

Το πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών "Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Γεωλογία" του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, στα πλαίσια του οποίου εκπονήθηκε και εκτελέστηκε η παρούσα διπλωματική εργασία, χρηματοδοτήθηκε από το ΕΠΕΑΕΚ 2 στο πλαίσιο του Μέτρου 2.2: "Αναμόρφωση Προγραμμάτων Σπουδών - Διεύρυνση Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης", της Ενέργειας 2.2.3: "Μεταπτυχιακά - Έρευνα - Υποτροφίες" και της Κατηγορίας Πράξεων 2.2.3α: "Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών" (συγχρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση και από Εθνικούς πόρους).

**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΤΟΜΕΑΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ - ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΡΓΙΛΩΔΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΝΟΜΟΥ ΓΡΕΒΕΝΩΝ,
ΧΡΗΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ
ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΕΛΑΦΡΟΒΑΡΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ**

ΣΑΡΑΚΙΝΙΔΟΥ ΠΗΝΕΛΟΠΗ Α.Μ. 2312

Επιβλέπων: Καθηγητής Μ. Σταματάκης

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

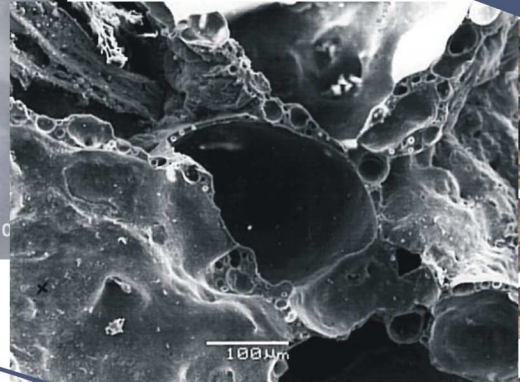
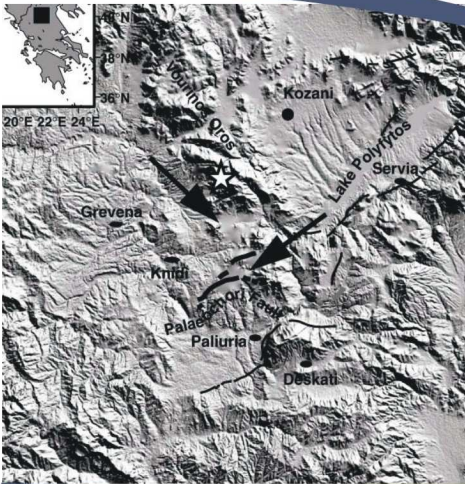
Μ. Σταματάκης, Καθηγητής Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας - Γεωχημείας ΕΚΠΑ

Μ. Οικονόμου, Καθηγήτρια Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας - Γεωχημείας ΕΚΠΑ

Μ. Βλάχου, Επίκουρος Καθηγήτρια Τομέα Ορυκτολογίας - Πετρολογίας ΕΚΠΑ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2012

ΑΘΗΝΑ



ΑΤΤΑΡΥΛΓΙΤΕ + PELLETS + ENVIRONMENT

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΡΓΙΛΩΔΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΝΟΜΟΥ ΓΡΕΒΕΝΩΝ, ΧΡΗΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ
ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΕΛΑΦΡΟΒΑΡΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ

ΣΑΡΑΚΙΝΙΔΟΥ ΠΗΝΕΛΟΠΗ Α.Μ : 2312

Επιβλέπων: Καθηγητής Μ. Σταματάκης

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- Μ. Σταματάκης, Καθηγητής Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας - Γεωχημείας ΕΚΠΑ
- Μ. Οικονόμου, Καθηγήτρια Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας - Γεωχημείας ΕΚΠΑ
- Μ. Βλάχου, Επίκουρος Καθηγήτρια Τομέα Ορυκτολογίας - Πετρολογίας ΕΚΠΑ





ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή περιλαμβάνει τη μελέτη αργίλων που υπέρκεινται του κοιτάσματος ατταπουλγίτη - σαπωνίτη της περιοχής Πυλωροί του Δήμου Βεντζίου του Νομού Γρεβενών, ως προς την ορυκτολογική τους σύσταση, αλλά και την καταλληλότητά τους στην παραγωγή ελαφροβαρών αδρανών (LWA) και κατ' επέκταση την εφαρμογή τους σε εδαφοτεχνικά έργα, ως εμπορικά προϊόντα κ.α.

Το κοίτασμα ατταπουλγίτη - σαπωνίτη στο ρέμα των Πυλωρών των Βεντζίων προήλθε από εξαλλοίωση των υπερβασικών πετρωμάτων του Βούρινου, τα οποία σε πρώτη φάση έδωσαν υλικό πλούσιο σε σιμκίτη και ακολούθως με τη δράση διαγενετικών παραγόντων και διαλυμάτων πλούσιων σε Si, προέκυψε αυτό το κοίτασμα. Ο ατταπουλγίτης - σαπωνίτης είναι πλούσιος σε μαγνήσιο με ινώδη - επιμήκη (ατταπουλγίτης), αλλά και κοκκώδη - συμπαγή υφή (σαπωνίτης). Σχηματίζεται υπό την παρουσία διαλυμάτων πλούσιων σε μαγνήσιο.

Το κοίτασμα χαρακτηρίζεται από υψηλό πορώδες, υψηλό ιξώδες, μεγάλη ικανότητα ιοντοανταλλαγής, είναι σταθερό σε υψηλές θερμοκρασίες και δεν διογκώνεται. Έτσι, δεν προσβάλλεται από ηλεκτρολύτες, έχει άριστες θιξοτροπικές ικανότητες και μεγάλη προσροφητική ικανότητα. Με βάση αυτές τις ιδιότητες του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως απορροφητικό πετρελαίου - λιπών, ως πληρωτικό σε χρώματα, σε διατρήσεις, μοριακά φίλτρα, άμμους υγιεινής, καλλυντικά και φάρμακα.

Για την κατασκευή των ελαφροβαρών αδρανών (LWA), το αρχικό υλικό αναμείχθηκε με πριονίδι, ώστε να βελτιωθούν οι ιδιότητες του (σκληρότητα, αντοχή, διόγκωση κλπ). Στη συνέχεια ακολούθησε όπτηση των δειγμάτων σε εργαστηριακό φούρνο, ώστε να απομακρυνθεί το νερό που υπήρχε στο πλέγμα του.

Μελετήθηκε, η ορυκτολογία, η υφή, η δομή των φρυγμένων σφαιριδίων και έγινε σύγκριση αυτών με αντίστοιχα βιομηχανικά και εργαστηριακά προϊόντα. Ορυκτολογικές και χημικές αναλύσεις έγιναν, τόσο στα αρχικά δείγματα με τη μέθοδο φθορισμού ακτίνων X (XRF), όσο και στα φρυγμένα σφαιρίδια με χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM) και περιθλασίμετρου ακτίνων X (XRD).

Τα φρυγμένα σφαιρίδια χαρακτηρίζονται από απουσία ανθρακικού ασβεστίου, γεγονός που σημαίνει καλή ποιότητα σφαιριδίων όσο αφορά τις χρήσεις τους, αλλά και παρουσία υελώδους φάσης που συνεπάγεται καλή αντοχή των δειγμάτων.



Τα ελαφροβαρή αδρανή που παρήχθησαν από την πρώτη ύλη προέλευσης Γρεβενών, παρουσιάζουν αξιόλογα τεχνικά και μηχανικά χαρακτηριστικά. Σε συνδυασμό με τα υψηλά αποθέματα που έχουν εντοπιστεί στην περιοχή και το μικρό κόστος εξόρυξης και κατεργασίας, αυτό το υλικό ενδείκνυται για την παραγωγή ελαφροβαρών αδρανών (LWA - light weight aggregates).

Για τη μελέτη της ποιότητας των κατασκευασμένων αδρανών έγιναν μετρήσεις, αλλά και συσχετισμός μεταξύ τους, σχετικά με το φαινόμενο ειδικού βάρους, το φαινόμενο όγκο, τη διάμετρο και το φορτίο θραύσης τους.

Αποτέλεσμα της διεργασίας όπτησης των αρχικών δειγμάτων είναι η παραγωγή ενός συνθετικού υλικού (pellets) με μικρή φαινόμενη πυκνότητα ($0,55 - 0,80 \text{ g/cm}^3$) και ικανοποιητικές θλιπτικές αντοχές (φορτίο θραύσης 2000 N/g).

Η μικρή φαινόμενη πυκνότητα και το μεγάλο πορώδες σε συνδυασμό με τη μεγάλη αντοχή σε θλίψη καθιστούν το υλικό ιδανικό ως υλικό πλήρωσης βάσεων και υποβάσεων στην οδοποιία, ώστε να μειώνεται η εδαφολογική πίεση στις δομές, αλλά και ως μονωτικό, παρέχοντας ασφαλή έργα, αποφεύγοντας τις πιθανές αστοχίες και με χαμηλό κόστος.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα προτείνεται η χρήση των ελαφροβαρών αδρανών από ατταπουλγίτη - σαπωνίτη ως μονωτικά, υλικά πλήρωσης βάσεων και υποβάσεων και γενικά σε τεχνικά έργα. Τέλος, προτείνονται περαιτέρω έρευνες για την χρήση αυτών των ελαφροβαρών αδρανών στα κατασκευαστικά έργα.



SUMMARY

This thesis includes the study of clays which overlay the attapulgite - saponite deposit in the area of Piloroi, Municipality of Ventzia of Grevena, in relation to their mineralogical composition, as well as the research of their suitability in the production of light weight aggregates, and hence their application in building projects, as commercial products, etc.

The attapulgite - saponite deposit in the stream of Piloroi of Ventzia resulted from the alteration of the ultrabasic rocks of the Vourino area, which at a first stage provided materials rich in smectite. Thereafter under the activity of diagenetic factors and solutions rich in Si, the present deposit resulted. The attapulgite - saponite is rich in magnesium in fibrous - elongated (attapulgite), as well as granular - compact texture (saponite). It is formed under the presence of liquids rich in magnesium.

The deposit is characterized by high porosity, high viscosity, high ion exchange capacity, it is stable at high temperatures and it does not expand. Thus, it is not affected by electrolytes; has excellent thixotropic abilities and great ability of adsorption. Based on these properties, it can be used as oil-fat absorbent, as filler in paints, in perforations/drillings, molecular filters, litter, cosmetics and medicines.

For the manufacture of the light weight aggregates, the original material was mixed with sawdust to improve its properties (hardness, strength, expansion, etc.). Sintering of the samples in a laboratory oven followed, to dry out the water that was in it.

It was further studied the mineralogy, texture, structure of sintered pellets and comparison of these with similar industrial and laboratory products took place. Further, there were carried out mineralogical and chemical studies, both to the original soil samples by the X-ray fluorescence method (XRF), and to sintered pellets by using scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffractometer (XRD)

The pellets are characterized by absence of CaCO_3 , that mean good quality of pellets as long as it concerns their uses, but also presence of glass phase involves good resistance of samples.



The pellets present appreciable technical and mechanic characteristics. In combination with the high reserves that have been located in the region and the small cost of excavation and treatment, this material is advisable for the production of LWA - light weight aggregates.

To study the quality of the lightweight aggregates measurements and correlations between them were carried out concerning the apparent specific weight, the apparent volume, the diameter and their rupture, load.

The result of this sintering process is the production of a synthetic material with low bulk density ($0,55 - 0,80 \text{ g/cm}^3$) and good compressive strength (tensile strength 2000 N/g).

The low density and the big porosity in combination with the big resistance in compressive strength, make the material ideal as material of fulfillment of bases and subbases in the road construction, so that is decreased the land pressure in structures, avoiding likely problems, with low cost.

Based on the above results, it is suggested the use of the lightweight aggregates of attapulgite - saponite as insulators, as filler material for bases and bedrocks and in technical works in general. Lastly, it is suggested the conduct of further research to ensure the safe use of these lightweight aggregates in building works.



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας, Δρ. Μιχαήλ Σταματάκη, καθηγητή του Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας - Γεωχημείας του ΕΚΠΑ, και Πρόεδρο του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ, για την ανάθεση της εργασίας, την πολύτιμη βοήθειά του κατά τη διάρκεια αυτής και τη βοήθεια του στη συγγραφή της διατριβής. Εποικοδομητικές ήταν οι συζητήσεις, καθώς και όλα τα στοιχεία που έθεσε στη διάθεσή μου κατά την εξέλιξη της συγκεκριμένης εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια του Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας - Γεωχημείας του ΕΚΠΑ, Επιστημονική Υπεύθυνη του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών "Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Γεωλογία" και μέλους της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, Μ. Οικονόμου, για την κριτική ανάγνωση του κειμένου και τις σημαντικές επισημάνσεις της για τη βελτίωση της εργασίας αυτής. Πολύτιμη ήταν η αρωγή της Επίκουρου Καθηγήτριας, του Τομέα Ορυκτολογίας - Πετρολογίας του Γεωλογικού Τμήματος του ΕΚΠΑ, Μ. Βλάχου, μέλους της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, για την υποστήριξη και τις χρήσιμες συμβουλές που μου παρείχε κατά τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας και την παρατηρητικότητα της σε πολλές λεπτομέρειες που χρειάστηκαν να ερευνηθούν. Τέλος, ευχαριστώ τον Καθηγητή του Τομέα Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας του Γεωλογικού Τμήματος του ΑΠΘ, Δρ. Ανανία Τσιραμπίδη, για τις υποδείξεις, τις διορθώσεις και τη βελτίωση αυτής της διατριβής ειδικεύσης.

Ακόμα, ευχαριστώ τον διδάκτορα Σταύρο Τριανταφυλίδη του τομέα Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας του Τμήματος, για τις υποδείξεις του και την επεξεργασία των δειγμάτων στο SEM. Επίσης, τον Ευάγγελο Μιχαηλίδη, ΕΕΙΔΠ του Γεωλογικού τμήματος του ΕΚΠΑ, για τη συνδρομή του στις χημικές αναλύσεις με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM). Εκφράζω τις ευχαριστίες μου στον τεχνικό Ι. Χαβέλα, καθώς επίσης και τον Μεταλλουργό Μηχανικό Δ. Φραγκούλη του Ερευνητικού Εργαστηρίου της εταιρείας Τσιμέντων ΤΙΤΑΝ ΑΕ, για την συνεισφορά τους στις τεχνικές δοκιμές στα εργαστήρια της εταιρείας και στις αναλύσεις XRD και XRF, που συνέβαλαν σημαντικά στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Πέρα του έμπυχου δυναμικού του ΕΚΠΑ οφείλω να ευχαριστήσω τη φίλη μου, Αγγελική Πλακάκη, Msc Γεωλόγο του ΕΚΠΑ για την ουσιαστική και αμέριστη βοήθειά



της, κατά τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας. Με καθοδήγησε και εμπύχωσε για την υλοποίησή της, καθώς αποδείχθηκαν σημαντικές οι παρατηρήσεις της σε συγκεκριμένα τμήματα της εργασίας.



ΔΙΑΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο **Κεφάλαιο 1** περιγράφονται ο σκοπός, το αντικείμενο και οι στόχοι της παρούσας εργασίας. Γίνεται περιγραφή, όσον αφορά τη γεωγραφία, την ιστορία, την σεισμική δραστηριότητα, τη γεωλογία και τη μεταλλευτική δραστηριότητα, στα Βέντζια του Νομού Γρεβενών.

Στο **Κεφάλαιο 2** παραθέτονται χαρακτηριστικά που αφορούν, αφενός τα ελαφροβαρή αδρανή και αφετέρου το κοίτασμα του ατταπουλγίτη - σαπωνίτη. Γίνεται αναφορά στα αδρανή υλικά που απαντώνται στην Ελλάδα, αλλά κυρίως στα χαρακτηριστικά και τη δυνατότητα χρήσης του ατταπουλγίτη - σαπωνίτη ως ελαφροβαρές αδρανές (LWA) στα τεχνικά έργα, τη βιομηχανία ή το εμπόριο.

Στο **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζεται η μεθοδολογία της συγκεκριμένης έρευνας. Αναλύονται τα στάδια επεξεργασίας του υλικού για τις εργαστηριακές δοκιμές (μέθοδος αντοχής σε θλίψη) και τις χημικές και ορυκτολογικές αναλύσεις (μέθοδος περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ, μέθοδος ηλεκτρονικής μικροσκοπίας, μέθοδος φθορισμού ακτίνων Χ).

Στο **Κεφάλαιο 4** αναλύονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων μέσω του ορυκτολογικού προσδιορισμού των δειγμάτων. Σημαντικές πληροφορίες εξάγονται για τη δομή και την περιεκτικότητα των δειγμάτων σε ορυκτά και χημικά στοιχεία.

Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των φυσικομηχανικών και τεχνικών ιδιοτήτων των ελαφροβαρών αδρανών από ατταπουλγίτη - σαπωνίτη. Κυρίως τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη μέτρηση του φαινομένου ειδικού βάρους και της αντοχής σε θλίψη των σφαιριδίων δίνουν χρήσιμα συμπεράσματα.

Στο **Κεφάλαιο 6** γίνονται συγκρίσεις των ιδιοτήτων (χημικής σύστασης - ορυκτολογίας, θλιπτικής αντοχής, φαινομένου ειδικού βάρους) των ελαφροβαρών αδρανών του ατταπουλγίτη - σαπωνίτη με άλλα εμπορικά προϊόντα και εργαστηριακά δείγματα, με σκοπό να προσδιοριστούν οι χρήσεις αυτών.

Στο **Κεφάλαιο 7** γίνεται αναφορά στην επίδραση που έχει στο περιβάλλον η επεξεργασία αυτού του κοιτάσματος, καθώς και η χρήση των σφαιριδίων των ελαφροβαρών αδρανών.

Στο **Κεφάλαιο 8** αναφέρονται τα τελικά συμπεράσματα της έρευνας και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
SUMMARY	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1 Αντικείμενο της έρευνας	11
1.2 Στόχοι της έρευνας	12
1.3 Περιγραφή της περιοχής μελέτης	12
1.3.1 Γεωγραφία	12
1.3.2 Ιστορία	15
1.3.3 Σεισμική δραστηριότητα	15
1.3.4 Γεωλογία	17
1.3.4.1 Παλαιογεωγραφική εξέλιξη	19
1.3.4.2 Γεωλογική δομή	19
1.3.5 Μεταλλευτική Δραστηριότητα	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	23
2.1 Αδρανή	23
2.1.1 Κατηγορίες αδρανών υλικών	23
2.1.2 Ιδιότητες αδρανών υλικών	24
2.1.3 Πλεονεκτήματα των ελαφροβαρών αδρανών	24
2.1.4 Εφαρμογές αδρανών υλικών	24
2.2 Αδρανή υλικά στον Ελλαδικό χώρο	25
2.3 Αργιλικά ορυκτά στην παραγωγή ελαφροβαρών αδρανών (LWA)	27
2.4 Ατταπουλγίτης - Σαπωνίτης	29
2.4.1 Ατταπουλγίτης	29
2.4.2 Σαπωνίτης	31
2.4.3 Προέλευση ατταπουλγίτη - σαπωνίτη Ελλάδος	32
2.4.4 Παραγωγή ατταπουλγίτη - σαπωνίτη.	



Εμπορική δραστηριότητα	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	35
3.1 Εισαγωγή	35
3.2 Δειγματοληψία υπαίθρου	35
3.3 Προετοιμασία δειγμάτων για εργαστηριακές δοκιμές	39
3.3.1 Στάδια επεξεργασίας υλικού για την παραγωγή ελαφροβαρών αδρανών	39
3.3.1.1 Όπτηση των δειγμάτων σε εργαστηριακό φούρνο	40
3.3.1.2 Όπτηση των δειγμάτων σε βιομηχανική κλίμακα	44
3.4 Μεθοδολογία χημικών - ορυκτολογικών αναλύσεων	44
3.4.1 Φθορισμομετρία (XRF)	44
3.4.2 Μέθοδος Περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD)	45
3.4.3 Μέθοδος Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης (SEM) και Μικροανάλυσης	45
3.5 Μεθοδολογία δοκιμών αντοχής σε θλίψη	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ	48
4.1 Εισαγωγή	48
4.2 Αποτελέσματα Περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD)	48
4.2.1 Πρώτες ύλες	48
4.2.2 Προϊόντα	51
4.3 Αποτελέσματα Φθορισμομετρίας (XRF)	55
4.3.1 Πρώτες ύλες	55
4.4 Αποτελέσματα Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης (SEM)	55
4.4.1 Πρώτες ύλες	55
4.4.2 Προϊόντα	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΑΦΡΟΒΑΡΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ	65
5.1 Εισαγωγή	65
5.2 Υφή και χρώμα σφαιριδίων (pellets)	65
5.3 Εύρεση φαινόμενου ειδικού βάρους	66
5.4 Δοκιμές αντοχής σφαιριδίων (pellets)	67
5.4.1 Συσχέτιση φορτίου θραύσης και διαμέτρου	68



5.4.2 Συσχέτιση φαινόμενου ειδικού βάρους και διαμέτρου	73
5.4.3 Συσχέτιση φαινόμενου ειδικού βάρους και φορτίου θραύσης	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΜΕ ΑΛΛΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ	79
6.1 Εισαγωγή	79
6.2 Συγκρίσεις χημικών αναλύσεων	79
6.3 Συγκρίσεις χαρακτηριστικών ελαφροβαρών αδρανών	84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	89
7.1 Χημικά στοιχεία	89
7.2 Χρήση σφαιριδίων	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	98
8.1 Συμπεράσματα	98
8.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	101
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	103
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Δορυφορικές εικόνες ευρύτερης περιοχής δειγματοληψίας	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Αποτελέσματα - Παρατηρήσεις χημικών αναλύσεων, δοκιμών θραύσης	
B1: Αναλυτικά αποτελέσματα χημικών αναλύσεων SEM	
B2: Διαγράμματα ορυκτολογικής ανάλυσης XRD	
B3: Αναλυτικές μετρήσεις και παρατηρήσεις θλιπτικής αντοχής	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Γεωλογικός χάρτης ΙΓΜΕ, φύλλο Κνίδη, Δρ. Αν. Μαυρίδης - Ακ. Κελεπερτζής, 1973 - 1974	





ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν αποτελούν αργιλώδεις ποταμοχειμάρριες αποθέσεις από τη λεκάνη Βεντζίων των Γρεβενών, οι οποίες περιέχουν σημαντική ποσότητα διογκούμενων αργίλων και απαντώνται σε μεγάλες αποθέσεις, αποτελώντας υπερκείμενα κοιτασμάτων ατταπουλγίτη και σαπωνίτη. Με βάση αυτή την πρώτη ύλη παρασκευάστηκαν καινοτόμα ελαφροβαρή αδρανή σφαιρικού σχήματος (Lightweight Aggregates - LWA), τα οποία έχουν ευρεία βιομηχανική εφαρμογή.

Η ανάθεση της παρούσας εργασίας έγινε στο πλαίσιο του Διατομεακού Μεταπτυχιακού "Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Γεωλογία", από τον Καθηγητή Μιχαήλ Σταματάκη του τομέα Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας και Πρόεδρο του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Η επιλογή της περιοχής μελέτης έγινε με βάση τα εξής κριτήρια:

- Της ύπαρξης ενός από τα σημαντικότερα κοιτάσματα ατταπουλγίτη - σαπωνίτη παγκοσμίως, τόσο από άποψη ποσότητας, όσο και ποιότητας.
- Τις αξιόλογες ιδιότητες των αδρανών υλικών αυτού του κοιτάσματος.
- Τις χρήσεις των ελαφροβαρών αυτών υλικών ώστε να καλύψουν ανάγκες της χημικής και κατασκευαστικής βιομηχανίας.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη του υλικού της περιοχής και η έρευνα της δυνατότητας χρήσης του στην κατασκευή ελαφροβαρών αδρανών (LWA).

1.1 Αντικείμενο της έρευνας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη και ανάλυση των υπερκείμενων αργιλικών υλικών του κοιτάσματος ατταπουλγίτη - σαπωνίτη και η εκτίμηση της καταλληλότητας τους για την χρήση τους ως ελαφρών αδρανών υλικών και συνεπώς, την εφαρμογή τους στις βιομηχανίες τσιμέντου και σκυροδέματος (LWC), καθώς και στην τοιχοποιία.

Αντικείμενο έρευνας αποτελεί:

- Ο χαρακτηρισμός (ονοματολογία - υφή - χρώμα) της πρώτης ύλης και των ελαφροβαρών αδρανών (προϊόντα).
- Ο ορυκτολογικός προσδιορισμός της πρώτης ύλης και των προϊόντων.



- Η χημική ανάλυση της πρώτης ύλης και των παραγόμενων ελαφροβαρών αδρανών.
- Ο αναλυτικός προσδιορισμός του φαινόμενου ειδικού βάρους των σφαιριδίων του ατταπουλγίτη - σαπωνίτη.
- Ο αναλυτικός προσδιορισμός της αντοχής σε θλίψη των σφαιριδίων.
- Η συνεκτίμηση ορυκτολογικών δεδομένων και δεδομένων χημικής ανάλυσης για τον προσδιορισμό της καταλληλότερης χρήσης των ελαφροβαρών αδρανών του ατταπουλγίτη - σαπωνίτη.
- Η σύγκριση των ιδιοτήτων(τεχνικά και μηχανικά χαρακτηριστικά) των ελαφροβαρών αδρανών του ατταπουλγίτη - σαπωνίτη με εμπορικά και εργαστηριακά προϊόντα.

1.2 Στόχοι της έρευνας

Στόχους της έρευνας αποτελούν:

- Η διερεύνηση της καταλληλότητας των παραγόμενων ελαφροβαρών αδρανών του ατταπουλγίτη - σαπωνίτη της περιοχής των Πυλωρών του Δήμου Βεντζίων και η σύγκριση με τα αντίστοιχα βιομηχανικά προϊόντα του εμπορίου. Δηλαδή, αν τα τεχνικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου υλικού των Βεντζίων είναι ικανοποιητικά για την παραγωγή LWA.
- Η χρήση των παραγόμενων ελαφροβαρών αδρανών ως υλικού σκυροδέματος ή για οποιαδήποτε άλλη χρήση, όπως αδρανή βάσεων και υποβάσεων στην οδοποιία, ως πρόσθετη ουσία στο σκυρόδεμα, κ.α.

1.3 Περιγραφή της περιοχής μελέτης

1.3.1 Γεωγραφία

Η περιοχή των Πυλωρών Δήμου Βεντζίων βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του Νομού Γρεβενών (Εικόνα 1.1). Οριοθετείται από τους οικισμούς Κνίδη, Πόρος, Ιτέα, Βέντζια, Ποντινή, Παλαιοχώρι, Νεοχώριο και Έξαρχος (Εικόνα 1.2). Ο οικισμός των Πυλωρών εκτείνεται σε υψόμετρο 730 m στα Βέντζια, με γεωγραφικές συντεταγμένες $40^{\circ}05'14''$ N γεωγραφικό πλάτος και $21^{\circ}39'10''$ E γεωγραφικό μήκος. Πρόκειται για χωριό 100 κατοίκων, σε απόσταση 18 km ανατολικά των Γρεβενών, ενώ βρίσκεται στις όχθες παραποτάμου του Αλιάκμονα.

Υπαίθριες παρατηρήσεις έδειξαν ότι το μορφολογικό ανάγλυφο είναι πεδινό, αποτελούμενο από Αν. Πλειοκαινικές - Πλειστοκαινικές χειμαρρώδεις έως ποτάμιες



αποθέσεις, με κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, άμμους και κοκκινοχώματα διαφορετικού βαθμού συνεκτικότητας. Οι σχηματισμοί αυτοί υπέρκεινται ασύμφωνα μολασσικών σχηματισμών και οφιολίθων, με οριζόντια στρώση, πάχους 100 m. Δυτικά περιβάλλεται από τον ορεινό όγκο του Κίσαβου και Ανατολικά από το Ξηροβούνι, που αποτελούν τμήματα του οφιολιθικού συμπλέγματος του Βούρινου. Η γεωλογία της περιοχής περιγράφεται σε επόμενο κεφάλαιο πιο αναλυτικά. Η μορφή του σημερινού ανάγλυφου είναι αποτέλεσμα συνδυασμένων δράσεων της τεκτονικής, της γεωλογικής δομής και των ατμοσφαιρικών παραγόντων.

Γενικότερες εικόνες από την περιοχή παραθέτονται στο Παράρτημα Α.



Εικόνα 1.1: Γενικός χάρτης της Ελλάδας, που απεικονίζει την περιοχή Πυλωρών στο ανατολικό τμήμα του νομού Γρεβενών (Google Earth, 2010).



Εικόνα 1.2: Δορυφορική εικόνα (Google Earth, 2010), όπου έχουν σημειωθεί οι οικισμοί γύρω από τους Πυλωρούς Γρεβενών και απεικονίζεται η γεωμορφολογία της γύρω περιοχής.



1.3.2 Ιστορία

Η περιοχή του Δήμου Βεντζίου κατοικήθηκε από τα Νεολιθικά χρόνια και αποτελούσε τμήμα της αρχαίας Άνω Μακεδονίας και συγκεκριμένα της αρχαίας Ελιμείας.

Στη θέση Μασούκα Ράχη της Κνίδης έγινε ανασκαφή προκειμένου να αποδοθεί ο χώρος σε λατομείο αργίλου (βιομηχανικού ορυκτού), με χρηματοδότηση της εταιρείας ΓΕΩΕΛΛΑΣ ΑΜΜΑΕ, από την Α Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων. Βρέθηκε μια μικρή οικιστική εγκατάσταση 2 στρεμμάτων της αρχαιότερης Νεολιθικής εποχής (α΄ μισό της 6^{ης} χιλιετίας π.Χ.), η οποία βρίσκεται στο μέσον περίπου δύο μεγαλύτερων Νεολιθικών οικισμών, των θέσεων Κρεμαστός και Παλιόχωρα. Εντοπίστηκαν αποτυπώματα ξύλινου σκελετού Νεολιθικής οικίας, γραπτή και εγχάρακτη κεραμική, πήλινα ζωόμορφα με επιχρίσματα και σπάνια ανθρωπόμορφα ειδώλια, καθώς και μεγάλος αριθμός πελεκητών λίθινων εργαλείων και θραυσμένων τριπτών, η συσσώρευση των οποίων δηλώνει ότι στο χώρο αυτό γινόταν η επεξεργασία και μάλιστα από λίθους που μεταφέρονταν από σχετικά μακρινή απόσταση. Επιπλέον, η ανασκαφική έρευνα αποκάλυψε όστρακα Βυζαντινής κεραμικής, τα οποία φανερώνουν βραχύχρονη εγκατάσταση στο ίδιο μέρος και κατά τους ύστερους ιστορικούς χρόνους (Υπουργείο Πολιτισμού, Δελτίο Τύπου, 2005).

Στη θέση Πυλωροί του Δήμου Βεντζίων του Νομού Γρεβενών, από όπου λήφθηκαν τα σχετικά δείγματα, μαρτυρίες των κατοίκων βεβαιώνουν τη χρήση των διογκούμενων αργίλων (ατταπουλγίτη - σαπωνίτη) στην κατοχή, αλλά και παλαιότερα ως «απορρυπαντικού», με το οποίο καθάριζαν τα ρούχα. Γι' αυτό ήταν γνωστό και ως ορυκτό «σάπωνας» με παρόμοια υφή και αίσθηση με το σαπούνι και η περιοχή ονομαζόταν 'Σαπουνόχωμα'. Αντίστοιχη χρήση των αργιλωδών αποθέσεων γινόταν σε Χίο και Σάμο.

1.3.3 Σεισμική δραστηριότητα

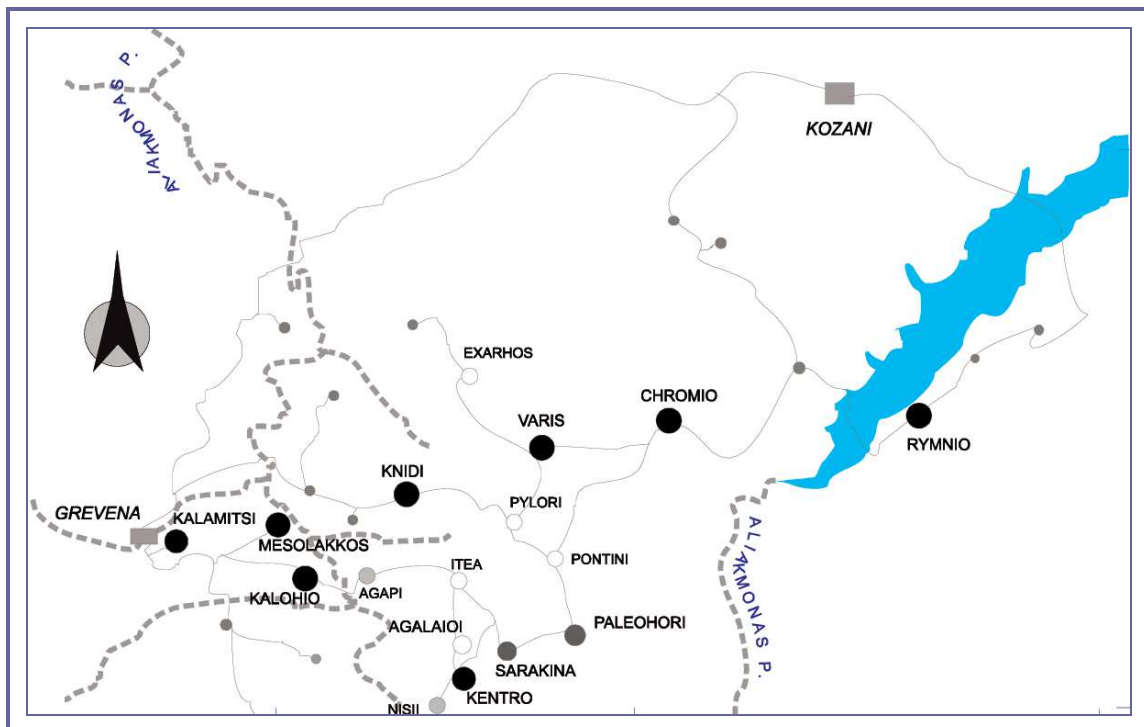
Η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από χαμηλή σεισμικότητα, καθώς ο μόνος γνωστός ιστορικός σεισμός έγινε στην ευρύτερη περιοχή το Φεβρουάριο του 896 μ.Χ (M=6,0) και κατέστρεψε την πόλη της Βέροιας. Η σεισμική δράση αρχίζει μετά την πλήρωση της τεχνητής λίμνης Πολυφύτου με νερό, το 1974, όπου την αρχικά σεισμική περίοδο, διαδέχτηκε προοδευτικά η πρόσφατη σεισμική δράση.

Μεγάλο πλήγμα δέχτηκε η περιοχή του Δήμου Βεντζίου από τον καταστροφικό σεισμό στις 13 Μαΐου 1995, μεγέθους 6,6 βαθμών τις κλίμακας Richter (Ms = 6.6),

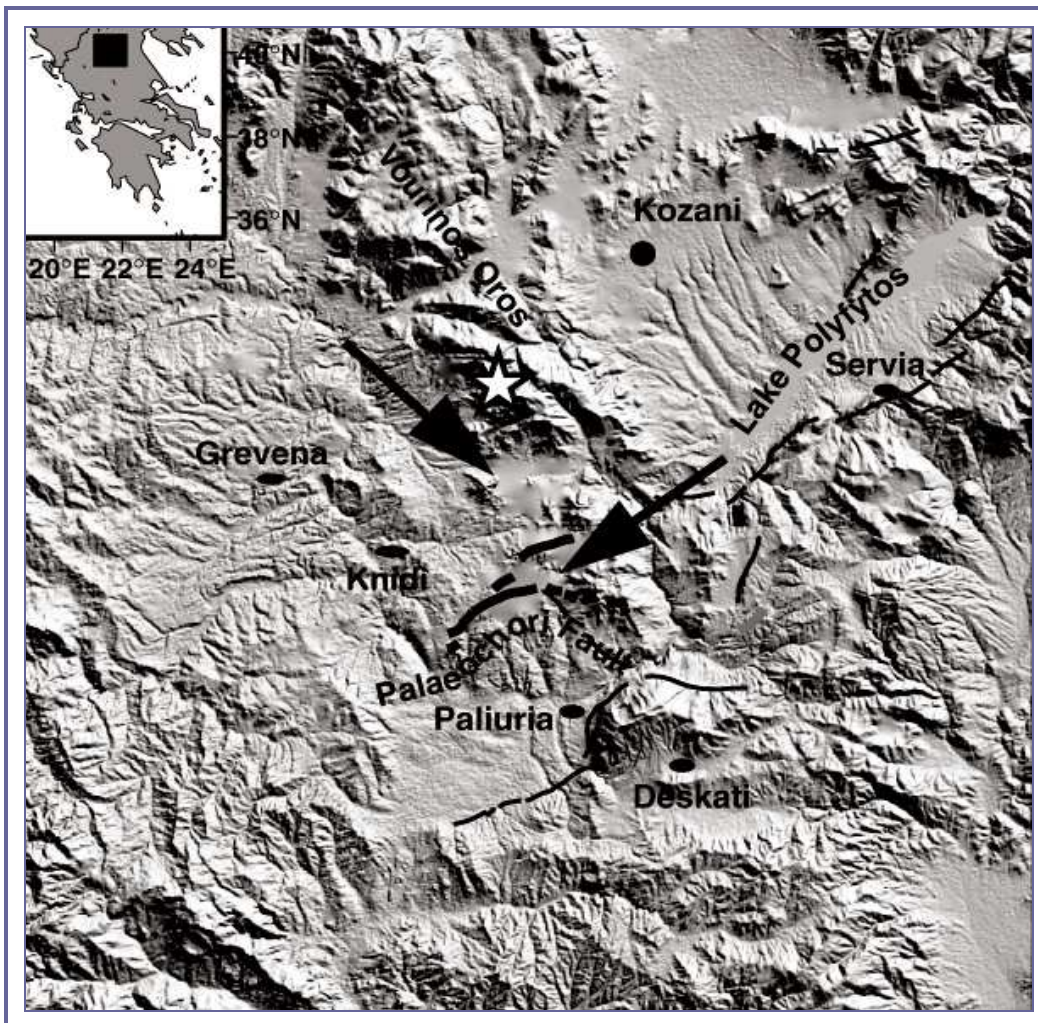


όπου ήταν το επίκεντρο του (Εικόνα 1.3). Ενεργοποιήθηκε η νεοτεκτονική ρηξιγενής ζώνη του Αλιάκμονα, με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ, η οποία οριοθετεί τη νότια πλευρά της λίμνης Πολυφύτου. Ενεργοποιήθηκε μόνο ένας κλάδος της, το ρήγμα Ρυμνίου - Παλαιοχωρίου - Νησίου που ξεκινάει από το Ρύμνιο, κατευθύνεται προς τα ΔΝΔ σε μήκος 30 περίπου km και παρουσιάζει μετάπτωση του βόρειου τεμάχους 10-20 cm. Πρόκειται για κανονικό δεξιόστροφο ρήγμα. Αντίθετα, ο βορειοανατολικός κλάδος, το ρήγμα των Σερβίων, παρά το γεγονός ότι παρουσίασε έντονη δραστηριότητα κατά το πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν (Ολόκαινο), δεν παρουσίασε καμιά επιφανειακή εκδήλωση στον σεισμό. Ενώ μια αντιθετική ως προς το κύριο ρήγμα ρηξιγενής ζώνη που ξεκινάει από τη Μυρσίνα και περιλαμβάνει ρήγματα στα Λαγκαδάκια, Μικροκλεισούρα, βόρεια της Κνίδης, στη Βάρη και συνεχίζει ως το Χρώμιο συνθέτουν μια μετάπτωση προς νότο κατά 20-40 cm και μικρή αριστερόστροφη οριζόντια κλίση 1-2 cm (Εικόνα 1.4) (Lekkas et al. 1995).

Δώδεκα χρόνια μετά τον καταστροφικό σεισμό του 1995, που συγκλόνισε τους νομούς Κοζάνης και Γρεβενών, η ενεργοποίηση του ρήγματος της Κνίδης έδωσε νέο σεισμό στις 17 Ιουλίου το 2007, μεγέθους 5,4 βαθμών τις κλίμακας Richter.



Εικόνα 1.3: Χάρτης που απεικονίζει τις περιοχές που επλήγησαν από το σεισμό του 1995 (Lekkas et al. 1995)



Εικόνα 1.4: Χάρτης στον οποίο σημειώνονται οι κινήσεις των τεμαχών κατά την ενεργοποίηση των ρηγμάτων στο σεισμό του 1995 (Rigo A. et al., 2004)

1.3.4 Γεωλογία

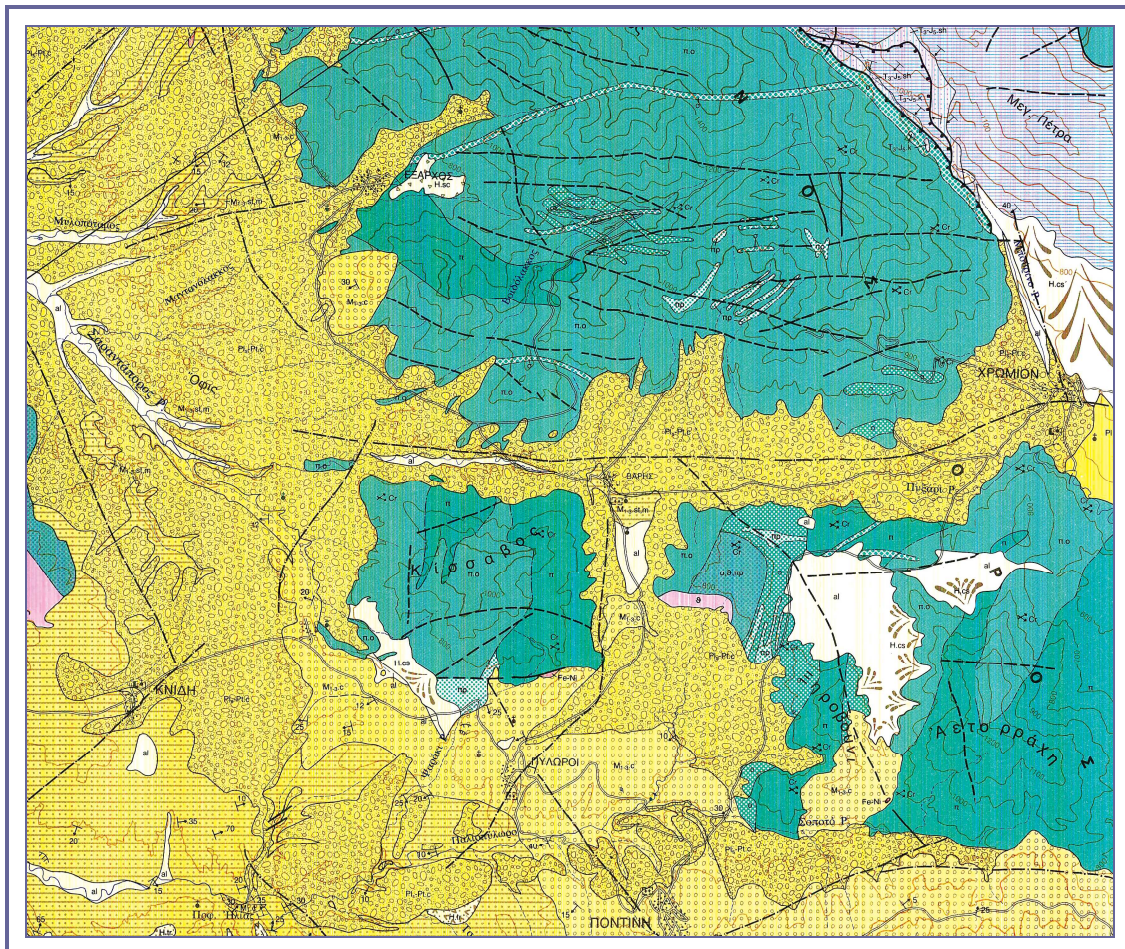
Η λεκάνη των Βεντζίων βρίσκεται ΒΑ της πόλης των Γρεβενών. Έχει μέγιστο πλάτος 6 km, μήκος 22 km, συνολικού εμβαδού περίπου 70 km² (Εικόνα 1.5) και είναι κυρίως κλαστικής φύσης.

Το υπόβαθρο της λεκάνης αποτελείται κυρίως από υπερβασικά πετρώματα του οφιολιθικού συμπλέγματος του Βούρινου και μολασσικά ιζήματα της Μεσοελληνικής αύλακας. Σμηκτίτες / σαπωνίτες ανιχνεύτηκαν στο οφιολιθικό σύμπλεγμα, ενώ σμηκτιτικοί / σερπεντινιτικοί άμμοι και ψαμμίτες βρέθηκαν μέσα στη μόλασσα της Μεσοελληνικής αύλακας. Παλυγορσκήτης (ατταπουλγίτης) δεν βρέθηκε στο υπόβαθρο.



Οι αποθέσεις που είναι οριζόντιες, πάχους γύρω στα 200 m, περιλαμβάνουν τέσσερις σειρές:

- Βασική σειρά αποτελούμενη από αμμοχάλικο - χαλίκια - άμμους.
- Σειρά σμηκτίτη και αμμόδους αργίλου με ενδιαστρώσεις αμμοχάλικου, πάχους έως 150 m.
- Ανώτερη σειρά αποτελούμενη από στρώσεις παλυγορσκήτη, συνολικού πάχους 18 m.
- Ανώτατη σειρά αποτελούμενη από αμμοχάλικο, άμμο με πολυάριθμους λεπτούς φακούς σμηκτίτη και σμηκτίτη/ παλυγορσκήτη.



Εικόνα 1.5: Τμήμα του γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ στον οποίο απεικονίζεται η λεκάνη των Βεντζίων (Ο γεωλογικός χάρτης του ΙΓΜΕ, φύλλο Κνίδη, Δρ. Αν. Μαυρίδης - Ακ. Κελεπερτζής, 1973 - 1974, παρατίθενται στο Παράρτημα Γ, συνοδευόμενος από υπόμνημα και γεωλογική τομή).



1.3.4.1 Παλαιογεωγραφική εξέλιξη

Για την κατανόηση της γεωλογικής δομής της περιοχής κρίνεται απαραίτητη η περιγραφή της παλαιογεωγραφικής εξέλιξης της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

Η περιοχή μελέτης ανήκει στην Πελαγονική γεωτεκτονική ζώνη, η οποία βυθίστηκε προς το τέλος του Τριαδικού - Αν. Ιουρασικού και κατακλύστηκε από θάλασσα. Στον πυθμένα αυτής έγινε έκχυση υπερβασικού και βασικού μάγματος, δημιουργώντας το οφιολιθικό σύμπλεγμα του Βούρινου. Έτσι, το υπόβαθρο του οφιολιθικού συμπλέγματος αποτελούν οι Τριαδικής - Κ. Ιουρασικής ηλικίας ασβεστόλιθοι της Πελαγονικής ζώνης. Ανώτερα στρώματα του οφιολιθικού συμπλέγματος εμφανίζονται στην περιοχή της Μικροκλεισούρας. Πάνω από τα στρώματα του οφιολιθικού συμπλέγματος αποτέθηκαν οι Κρητιδικής ηλικίας ασβεστόλιθοι, που εμφανίζονται στην περιοχή του Πόρου.

Μετά την ανάδυση της Πελαγονικής, της Ανατολικής Ελλάδας και της ζώνης της Πίνδου, προς το τέλος του Ηώκαινου ακολούθησε νέο βύθισμα τμήματος των παραπάνω ζωνών και δημιουργία της Μεσοελληνικής αύλακας. Στο βύθισμα που ξεκίνησε από το όρος Κόζιακα και έφτασε μέχρι την Καστοριά, αποτέθηκαν ιζήματα, πάχους άνω των 5.000 m.

Η λεκάνη της υπό μελέτη περιοχής αντιπροσωπεύει ένα μικρό τμήμα μιας πολύ μεγαλύτερης ηπειρωτικής λεκάνης που αναπτύχθηκε στη Δυτική Μακεδονία κατά τη διάρκεια του Αν. Πλειόκαινου - Κ. Πλειστόκαινου, όπου έχουμε αποθέσεις υδατορευμάτων (ποτάμιες και λιμναίες) από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, άμμους, αργίλους, που υπέρκεινται των μολασσικών σχηματισμών και των οφιολίθων, μέγιστου πάχους 200 m.

1.3.4.2 Γεωλογική δομή

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται στην ευρύτερη περιοχή ανήκουν στο κάλυμμα της Πελαγονικής, στους οφιολίθους του Βούρινου, στους μολασσικούς σχηματισμούς της Μεσοελληνικής αύλακας και σε μεταλπικές αποθέσεις (Εικόνα 1.6).

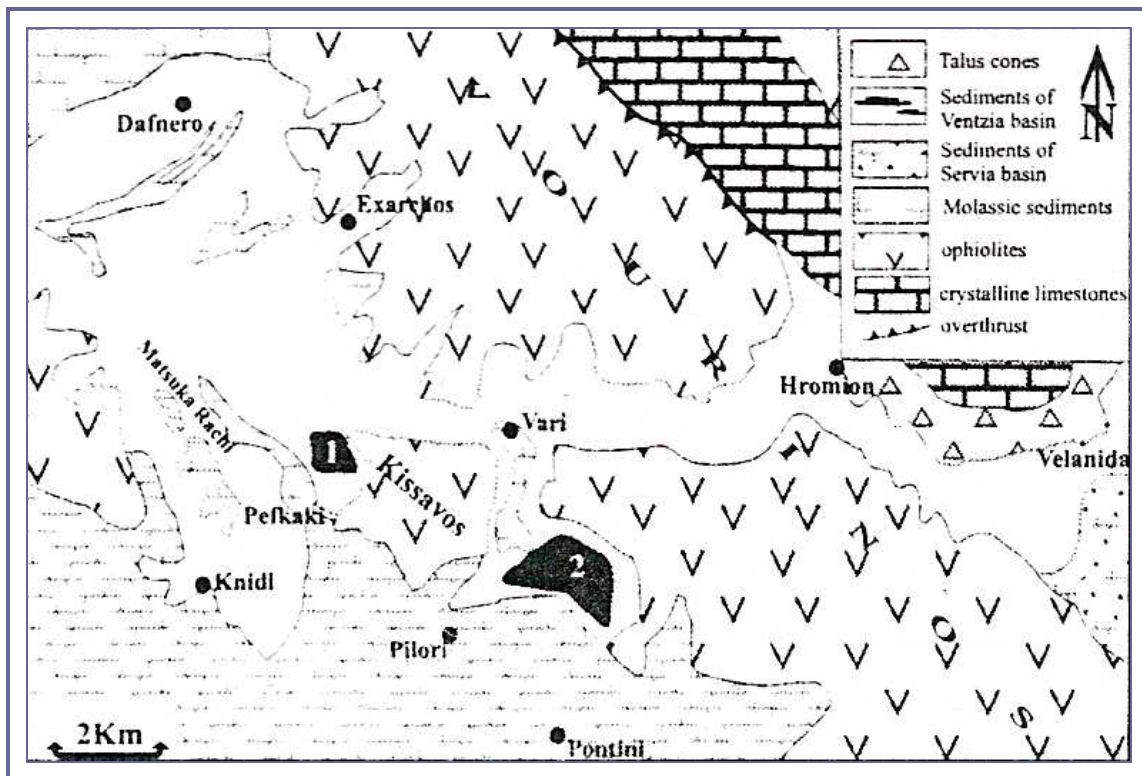
Ο παλαιότερος στρωματογραφικός ορίζοντας της περιοχής είναι οι ασβεστόλιθοι του Αν Ιουρασικού - Κ. Κρητιδικού, οι οποίοι επίκεινται επικλυσίγενώς των οφιολίθων. Παρουσιάζουν μικρή εξάπλωση με συνολικό πάχος 300 m. Είναι τεφροί, κρυσταλλικοί, με καλή στρώση και έντονα κατακερματισμένοι.

Το οφιολιθικό σύμπλεγμα του Βούρινου (Ιουρασικό), που υπέρκειται των ασβεστολίθων του χωριού Πόρος, δομείται από δουνίτες, περιδοτίτες, πυροξενίτες,

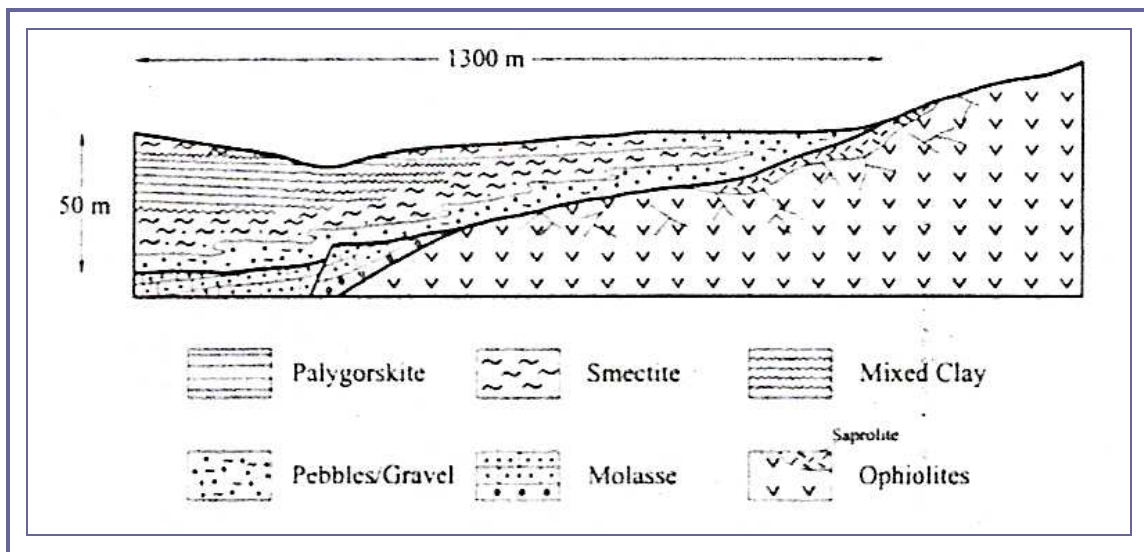


γάββρους, δακίτες και ηφαιστειακές λάβες. Έχουν υποστεί έντονη τεκτονική επίδραση και σημαντικό βαθμό αποσάθρωσης. Στην περιοχή Μικροκλεισούρα, αλλά και ΒΔ και ΒΑ των Πυλωρών επικρατούν πετρώματα της μαγματικής σειράς του οφιολιθικού συμπλέγματος (Σχήμα 1.1).

Το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης καλύπτεται από σχηματισμούς της Μεσοελληνικής αύλακας, Μειοκαινικής ηλικίας. Παρατηρείται κυρίως η σειρά του Τσοτυλίου, με εναλλαγές κροκαλοπαγών, ψαμμιτών και μαργών. Η σειρά αυτή στη βάση της αποτελείται από οφιολιθικά κροκαλοπαγή, ενώ προς τα πάνω παρατηρούνται εναλλαγές ψαμμιτών, μαργών και ψαμμιτομαργών.



Εικόνα 1.6: Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης των Βεντζίων (Γεωλογικός χάρτης ΙΓΜΕ, φύλλο Κνίδη, 1993) με αντιπροσωπευτική λιθολογική κολώνα, στον οποίο σημειώνονται τα κοιτάσματα (παλυγορσκήτη) ατταπουλίτη, στις θέσεις Πευκάκι και Πυλωροί.



Σχήμα 1.1: Αντιπροσωπευτική γεωλογική τομή της περιοχής μελέτης (Kastritis et al., 2003).

1.3.5 Μεταλλευτική Δραστηριότητα

Η Περιφέρεια της Δυτικής Μακεδονίας και ειδικότερα οι νομοί Κοζάνης και Γρεβενών είναι από τις πλέον ευνοημένες από τη φύση περιοχές της χώρας, σε ότι αφορά τις ορυκτές πρώτες ύλες και τα μεταλλεύματα. Στην περιοχή απαντώνται λιγνίτης, μάρμαρα, υδρομαγνησίτης - κουντίτης, μαγνησίτης και ατταπουλγίτης - σαπωνίτης. Ο ατταπουλγίτης - σαπωνίτης αποτελεί ένα νέο για τον ελληνικό χώρο βιομηχανικό ορυκτό.

Σε παγκόσμια κλίμακα απαντώνται ελάχιστα πλούσια κοιτάσματα ατταπουλγίτη - σαπωνίτη. Τα μεγαλύτερα από αυτά βρίσκονται στην Georgia των Η.Π.Α. Πριν δέκα περίπου χρόνια στον ελλαδικό χώρο, στη λεκάνη Βεντζίων του Νομού Γρεβενών, διαπιστώθηκε η ύπαρξη ενός από τα μεγαλύτερα και υψηλής ποιότητας κοιτάσματα ατταπουλγίτη - σαπωνίτη της Ευρώπης και συνεπώς ενός από τα μεγαλύτερα στον κόσμο. Ορυκτολογικά είχε χαρακτηριστεί από τους Τσιραμπίδη κ.α., 2005. Από το 2004, τα κοιτάσματα της περιοχής εκμεταλλεύονται από την εταιρεία ΓΕΩΕΛΛΑΣ Α.Μ.Μ.Α.Ε., η οποία έχει ως αντικείμενο την επεξεργασία, συσκευασία και εμπορία αυτών. Αξιόλογες είναι οι ποσότητες που διαθέτονται στην εγχώρια αγορά, αλλά το μεγαλύτερο τμήμα της παραγωγής εξάγεται. Τα προϊόντα ατταπουλγίτη και σαπωνίτη καλύπτουν ανάγκες της χημικής και κατασκευαστικής βιομηχανίας και προορίζονται για χρήσεις ως συνεκτικό υλικό, βοηθητικό ροής, αποχρωστικό, ουδετεροποιητικό



και απορροφητικό κυρίως υλικό, εξαιτίας των απορροφητικών και θιξοτροπικών ιδιοτήτων του (Geohellas, 2004).

Κοιτάσματα παλυγορσκήτη (ατταπουλγίτη) - σαπωνίτη απαντώνται στο χωριό Πευκάκι, ΒΑ του χωριού Κνίδη, καλύπτοντας έκταση 0,4 km² και στο χωριό Πυλωροί της λεκάνης των Βεντζίων σε έκταση 1 km², με αποθέσεις 6 εκατομμυρίων τόνων (παλυγορσκήτης 60-95%). Εκτός από τον παλυγορσκήτη βρέθηκαν 4 εκατομμύρια τόνοι σμηκτιτών και 3 εκατομμύρια τόνοι παλυγορσκήτη/ σμηκτίτη περίπου. Το μέσο πάχος της εμφάνισης παλυγορσκήτη στο Πευκάκι είναι της τάξης των 10 m και στους Πυλωρούς της τάξης των 18 m (Kastritis et al., 2003).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

2.1 Αδρανή υλικά

Με τον όρο αδρανή αναφερόμαστε στα υλικά, τα οποία προέρχονται από φυσική κατάτμηση, ή τεχνητή θραύση των πετρωμάτων. Πρόκειται για ανόργανα υλικά, τα οποία δεν αντιδρούν χημικά με τις διάφορες συγκολλητικές ύλες. Κατά την ανάμιξη τους με το τσιμέντο, ασβέστη, άσφαλτο κ.λ.π. ή το νερό, δεν συμμετέχουν ενεργά στις διαδικασίες πήξης και σκλήρυνσης. Η χημική αδράνεια βέβαια των υλικών αυτών εξαρτάται από την ορυκτολογική τους σύσταση και τα υλικά με τα οποία έρχονται σε επαφή.

Σημαντική είναι η χρήση των αδρανών υλικών κυρίως στην οδοποιία, όπου αυτά χρησιμοποιούνται είτε με συγκολλητικό μέσο (σκυρόδεμα, ασφαλτόμιγμα), είτε όπως είναι ως έρμα σιδηροδρομικών γραμμών, στραγγιστηρίων, σε φράγματα, αναβαθμίδες, λιμενικά έργα κ.λ.π., επειδή προσφέρουν υψηλότερη αντοχή στα τεχνικά έργα (Τ.Ε.Ε).

2.1.1 Κατηγορίες αδρανών υλικών

Τα **φυσικά αδρανή** έχουν ληφθεί από το φυσικό περιβάλλον, έχοντας υποστεί μόνο μηχανική επεξεργασία θραύσης, πλυσίματος και διαλογής. Τα **τεχνητά αδρανή** κατασκευάζονται από χημική ή θερμική επεξεργασία πρώτων υλών (πύρωση σχιστής αργίλου, αργιλικού σχιστόλιθου ή πηλού, σε περιστρεφόμενους κλιβάνους). Επιπλέον, ελαφρά αδρανή κατασκευάζονται από παραπροϊόντα, τα οποία προκύπτουν από τη θραύση και διαλογή αφρώδους και κοκκώδους σκωρίας, στάχτης, κ.ά. Ακόμα, τεχνητά μονωτικά, υπερελαφρά αδρανή κατασκευάζονται από την πύρωση αλεσμένου βερμικουλίτη ή περλίτη (Τ.Ε.Ε.).

Τέλος, υπάρχουν τα **ανακυκλωμένα αδρανή**, τα οποία προκύπτουν από την επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση δομικών υλικών από κατασκευές (υλικά κατεδάφισης σκυροδέματος, τοιχοποιίας κ.λ.π.).

Τα αδρανή διακρίνονται επίσης ανάλογα με την πηγή απόληψης σε **συλλεκτικά αδρανή**, που προέρχονται από φυσικές αποθέσεις (ποτάμια, ορυχεία) και σε **αδρανή λατομείων**, από την εξόρυξη και θραύση όγκων πετρώματος. Τα τελευταία βρίσκουν εφαρμογή στον Ελλαδικό χώρο.



2.1.2 Ιδιότητες των αδρανών υλικών

Τα ελαφροβαρή αδρανή είναι σφαιρίδια μεγάλης αντοχής και μικρού ειδικού βάρους, εξαιτίας του μεγάλου πορώδους που εμφανίζουν. Εκτός από τις παραπάνω ιδιότητες χαρακτηρίζονται επιπλέον από:

- Ηχομονωτικές ιδιότητες
- Θερμομονωτικές ιδιότητες
- Μεγάλη αντοχή στη φωτιά
- Ανθεκτικότητα
- Χαμηλή απορροφητικότητα
- Μικρή θερμική διαστολή
- Ελαστικότητα
- Καλή πρόσφυση με το τσιμέντο

2.1.3 Πλεονεκτήματα των ελαφροβαρών αδρανών

Τα ελαφροβαρή αδρανή, προερχόμενα από φυσικά αργιλώδη υλικά αποτελούν νέο προϊόν, συνεχώς εξελισσόμενο στη διεθνή αγορά, επειδή παρουσιάζουν (Τ.Ε.Ε.):

- Κατάλληλη αντοχή και φαινόμενο ειδικό βάρος για τις εφαρμογές που αναφέρονται σε επόμενη παράγραφο
- Μικρό κόστος εξόρυξης πρώτης ύλης, μακριά από τουριστικές περιοχές, αρχαιολογικούς χώρους και αστικά κέντρα
- Απλή τεχνογνωσία εξόρυξης πρώτης ύλης
- Απλή τεχνογνωσία παραγωγής προϊόντων
- Αγορά μονωτικών και δομικών υλικών, καθώς και υδροπονικών καλλιεργειών στη χώρα
- Ανταγωνιστικότητα κόστους παραγωγής / αποτελεσματικότητας προϊόντος.

2.1.4 Εφαρμογές ελαφροβαρών αδρανών υλικών

Τα ελαφροβαρή αδρανή που κυκλοφορούν στο εμπόριο χρησιμοποιούνται για αισθητικούς και διακοσμητικούς κυρίως ρόλους. Γίνονται μελέτες ώστε αυτά να βρουν εφαρμογή στον κατασκευαστικό χώρο. Ερευνάται η χρήση τους στην κατασκευή δομικών και συγκοινωνιακών έργων (εδαφοτεχνικά έργα, γέφυρες) ως υλικά σκυροδέματος, κονιάματος, ασφαλτομειγμάτων, βάσης και υποβάσης οδοποιίας, καθώς και για την παραγωγή δομικών λίθων για την τοιχοποιία.



Τα ελαφροβαρή αδρανή λοιπόν βρίσκουν εφαρμογή :

- Σε εδαφοτεχνικά έργα όπου απαιτούνται ελαχιστοποιημένα νεκρά φορτία (dead load). Ως αδρανή βάσεων και υποβάσεων έτσι ώστε το οδόστρωμα να παραλάβει τα φορτία της κυκλοφορίας και να τα καταλείψει στο υπέδαφος (Νικολαΐδης 1996)
- Στην κατασκευή μορφοποιημένων μονωτικών δομικών υλικών.
- Στο χαλαρό γέμισμα δαπέδων, οροφών και τοίχων (ως μονωτικό και ελαφρύ υλικό)
- Στη παραγωγή ελαφρού σκυροδέματος για γέφυρες, αεροδιάδρομους, ταράτσες, πατώματα και άλλες κατασκευές που απαιτούν μικρό βάρος φέροντος οργανισμού. Το σκυρόδεμα αποτελείται από αδρανή με συγκεκριμένη κοκκομετρική διαβάθμιση και τσιμέντο ως συγκολλητικό υλικό. Τα αδρανή που αποτελούν το σκελετό του σκυροδέματος, επηρεάζουν τις ιδιότητές του, τόσο στη νωπή όσο και στη σκληρυμένη μορφή και επομένως καθορίζουν και την αντίστασή του φυσική ή χημική στη διάβρωση. Οι ισχύουσες προδιαγραφές για τα αδρανή σκυροδέματος αναφέρονται στον "Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος 1997" και το Σχέδιο Ελληνικού Προτύπου ΕΛΟΤ 408 "Θραυστά αδρανή για συνήθη σκυροδέματα". Επίσης, σύμφωνα με το νέο Ευρωπαϊκό Πρότυπο Αδρανών Σκυροδέματος ΕΛΟΤ EN 12620 ως αδρανή μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνητά και ανακυκλωμένα αδρανή
- Στην ανθοκομία - κηπουρική για αισθητικούς σκοπούς σε παρτέρια και γλάστρες. Πολλές εταιρείες χρωματίζουν τα σφαιρίδια (πράσινα, λευκά).
- Ως υποστρώματα σε υδροπονικές καλλιέργειες
- Σε περιβαλλοντικές εφαρμογές για κατακράτηση οσμών σε χώρους απόθεσης κτηνοτροφικών και αστικών αποβλήτων
- Ως άμμος υγιεινής χρησιμοποιείται κυρίως ο ατταπουλγίτης και ο μπεντονίτης.
- Ως καθαριστικά φίλτρα στα δοχεία αποθήκευσης λιπάσματος.
- Ο ατταπουλγίτης χρησιμοποιείται επιπλέον στην βραχυπρόθεσμη αντιμετώπιση της διάρροιας. Λειτουργεί προσροφώντας (δεσμεύοντας) μεγάλο αριθμό βακτηρίων και τοξινών και αντιμετωπίζοντας την απώλεια ύδατος.

2.2 Αδρανή υλικά στον Ελλαδικό χώρο

Πετρώματα κατάλληλα για αδρανή απαντώνται σε αφθονία σε Ελλάδα και Κύπρο. Τα συνηθέστερα αδρανή υλικά στη χώρα μας προέρχονται από ασβεστολιθικά



πετρώματα, εξαιτίας του ότι αφενός συναντώνται εκτεταμένα στον Ελλαδικό χώρο και αφετέρου δε έχουν μικρό κόστος θραύσης και ικανοποιούν τις μηχανικές αντοχές των συνήθων κατασκευών. Ως αδρανή χρησιμοποιούνται επιπλέον ορισμένα τεχνητά προϊόντα ή ειδικά πετρώματα, όπως σκωρίες υψικαμίνων, σμύριδα, κίσηρη (ελαφρόπετρα), περλίτης, κ.ά.

Νέο προϊόν στην διεθνή αγορά αποτελούν τα αδρανή που προέρχονται από αργιλικά ορυκτά (μπεντονίτης, ατταπουλγίτης). Έρευνες στην Ελλάδα και το εξωτερικό αποδεικνύουν ότι πρόκειται για φυσικά προϊόντα, φιλικά προς το περιβάλλον. Στην Ελλάδα, τέτοιου είδους έρευνα έχει γίνει εκτός από τα Τμήματα Γεωλογίας του ΕΚΠΑ και του ΑΠΘ, από την εταιρεία ΓΕΩΕΛΛΑΣ Α.Μ.Μ. Α.Ε., η οποία εκμεταλλεύεται το κοιτάσμα ατταπουλγίτη - σαπωνίτη, που αποτελεί αντικείμενο μελέτης στην παρούσα εργασία, από το 2003. Στο εξωτερικό πολλές εταιρείες έχουν ερευνήσει και στη συνέχεια εκμεταλλευτεί τα συγκεκριμένα κοιτάσματα, η μεγαλύτερη παραγωγή των οποίων σημειώνεται στις Πολιτείες Φλόριντα και Γεωργίας των ΗΠΑ.

Εκτός από τον ατταπουλγίτη των Γρεβενών, πολλά άλλα κοιτάσματα ερευνούνται για τη δυνατότητα χρήσης τους στην παραγωγή ελαφροβαρών αδρανών. Με αρκετά από αυτά έχουν γίνει συγκρίσεις των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων τους, για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

Ομάδα μελέτης, με επικεφαλής το Δρ. Μιχαήλ Σταματάκη, καθηγητή του Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας - Γεωχημείας του Γεωλογικού Τμήματος του ΕΚΠΑ, ερευνά τα μπεντονιτικά υλικά της Αγροκηπίας - Μιτσερού της Κύπρου, τα οποία εκμεταλλεύεται και εξορύσσει η μεταλλευτική εταιρεία HMC Ltd (Σταματάκης Μ κ.α., 2005).

Επιπλέον, έρευνα έχει γίνει για τις διατομικές αργίλους Ελασσόνας και τη χρήση τους στην παραγωγή ελαφροβαρών αδρανών και σκυροδέματος (Κολόμβου Γ, 2001), από ομάδα του ίδιου καθηγητή, αλλά και των ιλιολίθων λιγνιτοφόρου στοιβάδας περιοχής Λάβας στη λεκάνη Κοζάνης - Σερβίων (Κάστης Δ., 2001).

Για την οικονομική εκμετάλλευση τους μέσα από τη χρήση τους ως αντιολισθηρά αδρανή και σκύρα βάσης στην οδοποιία (σιδηροτροχιών), μελετώνται τα οφιολιθικά πετρώματα της Μικροκλεισούρας Γρεβενών (επειδή είναι από τα πιο σκληρά πετρώματα), από το Πανεπιστήμιο της Πάτρας (Τσικούρας Β., 2005).

Ακόμα, από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης μελετώνται πετρώματα, όπως γρανίτες, ανδειςίτες, αμφιβολίτες, ασβεστόλιθοι και μάρμαρα, από παράπλευρες περιοχές της Εγνατίας οδού στη Μακεδονία και Θράκη, και εξετάζεται η



καταλληλότητά τους ως αδρανή υλικά οδοποιίας (Νταμπιτζιάς Σ., 2001). Μελέτες έχουν γίνει και για τα μπεντονιτικά κοιτάσματα της Μήλου, που βρίσκονται υπό εκμετάλλευση από την εταιρεία S & B Βιομηχανικά ορυκτά Α.Ε., που είναι πρώτη στην Ευρώπη και δεύτερη σε όλο τον κόσμο στην παραγωγή και εμπορία μπεντονιτών (Καντηράνης Ν. κ.α., 2005).

Τέλος, γίνονται έρευνες για την δημιουργία αδρανών από ανακυκλωμένα υλικά.

2.3 Αργιλικά ορυκτά στην παραγωγή ελαφροβαρών αδρανών (LWA)

Υπάρχουν ομάδες αργίλων, που παράγονται από διάφορες αποθέσεις αργίλου, από διαφορετικά περιβάλλοντα, καλούμενες ως «special clays», εξαιτίας της σπάνιας εμφάνισής τους παγκοσμίως. Οι ομάδες αυτές είναι οι εξής:

- Ομάδα του **σμηκτίτη** (αναφέρεται ως ομάδα μπεντονίτη), στην οποία ανήκουν ο μοντμοριλονίτης, ο σαπωνίτης και ο εκτορίτης
- Ομάδα του **χορμίτη** (ή παλυγορσκήτη - σεπιόλιθου), στην οποία ανήκουν ο παλυγορσκήτης - ατταπουλγίτης και ο σεπιόλιθος
- Ομάδα του **καντίτη**, η οποία περιλαμβάνει τον καολινίτη, αλλοϋσίτη και μικτές φάσεις αλλοϋσίτη - καολινίτη

Η παραγωγή των ελαφροβαρών αδρανών (LWA, light weight aggregates) και του αντίστοιχου σκυροδέματος (LWC, light weight concrete) βασίζεται στο ότι τα αργιλικά πετρώματα περιέχουν αξιόλογα ποσά από διογκούμενες αργίλους.

Για την κατασκευή των ελαφρών αδρανών χρησιμοποιούνται εκτός από πριονίδι και άλλα πρόσθετα υλικά, όπως βαρέα κλάσματα πετρελαίου, κάρβουνο κ.ά., ώστε να βελτιώσουν τις ιδιότητές τους όπως τη σκληρότητα, αντοχή σε κρούση, σημείο τήξης, επιθυμητή διογκωση κ.ά. Από πειράματα διαπιστώθηκε ότι καλύτερη ποιότητα ελαφρών αδρανών, όσον αφορά το σχήμα τους, το μικρό βάρος τους και την ικανοποιητική αντοχή, προκύπτουν με την χρήση του πριονιδίου. Αντίθετα, τα αδρανή με τη χρήση βαρέων κλασμάτων πετρελαίου ή κάρβουνου είναι βαρύτερα, με τραχειά επιφάνεια και ακανόνιστο σχήμα. Καλύτερα ποιοτικά αποτελέσματα, όσον αφορά την πυκνότητα και την αντοχή, προκύπτουν από την ανάμειξη του υλικού με 2 - 5% πριονίδι.

Το φαινόμενο ειδικό βάρος των πετρωμάτων των συνήθων αδρανών (δεν προέρχονται από ελαφρά αδρανή ή βαριά ορυκτά, όπως ο βαρύτης) είναι της τάξης των 2,6 g/cm³, ενώ η αντοχή τους ξεπερνά τα 800 kgf/cm² (ανώτερη από αυτή του τσιμεντοκονιάματος που ανέρχεται στα 500 kgf/cm²). Τα αδρανή που μας



απασχολούν σε αυτή την εργασία έχουν ειδικό βάρος $< 2 \text{ g/cm}^3$ και μέγεθος κόκκων $D < 0,063 \text{ mm}$. Τα ελαφροβαρή αδρανή τόσο της Ελλάδας, όσο και του εξωτερικού έχουν καστανό ή κόκκινο χρώμα, σφαιρικό σχήμα και διάμετρο έως 2 cm .

Μερικές φορές το αργιλώδες υλικό συνοδεύεται από υαλώδεις φάσεις ή ηφαιστειακή ύελο ή βιογενούς (πυριτικής) προέλευσης υλικό (διατομιτικό υλικό) (Stamatakis et al. 2003 & 2004)

Η ομάδα των χορμιτών και του μπεντονίτη (στην οποία ανήκει ο σαπωνίτης), θεωρούνται ανταγωνιστικές επειδή παρουσιάζουν παρόμοιες προσροφητικές, ρεολογικές και καταλυτικές ικανότητες, οι οποίες είναι δυνατό να τροποποιηθούν με κατάλληλη επεξεργασία, άριστη δεσμευτική ικανότητα, ικανότητα αποχρωματισμού και παρόμοιες χρήσεις. Η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι ο μπεντονίτης κροκιδώνεται στο αλμυρό νερό, χάνοντας το υψηλό ιξώδες του, ενώ ο ατταπουλγίτης είναι ουσιαστικά απρόσβλητος από τους ηλεκτρολύτες.

Συγκεκριμένα, ο ατταπουλγίτης έχει άριστες θιξοτροπικές ικανότητες και εξαιρετικά υψηλό ιξώδες. Χρησιμοποιείται ως απορροφητικό πετρελαίου και λιπών, ως πληρωτικό στα χρώματα, σε διατρήσεις, σε μοριακά φίλτρα, ως άμμος υγιεινής, σε καλλυντικά, φαρμακευτικά είδη και για άλλα τεχνικά προϊόντα (Haden, 1963), (ΣΜΕ, 2010). Οι προσροφητικές ιδιότητες του ατταπουλγίτη ενισχύονται από το εξαιρετικά υψηλό πορώδες του και το γεγονός ότι το νερό που υπάρχει στο πλέγμα του μπορεί να απομακρυνθεί με θέρμανση. Η δυνατότητα προσρόφησής του ακολουθεί τη σειρά: νερό > αλκοόλες > οξέα > αλδεΐδες > κετόνες > n - ολεφίνες > φυσικοί εστέρες > αρωματικές ενώσεις > κυκλοπαραφίνες > παραφίνες (Λαμπροπούλου & Λασπάκη, 2008).



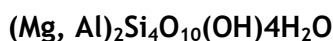
2.4. Ατταπουλγίτης - Σαπωνίτης

Στην περιοχή Πυλωροί του Νομού Γρεβενών απαντάμε αργιλικά πετρώματα πλούσια σε ατταπουλγίτη ή σηπιόλιθο, που ανήκουν στην ομάδα των χορμιτών, αλλά και σε σαπωνίτη, που ανήκει στην ομάδα των σμηκτιτών. Οι χορμίτες περιέχουν σε μικρότερη αναλογία πολλές φορές σμηκτίτη και χαλαζία.

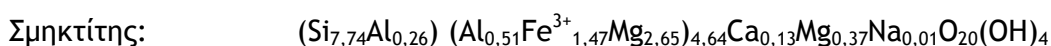
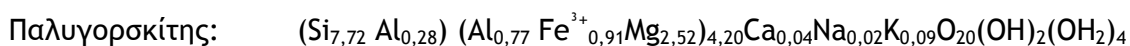
2.4.1 Ατταπουλγίτης

Ο παλυγορσκήτης είναι συνώνυμο του ατταπουλγίτη και εντοπίστηκε σε περιοχή των Ουραλίων, από την οποία προέκυψε η ονομασία του. Εξαιτίας των επίμηκων κρυστάλλων του ο ατταπουλγίτης έχει προκαλέσει κάποια ανησυχία, γιατί μοιάζει με τον αμίαντο. Αυτός όμως δεν θεωρείται καρκινογόνο ορυκτό σύμφωνα με τα στοιχεία του Διεθνούς Οργανισμού Υγείας.

Ο ατταπουλγίτης (παλυγορσκήτης) είναι ένυδρο αργιλιωμαγνησιούχο φυλλοπυριτικό ορυκτό με χημικό τύπο:



Οι χημικοί τύποι του παλυγορσκήτη και του σμηκτίτη της λεκάνης των Βεντζίων είναι (Kastritis et al. 2003):



Ο ατταπουλγίτης έχει ινώδες σχήμα και χαρακτηριστική δομή, που δημιουργείται από την παρουσία δύο τετραεδρικών φύλλων και ενός οκταεδρικού, με περιορισμένη έκταση της οκταεδρικής στιβάδας κατά μήκος του άξονα y, στην οποία οφείλεται το σχήμα του. Υπάρχουν ταινίες με δομή 2/1, οι οποίες ενώνονται με αναστροφή των τετραέδρων του πυριτίου (SiO_4), ενδιάμεσα από δεσμούς οξυγόνου - πυριτίου.

Η διάταξη των τετραέδρων επιτρέπει το σχηματισμό διαύλων στους οποίους κατακρατείται σημαντικό ποσοστό ζεολιθικού νερού, παράλληλα στον άξονα x, σημαντική ιδιότητα για τις εφαρμογές του ορυκτού (Gionis et al., 2006) (Σχήμα 2.1).

Οι διάυλοι αυτοί ή κοιλότητες είναι γεμάτοι αφενός με νερό, αφετέρου με κατιόντα (Ca, Na, K), υπό ανταλλάξιμη μορφή. Τα μόρια του νερού, από κοινού με τα κατιόντα έχουν τη δυνατότητα να μετακινούνται, εντός των διαύλων του κρυστάλλου και να

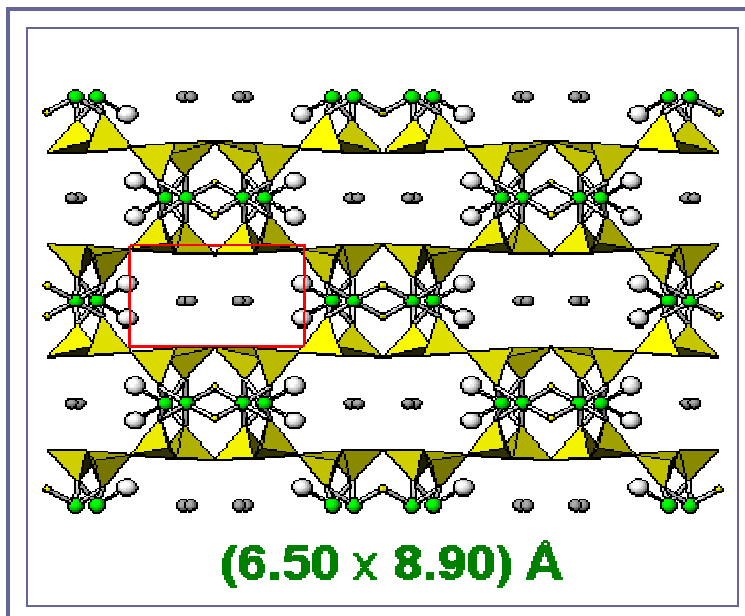


ανταλλάσσονται με άλλα κατιόντα, χωρίς να επηρεάζεται σημαντικά η δομή του πλέγματος.

Εν τούτοις, η ιοντοανταλλαγή συνοδεύεται από σημαντικές αλλαγές στη σταθερότητα (για παράδειγμα, όσο περισσότερες υποκαταστάσεις Si από Al γίνουν, τόσο ασθενέστεροι γίνονται οι δεσμοί, δεδομένου ότι ο δεσμός Si - O είναι ισχυρότερος από τον δεσμό Al - O), την προσροφητική συμπεριφορά και την εκλεκτικότητα του υλικού, όσον αφορά τις καταλυτικές και άλλες σημαντικές φυσικές ιδιότητες. Επιπλέον, το νερό είναι δυνατό να απομακρυνθεί διαμέσου θέρμανσης και σε συνδυασμό με το μεγάλο πορώδες του, αυξάνονται οι προσροφητικές ιδιότητες του υλικού.

Στον ατταπουλγίτη το μαγνήσιο αντικαθίσταται πλήρως από αργίλιο, που βρίσκεται μεταξύ των τετραέδρων SiO_4 ή σίδηρο (Jones & Galan 1988, Heivilin & Murray 1994). Ωστόσο, η ιοντοανταλλακτική του ικανότητα είναι περιορισμένη, γιατί το Mg είναι δομικό συστατικό του πλέγματος και η ανταλλαγή του με άλλα ιόντα σε υδατικό διάλυμα δεν είναι ιδιαίτερα εύκολη.

Το αργιλικό αυτό ορυκτό δεν κροκιδώνεται με τους ηλεκτρολύτες, διατηρώντας το υψηλό ιξώδες του και είναι σταθερό σε υψηλές θερμοκρασίες και δεν διογκώνεται, χαρακτηριστικά που το καθιστούν ικανό για πολλές χρήσεις, όπως θα δούμε σε επόμενα κεφάλαια.



Σχήμα 2.1: Δομή ατταπουλγίτη (Gionis & Chryssikos, 2008)

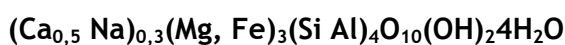


2.4.2 Σαπωνίτης

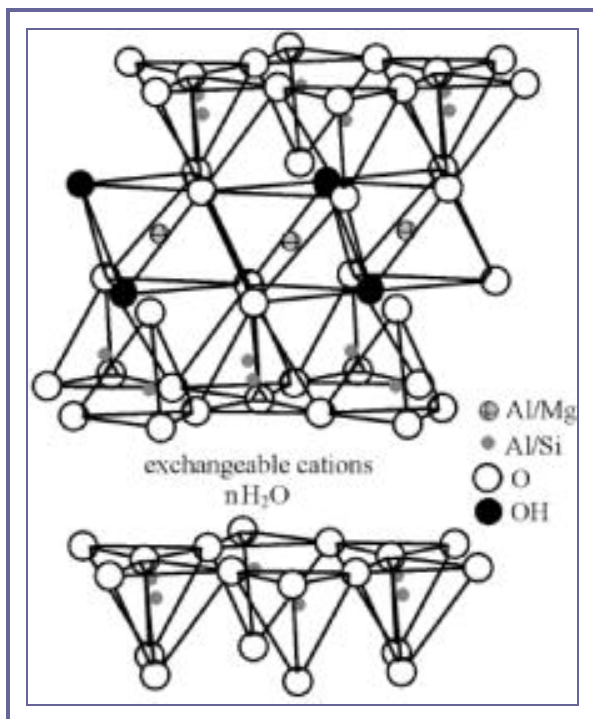
Ο σαπωνίτης οφείλει την ονομασία του στην ομοιότητά του σε υφή και αίσθηση με το σαπούνι. Πρόκειται για διογκούμενη άργιλο με μεγάλη ικανότητα προσρόφησης, καλές θιξοτροπικές ιδιότητες, όπως ο ατταπουλίτης και χαρακτηρίζεται από πλαστική συμπεριφορά. Το χρώμα του κυμαίνεται από λευκό - κιτρινόλευκο, τεφροπράσινο έως καστανό και έχει υφή ινώδη, κοκκώδη και συμπαγή.

Εμφανίζει παραγενέσεις με τα ακόλουθα ορυκτά: χαλαζίας, ατταπουλίτης, ορθόκλαστο, δολομίτης, ασβεσίτης, κλωρίτης.

Ο σαπωνίτης είναι ένυδρο λεπτόκοκκο φυλλοπυριτικό ορυκτό με χημικό τύπο:



Ανήκει στην ομάδα των τριοκταεδρικών σμηκτιτών. Η δομή του είναι 2:1 TOT με ισόμορφη αντικατάσταση που οδηγεί σε αρνητικό φορτίο των φύλλων. Αυτό το φορτίο εξισορροπείται από ανταλλάξιμα κατιόντα στο παρεμβαλλόμενο διάστημα (Interlayer). Η ισοδιάσταση των φύλλων ποικίλλει μεταξύ ~10Å και ~15 Å, και εξαρτάται από τη φύση των ανταλλάξιμων κατιόντων και τη σχετική υγρασία. Ο σαπωνίτης αποτελεί ένα πλούσιο σε Mg αργιλικό ορυκτό και παρουσιάζει αντικαταστάσεις στα τετράεδρα (Murray, 2007) (Σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2: Δομή σαπωνίτη (Murray, 2007)



2.4.3 Προέλευση ατταπουλγίτη - σαπωνίτη Ελλάδος

Το κοιτάσμα ατταπουλγίτη - σαπωνίτη στο ρέμα των Πυλωρών των Βεντζίων προήλθε από εξαλλοίωση των υπερβασικών πετρωμάτων του Βούρινου, τα οποία σε πρώτη φάση έδωσαν υλικό πλούσιο σε σμηκτίτη και ακολούθως με τη δράση διαγενετικών παραγόντων και διαλυμάτων πλούσιων σε Si, προέκυψε αυτό το κοιτάσμα (Kastritis et al., 2003).

Σε επόμενο κεφάλαιο από τις χημικές αναλύσεις προκύπτει ότι ο ατταπουλγίτης - σαπωνίτης έχει υψηλή περιεκτικότητα σε οξείδια του μαγνησίου και του σιδήρου, ενώ μικρή σε οξείδια του αργιλίου. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο πρωτόλιθος από τον οποίο προήλθε το υλικό είναι περιδοτίτης του υπόβαθρου της λεκάνης των Βεντζίων. Η παρουσία φακών δολομιτικού υλικού στους σμηκτίτες, σύμφωνα με έρευνες κοιτασμάτων σμηκτίτη στην ίδια περιοχή, δηλώνει πιθανή απελευθέρωση οξειδίου του μαγνησίου (MgO). Με τη δράση διαγενετικών παραγόντων, με αντιδράσεις διάλυσης πυριτίου, οι σμηκτίτες απελευθερώνουν οξείδια του σιδήρου. Οι σμηκτίτες προήλθαν είτε από σαπρολίτες του Βούρινου, είτε από πετρώματα της Μεσοελληνικής αύλακας.

2.4.4 Παραγωγή ατταπουλγίτη - σαπωνίτη. Εμπορική δραστηριότητα

Στην Ελλάδα αυτό το κοιτάσμα ανακαλύφθηκε το 1999 από γεωλόγο της εταιρείας ΓΕΩΕΛΛΑΣ Α.Μ.Μ. Α.Ε.. Οι ιζηματογενείς αποθέσεις αποτελούνταν κατά 60-90% από παλυγορσκήιτη (ατταπουλγίτη και σαπωνίτη κατά θέσεις), που δημιουργήθηκε από τις διαγενετικές διεργασίες υπάρχοντος σμηκτίτη / σαπωνίτη.

Στην ιδιοκτησία της ΓΕΩΕΛΛΑΣ Α.Μ.Μ. Α.Ε ανήκουν 3,2 km², που φιλοξενούν τα αργιλικά κοιτάσματα.

Πρώτο έτος παραγωγής της εταιρείας ήταν το 2004, με την εγκατάσταση υπερούχρονης μονάδας επεξεργασίας αργίλου στην περιοχή του αγροκτήματος «Κολοκυθάκι» του Δημοτικού διαμερίσματος Κνίδης του Δήμου Βεντζίου (με ετήσια δυναμικότητα 100.000 τόνων από επεξεργασία γενικά αργιλικών κοιτασμάτων), με παραγωγή η οποία ανήλθε στους 4.000 τόνους, ενώ το δεύτερο έτος παραγωγής, το 2006, τα τρία ορυχεία της, που λειτουργούν στους νομούς Γρεβενών και Κοζάνης, παρήγαγαν 7.000 τόνους αργιλικού υλικού. Το 2008 η παραγωγή των ορυχείων έφτασε τους 25.000 τόνους (Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων, 2010)

Ατταπουλγίτης εκτός από την περιοχή των Γρεβενών, έχει βρεθεί στη Σάμο και τη Χίο.



Οι χώρες στις οποίες παράγεται κυρίως ο ατταπουλγίτης είναι οι ΗΠΑ (Πολιτείες Φλώριδας και Γεωργίας), η Ισπανία, η Σενεγάλη, η Αυστραλία και πρόσφατα η Κίνα και η Ελλάδα.

Παγκοσμίως η παραγωγή του φτάνει τους 500 -600.000 τόνους με την Αμερικάνικη αγορά να κατέχει το 50%, την Σενεγάλη το 35%, την Ισπανία το 18% και με μικρή συμμετοχή η Ν. Αφρική και η Αυστραλία.

Η παραγωγή του στις ΗΠΑ το 2002 έφτασε τους 218.000 τόνους, ενώ το 2001 τους 292.000 τόνους (Πίνακας 2.1).

Ο σαπωνίτης εκτός από τον Νομό Γρεβενών, στην Ελλάδα απαντάται στη νησίδα '΄Πλανήτης΄΄ του όρμου Πάνορμος Τήνου εντός Βασάλτη και στα μεταλλεία Λαυρίου. Εμφανίσεις του στο εξωτερικό παρατηρούνται σε Αγγλία, Σκωτία, Τσεχία, Πολωνία, Καλιφόρνια, Αριζόνα, Καναδά.

Τα στοιχεία όσον αφορά τις εξαγωγές, αλλά και τους εισαγωγείς ατταπουλγίτη είναι περιορισμένα. Παρόλα αυτά, ενδεικτικά από τις μεγαλύτερες εξαγωγές ατταπουλγίτη συναντάμε στις ΗΠΑ, όπου ανέρχονται στους 120.000 - 150.000 τόνους/έτος. Μικρότερες ποσότητες έχουν εξαχθεί από Σενεγάλη και Αυστραλία. Από την άλλη σημαντικούς εισαγωγείς ατταπουλγίτη αποτελούν ο Καναδάς και η Ολλανδία, από 20.000 τόνους, η Αγγλία 10.000 - 50.000 τόνους, η Ιταλία 12.000 τόνους, η Γερμανία 10.000 τόνους και η Ιαπωνία 8.000 τόνους (Λαμπροπούλου & Λασπάκη, 2008).

Συγκεκριμένα, για την Ελλάδα παρατίθενται στοιχεία που αφορούν τις εξαγωγές και τις πωλήσεις ατταπουλγίτη (και κατά θέσεις σαπωνίτη) από το 2005 - 2007, από τον Σύνδεσμο Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων (ΣΜΕ), στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.2). Από τα δεδομένα του πίνακα συμπεραίνουμε ότι σημαντική ποσότητα του υλικού εξάγεται στο εξωτερικό, αλλά σημαντική ποσότητα εκμεταλλεύεται η εγχώρια αγορά. Συσχετίζοντας τις πωλήσεις από το 2005 - 2007 με την παραγωγή του ατταπουλγίτη σε τόνους για τα ίδια έτη, συμπεραίνουμε ότι το υλικό πωλείται περίπου από 80 - 150 ευρώ/τόνο. Οι τιμές βέβαια κυμαίνονται ανάλογα με το έτος παραγωγής και την ποιότητα του υλικού.



Πίνακας 2.1: Παραγωγή ατταπουλιγίτη έως το 2009 (British Geological Survey 2009, 2011) .

τόνοι	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Ισπανία	90.282	28.307	24.477	115.000	18.975	20.795	20.565	20.933	24.284	27.348	21.110
Σενεγάλη	139.300	148.700	121.100	176.454	176.857	180.000	127.000	140.000	140.000	166.900	180.900
Ν. Αφρική	7.067	10.287	8.894	7.990	14.585	20.419	34.340	49.225	65.402	69.876	52.103
ΗΠΑ			292.000	218.000	-						
Αυστραλία	5.639	5.600	5.600	6.000	6.000	6.000					
Ελλάδα						4.000	7.000	7.000	7.000	25.000	28.000

Πίνακας 2.2: Παραγωγή - Εξαγωγές - Πωλήσεις ατταπουλιγίτη για την Ελλάδα από το 2005 έως το 2009.

Ελλάδα	Παραγωγή (τόνοι)	Εξαγωγές (χιλ. ευρώ)	Πωλήσεις (χιλ. ευρώ)
2005	7.000	480	600
2006	7.000	640	800
2007	7.000	800	1.000
2008	25.000	1.300	1.500
2009	28.000		



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Εισαγωγή

Για την έρευνα του υλικού της περιοχής πραγματοποιήθηκαν οι εξής εργασίες :

1. Δειγματοληψία (Εργασίες υπαίθρου)

- Συλλογή αρχικών δειγμάτων (πρώτης ύλης)
- Λήψη φωτογραφιών

2. Εργασίες εργαστηρίου

- Προετοιμασία δειγμάτων: κονιοποίηση αρχικού υλικού (πρώτης ύλης), ανάμειξη με πρόσθετο υλικό πριονιδίου, διαβροχή με νερό, ξήρανση σφαιριδίων, όπτηση δειγμάτων.
- Χημικές και ορυκτολογικές αναλύσεις τόσο στο αρχικό δείγμα (πρώτη ύλη) με φθορισμομετρία (XRF) και τη χρήση Περιθλασίμετρου Ακτίνων Χ (XRD), όσο και σε ένα φρυγμένο σφαιρίδιο (pellet) από κάθε δείγμα με τη χρήση του Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (SEM) και του Περιθλασίμετρου Ακτίνων Χ (XRD).
- Μετά την ολοκλήρωση της παραγωγής των σφαιριδίων, κατεγράφησαν απαραίτητα μακροσκοπικές παρατηρήσεις, όσον αφορά την υφή και την μικροδομή τους και μετρήθηκαν φυσικές παράμετροι, όπως το φαινόμενο ειδικό βάρος, ο φαινόμενος όγκος των δειγμάτων, καθώς και
- Το απαιτούμενο φορτίο θραύσης N (g), ώστε να σπάσει κάθε pellet

3. Κατασκευή διαγραμμάτων συσχέτισης φορτίου θραύσης, φαινόμενου ειδικού βάρους και διαμέτρου, για τον ποιοτικό έλεγχο των ελαφροβαρών αδρανών.

4. Σύγκριση αποτελεσμάτων μετρήσεων με άλλα εργαστηριακά και εμπορικά προϊόντα.

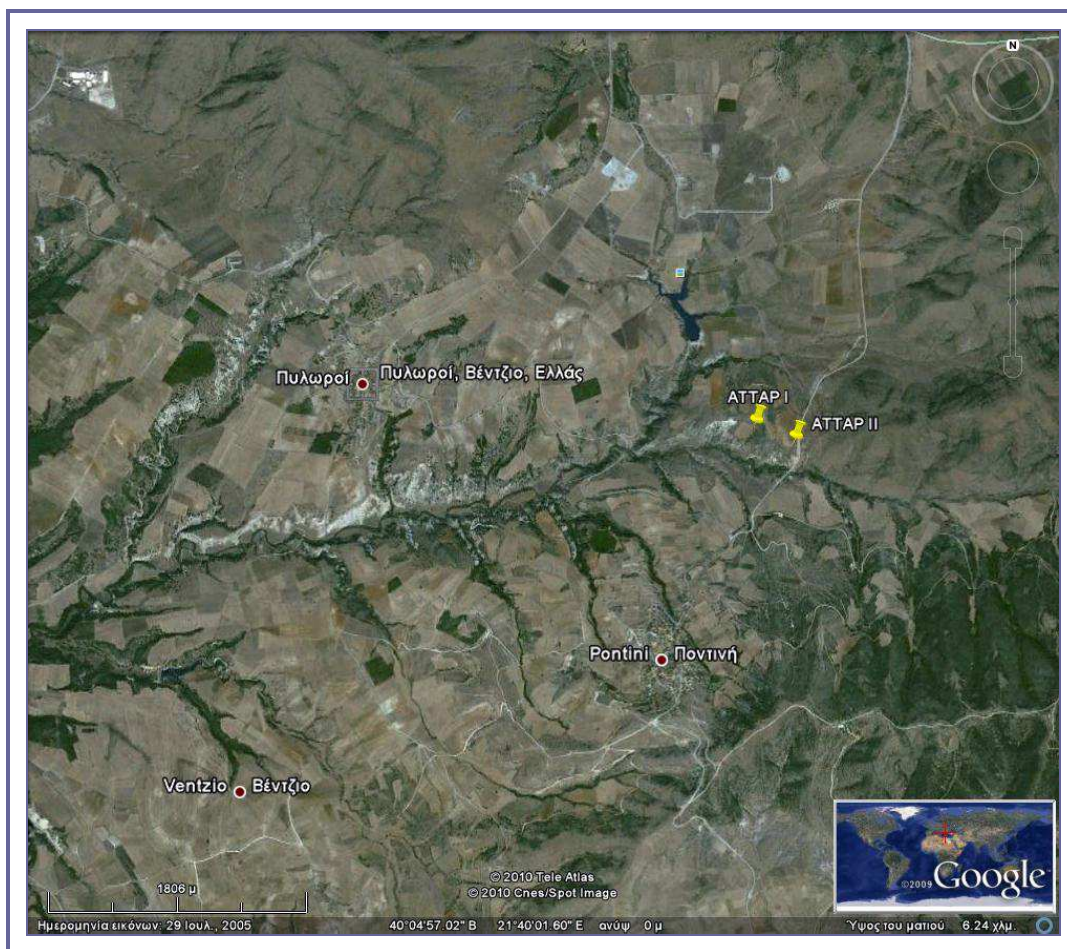
3.2 Δειγματοληψία υπαίθρου

Η δειγματοληψία των αδρανών γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε το δείγμα να εκφράζει τις ιδιότητες όλης της ποσότητας του υλικού. Το δείγμα σχηματίζεται από μικρές ποσότητες, που συλλέγονται με φτυάρι από δέκα τουλάχιστον σημεία της ελεύθερης επιφάνειας του σωρού. Τα σημεία αυτά δεν πρέπει να ανήκουν στο κάτω



πέμπτο μέρος του σωρού, ώστε να αποφευχθεί η ανάμιξη με υλικό βαθύτερων οριζόντων.

Η δειγματοληψία υπαίθρου πραγματοποιήθηκε στη θέση Σαπουνόχωμα, σε πλευρικές ποταμοχειμάρριες αποθέσεις μεταξύ των Πυλωρών και του Χρωμίου - Αιανής, από τη κοίτη του χειμάρρου της περιοχής, στις όχθες του Αλιάκμονα (Εικόνα 3.1). Τα αρχικά δείγματα, υπερκείμενα των πλούσιων αποθέσεων ατταπουλίτη - σαπωνίτη, που ελήφθησαν από την κοίτη του ίδιου ρέματος, έχουν χαρακτηριστεί ως ΑΤΤΑΡ I με γεωγραφικές συντεταγμένες $40^{\circ}05'07,61''\text{N}$, $21^{\circ}40'56,75''\text{E}$ σε υψόμετρο 709 m και ΑΤΤΑΡ II με γεωγραφικές συντεταγμένες $40^{\circ}05'04,39''\text{N}$, $21^{\circ}41'06,94''\text{E}$ σε υψόμετρο 722 m.



Εικόνα 3.1: Δορυφορική εικόνα (Google Earth, 2011). Ανατολικά του οικισμού Πυλωρόι στα Βέντζια έχουν σημειωθεί οι περιοχές δειγματοληψίας.
ΑΤΤΑΡ I: $40^{\circ}05'07,61''\text{N}$, $21^{\circ}40'56,75''\text{E}$, 709 m
ΑΤΤΑΡ II: $40^{\circ}05'04,39''\text{N}$, $21^{\circ}41'06,94''\text{E}$, 722 m.



Τα δύο αρχικά δείγματα λήφθηκαν από αργιλώδεις λεπτόκοκκες αποθέσεις, πάχους 2,5 m, πρασινοκάστανου έως τεφρού χρώματος, της ίδιας κοίτης, τα οποία τοποθετήθηκαν σε αριθμημένες πλαστικές σακούλες για τη μεταφορά τους στο εργαστήριο και ονομάστηκαν ΑΤΤΑΡ I και ΑΤΤΑΡ II αντίστοιχα.

Το δείγμα ΑΤΤΑΡ I λήφθηκε από βάθος 1m από την επιφάνεια του εδάφους και το δείγμα ΑΤΤΑΡ II λήφθηκε 2 m από την επιφάνεια (Εικόνα 3.2).



ΑΤΤΑΡ I



ΑΤΤΑΡ II



Εικόνα 3.2: Υλικό μετά τη συλλογή του.



3.3 Προετοιμασία δειγμάτων για εργαστηριακές δοκιμές

Η προετοιμασία για τη διαμόρφωση του υλικού πραγματοποιήθηκε στα εργαστήρια του Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας, του Γεωλογικού τμήματος του Πανεπιστημίου Αθηνών. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται όλα τα στάδια για την παρασκευή ελαφροβαρών αδρανών (LWA), κατάλληλων για ποικιλία χρήσεων.

3.3.1 Στάδια επεξεργασίας υλικού για την παραγωγή ελαφροβαρών αδρανών (LWA)

Για την παρασκευή των εργαστηριακών δειγμάτων ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

- Τα δείγματα αρχικά λειοτριβήθηκαν σε κονιοποιητή του Γεωλογικού Τμήματος, για ένα περίπου λεπτό, ώστε να προκύψει μορφή πούδρας.
- Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ανάμιξη της πούδρας με πριονίδι 5%, για να επιτύχουμε καλύτερη ομογενοποίηση του υλικού. Καθώς το πριονίδι καίγεται, δημιουργεί κενούς χώρους στα σφαιρίδια. Η ανάμιξη του υλικού με πριονίδι ή ελαιοπυρήνα σε ποσοστά 95/5 δίνει καλύτερα αποτελέσματα κατά τη όπτηση του υλικού (Fragoulis et al. 2003, 2004), αλλά και όσον αφορά την αντοχή του (Πίνακας 3.1).

Στις 31/10/2005 πραγματοποιήθηκε νέα ανάμιξη του υλικού με πριονίδι 12%, ώστε να γίνουν συγκρίσεις των αποτελεσμάτων. Η αναλογία μεταξύ πούδρας και πριονιδίου υπολογίστηκε με απλή μέθοδο των τριών:

π.χ.	Στα 100% μίγματος	95% πούδρα	5% πριονίδι
	Στα 600 g μίγματος	x = 570 g	y = 30 g

Πίνακας 3.1: Αναλογίες πούδρας - πριονιδίου για τη δημιουργία των τεσσάρων δειγμάτων .

Attap I	570 g πούδρα + 30 g πριονίδι	Μίγμα (g) με πριονίδι 5% (95% πούδρα)
Attap II	855 g πούδρα + 45 g πριονίδι	
Attap Ia	264 g πούδρα + 36 g πριονίδι	Μίγμα (g) με πριονίδι 12% (88% πούδρα)
Attap IIa	264 g πούδρα + 36 g πριονίδι	

- Δημιουργία μικρών σφαιριδίων μετά από τη διαβροχή του αναμειγμένου υλικού με νερό, ώστε να πετυχαίνεται κατάλληλη πλαστικότητα, διαμέτρου 0,5 - 2,5 cm (και περισσότερο), με το χέρι. Η διαβροχή δεν πραγματοποιήθηκε με



ορισμένη ποσότητα νερού, δεδομένου ότι έχει αποδειχθεί από παλαιότερες έρευνες (Κολόμβου, 2000 - 2001), ότι η περιεκτικότητα του νερού δεν επηρεάζει σημαντικά την αντοχή των σφαιριδίων. Σε κάθε περίπτωση βέβαια η αναλογία στερεού/νερού πλησιάζει το 2/1.

- Ακολουθεί η ξήρανση των σφαιριδίων για τρεις μέρες σε σκιερό μέρος, για να μην παρουσιαστούν ρηγματώσεις, προκειμένου να απομακρυνθεί σταδιακά η υγρασία και να αποφευχθεί η απότομη αποβολή νερού και αερίων καύσης, όταν τοποθετηθούν στον εργαστηριακό φούρνο. Τα σφαιρίδια τοποθετούνται σε ξηραντήριο σε θερμοκρασία 80 °C για μία ημέρα.
- Η όπτηση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σε φούρνο του Εργαστηρίου του Γεωλογικού τμήματος του Πανεπιστημίου Αθηνών.

3.3.1.1 Όπτηση των δειγμάτων σε εργαστηριακό φούρνο

Η όπτηση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σε ειδικό φούρνο, μετά από προθέρμανσή του στους 1100 °C (περίπου σε 40 min έφτασε στην επιθυμητή θερμοκρασία). Η θερμοκρασία των 1100 °C θεωρείται ,σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει σε διάφορα αδρανή, ιδανική για τη δημιουργία αδρανών μικρής πυκνότητας (εξαιτίας αφυδάτωσης).

Χρησιμοποιήθηκαν λαβίδα, φτυάρι μεταλλικό, ειδικά γάντια από αμίαντο, ταψάκια από αλουμινόχαρτο (εξαιτίας έλλειψης ειδικών πορσελάνινων δοχείων για να ψυχθούν) (Εικόνα 3.3). Το χρονικό διάστημα θέρμανσης των δειγμάτων ήταν ενιαίο για όλα τα δείγματα 13 min, που θεωρείται και ο καταλληλότερος χρόνος παραμονής των σφαιριδίων, σύμφωνα με δοκιμές όπτησης σε βιομηχανική κλίμακα στη Δανία.



Εικόνα 3.3: Γάντι από αμίαντο για την εξαγωγή των σφαιριδίων από τον εργαστηριακό φούρνο



Ακολουθως, τα δείγματα απομακρύνονται από τον φούρνο και ψύχονται, για την αποφυγή σχηματισμού κρυσταλλικών φάσεων και τη διατήρηση της υελώδους δομής του υλικού, η οποία είναι επιθυμητή για συγκεκριμένες χρήσεις των αδρανών. Στη συνέχεια απομακρύνθηκαν με ειδικούς συλλεκτήρες (Εικόνα 3.4).



Attap I



Attap II





Attap Ia



Attap IIa



Εικόνα 3.4: Δείγματα μετά την επεξεργασία του υλικού. Attap I, Attap II με πριονίδι 5%, Attap Ia, Attap IIa με πριονίδι 12%.



3.3.1.2 Όπτηση των δειγμάτων σε βιομηχανική κλίμακα

Σε βιομηχανική κλίμακα, η σφαιροποίηση των δειγμάτων πετυχαίνεται με τη χρήση εξωθητή (extruder), όπου δημιουργείται εύπλαστη μάζα (σαν μακαρόνι), η οποία στη συνέχεια εισάγεται σε περιστρεφόμενο κλίβανο (rotary kiln) θερμοκρασίας 1100 °C, όπου το υλικό τεμαχίζεται και στη συνέχεια με την περιστροφή τα κομμάτια αυτά παίρνουν σφαιρικό σχήμα. Η ξήρανση πετυχαίνεται με την έξοδο από τον κλίβανο των σφαιριδίων, όπου πραγματοποιείται και η όπτηση του υλικού.

Εργαστηριακά, η σφαιροποίηση πραγματοποιείται με τη χρήση σφαιροποιητή (pelletizer) ή μηχανικά με το χέρι.

3.4 Μεθοδολογία χημικών - ορυκτολογικών αναλύσεων

Ο ορυκτολογικός - χημικός προσδιορισμός των δειγμάτων έγινε με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD: X - Ray Diffraction) και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM: Scanning Electron Microscope) τόσο στα τέσσερα (4) δείγματα: Attap I, Attap II, Attap Ia, Attap IIa, όσο και στα αρχικά δείγματα (πρώτη ύλη) ΑΤΤΑΡ I, ΑΤΤΑΡ II. Με την πρώτη μέθοδο πραγματοποιείται ο ορυκτολογικός προσδιορισμός των δειγμάτων, ενώ με τη δεύτερη μέθοδο μελετάται η μικροδομή των ποικίλων αυθιγενών / δευτερογενών ορυκτών και φάσεων, όπως και το πορώδες.

Στα αρχικά δείγματα πραγματοποιήθηκε επιπλέον χημική ανάλυση με την μέθοδο φθορισμού ακτίνων Χ (X - Ray Fluorescence - XRF).

3.4.1 Φθορισμομετρία (XRF)

Η μέθοδος φθορισμομετρίας (XRF) εφαρμόστηκε στα αρχικά δείγματα ΑΤΤΑΡ I, ΑΤΤΑΡ II για τη στοιχειακή ανάλυση τους, στο Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου της Βιομηχανίας τσιμέντων ΤΙΤΑΝ.

Σύμφωνα με την αρχή της μεθόδου το δείγμα βομβαρδίζεται με ακτίνες Χ, με αποτέλεσμα τη διέγερση των ατόμων των στοιχείων των δειγμάτων. Κατά την αποδιέγερση των ηλεκτρονίων, εκπέμπεται μία δευτερογενής ακτινοβολία, συγκεκριμένου μήκους κύματος και έντασης, που οδηγείται στον ανιχνευτή, δίνοντας πληροφορίες για το είδος των στοιχείων και το ποσοστό τους μέσα στα δείγματα, χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα πρότυπα.

Πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου αποτελούν η μικρή προετοιμασία των δειγμάτων, η δυνατότητα εφαρμογής σε φορητές και σταθερές συσκευές, η γρήγορη λήψη μετρήσεων και η λήψη μεγάλου εύρους μετρήσεων. Μειονεκτεί στην ανάλυση



στοιχείων ελαφρύτερων από το μαγνήσιο και στο γεγονός ότι δεν ανιχνεύει τον άνθρακα.

3.4.2 Μέθοδος Περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD)

Για την ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων, με περίθλαση ακτίνων Χ, κονιοποιήθηκε ένα σφαιρίδιο (pellet) από κάθε δείγμα, με τον παραδοσιακό τρόπο χρήσης ενός αχάτινου γουδιού.

Οι αναλύσεις των κονιοποιημένων δειγμάτων έλαβαν χώρα στο Εργαστήριο Τεχνολογίας Σκυροδέματος, της Βιομηχανίας τσιμέντων ΤΙΤΑΝ, με τη χρήση οργάνου SIEMENS D-500 με λυχνία Cu.

Η μέθοδος αυτή είναι χρήσιμη μόνο για ορυκτά και μέταλλα, πάνω από ένα συγκεκριμένο μέγεθος κρυστάλλων, ενώ παρουσιάζει αδυναμία στις άμορφες φάσεις. Τα όρια ανιχνευσιμότητας αυτής της μεθόδου είναι περίπου 1-5% (D' Amore et al., 2005)

3.4.3 Μέθοδος Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης (SEM) και Μικρο-ανάλυσης

Χρησιμοποιήθηκε το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά λειτουργίας:

Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο - Scanning Electron Microscopes: JEOL JSM - 5600

Σύστημα Μικροανάλυσης - Energy Dispersive X - ray Microanalysis (EDX):

OXFORD LINK™ ISIS™ 300

Λογισμικό (Software) Ποσοτικής Μικροανάλυσης - Διόρθωσης ZAF:

OXFORD SEMQuant™

Συνθήκες μικροαναλύσεων:

Τάση επιτάχυνσης (Accelerating Voltage) : 20 KV

Ρεύμα δέσμης (Beam current) : 0.5 nA

Χρόνος ανάλυσης (Lifetime) : 50 sec

Διάμετρος δέσμης (Beam diameter) : < 2 μm

Η ορυκτολογική ανάλυση πραγματοποιήθηκε έπειτα από επιμετάλλωση των δειγμάτων πριν μπουν στο μικροσκόπιο. Οι εικόνες που λαμβάνονται είναι από την επιφάνεια (secondary).

Σύμφωνα με την αρχή της μεθόδου, σημειακή δέσμη ηλεκτρονίων προσπίπτει στο δείγμα προκαλώντας εκπομπή δευτερογενών ηλεκτρονίων, ηλεκτρονίων οπισθοσκέδασης, ακτίνων Χ και ακτινοβολίας καθοδοφωταύγειας από διάμετρο 100



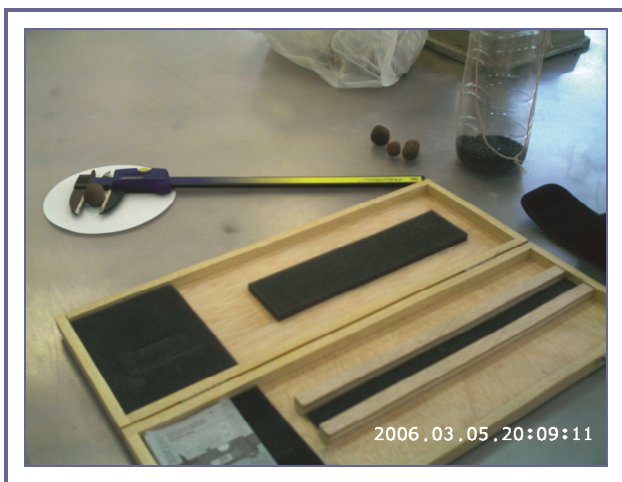
Α. Τα εκπεμπόμενα σήματα από τις σαρωμένες περιοχές εστιάζονται σε μια φθορίζουσα οθόνη και μετά σε φωτογραφικό φιλμ ή εκτυπωτή.

Πλεονεκτεί η συγκεκριμένη μέθοδος για την μεγάλη μεγέθυνση (10-1000000 φορές), την ευκολία μεταβολής της μεγέθυνσης, το μεγάλο βάθος εστίασης, τη στερεογραφική τρισδιάστατη εικόνα και την ποιοτική και ποσοτική χημική σύσταση που μπορεί να δώσει. Μειονέκτημά της όμως, αποτελεί η πιθανότητα αλληλοεπικάλυψης της φασματικής ταυτότητας διαφορετικών στοιχείων (D' Amore et al., 2005).

3.5 Μεθοδολογία δοκιμών αντοχής σε θλίψη

Οι δοκιμές θραύσης για τη μελέτη της αντοχής των δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν στη βιομηχανία τσιμέντων TITAN A.E., στο Εργαστήριο Τεχνολογίας Σκυροδέματος.

Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε αντιπροσωπευτικό αριθμό σφαιριδίων με διαφορετικές διαμέτρους, για κάθε δείγμα χωριστά. Οι μετρήσεις της διαμέτρου των σφαιριδίων έγιναν με ψηφιακό παχύμετρο TESA 0 - 300 mm (Εικόνα 3.5).



Εικόνα 3.5: Ψηφιακό παχύμετρο TESA

Η θραύση των σφαιριδίων πραγματοποιήθηκε σε αυτοσχέδια χειροκίνητη πρέσα ελεγχόμενης θραύσης (Chemisches Laboratorium fur TONINDUSTRIE: Prof. Dr H. Seger & E. Cramer Kom Ges., BERLIN - FRIEDENAU, Masch Nr. 9362, Banjahr 1954) (Εικόνα 3.6).



Εικόνα 3.6: Αυτοσχέδια χειροκίνητη πρέσα

Εφαρμόζοντας διαδοχικά αυξανόμενο βάρος χρησιμοποιώντας σφαιρίδια από μόλυβδο στο πλαστικό δοχείο της πρέσας, για κάθε ένα από τα pellet, μετρήσαμε το όριο θραύσης τους, δηλαδή το οριακό σημείο πριν το σφαιρίδιο παρουσιάσει φαινόμενο θραύσης (Εικόνα 3.7). Ακολούθως, ζυγίζεται το πλαστικό δοχείο με τις σφαίρες από μόλυβδο, που προκάλεσαν θραύση, για το κάθε pellet αντίστοιχα, μετρώντας έτσι, το φορτίο θραύσης.



Εικόνα 3.7: Θέση στην οποία τοποθετείται το pellet για τη μέτρηση του ορίου θραύσης.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ

4.1 Εισαγωγή

Ο ορυκτολογικός προσδιορισμός των δειγμάτων μας δίνει πληροφορίες σημαντικές για τη δομή και την περιεκτικότητα των δειγμάτων σε ορυκτά και χημικά στοιχεία. Για την έρευνα χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) του Γεωλογικού τμήματος του Πανεπιστημίου Αθηνών και συσκευή περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD) στα εργαστήρια της βιομηχανίας τσιμέντων TITAN A.E., όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Οι μετρήσεις έγιναν τόσο στα αρχικά δείγματα, όσο και στα κονιοποιημένα σφαιρίδια. Επιπλέον, για τα αρχικά δείγματα λήφθηκαν μετρήσεις με τη μέθοδο φθορισμού ακτίνων Χ (XRF).

4.2 Αποτελέσματα Περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD)

4.2.1 Πρώτες ύλες

Από αναλύσεις σε κοιτάσματα παλυγορσκήτη σε δείγματα από την περιοχή Πευκάκι της λεκάνης των Βεντζίων, οι κύριες δευτερεύουσες φάσεις που απαντώνται είναι χαλαζίας, σμηκτίτης και σερπεντίνης (λιζαρδίτης, αντιγορίτης) (Kastritis et al., 2003).

Στην ίδια περιοχή, αναλύσεις κοιτάσματος σμηκτίτη προσδιορίζουν χαλαζία, σερπεντίνη, παλυγορσκήτη και δολομίτη, ως δευτερεύουσες φάσεις.

Τα δύο δείγματα ΑΤΤΑΡ I, ΑΤΤΑΡ II όμως εκτός από ατταπουλγίτη περιέχουν και άλλες αργίλους, όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα περίθλασης ακτίνων Χ (Σχήμα 4.1). Προέρχονται από ιζήματα που αποτελούν πλευρικές μεταβάσεις - αποθέσεις του πλούσιου σε ατταπουλγίτη - σαπωνίτη κοιτάσματος.

Οι μετρήσεις στα δύο αρχικά δείγματα, οι οποίες αντιστοιχούν στα διαγράμματα περίθλασης των ΑΤΤΑΡ I, ΑΤΤΑΡ II, πραγματοποιήθηκαν στα εργαστήρια της βιομηχανίας τσιμέντων TITAN A.E. Σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα, συμπληρώθηκε ο πίνακας 4.1, στον οποίο παρουσιάζονται τα κύρια, δευτερεύοντα και επουσιώδη ορυκτά των δειγμάτων.

Και τα δύο δείγματα έχουν ως κύρια ορυκτά τον ατταπουλγίτη και το χαλαζία. Βέβαια το δείγμα ΑΤΤΑΡ I αποτελείται από λιγότερες αργίλους και περισσότερα κλαστικά υλικά. Από παλαιότερες μετρήσεις, έχει διαπιστωθεί ότι υλικά πλούσια σε αργίλους



δεν είναι ιδανικά για τεχνικές εφαρμογές. Ιδανικό ποσοστό σε άργιλο θεωρείται γύρω στο 30%. Επομένως, το συγκεκριμένο δείγμα είναι ιδανικότερο.

Δευτερεύοντα ορυκτά τόσο για το ΑΤΤΑΡ Ι, όσο και για το ΑΤΤΑΡ ΙΙ, αποτελούν οι άστριοι και ο σαπωνίτης, ενώ επουσιώδη ο χλωρίτης, ο καολινίτης και ο αλλοϋσίτης. Το ΑΤΤΑΡ ΙΙ περιέχει και ολιβίνη, ενώ το αρχικό δείγμα ΑΤΤΑΡ Ι σερικήτης.

Πίνακας 4.1: Ορυκτολογική ανάλυση αργιλωδών πρώτων υλών με περίθλαση ακτίνων Χ

	ΑΤΤΑΡ Ι	ΑΤΤΑΡ ΙΙ
MJ	ατταπουλίτης, χαλαζίας	ατταπουλίτης, χαλαζίας
MD	άστριοι (μικροκλινής), σαπωνίτης (μοντμοριλονίτης)	άστριοι(σανίδινο, μικροκλινής), σαπωνίτης (μοντμοριλονίτης)
TR	καολινίτης, αλλοϋσίτης, σερικήτης (ποικιλία μοσχοβίτη), χλωρίτης	ολιβίνης, χλωρίτης, καολινίτης, αλλοϋσίτης

MJ = Κύριο ορυκτό, *MD* = Δευτερεύον, *TR* = Επουσιώδες

attapulite = ατταπουλίτης

quartz = χαλαζίας

montmorillonite = μοντμοριλονίτης

muscovite = μοσχοβίτης

clinochlore = χλωρίτης

microcline = μικροκλινής

sericite = σερικήτης

halloysite = αλλοϋσίτης

kaolinite = καολινίτης

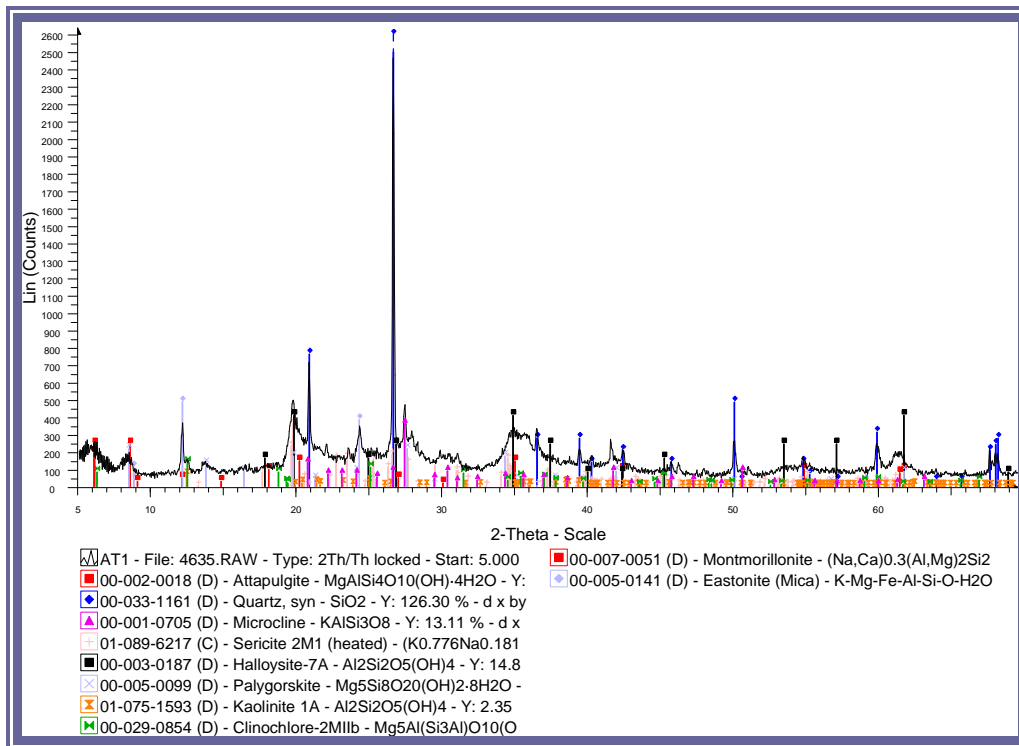
sanidine = σανίδινο

olivine = ολιβίνης

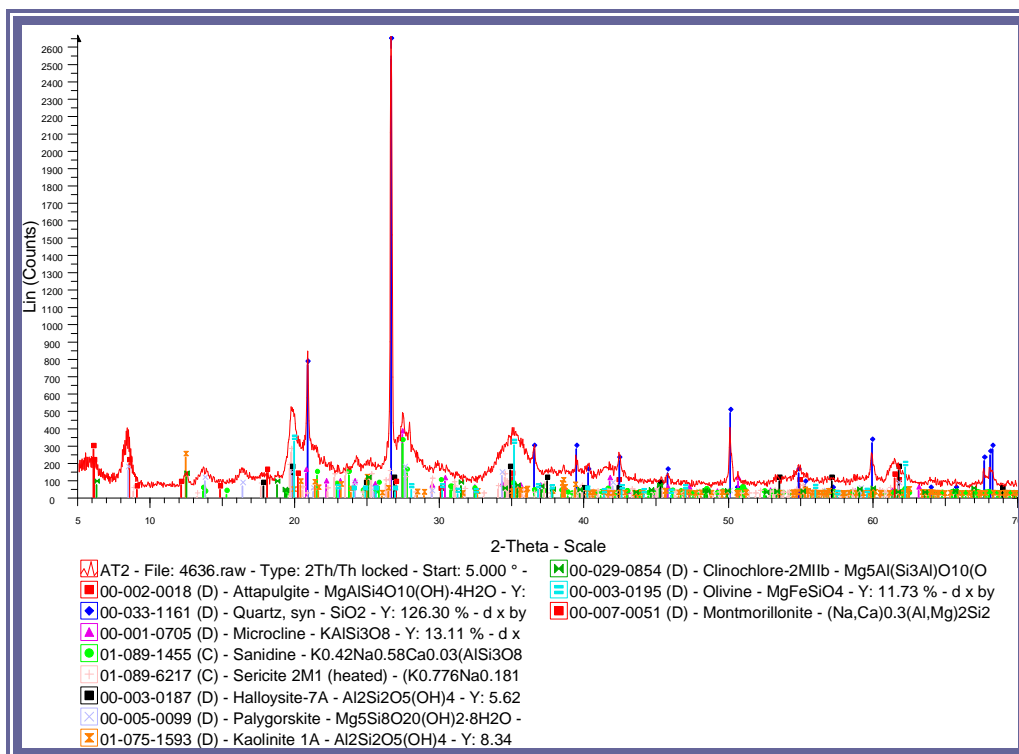
saponite = σαπωνίτης



ΑΤΤΑΡ Ι (πρώτη ύλη)



ΑΤΤΑΡ ΙΙ (πρώτη ύλη)



Σχήμα 4.1: Περιθλασιογράμματα των αργιλωδών πρώτων υλών ΑΤΤΑΡ Ι και ΑΤΤΑΡ ΙΙ



4.2.2 Προϊόντα

Η ορυκτολογική ανάλυση των φρυγμένων δειγμάτων (προϊόντων), όπως διαπιστώνεται από την περίθλαση ακτίνων Χ έδειξε ότι τα δείγματα περιέχουν κάποια άμορφη φάση, αναθόλωση στην περιοχή $15-35^{\circ}2\theta$, οπότε η ποσοτικοποίηση είναι κατά εκτίμηση.

Επιπλέον, και τα τέσσερα δείγματα αποτελούνται από τα πολύμορφα του πυριτίου, χριστοβαλίτη και χαλαζία (SiO_2), γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το κοίτασμα του ατταπουλιγίτη προήλθε από υλικό, το οποίο υπέστη διαγενετικές διεργασίες.

Σημειώνεται επίσης, ότι είναι χαρακτηριστική η απουσία ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3), εξασφαλίζοντας καλή ποιότητα στα φρυγμένα σφαιρίδια. Η ύπαρξη του ανθρακικού ασβεστίου προκαλεί διάρρηξη των σφαιριδίων, καθώς αυτά με την πάροδο του χρόνου προσροφούν υγρασία.

Με βάση τα περιθλασιογράμματα από τα κονιοποιημένα φρυγμένα σφαιρίδια Attap I, Attap II, Attap Ia, Attap IIa, παρουσιάζεται στον πίνακα 4.2 και 4.3, η ορυκτολογική σύσταση αυτών, ως προς τα κύρια, δευτερεύοντα και επουσιώδη ορυκτά.

Τα δείγματα των φρυγμένων σφαιριδίων Attap I και Attap II, αποτελούνται από ύελο, χαλαζία, χριστοβαλίτη και ενσταντίτη ως κύρια ορυκτά, φορστερίτη ως δευτερεύον, ενώ το Attap I έχει σανίδινο και μαγνητίτη σε πολύ μικρά ποσοστά (Πίνακας 4.2).

Η ύπαρξη μεγάλου ποσοστού σε ενσταντίτη στο δείγμα Attap II οφείλεται στην ύπαρξη ολιβίνη στο αρχικό δείγμα, δηλαδή το ΑΤΤΑΡ II. Αυτό ίσως, να σημαίνει ότι τα δείγματα χρειάζονταν μεγαλύτερο χρόνο έψησης.

Τόσο στο δείγμα Attap I, όσο και στο Attap II διακρίνεται στα διαγράμματα (Σχήμα 4.2) αναθόλωση που σημαίνει, σημαίνει μεγάλο ποσοστό άμορφων φάσεων (ύελος), γεγονός που δικαιολογεί την αρκετά καλή θλιπτική αντοχή των δειγμάτων.



Πίνακας 4.2: Ορυκτολογική ανάλυση φρυγμένων σφαιριδίων με πριονίδι 5%, με περίθλαση ακτίνων Χ. MJ = Κύριο ορυκτό, MD = Δευτερεύον, TR = Επουσιώδες

	Attap I	Attap II
MJ	ύελος, χαλαζίας, χριστοβαλίτης, ενσταντίτης	ύελος, χαλαζίας, χριστοβαλίτης, ενσταντίτης
MD	φορστερίτης	φορστερίτης
TR	σανίδινο, μαγνητίτης	

Attap I και Attap II (5% πριονίδι),

Τα δείγματα των φρυγμένων σφαιριδίων με πριονίδι 12%, Attap Ia, Attap IIa αποτελούνται από χαλαζία και ενσταντίτη ως κύρια ορυκτά. Το Attap IIa αποτελείται επιπλέον από χριστοβαλίτη, ως κύριο ορυκτό και όχι ως δευτερεύον όπως το Attap Ia. Δευτερεύον στο δείγμα Attap Ia αποτελεί και ο φορστερίτης. Επουσιώδη ορυκτά παρουσιάζονται στο δείγμα Attap Ia το σανίδινο, ενώ στο Attap IIa μικρή είναι η εμφάνιση του φορστερίτη. Πολλές κρυσταλλικές φάσεις παρουσιάζονται στο δεύτερο δείγμα, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η αντοχή του. Η παρουσία ύελου είναι χαρακτηριστική και σε αυτά τα δείγματα με το περισσότερο πριονίδι.

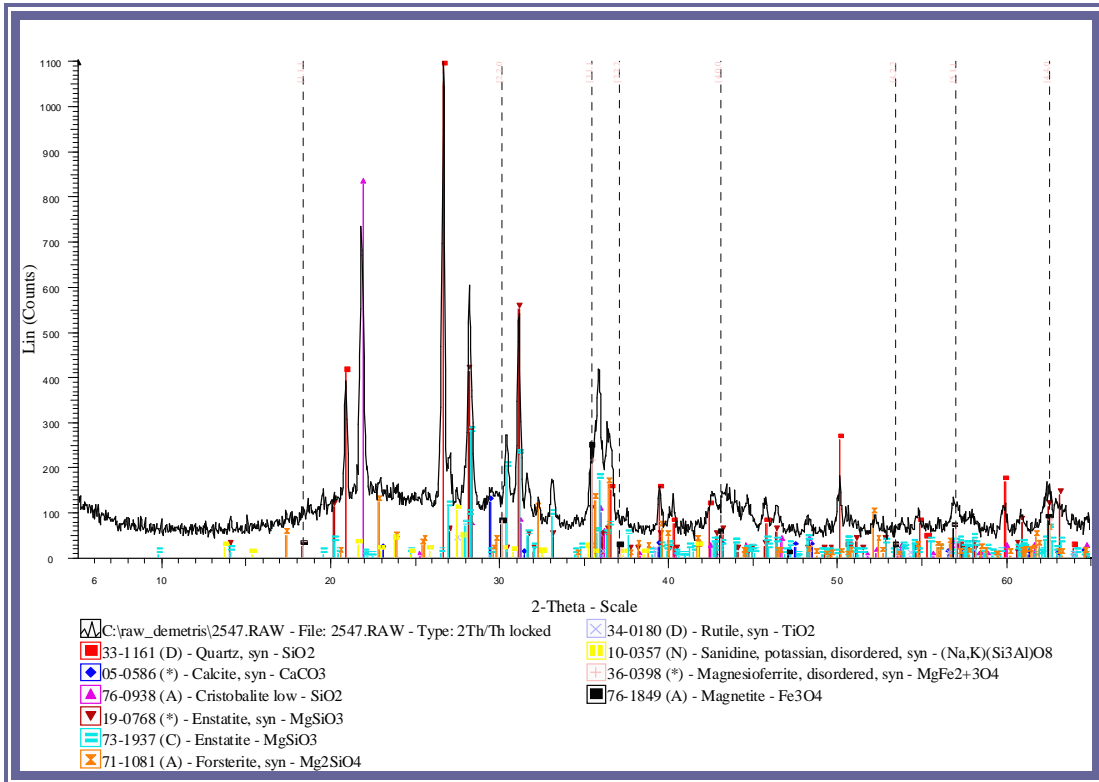
Πίνακας 4.3: Ορυκτολογική ανάλυση φρυγμένων σφαιριδίων με πριονίδι 12%, με περίθλαση ακτίνων Χ. MJ = Κύριο ορυκτό, MD = Δευτερεύον, TR = Επουσιώδες

	Attap Ia	Attap IIa
MJ	ύελος, χαλαζίας, ενσταντίτης	ύελος, χαλαζίας, ενσταντίτης, χριστοβαλίτης
MD	χριστοβαλίτης, φορστερίτης	
TR	σανίδινο	φορστερίτης

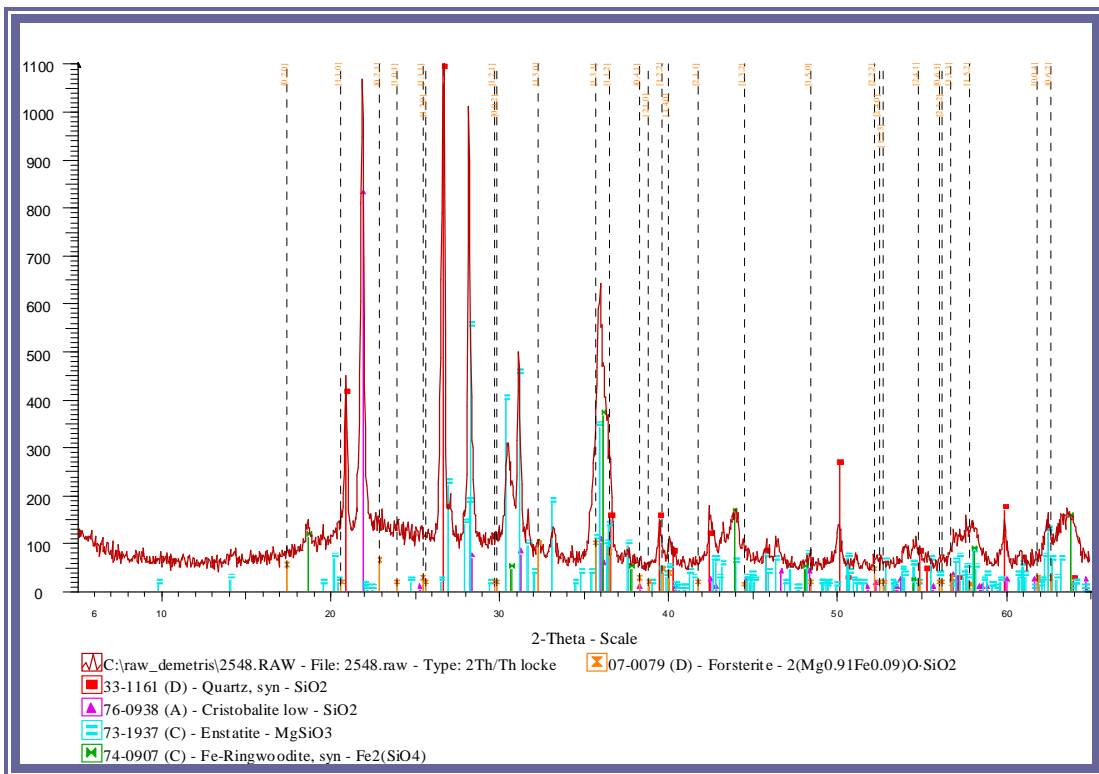
Attap Ia και Attap IIa (12% πριονίδι)



Attap I

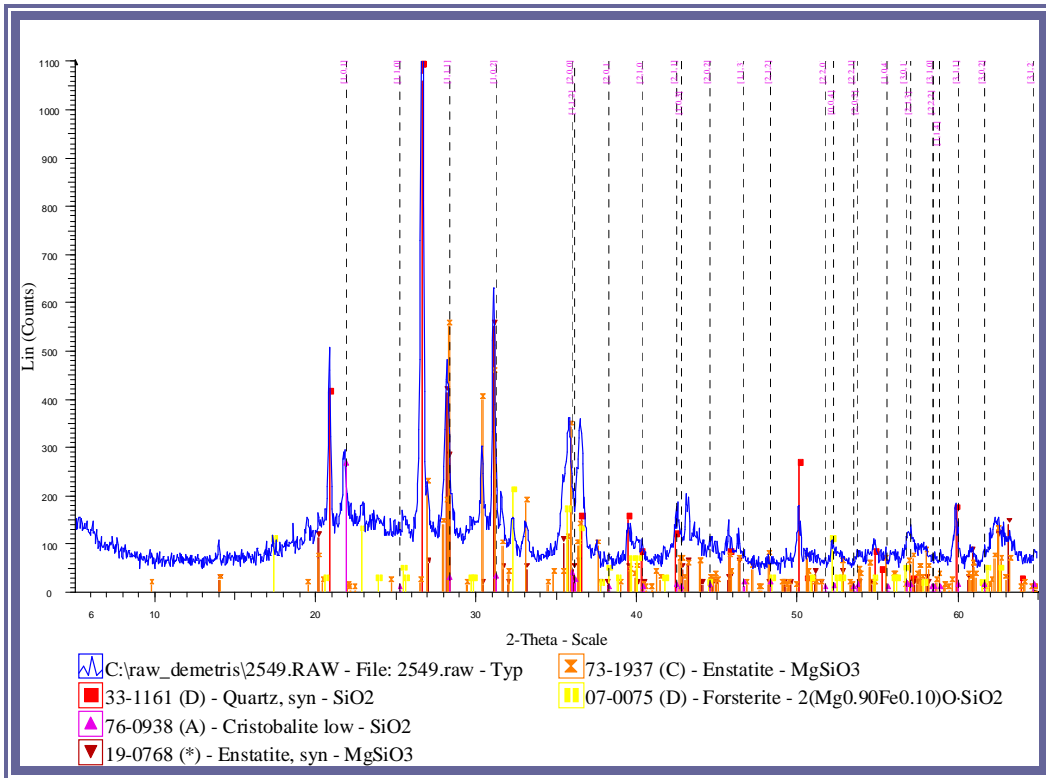


Attap II

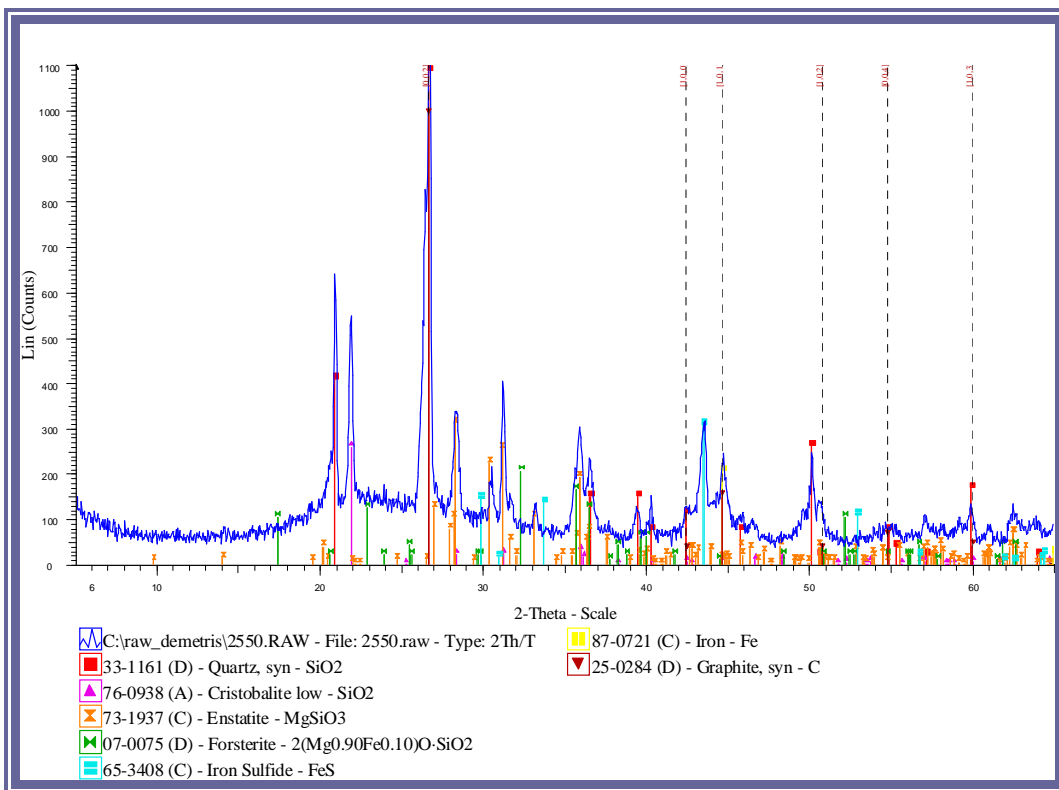




Attap Ia



Attap IIa



Σχήμα 4.2: Περιθλασιογράμματα των φρυγμένων σφαιριδίων με περίθλαση ακτίνων X



4.3 Αποτελέσματα Φθορισμομετρίας (XRF)

4.3.1 Πρώτες ύλες

Στα αρχικά δείγματα ΑΤΤΑΡ I και ΑΤΤΑΡ II εφαρμόστηκε η μέθοδος φθορισμού ακτίνων X (XRF) και πραγματοποιήθηκαν ακριβείς μετρήσεις, όσον αφορά τη χημική τους σύσταση (Πίνακας 4.4). Και τα δύο δείγματα εμφανίζουν υψηλά ποσοστά σε SiO_2 , πιο χαμηλά σε FeO , μέτρια σε MgO και Al_2O_3 και είναι φτωχά σε CaO , Na_2O . Συγκριτικά με πρότυπα δείγματα ατταπουλγίτη, όπως θα μελετήσουμε στην αμέσως επόμενη ενότητα δεν εμφανίζουν μεγάλες διακυμάνσεις στις τιμές των οξειδίων. Για τις διαφορές αυτές θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι τα δείγματα είναι πλευρικές αποθέσεις ποταμοχειμάρριων υλικών, που περιλαμβάνουν ατταπουλγίτη και σαπωνίτη και όχι το υγιές υλικό. Ωστόσο, μικρές είναι οι αποκλίσεις. Έτσι, τα σημαντικά ποσοστά σε οξείδια FeO και MgO , δικαιολογούν την προέλευση των υλικών από το οφιολιθικό σύμπλεγμα του Βούρινου και η ύπαρξη λίγο παραπάνω CaO από τα πρότυπα δικαιολογεί την παρουσία του σαπωνίτη.

Πίνακας 4.4: Χημική σύσταση % κ.β. με την μέθοδο φθορισμού ακτίνων X (XRF) κύριων στοιχείων των πρώτων υλών.

Δείγμα	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	SUM
ΑΤΤΑΡ I*	58,68	8,74	12,48	1,00	6,63	1,01	0,30	88,83
ΑΤΤΑΡ II*	61,76	9,55	11,67	0,83	4,72	0,78	0,23	89,54

*επιπλέον στα δείγματα αυτά βρέθηκαν: ΑΤΤΑΡ I: Na_2Oeq 0,97 S.dev: 0.50 ΑΤΤΑΡ II: R.dev : Na_2Oeq 0,74 0.56

4.4 Αποτελέσματα Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης(SEM)

Η χημική ανάλυση με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) έγινε τόσο στο αρχικό δείγμα ΑΤΤΑΡ I, ΑΤΤΑΡ II, όσο και στα φρυγμένα σφαιρίδια Attap I, Attap II, Attap Ia, Attap IIa.

4.4.1 Πρώτες ύλες

Όσον αφορά τη χημική σύσταση στα αρχικά δείγματα ΑΤΤΑΡ I, ΑΤΤΑΡ II παραθέτονται στον πίνακα 4.5. Ξεκινώντας από τα ποσοστά σε SiO_2 των δειγμάτων παρατηρούμε κάποιες διαφορές. Σε κάποιες μετρήσεις που αφορούν συγκεκριμένα σημεία του κάθε δείγματος και αντιστοιχούν και σε συγκεκριμένες φωτογραφίες του SEM (Εικόνες 4.1, 4.2) έχουμε χαμηλές τιμές στο παραπάνω οξείδιο. Αυτό πιθανόν οφείλεται στο σαπωνίτη όπως αναφέραμε σε προηγούμενη παράγραφο και φαίνεται



και από τις φωτογραφίες που αντιστοιχούν στις μετρήσεις αυτές. Ο σαπωνίτης στις φωτογραφίες είναι ποιο συμπαγής και εμφανίζεται με ενιαία συσσωματώματα, ενώ ο ατταπουλγίτης έχει ινώδη μορφή. Αντίστοιχες διαφορές υπάρχουν και για κάποια από τα υπόλοιπα οξειδία, οι οποίες όμως δεν είναι ακραίες. Οι διαφορές αυτές όπως ήδη αναφέραμε οφείλονται στη φύση των δειγμάτων αυτών, που εκτός από σαπωνίτη περιλαμβάνουν και άλλα ποταμοχειμάρρια υλικά.

Πίνακας 4.5: Χημική σύσταση (% κ.β) από μικροανάλυση (SEM) των δύο αρχικών δειγμάτων.

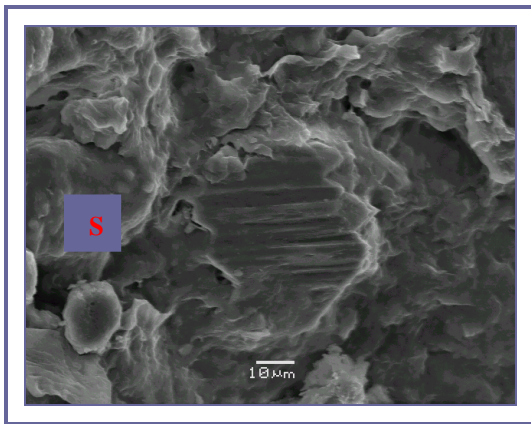
Δείγμα	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	Total
ΑΤΤΑΡ Ii	42,46	2,06	5,73	0,52	20,50	0,14	-	0,56		71,98
ΑΤΤΑΡ Iiv	58,48	13,74	10,97	0,42	8,57	1,02	0,29*		0,36	93,85
ΑΤΤΑΡ Iv	65,81	10,92	12,28	1,06	11,85	0,60	0,65		0,37*	103,54
ΑΤΤΑΡ Iii	40,72	2,05	3,82	0,06*	25,79	0,17		0,06*	0,03*	72,69
ΑΤΤΑΡ Iiiv	54,74	12,76	8,71	0,29	9,25	0,98		-0,03*	0,10*	86,81
ΑΤΤΑΡ Iiv	33,83	11,82	9,75	0,14*	8,35	0,47	0,21*		0,30*	64,87

*=< 2 Sigma

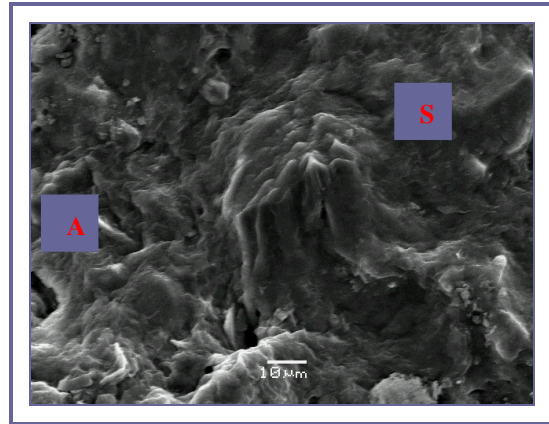
Οι λατινικοί αριθμοί ii, vii, κτλ αντιστοιχούν στον αριθμό της φωτογραφίας από το SEM, για κάθε δείγμα (Εικόνες 5.1, 5.2) (Οι πλήρεις χημικές αναλύσεις αναλυτικά παραθέτονται στο Παράρτημα Β).



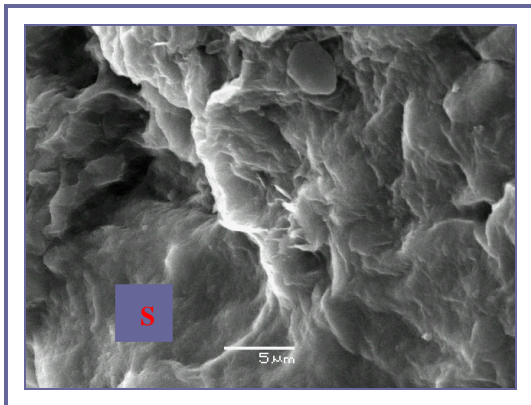
li



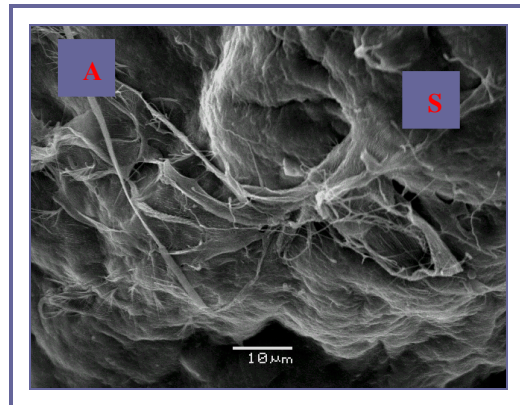
lii



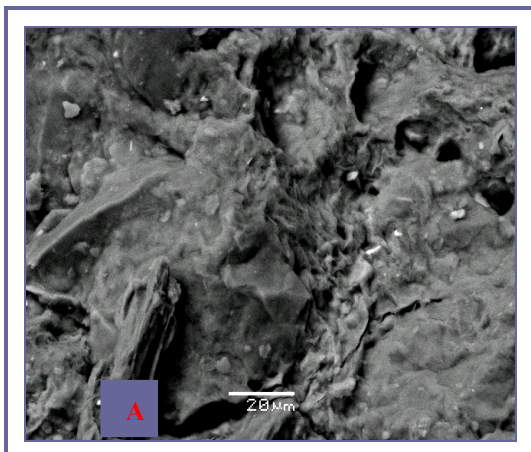
liii



liv



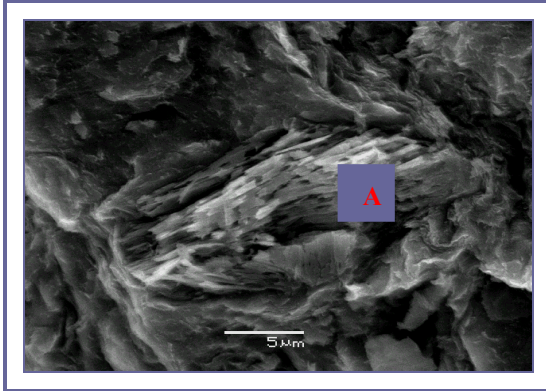
lv



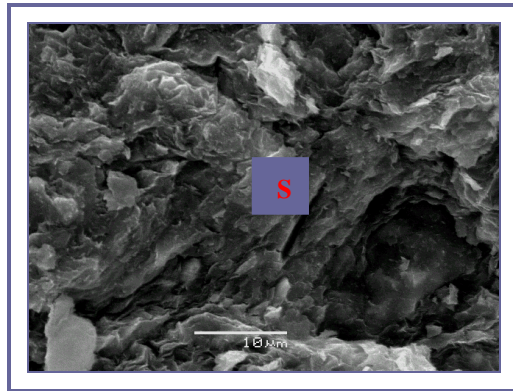
Εικόνες 4.1: Φωτογραφίες από το SEM του δείγματος ΑΤΤΑΡ Ι (όπου Α ο ατταπουλγίτης και S ο σαπωνίτης). Ο σαπωνίτης φαίνεται πιο συμπαγής και εμφανίζει συσσωματώματα, ενώ ο ατταπουλγίτης έχει ινώδη μορφή.



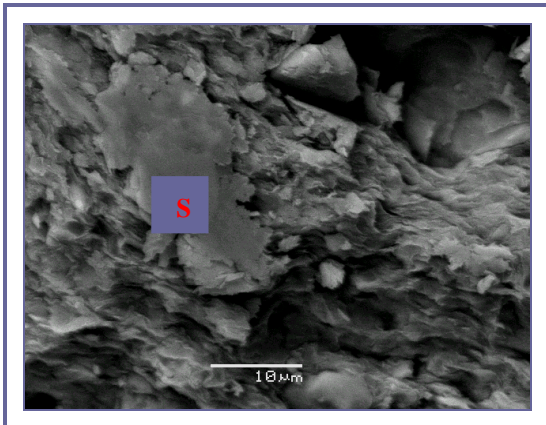
lii



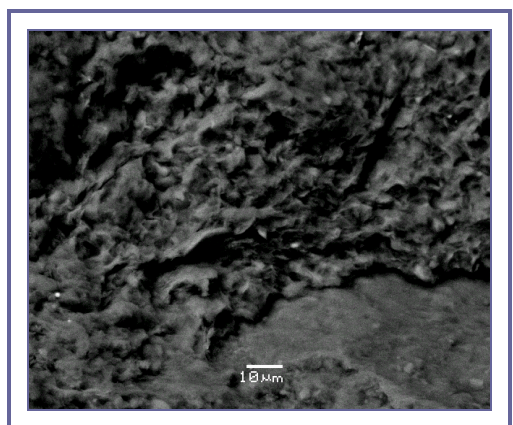
lii



liii



liiv



Εικόνες 4.2: Φωτογραφίες από το SEM του δείγματος ΑΤΤΑΡ II (όπου Α ο ατταπουλγίτης και S ο σαπωνίτης). Ο ατταπουλγίτης έχει την μορφή "βελόνας", ενώ ο σαπωνίτης φαίνεται στην εικόνα ως ενιαία μάζα.



4.4.2 Προϊόντα

Η χημική ανάλυση στα παρασκευάσματα των ελαφροβαρών αδρανών, μέσω του SEM, (Πίνακας 4.6), έδειξε ότι τα δείγματα περιέχουν σημαντικά ποσοστά σε SiO_2 και FeO , ενώ είναι μέτρια σε MgO , Al_2O_3 και φτωχά σε CaO , Na_2O .

Η απουσία σχεδόν του CaO , πιθανόν να οφείλεται στην έλλειψη των ανθρακικών ορυκτών, γεγονός που αιτιολογεί την καλή σχετικά εξωτερική όψη των σφαιριδίων. Η υψηλή περιεκτικότητα σε οξειδία του σιδήρου και η σχετικά καλή σε οξειδία του μαγνησίου επιβεβαιώνει την προέλευση του ατταπουλγίτη - σαπωνίτη από το οφιολιθικό σύμπλεγμα του Βούρινου.

Από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων διαπιστώνουμε ότι η σύνθεση των σφαιριδίων ατταπουλγίτη δεν είναι κατάλληλη για την παραγωγή τσιμέντου, η οποία απαιτεί συγκεκριμένες προδιαγραφές:

- Η περιεκτικότητα σε MgO πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση με 5%, διότι με την θέρμανση παράγεται περικόλαστο, με αποτέλεσμα την διόγκωση του μίγματος (Amesetal 1994, Manning 1995).
- Η περιεκτικότητα σε SiO_2 πρέπει να είναι μικρότερη από 3%, όπως και τα ποσοστά σε Al_2O_3 να μην είναι ιδιαίτερα χαμηλά (Dagounaki, 2004).

Τα παραπάνω σε συνδυασμό με την ινώδη δομή του ατταπουλγίτη καθιστούν τα σφαιρίδια ακατάλληλα στην παρασκευή σκυροδέματος. Τα αδρανή με επιμηκυμένη δομή έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην κινητικότητα του υγρού τσιμέντου και τείνουν να μειώσουν την αντοχή του. Αντίθετα, είναι ιδανικά σαν πρόσθετη ουσία, για αδρανή βάσεων και υποβάσεων στην οδοποιία και στο σκυρόδεμα, όπου το ενισχύουν εξαιτίας της απορροφητικότητας τους (Dagounaki, 2004).



Πίνακας 4.6: Χημική σύσταση (% κ.β.) με μικροανάλυση (SEM) των τεσσάρων φρυγμένων δειγμάτων.

Δείγμα	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	NiO	Total
Attap Iiix	50,69	10,89	21,69	0,80	12,59	0,97	-0,17*	0,59	1,94	100,00
Attap Iviiw	53,65	11,16	19,73	0,47	12,08	1,21	-0,13*	0,50	1,32	100,00
Attap Iiiuy	54,40	10,21	17,51	1,41	14,24	1,11	-0,14*	0,22*	0,75	100,00
Attap Iaix	57,78	11,67	17,32	0,51	10,38	1,43	-0,24*	0,72	0,45*	100,00
Attap Iliix	66,62	12,44	10,01	0,92	8,70	0,82	-0,24*	0,41	0,33*	100,00
Attap Iliiy	62,80	11,19	17,09	0,47	6,51	0,78	-0,12*	0,62	0,65*	100,00
Attap Ilaix	63,48	12,10	11,74	0,73	10,82	0,86	-0,34*	0,44	0,16*	100,00
Attap Ilaiy	60,90	11,45	16,35	1,05	9,2	0,72	-0,44*	0,58	0,27*	100,00

Attap I και Attap II (5% πριονίδι), Attap Ia και Attap IIa (12% πριονίδι)

Οι λατινικοί αριθμοί ii, vii, κ.λ.π. αντιστοιχούν στον αριθμό της φωτογραφίας από το SEM, για κάθε δείγμα (Εικόνες 5.3, 5.4, 5.5, 5.6) και οι χαρακτηρισμοί x, y, ω στην περιοχή της φωτογραφίας, που έγινε χημική ανάλυση (Οι πλήρεις χημικές αναλύσεις παραθέτονται στο Παράρτημα Β).

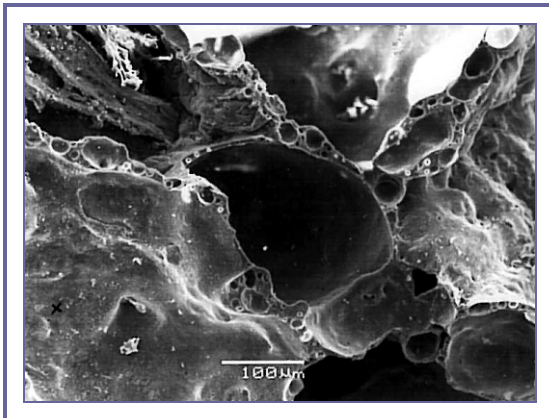
Όπως απεικονίζεται στις Εικόνες 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, χαρακτηριστικό όλων των δειγμάτων αποτελεί το έντονο πορώδες, λόγω της διόγκωσης που υφίσταται τα σφαιρίδια κατά το ψήσιμο, προσδίδοντας σε αυτά κυψελοειδή εσωτερική δομή. Τα σφαιρίδια καίγονται με ταυτόχρονη δημιουργία αερίων, εξαιτίας της καύσης του υλικού και του πριονιδίου, τα οποία μαζί με το προσροφημένο από τις αργίλους νερό που απομακρύνεται με μορφή υδρατμών, δημιουργούν πόρους στο εσωτερικό των σφαιριδίων και στην εξωτερική επιφάνεια.

Το Δείγμα I χαρακτηρίζεται από πολύ κυψελοειδή εσωτερική δομή, έντονο πορώδες, άμορφη μάζα, αλλά και απουσία μικρορωγματώσεων στην επιφάνεια του. Το Δείγμα Ia έχει αρκετά έντονο πορώδες, ενώ απουσιάζουν οι χαρακτηριστικές δομές από πριονίδι, που αναμέναμε λόγω του μεγαλύτερου ποσοστού περιεκτικότητας σε αυτό.

Το Δείγμα II παρουσιάζει και αυτό ομοιογένεια, παρόλο που στην επιφάνεια είχαμε κάποιες μικρορωγματώσεις. Δεν παρατηρούμε ορυκτά, λόγω ότι το υλικό είναι μικροκρυσταλλικό. Το Δείγμα IIa δεν έχει σχεδόν καθόλου πορώδες. Αντίθετα χαρακτηριστικές είναι οι δομές από πριονίδι. Αυτό όπως έχουμε αναφέρει και σε προηγούμενη ενότητα σημαίνει ότι το ποσοστό σε πριονίδι θα έπρεπε να είναι μικρότερο (<12%).



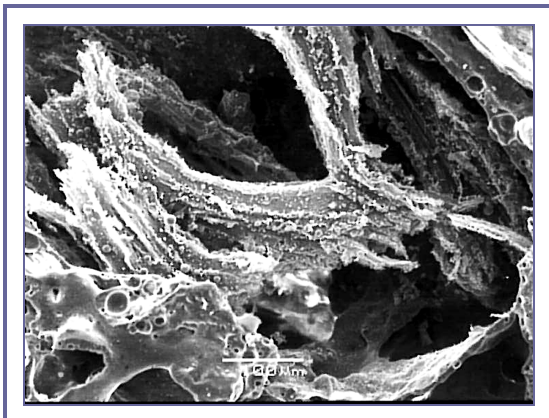
li



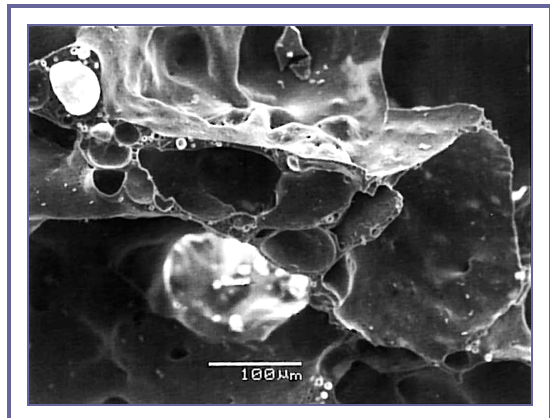
lii



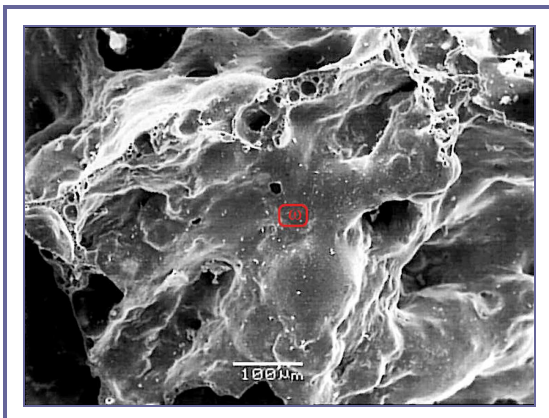
liii



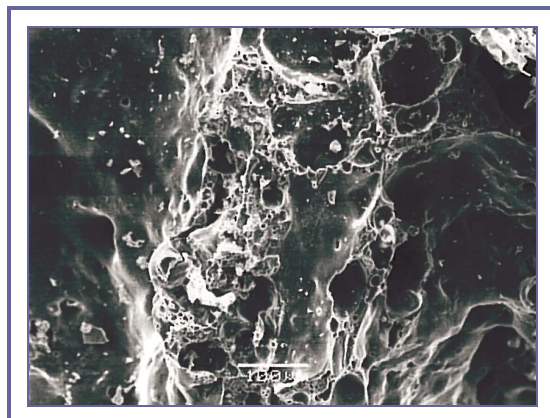
liv



lv



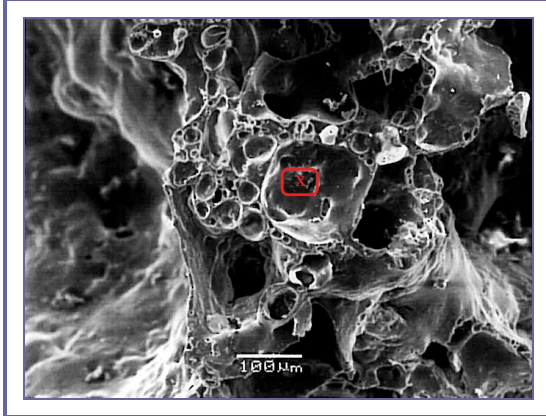
lvi



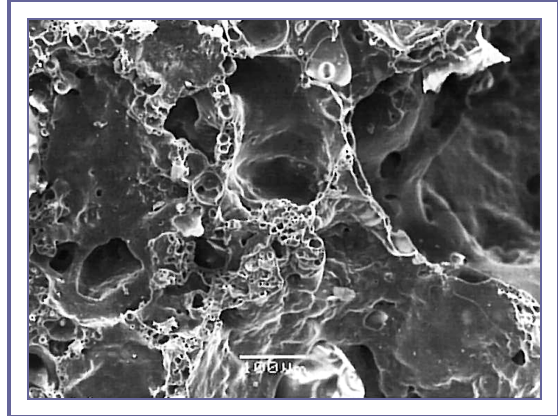
Εικόνες 5.3: Φωτογραφίες από το SEM του δείγματος Attap 1. Τα δείγματα παρουσιάζουν κυψελοειδή εσωτερική δομή, είναι άμορφα και εξωτερικά απουσιάζουν οι μικρορωγματώσεις.



Iai



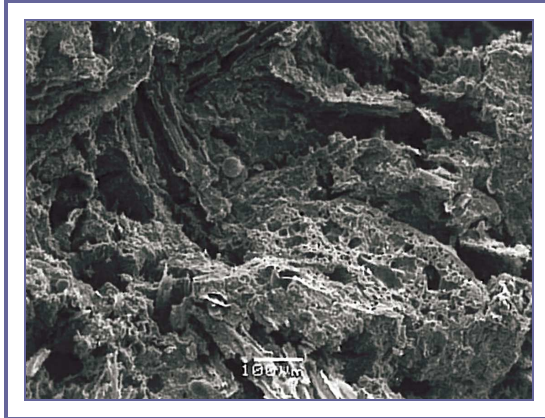
Iaii



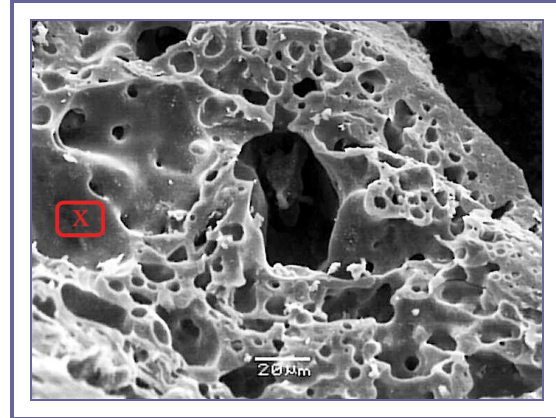
Εικόνες 4.4: Φωτογραφίες από το SEM του δείγματος Attar Ia. Το δείγμα παρουσιάζει έντονο πορώδες και παρόλη την μεγαλύτερη περιεκτικότητά του σε πριονίδι (12%), δεν εμφανίζονται μορφές από πριονίδι.



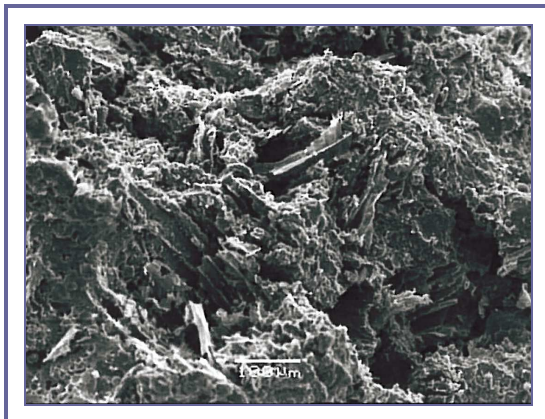
lii



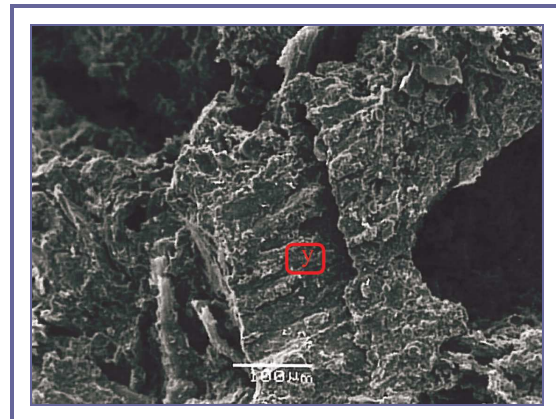
lii



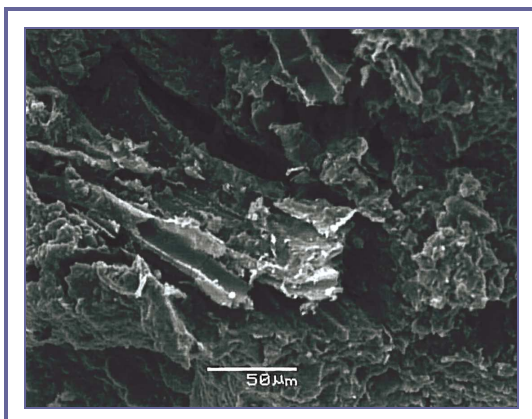
liiii



liiv



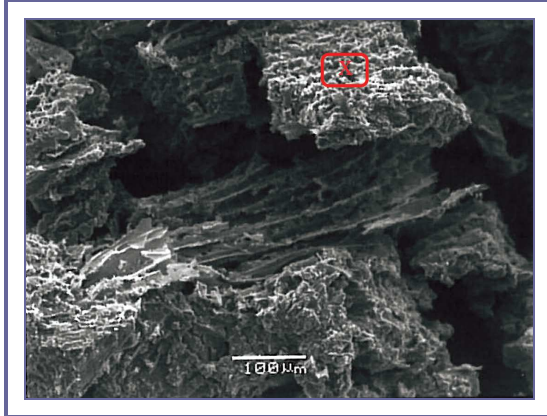
liiv



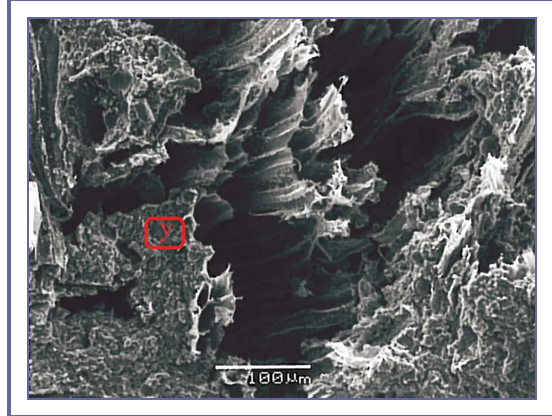
Εικόνες 4.5: Φωτογραφίες από το SEM του δείγματος Attarpl. Στα δείγματα διακρίνουμε έντονο πορώδες, εμφανίζονται μορφές πριονιδίου και δεν παρατηρούμε ορυκτά, λόγω ότι το υλικό είναι μικροκρυσταλλικό.



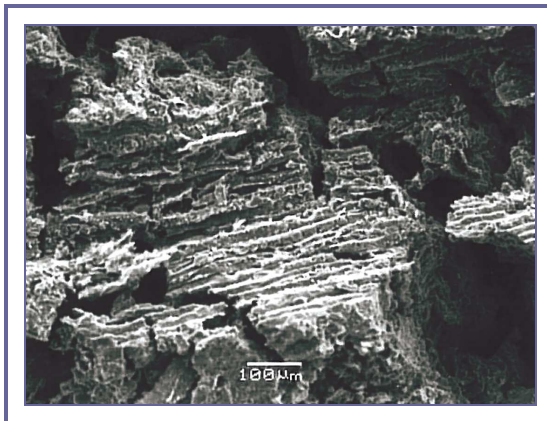
IIai



IIaii



IIaiii



Εικόνες 4.6: Φωτογραφίες από το SEM του δείγματος Attar IIa. Σε αυτά τα δείγματα σχεδόν απουσιάζει το πορώδες. Έντονες είναι οι δομές πριονιδίου.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΑΦΡΟΒΑΡΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Η γνώση των φυσικομηχανικών και τεχνικών ιδιοτήτων του υλικού δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης της συμπεριφοράς τους στις διάφορες εφαρμογές. Γενικά, ο ποιοτικός έλεγχος αναφέρεται στη σύγκριση με διαπιστευμένα υλικά και με όρια που κυκλοφορούν στην αγορά, καθώς και στατιστικούς ελέγχους των μεθόδων και των αριθμητικών αποτελεσμάτων.

Ο ποιοτικός έλεγχος των ελαφροβαρών αδρανών για βιομηχανική χρήση διαπιστώνεται από :

- Την υφή και το χρώμα των σφαιριδίων (pellets)
- Τις τιμές φαινόμενου ειδικού βάρους των σφαιριδίων (apparent density)
- Τη θλιπτική αντοχή (compressive strength)

5.2 Υφή και χρώμα σφαιριδίων (pellets)

Οι μακροσκοπικές παρατηρήσεις επί των φρυγμένων σφαιριδίων έδειξαν ότι αυτά έχουν καστανό και τεφρωπό χρώμα αντίστοιχα, όπως και τα αρχικά δείγματα ΑΤΤΑΡ I και ΑΤΤΑΡ II, που οφείλεται στη χημική τους σύσταση.

Το αρχικό δείγμα (πρώτη ύλη) *ΑΤΤΑΡ I* έχει *καστανή απόχρωση* και είναι πολύ μαλακό - εύπλαστο.

Το αρχικό δείγμα (πρώτη ύλη) *ΑΤΤΑΡ II* έχει *τεφρή απόχρωση* και έχει πιο σκληρή υφή. Παρατηρούμε ότι η εξωτερική επιφάνεια των σφαιριδίων και των δύο δειγμάτων, είναι σχεδόν λεία, με ελάχιστες μικρο - ρωγματώσεις.

Τα σφαιρίδια *Attap Ia* και *Attap IIa*, που αποτελούνται από **πριονίδι** περισσότερο (**12%**), είναι πιο ελαφριά από τα σφαιρίδια *Attap I* και *Attap II* με **πριονίδι** (**5%**), βγήκαν πιο σκούρα μετά την όπτηση τους στον εργαστηριακό φούρνο, έβγαζαν έντονο καπνό και μύριζαν έντονα (αναθυμιάσεις).

Τα σφαιρίδια του *Attap Ia* βγήκαν περισσότερο μαύρα, που σημαίνει ότι δεν έχουν ψηθεί καλά και πιθανόν να είναι απαραίτητη μεγαλύτερη διάρκεια έψησης ή χρήση μικρότερης ποσότητας πριονιδίου. Τα σφαιρίδια του *Attap IIa* παρουσίαζαν λωρίδες, γιατί πιθανόν και αυτά να χρειάζονταν περισσότερο χρόνο στο φούρνο ή χρήση λιγότερου πριονιδίου. Κατά τη θραύση των δειγμάτων, όπως φαίνεται στις



φωτογραφίες στο Παράρτημα Β, παρατηρούμε ότι αυτά είναι ιδιαίτερα μαύρα, γεγονός που ενισχύει τον ισχυρισμό για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα όπτησης ή λιγότερο πριονίδι.

5.3 Εύρεση φαινόμενου ειδικού βάρους

Ο υπολογισμός του φαινόμενου ειδικού βάρους ρ_{ϕ} (g / cm^3) των σφαιριδίων έγινε στο εργαστήριο του Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας του Πανεπιστημίου Αθηνών. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση ογκομετρικού κυλίνδρου (γυάλινος κύλινδρος 1 lt) και ηλεκτρονικού ζυγού (Πίνακας 5.1).

Φαινόμενο ειδικό βάρος είναι ο λόγος του βάρους του υλικού προς τον όγκο του και υπολογίζεται από τον τύπο που ακολουθεί:

$$\rho_{\phi} = B_{\mu} / V_{\theta}$$

όπου :

- ρ_{ϕ} : το φαινόμενο ειδικό βάρος
 B_{μ} : το μετρούμενο βάρος του υλικού
 V_{θ} : ο θεωρητικός όγκος του υλικού

Επιπλέον, ο θεωρητικός όγκος του υλικού δίνεται από τον τύπο:

$$V_{\theta} = 4/3 \pi r_{\theta}^3$$

Η θεωρητική διάμετρος d_{θ} ($= 2 r_{\theta}$), που προκύπτει από την εφαρμογή του παραπάνω τύπου, παρουσιάζει μικρή απόκλιση από τη μετρούμενη διάμετρο και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ο τύπος για τον υπολογισμό του θεωρητικού όγκου των επιμέρους φρυγμένων σφαιριδίων των δειγμάτων.

Πίνακας 5.1: Μετρήσεις και υπολογισμός του φαινόμενου ειδικού βάρους ρ_{ϕ} (g / cm^3).

	V_{θ}	B_{μ} (g)	Φαινόμενο ειδικό βάρος ρ_{ϕ} (g/cm^3)
Attap I (5%)	800	293	0,37
Attap II (5%)	1.000	430	0,43
Attap Ia (12%)	400	187	0,47
Attap IIa (12%)	400	183	0,46

Attap I και Attap II (5% πριονίδι), Attap Ia και Attap IIa (12% πριονίδι)



Το φαινόμενο ειδικό βάρος αποτελεί ιδιότητα των δομικών υλικών, η οποία σε συνδυασμό με το πάχος τους καθορίζει την επιβάρυνση της κατασκευής.

Όσο αυξάνεται η πυκνότητα του δείγματος, τόσο μικρότερο είναι το πορώδες, ενώ αντιστρόφως ανάλογη αυτού είναι η ανθεκτικότητα του. Η ανθεκτικότητα των δειγμάτων σε σύγκριση με το φαινόμενο ειδικό βάρος, θα μελετηθεί στην επόμενη παράγραφο, με χαρακτηριστικά διαγράμματα.

Η ύπαρξη μεγάλου πορώδους (μικρή πυκνότητα) σημαίνει ότι το υλικό είναι δυνατό να εμποτιστεί με υγρά πιο εύκολα, τα οποία σε περίπτωση θερμοκρασιακών μεταβολών μπορούν να προκαλέσουν διάρρηξη και αποκόλληση του υλικού. Αυτός ο παράγοντας αποτρέπει τη χρησιμοποίηση των αδρανών ως υλικά σκυροδέματος, κονιάματος, ασφαλτομιγμάτων οδοποιίας.

Τα συγκεκριμένα αδρανή του ατταπουλγίτη είναι αδύνατο να χρησιμοποιηθούν ως υλικά σκυροδέματος, επειδή έχουν πυκνότητα μικρότερη από 2000 kg/m^3 .

Αντιθέτως, αν κάποιο δείγμα έχει μικρή πυκνότητα (μεγάλο πορώδες) και παρόλα αυτά παρουσιάζει μεγάλο όριο θραύσης, θεωρείται ιδανικό για κάποιες χρήσεις.

5.4 Δοκιμές αντοχής σφαιριδίων (pellets)

Με αυτές τις δοκιμές υπολογίζεται το απαιτούμενο φορτίο θραύσης $N(g)$, για το κάθε σφαιρίδιο, συγκεκριμένου βάρους $B (g)$ και διαμέτρου $d (mm)$. Οι δοκιμές αυτές έγιναν σε ικανό αριθμό σφαιριδίων, με διαφορετικές διαμέτρους για κάθε δείγμα αντίστοιχα. Επειδή, η επιφάνεια του κάθε σφαιριδίου θεωρείται μοναδιαία (1 mm^2), το φορτίο θραύσης υπολογίζεται σε $g (N = g/ \text{mm}^2)$.

Αντοχή σε θλίψη ενός υλικού είναι η αντίσταση που παρουσιάζει αυτό στις μηχανικές επιδράσεις, οι οποίες τείνουν να το παραμορφώσουν ή να το θλίψουν. Η ιδιότητα αυτή καθορίζει την καταλληλότητα του υλικού για τις διάφορες χρήσεις, που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ως αντοχή σε θλίψη ορίζεται ο λόγος του συνολικού φορτίου, που ασκείται σε ένα δοκίμιο, προς το εμβαδό της διατομής του και εξαρτάται κυρίως, από τα χαρακτηριστικά της σύστασης και της δομής του. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή του είναι:

- Το πορώδες και η πυκνότητα.
- Το μέγεθος και το σχήμα των κόκκων.
- Η ορυκτολογική του σύσταση.



Στον πίνακα 5.2, αναγράφονται οι μέσες τιμές των φυσικών ιδιοτήτων των ελαφρών αδρανών, ενώ στο Παράρτημα Β παραθέτονται αναλυτικοί πίνακες με μετρήσεις των τιμών όλων των σφαιριδίων, για το κάθε δείγμα.

Πίνακας 5.2: Μέσες τιμές των φυσικών ιδιοτήτων των ελαφρών αδρανών με διαμέτρους 10-15 mm, 15-20 mm, 20-25 mm.

Μέσες Τιμές		B _μ (g)	N _μ (g)	ρ _φ (g/cm ³)	V _θ (mm ³)	V _θ (cm ³)	r _θ (mm)	d _θ (mm)
d _θ = 10-15 mm	Attap I	0,37	1.263	0,29	1.279,33	1,28	6,73	13,46
	Attap II	0,71	1.654	0,47	1.506,70	1,51	7,11	14,23
	Attap Ia	0,54	388	0,42	1.297,35	1,30	6,77	13,53
	Attap IIa	0,69	880	0,43	1.594,13	1,59	7,25	14,50
d _θ = 15-20 mm	Attap I	0,98	1.487	0,37	2.647,72	2,65	8,58	17,17
	Attap II	1,34	1.502	0,44	3.037,69	3,04	8,99	17,97
	Attap Ia	1,01	503	0,46	2.206,48	2,21	8,08	16,16
	Attap IIa	1,07	906	0,46	2.323,20	2,32	8,22	16,44
d _θ = 20-25 mm	Attap I	2,89	1.614	0,45	6.420,94	6,42	11,53	23,06
	Attap II	1,63	1.160	0,37	4.399,51	4,40	10,17	20,33
	Attap Ia	1,57	654	0,52	2.266,33	3,02	8,97	17,94
	Attap IIa	1,74	995	0,48	3.628,57	3,63	9,53	19,06

όπου:

Attap I και Attap II (5% πριονίδι), Attap Ia και Attap IIa (12% πριονίδι)

B_μ: μετρούμενο βάρος υλικού, N_μ: μετρούμενο φορτίο θραύσης, ρ_φ: φαινόμενο ειδικό βάρος,

V_θ: θεωρητικός όγκος, r_θ: θεωρητική ακτίνα, d_θ: θεωρητική διάμετρος.

Με τη βοήθεια των μετρήσεων αυτών, κατασκευάστηκαν πίνακες και διαγράμματα μεταξύ των φυσικών ιδιοτήτων των αδρανών, από τα οποία είναι δυνατόν να εξαγάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα.

5.4.1 Συσχέτιση φορτίου θραύσης και διαμέτρου

Από τις μετρήσεις που αναγράφονται στον Πίνακα 5.3, προέκυψαν τα διαγράμματα διασποράς του Σχήματος 5.1. Όμως, παρατηρώντας τα διαγράμματα αυτά, δεν είναι δυνατό να εξάγουμε ακριβή συμπεράσματα. Προφανώς, μετρήσεις σε μεγαλύτερο αριθμό φρυγμένων σφαιριδίων θα οδηγούσε σε πιο ασφαλή συμπεράσματα. Παρόλα αυτά, χρησιμοποιώντας την γραμμή τάσης για κάθε ένα



διάγραμμα καθίσταται εφικτή η συσχέτιση του φορτίου θραύσης και της διαμέτρου των φρυγμένων σφαιριδίων.

Όσον αφορά το δείγμα Attap I (ανάμειξη με πριονίδι σε ποσοστό 5%), η γραμμή τάσης δείχνει μείωση του φορτίου θραύσης, με παράλληλη αύξηση της διαμέτρου. Το ίδιο συμβαίνει και για το δείγμα Attap II, μόνο που η γραμμή τάσης παρουσιάζει μεγαλύτερη κλίση.

Στα δείγματα Attap Ia και Attap IIa (ανάμειξη με πριονίδι σε ποσοστό 12%), κατά την αύξηση της διαμέτρου των σφαιριδίων πραγματοποιείται αύξηση του φορτίου θραύσης, σύμφωνα με την γραμμή τάσης.

Ακολουθώς ο πίνακας 5.4 και το ραβδόγραμμα του σχήματος 5.2 παρουσιάζουν τη σχέση της μέσης τιμής του φορτίου θραύσης ανά κατηγορία διαμέτρου των φρυγμένων σφαιριδίων. Για το Attap I διαπιστώνεται αύξηση της μέσης τιμής του φορτίου θραύσης κατά την αύξηση της διαμέτρου των δειγμάτων. Το ίδιο συμβαίνει και για τα δείγματα Attap Ia και Attap IIa.

Για το Attap II μειώνεται η μέση τιμή του φορτίου θραύσης κατά την αύξηση της διαμέτρου. Τα αποτελέσματα των μέσων τιμών για το Attap I διαφέρουν συνεπώς από το αποτέλεσμα της γραμμής τάσης του, στο σχήμα 5.1. Το σημείο αυτό είναι προβληματικό και απαιτεί περισσότερη έρευνα.

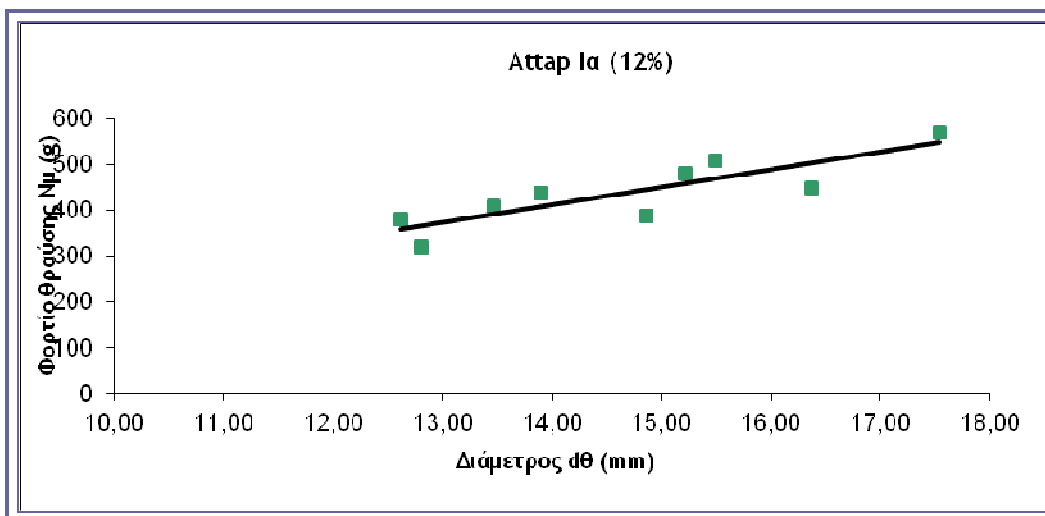
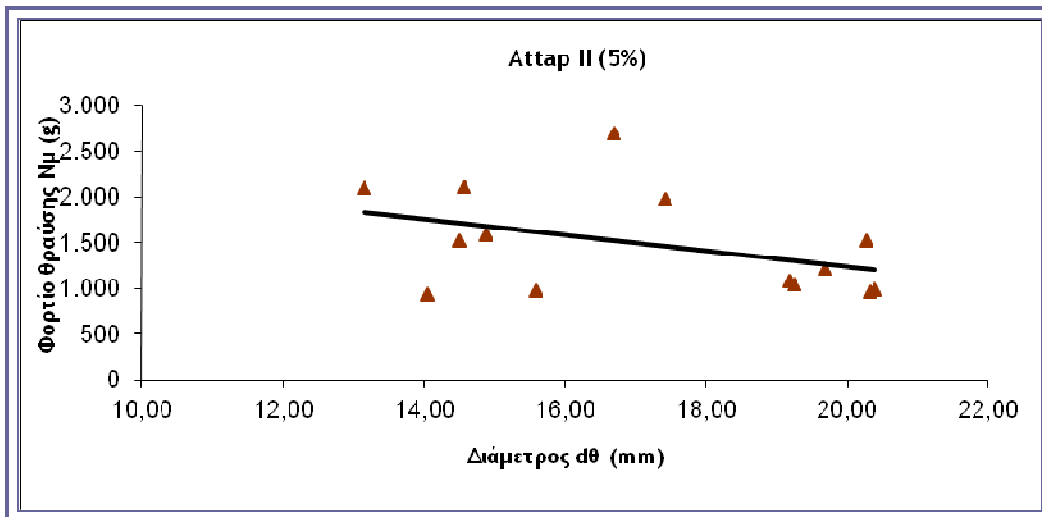
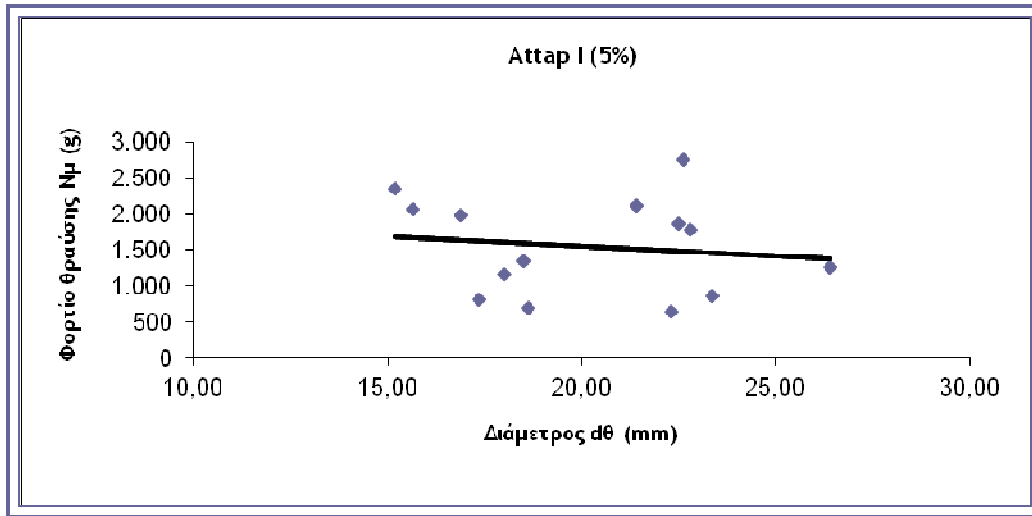
Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4 για τα δείγματα Attap I, Attap Ia, Attap IIa αυξάνεται η μέση τιμή του φορτίου θραύσης. Σε συνδυασμό με την αύξηση της μέσης διαμέτρου, που αντιστοιχεί σε αύξηση του όγκου και επομένως αύξηση του πορώδους, αυτά τα δείγματα θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως αρκετά ανθεκτικά. Αντίθετα, στο Attap II, κατά την αύξηση της διαμέτρου, δηλαδή του πορώδους, μειώνεται το φορτίο θραύσης του, γεγονός που το καθιστά μη ανθεκτικό στην άσκηση φορτίου.

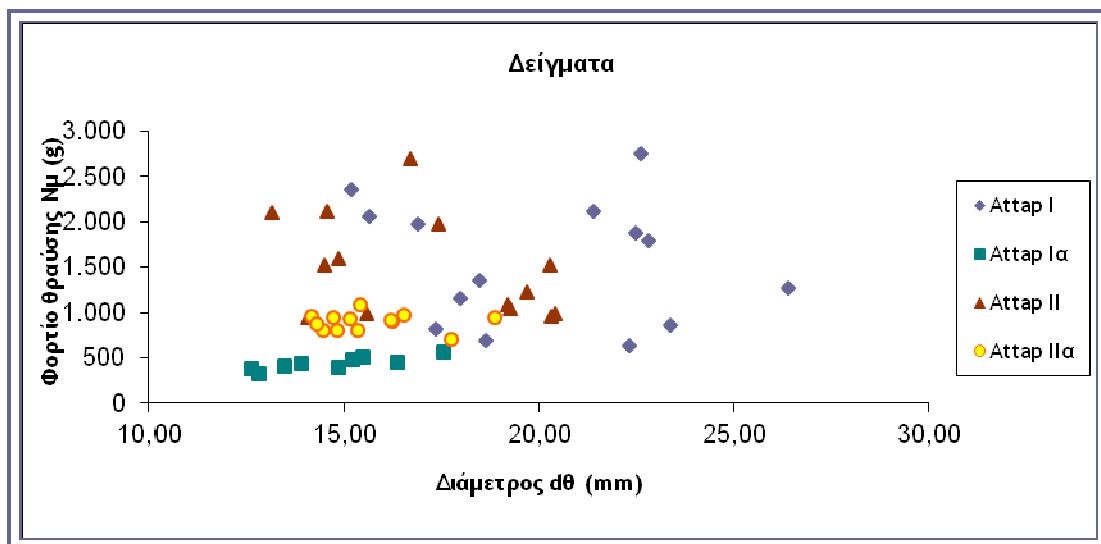
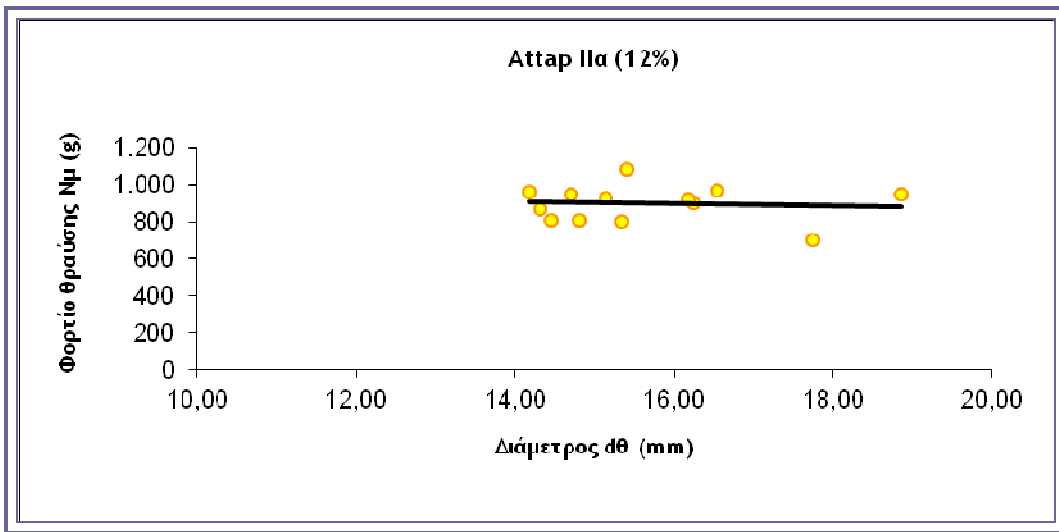


Πίνακας 5.3: Σχέση φορτίου θραύσης N (g) με τη διάμετρο d (mm) των φρυγμένων σφαιριδίων για τα μελετημένα δείγματα

Ατταρ I														
Διάμετρος	26,40	22,32	21,41	22,50	15,17	18,49	17,34	22,81	18,63	23,38	22,63	16,90	15,65	
Φορτίο θραύσης	1.270	640	2.120	1.870	2.350	1.350	820	1.790	690	860	2.750	1.980	2.060	
Ατταρ II														
Διάμετρος	16,69	13,15	14,87	17,42	14,05	15,59	19,25	19,19	14,56	19,69	14,50	20,28	20,32	20,40
Φορτίο θραύσης	2.700	2.100	1.590	1.980	940	980	1.040	1.090	2.110	1.220	1.530	1.530	960	990
Ατταρ Ia														
Διάμετρος	12,62	15,22	13,90	15,49	16,37	12,81	13,47	17,54	14,87					
Φορτίο θραύσης	380	480	440	510	450	320	410	570	390					
Ατταρ IIa														
Διάμετρος	14,46	18,87	16,54	14,71	15,14	14,18	14,82	16,25	17,74	15,34	14,31	16,19	15,41	
Φορτίο θραύσης	810	950	970	950	930	960	810	900	700	800	870	920	1.080	

Ατταρ I και Ατταρ II (5% πριονίδι), Ατταρ Ia και Ατταρ IIa (12% πριονίδι)





Σχήμα 5.1: Διαγράμματα διασπορών για τη συσχέτιση φορτίου θραύσης N (g) με τη διάμετρο d (mm) των φρυγμένων σφαιριδίων για τα τέσσερα δείγματα.

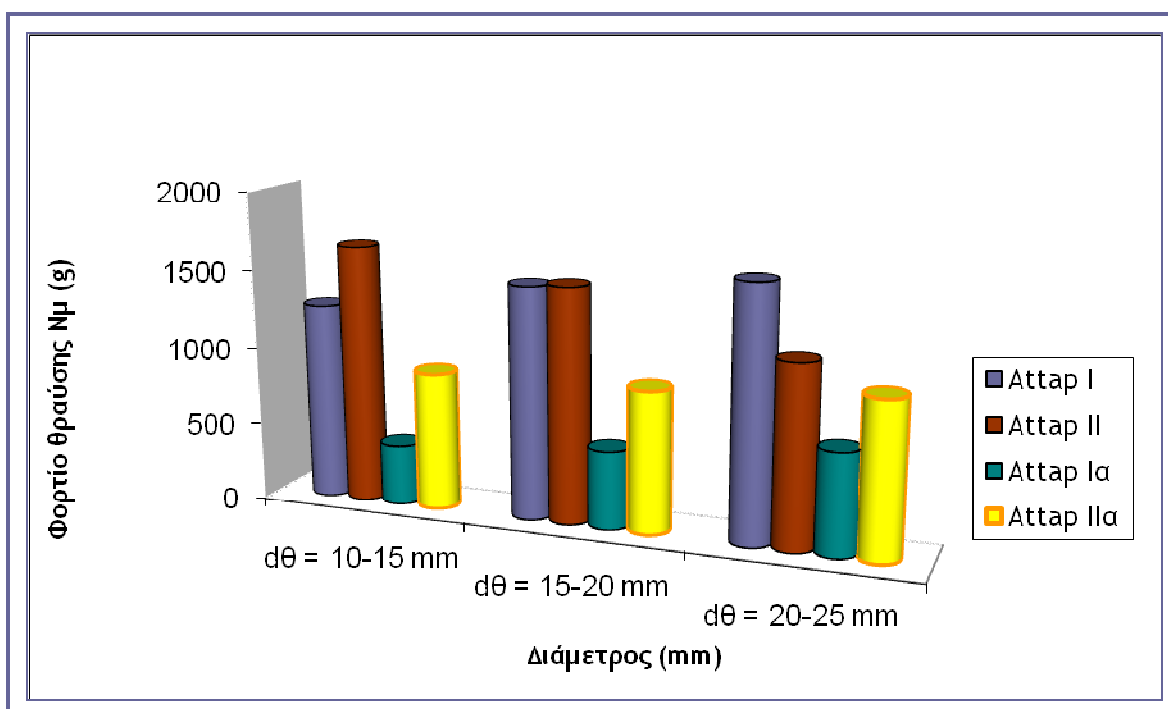
Όπου Attap I και Attap II (5% πριονίδι), Attap Ia και Attap IIa (12% πριονίδι)



Πίνακας 5.4: Σχέση μέσης τιμής φορτίου θραύσης N (g) ανά κατηγορία διαμέτρου d (mm) των φρυγμένων σφαιριδίων για τα μελετημένα δείγματα

	Μέση τιμή φορτίου θραύσης (g)		
	$d\theta = 10-15$ mm	$d\theta = 15-20$ mm	$d\theta = 20-25$ mm
Attap I	1.263	1.487	1.614
Attap II	1.654	1.502	1.160
Attap Ia	388	503	654
Attap IIa	880	906	995

Attap I και Attap II (5% πριονίδι), Attap Ia και Attap IIa (12% πριονίδι)



Σχήμα 5.2: Ραβδόγραμμα συσχέτισης μέσης τιμής φορτίου θραύσης N (g) ανά κατηγορία διαμέτρου d (mm) των φρυγμένων σφαιριδίων για τα τέσσερα δείγματα

Όλα τα ανωτέρω συνδυάζονται και συγκρίνονται με παρατηρήσεις των κατωτέρω ενοτήτων του συγκεκριμένου κεφαλαίου, με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων και ακριβέστερων θέσεων.

5.4.2 Συσχέτιση φαινομένου ειδικού βάρους και διαμέτρου

Από τον πίνακα 5.5 και το ραβδόγραμμα του Σχήματος 5.3 διαπιστώνουμε ότι όσον αφορά το δείγμα Attap II, όσο αυξάνεται η διάμετρος των σφαιριδίων, τόσο



μειώνεται η πυκνότητα του, που σημαίνει ότι τα μεγαλύτερης διαμέτρου φρυγμένα σφαιρίδια του δείγματος, παρουσιάζουν αυξημένο πορώδες. Για τα σφαιρίδια των υπόλοιπων δειγμάτων, η αύξηση της διαμέτρου συνεπάγεται μείωση του πορώδους κατά την όπτηση.

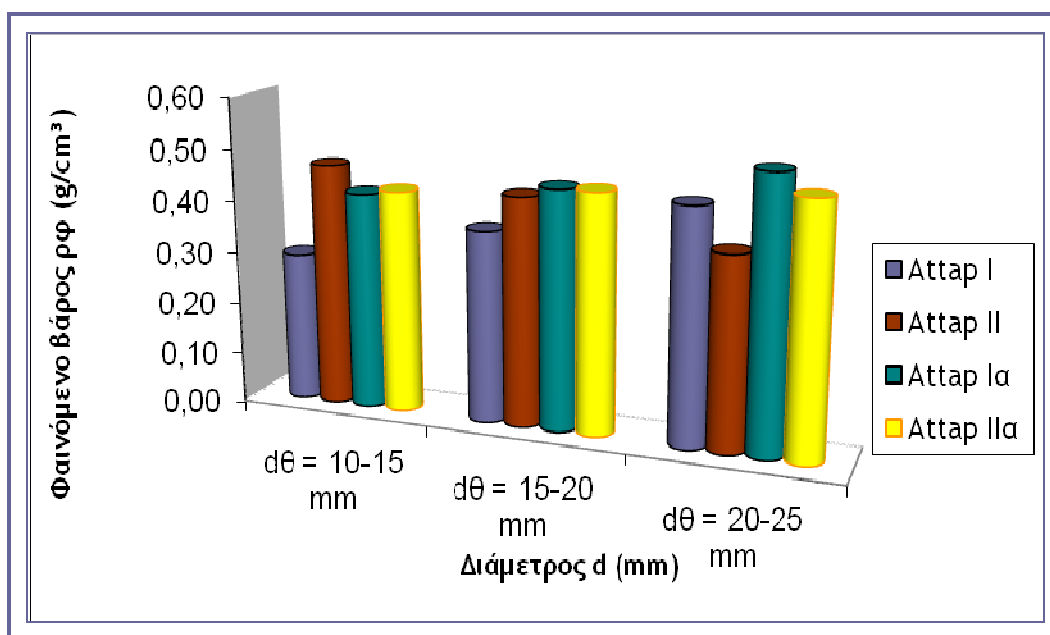
Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί ότι οι αυξομειώσεις του φαινόμενου ειδικού βάρους σε σύγκριση με τη διάμετρο των σφαιριδίων κυμαίνεται μεταξύ $0,02 \text{ g/cm}^3$ - $0,08 \text{ g/cm}^3$. Η μεγαλύτερη αύξηση του φαινόμενου ειδικού βάρους ρ_ϕ παρατηρήθηκε στα σφαιρίδια του δείγματος Attap I ($0,08$).

Τέλος, οι τιμές του φαινόμενου ειδικού βάρους είναι μικρότερες από 2 g/cm^3 , που αποτελεί το επιθυμητό αποτέλεσμα, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα.

Πίνακας 5.5: Σχέση μέσης τιμής φαινόμενου ειδικού βάρους ρ_ϕ (g/cm^3) με τη διάμετρο d (mm) των σφαιριδίων των δειγμάτων.

	Μέση τιμή φαινόμενου ειδικού βάρους (g/cm^3)		
	$d\theta = 10-15 \text{ mm}$	$d\theta = 15-20 \text{ mm}$	$d\theta = 20-25 \text{ mm}$
Attap I	0,29	0,37	0,45
Attap II	0,47	0,44	0,37
Attap Ia	0,42	0,46	0,52
Attap IIa	0,43	0,46	0,48

Attap I και Attap II (5% πριονίδι), Attap Ia και Attap IIa (12% πριονίδι)



Σχήμα 5.3: Ραβδόγραμμα συσχέτισης μέσης τιμής φαινόμενου ειδικού βάρους ρ_ϕ (g/cm^3) με τη διάμετρο d (mm) των σφαιριδίων των τεσσάρων δειγμάτων.



5.4.3 Συσχέτιση φαινομένου ειδικού βάρους και φορτίου θραύσης

Στον πίνακα 4.6, καθώς και στο αντίστοιχο σχήματα 5.4, 5.5, 5.6 παρατηρούμε ότι στα δείγματα Attap I, Attap Ia, Attap IIa, κατά την αύξηση της διαμέτρου, όσο αυξάνεται η πυκνότητα τους, τόσο αυξάνεται η θλιπτική τους αντοχή. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερη πυκνότητα έχουν αυτά, τόσο πιο ανθεκτικά είναι στη συμπίεση. Όμως, αύξηση της διαμέτρου, οδηγεί σε αύξηση του όγκου τους (αύξηση του πορώδους), αναμένοντας μείωση της πυκνότητας των δειγμάτων, το οποίο όμως δεν συμβαίνει. Βέβαια, η πυκνότητα είναι μέσα στα επιθυμητά χαμηλά όρια τιμών. **Στόχος των εργαστηριακών πειραμάτων είναι να επιτευχθεί ιδανικός συνδυασμός χαμηλής φαινόμενης πυκνότητας και σχετικά υψηλής θλιπτικής αντοχής.**

Το δείγμα Attap II είναι το λιγότερο ανθεκτικό γιατί κατά την αύξηση της διαμέτρου, το φαινόμενο ειδικό βάρος και η θλιπτική αντοχή μειώνονται.

Στον πίνακα 5.6 και τα σχήματα 5.4, 5.5, 5.6, το δείγμα Attap I παρουσιάζει την ιδιαιτερότητα, ότι ενώ εμφανίζει το μικρότερο φαινόμενο ειδικό βάρος (μεγαλύτερο πορώδες) σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα, παρουσιάζει το μεγαλύτερο όριο θραύσης. Στοιχείο που το καθιστά ιδανικότερο για τη χρήση του σε διάφορες εφαρμογές. Το Attap I, όπως παρατηρήσαμε και σε προηγούμενη ενότητα, παρουσιάζει πολύ καλά εξωτερικά χαρακτηριστικά και καλή μικροδομή και σε αυτό πιθανόν να οφείλεται η δεδομένη συμπεριφορά του στη θραύση.

Επιπλέον, όπως φαίνεται στο Παράρτημα Β, αρκετά από τα δείγματα έχουν σπάσει κατά τη δοκιμή θραύσης. Αυτό πιθανόν οφείλεται στο πολύ μεγάλο πορώδες τους. Επομένως, το συγκεκριμένο υλικό από ατταπουλγίτη είναι ιδανικό για μονώσεις. Από την άλλη πλευρά όμως, οι αντοχές που δίνουν τα υγιή δείγματα είναι αρκετά καλές, ειδικά αν συγκριθούν με άλλα πρότυπα υλικά, όπως θα διαπιστώσουμε στο Κεφάλαιο 6. Έτσι, αυτά θα ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθούν στη δημιουργία μπετόν. Όμως, πρέπει όλοι οι παράγοντες που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους του συγκεκριμένου κεφαλαίου να συνεκτιμηθούν, ώστε να προκύψουν πιο ασφαλή συμπεράσματα.

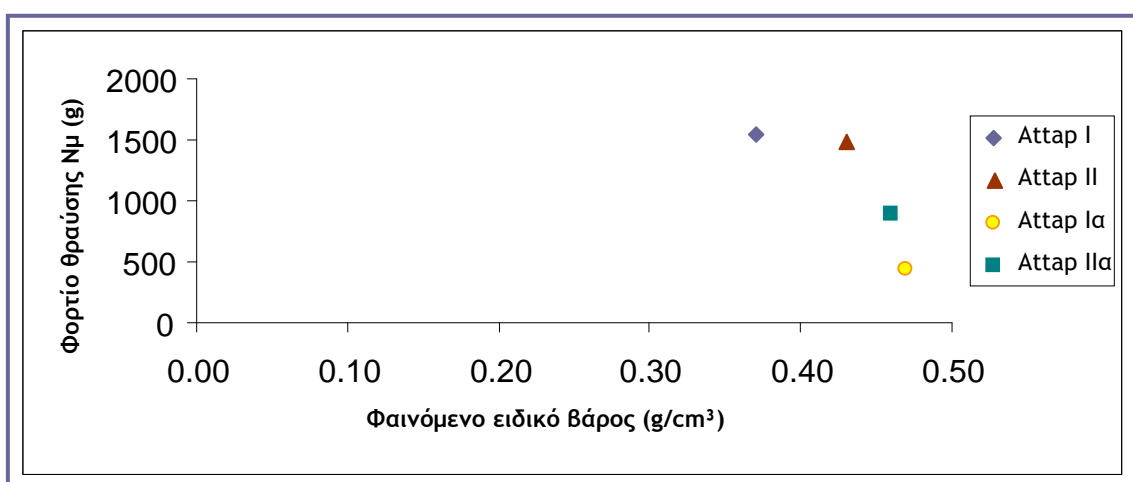
Επίσης, είναι αναγκαίες οι μετρήσεις σε περισσότερα δείγματα, αλλά και η όπτηση των δειγμάτων στον εργαστηριακό φούρνο για διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Θα μπορούσαμε να διαπιστώσουμε για παράδειγμα, αν δημιουργούνται περισσότερες κενές κοιλότητες κατά την αύξηση της διάρκειας της θέρμανσης.



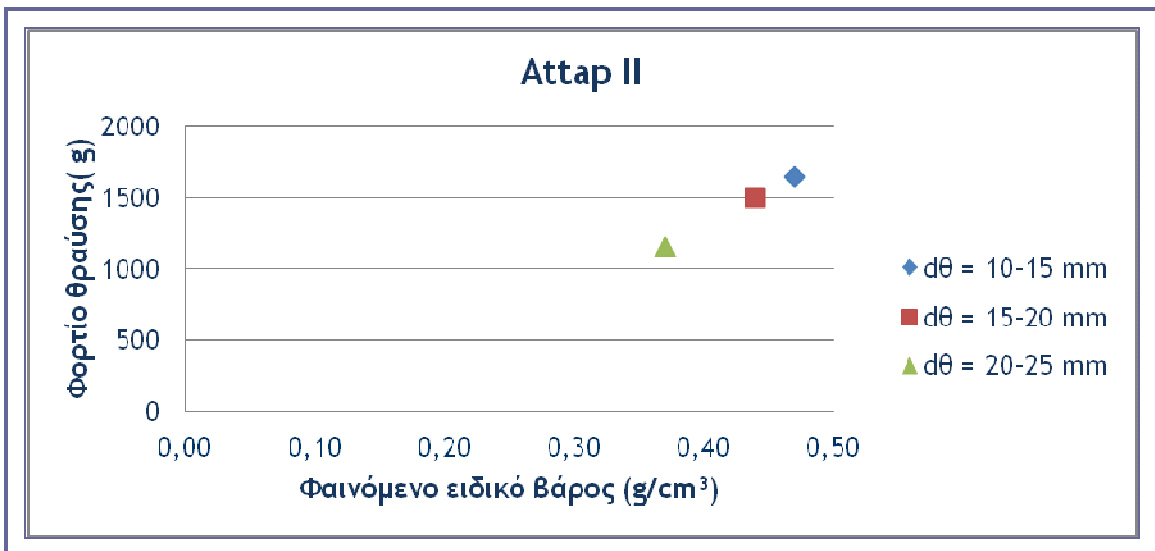
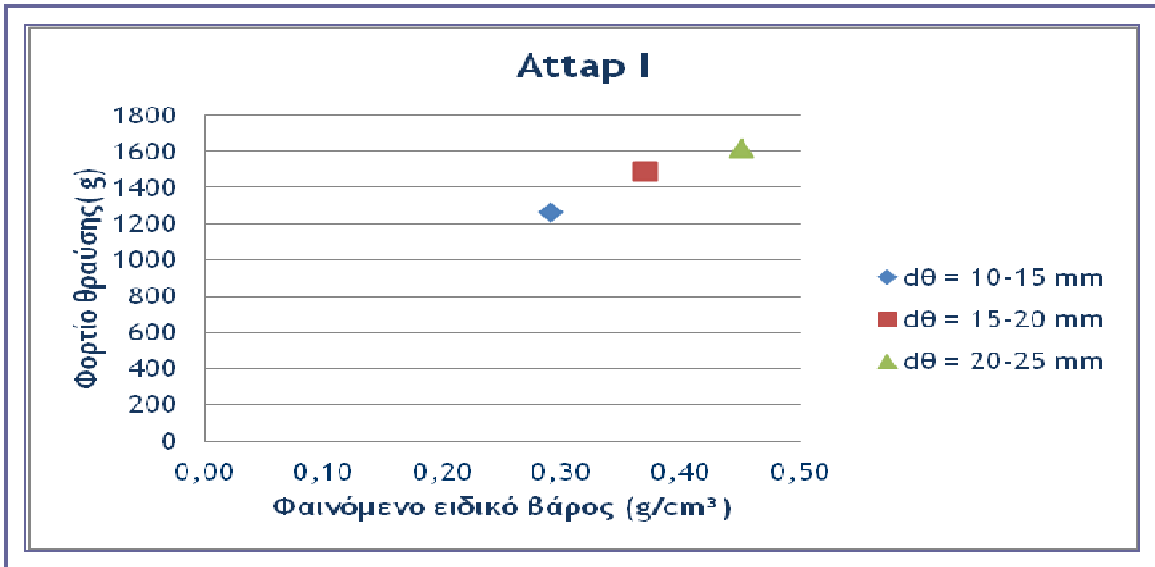
Πίνακας 5.6: Σχέση φαινόμενου ειδικού βάρους ρ_ϕ (g/cm^3) με το φορτίο θραύσης (g) των σφαιριδίων των δειγμάτων.

	Φαινόμενο ειδικό Βάρος (g/ml)	Φορτίο θραύσης (μέση τιμή) (g)
Attap I	0,37	1551
Attap II	0,43	1483
Attap Ia	0,47	439
Attap IIa	0,46	896

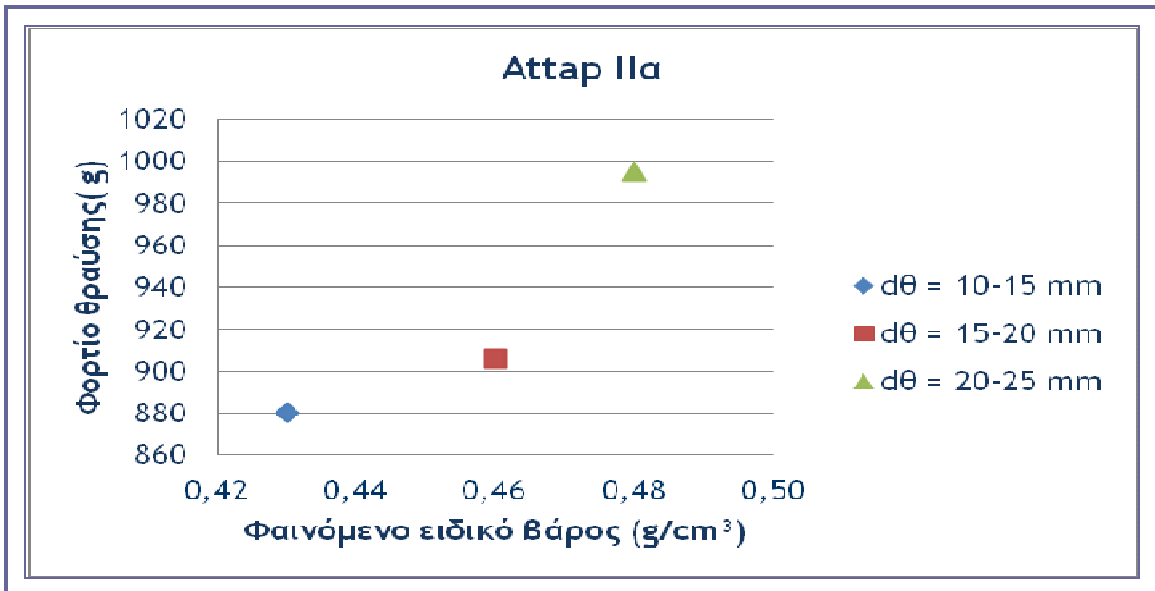
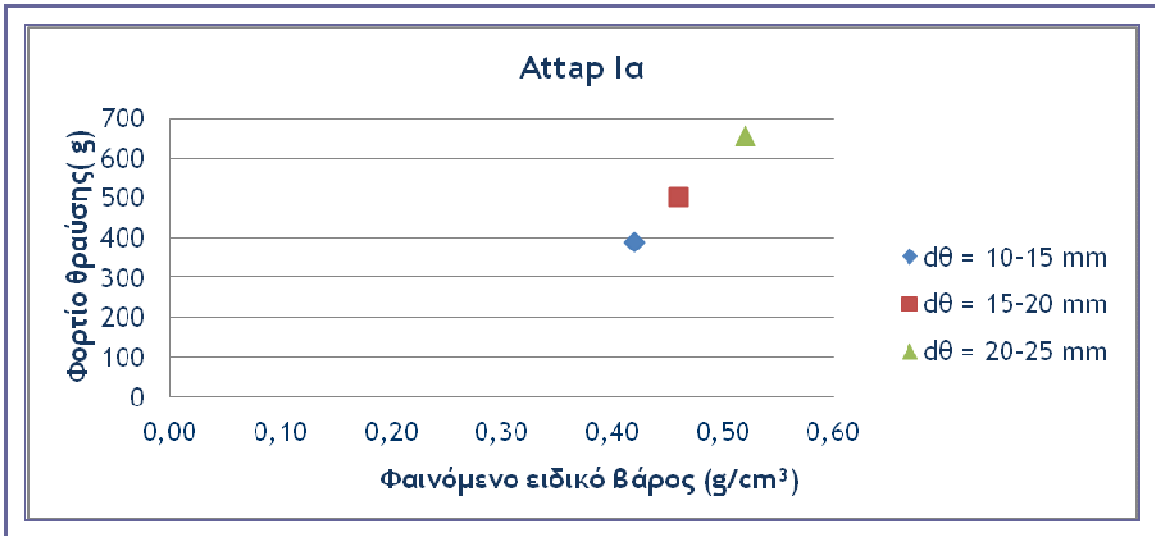
Attap I και Attap II (5% πριονίδι), Attap Ia και Attap IIa (12% πριονίδι)



Σχήμα 5.4: Διάγραμμα διασποράς για τη συσχέτιση μέσων τιμών του φαινόμενου ειδικού βάρους ρ_ϕ (g/cm^3) με τις μέσες τιμές του φορτίου θραύσης (g) των δειγμάτων.



Σχήμα 5.5: Διαγράμματα διασποράς για τη συσχέτιση μέσω των τιμών του φαινομένου ειδικού βάρους ρ_{ϕ} (g/cm^3) με τις μέσες τιμές του φορτίου θραύσης (g) των δειγμάτων, ανά κατηγορία διαμέτρου, για τα δείγματα με πριονίδι 5%.



Σχήμα 5.6: Διαγράμματα διασποράς για τη συσχέτιση μέσω των τιμών του φαινομένου ειδικού βάρους ρ_{ϕ} (g/cm³) με τις μέσες τιμές του φορτίου θραύσης (g) των δειγμάτων, ανά κατηγορία διαμέτρου, για τα δείγματα με πριονίδι 12%.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΜΕ ΆΛΛΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ

6.1 Εισαγωγή

Ενδείκνυται η σύγκριση των αποτελεσμάτων, αφενός της χημικής σύστασης και αφετέρου της αντοχής σε θλίψη αυτών των δειγμάτων με εμπορικά ελαφροβαρή αδρανή, καθώς και με αδρανή από τον Ελλαδικό χώρο, που βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο. Παρατηρείται, ανεξάρτητα από το είδος των αδρανών του Ελλαδικού χώρου, ότι τα εργαστηριακά ελαφροβαρή αδρανή παρουσιάζουν παρόμοιες ιδιότητες (πυκνότητα, αντοχή) με τα εμπορικά. Σύγκριση ωστόσο πραγματοποιείται και στις χημικές αναλύσεις των αρχικών εδαφικών δειγμάτων και άλλων υλικών από τον Ελλαδικό χώρο που έχουν χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή ελαφροβαρών αδρανών.

6.2 Συγκρίσεις χημικών αναλύσεων

Ελαφροβαρή αδρανή από διογκούμενες αργίλους (Light Expanded Clay Aggregate) παράγονται από την Dansk Leca A/S, στην Κοπεγχάγη της Δανίας από το 1939, με την ονομασία LECA. Στη Δανία παράγονται επίσης και τα ελαφροβαρή αδρανή Optiroc. LECA κατασκευάζονται σύμφωνα με τις ίδιες αρχές στην Αλγερία, Αργεντινή, Αυστρία, Βέλγιο, Κίνα, Αίγυπτο, Φινλανδία, Ιράν, Ιταλία, Νορβηγία, Πορτογαλία, Σουηδία, Ρωσία, Η.Π.Α. και Καναδά.

Χαρακτηρίζονται από:

- Υψηλή περιεκτικότητα σε οξειδία του σιδήρου (Fe_2O_3).
- Η περιεκτικότητα στο σύνολο των CaO και MgO είναι μικρότερη από 6%
- Καλή πλαστικότητα στις θερμοκρασίες των 1100 - 1200 °C.
- Υψηλό περιεχόμενο στη μικτή φάση μοντμοριλονίτη/ιλίτη

Ο παλυγορσκίτης (ατταπουλγίτης) - σαπωνίτης της λεκάνης των Βεντζίων είναι πλούσιος σε μαγνήσιο (Mg) και σίδηρο (Fe) και φτωχός σε αργίλιο (Al), σε αντίθεση με τον παλυγορσκίτη της Ισπανίας (Torres - Ruiz et al., 1994) και τον ατταπουλγίτη της Γεωργίας των ΗΠΑ (Jones and Galan, 1988). Αυτό σημαίνει ότι προέρχονται πιθανόν από περιδοτίτες του υπόβαθρου της λεκάνης των Βεντζίων, που έχουν παρόμοιες περιεκτικότητες. Και τα ελαφροβαρή αδρανή της περιοχής Bahra του Kuwait περιέχουν σημαντική ποσότητα οξειδίων του αργιλίου (Al_2O_3), που



προσεγγίζει το όριο του 17%, ώστε να διαμορφώνεται υαλώδης φάση με ικανοποιητικό ιξώδες, που να μπορεί να παγιδέψει τα διάφορα αέρια. Υαλώδη φάση συναντήσαμε στα δείγματα των φρυγμένων σφαιριδίων με περιεχόμενο σε πριονίδι 5% (Attap I και Attap II).

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο II, από τα αργιλικά ορυκτά, ο μπεντονίτης είναι αυτός ο οποίος παρουσιάζεται ανταγωνιστικός ως προς τον ατταπουλγίτη, εξαιτίας των παρόμοιων ιδιοτήτων τους. Τα δύο ορυκτά χαρακτηρίζονται από σημαντική δεσμευτική ικανότητα, τόσο για τα μόρια νερού, όσο και για οποιαδήποτε διπολικά μόρια ή κατιόντα ή τις ενυδατωμένες μορφές τους (Heinilin and Murray 1994). Με τον όρο αυτό αναφερόμαστε στις διεργασίες απορρόφησης, προσρόφησης και επιφανειακής επικάθισης ιόντων και ενώσεων στους πόρους του υλικού. Ο μπεντονίτης της Μήλου παρουσιάζει σχεδόν διπλάσια δεσμευτική ικανότητα από τον ατταπουλγίτη, η οποία οφείλεται στην τιμή του λόγου Ca/Mg και στη δομή τους (ισχύς δεσμών, θέσεις κατιόντων). Το Ca στο μοντμοριλονίτη του μπεντονίτη είναι τοποθετημένο στις ενδοστιβαδικές θέσεις του πλέγματος, με αποτέλεσμα να είναι πολύ εύκολη η ιοντοανταλλαγή του σε υδατικό διάλυμα. Αντίθετα, το Mg στον ατταπουλγίτη είναι δομικό στοιχείο στο πλέγμα, καθιστώντας δύσκολη την ιοντοανταλλαγή του. Η δεσμευτική ικανότητα του μπεντονίτη της Μήλου είναι 97 - 112 meq/100g, ενώ του ατταπουλγίτη των Γρεβενών (κύριο κοίτασμα ατταπουλγίτη - σαπωνίτη, που εκμεταλλεύεται η ΓΕΩΕΛΛΑΣ Α.Μ.Μ.ΑΕ) 51 - 64 meq/100g (Καντηράνης κ.α., 2005).

Στην ιδιότητα της δεσμευτικής ικανότητας του ατταπουλγίτη βασίζεται και η δυνατότητα χρήσης του ως μονωτικό υλικό στις κατασκευές.

Αναμφισβήτητα σημαντικό ρόλο στη σύσταση των αδρανών υλικών, παίζει η προέλευση των αντίστοιχων κοιτασμάτων. Αναφέραμε ήδη ότι το κοίτασμα ατταπουλγίτη - σαπωνίτη προήλθε από τη εξαλλοίωση υπερβασικών πετρωμάτων του Βούρινου. Τα κοιτάσματα μπεντονίτη της Μήλου προέρχονται από εξαλλοίωση ηφαιστειοκλαστικών υλικών, πλούσια σε υαλώδη μάζα (Fytikas et al. 1986, Liakopoulos 1991, Dietrich et al. 1993, Decher et.al.1996), ενώ τα κοιτάσματα μπεντονίτη της Αγροκηπίας - Μιτσερού της Κύπρου προέρχονται από τοφικό υλικό, το οποίο υπέστη διαγενετικές διεργασίες.

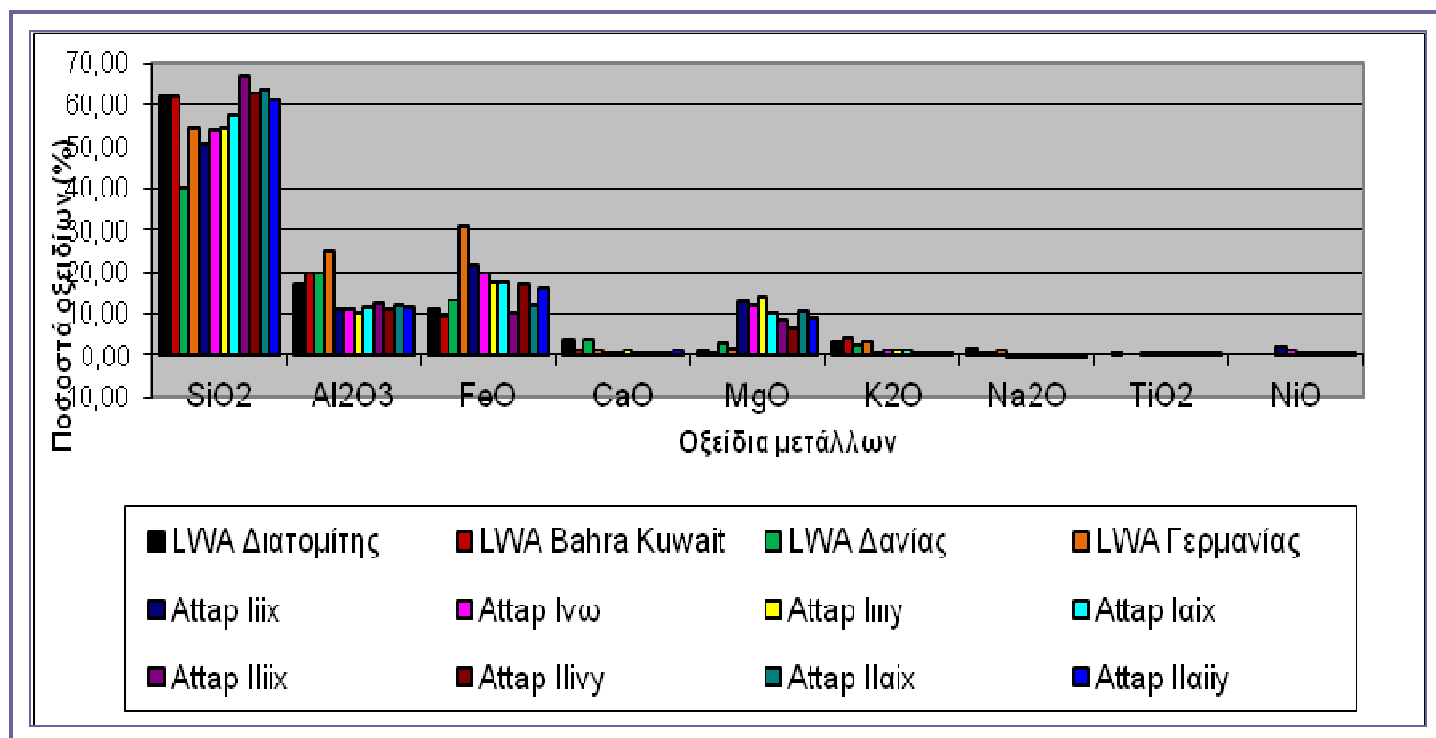
Στον πίνακα 6.1 και το αντίστοιχο διάγραμμα του σχήματος 6.1 είναι εμφανείς οι διαφορές των ποσοστών σε οξείδια των τεσσάρων δειγμάτων του κοιτάσματος ατταπουλγίτη, με τα αντίστοιχα εμπορικά και εργαστηριακά προϊόντα.



Πίνακας 6.1: Χημική σύσταση (% κ.β.) με μικροανάλυση (SEM) των ελληνικών, γερμανικών και δανέζικων LWA.

Δείγμα	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	NiO
Attap liix	50,69	10,89	21,69	0,80	12,59	0,97	-0,17*	0,59	1,94
Attap Iw	53,65	11,16	19,73	0,47	12,08	1,21	-0,13*	0,50	1,32
Attap Iuy	54,40	10,21	17,51	1,41	14,24	1,11	-0,14*	0,22*	0,75
Attap Iaix	57,78	11,67	17,32	0,51	10,38	1,43	-0,24*	0,72	0,45*
Attap Iliix	66,62	12,44	10,01	0,92	8,70	0,82	-0,24*	0,41	0,33*
Attap Iliy	62,80	11,19	17,09	0,47	6,51	0,78	-0,12*	0,62	0,65*
Attap Ilaix	63,48	12,10	11,74	0,73	10,82	0,86	-0,34*	0,44	0,16*
Attap Iliiy	60,90	11,45	16,35	1,05	9,12	0,72	-0,44*	0,58	0,27*
LWA Διατομίτης	62,04	17,20	11,06	3,66	1,25	3,18	1,69		
LWA Bahra Kuwait	61,85	19,78	9,52	1,05	0,78	4,1	0,17	0,92	
LWA Δανίας	40,18	19,59	13,13	3,79	2,83	2,48	0,32		
LWA Γερμανίας	54,40	24,88	30,83	1,44	1,47	3,23	1,33		

Attap I και Attap II (5% πριονίδι), Attap Ia και Attap IIa (12% πριονίδι)



Σχήμα 6.1: Περιεκτικότητα (% κ.β.) σε οξείδια των τεσσάρων δειγμάτων, άλλων εργαστηριακών δειγμάτων και εμπορικών LWA.



Στον Πίνακα 6.2, αλλά και στο Σχήμα 6.2 παραθέτονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δύο εδαφικών δειγμάτων και άλλων κοιτασμάτων. Αρχικά, παρατηρούμε ότι τόσο τα αρχικά δείγματα όσο και τα ελαφροβαρή αδρανή παρουσιάζουν παρόμοια σύσταση.

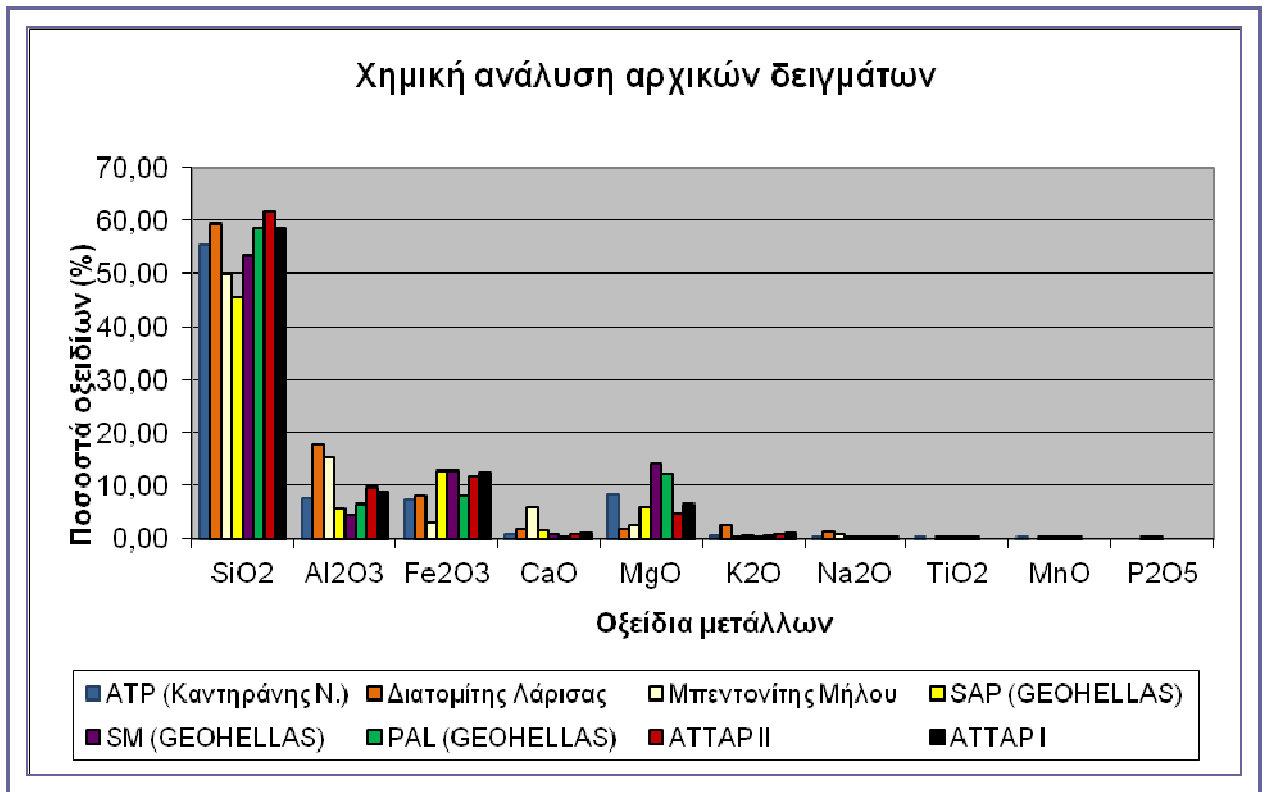
Επιπλέον, τόσο τα δείγματα ατταπουλιγίτη - σαπωνίτη ΑΤΤΑΡ I, ΑΤΤΑΡ II (πρώτες ύλες), όσο και τα υπόλοιπα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή ελαφροβαρών αδρανών παρουσιάζουν παρόμοια χημική σύσταση με πολύ μικρές αποκλίσεις. Έτσι, έχουν μεγάλα ποσοστά σε SiO_2 και FeO , μέτρια σε Al_2O_3 και MgO και χαμηλά στα υπόλοιπα οξειδία στοιχείων. Στα δύο δείγματά μας παρουσιάζονται λίγο μεγαλύτερα ποσοστά ασβεστίου, από ότι στα υπόλοιπα δείγματα, που όμως όπως αναλύσαμε σε προηγούμενες ενότητες δεν επηρεάζουν τις ιδιότητες του υλικού προς χρήση σε τεχνικά έργα.

Πίνακας 6.2: Χημική σύσταση (% κ.β.) κύριων στοιχείων των αρχικών δειγμάτων (πρώτων υλών).

Δείγμα	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	MnO	P_2O_5	L.O.I
ΑΤΤΑΡ I*	58,68	8,74	12,48	1,00	6,63	1,01	0,30				
ΑΤΤΑΡ II*	61,76	9,55	11,67	0,83	4,72	0,78	0,23				
PAL (GEOHELLAS)	58,70	6,47	8,15	0,27	12,20	0,53	0,09	0,33	0,12	-	11,90
SM (GEOHELLAS)	53,50	4,53	12,70	0,83	14,00	0,02	0,05	0,20	0,03	-	13,18
SAP (GEOHELLAS)	45,59	5,8	12,78	1,56	5,99	0,5	0,11	0,29	0,17	0,02	25,87
Μπεντονίτης Μήλου	50,01	15,39	2,98	5,98	2,55	0,33	0,68	0,25	0,08	0,03	21,38
Διατομίτης Λάρισας	59,52	17,83	8,08	1,82	1,79	2,58	1,28	-	-	-	7,37
ΑΤΡ (Καντηράνης Ν.)	55,42	7,48	7,26	0,68	8,29	0,39	0,31	0,12	0,06	0,00	19,80

Attap I και Attap II (5% πριονίδι), Attap Ia και Attap IIa (12% πριονίδι)

*επιπλέον στα δείγματα αυτά βρέθηκαν: ΑΤΤΑΡ I: Na_2O_{eq} 0,97 ΑΤΤΑΡ II: Na_2O_{eq} 0,74
S.dev: 0.50 R.dev : 0.56



Σχήμα 6.2: Περιεκτικότητα (% κ.β.) σε οξείδια των δύο αρχικών δειγμάτων και άλλων κοιτασμάτων.



6.3 Συγκρίσεις χαρακτηριστικών ελαφροβαρών αδρανών

Το φαινόμενο ειδικό βάρος των ελαφροβαρών αδρανών του κοιτάσματος ατταπουλγίτη - σαπωνίτη είναι μεγαλύτερο από αυτό των εμπορικών προϊόντων. Αυτό σημαίνει ότι η ομογενοποίηση του υλικού είναι ικανοποιητική.

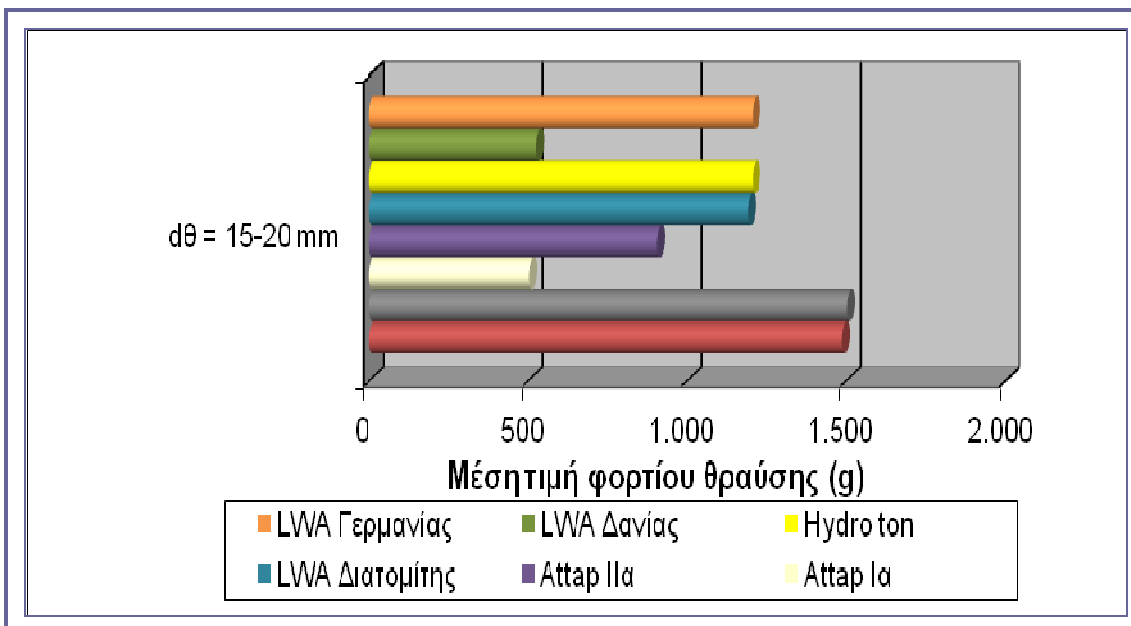
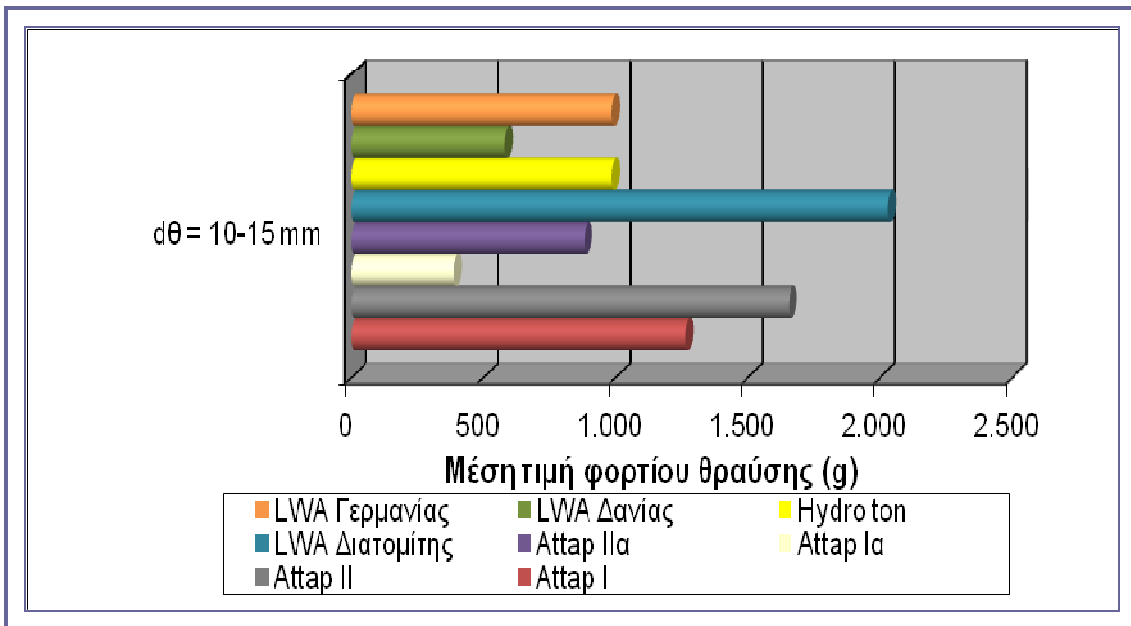
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πινάκων 6.2, 6.3 και των αντίστοιχων διαγραμμάτων 6.2, 6.3, με την αύξηση της διαμέτρου, αυξάνεται το φορτίο θραύσης για το LWA Γερμανίας, με ταυτόχρονη αύξηση του φαινόμενου ειδικού βάρους, γεγονός που τα καθιστά ιδιαίτερα ανθεκτικά. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε για τα δείγματα Attap I, Ia, IIa.

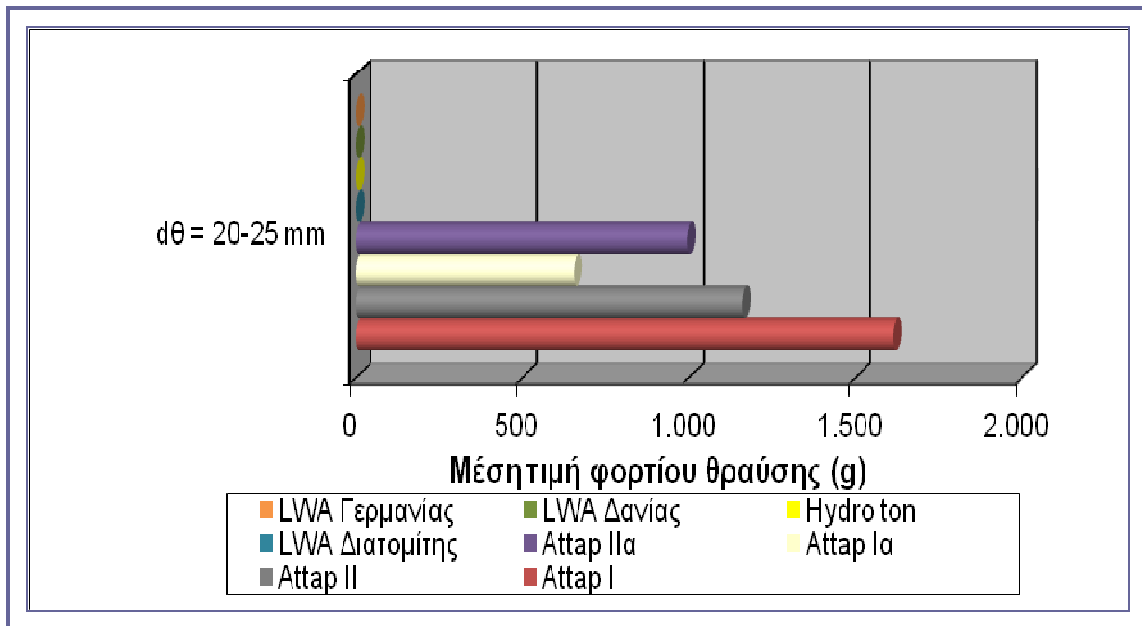
Για αυξανόμενη διάμετρο στο δείγμα Hydroton, το φαινόμενο ειδικό βάρος μειώνεται, ενώ η μέση τιμή του φορτίου θραύσης αυξάνεται καθιστώντας το ιδανικό. Το LWA Δανίας και ο διατομίτης Λάρισας είναι λιγότερο ανθεκτικά, επειδή μειώνεται η πυκνότητα των δειγμάτων με ταυτόχρονη μείωση του φορτίου θραύσης. Το ίδιο διαπιστώθηκε και για το δείγμα Attap II του κοιτάσματος ατταπουλγίτη - σαπωνίτη.

Πίνακας 6.2: Σχέση μέσης τιμής φορτίου θραύσης N (g) ανά κατηγορία διαμέτρου d (mm) των φρυγμένων σφαιριδίων για τα εξεταζόμενα δείγματα και τα αντίστοιχα εμπορικά.

	Μέση τιμή φορτίου θραύσης (g)		
	$d\theta = 10-15$ mm	$d\theta = 15-20$ mm	$d\theta = 20-25$ mm
Attap I	1,263	1,487	1,614
Attap II	1,654	1,502	1,160
Attap Ia	388	503	654
Attap IIa	880	906	995
LWA Διατομίτης	2,029	1,190	-
Hydro ton	986	1,205	-
LWA Δανίας	580	524	-
LWA Γερμανίας	986	1,205	-

Attap I και Attap II (5% πριονίδι), Attap Ia και Attap IIa (12% πριονίδι)



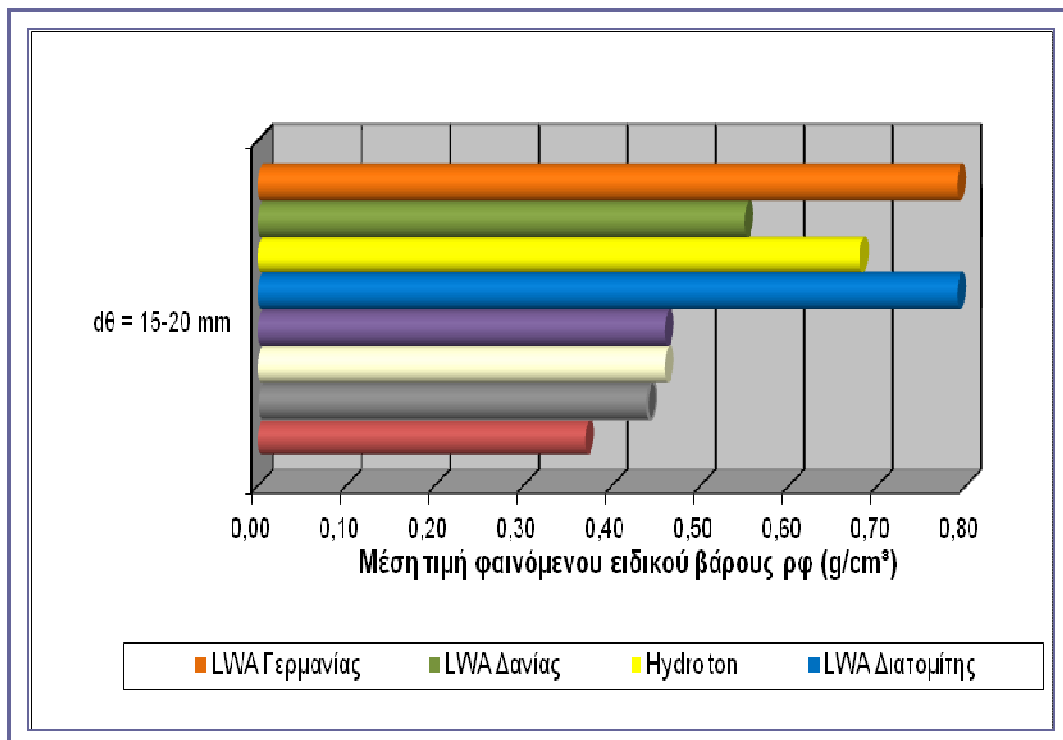
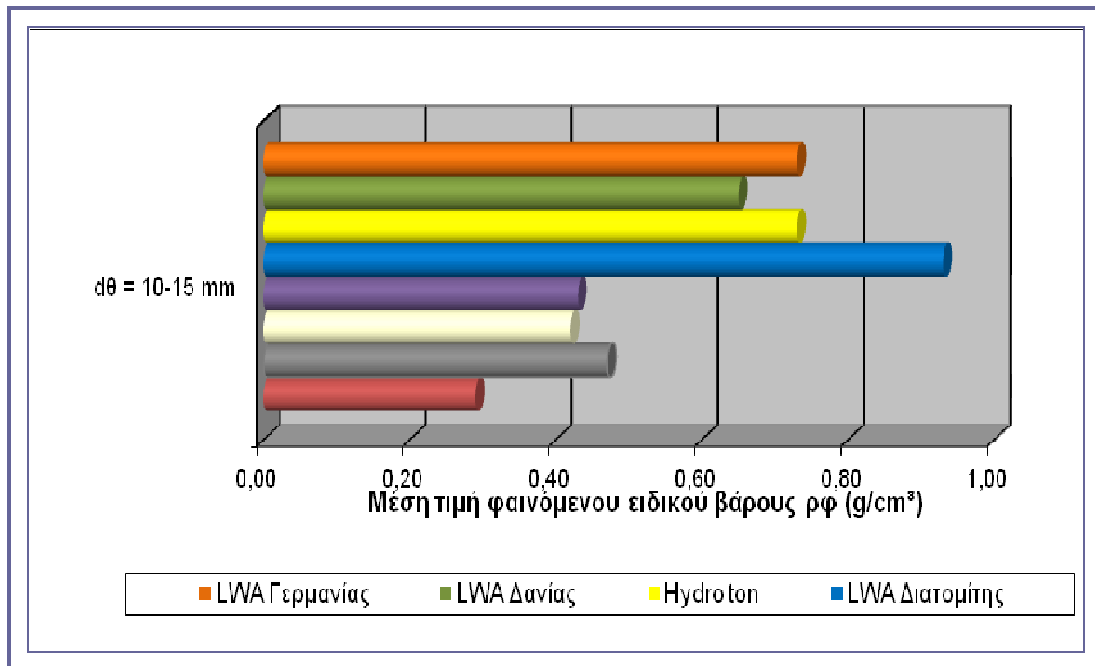


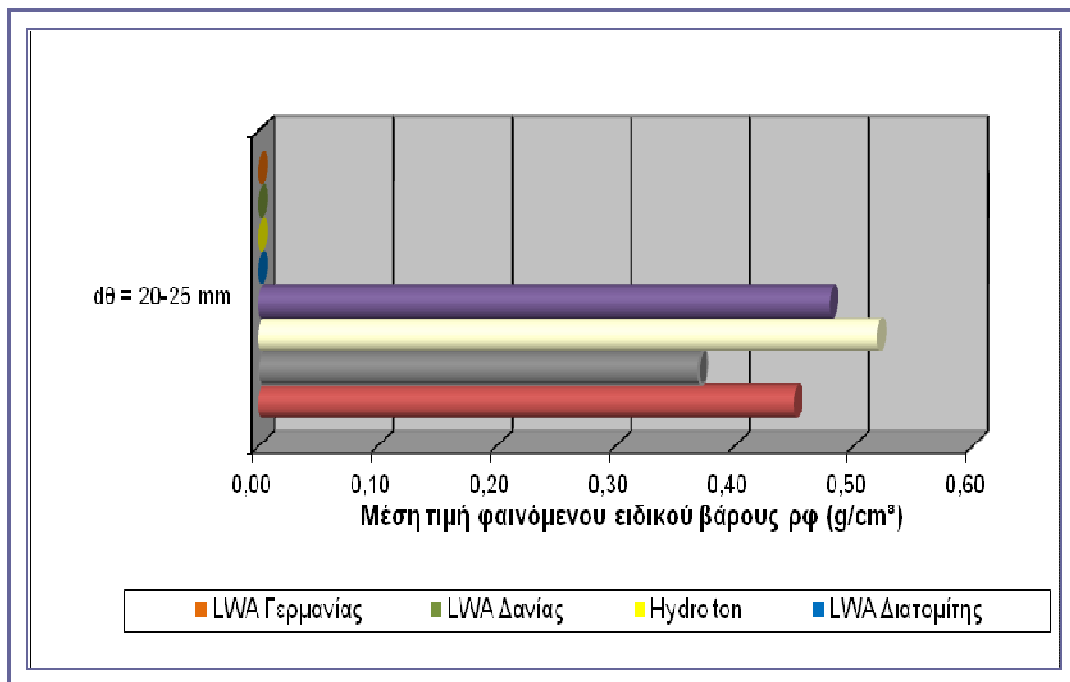
Σχήμα 6.2: Ραβδογράμματα συσχέτισης μέσης τιμής φορτίου θραύσης N (g) ανά κατηγορία διαμέτρου d (mm) των φρυγμένων σφαιριδίων για τα τέσσερα δείγματα και τα εμπορικά προϊόντα.

Πίνακας 6.3: Σχέση μέσης τιμής φαινόμενου ειδικού βάρους ρ_f (g/cm^3) με τη διάμετρο d (mm) των σφαιριδίων των δειγμάτων και άλλων εργαστηριακών και εμπορικών προϊόντων.

	Μέση τιμή φαινόμενου ειδικού βάρους ρ_f (g/ml)		
	$d\theta = 10-15$ mm	$d\theta = 15-20$ mm	$d\theta = 20-25$ mm
Attap I	0,29	0,37	0,45
Attap II	0,47	0,44	0,37
Attap Ia	0,42	0,46	0,52
Attap IIa	0,43	0,46	0,48
LWA Διατομίτης	0,93	0,79	
Hydro ton	0,73	0,68	
LWA Δανίας	0,65	0,55	
LWA Γερμανίας	0,73	0,79	

Attap I και Attap II (5% πριονίδι), Attap Ia και Attap IIa (12% πριονίδι)





Σχήμα 6.3: Ραβδογράμματα συσχέτισης μέσης τιμής φαινόμενου ειδικού βάρους ρ_ϕ (g/cm^3) με τη διάμετρο d (mm) των σφαιριδίων των τεσσάρων δειγμάτων, εργαστηριακών άλλων δειγμάτων και εμπορικών προϊόντων.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

7.1 Χημικές παράμετροι

Παρά το γεγονός ότι το κοίτασμα του ατταπουλγίτη - σαπωνίτη προήλθε από εξαλλοίωση υπερβασικών οφιολιθικών πετρωμάτων του Βούρινου, δεν παρατηρούνται αμιαντούχα ορυκτά, όπως ο ακτινολίθος, ο τρεμολίτης, ο χρυσοτίλης κ.λ.π., οπότε δεν υπάρχει κίνδυνος για τη δημόσια υγεία.

Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων σε κοιτάσματα ατταπουλγίτη στο εξωτερικό βεβαιώνουν ότι ο σίδηρος, τα θειικά και νιτρώδη άλατα, καθώς και τα χλωρίδια είναι μέσα στα όρια που απαιτούνται, ενώ τα βαριά μέταλλα, όπως το αρσενικό (As), ο υδράργυρος (Hg) και ο μόλυβδος (Pb) δεν είναι ανιχνεύσιμα. Αυτό είναι ενθαρρυντικό για την περαιτέρω επεξεργασία του ατταπουλγίτη, γιατί τα As, Cd, Hg και Pb αποτελούν τα πλέον επικίνδυνα χημικά στοιχεία για τον άνθρωπο.

Δοκιμές έχουν δείξει ότι το υλικό είναι ασφαλές για την υγεία των ανθρώπων και των ζώων. Τα πειράματα βασίζονται στην πρόσπτωση μικροπυρήνων στα χρωμοσώματα των μυελών των οστών των ποντικών.

Δοκιμές έχουν γίνει επίσης στο περιεχόμενο των ραδιενεργών νουκλεϊδίων ^{238}V , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K και πιστοποιούν ότι το κοίτασμα, αλλά και τα προϊόντα που προκύπτουν από αυτό έχουν χαμηλές περιεκτικότητες σε αυτά τα στοιχεία.

Επιπλέον, η επεξεργασία του ατταπουλγίτη - σαπωνίτη για τη παραγωγή ελαφροβαρών αδρανών, όπως είναι φυσικό συνοδεύεται από εκπομπές αερίων, όπως διοξείδιο του άνθρακα. Τα αέρια όμως αυτά εκπέμπονται για μία και μόνη φορά. Χρησιμοποιώντας τα ελαφροβαρή αδρανή του ατταπουλγίτη - σαπωνίτη ως μονωτικό μειώνονται σε βάθος χρόνου οι εκπομπές από τη χρήση κλιματιστικών για παράδειγμα στις οικοδομές.

7.2 Χρήση σφαιριδίων

Σε προηγούμενες ενότητες μελετήθηκαν τα δείγματα του κοιτάσματος ατταπουλγίτη - σαπωνίτη ως προς φυσικά και τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Διαπιστώθηκε ότι τα ελαφροβαρή αδρανή του ατταπουλγίτη - σαπωνίτη είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά, που σε συνδυασμό με τη μικρή φαινόμενη πυκνότητα, το μεγάλο



πορώδες και όλες τις άλλες ιδιότητες του υλικού που αναφέρθηκαν, καθιστούν το υλικό αυτό ιδανικό για τη χρήση του στις κατασκευές και τα γεωτεχνικά έργα.

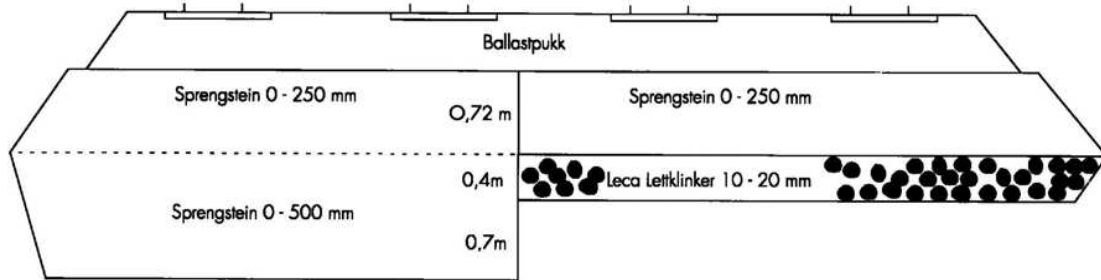
Στο εξωτερικό πολλές εταιρείες έχουν μελετήσει την χρήση ελαφροβαρών αδρανών (LWA), με παρόμοιες ιδιότητες με τα ελαφροβαρή αδρανή του ατταπουλγίτη - σαπωνίτη, ως υλικά πλήρωσης βάσεων και υποβάσεων στην οδοποιία, ώστε να μειώνεται η εδαφολογική πίεση στις δομές, αλλά και ως υλικό δόμησης (μονωτικό), που προσφέρει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τα κλιματιστικά, παρέχοντας ασφάλεια στις κατασκευές και χαμηλό κόστος.

Οι πιο γνωστές εταιρείες είναι οι MAXIT Group AB, SINTEF Civil an Environmental Engineering (Νορβηγία) και LECA Trading & Concession A/S (Δανία). Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται χρήσεις των ελαφροβαρών αδρανών των συγκεκριμένων εταιρειών.

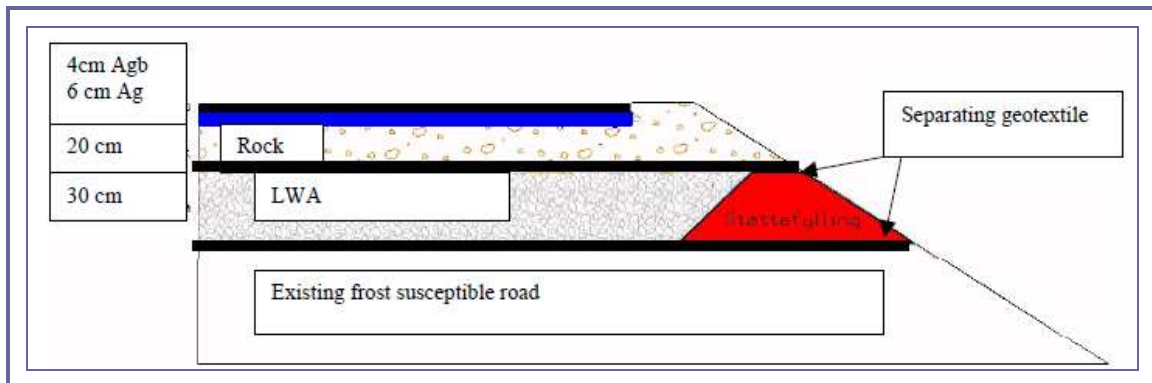
Τα ελαφροβαρή έχουν ευρεία εφαρμογή σε πολλές κατηγορίες γεωτεχνικών έργων. Χρησιμοποιούνται λοιπόν, ως πληρωτικό σε αναχώματα σιδηροδρόμων για να μειωθούν οι καθιζήσεις και να επιτευχθεί μόνωση, ώστε να αποτραπεί η διείδυση παγετού (Εικόνα 8.1), αλλά και σε δρόμους για τον ίδιο λόγο (Εικόνα 8.2).

Επιπλέον, χρησιμοποιούνται σε αποχετευτικά συστήματα, γιατί το υψηλό πορώδες τους προσδίδει υψηλή διαπερατότητα, που σε συνδυασμό με ειδικά γεωφίλτρα και σωλήνες, λειτουργούν ως σύστημα παροχέτευσης (Εικόνα 8.3).

Ακόμα, τα αδρανή στηρίζουν ειδικές κατασκευές, ώστε να κατανέμονται τα φορτία σε βάσεις στήριξης γεφυρών, αναχώματα δρόμων και σιδηροδρόμων. Μειώνουν τις παραμορφώσεις και τις μηχανικές πιέσεις από τα διακινούμενα φορτία και αυξάνουν την αντοχή και τη χρονική διάρκεια της κατασκευής (Εικόνα 8.4).



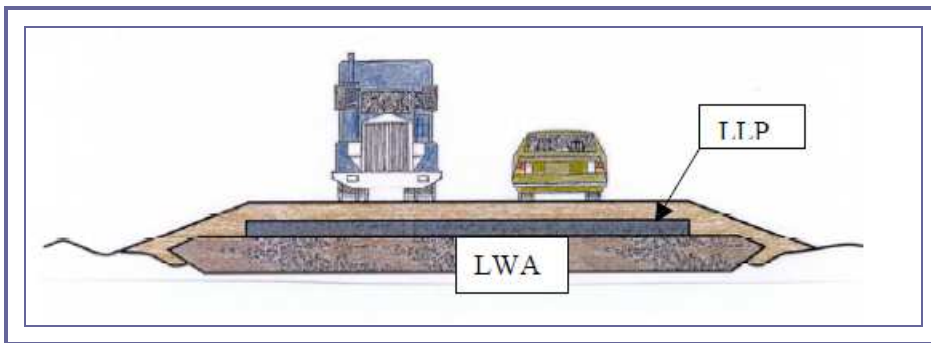
Εικόνα 8.1: Χρήση ελαφροβαρών αδρανών σε σιδηρόδρομους στην Νορβηγία για να αποτραπεί η διείδυση παγετού (MAXIT Group AB).



Εικόνα 8.2: Ελαφροβαρή αδρανή ως μονωτικό παγετού σε κατασκευή δρόμου (MAXIT Group AB).



Εικόνα 8.3: Ελαφροβαρή αδρανή σε αποχετευτικά συστήματα (MAXIT Group AB).



Εικόνα 8.4: Ελαφροβαρή αδρανή μειώνουν τις μηχανικές πιέσεις από τα διακινούμενα φορτία σε γέφυρες, δρόμους και σιδηρόδρομους (MAXIT Group AB).



Εκτός από την χρήση των αδρανών υλικών στην οδοποιία, ευρεία είναι η χρήση αυτών σε οικοδομικές εφαρμογές. Χρησιμοποιούνται για τη μόνωση υπογείων, ταρατσών, στεγών και δαπέδων (Εικόνα 8.5).

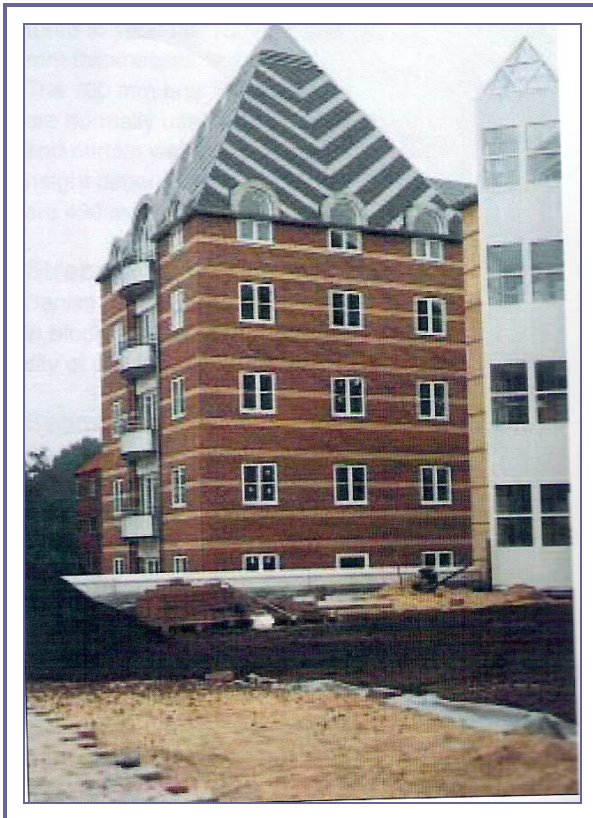


Εικόνα 8.5: *Ελαφροβαρή αδρανή σε δάπεδα. Λειτουργούν ως θερμομονωτικά και μονωτικά από το νερό (MAXIT Group AB).*

Στις στέγες τα ελαφροβαρή αδρανή δημιουργούν μικρές κλίσεις, για την διοχέτευση των υδάτων και πετυχαίνουν μόνωση (Εικόνες 8.6, 8.7).



Εικόνα 8.6: Χρήση ελαφροβαρών αδρανών (LWA) σε στέγες (MAXIT Group AB).



Εικόνα 8.7: Χρήση ελαφροβαρών αδρανών (LWA) σε κήπους στεγών. Πετυχαίνεται αποξήρανση, μόνωση από υγρασία και μείωση των κλίσεων (MAXIT Group AB).



Επίσης, τα ελαφροβαρή αδρανή χρησιμοποιούνται ως πληρωτικό υλικό, λύνοντας θέματα στατικότητας, εμποδίζοντας τις καθιζήσεις - καταπτώσεις και εξουδετερώνοντας τα φορτία, σε περιπτώσεις κτιριακών κατασκευών, παραλιακών δρόμων και καταφυγίων. Αποφεύγονται έτσι οι εδαφορροές και η καταστροφή θεμελίων (πεδίλων) (Εικόνα 8.8).



Εικόνα 8.8: Χρήση ελαφροβαρών αδρανών (LWA) ως πληρωτικό υλικό (MAXIT Group AB).

Τέλος, τα ελαφροβαρή αδρανή μπορούν να χρησιμοποιηθούν στους τοίχους των κατασκευών, ώστε να δημιουργήσουν γερές κατασκευές και υγιές εσωτερικό περιβάλλον. Τα τούβλα από αδρανές υλικό είναι αδιαπέραστα σε υγρασία, ζέστη και έντομα, αλλά και ανθεκτικά στις ακραίες καιρικές συνθήκες, εξαιτίας του υψηλού πορώδους και των άριστων θερμομονωτικών ιδιοτήτων τους (Εικόνα 8.9).



Εικόνα 8.9: Χρήση ελαφροβαρών αδρανών (LWA) σε εσωτερικούς και εξωτερικούς τοίχους (MAXIT Group AB).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

8.1 Συμπεράσματα

Τα δύο δείγματα ΑΤΤΑΡ I και ΑΤΤΑΡ II της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αποτελούν αργιλώδεις ποταμοχειμάρριες αποθέσεις, που προέρχονται από το κοίτασμα ατταπουλγίτη - σαπωνίτη, μεταξύ Πυλωρών και Χρωμίου του Νομού Γρεβενών. Το κοίτασμα αυτό δημιουργήθηκε από την εξαλλοίωση υπερβασικών πετρωμάτων του Βούρινου. Εξαιτίας λοιπόν, της παρουσίας διαλυμάτων πλούσιων σε μαγνήσιο είναι κι αυτό πλούσιο σε μαγνήσιο. Η μορφή του είναι από ινώδης - επιμήκης (ατταπουλγίτης), έως κοκκώδης - συμπαγής (σαπωνίτης).

Και τα δύο δείγματα έχουν ως κύρια ορυκτά τον ατταπουλγίτη και τον χαλαζία. Το δείγμα ΑΤΤΑΡ I αποτελείται από λιγότερες αργίλους, με περισσότερα κλαστικά υλικά και έτσι είναι ιδανικότερο. Χαρακτηριστική είναι επιπλέον η απουσία ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3), εξασφαλίζοντας καλή ποιότητα στα φρυγμένα σφαιρίδια.

Η παρουσία υελώδους φάσης και στο Attar I και στο Attar II, σημαίνει αρκετά καλή αντοχή των δειγμάτων. Όμως στο Attar II παρουσιάζονται περισσότερες άμορφες φάσεις, που σημαίνει μικρότερη αντοχή σε θλίψη, όπως διαπιστώσαμε.

Συγκριτικά με πρότυπα δείγματα ατταπουλγίτη, τα εξεταζόμενα δείγματα δεν εμφανίζουν μεγάλες διακυμάνσεις στις τιμές των οξειδίων. Για τις διαφορές αυτές θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι τα δείγματα είναι πλευρικές αποθέσεις ποταμοχειμάρριων υλικών, που περιλαμβάνουν ατταπουλγίτη και σαπωνίτη και όχι το υγιές υλικό. Ωστόσο, μικρές είναι οι αποκλίσεις. Έτσι, τα σημαντικά ποσοστά σε οξείδια FeO και MgO , δικαιολογούν την προέλευση των υλικών από το οφιολιθικό σύμπλεγμα του Βούρινου και η παρουσία λίγο περισσότερου CaO από τα πρότυπα δικαιολογεί την παρουσία του σαπωνίτη, που όμως δεν επηρεάζει τις ιδιότητες του υλικού προς χρήση σε τεχνικά έργα.

Το κοίτασμα χαρακτηρίζεται από υψηλό πορώδες, υψηλό ιξώδες, μεγάλη ικανότητα ιοντοανταλλαγής, είναι σταθερό σε υψηλές θερμοκρασίες και δεν διογκώνεται. Έτσι, είναι απρόσβλητο από τους ηλεκτρολύτες, έχει άριστες θιξοτροπικές ικανότητες και μεγάλη δυνατότητα προσρόφησης, γεγονός που το



καθιστά κατάλληλο στην παραγωγή ελαφροβαρών αδρανών (LWA)) και κατ' επέκταση στην εφαρμογή του σε εδαφοτεχνικά έργα, ως εμπορικά προϊόντα κ.α.

Τα προκύπτοντα αδρανή είναι μικρού ειδικού βάρους, κατάλληλης θλιπτικής αντοχής και συγκρίσιμα με αντίστοιχα βιομηχανικά προϊόντα του εμπορίου. Τα ελαφροβαρή αδρανή, που παρήχθησαν από την πρώτη ύλη προέλευσης Γρεβενών, παρουσιάζουν αξιόλογα τεχνικά και μηχανικά χαρακτηριστικά. Σε συνδυασμό με τα υψηλά αποθέματα που έχουν εντοπιστεί πρόσφατα στην περιοχή και το μικρό κόστος εξόρυξης και κατεργασίας, αυτό το υλικό ενδείκνυται για την παραγωγή LWA.

Η παραγωγή των ελαφροβαρών αδρανών (LWA, light weight aggregates) βασίζεται στο ότι τα αργιλικά πετρώματα περιέχουν αξιόλογα ποσά από διογκούμενες αργίλους. Τα συγκεκριμένα αδρανή του ατταπουλγίτη - σαπωνίτη είναι αδύνατο να χρησιμοποιηθούν ως υλικά σκυροδέματος, επειδή έχουν πυκνότητα μικρότερη από 2000 kg/m^3 και σε συνδυασμό με την ινώδη δομή του ατταπουλγίτη μειώνουν την αντοχή του. Αντίθετα, είναι ιδανικά ως αδρανή βάσεων και υποβάσεων στην οδοποιία και ως πρόσθετη ουσία στο σκυρόδεμα, το ενισχύουν εξαιτίας της απορροφητικότητάς τους.

Οι τιμές του φαινόμενου ειδικού βάρους των υλικών είναι μικρότερες από 2 g/cm^3 , που αποτελεί το επιθυμητό αποτέλεσμα

Το δείγμα Attap I έχει μικρή πυκνότητα (μεγάλο πορώδες) και παρόλα αυτά παρουσιάζει μεγάλο όριο θραύσης, οπότε θεωρείται αρκετά ανθεκτικό και ιδανικό για κάποιες χρήσεις. Επιπλέον, παρουσιάζει πολύ καλά εξωτερικά χαρακτηριστικά και καλή μικροδομή και σε αυτό πιθανόν να οφείλεται η αντοχή του στη θραύση. Το δείγμα Attap II είναι λιγότερο ανθεκτικό επειδή κατά την αύξηση της διαμέτρου, το φαινόμενο ειδικό βάρος και η θλιπτική αντοχή του μειώνονται. Από τα δείγματα Attap Ia και Attap II διαπιστώνουμε ότι το ποσοστό σε πριονίδι θα έπρεπε να είναι μικρότερο (<12%).

Τέλος συγκρίνοντας τα ελαφροβαρή αδρανή της συγκεκριμένης εργασίας με άλλα πρότυπα, συμπεραίνουμε ότι στα δείγματα Attap I, Ia, IIa με αύξηση της διαμέτρου, αυξάνεται το φορτίο θραύσης με ταυτόχρονη αύξηση του φαινόμενου ειδικού βάρους, γεγονός που τα καθιστά ιδιαίτερα ανθεκτικά, όπως και στα LWA Γερμανίας. Το LWA Δανίας και ο διατομίτης Λάρισας είναι λιγότερο ανθεκτικά, επειδή μειώνεται η πυκνότητα των δειγμάτων με ταυτόχρονη μείωση του φορτίου θραύσης. Το ίδιο διαπιστώθηκε και για το δείγμα Attap II.



Τα ελαφροβαρή αδρανή του ατταπουλγίτη - σαπωνίτη των Πυλωρών Γρεβενών είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά και σε συνδυασμό με τη μικρή φαινόμενη πυκνότητα, το μεγάλο πορώδες και όλες τις άλλες ιδιότητές τους, καθιστούν το υλικό αυτό ιδανικό , ως υλικό πλήρωσης βάσεων και υποβάσεων στην οδοποιία, ώστε να μειώνεται η εδαφολογική πίεση στις δομές, αλλά και ως υλικό δόμησης (μονωτικό), που προσφέρει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τα κλιματιστικά, παρέχοντας ασφάλεια στις κατασκευές και χαμηλό κόστος.



8.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Για την εξαγωγή πληρέστερων και ασφαλέστερων συμπερασμάτων ως προς την καταλληλότητα του υλικού προτείνεται τα δείγματα να μελετηθούν και με άλλες μεθόδους, όπως:

- Εύρεση του πορώδους και τις απορροφητικότητας του νερού κατά βάρος.
- Εύρεση του συντελεστή υδαταπορρόφησης, για τη διαπίστωση της ανθεκτικότητας των δειγμάτων στις θερμοκρασιακές μεταβολές.
- Δοκιμές για την εύρεση της αντοχής των αδρανών στις μεταβολές του όγκου τους, από τις απότομες θερμοκρασιακές μεταβολές.
- Μετρήσεις δείκτη αντοχής σε στίλβωση.
- Μετρήσεις δοκιμών φθοράς σε τριβή και κρούση (Los Angeles).

Επιπλέον, η χρονική διάρκεια θέρμανσης του υλικού δεν θα πρέπει να είναι ενιαία για όλα τα δείγματα. Αυτά πρέπει να ψηθούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες, ώστε να παρατηρήσουμε διαφοροποιήσεις στη συμπεριφορά του υλικού, τόσο από ορυκτολογική άποψη, όσο και τα όρια θραύσης του, στις αντίστοιχες δοκιμές. Σε ελαφροβαρή αδρανή του εξωτερικού έχει παρατηρηθεί, ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος θέρμανσης των σφαιριδίων, τόσο μικρότερη είναι η πυκνότητά τους, περισσότερο άμορφη η μάζα τους και συνεπώς μεγαλύτερη η αντοχή τους. Συνίσταται λοιπόν να γίνει όπτηση των δειγμάτων για 10 min και 15 min. Εκτός από την όπτηση των σφαιριδίων σε διαφορετικές θερμοκρασίες, επιθυμητή είναι και η παραγωγή τους με απότομη θέρμανση.

Σημαντικές είναι επιπλέον οι αναλύσεις σε περισσότερα δείγματα, τόσο από ορυκτολογικής άποψης, όσο και στις μετρήσεις αντοχής σε θλίψη. Μεγαλύτερο εύρος διαμέτρων, αλλά και ανάμειξη των εδαφικών δειγμάτων με πριονίδι 7 - 10% θα μας οδηγήσουν σε πιο σωστά συμπεράσματα, όσον αφορά τις χρήσεις του υλικού. Παρατηρήσεις στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) θα πρέπει να πραγματοποιηθούν όχι μόνο εσωτερικά των σφαιριδίων, αλλά και στην εξωτερική τους επιφάνεια, όπως και σύγκρισή τους με άλλα εργαστηριακά και εμπορικά αδρανή.

Η μελέτη των δειγμάτων στη συγκεκριμένη εργασία οδήγησε στο συμπέρασμα ότι τα ελαφροβαρή υλικά των πλευρικών αποθέσεων του κοιτάσματος ατταπουλγίτη - σαπωνίτη μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην οικοδομική βιομηχανία. Όμως, για να είναι ασφαλής η χρήση τους σε αυτή, κρίνεται απαραίτητη η μέτρηση επιπλέον



γεωμετρικών, φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών τους, σύμφωνα με συγκεκριμένα Ευρωπαϊκά πρότυπα.

Τα πρότυπα αυτά αφορούν:

- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά:
Μέγεθος κόκκου, κοκκομετρική διαβάθμιση, σχήμα αδρανών.
- Φυσικά χαρακτηριστικά:
Δοκιμή αντοχής σε κατακερματισμό (Los Angeles), δοκιμή απορροφητικότητας σε νερό, δοκιμή ανθεκτικότητας σε αντοχή σε ψύξη - απόψυξη, δοκιμή ανθεκτικότητας σε αποσάθρωση εξαιτίας καιρικών μεταβολών, πετρογραφική εξέταση.
- Χημικά χαρακτηριστικά:
Προσδιορισμός οργανικών μολυντών με τη μέθοδο κονιάματος, υδατοδιαλυτά συστατικά, προσδιορισμός ολικού θείου, θειικά διαλυτά σε οξύ.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- ΒΛΑΧΟΥ - ΤΣΙΠΟΥΡΑ Μ. (2005):** "Σημειώσεις Πετρολογίας Ιζηματογενών Πετρωμάτων", *Αθήνα*
- ΓΕΩΤΕΕ (2007):** "Φυσικά αντιολισθητικά αδρανή και σκύρα σιδηροδρομικών γραμμών", *Ημερίδα*
- ΕΛΟΤ 408:** Σχέδιο Ελληνικού Προτύπου ΕΛΟΤ 408. "Θραυστά αδρανή για συνήθη σκυροδέματα"
- ΕΛΟΤ ΕΝ 12620 (2002):** "Αδρανή για παρασκευή τσιμεντοσκυροδέματος συμπεριλαμβανομένων αυτών που χρησιμοποιούνται σε οδούς και οδοστρώματα"
- ΕΛΟΤ ΕΝ 13242 (2003):** "Αδρανή για βάσεις και υποβάσεις σταθεροποιημένες ή μη με υδραυλικές κονίες για χρήση σε έργα πολιτικού μηχανικού και την κατασκευή δρόμων"
- ΕΤΕΚ (2009):** "Συνοπτικός οδηγός χρήσης Κυπριακών προτύπων CYS EN - Αδρανή υλικά"
- ΚΑΝΤΗΡΑΝΗΣ Ν., ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α., ΔΡΑΚΟΥΛΗΣ Α. & ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ Α.(2005):** "Μελέτη Δεσμευτικής ικανότητας του Μπεντονίτη της Μήλου και του Ατταπουλιγίτη των Γρεβενών", *2^ο Συνέδριο Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας - Ορυκτολογίας & Γεωχημείας, Θεσ., 105 - 112.*
- ΚΑΣΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ (2001):** "Μελέτη ιλυολίθων λιγνιτοφόρου στοιβάδας περιοχής λάβας (λεκάνη Κοζάνης - Σερβιών) και δυνατότητα χρήσης τους για την παραγωγή ελαφροβαρέων αδρανών", *Ε.Κ.Π.Α.*
- ΚΟΛΟΜΒΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ (2000-2001):** "Διατομικές άργιλοι Ελασσόνας και χρήση τους στην παραγωγή ελαφρών αδρανών", *Ε.Κ.Π.Α.*
- ΚΤΣ-97 (1997):** "Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος 1997". *ΦΕΚ/315/Β' /17.04.1997*
- ΛΑΜΠΡΟΠΟΥΛΟΥ Δ. & ΛΑΣΠΑΚΗ Σ. (2008):** "Αργιλικά ορυκτά και πετρώματα (Ιδιότητες - Χρήσεις - Οικονομικά στοιχεία", *Κοζάνη, Α.Μ. 3239, 3134*
- ΜΠΕΝΕΤΟΣ ΘΩΜΑΣ:** "Εργαστηριακές Ασκήσεις Τεχνολογίας Δομικών Υλικών : Αδρανή Υλικά", *www.teiher.gr/chemistry/matlab/adran.htm*



- ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ Α. (1996):** Οδοποιΐα : Οδοστρώματα - Υλικά - Έλεγχος Ποιότητας. Μ. Τριανταφύλλου & Σια, Θεσσαλονίκη, 831σ.
- ΝΙΚΟΛΟΠΟΥΛΟΥ Α. (2009):** "Φωτοκαταλυτική διάσπαση αέριων ρύπων NOx με τη χρήση τροποποιημένων αργιλικών ορυκτών". Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- ΝΤΑΜΠΙΤΖΙΑΣ Σ., ΒΕΡΑΝΗΣ Ν., ΧΡΥΣΟΣΤΟΜΙΔΗΣ Π., ΝΥΜΦΟΠΟΥΛΟΣ Μ., ΘΕΟΔΟΡΟΥΣΗΣ Α., ΗΛΙΑΔΗΣ Α., ΕΠΙΤΡΟΠΟΥ Ν., ΒΟΥΓΙΟΥΚΑΣ Δ., ΡΑΣΣΙΟΥ Α., ΠΑΛΑΙΟΚΩΣΤΑΣ Γ. & ΚΑΡΑΝΤΑΣΗ Σ. (2001):** "Έρευνα λατομικών περιοχών σκληρών αδρανών κατά μήκος της Εγνατίας Οδού", Έκθεση ΙΓΜΕ, Θεσσαλονίκη, 75σ.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Δ. (1986):** "Γεωλογία της Ελλάδας", Αθήνα.
- ΡΟΖΕΤΑ ΣΙΤΑ (2005):** "Λατομεία - Αδρανή Υλικά : Προβλήματα - Προοπτικές", Αναπτυξιακό Συνέδριο Νομού Καβάλας
- ΣΤΑΜΑΤΑΚΗΣ Μ., ΒΑΣΙΛΑΤΟΣ Χ., ΤΖΙΡΙΤΗΣ Ε., ΓΚΟΥΤΗΣ Δ. (2005):** "Καινοτόμα ελαφροβαρή αδρανή με εφαρμογή σε δομικές, γεωτεχνικές, γεωπονικές και περιβαλλοντικές χρήσεις", Εβδομάδα Επιστήμης & Τεχνολογίας, Αθήνα
- ΣΤΑΜΑΤΑΚΗΣ Μ., ΜΑΜΟΥΧΑ Ε., ΠΟΛΙΤΗ Τ., ΜΑΛΙΩΤΗΣ Γ. (2005):** "Τα μπεντονιτικά υλικά περιοχής Αγροκηπίας - Μίτσερου Νήσου Κύπρου και η δυνατότητα χρήσης τους στην παραγωγή ελαφροβαρών αδρανών", Τομέας Οικον. Γεωλογίας και Γεωχημείας, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος ΕΚΠΑ, Ελληνική Μεταλλευτική Εταιρεία, Λευκωσία Κύπρο, 2^ο Συνέδριο, Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας Ορυκτολογίας & Γεωχημείας, Θεσσαλονίκη
- ΤΣΙΚΟΥΡΑΣ Β., ΠΟΜΩΝΗΣ Π. ΡΗΓΟΠΟΥΛΟΣ Ι., ΧΑΤΖΗΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ Κ. (2005) :**
"Διερεύνηση καταλληλότητας βασικών οφιολιθικών πετρωμάτων της περιοχής Μικροκλεισούρας Γρεβενών για χρήση τους ως αντιολισθηρών αδρανών και σκύρων βάσης σιδηροτροχιών", Τομέας Ορυκτών Πρώτων Υλών, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2^ο Συνέδριο της επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας & Γεωχημείας, Οκτώβριος 2005 Θεσσαλονίκη, 347-356.
- ΣΜΕ, (2008):** "Έκθεση δραστηριοτήτων 2008", Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων



- ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ Α. (2005):** "Ο Ορυκτός πλούτος της Ελλάδος", Εκδόσεις Γιακούδη, Θεσσαλονίκη, 391σ.
- ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ Α. (2008):** "Ίζηματογενή Πετρώματα", Εκδόσεις Γιακούδη, Θεσσαλονίκη, 317σ.
- ΤΣΟΥΤΣΙΚΑ Π., ΣΟΛΔΑΤΟΣ Τ., ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ Α., ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ Α. (2005):** "Συσχέτιση πετρογραφικών και φυσικομηχανικών ιδιοτήτων αδρανών πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται στην οδοποιία", 2^ο Συνέδριο Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας & Γεωχημείας, Θεσσαλονίκη, 377-386σ.
- ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ (2005):** "Αποκάλυψη αρχαιοτήτων στο Δ.Δ. Κνίδης Δήμου Βεντζίου Γρεβενών", Δελτίο Τύπου.
- ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΥ ΕΛΕΝΗ (2004):** "Κατασκευή των pellets στα πλαίσια του μαθήματος των Βιομηχανικών ορυκτών", Ε.Κ.Π.Α.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- AMES J.A., CUTCLIFFE, W.E., MACFADYEN J.D.(1994):** "Cement and cement raw materials", In D.D. Carr (S.ed.), *Industrial minerals and rocks*.295 - 316, Littleton, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.1196pp.
- BODYCOMB F.M.& STOKOWSKI S.J. (2002):** "Construction Uses - Insulation. Industrial minerals & Rocks", Chapter 30, SME Editor, London, 9pp.
- BRITISH GEOLOGICAL SURVEY (2011):** "World Mineral Production 2005 - 2009", Keyworth, Nottingham
- BROWN T. J., HETHERINGTON L. E., HANNIS S.D., BIDE T., BENHAM A.J. & IDOINE N.E. (2009):** "World Mineral Production 2003 - 2007", British Geological Survey, Keyworth, Nottingham
- CHRYSSIKOS G.D., GIONIS V. (2010):** "Materials Synthesis and Physical Chemistry ", Theoretical & Physical Chemistry Institute
- DAGOUNAKI C., SIKALIDIS C., KASSOLI - FOURNARAKI A., TSIRAMBIDES A. (2004):** "Suitability of the Kozani's area (NW Macedonia, Greece) carbonate rocks for the cement industry and as aggregates in constructions", Πρακτικό 10ου Διεθνές Συνεδρίου, Θεσ/νίκη
- D'AMORE J.J., AL - ABED S.R., SCHECHEL K.G., RYAN J.A. (2005):** "Methods of speciation of metals in soils", *J. Environ. Qual.*, 34(s)



- DECHER A., BECHTEL A., ECHLE W., FRIEDRICH G., HOERNES S., (1996):** "Stable isotope geochemistry of bentonites from the island of Milos (Greece) ", *Chemical Geology*, 129, 101-113.
- DIETRICH V., NUESCH R., BALLANTI D., (1993):** "The origin of the Milos bentonite deposits", *Bull. Geol. Soc. Greece*, 28/2, 329-340.
- FAUST TH. & BECK M. (1999):** "Pore Structure of Different LWAs", *Lacer No 4*, 199, 123 - 132
- FAUST TH. & KONIG G. (1998):** "High Strength Lightweight Aggregate Concrete", 2nd *International Ph.D. Symposium in Civil Engineering, Budapest*
- FIP MANUAL OF LIGHTWEIGHT AGGREGATE CONCRETE (1983), 2nd ed.,** *Surry University Press, Glasgow & London*
- FRAGOULIS D. & CHANIOTAKIS E. (1999):** "The Usage of Amorphous Silica and Hydrous Aluminosilicate for the Production of Construction Materials with Improved Mechanical Properties", *ERBIC15-CT96-0712 EU Contract*, 5th *Progress Report of TITAN SA*, 52pp
- FRAGOULIS D. & CHANIOTAKIS E. (2000):** "The Usage of Amorphous Silica and Hydrous Aluminosilicate for the Production of Construction Materials with Improved Mechanical Properties", *ERBIC15-CT96-0712 EU Contract*, 5th *Progress Report of TITAN SA*, 65pp
- FYTIKAS M., INNOCENTRI F., KOLIOS N., MANETTI P., MAZZUOLI R., POLI G., RITA F., VILLARI L.,(1986):** "Volcanology and petrology of volcanic products from the island of Milos and the neighbouring islands", *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 28, 297-317.
- GEOHELLAS (2004):** Attapulgitic Solutions for today and tomorrow
- GIONIS V., KACANDES G.H., KASTRITIS I.D. & CHRYSSIKOS G.D. (2006) :** "On the structure of Palygorskite by mid- and near-infrared spectroscopy", *American Mineralogist* 91, 1125 - 1133pp.
- HADEN W.L., JR (1963):** "Attapulgitic: Properties and uses", *Minerals and Chemicals Philipp Corporation, Menlo Park, New Jersey.*
- HEIVILIN G.F. & MURRAY H.H.(1994):** "Hormites : Palygorskite (attapulgitic) and sepiolite", *In : Car D. (senior ed.), Industrial minerals and Rocks, Michigan, Braun - Brumfield, Inc., Ann Arbor, pp. 249 - 254*



- HOLM TH.A. (1994):** "Lightweight Concrete and Aggregates. Standard Technical Publication 169C.", *The American Society for Testing and Materials*, 522 - 532
- JAMOUSI F., BEN ABOUD A. & LOPEZ - CALINDO A. (2003)** : "Sepiolite and palygorskite "Palygorskite genesis through silicate transformation in Tunisian continental Eocene deposits", *Clay Minerals*, 187 - 199pp.
- JONES, B.F. & GALAN, E. (1988)** : "Sepiolite and palygorskite" *In: Bailey, S.W.ed/Hydrous phyllosilicates, Reviews in mineralogy, Miner.Soc.Am.,V.11, 631 - 674.*
- KASTRITIS I.D. & KACANDES G.H., MPOSKOS E. (2003):** "The palygorskite and Mg - Fe - smectite clay deposits of the Ventzia basin, Western Macedonia, Greece", *Geohellas S.A, National Technical University of Athens, Athens, In: Eliopoulos et al. (eds), Mineral Exploration and Sustainable Development, Millpress, Rotterdam, pp. 891 - 894*
- LIAKOPOULOS A. (1991):** "La genese de bentonite de Soulias (Ile de Milos, Greece): une approche geochimique", *Mineral Wealth*, 75, 41-49.
- LECA - Nature Own Material (2004):** "Lightweight, Insulating Building materials", *Leca Trading& Concession A/S, Copenhagen, Denmark*
- LEKKAS E.L., KRANIS CH.D., FOUNTOULIS I.G., LOZIOS S.G. & ADAMOPOULOU E.I (1995):** "Spatial Distribution of Damage Caused by the Grevena - Kozani Earthquake (W. Macedonia, Greece) of May 13, 1995" *International Meeting on Results of the May 13, 1995 earthquake of West Macedonia, Extended abstracts, 89 - 92pp.*
- LOPEZ - GALINDO A., ABOUD BEN A. & FENOLL HACH ALF P. & CASAS RNIZ J. (1995):** "Some Spanish palygorskite deposits: Geochemical evidence of a detrital precursor" *Mineral Deposits, Pasava, Kribek & Zak (eds) Balkerna, Rotterdam*
- LO Y., CUI H.Z., LI Z.G.:** "Influence of Aggregate Prewetting and Fly Ash on Mechanical Properties of Lightweight Concrete", *Journal of Waste Management (in press)*
- MANNING, P.A.C. (1995):** "Introduction to industrial minerals", *U.K., Chapman an Hall, 276pp.*
- MASON, B.H. (2000):** "Construction Uses - Lightweight aggregates " *Industrial Minerals & Rocks, Chapter 31, SME Editor, London, 12pp*



- MAVRIDIS A. & KELEPERTZIS A. (1993):** "Geological map of Greece", *sheet Knidi 1:50.000 I.G.M.E.*
- MIKE O' DRISCOLL:** "New producer of high quality attapulgite and saponite comes on - stream in Greece by Geohellas"
- MURRAY H.H. (2002):** "Industrial Clays Case Study", *Mining Minerals & Sustainable Development Project, IIED*
- MURRAY H.H. (2007):** "Occurences, Processing and Application of Kaolins, Bentonites, Palygorskite - Sepiolite and common clays", *Developments in Clay Science, 2, Elsevier*
- RIGO A., CHABALIER J.B., MEYER B. & ARMIJO R. (2004):** "The 1995 Kozani - Grevena (northern Greece) earthquake revisited: an improved faulting model from synthetic aperture radar interferometry", *Geophys.J.Int. 157, 727 - 736p.*
- SATISH C. & BERNTSSON L. (2002):** "Lightweight Aggregate Concrete", *Noyes Publications, New York, USA*
- SHORT & W. KIMNIBURGH (1978):** "Lightweight Concrete", *3rd ed., Applied Science Publishers, London*
- STAMATAKIS M.G. (2000):** "The Usage of Amorphous Silica and Hydrous Aluminosilicate for the Production of Construction Materials with Improved Mechanical Properties", *ERBIC15-CT96-0712 EU Contract, Final Report (Coordinator), 120pp*
- STAMATAKIS M., FRAGOULIS D., CHANIOTAKIS E. & COLUMBUS G.(2003):** "The Utilization of Clayey Diatomite in the Production of Lightweight Aggregates and Concrete", *Tile and Brick International, V. 19, p. 392 - 397*
- STAMATAKIS M., FRAGOULIS D., CHANIOTAKIS E. & KOLUMBUS G.(2004):** "Characterization of lightweight aggregates produced with clayey diatomite rocks originating from Greece", *Materials Characterization V. 53, p. 307 - 316*
- SUAD AL BAHAR, VTL BOGAHAWATTA:** "Development of lightweight aggregates in Kuwait", *Building and Energy Technologiew Department, Kuwait Institute for Scientific Research, June 2006*



- TOMMY Y. LO & H.Z.CUI:** "Properties of Green Lightweight Aggregate Concrete",
*Department of Building & Construction, City University of Hong Kong,
Hong Kong*
- TORRES - RUIZ J., LOPEZ - GALINDO A., GONZALES - LOPEZ J.M. & DELGADO A.**
(1994): "Geochemistry of Spanish sepiolite - palygorskite deposits :
Genetic considerations based on trace elements and isotopes", *Chemical
Geology. 112, 291 - 245*
- VALSANGKAR A.J. & HOLM TH.A. (1999)** : "Mechanical Durability of Expanded Shale
Lightweight Aggregate", *Geotechnical Testing Journal, GTJODJ 22, 329 -
333*
- WEINECKE, M.H .& FAULKNER B.P. (2002):** "Production of Lightweight Aggregates
from Waste Materials", *Mining Engineering 54, 5pp*
- YALCIN H. & BOZKAYA O.(1995):** "Sepiolite - Palygorskite from the Hekimhan region
(Turkey)", *Cumbruriyet Clays and Minerals, vol 43, University, 58140
Sivas, Turkey, No 6, 705 - 717pp*

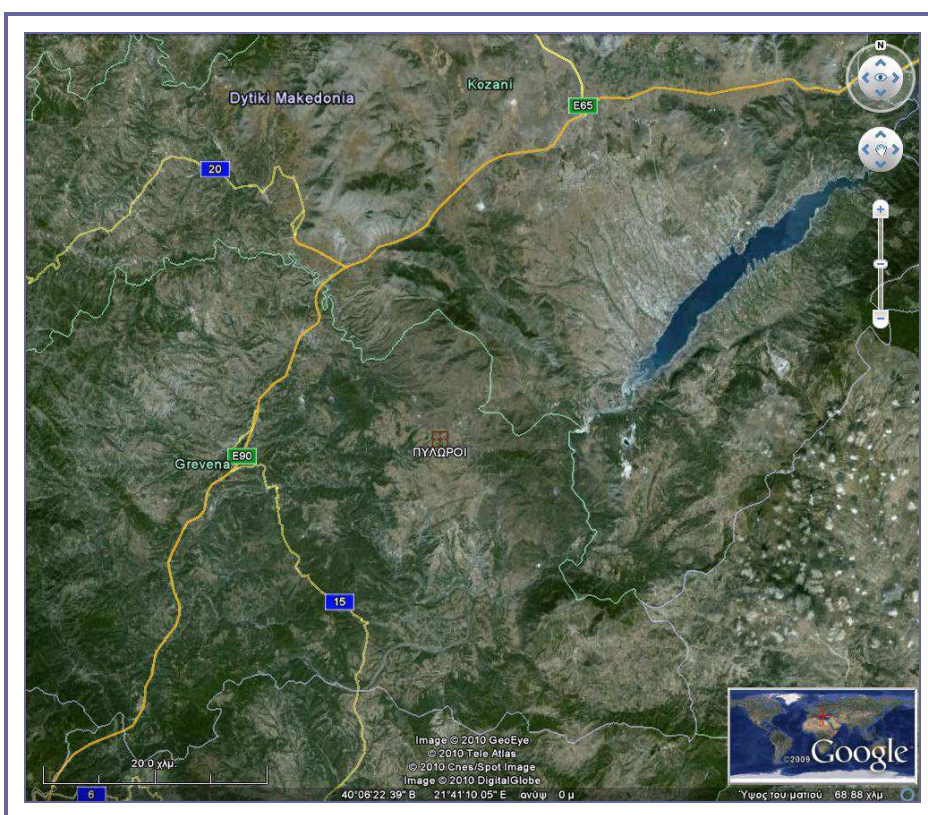
ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

- www.atb.name/company.html: "Autobang Attapulgate Clay", Jiangsu Autobang
International Co. Ltd. 2003 - 2005
- www.attapulgate.org/ (2003 - 2005): "Attapulgate Clay Island"
- www.leca.gr: Leca Trading & Concession A/S, Copenhagen, Denmark.
- www.medicinenet.com: Written by Pharmacists
- www.tee.gr
- www.maxit-group.com



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Δορυφορικές εικόνες ευρύτερης περιοχής δειγματοληψίας.



Εικόνες: Δορυφορικές εικόνες (Google Earth, 2010), όπου έχει σημειωθεί ο οικισμός Πυλωροί και απεικονίζεται το οδικό δίκτυο και η γεωμορφολογία της γύρω περιοχής.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β1: Αναλυτικά αποτελέσματα χημικών αναλύσεων SEM

SEMQuant results. Listed at 11:50:19 am on 09.07.2010

ATTAP li

Job: Mineral Analysis 20/1024

Spectrum label:

System resolution = 72 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations)

Analysed elements combined with: 0 (Valency:-2)

Method: Stoichiometry Normalised results

Nos. of ions calculation based on 6 anions per formula

4 peaks possibly omitted: 0.00,2.14,9.68, 11.46 keV

Standards:

Mg	K	MgO	25.09.2008
Al	K	Al2O3	25.09.2008
Si	K	Si	25.09.2008
K	K	Orthoclase	25.09.2008
Ca	K	CaF2	25.09.2008
Cr	K	Cr	25.09.2008
Fe	K	Fe	25.09.2008

Elmt		Spect. Type	Element %	Atomic %	Compound %	Nos. of ions
Mg	K	ED	12.36	14.79	MgO	1.46
Al	K	ED	1.09	1.18	Al2O3	0.12
Si	K	ED	19.85	20.55	SiO2	2.03
K	K	ED	0.12	0.09	K2O	0.01
Ca	K	ED	0.37	0.27	CaO	0.03
Cr	K	ED	0.39	0.22	Cr2O3	0.02
Fe	K	ED	4.46	2.32	FeO	0.23
O			33.35	60.60		6.00
Total			71.98	100.00	71.98	
					Cation sum	3.90

*=<2
Sigma

SEMQuant results. Listed at 11:50:19 am on 09.07.2010

ATTAP liv

Job: Mineral Analysis 20/1024

Spectrum label:

System resolution = 72 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations)

Analysed elements combined with: 0 (Valency:-2)

Method: Stoichiometry Normalised results

Nos. of ions calculation based on 6 anions per formula

2 peaks possibly omitted: 0.00, 0.26 keV

Standards:

Na	K	NaCl	22.09.2008
Mg	K	MgO	22.09.2008
Al	K	Al2O3	25.09.2008
Si	K	Si	25.09.2008
K	K	Orthoclase	25.09.2008
Ca	K	CaF2	25.09.2008
Fe	K	FeO	25.09.2008

Elmt		Spect. Type	Element %	Atomic %	Compound %	Nos. of ions
Na	K	ED	0,21*	Na2O	0,29*	0,01*
Mg	K	ED	5,17	MgO	8,57	0,31
Al	K	ED	7,27	Al2O3	13,74	0,39
Si	K	ED	27,33	SiO2	58,48	1,42
K	K	ED	0,85	K2O	1,02	0,03
Ca	K	ED	0,30	CaO	0,42	0,01
Ti	K	ED	0,22	TiO2	0,36	0,01
Fe	K	ED	8,53	FeO	10,97	0,22
O			43,97			4,00
Total			93,85		93,85	
					Cation sum	2,40

*=<2
Sigma

SEMQuant results. Listed at 11:50:19 am on 09.07.2010

ATTAP Ivi

Job: Mineral Analysis 20/1024

Spectrum label:

System resolution = 72 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations)

Analysed elements combined with: 0 (Valency:-2)

Method: Stoichiometry Normalised results

Nos. of ions calculation based on 6 anions per formula

2 peaks possibly omitted: 0.00, 0.26 keV

Standards:

Na	K	NaCl	22.09.2008
Mg	K	MgO	22.09.2008
Al	K	Al2O3	25.09.2008
Si	K	Si	25.09.2008
K	K	Orthoclase	25.09.2008
Ca	K	CaF2	25.09.2008
Fe	K	FeO	25.09.2008

Elmt		Spect. Type	Element %	Atomic %		Compound %	Nos. of ions
Na	K	ED	0,49	0,43	Na2O	0,65	0,03
Mg	K	ED	7,15	6,06	MgO	11,85	0,39
Al	K	ED	5,78	4,41	Al2O3	10,92	0,28
Si	K	ED	30,76	22,57	SiO2	65,81	1,45
K	K	ED	0,50	0,26	K2O	0,60	0,02
Ca	K	ED	0,76	0,39	CaO	1,06	0,02
Ti	K	ED	0,22*	0,10*	TiO2	0,37*	0,01*
Fe	K	ED	9,54	3,52	FeO	12,28	0,23
O			48,35	62,26			4,00
Total			103,54	100		103,54	
						Cation sum	2,42

*=<2
Sigma

SEMQuant results. Listed at 11:50:19 am on 09.07.2010

ATTAP Ili

Job: Mineral Analysis 20/1024

Spectrum label:

System resolution = 72 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations)

Analysed elements combined with: 0 (Valency:-2)

Method: Stoichiometry Normalised results

Nos. of ions calculation based on 6 anions per formula

4 peaks possibly omitted: 0.00,2.14,9.68, 11.46 keV

Standards:

Mg	K	MgO	25.09.2008
Al	K	Al2O3	25.09.2008
Si	K	Si	25.09.2008
K	K	Orthoclase	25.09.2008
Ca	K	CaF2	25.09.2008
Cr	K	Cr	25.09.2008
Fe	K	Fe	25.09.2008

Elmt		Spect. Type	Element %	Atomic %		Compound %	Nos. of ions
Mg	K	ED	15.56	18.13	MgO	25.79	1.82
Al	K	ED	1.08	1.14	Al2O3	2.05	0.11
Si	K	ED	19.03	19.20	SiO2	40.72	1.92
K	K	ED	0.14	0.10	K2O	0.17	0.01
Ca	K	ED	0.04*	0.03*	CaO	0.06*	0.00*
Cr	K	ED	0.04*	0.02*	Cr2O3	0.06*	0.00*
Fe	K	ED	2.97	1.51	FeO	3.82	0.15
O			33.81	59.87			6.00
Total			72.69	100.00		72.69	
						Cation sum	4.02

*=<2
Sigma

SEMQuant results. Listed at 11:50:19 am on 09.07.2010

ATTAP Iiii

Job: Mineral Analysis 20/1024

Spectrum label:

System resolution = 72 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations)

Analysed elements combined with: 0 (Valency:-2)

Method: Stoichiometry Normalised results

Nos. of ions calculation based on 6 anions per formula

4 peaks possibly omitted: 0.00,2.14,9.68, 11.46 keV

Standards:

Mg	K	MgO	25.09.2008
Al	K	Al2O3	25.09.2008
Si	K	Si	25.09.2008
K	K	Orthoclase	25.09.2008
Ca	K	CaF2	25.09.2008
Cr	K	Cr	25.09.2008
Fe	K	Fe	25.09.2008

Elmt		Spect. Type	Element %	Atomic %		Compound %	Nos. of ions
Mg	K	ED	5.58	5.59	MgO	9.25	0.54
Al	K	ED	6.76	6.10	Al2O3	12.76	0.59
Si	K	ED	25.59	22.19	SiO2	54.74	2.13
K	K	ED	0.81	0.51	K2O	0.98	0.05
Ca	K	ED	0.21	0.13	CaO	0.29	0.01
Cr	K	ED	-0.02*	-0.01*	Cr2O3	-0.03*	0.00*
Fe	K	ED	6.77	2.95	FeO	8.71	0.28
O			41.05	62.51			6.00
Total			86.81	100.00		86.81	
						Cation sum	3.60

*=<2
Sigma

SEMQuant results. Listed at 11:50:19 am on 09.07.2010

ATTAP Iliv

Job: Mineral Analysis 20/1024

Spectrum label:

System resolution = 72 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations)

Analysed elements combined with: 0 (Valency:-2)

Method: Stoichiometry Normalised results

Nos. of ions calculation based on 6 anions per formula

2 peaks possibly omitted: 0.00, 0.26 keV

Standards:

Na	K	NaCl	22.09.2008
Mg	K	MgO	22.09.2008
Al	K	Al2O3	25.09.2008
Si	K	Si	25.09.2008
K	K	Orthoclase	25.09.2008
Ca	K	CaF2	25.09.2008
Fe	K	FeO	25.09.2008

Elmt		Spect. Type	Element %	Atomic %		Compound %	Nos. of ions
Na	K	ED	0,16*	0,23*	Na2O	0,21*	0,01*
Mg	K	ED	5,04	6,92	MgO	8,35	0,45
Al	K	ED	6,25	7,74	Al2O3	11,82	0,51
Si	K	ED	15,82	18,80	SiO2	33,83	1,23
K	K	ED	0,39	0,33	K2O	0,47	0,02
Ca	K	ED	0,10*	0,08*	CaO	0,14*	0,01*
Ti	K	ED	0,18*	0,12*	TiO2	0,30*	0,01*
Fe	K	ED	7,57	4,53	FeO	9,75	0,30
O			29,36	61,25			4,00
Total			64,87	100,00		64,87	
						Cation sum	2,53

*=<2
Sigma

SEMQuant results. Listed at 2:05:54 pm on 16.02.2006

Attap liix

Job: Mineral Analysis 20/1024

Spectrum label:

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations)

Analysed elements combined with: 0 (Valency:-2)

Method: Stoichiometry Normalised results

Nos. of ions calculation based on 8 anions per formula

3 peaks possibly omitted: 0.02,2.14,5.46,9.70 keV

Standards:

Na	K	Albite	15.06.2004
Mg	K	MgO	21.06.2004
Al	K	Al2O3	18.06.2004
Si	K	Wollastonite	21.06.2004
K	K	Orthoclase	15.06.2004
Ca	K	Wollastonite	22.06.2004
Ti	K	Ti	15.06.2004
Fe	K	Pyrite	21.06.2004
Ni	K	Ni	15.06.2004

Elmt		Spect. Type	Element %	Atomic %	Compound %	Nos. of ions	
Na	K	ED	-0.12*	-0.12*	Na2O	-0.17*	-0.02*
Mg	K	ED	7.59	7.07	MgO	12.59	0.93
Al	K	ED	5.76	4.83	Al2O3	10.89	0.64
Si	K	ED	23.70	19.09	SiO2	50.69	2.51
K	K	ED	0.81	0.47	K2O	0.97	0.06
Ca	K	ED	0.57	0.32	CaO	0.80	0.04
Ti	K	ED	0.35	0.17	TiO2	0.59	0.02
Fe	K	ED	16.86	6.83	FeO	21.69	0.90
Ni	K	ED	1.53	0.59	NiO	1.94	0.08
O			42.95	60.75			8.00
Total			100.00	100.00	100.00		
					Cation sum		5.17

*=<2
Sigma

SEMQuant results. Listed at 2:09:18 pm on 16.02.2006

Attap liiy

Job: Mineral Analysis 20/1024

Spectrum label:

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations)

Analysed elements combined with: 0 (Valency:-2)

Method: Stoichiometry Normalised results

Nos. of ions calculation based on 8 anions per formula

3 peaks possibly omitted: 0.02,2.14,9.72 keV

Standards:

Na	K	Albite	15.06.2004
Mg	K	MgO	21.06.2004
Al	K	Al2O3	18.06.2004
Si	K	Wollastonite	21.06.2004
K	K	Orthoclase	15.06.2004
Ca	K	Wollastonite	22.06.2004
Ti	K	Ti	15.06.2004
Fe	K	Pyrite	21.06.2004
Ni	K	Ni	15.06.2004

Elmt		Spect. Type	Element %	Atomic %		Compound %	Nos. of ions
Na	K	ED	0.11*	0.10*	Na2O	0.14*	0.01*
Mg	K	ED	8.59	7.79	MgO	14.24	1.02
Al	K	ED	5.41	4.42	Al2O3	10.21	0.58
Si	K	ED	25.43	19.98	SiO2	54.40	2.62
K	K	ED	0.92	0.52	K2O	1.11	0.07
Ca	K	ED	1.01	0.56	CaO	1.41	0.07
Ti	K	ED	0.13*	0.06*	TiO2	0.22*	0.01*
Fe	K	ED	13.61	5.38	FeO	17.51	0.71
Ni	K	ED	0.59	0.22	NiO	0.75	0.03
O			44.21	60.97			8.00
Total			100.00	100.00		100.00	
						Cation sum	5.12

*=<2
Sigma

SEMQuant results. Listed at 2:15:48 pm on 16.02.2006

Attap Ivω

Job: Mineral Analysis 20/1024

Spectrum label:

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations)

Analysed elements combined with: 0 (Valency:-2)

Method: Stoichiometry Normalised results

Nos. of ions calculation based on 8 anions per formula

3 peaks possibly omitted: 0.02,2.14,9.72 keV

Standards:

Na	K	Albite	15.06.2004
Mg	K	MgO	21.06.2004
Al	K	Al ₂ O ₃	18.06.2004
Si	K	Wollastonite	21.06.2004
K	K	Orthoclase	15.06.2004
Ca	K	Wollastonite	22.06.2004
Ti	K	Ti	15.06.2004
Fe	K	Pyrite	21.06.2004
Ni	K	Ni	15.06.2004

Elmt		Spect. Type	Element %	Atomic %	Compound %	Nos. of ions
Na	K	ED	-0.10*	-0.10*	Na ₂ O	-0.01*
Mg	K	ED	7.28	6.69	MgO	0.88
Al	K	ED	5.91	4.89	Al ₂ O ₃	0.64
Si	K	ED	25.08	19.94	SiO ₂	2.61
K	K	ED	1.01	0.58	K ₂ O	0.08
Ca	K	ED	0.34	0.19	CaO	0.02
Ti	K	ED	0.30	0.14	TiO ₂	0.02
Fe	K	ED	15.34	6.13	FeO	0.80
Ni	K	ED	1.04	0.40	NiO	0.05
O			43.81	61.14		8.00
Total			100.00	100.00	100.00	
					Cation sum	5.08

*=<2
Sigma

SEMQuant results. Listed at 3:04:06 pm on 16.02.2006

Attap laix

Job: Mineral Analysis 20/1024

Spectrum label:

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations)

Analysed elements combined with: 0 (Valency:-2)

Method: Stoichiometry Normalised results

Nos. of ions calculation based on 8 anions per formula

3 peaks possibly omitted: 0.00,2.14,9.70 keV

Standards:

Na	K	Albite	15.06.2004
Mg	K	MgO	21.06.2004
Al	K	Al2O3	18.06.2004
Si	K	Wollastonite	21.06.2004
K	K	Orthoclase	15.06.2004
Ca	K	Wollastonite	22.06.2004
Ti	K	Ti	15.06.2004
Fe	K	Pyrite	21.06.2004
Ni	K	Ni	15.06.2004

Elmt		Spect. Type	Element %	Atomic %	Compound %	Nos. of ions
Na	K	ED	-0.18*	-0.17*	Na2O	-0.02*
Mg	K	ED	6.26	5.66	MgO	0.73
Al	K	ED	6.17	5.03	Al2O3	0.65
Si	K	ED	27.01	21.16	SiO2	2.74
K	K	ED	1.19	0.67	K2O	0.09
Ca	K	ED	0.36	0.20	CaO	0.03
Ti	K	ED	0.43	0.20	TiO2	0.03
Fe	K	ED	13.46	5.30	FeO	0.69
Ni	K	ED	0.35*	0.13*	NiO	0.02*
O			44.94	61.81		8.00
Total			100.00	100.00	100.00	
					Cation sum	4.94

*=<2
Sigma

SEMQuant results. Listed at 2:55:13 pm on 16.02.2006

Attap Iliix

Job: Mineral Analysis 20/1024

Spectrum label:

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations)

Analysed elements combined with: 0 (Valency:-2)

Method: Stoichiometry Normalised results

Nos. of ions calculation based on 8 anions per formula

3 peaks possibly omitted: 0.00,2.14,9.70 keV

Standards:

Na	K	Albite	15.06.2004
Mg	K	MgO	21.06.2004
Al	K	Al2O3	18.06.2004
Si	K	Wollastonite	21.06.2004
K	K	Orthoclase	15.06.2004
Ca	K	Wollastonite	22.06.2004
Ti	K	Ti	15.06.2004
Fe	K	Pyrite	21.06.2004
Ni	K	Ni	15.06.2004

Elmt		Spect. Type	Element %	Atomic %	Compound %	Nos. of ions	
Na	K	ED	-0.18*	-0.17*	Na2O	-0.24*	-0.02*
Mg	K	ED	5.25	4.58	MgO	8.70	0.58
Al	K	ED	6.59	5.17	Al2O3	12.44	0.66
Si	K	ED	31.14	23.50	SiO2	66.62	2.98
K	K	ED	0.68	0.37	K2O	0.82	0.05
Ca	K	ED	0.65	0.35	CaO	0.92	0.04
Ti	K	ED	0.25	0.11	TiO2	0.41	0.01
Fe	K	ED	7.78	2.95	FeO	10.01	0.37
Ni	K	ED	0.26*	0.09*	NiO	0.33*	0.01*
O			47.59	63.05			8.00
Total			100.00	100.00	100.00		
					Cation sum		4.69

*=<2
Sigma

SEMQuant results. Listed at 2:58:37 pm on 16.02.2006

Attap Ilivy

Job: Mineral Analysis 20/1024

Spectrum label:

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (2 iterations)

Analysed elements combined with: 0 (Valency:-2)

Method: Stoichiometry Normalised results

Nos. of ions calculation based on 8 anions per formula

4 peaks possibly omitted: 0.00,2.14,9.70,11.44 keV

Standards:

Na	K	Albite	15.06.2004
Mg	K	MgO	21.06.2004
Al	K	Al2O3	18.06.2004
Si	K	Wollastonite	21.06.2004
K	K	Orthoclase	15.06.2004
Ca	K	Wollastonite	22.06.2004
Ti	K	Ti	15.06.2004
Fe	K	Pyrite	21.06.2004
Ni	K	Ni	15.06.2004

Elmt		Spect. Type	Element %	Atomic %	Compound %	Nos. of ions	
Na	K	ED	-0.09*	-0.08*	Na2O	-0.12*	-0.01*
Mg	K	ED	3.93	3.54	MgO	6.51	0.45
Al	K	ED	5.92	4.81	Al2O3	11.19	0.61
Si	K	ED	29.36	22.92	SiO2	62.80	2.93
K	K	ED	0.65	0.36	K2O	0.78	0.05
Ca	K	ED	0.33	0.18	CaO	0.47	0.02
Ti	K	ED	0.37	0.17	TiO2	0.62	0.02
Fe	K	ED	13.28	5.22	FeO	17.09	0.67
Ni	K	ED	0.51*	0.19*	NiO	0.65*	0.02*
O			45.73	62.68			8.00
Total			100.00	100.00	100.00		
					Cation sum		4.76

*=<2
Sigma

SEMQuant results. Listed at 2:21:45 pm on 16.02.2006

Attap Ilcix

Job: Mineral Analysis 20/1024

Spectrum label:

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations)

Analysed elements combined with: 0 (Valency:-2)

Method: Stoichiometry Normalised results

Nos. of ions calculation based on 8 anions per formula

3 peaks possibly omitted: 0.02,2.14,9.72 keV

Standards:

Na	K	Albite	15.06.2004
Mg	K	MgO	21.06.2004
Al	K	Al2O3	18.06.2004
Si	K	Wollastonite	21.06.2004
K	K	Orthoclase	15.06.2004
Ca	K	Wollastonite	22.06.2004
Ti	K	Ti	15.06.2004
Fe	K	Pyrite	21.06.2004
Ni	K	Ni	15.06.2004

Elmt		Spect. Type	Element %	Atomic %	Compound %	Nos. of ions
Na	K	ED	-0.25*	-0.23*	Na2O	-0.34*
Mg	K	ED	6.52	5.73	MgO	10.82
Al	K	ED	6.40	5.07	Al2O3	12.10
Si	K	ED	29.68	22.55	SiO2	63.48
K	K	ED	0.71	0.39	K2O	0.86
Ca	K	ED	0.52	0.28	CaO	0.73
Ti	K	ED	0.26	0.12	TiO2	0.44
Fe	K	ED	9.13	3.49	FeO	11.74
Ni	K	ED	0.13*	0.05*	NiO	0.16*
O			46.89	62.56		8.00
Total			100.00	100.00	100.00	
					Cation sum	4.79

*=<2
Sigma

SEMQuant results. Listed at 2:25:27 pm on 16.02.2006

Attap Ilaiiy

Job: Mineral Analysis 20/1024

Spectrum label:

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations)

Analysed elements combined with: 0 (Valency:-2)

Method: Stoichiometry Normalised results

Nos. of ions calculation based on 8 anions per formula

3 peaks possibly omitted: 0.02,2.14,9.70 keV

Standards:

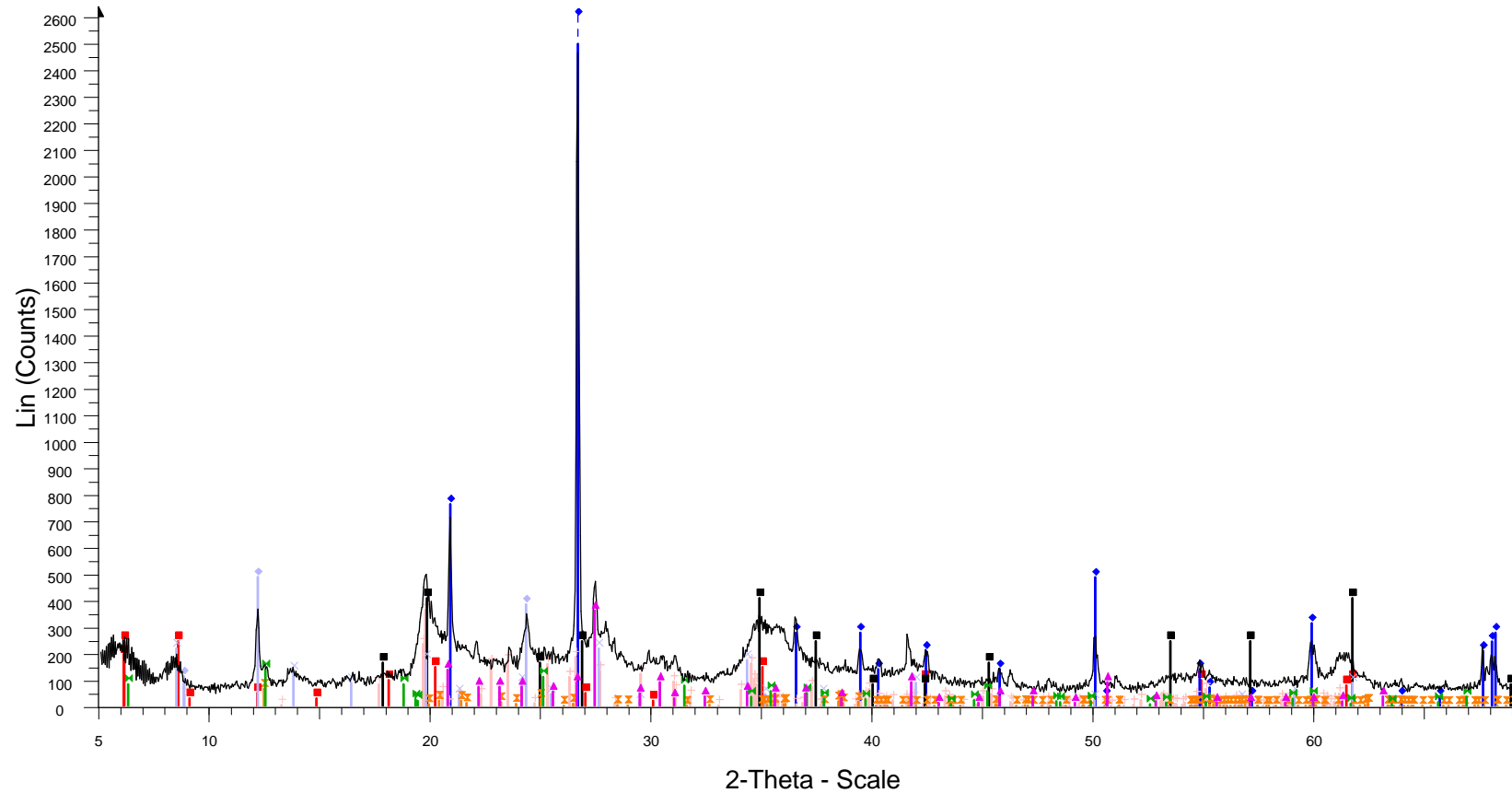
Na	K	Albite	15.06.2004
Mg	K	MgO	21.06.2004
Al	K	Al2O3	18.06.2004
Si	K	Wollastonite	21.06.2004
K	K	Orthoclase	15.06.2004
Ca	K	Wollastonite	22.06.2004
Ti	K	Ti	15.06.2004
Fe	K	Pyrite	21.06.2004
Ni	K	Ni	15.06.2004

Elmt		Spect. Type	Element %	Atomic %	Compound %	Nos. of ions	
Na	K	ED	-0.32*	-0.31*	Na2O	-0.44*	-0.04*
Mg	K	ED	5.50	4.94	MgO	9.12	0.63
Al	K	ED	6.06	4.91	Al2O3	11.45	0.63
Si	K	ED	28.47	22.14	SiO2	60.90	2.84
K	K	ED	0.60	0.33	K2O	0.72	0.04
Ca	K	ED	0.75	0.41	CaO	1.05	0.05
Ti	K	ED	0.35	0.16	TiO2	0.58	0.02
Fe	K	ED	12.71	4.97	FeO	16.35	0.64
Ni	K	ED	0.21*	0.08*	NiO	0.27*	0.01*
O			45.68	62.37			8.00
Total			100.00	100.00	100.00		
					Cation sum		4.83

*=<2
Sigma

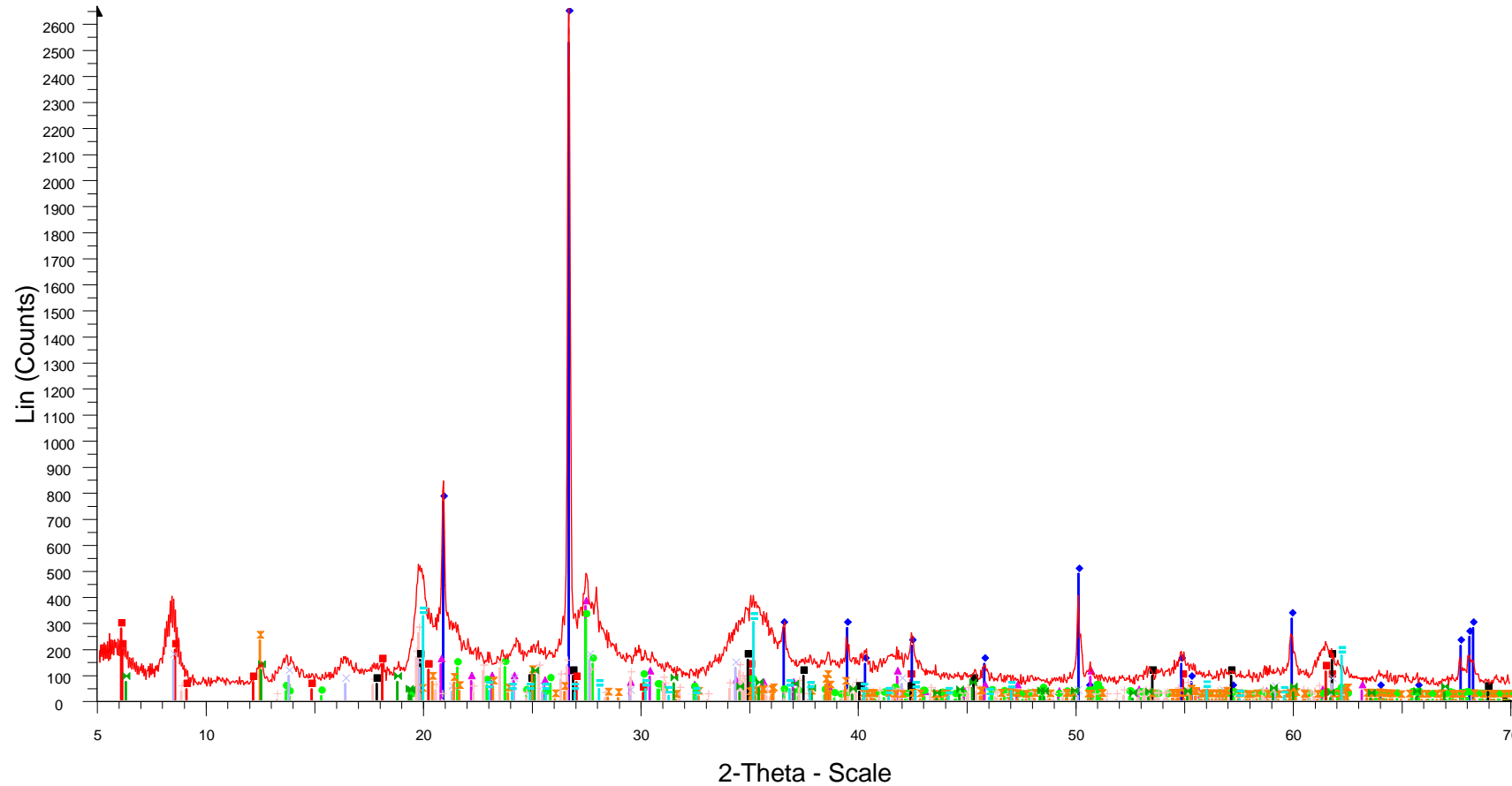
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β2: Διαγράμματα ορυκτολογικής ανάλυσης ΧRD

Αρχικό Δείγμα ΑΤΤΑΡ Ι (πρώτη ύλη)



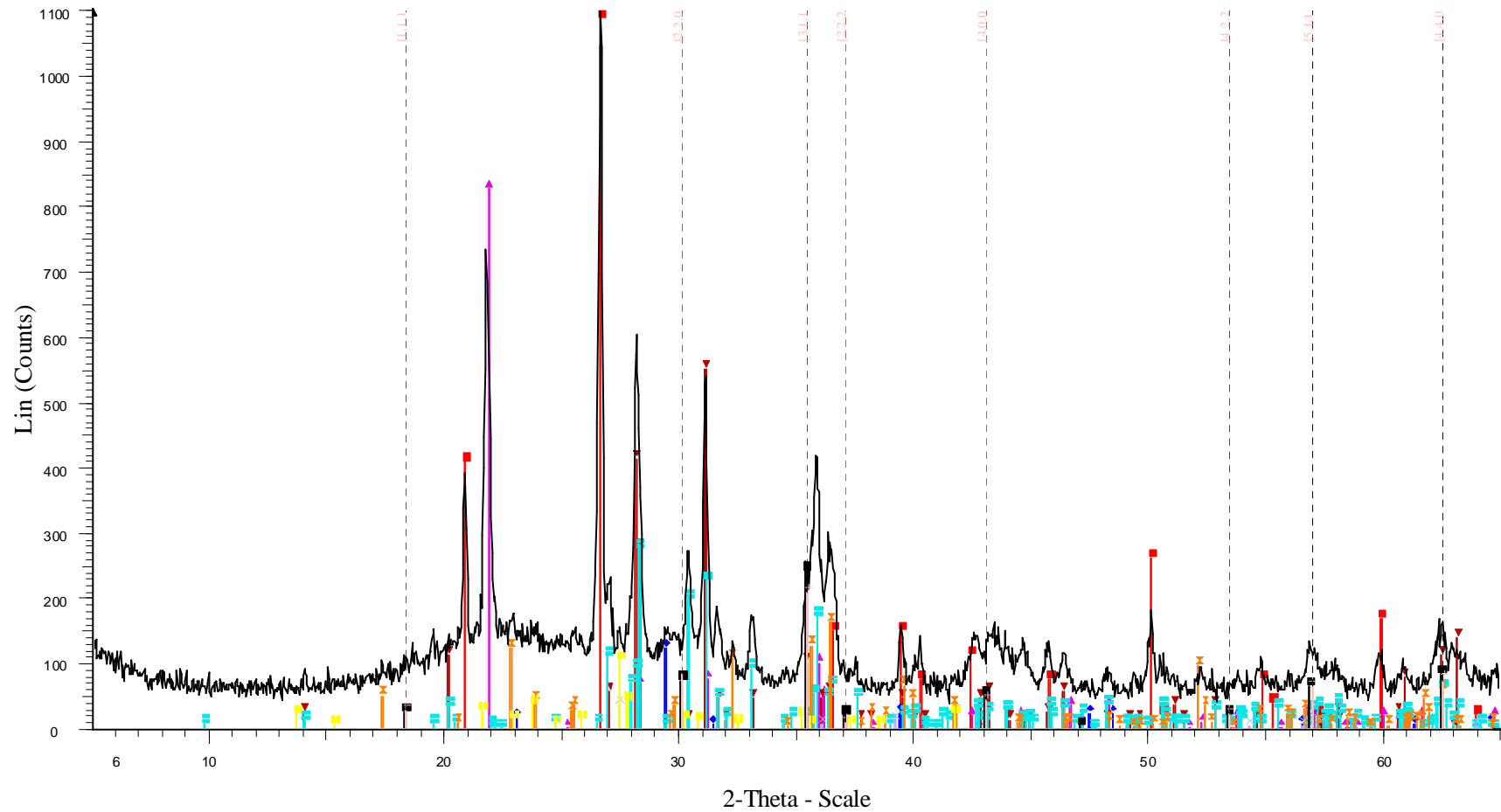
- AT1 - File: 4635.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 5.000
- 00-002-0018 (D) - Attapulgite - $\text{MgAlSi}_4\text{O}_{10}(\text{OH}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ - Y:
 - 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO_2 - Y: 126.30 % - d x by
 - 00-001-0705 (D) - Microcline - KAlSi_3O_8 - Y: 13.11 % - d x
 - 01-089-6217 (C) - Sericite 2M1 (heated) - $(\text{K}0.776\text{Na}0.181$
 - 00-003-0187 (D) - Halloysite-7A - $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ - Y: 14.8
 - 00-005-0099 (D) - Palygorskite - $\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ -
 - 01-075-1593 (D) - Kaolinite 1A - $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ - Y: 2.35
 - 00-029-0854 (D) - Clinchlore-2MIIb - $\text{Mg}_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{O}$
 - 00-007-0051 (D) - Montmorillonite - $(\text{Na,Ca})_{0.3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_2$
 - 00-005-0141 (D) - Eastonite (Mica) - $\text{K-Mg-Fe-Al-Si-O-H}_2\text{O}$

Αρχικό Δείγμα ΑΤΤΑΡ ΙΙ (πρώτη ύλη)



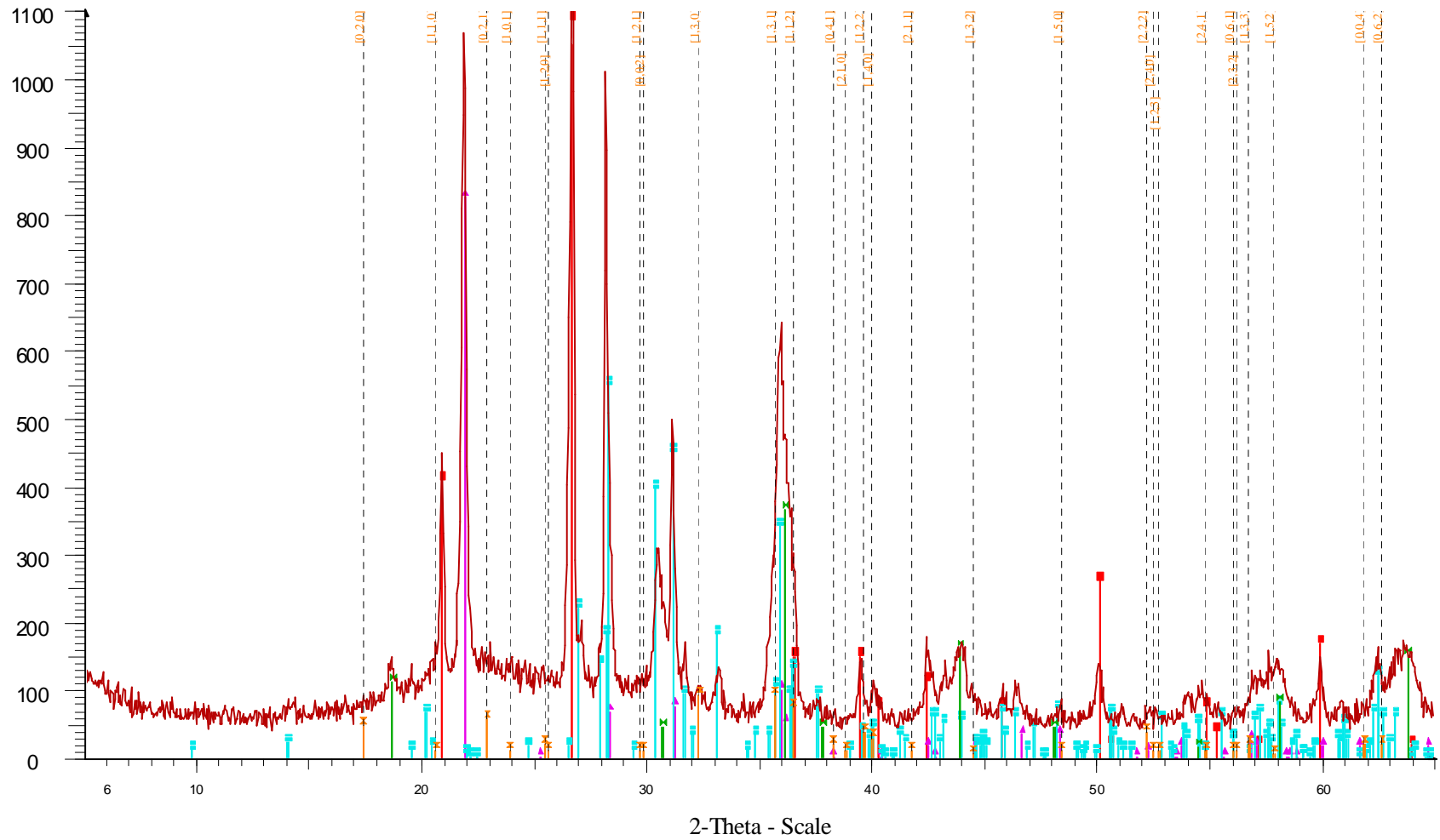
- ⬮ AT2 - File: 4636.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 5.000 ° -
 ⬮ 00-029-0854 (D) - Clinochlore-2MIIb - $Mg_5Al(Si_3Al)O_{10}(O$
- 00-002-0018 (D) - Attapulgite - $MgAlSi_4O_{10}(OH) \cdot 4H_2O$ - Y:
 ⬮ 00-003-0195 (D) - Olivine - $MgFeSiO_4$ - Y: 11.73 % - d x by
- ◆ 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO_2 - Y: 126.30 % - d x by
 ■ 00-007-0051 (D) - Montmorillonite - $(Na,Ca)_{0.3}(Al,Mg)_2Si_2$
- ▲ 00-001-0705 (D) - Microcline - $KAlSi_3O_8$ - Y: 13.11 % - d x
 ● 01-089-1455 (C) - Sanidine - $K_{0.42}Na_{0.58}Ca_{0.03}(AlSi_3O_8$
- 01-089-1455 (C) - Sanidine - $K_{0.42}Na_{0.58}Ca_{0.03}(AlSi_3O_8$
+ 01-089-6217 (C) - Sericite 2M1 (heated) - $(K_{0.776}Na_{0.181}$
- 00-003-0187 (D) - Halloysite-7A - $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ - Y: 5.62
 ⊗ 00-005-0099 (D) - Palygorskite - $Mg_5Si_8O_{20}(OH)_2 \cdot 8H_2O$ -
- ⊗ 00-005-0099 (D) - Palygorskite - $Mg_5Si_8O_{20}(OH)_2 \cdot 8H_2O$ -
 ⊗ 01-075-1593 (D) - Kaolinite 1A - $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ - Y: 8.34
- ⊗ 01-075-1593 (D) - Kaolinite 1A - $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ - Y: 8.34

Attap I



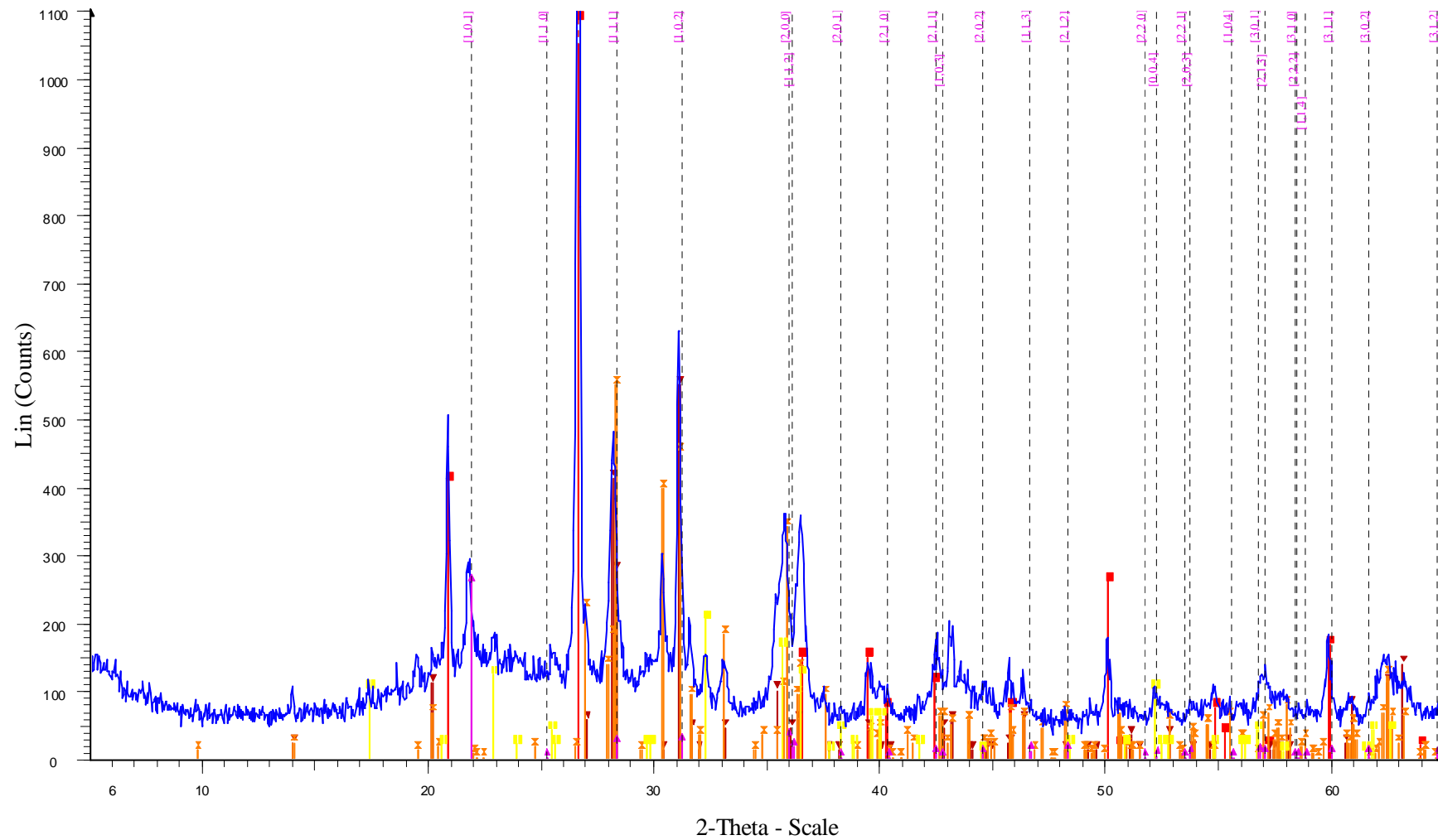
- | | |
|--|---|
| C:\raw_demetris\2547.RAW - File: 2547.RAW - Type: 2Th/Th locked | 34-0180 (D) - Rutile, syn - TiO ₂ |
| 33-1161 (D) - Quartz, syn - SiO ₂ | 10-0357 (N) - Sanidine, potassian, disordered, syn - (Na,K)(Si ₃ Al)O ₈ |
| 05-0586 (*) - Calcite, syn - CaCO ₃ | 36-0398 (*) - Magnesioferrite, disordered, syn - MgFe ₂ +3O ₄ |
| 76-0938 (A) - Cristobalite low - SiO ₂ | 76-1849 (A) - Magnetite - Fe ₃ O ₄ |
| 19-0768 (*) - Enstatite, syn - MgSiO ₃ | |
| 73-1937 (C) - Enstatite - MgSiO ₃ | |
| 71-1081 (A) - Forsterite, syn - Mg ₂ SiO ₄ | |







Attap II



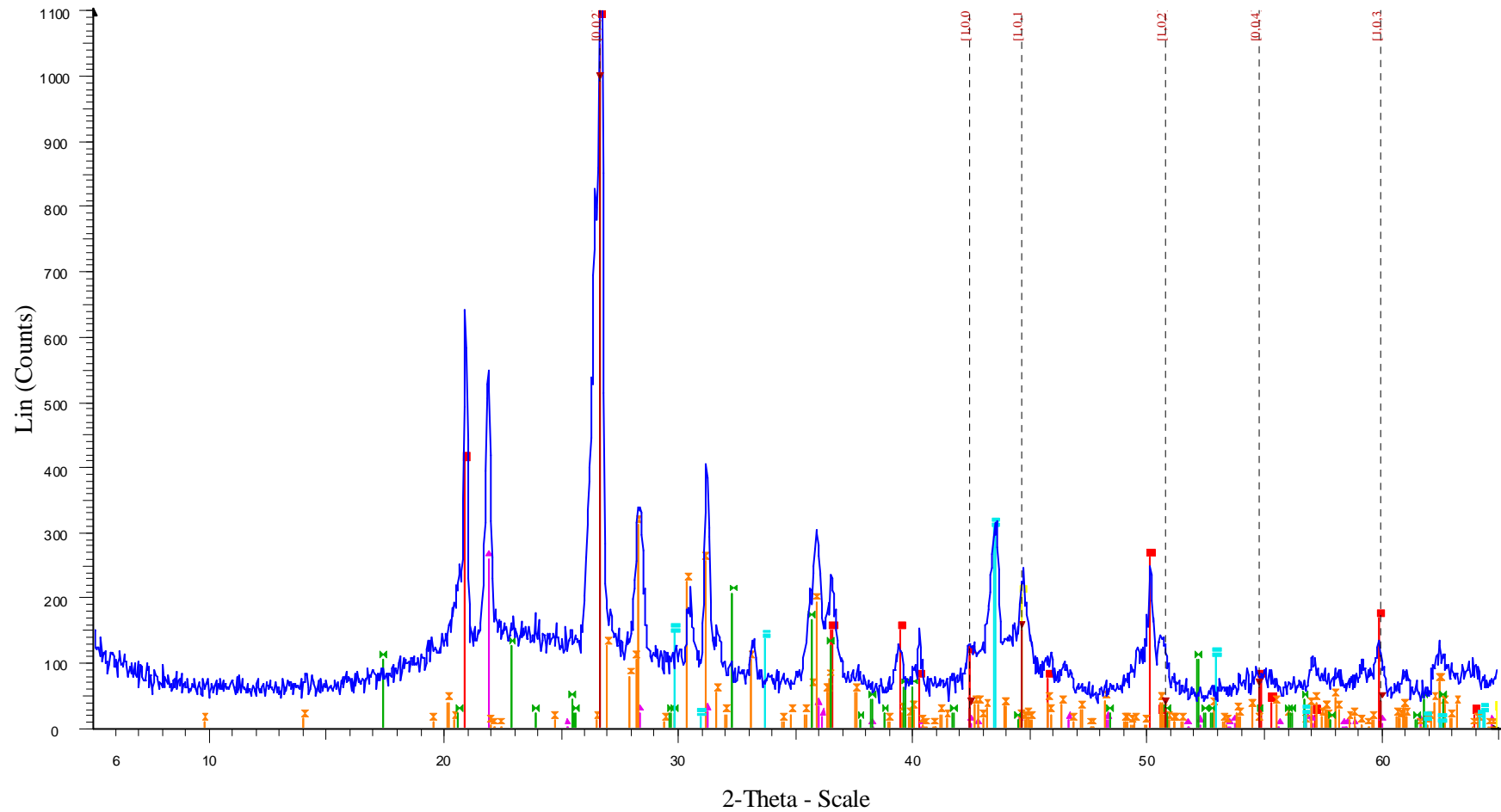
- ▬ C:\raw_demetris\2548.RAW - File: 2548.raw - Type: 2Th/Th locke
 ▬ 07-0079 (D) - Forsterite - 2(Mg0.91Fe0.09)O·SiO2
- 33-1161 (D) - Quartz, syn - SiO2
- ▲ 76-0938 (A) - Cristobalite low - SiO2
- 73-1937 (C) - Enstatite - MgSiO3
- ✕ 74-0907 (C) - Fe-Ringwoodite, syn - Fe2(SiO4)

Attap Ia



-  C:\raw_demetriss\2549.RAW - File: 2549.raw - Typ
-  33-1161 (D) - Quartz, syn - SiO₂
-  76-0938 (A) - Cristobalite low - SiO₂
-  19-0768 (*) - Enstatite, syn - MgSiO₃
-  73-1937 (C) - Enstatite - MgSiO₃
-  07-0075 (D) - Forsterite - 2(Mg_{0.90}Fe_{0.10})O·SiO₂



Attap IIa



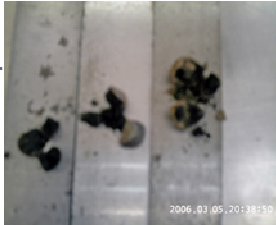
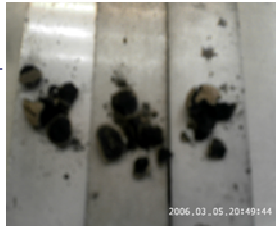


- | | |
|--|---------------------------------|
| C:\raw_demetris\2550.RAW - File: 2550.raw - Type: 2Th/T | 87-0721 (C) - Iron - Fe |
| 33-1161 (D) - Quartz, syn - SiO ₂ | 25-0284 (D) - Graphite, syn - C |
| 76-0938 (A) - Cristobalite low - SiO ₂ | |
| 73-1937 (C) - Enstatite - MgSiO ₃ | |
| 07-0075 (D) - Forsterite - 2(Mg _{0.90} Fe _{0.10})O·SiO ₂ | |
| 65-3408 (C) - Iron Sulfide - FeS | |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β3: Αναλυτικές Μετρήσεις και παρατηρήσεις θλιπτικής αντοχής




Attap I

α/α	d _θ (mm)	Ν _μ (g)	Παρατηρήσεις
1	26,40	1.270	έφυγε επιφανειακός φλοιός στο σφίξιμο
2	21,55		έσπασε στο σφίξιμο, εσωτερικά κενά
3	22,32	640	
4	21,41	2.120	
5	22,50	1.870	
6	15,17	2.350	
7	18,49	1.350	
8	17,34	820	
9	22,81	1.790	
10	18,63	690	
11	23,38	860	
12	22,63	2.750	είχε αποφλοιωθεί , μετά δεν έμπαινε άλλο βάρος
13	17,99	1.160	
14	16,90	1.980	
15	15,65	2.060	


Attap Ia

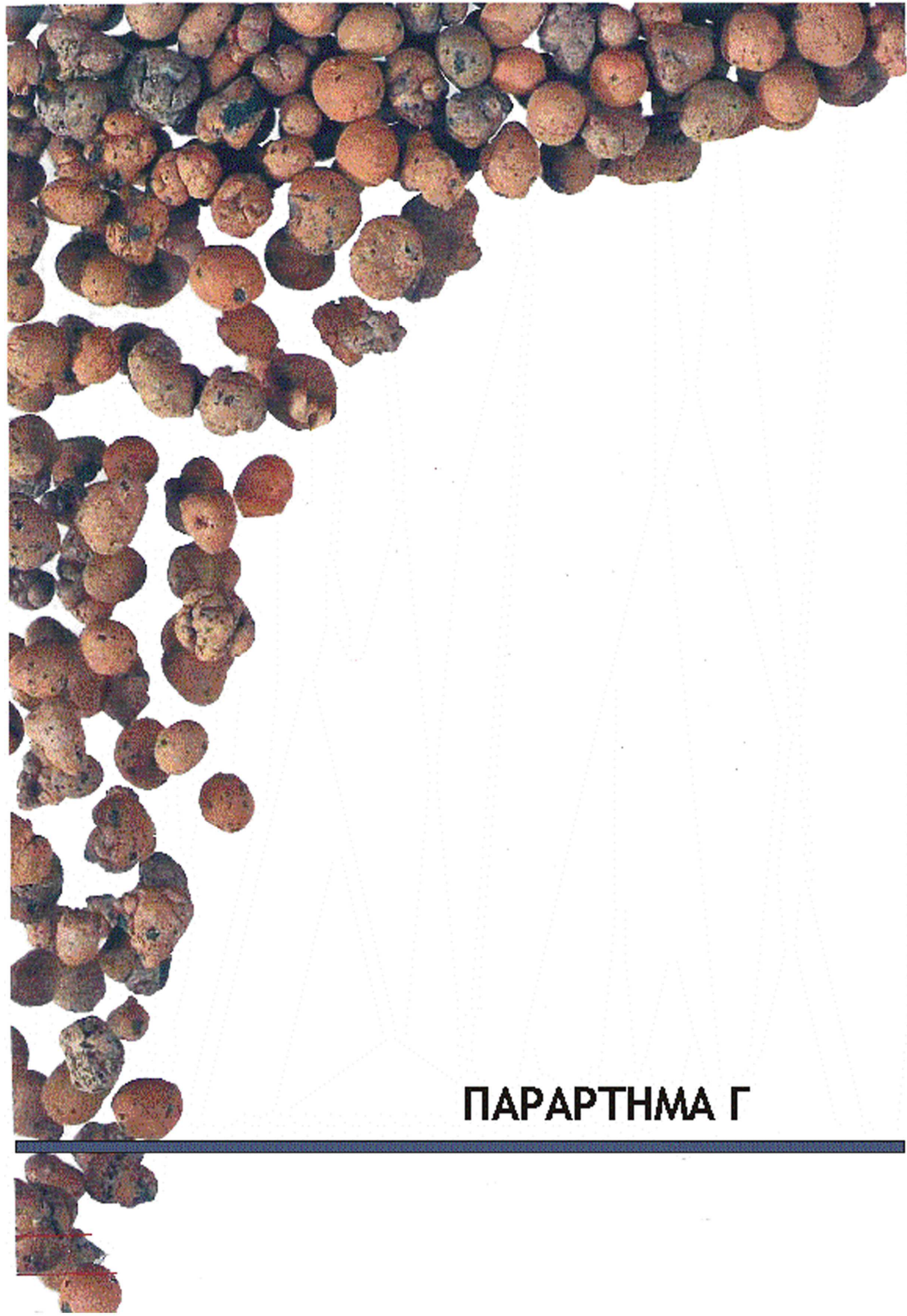
α/α	dθ (mm)	Νμ (g)	Παρατηρήσεις
1	11,09		έσπασε
2	12,62	380	
3	15,22	480	
4	13,90	440	
5	15,49	510	
6	14,84		
7	16,37	450	
8	15,62		έσπασε
9	15,05		έσπασε
10	12,81	320	
11	13,47	410	
12	17,54	570	
13	14,87	390	
14	15,77		έσπασε
15	18,86		έσπασε

Attap II

α/α	dθ (mm)	Νμ (g)	Παρατηρήσεις
1	16,69	2.700	
2	13,15	2.100	
3	14,87	1.590	
4	17,42	1.980	
5	14,05	940	
6	15,59	980	
7	19,25	1.040	
8	19,19	1.090	
9	14,56	2.110	
10	19,69	1.220	
11	14,50	1.530	
12	20,28	1.530	
13	20,32	960	
14	18,13		έσπασε
15	20,40	990	επίπεδα διάτμησης από έξω προς τα μέσα (στους έξω φλοιούς), έσπασε ένα κομμάτι

Ατταρ ΙΙα

α/α	dθ (mm)	Νμ (g)	Παρατηρήσεις
1	14,46	810	
2	18,87	950	
3	16,54	970	
4	14,71	950	
5	15,14	930	
6	14,18	960	
7	14,60		
8	14,82	810	
9	16,25	900	
10	17,74	700	
11	16,94		έσπασε
12	15,34	800	
13	14,31	870	
14	16,19	920	
15	14,71		έσπασε
16	15,41	1.080	



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ
