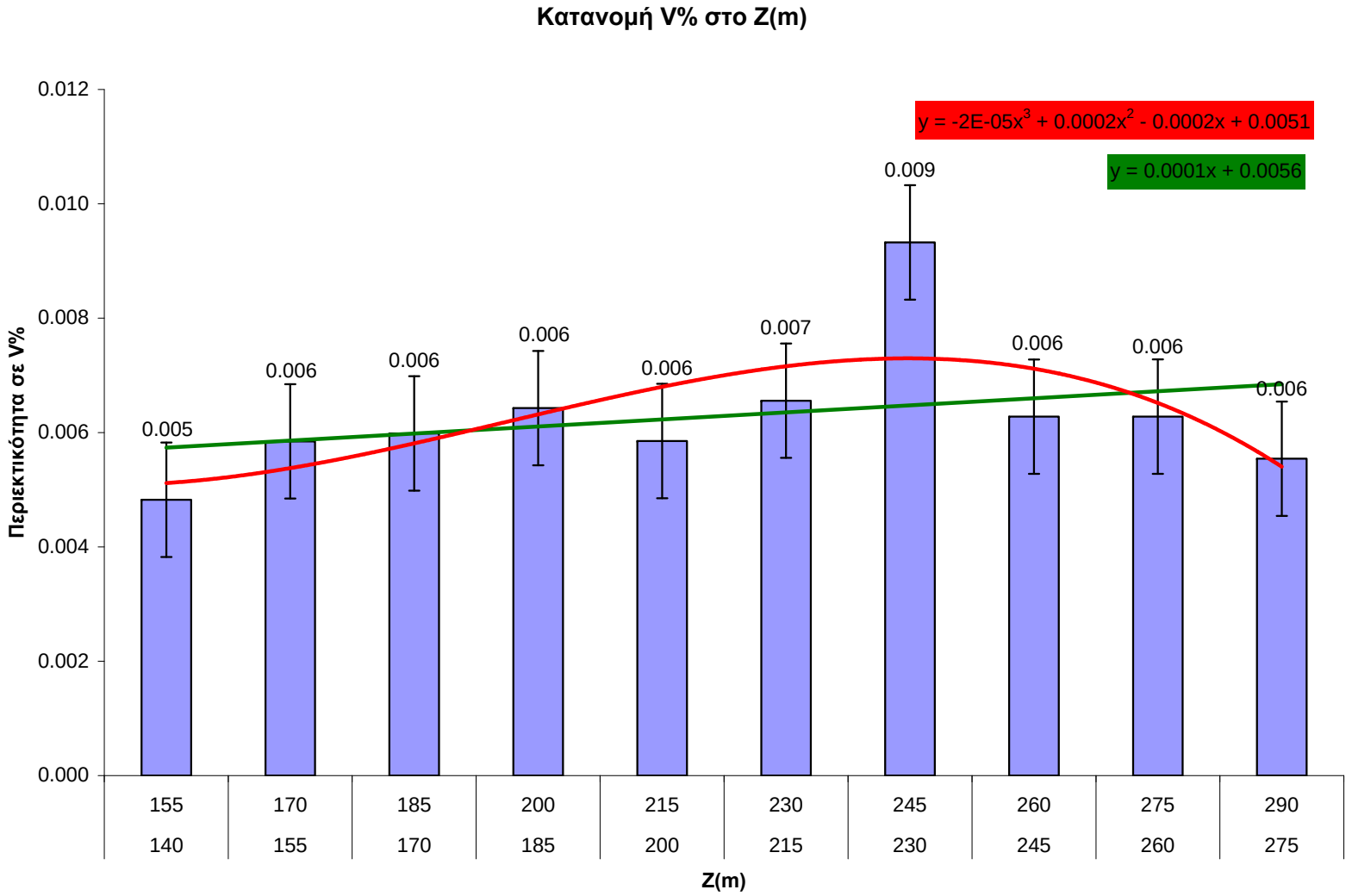

Κατανομή Mg% στο Z(m)
Περιεκτικότητα Mg%
0.500
0.450
0.400
0.350
0.300
0.250
0.200
0.150
0.100
0.050
0.000
y = -0.0001x5 + 0.0033x4 - 0.0257x3 + 0.0719x2 - 0.0347x + 0.3103
y = -0.0162x + 0.4022
0.330
0.352
0.410
0.397
0.262
0.358
0.249
0.309
0.284
0.180
155 140
170 155
185 170
200 185
215 200
230 215
245 230
260 245
275 260
290 275
Z(m)

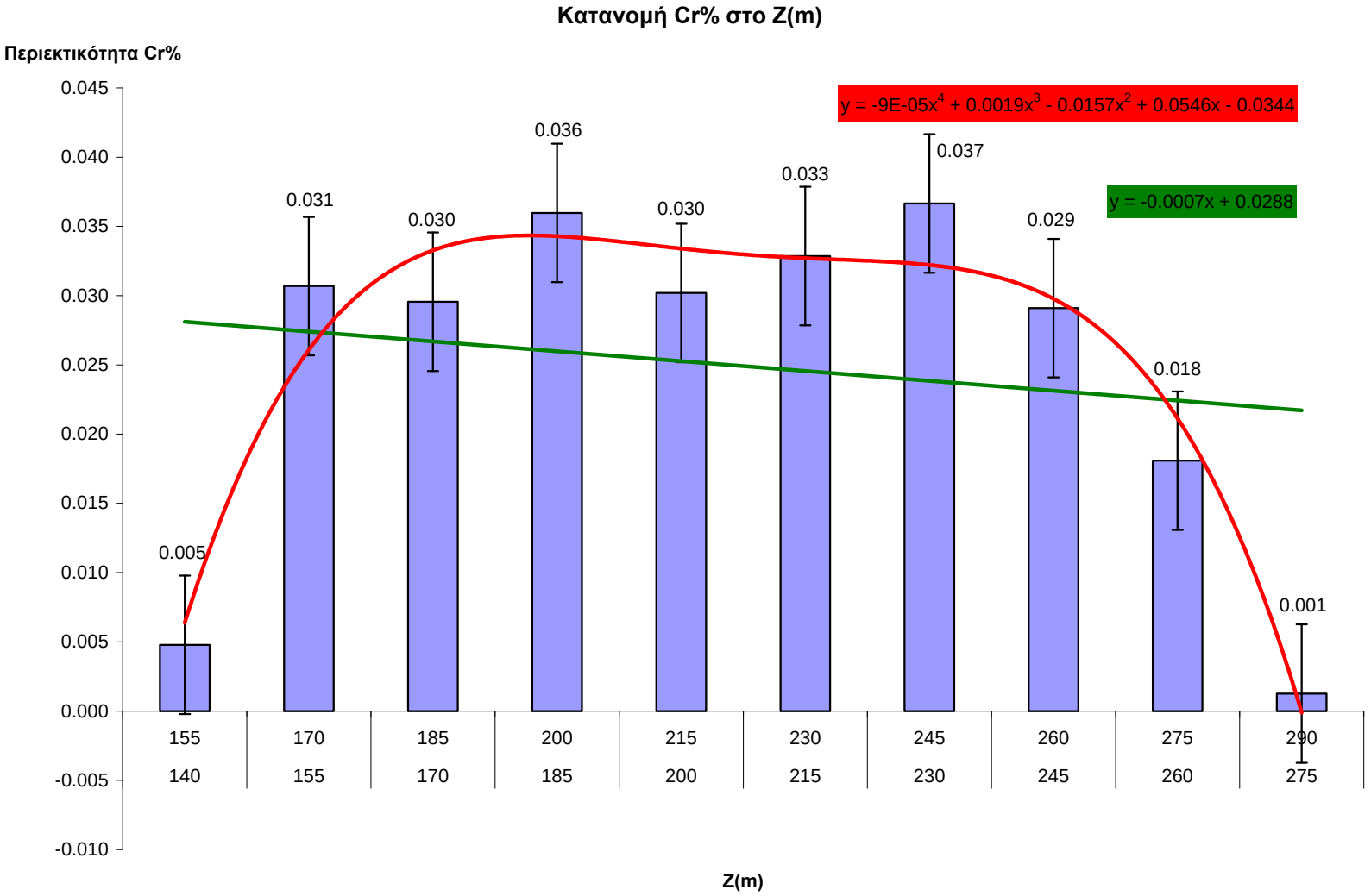

Κατανομή Ca% στο Z(m)
Περιεκτικότητα Ca%
3.000
2.500
2.000
1.500
1.000
0.500
0.000
2.253
1.724
1.979
1.442
0.824
1.180
0.699
0.959
0.906
0.664
y = 0.0204x2 - 0.3877x + 2.6111
y = -0.1636x + 2.1629
155
140
170
155
185
170
200
185
215
200
230
215
245
230
260
245
275
260
290
275
Z(m)

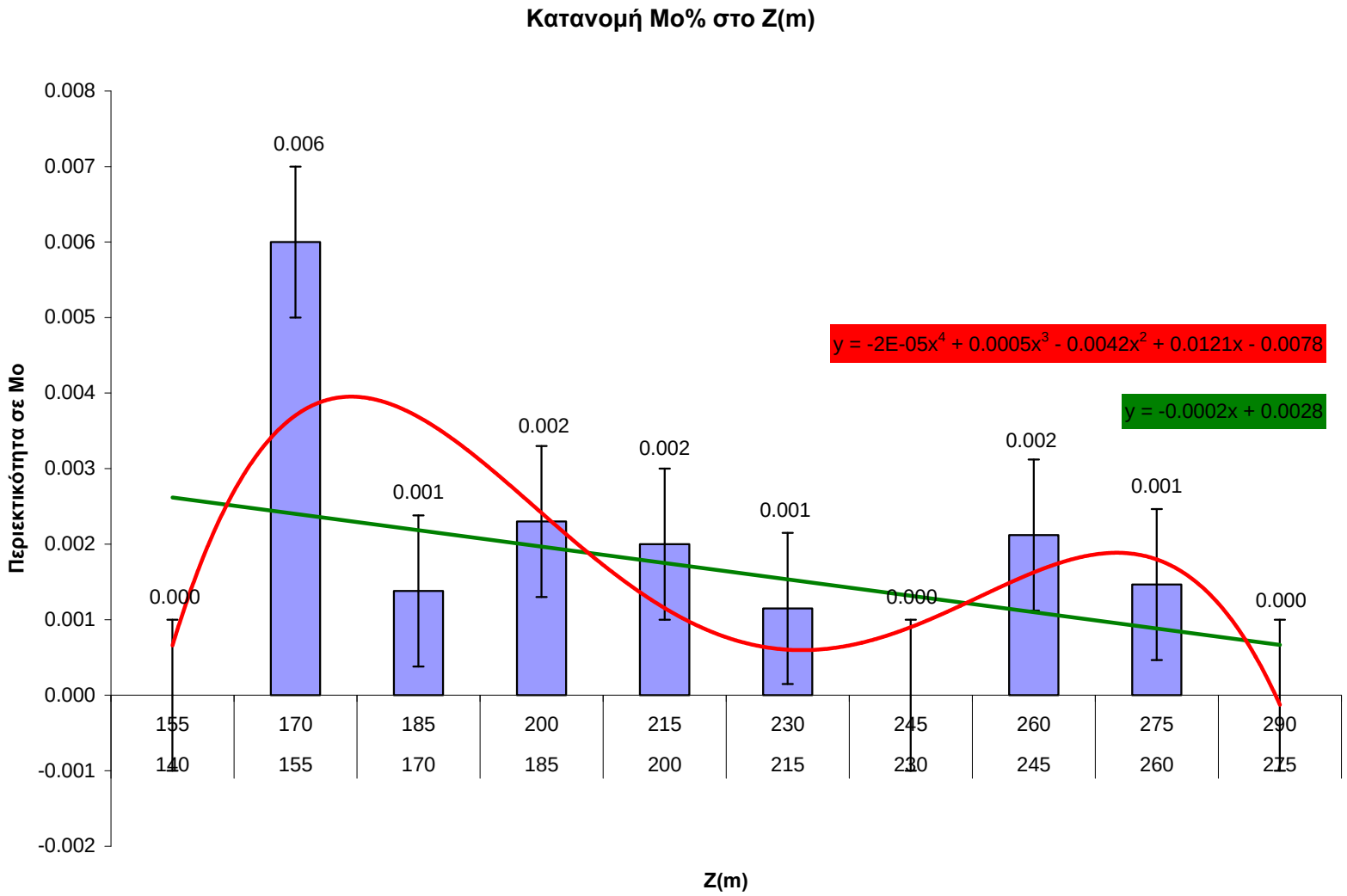

Κατανομή Sr% στο Z(m)
y = -0.0003x3 + 0.005x2 - 0.0148x + 0.2044
y = 0.0046x + 0.1878
Περιεκτικότητα Sr%
0.350
0.300
0.250
0.200
0.150
0.100
0.050
0.000
0.192
0.203
0.183
0.208
0.212
0.210
0.256
0.224
0.219
0.225
155
140
170
155
185
170
200
185
215
200
230
215
245
230
260
245
275
260
290
275
Z(m)

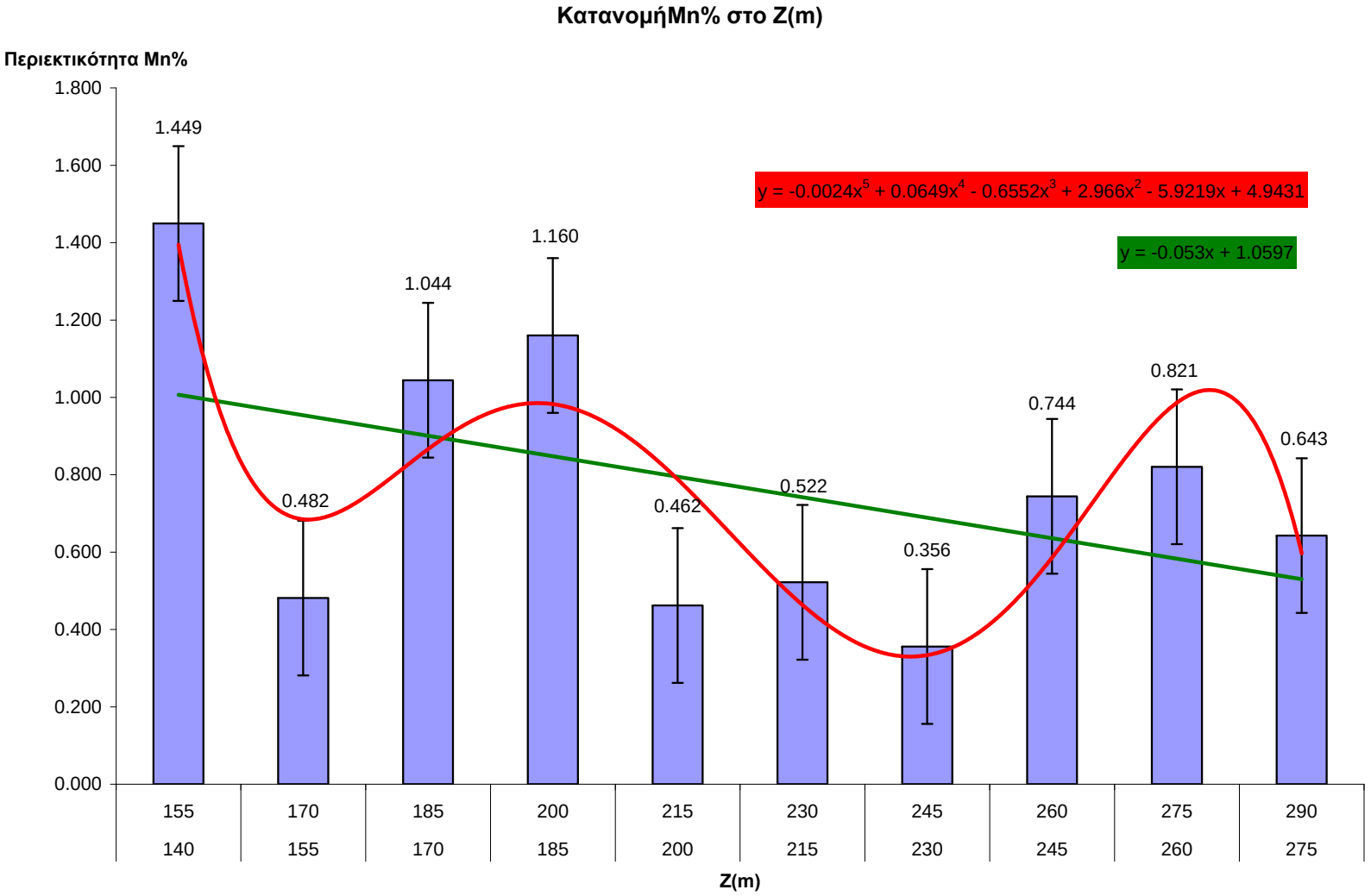

Κατανομή Ba% στο Z(m)
Περιεκτικότητα Ba%
0.003
0.002
0.002
0.001
0.001
0.000
y = -8E-07x5 + 2E-05x4 - 0.0002x3 + 0.001x2 - 0.002x + 0.003
y = -4E-06x + 0.0017
0.002
0.001
0.002
0.002
0.002
0.002
0.001
0.002
0.002
0.002
155
140
170
155
185
170
200
185
215
200
230
215
245
230
260
245
275
260
290
275
Z(m)

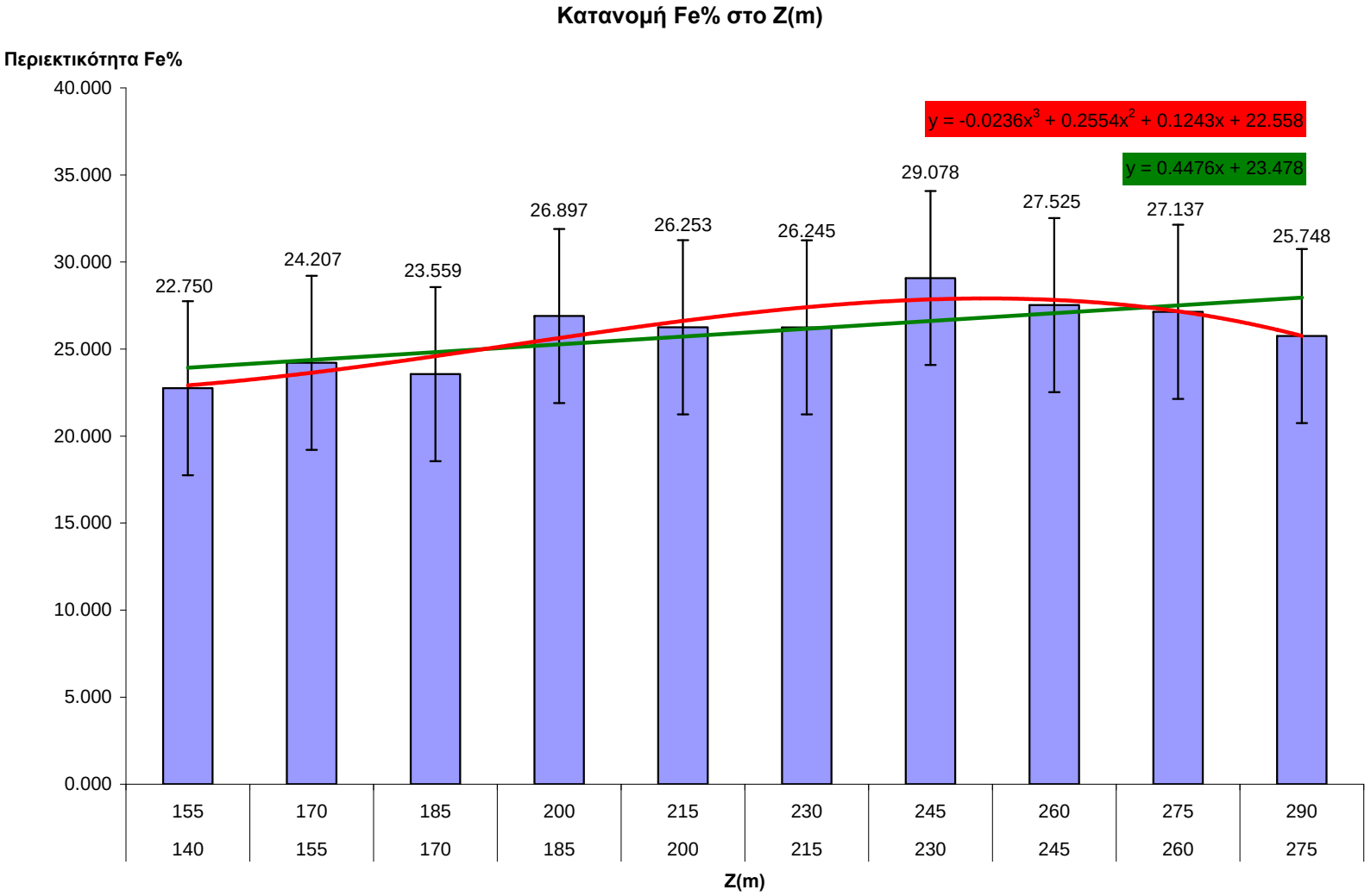

Κατανομή Ti% στο Z(m)
y = -6E-06x^5 + 0.0002x^4 - 0.0016x^3 + 0.0075x^2 - 0.0151x + 0.0123
y = 1E-04x + 0.0016
Περιεκτικότητα σε Ti%
0.005
0.005
0.004
0.004
0.003
0.003
0.002
0.002
0.001
0.001
0.000
0.003
0.001
0.002
0.002
0.002
0.001
0.002
0.002
0.004
0.003
155
140
170
155
185
170
200
185
215
200
230
215
245
230
260
245
275
260
290
275
Z(m)

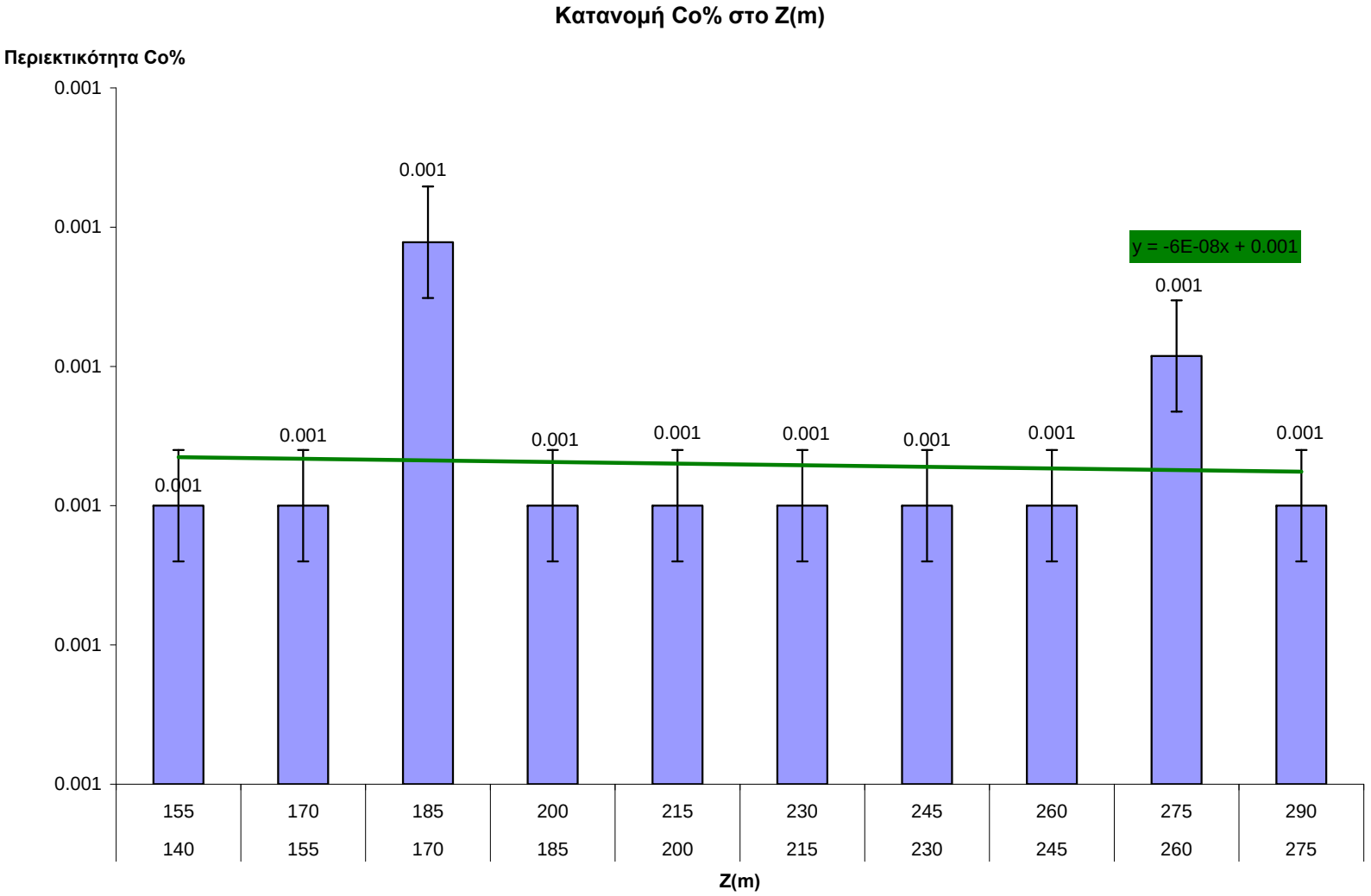

Κατανομή V% στο Z(m)
y = -2E-05x3 + 0.0002x2 - 0.0002x + 0.0051
y = 0.0001x + 0.0056
Περιεκτικότητα σε V%
0.012
0.010
0.008
0.006
0.004
0.002
0.000
0.005
0.006
0.006
0.006
0.006
0.007
0.009
0.006
0.006
0.006
155
140
170
155
185
170
200
185
215
200
230
215
245
230
260
245
275
260
290
275
Z(m)

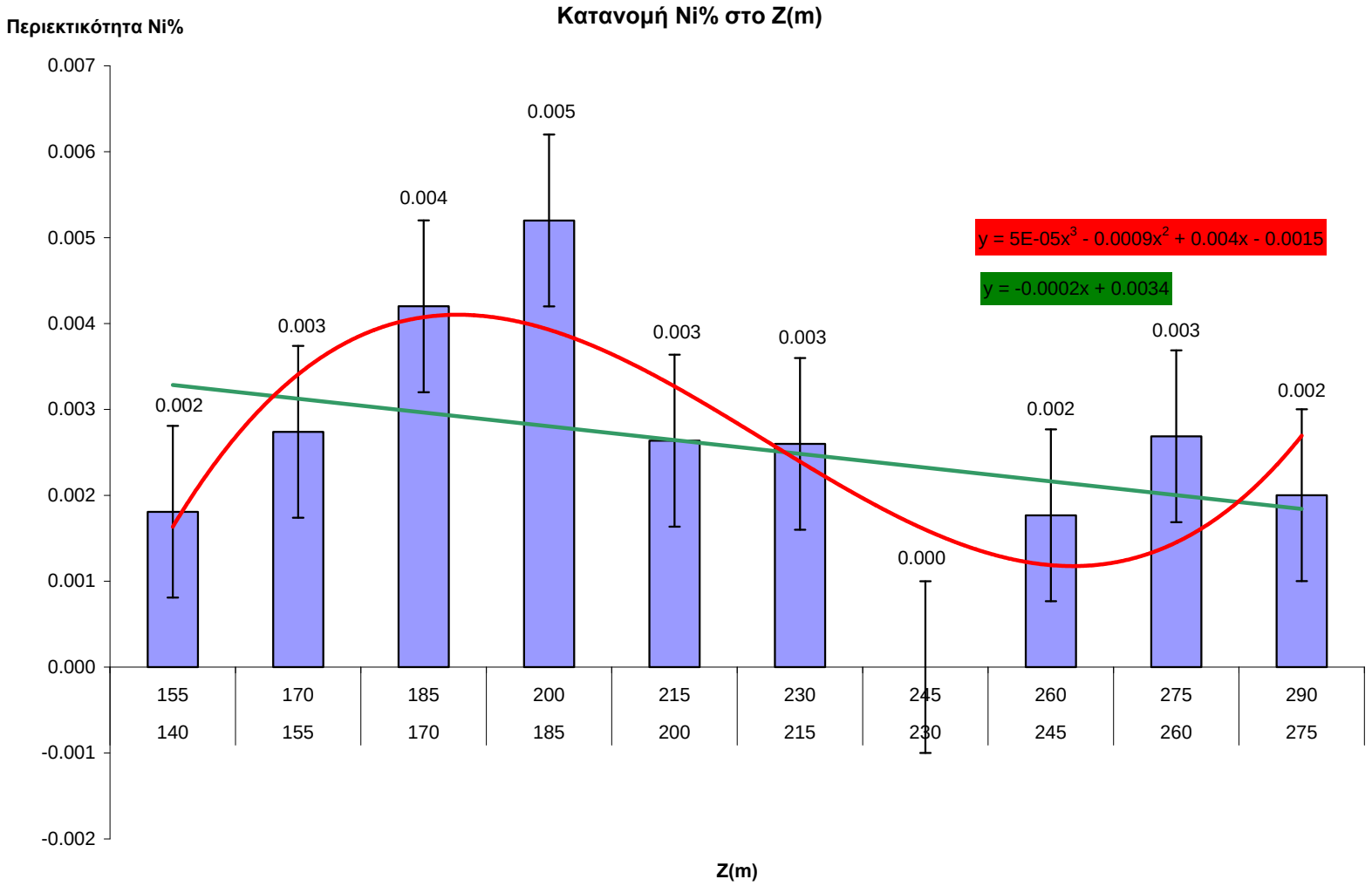

Κατανομή Cr% στο Z(m)
Περιεκτικότητα Cr%
y = -9E-05x4 + 0.0019x3 - 0.0157x2 + 0.0546x - 0.0344
y = -0.0007x + 0.0288
0.045
0.040
0.035
0.030
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
-0.005
-0.010
0.005
0.031
0.030
0.036
0.030
0.033
0.037
0.029
0.018
0.001
155 140
170 155
185 170
200 185
215 200
230 215
245 230
260 245
275 260
290 275
Z(m)

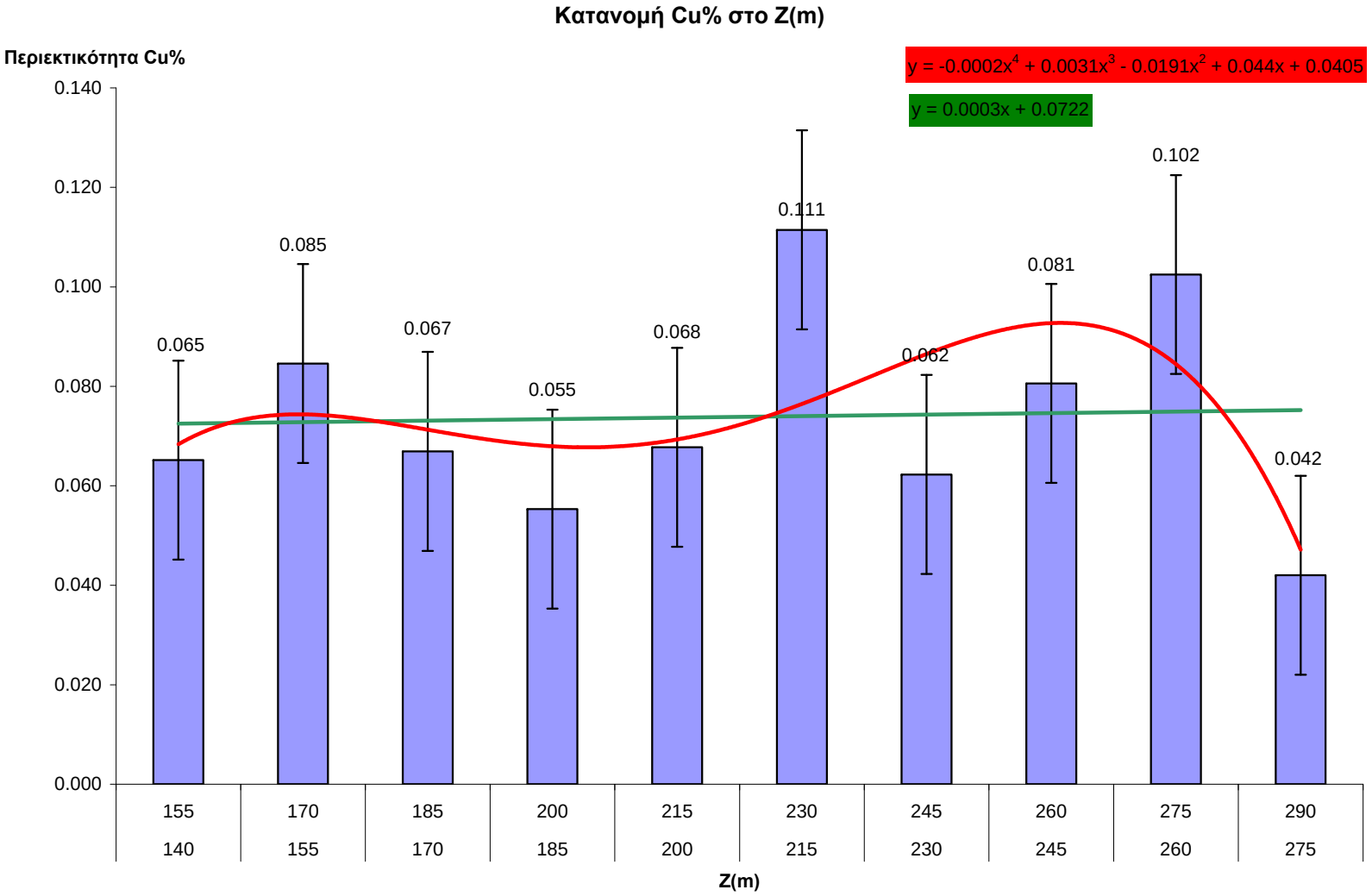

Κατανομή Mo% στο Z(m)
Περιεκτικότητα σε Mo
Z(m)
y = -2E-05x^4 + 0.0005x^3 - 0.0042x^2 + 0.0121x - 0.0078
y = -0.0002x + 0.0028
0.008
0.007
0.006
0.005
0.004
0.003
0.002
0.001
0.000
-0.001
-0.002
0.000
0.006
0.001
0.002
0.002
0.001
0.000
0.002
0.001
0.000
155
140
170
155
185
170
200
185
215
200
230
215
245
230
260
245
275
260
290
275

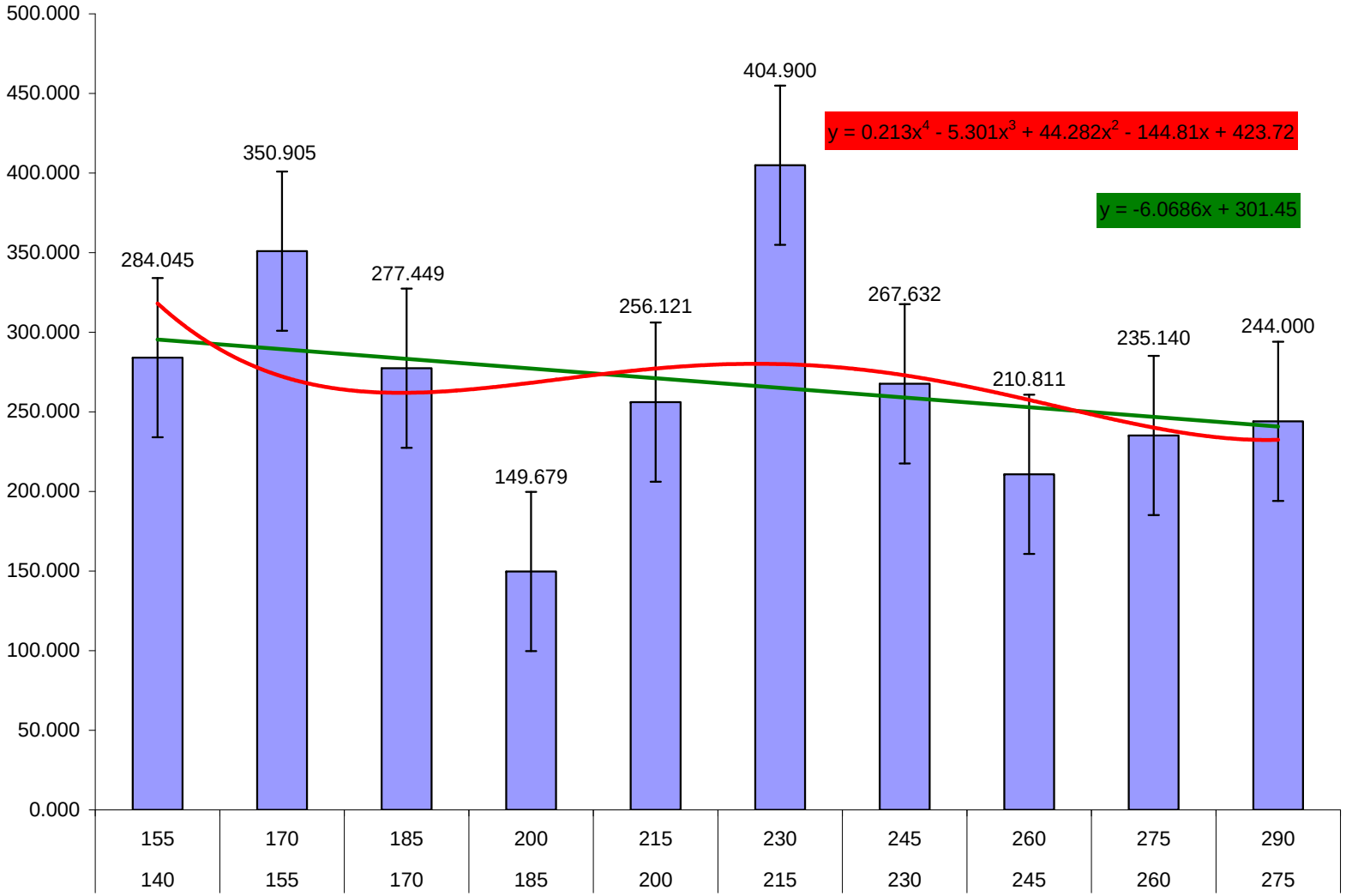

ΚατανομήMn% στο Z(m)
Περιεκτικότητα Mn%
y = -0.0024x5 + 0.0649x4 - 0.6552x3 + 2.966x2 - 5.9219x + 4.9431
y = -0.053x + 1.0597
1.800
1.600
1.400
1.200
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
1.449
0.482
1.044
1.160
0.462
0.522
0.356
0.744
0.821
0.643
155
170
185
200
215
230
245
260
275
290
140
155
170
185
200
215
230
245
260
275
Z(m)

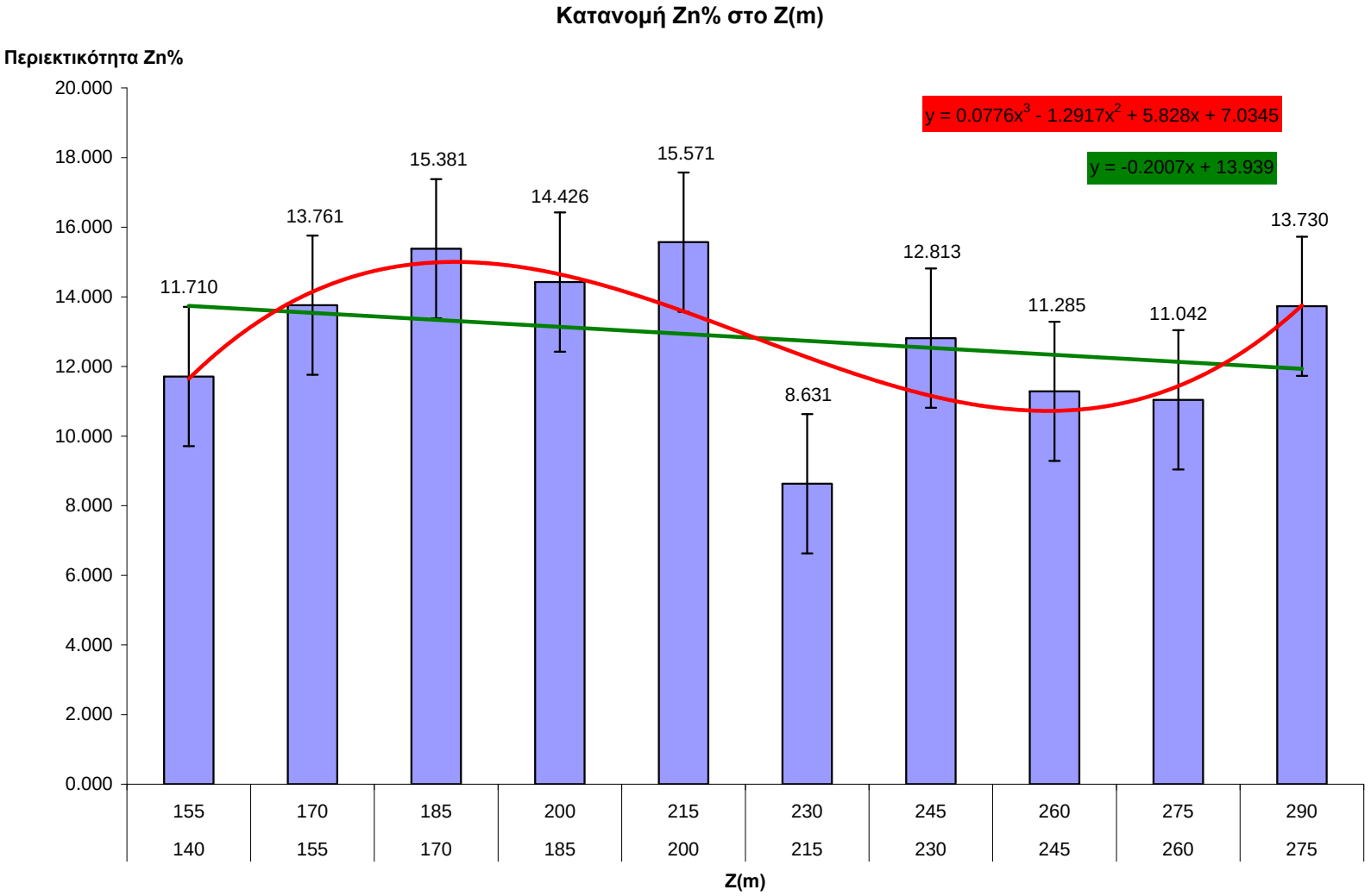

Κατανομή Fe% στο Z(m)
Περιεκτικότητα Fe%
40.000
35.000
30.000
25.000
20.000
15.000
10.000
5.000
0.000
y = -0.0236x3 + 0.2554x2 + 0.1243x + 22.558
y = 0.4476x + 23.478
22.750
24.207
23.559
26.897
26.253
26.245
29.078
27.525
27.137
25.748
155
140
170
155
185
170
200
185
215
200
230
215
245
230
260
245
275
260
290
275
Z(m)

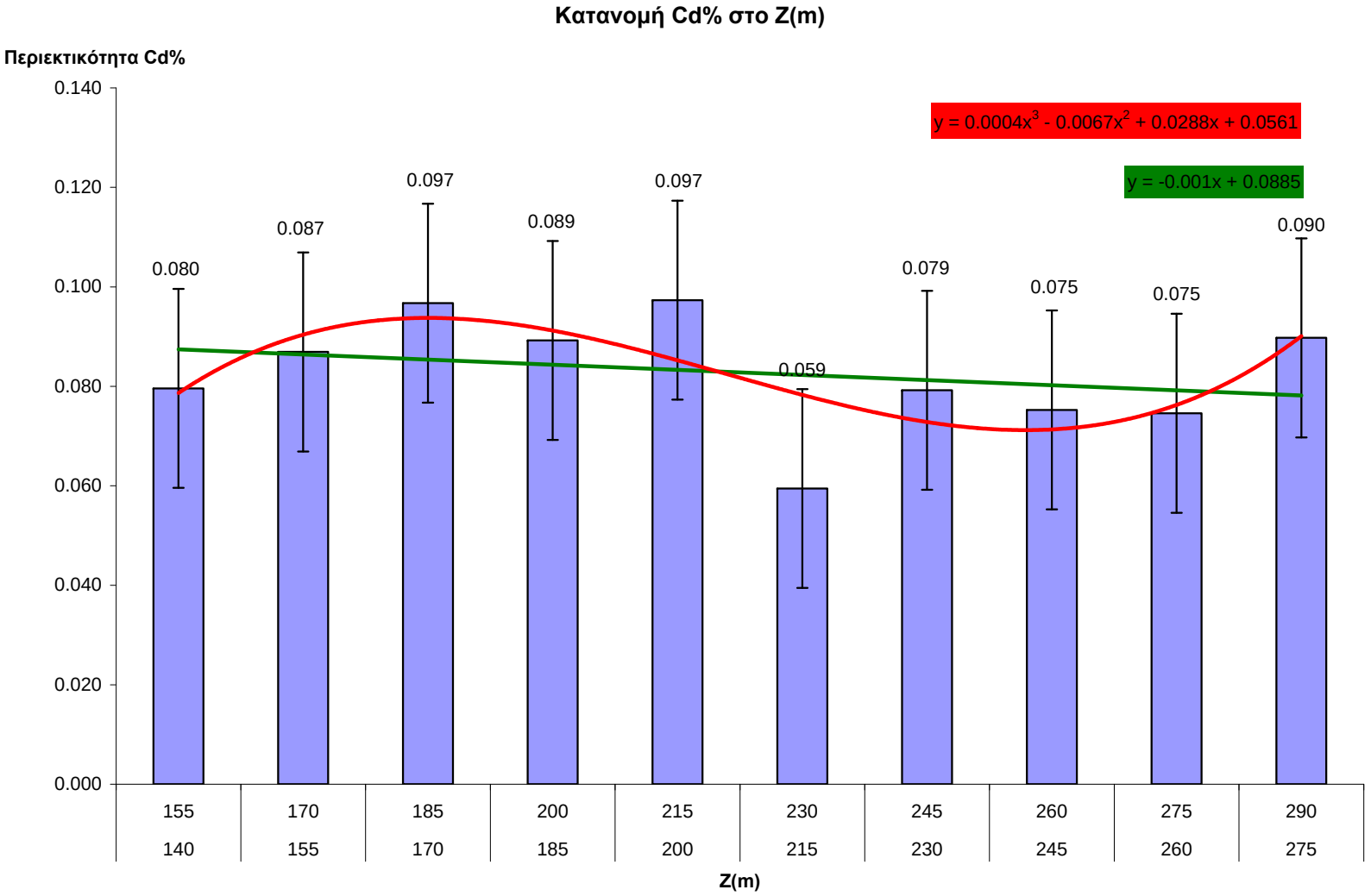

Κατανομή Co% στο Z(m)
Περιεκτικότητα Co%
0.001
0.001
0.001
0.001
0.001
y = -6E-08x + 0.001
0.001
0.001
0.001
0.001
0.001
0.001
0.001
0.001
0.001
0.001
155
140
170
155
185
170
200
185
215
200
230
215
245
230
260
245
275
260
290
275
Z(m)

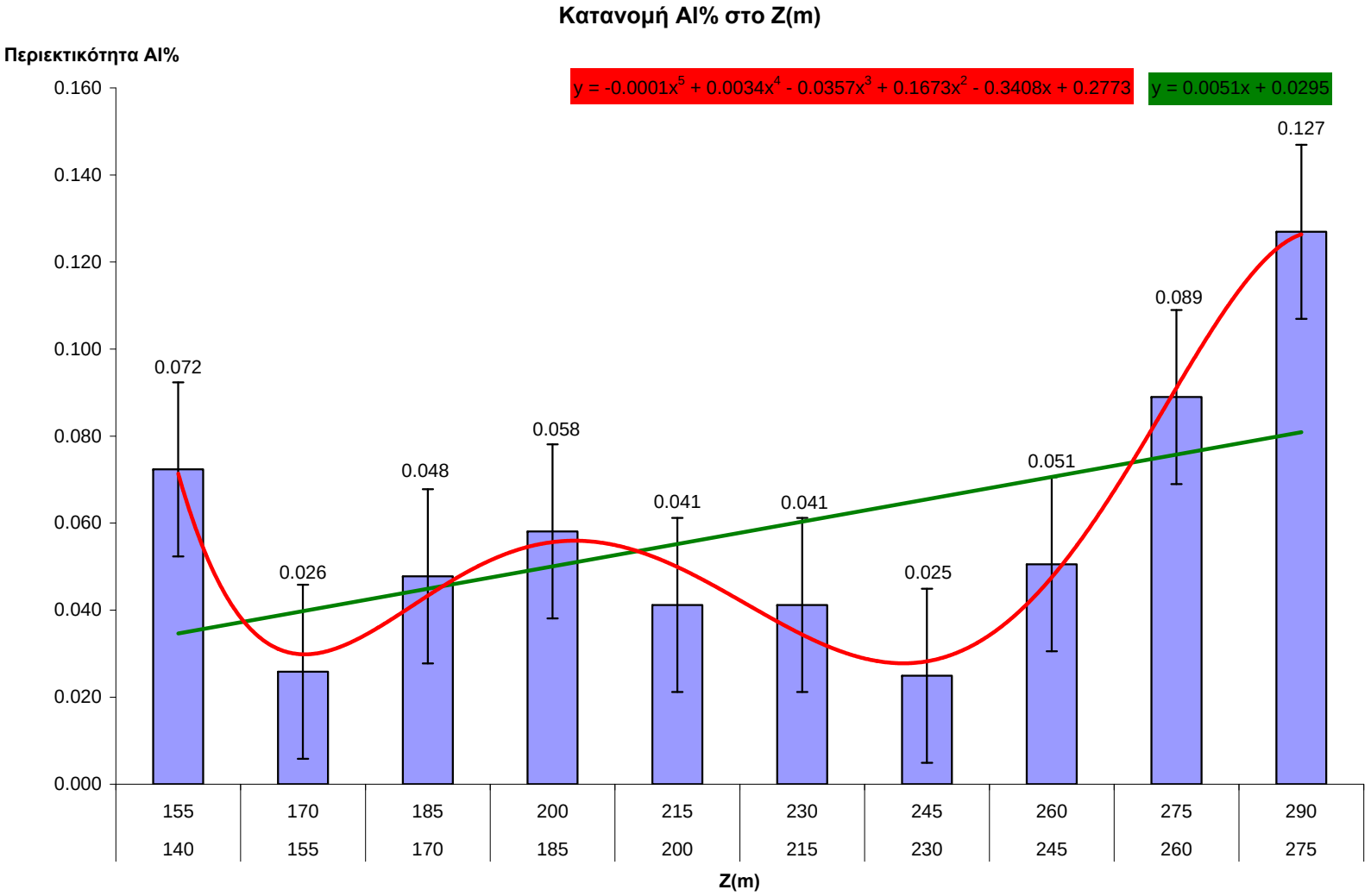

Κατανομή Ni% στο Z(m)
Περιεκτικότητα Ni%
0.007
0.006
0.005
0.004
0.003
0.002
0.001
0.000
-0.001
-0.002
y = 5E-05x3 - 0.0009x2 + 0.004x - 0.0015
y = -0.0002x + 0.0034
0.002
0.003
0.004
0.005
0.003
0.003
0.000
0.002
0.003
0.002
155
140
170
155
185
170
200
185
215
200
230
215
245
230
260
245
275
260
290
275
Z(m)

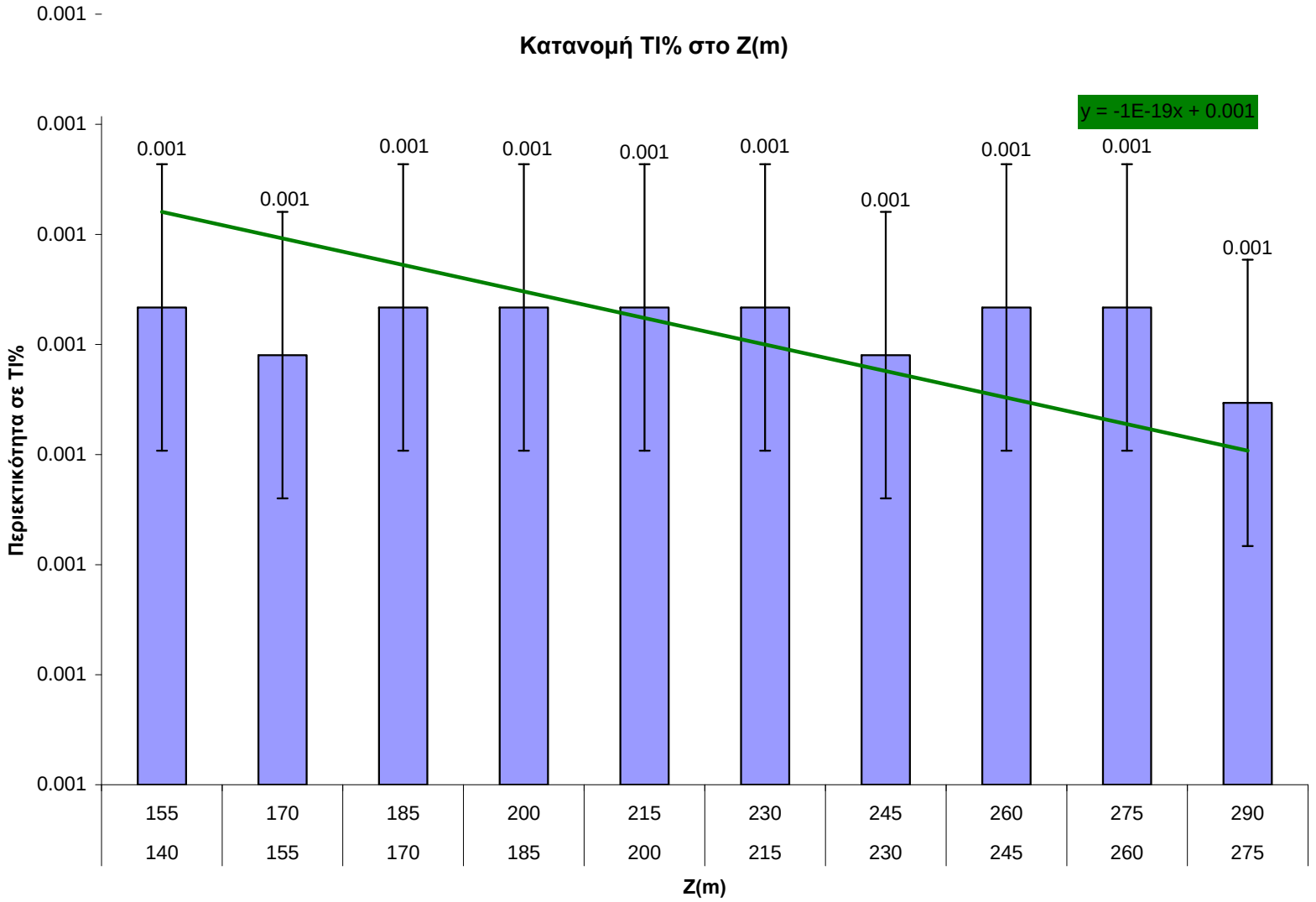

Κατανομή Cu% στο Z(m)
Περιεκτικότητα Cu%
y = -0.0002x4 + 0.0031x3 - 0.0191x2 + 0.044x + 0.0405
y = 0.0003x + 0.0722
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
0.065
0.085
0.067
0.055
0.068
0.111
0.062
0.081
0.102
0.042
155 140
170 155
185 170
200 185
215 200
230 215
245 230
260 245
275 260
290 275
Z(m)

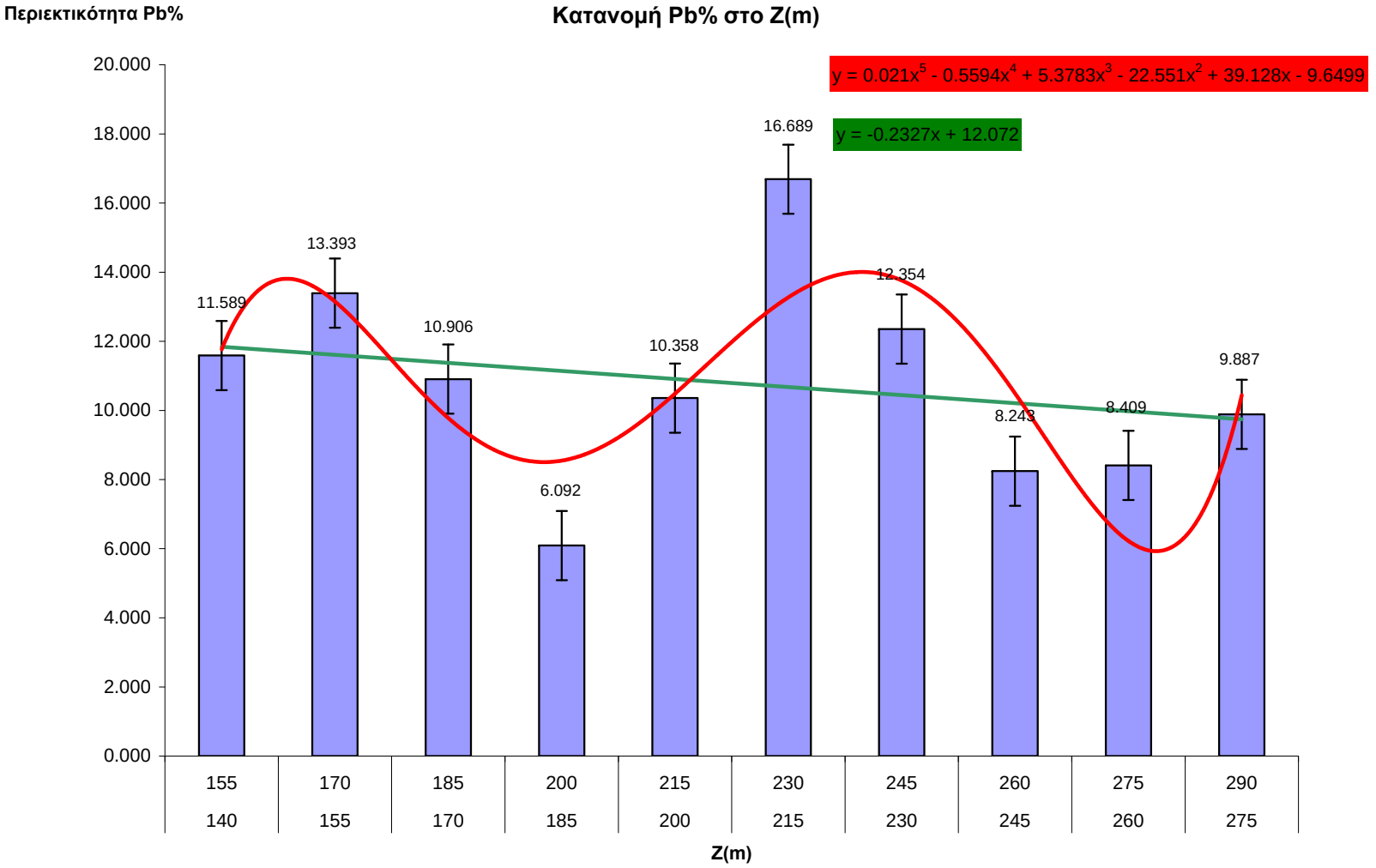

500.000
450.000
400.000
350.000
300.000
250.000
200.000
150.000
100.000
50.000
0.000
y = 0.213x4 - 5.301x3 + 44.282x2 - 144.81x + 423.72
y = -6.0686x + 301.45
284.045
350.905
277.449
149.679
256.121
404.900
267.632
210.811
235.140
244.000
155 140
170 155
185 170
200 185
215 200
230 215
245 230
260 245
275 260
290 275

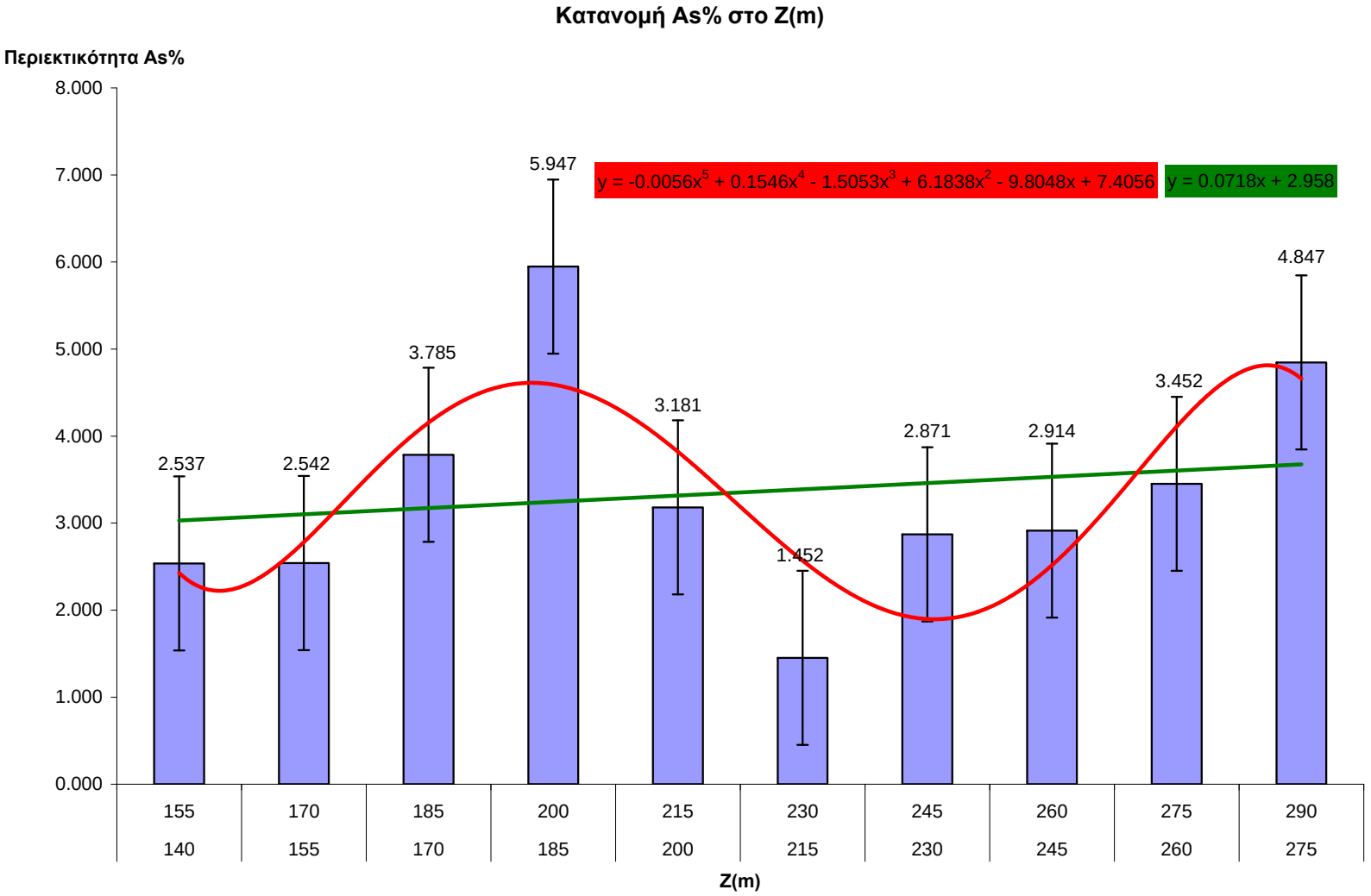

Κατανομή Zn% στο Z(m)
Περιεκτικότητα Zn%
y = 0.0776x3 - 1.2917x2 + 5.828x + 7.0345
y = -0.2007x + 13.939
20.000
18.000
16.000
14.000
12.000
10.000
8.000
6.000
4.000
2.000
0.000
11.710
13.761
15.381
14.426
15.571
8.631
12.813
11.285
11.042
13.730
155 170 185 200 215 230 245 260 275 290
140 155 170 185 200 215 230 245 260 275
Z(m)

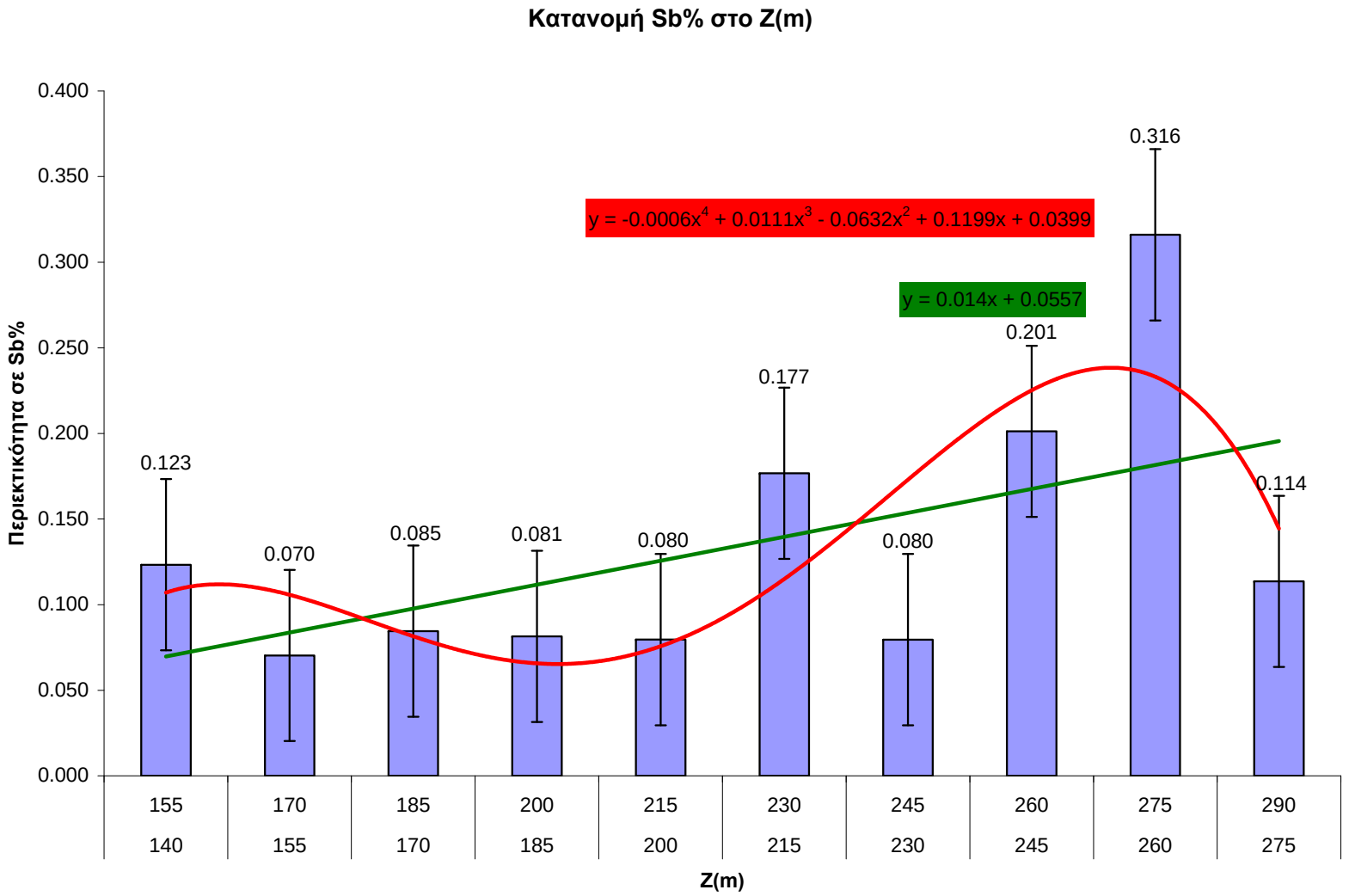

Κατανομή Cd% στο Z(m)
Περιεκτικότητα Cd%
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
y = 0.0004x3 - 0.0067x2 + 0.0288x + 0.0561
y = -0.001x + 0.0885
0.080
0.087
0.097
0.089
0.097
0.059
0.079
0.075
0.075
0.090
155 140
170 155
185 170
200 185
215 200
230 215
245 230
260 245
275 260
290 275
Z(m)

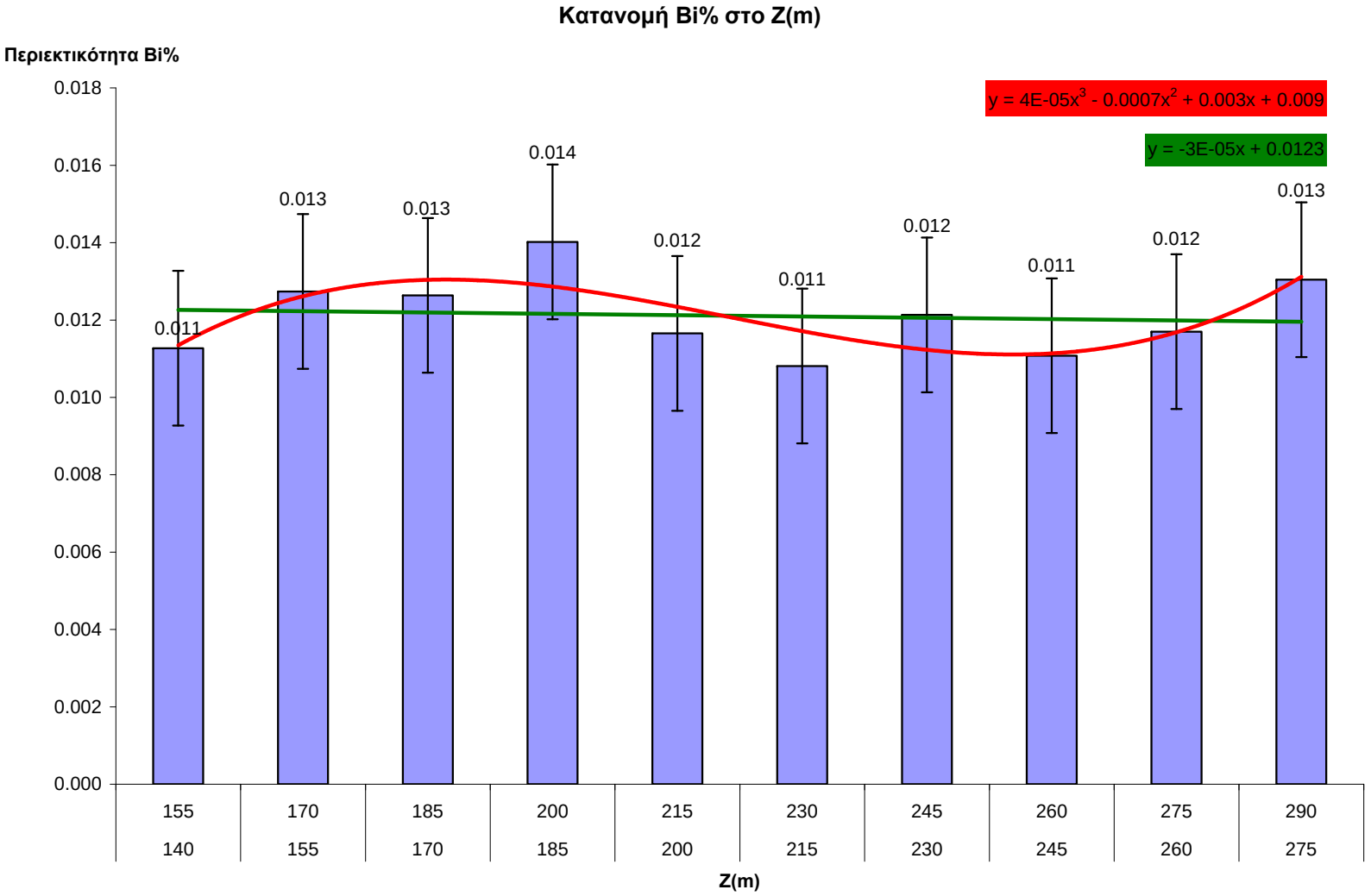

Κατανομή Al% στο Z(m)
Περιεκτικότητα Al%
y = -0.0001x5 + 0.0034x4 - 0.0357x3 + 0.1673x2 - 0.3408x + 0.2773
y = 0.0051x + 0.0295
0.160
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
0.072
0.026
0.048
0.058
0.041
0.041
0.025
0.051
0.089
0.127
155
140
170
155
185
170
200
185
215
200
230
215
245
230
260
245
275
260
290
275
Z(m)

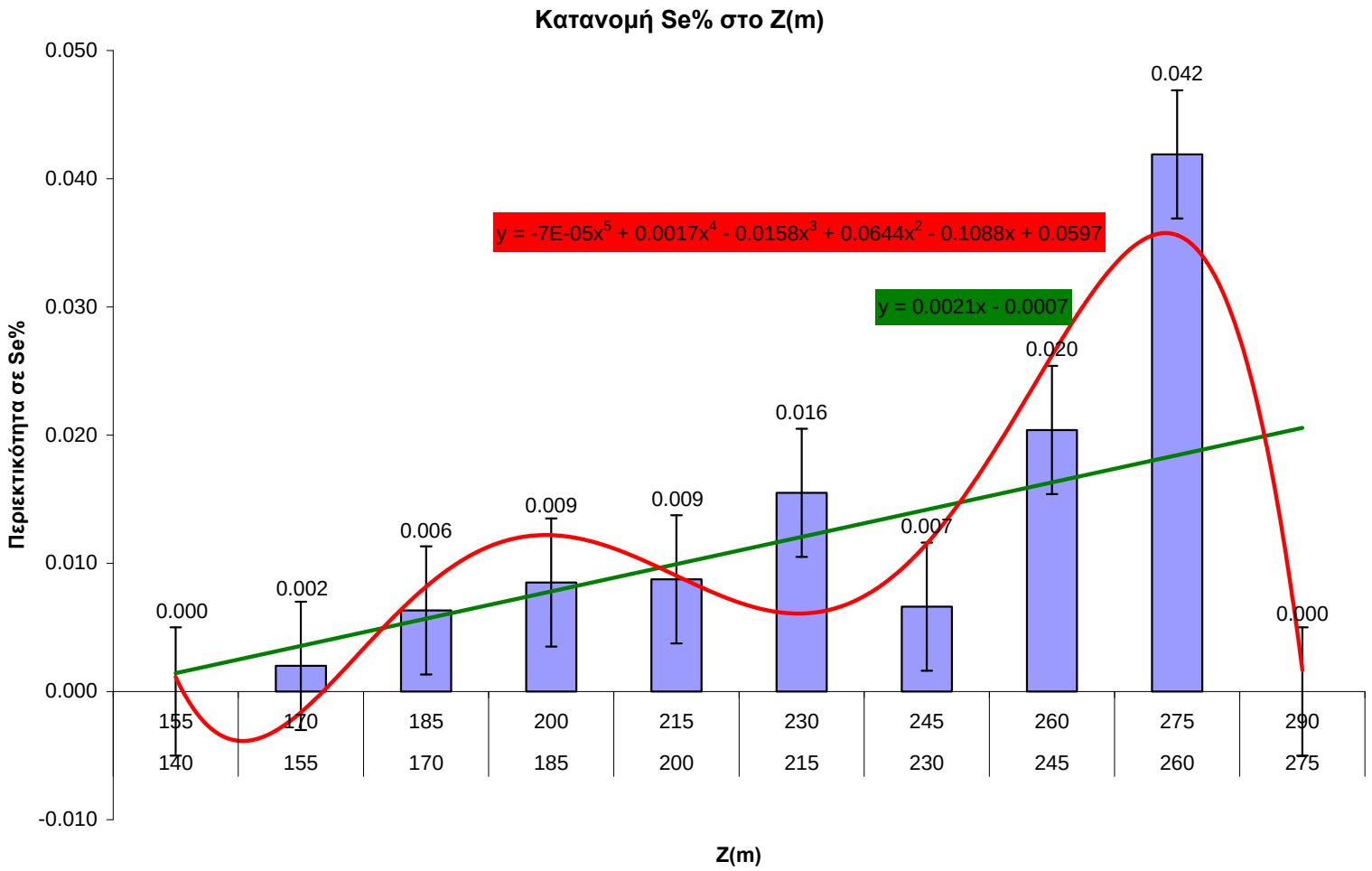

Κατανομή TI% στο Z(m)
y = -1E-19x + 0.001
Περιεκτικότητα σε TI%
0.001
0.001
0.001
0.001
0.001
0.001
0.001
0.001
0.001
0.001
0.001
0.001
0.001
0.001
0.001
0.001
155
140
170
155
185
170
200
185
215
200
230
215
245
230
260
245
275
260
290
275
Z(m)


Περιεκτικότητα Pb%
Κατανομή Pb% στο Z(m)
y = 0.021x5 - 0.5594x4 + 5.3783x3 - 22.551x2 + 39.128x - 9.6499
y = -0.2327x + 12.072
20.000
18.000
16.000
14.000
12.000
10.000
8.000
6.000
4.000
2.000
0.000
11.589
13.393
10.906
6.092
10.358
16.689
12.354
8.243
8.409
9.887
155 140
170 155
185 170
200 185
215 200
230 215
245 230
260 245
275 260
290 275
Z(m)


Κατανομή As% στο Z(m)
Περιεκτικότητα As%
8.000
7.000
6.000
5.000
4.000
3.000
2.000
1.000
0.000
y = -0.0056x5 + 0.1546x4 - 1.5053x3 + 6.1838x2 - 9.8048x + 7.4056
y = 0.0718x + 2.958
2.537
2.542
3.785
5.947
3.181
1.452
2.871
2.914
3.452
4.847
155
140
170
155
185
170
200
185
215
200
230
215
245
230
260
245
275
260
290
275
Z(m)


Κατανομή Sb% στο Z(m)
y = -0.0006x4 + 0.0111x3 - 0.0632x2 + 0.1199x + 0.0399
y = 0.014x + 0.0557
Περιεκτικότητα σε Sb%
0.400
0.350
0.300
0.250
0.200
0.150
0.100
0.050
0.000
0.123
0.070
0.085
0.081
0.080
0.177
0.080
0.201
0.316
0.114
155
140
170
155
185
170
200
185
215
200
230
215
245
230
260
245
275
260
290
275
Z(m)


Κατανομή Bi% στο Z(m)
Περιεκτικότητα Bi%
y = 4E-05x3 - 0.0007x2 + 0.003x + 0.009
y = -3E-05x + 0.0123
0.018
0.016
0.014
0.012
0.010
0.008
0.006
0.004
0.002
0.000
0.011
0.013
0.013
0.014
0.012
0.011
0.012
0.011
0.012
0.013
155
140
170
155
185
170
200
185
215
200
230
215
245
230
260
245
275
260
290
275
Z(m)


Κατανομή Se% στο Z(m)
y = -7E-05x5 + 0.0017x4 - 0.0158x3 + 0.0644x2 - 0.1088x + 0.0597
y = 0.0021x - 0.0007
Περιεκτικότητα σε Se%
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
-0.010
0.000
0.002
0.006
0.009
0.009
0.016
0.007
0.020
0.042
0.000
155
170
185
200
215
230
245
260
275
290
140
155
170
185
200
215
230
245
260
275
Z(m)

Κεφάλαιο 6ο: Ερμηνεία αποτελεσμάτων

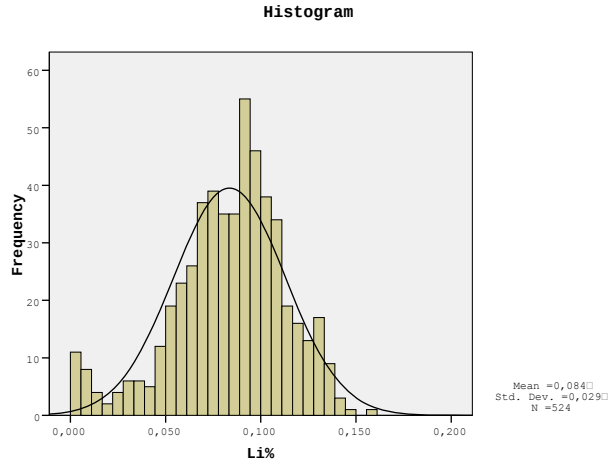
Ερμηνεία αποτελεσμάτων χαρακτηριστικών ιχνοστοιχείων

Ερμηνεία αποτελεσμάτων 1ης ομάδας (Li, Na, K)

Li (Lithium, Li^+, r=0.68Å)

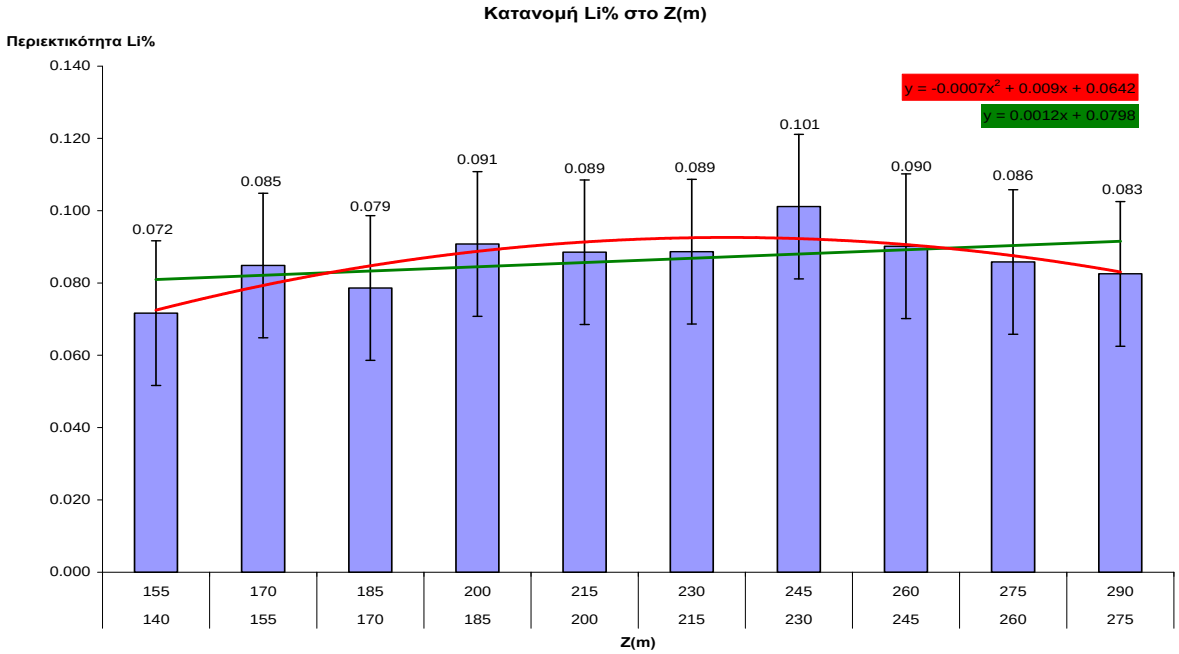
Το λίθιο, κατά τη διάρκεια της κλασματικής κρυστάλλωσης θα έπρεπε να ακολουθήσει τα χημικά στοιχεία των αλκαλίων. Το μέγεθος της ακτίνας του ιόντος του και όχι οι χημικές του ιδιότητες είναι εκείνο που καθορίζει την είσοδο του Li στο κρυσταλλικό πλέγμα των ορυκτών. Η ακτίνα του ιόντος του λιθίου είναι η μικρότερη από όλα τα άλλα αλκάλια (Na^+, r = 0.97Å, K^+, r=1.33Å), γι' αυτό εισέρχεται στο πλέγμα των ορυκτών του μαγνησίου που οι ακτίνες τους είναι περίπου ίσες.

Το λίθιο γίνεται αποδεκτό στα ορυκτά του μαγνησίου, αν και δεν έχουν το ίδιο ηλεκτρικό φορτίο. Ο λόγος (Li^+/Mg^{2+}) αυξάνει καθώς προχωρά η κλασμα-τική κρυστάλλωση και για το λόγο αυτό ο Strock πρότεινε τη χρήση του λόγου ως κριτήριο για τον προσδιορισμό του σταδίου της διαφοροποίησης κατά το οποίο σχηματίσθηκε ένα πυριγενές πέτρωμα.



Σχήμα 2, σελ. 24: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Li%

Το λίθιο απαντά στους πυροξένους, τους αμφιβόλους και ιδιαίτερα στους μαρμαρυγίες. Σημαντικά ποσά λιθίου παραμένουν στο τήγμα, γι' αυτό στους πηγματίτες εμφανίζεται συγκέντρωση του Li σχηματίζοντας τα ορυκτά λεπιδόλιθος [lepidolite $KLi_2Al(Si_4O_{10})$], σποδουμένης [spodumene $LiAlSi_2O_6$], αμβλυγωνίτης [amblygonite $LiAlPO_4(F, OH)$] και πεταλίτης [petalite $LiAlSi_4O_{10}$].



Σχήμα 28:Κατανομή του Li% στο υψόμετρο Z(m) από χημικές αναλύσεις δειγμάτων που πάρθηκαν από το σώμα του κοιτάσματος.

Η μικρότερη τιμή του Li, στο κοίτασμα των Μαύρων Πετρών, είναι 10 ppm ενώ η μέγιστη είναι 1600 ppm. Η μέση τιμή του Li στη λιθόσφαιρα είναι 2,7ppm ενώ η αντίστοιχη μέση τιμή του στοιχείου στο κοίτασμα είναι 835,6ppm. Επομένως, όλες οι μετρήσεις αποτελούν γεωχημικές ανωμαλίες.

Η βέλτιστη μαθηματική περιγραφή της κατακόρυφης κατανομής του Li δίδεται από τη συνάρτηση $f(x) = -7x^2 + 90x + 642$ (τιμές σε ppm). Από τη γραμμική συνάρτηση $y=12x+798$ συμπεραίνουμε ότι υπάρχει μια αυξητική σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας σε Li% και του υψομέτρου Z(m).

Οι υψηλές συγκεντρώσεις του Li συμφωνούν με την επικρατούσα άποψη περί σύνθετης υδροθερμικής κοιτασματογένεσης με πληθώρα πηγματιτικών διεισδύσεων.

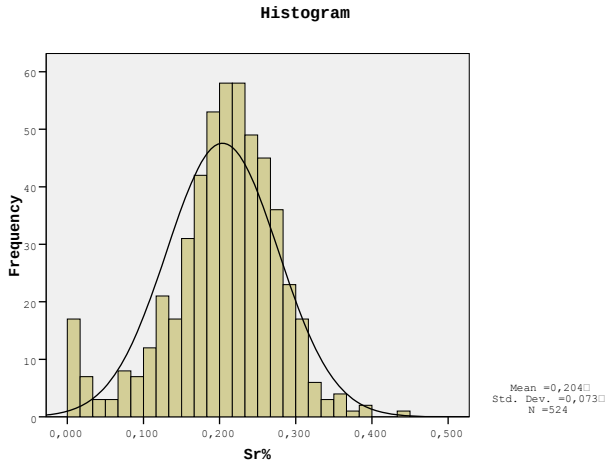
Ερμηνεία αποτελεσμάτων 2ης ομάδας (Be, Mg, Ca, Sr, Ba)

Sr (Strontium, Sr^{2+}, r=1,12Å)

Το στρόντιο δύναται να αντικαταστήσει το ασβέστιο ή το κάλιο στα πυριγενή πετρώματα κυρίως στα κρυσταλλικά πλέγματα των πλαγιοκλάστων και των καλιούχων αστρίων.

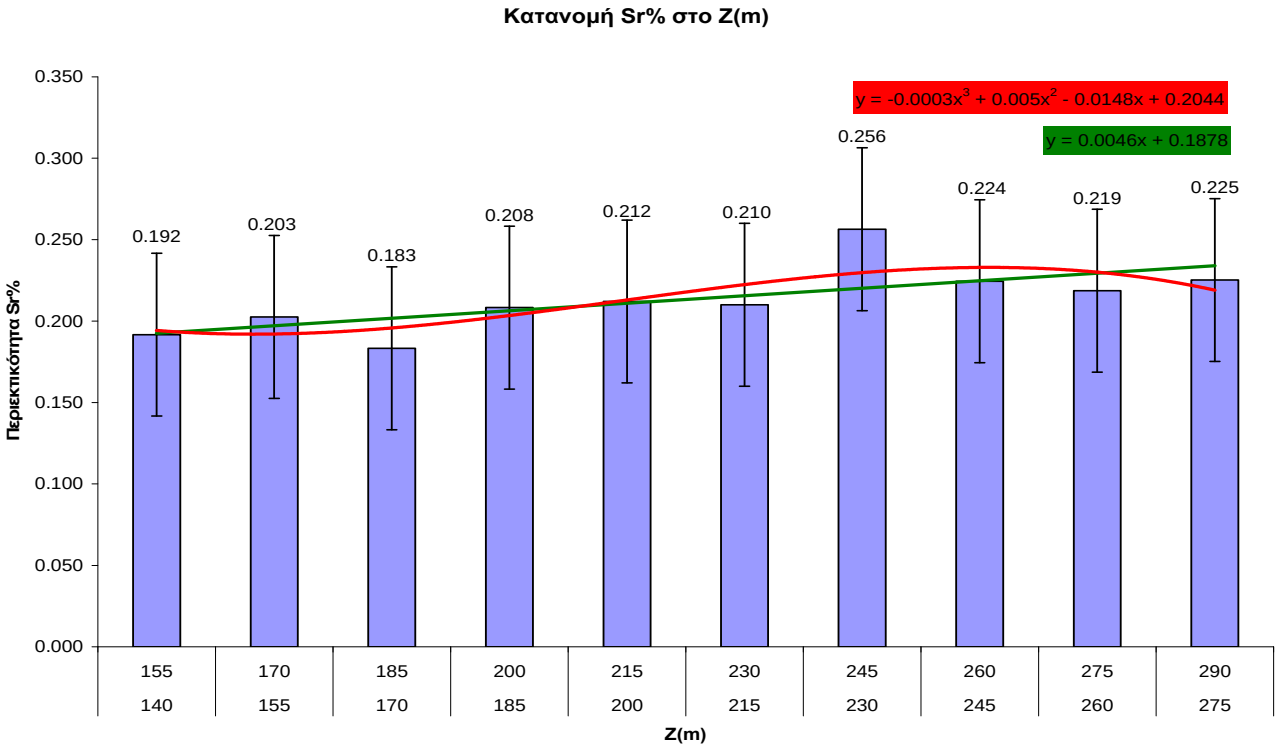
Η συγκέντρωση του στροντίου αυξάνει στα ορυκτά καθώς εξελίσσεται η κρυστάλλωση του μάγματος. Το στρόντιο εμφανίζεται αφθονότερο στα βασαλτικά και γαββρικά πετρώματα σε σχέση με τα γρανιτικά. Η αντικατάσταση του ασβεστίου από το στρόντιο θεωρείται μια λειτουργία απομάκρυνσης του στροντίου από το μάγμα.

Σχήμα 7, σελ. 24: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Sr%



Η μικρότερη τιμή του στροντίου, στο κοίτασμα των Μαύρων Πετρών, είναι 30ppm ενώ η μέγιστη είναι 4390ppm. Η μέση συγκέντρωση του Sr στο γήινο φλοιό είναι 18.2ppm, ενώ στο κοίτασμα 2038,6ppm. Επομένως, το 94,69% των μετρήσεων αποτελούν γεωχημικές ανωμαλίες.

Οι μέσες μέγιστες περιεκτικότητες παρατηρούνται στα υψόμετρα [155,170], [185, 200] και [200, 290]. Η βέλτιστη περιγραφή της κατανομής του στροντίου δίδεται από τη συνάρτηση: $f(x) = -3x^3 + 50x^2 – 148x + 2044$ (τιμές σε ppm). Επιπλέον από τη σχέση y=46x+1878 διαπιστώνουμε την ύπαρξη μιας γενικότερης αυξητικής τάσης του στροντίου ανάλογα με το υψόμετρο Z(m).

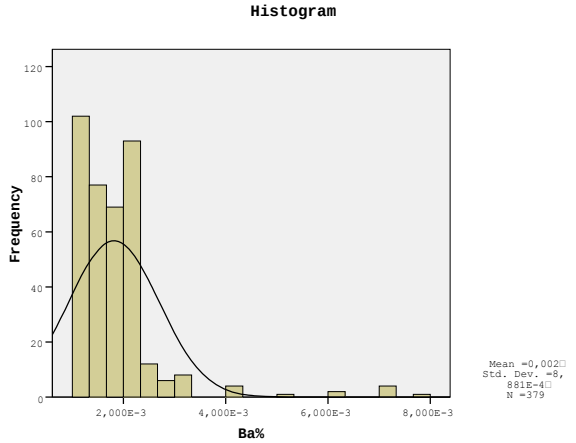


Σχήμα 29: Κατανομή του Sr% στο υψόμετρο Z(m) από χημικές αναλύσεις δειγμάτων που πάρθηκαν από το σώμα του κοιτάσματος.

Ba (Barium, Ba^{2+}, r=0.84Å)

Το βάριο παγιδεύεται στα κρυσταλλικά πλέγματα των καλιούχων ορυκτών, διότι έχει υψηλό ηλεκτρικό φορτίο και παρόμοια ακτίνα με το κάλιο. Επίσης, είναι δυνατό να γίνει αποδεκτό στο κρυσταλλικό πλέγμα των πλαγιοκλάστων μέχρι ποσοστού 0,1%, καθώς και στο κρυσταλλικό πλέγμα της κεροστίλβης σε μικρό ποσοστό, διότι υπάρχουν στην κρυσταλλική της δομή θέσεις για μεγάλα ιόντα.

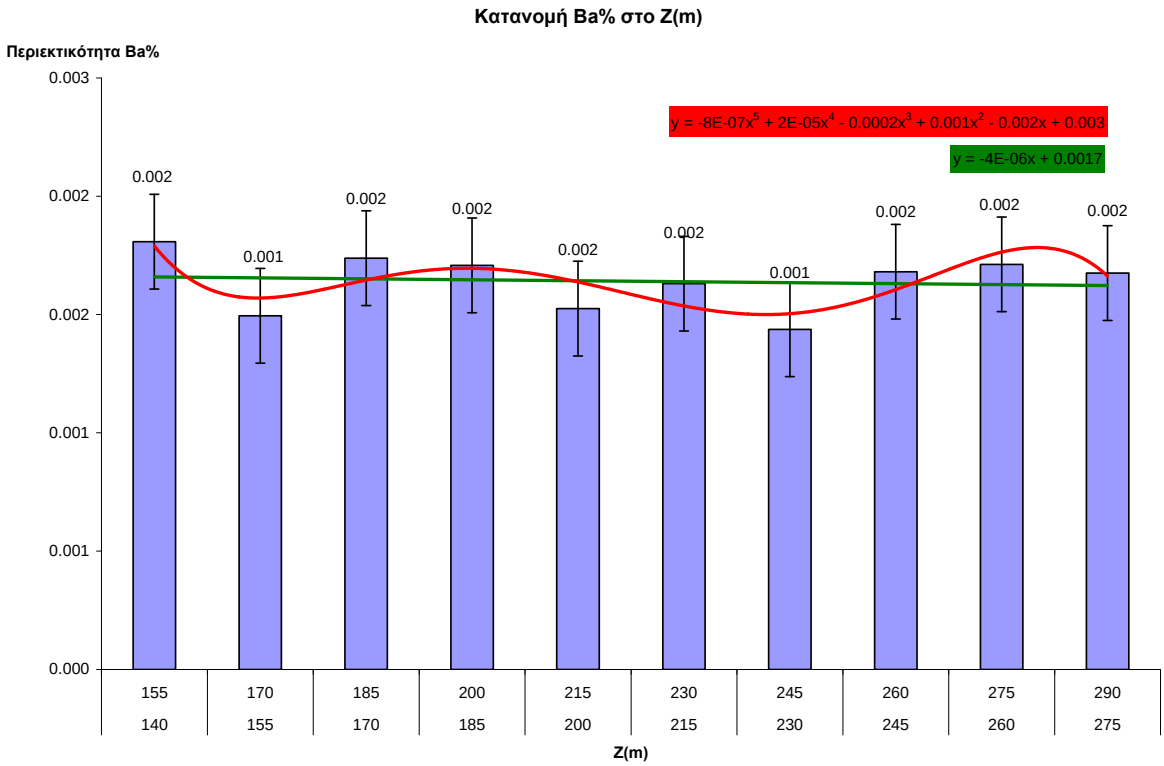
Σχήμα 8, σελ. 24: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Ba%



Η ελάχιστη τιμή του βαρίου στο κοίτασμα των Μαύρων Πετρών είναι 10ppm και η μέγιστη τιμή 80ppm. Η μέση συγκέντρωση του βαρίου στο γήινο φλοιό είναι 5,1ppm ενώ στο κοίτασμα η αντίστοιχη τιμή είναι

18,1ppm. Επομένως, το 71,97% των μετρήσεων αποτελούν γεωχημική ανωμαλία.

Οι μέσες μέγιστες περιεκτικότητες παρατηρούνται στα παρακάτω υψόμετρα: [140, 155], [170, 200] και [245,290]. Η κατανομή των τιμών περιγράφεται βέλτιστα από την παρακάτω συνάρτηση: $f(x) = -8e^{-0.07}x^5 + 2e^{-0.05}x^4 - 2x^3 + 10x^2 - 20x + 30$. Από τη σχέση $y=-4e^{-0.06}x+17$ διαπιστώνουμε την έλλειψη προφανούς εξάρτησης μεταξύ των δύο μεγεθών.



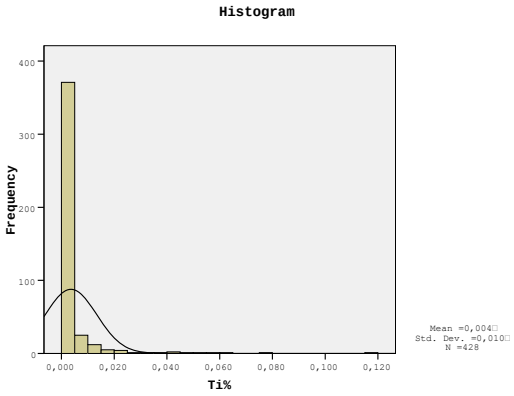
Σχήμα 30: Κατανομή του Ba% στο υψόμετρο Z(m) από χημικές αναλύσεις δειγμάτων που πάρθηκαν από το σώμα του κοιτάσματος.

Ερμηνεία αποτελεσμάτων 4ης ομάδας (Ti)

Ti (Titanium, Ti^{3+},r=0.76Å, Ti^{4+}, r=0.68Å)

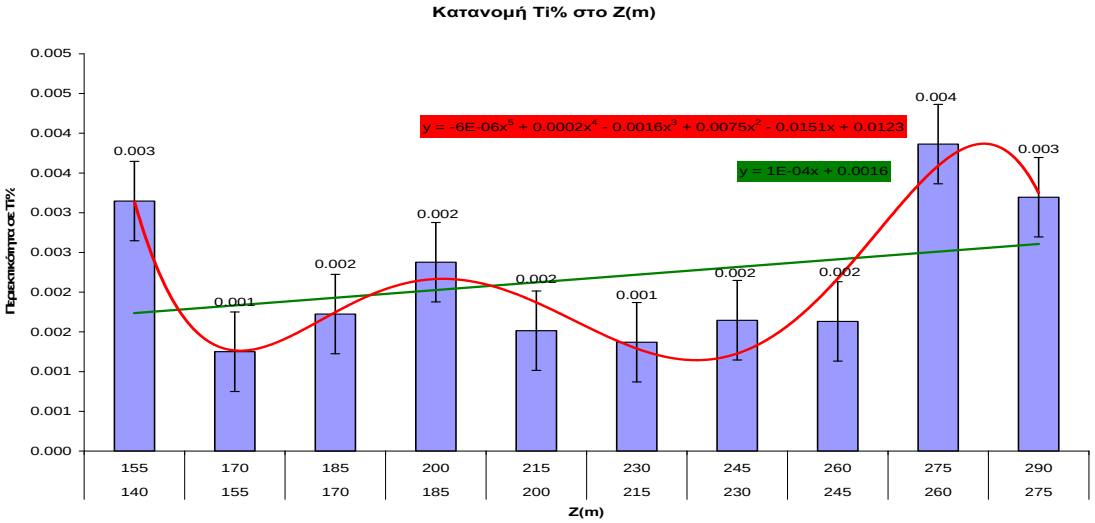
Το Τιτάνιο στα πυριγενή πετρώματα απαντάται στο ορυκτό ιλμενίτης ($FeTiO_3$). Επειδή αντικαθιστά το Al, το συναντάμε στους πυροξένους, στις αμφιβόλους (κεροστίλβη) και στο βιοτίτη $K(Mg, Fe)_3(OH)_2(AlSi_3O_{10})(Mg/Fe<2:1)$.

Επίσης, το τιτάνιο είναι δυνατό να παγιδεύεται στα κρυσταλλικά πλέγματα των παραπάνω ορυκτών λόγω του υψηλότερου ηλεκτρικού φορτίου. Στο μοσχοβίτη δεν εμφανίζεται, καθώς σε πολύ όξινα μάγματα απομακρύνεται σαν τιτανίτης ($CaTiOSiO_4$).



Σχήμα 9, σελ. 25: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Ti%

Η ελάχιστη τιμή του τιτανίου στο κοίτασμα των Μαύρων Πετρών είναι 0,001ppm και η μέγιστη 0,120ppm. Η μέση συγκέντρωση του τιτανίου στο γήινο φλοιό είναι 1030ppm ενώ στο κοίτασμα η αντίστοιχη τιμή είναι 36,1ppm. Επομένως δεν παρατηρούνται γεωχημικές ανωμαλίες.



Σχήμα 30: Κατανομή του Ti% στο υψόμετρο Z(m) από χημικές αναλύσεις δειγμάτων που πάρθηκαν από το σώμα του κοιτάσματος.

Οι μέσες μέγιστες περιεκτικότητες παρατηρούνται στα υψόμετρα:

[140,155] και [260,290]. Η κατανομή των τιμών περιγράφεται βέλτιστα από την παρακάτω συνάρτηση:

$$f(x)=-6e^{-0.06}x^5+2\ 10^{-4}x^4 - 16\ 10^{-4}x^3 + 75\ 10^{-4}x^2-151\ 10^{-4}x+123\ 10^{-4}.$$

Ενώ από τη σχέση

$$f(x)= e^{-0.04}x+0.0016$$

συμπεραίνουμε ότι τα μεγέθη Ti% και Z(m) είναι ανάλογα.

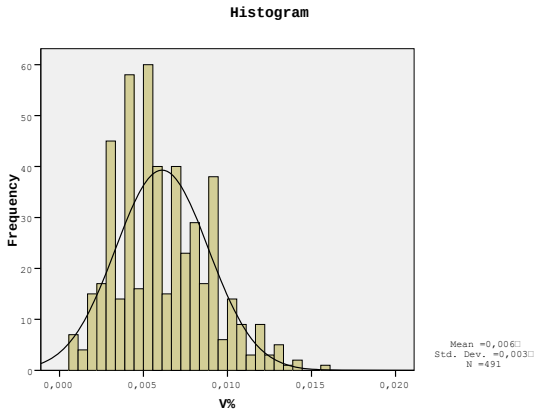
22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Ερμηνεία αποτελεσμάτων 5ης ομάδας (V)

V(Vanadium, V^{3+}, r=0.63Å και V^{5+}, r=0.59Å

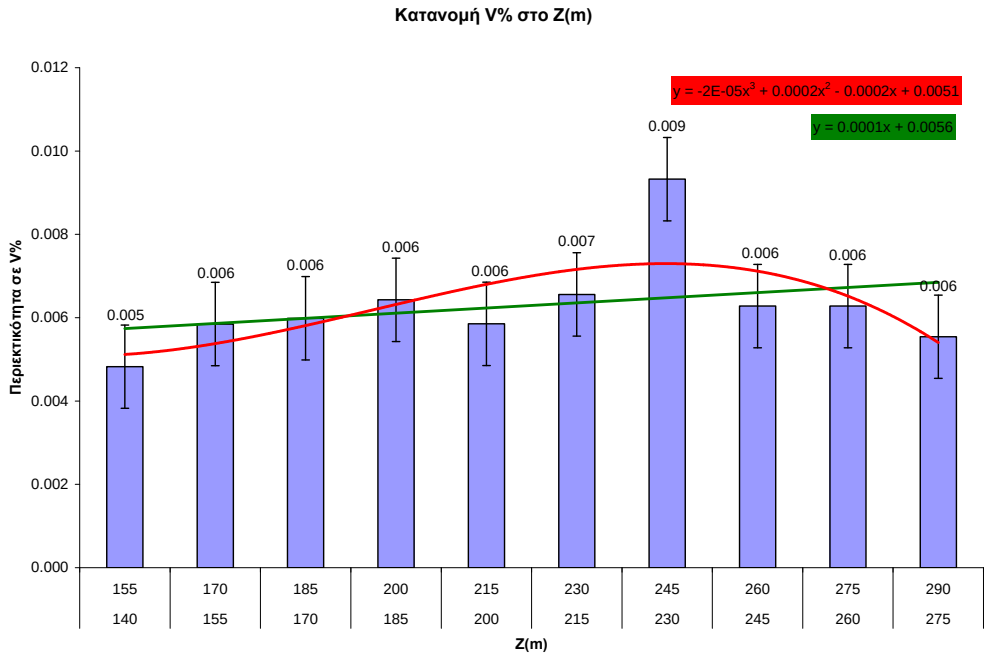
Συγκεντρώνεται από το μάγμα στο κρυσταλλικό πλέγμα του μαγνητίτη, διότι έχει παρόμοια ακτίνα ιόντος με τον τρισθενή σίδηρο. Επειδή έχει μικρότερη ηλεκτραρνητικότητα, το συναντάμε σε μαγνητίτες που σχηματίσθηκαν πρώιμα. Το βανάδιο το βρίσκουμε και σε πυροξένους, αμφιβόλους, βιοτίτες και σε αξιόλογες ποσότητες στο κρυσταλλικό πλέγμα του αιγιρίνη.

Σχήμα 9, σελ. 25: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Ti%



Η ελάχιστη τιμή του βαναδίου στο κοίτασμα των μαύρων Πετρών είναι 0,001ppm ενώ η μέγιστη είναι 160ppm. Η μέση περιεκτικότητα του βαναδίου στο γήινο φλοιό είναι 103ppm, ενώ η αντίστοιχη τιμή στο κοίτασμα είναι 610ppm. Επομένως, το 4,5% των τιμών αποτελούν γεωχημική ανωμαλία.

Σχήμα 31: Κατανομή του V% στο υψόμετρο Z(m) από χημικές αναλύσεις δειγμάτων που πάρθηκαν από το σώμα του κοιτάσματος.

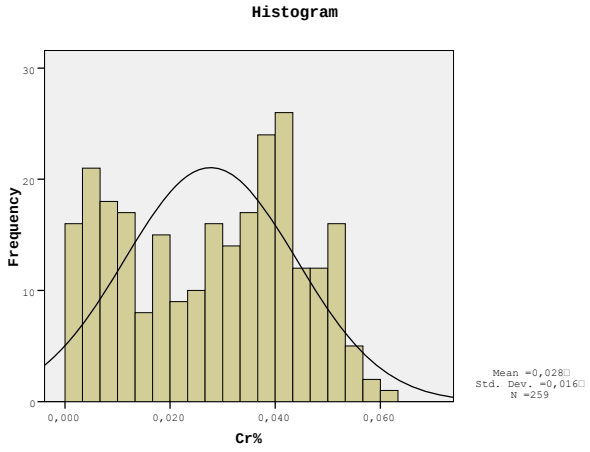


Ερμηνεία αποτελεσμάτων 6ης ομάδας (Cr)

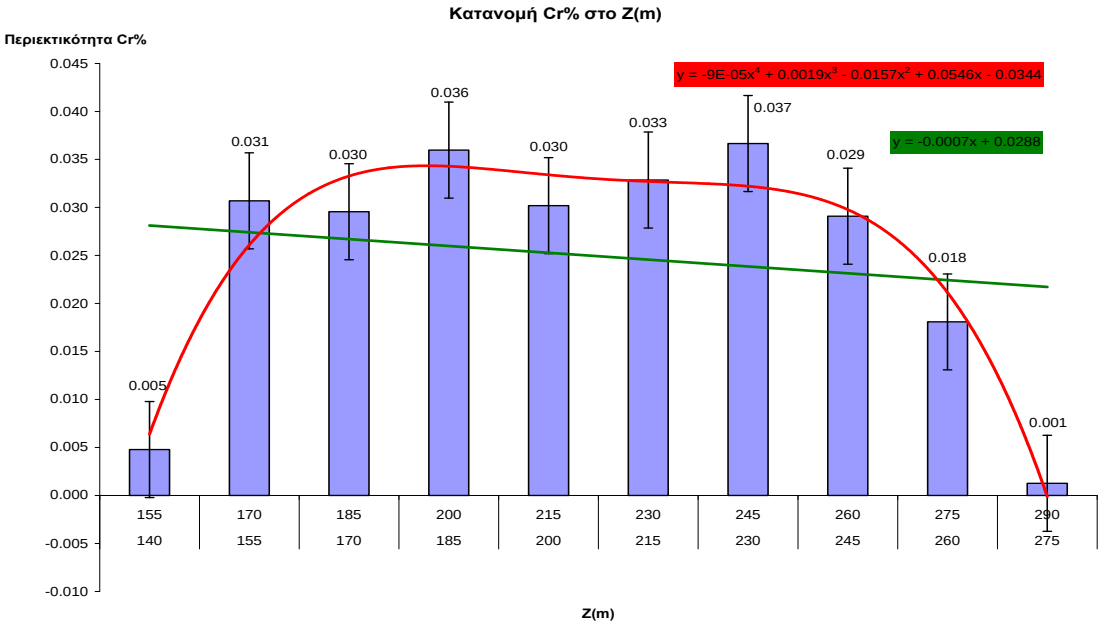
Cr(Chromium, Cr^{3+}, r=0.63Å και Cr^{6+}, r=0.52Å

Το χρώμιο βρίσκεται στο μάγμα ως τρισθενές. Η ακτίνα του ιόντος του χρωμίου είναι σχεδόν η ίδια με εκείνη του τρισθενούς σιδήρου, αλλά παρουσιάζει μεγαλύτερη συγκέντρωση και απομακρύνεται από το μάγμα στα πρώτα στάδια της κλασματικής κρυστάλλωσης ως χρωμίτης. Η ερμηνεία αποδίδεται στη μικρότερη ηλεκτραρνητικότητα του χρωμίου σε σύγκριση με τον τρισθενή σίδηρο. Το χρώμιο απαντά στους πυροξένους και περισσότερο σε εκείνους που βρίσκονται στα υπερβασικά πετρώματα.

Σχήμα 9, σελ. 25: Κατανομή συχνοτήτων των τιμών του Ti%



Η ελάχιστη τιμή του χρωμίου στο κοίτασμα των Μαύρων Πετρών είναι 10ppm ενώ η μέγιστη τιμή είναι 610ppm. Η μέση περιεκτικότητα του χρωμίου στο γήινο φλοιό είναι 4780ppm ενώ η αντίστοιχη τιμή στο κοίτασμα είναι 277,1ppm. Επομένως, καμιά μέτρηση δεν αποτελεί γεωχημική ανωμαλία.



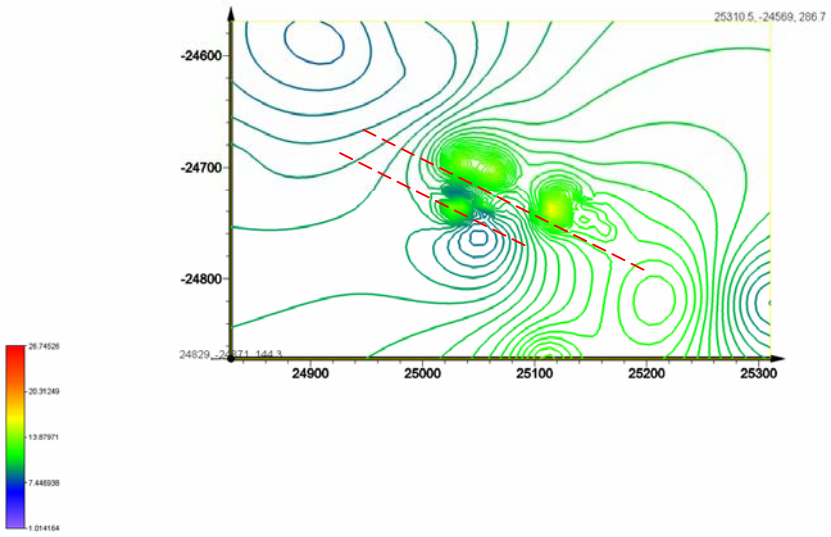
Σχήμα 32: Κατανομή του Cr% στο υψόμετρο Z(m) από χημικές αναλύσεις δειγμάτων που πάρθηκαν από το σώμα του κοιτάσματος.

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Κεφάλαιο 7ο: Συμπεράσματα

Συμπεράσματα

Τα πολυμεταλλικά κοιτάσματα Pb – Zn – Ag – Au, της Β.Α. Χαλκιδικής, είναι τεκτονικά ελεγχόμενα. Την παραπάνω υπόθεση στηρίζουν το πλήθος των τεχνικών μελετών, οι πυρήνες των γεωτρήσεων αλλά και οι τεχνικές μελέτες. Στο συγκεκριμένο συμπέρασμα καταλήγουν και οι γεωλόγοι της ERA – Maptec ltd., οι οποίοι εκπόνησαν την τεκτονική μελέτη της ευρύτερης περιοχής της Ολυμπιάδας.



Σχήμα 33: Ο παραπάνω γεωχημικός χάρτης παρουσιάζει την κατανομή της συγκέντρωσης του Pb στο υψόμετρο 215m. Οι κόκκινες διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν πιθανά ρήγματα.

Επιπλέον, προκύπτει ότι οι συγκεκριμένες ρωγματώσεις, έχουν μέγιστη οικονομική σημασία και δυναμικό για νέες ανακαλύψεις. Σ' αυτό συνδράμουν παραδείγματα από την εκμετάλλευση της περιοχής τα τελευταία 50 χρόνια.

Στον παραπάνω γεωχημικό χάρτη (σχήμα 33), παρατηρούμε κάποια σημεία αυξημένης συγκέντρωσης, στο δεδομένο χημικό στοιχείο. Η τοποθέτησή τους με κανονικότητα, συνήθως σε ευθείες γραμμές, συνηγορεί στην παραπάνω άποψη της τεκτονικά ελεγχόμενης

Κεφάλαιο 8ο: Προτάσεις

Η πλειονότητα των τεχνικών μελετών, που έγιναν προς όφελος της εταιρείας, συνιστούν περαιτέρω έρευνα. Το παρόν δεν θα διαφοροποιηθεί από τους προηγούμενους ερευνητές. Υπάρχει η πεποίθηση ότι η περιοχή δεν έχει διαχειριστεί ερευνητικά με το βέλτιστο δυνατό τρόπο. Πράγμα που καθιστά τον προγραμματισμό της εκμετάλλευσης πολύπλοκο εγχείρημα.

Επομένως, θα πρέπει να χαρτογραφηθεί η περιοχή ενδιαφέροντος, με τη βοήθεια των σύγχρονων μεθόδων. Στη συνέχεια, να πραγματοποιηθεί λεπτομερής τεκτονική χαρτογράφηση για τη διαπίστωση των ρηξιγενών δομών του τριτογενούς (αλλά και παλαιότερων).

Επιπλέον, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μια προσεκτική ορυκτολογική – πετρολογική μελέτη για την διαπίστωση των διαφορών μεταξύ των δύο οριζόντων μαρμάρου. Ώστε να μπορούν έπειτα, να χαρακτηρισθούν στρωματογραφικά, στο συσχετισμό από τους πυρήνες των γεωτρήσεων.

Επιπλέον, η υπάρχουσα γεωχημική μελέτη ρεμάτων θα πρέπει να συνδυαστεί με τη γενικότερη έρευνα της περιοχής. Κατόπιν, θα πρέπει να σχεδιαστούν γεωχημικοί χάρτες επιφανείας αλλά και βάθους, όπως ο γεωχημικός χάρτης του σχήματος 33.

Τέλος, μια ορυκτολογική ανάλυση του κοιτάσματος θα βοηθούσε στη διαλεύκανση των συνθηκών αποβολής των μεταλλικών ορυκτών και στην αναζήτηση παρόμοιων περιοχών.

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

μεταλλοφορίας. Αυτό εξηγείται, καθώς τα διαλύματα μετακινούνται διαμέσω ασυνεχειών και αποβάλλουν τα μεταλλικά τους φορτία σε συγκεκριμένα γεωχημικά περιβάλλοντα.

Πιθανότατα λόγω του φαινομένου της εκλεκτικής μετασωμάτωσης, τα κυρίως σώματα των κοιτασμάτων φιλοξενούνται εντός του κατώτερου ορίζοντα μαρμάρου.Τα παλαιοζωικά αυτά μάρμαρα αντικαταστάθηκαν από τα μεταλλοφόρα διαλύματα, διότι υπέστησαν εκτεταμένη δολομιτίωση. Προφανώς η αλλοίωση αυτή των πετρωμάτων να βοήθησε στην ευκολότερη αντικατάσή τους από τα μεταλλοφόρα ρευστά. Ίσως αυτή να είναι η εξήγηση για την ύπαρξη μεγαλύτερου όγκου μεταλλοφορίας στον κατώτερο ορίζοντα μαρμάρου, παρά στο ανώτερο.

Αν και το φαινόμενο της εκλεκτικής μετασωμάτωσης δεν έχει προσδιοριστεί ικανοποιητικά, η επιστημονική κοινότητα δέχεται ότι οι διάφορες αλλοιώσεις κάνουν ένα πέτρωμα πιο δεκτικό στην αντικατάστασή του από τη μεταλλοφόρα ρευστά.

Επιπλέον, τα μεταλλοφόρα ρευστά πιθανότατα ελίχθηκαν εντός των ρωγματώσεων του Τριτογενούς εφελκυσμού και γι' αυτό να τα συναντούμε στις αμφιβολιτικές φάσεις εντός του πακέτου των γνευσίων που συνιστούν τη σειρά των Κερδυλλίων εντός της Σερβομακεδονικής μάζας.

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Βιβλιογραφία

Astaras T., Oikonomidis D., Dimopoulos G., Lambrinos N. and Fillipidis A., 1997 "Enviromental monitoring of the Stratoni/Stratoniki area, Chalkidiki, Greece, using Landsat/TM digital images". Balkema. p.145 – 149.

Barbieri M., Garbarino C., Masi U., Migrandi S., Nicoletti M., Kassoli-Fournaraki A. and Fillipidis A. 1995 "A further contribution to the Geochemistry of the granitoid pluton of Stratoni (Eastern Chalkidiki, Greece)". Geol. Soc. Greece. Sp. Publ. No.4. p.430 – 435.

deWet I.P.D., Schoonbee H. J., Pretorius J. and Hezeidenhout I.M. 1990 "Water SA 16(4) 281 - 286

Dimitriadis, S., *1974 " Petrological study of the Migmatite gneisses and amphibolites of Rentina – Asprovalta – Stavros – Olympias"*

Dixon and Dimitriadis 1984 "Metamorphosed rocks from the Serbo – Macedonian Massif, near Lake Volvi, North-east Greece. Geo. Soc.London v.17, p. 603 – 618.

Eliopoulos, D.G. Economou – Eliopoulos, M. 1991, "Platinum group element and gold contents in the Skouries porphyry copper deposit, Chalkidiki peninsula, Northern Greece" Econ. Geol. , 86, 740 – 749.

Fournaraki A. 1981, *"Contribution to the mineralogical and petrological study of amphibolitic rocks of the Serbomacedonian massif"*

Frei, R, 1989 *" Preliminary results on isotope – geochemical investigations in the Serbomacedonian massif of the Northern Greece with special focus on the tertiary intrusive related mineralization"*

Frei, R., 1992 *" Isotope (Pb, Rb-Sr, S, O, C, U-Pb) geochemical investigation on the tertiary intrusives and related mineralizations in the Serbomacedonian Pb – Zn, Sb+Cu-Mo metallogenic province in the N. Greece"Ph. D. Dissertation, ETH. Zuerich.*

Frei R. 1995 "Evolution of mineralizing fluid in the porphyry copper system of the Skouries deposit, Northern-Eastern Chalkidiki (Greece. Evidence from combined Pb – Sr and stable isotope data Econ. Geol. , 90. 746 – 762.

Galanopoulos V. and Theodoroudis A. 1994 "Gold, Silver and base metals in the manganese mineral assemblages of the NE Chalkidiki ore deposits". Bul. Geo. Soc. Of Greece. v.xxx, 507-518.

Θεοδωρίκας Σ. *«Γεωχημεία»,* εκδόσεις ΖΗΤΗ 2000, p.541

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Kalogeropoulos S and Economou G.S 1987 "A study of Sphalerite from the carbonate – hosted Pb-Zn sulfide deposits of the Eastern Chalkidiki peninsula, Northern Greece" Can. Mineral. 25, 639 – 646.

Kalogeropoulos S., Economou G., Gerouki F., Karamanou E., Kougoulis C. and Perlikos P. 1989 (a)"The mineralogy and geochemistry of the Stratoni granitoid and its metallogenic significance" Bull. Geol. Soc. Greece 23, 225 – 243.

Kalogeropoulos S., Kilias S.P. Bitzios, D.C. Nicolaou M. and Both, R.A. 1989 (b)*" Genesis of the Olympias carbonate-hosted Pb-Zn (Au, Ag) sulfide ore deposit, Eastern Chalkidiki peninsula, N. Greece". Econ. Geol., 84 1210 – 1234*

Κοντοθανάσης Π. & Κατσά Ο., 2004 *«Τεχνική μελέτη εκμετάλλευσης μεταλλείου Μαύρων Πετρών»'Ελληνικός Χρυσός Α.Ε.',Στρατώνι, Χαλκιδική, p.137*

Kockel F., Mollat. H. and Walter H. (1977) "Erlauterungen zur geologischen karte der Chalkidiki und angrenzender Gebiete 1:100.000 (Nord Griechenland) Hannover.
Michailidis and Soldatos T.C 1995 "Ultramafic rocks and associated chromite mineralization from Nea Roda (Eastern Chalkidiki Peninsula, Northern Greece)". Ofioliti v. 20 No.2. 20-2-81.

Naden J. et al., 1994 *"A fluid inclusion study of quartz, calcite & barite from different localities of carbonate-hosted gold and base metal mineralization in the western rhodope and Serbomacedonian massifs, Macedonia, Greece", p.474*

Nebel, M.L., Hutchinson, R.W. and Zartman, R.E. 1991, "Metamorphism and polygenesis of the Madem Lakos polymetallic sulfide deposits, Chalkidiki, Greece, Econ. Geol., 86, 81-105

Papadakis A. 1971 "On the age of the granitic intrusion near Stratonion Chalkidiki, Greece. Annal. Geol. Pays Hellen. 23, 297 – 300".

Perantonis, G.I. 1982, "Genesis of porphyry copper deposits in Chalkidiki peninsula and W. Thrace Greece, Ph. D. Thesis, Univ. Athens, 150p".

Sengor AMC, Satir M., Akkok R. 1984 "Timing of tectonic events in the Menderes Massif, western Turkey: implications for tectonic evolution and evidence for Pan – African Basement in Turkey". Tectonics 3: p. 693 – 707.

Skoog, Holler, Niemann *«Αρχές της ενόργανης ανάλυσης»,* εκδόσεις Κωσταράκης 2002

Χατζηιωάννου Θ.Π. & Κουππάρη Μ.Α. *«Ενόργανη ανάλυση»,* εκδόσεις πανεπιστημίου Αθηνών 2000, p. 588

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.