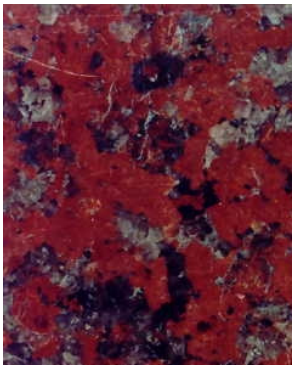
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ: ΟΡΥΚΤΟΙ ΠΟΡΟΙ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΠΑΥΛΙΔΟΥ ΣΟΦΙΑ

ΕΙΣΑΓΟΜΕΝΑ ΠΛΟΥΤΩΝΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΩΣ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ: ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ



ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2002

Εξεταστική Επιτροπή:

Κορωναίος Αντώνιος, Επίκουρος Καθηγητής

Χριστοφίδης Γεώργιος, Καθηγητής

Βαβελίδης Μιχαήλ, Καθηγητής

Αφιερώνεται στην οικογένειά μου
και στο Γιάννη

Περιεχόμενα

Πρόλογος 1

1. Εισαγωγή 4

2. Μέθοδοι έρευνας 6

2.1. Πολωτικό μικροσκόπιο -Εμβαδομετρήσεις 6

2.2. Σαρωτικό Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο (SEM) και μικροανάλυση με EDS ... 6

2.3. Φασματοφωτομετρία Ατομικής Απορρόφησης (AAS) 6

2.4. Φασματοσκοπία ακτίνων-γ 7

3. Πετρογραφία 9

3.1. Πετρογραφική ταξινόμηση 9

3.2. Χημική ταξινόμηση 17

4. Ορυκτολογία 22

4.1. Χαλαζίας 22

4.2. Άστριοι 22

4.3. Βιοτίτης 28

4.4. Αμφίβολοι 31

4.5. Πυρόξενοι 34

4.6. Ολιβίνης 37

4.7. Γρανάτης 38

4.8. Μοσχοβίτης – Σερικίτης 39

4.9. Τιτανίτης 40

4.10. Ζιρκόνιο 41

4.11. Απατίτης 41

4.12. Φθορίτης 41

4.13. Αλλανίτης 41

4.14. Μοναζίτης 41

4.15. Δευτερογενή ορυκτά 42

4.16. Μεταλλικά ορυκτά 43
5. Γεωχημεία 44
6. Ραδιενέργεια 47
6.1. Γενικά για τη ραδιενέργεια των πλουτωνικών πετρωμάτων 47
6.2. Ραδιενέργεια των δομικών πετρωμάτων 49
6.2.1. Δόση από ακτινοβολία 50
6.2.2. Υπολογισμός της απορροφούμενης δόσης και του δείκτη ενεργότητας στα δομικά υλικά 50
6.3. Αποτελέσματα φασματοσκοπίας ακτίνων-γ για τους γρανίτες του ελληνικού εμπορίου 53
7. Φυσικομηχανικές ιδιότητες 62
8. Συζήτηση – Συμπεράσματα 66
Βιβλιογραφία 72
Παράρτημα Α: Φωτογραφίες μακροσκοπικών δειγμάτων ..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**
Παράρτημα Β: Φωτογραφίες λεπτών τομών ..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Πρόλογος

Οι γρανίτες είναι όξινα πλουτωνικά πετρώματα που αποτελούνται κυρίως από αστρίους και χαλαζία, ενώ από τα φεμικά ορυκτά επικρατούν οι μαρμαρυγίες και οι αμφίβολοι και σπανιότερα οι πυρόξενοι. Τα πιο συνηθισμένα επουσιώδη ορυκτά των γρανιτών είναι: απατίτης, τιτανίτης, ζιρκόνιο, επίδοτο και αλλανίτης καθώς και μεταλλικά ορυκτά. Ως δευτερογενή ορυκτά απαντούν επίδοτο, ζοϊσίτης, χλωρίτης και ασβεστίτης.

Ο εμπορικός όρος γρανίτης περιλαμβάνει όχι μόνο τα γρανιτικά πετρώματα από πετρογραφικής άποψης, αλλά ένα ευρύ φάσμα συστάσεων στο οποίο συγκαταλέγονται όξινα έως βασικά πυριγενή πετρώματα, όπως για παράδειγμα γρανίτες, συηνίτες, μονζονίτες, ανδεσίτες, διορίτες, γάββροι, ανορθοσίτες, βασάλτες κ.ά., που χρησιμοποιούνται ως δομικά υλικά. Τα πυριγενή πετρώματα που έχουν μαύρο χρώμα αναφέρονται στο εμπόριο ως μαύροι γρανίτες. Στο εξής ο όρος γρανίτης θα χρησιμοποιείται με την εμπορική του έννοια.

Οι γρανίτες είναι υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα στο παρελθόν και τα τελευταία χρόνια η ζήτησή τους έχει αρχίσει να αυξάνεται όλο και περισσότερο σε σχέση με τα άλλα δομικά υλικά. Σήμερα η παγκόσμια παραγωγή γρανίτη βρίσκεται στα ίδια περίπου επίπεδα με την παραγωγή μαρμάρου. Πολλές χώρες, με κυριότερες τις Σκανδιναβικές, την Ιταλία, τη Νότια Αφρική, την Αργεντινή, τη Βραζιλία και την Ισπανία, εξορύσσουν γρανίτη και ανάλογα με την υποδομή σε καθεμιά από αυτές αλλά και με τη ζήτηση από το εξωτερικό, τον επεξεργάζονται και τον χρησιμοποιούν ή τον εξάγουν με διάφορες μορφές, π.χ. σε όγκους, πλάκες στιλβωμένες ή όχι, πλακίδια διαφόρων μεγεθών και τύπου επεξεργασίας κλπ.. Η Ιταλία εκτός από το ότι εξορύσσει γρανίτες ελέγχει και το διεθνές εμπόριο των γρανιτών, όπως και των μαρμάρων. Εισάγει γρανίτες από όλο τον κόσμο, τους επεξεργάζεται και στη συνέχεια τους εξάγει και πάλι σε ολόκληρο τον κόσμο (ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ, 1996).

Έτσι, ο γρανίτης είναι ένα υλικό με το οποίο ερχόμαστε σε επαφή σχεδόν καθημερινά. Από γρανίτη είναι κατασκευασμένες πολλές προσόψεις κτιρίων, δάπεδα, πάγκοι, τραπέζια κ.α., τόσο σε κοινόχρηστους χώρους όσο και σε ιδιωτικές κατοικίες.

Κρίνεται λοιπόν ενδιαφέρον αλλά και σκόπιμο να μελετηθεί το υλικό αυτό από ορυκτολογικής, πετρολογικής και γεωχημικής πλευράς, ώστε να γνωρίσουμε τι ακριβώς είναι αυτό που χρησιμοποιούμε και να κατανοήσουμε καλύτερα τις ιδιότητές του. Εξάλλου, οι φυσικομηχανικές ιδιότητες αποτελούν ένα πολύ σημαντικό κριτήριο για την επιλογή ενός γρανίτη, όπως και κάθε άλλου δομικού υλικού, σε μια κατασκευή. Ακόμη, είναι απαραίτητο να μετρώνται τα επίπεδα της φυσικής ραδιενέργειας των γρανιτών όπως και όλων των δομικών υλικών, ώστε να είναι βέβαιο ότι η εκάστοτε επιλογή κάθε υλικού για μια κατασκευή

δεν κρύβει κινδύνους για την υγεία των ανθρώπων οι οποίοι πρόκειται να τη χρησιμοποιήσουν.

Ειδικά για τη χώρα μας, όπου δε γίνεται εξόρυξη γρανίτη, η μελέτη όλων των παραπάνω χαρακτηριστικών, δηλαδή της ορυκτολογίας, πετρολογίας, γεωχημείας, ραδιενέργειας και φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των εισαγόμενων γρανιτών που κυκλοφορούν στο εμπόριο, μπορεί να παρέχει τη δυνατότητα σύγκρισης των επιμέρους ιδιοτήτων πιθανών εγχώριων ανταγωνιστικών προϊόντων με αυτές των ειδών που ήδη χρησιμοποιούνται. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτής θα μπορούσαν να αποτελέσουν ένα κριτήριο για τη μελλοντική επιλογή κάποιων ελληνικών γρανιτών για εκμετάλλευση.

Σκοπός της παρούσας εργασίας, που αποτελεί και τη διατριβή ειδίκευσής μου, είναι να συμβάλλει στους παραπάνω προβληματισμούς, που αφορούν στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τόσο των γρανιτών κυκλοφορούν στο εμπόριο όσο και των πιθανών μελλοντικών εγχώριων ανταγωνιστικών προϊόντων.

Ευχαριστώ θερμά το σύμβουλο καθηγητή μου Επίκουρο Καθηγητή Κορωναίο Αντώνιο καθώς και τα μέλη της συμβουλευτικής επιτροπής Καθηγητές Χριστοφίδη Γεώργιο και Βαβελίδη Μιχαήλ για τη βοήθεια και τη συνεργασία τους.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής του Α.Π.Θ. Παπαστεφάνου Κωνσταντίνο για τη συνεργασία του και για τις χρήσιμες συζητήσεις που είχα μαζί του. Χωρίς τη βοήθεια του κ. Παπαστεφάνου δε θα ήταν δυνατή η διεξαγωγή των μετρήσεων των επιπέδων της φυσικής ραδιενέργειας των δειγμάτων στο Εργαστήριο Ατομικής και Πυρηνικής Φυσικής του Τομέα Πυρηνικής Φυσικής και Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων του Τμήματος Φυσικής του Α.Π.Θ.. Ευχαριστώ θερμά το Δρ. Στούλο Στυλιανό, μέλος του Ειδικού Εργαστηριακού Διδακτικού Προσωπικού του ίδιου τμήματος για τη διεξαγωγή των μετρήσεων αυτών και για την πολύτιμη βοήθειά του στη θεωρητική μελέτη των σχετικών θεμάτων.

Ευχαριστώ τον Καθηγητή του Τμήματος Χημείας του Α.Π.Θ. Μισαηλίδη Παναγιώτη για την υπόδειξη βιβλιογραφίας σχετικής με θέματα ραδιενέργειας ορυκτών και πετρωμάτων.

Ευχαριστώ επίσης το Ειδικό Τεχνικό Εργαστηριακό Προσωπικό του Τομέα Ορυκτολογίας Πετρολογίας Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. και ειδικότερα τη Δρ. Κόταλη Ελβίρα για την πραγματοποίηση των χημικών αναλύσεων και τους κκ. Κατσίκα Δημήτριο και Μιχαηλίδη Γεώργιο για την κατασκευή των λεπτών και λεπτών στιλπνών τομών.

Ευχαριστώ τη Λέκτορα του Τμήματος Φυσικής του Α.Π.Θ. Παυλίδου Ελένη και την υποψήφια διδάκτορα του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. Παπαδοπούλου Λαμπρινή για τη βοήθειά τους στην ανάλυση των ορυκτών των δειγμάτων με μικροαναλυτή.

Ευχαριστώ την Ελληνική Εταιρία Γρανιτών για την παραχώρηση των δειγμάτων που μελετήθηκαν καθώς και αρκετών στοιχείων για αυτά. Ιδιαίτερα ευχαριστώ τους κκ. Μηνόπετρα Κωνσταντίνο και Παπαϊωάννου Γεώργιο για τη συνεργασία τους.

Τέλος, ευχαριστώ το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών για την οικονομική στήριξη που μου πρόσφερε, βοηθώντας έτσι στην ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

1. Εισαγωγή

Όλοι οι γρανίτες που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα ως δομικά υλικά είναι εισαγόμενοι. Στη χώρα μας δε γίνεται πουθενά εξόρυξη γρανίτη, αν και έχουν πραγματοποιηθεί κατά καιρούς έρευνες που δείχνουν ότι σε ορισμένες περιοχές, όπως π.χ. στο Πισοδέρι και στον Άγιο Γερμανό Φλώρινας, κάτι τέτοιο θα μπορούσε να επιχειρηθεί με συμφέροντες όρους (ΚΕΛΕΣΙΔΗΣ & ΤΣΟΜΠΟΣ, 1990). Ωστόσο υπάρχουν εταιρίες που εισάγουν γρανίτη κυρίως από την Ιταλία, συχνότερα με τη μορφή λειασμένων πλακών και τον διαθέτουν στο εμπόριο με τη μορφή πλακών διαφόρων βαθμών και τύπου επεξεργασίας (στίλβωση, αποστρογγυλοποίηση ακμών κλπ.). Μόνο η Ελληνική Εταιρία Γρανιτών και η εταιρία Μάρμαρα Παυλίδη, εισάγουν γρανίτη με τη μορφή όγκων, αφού αυτές διαθέτουν την κατάλληλη τεχνική υποδομή για να κόψουν τους όγκους αυτούς σε πλάκες, τις οποίες στη συνέχεια επεξεργάζονται.

Η Ελληνική Εταιρία Γρανιτών είναι, όπως ήδη αναφέρθηκε, η εταιρία που μας παραχώρησε τα δείγματα με τα οποία ασχοληθήκαμε στην παρούσα εργασία. Τα είδη των γρανιτών που κυκλοφορούν στο ελληνικό εμπόριο είναι πολλά. Ζητήθηκε λοιπόν από τους υπεύθυνους της εταιρίας να μας υποδείξουν αυτά που έχουν τη μεγαλύτερη ζήτηση στην ελληνική αγορά. Έτσι καταλήξαμε σε δεκαέξι είδη γρανιτών που εξορύσσονται σε διάφορες χώρες του κόσμου. Για καθένα από αυτά επιλέχθηκε ως δείγμα τυχαία μία ή δύο στιλβωμένες πλάκες από αυτές που διατίθενται στο εμπόριο, μεγέθους ικανού ώστε να δίνουν αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα κατά τη μελέτη τους, ανάλογα με την κοκκομετρία του κάθε είδους (μία ή δύο πλάκες διαστάσεων 20×40cm ή 40×30cm ή 40×40cm και πάχους 1cm). Ζητήσαμε ακόμη να πληροφορηθούμε τη χώρα προέλευσης, ενώ για την εύρεση της περιοχής εξόρυξης ανατρέξαμε σε πληροφορίες από το διαδίκτυο, αφού η εταιρία δε διέθετε την πληροφορία αυτή. Στον πίνακα 1.1 δίνονται τα εμπορικά ονόματα των γρανιτών με τους οποίους ασχοληθήκαμε, ο αριθμός και το μέγεθος των δειγμάτων, η χώρα προέλευσης που μας έδωσε η εταιρία και η περιοχή εξόρυξης για όσα είδη καταφέραμε να βρούμε την πληροφορία αυτή. Αντιπροσωπευτικές εικόνες των μακροσκοπικών δειγμάτων, δηλαδή των στιλβωμένων πλακών, δίνονται στις φωτογραφίες 1 έως 16 του παραρτήματος Α.

Όλα τα δείγματα μελετήθηκαν στον Τομέα Ορυκτολογίας Πετρολογίας Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. ως προς την ορυκτολογία, την πετρολογία και τη γεωχημεία τους, ενώ στο Εργαστήριο Ατομικής και Πυρηνικής Φυσικής του Τομέα Πυρηνικής Φυσικής και Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων του Τμήματος Φυσικής του Α.Π.Θ. μετρήθηκαν οι στάθμες της φυσικής ραδιενέργειας των δειγμάτων. Οι

φυσικομηχανικές ιδιότητές τους ζητήθηκαν από την Ελληνική Εταιρία Γρανιτών, η οποία διέθετε και μας έδωσε στοιχεία μόνο για τα δείγματα Blanco real (BR), Blanco crystal (BC) και Balmoral (BL). Έτσι, ανατρέξαμε και πάλι στο διαδίδκτυο για να συλλέξουμε όσο πιο πολλές πληροφορίες ήταν δυνατό.

Πίνακας 1.1. Εμπορικά ονόματα των δειγμάτων γρανιτών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, αριθμός και μέγεθος δειγμάτων, χώρα προέλευσης και περιοχή εξόρυξης κάθε δείγματος.

Α/Α	**Όνομα**	**Αριθμός και μέγεθος δειγμάτων**	**Χώρα προέλευσης**	**Περιοχή εξόρυξης**
1.	Salvatierra (SV)	2- 20×40cm	Ισπανία	-
2.	Rosa porrino (RP)	1- 20×x40cm	Ισπανία	Porrino - Galicia
3.	Blanco real (BR)	1- 20×40cm	Ισπανία	Pedras Salgadas
4.	Topazio (TP)	1- 20×40cm	Βραζιλία	-
5.	Yellow cecilia (YC)	1- 20×40cm	Βραζιλία	-
6.	Blanco crystal (BC)	1- 20×40cm	Ισπανία	Cadalso de los Vidrios, Madrid
7.	Napoleon (NP)	2- 20×40cm	Βραζιλία	-
8.	Balmoral (BL)	1- 20×40cm	Φιλανδία	Vehmaa
9.	African red (AR)	1- 20×40cm	Νότια Αφρική	Nothern Province, North West of Potgietersrus
10.	Multicolor (MC)	1- 40×30cm	Ινδία	-
11.	Baltic brown (BB)	1- 40×40cm	Φιλανδία	Ilamaa
12.	Gris perla (GP)	1- 20×40cm	Ισπανία	Villagarcia - Galicia
13.	Emerald (EM)	1- 20×40cm	Νορβηγία	-
14.	Marina pearl (MP)	1- 20×40cm	Νορβηγία	-
15.	Zimbabwe (ZB)	1- 20×40cm	Νότια Αφρική	North East of Mashonaland, North of Mutoko (Zimbabwe)
16.	Africa nero (AN)	1- 20×40cm	Νότια Αφρική	-

2. Μέθοδοι έρευνας

2.1. Πολωτικό μικροσκόπιο - Εμβαδομετρήσεις

Για τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης των δειγμάτων κατασκευάστηκαν αντιπροσωπευτικές λεπτές τομές για κάθε δείγμα, οι οποίες εξετάστηκαν στο πολωτικό μικροσκόπιο. Ειδικά για το δείγμα Multicolor (MC) κατασκευάστηκαν λεπτές τομές τόσο από την κοκκινωπή όσο και από την τεφρή περιοχή της πλάκας και ονομάστηκαν MC-A και MC-B αντίστοιχα.

Για την εύρεση της ορυκτολογικής σύστασης των δειγμάτων προκειμένου αυτή να χρησιμοποιηθεί εκτός των άλλων και για την πετρογραφική ταξινόμησή τους, έγινε χρήση της μεθόδου της εμβαδομέτρησης, σύμφωνα με την οποία η αναλογία κάθε ορυκτού στην επιφάνεια της λεπτής τομής είναι ανάλογη με την κατ' όγκο αναλογία του στο πέτρωμα. Στα δείγματα Salvatierra (SV), Rosa porrino (RP), Yellow cecilia (YC), Napoleon (NP), Baltic brown (BB) και Gris perla (GP), που έχουν πορφυροειδή ιστό, εμφανίζοντας κρυστάλλους αλκαλιούχων αστρίων που αναπτύσσονται σε σημαντικά μεγαλύτερο μέγεθος από τους κρυστάλλους των υπόλοιπων ορυκτών, έγινε εμβαδομέτρηση αρχικά στα μακροσκοπικά δείγματα, κατόπιν στις λεπτές τομές και ακολούθως αναγωγή των αποτελεσμάτων της εμβαδομέτρησης των λεπτών τομών, ώστε να υπολογιστεί η πραγματική ορυκτολογική σύσταση.

2.2. Σαρωτικό Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο (SEM) και μικροανάλυση με EDS

Για τη χημική ανάλυση των ορυκτών των δειγμάτων κατασκευάστηκαν λεπτές στιλπνές τομές οι οποίες στη συνέχεια επανθρακώθηκαν. Χρησιμοποιήθηκε Σαρωτικό Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο (Scanning Electron Microscope, SEM) τύπου JEOL JSM 840 στο οποίο είναι ενσωματωμένο Σύστημα Διασποράς Ενέργειας (Energy Dispersive System, EDS) τύπου LINK-AN 10000.

2.3. Φασματοφωτομετρία Ατομικής Απορρόφησης (AAS)

Για τη χημική ανάλυση κύριων στοιχείων και επιλεγμένων ιχνοστοιχείων χρησιμοποιήθηκε η Φασματοφωτομετρία Ατομικής Απορρόφησης (Atomic Absorption Spectrometry, AAS).

Οι πλάκες των δειγμάτων θρυμματίστηκαν και κονιοποιήθηκαν ώστε να παραχθεί αναφής σκόνη σε τέτοιο ποσοστό ώστε το δείγμα να είναι αντιπροσωπευτικό. Δείγμα αυτής της σκόνης λήφθηκε και προξηράνθηκε στους 105°C για μία νύχτα.

Για τον προσδιορισμό των κύριων στοιχείων (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na και K) με τη μέθοδο της Φασματοφωτομετρίας Ατομικής Απορρόφησης (AAS), τα δείγματα διαλυτοποιήθηκαν με τη χρήση μίγματος υδροφθορικού (HF) και πυκνού θειϊκού (H_2SO_4) οξέος. Οι διαλυτοποιήσεις έγιναν σε αυτόκλειστα δοχεία (βόμβες), καθένα από τα οποία αποτελείται από ένα εσωτερικό δοχείο teflon με καπάκι, τοποθετημένο σε ένα μεταλλικό δοχείο-περίβλημα που κλείνει ερμητικά και διαθέτει βαλβίδα ασφαλείας (ΚΟΤΑΛΗ, 2001).

Για τον προσδιορισμό χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης Perkin-Elmer 5000. Οι λυχνίες ήταν καθοδικές λυχνίες της Perkin-Elmer. Για τα στοιχεία Si, Ti και Al χρησιμοποιήθηκε φλόγα ακετυλενίου (C_2H_2) - πρωτοξειδίου του αζώτου (N_2O) ενώ για τα υπόλοιπα στοιχεία φλόγα ακετυλενίου (C_2H_2) - αέρα. Ο προσδιορισμός του P έγινε φωτομετρικά.

Για τον προσδιορισμό της απώλειας πύρωσης ποσότητες δείγματος 1,0 έως 1,5 γραμμαρίων θερμάνθηκαν στο φούρνο στους 1050°C για δύο ώρες.

Η διαλυτοποίηση για τον προσδιορισμό των ιχνοστοιχείων Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Rb, Sr και Zn, έγινε με τη χρήση μίγματος πυκνών οξέων, νιτρικού (HNO_3), υπερχλωρικού ($HClO_4$) και υδροφθορικού (HF), σε ανοιχτό δοχείο teflon και σε αυτόκλειστα δοχεία (βόμβες), ίδια με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν και στη διαλυτοποίηση για προσδιορισμό των κύριων στοιχείων. Χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός μεθόδων, με μερικές τροποποιήσεις (ΚΟΤΑΛΗ, 1999).

Οι μετρήσεις των ιχνοστοιχείων έγιναν με φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης Perkin-Elmer 5000. Χρησιμοποιήθηκαν καθοδικές λυχνίες της Perkin-Elmer για τα ιχνοστοιχεία Co, Cu, Ni και Sr, ενώ για το Rb και τον Zn χρησιμοποιήθηκαν λυχνίες electrodeless της Perkin-Elmer. Ακόμη, χρησιμοποιήθηκε φλόγα ακετυλενίου (C_2H_2) - αέρα για όλα τα ιχνοστοιχεία εκτός από το Ba, για τον προσδιορισμό του οποίου χρησιμοποιήθηκε φλόγα ακετυλενίου (C_2H_2) - πρωτοξειδίου του αζώτου (N_2O).

2.4. Φασματοσκοπία ακτίνων-γ

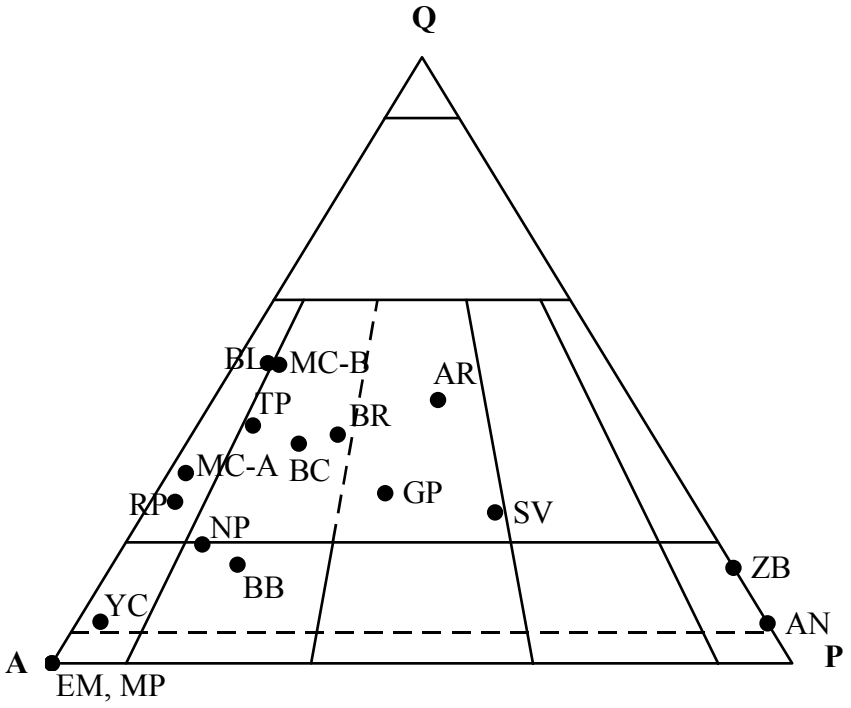
Για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των φυσικών ραδιενεργών ισοτόπων (K^{40} και τα προϊόντα των ραδιενεργών σειρών U^{238}, U^{235} και Th^{232}) των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της φασματοσκοπίας ακτίνων-γ. Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται η συγκέντρωση ενός συγκεκριμένου ραδιοϊσοτόπου με βάση τις ακτίνες-γ που εκπέμπονται αμέσως μετά την άλφα ή βήτα διάσπασή του, ακολουθώντας τη διαδικασία αποδιέγερσης του θυγατρικού πυρήνα. Ο ανιχνευτής του συστήματος που χρησιμοποιήθηκε

ήταν ανιχνευτής στερεάς κατάστασης υπερκαθαρού Γερμανίου (High Purity Ge Detector) με την αντίστοιχη μονάδα τροφοδοσίας υψηλής τάσης (~3kV).

3. Πετρογραφία

3.1. Πετρογραφική ταξινόμηση

Όπως προκύπτει από τη μακροσκοπική και μικροσκοπική παρατήρηση, όλα τα δείγματα εμφανίζουν ολοκρυσταλλικό ιστό, είναι δηλαδή πλουτωνικά πετρώματα. Για την ταξινόμηση των δειγμάτων με βάση την ορυκτολογική τους σύσταση χρησιμοποιήθηκε το τριγωνικό διάγραμα Q-A-P (I.U.G.S., 1973). Έτσι, μετά από αναγωγή της πραγματικής ορυκτολογικής σύστασης, όπως αυτή προκύπτει από την εμβαδομέτρηση, σε μια σύσταση που περιλαμβάνει τα σαλικά ορυκτά χαλαζίας–αλκαλιούχος άστριος–πλαγιόκλαστο και προβολή των επί τοις εκατό αναλογιών των τελευταίων στο τριγωνικό διάγραμμα Q-A-P, προσδιορίζεται ο πετρογραφικός τύπος κάθε δείγματος. Στον πίνακα 3.1 δίνονται η ορυκτολογική σύσταση κάθε δείγματος όπως αυτή προκύπτει από την εμβαδομέτρησή του και το όνομα του πετρώματος όπως προκύπτει από την προβολή στο τριγωνικό διάγραμμα Q-A-P, η οποία φαίνεται στο σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1. Προβολή της ορυκτολογικής σύστασης των μελετηθέντων δειγμάτων στο τριγωνικό διάγραμμα Q-A-P (I.U.G.S., 1973).

Πίνακας 3.1. Ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων και τύπος πετρώματος με βάση την πετρογραφική ταξινόμηση I.U.G.S. (1973).

Α/Α	Όνομα	Ορυκτολογική σύσταση %										Τύπος πετρώματος
		Qz	Pl	A-F	Bi	Amph	Opx	Cpx	Ol	Grt	Επουσιώδη	
1.	Salvatierra (SR)	22,1	42,1	24,5	8,7	-	-	-	-	-	(Tit, Zr, Al, Chl) 2,6	βιοτιτικός γρανίτης
2.	Rosa porrino (RP)	25,7	3,2	67,5	2,7	-	-	-	-	-	(Zr, Al, Chl) 0,9	βιοτιτικός αλκαλιγρανίτης
3.	Blanco real (BR)	36,7	19,2	41,3	1,7	-	-	-	-	-	(Mu, Zr, Ap, Chl) 1,1	γρανίτης
4.	Topazio (TP)	38,3	7,4	51,9	0,8	-	-	-	-	1,0	(Zr, Ac) 0,5, αδ 0,2	γρανίτης
5.	Yellow cecilia (YC)	6,4	2,9	84,0	4,8	-	-	-	-	1,3	(Zr, Sil) 0,6	χαλαζιακός αλκαλισυηνίτης
6.	Blanco crystal (BC)	35,4	14,9	47,3	1,3	-	-	-	-	-	(Tit, Zr, Chl) 1,1	γρανίτης
7.	Napoleon (NP)	16,6	8,9	59,0	8,1	-	-	-	-	5,5	(Mu, Zr) 1,9	βιοτιτικός χαλαζιακός συηνίτης
8.	Balmoral (BL)	44,0	3,9	40,9	10,1	-	-	-	-	-	(Mu, Zr, Ap, Fl, Mz, Ep, Chl) 1,1	αλκαλι γρανίτης
9.	African red (AR)	40,3	28,2	24,2	-	-	-	-	-	-	Zr 0,2%, Chl 7,1	γρανίτης
10.	Multicolor (MC)	A. 30,5 B. 45,4	A. 2,3 B. 5,6	A. 64,3 B. 41,1	A. 2,2 B. 7,8	-	-	-	-	-	A. (Mu, Zr, Ap, Chl) 0,7 B. (Tit, Zr, αδ) 0,1	A. αλκαλιγρανίτης B. βιοτιτικός γρανίτης
11.	Baltic brown (BB)	15,7	16,3	64,3	2,0	1,7	-	-	-	-	(Zr, Ap, αδ) 0,1	χαλαζιακός συηνίτης
12.	Gris perla (GP)	27,2	30,0	39,6	2,4	0,7	-	-	-	-	(Tit, Zr, Ap, Al, Ep, Chl) 0,1	γρανίτης
13.	Emerald (EM)	-	-	87,1	8,9	2,0	-	0,6	-	-	Ap 0,8, αδ 0,6,	βιοτιτικός αλκαλισυηνίτης
14.	Marina pearl (MP)	-	-	90,3	2,1	-	-	4,5	1,5	-	(Zr, Ap, Al, Ep) 0,4, αδ 1,2	αλκαλισυηνίτης
15.	Zimbabwe (ZB)	6,6	35,3	-	-	-	28,7	26,3	-	-	αδ 3,1	χαλαζιακός γάββρος
16.	Africa nero (AN)	4,5	63,4	-	-	-	2,2	29,9	-	-	-	χαλαζιακος γάββρος

Qz = χαλαζίας, Pl = πλαγιόκλαστο, A-F = αλκαλιούχος άστριος, Bi = βιοτίτης, Amph = αμφίβολος, Opx = ορθοπυρόξενος, Cpx = κλινοπυρόξενος, Ol = ολιβίνης, Mu = μοσχοβίτης, Tit = τιτανίτης, Zr = ζιρκόνιο, Ap = απατίτης, Fl = φθορίτης, Al = αλλανίτης, Mz = μοναζίτης, Ep = επίδοτο, Ac = ακτινόλιθος, Sil = σιλλιμανίτης, Chl = χλωρίτης, αδ = αδιαφανή

Το δείγμα Salvatierra (SV) είναι αδρόκοκκο, πορφυροειδές, με ορισμένους κρυστάλλους αλκαλιούχων αστρίων να αναπτύσσονται σε μεγαλύτερο βαθμό από τους άλλους κρυστάλλους, έτσι που το μέσο μήκος τους κυμαίνεται από 1 ως 3 περίπου εκατοστά. Το χρώμα των στιλβωμένων πλακών του δείγματος είναι ανοιχτό καστανό έως ρόδινο (Παράρτημα Α, Φωτ.1). Η ορυκτολογική του σύσταση είναι 22,1% χαλαζίας, 42,1% πλαγιόκλαστο, 24,5% μικροκλινής, 8,7% βιοτίτης και 2,6% τιτανίτης, ζιρκόνιο, αλλανίτης και χλωρίτης. Όπως προκύπτει από την προβολή στο διάγραμμα Q-A-P το δείγμα αυτό είναι βιοτιτικός γρανίτης. Στους αλκαλιούχους αστρίους εμφανίζονται περθίτες (Παράρτημα Β, Φωτ. 1). Επίσης, ορισμένοι κρύσταλλοι πλαγιοκλάστων εμφανίζουν ζώνωση. Ο βιοτίτης είναι καστανός, έντονα χλωριτιωμένος και με πλεοχροϊκές άλω λόγω ζιρκονίου (Παράρτημα Β, Φωτ. 2). Το ζιρκόνιο εμφανίζεται με τη μορφή τόσο μικρών όσο και μεγάλων και καλοσχηματισμένων κρυστάλλων, σε σύγκριση με τα υπόλοιπα πρωτογενή ορυκτά του δείγματος. Η καολινίωση των αλκαλιούχων αστρίων φτάνει το 40% ενώ τα πλαγιόκλαστα είναι καολινιωμένα και σερικιτιωμένα σε ποσοστό 70%.

Το δείγμα Rosa porrino (RP) είναι αδρόκοκκο, με πορφυροειδή ιστό, με κρυστάλλους αλκαλιούχων αστρίων να αναπτύσσονται σε μεγαλύτερο βαθμό από τους άλλους κρυστάλλους. Το χρώμα της στιλβωμένης πλάκας είναι ρόδινο (Παράρτημα Α, Φωτ.2). Αποτελείται από 25,7% χαλαζία, 3,2% πλαγιόκλαστο, 67,5% μικροκλινή, 2,7% βιοτίτη και 0,9% αλλανίτη, ζιρκόνιο και χλωρίτη. Η προβολή στο διάγραμμα Q-A-P δείχνει ότι το δείγμα Rosa porrino (RP) ταξινομείται ως βιοτιτικός αλκαλιγρανίτης. Οι αλκαλιούχοι άστριοι εμφανίζονται καολινιωμένοι σε ποσοστό 30% ενώ είναι εμφανής η σερικιτίωση των πλαγιοκλάστων σε ποσοστό περίπου 20% (Παράρτημα Β, Φωτ. 3). Οι μικροκλινείς είναι περθιτιωμένοι. Οι βιοτίτες είναι καστανοί έως καστανοκίτρινοι, είναι χλωριτιωμένοι και παρατηρούνται σε αυτούς πλεοχροϊκές άλω λόγω κρυστάλλων ζιρκονίου. Επίσης, είναι χαρακτηριστικοί οι καλοσχηματισμένοι κρύσταλλοι του αλλανίτη (Παράρτημα Β, Φωτ. 4).

Το δείγμα Blanco real (BR) είναι μεσόκοκκο έως αδρόκοκκο και οι στιλβωμένες πλάκες του είναι λευκού χρώματος (Παράρτημα Α, Φωτ.3). Αποτελείται από 36,7% χαλαζία, 19,2% πλαγιόκλαστο, 41,3% μικροκλινή, 1,7% βιοτίτη και 1,1% μοσχοβίτη, ζιρκόνιο, απατίτη και χλωρίτη. Το δείγμα αυτό πετρογραφικά ταξινομείται στην ομάδα των γρανιτών. Σε ορισμένες θέσεις παρατηρείται μυρμηκιτική σύμφυση και τα πλαγιόκλαστα εμφανίζουν μερικές φορές ζωνώδη ανάπτυξη (Παράρτημα Β, Φωτ. 5). Ο βιοτίτης είναι καστανός, εμφανίζει πλεοχροϊκές άλω λόγω ζιρκονίου και σε ορισμένες θέσεις είναι χλωριτιωμένος (Παράρτημα Β, Φωτ. 6). Οι άστριοι εμφανίζονται καολινιωμένοι σε ποσοστό 40% και τα πλαγιόκλαστα σερικιτιωμένα κατά 30%.

Το δείγμα Topazio (TP) είναι αδρόκοκκο. Οι στιλβωμένες πλάκες του εμφανίζουν κίτρινο έως ανοιχτό καστανό χρώμα, ενώ είναι ορατοί μακροσκοπικά οι διάσπαρτοι κρύσταλλοι των γρανατών με σκούρο βυσσινί χρώμα (Παράρτημα Α, Φωτ.4). Αποτελείται από 38,3% χαλαζία, 7,4% πλαγιόκλαστο, 51,9% ορθόκλαστο, 0,8% βιοτίτη, 1,0% γρανάτη, 0,5% ακτινόλιθο και ζιρκόνιο και 0,2% αδιαφανή ορυκτά. Πετρογραφικά ταξινομείται στην ομάδα των γρανιτών. Το ορθόκλαστο είναι έντονα περθιτιωμένο και το μέγεθος των περθιτών πολύ μικρό (Παράρτημα Β, Φωτ. 7). Ο βιοτίτης είναι καστανός έως καστανοκίτρινος και μερικές φορές εγκλείει ζιρκόνια με αποτέλεσμα να εμφανίζει πλεοχροϊκές άλω (Παράρτημα Β, Φωτ. 8). Οι αλκαλιούχοι άστριοι εμφανίζονται καολινιωμένοι σε μικρό βαθμό (10%) ενώ τα πλαγιόκλαστα είναι σερικιτιωμένα κατά 20%.

Το δείγμα Yellow cecilia (YC) είναι αδρόκοκκο, πορφυροειδές, με ορισμένους αλκαλιούχους αστρίους να αναπτύσσονται σε κρυστάλλους με σημαντικά μεγαλύτερο μέγεθος από αυτό των κρυστάλλων των υπόλοιπων ορυκτών. Το χρώμα των στιλβωμένων πλακών του δείγματος αυτού είναι κίτρινο, ενώ ξεχωρίζουν με γυμνό μάτι οι κρύσταλλοι των γρανατών με σκούρο βυσσινί χρώμα (Παράρτημα Α, Φωτ.5). Η ορυκτολογική του σύσταση είναι 6,4% χαλαζίας, 2,9% πλαγιόκλαστο, 84,0% ορθόκλαστο, 4,8% βιοτίτης, 1,3% γρανάτης και 0,6% ζιρκόνιο και σιλλιμανίτης. Η προβολή στο διάγραμμα Q-A-P τον κατατάσσει στους χαλαζιακούς αλκαλισυηνίτες. Παρατηρούνται περθίτες στο ορθόκλαστο και αντιπερθίτες στα πλαγιόκλαστα (Παράρτημα Β, Φωτ. 9), ενώ σε ορισμένες θέσεις υπάρχει μυρμηκιτική σύμφυση. Ο βιοτίτης είναι καστανός έως καστανοκόκκινος και εμφανίζει πλεοχροϊκές άλω λόγω ζιρκονίου (Παράρτημα Β, Φωτ. 10). Οι αλκαλιούχοι άστριοι του δείγματος αυτού είναι καολινιωμένοι σε ποσοστό 15%, ενώ παρατηρείται και σερικιτίωση σε μικρό ποσοστό (περίπου 5%).

Το δείγμα Blanco crystal (BC) είναι μεσόκοκκο έως αδρόκοκκο και οι στιλβωμένες πλάκες του εμφανίζονται λευκές (Παράρτημα Α, Φωτ.6). Η ορυκτολογική του σύσταση είναι 35,4% χαλαζίας, 14,9% πλαγιόκλαστο, 47,3% ορθόκλαστο, 1,3% βιοτίτης και 1,1% τιτανίτης, ζιρκόνιο και χλωρίτης. Πετρογραφικά ταξινομείται στην ομάδα των γρανιτών. Το ορθόκλαστο εμφανίζει περθίτες (Παράρτημα Β, Φωτ. 11). Ο βιοτίτης είναι καστανός έως καστανοκόκκινος και παρατηρείται σε αυτόν χλωριτίωση, αποχρωματισμός και πλεοχροϊκές άλω λόγω κρυστάλλων ζιρκονίου (Παράρτημα Β, Φωτ. 12). Το ορθόκλαστο είναι καολινιωμένο κατά 60% ενώ η σερικιτίωση των πλαγιοκλάστων φτάνει το 50%.

Το δείγμα Napoleon (NP) είναι αδρόκοκκο και οι στιλβωμένες πλάκες του εμφανίζουν κίτρινο χρώμα, με τους κρυστάλλους των γρανατών, που έχουν σκούρο βυσσινί χρώμα, να ξεχωρίζουν μακροσκοπικά (Παράρτημα Α, Φωτ.7). Η ορυκτολογική του σύσταση, όπως αυτή προκύπτει από την εμβαδομέτρηση, είναι 16,6% χαλαζίας, 8,9% πλαγιόκλαστο, 59,0%

μικροκλινής, 8,1% βιοτίτης, 5,5% γρανάτης και 1,9% επουσιώδη ορυκτά όπως μοσχοβίτης και ζιρκόνιο. Το δείγμα ταξινομείται ως βιοτιτικός χαλαζιακός συηνίτης. Οι αλκαλιούχοι άστριοι εμφανίζουν περθίτες και σε ορισμένες θέσεις παρατηρείται μυρμηκιτική σύμφυση (Παράρτημα Β, Φωτ. 13). Ο βιοτίτης είναι καστανός έως καστανοκόκκινος. Παρατηρούνται σε αυτόν πλεοχροϊκές άλω λόγω ζιρκονίου, το οποίο εμφανίζει πολλές φορές μεγάλους και καλοσχηματισμένους κρυστάλλους (Παράρτημα Β, Φωτ.14). Σε ότι αφορά τις αλλοιώσεις συναντώνται καολινίωση (20%) και σερικιτίωση (35%).

Το δείγμα Balmoral (BL) είναι αδρόκοκκο και οι στιλβωμένες πλάκες του έχουν ανοιχτό κόκκινο (κεραμιδί) χρώμα (Παράρτημα Α, Φωτ.8). Αποτελείται από 44,0% χαλαζία, 3,9% πλαγιόκλαστο, 40,9% μικροκλινή, 10,1% βιοτίτη και 1,1% μοσχοβίτη, ζιρκόνιο, απατίτη, φθορίτη, μοναζίτη, επίδοτο και χλωρίτη. Η προβολή στο διάγραμμα Q-A-P κατατάσσει το δείγμα Balmoral (BL) στην ομάδα των αλκαλιγρανιτών. Ο μικροκλινής εμφανίζει περθίτες (Παράρτημα Β, Φωτ. 15). Ο βιοτίτης είναι καστανός έως καστανοκίτρινος. Οι κρύσταλλοι του ζιρκονίου και του μοναζίτη συνήθως εγκλείονται στους κρυστάλλους του βιοτίτη, με αποτέλεσμα τις πλεοχροϊκές άλω μέσα στον τελευταίο (Παράρτημα Β, Φωτ. 16). Είναι εμφανείς η καολινίωση των αλκαλιούχων αστρίων σε ποσοστό 70%, η σερικιτίωση των πλαγιοκλάστων κατά 50% και η χλωριτίωση των βιοτιτών.

Το δείγμα African red (AR) είναι αδρόκοκκο. Οι στιλβωμένες πλάκες του παρουσιάζονται με σκούρο κόκκινο χρώμα (Παράρτημα Α, Φωτ.9). Η ορυκτολογική του σύσταση είναι 40,3% χαλαζίας, 28,2% πλαγιόκλαστο, 24,2% ορθόκλαστο, 0,2% ζιρκόνιο και 7,1% χλωρίτης. Πετρογραφικά ταξινομείται στην ομάδα των γρανιτών. Το δείγμα African red (AR) είναι έντονα αλλοιωμένο. Συγκεκριμένα, οι αλκαλιούχοι άστριοι είναι καολινιωμένοι κατά 90% (Παράρτημα Β, Φωτ. 17), τα πλαγιόκλαστα καολινιωμένα και σερικιτιωμένα σε ποσοστό 80% και ο βιοτίτης έχει μετατραπεί σχεδόν εξολοκλήρου σε χλωρίτη (Παράρτημα Β, Φωτ. 18). Στο ορθόκλαστο παρατηρούνται μεγάλοι περθίτες.

Το δείγμα Multicolor (MC) εμφανίζει γρανιτικό ιστό. Η στιλβωμένη πλάκα του δείγματος αυτού εμφανίζεται με ανοιχτές κόκκινες και σκούρες τεφρές ζώνες, παρουσιάζοντας έτσι έναν γνευσιοειδή χαρακτήρα (Παράρτημα Α, Φωτ.10). Στην κόκκινη ζώνη (δείγμα MC-A) το πέτρωμα εμφανίζεται αδρόκοκκο και η σύστασή του είναι 30,5% χαλαζίας, 2,3% πλαγιόκλαστο, 64,3% μικροκλινής, 2,2% βιοτίτης και 0,7% μοσχοβίτης, ζιρκόνιο, απατίτης και χλωρίτης. Ο πετρογραφικός τύπος της ζώνης αυτής του πετρώματος είναι αλκαλιγρανίτης. Στην τεφρή ζώνη (δείγμα MC-B) το πέτρωμα είναι μεσόκοκκο και έχουμε 45,4% χαλαζία, 5,6% πλαγιόκλαστο, 41,1% μικροκλινή και 7,8% βιοτίτη και 0,1% τιτανίτη, ζιρκόνιο και αδιαφανή ορυκτά. Το τμήμα αυτό του πετρώματος είναι βιοτιτικός γρανίτης. Στο δείγμα Multicolor (MC) παρατηρούνται περθίτες στο μικροκλινή (Παράρτημα

Β, Φωτ. 19) και μυρμηκιτική σύμφυση σε ορισμένες θέσεις. Ο βιοτίτης (Παράρτημα Β, Φωτ. 20) είναι καστανός, σε ορισμένες περιπτώσεις χλωριτιωμένος και σπάνια αποχρωματισμένος. Η καολινίωση απαντάται στους αλκαλιούχους αστρίους σε ποσοστό περίπου 20%, ενώ ίδιος είναι και ο βαθμός σερικιτίωσης των πλαγιοκλάστων.

Το δείγμα Baltic brown (BB) είναι αδρόκοκκο, με πορφυροειδή ιστό, με τους κρυστάλλους των αλκαλιούχων αστρίων να αναπτύσσονται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από τους άλλους κρυστάλλους. Η διάμετρός τους κυμαίνεται από 1 ως και 4 περίπου εκατοστά και περιβάλλονται από αλβίτη με μορφή κελύφους. Η ιδιαίτερη αυτή υφή ονομάζεται rapakivi (HAAPALA & RÄMÖ, 1999). Το χρώμα της στιλβωμένης πλάκας του δείγματος αυτού είναι καστανό έως καστανόμαυρο (Παράρτημα Α, Φωτ.11). Η ορυκτολογική σύσταση που προκύπτει από την εμβαδομέτρηση είναι 15,7% χαλαζίας, 16,3% πλαγιόκλαστο, 64,3% ορθόκλαστο, 2,0% βιοτίτης και 1,7% αμφίβολος και 0,1% ζιρκόνιο, απατίτης και αδιαφανή ορυκτά. Πρόκειται για χαλαζιακό συηνίτη. Στο ορθόκλαστο εμφανίζονται περθίτες (Παράρτημα Β, Φωτ. 21) ενώ είναι εμφανής η καολινίωση σε ποσοστό 50%. Παρατηρούνται μεγάλοι και καλοσχηματισμένοι κρύσταλλοι ζιρκονίου (Παράρτημα Β, Φωτ. 22). Επίσης μικρότεροι κρύσταλλοι ζιρκονίου βρίσκονται τόσο διασκορπισμένοι σε όλη τη μάζα του πετρώματος όσο και μέσα στο βιοτίτη, οπότε σχηματίζουν γύρω τους πλεοχροϊκές άλω. Το χρώμα του βιοτίτη είναι καστανό.

Το δείγμα Gris perla (GP) είναι αδρόκοκκο, με πορφυροειδή ιστό, που δημιουργείται από τους κρυστάλλους των αλκαλιούχων αστρίων οι οποίοι αναπτύσσονται σε αρκετά μεγαλύτερο βαθμό από τους άλλους κρυστάλλους. Η στιλβωμένη πλάκα του δείγματος αυτού εμφανίζει λευκό έως ανοιχτό τεφρό χρώμα (Παράρτημα Α, Φωτ.12). Αποτελείται από 27,2% χαλαζία, 30,0% πλαγιόκλαστο, 39,6% μικροκλινή, 2,4% βιοτίτη, 0,7% αμφίβολο και 0,1% τιτανίτη, ζιρκόνιο, απατίτη, αλλανίτη, επίδοτο και χλωρίτη. Το δείγμα αυτό ταξινομείται στην ομάδα των γρανιτών. Το χρώμα του βιοτίτη (Παράρτημα Β, Φωτ. 23) είναι καστανό έως καστανοκόκκινο. Παρατηρούνται καλοσχηματισμένοι ζωνώδεις κρύσταλλοι αλανίτη (Παράρτημα Β, Φωτ. 24). Σε ότι αφορά τις αλλοιώσεις οι αλκαλιούχοι άστριοι είναι καολινιωμένοι σε ποσοστό μόλις 5%, ενώ τα πλαγιόκλαστα εμφανίζουν σερικιτίωση σε ποσοστό 10%.

Το δείγμα Emerald (EM) είναι αδρόκοκκο με μαύρο χρώμα που ιριδίζει (Παράρτημα Α, Φωτ.13). Αποτελείται από 87,1% αλκαλιούχο άστριο, 8,9% βιοτίτη, 2,0% αμφίβολο, 0,6% κλινοπυρόξενο, 0,8% απατίτη και 0,6% αδιαφανή ορυκτά. Πρόκειται για έναν βιοτιτικό αλκαλισυηνίτη. Η αμφίβολος έχει καστανό χρώμα (Παράρτημα Β, Φωτ. 25). Οι πυρόξενοι είναι ελαφρά χρωματισμένοι με υψηλά χρώματα πόλωσης (Παράρτημα Β, Φωτ. 26). Ο

βιοτίτης είναι καστανός έως καστανοκόκκινος. Είναι εμφανής ο σχισμός των αλκαλιούχων αστρίων, οι οποίοι είναι πολύ λίγο καολινιωμένοι (5%).

Το δείγμα Marina pearl (MP) είναι αδρόκοκκο και οι στιλβωμένες πλάκες του εμφανίζουν τεφρογάλαζο χρώμα που ιριδίζει (Παράρτημα Α, Φωτ.14). Αποτελείται από 90,3% αλκαλιούχο άστριο, 2,1% βιοτίτη, 4,5% κλινοπυρόξενο, 1,5% ολιβίνη, 0,4% ζιρκόνιο, απατίτη, αλλανίτη και επίδοτο και 1,2% αδιαφανή. Το δείγμα αυτό, που εμφανίζεται καολινιωμένο σε ποσοστό 15% ταξινομείται στην ομάδα των αλκαλισυηνιτών. Το χρώμα του βιοτίτη είναι καστανό έως καστανοκόκκινο, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι οι κρύσταλλοι του απατίτη είναι πολυπληθείς. Ο σχισμός των αλκαλιούχων αστρίων είναι πολύ εμφανής. (Παράρτημα Β, Φωτ. 27 και 28).

Το δείγμα Zimbabwe (ZB) είναι μεσόκοκκο και οι στιλβωμένες πλάκες του έχουν μαύρο χρώμα (Παράρτημα Α, Φωτ.15). Αποτελείται από 6,6% χαλαζία, 35,3% πλαγιόκλαστο, 28,7% ορθοπυρόξενο, 26,3% κλινοπυρόξενο και 3,1% αδιαφανή. Ταξινομείται ως χαλαζιακός γάββρος. Οι περισσότεροι κρύσταλλοι των πλαγιοκλάστων εμφανίζουν καστανωπό έως καστανοκόκκινο χρώμα δίνοντας την εικόνα των λεγόμενων νεφελωδών πλαγιοκλάστων, με κυμαινόμενη την ένταση της «νέφωσης» μέσα στους κρυστάλλους (Παράρτημα Β, Φωτ. 29). Παρατηρείται ποικιλτικός ιστός με κρυστάλλους πυροξένων να εγκλείονται στα πλαγιόκλαστα (Παράρτημα Β, Φωτ. 30).

Το δείγμα Africa nero (AN) είναι μεσόκοκκο και οι στιλβωμένες πλάκες του εμφανίζουν μαύρο έως σκούρο καστανό χρώμα (Παράρτημα Α, Φωτ.16). Η ορυκτολογική του σύσταση είναι 4,5% χαλαζίας, 63,4% πλαγιόκλαστο, 2,2% ορθοπυρόξενος και 29,9% κλινοπυρόξενος (Παράρτημα Β, Φωτ. 31) και πετρογραφικά ανήκει στους χαλαζιακούς γάββρους. Σε ορισμένες θέσεις παρατηρείται μυρμηκιτική σύμφυση. Συχνό είναι το φαινόμενο διάμειξης ορθοπυρόξενου μέσα σε κλινοπυρόξενο (Παράρτημα Β, Φωτ.32). Η καολινίωση των αστρίων φτάνει το 10%.

Συνοπτικά, παρατηρούμε ότι όλα τα δείγματα είναι μεσόκοκκα έως αδρόκοκκα πλουτωνικά πετρώματα και τα περισσότερα από αυτά ταξινομούνται κατά I.U.G.S. (1973) στους γρανίτες. Συγκεκριμένα σε αυτή την ομάδα ταξινομούνται τα παρακάτω επτά δείγματα: Salvatierra (SV), Blanco real (BR), Topazio (TP), Blanco crystal (BC), African red (AR), Multicolor (MC-B) και Gris perla (GP). Τρία δείγματα (Rosa porrino (RP), Balmoral (BL) και Multicolor (MC-A)) είναι αλκαλιγρανίτες, δύο δείγματα (Napoleon (NP) και Baltic brown (BB)) είναι χαλαζιακοί συηνίτες, δύο δείγματα (Marina pearl (MP) και Emerald (EM)) είναι αλκαλισυηνίτες, δύο δείγματα (Zimbabwe (ZB) και Africa nero (AN)) είναι χαλαζιακοί γάββροι και τέλος, το δείγμα Yellow cecilia (YC) είναι χαλαζιακός αλκαλισυηνίτης.

Ειδικά για τα δείγματα Emerald (EM) και Marina pearl (MP) είναι σκόπιμο να σημειωθεί ότι αποτελούν χαρακτηριστικά πετρώματα της αλκαλικής επαρχίας του Όσλο, στην τεκτονική τάφρο του Όσλο, στη νοτιοανατολική Νορβηγία. Στην τάφρο αυτή παρατηρείται έντονη μαγματική δραστηριότητα κατά το Πέρμιο, που συντελέστηκε σε δύο ή τρεις ξεχωριστές περιόδους και είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλης ποικιλίας πυριγενών πετρωμάτων: γάββροι (εσσεξίτες του Όσλο), βασάλτες, ρομβοπορφύρες, διεισδύσεις μονζονιτικών πετρωμάτων (λαρβικίτες), καθώς και άλλων πετρωμάτων ενδιάμεσης κυρίως σύστασης, που έχουν ιδιαίτερα ονόματα ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, όπως λαρδαλίτες, χεδρουμίτες, ακερίτες, νορδμαρκίτες, εκερίτες κ.α. (NEWMANN, 1976).

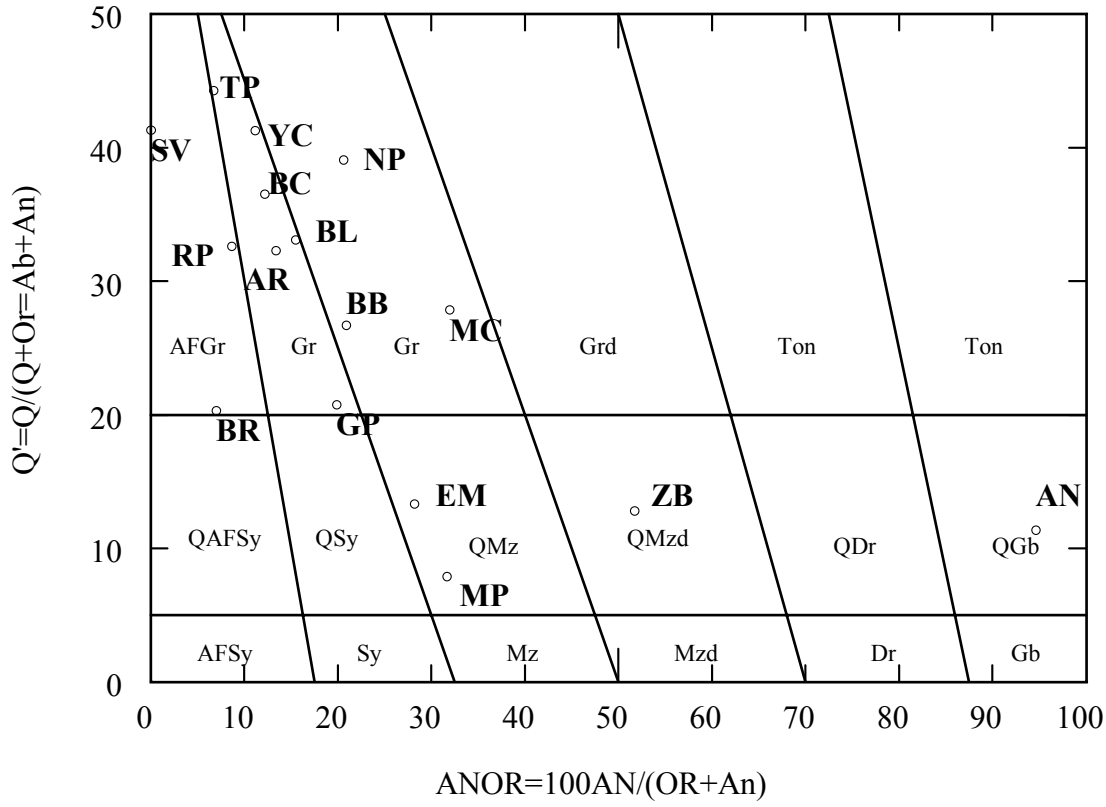
Γενικά, τα δείγματα που μελετήθηκαν είναι πετρώματα πλούσια σε αστρίους και χαλαζία, ενώ από τα φεμικά επικρατεί ο βιοτίτης σε ποσοστό από 1,3% (Blanco crystal (BC)) έως 10,1% (Balmoral (BL)). Αξίζει να σημειωθεί ότι τα δείγματα των γρανιτών του ελληνικού εμπορίου που μελετήθηκαν εμφανίζουν στην πλειοψηφία τους αλλοιώσεις κυρίως των αστρίων όπως καολινίωση σε ποσοστό από 5% (Gris perla (GP) και Emerald (EM)) έως και 90% (African red (AR)) και σερικιτίωση σε ποσοστό από 5% (Yellow cecilia (YC)) έως και 80% (African red (AR)). Τα μόνα δείγματα που δεν εμφανίζουν αλλοιώσεις είναι το Marina pearl (MP) και τα γαββρικά Zimbabwe (ZB) και Africa nero (AN). Στον πίνακα 3.2 δίνονται τα ποσοστά καολινίωσης και σερικιτίωσης των αστρίων των δειγμάτων της παρούσας εργασίας, όπως προέκυψαν από τη μικροσκοπική παρατήρηση των λεπτών τομών τους.

Πίνακας 3.2. Ποσοστά καολινίωσης και σερικιτίωσης των αστρίων των μελετηθέντων δειγμάτων.

A/A	Όνομα	Καολινίωση %	Σερικιτίωση %
1.	Salvatierra (SV)	40	70
2.	Rosa porrino (RP)	30	20
3.	Blanco real (BR)	40	30
4.	Topazio (TP)	10	20
5.	Yellow cecilia (YC)	15	-
6.	Blanco crystal (BC)	60	50
7.	Napoleon (NP)	20	35
8.	Balmoral (BL)	70	50
9.	African red (AR)	90	80
10.	Multicolor (MC)	20	20
11.	Baltic brown (BB)	50	-
12.	Gris perla (GP)	5	10
13.	Emerald (EM)	5	-
14.	Marina pearl (MP)	15	-
15.	Zimbabwe (ZB)	-	-
16.	Africa nero (AN)	10	-

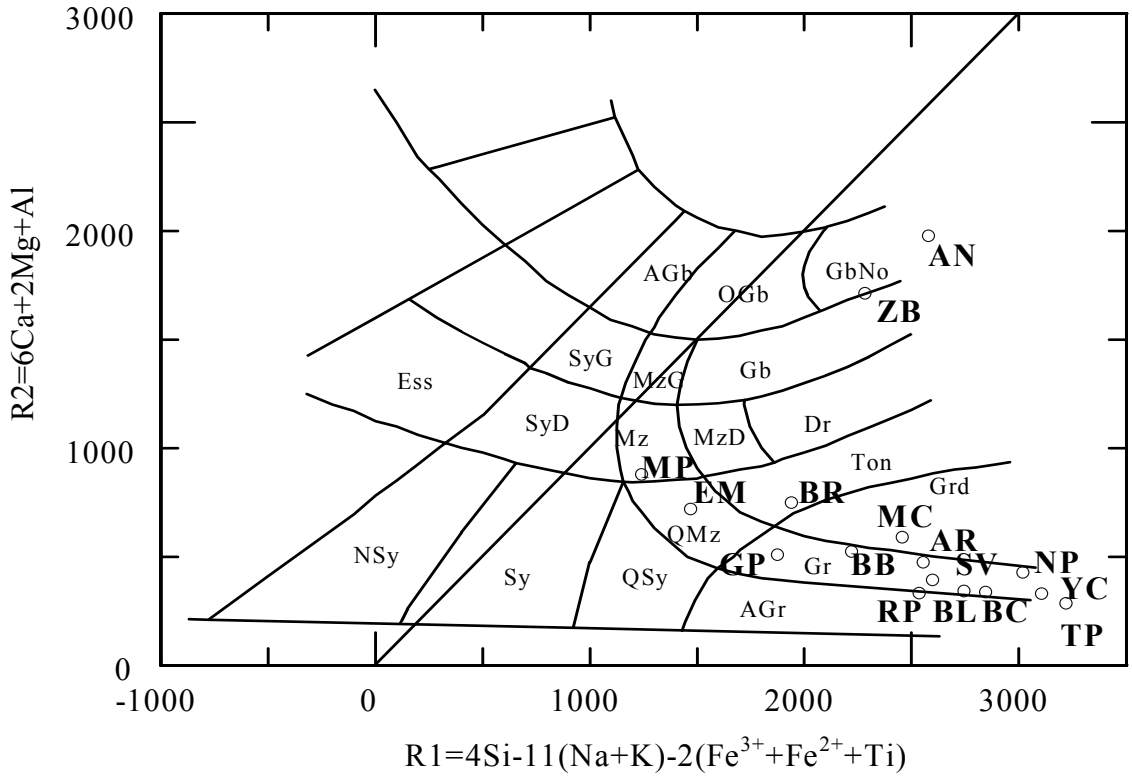
3.2. Χημική ταξινόμηση

Για την ταξινόμηση με βάση τη χημική σύσταση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα Q΄-ANOR (STRECKEISEN & LE MAITRE, 1979), που στηρίζεται στη δυνητική τους σύσταση (CIPW norm). Οι παράμετροι του διαγράμματος αυτού ορίζονται ως εξής: $Q'=Q/(Q+Or+Ab+An)$ και $ANOR=100\times An/(Or+An)$. Στο σχήμα 3.2 φαίνεται η προβολή των πετρωμάτων της παρούσας εργασίας στο διάγραμμα αυτό.



Σχήμα 3.2. Προβολή των μελετηθέντων δειγμάτων στο διάγραμμα Q΄-ANOR (STRECKEISEN & LE MAITRE, 1979). AFGr = αλκαλιγρανίτης, Gr = γρανίτης, Grd = γρανοδιορίτης, Ton = τοναλίτης, QAFSy = χαλαζιακός αλκαλισυηνίτης, Qsy = χαλαζιακός συηνίτης, QMz = χαλαζιακός μονζονίτης, QMzd = χαλαζιακός μονζοδιορίτης, QDr = χαλαζιακός διορίτης, QGb = χαλαζιακός γάββρος, AFSy = αλκαλισυηνίτης, Sy = συηνίτης, Mz = μονζονίτης, Mzd = μονζοδιορίτης, Dr = διορίτης, Gb = γάββρος

Επίσης, οι χημικές αναλύσεις των δειγμάτων της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν για τη χημική τους ταξινόμηση με βάση τους DE LA ROCHE et al. (1980). Για την ταξινόμηση αυτή υπολογίζονται οι αναλογίες των κατιόντων από τις αναλογίες των οξειδίων τους, που δίνονται από τη χημική ανάλυση των δειγμάτων. Στο σχήμα 3.3 φαίνεται η προβολή των δειγμάτων της παρούσας εργασίας στο διάγραμμα R1-R2 (DE LA ROCHE et al., 1980) για πλουτωνικά πετρώματα, όπου: R1=4Si-11(Na+K)-2(Fe^{3+}+Fe^{2+}+Ti) και R2=6Ca+2Mg+Al. Το διάγραμμα αυτό χρησιμοποιείται γιατί ορισμένοι ερευνητές θεωρούν ότι οι επί τοις εκατό αναλογίες των οξειδίων δεν ανταποκρίνονται απόλυτα στην κατανομή των ιόντων στο δείγμα και έτσι προτιμούν να υπολογίζουν τη σύσταση ενός πετρώματος με τη μορφή των ιόντων (ROLLINSON, 1993).



Σχήμα 3.3. Προβολή των μελετηθέντων δειγμάτων στο διάγραμμα R1-R2 (DE LA ROCHE et al., 1980) για πλουτωνικά πετρώματα. AGr = αλκαλιγρανίτης, Gr = γρανίτης, Grd = γρανοδιορίτης, QSy = χαλαζιακός συηνίτης, QMz = χαλαζιακός μονζονίτης, Ton = τοναλίτης, Sy = συηνίτης, Mz = μονζονίτης, MzD = μονζοδιορίτης, Dr = διορίτης, Gb = γάββρος, Agb = αλκαλιγάββρος, OGb = ολιβινικός γάββρος, GbNo = γαββρονορίτης, NSy = νεφελινικός συηνίτης, SyD = συηνοδιορίτης, SyG = συηνογάββρος, Ess = εσσεξίτης

Στον πίνακα 3.3 δίνονται για συγκριτικούς σκοπούς οι χαρακτηρισμοί των δειγμάτων με βάση τόσο την πετρογραφική ταξινόμηση με το τριγωνικό διάγραμμα Q-A-P (I.U.G.S., 1973) όσο και τις χημικές ταξινομήσεις με τα διαγράμματα Q΄-ANOR (STRECKEISEN & LE MAITRE, 1970) και R1-R2 (DE LA ROCHE et al., 1980).

Πίνακας 3.3. Χαρακτηρισμοί των μελετηθέντων δειγμάτων με βάση την πετρογραφική ταξινόμηση Q-A-P (I.U.G.S., 1973) και τις χημικές ταξινομήσεις Q΄-ANOR (STRECKEISEN & LE MAITRE, 1970) και R1-R2 (DE LA ROCHE et al., 1980).

A/A	Όνομα	Q-A-P	Q'-ANOR	R1-R2
1.	Salvatierra (SV)	γρανίτης	αλκαλιγρανίτης (AFGr)	γρανίτης
2.	Rosa porrino (RP)	αλκαλιγρανίτης	αλκαλιγρανίτης (AFGr)	αλκαλιγρανίτης
3.	Blanco real (BR)	γρανίτης	αλκαλιγρανίτης (AFGr)	τοναλίτης
4.	Topazio (TP)	γρανίτης	γρανίτης (Gr)	αλκαλιγρανίτης
5.	Yellow cecilia (YC)	χαλαζιακός αλκαλισυηνίτης	γρανίτης (Gr)	γρανίτης
6.	Blanco crystal (BC)	γρανίτης	γρανίτης (Gr)	γρανίτης
7.	Napoleon (NP)	χαλαζιακός συηνίτης	γρανίτης (Gr)	γρανίτης
8.	Balmoral (BL)	αλκαλιγρανίτης	γρανίτης (Gr)	γρανίτης
9.	African red (AR)	γρανίτης	γρανίτης (Gr)	γρανίτης
10.	Multicolor (MC)	MC-A. αλκαλιγρανίτης MC-B. γρανίτης	γρανίτης (Gr)	γρανοδιορίτης
11.	Baltic brown (BB)	χαλαζιακός συηνίτης	γρανίτης (Gr)	γρανίτης
12.	Gris perla (GP)	γρανίτης	γρανίτης (Gr)	γρανίτης
13.	Emerald (EM)	αλκαλισυηνίτης	χαλαζιακός μονζονίτης (QMz)	χαλαζιακός μονζονίτης
14.	Marina pearl (MP)	αλκαλισυηνίτης	χαλαζιακός μονζονίτης (QMz)	μονζονίτης
15.	Zimbabwe (ZB)	χαλαζιακός γάββρος	χαλαζιακός μονζοδιορίτης (QMzd)	γαββρονορίτης
16.	Africa nero (AN)	χαλαζιακός γάββρος	χαλαζιακός γάββρος (QGb)	γαββρονορίτης

Παρατηρούμε ότι η πετρογραφική ταξινόμηση με το τριγωνικό διάγραμμα Q-A-P (I.U.G.S., 1973) συμφωνεί ακριβώς με τη χημική ταξινόμηση Q΄-ANOR (STRECKEISEN & LE MAITRE, 1970) για έξι δείγματα ενώ για τα υπόλοιπα οι διαφορές είναι μικρές. Επίσης η πετρογραφική ταξινόμηση με το τρίγωνο Q-A-P (I.U.G.S., 1973) συμφωνεί με τη χημική ταξινόμηση R1-R2 (DE LA ROCHE et al., 1980) για πέντε δείγματα ενώ για τα υπόλοιπα υπάρχουν μικρές διαφορές, εκτός από το δείγμα Blanco real (BR) που ταξινομείται ως γρανίτης με βάση την πετρογραφική ταξινόμηση ενώ με βάση τη χημική ταξινόμηση R1-R2 (DE LA ROCHE et al., 1980) ταξινομείται ως τοναλίτης. Οι χημικές ταξινομήσεις συμφωνούν μεταξύ τους για εννιά δείγματα ενώ για τα υπόλοιπα υπάρχουν μικρές διαφορές, εκτός από το δείγμα Blanco real (BR) που ταξινομείται ως αλκαλιγρανίτης με βάση τη χημική ταξινόμηση Q΄-ANOR (STRECKEISEN & LE MAITRE, 1970), ενώ με βάση τη χημική ταξινόμηση R1-R2 (DE LA ROCHE et al., 1980) ταξινομείται ως τοναλίτης.

Στο εξής, για το χαρακτηρισμό των μελετηθέντων δειγμάτων θα χρησιμοποιείται η χημική ταξινόμηση Q΄-ANOR (STRECKEISEN & LE MAITRE, 1970).

4. Ορυκτολογία

Τα πρωτογενή ορυκτά που συναντώνται στα δείγματα γρανιτών του ελληνικού εμπορίου της παρούσας εργασίας είναι ο χαλαζίας, οι άστριοι, ο βιοτίτης, οι αμφίβολοι, οι πυρόξενοι, ο ολιβίνης, ο γρανάτης, ο μοσχοβίτης, ο τιτανίτης, το ζιρκόνιο, ο απατίτης, ο φθορίτης, ο αλλανίτης, και ο μοναζίτης. Ο υπολογισμός του Fe^{3+} στη δομή των ορυκτών έγινε σύμφωνα με τον DROOP (1984).

4.1. Χαλαζίας

Χαλαζίας συναντάται σε όλα τα δείγματα εκτός από το Emerald (EM) και το Marina pearl (MP). Σε όλα τα δείγματα είναι αλλοτριόμορφος, γεμίζοντας τα κενά μεταξύ των κρυστάλλων των άλλων ορυκτών.

4.2. Άστριοι

Οι άστριοι (αλκαλιούχοι άστριοι και πλαγιόκλαστα) συμμετέχουν στη σύσταση όλων των μελετηθέντων δειγμάτων με το μεγαλύτερο ποσοστό από όλες τις άλλες ορυκτολογικές φάσεις, όπως φαίνεται από την ορυκτολογική τους σύσταση, που αναλύθηκε στο κεφάλαιο της πετρογραφίας. Συγκεκριμένα, στα δείγματα Emerald (EM) και Marina pearl (MP) υπάρχει μόνο αλκαλιούχος άστριος, στα δείγματα Zimbabwe (ZB) και Africa nero (AN) μόνο πλαγιόκλαστο, ενώ σε όλα τα άλλα δείγματα υπάρχουν και αλκαλιούχοι άστριοι και πλαγιόκλαστα.

Όπως διαπιστώθηκε από τη μελέτη των λεπτών τομών στο πολωτικό μικροσκόπιο, οι αλκαλιούχοι άστριοι είναι μικροκλινείς στα δείγματα Salvatierra (SV), Rosa porrino (RP), Blanco real (BR), Napoleon (NP), Balmoral (BL), Multicolor (MC) και Gris perla (GP), ενώ είναι ορθόκλαστα στα δείγματα Topazio (TP), Yellow cecilia (YC), Blanco crystal (BC), African red (AR), Baltic brown (BB). Τα χαρακτηριστικά των ορυκτών δόθηκαν στο κεφάλαιο 3 και δε θα ξανααναφερθούν εδώ.

Στους πίνακες 4.1 και 4.2 δίνονται οι μέσοι όροι των χημικών αναλύσεων και οι τύποι δομής των αλκαλιούχων αστρίων και των πλαγιοκλάστων αντίστοιχα των δεκαέξι δειγμάτων. Το δείγμα BB-A αντιστοιχεί στην περιοχή της πλάκας του δείγματος Baltic brown (BB) με τους κρυστάλλους μεγέθους από 1mm έως 5mm και το BB-B παρασκευάστηκε ώστε να περιέχει έναν κρύσταλλο αλκαλιούχου αστρίου από αυτούς που το μέγεθός τους είναι από 1cm έως και 4cm περίπου και δίνουν στο δείγμα τον πορφυροειδή χαρακτήρα του. Η χημική ανάλυση του αλβίτη του δείγματος Baltic brown (BB-B) που φαίνεται στον πίνακα 4.2

αντιστοιχεί στην περιφερειακή ζώνη των μεγαφαινοκρυστάλλων αλκαλιούχου αστρίου. Η χημική σύσταση του αλβίτη του δείγματος Marina pearl (MP) που παρατίθεται στον πίνακα 4.2 είναι πιθανότατα από κρυπτοπερθίτη. Σημειώνεται ότι σύμφωνα με τον NEWMANN (1980), υπάρχουν πετρώματα της αλκαλικής επαρχίας της περιοχης του Όσλο, από την οποία προέρχεται το δείγμα Marina pearl (MP), των οποίων οι αλκαλιούχοι άστριοι είναι κρυπτοπερθιτικοί.

Είναι αξιοσημείωτο ότι οι αλκαλιούχοι άστριοι των δειγμάτων African red (AR) και Emerald (EM) παρουσιάζουν αυξημένα ποσοστά FeO και TiO_2 στη χημική τους σύσταση. Οι αλκαλιούχοι άστριοι των δειγμάτων Balmoral (BL) και Multicolor (MC-B) εμφανίζουν αυξημένα ποσοστά FeO, ενώ οι αλκαλιούχοι άστριοι του δείγματος Marina pearl (MP) έχουν αρκετά αυξημένες τιμές TiO_2.

Εξάλλου τα πλαγιόκλαστα των δειγμάτων African red (AR) και Zimbabwe (ZB) εμφανίζουν αυξημένα ποσοστά FeO στη σύστασή τους.

Για σύγκριση των δειγμάτων Emerald (EM) και Marina pearl (MP), που προέρχονται από την αλκαλική επαρχία της περιοχής του Όσλο, με άλλα πετρώματα της ίδιας περιοχής, δίνεται ο πίνακας 4.3. Σ'αυτόν φαίνονται οι μέσες συστάσεις αλκαλιούχων αστρίων σε ποσοστά Or, Ab, An μονζονιτικών πετρωμάτων του δακτυλιοειδούς συμπλέγματος του Larvik, στην περιοχή του Όσλο (NEWMANN, 1980) και οι αντίστοιχες συστάσεις όπως αυτές υπολογίστηκαν από τις χημικές αναλύσεις των αλκαλιούχων αστρίων των δειγμάτων Emerald (EM) και Marina pearl (MP). Όπως παρατηρούμε στον πίνακα αυτό, οι αλκαλιούχοι άστριοι των δειγμάτων Emerald (EM) και Marina pearl (MP) μοιάζουν περισσότερο με τους ασβεστούχους αλκαλιούχους αστρίους των λαρβικιτών της περιοχής του Όσλο.

Μια άλλη παρατήρηση είναι ότι, όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο της πετρογραφίας τα περισσότερα πλαγιόκλαστα του δείγματος Zimbabwe (ZB) έχουν νεφελώδη όψη. Η χημική ανάλυση του πίνακα 4.2 που σημειώνεται με «κ» αντιστοιχεί στο μέσο όρο χημικών αναλύσεων καθαρών πλαγιοκλάστων, ενώ η χημική ανάλυση που σημειώνεται με «ν» αντιστοιχεί στο μέσο όρο χημικών αναλύσεων νεφελωδών πλαγιοκλάστων στις περιοχές που εμφανίζεται η νέφωση. Είναι γενικά παραδεκτό ότι η νεφελώδης όψη των πλαγιοκλάστων οφείλεται στην παρουσία πολυάριθμων μικροσκοπικών εγκλεισμάτων που δημιουργούνται είτε με διάμειξη είτε με διάχυση (POLDERVAART & GILKEY, 1954). Τα εγκλείσματα αυτά μπορεί να είναι βιοτίτης, αμφίβολος, πυρόξενος, ζιρκόνιο, απατίτης ή μεταλλικά ορυκτά όπως πρωτογενής μαγνητίτης, αιματίτης κ.α.. Στον πίνακα 4.4 δίνονται οι μέσοι όροι συστάσεων καθαρών και νεφελωδών πλαγιοκλάστων του δείγματος Zimbabwe (ZB) και παρατίθεται για σύγκριση η μέση σύσταση των πλαγιοκλάστων του πλουτωνίτη της Ξάνθης, τα οποία επίσης παρουσιάζουν νεφελώδη όψη (CHRISTOFIDES, 1982). Σύμφωνα με τον CHRISTOFIDES

(1982), τα νεφελώδη πλαγιόκλαστα του πλουτωνίτη της Ξάνθης παρουσιάζουν λίγο υψηλότερες συγκεντρώσεις σιδήρου από τα καθαρά, ενώ δεν υπάρχει σαφής διαφορά στο ποσοστό του τιτανίου και του καλίου. Η παρατήρηση αυτή ισχύει και για το δείγμα Zimbabwe (ZB). Πάντως, όπως ήδη αναφέρθηκε, τα πλαγιόκλαστα του δείγματος αυτού εμφανίζουν γενικά αυξημένα ποσοστά FeO.

Πίνακας 4.1. Μέσοι όροι χημικών αναλύσεων και τύποι δομής των αλκαλιούχων αστρίων (A-F) των μελετηθέντων δειγμάτων. (Mi = μικροκλινής, Or = ορθόκλαστο)

Δείγμα	**SV**	**RP**	**BR**	**TP**	**YC**	**BC**	**NP**	**BL**	**AR**	**MC-A**	**MC-B**	**BB-A**	**BB-B**	**GP**	**EM**	**MP**
Πετρ/ικός τύπος	**AFGr**	**AFGr**	**AFGr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**QMz**	**QMz**
Τύπος K-F	**Mi**	**Mi**	**Mi**	**Or**	**Or**	**Or**	**Mi**	**Mi**	**Or**	**Mi**	**Mi**	**Or**	**Or**	**Mi**	**A-F**	**A-F**
Αρ. αναλ.	**6**	**2**	**2**	**3**	**3**	**2**	**3**	**2**	**1**	**3**	**3**	**2**	**2**	**2**	**2**	**1**
Οξείδια % κ.β.																
SiO_2	65,26	65,78	64,64	65,17	65,27	65,33	64,75	65,37	64,85	64,83	65,12	65,14	65,38	65,93	64,02	64,34
TiO_2	0,03	0,10	0,13	0,07	0,01	0,00	0,07	0,04	0,35	0,08	0,10	0,19	0,13	0,06	0,18	0,29
Al_2O_3	18,60	19,20	19,01	18,84	19,15	18,71	18,91	18,46	18,02	18,88	18,95	18,36	18,93	18,59	20,96	21,58
FeO	0,06	0,00	0,03	0,05	0,07	0,06	0,05	0,18	0,87	0,11	0,18	0,09	0,16	0,02	0,19	0,03
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	2,42	1,88
Na_2O	0,58	0,50	0,82	1,51	2,26	0,23	1,17	1,50	2,44	0,72	1,28	0,71	1,12	0,54	7,09	6,45
K_2O	15,57	15,73	15,33	14,48	13,23	15,96	14,72	14,16	12,54	15,22	14,69	15,27	14,55	15,47	4,87	5,47
BaO	0,30	0,13	0,58	0,17	0,03	0,18	0,17	0,14	0,44	0,24	0,26	0,16	0,18	0,34	0,08	0,00
Σύνολο	100,39	101,43	100,54	100,29	100,03	100,45	99,85	99,84	99,51	100,09	100,58	99,90	100,45	100,94	99,80	100,04
Κατανομή κατιόντων με βάση τα 8 οξυγόνα																
Si	2,998	2,986	2,973	2,986	2,981	2,999	2,982	3,002	2,987	2,984	2,980	3,002	2,988	3,008	2,874	2,875
Al	1,007	1,027	1,031	1,017	1,031	1,012	1,026	0,999	0,978	1,024	1,022	0,997	1,019	1,000	1,109	1,136
Fe^{3+}	0,002	0,000	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,007	0,034	0,004	0,007	0,003	0,006	0,001	0,007	0,001
Ti	0,001	0,003	0,004	0,003	0,000	0,000	0,003	0,001	0,012	0,003	0,004	0,006	0,004	0,002	0,006	0,010
Z	*4,009*	*4,017*	*4,010*	*4,008*	*4,015*	*4,013*	*4,013*	*4,010*	*4,010*	*4,015*	*4,012*	*4,008*	*4,018*	*4,010*	*3,996*	*4,022*
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,116	0,090
Na	0,052	0,044	0,073	0,134	0,200	0,020	0,104	0,133	0,218	0,065	0,114	0,063	0,099	0,048	0,617	0,559
K	0,912	0,911	0,900	0,847	0,771	0,934	0,865	0,830	0,737	0,894	0,857	0,898	0,848	0,900	0,279	0,312
Ba	0,005	0,002	0,010	0,003	0,001	0,003	0,003	0,003	0,008	0,004	0,005	0,000	0,000	0,006	0,001	0,000
X	*0,970*	*0,957*	*0,983*	*0,984*	*0,972*	*0,958*	*0,973*	*0,965*	*0,963*	*0,963*	*0,976*	*0,961*	*0,947*	*0,954*	*1,014*	*0,960*
Μοριακή συμμετοχη %																
Or (K+Ba)	94,6	95,4	92,6	86,4	79,4	97,9	89,3	86,2	77,4	93,3	88,4	93,5	89,5	95,0	27,6	32,5
Ab (Na)	5,4	4,6	7,4	13,6	20,6	2,1	10,7	13,8	22,6	6,7	11,6	6,5	10,4	5,0	60,9	58,2
An (Ca)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	11,5	9,4

Πίνακας 4.2. Μέσοι όροι χημικών αναλύσεων και τύποι δομής των πλαγιοκλάστων (Pl) των μελετηθέντων δειγμάτων. (Ab = αλβίτης)

Δείγμα	**SV**	**RP**	**BR**	**TP**	**YC**	**BC**	**NP**	**BL**	**AR**	**MC-A**	**MC-B**	**BB-A**	**BB-B**	**BB-B**	**GP**	**MP**	**ZB**	**ZB**	**AN**
Πετρ/ικός τύπος	**AFGr**	**AFGr**	**AFGr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**QMz**	**QMzd**	**QMzd**	**QGb**
Ορυκτό	**Pl**	**Pl**	**Pl**	**Pl**	**Pl**	**Pl**	**Pl**	**Pl**	**Pl**	**Pl**	**Pl**	**Pl**	**Ab**	**Pl**	**Pl**	**Ab**	**Pl(κ[1])**	**Pl(ν[2])**	**Pl**
Αρ. αναλ.	**7**	**3**	**1**	**4**	**4**	**3**	**1**	**1**	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**	**1**	**4**	**2**	**4**
Οξείδια % κ.β.																			
SiO_2	63,67	64,01	61,59	63,33	61,75	64,14	58,68	65,64	65,13	62,94	62,90	59,52	67,56	61,67	60,97	63,64	53,30	52,82	52,73
TiO_2	0,13	0,05	0,04	0,01	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,07	0,05	0,16	0,00	0,03	0,51	0,04	0,03	0,06
Al_2O_3	22,68	22,35	23,98	22,73	23,78	22,53	25,45	21,34	20,67	23,35	23,04	25,68	19,99	23,71	24,13	22,13	28,93	28,22	29,16
FeO	0,10	0,15	0,01	0,02	0,07	0,04	0,19	0,00	1,29	0,05	0,01	0,27	0,08	0,40	0,16	0,23	0,83	1,28	0,37
CaO	3,73	3,43	5,34	3,62	4,77	3,78	6,60	2,31	0,85	4,41	4,35	6,67	0,43	5,24	5,57	2,33	11,91	12,42	12,47
Na_2O	9,97	9,79	9,09	10,06	9,07	9,89	7,90	10,89	10,66	9,71	9,74	8,23	11,86	9,16	8,90	11,81	4,96	4,85	4,67
K_2O	0,20	0,38	0,36	0,15	0,31	0,52	0,32	0,38	0,58	0,30	0,35	0,27	0,10	0,36	0,17	0,55	0,41	0,26	0,30
BaO	0,04	0,18	0,05	0,07	0,09	0,01	0,12	0,20	0,33	0,00	0,21	0,03	0,18	0,31	0,02	0,00	0,14	0,15	0,12
Σύνολο	100,52	100,34	100,46	99,98	99,91	100,90	99,26	100,76	99,50	100,90	100,65	100,70	100,34	100,85	99,92	101,20	100,52	100,01	99,87
Κατανομή κατιόντων με βάση τα 8 οξυγόνα																			
Si	2,805	2,825	2,731	2,805	2,747	2,817	2,644	2,880	2,892	2,770	2,780	2,643	2,955	2,732	2,717	2,801	2,413	2,409	2,401
Al	1,178	1,163	1,253	1,186	1,246	1,166	1,351	1,103	1,082	1,211	1,200	1,344	1,031	1,238	1,267	1,148	1,543	1,517	1,565
Fe^{3+}	0,004	0,006	0,000	0,001	0,002	0,001	0,007	0,000	0,048	0,002	0,000	0,010	0,003	0,015	0,006	0,008	0,031	0,049	0,014
Ti	0,004	0,002	0,001	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,002	0,002	0,005	0,000	0,001	0,017	0,001	0,001	0,002
Z	*3,991*	*3,995*	*3,986*	*3,992*	*3,998*	*3,985*	*4,002*	*3,983*	*4,022*	*3,988*	*3,982*	*3,999*	*3,994*	*3,984*	*3,991*	*3,974*	*3,989*	*3,976*	*3,982*
Ca	0,176	0,162	0,254	0,172	0,227	0,178	0,319	0,109	0,040	0,208	0,206	0,317	0,020	0,249	0,266	0,110	0,578	0,607	0,608
Na	0,852	0,837	0,781	0,864	0,782	0,842	0,690	0,926	0,918	0,829	0,835	0,709	1,006	0,787	0,769	1,008	0,436	0,429	0,412
K	0,011	0,021	0,020	0,009	0,018	0,029	0,018	0,021	0,033	0,017	0,020	0,015	0,006	0,020	0,009	0,031	0,024	0,015	0,017
Ba	0,001	0,003	0,001	0,001	0,002	0,000	0,002	0,003	0,006	0,000	0,004	0,000	0,003	0,005	0,000	0,000	0,003	0,003	0,002
X	*1,040*	*1,024*	*1,056*	*1,045*	*1,028*	*1,049*	*1,029*	*1,060*	*0,997*	*1,053*	*1,064*	*1,041*	*1,034*	*1,061*	*1,044*	*1,149*	*1,039*	*1,054*	*1,039*
Μοριακή συμμετοχη %																			
Or (K+Ba)	1,1	2,38	2,0	0,93	1,9	2,8	2,0	2,3	3,8	1,6	2,2	1,5	0,8	2,4	0,9	2,7	2,5	1,69	1,9
Ab (Na)	81,9	81,79	74,0	82,66	76,0	80,3	67,1	87,4	92,1	78,7	78,5	68,0	97,2	74,1	73,6	87,7	41,9	40,72	39,6
An (Ca)	16,9	15,83	24,0	16,41	22,1	17,0	31,0	10,2	4,1	19,7	19,3	30,5	1,9	23,4	25,5	9,6	55,6	57,59	58,5

[1]κ = καθαρά, [2]ν = νεφελώδη

Πίνακας 4.3. Μέσες συστάσεις αλκαλιούχων αστρίων σε ποσοστά Or, Ab, An μονζονιτικών πετρωμάτων του δακτυλιοειδούς συμπλέγματος του Larvik, στην περιοχή του Όσλο (NEWMANN, 1980) και αντίστοιχες συστάσεις των αλκαλιούχων αστρίων των δειγμάτων Emerald (EM) και Marina pearl (MP).

	Μέσες συστάσεις K-F του πλουτωνίτη του Larvik (NEWMANN, 1980)			**Συστάσεις K-F γρανιτών του ελληνικού εμπορίου από τη Νορβηγία**	
Μοριακή συμ/χή %	**Λαρβικίτες**	**Λαρδαλίτες**	**Χεδρουμίτες**	**EM(QMz)**	**MP(QMz)**
Ορθόκλαστο	24,4	31,0	45,2	27,6	32,5
Αλβίτης	66	66,0	54,5	60,9	58,2
Ανορθίτης	11,6	3,0	0,3	11,5	9,4

Πίνακας 4.4. Μέσες συστάσεις καθαρών και νεφελωδών πλαγιοκλάστων του δείγματος Zimbabwe (ZB) και του πλουτωνίτη της Ξάνθης (CHRISTOFIDES, 1982).

Δείγμα	**Zimbabwe**		**Πλουτωνίτης Ξάνθης**	
Ορυκτό	**Pl καθαρά**	**Pl νεφελώδη**	**Pl καθαρά**	**Pl νεφελώδη**
Αρ. αναλ.	**4**	**2**	**7**	**7**
Οξείδια % κ.β.				
SiO_2	53,30	52,82	56,35	53,90
TiO_2	0,04	0,03	0,11	0,13
Al_2O_3	28,93	28,22	27,02	28,59
FeO	0,83	1,28	0,34	0,41
CaO	11,91	12,42	9,46	11,40
Na_2O	4,96	4,85	5,87	4,83
K_2O	0,41	0,26	0,39	0,28
BaO	0,14	0,15	δα	δα
Σύνολο	100,52	100,01	99,54	99,55

δα = δεν αναλύθηκε

4.3. Βιοτίτης

Όλα τα δείγματα έχουν βιοτίτη στην ορυκτολογική τους σύσταση εκτός από το Zimbabwe (ZB) και το Africa nero (AN). Το χρώμα του είναι καστανό, καστανοκόκκινο ή καστανοκίτρινο, ανάλογα με το δείγμα. Στους βιοτίτες των δειγμάτων Salvatierra (SV), Rosa porrino (RP), Blanco real (BR), Topazio (TP), Yellow cecilia (YC), Blanco crystal (BC), Napoleon (NP), Balmoral (BL), African red και Baltic brown (BB) παρατηρούνται πλεοχροϊκές άλω λόγω ζιρκονίου. Επίσης, οι βιοτίτες των δειγμάτων Salvatierra (SV), Rosa porrino (RP), Blanco real (BR), Blanco crystal (BC), Balmoral (BL), African red (AR), Multicolor (MC) και Gris perla (GP) εμφανίζονται χλωριτιωμένοι. Ειδικά ο βιοτίτης του δείγματος African red (AR) έχει μετατραπεί σχεδόν εξολοκλήρου σε χλωρίτη.

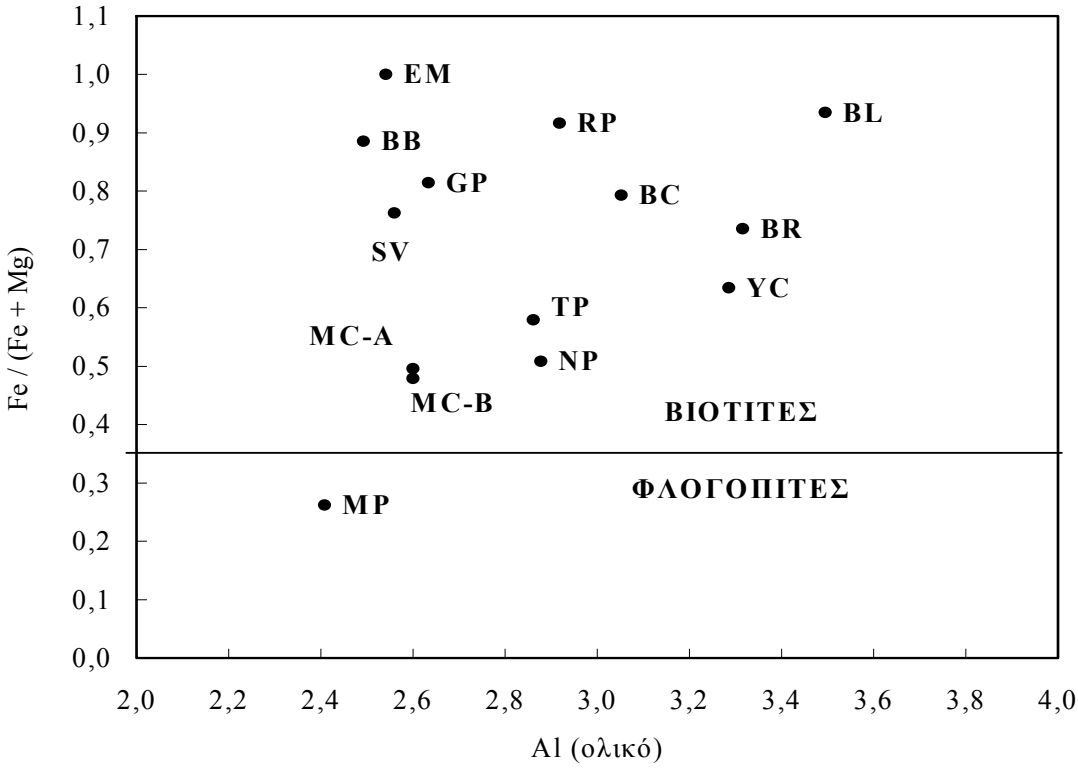
Στον πίνακα 4.5 δίνονται οι μέσοι όροι των χημικών αναλύσεων και οι τύποι δομής των βιοτιτών των δειγμάτων των γρανιτών του ελληνικού εμπορίου της παρούσας εργασίας. Κατά τους DEER et al. (1962) οι βιοτίτες χωρίζονται σε βιοτίτες και φλογοπίτες ανάλογα με την αναλογία Mg/Fe. Για τους βιοτίτες ισχύει Mg/Fe<2/1 ενώ για τους φλογοπίτες ισχύει Mg/Fe>2/1. Στο σχήμα 4.1 δίνεται η προβολή των βιοτιτών των μελετηθέντων δειγμάτων στο διάγραμμα των DEER et al. (1962), όπου φαίνεται ότι όλοι οι προβάλλονται στο πεδίο των βιοτιτών, εκτός από το βιοτίτη του δείγματος Marina pearl (MP) που έχει σχετικά χαμηλό ποσοστό σιδήρου και αυξημένο ποσοσό μαγνησίου και ταξινομείται στους φλογοπίτες.

Πίνακας 4.5. Μέσοι όροι χημικών αναλύσεων και οι τύποι δομής των βιοτιτών των δειγμάτων των γρανιτών του ελληνικού εμπορίου. (συνεχίζεται)

Δείγμα	**SV**	**RP**	**BR**	**TP**	**YC**	**BC**	**NP**
Πετρ/ικός τύπος	**AFGr**	**AFGr**	**AFGr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**
Αρ. αναλ.	**2**	**2**	**4**	**2**	**4**	**2**	**2**
Οξείδια % κ.β.							
SiO_2	35,20	32,53	33,81	35,38	34,75	33,51	34,63
TiO_2	3,15	2,86	3,37	4,44	3,52	3,09	4,16
Al_2O_3	13,65	15,07	17,97	15,72	18,17	16,09	15,76
FeO	30,07	35,67	26,17	21,32	23,06	27,99	19,70
MnO	0,16	0,43	0,76	0,06	0,06	1,57	0,13
MgO	5,26	1,82	5,28	8,69	7,45	4,10	10,70
CaO	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na_2O	0,52	0,39	0,42	0,46	0,40	0,38	0,50
K_2O	8,28	7,19	8,23	9,31	8,83	8,35	8,79
Σύνολο	96,40	95,94	96,00	95,37	96,24	95,07	94,35
Κατανομή κατιόντων με βάση τα 22 οξυγόνα							
Si	5,599	5,346	5,294	5,464	5,332	5,396	5,366
Al ^{IV}	2,401	2,654	2,706	2,536	2,668	2,604	2,634
Z	*8,000*	*8,000*	*8,000*	*8,000*	*8,000*	*8,000*	*8,000*
Al ^{VI}	0,158	0,264	0,609	0,326	0,618	0,448	0,243
Ti	0,377	0,354	0,397	0,516	0,406	0,374	0,484
Fe^{2+}	4,000	4,902	3,427	2,754	2,959	3,769	2,553
Mn	0,021	0,059	0,101	0,008	0,008	0,214	0,017
Mg	1,246	0,446	1,233	2,001	1,705	0,984	2,471
Y	*5,802*	*6,025*	*5,766*	*5,604*	*5,695*	*5,789*	*5,768*
Ca	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,160	0,124	0,128	0,136	0,120	0,117	0,150
K	1,679	1,508	1,643	1,834	1,728	1,715	1,737
X	*1,862*	*1,632*	*1,771*	*1,970*	*1,848*	*1,832*	*1,887*
Fe/(Fe+Mg)	0,76	0,92	0,74	0,58	0,63	0,79	0,51

Πίνακας 4.5. (συνέχεια) Μέσοι όροι χημικών αναλύσεων και οι τύποι δομής των βιοτιτών των δειγμάτων των γρανιτών του ελληνικού εμπορίου.

Δείγμα	**BL**	**MC-A**	**MC-B**	**BB**	**GP**	**EM**	**MP**
Πετρ/ικός τύπος	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**QMz**	**QMz**
Αρ. αναλ.	**8**	**2**	**2**	**3**	**3**	**2**	**2**
Οξείδια % κ.β.							
SiO_2	33,59	36,47	36,38	34,21	34,84	39,72	40,52
TiO_2	2,09	3,92	3,63	3,28	3,50	8,16	7,61
Al_2O_3	18,37	14,49	14,46	13,02	14,01	14,06	14,35
FeO	30,48	19,95	19,59	35,27	31,11	24,33	9,58
MnO	0,39	0,07	0,24	0,28	0,50	0,00	0,19
MgO	1,19	11,39	11,97	2,55	3,97	0,00	15,13
CaO	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00
Na_2O	0,44	0,45	0,21	0,34	0,28	0,03	0,48
K_2O	8,54	9,28	9,13	8,11	8,75	10,23	8,48
Σύνολο	95,10	96,00	95,60	97,08	96,97	96,51	96,33
Κατανομή κατιόντων με βάση τα 22 οξυγόνα							
Si	5,423	5,552	5,549	5,558	5,557	6,091	5,772
Al ^{IV}	2,577	2,448	2,451	2,442	2,443	1,909	2,228
Z	*8,000*	*8,000*	*8,000*	*8,000*	*8,000*	*8,000*	*8,000*
Al ^{VI}	0,919	0,152	0,149	0,050	0,190	0,632	0,181
Ti	0,254	0,448	0,416	0,400	0,420	0,941	0,815
Fe^{2+}	4,115	2,539	2,499	4,791	4,150	3,120	1,141
Mn	0,053	0,009	0,031	0,038	0,067	0,000	0,023
Mg	0,286	2,584	2,721	0,618	0,943	0,000	3,212
Y	*5,627*	*5,733*	*5,816*	*5,898*	*5,770*	*4,693*	*5,372*
Ca	0,000	0,000	0,000	0,003	0,003	0,000	0,000
Na	0,138	0,133	0,062	0,107	0,087	0,007	0,131
K	1,758	1,801	1,777	1,681	1,780	2,001	1,541
X	*1,896*	*1,934*	*1,839*	*1,792*	*1,869*	*2,008*	*1,672*
Fe/(Fe+Mg)	0,93	0,50	0,48	0,89	0,81	1,00	0,26



Σχήμα 4.1. Προβολή των βιοτιτών των μελετηθέντων δειγμάτων στο διάγραμμα των DEER et al. (1962).

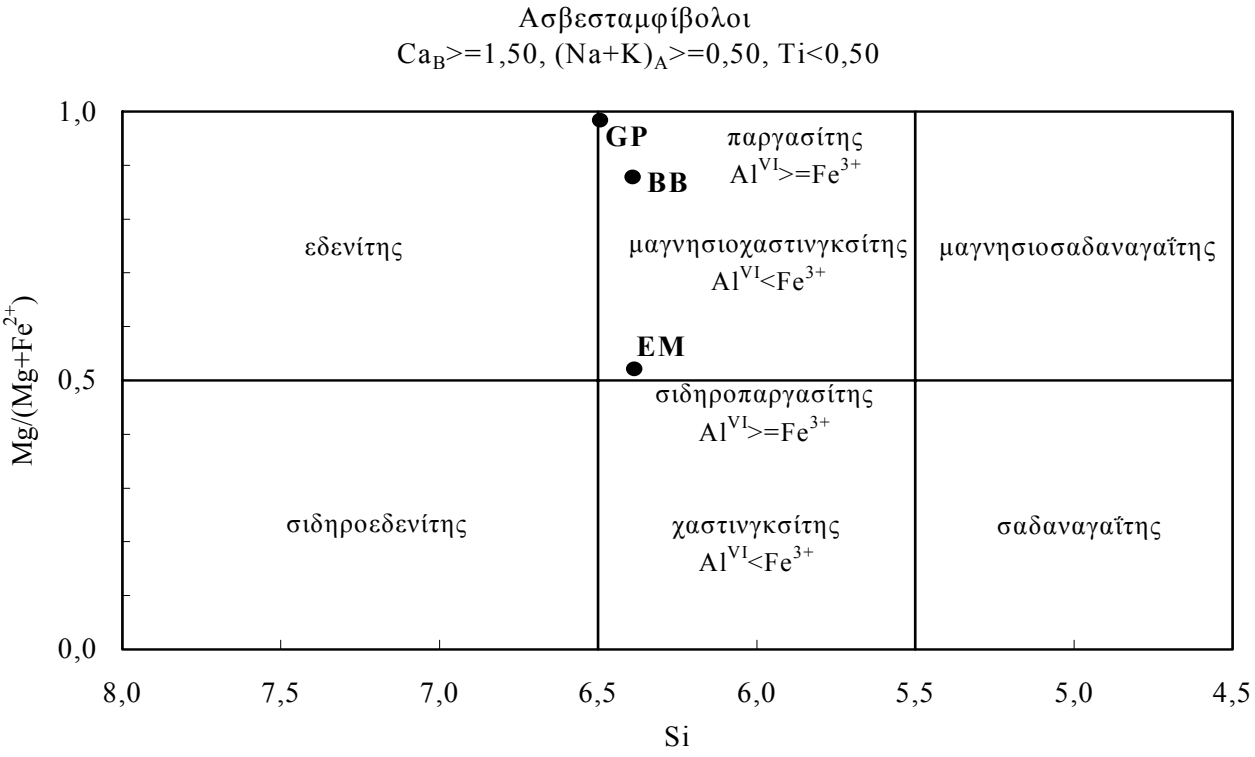
4.4. Αμφίβολοι

Αμφίβολοι συναντώνται στα δείγματα Baltic brown (BB), Gris perla (GP) και Emerald (EM). Η αμφίβολος του δείγματος Emerald (EM) φαίνεται στο μικροσκόπιο καστανή με έντονο πλεοχροϊσμό.

Στον πίνακα 4.6 δίνονται οι μέσοι όροι των χημικών αναλύσεων και οι τύποι δομής των αμφιβόλων των μελετηθέντων δειγμάτων. Για τα δείγματα Baltic brown (BB) και Gris perla (GP) η κατανομή των κατιόντων στις διάφορες θέσεις έγινε σύμφωνα με τους LEAKE et al. (1997). Η κατανομή των κατιόντων της αμφιβόλου του δείγματος Emerald (EM) έγινε με την παρακάτω παραδοχή: «άθροισμα κατιόντων–Ca–Na–K=13», επειδή διαφορετικά ο Fe^{3+} της C-θέσης εμφανιζόταν αρνητικός.

Όπως προκύπτει από την κατανομή των κατιόντων (πίνακας 4.6) και σύμφωνα με τους LEAKE et al. (1997), οι αμφίβολοι των μελετηθέντων δειγμάτων ανήκουν στην ομάδα των ασβεσταμφιβόλων, αφού ισχύουν για αυτές: $(Ca+Na)_B \geq 1,00$ και $Na_B < 0,50$. Η προβολή τους

στο διάγραμμα των ασβεσταμφιβόλων, που δίνεται από τους ίδιους συγγραφείς, φαίνεται στο σχήμα 4.2 και δείχνει ότι πρόκειται για παργασίτες.



Σχήμα 4.2. Προβολή των αμφιβόλων των μελετηθέντων δειγμάτων στο διάγραμμα για την ταξινόμηση των ασβεσταμφιβόλων (LEAKE et al., 1997).

Πίνακας 4.6. Μέσοι όροι χημικών αναλύσεων και οι τύποι δομής των αμφιβόλων των μελετηθέντων δειγμάτων.

Δείγμα	**BB**	**GP**	**Δείγμα**	**EM**
Πετρ/ικός τύπος	**Gr**	**Gr**	**Πετρ/ικός τύπος**	**QMz**
Αρ. αναλ.	**7**	**2**	**Αρ. αναλ.**	**4**
Οξείδια % κ.β.			**Οξείδια % κ.β.**	
SiO_2	39,21	40,47	**SiO_2**	41,70
TiO_2	1,77	2,34	**TiO_2**	3,86
Al_2O_3	8,49	8,22	**Al_2O_3**	8,20
FeO	31,98	28,35	**FeO**	17,56
MnO	0,54	0,71	**MnO**	0,65
MgO	1,91	3,68	**MgO**	10,28
CaO	10,44	10,29	**CaO**	11,02
Na_2O	2,14	2,07	**Na_2O**	2,96
K_2O	1,36	1,07	**K_2O**	1,31
Cr_2O_3	0,03	0,00	**Cr_2O_3**	0,07
Σύνολο	97,86	97,18	**Σύνολο**	97,61
Κατανομή κατιόντων με βάση τα 23 οξυγόνα			**Κατανομή κατιόντων με βάση τα 23 οξυγόνα, άθροισμα κατιότων-Ca-Na-K=13**	
Si	6,391	6,493	**Si**	6,387
Al ^{IV}	1,609	1,507	**Al ^{IV}**	1,480
			Fe^{3+}	0,099
			Ti	0,035
T	*8,000*	*8,000*	***T***	*8,000*
Al ^{VI}	0,021	0,048	**Al ^{VI}**	0,000
Ti	0,216	0,282	**Ti**	0,410
Fe^{3+}	0,270	0,273	**Fe^{3+}**	0,000
Cr	0,004	0,000	**Cr**	0,008
Mg	0,464	0,880	**Mg**	2,347
Fe^{2+}	4,025	3,517	**Fe^{2+}**	2,151
Mn	0,000	0,000	**Mn**	0,085
C	*5,000*	*5,000*	***C(M1,M2,M3)***	*5,000*
Mg	0,000	0,000	**Mg**	0,000
Fe^{2+}	0,064	0,014	**Fe^{2+}**	0,000
Mn	0,074	0,097	**Mn**	0,000
Ca	1,823	1,769	**Ca**	1,808
Na	0,039	0,120	**Na**	0,192
B	*2,000*	*2,000*	***B(M4)***	*2,000*
			Ca	0,000
Na	0,637	0,524	**Na**	0,686
K	0,283	0,218	**K**	0,256
A	*0,920*	*0,742*	***A***	*0,943*
$Mg/(Mg+Fe^{2+})$	0,879	0,984	**$Mg/(Mg+Fe^{2+})$**	0,522

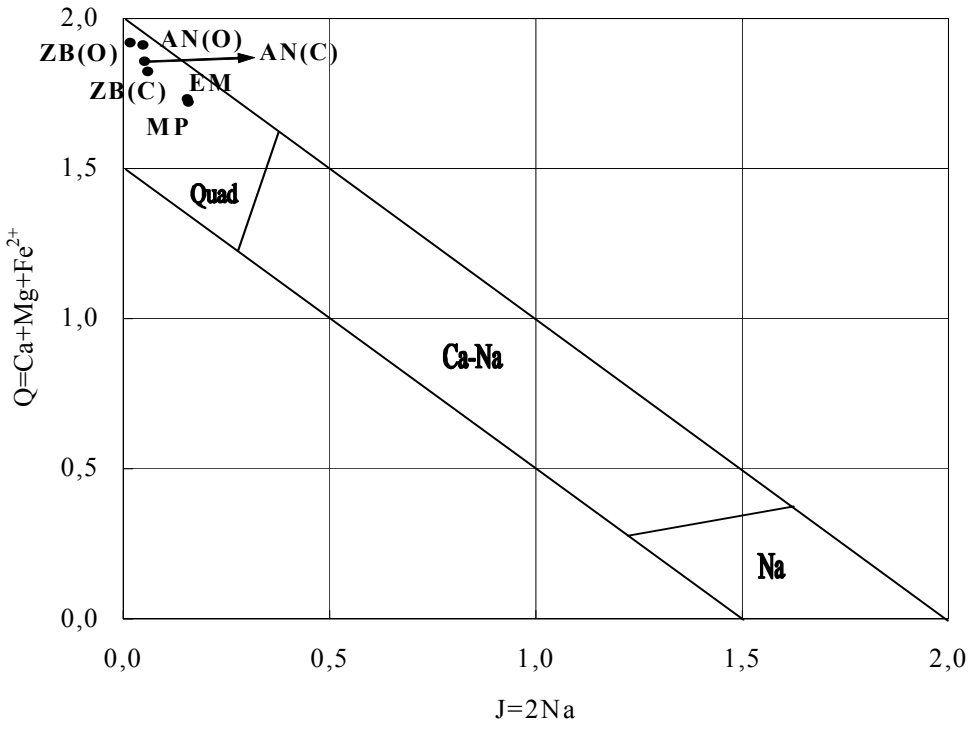
4.5. Πυρόξενοι

Οι πυρόξενοι αποτελούν ορυκτολογικά συστατικά των δειγμάτων Emerald (EM) (0,6% κλινοπυρόξενος), Marina pearl (MP) (4,5% κλινοπυρόξενος), Zimbabwe (ZB) (28,7% ορθοπυρόξενος, 26,3% κλινοπυρόξενος) και Africa nero (AN) (2,2% ορθοπυρόξενος, 29,9% κλινοπυρόξενος).

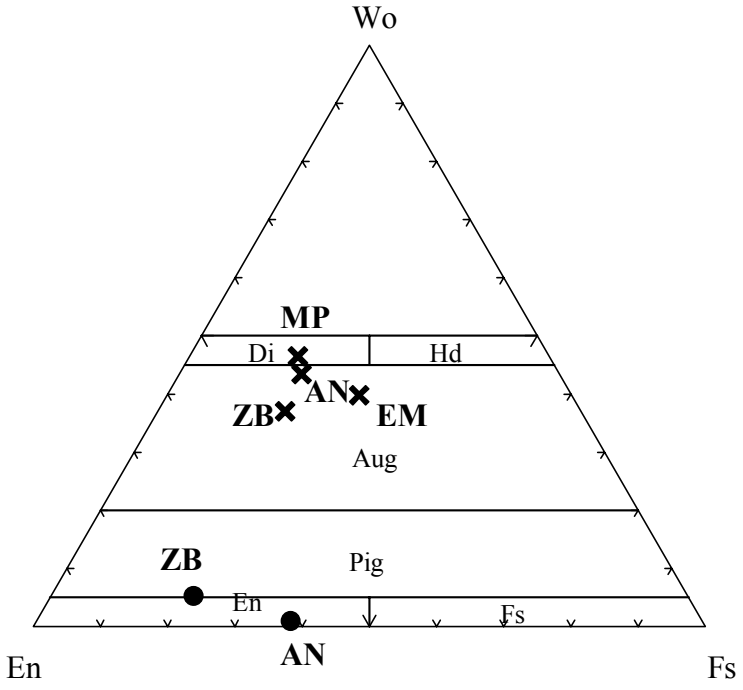
Οι μέσοι όροι των χημικών αναλύσεων και οι τύποι δομής τους δίνονται στον πίνακα 4.7. Η ταξινόμησή τους έγινε σύμφωνα με τους MORIMOTO et al. (1989). Στο σχήμα 4.3 δίνεται η προβολή των πυρόξενων των δειγμάτων στο διάγραμμα Q-J, όπου φαίνεται ότι όλοι ταξινομούνται στην ομάδα των ασβεστο-μαγνησιο-σιδηρούχων πυροξένων (πεδίο Quad). Για την ακριβή ονομασία κάθε είδους χρησιμοποιείται στην περίπτωση αυτή το τριγωνικό διάγραμμα βολαστονίτη-ενστατίτη-φεροσσιλίτη (Wo-En-Fs). Έτσι, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4, οι κλινοπυρόξενοι του δείγματος Emerald (EM) προβάλλονται στο πεδίου του αυγίτη και αυτοί του δείγματος Marina pearl (MP) στο πεδίο του διοψίδιου. Οι κλινοπυρόξενοι των δειγμάτων Zimbabwe (ZB) και Africa nero (AN) ταξινομούνται ως αυγίτες, ενώ οι ορθοπυρόξενοι των δειγμάτων αυτών ταξινομούνται ως ενστατίτες.

Πίνακας 4.7. Μέσοι όροι χημικών αναλύσεων και οι τύποι δομής των πυρόξενων των μελετηθέντων δειγμάτων.

Δείγμα	**EM**	**MP**	**ZB**	**ZB**	**AN**	**AN**
Πετρ/ικός τύπος	**QMz**	**QMz**	**QMzd**	**QMzd**	**QGb**	**QGb**
Είδος πυρόξενου	**Cpx**	**Cpx**	**Opx**	**Cpx**	**Opx**	**Cpx**
Αρ. αναλ.	**1**	**2**	**2**	**2**	**3**	**3**
Οξείδια % κ.β.						
SiO_2	50,00	50,53	55,30	50,29	52,97	51,38
TiO_2	0,53	1,17	0,13	0,60	0,18	0,49
Al_2O_3	1,23	1,80	0,84	2,64	0,38	1,22
FeO	16,68	9,44	10,84	11,66	23,50	11,19
MnO	0,69	0,65	0,34	0,23	0,46	0,36
MgO	10,73	13,13	29,83	15,50	21,63	13,84
CaO	18,90	22,53	2,30	18,08	0,89	21,79
Na_2O	1,05	1,10	0,13	0,42	0,33	0,36
K_2O	0,14	0,06	0,09	0,03	0,03	0,03
Cr_2O_3	0,00	0,15	0,42	0,13	0,01	0,02
Σύνολο	99,95	100,54	100,22	99,55	100,39	100,69
Κατανομή κατιόντων με βάση τα 6 οξυγόνα						
Si	1,908	1,872	1,951	1,876	1,971	1,910
Al	0,055	0,078	0,035	0,116	0,017	0,053
Fe^{3+}	0,037	0,050	0,014	0,007	0,012	0,036
T	*2,000*	*2,000*	*2,000*	*2,000*	*2,000*	*2,000*
Fe^{3+}	0,146	0,141	0,043	0,117	0,043	0,089
Ti	0,015	0,032	0,004	0,017	0,005	0,014
Cr	0,000	0,004	0,012	0,004	0,000	0,001
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,610	0,725	0,942	0,862	0,951	0,767
Fe^{2+}	0,228	0,098	0,000	0,000	0,000	0,130
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M1	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*
Mg	0,000	0,000	0,627	0,000	0,249	0,000
Fe^{2+}	0,121	0,004	0,263	0,239	0,676	0,093
Mn	0,022	0,020	0,010	0,007	0,014	0,011
Ca	0,773	0,894	0,087	0,723	0,036	0,868
Na	0,078	0,079	0,009	0,030	0,024	0,026
K	0,007	0,003	0,004	0,001	0,002	0,001
M2	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*	*1,000*
En	31,5	37,5	79,0	44,1	60,6	38,5
Fs	28,6	16,2	16,6	19,0	37,6	18,0
Wo	39,9	46,3	4,4	37,0	1,8	43,5



Σχήμα 4.3. Προβολή των πυρόξενων των μελετηθέντων δειγμάτων στο διάγραμμα Q-J (MORIMOTO et al., (1989). ((O) = ορθοπυρόξενος, (C) = κλινοπυρόξενος).



Σχήμα 4.4. Προβολή των πυρόξενων των μελετηθέντων δειγμάτων στο τριγωνικό διάγραμμα βολαστονίτη-ενστατίτη-φεροσσιλίτη (Wo-En-Fs) (MORIMOTO et al., 1989). Με κύκλο προβάλλονται οι ορθοπυρόξενοι και με το σύμβολο «x» οι κλινοπυρόξενοι.

4.6. Ολιβίνης

Ολιβίνης συναντάται μόνο στο δείγμα Marina pearl (MP) σε ποσοστό1,5%. Η μέση ορυκτολογική του σύσταση και ο τύπος δομής του δίνονται στον πίνακα 4.8.

Πίνακας 4.8. Μέσος όρος χημικών αναλύσεων και τύπος δομής του ολιβίνη του δείγματος Marina pearl (MP).

Πετρ/ικός τύπος	**QMz**
Δείγμα	**MP(14)**
Αρ. Αναλ.	**2**
Οξείδια % κ.β.	
SiO_2	33,20
TiO_2	0,10
FeO	43,54
MnO	2,83
MgO	19,01
CaO	0,18
Na_2O	0,55
K_2O	0,02
Cr_2O_3	0,13
Σύνολο	99,55
Κατανομή κατιόντων με βάση τα 4 οξυγόνα	
Si	0,987
Z	*0,987*
Ti	0,002
Fe^{2+}	1,082
Mn	0,071
Mg	0,842
Ca	0,006
Na	0,032
K	0,001
Cr	0,003
X	*2,039*
$100Mg/(Mg+Fe^{2+})$	43,8
Μοριακή συμμετοχή %	
Fo	42,2
Fa	54,2
Tp	3,6

4.7. Γρανάτης

Ο γρανάτης συμμετέχει στην ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων Topazio (TP), Yellow cecilia (YC) και Napoleon (NP) με ποσοστά 1,0%, 1,3% και 5,5% αντίστοιχα. Στον πίνακα 4.9 δίνεται η μέση χημική σύσταση και ο τύπος δομής των γρανατών των δειγμάτων αυτών. Ο υπολογισμός των ακραίων μελών έγινε σύμφωνα με τον RICKWOOD (1968). Το μακροσκοπικό τους χρώμα είναι σκούρο βυσσινί και είναι ορατοί μακροσκοπικά, περισσότερο στα δείγματα Topazio (TP) και Yellow cecilia (YC) και λιγότερο στο δείγμα Napoleon (NP).

Πίνακας 4.9. Μέσοι όροι χημικών αναλύσεων και τύποι δομής των γρανατών των μελετηθέντων δειγμάτων.

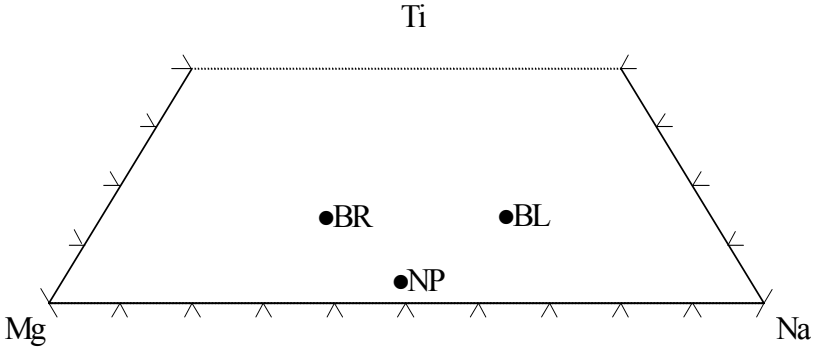
Δείγμα	**TP**	**YC**	**NP**
Πετρ/ικός τύπος	**Gr**	**Gr**	**Gr**
Αρ. αναλ.	**2**	**2**	**2**
Οξείδια % κ.β.			
SiO_2	36,04	35,82	35,51
TiO_2	0,11	0,00	0,02
Al_2O_3	20,49	20,30	20,53
FeO	38,37	37,59	36,40
MnO	0,91	1.51	1,19
MgO	4,03	2,98	4,85
CaO	0,85	0,94	1,36
Cr_2O_3	0,06	0,05	0,24
Σύνολο	100,86	97,68	100,10
Κατανομή κατιόντων με βάση τα 12 οξυγόνα			
Si	2,881	2,926	2,840
Al	0,119	0,074	0,160
T	*3,000*	*3,000*	*3,000*
Al^{VI}	1,810	1,879	1,774
Fe^{3+}	0,286	0,186	0,363
Ti	0,007	0,000	0,001
Cr	0,004	0,003	0,015
A	*2,107*	*2,068*	*2,153*
Fe^{2+}	2,279	2,382	2,072
Mg	0,480	0,363	0,578
Mn	0,062	0,104	0,081
Ca	0,073	0,082	0,117
B	*2,893*	*2,932*	*2,847*
FeO	34,086	34,872	30,973
Fe_2O_3	4,761	3,021	6,031
Μοριακή συμμετοχή %			
Alm	71,86	74,94	65,87
And	3,07	3,53	4,13
Gross	0,00	0,00	0,00
Pyrope	21,99	16,55	25,45
Spess	2,82	4,76	3,55
Uvaro	0,26	0,22	1,00

4.8. Μοσχοβίτης – Σερικίτης

Μοσχοβίτης συναντάται στα δείγματα Blanco real (BR), Napoleon (NP) και Balmoral (BL). Οι χημικές αναλύσεις και οι τύποι δομής των μοσχοβιτών των δειγμάτων αυτών δίνονται στον πίνακα 4.10. Στα δείγματα Blanco real (BR), και Napoleon (NP) οι κρύσταλλοι του μοσχοβίτη εμφανίζονται με μέγεθος συγκρίσιμο με τα πρωτογενή ορυτκά τους και σαφή περατωτικά όρια των φυλλωδών κρυστάλλων τους. Στο δείγμα Balmoral (BL) οι κρύσταλλοι είναι μικροί σε σχέση με τα πρωτογενή ορυκτά και έχουν ασαφή όρια δίνοντας περισσότερο την εντύπωση ότι εγκλείονται σε άλλα ορυκτά. Με βάση τα ιστολογικά κριτήρια των MILLER et al. (1981) οι μοσχοβίτες των δύο πρώτων δειγμάτων εμφανίζονται πρωτογενείς ενώ ο μοσχοβίτης του τελευταίου δευτερογενής. Ωστόσο οι MILLER et al. (1981) υποστηρίζουν ότι σε ένα τριγωνικό διάγραμμα Ti-Mg-Na οι πρωτογενείς μοσχοβίτες προβάλλονται πιο πάνω από τους δευτερογενείς, προς την κορυφή του Ti. Όπως φαίνεται από την προβολή των μοσχοβιτών των δειγμάτων που προαναφέρθηκαν στο διάγραμμα Ti-Mg-Na, που δίνεται στο σχήμα 4.6, αυτοί δε διαχωρίζονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς, αφού όλοι προβάλλονται σε μια περιοχή μακριά από την κορυφή του Ti.

Στα δείγματα Blanco crystal (BC) και Multicolor (MC) συναντάται μοσχοβίτης από αποχρωματισμό βιοτίτη.

Σερικίτης συναντάται στα δείγματα Salvatierra (SV), Rosa porrino (RP), Blanco real (BR), Topazio (TP), Yellow cecilia (YC), Blanco crystal (BC), Napoleon (NP), Balmoral (BL), African red (AR), Multicolor (MC) και Gris perla (GP), σαν προϊόν αλλοίωσης των αστρίων (σερικιτίωση).



Σχήμα 4.5. Προβολή των μοσχοβιτών των μελετηθέντων δειγμάτων στο διάγραμμα Ti-Mg-Na (MILLER et al., 1981).

Πίνακας 4.10. Μέσοι όροι χημικών αναλύσεων και οι τύποι δομής των μοσχοβιτών των μελετηθέντων δειγμάτων.

Δείγμα	**BR(3)**	**NP(7)**	**BL(8)**
Πετρ/ικός τύπος	**AFGr**	**Gr**	**Gr**
Αρ. αναλ.	**2**	**2**	**2**
Οξείδια % κ.β.			
SiO_2	45,89	46,34	46,97
TiO_2	0,55	0,17	0,44
Al_2O_3	32,61	36,54	32,23
FeO	4,16	1,16	6,28
MnO	0,11	0,06	0,20
MgO	1,04	0,76	0,38
Na_2O	0,41	0,57	0,59
K_2O	10,53	10,73	9,92
Σύνολο	95,29	96,30	96,99
Κατανομή κατιόντων με βάση τα 22 οξυγόνα			
Si	6,213	6,102	6,284
Al ^{IV}	1,787	1,898	1,716
Z	*8,000*	*8,000*	*8,000*
Al ^{VI}	3,417	3,773	3,365
Ti	0,056	0,016	0,044
Fe^{3+}	0,000	0,000	0,000
Fe^{2+}	0,471	0,128	0,702
Mn	0,012	0,006	0,022
Mg	0,209	0,149	0,076
Y	*4,165*	*4,073*	*4,209*
Na	0,108	0,144	0,152
K	1,819	1,802	1,693
X	*1,927*	*1,946*	*1,845*
Mg/(Mg+Fe^{2+})	0,307	0,539	0,097

4.9. Τιτανίτης

Τιτανίτη συναντάμε στα δείγματα Salvatierra (SV), Blanco crystal (BC), Multicolor (MC) και Gris perla (GP). Οι κρύσταλλοί του είναι υπιδιόμορφοι και έχουν το χαρακτηριστικό μελί χρώμα του ορυκτού.

4.10. Ζιρκόνιο

Ζιρκόνιο συναντάμε σε όλα τα δείγματα εκτός από τα Emerald (EM), Zimbabwe (ZB) και Africa nero (AN). Όταν οι κρύσταλλοι αυτοί εγκλείονται στο βιοτίτη σχηματίζουν πλεοχροϊκές άλω. Στα δείγματα Napoleon (NP) και Baltic brown (BB) παρατηρούνται καλοσχηματισμένοι κρύσταλλοι ζιρκονίου, μεγάλου σχετικά μεγέθους σε σύγκριση με τα υπόλοιπα πρωτογενή ορυκτά. Για παράδειγμα, όπως φαίνεται στη Φωτ. 22 του Παραρτήματος Β, στο δείγμα Baltic brown (BB) παρατηρούνται καλοσχηματισμενοι κρύσταλλοι ζιρκονίου που το μήκος τους φτάνει τα 0,04mm.

4.11. Απατίτης

Απατίτης βρίσκεται στα δείγματα Blanco real (BR), Balmoral (BL), Multicolor (MC), Baltic brown (BB), Gris perla (GP), Emerald (EM) και Marina pearl (MP). Οι κρύσταλλοι που παρατηρούμε είναι χαρακτηριστικοί ιδιόμορφοι έως υπιδιόμορφοι κρύσταλλοι του ορυκτού, με ψηλό ανάγλυφο. Ειδικά στα δείγματα Emerald (EM) και Marina pearl (MP) οι κρύσταλλοι του απατίτη είναι πολυπληθείς.

4.12. Φθορίτης

Φθορίτης συναντάται στο δείγμα Balmoral (BL) σε μικρές ποσότητες. Είναι ελαφρά χρωματισμένος, με ψηλό ανάγλυφο και ισότροπος.

4.13. Αλλανίτης

Αλλανίτη συναντάμε στα δείγματα Salvatierra (SV), Rosa porrino(RP), Gris perla(GP) και Marina pearl (MP). Στο δείγμα Rosa porrino(RP) οι κρύσταλλοί του είναι καλοσχηματισμένοι. Στο δείγμα Gris perla (GP) οι ιδιόμορφοι έως υπιδιόμορφοι κρύσταλλοι του αλλανίτη παρουσιάζουν ζωνώδη δομή.

4.14. Μοναζίτης

Βελονοειδείς κρύσταλλοι μοναζίτη παρατηρήθηκαν στο δείγμα Balmoral (BL) σαν επουσιώδες συστατικό. Οι μέσοι όροι χημικών αναλύσεων και ο τύπος δομής του δίνονται στον πίνακα 4.11.

Πίνακας 4.11. Μέσος όρος χημικών αναλύσεων και τύπος δομής του μοναζίτη του δείγματος Balmoral (BL).

Δείγμα	**BL**
Πετρογραφικός τύπος	**Gr**
Αρ. αναλ.	**6**
Οξείδια % κ.β.	
SiO_2	4,88
P_2O_5	30,02
Y_2O_3	3,71
La_2O_3	16,04
Ce_2O_3	28,89
Pr_2O_3	2,76
Nd_2O_3	8,27
Sm_2O_3	0,82
Gd_2O_3	1,26
Dy_2O_3	0,49
Th_2O_3	4,00
Σύνολο	101,13
Κατανομή κατιόντων με βάση τα 4 οξυγόνα	
Si	0,177
P	0,931
Y	0,072
La	0,215
Ce	0,384
Pr	0,036
Nd	0,107
Sm	0,010
Gd	0,015
Dy	0,006
Th	0,034

4.15. Δευτερογενή ορυκτά

Τα δευτερογενή ορυκτά που παρατηρήθηκαν στα δείγματα γρανιτών του ελληνικού εμπορίου της παρούσας εργασίας είναι το επίδοτο, ο ακτινόλιθος, ο σιλλιμανίτης, ο χλωρίτης και ο σερικίτης.

Επίδοτο υπάρχει στα δείγματα Balmoral (BL), Gris perla (GP) και Marina pearl (MP). Ακτινόλιθο έχουμε στο δείγμα Topazio (TP). Σιλλιμανίτης υπάρχει στο δείγμα Yellow Cecilia (YC). Χλωρίτης υπάρχει στα δείγματα Salvatierra (SV), Rosa porrino (RP), Blanco real (BR), Blanco crystal (BC), Balmoral (BL), African red (AR), Multicolor (MC) και Gris perla (GP) ως προϊόν αλλοίωσης του βιοτίτη, τον οποίο αντικαθιστά σχηματίζοντας ψευδόμορφους κρυστάλλους.

4.16. Μεταλλικά ορυκτά

Μεταλλικά ορυκτά παρατηρήθηκαν στα δείγματα Topazio (TP) σε ποσοστό 0,2%, Multicolor (MC) σε ποσοστό <0,1%, Baltic brown (BB) σε ποσοστό <0,1%, Emerald (EM) σε ποσοστό 0,6%, Marina pearl (MP) σε ποσοστό 1,2% και Zimbabwe (ZB) σε ποσοστό 3,1%.

Στο δείγμα Topazio (TP) τα μεταλλικά ορυκτά είναι αιματίτης και ρουτίλιο.

Στο δείγμα Multicolor (MC) επικρατεί ο σιδηροπυρίτης ενώ υπάρχουν χαλκοπυρίτης, μαγνητοπυρίτης, αιματίτης και μαγνητίτης.

Στο δείγμα Baltic brown (BB) έχουμε κυρίως ιλμενίτη και μαγνητίτη και σε μικρότερο ποσοστό αιματίτη, σιδηροπυρίτη και χαλκοπυρίτη.

Το δείγμα Emerald (EM) έχει στη σύστασή του αιματίτη, σιδηροπυρίτη και μαγνητοπυρίτη.

Στο δείγμα Marina pearl (MP) συναντάμε κυρίως αιματίτη και σε μικρότερο ποσοστό ιλμενίτη, μαγνητίτη, σιδηροπυρίτη, χαλκοπυρίτη και μαγνητοπυρίτη.

Στο δείγμα Zimbabwe (ZB) παρατηρείται κυρίως αιματίτης και σε πολύ μικρές ποσότητες σιδηροπυρίτης, χαλκοπυρίτης και μαγνητοπυρίτης.

5. Γεωχημεία

Στον πίνακα 5.1 δίνονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων (κύρια στοιχεία και επιλεγμένα ιχνοστοιχεία) των δεκαέξι μελετηθέντων δειγμάτων.

Για τα πετρώματα που ανήκουν στους πετρογραφικούς τύπους των γρανιτών και αλκαλιγρανιτών, παρατηρούμε ότι το SiO_2 κυμαίνεται από 78,32% στο δείγμα Topazio (TP) έως 68,98% στο δείγμα Gris perla (GP).

Για σύγκριση παρατίθεται ο πίνακας 5.2 όπου φαίνονται οι μέσες συστάσεις σε κύρια στοιχεία του γρανίτη, του μονζονίτη και του γάββρου (COX et al., 1979). Παρατηρούμε ότι τα δείγματα γρανιτών του ελληνικού εμπορίου της παρούσας εργασίας δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στις συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων από το μέσο όρο των αντίστοιχων με αυτά πετρωμάτων.

Πίνακας 5.1. Χημικές αναλύσεις κύριων στοιχείων (% κ.β.) και επιλεγμένων ιχνοστοιχείων (ppm) των μελετηθέντων δειγμάτων.

Δείγμα	**SR**	**RP**	**BR**	**TP**	**YC**	**BC**	**NP**	**BL**	**AR**	**MC**	**BB**	**GP**	**EM**	**MP**	**ZB**	**AN**
Πετρ/ικός τύπος	**AGr**	**AGr**	**AGr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**Gr**	**QMz**	**QMz**	**QMzd**	**QGb**
SiO_2	76,73	74,80	70,13	78,32	77,62	76,63	75,28	73,77	72,98	71,47	69,56	68,98	64,72	60,83	56,12	55,78
TiO_2	0,26	0,12	0,19	0,19	0,22	0,1	0,19	0,27	0,15	0,29	0,53	0,27	0,79	1,15	0,69	0,24
Al_2O_3	9,30	13,02	13,34	11,44	11,92	12,64	12,26	12,69	12,20	14,33	13,70	15,11	15,98	15,83	9,02	15,66
Fe_2O_3	2,67	1,96	1,55	1,55	1,52	1,06	2,11	2,72	2,65	2,49	4,72	3,29	3,92	6,42	11,36	6,19
MnO	0,04	0,02	0,04	0,02	0,03	0,05	0,03	0,03	0,04	0,03	0,07	0,05	0,15	0,19	0,19	0,14
MgO	0,38	0,11	0,94	0,16	0,23	0,11	0,46	0,10	0,60	0,87	0,39	0,32	1,07	1,70	7,48	5,99
CaO	1,29	0,62	4,07	0,46	0,76	0,75	1,51	1,26	1,88	2,43	2,17	1,80	3,25	4,48	10,84	12,77
Na_2O	3,28	3,19	4,56	2,54	2,53	3,37	2,52	2,78	3,00	3,88	3,04	4,05	5,23	5,11	2,30	2,62
K_2O	4,95	5,52	4,69	4,63	4,93	4,55	4,59	5,49	5,13	3,79	5,26	5,22	3,82	3,56	1,54	0,29
P_2O_5	0,04	<OA[2]	0,02	0,05	0,02	<OA	0,07	0,04	<OA	0,02	0,02	0,07	0,24	0,15	<OA	<OA
ΑΠ[1]	0,62	0,29	0,52	0,19	0,21	0,29	0,83	0,87	1,08	0,34	0,20	0,35	0,38	0,14	0,06	0,03
Σύνολο	99,56	99,65	100,05	99,55	99,99	99,55	99,85	100,02	99,71	99,94	99,66	99,51	99,55	99,56	99,60	99,71
Ba	219	144	156	57	144	58	272	289	483	430	1149	716	973	852	220	68
Co	81	74	71	72	92	81	84	97	104	46	62	57	26	56	88	94
Cr	6	7	8	3	9	7	13	6	3	14	7	12	2	6	64	34
Cu	<OA	<OA	<OA	<OA	<OA	<OA	<OA	<OA	<OA	8	<OA	<OA	<OA	9	81	<OA
Ni	32	23	28	48	56	70	51	54	62	19	53	55	67	49	284	199
Pb	253	269	257	223	235	294	159	371	228	162	255	254	125	118	100	65
Sr	143	73	138	65	105	50	155	135	100	493	258	245	1053	1360	293	440
Zn	56	57	32	30	30	35	30	53	88	36	103	70	95	128	82	47

[1]ΑΠ = απώλεια πύρωσης, [2]ΟΑ = όριο ανιχνευσιμότητας

Πίνακας 5.2. Μέσες συστάσεις σε κύρια στοιχεία του γρανίτη, του μονζονίτη και του γάββρου (COX et al., 1979).

Πετρ/ικός τύπος	Μέση σύσταση γρανίτη	Μέση σύσταση μονζονίτη	Μέση σύσταση γάββρου
SiO_2 (%κ.β.)	71,30	62,60	50,14
TiO_2	0,31	0,78	1,12
Al_2O_3	14,32	15,65	15,48
Fe_2O_3	1,21	1,92	3,01
FeO	1,64	3,08	7,62
MnO	0,05	0,10	0,12
MgO	0,71	2,02	7,59
CaO	1,84	4,17	9,58
Na_2O	3,68	3,73	2,39
K_2O	4,07	4,06	0,93
H_2O^+	0,64	0,90	0,75
H_2O^-	0,13	0,19	0,11
P_2O_5	0,12	0,25	0,24
CO_2	0.05	0,08	0,07
Σύνολο	100.07	99,53	99,15

6. Ραδιενέργεια

6.1. Γενικά για τη ραδιενέργεια των πλουτωνικών πετρωμάτων

Η ραδιενέργεια των πλουτωνικών πετρωμάτων, όπως και όλων των φυσικών υλικών, οφείλεται στην παρουσία ραδιενεργών ισοτόπων τριών κυρίως στοιχείων: του ουρανίου (U), του θορίου (Th) και του καλίου (K). Πρόκειται για τα φυσικά ραδιενεργά ισότοπα ^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th και ^{40}K.

Το U και το Th βρίσκονται στο μάγμα με τη μορφή U^{4+}και Th^{4+}.

Το U^{4+} μπορεί να υποκαταστήσει το Th^{4+}, το Zr^{4+}, τις σπάνιες γαίες, το Ca^{2+} και τον Fe^{2+} και εμφανίζεται κυρίως σε οξείδια, σε άνυδρες φωσφορικές ενώσεις και σε άνυδρες πυριτικές ενώσεις. Παρόλο που πολλά σύνθετα οξείδια περιέχουν Nb, Ta και Ti, το U^{4+} δεν υποκαθιστά τα στοιχεία αυτά. Το U με τη μορφή $(UO_2)^{2+}$ συνδυάζεται με πολλά κατιόντα και ανιόντα και σχηματίζει διάφορες ορυκτές φάσεις.

Το Th^{4+} μπορεί και αυτό να υποκαθιστά το Zr^{4+} και τις σπάνιες γαίες και ιδιαίτερα το Ce^{4+}. Συμμετέχει ως βασικό στοιχείο στη δομή ορισμένων ορυκτών και εμφανίζεται σε μικρά ως ενδιάμεσα ποσά σε πολλές άλλες ορυκτές φάσεις.

Κατά τη χημική αποσάθρωση το U και το Th, που έχουν ιοντικό δυναμικό πάνω από 3, υδρολύονται και καταβυθίζονται ως κολλοειδή υδροξείδια, ανάλογα με το pH του διαλύματος. Το U που μπορεί να υπάρχει με τη μορφή U^{4+} αλλά και U^{6+}, εμφανίζει δηλαδή δύο καταστάσεις σθένους, επηρεάζεται κατά την αποσάθρωση και από το δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh). Το Eh παίζει βασικό ρόλο στην κινητικότητα των στοιχείων που μπορούν να υπάρχουν σε περισσότερες από μία καταστάσεις σθένους.

Το K^+ συμμετέχει στις δομές βασικών πετρογενετικών ορυκτών όπως καλιούχοι άστριοι ($(K,Na)AlSi_3O_8$), αμφίβολοι ($A_{0-1}\ B_2\ C_5\ T_8\ O_{22}(OH, F, Cl)_2$ όπου A = Na, K, B = Na, Li, Ca, Mn, Fe^{2+}, Mg, C = Mg, Fe^{2+}, Mn, Al, Fe^{3+}, Ti και T = Si, Al) και μαρμαρυγίες ($W(X, Y)_{2-3}\ Z_4\ O_{10}(OH, F)_2$ όπου W = K, (Na), X, Y = Al, Li, Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+} και Z = Si, Al με Si:Al = 3:1).

Κατά τη χημική αποσάθρωση το K των πυριγενών πετρωμάτων, επειδή έχει ιοντικό δυναμικό μικρότερο από 3, είναι ευδιάλυτο και απομακρύνεται, ανεξάρτητα από τη μεταβολή του pH.

Σύμφωνα με τον HEINRICH (1958), πρωτογενή επουσιώδη ορυκτά που είναι κυρίως υπεύθυνα για το μεγαλύτερο ποσοστό της ραδιενέργειας των όξινων και βασικών πετρωμάτων είναι: το ζιρκόνιο, ο τιτανίτης, ο απατίτης, ο αλλανίτης, το ξενότιμο και ο μοναζίτης. Άλλα, πολύ σπάνια ορυκτά αλλά σε μερικές περιπτώσεις πολύ ραδιενεργά, είναι ο ουρανοθορίτης, ο

θοριανίτης, ο ευξενίτης, ο θορίτης, το πυρόχλωρο, ο σεβκινίτης, ο φθορίτης, ο μπαστναεζίτης και πιθανώς ο νταβιδίτης. Άλλα ορυκτά που πιθανώς συνεισφέρουν στη συνολική ραδιενέργεια των όξινων και βασικών πετρωμάτων είναι ο αιματίτης, ο σιδηροπυρίτης, ο κολουμπίτης, ο ιλμενίτης και το ρουτίλιο και για τα αλκαλικά πετρώματα σπάνια πυριτικά ορυκτά του ζιρκονίου και του δημητρίου. Τα ορυκτά αυτά δίνονται στον πίνακα 6.1, όπου φαίνεται και ο χημικός τους τύπος. Το U και το Th είτε βρίσκονται στο πλέγμα των κρυστάλλων των ορυκτών αυτών σαν κύρια συστατικά είτε υποκαθιστούν κάποια άλλα ιόντα, όπως αναλύθηκε προηγουμένως και έτσι τα αντίστοιχα ορυκτά εμφανίζονται ραδιενεργά. Μικρό ποσοστό U και Th μπορεί ακόμη να υπάρχει σε ρευστά εγκλείσματα στα ορυκτά.

Τα κύρια ορυκτά που περιέχουν κάλιο (καλιούχοι άστριοι, αστριοειδή, αμφίβολοι, μαρμαρυγίες) συνεισφέρουν στη ραδιενέργεια των πλουτωνικών πετρωμάτων στο βαθμό που συμπεριλαμβάνουν στη δομή τους το ραδιενεργό ισότοπο του στοιχείου αυτού, δηλαδή το ^{40}K. Εξάλλου και τα ορυκτά αυτά μπορεί να περιέχουν ραδιενεργά εγκλείσματα.

Ο HEINRICH (1958) αναφέρει ότι το ποσοστό του U και του Th σε καθεμιά από τις ορυκτολογικές φάσεις ενός πετρώματος μπορεί να ποικίλει πολύ από κόκκο σε κόκκο ή μέσα στον ίδιο κόκκο. Έτσι έχει παρατηρηθεί μη συστηματική μεταβολή της συγκέντρωσης του U και του Th μέσα στο ίδιο πέτρωμα καθώς και ζώνωση του ζιρκονίου σε ό,τι αφορά τη ραδιενέργεια.

Σύμφωνα με τον ίδιο συγγραφέα, το ζιρκόνιο, επειδή είναι πολύ διαδεδομένο και γενικά ραδιενεργό, ευθύνεται για το μεγαλύτερο ποσοστό της ραδιενέργειας των όξινων πλουτωνικών πετρωμάτων. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, μεγάλο ποσοστό από τη ραδιενέργεια του ίδιου του ζιρκονίου προέρχεται από απροσδιόριστα ραδιενεργά εγκλείσματα. Έχει παρατηρηθεί ότι τα ζιρκόνια που είναι έγχρωμα και παρουσιάζουν χαμηλή διπλοθλαστικότητα είναι περισσότερο ραδιενεργά. Η χαμηλή διπλοθλαστικότητα στο ζιρκόνιο συνδέεται με καταστροφή της δομής του, που προκαλείται από τη μετάμιξη στους πολύ ραδιενεργούς τύπους. Οι κρύσταλλοι που έχουν υποστεί μετάμιξη μπορεί να εμφανίζονται μέχρι και δέκα φορές πιο ραδιενεργοί από αυτούς του ίδιου πετρώματος που δεν έχουν υποστεί τέτοια φαινόμενα. Έχει παρατηρηθεί ακόμη ότι οι μικρότεροι και πιο αποστρογγυλωμένοι κρύσταλλοι είναι πιο ραδιενεργοί από τους μεγαλύτερους και πιο καλοσχηματισμένους.

Σε πολλά πετρώματα η υψηλή ραδιενέργεια συνδέεται έμμεσα με συγκεντρώσεις φεμικών ορυκτών, π.χ. βιοτίτη στους γρανίτες ή ριβεκίτη στους αλκαλικούς γρανίτες κυρίως επειδή τα ραδιενεργά επουσιώδη ορυκτά συνήθως συγκεντρώνονται μαζί με τα φεμικά συστατικά.

Πίνακας 6.1. Ραδιενεργά ορυκτά (HEINRICH, 1958).

Όνομα ορυκτού	**Χημικός τύπος**	
Ζιρκόνιο	$ZrSiO_4$	
Τιτανίτης	$CaTiOSiO_4$	Πρωτογενή,
Απατίτης	$Ca_5(F,Cl,OH)(PO_4)_3$	επουσιώδη,
Αλλανίτης	$(Ca,R^*)_2(Al,Fe,Mg)_3(OH)Si_3O_{12}$	ραδιενεργά
Ξενότιμο	YPO_4	ορυκτά
Μοναζίτης	$(Ce,La,Y,Th)PO_4$	
Ουρανοθορίτης	$(U,Th)SiO_4$	
Θοριανίτης	ThO_2	
Ευξενίτης	$(Y,Ca,Ce,U,Th)(Nb,Ta,Ti)_2O_6$	Σπάνια,
Θορίτης	$ThSiO_4$	μερικές φορές
Πυρόχλωρο	$(Ca,Na)_2(Nb,Ta)_2O_6(O,OH,F)$	πολύ ραδιενεργά
Σεβκινίτης	$(Ca,Ce,Th)_4(Fe^{2+},Mg)_2(Ti,Fe^{3+})_3Si_4O_{22}$	ορυκτά
Φθορίτης	CaF_2	
Μπαστναεζίτης	$(Y,Ce)(CO_3)F$	
Νταβιδίτης	$(Ce,La)(Y,U,Fe^{2+})(Ti,Fe^{3+})_{20}(O,OH)_{38}$	
Αιματίτης	Fe_2O_3	
Σιδηροπυρίτης	FeS_2	Πιθανώς
Κολουμπίτης	$(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$	ραδιενεργά
Ιλμενίτης	$FeTiO_3$	ορυκτά
Ρουτίλιο	TiO_2	
Σπάνια πυριτικά ορυκτά του Zr και του Ce		

*R = σπάνιες γαίες

6.2. Ραδιενέργεια των δομικών πετρωμάτων

Πριν παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της φασματοσκοπίας ακτίνων-γ για τα δείγματα της παρούσας εργασίας, είναι χρήσιμο να δοθούν κάποιοι ορισμοί εννοιών και μονάδων που σχετίζονται με τις ακτινοβολίες και τη μέτρησή τους.

6.2.1. Δόση από ακτινοβολία

Όταν ένας οργανισμός δέχεται την επίδραση της ακτινοβολίας α, β ή γ προσλαμβάνει ενέργεια. Αυτή μετράται σε Becquerel (Bq), που αντιστοιχεί σε διάσπαση ενός ραδιενεργού πυρήνα ανά δευτερόλεπτο.

Απορροφούμενη δόση είναι η ενέργεια της ακτινοβολίας που απορροφάται από κάθε μονάδα μάζας ιστού. Μετράται σε Gray (Gy) και ισχύει η ισότητα $1Gy = 1Jkg^{-1}$ (Joule/Kilogram) ιστού.

Ισοδύναμη δόση είναι η απορροφούμενη δόση πολλαπλασιασμένη με έναν παράγοντα (RBE = Relative Biological Effectiveness = Σχετική Βιολογική Δραστικότητα), που εξαρτάται από το είδος της ακτινοβολίας, ώστε να δοθεί ένα μέτρο της βλάβης που μπορεί να προκαλέσει καθεμιά από αυτές στους ιστούς που επιδρά. Μετράται σε Sievert (Sv) και ισχύει και εδώ η ισότητα $1Sv = 1Jkg^{-1}$ (Joule/Kilogram) ιστού.

Δεδομένου ότι ο παράγοντας RBE είναι ίσος με 1 για την ακτινοβολία γ, η οποία μετράται στα δομικά υλικά, εξαιτίας της επικινδυνότητάς της αλλά και γιατί εμφανίζει τα μεγαλύτερα ποσοστά εκπομπής από τα άλλα δύο είδη ακτινοβολίας, η απορροφούμενη δόση είναι ταυτόσημη με την ισοδύναμη δόση για αυτό το είδος ακτινοβολίας. Το ίδιο συμβαίνει και με τις αντίστοιχες μονάδες, δηλαδή 1Gy είναι ταυτόσημο με 1Sv για την ακτινοβολία γ.

6.2.2. Υπολογισμός της απορροφούμενης δόσης και του δείκτη ενεργότητας στα δομικά υλικά

Εξαιτίας της παρουσίας ραδιενεργών στοιχείων στα ορυκτά των πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται ως δομικά υλικά, αυτά εκπέμπουν ακτινοβολία α, β και γ. Η ακτινοβολία α δεν μπορεί να διαπεράσει ούτε ένα φύλλο χαρτιού, ενώ η β επιδρά επιφανειακά στο ανθρώπινο σώμα μέχρι βάθος 30μm. Η ακτινοβολία γ διαπερνάει το ανθρώπινο σώμα και προκαλεί ιονισμό των ατόμων των κυττάρων των ιστών του. Η επίδραση αυτή της ακτινοβολίας γ μπορεί να είναι μέχρι και θανατηφόρα για τον οργανισμό που τη δέχεται. Έτσι, κρίνεται σκόπιμο να υπολογίζεται η απορροφούμενη δόση που οφείλεται στα δομικά υλικά γενικά (τσιμέντο, τούβλα κλπ.) και στα δομικά πετρώματα ειδικότερα (γρανίτες, γνεύσιοι κ.α.), με σκοπό να περιορίζεται η χρήση των συγκεκριμένων δομικών υλικών, αν προκύψει ότι η απορροφούμενη δόση εξαιτίας τους ξεπερνάει συγκεκριμένες τιμές που ορίζονται από τους σχετικούς με τα θέματα αυτά φορείς.

Το πιο σύγχρονο μοντέλο για τον υπολογισμό της απορροφούμενης δόσης που δέχεται ένας άνθρωπος που διαμένει σε κατοικία χτισμένη από ένα υλικό που έχει συγκεκριμένες

συγκεντρώσεις ^{40}K, ^{232}Th και ^{226}Ra (ειδικές ενεργότητες των αντίστοιχων στοιχείων) είναι αυτό που έχει οριστεί από τη Διεθνή Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (UNCEAR, 1993).

Το μοντέλο αυτό θεωρεί ότι η κατοικία είναι ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο διαστάσεων 3m×3m×3m με απείρως λεπτούς τοίχους, χωρίς πόρτες και παράθυρα (πρότυπο μοντέλο δωματίου, standard room model).

Περιγράφεται από την εξίσωση:

$$D(nGyh^{-1}) = \alpha_1 C_{^{40}K} + \alpha_2 C_{^{232}Th} + \alpha_3 C_{^{226}Ra} \qquad (6.\alpha)$$

όπου:

$C_{^{40}K}$ = η ειδική ενεργότητα του ^{40}K σε $Bqkg^{-1}$

$C_{^{232}Th}$ = η ειδική ενεργότητα του ^{232}Th σε $Bqkg^{-1}$

$C_{^{226}Ra}$ = η ειδική ενεργότητα του ^{226}Ra σε $Bqkg^{-1}$

α_1 = $0,0414nGyh^{-1}/Bqkg^{-1}$

α_2 = $0,623nGyh^{-1}/Bqkg^{-1}$

α_3 = $0,461nGyh^{-1}/Bqkg^{-1}$

Σημειώνεται ότι το ^{226}Ra προέρχεται από τη ραδιενεργό διάσπαση του U^{238}.

Ως όριο ετήσιας ισοδύναμης δόσης ορίζεται το 1mSv ή τα 2mSv. Υπενθυμίζεται ότι για την περίπτωση των ακτίνων γ που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της εκπεμπόμενης από τα δομικά υλικά ραδιενέργειας, 1Gy είναι ταυτόσημο με 1Sv.

Το μοντέλο αυτό δίνει τη δυνατότητα σύγκρισης μίας κατοικίας κατασκευασμένης εξολοκλήρου από ένα υλικό με μία ίδια κατασκευασμένη από υλικό του οποίου οι συγκεντρώσεις ^{40}K , ^{232}Th και ^{226}Ra είναι ίσες τις μέσες περιεκτικότητες του εδάφους στα στοιχεία αυτά σε παγκόσμια κλίμακα (370, 26 και $26Bqkg^{-1}$ αντίστοιχα).

Διάφορες χώρες χρησιμοποιούν διαφορετικούς τύπους για τον προσδιορισμό της επίδρασης της ραδιενέργειας στον ανθρώπινο οργανισμό, τροποποιώντας τις προδιαγραφές, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των υλικών που οι ίδιες διαθέτουν στην αγορά. Η ποσότητα που υπολογίζεται ονομάζεται δείκτης ενεργότητας (Activity Index, AI) και μετράται σε $Bqkg^{-1}$. Στον πίνακα 6.2 (CHEN & LIN, 1995) παρατίθενται οι τύποι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του δείκτη ενεργότητας σε $Bqkg^{-1}$ σε πέντε διαφορετικές χώρες και τα αντίστοιχα όρια για εξωτερική έκθεση, δηλαδή για έκθεση σε ακτινοβολία που προέρχεται από τα υλικά του περιβάλλοντος. Και στους υπολογισμούς αυτούς θεωρείται ότι για την κατασκευή χρησιμοποιείται ένα μόνο υλικό, ότι οι τοίχοι είναι απείρως λεπτοί και ότι δεν υπάρχουν πόρτες και παράθυρα.

Πίνακας 6.2. Τύποι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του δείκτη ενεργότητας σε πέντε διαφορετικές χώρες και τα αντίστοιχα όρια για εξωτερική έκθεση (CHEN & LIN, 1995).

Χώρα	Υπολογισμός του δείκτη ενεργότητας σε $Bqkg^{-1}$ και όριο εξωτερικής έκθεσης
Πρώην Σοβιετική Ένωση	$C_{Ra}/370 + C_{Th}/260 + C_K/4810 \leq 1$
Πρώην Δυτική Γερμανία	$C_{Ra}/370 + C_{Th}/260 + C_K/4810 \leq 1$
Πολωνία	$C_{Ra}/370 + C_{Th}/233 + C_K/3700 \leq 1$
Σουηδία	$C_{Ra}/999 + C_{Th}/703 + C_K/9990 \leq 1$
Κίνα	$C_{Ra}/350 + C_{Th}/260 + C_K/4000 \leq 1$

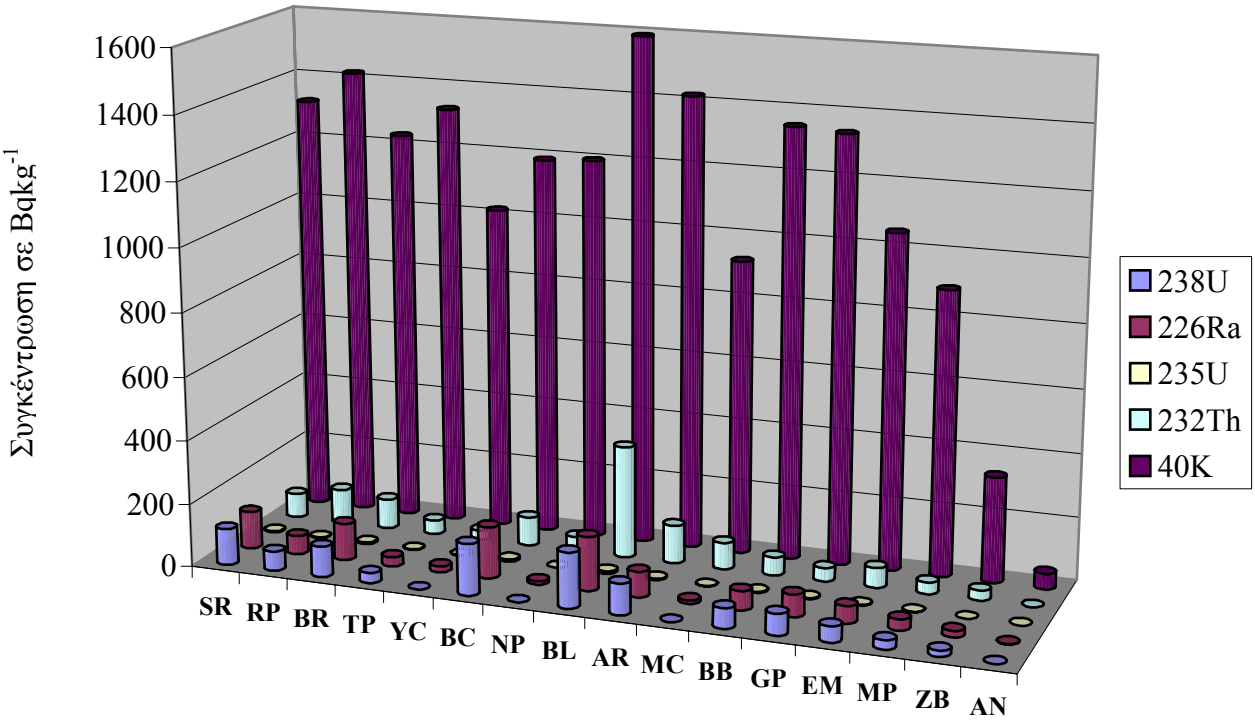
6.3. Αποτελέσματα φασματοσκοπίας ακτίνων-γ για τους γρανίτες του ελληνικού εμπορίου

Στον πίνακα 6.3 δίνονται οι στάθμες της φυσικής ραδιενέργειας των μελετηθέντων δειγμάτων, όπως μετρήθηκαν στο Εργαστήριο Ατομικής και Πυρηνικής Φυσικής του Τομέα Πυρηνικής Φυσικής και Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων του Τμήματος Φυσικής του Α.Π.Θ.. Η σχηματική απεικόνιση των συγκεντρώσεων των ραδιενεργών ισοστόπων του πίνακα 6.3 δίνεται στο σχήμα 6.1.

Πίνακας 6.3. Στάθμες της φυσικής ραδιενέργειας των μελετηθέντων δειγμάτων (σε $Bqkg^{-1}$).

A/A	**Όνομα**	**^{238}U**	**^{226}Ra**	**^{235}U**	**^{232}Th**	**^{40}K**
1.	Salvatierra	115 ± 9	118 ± 2	4,3 ± 0,6	77 ± 2	1320 ± 33
2.	Rosa porrino	61 ± 5	59 ± 1	2,5 ± 0,8	109 ± 2	1420 ± 36
3.	Blanco Real	96 ± 5	117 ± 1	5,3 ± 1,0	95 ± 1	1233 ± 30
4.	Topazio	32 ± 5	29 ± 1	1,5 ± 0,6	44 ± 1	1327 ± 33
5.	Yellow cecilia	<OA	19 ± 1	1,0 ± 0,5	30 ± 1	1020 ± 26
6.	Blanco crystal	163 ± 9	163 ± 2	7,0 ± 0,7	91 ± 2	1190 ± 30
7.	Napoleon	<OA	11 ± 2	<OA	46 ± 1	1200 ± 30
8.	Balmoral	174 ± 7	170 ± 1	7,7 ± 1,3	354 ± 3	1592 ± 39
9.	African red	98 ± 5	80 ± 1	4,2 ± 1,2	121 ± 1	1421 ± 32
10.	Multicolor	<OA	11 ± 1	1,0 ± 0,5	84 ± 2	926 ± 23
11.	Baltic brown	64 ± 6	60 ± 1	2,9 ± 0,7	57 ± 1	1350 ± 34
12.	Gris perla	67 ± 5	70 ± 1	3,2 ± 0,5	43 ± 1	1340 ± 34
13.	Emerald	50 ± 4	55 ± 1	2,5 ± 1,2	63 ± 1	1053 ± 24
14.	Marina pearl	29 ± 3	35 ± 1	1,1 ± 0,5	37 ± 1	894 ± 22
15.	Zimbabwe	19 ± 4	20 ± 1	<OA	32 ± 1	332 ± 14
16.	Africa nero	<OA	1,6 ± 0,3	<OA	<OA	49 ± 4

OA = όριο ανιχνευσιμότητας



Σχήμα 6.1. Σχηματική απεικόνηση των συγκεντρώσεων σε $Bqkg^{-1}$ των ^{238}U, ^{226}Ra, ^{235}U, ^{232}Th και ^{40}K, των μελετηθέντων δειγμάτων.

Παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις των ^{238}U, ^{226}Ra, ^{235}U και ^{232}Th είναι παρόμοιες και πολύ χαμηλότερες από αυτές του ^{40}K, πράγμα αναμενόμενο, δεδομένου ότι το K είναι κύριο στοιχείο ενώ το U, το Ra και το Th βρίσκονται ως ιχνοστοιχεία. Παρατηρούμε επίσης ότι το δείγμα Balmoral (BL) εμφανίζει τις υψηλότερες συγκεντρώσεις ραδιενεργών ισοτόπων από τα υπόλοιπα δείγματα. Το ίδιο δείγμα εμφανίζει αξιοσημείωτα μεγαλύτερη συγκέντρωση ^{232}Th από τα υπόλοιπα.

Στον πίνακα 6.4. υπολογίζονται οι στατιστικές παράμεροι για τις συγκεντρώσεις των ραδιενεργών ισοτόπων ^{226}Ra, ^{232}Th και ^{40}K, τα οποία χρησιμοποιούνται για τον υπολογιασμό της απορροφούμενης δόσης (τύπος 6.α, (UNCEAR, 1993)) και του δείκτη ενεργότητας (Πίν. 6.2), των 16 γρανιτικών δειγμάτων του ελληνικού εμπορίου της παρούσας εργασίας. Για σύγκριση δίνεται ο πίνακας 6.5 (CHEN & LIN, 1995), όπου φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία για τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις των ραδιενεργών ισοτόπων σε 167 δείγματα γρανιτών από διάφορες χώρες του κόσμου, που κυκλοφορούν στο διεθνές εμπόριο.

Πίνακας 6.4. Στατιστικά στοιχεία για τις συγκεντρώσεις σε $Bqkg^{-1}$ των ραδιενεργών ισοτόπων ^{226}Ra, ^{232}Th και ^{40}K των 16 δειγμάτων των γρανιτών του ελληνικού εμπορίου.

Ραδιενεργό ισότοπο	**^{226}Ra**	**^{232}Th**	**^{40}K**
Μέσος όρος συγκεντρώσεων	63,7	81	1104
Τυπική απόκλιση	53	79	407
Εύρος	1,6-170	<ΟΑ-354	49-1592
Όριο ανιχνευσιμότητας (ΟΑ) για ακρίβεια 10%	1,6	9	26

Πίνακας 6.5. Στατιστικά στοιχεία για τις συγκεντρώσεις σε $Bqkg^{-1}$ των ραδιενεργών ισοτόπων ^{226}Ra, ^{232}Th και ^{40}K σε 167 δείγματα γρανιτών από διάφορες χώρες του κόσμου (CHEN & LIN, 1995).

Ραδιενεργό ισότοπο	**^{226}Ra**	**^{232}Th**	**^{40}K**
Μέσος όρος συγκεντρώσεων	42	73	1055
Τυπική απόκλιση	35	51	357
Εύρος	0,2-160	<ΟΑ-253	<ΟΑ-2355
Όριο ανιχνευσιμότητας (ΟΑ)	0,2	4,0	36,0

Παρατηρούμε ότι οι μέσες συγκεντρώσεις των ραδιενεργών ισοτόπων ^{226}Ra, ^{232}Th και ^{40}K της παρούσας εργασίας είναι κάπως υψηλότερες από αυτές των γρανιτών της εργασίας των CHEN & LIN (1995). Όμως το ίδιο ισχύει και για τις τυπικές αποκλίσεις και αυτό οφείλεται στον πληθυσμό των δειγμάτων της εργασίας των CHEN & LIN (1995). Εξάλλου, το εύρος των τιμών συγκεντρώσεων του ^{232}Th και του ^{40}K είναι πολύ μικρότερο στην παρούσα εργασία από αυτή της εργασίας των CHEN & LIN (1995), ενώ το εύρος των τιμών των συγκεντρώσεων του ^{226}Ra είναι παρόμοιο με αυτό της εργασίας των CHEN & LIN (1995).

Στον πίνακα 6.6 υπολογίζονται, για καθένα από τα δείγματα, η απορροφούμενη δόση (D) σε $nGyh^{-1}$, με βάση τη Διεθνή Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (UNCEAR, 1993), η αντίστοιχη ετήσια ισοδύναμη δόση (D_a) σε mSv και ο δείκτης ενεργότητας σε $Bqkg^{-1}$, με βάση τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται στην πρώην Σοβιετική Ένωση και την πρώην Δυτική Γερμανία, στην Πολωνία, στη Σουηδία και στην Κίνα. Για σύγκριση υπολογίζονται οι

παράμετροι αυτές και για τις μέσες περιεκτικότητες του εδάφους στα στοιχεία ^{226}Ra, ^{232}Th, και ^{40}K (26, 26 και 370Bqkg^{-1} αντίστοιχα) (UNCEAR, 1993). Υπενθυμίζεται ότι το όριο της ετήσιας ισοδύναμης δόσης είναι 1mSv και το όριο του δείκτη ενεργότητας είναι 1Bqkg^{-1}.

Παρατηρούμε ότι η απορροφούμενη δόση D (UNCEAR, 1993) σε nGyh^{-1} για διαμονή σε ένα σπίτι κατασκευασμένο από τους γρανίτες του πίνακα 6.6 είναι μεγαλύτερη από την απορροφούμενη δόση για διαμονή σε ένα σπίτι κατασκευασμένο από το μέσο έδαφος, για όλα τα δείγματα εκτός από το Zimbabwe (ZB) και το Africa nero (AN).

Εξάλλου, η αντίστοιχη ετήσια ισοδύναμη δόση D_a (UNCEAR, 1993) ξεπερνάει το όριο του 1mSv για επτά δείγματα: Salvatierra (SV) (1,38mSv), Rosa porrino (RP) (1,35mSv), Blanco real (BR) (1,44mSv), Blanco crystal (BC) (1,59mSv), Balmoral (BL) (2,15mSv), African red (AR) (1,50mSv) και Baltic brown (BB) (1,04mSv).

Ωστόσο, με βάση τα κριτήρια των επιμέρους χωρών, τα δείγματα που ξεπερνούν το όριο 1Bqkg^{-1} για το δείκτη ενεργότητας είναι δύο (Blanco crystal (BC) (AI=1,04) και Balmoral (BL) (AI=2,15)) σύμφωνα με το κριτήριο της πρώην Σοβιετικής Ένωσης και της πρώην Δυτικής Γερμανίας, έξι (Salvatierra (SV) (AI=1,01), Rosa porrino (RP) (AI=1,01), Blanco real (BR) (AI=1,06), Blanco crystal (BC) (AI=1,15), Balmoral (BL) (AI=2,41) και African red (AR) (AI=1,12)) σύμφωνα με το κριτήριο της Πολωνίας, κανένα σύμφωνα με το κριτήριο της Σουηδίας και ένα (Balmoral (BL) (AI=2,15)) σύμφωνα με το κριτήριο της Κίνας.

Στον πίνακα 6.7 παρατίθενται τα γρανιτικά δείγματα της παρούσας εργασίας που έχουν δείκτη ενεργότητας μεγαλύτερο από 0,9, με βάση το κριτήριο της πρώην Σοβιετικής Ένωσης και της πρώην Δυτικής Γερμανίας, που αποτελεί ένα μέτριο κριτήριο από άποψη αυστηρότητας και σημειώνεται το χρώμα τους. Είναι τα δείγματα Blanco real (BR) με AI=0,94, Blanco crystal (BC) με AI=1,04, Balmoral (BL) με AI=2,15 και African red (AR) με AI=0,98. Από αυτά δύο, το Balmoral (BL) και το African red (AR), έχουν κόκκινο χρώμα, και δύο, το Blanco real (BR) και το Blanco crystal (BC), έχουν λευκό χρώμα. Σημειώνεται ότι το δείγμα Salvatierra (SV), που έχει ανοιχτό καστανό έως ρόδινο χρώμα, έχει δείκτη ενεργότητας 0,89 και το δείγμα Rosa porrino (RP), που έχει ρόδινο χρώμα, έχει δείκτη ενεργότητας 0,87.

Για σύγκριση παρατίθεται ο αντίστοιχος πίνακας (Πίν. 6.8) της εργασίας των CHEN & LIN (1995), όπου φαίνεται ότι από τα 137 δείγματα που μελετήθηκαν τα 23 είχαν δείκτη ενεργότητας μεγαλύτερο από 0,9, δηλαδή ποσοστό περίπου 17% των δειγμάτων. Από αυτούς τους γρανίτες 8 έχουν σκούρο κόκκινο χρώμα, 8 έχουν ανοιχτό κόκκινο χρώμα, 4 έχουν τεφρό χρώμα και 3 έχουν καστανό χρώμα. Δηλαδή το 70% των δειγμάτων με υψηλά επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας, που μελετήθηκαν από τους CHEN & LIN (1995), έχει ανοιχτό ή σκούρο κόκκινο χρώμα, όπως ήδη αναφέρθηκε στην παράγραφο 6.3.

Πίνακας 6.6. Στάθμες της απορροφούμενης δόσης (D) με βάση τη Διεθνή Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (UNCEAR, 1993), της αντίστοιχης ετήσιας ισοδύναμης δόσης (D_a) και του δείκτη ενεργότητας (AI), με βάση τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται στην πρώην Σοβιετική Ένωση, στην πρώην Δυτική Γερμανία, στην Πολωνία, στη Σουηδία και στην Κίνα, για τα δείγματα των γρανιτών του ελληνικού εμπορίου και για το μέσο έδαφος.

Α/Α	**Όνομα**	**D($nGyh^{-1}$) (UNCEAR, 1993)**	**D_a (mSv) (UNCEAR, 1993)**	**AI ($Bqkg^{-1}$) (πρώην Σοβ. Ένωση, πρώην Δυτ. Γερμανία)**	**AI ($Bqkg^{-1}$) (Πολωνία)**	**AI ($Bqkg^{-1}$) (Σουηδία)**	**AI ($Bqkg^{-1}$) (Κίνα)**
1.	Salvatierra	157,017	1,38	0,89	1,01	0,36	0,63
2.	Rosa porrino	153,894	1,35	0,87	1,01	0,36	0,78
3.	Blanco real	164,168	1,44	0,94	1,06	0,38	0,67
4.	Topazio	95,719	0,84	0,52	0,63	0,22	0,5
5.	Yellow cecilia	69,677	0,61	0,38	0,46	0,16	0,37
6.	Blanco crystal	181,102	1,59	1,04	1,15	0,41	0,65
7.	Napoleon	83,409	0,73	0,46	0,55	0,2	0,48
8.	Balmoral	364,821	3,20	2,15	2,41	0,83	1,76
9.	African red	171,092	1,50	0,98	1,12	0,39	0,82
10.	Multicolor	95,739	0,84	0,55	0,64	0,22	0,55
11.	Baltic brown	119,061	1,04	0,66	0,77	0,28	0,56
12.	Gris perla	114,535	1,00	0,63	0,74	0,27	0,5
13.	Emerald	108,198	0,95	0,61	0,7	0,25	0,51
14.	Marina pearl	76,198	0,67	0,42	0,5	0,18	0,37
15.	Zimbabwe	42,901	0,38	0,25	0,28	0,1	0,21
16.	Africa nero	2,766	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
	Μέσο έδαφος	43,502	0,38	0,25	0,28	0,1	0,19

Σημειώνεται ότι το δείγμα Balmoral (BL) έχει τη μεγαλύτερη τιμή δείκτη ενεργότητας τόσο από τα δείγματα της παρούσας εργασίας όσο και αυτής των CHEN & LIN (1995), με τα 137 γρανιτικά δείγματα από διάφορες χώρες του κόσμου.

Πίνακας 6.7. Γρανιτικά δείγματα του ελληνικού εμπορίου που έχουν δείκτη ενεργότητας μεγαλύτερο από 0,9, με βάση το κριτήριο της πρώην Σοβιετικής Ένωσης και της πρώην Δυτικής Γερμανίας.

Α/Α	**Όνομα**	**Χώρα προέλευσης**	**Χρώμα**	**ΑΙ (πρώην Σοβ. Ένωση, πρώην Δυτ. Γερμανία)**
3.*	Blanco Real	Ισπανία	Λευκό	0,94
6.	Blanco crystal	Ισπανία	Λευκό	1,04
8.	Balmoral	Φιλανδία	Κόκκινο	2,15
9.	African red	Νότια Αφρική	Κόκκινο	0,98

*Η αρίθμηση των δειγμάτων είναι σύμφωνη με αυτή του Πίνακα 1.1.

Για σύγκριση των συγκεντρώσεων των ^{226}Ra, ^{232}Th και ^{40}K των γρανιτών της παρούσας εργασίας με αυτές μαρμάρων, γρανιτών και γνευσίων από όλο τον κόσμο, παρατίθεται ο πίνακας 6.9 (CARRERA et al., 1997). Παρατηρούμε ότι τα μάρμαρα παρουσιάζουν σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις ραδιενεργών ισοτόπων σε σχέση με τους γρανίτες, τόσο του ελληνικού όσο και του διεθνούς εμπορίου. Οι γνεύσιοι εμφανίζουν παρόμοιες συγκεντρώσεις με τους γρανίτες. Οι γρανίτες του ελληνικού εμπορίου εμφανίζουν παρόμοιες συγκεντρώσεις ραδιενεργών ισοτόπων με αυτές γρανιτών από το διεθνές εμπόριο. Αυτό βέβαια ήταν αναμενόμενο, αφού οι γρανίτες από τις διάφορες χώρες διοχετεύονται σε όλο τον κόσμο και αποτελούν τους γρανίτες του διεθνούς εμπορίου. Εξάλλου τρεις γρανίτες από αυτούς που αναφέρονται στον πίνακα 6.9 (CARRERA et al., 1997), ο Porrino Pink (Ισπανία), ο African Black (Νότια Αφρική) και ο Balmoral Red (Φιλανδία), βρίσκονται και στους γρανίτες της Ελληνικής Εταιρίας Γρανιτών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, με λίγο διαφοροποιημένα ονόματα, πράγμα αρκετά συνηθισμένο στο εμπόριο. Πρόκειται αντίστοιχα για τα δείγματα Rosa porrino (RP), Africa nero (AN) και Balmoral (BL). Σημειώνεται ότι οι συγκεντρώσεις των ραδιενεργών ισοτόπων των δειγμάτων αυτών, που δίνονται από τους CARRERA et al.(1997), είναι παρόμοιες με αυτές που μετρήθηκαν στο Εργαστήριο Ατομικής και Πυρηνικής Φυσικής του Τμήματος Φυσικής του Α.Π.Θ. για την παρούσα εργασία.

Πίνακας 6.8. Γρανιτικά δείγματα του εμπορίου από διάφορες χώρες του κόσμου που έχουν δείκτη ενεργότητας μεγαλύτερο από 0,9, με βάση το κριτήριο της πρώην Σοβιετικής Ένωσης και της πρώην Δυτικής Γερμανίας (CHEN & LIN, 1995).

Α/Α	**Χώρα προέλευσης**	**Χρώμα**	**AI (πρώην Σοβ. Ένωση, πρώην Δυτ. Γερμανία)**
2.*	Κίνα	Ανοιχτό κόκκινο	1,32
3.	Κίνα	Ανοιχτό κόκκινο	1,57
4.	Κίνα	Σκούρο κόκκινο	1,12
5.	Κίνα	Τεφρό	0,98
6.	Κίνα	Τεφρό	0,98
9.	Κίνα	Ανοιχτό κόκκινο	1,00
10.	Κίνα	Ανοιχτό κόκκινο	0,96
11.	Κίνα	Ανοιχτό κόκκινο	1,07
39.	Βραζιλία	Σκούρο κόκκινο	1,21
48.	Ινδία	Σκούρο κόκκινο	1,43
49.	Ινδία	Σκούρο κόκκινο	1,36
50.	Ινδία	Ανοιχτό κόκκινο	1,10
53.	Ινδία	Τεφρό	0,95
93.	Ισπανία	Ανοιχτό κόκκινο	0,96
100.	Φιλανδία	Σκούρο κόκκινο	1,44
102.	Φιλανδία	Καστανό	0,92
103.	Φιλανδία	Σκούρο κόκκινο	1,05
110.	Νότια Αφρική	Σκούρο κόκκινο	1,08
127.	Μαλαισία	Τεφρό	0,96
128.	Σουηδία	Καστανό	0,95
129.	Σουηδία	Σκούρο κόκκινο	0,99
131.	Πορτογαλία	Καστανό	1,03
134.	Αυστρία	Ανοιχτό κόκκινο	1,36

*Η αρίθμηση των δειγμάτων διατηρήθηκε από την εργασία των CHEN & LIN (1995).

Για σύγκριση των συγκεντρώσεων σε $Bqkg^{-1}$ των ^{226}Ra, ^{232}Th και ^{40}K των γρανιτών του ελληνικού εμπορίου της παρούσας εργασίας με αυτές άλλων δομικών υλικών παρατίθεται ο πίνακας 6.10 (ZIKOVSKY & KENNEDY, 1992). Παρατηρούμε ότι οι γρανίτες του ελληνικού εμπορίου (όπως εξάλλου γενικά όλοι οι γρανίτες από διάφορες χώρες του κόσμου) έχουν σημαντικά αυξημένες στάθμες φυσικής ραδιενέργειας σε σχέση με όλα τα άλλα δομικά υλικά όπως το τσιμέντο, τα τούβλα, η γύψος, τα χαλίκια, ο υαλοβάμβακας, τα κεραμίδια, το γυαλί και το ξύλο. Το ξύλο παρουσιάζει τις μικρότερες συγκεντρώσεις ραδιενεργών ισοτόπων ενώ κάποια τσιμέντα, τούβλα και κεραμίδια εμφανίζουν υψηλές τιμές. Η γύψος και το γυαλί φαίνεται να εμφανίζουν χαμηλές στάθμες φυσικής ραδιενέργειας.

Πίνακας 6.9. Συγκεντρώσεις σε $Bqkg^{-1}$ των ^{226}Ra, ^{232}Th και ^{40}K μαρμάρων, γρανιτών και γνευσίων από όλο τον κόσμο (στοιχεία από CARRERA et al., 1997).

Είδη δομικών πετρωμάτων	**^{226}Ra**	**^{232}Th**	**^{40}K**
Μάρμαρα			
Marquinia Black (Ισπανία)	33	<0,4	10
Botticino (Ιταλία)	13	<0,2	<2
Portoro (Ιταλία)	4	<0,3	5
Afion (Πορτογαλία)	1	0,4	5,7
Γρανίτες			
Argentina (Αργεντινή)	78	49	1048
Bregenz Red (Βραζιλία)	84	167	1253
Assan Red (Ινδία)	181	211	1178
Porrino Pink (Ισπανία)	74	97	1378
Baveno Pink (Ιταλία)	50	69	1225
Beta Pink (Ιταλία)	27	41	927
Rioblanco Gold (Ιταλία)	85	77	1281
Batthel White (Καναδάς)	2,1	2,3	232
African Black (Νότια Αφρική)	0,5	0,6	45
Imperial Red (Σουηδία)	128	184	1301
Balmoral Red (Φιλανδία)	120	292	1521
Γνεύσιοι			
Luserna Stone (Ιταλία)	126	12	1276
White Mountain (Ιταλία)	166	87	832
Black Diorite (Σουηδία)	0,8	<0,2	55

Πίνακας 6.10. Μέσες συγκεντρώσεις σε $Bqkg^{-1}$ των ^{226}Ra, ^{232}Th και ^{40}K ορισμένων δομικών υλικών από διάφορες χώρες του κόσμου (ZIKOVSKY & KENNEDY, 1992). Για σύγκριση ο πίνακας συμπληρώνεται με τις αντίστοιχες μέσες τιμές για τους γρανίτες του ελληνικού εμπορίου της παρούσας εργασίας και για γρανίτες από διάφορες χώρες του κόσμου από την εργασία των CHEN & LIN (1995).

Είδος δομικού υλικού	**Αρ. δειγμάτων**	**^{226}Ra**	**^{232}Th**	**^{40}K**
Τσιμέντο (Αγγλία)	21	19	11	183
Τσιμέντο (Ισπανία)	24	30	32	204
Τσιμέντο (Καναδάς)	13	11	17	488
Τσιμέντο (Φιλανδία)	15	53	38	838
Τούβλα (Γερμανία)	109	59	67	670
Τούβλα (Καναδάς)	6	44	59	404
Τούβλα από άργιλο (Αγγλία)	25	52	44	640
Τούβλα από άργιλο (Ισπανία)	11	68	56	416
Τούβλα από άργιλο (Κάτω χώρες)	14	39	41	560
Τούβλα από άργιλο(Φιλανδία)	38	80	62	986
Γύψος (χημική) (Καναδάς)	3	33	31	79
Γύψος (φυσική) (Καναδάς)	3	4	5	40
Γύψος (φυσική) (Φιλανδία)	1	7	1	25
Χαλίκια (Καναδάς)	3	10	12	222
Υαλοβάμβακας (Φιλανδία)	8	16	7	157
Κεραμίδια (Καναδάς)	15	61	66	476
Κεραμίδια (Κάτω Χώρες)	8	61	66	600
Γυαλί (Κάτω Χώρες)	2	8	2	110
Ξύλο (Κάτω Χώρες)	2	10	4	19
Ξύλο (Φιλανδία)	2	0	1	10
Γρανίτες ελληνικού εμπορίου	16	61	82	1061
Γρανίτες από διάφορες χώρες του κόσμου (CHEN & LIN, 1995)	167	42	73	1055

7. Φυσικομηχανικές ιδιότητες

Για την επιλογή ενός συγκεκριμένου δομικού πετρώματος σε μία κατασκευή απαιτείται πιστοποίηση της ποιότητάς του μετά από εξέταση των φυσικών, μηχανικών και τεχνικών ιδιοτήτων του, από τις οποίες εξαρτάται η ικανότητά του να αντισταθεί στις μηχανικές καταπονήσεις, αλλά και στις περιβαλλοντικές επιδράσεις, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής στην οποία θα πραγματοποιηθεί η κατασκευή. Η εξέταση αυτή γίνεται σε κατάλληλα εξοπλισμένα εργαστήρια με βάση τις διάφορες προδιαγραφές: αμερικανικές (ASTM), γερμανικές (DIN), ιταλικές (UNI), βρετανικές (BS), διεθνείς (ISO) και σύντομα και ευρωπαϊκές (EN). Στην Ελλάδα ισχύουν οι αντίστοιχες προδιαγραφές του Υπουργείου Δημοσίων Έργων (ΦΕΚ 70/8.2.85).

Σύμφωνα με τους ΛΑΣΚΑΡΙΔΗ κ.ά. (2000) οι φυσικές ιδιότητες των δομικών πετρωμάτων είναι α) το ειδικό βάρος και β) η υδαταπορρόφηση. Οι μηχανικές ιδιότητες είναι α) η αντοχή στη θλίψη, β) η αντοχή στην κάμψη και γ) το μέτρο ελαστικότητας. Στις τεχνικές ιδιότητες των δομικών πετρωμάτων συγκαταλέγονται α) η αντοχή στη φθορά από τριβή, β) η αντοχή στην πρόσκρουση, γ) η μικροσκληρότητα Knoop και δ) ο συντελεστής θερμικής διαστολής. Τέλος υπάρχουν οι ιδιότητες των δομικών πετρωμάτων που εξετάζονται με περιβαλλοντικές δοκιμές, δηλαδή α) η αντίσταση στον παγετό και β) η αντοχή στη διάβρωση.

Ειδικά για τα γρανιτικά πετρώματα υπάρχουν ορισμένες ιδιότητες ή χαρακτηριστικά που είναι χρήσιμο να είναι γνωστά και να λαμβάνονται υπόψη πριν από την εξόρυξη και τη χρησιμοποίησή τους. Αυτά είναι α) το μέγεθος των κόκκων, β) η συνεκτικότητα, γ) το χρώμα και δ) η παρουσία φλεβών (ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ, 1996).

Σύμφωνα με την Αμερικανική Εταιρία Ελέγχου και Υλικών (American Society for Testing and Materials (ASTM), 1998), οι γρανίτες περιλαμβάνουν τα πετρώματα (εκτός από τα μάρμαρα) που εξάγονται από μια εμφάνιση σε όγκους και στη συνέχεια υφίστανται τις κατάλληλες επεξεργασίες ώστε να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά στις κατασκευές. Δε συμπεριλαμβάνονται τα τεχνητά πετρώματα που κατασκευάζονται με συγκόλληση τεμαχίων φυσικών πετρωμάτων με χρήση ρητινών.

Οι γρανίτες χρησιμοποιούνται σε εξωτερικές και εσωτερικές επενδύσεις και δαπεδοστρώσεις κτιρίων και άλλων κατασκευών, σε πλακοστρώσεις δρόμων, σε διακοσμήσεις εξωτερικών χώρων όπως π.χ. πάρκα κ.ά., σε κατασκευές τοιχίων αντιστήριξης, αλλά και ως δομικά στοιχεία συγκεκριμένων διαστάσεων σε διάφορες κατασκευές.

Σύμφωνα με τα πρότυπα ASTM (1998), οι γρανίτες θα πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές που δίνονται στον πίνακα 7.1. Οι προδιαγραφές αυτές έχουν οριστεί με βάση τη

συσσωρευμένη εμπειρία από τη χρησιμοποίηση του υλικού. Η πράξη λοιπόν έχει δείξει ότι οι γρανίτες που πληρούν τις προδιαγραφές αυτές αποτελούν επιτυχημένες επιλογές για τα κτίρια και τις κατασκευές στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν. Γρανίτες με μικρότερη αντοχή στη θλίψη, στην κάμψη ή στη φθορά από τριβή από τις προδιαγραφές του πίνακα 7.1 (ASTM, 1998) μπορούν να χρησιμοποιηθούν, με την προϋπόθεση ότι έχουν εκτιμηθεί από τους μηχανικούς κάποια άλλα χαρακτηριστικά του υλικού, όπως η αντοχή στο χρόνο, το μέτρο ελαστικότητας, η θερμική διαστολή κ.α. και κρίνεται ότι είναι κατάλληλα για χρήση, με βάση τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης κατασκευής για την οποία προορίζονται.

Πίνακας 7.1. Προδιαγραφές χρήσης γρανιτικών πετρωμάτων (ASTM, 1998).

Ιδιότητα	**Προδιαγραφές**	**Μέθοδος μέτρησης ASTM**
Υδαταπορρόφηση, μέγιστη τιμή (σε βάρος %)	0,4	C 97
Πυκνότητα, ελάχιστη τιμή (σε kg/m^3)	2560	C 97
Αντοχή στη θλίψη, ελάχιστη τιμή (σε Mpa)	131	C 170
Αντοχή στην κάμψη, ελάχιστη τιμή (σε Mpa)	10,34	C 99
Αντοχή στη φθορά από τριβή, ελάχιστη τιμή (καθαρός αριθμός)	25	C 241
Αντοχή στην κάμψη απλής δοκού με τέσσερα σημεία στήριξης (flexural strength), ελάχιστη τιμή (σε Mpa)	8,27	C 880

Στον πίνακα 7.2 δίνονται οι τιμές των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων του προηγούμενου πίνακα που ισχύουν για τους γρανίτες του ελληνικού εμπορίου της παρούσας εργασίας, ενώ για σύγκριση δίνονται στον ίδιο πίνακα και οι τιμές των προδιαγραφών (ASTM, 1998) για χρήση των γρανιτικών πετρωμάτων στις κατασκευές.

Οι τιμές φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των δειγμάτων που παρουσιάζονται στον πίνακα 7.2, είναι αυτές που δίνονται στις ιστοσελίδες των διαφόρων εταιριών, προκειμένου να ενημερώνονται οι έμποροι και οι καταναλωτές για τα προϊόντα αυτά. Ειδικά για τα δείγματα Blanco real (BR), Blanco crystal (BC) και Balmoral (BL), οι τιμές που παρουσιάζονται είναι αυτές που μας διέθεσε η Ελληνική Εταιρία Γρανιτών, η οποία κατείχε τέτοιου είδους πληροφορίες μόνο για αυτά τα δείγματα. Σημειώνεται ότι, όπως φαίνεται και στον πίνακα 7.2, για τα δείγματα Salvatierra (SV), Topazio (TP) και Napoleon (NP) δε βρέθηκαν πληροφορίες για τις φυσικομηχανικές τους ιδιότητες.

Πίνακας 7.2 Τιμές φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των μελετηθέντων δειγμάτων και αντίστοιχες προδιαγραφές ASTM (1998).

	Υδατοαπορρόφηση (σε βάρος %)	Πυκνότητα (σε kg/m^3)	Αντοχή στη θλίψη (σε Mpa)	Αντοχή στην κάμψη (σε Mpa)	Αντοχή στη φθορά από τριβή (καθαρός αριθμός)	Αντοχή στην κάμψη απλής δοκού με τέσσερα σημεία στήριξης (σε Mpa)
Προδιαγραφές ASTM	<0,4	>2560	>131	>10,34	>25	>8,27
1. Salvatierra	-	-	-	-	-	-
2. Rosa porrino	0,3	2610	114,9	11,9	(1mm)	-
3. Blanco real	0,21	2618	103,5	17	(0,2mm)	-
4. Topazio	-	-	-	-	-	-
5. Yellow cecilia	0,33	2647	93,2	13,84	-	-
6. Blanco crystal	0,26	2610	145	14,52	-	-
7. Napoleon	-	-	-	-	-	-
8. Balmoral	0,15	2633	191	11,83	-	-
9. African red	0,14	-	206 (ξηρού) 182 (υγρού)	15 (ξηρού) 17,4 (υγρού)	-	-
10. Multicolor	0,35	-	115,5	-	-	-
11. Baltic brown	0,44	2684	129	10,73	-	-
12. Gris perla	0,25	2650	110	11	(1,53mm)	-
13. Emerald	0,34	-	-	-	-	-
14. Marina pearl	0,09	-	166-227	12,0-14,5	-	-
15. Zimbabue	0,13	-	-	-	-	31
16. Africa nero	0,09	2920	245	26	-	-

Πρώτα απ' όλα πρέπει να τονιστεί ότι στις ιστοσελίδες από τις οποίες πήραμε τις πληροφορίες που παρουσιάζονται εδώ δεν αναφέρονται τα πρότυπα με βάση τα οποία έγιναν οι δοκιμές για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των διαφόρων πετρωμάτων. Μόνο για τα δείγματα Africa nero (AN), Emerald (EM) και Marina pearl (MP) αναφέρεται ότι οι μετρήσεις έγιναν με βάση τα αμερικνικά πρότυπα (ASTM). Έτσι, διαφορετικές εταιρίες δίνουν τις τιμές διαφορετικών ιδιοτήτων για τα πετρώματα που εμπορεύονται, αλλά και πολλές φορές οι τιμές των ίδιων ιδιοτήτων εκφράζονται σε διαφορετικές μονάδες. Τα αποτελέσματα μπορούν σε ορισμένες περιπτώσεις να γίνουν ως ένα βαθμό συγκρίσιμα με μετατροπή των μονάδων, αλλά κάποιες φορές αυτό δεν είναι δυνατό.

Για παράδειγμα, η αντοχή στη φθορά από τριβή υπολογίζεται, με βάση τα πρότυπα ASTM (1998), ως καθαρός αριθμός από τύπο στον οποίο υπεισέρχονται το βάρος του δοκιμίου πριν και μετά τη δοκιμή της εκτριβής και το συνολικό ειδικό βάρος του δείγματος. Για όλα τα δείγματα της παρούσας εργασίας, για τα οποία βρέθηκε η ιδιότητα αυτή στο διαδίκτυο, η τιμή της δίνεται ως χιλιοστά απώλειας υλικού από την επιφάνεια εκτριβής. Σε αυτή την περίπτωση οι τιμές αυτές δεν μπορούν να ελεγχθούν με βάση τα πρότυπα ASTM (1998), παρατίθενται όμως για σύγκριση μεταξύ των δειγμάτων.

Εξάλλου, η τιμή της αντοχής στην κάμψη απλής δοκού με τέσσερα σημεία στήριξης (flexural strength) βρέθηκε μόνο για το δείγμα Zimbabwe (ZB), πάλι όμως χωρίς να αναφέρονται τα πρότυπα με βάση τα ποια έγινε η μέτρηση.

Παρατηρούμε ότι όλα τα δείγματα της παρούσας εργασίας για τα οποία βρέθηκαν πληροφορίες για τις φυσικομηχανικές τους ιδιότητες πληρούν τις προϋποθέσεις των προτύπων ASTM (1998) για χρήση στις κατασκευές σε ότι αφορά την υδαταπορρόφηση, την πυκνότητα και την αντοχή στην κάμψη. Έξι δείγματα, τα Rosa porrino (RP), Blanco real (BR), Yellow cecilia (YC), Multicolor (MC), Baltic brown (BB) και Gris perla (GP) εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές αντοχής στη θλίψη από την ελάχιστη τιμή των αμερικάνικων προτύπων, δηλαδή τα 131Mpa.

8. Συζήτηση – Συμπεράσματα

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, στην Ελλάδα υπάρχουν αρκετές εταιρίες που εισάγουν γρανίτες από διάφορες χώρες και κυρίως από την Ιταλία, είτε με τη μορφή όγκων είτε με τη μορφή πλακών διαφόρων βαθμών και τύπου επεξεργασίας. Αφού τους επεξεργαστούν κατάλληλα, τους διαθέτουν στο εγχώριο εμπόριο με τη μορφή στιλβωμένων πλακών διαφόρων διαστάσεων. Επίσης, αρκετές επιχειρήσεις μαρμάρου εισάγουν στιλβωμένες πλάκες γρανιτών διαφόρων τύπων, τις οποίες στη συνέχεια κατεργάζονται και παράγουν προϊόντα ειδικών διαστάσεων για ποικίλες εφαρμογές. Η ζήτηση των γρανιτών ακολουθεί ανοδική πορεία στην ελληνική αγορά. Οι γρανίτες του ελληνικού εμπορίου είναι οι ίδιοι που διατίθενται στο διεθνές εμπόριο, μερικές φορές με λίγο διαφοροποιημένα ονόματα. Έτσι σήμερα αυτοί που ασχολούνται με τις κατασκευές έχουν πληθώρα επιλογών όσον αφορά τα γρανιτικά πετρώματα, για την κάλυψη των τεχνικών, οικονομικών, αισθητικών αλλά και περιβαλλοντικών απαιτήσεών τους, με την έννοια της εναρμόνισης των υλικών με το φυσικό περιβάλλον αλλά και της προστασίας της υγείας του σύγχρονου ανθρώπου.

Όσον αφορά τις τεχνικές απαιτήσεις, η κάλυψή τους γίνεται με την πιστοποίηση της ποιότητας και των ιδιοτήτων των υλικών αυτών με τη μελέτη τους σε κατάλληλα εξοπλισμένα εργαστήρια, με τυποποιημένους τρόπους. Φαίνεται πως αρκετές εταιρίες εμπορίας γρανιτικών πετρωμάτων, έχοντας κατανοήσει τη σημασία της πιστοποίησης της ποιότητας των υλικών, τα ελέγχουν και παρέχουν στους καταναλωτές τις αντίστοιχες πληροφορίες. Ωστόσο, όπως φάνηκε από τη διερεύνηση στο διαδίκτυο, δεν αναφέρεται ρητά η τυποποίηση των μεθόδων ελέγχου των ιδιοτήτων των υλικών. Αυτό θα βοηθούσε πολύ στη σύγκριση μεταξύ τους και προφανώς θα επέτρεπε στους μηχανικούς κατασκευών να αξιολογήσουν καλύτερα τις ιδιότητές τους, ώστε να επιλέξουν το υλικό που είναι καταλληλότερο για κάθε εφαρμογή. Γενικά, όπως φάνηκε στο κεφάλαιο των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων, οι γρανίτες του ελληνικού εμπορίου της παρούσας εργασίας ανταποκρίνονται στις προδιαγραφές των προτύπων ASTM (1998) για χρήση στις διάφορες κατασκευές.

Όπως διαπιστώθηκε στο κεφάλαιο της πετρογραφίας, τα δομικά πετρώματα που μελετήθηκαν αποτελούν στην πλειοψηφία τους όξινα πλουτωνικά πετρώματα. Ένα χαρακτηριστικό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι, όλα είναι μεσόκοκκα έως αδρόκοκκα πετρώματα. Επομένως, μπορούμε να πούμε ότι τα εμπορικότερα είδη γρανιτών ανήκουν σε αυτή την κατηγορία.

Μια ακόμη σημαντική παρατήρηση είναι ότι όλοι σχεδόν οι γρανίτες που μελετήθηκαν είναι αλλοιωμένοι και μάλιστα ορισμένοι από αυτούς σε πολύ μεγάλο ποσοστό, που φτάνει

μέχρι και το 90%. Φαίνεται λοιπόν πως η παρουσία αλλοιώσεων στους γρανιτικούς όγκους δεν αποτελεί γενικά απαγορευτικό χαρακτηριστικό για την εκμετάλλευσή τους, όταν οι αλλοιώσεις αυτές δε συνοδεύονται από φαινόμενα αποσάθρωσης.

Μια άλλη παρατήρηση είναι ότι τα περισσότερα δείγματα έχουν στην ορυκτολογική τους σύσταση βιοτίτη που αν υδρολυθεί μπορεί να προκαλέσει την κίτρινη χρώση των ανοιχτόχρωμων πετρωμάτων.

Ακόμη, αναφέρεται ότι η παρουσία σιδηροπυρίτη στην ορυκτολογική σύσταση των δομικών πετρωμάτων μπορεί να προκαλέσει αντιαισθητικές κηλίδες κατά την οξείδωση των κόκκων του. Ωστόσο, η πολύ μικρή ποσότητά του στα δείγματα που μελετήθηκαν αποκλείει τέτοια φαινόμενα. Εξάλλου, τρία από τα δείγματα που περιέχουν σιδηροπυρίτη, το Emerald (EM), το Marina pearl (MP) και το Zimbabwe (ZB), έχουν σκούρο χρώμα και η ενδεχόμενη οξείδωση κάποιων κόκκων σιδηροπυρίτη δε θα γινόταν εύκολα αντιληπτή.

Από οικονομικής άποψης οι γρανίτες είναι σχετικά ακριβά υλικά. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι η τιμή επίστρωσης ενός δαπέδου με τον γρανίτη Salvatierra (SV), που είναι ένας από τους φθηνότερους γρανίτες είναι 49,88€ (17.000δρχ.) ανά m^2, με τον African red (AR) είναι 82,17€ (28.000δρχ.) ενώ με τον Marina pearl (MP), που είναι από τους ακριβότερους γρανίτες, είναι 126,19€ (43.000δρχ.). Η αντίστοιχη τιμή για το μάρμαρο Καβάλας, ένα σχετικά φθηνό μάρμαρο είναι 13,20€ (4.500δρχ.), ενώ για το μάρμαρο Διονύσου, που είναι από τα ακριβότερα, είναι 64,56€ (22.000δρχ.). Δηλαδή ένας μέσος, από άποψη τιμής, γρανίτης είναι λίγο ακριβότερος από το ακριβότερο μάρμαρο.

Οι γρανίτες προτιμώνται στις περιπτώσεις που απαιτείται πολυτέλεια σε μια κατασκευή, δίνοντας ένα ξεχωριστό αισθητικό αποτέλεσμα. Αυτό φυσικά εξαρτάται και από τους ειδικούς που θα καθορίσουν το πού και πώς ακριβώς θα χρησιμοποιηθούν οι γρανίτες σε μια κατασκευή, με βάση την προσωπική τους αισθητική αλλά και τις αρχές της διακοσμητικής. Όπως σε ολόκληρο τον κόσμο, έτσι και στην Ελλάδα διατίθενται γρανιτικά πετρώματα διαφόρων τύπων και χρωμάτων, που με τη στίλβωση αποκτούν εξαιρετική λάμψη και στιλπνότητα, χαρακτηριστικά που διατηρούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα εξαιτίας των πυριτικών συστατικών που περιέχουν. Συνδυαζόμενα μεταξύ τους αλλά και με άλλα υλικά, όπως π.χ. τα μάρμαρα, δίνουν τη δυνατότητα στους αρχιτέκτονες και τους σχεδιαστές να δημιουργήσουν πολυτελείς κατασκευές.

Ο γρανίτης είναι ένα φυσικό υλικό που βρίσκεται σε αρμονία με το φυσικό περιβάλλον. Ωστόσο, όπως φάνηκε και από το κεφάλαιο 6, είναι από τη φύση του ένα υλικό με σχετικά αυξημένα επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας. Είδαμε ότι τέσσερα από τα δείγματα των γρανιτών του ελληνικού εμπορίου που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία εμφανίζουν

δείκτη ενεργότητας μεγαλύτερο από 0,9Bqkg^{-1} και δύο από αυτά πάνω από 1Bqkg^{-1} που είναι το ανώτερο επιτρεπτό όριο για ασφαλείς κατασκευές.

Ωστόσο για να υπολογιστεί η δόση που δέχεται ένας άνθρωπος που ζει μέσα σε ένα κτίριο που είναι κατασκευασμένο από κάποια υλικά, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το ποσοστό συμμετοχής κάθε υλικού στην κατασκευή.

Σύμφωνα με ένα παράδειγμα των CHEN & LIN (1995), ένα δωμάτιο διαστάσεων 6m× 4m×3m, κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα, με πάχος τοίχου 0,2m και με πάτωμα από γρανίτη πάχους 0,02m, υπολογίζεται ότι ζυγίζει συνολικά 52.000kg και το βάρος του γρανίτη αποτελεί μόνο το 2,2% του συνολικού βάρους της κατασκευής. Για τον υπολογισμό του δείκτη ενεργότητας της κατασκευής χρησιμοποιούμε τον παρακάτω τύπο, ο οποίος συνυπολογίζει τις στάθμες της φυσικής ραδιενέργειας όλων των υλικών:

$$AI = \sum_{i=1}^{n} f_i C_{Rai} / 330 + \sum_{i=1}^{n} f_i C_{Thi} / 260 + \sum_{i=1}^{n} f_i C_{Ki} \leq 1 \qquad (8.\alpha)$$

όπου:

n = ο αριθμός των δομικών υλικών

f_i = το ποσοστό βάρους κάθε δομικού υλικού

C_{Rai}, C_{Thi}, C_{Ki} = η ειδική ενεργότητα των ^{226}Ra, ^{232}Th και ^{40}K σε κάθε δομικό υλικό σε Bqkg^{-1}

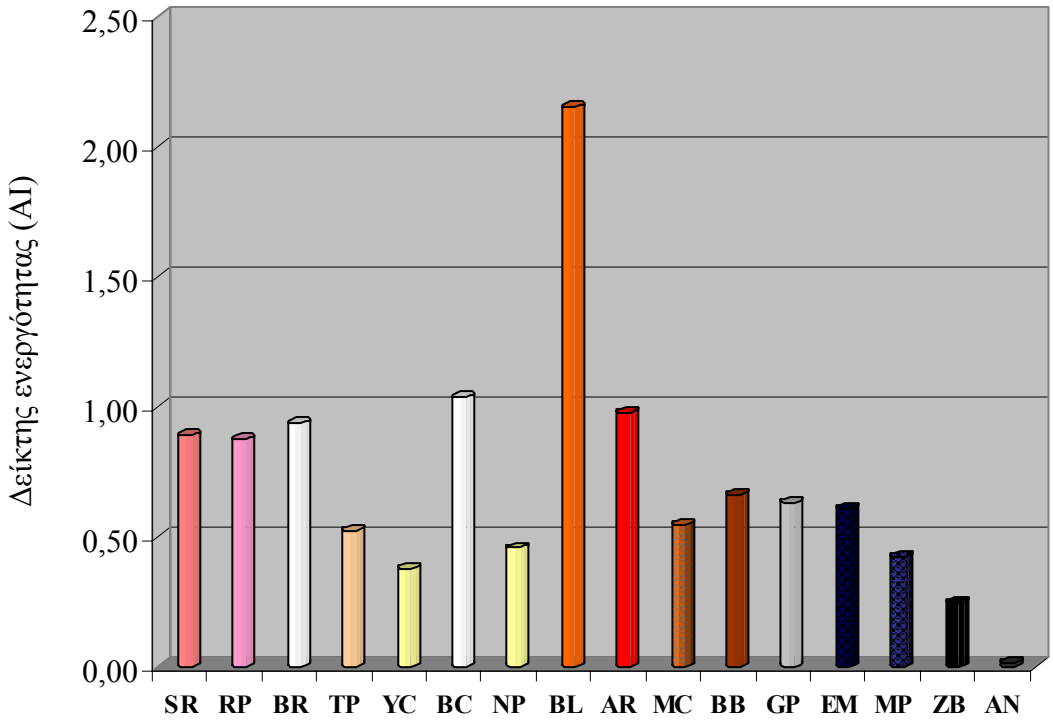
(Atomic Energy Council, AEC, 1992)

Θεωρώντας ότι για την επίστρωση του δαπέδου χρησιμοποιήθηκε το χειρότερο δείγμα γρανίτη των CHEN & LIN (1995), δηλαδή το δείγμα με δείκτη ενεργότητας 1,57 (Πίν. 6.8), παίρνουμε AI=0,38, δηλαδή κάτω από 1Bqkg^{-1}, που είναι το ανώτερο όριο για ασφαλείς κατασκευές. Ακόμη και αν το ποσοστό βάρους του γρανίτη στην κατασκευή αυξηθεί 10 φορές, η τιμή AI για την κατασκευή αυτή γίνεται 0,62, δηλαδή παραμένει μικρότερη από 1Bqkg^{-1}.

Συμπεραίνεται λοιπόν ότι η χρήση στα κτίρια γρανιτών με δείκτες ενεργότητας πάνω από το επιτρεπτό όριο 1Bqkg^{-1}, δεν προκαλεί παραβίαση του ορίου της ισοδύναμης δόσης ραδιενέργειας 1mSva^{-1}, εξαιτίας του μικρού ποσοστού συμμετοχής του γρανίτη στις κατασκευές

Εξάλλου για τον υπολογισμό της δόσης ραδιενέργειας που δέχεται ένας άνθρωπος που διαμένει σε ένα σπίτι κατασκευασμένο από συγκεκριμένα υλικά, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και ο χρόνος διαμονής του μέσα σε αυτό. Αν ο παράγοντας χρόνου διαμονής είναι 0,8, τότε η ισοδύναμη δόση που επιτρέπεται να δέχεται ο άνθρωπος αυτός για να μην ξεπερνάει το ετήσιο όριο του 1mSv είναι 0,14μSvh^{-1}.

Ωστόσο είναι χρήσιμο να γίνει μια προσπάθεια να εξηγηθούν τα αυξημένα επίπεδα της φυσικής ραδιενέργειας ορισμένων δειγμάτων της παρούσας εργασίας. Στο σχήμα 8.1 παρουσιάζονται οι τιμές του δείκτη ενεργότητας, σύμφωνα με το κριτήριο της Πρώην Σοβιετικής Ένωσης και της Πρώην Δυτικής Γερμανίας, των μελετηθέντων δειγμάτων.



Σχήμα 8.1. Τιμές του δείκτη ενεργότητας των μελετηθέντων δειγμάτων, σύμφωνα με το κριτήριο της Πρώην Σοβιετικής Ένωσης και της Πρώην Δυτικής Γερμανίας (τα χρώματα των στηλών είναι αντίστοιχα με τα χρώματα των δειγμάτων).

Τα δείγματα Zimbabwe (ZB) και Africa nero (AN), που εμφανίζουν τους χαμηλότερους δείκτες ενεργότητας (AI=0,25 και AI=0,01 αντίστοιχα), δεν περιλαμβάνουν στη σύστασή τους τα πρωτογενή επουσιώδη ραδιενεργά ορυκτά (HEINRICH, 1958), δηλαδή ζιρκόνιο, τιτανίτη, απατίτη, αλλανίτη, ξενότιμο και μοναζίτη. Όλα τα άλλα δείγματα έχουν στην ορυκτολογική τους σύσταση κάποιο ή κάποια από αυτά τα ορυκτά ή και αιματίτη, σιδηροπυρίτη, ιλμενίτη, που μπορούν να είναι ραδιενεργά (HEINRICH, 1958).

Όπως παρουσιάστηκε στον πίνακα 6.7, τα δείγματα με δείκτη ενεργότητας μεγαλύτερο από 0,9, με βάση το κριτήριο της πρώην Σοβιετικής Ένωσης και της πρώην Δυτικής Γερμανίας είναι τα δείγματα Blanco crystal (BC) με AI=1,04, African red (AR) με AI=0,98, Blanco real (BR) με AI=0,94 και Balmoral (BL) με AI=2,15.

Το δείγμα Balmoral (BL), που εμφανίζει και το μεγαλύτερο δείκτη ενεργότητας από όλα τα δείγματα της παρούσας εργασίας (AI=2,15), έχει σημαντικά υψηλότερη συγκέντρωση ^{232}Th (354±3Bqkg^{-1}) από όλα τα άλλα δείγματα. Το δείγμα αυτό έχει στην ορυκτολογική του σύσταση μοναζίτη, ορυκτό που εμφανίζει αρκετά μεγάλο ποσοστό Th_2O_3 (4,00%), όπως φαίνεται από τη χημική του σύσταση (Πίν. 4.11). Έτσι, το αυξημένο επίπεδο της φυσική ραδιενέργειας του δείγματος αυτού όσον αφορά το ^{232}Th οφείλεται στο μοναζίτη που περιέχει. Επίσης, το δείγμα αυτό περιέχει σαν επουσιώδη ορυκτά και ζιρκόνιο, απατίτη και φθορίτη, που σύμφωνα με τον HEINRICH (1958) αποτελούν και αυτά πρωτογενή επουσιώδη ραδιενεργά ορυκτά και είναι πιθανό να συμβάλλουν στην αύξηση των επιπέδων της φυσικής ραδιενέργειας του δείγματος.

Από τα υπόλοιπα τρία δείγματα που έχουν αυξημένες στάθμες φυσικής ραδιενέργειας, το δείγμα Blanco crystal (BC) με AI=1,04 έχει στην ορυκτολογική του σύσταση ζιρκόνιο και τιτανίτη, το δείγμα African red (AR) με AI=0,98 έχει ζιρκόνιο και το δείγμα Blanco real (BR) με AI=0,94 έχει ζιρκόνιο και απατίτη. Όμως ζιρκόνιο έχουν όλα τα δείγματα εκτός από το Zimbabwe (ZB) και το Africa nero (AN). Εξάλλου και άλλα δείγματα έχουν άλλα ορυκτά που με βάση τον HEINRICH (1958) αποτελούν πρωτογενή επουσιώδη ραδιενεργά ορυκτά. Θα πρέπει η ποσότητα των ορυκτών αυτών αλλά και η ιδιαίτερη χημική τους σύσταση να καθορίζουν τη στάθμη της φυσικής ραδιενέργειας των δειγμάτων.

Μια ακόμη ενδιαφέρουσα παρατήρηση είναι ότι από τα δείγματα που έχουν δείκτη ενεργότητας πάνω από 0,9, τα δύο (Balmoral (BL) και African red (AR)) έχουν κόκκινο χρώμα. Σημειώνεται ότι το 70% των δειγμάτων με υψηλά επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας, που μελετήθηκαν από τους CHEN & LIN (1995), έχει ανοιχτό ή σκούρο κόκκινο χρώμα, όπως ήδη αναφέρθηκε στην παράγραφο 6.3.

Το κόκκινο χρώμα των δειγμάτων που παρουσιάζουν αυξημένα επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας, οφείλεται στο χρώμα των ορυκτών που συμμετέχουν στην ορυκτολογική τους σύσταση με το μεγαλύτερο ποσοστό, δηλαδή των αλκαλιούχων αστρίων και των πλαγιοκλάστων για το δείγμα African red (AR) και των αλκαλιούχων αστρίων για το δείγμα Balmoral (BL).

Οι κόκκινοι άστριοι οφείλουν το χρώμα τους κυρίως σε εγκλείσματα αιματίτη (SMITH & BROWN, 1988). Το αυξημένο ποσοστό FeO στη χημική σύσταση των αστρίων των δειγμάτων αυτών (Πίν. 4.1 και 4.2) δικαιολογεί την ύπαρξη τέτοιων εγκλεισμάτων. Το δείγμα African red (AR) έχει στην ορυκτολογική του σύσταση 28,2% πλαγιόκλαστο με ποσοστό FeO 1,29% και 24,2% αλκαλιούχο άστριο με ποσοστό FeO 0,87%. Το δείγμα Balmoral (BL) έχει στην ορυκτολογική του σύσταση 40,9% αλκαλιούχο άστριο με ποσοστό FeO 0,18%.

Όπως όμως ήδη αναφέρθηκε, ο αιματίτης μπορεί να είναι ραδιενεργός (HEINRICH, 1958). Πιθανώς λοιπόν ο αιματίτης που εγκλείεται στους κόκκινους αστρίους να συμβάλλει στην ενίσχυση του ραδιενεργού χαρακτήρα των κόκκινων γρανιτών African red (AR) και Balmoral (BL).

Βιβλιογραφία

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM), 1998. Dimension Stone: Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.07, C 18.

ATOMIC ENERGY COUNCIL (AEC), 1992. Standard for natural radioactivity of fly ash as building materials. Taiwan, ROC: AEC.

CARRERA, G., GARAVAGLIA, M., MANGONI, S., VALLI, G. & VECCHI, R., 1997. Natural radioactivity and radon exhalation in stony materials. Journal Environmental Radioactinity, 34 (2): 149-159.

CHEN, C.J. & LIN, Y.M., 1995. Assessment of building materials for compliance with regulations of roc. Environment international, 22:221-226.

CHRISTOPHIDES, G., 1982. Clouded plagioclases from the Xanthi Plutonic Complex. Chem. Erde, 42: 255-261.

COX, K.G., BELL, J.D. & PANKHARST, R.J., 1979. The interpretation of igneous rocks. George Allen and Unwin, London, 450p.

DE LA ROCHE, H., LETERRIER, J., GRANDE CLAUDE, P.& MARCHL, M., 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagrams and major element analyses – its relationships and current nomenclature. Chem. Geol., 29: 183-210.

DEER, W.A., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J., 1962. Rock forming minerals Vol. 1, 2, 3, 4, 5, Longman, London.

DROOP, G.T.R., 1987. A general equation for estimating Fe^{3+} concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analysis, using stoichiometric criteria. Mineralogical magazine, 51: 434-435.

HAAPALA, I. & RÄMÖ, O.T., 1999. Rapakivi granites and related rocks: an introduction. Precambrian Research, 95:1-7.

HEINRICH, W.M.E., 1958. Mineralogy and geology of radioactive raw materials. McGraw-Hill Book Company, New York, 643p.

INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCES (I.U.G.S), SUBCOMMISION ON THE SYSTEMATICS OF IGNEOUS ROCKS, 1973. Classification and nomenclature of plutonic rocks. N. Jb. Min. Mh., 1973, 149-164.

ΚΕΛΕΣΙΔΗΣ, Η. & ΤΣΟΜΠΟΣ, Π., 1990. Η αξιοποίηση των γρανιτικών πετρωμάτων Πισοδερίου-Αγίου Γερμανού σαν διακοσμητικά πετρώματα. Πρακτ. Συνεδρίου «Το Ελληνικό Μάρμαρο», ΓΕΩΤ.Ε.Ε., Θεσσαλονίκη, 111-129.

ΚΟΤΑΛΗ, Ε., 1999. Προσδιορισμός ιχνοστοιχείων σε πρότυπα πυριτικά πετρώματα. Πρακτ. 6ου Συνεδρίου Χημείας Ελλάδας – Κύπρου, Ρόδος.

ΚΟΤΑΛΗ, Ε., 2001. Προσδιορισμός κύριων στοιχείων σε πυριτικά πετρώματα με φασματομετρία ατομικής απορρόφησης με φλόγα. Πρακτικά 18ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Χημείας, Πειραιάς.

ΛΑΣΚΑΡΙΔΗΣ, Κ., ΠΑΠΑΪΩΑΝΝΟΥ, Ν., ΚΟΥΣΕΡΗΣ, Ι., 2000. Επιλογή των διακοσμητικών πετρωμάτων με κριτήριο τις φυσικομηχανικές τους ιδιότητες. Πρακτ. 2ου Πανελλ. Συνεδρίου «Το Ελληνικό Μάρμαρο», Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. & Δ.Ε.Θ. - HELEXPO, Θεσσαλονίκη, 87-96.

LEAKE, B.E., WOOLEY, A.R., ARPS, C.E.S., BIRCH, W.D., GILBERT, M.C., GRICE, J.D., HAWTHORNE, F.C., KATO, A., KISCH, H.J., KRIVOVICHEV, V.G., LINTHOUT, K., LAIRD, J., MANDARINO, J.A., MARESCH, W.V., NICKEL, E.H., ROCK, N.M.S., SCHUMACHER, J.C., SMITH, D.C., STEPHENSON, N.C.N., UNGARETTI, L., WHITTAKER, E.J.W. & YOUZHI, G., 1997. Nomenclature of amphiboles: Report of Subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on new minerals and mineral names. Eur.J. Mineral. 9: 623-651.

MILLER, F.C., STODDARD, F.E., BRADFISH, J.L. & DOLLASE, A.W., 1981. Composition of plutonic muscovite: genetic implications. Canadian Mineral., 19: 25-34.

MORIMOTO, N., AOKI, K., FABRIES, J., FERGUSON, A.K., GINZBURG, I.V., GOTTARDI, G., ROSS, M., SEIFERT, F.A. & ZUSSMAN, J., 1989. Nomenclature of pyroxenes. Subcommittee on pyroxenes, Commission on new minerals and mineral names, International Mineralogical Association. The Canadian Mineral., 27: 143-156.

NEWMANN, E.-R., 1976. Compositional relationships among pyroxenes, amphiboles and other mafic phases in the Oslo Region plutonic rocks. Lithos, 9: 85-109.

NEWMANN, E.-R., 1980. Petrogenesis of the Oslo Region larvikites and associated rocks. Journal of Petrology, 21(3): 499-531.

POLDERVAART, A. & GILKEY, A. K., 1954. On clouded plagioclase. Amer. Mineral., 39: 75-91.

RICKWOOD, P.C., 1968. On recasting analyses of garnet into end member molecules. Contrib. Mineral. Petrol., 18: 175-198.

ROLLINSON, H., 1993. Using geochemical data. Longman House, Harlow, 352p.

SMITH V.J. & BROWN L.W., 1988. Feldspar minerals, Vol. 1. Springer-Verlag, Berlin, Heiderberg, New York, London, Paris, Tokyo.

STRECKEISEN, A. & LE MAITRE, R. W., 1979. A chemical aproximation to the modal QAPF classification of igneous rocks. Neues. Yahrb. Mineral. Abh., 136: 169-206.

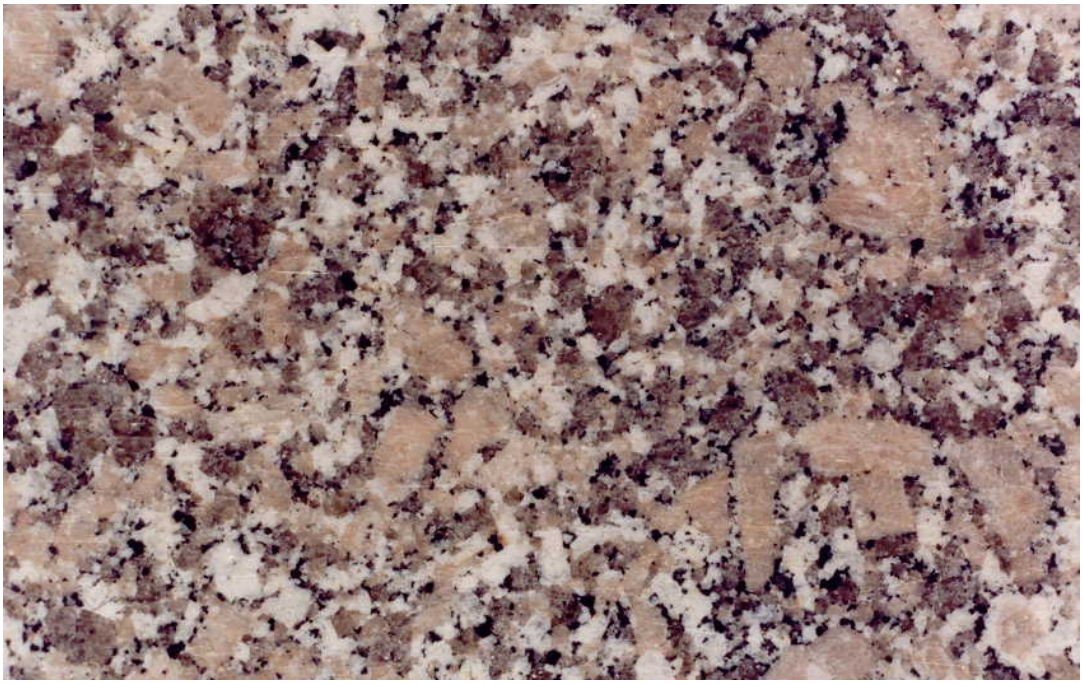
ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ, Α., 1996. Τα ελληνικά μάρμαρα και άλλα διακοσμητικά πετρώματα. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 81-106.

UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION (UNCEAR), 1993. Sources and Biological Effects of Ionising Radiation, New York.

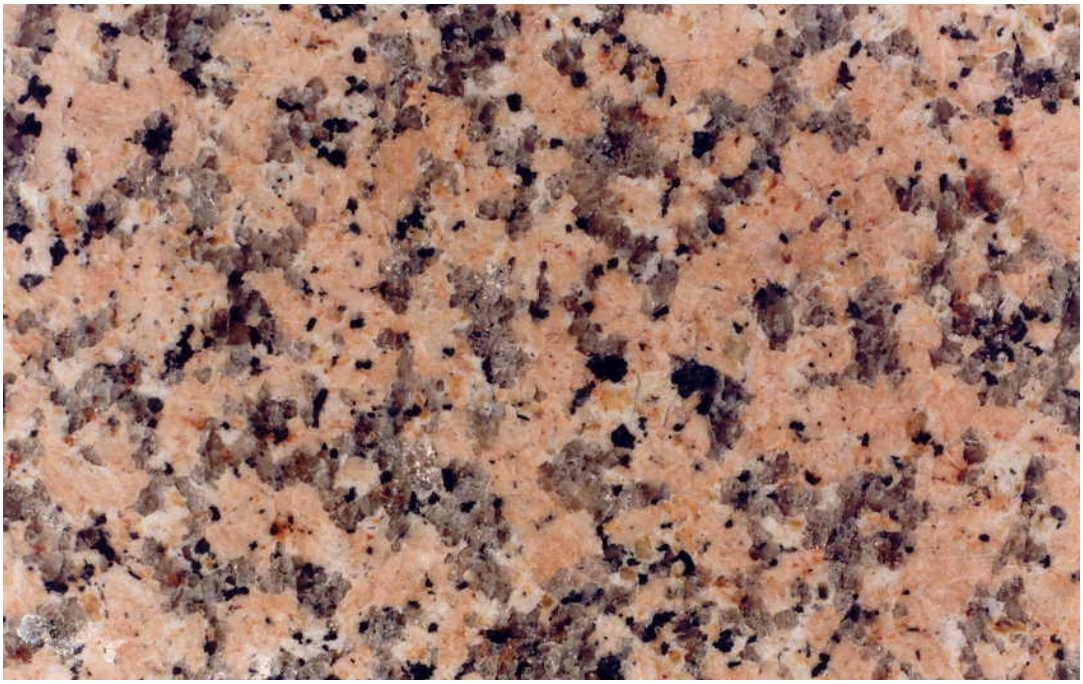
ZIKOVSKY, L. & KENNEDY, G., 1992. Radioactivity of building materials available in Canada. Health Physics, 63 (4): 449-452.

Παράρτημα Α:

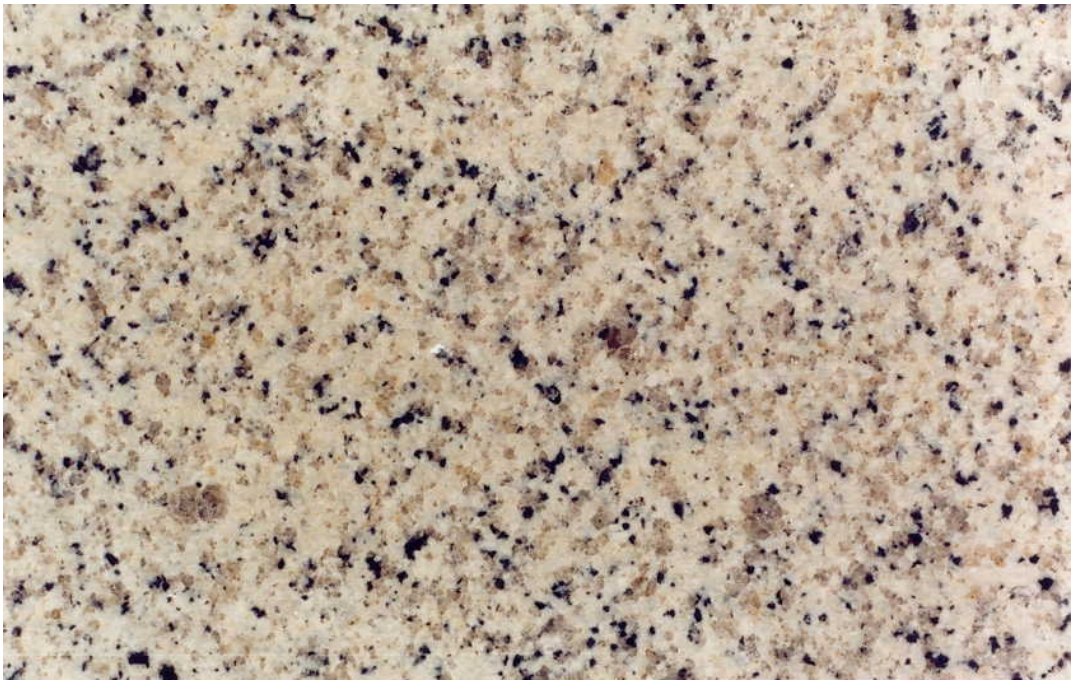
Φωτογραφίες μακροσκοπικών δειγμάτων



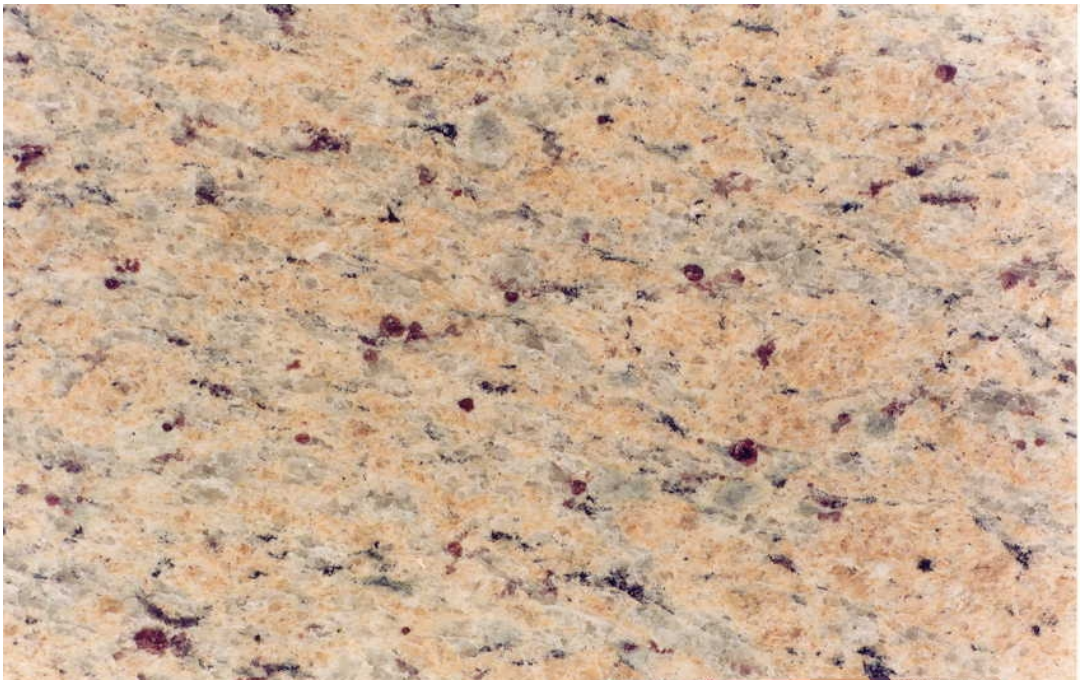
Φωτ. 1. Salvatierra



Φωτ. 2. Rosa porrino

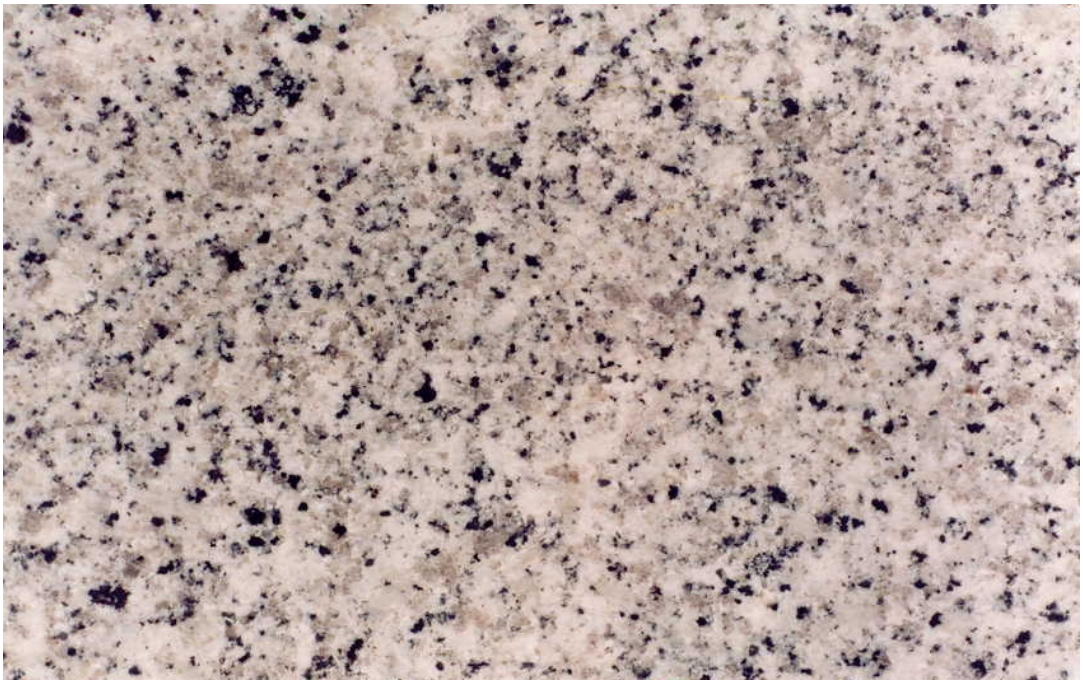


Φωτ. 3. Blanco real

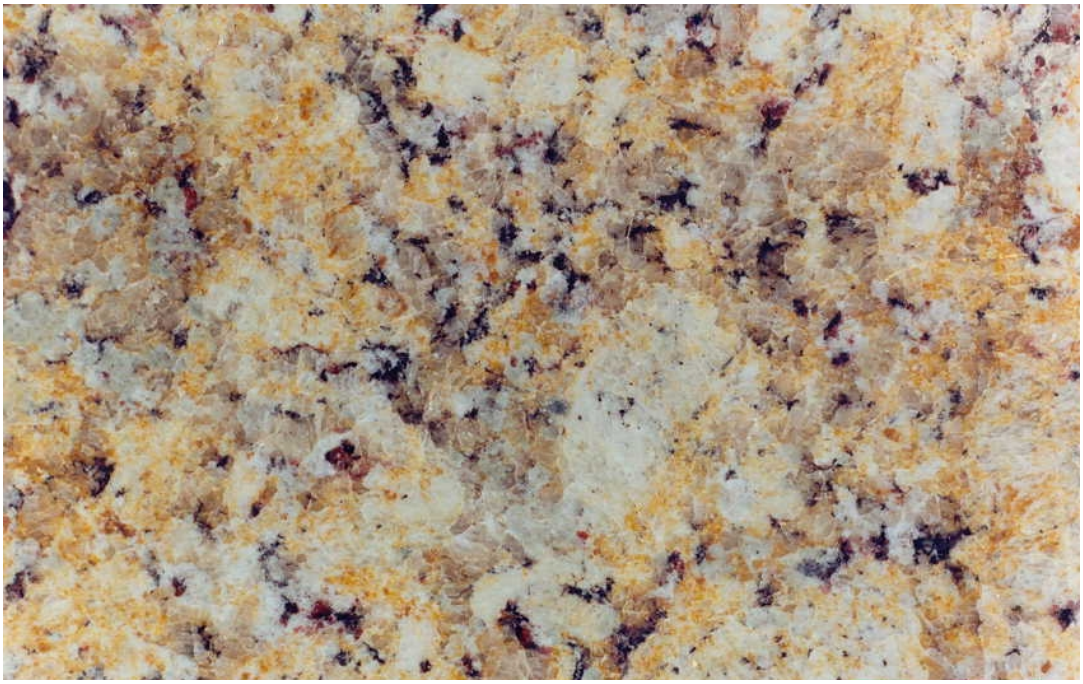


Φωτ. 4. Topazio

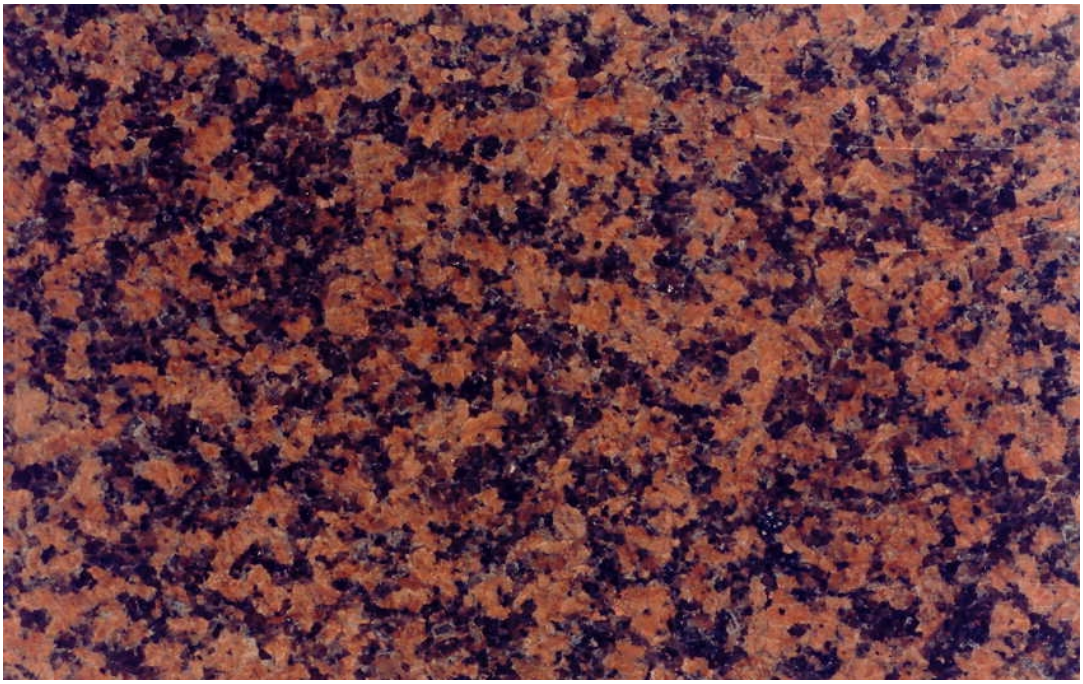
Φωτ. 5. Yellow cecilia



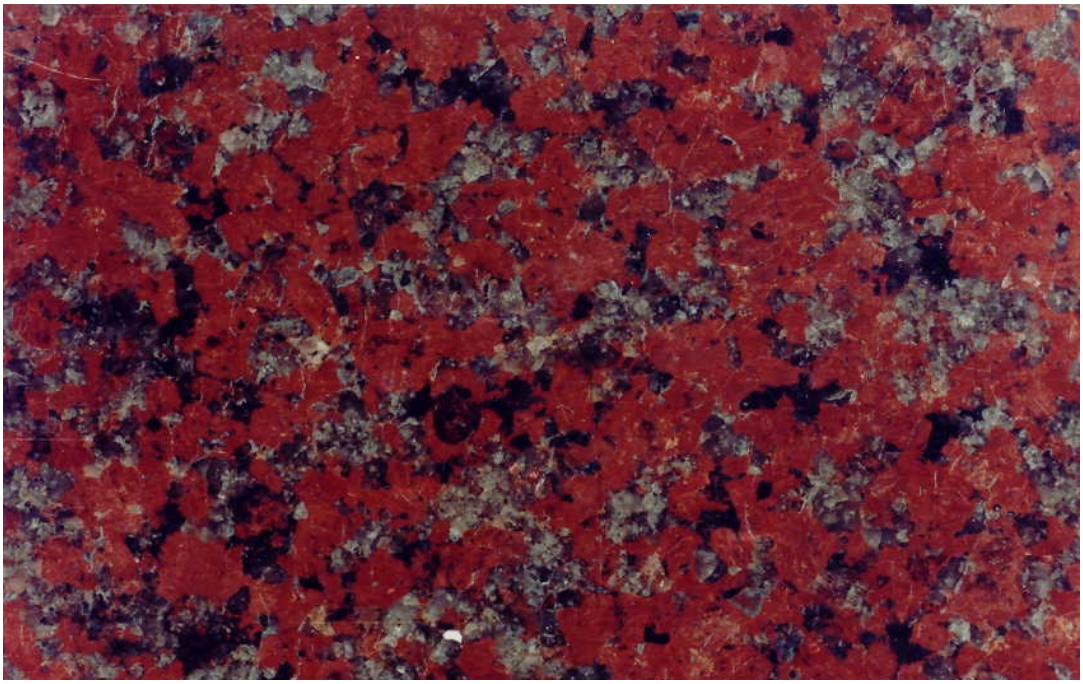
Φωτ. 6. Blanco crystal



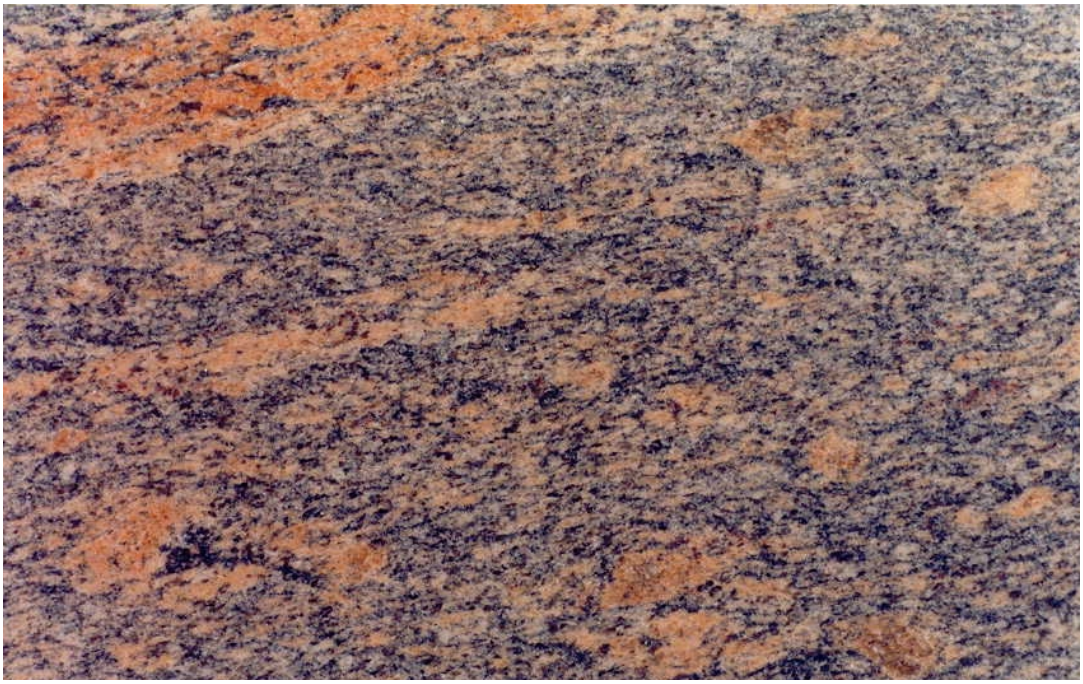
Φωτ. 7. Napoleon



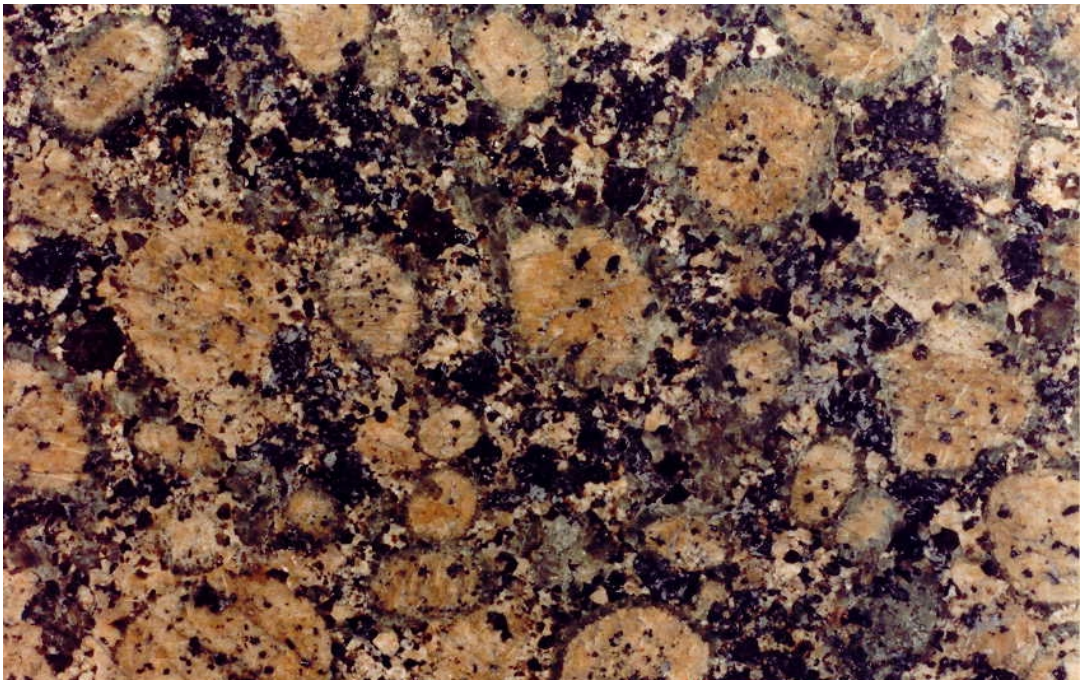
Φωτ. 8. Balmoral



Φωτ. 9. African red

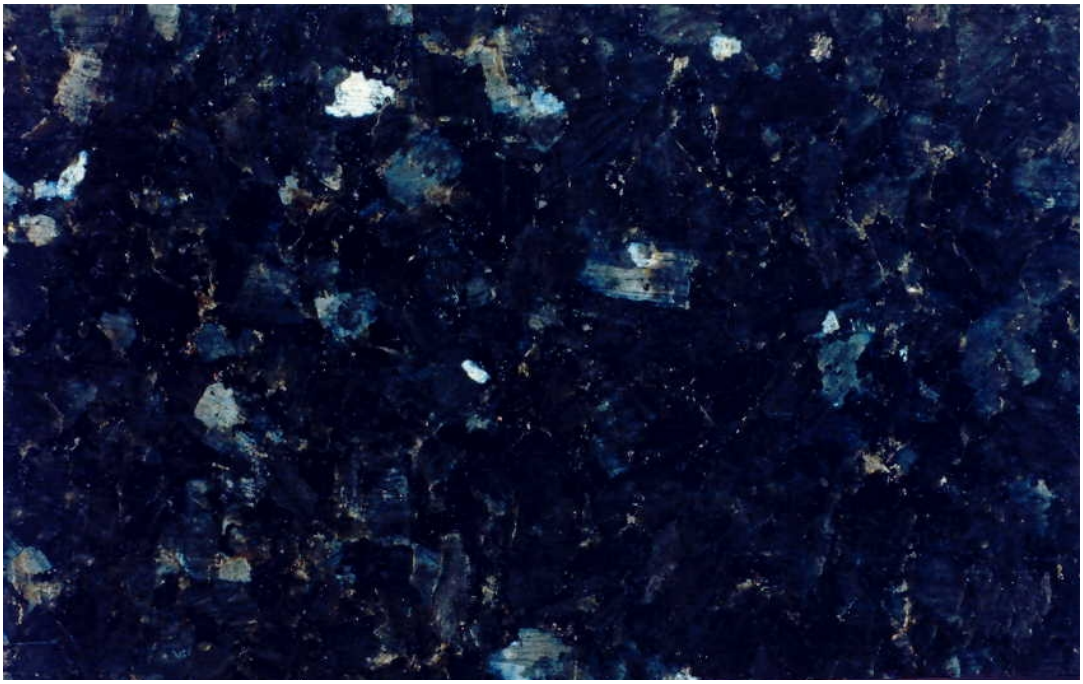


Φωτ. 10. Multicolor

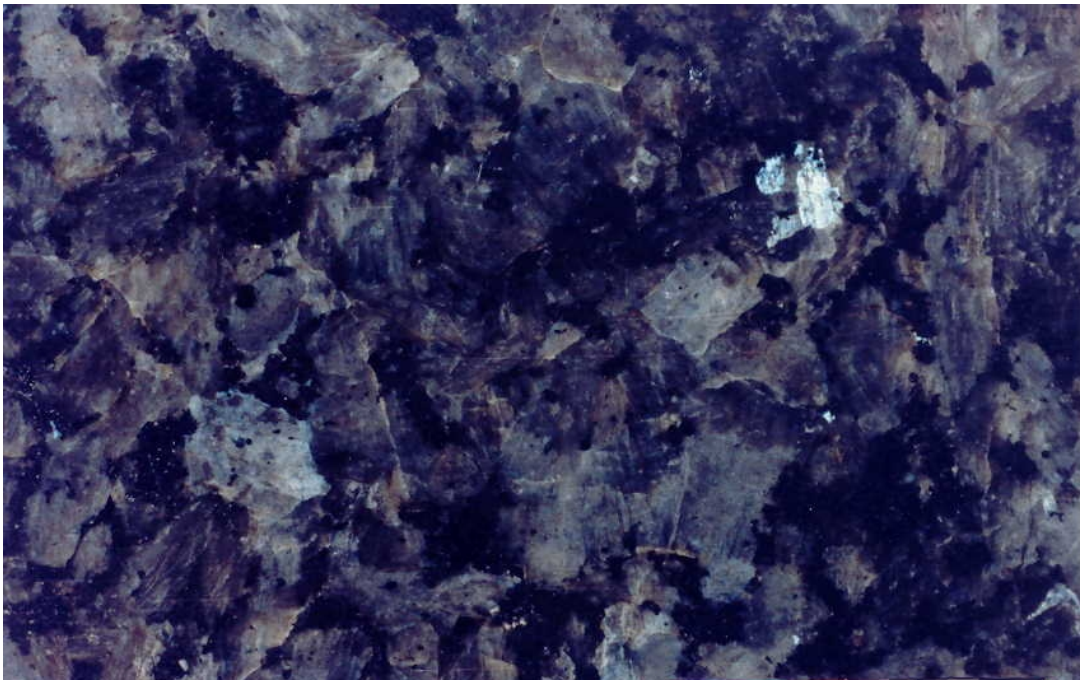


Φωτ. 11. Baltic brown

Φωτ. 12. Gris perla

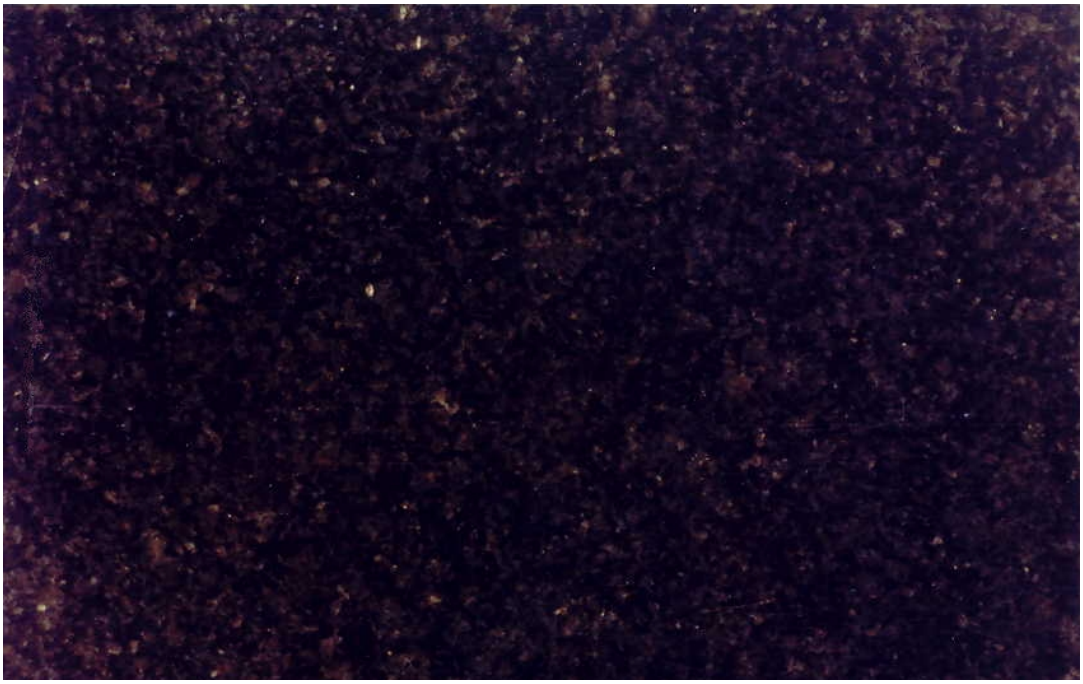


Φωτ. 13. Emerald



Φωτ. 14. Marina pearl

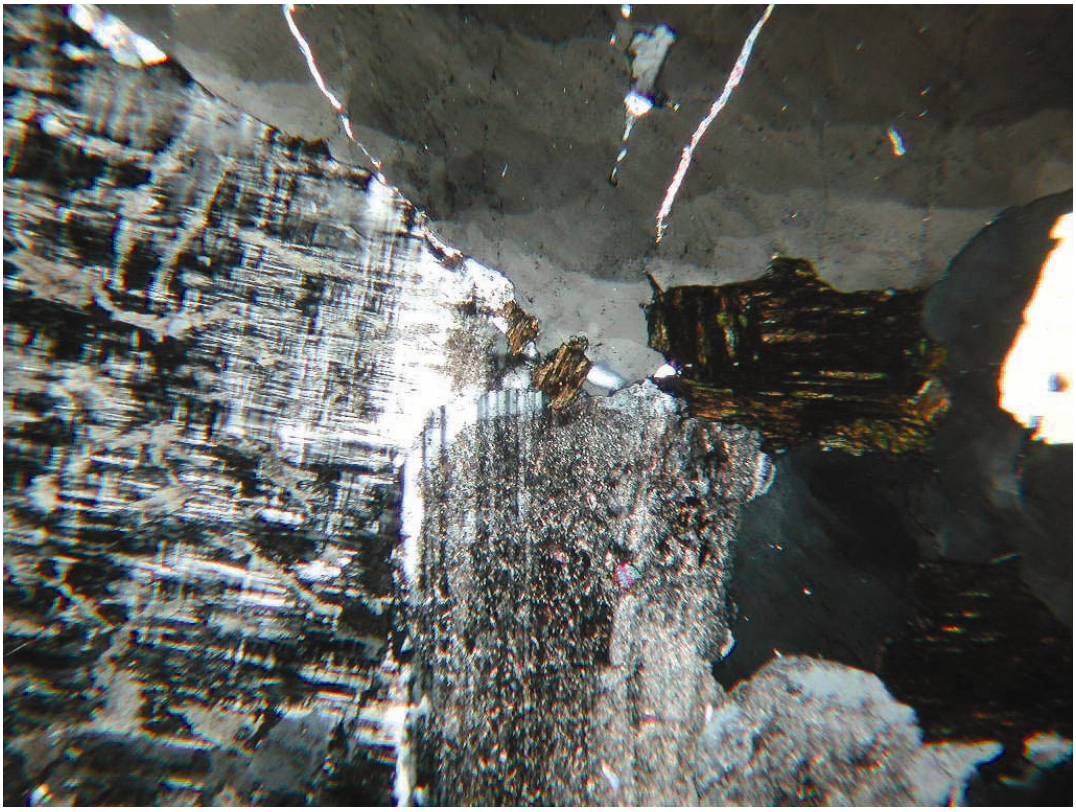
Φωτ. 15. Zimbabwe



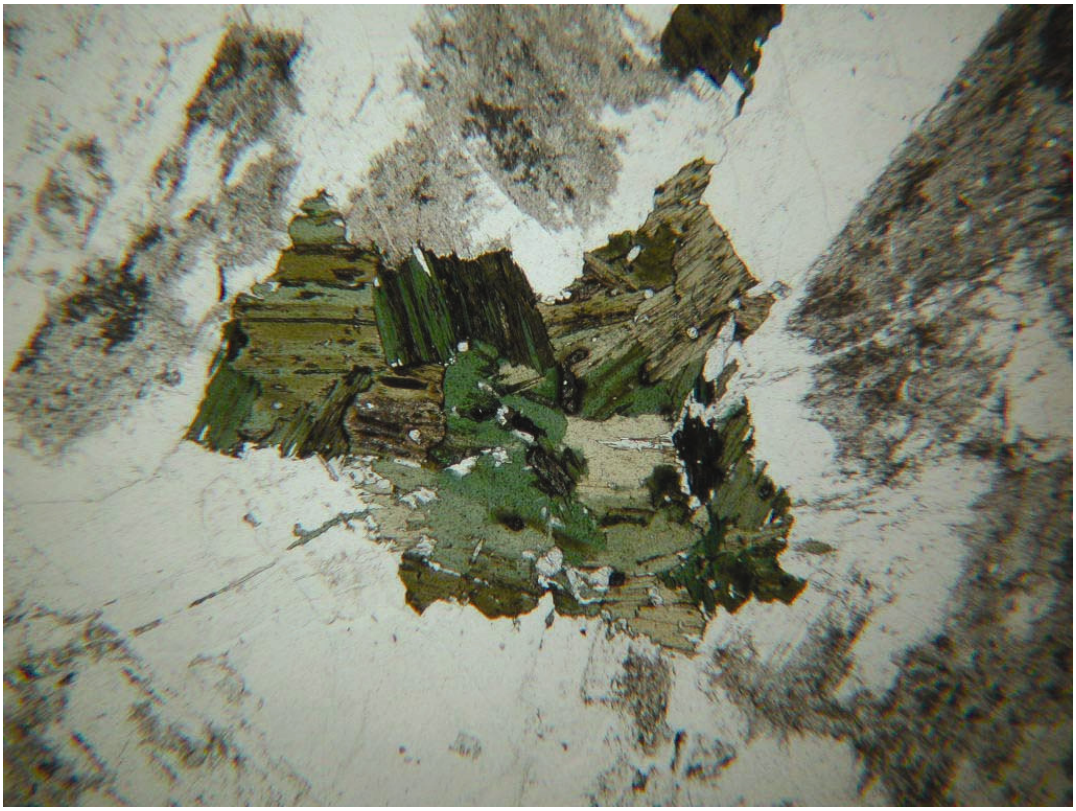
Φωτ. 16. Africa nero

Παράρτημα Β:

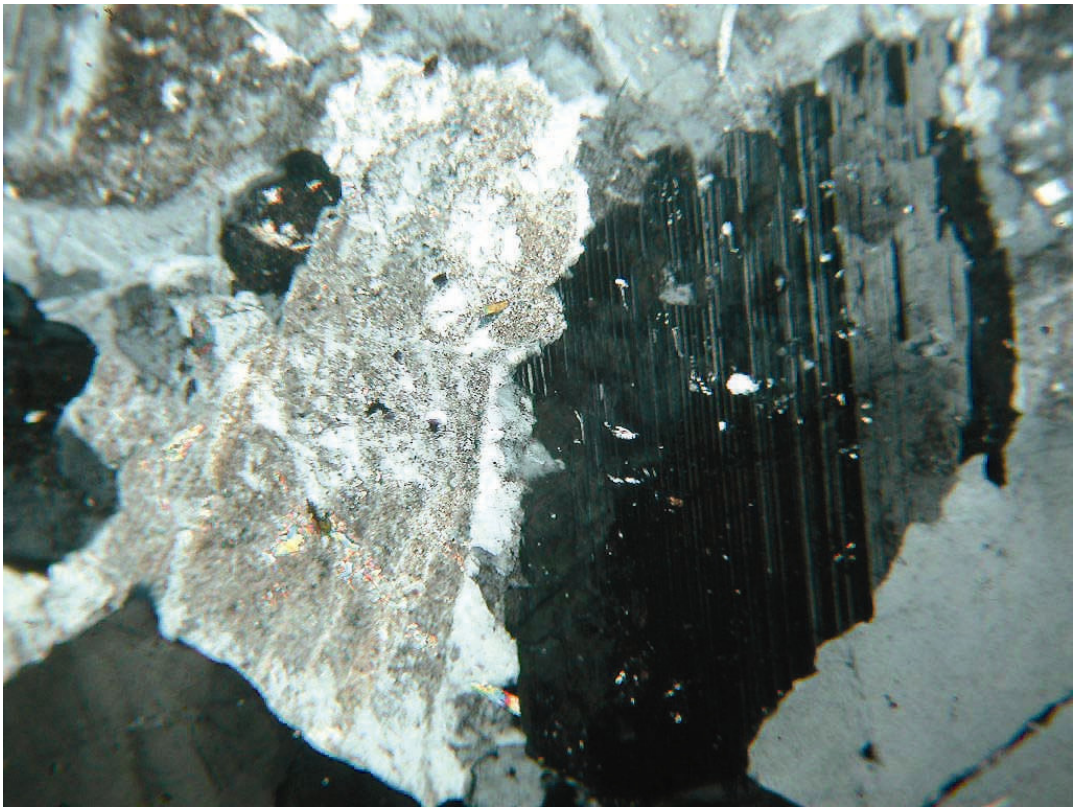
Φωτογραφίες λεπτών τομών



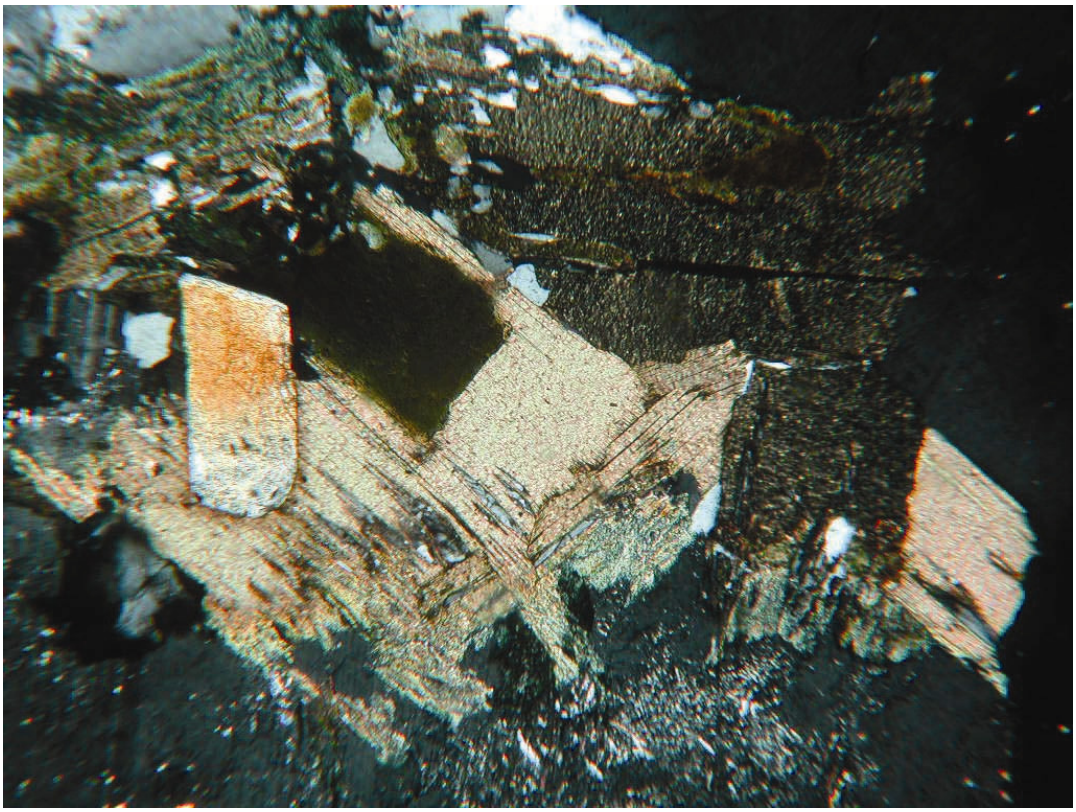
Φωτ. 1. Αλλοιωμένοι κρύσταλλοι μικροκλινή, πλαγιοκλάστου και βιοτίτη. Στο μικροκλινή διακρίνονται περθίτες. Διασταυρωμένα Nicols. Δείγμα SV. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 5mm.



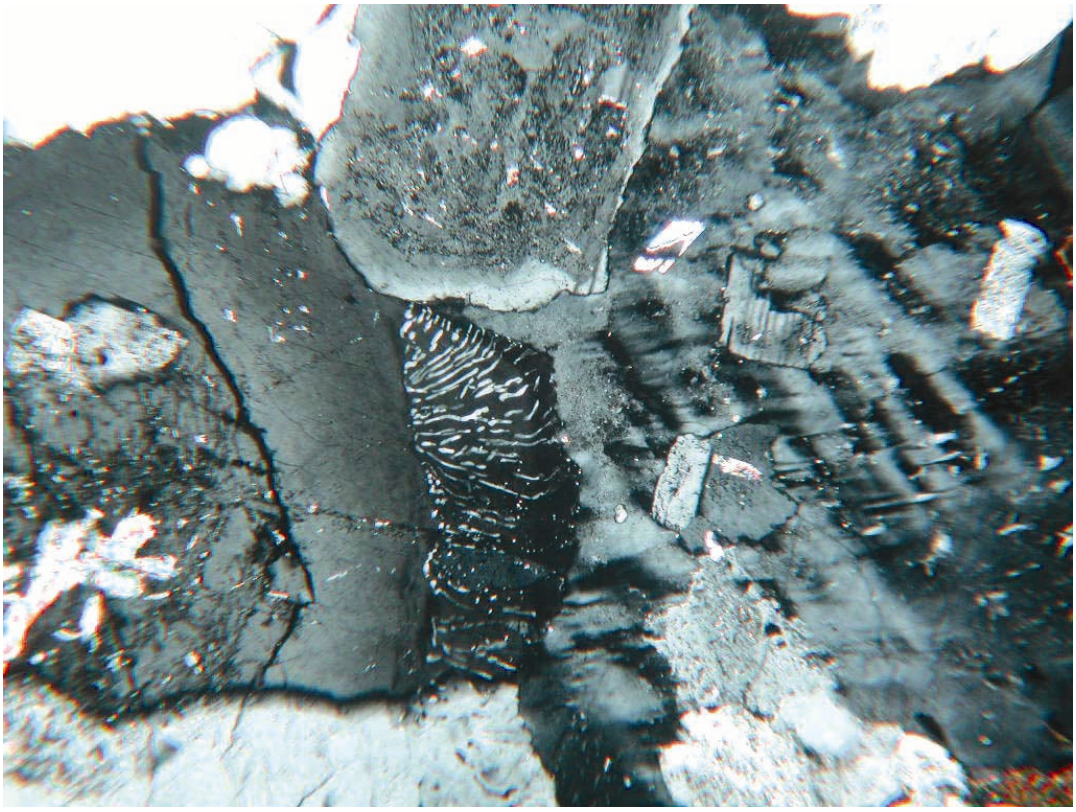
Φωτ. 2. Χλωριτιωμένοι κρύσταλλοι βιοτίτη, ζιρκόνιο και απατίτης. Παράλληλα Nicols. Δείγμα SV. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 5mm.



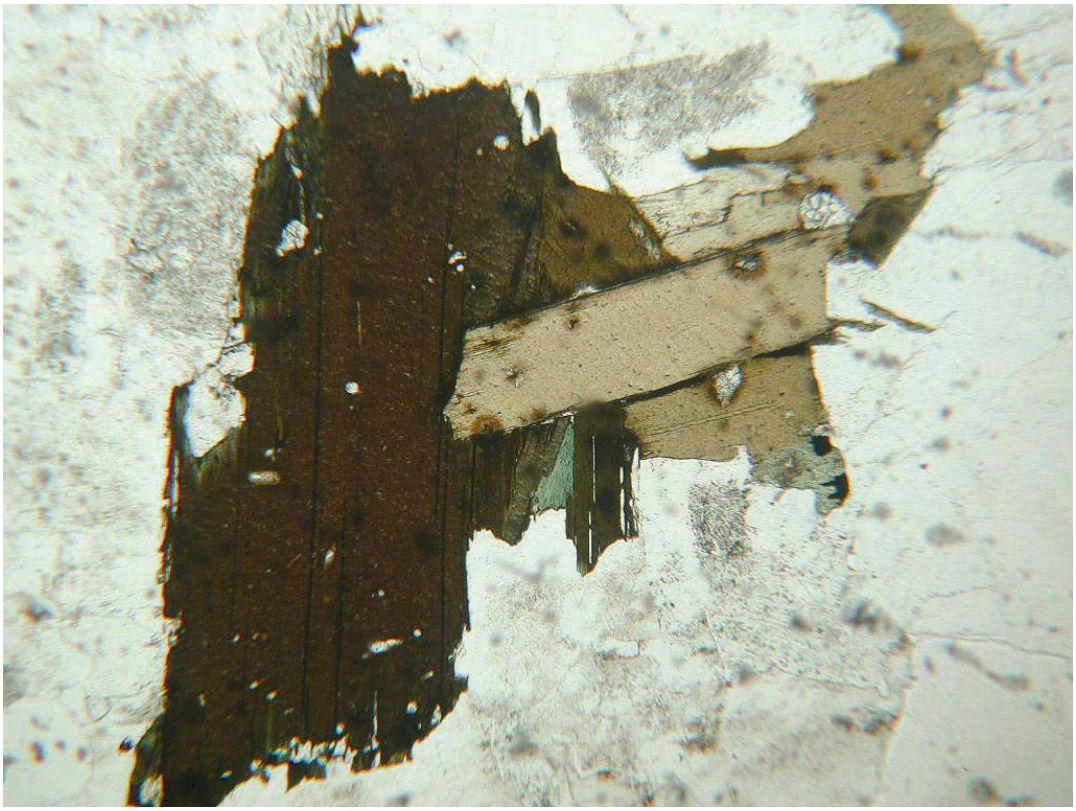
Φωτ. 3. Αλλοιωμένοι κρύσταλλοι αλκαλιούχου αστρίου και πλαγιοκλάστου. Διασταυρωμένα Nicols. Δείγμα RP. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 3mm.



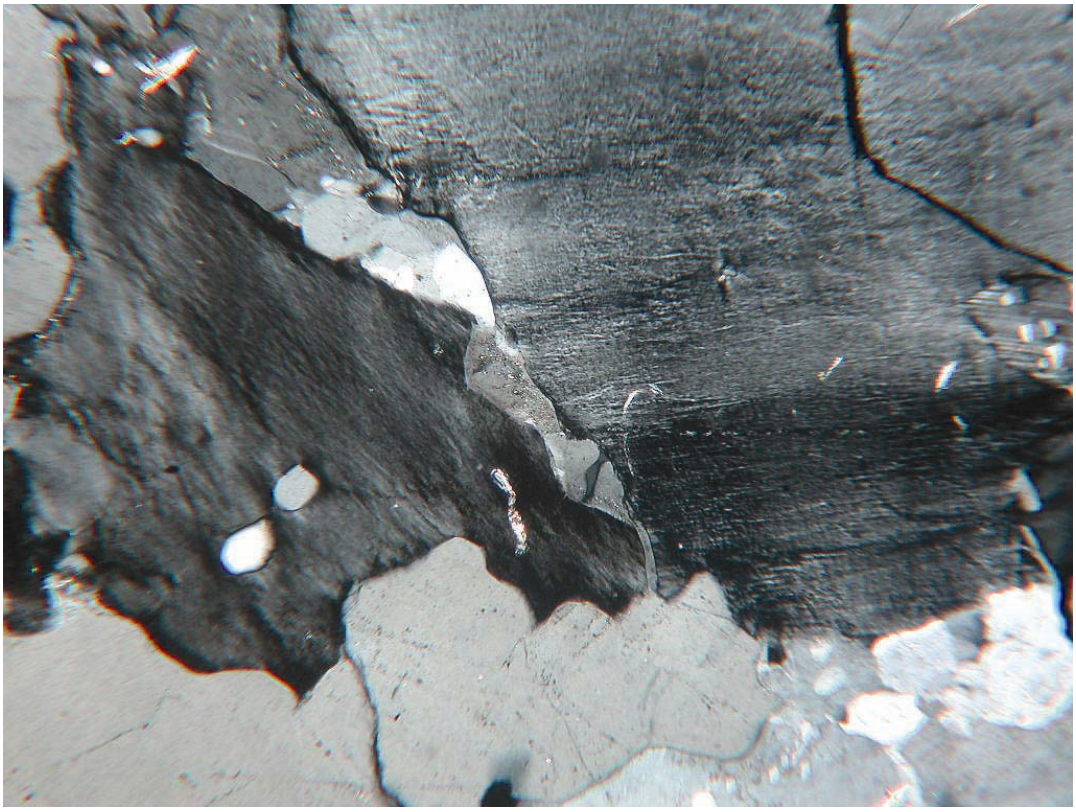
Φωτ. 4. Κρύσταλλοι βιοτίτη, εγκλείσματα ζιρκονίου και ιδιόμορφος κρύσταλλος αλλανίτη. Διασταυρωμένα Nicols. Δείγμα RP. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 2mm.



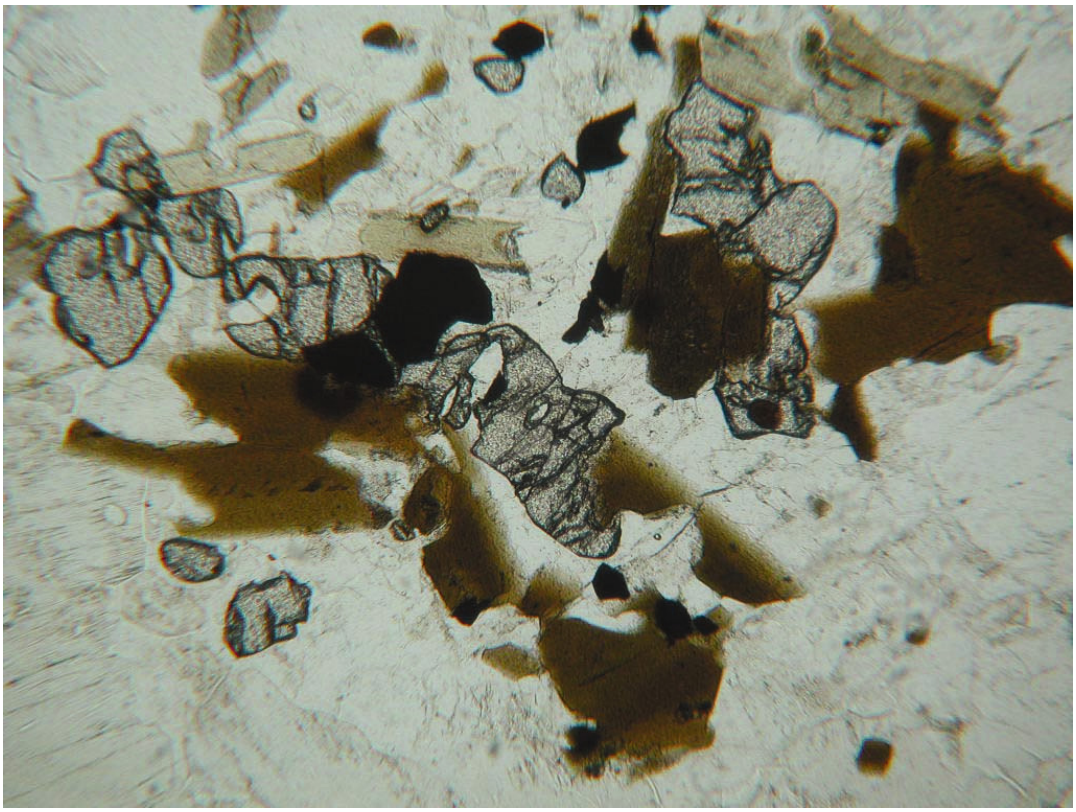
Φωτ. 5. Αλλοιωμένοι, ζωνώδεις κρύσταλλοι πλαγιοκλάστου, μικροκλινής και μυρμηκιτική σύμφυση στα όρια πλαγιοκλάστου και μικροκλινή. Διασταυρωμένα Nicols. Δείγμα BR. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 2mm.



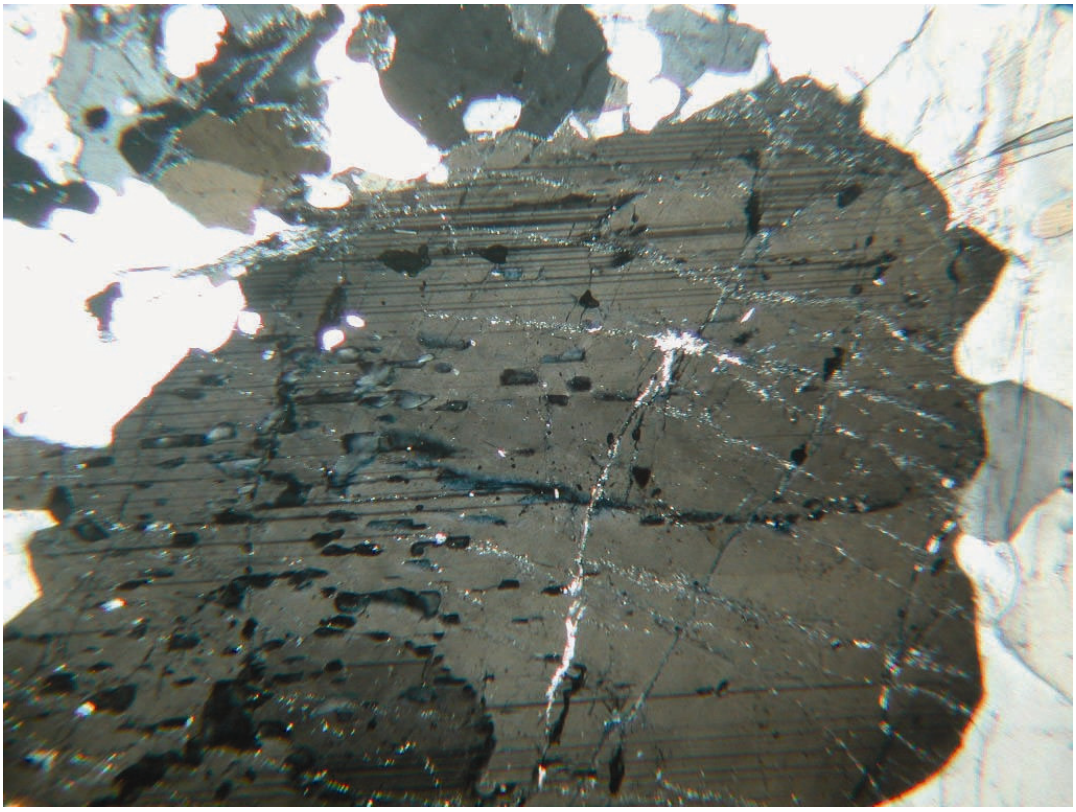
Φωτ. 6. Κρύσταλλοι βιοτίτη με πλεοχροϊκές άλω λόγω ζιρκονίου. Παράλληλα Nicols. Δείγμα BR. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 2mm.



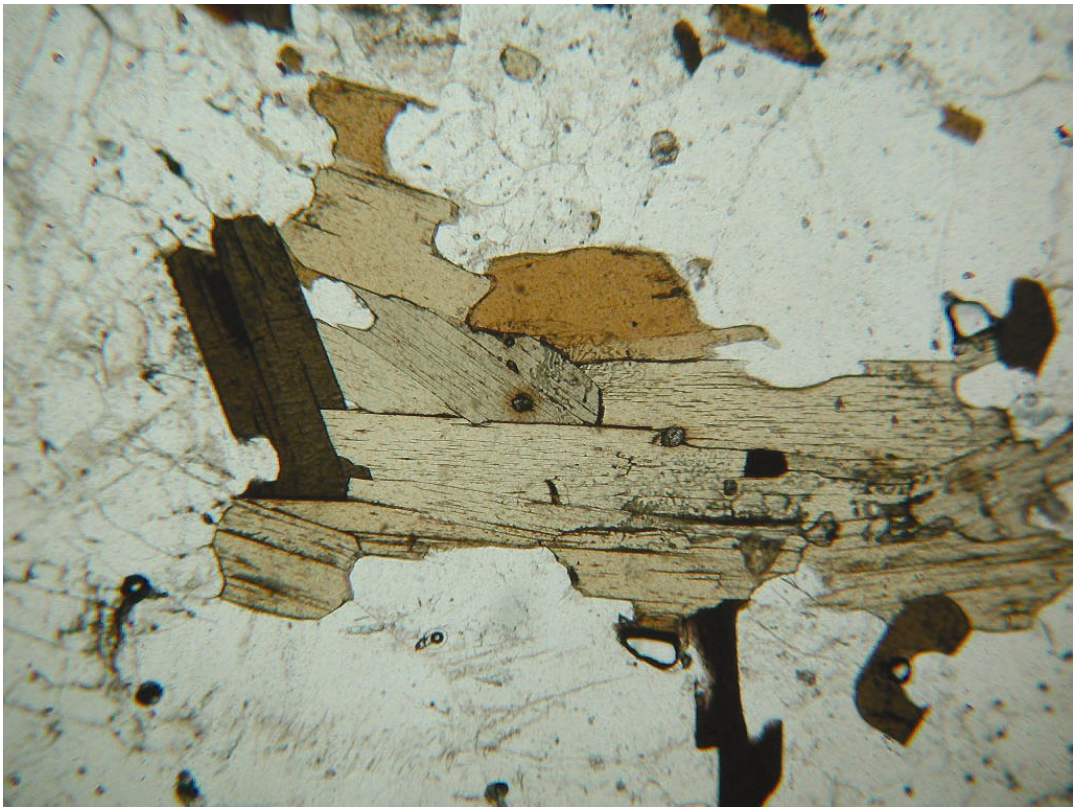
Φωτ. 7. Κρύσταλλοι ορθοκλάστου με περθίτες πολύ μικρού μεγέθους. Διασταυρωμένα Nicols. Δείγμα ΤΡ. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 2mm.



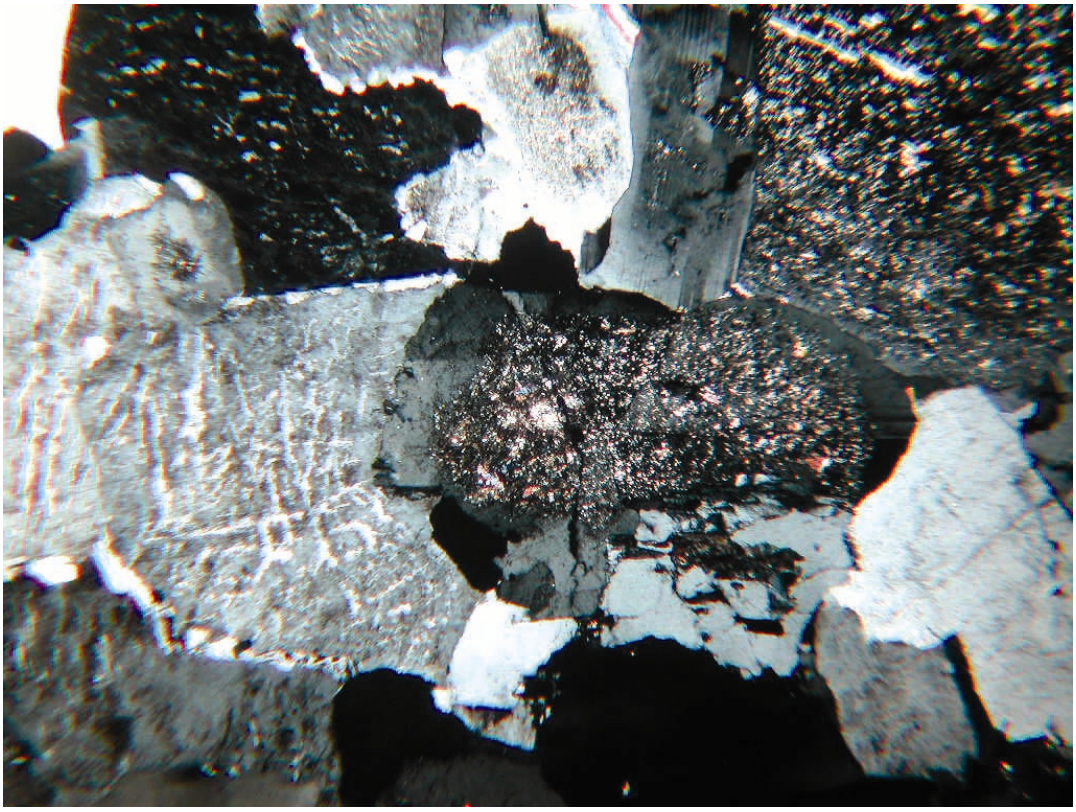
Φωτ. 8. Κρύσταλλοι γρανάτη, αδιαφανών ορυκτών και βιοτίτη με πλεοχροϊκές άλω λόγω ζιρκονίου. Παράλληλα Nicols. Δείγμα ΤΡ. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 2mm.



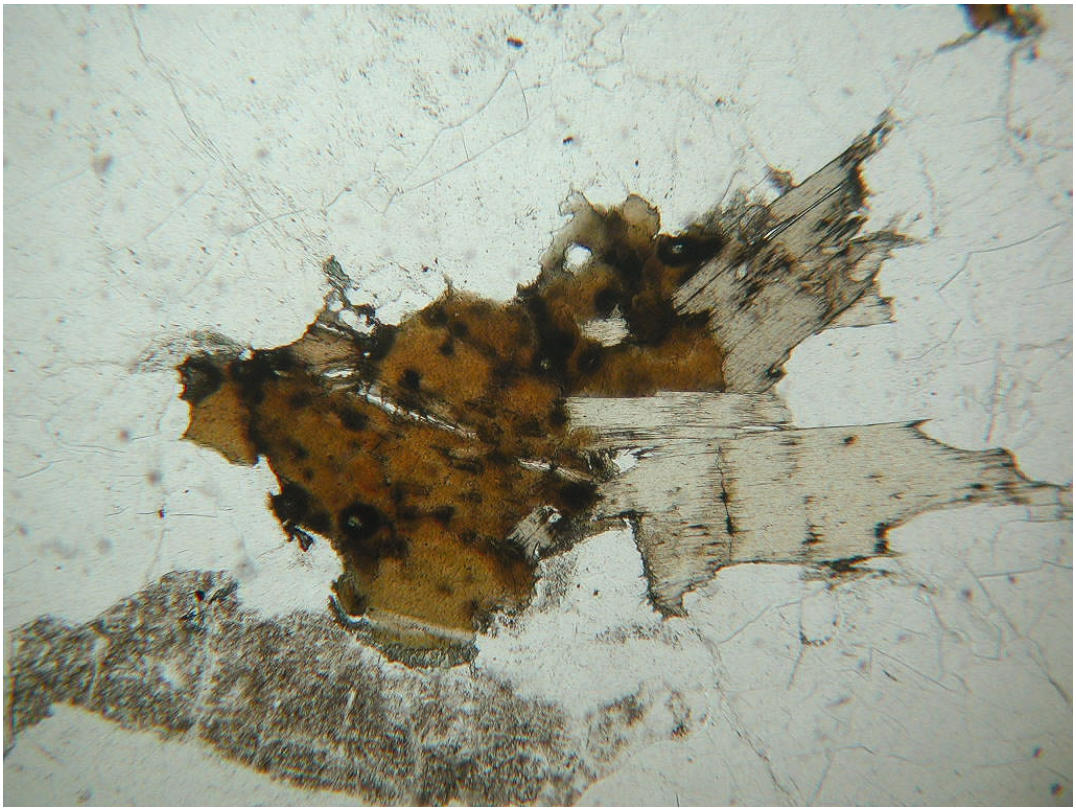
Φωτ. 9. Πλαγιόκλαστο με αντιπερθίτες. Διασταυρωμένα Nicols. Δείγμα ΥC. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 5mm.



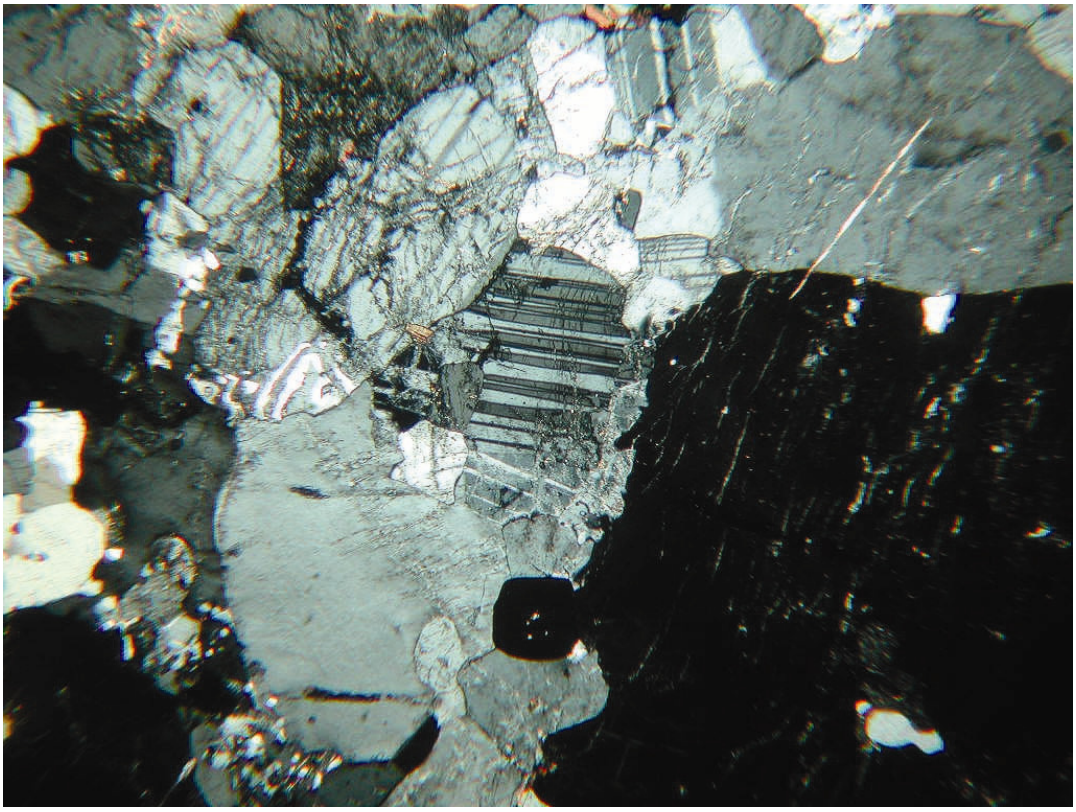
Φωτ. 10. Κρύσταλλοι βιοτίτη με εγκλείσματα ζιρκονίου. Παράλληλα Nicols. Δείγμα ΥC. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 4mm.



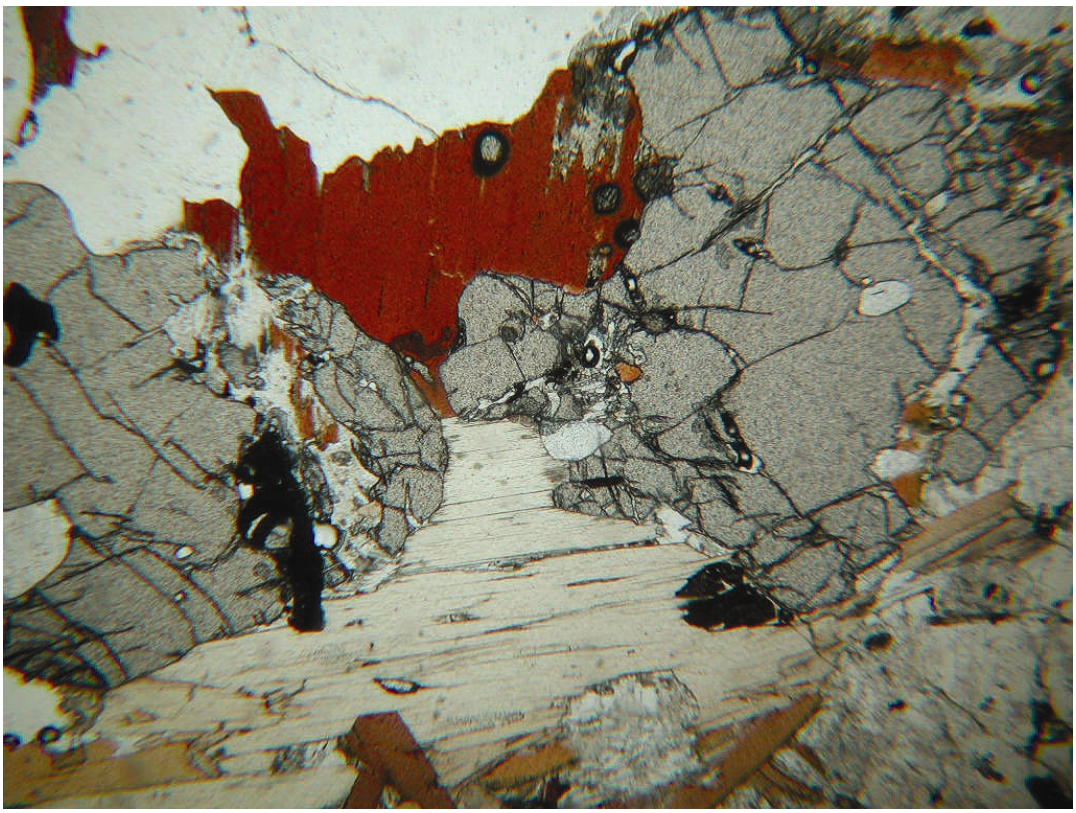
Φωτ. 11. Αλλοιωμένοι κρύσταλλοι ορθοκλάστου με περθίτες και πλαγιοκλάστου. Διασταυρωμένα Nicols. Δείγμα ΒC. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 5mm.



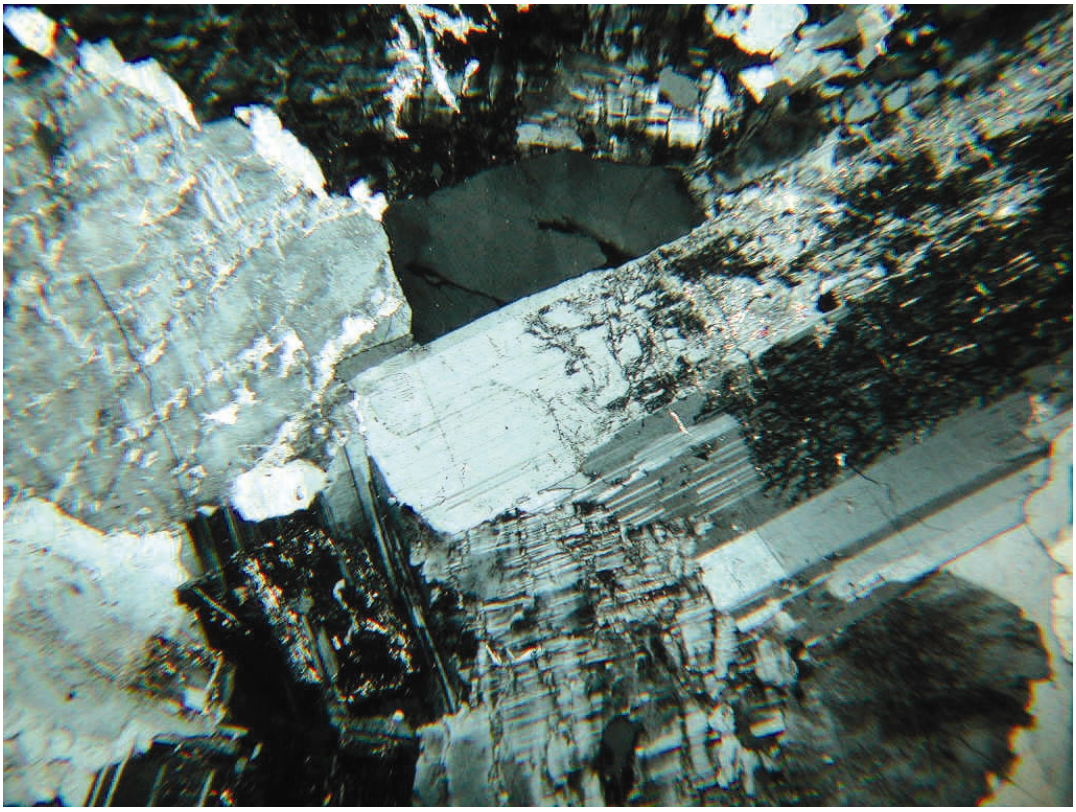
Φωτ. 12. Κρύσταλλοι βιοτίτη με πλεοχροϊκές άλω λόγω ζιρκονίου. Κάτω αριστερά διακρίνεται ένας καολινιωμένος κρύσταλλος ορθοκλάστου. Παράλληλα Nicols. Δείγμα ΒC. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 3mm.



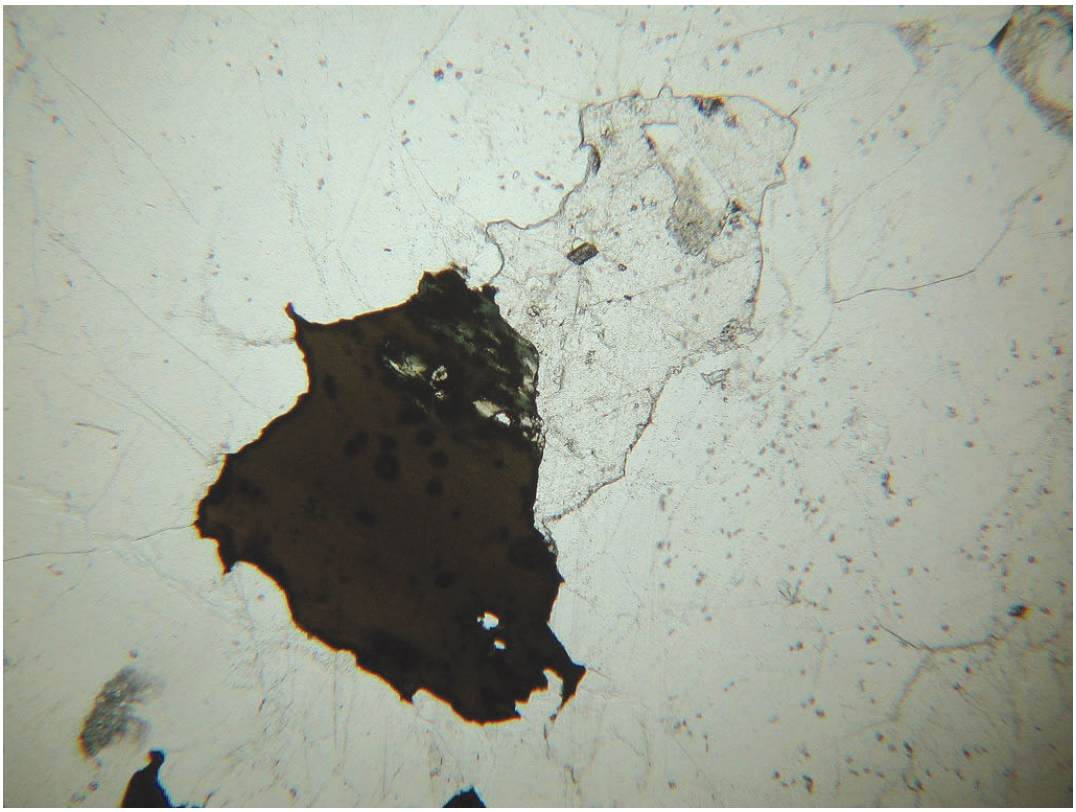
Φωτ. 13. Κρύσταλλοι πλαγιοκλάστου, μικροκλινή με περθίτες και μυρμηκιτιτκή σύμφυση. Διασταυρωμένα Nicols. Δείγμα NP. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 5mm.



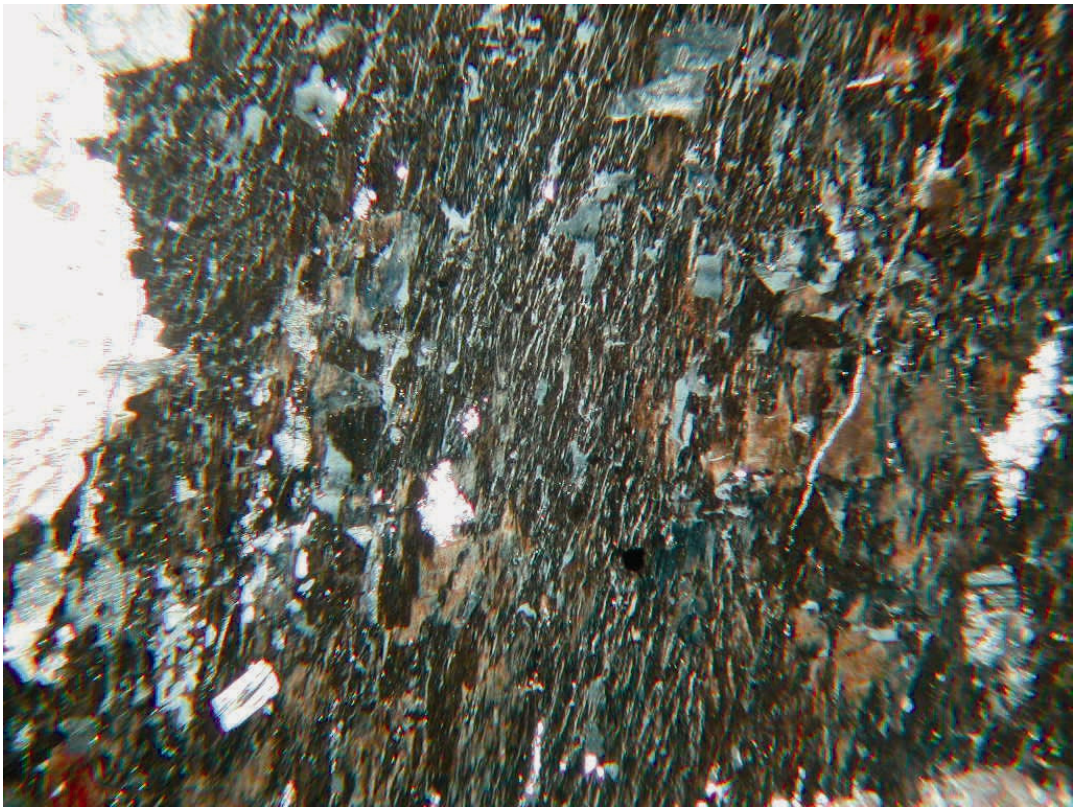
Φωτ. 14. Κρύσταλλοι γρανάτη και βιοτίτη με εγκλείσματα ζιρκονίου που δημιουργούν πλεοχροϊκές άλω. Παράλληλα Nicols. Δείγμα NP. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 5mm.



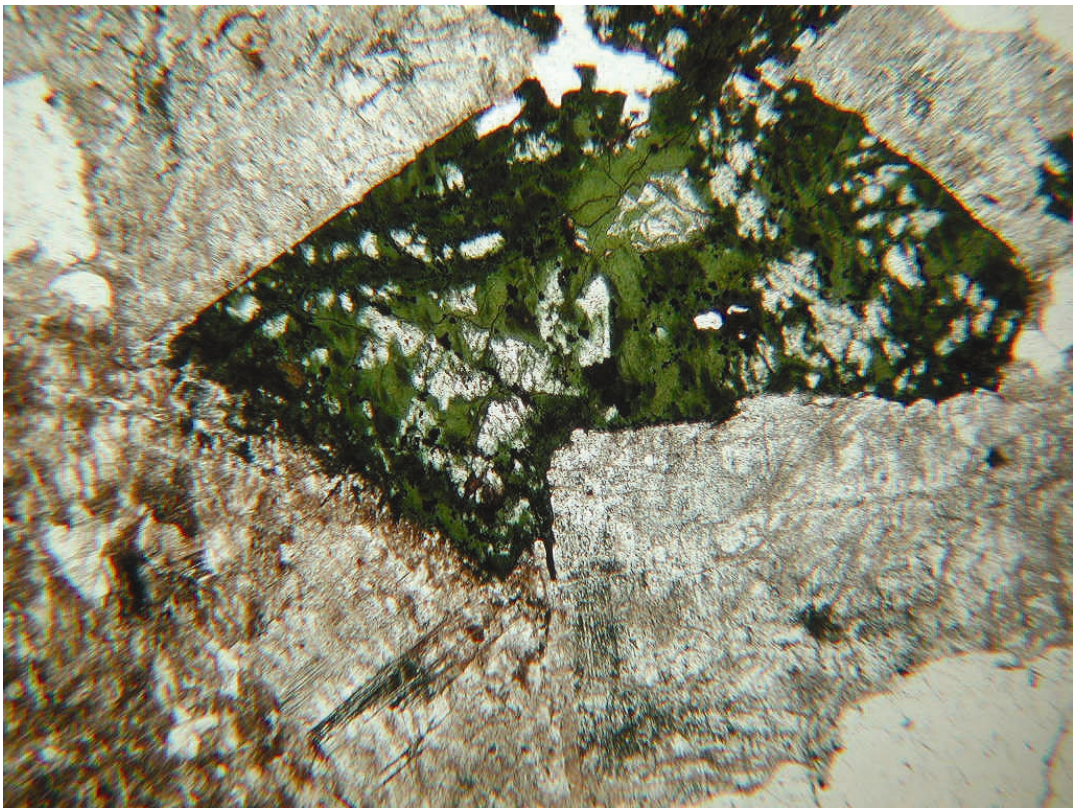
Φωτ. 15. Κρύσταλλοι μικροκλινή με περθίτες και πλαγιοκλάστου. Διασταυρωμένα Nicols. Δείγμα BL. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 5mm.



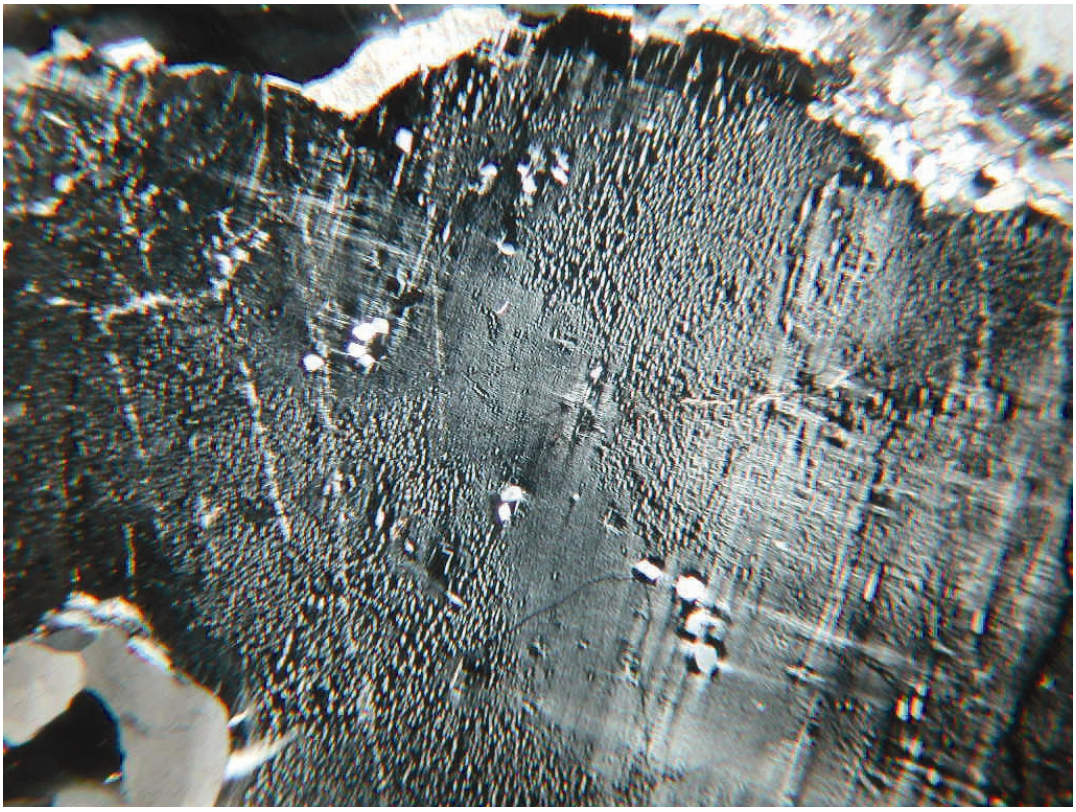
Φωτ. 16. Κρύταλλος βιοτίτη με πλεοχροϊκές άλω λόγω ζιρκονίου, εν μέρει χλωριτιωμένος και κρύσταλλος φθορίτη. Παράλληλα Nicols. Δείγμα BL. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 5mm.



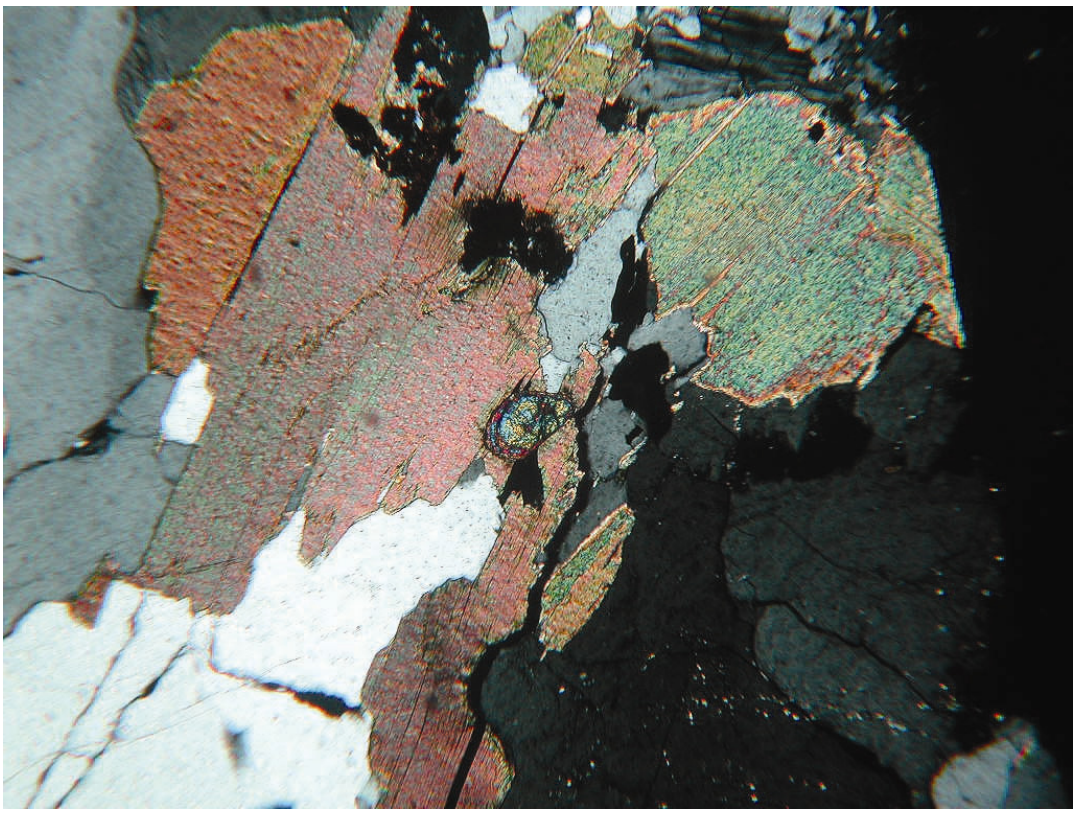
Φωτ. 17. Καολινιωμένος κρύσταλλος ορθοκλάστου με περθίτες. Διασταυρωμένα Nicols. Δείγμα AR. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 5mm.



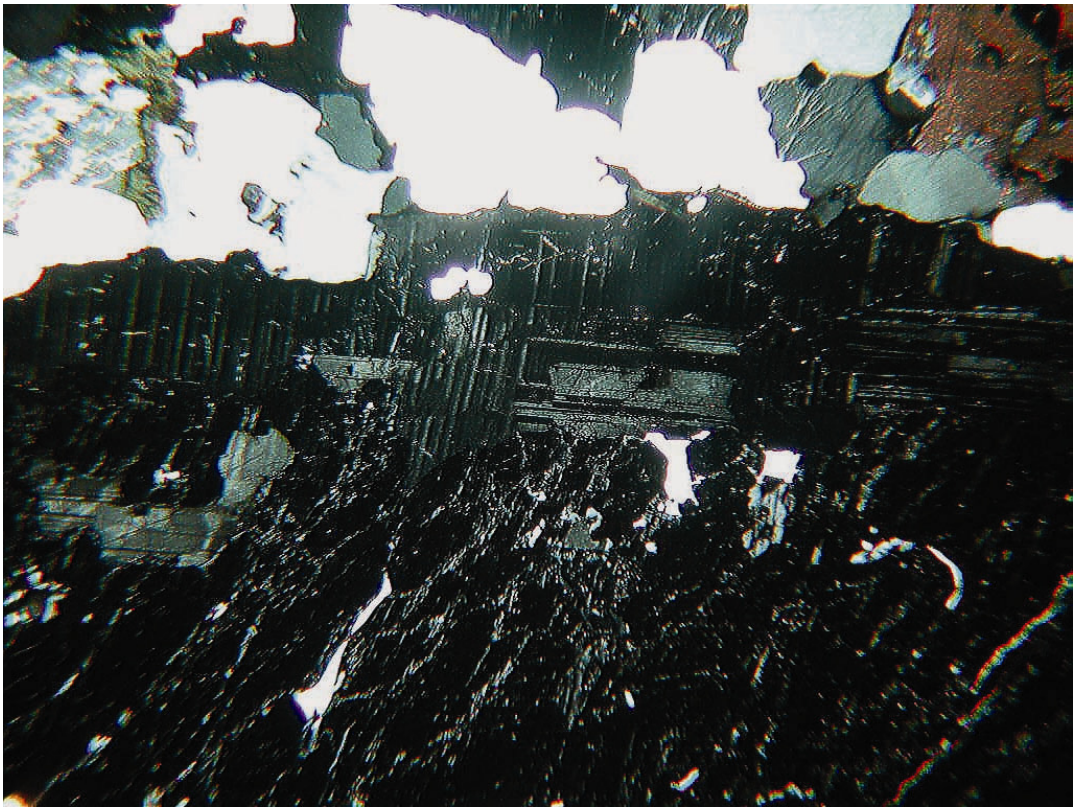
Φωτ. 18. Χλωριτιωμένος κρύσταλλος βιοτίτη ανάμεσα σε καολινιωμένους αστρίους. Παράλληλα Nicols. Δείγμα AR. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 5mm.



Φωτ. 19. Μικροκλινής με περθίτες. Εγκλείονται κρύσταλλοι απατίτη. Διασταυρωμένα Nicols. Δείγμα ΜC. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 5mm.

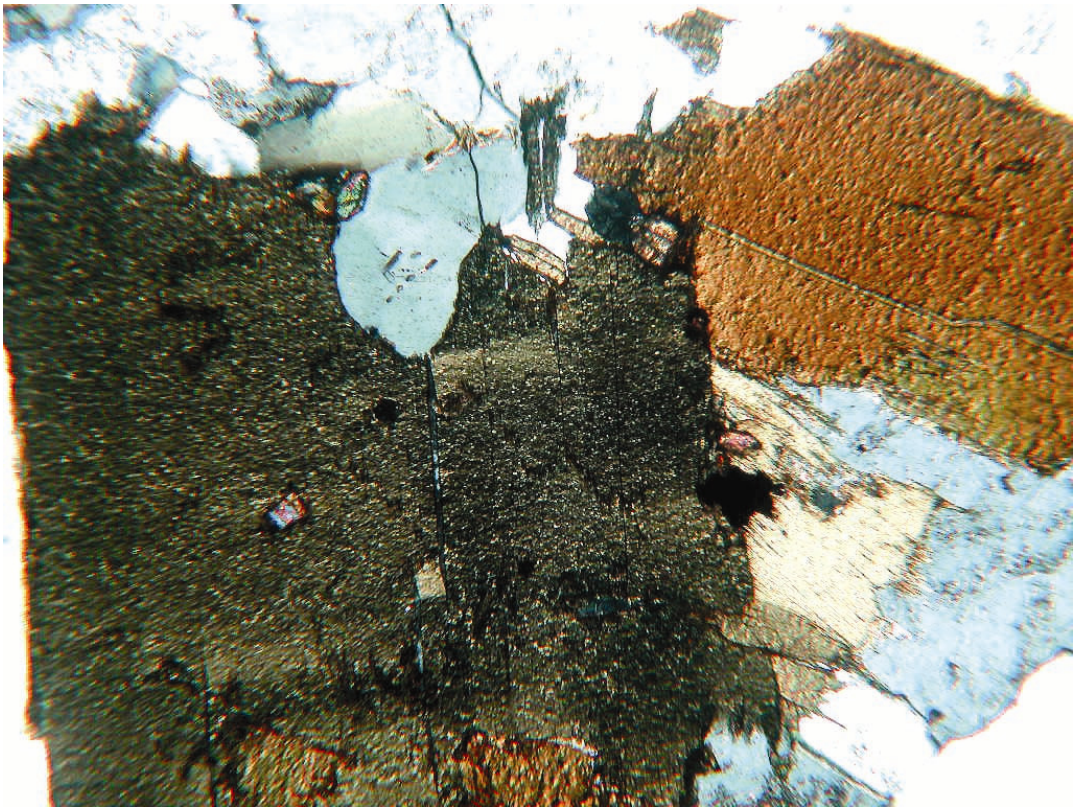


Φωτ. 20. Κρύσταλλοι βιοτίτη και κρύσταλλος ζιρκονίου. Διασταυρωμένα Nicols. Δείγμα ΜC. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 2mm.

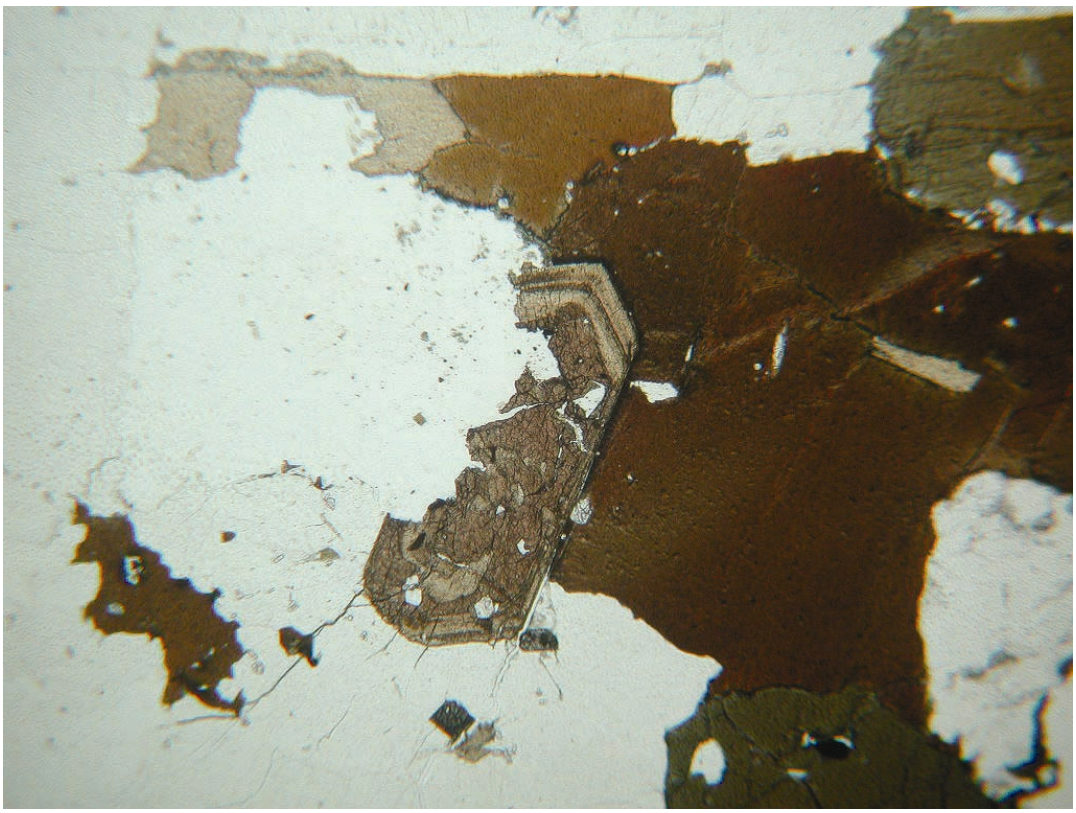


Φωτ. 21. Περθιτιωμένο ορθόκλαστο που περιβάλλεται από αλβίτη. Διασταυρωμένα Nicols. Δείγμα ΒΒ. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 5mm.

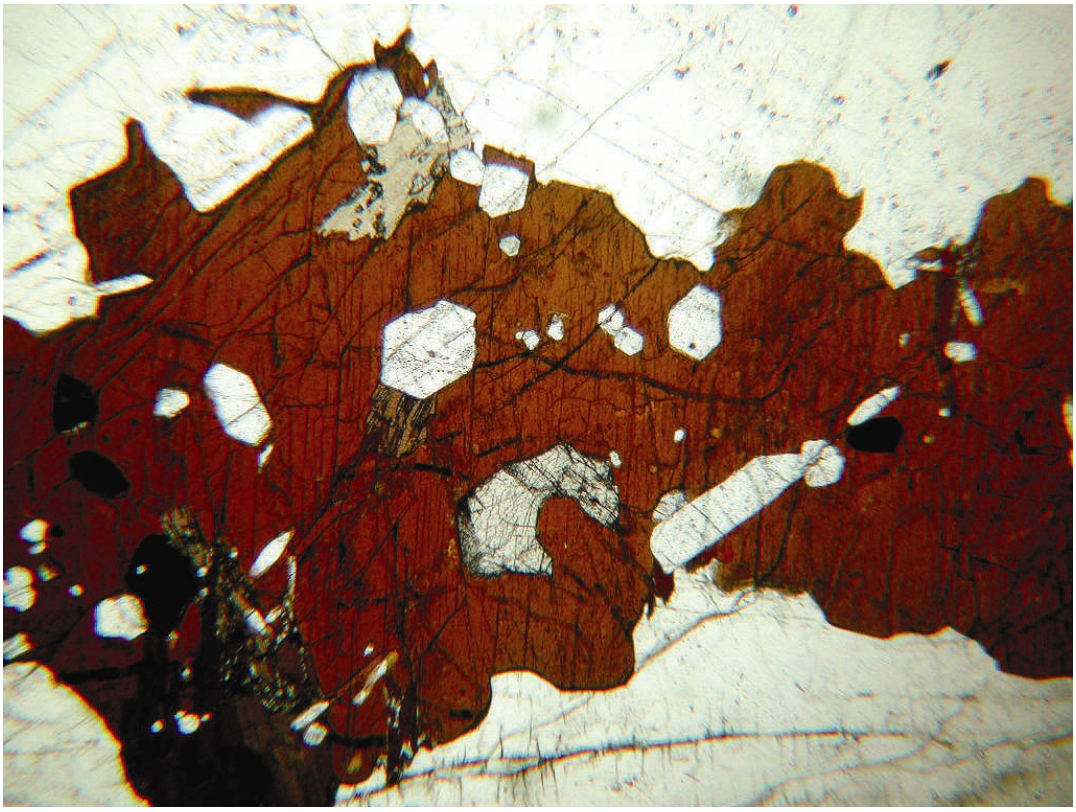
Φωτ. 22. Κρύσταλλοι αμφιβόλου βιοτίτη και ιδιόμορφου ζιρκονίου. Διασταυρωμένα Nicols. Δείγμα ΒΒ. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 2mm.



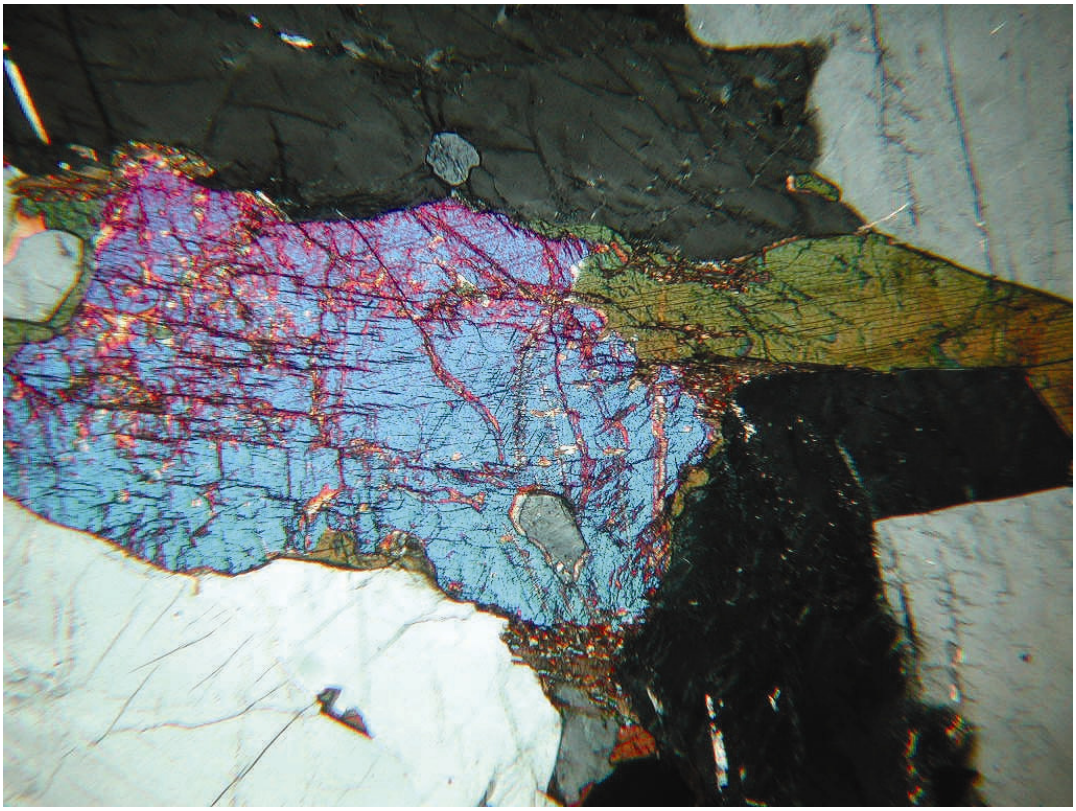
Φωτ. 23. Κρύσταλλοι βιοτίτη, ζιρκονίου και απατίτη. Διασταυρωμένα Nicols. Δείγμα GP. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 2mm.



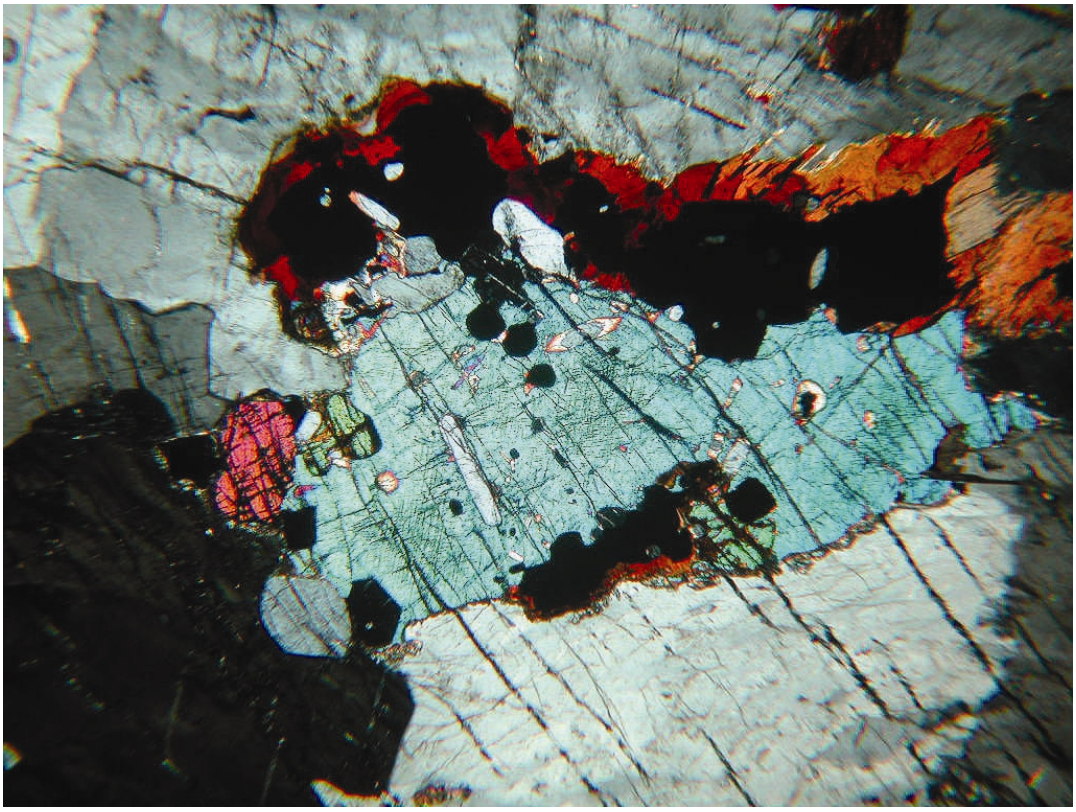
Φωτ. 24. Ιδιόμορφος, ζωνώδης κρύσταλλος αλλανίτη και βιοτίτης. Παράλληλα Nicols. Δείγμα GP. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 3mm.



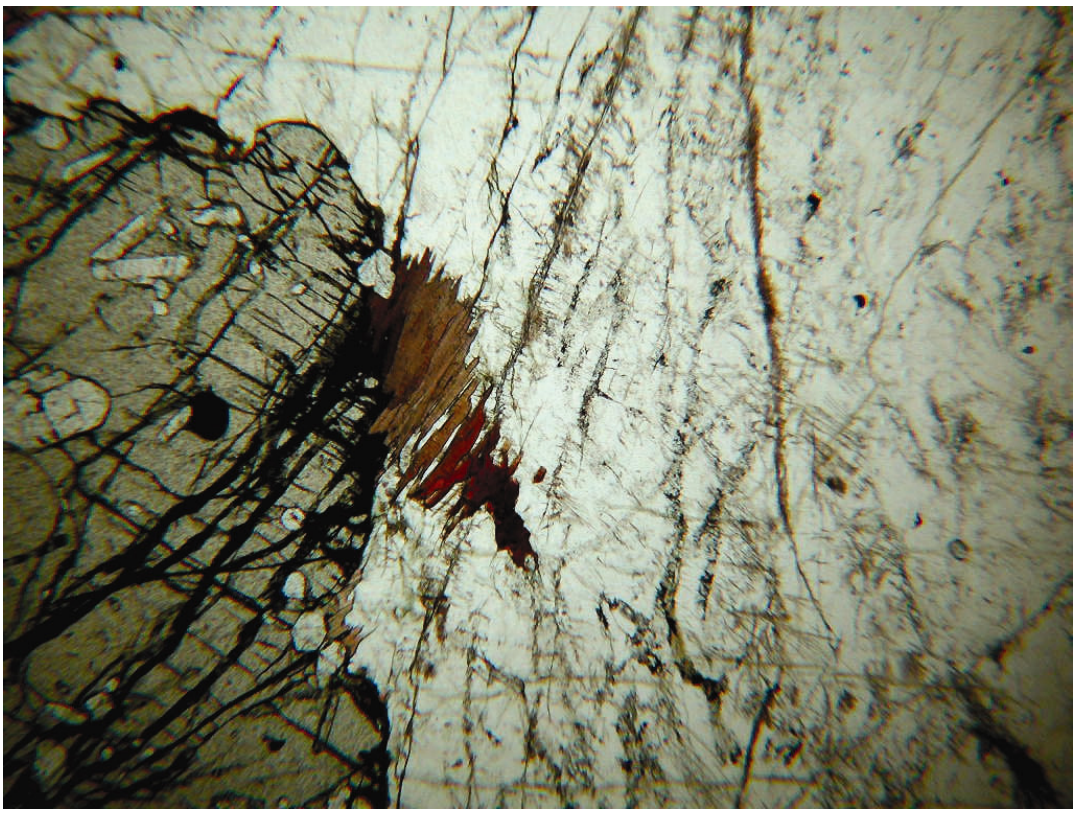
Φωτ. 25. Αμφίβολος που εγκλείει πολυάριθμους κρυστάλλους απατίτη. Στους κρυστάλλους αλκαλιούχου αστρίου που βρίσκονται γύρω από την αμφίβολο διακρίνεται ο σχισμός. Παράλληλα Nicols. Δείγμα ΕΜ. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 5mm.



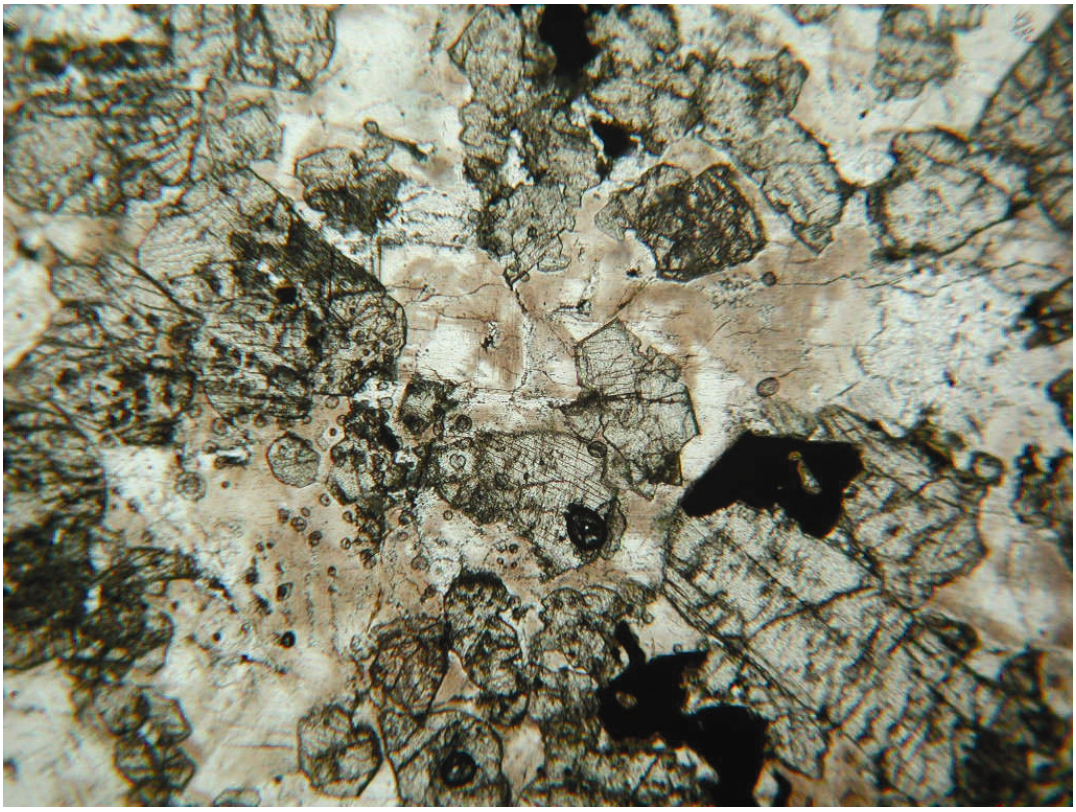
Φωτ. 26. Κλινοπυρόξενος και αμφίβολος. Διασταυρωμένα Nicols. Δείγμα ΕΜ. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 5mm.



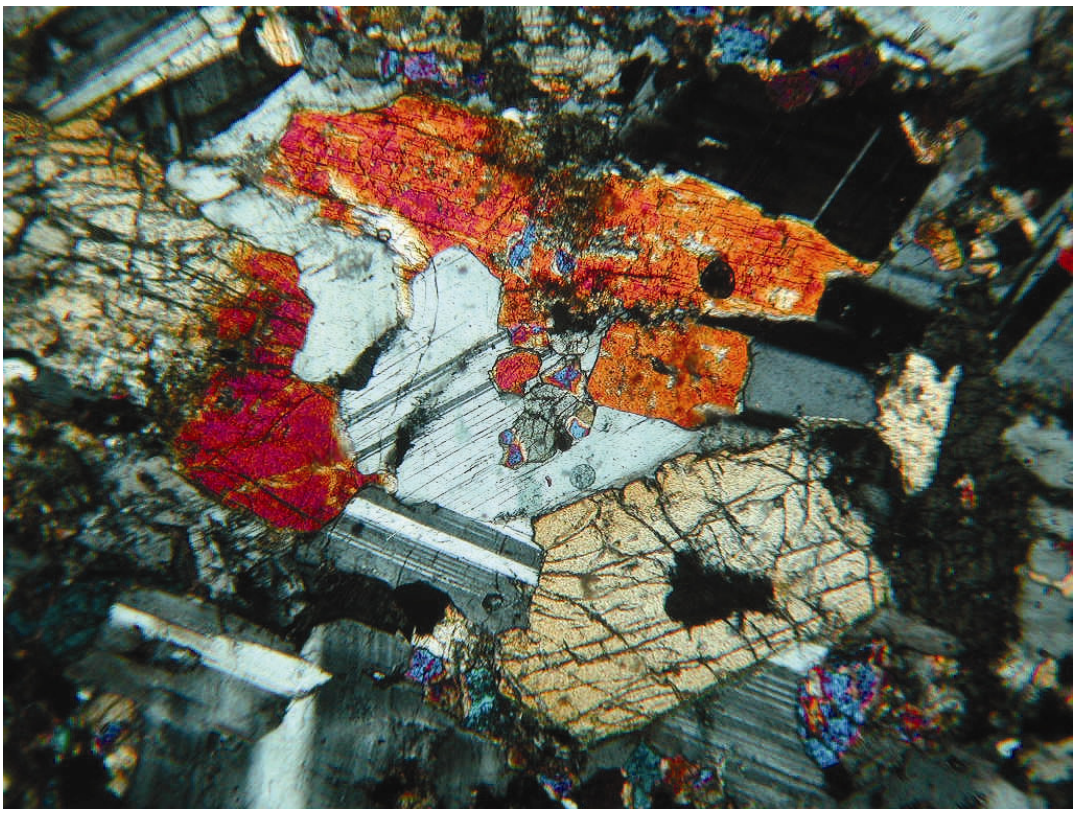
Φωτ. 27. Κλινοπυρόξενος, ολιβίνης, βιοτίτης, απατίτης και αλκαλιούχος άστριος. Στον τελευταίο διακρίνεται έντονα ο σχισμός. Διασταυρωμένα Nicols. Δείγμα ΜΡ. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 5mm.



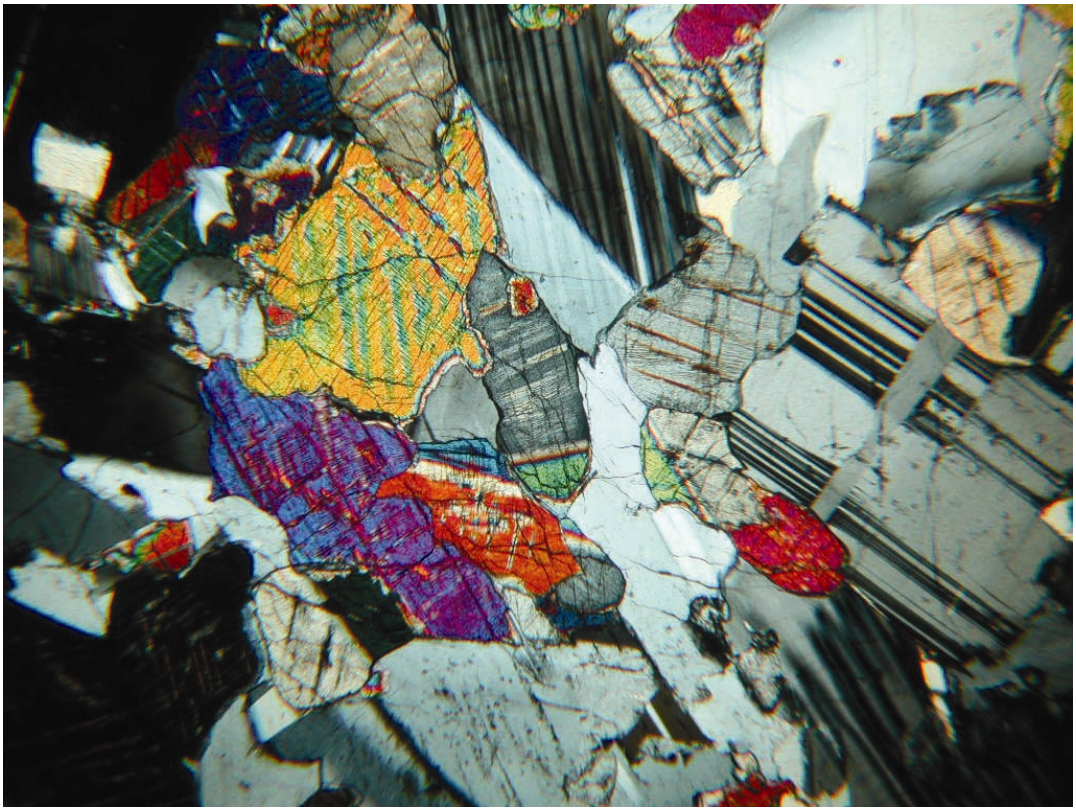
Φωτ. 28. Κρύσταλλος ολιβίνη που εγκλείει κρυστάλλους απατίτη, βιοτίτης και αλκαλιούχος άστριος, με εμφανή το σχισμό του. Παράλληλα Nicols. Δείγμα ΜΡ. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 5mm.



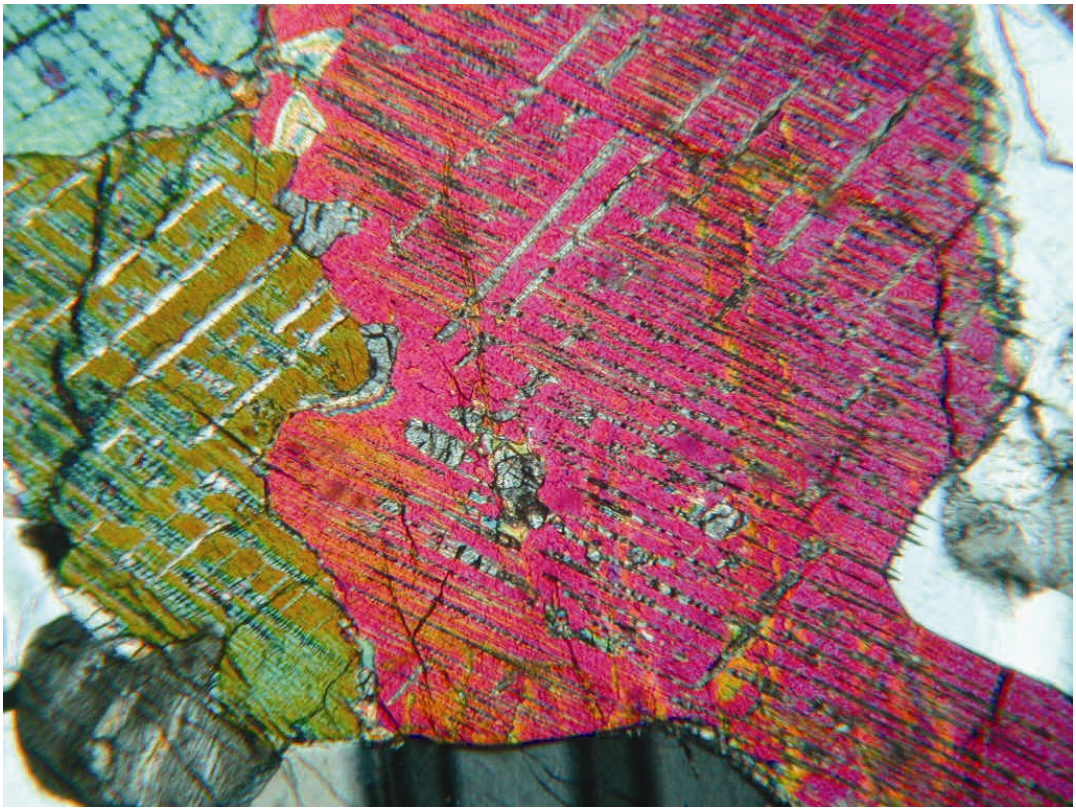
Φωτ. 29. Νεφελώδη πλαγιόκλαστα και πυρόξενοι. Παράλληλα Nicols. Δείγμα ΖΒ. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 3mm.



Φωτ. 30. Καθαρά πλαγιόκλαστα, κλινοπυρόξενοι και ορθοπυρόξενοι. Διασταυρωμένα Nicols. Δείγμα ΖΒ. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 3mm.



Φωτ. 31. Κρύσταλλοι πλαγιοκλάστων, κλινοπυροξένων και ορθοπυροξένων. Διασταυρωμένα Nicols. Δείγμα ΑΝ. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 5mm.



Φωτ. 32. Κλινοπυρόξενοι με διαμεικτικά πλακίδια ορθοπυροξένων. Διασταυρωμένα Nicols. Δείγμα ΑΝ. Η μεγάλη διάσταση αντιστοιχεί σε 3mm.