



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Γ. ΑΔΑΜΟΥΛΗΣ

Ο ΓΡΑΝΑΤΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2015

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Γ. ΑΔΑΜΟΥΛΗΣ

Ο ΓΡΑΝΑΤΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Καθηγητής Ανέστης Φιλιππίδης

© Βασίλειος Γ. Αδαμούλης
Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, 2015
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Ο ΓΡΑΝΑΤΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται στον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

1. Εισαγωγή	Σελ.2
2. Ορυκτολογία και προέλευση του γρανάτη	Σελ.3
3. Παγκόσμια παραγωγή και χρήσεις του γρανάτη	Σελ.10
4. Ο ρόλος του γρανάτη στην παγκόσμια οικονομία	Σελ.17
5. Προδιαγραφές και περιβαλλοντική προστασία	Σελ.20
6. Συμπεράσματα	Σελ.22
Βιβλιογραφία	Σελ.23

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διπλωματική αυτή εργασία συντάχτηκε στα πλαίσια του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών (Σ.Θ.Ε.) του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.) και του υποχρεωτικού μαθήματος Η' εξαμήνου με κωδικό GGN 873Y «Διπλωματική Εργασία» 6 Διδακτικές Μονάδες και 16 Ευρωπαϊκές Μονάδες – E.C.T.S.

Σκοπός της εργασίας είναι η ανάδειξη της οικονομικής σημασίας του φυσικού ορυκτού του γρανάτη στην παγκόσμια αγορά ορυκτών υλών. Πρόκειται για ένα ορυκτό με φυσικές και χημικές ιδιότητες που αναδεικνύουν την χρησιμότητά του ως εξαίρετο λειαντικό υλικό με βασικό γνώμονα την προστασία του περιβάλλοντος.

Οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, Γεώργιο Αδαμούλη και Ευαγγελία Υφαντή για την υπομονή, την αγάπη, την ψυχολογική στήριξη και γενικά για όλα αυτά που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια ως προπτυχιακός φοιτητής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Ανέστη Φιλιππίδη, Καθηγητή του Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας (Σ.Θ.Ε., Α.Π.Θ.), για την καθοδήγηση, την εμπιστοσύνη και τη στήριξή του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Θεσσαλονίκη Δεκέμβριος 2015.

Βασίλειος Γ. Αδαμούλης (Α.Ε.Μ. 4847)

2. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΓΡΑΝΑΤΗ

Το ορυκτό γρανάτης – που προέρχεται από τη λατινική λέξη *granatus* που σημαίνει *ρόδι*, *ροδιά* λόγω της ομοιότητας των κρυστάλλων στο σχήμα και το χρώμα με κόκκους ροδιού – έχει ιδιαίτερο ορυκτολογικό και ορυκτοχημικό ενδιαφέρον.

Οι γρανάτες αποτελούν ισόμορφες παραμειξίες ακραίων μελών ενός δισθενούς στοιχείου Α και ενός τρισθενούς στοιχείου Β με γενικό τύπο $A_3^{2+}B_2^{3+}(SiO_4)_3$. Το στοιχείο Α αντιπροσωπεύει μέταλλα όπως ασβέστιο (Ca), σίδηρο (Fe), μαγνήσιο (Mg) και/ή μαγγάνιο (Mn). Το στοιχείο Β αντιπροσωπεύει μέταλλα όπως αλουμίνιο (Al), χρώμιο (Cr), σίδηρο (Fe) και/ή μαγγάνιο (Mn), ενώ στους σπανιότερους γρανάτες συμμετέχουν και βανάδιο (V), τιτάνιο (Ti), ζirkόνιο (Zr) και/ή πυρίτιο (Si). Τα ορυκτά αυτά κρυσταλλώνονται στο κυβικό σύστημα και δομούνται από τρισθενικές ομάδες SiO_4 σε οκταεδρική διάταξη με τα δισθενή ιόντα να παρεμβάλλονται στα διάκενα του πλέγματος Si-Al.

Οι γρανάτες ανάλογα με τη χημική τους σύσταση χωρίζονται σε δύο βασικές ομάδες που περιλαμβάνουν συνολικά τα έξι πιο συνηθισμένα είδη γρανατών με σχεδόν παρόμοια φυσικά χαρακτηριστικά:

1) τους «πυραλσπίτες». Σε αυτήν την κατηγορία γρανατών ανήκουν το πυρωπό (pyrope) $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$, ο αλμανδίνης (almandine) $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$ και ο σπεςσαρτίνης (spessartine) $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$ (Φωτ. 2.1 - 2.3).

2) τους «ουγρανδίτες». Αυτή η κατηγορία γρανατών περιλαμβάνει τον ουβαροβίτη (uvarovite) $Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$, το γροσσουλάριο (grossular) $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$ και τον ανδραδίτη (andradite) $Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$ (Φωτ. 2.4 - 2.6).

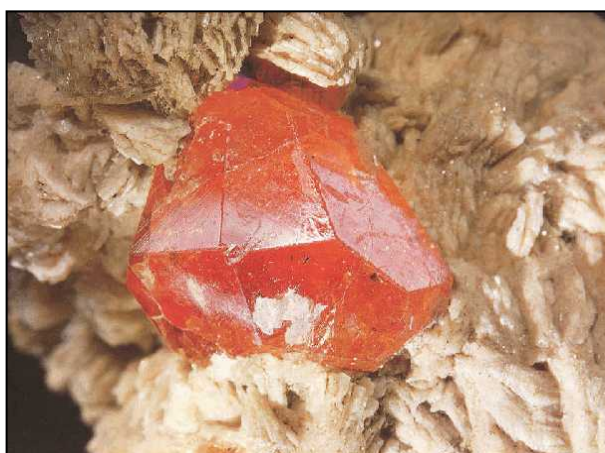
Επιπλέον, τα παραπάνω ορυκτά παρόλο που έχουν την ίδια κρυσταλλική δομή διαφέρουν ελάχιστα ως προς το χρώμα, τη σκληρότητα, την πυκνότητα και το δείκτη διάθλασης (Shtukenberg et al. 2001, Harben 2002, Locock 2008).



Φωτ. 2.1 Κρύσταλλοι πυρωπού σε πηγματίτη. Προέλευση: Novara, Ιταλία. (πηγή: <http://www.geo.auth.gr>)



Φωτ. 2.2 Αλμανδίνης. Προέλευση: Spruce Pine, North Carolina, Η.Π.Α. (πηγή: <http://www.geo.auth.gr>)



Φωτ. 2.3 Σπεςσαρτίνης σε αλβίτη. Προέλευση: Ορυχείο Ingle, Ramona, San Diego County, California, Η.Π.Α. (πηγή: <http://www.geo.auth.gr>)



Φωτ. 2.4 Ουβαροβίτης. Προέλευση: Marsh's Flat, California, Η.Π.Α. (πηγή: <http://www.geo.auth.gr>)



Φωτ. 2.5 Γροσσουλάριος. Προέλευση: Braxenbol, Νορβηγία. (πηγή: <http://www.geo.auth.gr>)



Φωτ. 2.6 Ανδραδίτης (αδαμαντοειδής). Προέλευση: Ορυχείο Green Fire, New Idria, California, Η.Π.Α. (πηγή: <http://www.geo.auth.gr>)

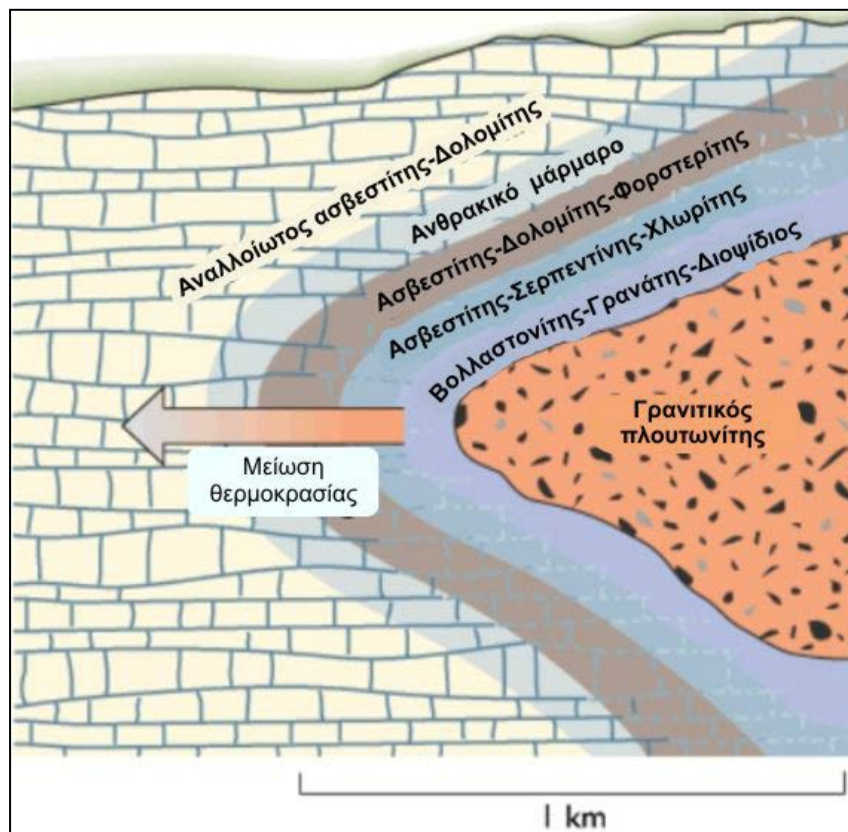
Οι γρανάτες ανήκουν στην κατηγορία των νησοφυρτικών ορυκτών. Έχουν υαλώδη, ρητινώδη όψη με πιο συνηθισμένο χρώμα το κόκκινο, καστανοκόκκινο και με κυρίως λευκή γραμμή σκόνης. Η σκληρότητα των γρανατών ποικίλει από 6 (στο γροσσουλάριο) έως 7.5 (στον αλμανδίνη) (κλίμακα Mohs) με ειδικό βάρος 3.5-4.3 gr/cm³. Το κρυσταλλικό σύστημα είναι κυβικό, συνήθως σαν ρομβικό δωδεκάεδρο ή τετραγωνικό τρις οκτάεδρο. Επίσης, εμφανίζουν ένα δυσδιάκριτο δωδεκαεδρικό σχισμό. Οι γρανάτες που έχουν ένα υψηλό ποσοστό Fe, όπως ο αλμανδίνης, τήκονται σε θερμοκρασίες περίπου 1.200°C. Αντίθετα, οι λευκοί γρανάτες που περιέχουν σημαντικό ποσοστό Cr είναι άτηκτοι.

Συναντώνται με τη μορφή αποστρογγυλεμένων κόκκων και κοκκώδων συσσωματωμάτων. Επιπρόσθετα, αλλοιώνονται προς τάλκη, χλωρίτη, σερπεντίνη, σκαπόλιθο, ασβεστίτη και λειμωνίτη.

Σε μικροσκοπική ανάλυση είναι αξιοσημείωτο ότι ορισμένοι γρανάτες παρουσιάζουν χαρακτηριστική ζώνωση η οποία οφείλεται στις διάφορες φυσικοχημικές μεταβολές που παρατηρούνται κατά την ανάπτυξη των κρυστάλλων. Η ζώνωση αυτών των γρανατών οφείλεται στις μεταβολές της σύστασης των ρευστών του συστήματος καθώς και στην κινητικότητα των ρευστών στις θέσεις ανάπτυξης των γρανατών. Το πώς θα αναπτυχθεί η ζώνωση καθορίζεται από τις συνθήκες πίεσης (P) και θερμοκρασίας (T), το pH καθώς και την αλατότητα του συστήματος (Jamtveit et al. 1995, Ivanova et al. 1998). Οι γρανάτες συνήθως εμφανίζονται ως ένα δευτερεύον ορυκτό σε μεγάλο πλήθος μεταμορφωμένων πετρωμάτων και πιο συγκεκριμένα σε γνευσίους και σχιστολίθους. Μάλιστα, επειδή αποτελούν ορυκτά ανθεκτικά στη χημική και μηχανική αποσάθρωση, έχουν την τάση να συγκεντρώνονται σε σημερινές άμμους και σε προϋπάρχουσες παραλίες (Wellborn 1994, Harben and Kuzvart 1997).

Ένα παράδειγμα όπου συναντάμε το ορυκτό αυτό είναι τα πετρώματα Skarn που σχηματίζονται κατά τη θερμική μεταμόρφωση ανθρακικών

πετρωμάτων που προκαλεί η διείσδυση ενός μαγματικού πετρώματος όπως συμβαίνει στη Μαρώνεια Ροδόπης στη Θράκη (Δορυφόρου 1990, Russell et al. 1999, Μάραντος και Κοσιάρης 2003, Σβώλης 2013). Έτσι, προκύπτουν πετρώματα διαφορετικής χημικής σύστασης και ιστού σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και επίδρασης ρευστών που προκύπτουν από τον πλουτωνίτη που διείσδυσε. Λόγω της θερμομεταμόρφωσης το πετρολογικό περιβάλλον κοντά στον διεισδυτικό πλουτωνίτη είναι θερμό ενώ γίνεται ψυχρότερο όσο απομακρυνόμαστε από τη μαγματική διείσδυση. Αποτέλεσμα της όλης διαδικασίας είναι η δημιουργία ζωνών θερμομεταμόρφωσης επαφής ποικίλου πάχους και τα ορυκτά που προκύπτουν χαρακτηρίζονται ως υψηλής θερμοκρασίας και χαμηλής πίεσης ορυκτά (Σχήμα 2.1).

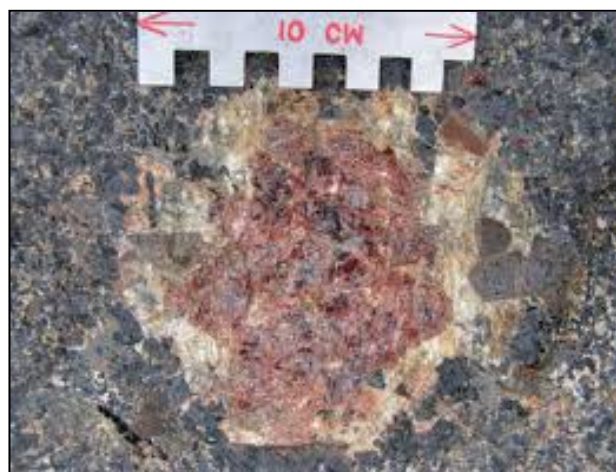


Σχήμα 2.1 Δημιουργία skarn με μείωση της θερμοκρασίας κατά την απομάκρυνση από τον πλουτωνικό όγκο και σχηματισμός των ποικίλων ορυκτολογικών παραγενέσεων σε περιμετρικές ζώνες. (πηγή: <http://www.geo.auth.gr>)

Επιπλέον, ο αλμανδίνης αποτελεί την πιο συνηθισμένη ποικιλία γρανάτη σε σχιστόλιθους, αμφιβολίτες και γνευσίους που σχηματίστηκαν από υψηλού βαθμού περιοχική μεταμόρφωση, όπως για παράδειγμα στις περιοχές Gore Mountain, Wingdale, Willsboro της Νέας Υόρκης (Η.Π.Α.) (Φωτ. 2.7) και στην περιοχή Shangxi Province (Κίνα). Η συμπεριφορά των ρευστών του σχιστόλιθου κάτω από την επίδραση τεκτονικών δυνάμεων διευκολύνει τη δημιουργία μίας καλοσχηματισμένης κρυσταλλικής δομής, ενώ στον περισσότερο τεκτονικά καταπονημένο γνεύσιο διαμορφώνονται διαταραγμένες κρυσταλλικές δομές.

Ο ανδραδίτης που σχηματίζεται σε πετρώματα τύπου Skarn εμφανίζεται περισσότερο εύθρυπτος λόγω φτωχής κρυσταλλικής δομής, θερμικών επεισοδίων και ανάδρομης μεταμόρφωσης (π.χ. Santa Fe County, Η.Π.Α. και Crystal Peak, Καναδάς) (Harben 2002).

Τέλος, γρανάτες εμφανίζονται και σε άλλα πετρώματα όπως πηγματίτες, εκλογίτες και σερπεντινίτες σε διάφορες περιοχές παγκοσμίως (π.χ. Jiangsu Province, Κίνα) (Coombs et al. 1977) (Φωτ. 2.8 - 2.9)



Φωτ. 2.7 Μεγα-κρύσταλλος γρανάτη (αλμανδίνη) σε αμφιβολίτη. Προέλευση: Barton Garnet Mine in the Adirondack Highlands, Gore Mountain, New York, U.S.A. (πηγή <http://www.geosphere.geoscienceworld.org>)



Φωτ. 2.8 Μικρο-κρύσταλλοι γρανάτη σε εκλογίτη. Προέλευση: Sanbagawa belt, Kochi City, Japan. (πηγή: <http://www.marum.de>)



Φωτ. 2.9 Κρύσταλλοι γρανάτη (αλμανδίνη) σε πηγματίτη. Προέλευση: Loch Garve, Garve, Rosshire, Scotland. (πηγή: <http://britgeoheritage.blogspot.gr>)

3. ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΓΡΑΝΑΤΗ

Η εκμετάλλευση και η εξόρυξη του βιομηχανικού ορυκτού «γρανάτη» είναι κατά βάση επιφανειακός. Πρωταρχικό ρόλο παίζει η ταξινόμηση των γρανατών σύμφωνα με το μέγεθος το οποίο καθορίζεται από τις τεχνικές εξόρυξης και την τελική χρήση (Austin 1994a,b).

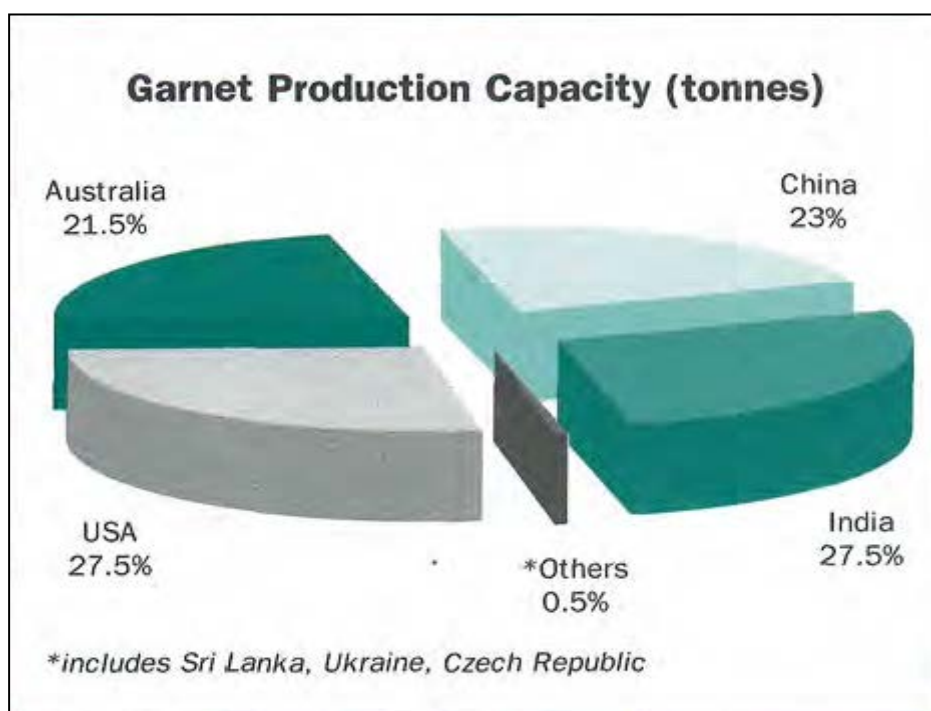
Αρχικά, τα κοιτάσματα υφίστανται θραύση με την χρήση κατάλληλων εκσκαφέων ή εκρηκτικών υλών. Τα υπερκείμενα μη εκμεταλλεύσιμα ιζηματογενή πετρώματα-σχηματισμοί (άμμοι, χαλίκια κ.τ.λ.) απομακρύνονται από το κυρίως κοίτασμα σχηματίζοντας μία κατάλληλη τάφρο διάνοιξης.

Οι μέθοδοι εμπλουτισμού (συμπύκνωσης) που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των στεírων από το κυρίως βιομηχανικό ορυκτό είναι ο εμπλουτισμός με τη βαρύτητα, η εκλεκτική επίπλευση και ο μαγνητικός διαχωρισμός. Κατά την πρώτη μέθοδο, ο διαχωρισμός του χρήσιμου ορυκτού (γρανάτη) γίνεται με διάφορα μέσα όπως αέρας, νερό, διαλύματα και με κατάλληλο εξοπλισμό όπως κινητές σκάφες, τράπεζες κ.ά. Με τη δεύτερη μέθοδο, που είναι και η πιο διαδεδομένη, έχουμε ταυτόχρονα διαχωρισμό και συμπύκνωση του βιομηχανικού ορυκτού. Στην τρίτη μέθοδο λαμβάνει χώρα ανύψωση της έντασης του μαγνητικού πεδίου με αποτέλεσμα να διαχωρίζονται τα διάφορα ορυκτά που φέρουν μαγνητικές ιδιότητες.

Έπειτα, ακολουθεί το στάδιο της επεξεργασίας δηλαδή το στάδιο κατεργασίας του συμπυκνώματος με διάφορες μεθόδους. Αρχικά, είναι χαρακτηριστικό ότι όλοι οι γρανάτες υπόκεινται σε θερμική επεξεργασία για τη βελτίωση της σκληρότητας. Αξίζει να αναφερθεί ότι μέχρι το 1960 επικρατούσε η άποψη ότι οι υψηλές θερμοκρασίες βοηθούσαν στην αύξηση της λειαντικότητας των γρανατών, όμως έρευνες έδειξαν ότι καταστρέφεται το πλέγμα σε αυτές τις θερμοκρασίες. Άλλες μέθοδοι επεξεργασίας που λαμβάνουν χώρα είναι μέθοδοι καθίζησης με νερό, ξήρανση, θερμικές και επιφανειακές επεξεργασίες και λείανση (Wellborn 1994, Kendall 1997).

Στην ειδική περίπτωση που ο γρανάτης έχει αλλουβιακή προέλευση, μπορεί να ταξινομηθεί σε πρώτη φάση με την χρήση φορητού κόσκινου περιστρεφόμενου βραχίονα στο λατομείο και να διαχωρισθεί περαιτέρω με ειδικά κόσκινα στο εργοστάσιο (Harben 2002).

Η παγκόσμια κατανομή του γρανάτη ανέρχεται σε 350.000 - 400.000 τόνους με τις κυριότερες χώρες παραγωγής να είναι οι Η.Π.Α., η Αυστραλία, η Ινδία και η Κίνα (Σχήμα 3.1). Οι κυρίαρχες εταιρίες στις Η.Π.Α. που εξορύσσουν και εκμεταλλεύονται τα κοιτάσματα γρανατών μέχρι και σήμερα είναι η «NYCO Div. of Processed Minerals», η «International Abrasives, Inc.» και η «Emerald Creek Garnet LTD». Οι εταιρίες αυτές έχουν κάνει επενδύσεις σε Αυστραλία και Ινδία και εισάγουν γρανάτες συγκεκριμένων προδιαγραφών, σε ότι αφορά το κοκκομετρικό μέγεθος, με σκοπό την εγχώρια παραγωγή (Wellborn 1994, Lueth 1996, Harben 2002).



Σχήμα 3.1 Παγκόσμια κατανομή της παραγωγής του γρανάτη (σε τόνους). (πηγή: Harben 2002)

Πιο συγκεκριμένα και σε ότι αφορά το διεθνές εμπόριο του γρανάτη, η Αυστραλία, η Ινδία και η Κίνα, κυρίως, εξάγουν το ορυκτό αυτό στις Η.Π.Α.,

στην Ευρώπη (συχνά μέσω της Ολλανδίας και της Γερμανίας), στην Ασία (κυρίως Ιαπωνία, Νότιος Κορέα και Ταϊβάν) και στη Μέση Ανατολή (συμπεριλαμβανομένων και των Ηνωμένων Αραβικών Εμιράτων) (Πίνακας 3.1). Για παράδειγμα, η εγχώρια παραγωγή των Η.Π.Α. στηρίζεται από εισαγωγές 25 έως 40 χιλιάδων τόνων γρανάτη από τους κυριότερους προμηθευτές σε αναλογία ποσοστών 65% από την Αυστραλία, 20% από την Ινδία και 15% από την Κίνα (Gorrill 1996, Harben 2002).

Πίνακας 3.1 Διεθνές εμπόριο του γρανάτη. Χώρες εξαγωγής (Exporters) και χώρες εισαγωγής (Importers). (πηγή: Harben 2002)

Garnet Trade	
Exporters	Importers
Australia	France
China	Germany
India	Japan
USA	S. Korea
S. Africa	Singapore
	Taiwan
	UAE
	UK
	USA

Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του γρανάτη είναι αυτές που καθορίζουν και τις εφαρμογές του. Ειδικότερα, η σκληρότητα, η θερμοκρασία τήξης, το ειδικό βάρος, το αδιάλυτο σε νερό υπό συγκεκριμένες συνθήκες κ.ά. καθορίζουν τις χρήσεις του ορυκτού αυτού (Τσιραμπίδης και Φιλιππίδης 2013).

Ένα από τα κυριότερα μέσα εφαρμογής του είναι η χρήση του ως λειαντικό (abrasive) (Andrews 1991). Η αιχμηρή υποκυκλική έως υπογωνιώδης μορφή, η ελάχιστη έως μηδενική περιεκτικότητα σε πυρίτιο, η τιμή πυκνότητας ίση με

140-150lb/ft³ και η υψηλή αντοχή σε φυσικές και χημικές μεταβολές καθιστούν το γρανάτη ως ένα υψηλής ποιότητας λειαντικό μέσο (Harben 2002).

Ο γρανάτης χρησιμοποιείται ευρύτατα σε συνεκτικά και επικαλυμμένα λειαντικά ψήγματα (bonded and coated abrasives). Τα συνεκτικά λειαντικά, που έχουν δεχθεί πίεση για να αποκτήσουν συνεκτικότητα, χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε τροχούς λείανσης. Γενικώς, τα ψήγματα αυτά ταξινομούνται σε κατηγορίες με βάση 5 φυσικές ιδιότητες: α) το είδος (π.χ. διαμάντι, γρανάτης κ.τ.λ.) β) το μέγεθος (από 8 μέχρι 1500 mesh) γ) τη σκληρότητα δ) τη δομή (δηλαδή τον αριθμό των ενδιάμεσων κενών) και ε) το είδος της συνεκτικότητας. Στα επικαλυμμένα λειαντικά το υλικό που προσδίδει συνεκτικότητα είναι κόλλα ή συνθετικό συγκολλητικό υλικό, ενώ το είδος της επικάλυψης είναι είτε σε χαρτί είτε σε ύφασμα (Wellborn 1994).

Τα λειαντικά προϊόντα είναι διαθέσιμα σε διάφορες μορφές όπως φύλλα, ρολά με διάφορα πλάτη, δίσκοι, ζώνες με ποικίλα μήκη και πλάτη και εργαλεία με ειδικά σχήματα. Τα λειαντικά αυτά περιλαμβάνουν αιχμηρούς κόκκους που κόβουν το ξύλο όπως ένα πριόνι. Παράδειγμα αποτελεί η χρήση των λειαντικών αυτών ψηγμάτων σε γυαλόχαρτο. Το γυαλόχαρτο ταξινομείται με βάση το «τριξίμο» (grit) το οποίο εκφράζει τον αριθμό των λειαντικών κόκκων ανά τετραγωνική ίντσα γυαλόχαρτου. Οι τιμές του κυμαίνονται από το πιο αδρόκοκκο έως το πιο λεπτόκοκκο ως εξής: 12, 16, 20, 24, 30, 36, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 150, 180, 220, 240, 280, 320, 360, 400, 500, 600, 800, 1.000, 1.200 και 1.500. Οι πιο συνηθισμένες τιμές τριξίματος είναι 40-60 (αδρόκοκκο), 80-120 (μέτριας κοκκομετρίας), 150-180 (λεπτόκοκκο), 220-240 (πολύ λεπτόκοκκο), 280-320 (πάρα πολύ λεπτόκοκκο), 360-600 (υπερ-λεπτόκοκκο). Η τιμή του τριξίματος εξαρτάται, βέβαια, από τον τύπο του υλικού (π.χ. ξύλου). Όσο πιο σκληρό είναι το υλικό τόσο μεγαλύτερου μεγέθους τριξίματος γυαλόχαρτο χρησιμοποιείται για τη λείανσή του (Harben 2002).

Επιπλέον, ο γρανάτης χρησιμοποιείται και σε λειαντικά ριπής αέρος (airblast abrasives) τα οποία έχουν ευρεία εφαρμογή στη ναυπηγική, σε επιστρώσεις με σκόνη, στον καθαρισμό σωληνώσεων και δεξαμενών των βιομηχανιών πετρελαίου, αερίου και πετροχημικών, σε βιομηχανίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κ.ά. (Andronikos et al. 2004). Όπως και στην περίπτωση του γυαλόχαρτου έτσι κι εδώ χρησιμοποιούνται γρανάτες ποικίλων κοκκομετρικών μεγεθών, από πολύ λεπτόκοκκα έως πολύ αδρόκοκκα μεγέθη.

Επίσης, οι γρανάτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε λειαντικές σκόνες ακριβείας (precision powders) που ποικίλουν σε κοκκομετρικό μέγεθος από 55μm έως 8μm. Οι σκόνες αυτές εφαρμόζονται σε ειδική λείανση και φινίρισμα προσόψεων και οθόνων τηλεοράσεων, καθώς και διάφορων οπτικών και υαλικών προϊόντων. Ακόμη, χρησιμοποιούνται σε στίλβωμα κεραμικών.

Άλλη μία εξίσου ενδιαφέρουσα χρήση του γρανάτη είναι σε κοπές υδροβολής (waterjet cutting). Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί πεπιεσμένο νερό (60.000 psi ή και παραπάνω) σαν ένα εργαλείο κοπής υψηλής δυναμικότητας και ακρίβειας. Έτσι, γίνεται η κοπή ατσαλιού, αλουμινίου, ξύλου, πλαστικού, γυαλιού, πέτρας, τσιμέντου, κεραμικού, σανίδας και διάφορων σύνθετων υλικών. Μάλιστα, η τεχνική αυτή έχει αρκετά πλεονεκτήματα όπως το ότι δεν παράγει θερμότητα ή σπίθες, το ότι δεν δημιουργεί μηχανικές τάσεις σε κεραμικά ή υλικά από μάρμαρο και το ότι δεν παράγονται σκόνη, ατμοί ή άλλα επικίνδυνα προϊόντα. Η πιο διαδεδομένη εμπορική χρήση σχετίζεται με την κοπή σε μεγέθη από ¼ έως 2 ίντσες. Όπως και στις προηγούμενες εφαρμογές, γίνεται χρήση γρανάτη διάφορων κοκκομετρικών μεγεθών (Πίνακας 3.2). Η τεχνική αυτή, επίσης, εφαρμόζεται στην αεροδιαστημική, στην αυτοκινητοβιομηχανία, στη μηχανική και στα δομικά υλικά.

Επιπρόσθετα, η εφαρμογή του γρανάτη σε συστήματα φιλτραρίσματος (filtration systems) είναι επίσης αρκετά διαδεδομένη. Τέτοια συστήματα αποτελούν τα φίλτρα νερού και βιομηχανικών αποβλήτων. Μια τυπική στρωμάτωση των υλικών ενός τέτοιου φίλτρου περιλαμβάνει από πάνω προς τα

κάτω τα εξής: ανθρακίτη με κοκκομετρικό μέγεθος 1.0-2.5mm, πυριτική άμμο μεγέθους 0.4-1.0mm, γρανάτη μεγέθους 0.2-0.6mm και 1.0-1.4mm και υπόστρωμα χαλικιών. Ο λόγος χρήσης του γρανάτη εμπίπτει στην αντίσταση στην φθορά κατά τη διάρκεια της βίαιης διαδικασίας της πλύσης.

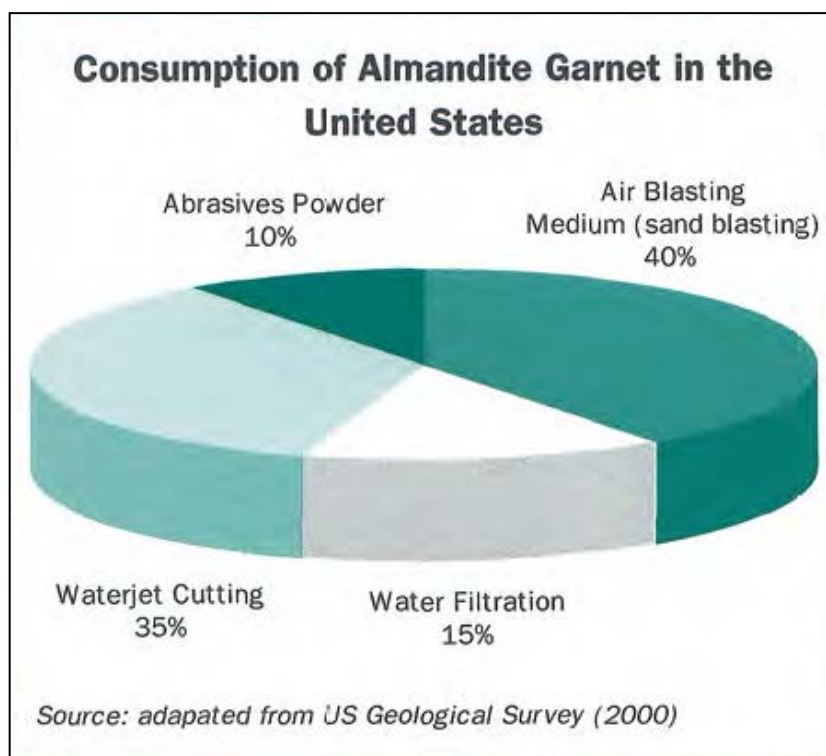
Grades of Waterjet Cutting Garnet					
G80			G120		
US Standard Sieve		Range Retained	US Standard Sieve		Range Retained
30mesh	(0.600mm)	0	70mesh	(0.212mm)	0-5
35	(0.500mm)	0-0.5	80	(0.180mm)	10-20
40	(0.425mm)	0-1.0	100	(0.150mm)	25-40
50	(0.300mm)	10-25	120	(0.125mm)	25-40
60	(0.250mm)	20-40	140	(0.106mm)	0-10
70	(0.212mm)	10-30	-140	(-0.106mm)	0-5
80	(0.180mm)	8-20			
100	(0.150mm)	5-15			
-100	(-0.150mm)	0-5			
Source: Sino Garnet					

Πίνακας 3.2 Κοκκομετρικά μεγέθη γρανάτη που χρησιμοποιείται σε κοπή υδροβολής με πρότυπο κόσκινο των Η.Π.Α. (US Standard Sieve), με τιμές τριξίματος 80 (G80) και 120 (G120). (πηγή: Harben 2002)

Ακόμη, χαμηλής ποιότητας ψήγματα γρανάτη μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αντλιοσθητικές επιφάνειες (non-skid surfaces) καταστρωμάτων γεφυρών, δρόμων, χώρων στάθμευσης οχημάτων κ.τ.λ.

Αντίθετα, υπάρχουν ποικιλίες γρανάτη που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ημιπολύτιμοι λίθοι (semiprecious gemstones) που έχουν διάφορα χρώματα όπως αλμανδίνης (ερυθροϊώδους χρώματος), ανδραδίτης (μαυροπράσινου χρώματος), γροσσουλάριος (ελαφρώς κιτρινωπού-πράσινου χρώματος), πυρωπό (ανοιχτού κόκκινου χρώματος), σπεςσαρτίνης (με πορτοκαλί-ροζ χρώμα) κ.τ.λ. Αυτοί οι γρανάτες έχουν υψηλούς δείκτες διάθλασης, είναι εξαιρετικά διαφανείς με ελκυστικά χρώματα, έχουν υψηλή σκληρότητα και ανθεκτικότητα χωρίς σχισμό (Harben 2002).

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.2) παρουσιάζεται ένα παράδειγμα των εφαρμογών του αλμανδίνη στις Η.Π.Α.



Σχήμα 3.2 Κυριότερες χρήσεις του αλμανδίνη στις Η.Π.Α. σε ποσοστιαία αναλογία επί τοις εκατό: 40% σε λειαντικά ριπής αέρος, 35% σε κοπή υδροβολής, 15% σε φίλτρα νερού και 10% σε σκόνη λειαντικών. (πηγή: Harben 2002)

4. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΓΡΑΝΑΤΗ ΣΤΗΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

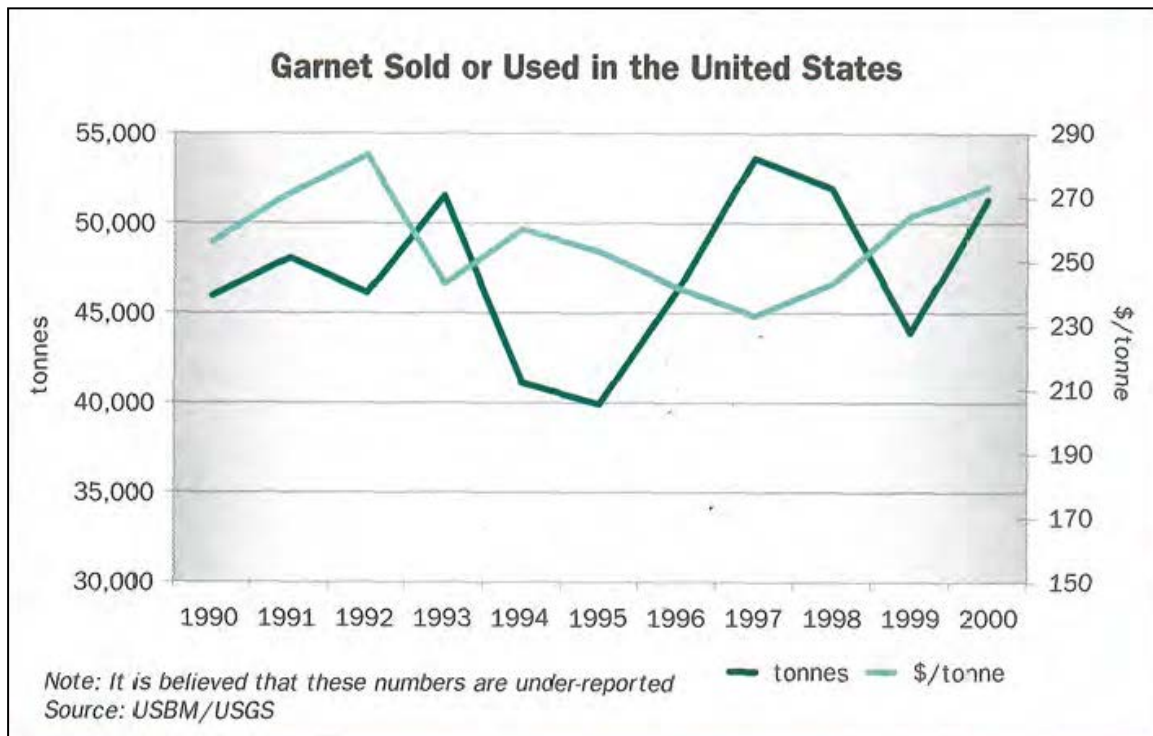
Η παραγωγή και εκμετάλλευση του γρανάτη είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον βιομηχανικό κλάδο. Σπουδαίο ρόλο στην παγκόσμια αγορά και οικονομία του γρανάτη διαδραματίζουν κυρίως οι κατασκευαστικές εταιρίες που παράγουν και διατηρούν προϊόντα από γυαλί και ατσάλι καθώς και εταιρίες που δραστηριοποιούνται στον τομέα της ναυπηγικής και των επισκευών.

Εξ' αιτίας της μεγάλης ποικιλίας των εμπορεύσιμων λειαντικών προϊόντων, η επιλογή του καταλληλότερου για κάθε εφαρμογή λειαντικού στηρίζεται στην τιμή παράδοσης. Η τιμή αυτή συσχετίζεται με άλλους παράγοντες όπως είναι η ικανότητα επαναχρησιμοποίησης του λειαντικού, ο απαιτούμενος χρόνος επεξεργασίας και καθαρισμού καθώς και η συμμόρφωση με τους τοπικούς κανονισμούς. Έτσι, λοιπόν, το ιδανικότερο λειαντικό προϊόν συνδυάζει την ελάχιστη δυνατή τιμή με τις καλύτερες δυνατές απαιτήσεις ποιότητας των πελατών και παράλληλα συμμορφώνεται στους Κανονισμούς Υγιεινής και Ασφάλειας Εργασίας (Occupational Health and Safety Regulations – O.H.&S. Regulations) (Olson 2001). Γενικά, οι τιμές και οι ποσότητες των προϊόντων αυτών μεταβάλλονται με τον χρόνο ανάλογα και την χώρα όπου χρησιμοποιούνται (Σχήμα 4.1) (Harben 2002).

Πιο συγκεκριμένα, η χρήση του γρανάτη ως επιλεγμένου, μεταξύ άλλων, λειαντικού σε κοπές υδροβολής αυξάνεται με γρήγορο ρυθμό όπως και οι εφαρμογές του σε πολλά είδη βιομηχανιών. Επιπλέον, η ζήτηση του γρανάτη εξαρτάται από τους ισχύοντες κανονισμούς. Σύμφωνα με αυτούς, μάλιστα, η χρήση της πυριτικής άμμου ως λειαντικού μέσου δεν προτείνεται ιδιαίτερα.

Επιπρόσθετα, η αύξηση του πληθυσμού, η αστικοποίηση και ο συνεχόμενος περιορισμός των υδάτινων αποθεμάτων στη σύγχρονη εποχή επιβάλλουν την χρήση περισσότερο εξελιγμένων και εξειδικευμένων συστημάτων φίλτρων. Επίσης, διευρύνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό ο ανταγωνισμός από άλλα προϊόντα και τα συστήματα φίλτρων έχουν

προβλεπόμενη διάρκεια ζωής 15-20 ετών κάτι που επηρεάζει τη συχνότητα των πωλήσεων. Μάλιστα, τα συστήματα φίλτρων που δεν χρησιμοποιούν φυσικά ορυκτά γίνονται όλο και περισσότερο δημοφιλή (Harben 2002).



Σχήμα 4.1 Διάγραμμα πωλήσεων/χρήσεων γρανάτη στις Η.Π.Α. τη δεκαετία 1990-2000 σε τόνους (πράσινη καμπύλη) και δολάρια ανά τόνο (γαλάζια καμπύλη). (πηγή: United States Bureau of Mines and United States Geological Survey – U.S.B.M. and U.S.G.S., Olson 2001, Harben 2002)

Η αγορά των λειαντικών προϊόντων γρανάτη λαμβάνει πιστοποιήσεις από εθνικούς οργανισμούς τυποποίησης (π.χ. American National Standards Institute), ομοσπονδιακές και κρατικές υπηρεσίες (π.χ. California EPA's Air Resources Board), στρατιωτικές υπηρεσίες (π.χ. United States Navy), τεχνικά συμβούλια (Steel Structures Painting Council) και διάφορους ενδιαφερόμενους ιδιώτες. Παρόλο που οι επεκτάσεις της παραγωγικής ικανότητας στα μέσα της δεκαετίας του '90 δημιούργησαν μία πληθώρα προϊόντων και μείωσαν τις τιμές, ο γρανάτης παραμένει ένα σχετικά ακριβό λειαντικό ιδιαίτερα όταν δεν ανακυκλώνεται η χρήση του.

Η μεταφορά και η συσκευασία των προϊόντων αυτών ακολουθεί συγκεκριμένες διαδικασίες. Μεταφέρονται μέσα σε χάρτινες σακούλες (με βάρη 50, 80 ή 100 λίβρες) αλλά και χύμα (με βάρη 2, 3 και 4 χιλιάδων λιβρών).

Είναι γεγονός ότι οι τιμές του γρανάτη ακολουθούν καθοδικές πορείες εξαιτίας της υπερπαραγωγής και κυρίως των πολύ αυξημένων εξαγωγών από την Ινδία. Μία ενδεικτική τιμή που αναφέρεται για την Ευρώπη είναι τα 200\$/τόνο σε ότι αφορά τα λειαντικά κοπής υδροβολής. Στην Αυστραλία σημειώνονται τιμές 100-190\$/τόνο, στην Ινδία 70-100\$/τόνο και στην Κίνα 120\$/τόνο. Ιδιαίτερα στις Η.Π.Α. σημειώνονται διάφορα εύρη τιμών ανάλογα με το επιθυμητό κοκκομετρικό μέγεθος ως εξής: 230-235\$/τόνο για 100, 150 και 250 mesh, 215-225\$/τόνο για 30, 50, 60 και 80 mesh, 200\$/τόνο για 36 mesh. Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι όσο πιο αδρόκοκκο γίνεται το επιθυμητό μέγεθος τόσο μειώνεται και η τιμή (Austin 1994a,b, Harris 2000, Harben 2002).

Μία γενικότερη διακύμανση τιμών γρανάτη (8-220 mesh) στις Η.Π.Α. παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.1). Παρατηρούνται σχετικά σταθερά εύρη τιμών τη δεκαετία 1990-2000.

Πίνακας 4.1 Διακύμανση τιμών του γρανάτη με κοκκομετρικά μεγέθη 8-220 mesh στις Η.Π.Α. τη δεκαετία 1990-2000. Τιμές σε \$/τόνο. (πηγή: Harben 2002)

Garnet Prices, 8-220 mesh, FOB USA (\$/tonne range)	
1990	160-220
1991	160-220
1992	160-220
1993	180-240
1994	180-240
1995	180-240
1996	180-240
1997	180-240
1998	180-240
1999	180-240
2000	180-240
<i>Source: Industrial Minerals, December issues</i>	

5. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Είναι γεγονός ότι κάθε βιομηχανική δραστηριότητα έχει άμεσο ή έμμεσο αντίκτυπο στο περιβάλλον και κατ' επέκταση στην υγεία του ανθρώπου. Το ίδιο ισχύει και με την εκμετάλλευση του γρανάτη και την χρήση των αντίστοιχων προϊόντων. Γι' αυτό και έχουν θεσπιστεί συγκεκριμένες προδιαγραφές ως προς τη σύσταση και το κοκκομετρικό μέγεθος των ορυκτών υλών έτσι ώστε να αποτρέπεται όσο το δυνατόν περισσότερο η ρύπανση του περιβάλλοντος και να μην επιβαρύνεται η ανθρώπινη υγεία.

Ειδικότερα, οι προδιαγραφές αυτές είναι άμεσα συνδεδεμένες με τους Κανονισμούς Υγιεινής και Ασφάλειας Εργασίας (O.H.&S. Regulations) που ορίζονται από τους αρμόδιους οργανισμούς τυποποίησης. Για παράδειγμα, στις Η.Π.Α. ένα λειαντικό θα πρέπει να έχει μικρή ή μηδενική ποσότητα πυριτίου (silica) και συγκεκριμένα ειδικά βάρη και κοκκομετρικά μεγέθη ανάλογα με την κάθε εφαρμογή έτσι ώστε να συμμορφώνεται με τους αντίστοιχους κανονισμούς προδιαγραφών που επιβάλλει το Αμερικανικό Εθνικό Ίδρυμα Προτυποποίησης (American National Standards Institute – A.N.S.I.), ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (International Organization for Standardization – I.S.O.) κ.τ.λ.

Πιο συγκεκριμένα, η σύσταση της παραγομένης σκόνης γρανάτη ως προς το πυρίτιο αποτελεί ένα πολύ σημαντικό περιβαλλοντικό θέμα. Ο Διεθνής Οργανισμός Ερευνών για τον Καρκίνο (International Agency for Research on Cancer – I.A.R.C.) κατηγοριοποιεί το κρυσταλλικό πυρίτιο (crystalline silica) ως 1^{ης} Τάξης (Class 1) καρκινογόνο και έτσι επιβάλλει ανώτατη αποδεκτή τιμή συγκέντρωσης στα βιομηχανικά ορυκτά και χημικά υλικά ίση με 1%. Παράλληλα, κάθε εργαζόμενος έχει το δικαίωμα να γνωρίζει και να συμμορφώνεται με τους κανονισμούς κατάρτισης των εργαζομένων και επισήμανσης των προϊόντων καθώς και με τους ενδεχόμενους κινδύνους

καρκινογένεσης από την χρήση των σχετικών υλικών. (Moore et al. 1998, Harben 2002).

Οι γρανάτες περιέχουν λιγότερο από 0.1% ελεύθερο SiO₂ καθώς και μηδενικές ποσότητες εκπλύσιμων βαρέων μετάλλων. Όμως, πρέπει να εξετάζονται και τα επίπεδα της ραδιενέργειας που εκπέμπεται ιδιαίτερα από τους γρανάτες που εξάγονται από κοιτάσματα βαρέων ορυκτών.

Επιπλέον, στις Η.Π.Α. η διαδικασία έκπλυσης χαρακτηρισμού τοξικότητας (Toxicity Characteristic Leaching Procedure – T.C.L.P. test) προσδιορίζει εάν ένα ρεύμα αποβλήτου αποτελεί επικίνδυνο και εάν απαιτείται ειδικός χειρισμός αυτού. Το τεστ αυτό μπορεί να γίνει και για τα απόβλητα από την επεξεργασία του γρανάτη.

Επιπρόσθετα, κατά περίπτωση εφαρμογής, χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα υποκατάστατα του γρανάτη. Αυτά αποτελούν κυρίως φυσικά ορυκτά όπως μαγνητίτης, αιματίτης, σταυρόλιθος, κορούνδιο, διατομίτης, νεφελίνη, άστριος, ολιβίνη, περλίτης, ιλμενίτης, διαμάντι, ελαφρόπετρα, σμυριδόπετρα κ.ά. Επίσης, χρησιμοποιούνται και άλλα πετρώματα και υλικά όπως συηνίτης, βωξίτης, άσβεστος, κυτταρίνη, αλουμίνιο, ατσάλι κ.τ.λ.

Ένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα του γρανάτη ως λειαντικού μέσου είναι ότι μπορεί να επανακτηθεί, να καθαριστεί, να μεταβληθεί το μέγεθός του και να επαναχρησιμοποιηθεί αρκετές φορές. Επίσης, ο μεγάλος κύκλος ζωής του που βασίζεται στην αποδοτική και αποτελεσματική ανακύκλωση αυτού δικαιολογεί τα αρχικά υψηλά κόστη αγοράς σε σχέση με τα άλλα ανταγωνιστικά λειαντικά φυσικά ορυκτά και υλικά (Harben 2002).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, ο γρανάτης αποτελεί ένα φυσικό ορυκτό με φυσικές και χημικές ιδιότητες που αναδεικνύουν τη σημασία του αλλά και την χρησιμότητά του σε αρκετές εφαρμογές. Τα ορυκτά της ομάδας του γρανάτη (πυρωπό, αλμανδίνης, σπεςσαρτίνης, ουβαροβίτης, γροσσουλάριος και ανδραδίτης) διαφέρουν ελάχιστα ως προς τις ιδιότητές τους και εμφανίζονται σε πληθώρα μεταμορφωμένων πετρωμάτων.

Επίσης, είναι γεγονός ότι η εκμετάλλευση των ορυκτών κοιτασμάτων γρανάτη λαμβάνει χώρα σε παγκόσμια κλίμακα με τη συμμετοχή διάφορων χωρών εξαγωγής και εισαγωγής. Η κυριότερη εφαρμογή του αποτελεί η χρήση του ως λειαντικού μέσου σε ποικίλες βιομηχανικές και άλλες εφαρμογές. Ακόμη και η χρήση του ως ημιπολύτιμου λίθου θεωρείται σίγουρα αξιόλογη.

Το ορυκτό αυτό διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια οικονομία με το κόστος να εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και να μεταβάλλεται συνεχώς ανάλογα με τη ζήτηση. Η θέσπιση συγκεκριμένων κανονισμών προδιαγραφών και η συμμόρφωση με αυτούς αποτελεί αδιαμφισβήτητο ένα εξαιρετο μέτρο προστασίας του περιβάλλοντος και κατ' επέκταση της ανθρώπινης υγείας.

Τέλος, η ανακύκλωση του γρανάτη συμβάλλει σίγουρα στη βιωσιμότητα της σύγχρονης και πολλά υποσχόμενης βιομηχανικής κοινωνίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνόγλωσση

- Δορυφόρου, Κ. (1990). Ο πλουτωνίτης της Μαρώνειας και η μεταμορφική του επίδραση στα περιβάλλοντα πετρώματα της φυλλιτικής σειράς. Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π.
- Μάραντος, Ι. και Κοσιάρης, Γ. (2003). Βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα στο χώρο της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης. Έρευνες, αποτελέσματα και προοπτικές. Πρακτικά Ημερ. Περιφ. Ανατ. Μακεδονίας-Θράκης, Ξάνθη.
- Σβώλης, Ζ. (2013). Ορυκτολογική και ορυκτοχημική μελέτη από τη ζώνη Skarn στη Μαρώνεια Ροδόπης, Θράκη. Διπλωματική Εργασία, Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
- Τσιραμπίδης, Α. και Φιλιππίδης, Α. (2013). Ορυκτοί Πόροι Ελλάδος: Αποθέματα και Αξία. Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Ξενόγλωσση

- Andrews, P.R.A. (1991). Summary Report No. 13: Major abrasives: Garnet, Industrial Diamond, Silicon Carbide and Fused Alumina. CANMET Rpt. 91-81 (R), 112p.
- Andronikos, G., Labrakis, D. and Kaliampakos, D. (2004). Evaluation of surface preparation alternatives for abrasive blast cleaning in ship repairing. Journal of Ship Production, Volume 20, Issue 1, 7-15.
- Austin, G.T. (1994a). Garnet in Industrial Minerals and Rocks. 6th ed., D.D. Carr, ed., SME, Littleton, CO, 523-533.
- Austin, G.T. (1994b). Blasting abrasives in the United States market. SME preprint no. 94-11, 9p.
- Coombs D.S., Kawachi Y., Houghton B.F., Hyden G., Pringle I.J. and Williams J.G. (1977). Andradite and Andradite-Grossular Solid Solutions in Very Low Grade Regionally Metamorphosed Rocks in Southern New Zealand. Geology Department, University of Otago, Dunedin, New Zealand, Contrib. Mineral. Petrol., 63.
- Gorrill, L.E. (1996). World garnet review supply and markets. In Proceedings, 12th Industrial Minerals International Congress, Chicago, Il., M.J. O' Driscoll, ed., 85-87.
- Harben, P.W., and Kuzvart, M. (1997). Garnet in Industrial Minerals: A Global Geology. Industrial Minerals Information Ltd., London, 186-192.

- Harben, P.W. (2002). The Industrial Minerals Handybook. A Guide to Markets, Specifications and Prices. 4th Edition, Industrial Minerals Informations, Park House, 3 Park Terrace, Worcester Park, Surrey, KT4 7HY, UK, 140-145.
- Harris, P. (2000). At the cutting edge – Abrasives & their markets. Industrial Minerals, no. 388, Jan., 19-27.
- Ivanova, T.I., Shtukenburg, A.G., Punin Yu., O., Frank-Kamenetskaya O. V. and Sokolov P.B. (1998). On the complex zonality in grandite garnets and implications. Department of crystallography, Saint-Petersburg State University, University Emb. 7/9, 199034 Saint-Petersburg, Russia. Mineralogical Magazine, December 1998, Vol. 62 (6), 857-868.
- Jamtveit, B., Vala Ragnarsdottir, Kr. and Wood Bernard, J. (1995). On the origin of zoned grossular-andradite garnets in hydrothermal systems. Stuttgart, Germany, 1399-1410.
- Kendall, T. (1997). Garnet – Nice work if you can get it. Industrial Minerals, no. 354, March, 31-41.
- Locock, A.J. (2008). An excel spreadsheet to recast analyses of garnet into end-member components, and a synopsis of the crystal chemistry of natural silicate garnets. Computer & Geosciences, 34, 1769-1780.
- Lueth, V.W. (1996). Garnet resource potential in southern New Mexico. In Proceedings, 31st Forum on the Geology of Industrial Minerals, G.S. Austin, G.K. Hoffman, J.M. Barker, J. Zidek, and N. Gilson, eds., New Mexico Bur. Mines and Mineral Resources Bull., 154, 137-146.
- Moore, M.A., Morrall, E.J., and Brown, R.C. (1998). Crystalline silica – Issues and impacts for industry. Industrial Minerals, no. 367, April, 109-117.
- Olson, D.W. (2001). Industrial Garnet. US Geol. Surv. Annual Review – 2000, 4p.
- Russell, J.K., Dipple, G.M., Lang, J.R. & Lueck B. (1999). Major-element discrimination of titanian andradite from magmatic and hydrothermal environments: an example from the Canadian Cordillera. Eur. J. Mineral., 11, 919-935.
- Shtukenberg, A.G., Punin, Yu.O., Frank-Kamenetskaya, O.V., Kovalev, O.G. & Sokolov, P.B. (2001). On the origin of anomalous birefringence in grandite garnets. Mineralogical Magazine, 65, 445-459.
- Wellborn, W.W. (1994). Industrial Minerals and Rocks, Abrasives. 67-79.

Ιστοσελίδες

<http://www.geo.auth.gr>

<http://www.geosphere.geoscienceworld.org>

<http://www.marum.de>

<http://britgeoheritage.blogspot.gr>