



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΚΑΡΑΧΑΛΙΟΥ ΑΘΑΝΑΣΙΑ-ΘΕΟΔΩΡΑ

ΧΡΗΣΗ ΠΑΛΥΓΟΡΣΚΙΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΕΛΑΦΡΟΒΑΡΩΝ
ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2024



Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ (ορισμοί & έννοιες)	4
1.1 ΚΟΝΙΕΣ	4
1.2 ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ	5
1.2.1 Ελαφροβαρή κονιάματα	5
1.3 ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ	7
1.3.1 Άμμος	9
1.3.2 Αργιλικά ορυκτά	10
1.4 Τσιμέντο	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ	19
2.1 ΥΛΙΚΑ	19
2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	19
2.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	20
2.3.1 Φαινόμενο βάρος	20
2.3.2 Πορώδες	21
2.3.3 Ταχύτητα επιμήκων κυμάτων	23
2.3.4 Αντοχή σε μοναξονική θλίψη	24
2.3.4 Ορυκτολογική σύσταση – XRD	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ & ΣΥΖΗΤΗΣΗ	27
3.1 ΑΜΜΟΣ	27
3.2 ΠΑΛΥΓΟΡΕΣΚΙΤΗΣ	28
3.3 ΤΣΙΜΕΝΤΟ	29
3.4 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ	30
3.5 ΠΟΡΩΔΕΣ	31
3.6 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΠΙΜΗΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ	32
3.7 ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΜΟΝΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ	33
3.8 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ (XRD)	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	38
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	40



Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την μελέτη της μερικής αντικατάστασης άμμου με παλυγορσκίτη αλλά και της επίδρασης της προσθήκης αυτού του μίγματος αδρανών στην δημιουργία ελαφροβαρών κονιαμάτων.

Σκοπός της εργασίας είναι η δημιουργία κονιαμάτων με εφάμιλλες ιδιότητες με αυτές των ελαφροβαρών μέσω της χρήσης μιγμάτων αδρανών αλλά και η σύγκριση τους με δύο πρότυπα δείγματα, τα S1 (συμβατικό κονίαμα με άμμο & τσιμέντο) αλλά και S2 (κονίαμα με αντικατάσταση ποσοστού της άμμου με ζεόλιθο σε αντίστοιχες αναλογίες με αυτές που χρησιμοποιούνται και για την συγκεκριμένη έρευνα). Για τον λόγο αυτό έγινε αντικατάσταση ενός μέρους της άμμου, που διαχρονικά χρησιμοποιείται, με ένα μαγνησιούχο αργιλοπυριτικό ορυκτό με μεγάλη ειδική επιφάνεια και πορώδες, τον παλυγορσκίτη. Στόχος η 'έκμετάλλευση' της δομής του έτσι ώστε να προκύψει δυνατότητα δημιουργίας κονιάματος εφάμιλλων ιδιοτήτων με τα συμβατικά, που χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο άμμο, χαμηλού φαινομένου βάρους αλλά και υψηλού πορώδους έτσι ώστε το τελικό αποτέλεσμα να εντάσσεται στην κατηγορία των ελαφροβαρών κονιαμάτων.

Για το εργαστηριακό κομμάτι της έρευνας έγινε κονιοποίηση συγκεκριμένης ποσότητας παλυγορσκίτη που στάλθηκε από το λατομείο Χαραμή της εταιρείας ΓΕΩΕΛΛΑΣ έτσι ώστε η κοκκομετρία του να είναι ανάλογη της απαιτούμενης. Έπειτα έγινε η ανάμειξη των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν, δηλαδή της άμμου, του παλυγορσκίτη και του τσιμέντου με προσθήκη νερού, με αποτέλεσμα την δημιουργία κονιάματος που τοποθετήθηκε σε μήτρες και αφέθηκε να συμπαγοποιηθεί. Οι μετρήσεις έγιναν ανά συγκεκριμένο διάστημα ημερών που προβλέπεται για την μελέτη των κονιαμάτων. Για κάθε μέρα μετρήσεων τα δοκίμια εξετάστηκαν στο φαινόμενο βάρος τους, στο πορώδες τους, στην μοναξονική τους αντοχή αλλά και στην ορυκτολογική και χημική τους σύσταση. Επιπλέον έγινε και έκπλυση των δειγμάτων με σκοπό την εύρεση βαρέων μετάλλων.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν δείχνουν πως η χρήση του συγκεκριμένου ορυκτού μπορεί να δώσει κονιάματα τα οποία έχουν ιδιότητες ανάλογες αυτών που αναφέρονται στα πρότυπα ΕΛΟΤ και συνεπώς οδηγούν στην κατάταξη του συγκεκριμένου κονιάματος στην κατηγορία των ελαφροβαρών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ (ορισμοί & έννοιες)

1.1 ΚΟΝΙΕΣ

Κονίες είναι κάθε είδους στερεό ή υγρό λεπτόκοκκο υλικό το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συνδετική ύλη για αδρανή υλικά. Το ίδιο μετά την ανάμιξη με κάποιου είδους υγρό, που κατά κύριο λόγο είναι το νερό, πήζει και τελικά στερεοποιείται βαθμιαία. Κατά την διάρκεια αυτού του χρονικού διαστήματος, δηλαδή της μεταβολής από την πήξη στην στερεοποίηση, το ίδιο αποκτά την τελική του μορφή, αλλά και συγκεκριμένες ιδιότητες (συγκολλητική ιδιότητα και μηχανική αντοχή).

Οι κονίες χωρίζονται συνολικά σε τέσσερις κατηγορίες, δύο βάση του τρόπου στερεοποίησης και σκλήρυνσης τους και άλλες δύο βάση της προέλευσής τους:

1. Βάση της προέλευσής τους χωρίζονται σε (Μωχάμεντ, 1996):

- Φυσικές κονίες, που απαντώνται στη φύση και μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα, χωρίς επεξεργασία, είτε μέσω προσθήκης πρόσθετων υλικών είτε όχι. Τέτοιες κονίες αποτελούν η ποζολάνη, η πυλοκονία κ.α.
- Τεχνητές κονίες, που παράγονται είτε με απομόνωση συστατικών από άλλα υλικά είτε με βιομηχανική διαδικασία σε εργοστάσια π.χ ο ασβέστης, το τσιμέντο κ.α.

2. Βάση του τρόπου στερεοποίησης και σκλήρυνσης τους χωρίζονται σε (Λεγάκης 1945 & Ζαχαροπούλου 2004):

- Αέριες κονίες που στερεοποιούνται μόνο με επαφή με την ατμόσφαιρα μέσω του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2). Όταν οι ίδιες βρεθούν σε περιβάλλον με υγρασία, η αντοχή τους μειώνεται ακόμα και αν οι ίδιες έχουν ήδη βρεθεί σε κατάσταση σκλήρυνσης. Αυτές μπορεί να είναι η γύψος, η άσβεστος, οι πηλοί κ.α.
- Υδραυλικές κονίες, στις οποίες η στερεοποίηση γίνεται μέσω της παρουσίας νερού, αλλά και της ιδιότητα που καλείται υδραυλικότητα και έχει να κάνει με την χημική τους σύσταση. Οι συγκεκριμένες, μετά την προσθήκη νερού μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως αέριες μέσω της σκλήρυνσης τους κατά την επαφή με την ατμόσφαιρα. Σε αυτές ανήκουν η υδραυλική άσβεστος, το τσιμέντο, η τεχνητή κονία Portland, η τραχεία γύψος κ.α.

Πήξη είναι το φαινόμενο που εμφανίζεται κατά την χρονική περίοδο που ο πολτός χάνει την πλαστικότητά του, αποκτά κάποια συνοχή και σταδιακά στερεοποιείται.

Σκλήρυνση είναι το επακόλουθο φαινόμενο της πήξης, κατά το οποίο το υγρής μορφής μείγμα μεταβαίνει σε λίθωμα και αποκτά την τελική του αντοχή (Κορωναίος & Πουλάκος, 2006).

1.2 ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Είναι μίγματα αποτελούμενα από ένα ή περισσότερα συνδετικά υλικά (κονίες), αδρανή, τυχόν άλλα ειδικά υλικά και κατά κύριο λόγο νερό ή και άλλα υγρά επεξεργασίας. Η αντοχή των κονιαμάτων βασίζεται σε μεγάλο ποσοστό στο είδος των αδρανών υλικών που περιέχονται σε αυτά. Πριν την ξήρανση τους έχουν καλή πλαστικότητα, αλλά και ρευστότητα, ενώ όταν επέλθει πήξη και σκλήρυνση τα κονιάματα αναπτύσσουν αντοχή στην θραύση, αλλά και φυσικές και χημικές ιδιότητες που εξαρτώνται από τα υλικά που περιέχουν.

1.2.1 Ελαφροβαρή κονιάματα

Είναι εκείνα που έχουν φαινόμενη πυκνότητα ξηρού σκλυρημένου κονιάματος μικρότερη ή ίση των 1500 kg/m^3 σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ EN 1015-10 (2000). Τα ίδια χαρακτηρίζονται από χαμηλό ειδικό βάρος και υψηλό πορώδες. Ανάλογα με τα αδρανή που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία τους, αυτά μπορεί να είναι πυράντοχα ή και να έχουν ηχομονωτικές και θερμομονωτικές ικανότητες. Γενικά η κατηγορία των ελαφροβαρών είναι μια από τις πολλές κατηγορίες διαχωρισμού των κονιαμάτων.

Κατηγοριοποίηση κονιαμάτων

Τα κονιάματα μπορούν να διαχωριστούν και κατηγοριοποιηθούν βάση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών τους (Παπαγιάννη 2000, Κορωναίος & Πουλάκος 2006, Λιτίνα 2008) σε:

- υδραυλικά και αέρια, ανάλογα με τον τρόπο που επιτυγχάνεται η πήξη και σκλήρυνσή τους, ο οποίος εξαρτάται από τον τύπο της κονίας που έχει προστεθεί. Στα αέρια κονιάματα, η σκλήρυνση γίνεται μέσω του ατμοσφαιρικού αέρα, λόγω της αντίδρασης του CO_2 με την υδράσβεστο. Στα υδραυλικά κονιάματα, η πήξη και σκλήρυνση μπορεί να συμβαίνει

τόσο στον αέρα, με τη διαδικασία να συνεχίζεται και στο νερό χάρη στους υδραυλικούς συντελεστές, όσο και απευθείας στο νερό

- ελαφριά και βαριά, ανάλογα με το φαινόμενο βάρος τους
- ανάλογα με το είδος της χρήσης τους σε κονιάματα δόμησης ή τοιχοποιίας, εξίσωσης δαπέδων, επισκευαστικά και τέλος συγκολλητικά.
- ανάλογα με το είδος της κονιάς ή/και των αδρανών που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία του κονιάματος σε:

1. τσιμεντοκονιάματα, που έχουν ως κύριο συνδετικό υλικό το τσιμέντο. Τα ίδια παρουσιάζουν υδραυλικές ιδιότητες, καθώς και αυξημένες αντοχές, ενώ χρησιμοποιούνται ως επιχρίσματα αλλά και σε κατασκευές που τείνουν να καταπονούνται λόγω των συνθηκών.
2. ασβεστοκονιάματα, που έχουν ως συνδετική ύλη την άσβεστο ή την υδράσβεστο.
3. τσιμεντοασβεστοκονιάματα ή μεικτά κονιάματα, τα οποία έχουν υδραυλικές ικανότητες και μειωμένη υδροπερατότητα. Τα ίδια είναι ανθεκτικά και δίνουν τιμές υψηλότερης αντοχής από τα ασβεστοκονιάματα που δεν περιέχουν πρόσμικτα.
4. ποζολανικά κονιάματα, που χρησιμοποιούν ως συνδετικό υλικό την άσβεστο (με μερική αντικατάσταση από τσιμέντο) και ποζολάνη (φυσική ή τεχνητή). Πρόκειται για υδραυλικά κονιάματα με χαμηλή αντοχή, τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως σε υγρούς ή υπόγειους χώρους
5. μαρμαροκονιάματα, στα οποία ως βασικό αδρανές υλικό χρησιμοποιείται η μαρμαρόσκονη αντί για άμμο, ενώ ως συνδετικό υλικό χρησιμοποιείται ο ασβέστης ή το τσιμέντο. Λόγω της δυνατότητάς τους να δημιουργούν επιφάνειες που μπορούν να λειανθούν, χρησιμοποιούνται κυρίως ως επιχρίσματα
6. γυψοκονιάματα, τα οποία έχουν ως κύριο συνδετικό υλικό την γύψο. Τα ίδια δίνουν λείες επιφάνειες χωρίς μικρορηγματώσεις και για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ως επιχρίσματα εσωτερικών χώρων.

Κατάλληλότητα κονιαμάτων

Σύμφωνα με τον Λεγάκη (1954) για να ενταχθεί ένα κονίαμα σε αυτά που είναι κατάλληλα για χρήση θα πρέπει να πληροί συγκεκριμένες προϋποθέσεις:

- να έχει πλαστικότητα και εργασιμότητα, συνεπώς να μην διασπάται κατά τους διάφορους χειρισμούς
- να έχει ικανή εσωτερική τριβή
- να είναι σταθερό, δηλαδή να μην υπόκειται σε έντονη διαστολή και συστολή έτσι ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία ρωγμών
- να δίνει υψηλές τιμές μηχανικής αντοχής
- να μην προσβάλλεται από το νερό και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες

Χρήσεις κονιαμάτων

Τα κονιάματα χρησιμοποιούνται ως:

- Συνδετικά υλικά, μέσω παρεμβολής τους μεταξύ των οριζόντιων και κατακόρυφων αρμών σε φυσικούς και τεχνητούς λίθους
- Καλυπτικά (επιχρίσματα) και μονωτικά υλικά
- Πρώτες ύλες στην κατασκευή τεχνητών λίθων (οπτόπλινθων, τσιμεντόλιθων)

1.3 ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος 1997 (Κ.Τ.Σ.-97), ως αδρανή ορίζονται όλα εκείνα τα υλικά, ορυκτής ή βιομηχανικής προέλευσης, που χρησιμοποιούνται είτε μαζί με κάποιου είδους συγκολλητικό μέσο (με σκοπό την δημιουργία κονιαμάτων, σκυροδεμάτων κλπ.), είτε αυτούσια σε πάσης φύσεως τεχνικά έργα.

Σύμφωνα με τον νόμο 1428/1984, αδρανή υλικά είναι όλα τα υλικά διαφόρων μεγεθών που προέρχονται από την εξόρυξη κατάλληλων πετρωμάτων ή τη συλλογή φυσικών αποθέσεων θραυσμάτων τους, και χρησιμοποιούνται είτε στην αρχική τους μορφή είτε μετά από θραύση, λειοτρίβηση ή ταξινόμηση για την κατασκευή κονιαμάτων, σκυροδεμάτων και άλλων εφαρμογών. Περιλαμβάνονται επίσης τα ασβεστολιθικά πετρώματα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ασβέστη, υδραυλικών κονιών ή συλλιπασμάτων μεταλλουργίας.

Τα αδρανή γενικά διακρίνονται σε:

A. Φυσικά ή επεξεργασμένα ελαφρά αδρανή με υψηλή σκληρότητα και φαινόμενο ειδικό βάρος $< 2.500 \text{ kg/m}^3$. Πιο συγκεκριμένα αυτά διακρίνονται σε:

- i. Φυσικά ελαφρά αδρανή (προερχόμενα από θραύση και κοκκομετρική διαβάθμιση φυσικών πετρωμάτων όπως η κίσσηρη, η σκωρία κ.ά.)
- ii. Επεξεργασμένα δομικά ελαφρά αδρανή (παραγόμενα από πυροεπεξεργασία σχιστοπηλού, αργίλου κ.ά.).
- iii. Επεξεργασμένα μονωτικά υπερ-ελαφρά αδρανή (από πυροεπεξεργασία υλικών όπως ο βερμικουλίτη, ο περλίτη και ο διατομίτη).
- iv. Παραπροϊόντα ως ελαφρά αδρανή (προερχόμενα από θραύση και κοκκομετρική διαβάθμιση αφρώδους ή κοκκώδους σκωρίας υψικαμίνων και ιπτάμενης τέφρας).

B. Φυσικά ή τεχνητά θρυμματισμένα βαριά αδρανή με μέσες έως υψηλές τιμές σκληρότητα και φαινόμενο ειδικό βάρος μεγαλύτερο των 2.500 kg/m^3 .

Αρχικά, θεωρούνταν ότι τα συγκεκριμένα υλικά δεν αντιδρούν χημικά με το συγκολλητικό μέσο, αλλά απλώς συγκρατούνται από αυτό. Στην πραγματικότητα, όμως, πρόκειται για υλικά τα οποία είναι χημικά ενεργά και επηρεάζουν τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά της μάζας στην οποία ενσωματώνονται (Σπυρόπουλος, 2005).

Σύμφωνα με τον Αντωνόπουλο (2011), τα κύρια πετρώματα που χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή αδρανών υλικών είναι:

- Μαγματικά (γρανίτες, διορίτες, γάββροι, ρυόλιθοι, δακίτες, ανδεσίτες, βασάλτες).
- Ιζηματογενή (ασβεστόλιθοι).
- Μεταμορφωμένα (γνεύσιοι, χαλαζίτες).

Στην Ελλάδα, πιο συνηθισμένη είναι η παραγωγή ασβεστολιθικών αδρανών υλικών, εξαιτίας του ότι αυτά είναι σύμφωνα με τις απαιτήσεις των κοινών κατασκευασμάτων (μηχανική αντοχή), είναι χαμηλού κόστους επεξεργασίας, αλλά και του ότι υπάρχουν σημαντικές αποθέσεις στον ελληνικό χώρο (Σαμιωτάκη, 2020)

Η χρήση αδρανών στα κονιάματα γίνεται με σκοπό την αποφυγή επιφανειακών ρωγματώσεων κατά την διαδικασία συμπαγοποίησης (πήξης & σκλήρυνσης) αυτών. Τα ίδια δρουν ως βασικός φορέας της αντοχής του κονιάματος σε συνδυασμό με τις κονίες οι οποίες δρουν ως συνδετικό υλικό αυτού (Κορωναίος & Πουλάκος 2006).

1.3.1 Άμμος

Χαρακτηρίζεται κάθε είδους συσώρευμα κόκκων μεγέθους 0,0625mm έως 2mm οι οποίοι προέρχονται είτε από ορυκτά είτε από πετρώματα και παραμένουν ασύνδετοι μεταξύ τους. Βάσει του προτύπου ΕΛΟΤ EN 12620 η ίδια ορίζεται ως το κλάσμα με $D_{\max} \leq 4\text{mm}$, ενώ σύμφωνα με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (1997) είναι το κλάσμα που μπορεί να διέλθει από κόσκινο 9,5mm (No 3/8) ολόκληρο και από κόσκινο 4,76mm (No 4) με ελάχιστες απώλειες. Γενικά ως ορισμός διαφέρει από είδος σε είδος ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται. Η ίδια αποτελείται κατά κύριο λόγο από χαλαζία, ενώ τα υπόλοιπα συστατικά της διαφέρουν ανάλογα με το είδος των πετρωμάτων από τα οποία αποτελείται η περιοχή προελεύσεως τους. Ως υλικό αποτελεί το συνηθέστερο αδρανές για την παρασκευή κονιαμάτων.

Η άμμος της οποίας γίνεται χρήση για την δημιουργία κονιαμάτων θα πρέπει να είναι φυσικής προελεύσεως είτε να προέρχεται από θραύση πετρωμάτων, αλλά και να πληροί συγκεκριμένες προϋποθέσεις, δηλαδή δεν θα πρέπει να περιέχει προσμίξεις ικανές να μειώσουν την αντοχή και τη σταθερότητα των κονιαμάτων, να επηρεάσουν αρνητικά άλλες ιδιότητές τους, ή να προκαλέσουν σε συνδυασμό με την αντίστοιχη συνδετική ύλη, χημικές αντιδράσεις ικανές να δημιουργήσουν επιβλαβείς καταστάσεις.

Εξαιτίας του ότι η θαλάσσια φυσική άμμος μπορεί να προκαλέσει επανθίσματα στο επίχρισμα λόγω της περιεκτικότητάς της σε άλατα, προτιμάται η χρήση άμμου ποτάμιας προελεύσεως σε αυτά. Γενικά όμως όποιο κι αν είναι το είδος της άμμου που χρησιμοποιείται, πριν γίνει η προσθήκη αυτής θα πρέπει πρώτα να γίνει επανειλημμένη πλύση, αλλά και καθαρισμός από το χώμα και τα άλατα που μπορεί να περιέχονται.

Η φυσική άμμος παρουσιάζει συγκεκριμένες ιδιότητες οι οποίες σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN-12620 είναι οι ακόλουθες: η τραχύτητα των κόκκων της είναι μικρότερη, η ίδια περιέχει ελάχιστο ποσοστό σκόνης (γεγονός που επιτρέπει στο κονίαμα να ξηραίνεται πιο γρήγορα και να είναι λιγότερο υγροσκοπικό) και για την παρασκευή του κονιάματος απαιτείται μικρότερη ποσότητα συνδετικής ύλης και νερού, με αποτέλεσμα τη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης ρωγμών στο κονίαμα.

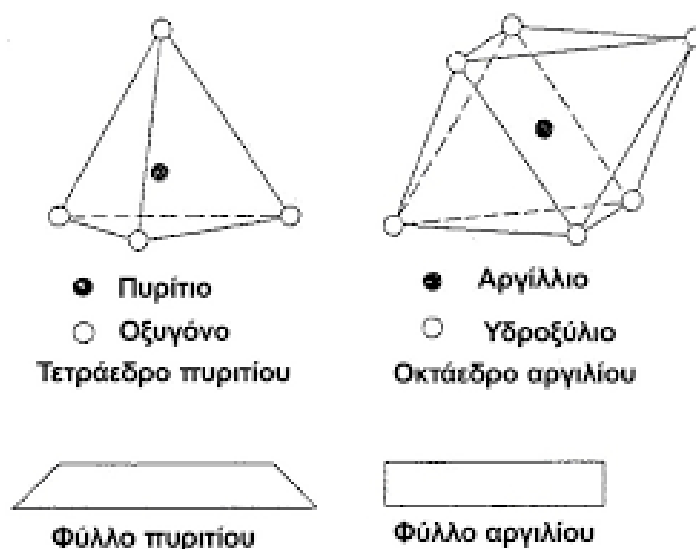
Όσον αφορά την κοκκομετρική διαβάθμιση της άμμου που χρησιμοποιείται στα κονιάματα, η ίδια θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν καλύτερα διαβαθμισμένη, καθώς από αυτό εξαρτάται τόσο η ποιότητα και όσο η εξωτερική όψη του κονιάματος. Η κοκκομετρική καμπύλη θα πρέπει να είναι συνεχής και να περιλαμβάνει όλα τα μεγέθη κόκκων σε ποσοστά όσο το δυνατόν πιο κοντά σε αυτά των κοκκομετρικών καμπυλών.

1.3.2 Αργιλικά ορυκτά

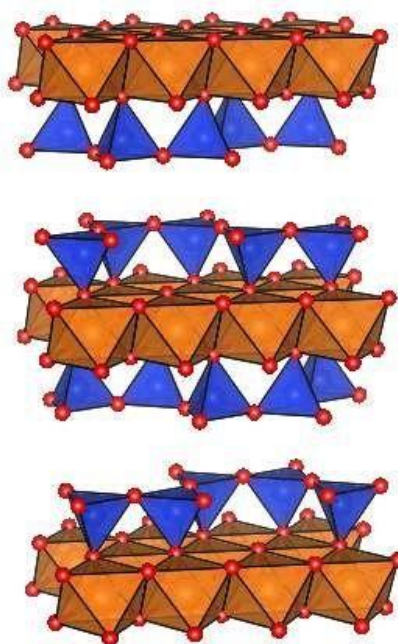
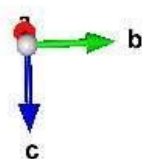
Η λέξη "άργιλος" χρησιμοποιείται με τρεις διαφορετικής σημασίας έννοιες, ως ονομασία του μεγέθους των κόκκων ενός κλαστικού ιζηματογενούς υλικού μικρότερου των 2μm, ως όνομα πετρώματος, αλλά και για την ονομασία ομάδας ένυδρων αργιλοπυριτικών ορυκτών (Μπουρλίβα 2013).

Τα ορυκτά της αργίλου είναι ένυδρα πυριτικά ορυκτά τα οποία αποτελούνται από Al, Mg αλλά και άλλα στοιχεία με την μορφή ιόντων. Τα ίδια αποτελούνται από οκτάεδρα αργιλίου και τετράεδρα πυριτίου (Εικ. 1&2). Το τετραεδρικό στρώμα αποτελεί την πρώτη κύρια δομική μονάδα τους με κεντρικό κατιόν να είναι το Si^{4+} , η αντικατάσταση του οποίου μπορεί να γίνει από Al^{3+} ή Fe^{3+} , ενώ σε ότι αφορά το οκταεδρικό, το ίδιο αποτελεί την δεύτερη δομική μονάδα τους, που στο κέντρο έχει το κατιόν Al^{3+} το οποίο δίνει την δυνατότητα αντικατάστασης από Fe^{2+} , Mg^{2+} , Li^{+} και άλλα κατιόντα.

Γενικά, το πως κατανέμονται τα στρώματα αλλά και τα συσσωματώματα που είναι πιθανό να δημιουργηθούν, είναι υπεύθυνο για τα διαφορετικά είδη δομών των αργίλων, οι οποίοι μπορεί να εμφανίζονται ως ίνες, φυλλάρια, πλακίδια κ.λπ. (Bergaya & Lagaly 2006).



Εικόνα 1. Δομές τετράεδρου πυριτίου & οκταέδρου αργιλίου (ΕΜΠ, Εργαστήριο τεχνικής γεωλογίας και υδρογεωλογίας).



Εικόνα 2. Δομή αργιλικών ορυκτών (Gruner 1934, Momma and F. Izumi 2011).

Σε ότι αφορά τις ιδιότητες τους, αυτά έχουν:

- α) σημαντική απορροφητική ικανότητα (ανάλογα με τον τύπο του αργιλικού ορυκτού).
- β) ικανότητα διόγκωσης (ανάλογα με τον τύπο του αργιλικού ορυκτού).
- γ) κατιοντοανταλλακτική ικανότητα (που συμβαίνει λόγω τριών φαινομένων, της ισόμορφης αντικατάστασης Si & Al εντός των τετραέδρων, των σπασμένων δεσμών γύρω από τα άκρα των αργιλοπυριτικών δομικών μονάδων, αλλά και των εκτεθειμένων ομάδων OH⁻ γύρω από τα θραυσμένα άκρα των αργίλων (Σικαλίδης, 1991 & Στυλιανού, 2012).
- δ) πλαστικότητα και υδροπερατότητα.
- ε) διασπορά και θρόμβωση.
- στ) θιξοτροπία (ικανότητα των αιωρημάτων τους να μετατρέπονται σε στερεούς πολτούς με την πάροδο του χρόνου, οι οποίοι έχουν την ιδιότητα να επιστρέφουν στην ρευστή μορφή τους ύστερα από ανατάραξη).

Εξαιτίας των παραπάνω ιδιοτήτων τους, τα αργιλικά ορυκτά είναι διαδεδομένα ανά τον κόσμο εδώ και αρκετά χρόνια. Πλέον γίνεται χρήση τους σε πολλούς τομείς της καθημερινότητας όπως ως συστατικά και χρωστικές ουσίες καλλυντικών, άμμους υγιεινής κατοικιδίων, πρόσθετα βελτίωσης αλλά και ουσίες για τον χρωματισμό πλαστικών και χρωμάτων, συστατικά κεραμικών προϊόντων και τούβλων. Επιπλέον

χρήση των ορυκτών αυτών γίνεται στις γεωτρήσεις, ως πρόσθετα λάσπης αλλά και στην χημεία πετρελαίου στην οποία παίζουν σημαντικό ρόλο ως καταλύτες στην διύλιση, την επεξεργασία και τον καθαρισμό ορυκτελαίων.

Γενικά τα αργιλικά ορυκτά κατατάσσονται σε πέντε κύριες ομάδες οι οποίες είναι:

- Ομάδα Καολίνη (καολίνης, δικίτης, νακρίτης, ανωξίτης, ενδελλίτης, αλλοϋσίτης και μετα-αλλοϋσίτης)
- Ομάδα Ιλλίτη (ιλλύτης, υδρομαρμαρυγίες, φεγγίτης, μπραμαλίτης, γλαυκονίτης και σελαδονίτης)
- Ομάδα Σμεκτιτών ή Μοντμοριλονίτη (μοντμοριλονίτης, νοτρονίτης, εκτορίτης, σαπωνίτης, βειδελλίτης, σοκονίτης)
- Ομάδα Βερμικουλίτη
- Ομάδα Παλυγορσκήτη (παλυγορσκήτης και σεπιόλιθος)

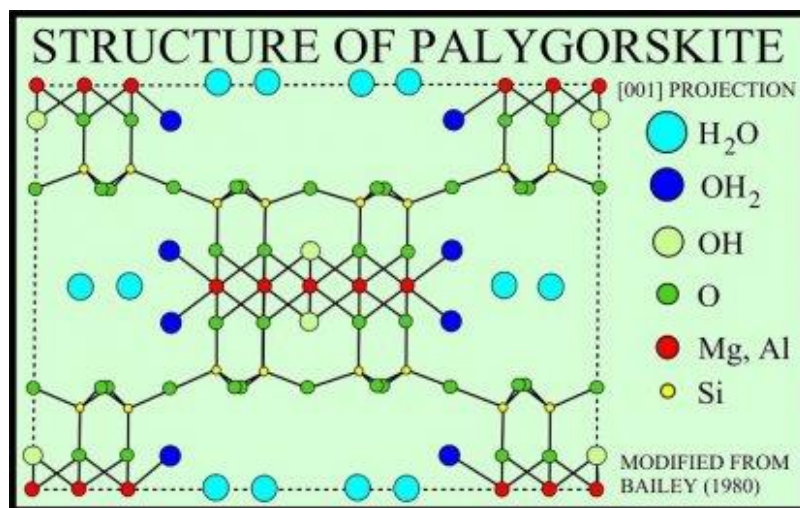
1.3.2.1 Παλυγορσκήτης

Αποτελεί ένυδρο αργιλοπυριτικό ορυκτό του μαγνησίου με γενικό χημικό τύπο $(\text{Mg,Al})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH}) \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$. Εμφανίζεται με την μορφή δοκοειδών (κενού σωλήνα) κρυστάλλων και δομή που μπορεί να χαρακτηριστεί τύπου αλυσίδας. Όταν διασπείρεται οι κρύσταλλοί του παραμένουν αδρανείς και χωρίς να υπάρχει κάποια διόγκωση τους, αλλά σχηματίζουν τυχαία διατεταγμένο δικτυωτό πλέγμα το οποίο συγκρατεί υγρά και δίνει πυκνωτικές, θιξοτροπικές και άλλες ιδιότητες (Εικ. 3). Ο παλυγορσκήτης έχει μια εξαιρετικά πορώδη δομή η οποία τον καθιστά πολύ απορροφητικό υλικό, επιπλέον έχει την ικανότητα να διασπείρεται, αλλά και να δίνει μεγάλες τιμές αντοχής τόσο σε υψηλές θερμοκρασίες όσο και σε περιβάλλοντα υψηλής αλατότητας και αλκαλικότητας και ικανότητα αποχρωματισμού.

Σχηματίζεται κάτω από ειδικές συνθήκες, παρουσία διαλυμάτων με μεγάλη περιεκτικότητα σε Mg όπως είναι οι πυθμένες των αλμυρών λιμνών ή περιοχές με αποσάθρωση σερπεντινικών πετρωμάτων. Επιπλέον, αν και σε μικρή ποσότητα, μπορεί να βρεθεί σε σύγχρονους θαλάσσιους πετρώματα οι οποίοι έχουν άμεση σύνδεση με ηφαιστειακή δραστηριότητα. (Μητρογιάννης, 2015).

Εξαιτίας των χαρακτηριστικών του, χρησιμοποιείται ευρέως στην βιομηχανία, με χρήσεις όπως:

- Σε χρώματα, καλλωπιστικά προϊόντα και ειδικά μελάνια
- Σε υγρά καθαριστικά, απορρυπαντικά και σαμπουάν.
- Σε σφραγιστικά, στιλβωτικά και συγκολλητικά υλικά.
- Ως άμμοι υγιεινής κατοικίδιων ζώων.
- Ως απορροφητικό αλλά και μέσο μεταφοράς υγρών.
- Σε πολφούς γεωτρήσεων που βρίσκονται σε περιοχές με νερό μεγάλης αλατότητας.
- Σε ζωοτροφές
- Σε γεωτρήσεις θερμικών πηγών.
- Σε δομικά υλικά.



Εικόνα 3. Δομή παλυγορσκίτη (Bailey, 1980).

Στην Ελλάδα, υπάρχουν σημαντικά κοιτάσματα παλυγορσκίτη νοτιοανατολικά των Γρεβενών, στην λεκάνη Βεντζίων, που τα εκμεταλλεύεται η εταιρεία ΓΕΩΕΛΛΑΣ Α.Ε. (θέσεις Πευκάκι, Πυλωροί, Χαραμή, Βελανίδα). Τα συγκεκριμένα κοιτάσματα συνοδεύονται από Fe-Mg σμεκτίτη, ενώ και τα δύο ορυκτά παρουσιάζουν εξαιρετικές απορροφητικές και θιξοτροπικές ιδιότητες. Ο όγκος των πόρων του παλυγορσκίτη της ΓΕΩΕΛΛΑΣ Α.Ε. κυμαίνεται από 0,6 έως 0,7 ml/g, ενώ η ειδική του επιφάνεια κυμαίνεται από 250 έως και πάνω από 300 m²/g.

Οι συγκεκριμένες αποθέσεις στην λεκάνη Βεντζίων δημιουργήθηκαν βάσει της παρακάτω διαδικασίας: Τα οφιολιθικά υπερβασικά πετρώματα του Βούρινου αλλά και

τα μολυσσικά ιζήματα της Μεσοελληνικής αύλακας λειτούργησαν ως κύριος πόρος Mg (σε υψηλές περιεκτικότητες), Fe, Al & Si αλλά και ιχνοστοιχείων όπως Cr, Ni & Co που σε συνδυασμό με κλιματικές συνθήκες σχετικής ξηρασίας με εναλλαγές περιόδων βροχοπτώσεων αλλά και υψηλές τιμές pH οδήγησαν στην δημιουργία των κοιτασμάτων παλυκορσκήτη. (Μυτιγάκη 2023)

1.4 Τσιμέντο

Αποτελεί υδραυλικό συνδετικό υλικό, δηλαδή ένα λεπτά διαμερισμένο ανόργανο υλικό (σκόνη), το οποίο, κατά την ανάμειξή του με νερό, σχηματίζει ένα υψηλού ιξώδους μείγμα που σταδιακά στερεοποιείται μέσω αντιδράσεων και διαδικασιών ενυδάτωσης.

Το ίδιο χρησιμοποιείται σπάνια μόνο του, ενώ κατά κύριο λόγο προστίθεται ως υλικό σύνδεσης των αδρανών που χρησιμοποιούνται. Όταν γίνεται ανάμειξή του με λεπτόκοκκα αδρανή δίνει κονιάματα, ενώ με την προσθήκη πιο αδρόκοκκων υλικών (άμμο, χαλίκι κλπ.) δημιουργεί το σκυρόδεμα, υλικό το οποίο βρίσκεται στην δεύτερη θέση, μετά το νερό, της κατάταξης των πιο συχνά χρησιμοποιούμενων πόρων στον πλανήτη.

Το τσιμέντο βάσει της ικανότητας του να πήζει όταν αναμειγνύεται με νερό, μπορεί να χαρακτηριστεί ως υδραυλικό ή σπανιότερα μη υδραυλικό.

- Τα υδραυλικά τσιμέντα πήζουν και αποκτούν συγκολλητικές ιδιότητες μέσω της χημικής αντίδρασης των ξηρών συστατικών τους με το νερό. Η διαδικασία αυτή οδηγεί στην δημιουργία ενώσεων που είναι δύσκολα υδατοδιαλυτές με συνέπεια να παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στο νερό. Μέσω αυτών επιτρέπεται η πήξη σε υγρές συνθήκες ή ακόμα και σε συνθήκες υπό του νερού, αλλά και προστατεύεται το υλικό από πιθανή χημική διάβρωση.
- Τα μη-υδραυλικά τσιμέντα, που είναι και λιγότερο συνηθισμένα, σε αντίθεση με τα υδραυλικά, δεν πήζουν σε υγρές συνθήκες, αλλά καθώς στεγνώνουν και αντιδρούν με το διοξείδιο του άνθρακα στον αέρα. Τα ίδια δεν προσβάλλονται εύκολα από χημικές αντιδράσεις.

Η διαδικασία που ακολουθείται για την παραγωγή του τσιμέντου είναι η εξής: Ξεκινώντας με την απόληψη των υλικών σε συγκεκριμένες ποσότητες και αναλογίες έπειτα από γεωλογικές έρευνες και χημικές αναλύσεις, ακολουθεί η προετοιμασία τους

μέσω σύνθλιψης και μεταφοράς για αποθήκευση στο εργοστάσιο. Έπειτα ακολουθεί η άλεση των υλικών έως ότου η κοκκομετρία τους να φτάσει το μέγεθος πολύ λεπτής πούδρας, το οποίο αποκαλείται **φαρίνα**. Στην συνέχεια το μείγμα ομογενοποιείται, προθερμαίνεται και οδηγείται στην κάμινο όπου οι θερμοκρασίες μπορούν να φτάσουν έως και τους 2.000 °C. Το μείγμα ψήνεται σε θερμοκρασία 1.500 °C και εξαιτίας των χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα, δημιουργείται το **κλίνκερ**, το οποίο αποτελεί το θεμέλιο στοιχείο για την παρασκευή κάθε είδους τσιμέντου. Έπειτα, μέσω απότομης διοχέτευσης αέρα γίνεται η ψύξη του και τελικά αποθηκεύεται. Τέλος, για την δημιουργία του τσιμέντου, το κλίνκερ αλέθεται μαζί με το προεπιλεγμένο άλλο υλικό π.χ φυσική ποζολάνη (ψημένη ή μη), ιπτάμενη τέφρα (πυριτική ή ασβεστούχο), σχιστόλιθο (ψημένο), ασβεστόλιθο, σκωρία υψικαμίνου ή πυριτική παιπάλη σε διάφορες αναλογίες. Ποια από τις προαναφερθείσες πρώτες ύλες θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από την διαθεσιμότητα τους, αλλά και το ποσοστό ζήτησης κάθε τύπου τσιμέντου στην χώρα από την οποία παρασκευάζονται.

Από 01/04/2001 τέθηκαν σε ισχύ για όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης συγκεκριμένα νέα πρότυπα τα οποία πρέπει να ακολουθούνται με σκοπό την εμπορία τσιμέντου. Σε αυτά δίνεται έμφαση στο ότι τα τσιμέντα θα πρέπει να φέρουν πιστοποίηση καταλληλότητας. Επιπλέον, θα πρέπει να έχουν έγκυρη σήμανση CE, δηλαδή να καλύπτουν τις ελάχιστες απαιτήσεις ασφαλείας για κατασκευές κάτι το οποίο θα πρέπει να πιστοποιείται από ανεξάρτητο φορέα ο οποίος θα είναι αναγνωρισμένος από την ΕΕ. Τέλος, τα ίδια πρέπει να πληρούν τα πρότυπα ΕΛΟΤ EN 197-1 και ΕΛΟΤ 197-2 (2000).

Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1 και 2 κατατάσσει τα πιο βασικά είδη τσιμέντων σε πέντε κύριες κατηγορίες (Πίν. 1) και είκοσι επτά υποκατηγορίες τους (Πίν. 2).

Πίνακας 1. Βασικοί τύποι τσιμέντων ευρωπαϊκού προτύπου ΕΛΟΤ EN 197-1.

CEM I	Τσιμέντο Portland
CEM II	Σύνθετο Τσιμέντο Portland
CEM III	Σκωριοτσιμέντο
CEM IV	Ποζολανικό Τσιμέντο
CEM V	Σύνθετο Τσιμέντο

Στην πρώτη κατηγορία CEM I ανήκουν τα τσιμέντα με ποσοστό προστιθέμενου γύψου 2-3%, τα οποία χρησιμοποιούνται για απλές οικοδομικές εργασίες. Η συγκεκριμένη κατηγορία παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον εξαιτίας των χαρακτηριστικών της τα οποία είναι οι έντονες υδραυλικές ιδιότητες, αλλά και οι υψηλές αντοχές. Για τον λόγο αυτό το τσιμέντο τύπου Portland είναι ευρέως διαδεδομένο και το κατά κύριο λόγο πιο χρησιμοποιούμενο ανά τον κόσμο.

Στην δεύτερη κατηγορία το τσιμέντο περιέχει ποζολάνη σε ποσοστό 20% και προορίζεται για σύνθετες οικοδομικές εργασίες.

Στην τρίτη κατηγορία προστίθενται πυριτικά ή αργιλοπυριτικά άλατα ασβεστίου, οι λεγόμενες σκωρίες υψικαμινών και χρησιμοποιείται κυρίως στην παραγωγή σκυροδέματος.

Η τέταρτη κατηγορία αποτελείται από ποζολάνες με ποσοστό συμμετοχής 20-40% και προορίζεται για κατασκευή έργων μεγάλου όγκου (υπερχειλιστές, φράγματα κ.λπ.).

Τέλος, η πέμπτη κατηγορία αποτελείται από τα τσιμέντα που προορίζονται για την ανοικοδόμηση έργων, τα οποία βρίσκονται σε πολύ διαβρωτικό περιβάλλον, όπως μονάδες βιολογικού καθαρισμού και αποχετεύσεις.

Πίνακας 2. Τύποι τσιμέντου βάσει είδους & ποσοστού συστατικών.

ΤΥΠΟΣ		Ονομασία	Κύρια συστατικά										Δευτ. συστ.
			Κλίνκερ	Σκωρία υψικαμινών	Πυριτική παυτάλη	Ποζολάνη	Ιπτάμενες τέφρες			Ψημένος σχιστόλιθος	Ασβεστόλιθος		
							Q	V	W		T	L	
ΤΣΙΜΕΝΤΑ PORTLAND													
CEM I	CEM I	95-100											0-5
ΣΥΝΘΕΤΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ PORTLAND													
CEM II	CEM II/A-S	80-94	6-20										0-5
	CEM II/B-S	65-79	21-35										0-5
	CEM II/A-D	90-94		6-10									0-5
	CEM II/A-P	80-94			6-20								0-5
	CEM II/B-P	65-79			21-35								0-5
	CEM II/A-Q	80-94				6-20							0-5
	CEM II/B-Q	65-79				21-35							0-5
	CEM II/A-V	80-94					6-20						0-5
	CEM II/B-V	65-79					21-35						0-5
	CEM II/A-W	80-94						6-20					0-5
	CEM II/B-W	65-79						21-35					0-5
	CEM II/A-T	80-94							6-20				0-5
	CEM II/B-T	65-79							21-35				0-5
	CEM II/A-L	80-94									6-20		0-5
	CEM II/B-L	65-79									21-35		0-5
	CEM II/A-LL	80-94										6-20	0-5
	CEM II/B-LL	65-79										21-35	0-5
	CEM II/A-M	80-94											0-5
	CEM II/B-M	65-79											0-5
ΣΚΟΡΙΟΤΣΙΜΕΝΤΑ													
CEM III	CEM III/A	35-64	36-65										0-5
	CEM III/B	20-34	66-80										0-5
	CEM III/C	5-19	81-95										0-5
ΠΟΖΟΛΑΝΙΚΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ													
CEM IV	CEM IV/A	65-89	-										0-5
	CEM IV/B	45-64	-										0-5
ΣΥΝΘΕΤΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ													
CEM V	CEM V/A	40-64	18-30										0-5
	CEM V/B	20-39	31-50										0-5
α) Οι τιμές του πίνακα αναφέρονται στο σύνολο των κυρίων και δευτερευόντων συστατικών													
β) Το ποσοστό της πυριτικής παυτάλης περιορίζεται στο 10%													
γ) Στα σύνθετα ταμμένα Πόρτλαντ CEM II/A-M και CEM II/B-M, στα ποζολανικά ταμμένα CEM IV/A και CEM IV/B και στα σύνθετα ταμμένα CEM V/A και CEM V/B τα κύρια συστατικά πλην του κλίνκερ πρέπει να δηλώνονται στην ονομασία του ταμμένου													

Στον πίνακα 2 φαίνεται πως κάθε ονομασία τσιμέντου περιέχει κεφαλαία γράμματα π.χ. A, P κλπ. μετά τον τύπο του. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως τα A & B δείχνουν την περιεκτικότητα του υλικού σε κλίνκερ, όπου A= 80-94% και B= 65-79% και τα υπόλοιπα το είδος του αδρανούς που έχει προστεθεί, όπου D= Si-Παιπάλη, L= Ασβεστόλιθος, LL= Υψηλότερης Ποιότητας Ασβεστόλιθος, M= Μείγμα Ποζολάνης με Ασβεστόλιθο, P= Φυσική Ποζολάνη, Q= Ψημένη Ποζολάνη, S= Σκωρία Υψικαμίνου, T= Ψημένος Σχιστόλιθος, V= Si-Τέφρα, W= Ca-Τέφρα

Επιπλέον, βάση της αντοχής του κάθε τσιμέντου ορίζονται τρεις βασικές κατηγορίες αντοχής: 32,5MPa, 42,5MPa και 52,5MPa στις οποίες εισάγονται και δύο κατηγορίες πρώιμης αντοχής για κάθε μια, οι N & R όπου N= κανονική ανάπτυξη αντοχών και R= ταχεία, με αποτέλεσμα την δημιουργία έξι κατηγορίες αντοχής (Πίν. 3).

Πίνακας 3. Τύποι τσιμέντου βάση αντοχής.

Κατηγορία Αντοχής	Αντοχή στη θλίψη				Αρχικός	Διόγκωση
	MPa				χρόνος πήξης	(Διαστολή)
	Αρχική Αντοχή		Τυπική Αντοχή			
	2 ημέρες	7 ημέρες	28 ημέρες		Min	mm
32,5 N	-	>=16,0	>=32,5	<=52,5	>= 75	<= 10
32,0 R	>=10,0	-				
42,5 N	>=10,0	-	>=42,5	<=62,5	>= 60	
42,5 R	>=20,0	-				
52,5 N	>=20,0	-	>=52,5	-	>= 45	
52,5 R	>=30,0	-				

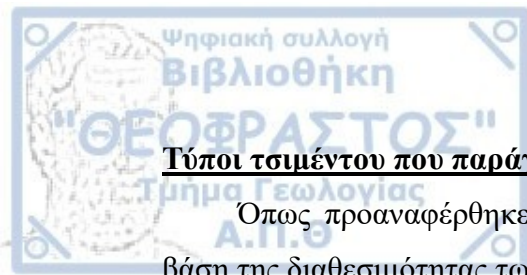
Βάση των παραπάνω, κάθε είδος τσιμέντου έχει συγκεκριμένη ονομασία η οποία δείχνει τον τύπο του, την περιεκτικότητα προσθέτων, τον τύπο των αδρανών που περιέχει, την κατηγορία αντοχών του, αλλά και το αν η ανάπτυξη αυτών ήταν ταχεία ή κανονική. Για παράδειγμα ένα τσιμέντο CEM II/ B-M 42.5 N, δείχνει πως το ίδιο είναι: CEM II → Σύνθετο τσιμέντο Portland.

B → 65-79% περιεκτικότητας σε κλίνκερ.

M → χρήση σύνθετου μείγματος ποζολάνης με ασβεστόλιθο ως αδρανή.

42.5 → αντοχή υλικού μετά τις 28 μέρες.

N → κανονική ανάπτυξη των συγκεκριμένων αντοχών



Τύποι τσιμέντου που παράγονται στην Ελλάδα

Όπως προαναφέρθηκε κάθε χώρα παράγει συγκεκριμένους τύπους τσιμέντου βάση της διαθεσιμότητας των πρώτων υλών, αλλά και της ζήτησης. Για τον λόγο αυτό η Ελλάδα παράγει τους παρακάτω τύπους τσιμέντων:

- CEM I 42.5 & 52.5
- CEM II/A-M 42.5
- CEM II/B-M 32.5 & 42.5
- CEM II/A-L 42.5
- CEM IV/B 32.5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1 ΥΛΙΚΑ

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα για την δημιουργία των μιγμάτων, είναι:

- Α) Παλυγορσκίτης της εταιρείας ΓΕΩΕΛΛΑΣ Α.Ε.
- Β) Άμμος εμπορικής ποιότητας, η οποία προέρχεται από την κοίτη του Αξιού ποταμού,
- Γ) Τσιμέντο Portland τύπου CEM II/B-M 42.5 της εταιρείας ISOMAT.

2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Για την εκπόνηση της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας παρασκευάστηκαν και εξετάστηκαν δέκα δοκίμια σύμφωνα με τα πρότυπα αναλογιών ASTM C109/109M.

Αρχικά έγινε η ανάμειξη των τριών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν με την προσθήκη νερού σε αναλογίες 1:2,75:0,485 (τσιμέντο : μείγμα αδρανών : νερό), ενώ λόγω υψηλής απορροφητικότητας ήταν αναγκαία η προσθήκη επιπλέον ποσότητας νερού με σκοπό την επίτευξη της επιθυμητής εργασιμότητας. Σε ότι αφορά το μείγμα αδρανών που χρησιμοποιήθηκε, το ίδιο επιλέχθηκε να αποτελείται από 50% άμμο και 50% παλυγορσκίτη λόγω των ιδανικών αποτελεσμάτων που φαίνεται, από προηγούμενες έρευνες, να προσφέρει η συγκεκριμένη αναλογία αδρανών στα κονιάματα. Έπειτα το μείγμα τοποθετήθηκε σε κυβικές μήτρες ακμής 50mm και αφέθηκε να συμπαγοποιηθεί σε συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας 25°C-27°C και $\approx 60\%$ αντίστοιχα, τιμές οι οποίες είναι σύμφωνες με τα αντίστοιχα πρότυπα.

Έτσι προέκυψαν δοκίμια ακμής 50mm (Εικ. 4) που ακολουθούν τις προτεινόμενες αναλογίες των προτύπων ASTM C109/109M. Τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε συγκεκριμένες μετρήσεις με σκοπό την εύρεση των φυσικομηχανικών τους χαρακτηριστικών. Αυτά ήταν, το φαινόμενο βάρος, το πορώδες, η αντοχή σε μοναξονική θλίψη, αλλά και η μεταβολή της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων P. Τα δοκίμια μετρήθηκαν στις 3, 7, 28 και 90 ημέρες.



Εικόνα 4. Παράδειγμα δοκιμίων που παράχθηκαν.

2.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

2.3.1 Φαινόμενο βάρος

Φαινόμενο βάρος (γ) είναι το βάρος συγκεκριμένου όγκου της στερεάς μάζας μαζί με το περιεχόμενο των πόρων, είτε αυτό είναι αέρας είτε υγρό. Συνεπώς, το ίδιο είναι το πηλίκο του βάρους του υλικού (G) προς τον όγκο του (V).

$$\gamma = G/V \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Για τον υπολογισμό αυτού κάθε μέρα μέτρησης (3, 7, 28, 90 ημέρες) τα αντίστοιχα δοκίμια τοποθετούνταν το καθένα ξεχωριστά σε κάψα που προηγουμένως είχε μετρηθεί το βάρος της και έπειτα η ίδια με το περιεχόμενο δοκίμιο τοποθετούταν σε ζυγαριά ακριβείας (Εικ. 5), με αεροστεγές κλείσιμο προς αποφυγή αλλοίωσης των αποτελεσμάτων. Έπειτα από την αφαίρεση του απόβαρου, δηλαδή του βάρους της κάψας, η ζύγιση έδινε το βάρος του δοκιμίου το οποίο διαιρούταν με τον υπολογισμένο

όγκο του (διαστάσεις $X \times Y \times Z$ σε cm) και έτσι γινόταν η εύρεση του ειδικού βάρους του εκάστοτε δοκιμίου.



Εικόνα 5. Ζυγαριά ακριβείας KERN.

Για τη συγκεκριμένη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε ο εξοπλισμός του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, του Τμήματος Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

2.3.2 Πορώδες

Πορώδες, $n\%$, είναι ο όγκος των κενών V_v προς τον συνολικό όγκο του πετρώματος ή εδάφους V_t . Συνεπώς, δίνει το μέτρο του συνολικού όγκου νερού που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα πέτρωμα ή έδαφος.

$$n\% = (V_v / V_t) * 100$$

Γενικά, είναι γνωστό πως το πορώδες ενός υλικού παίζει σημαντικό ρόλο στην ταχύτητα διάδοσης των ελαστικών κυμάτων μέσα στο υλικό αυτό (Βογιατζής, 2009). Σύμφωνα με τον Καντηράνη (2001) η χρήση μετρήσεων της ταχύτητας των P κυμάτων που διέρχονται από ένα μέσο μπορεί να αποφέρει αξιόπιστα αποτελέσματα σε ότι αφορά την εύρεση του πορώδους ενός υλικού.

Κατά τους Carrette & Staquet (2015), καταλληλότερη είναι η χρήση των κυμάτων S μιας που η διάδοση τους είναι περισσότερο ευαίσθητη κατά την διαδικασία πήξης σε σχέση με αυτή των κυμάτων P. Αυτό αποδεικνύεται μέσω του ότι το φαινόμενο της πήξης σχετίζεται με τον συντελεστή διάτμησης, αλλά και τον συντελεστή

ελαστικότητας που κατά κανόνα έχουν να κάνουν με την ταχύτητα των κυμάτων S, σε αντίθεση με την ταχύτητα των κυμάτων P που είναι το αποτέλεσμα της σταδιακής αύξησης της συμπίεσής της η οποία κατά κύριο λόγο αναπτύσσεται πριν το τέλος της πήξης.

Για την εύρεση του πορώδους στην συγκεκριμένη εργασία έγινε χρήση του τύπου Wyllie et al. (1956):

$$\frac{1}{V_p} = \frac{\phi}{V_{pf}} + \frac{1-\phi}{V_{pm}}$$

όπου η ταχύτητα των επιμήκων κυμάτων, V_p , σε υλικό με πορώδες ϕ δίνεται από την παραπάνω σχέση στην οποία:

- V_{pf} , είναι η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων μέσα στο υλικό με το οποίο πληρούνται οι πόροι του πετρώματος, είτε αυτό είναι αέρας όπου η ταχύτητα θα είναι 330 m/sec είτε είναι νερό που η ταχύτητα θα είναι 1.450 m/sec.
- V_{pm} , είναι η ταχύτητα διάδοσης του κύματος μέσα στο υλικό, όταν αυτό δεν περιέχει πόρους. Η τιμή που χρησιμοποιήθηκε για το συγκεκριμένη εργασία είναι 5.840 m/sec (Berge et al., 1995).

Τέλος από τον παραπάνω τύπο προκύπτει πως όσο πιο μεγάλη είναι η τιμή του πορώδους ενός υλικού, τόσο μικρότερη είναι η ταχύτητα των ελαστικών κυμάτων που διαδίδονται σε αυτό και το αντίστροφο.



Εικόνα 6. Στερεοσκοπική φωτογραφία των πόρων του δοκιμίου

2.3.3 Ταχύτητα επιμήκων κυμάτων

Για να γίνει χρήση του τύπου Wyllie et al. (1956) και ακολούθως η εύρεση του πορώδους του υλικού όπως προαναφέρθηκε, ήταν απαραίτητη η εύρεση της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων σε αυτό. Για τον σκοπό αυτό έγινε χρήση συσκευής ταχύτητας υπερήχων PUNDIT LAB (Εικ. 7).

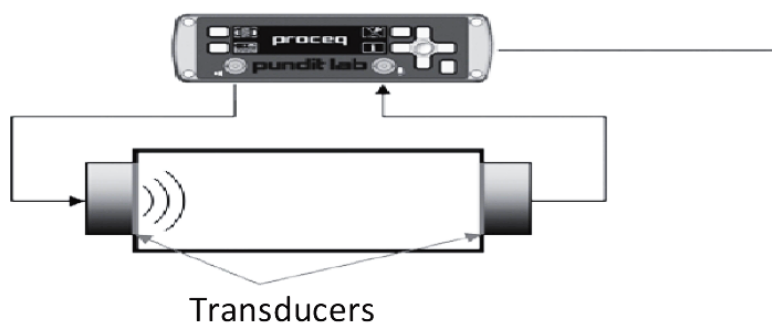


Εικόνα 7. Συσκευή PUNDIT LAB για τη μέτρηση της ταχύτητας των P-κυμάτων.

Η συγκεκριμένη φορητή συσκευή μέτρησης, καθώς και παρόμοια μηχανήματα που διενεργούν υπερηχομετρήσεις, αποτελούν μία μη επεμβατική μέθοδο, κατά την οποία μετράται η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων. Αυτή η ταχύτητα εξαρτάται από το μέτρο ελαστικότητας και, κατά συνέπεια, από την αντοχή του υλικού. Γενικά, με την χρήση της γίνεται έλεγχος της ομοιογένειας και της ποιότητας του εξεταζόμενου υλικού. Η μέθοδος χρησιμοποιείται επίσης για την εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής του υλικού, καθώς και για τον εντοπισμό ρωγμών και τον υπολογισμό του μεγέθους τους. Συγκεκριμένα, ο αυξημένος χρόνος διάδοσης των κυμάτων μπορεί να υποδεικνύει είτε χαμηλή ποιότητα υλικού είτε την παρουσία ρωγμών και γενικά υψηλού πορώδους. Εάν είναι γνωστή εκ των προτέρων η ύπαρξη ρωγμής, μπορεί να εκτιμηθεί το μέγεθός της. Τα αποτελέσματα επηρεάζονται σημαντικά από την υγρασία και τη θερμοκρασία του υλικού. Σε υψηλές θερμοκρασίες, οι μικρορωγμές που ενδέχεται να προκληθούν στο υλικό μπορεί να οδηγήσουν σε εσφαλμένες μετρήσεις, με αποτέλεσμα λανθασμένη εκτίμηση χαμηλής αντοχής.

Σε ότι αφορά την σχέση ταχύτητας υπερήχων-πορώδους, ενδεικτικά αναφέρεται πως μείωση στην ταχύτητα συνεπάγεται αύξηση του πορώδους λόγω της ύπαρξης κενών, πληρωμένων ή μη, τα οποία δυσχεραίνουν την διάδοση των κυμάτων μέσα στο υλικό.

Η μέθοδος περιλαμβάνει την τοποθέτηση δύο μετατροπέων στα άκρα του υλικού, όπου ο ένας λειτουργεί ως πομπός και ο άλλος ως δέκτης (Εικ. 8). Με την καταγραφή του χρόνου διάδοσης των κυμάτων από τον πομπό στον δέκτη και τη γνώση της απόστασης μεταξύ τους, υπολογίζεται η ταχύτητα των υπερήχων.



Εικόνα 8. Διάταξη άμεσης διάδοσης και απευθείας μέτρησης.

Για τη συγκεκριμένη εργασία, κάθε μέρα μετρήσεων (3, 7, 28 & 90 ημέρες) γινόταν υπολογισμός των ταχυτήτων των P-κυμάτων και στις τρεις διευθύνσεις (άξονες x, y, z) κάθε δοκιμίου. Η μέτρηση σε κάθε διεύθυνση γινόταν τρεις φορές και το τελικό αποτέλεσμα έβγαινε ως η μέση τιμή αυτών των τριών τιμών. Η διάταξη που χρησιμοποιείτο ήταν αυτή της άμεσης διάδοσης όπου οι μετατροπείς τοποθετούνται αντιδιαμετρικά του δοκιμίου (Εικ. 8).

Για τη συγκεκριμένη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε ο εξοπλισμός του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, του Τμήματος Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

2.3.4 Αντοχή σε μοναξονική θλίψη

Ένα παραμορφώσιμο στερεό σώμα μπορεί να βρεθεί σε δύο διαφορετικές μονοαξονικές εντατικές καταστάσεις. Η πρώτη είναι ο εφελκυσμός, όπου ασκούνται αντίθετα κατευθυνόμενες δυνάμεις που τείνουν να επιμηκύνουν το σώμα, ενώ η δεύτερη είναι η θλίψη, κατά την οποία ασκούνται δυνάμεις συμπίεσης που τείνουν να το παραμορφώσουν ή να το θραύσουν.

Η χρήση δοκιμών θλίψης σε ένα υλικό δίνει την αντοχή του ή αλλιώς μέγιστη αντοχή, η οποία δείχνει την μέγιστη τάση που δύναται να αναλάβει αυτό, αλλά και μετέπειτα άλλες σταθερές όπως οι ελαστικές σταθερές E (μέτρο Young) και συντελεστής Poisson (ν).

Η δοκιμή της μοναξονικής αντοχής αποτελεί την πλέον συνηθισμένη εργαστηριακή δοκιμή η οποία έχει ως στόχο τον προσδιορισμό της μοναξονικής θλιπτικής αντοχής, *σ_c*. Η ίδια μειώνεται με την αύξηση του πορώδους, τον βαθμό αποσάθρωσης, τις μικρορωγματώσεις, αλλά και την περιεκτικότητα σε νερό, ενώ επηρεάζεται και από το μέγεθος των κόκκων, την πυκνότητα αλλά και άλλους παράγοντες κάτι το οποίο έχει και ως αποτέλεσμα υλικά με παρόμοια σύσταση (ορυκτολογική ή χημική) να έχουν διαφορετικές τιμές μοναξονικής θλιπτικής αντοχής.

Οι μετρήσεις εκτελούνται με χρήση υδραυλικής πρέσας με πλάκες από μέταλλο μεγάλης σκληρότητας, ανάμεσα στις οποίες τοποθετούνται τα κυβικά δοκίμια ακμής τουλάχιστον 4 cm με παράλληλες έδρες, ενώ η αντοχή υπολογίζεται μέσω του λόγου της τιμής της εφαρμοζόμενης δύναμης θραύσης προς την επιφάνεια εφαρμογής της, με το αποτέλεσμα να δίνεται σε MPa.

Για την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας χρησιμοποιήθηκε η υδραυλική πρέσα του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας (Εικ. 9), του Α.Π.Θ. για κάθε μέρα μετρήσεων (3, 7, 28 και 90 ημέρες).



Εικόνα 9. Υδραυλική πρέσα του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας.

2.3.4 Ορυκτολογική σύσταση – XRD

Για την εύρεση της ορυκτολογικής σύστασης των δοκιμίων τόσο ποσοτικά, όσο και ποιοτικά, έγινε χρήση της μεθόδου περιθλασιμετρίας ακτίνων-X σε δείγμα κόνεως. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο της εταιρείας Bruker και πιο συγκεκριμένα το μοντέλο D8 ADVANCE του τομέα Ορυκτολογίας & Πετρολογίας του ΑΠΘ. Το συγκεκριμένο όργανο περιέχει λυχνία Cu και φίλτρο Ni για την απομόνωση ακτινοβολίας $Cu_{K\alpha}$.

Η συγκεκριμένη μέθοδος βασίζεται στο νόμο του Bragg που περιγράφεται από τη σχέση:

$$n \times \lambda = 2 \times d \times \sin \theta$$

και ορίζει ότι η σχέση ισχύει για την προσπίπτουσα ακτινοβολία X με μήκος κύματος λ , η οποία σχηματίζει γωνία θ με τα πλεγματικά επίπεδα του κρυστάλλου, τα οποία απέχουν μεταξύ τους απόσταση d . Επιπλέον n είναι ο ακέραιος αριθμός της τάξεως της ανάκλασης (Κωστάκης, 1999).

Για τις αναλύσεις γινόταν κονιοποίηση των δειγμάτων έως ότου τα ίδια να έφταναν την μορφή αναφούς σκόνης, ενώ έπειτα το υλικό τοποθετούταν σε ειδικούς δειγματολήπτες (holders) με συγκεκριμένο τρόπο και ακολούθως γινόταν η τοποθέτηση τους στο περιθλασίμετρο, αλλά και η σάρωση τους.

Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν ποιοτικά αλλά και ημι-ποσοτικά μέσω της εφαρμογής DIFFRAC.EVA η οποία δίνει την ορυκτολογική σύσταση του υλικού, αλλά και τα ποσοστά αυτών μέσα στο δείγμα (ημι-ποσοτικά).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ & ΣΥΖΗΤΗΣΗ

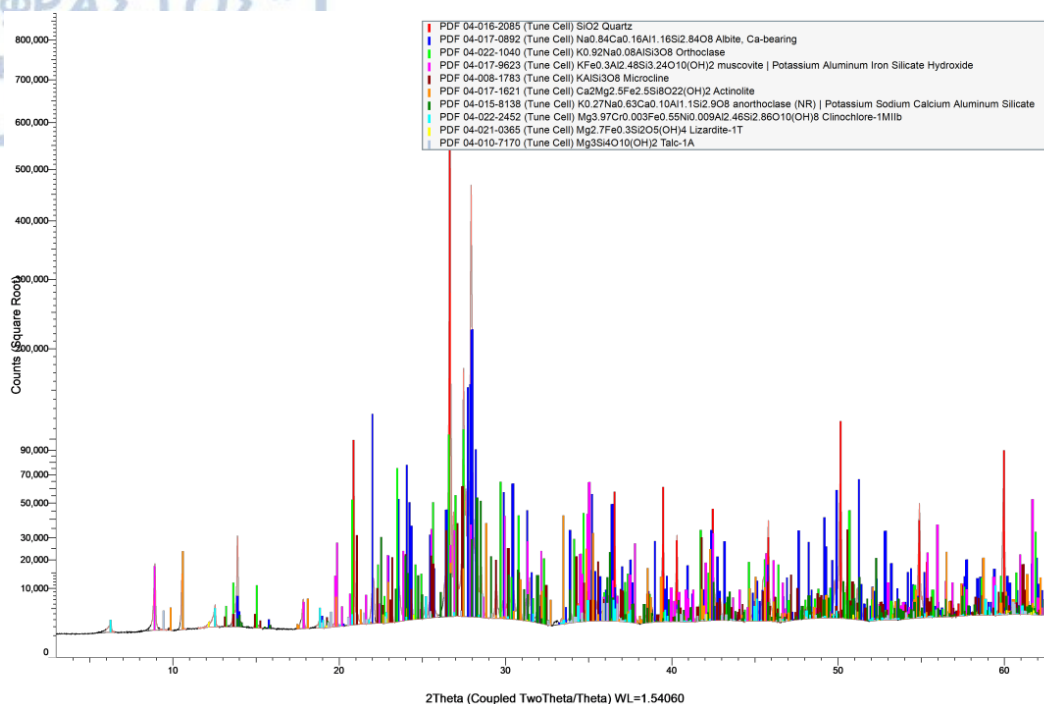
3.1 ΑΜΜΟΣ

Για την εκπόνηση της συγκεκριμένης έρευνας χρησιμοποιήθηκε άμμος εμπορικής προελεύσεως, προερχόμενη από την κοίτη του ποταμού Αξιού. Η ίδια πληρούσε όλες τις προϋποθέσεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN 13139 για τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται στα κονιάματα, δηλαδή ήταν καλά διαβαθμισμένη αλλά και απαλλαγμένη από προσμίξεις ενώ η κοκκομετρική της ανάλυση έγινε μέσω της χρήσης κοσκίνων με τετραγωνικές οπές διαβαθμισμένης διαμέτρου. Η ορυκτολογική εξέταση έδειξε πως η ίδια αποτελείται από αστρίους (65%), χαλαζία (19%), μαρμαρυγία (13%) και αμφιβόλους (3%) όπως φαίνεται και στον πίνακα (Πιν.4). Πιο συγκεκριμένα οι άστριοι που βρέθηκαν ήταν: αλβίτης (33%), ορθόκλαστο (15%), μικροκλινής (9%) και ανορθόκλαστο (8%). Πιο κάτω δίνεται και το περιθλασιόγραμμα του υλικού (Σχη.1).

Πίνακας 4 Ορυκτολογική σύσταση άμμου

Ορυκτό	Χημικός τύπος	Περιεκτικότητα (% κ.β.)
Αλβίτης	$\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$	33
Χαλαζία	SiO_2	19
Ορθόκλαστο	$\text{K(AlSi}_3\text{O}_8)$	14
Μοσχοβίτης	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	13
Μικροκλινής	KAlSi_3O_8	9
Ανορθόκλαστο	$(\text{Na,K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$	8
Αμφίβολος	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	3
Χλωρίτης	$\text{Mg}_5\text{Al(AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_8$	1
Τάλκης	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	ίχνη
Σερπεντίνης	$\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	ίχνη

Ίχνη <1% κ.β.



Σχήμα 1. Περιθλασιόγραμμα της χρησιμοποιούμενης άμμου.

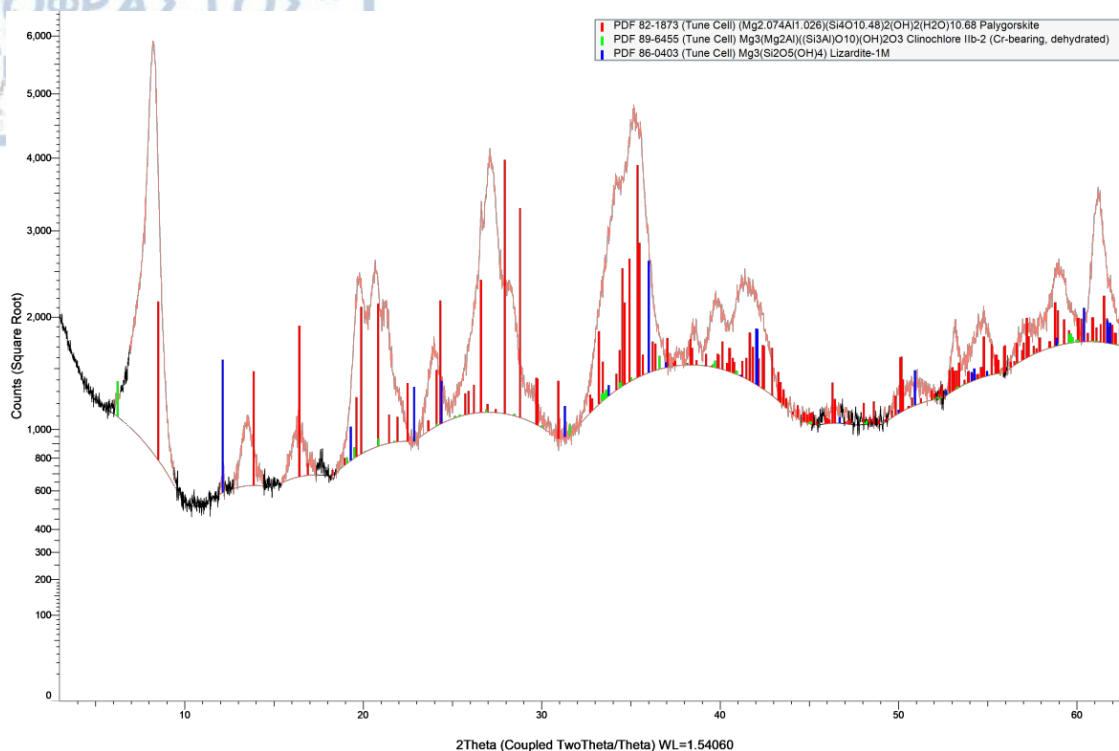
3.2 ΠΑΛΥΓΟΡΣΚΙΤΗΣ

Ο παλυγορσκίτης που χρησιμοποιήθηκε αποτελεί προϊόν της εταιρείας ΓΕΩΕΛΛΑΣ Α.Ε. το οποίο παρήχθη στο λατομείο Χαραμή της λεκάνης Βεντζίων που ανήκει στην εταιρεία. Το υλικό, με κωδικό MLA1, κονιοποιήθηκε έως ότου να φτάσει την αναγκαία κοκκομετρία, δηλαδή αυτή της τάξεως μικρότερης των 2mm.

Η ορυκτολογική μελέτη έδειξε πως το υλικό αποτελείται κατά κύριο λόγο από παλυγορσκίτη, αλλά και προσμείξεις χλωρίτη και λιζαρδίτη. Πιο συγκεκριμένα όπως φαίνεται και στον πίνακα 5, το υλικό αποτελείται από παλυγορσκίτη (90% κ.β.), σερπεντίνη (8% κ.β.) και χλωρίτης (2% κ.β.).

Πίνακας 5. Ορυκτολογική σύσταση παλυγορσκίτη.

Ορυκτό	Χημικός τύπος	Περιεκτικότητα (% κ.β.)
Παλυγορσκίτης	$(\text{Mg},\text{Al})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})$	90
Σερπεντίνη	$\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	8
Χλωρίτης	$(\text{Fe},\text{Mg})_3\text{Fe}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	2



Σχήμα 2. Περιθλασιόγραμμα χρησιμοποιούμενου παλγορσκήτη.

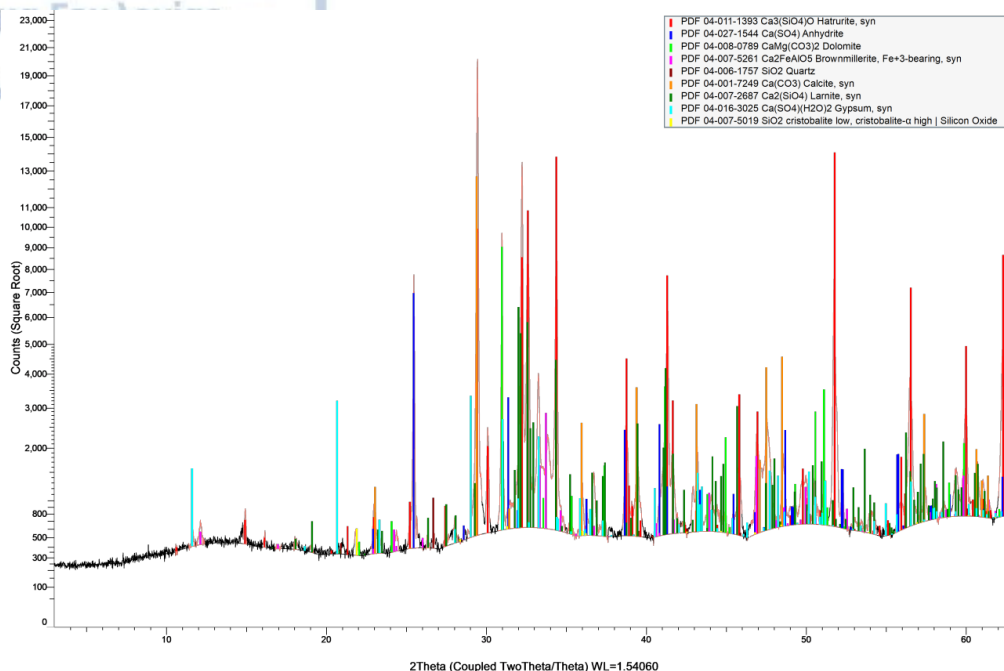
3.3 ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Το τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε ήταν τύπου Portland CEM II/B-M 42.5 της εταιρείας ISOMAT. Η ορυκτολογική ανάλυση έδειξε πως αποτελείται από χατρουρίτη (33% κ.β.), λαρνίτη (24% κ.β.), ανυδρίτη (12% κ.β.), ασβεσίτη (12% κ.β.), δολομίτη (10% κ.β.), γύψο (5% κ.β.), μπραουνμλερίτη (3% κ.β.) και τέλος χαλαζία (1% κ.β.), όπως φαίνεται στον πίνακα (Πιν. 6) και στο περιθλασιόγραμμα του Σχ.3.

Επιπλέον, στο υλικό βρέθηκε να περιέχεται και άμορφο υλικό το οποίο μετρήθηκε σύμφωνα με τους Καντηράνης κ.α (2004) σε περιεκτικότητα της τάξεως του 20% κ.β., όπως φαίνεται και από το περιθλασιόγραμμα του τσιμέντου.

Πίνακας 6. Ορυκτολογική σύσταση τσιμέντου

Ορυκτό	Χημικός τύπος	Περιεκτικότητα (% κ.β)
Χατρουρίτης	$\text{Ca}_3(\text{SiO}_4)\text{O}$	32
Λαρνίτης	$\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)$	24
Ανυδρίτης	$\text{Ca}(\text{SO}_4)$	12
Ασβεσίτης	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$	12
Δολομίτης	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	10
Γύψος	$\text{Ca}(\text{SO}_4)(\text{H}_2\text{O})_2$	5
Μπραουνμλερίτης	$\text{Ca}_2\text{FeAlO}_5$	3
Χαλαζίας	SiO_2	1
Χριστοβαλίτης	SiO_2	1



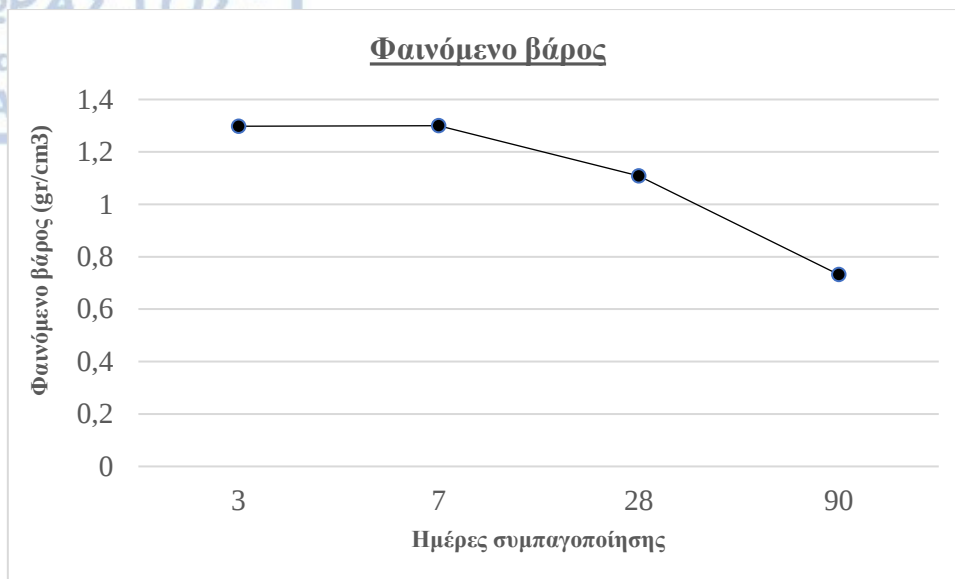
Σχήμα 3. Περιθλασιόγραμμα του χρησιμοποιούμενου τσιμέντου.

3.4 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα (Πιν.7 & Σχ. 4) το κονίαμα δεν παρουσιάζει κάποια μεταβολή τις πρώτες επτά μέρες, ενώ μεγάλη μεταβολή στο φαινόμενο βάρος του εμφανίζει από την 28^η μέρα κι έπειτα, η οποία συνεχίζει να έχει έντονη πτωτική πορεία έως και την 90^η μέρα. Η συνεχής αυτή μείωση του φαινόμενου βάρους δικαιολογείται από την πορώδη δομή του παλυνγορσκήτη και την διαφυγή του νερού των πόρων του υλικού καθ' όλη την διάρκεια συμπαγοποίησης του τόσο λόγω των αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα, όσο και της επαφής του με την ατμόσφαιρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την σχετικά μεγάλη αλλά και συνεχή τελική μείωση των τιμών του φαινόμενου βάρους του κονιάματος της τάξεως του 43,7% των αρχικών τιμών.

Πίνακας 7. Μεταβολή του φαινόμενου βάρους με τις μέρες συμπαγοποίησης

Δείγμα	Ημέρες συμπαγοποίησης	Φαινόμενο Βάρος (g/cm ³)	M.O.
K3.1	3	1,390	1,298
K3.2		1,207	
K7.1	7	1,364	1,300
K7.2		1,236	
K28.1	28	1,114	1,114
K28.2		1,086	
K28.3		1,125	
K90.1	90	0,731	0,731
K90.2		0,686	
K90.3		0,778	



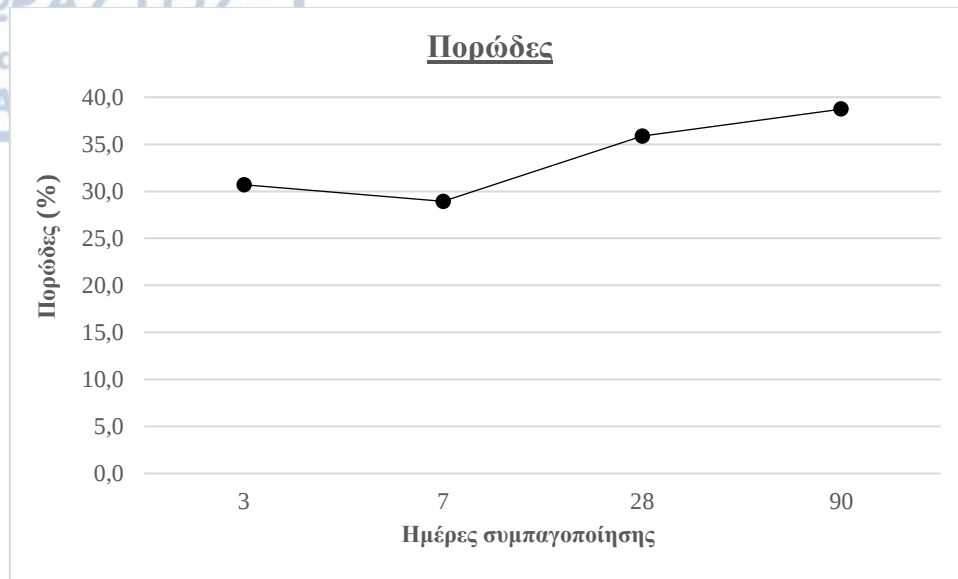
Σχήμα 4. Μεταβολή φαινόμενου βάρους σε σχέση με την διάρκεια συμπαγοποίησης.

3.5 ΠΟΡΩΔΕΣ

Το πορώδες φαίνεται να έχει μια αυξητική τάση καθ' όλη την διάρκεια της συμπαγοποίησης. Την πρώτη εβδομάδα έχει σχετικά παρόμοιες τιμές, ενώ από την 28^η έως και την 90^η δίνει σημαντικά αυξημένες τιμές όπως φαίνεται και παρακάτω (Πιν. 8 & Σχ. 5) κάτι το οποίο είναι αποτέλεσμα της πορώδους δομής των αργίλων, της απομάκρυνσης νερού από την 7^η έως και την 90^η μέρα, αλλά και των αντιδράσεων συμπαγοποίησης που λαμβάνουν χώρα.

Πίνακας 8. Διαφοροποίηση τιμών πορώδους με την συμπαγοποίηση

Δείγμα	Ημέρες συμπαγοποίησης	Πορώδες (% κ.ο.)
K3.1	3	30,7
K3.2		
K7.1	7	28,9
K7.2		
K28.1	28	35,9
K28.2		
K28.3		
K90.1	90	38,7
K90.2		
K90.3		



Σχήμα 5. Μεταβολή πορώδους σε σχέση με την διάρκεια συμπαγοποίησης.

3.6 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΠΙΜΗΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Όπως φαίνεται από τον Πίν. 9 και Σχ. 6, η μεταβολή της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων έχει μια εκπτωτική τάση από την 7^η ημέρα κι έπειτα κάτι το οποίο οφείλεται κυρίως στην αύξηση του πορώδους κατά την ίδια χρονική περίοδο. Ξεκινώντας με μια μέση ταχύτητα στα 1.414 m/sec (η οποία έχει μια αρκετά μεγάλη διαφορά σε σχέση με ανάλογα μίγματα τσιμέντου:αδρανούς:άμμου λόγω της εξαιτίας της προσθήκης παλυγορσκήτη) και δίνοντας μια τελική τιμή στα 1.068 m/sec, διαπιστώνεται πως οι ταχύτητες των Ρ-κυμάτων μειώνονται στις 90 ημέρες έως και 25% περίπου της τιμής των 3 ημερών.

Πίνακας 9. Ταχύτητες επιμήκων κυμάτων (m/sec) σε σχέση με την συμπαγοποίηση

Δείγμα	Ημέρες συμπαγοποίησης	V _{px} (m/sec)	V _{pz} (m/sec)	V _{py} (m/sec)	V _p (m/sec)
K3.1	3	1450	1405	1400	1414
K3.2		1398	1444	1387	
K7.1	7	1526	1522	1509	1525
K7.2		1408	1594	1589	
K28.1	28	1184	1143	1108	1172
K28.2		1126	1169	1154	
K28.3		1234	1235	1194	
K90.1	90	1026	1042	1065	1068
K90.2		1141	1188	1225	
K90.3		1044	958	923	

Σε μια σύγκριση των αποτελεσμάτων πορώδους-ταχύτητας επιμήκων κυμάτων της συγκεκριμένης εργασίας φαίνεται πως με την αύξηση του πορώδους οι ταχύτητες των κυμάτων μειώνονται, κάτι το οποίο είναι σύμφωνο με τους Willie et al. (1958), δηλαδή οι μικρές ταχύτητες διάδοσης των επιμήκων κυμάτων συνδέονται με μεγάλες τιμές πορώδους.



Σχήμα 6. Μεταβολή της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων με την διάρκεια συμπαγοποίησης.

3.7 ANTOXH ΣΕ ΜΟΝΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ

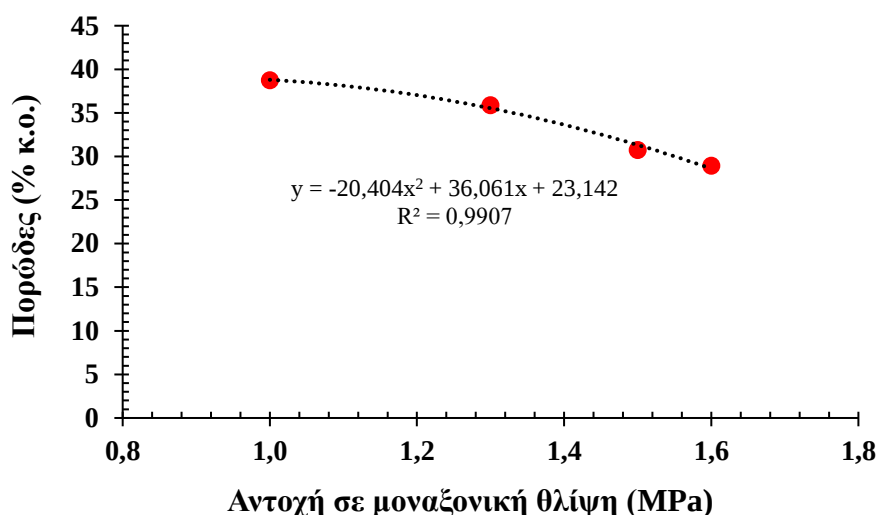
Οι δοκιμές σε μονοαξονική θλίψη έδειξαν μια αυξητική τάση στις τιμές στο διάστημα μεταξύ της 1^{ης} και της 7^{ης} μέρας των δοκιμών κάτι το οποίο είναι λογικό μιας που στην ίδια περίοδο το ποσοστό του πορώδους μειώνεται, κάτι το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των κενών χώρων στο υλικό και την μετέπειτα μικρότερη αντοχή του σε θλίψη (Σχ. 7).

Από την 7^η έως και την 90^η μέρα τα δοκίμια παρουσιάζουν μια μείωση στην μοναξονική τους αντοχή, η οποία συνάδει και με την αύξηση του πορώδους λόγω της αντιστρόφως ανάλογης σχέσης τους.

Σύμφωνα με τους Andrejkonιcόνα et al. (2013) η χρήση παλυγορσκήτη και μετακαολίνη ως υποκατάστατα της άμμου, σε αναλογίες 1:3, στα κονιάματα, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση τόσο της εφελκυστικής, όσο και της θλιπτικής αντοχής των υλικών.

Επιπλέον σύμφωνα με την Παπαγιάννη (2006), σημαντικό ρόλο στην τελική αντοχή των υλικών διαδραματίζει η αναλογία τσιμέντου:αδρανούς, αφού όταν αυτή είναι σχετικά μικρή, ανάλογη είναι και η αντοχή των υλικών. Ακόμα σημαντική είναι

και η αρχική προστιθέμενη ποσότητα νερού, αφού η ίδια επηρεάζει το πορώδες, καθώς όσο περισσότερο είναι το νερό, τόσο περισσότεροι και μεγαλύτεροι θα είναι οι πόροι. Αξίζει να σημειωθεί ότι για την δημιουργία κονιαμάτων υψηλής αντοχής, απαραίτητη είναι η προσθήκη της όσο το δυνατόν ελάχιστης ποσότητας νερού με στόχο την δημιουργία του μικρότερου δυνατού πορώδους μετέπειτα.



Σχήμα 7. Μεταβολή της μοναξονικής αντοχής σε σχέση με το πορώδες.

3.8 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ (XRD)

Τα αποτελέσματα που αναλύονται σε αυτό το κεφάλαιο λήφθηκαν σε βάθος χρόνου 90 ημερών, σε συγκεκριμένα διαστήματα από την αρχή έως και το διάστημα κατά το οποίο σύμφωνα με τα πρότυπα η κύρια σκλήρυνση έχει ολοκληρωθεί για το υλικό.

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα (Πιν.10), η περιεκτικότητα του υλικού σε χαλαζία έχει μια εκπτωτική τάση στις πρώτες 28 μέρες ενώ κατά το διάστημα των επόμενων 62 ημερών, δηλαδή μέχρι την επόμενη και τελευταία μέτρηση, η περιεκτικότητα του παρουσιάζει μια σημαντική αύξηση της τάξεως του 24% που οριακά ξεπερνά τις τιμές των αρχικών μετρήσεων. Σε ότι αφορά τον αλβίτη, ο ίδιος παρουσιάζει παρόμοια εκπτωτική τάση με αυτή του χαλαζία που όμως στις τελευταίες μέρες έχει μικρότερη αύξηση η οποία είναι και μικρότερη από την αρχική του περιεκτικότητα στο υλικό. Ο μοσχοβίτης έχει μια σταθερή παρουσία με μέσες, συγκριτικά με τα υπόλοιπα ορυκτά, τιμές στο υλικό καθ' όλη την διάρκεια της συμπαγοποίησης ενώ τα ορυκτά ορθόκλαστο, τρεμολίτης, φορστερίτης, δολομίτης, χλωρίτης και λιζαρδίτης δίνουν χαμηλές και σταθερές τιμές περιεκτικότητας σε όλο το

διάστημα της συμπαγοποίησης των δοκιμίων. Ανάλογα αποτελέσματα δίνονται και για τον παλυγορσκίτη, ο οποίος διατηρεί ίδιες χαμηλές και σταθερές τιμές με τα προαναφερθέντα ορυκτά.

Πίνακας 10 Ορυκτολογική σύσταση δοκιμίων με την εξέλιξη της συμπαγοποίησης

	Κρυσταλλική φάση	3rd day (%)	7th day (%)	28th day (%)	90th day (%)
Φάσεις τσιμέντου	Χαλαζίας	23	11	6	30
	Αλβίτης	21	18	12	20
	Μοσχοβίτης	16	16	15	16
	Ορθόκλαστο	7	10	11	5
	Τρεμολίτης	4	5	7	3,5
	Ασβεστίτης	4	7	7	5,5
	Φορστερίτης	3,5	3	4	2
	Δολομίτης	2,5	2	1	3,5
	Χλωρίτης	2	2	2,5	1
	Παλυγορσκίτης	1,5	2	2	1
	Λιζαρδίτης	1	1,5	2	1
	Μπραουνμυλερίτης	1	1	2	1
	Χατρουρίτης	4	11,5	17	4
	Λαρνίτης	7	7	8	4,5
	Τομπερμορίτης	1	1,5	2	1
	Πορτλανδίτης	1	1	1	0,5

Χαμηλές αλλά και σταθερές, συνεπώς χωρίς κάποια διακύμανση, τιμές δίνει ο ασβεστίτης κάτι το οποίο συνάδει με τα αποτελέσματα άλλων ανάλογων ερευνών στις οποίες έγινε αντικατάσταση μέρους της άμμου του κονιάματος με ζεόλιθο και στις ορυκτολογικές αναλύσεις βρέθηκαν σταθερές χαμηλές τιμές Ca κάτι το οποίο δείχνει πως τα ποζολανικά στοιχεία του τσιμέντου εμπόδισαν την αντίδραση του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ με το CO_2 της ατμόσφαιρας και συνεπώς την δημιουργία επιπλέον ασβεστίτη. (Βογιατζής, 2009).

Σε ότι αφορά τις φάσεις του τσιμέντου, τα ορυκτά μπραουνμυλερίτης, τομπερμορίτης και λαρνίτης έχουν σταθερές χαμηλές τιμές περιεκτικότητας, ενώ ο χατρουρίτης έχει μια αυξητική τάση της τάξεως του 14% στο διάστημα μεταξύ της 3^{ης} και της 28^{ης} ημέρας μετρήσεων. Τέλος, οι τιμές του πορτλανδίτη είναι σταθερές κατά το διάστημα των πρώτων 28 ημερών, ενώ έπειτα υπάρχει μείωση έως και την 90^η μέρα, στην οποία ο ίδιος περιέχεται σε ποσοστό 0,5%.

Πιο αναλυτικά οι ίδιες έδειξαν πως το ορυκτό μπραουμιλερίτης δίνει σταθερές τιμές περιεκτικότητας στις πρώτες μέρες συμπαγοποίησης με μια μετέπειτα αύξηση μιας που η συγκεκριμένη φάση αντιδρά με πιο αργούς ρυθμούς σε σχέση με τις υπόλοιπες κατά την ενυδάτωση. Σε ότι αφορά τον χατρουρίτη, ο ίδιος έχει αυξητική τάση στις πρώτες 28 ημέρες συμπαγοποίησης ενώ έπειτα φαίνεται να μειώνεται κάτι το οποίο είναι λογικό μιας που η φάση αυτή αντιδρά πολύ γρήγορα, σε σχέση πάντα με τις υπόλοιπες, με το νερό και είναι υπεύθυνη για την πρόωμη ανάπτυξη της αντοχής του υλικού. Ο λαρνίτης δίνει μέσες, χωρίς σημαντική αύξηση κατά τις πρώτες 28 ημέρες, τιμές οι οποίες έπειτα έχουν εκπτωτική τάση φτάνοντας το 4,5% στις 90 μέρες κάτι το οποίο συνάδει με το πως λειτουργεί η συγκεκριμένη φάση μιας που η ίδια έχει μια σχετικά αργή ταχύτητα ενυδάτωσης. Ο τομπερμορίτης δίνει σχετικά μικρές τιμές με μια αυξητική και σχετικώς μικρή τάση στις πρώτες 28 ημέρες ενώ ο πορτλανδίτης δίνει σταθερές τιμές τις πρώτες 28 ημέρες ενώ έπειτα παρατηρείται μείωση του κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο μιας που ο ίδιος αποτελεί προϊόν των αντιδράσεων των φάσεων κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου.

Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί πως η χρήση αργλικών ορυκτών και πιο συγκεκριμένα του παλυγορσκίτη σε κονιάματα μπορεί να δώσει αποτελέσματα μικρότερης αντοχής αλλά και μεγαλύτερου πορώδους και φαινομένου βάρους σε σχέση με αυτά της προσθήκης ζεολίθου. Σε μια σύγκριση αποτελεσματικότητας των δύο υλικών μετά το πέρας των 90 ημερών στον πίνακα 11 όπου AK= κονίαμα με προσθήκη παλυγορσκίτη, Z1= συμβατικό (άμμος-τσιμέντο-νερό) και Z2= 50% άμμος+ 50% ζεόλιθος, φαίνεται πως η προσθήκη παλυγορσκίτη έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία κονιάματος με σημαντικά μεγαλύτερο πορώδες τόσο από το Z2 όσο και από το Z1. Από αυτό φαίνεται πως η προσθήκη υλικών με δομή κατάλληλη για την ανάπτυξη μεγαλύτερου πορώδους, όπως ο παλυγορσκίτης και ο ζεόλιθος, έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία κονιάματος με υψηλό πορώδες σε σχέση με την κλασσική αποκλειστικά και μόνο χρήση της άμμου ως αδρανές, κάτι το οποίο μπορεί να δώσει ευνοϊκές ιδιότητες στο κονίαμα, καλύτερες από αυτές που εμφανίζει η χρήση της άμμου ως μοναδικό αδρανές.

Πίνακας 12 Αποτελεσματικότητα παλυγορσκίτη-ζεολίθου σε κονιάματα

<u>Σύγκριση αποτελεσματικότητας παλυγορσκίτη-ζεολίθου σε ελαφροβαρή κονιάματα</u>			
Δείγματα	Φαινόμενο βάρος (gr/cm³)	Πορώδες (%)	Μοναξονική αντοχή (Μpa)
AK	0,731	38,7	1
Z1	1,869	19	14,6
Z2	1,657	25	9

Σε ότι αφορά την μοναξονική αντοχή των τριών αυτών κονιαμάτων, είναι λογικό η χρήση μόνο της άμμου να προσφέρει στο κονίαμα μεγαλύτερες τιμές αντοχής σε σχέση με τα κονιάματα με ζεόλιθο και παλυγορσκίτη αφού και τα δύο τους είναι υλικά που δημιουργούν μεγαλύτερο πορώδες και συνεπώς μικρότερη αντοχή σε μοναξονική θλίψη. Πιο συγκεκριμένα όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα η χρήση ζεολίθου προσφέρει μεγαλύτερες τιμές αντοχής σε σχέση με αυτή του παλυγορσκίτη.

Το φαινόμενο βάρος φαίνεται πως δίνει μικρότερες τιμές τόσο στο κονίαμα με τον παλυγορσκίτη όσο και σε αυτό με τον ζεόλιθο πάντα σε σχέση με το Z1. Μεταξύ τους τα AK & Z2 παρουσιάζουν μια σχετικά μεγάλη διαφορά, με τον παλυγορσκίτη να προσδίδει στο AK τιμές έως και 50% μικρότερες από αυτές του Z2. Αυτό οφείλεται τόσο στην δομή των δύο ορυκτών, δηλαδή την δομή κενού σωλήνα του παλυγορσκίτη αλλά και αυτή των μάκρο, μικρο & νάνο- πόρων του ζεολίθου, όσο και σε άλλους παράγοντες κατά την διάρκεια της συμπαγοποίησης.

Γενικά η προσθήκη παλυγορσκίτη όσο και ζεολίθου μπορεί να προσδώσει στα κονιάματα ιδιότητες τέτοιες, οι οποίες τα κατατάσσουν στα ελαφροβαρή με αποτέλεσμα την χρήση τους σε διάφορες περιπτώσεις ανάλογα με τις ιδιότητες που τα ίδια έχουν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία δημιουργήθηκαν, μετρήθηκαν και εξετάστηκαν τα αποτελέσματα δοκιμών κονιαμάτων αποτελούμενων από κονίαμα στο οποίο έγινε αντικατάσταση μέρους του κατεξοχήν χρησιμοποιούμενου αδρανούς υλικού στην δημιουργία κονιαμάτων, της άμμου, με παλυγορσκίτη

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία τους ήταν: τσιμέντο Portland τύπου CEM II/B-M 42.5 της εταιρείας ISOMAT, άμμος εμπορικής ποιότητας προερχόμενη από την κοίτη του Αξιού, αλλά και παλυγορσκίτης της εταιρείας ΓΕΩΕΛΛΑΣ Α.Ε.

Στόχος ήταν η δημιουργία ενός πιο ελαφριού κονιάματος σε σύγκριση με τα συμβατικά, μέσω της χρήσης ενός φυσικού υλικού και πιο συγκεκριμένα του παλυγορσκίτη, το οποίο θα μπορεί να ενταχθεί στην κατηγορία των ελαφροβαρών.

Για την δημιουργία των κονιαμάτων έγινε ανάμειξη ποσότητας τσιμέντου, μίγματος αδρανών (άμμος & παλυγορσκίτης) αλλά και νερού σε αναλογίες τέτοιες που συμβαδίζουν με τα πρότυπα ASTM για την δημιουργία κονιαμάτων. Πιο συγκεκριμένα η αναλογία που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή του 1:3:0,5 σε τσιμέντο, αδρανή και νερό, αντίστοιχα, ενώ το μείγμα αδρανών αποτελούταν κατά 50% από άμμο και κατά 50% από παλυγορσκίτη.

Το φαινόμενο βάρος έδειξε μια μείωση στις τιμές του καθ' όλη την διάρκεια των ημερών συμπαγοποίησης, της τάξεως του 43,7%, και με τιμές από 1,298 έως 0,731 g/cm³. Σύμφωνα με τους Parayianni et al. (2000) στην κατηγορία των ελαφροβαρών κονιαμάτων.

Η τάση της μεταβολής του πορώδους κατά την συμπαγοποίηση είναι αυξητική, κάτι το οποίο κατά βάση οφείλεται στην απομάκρυνση του νερού από το υλικό κατά την διαδικασία συμπαγοποίησης αλλά και στην προσθήκη παλυγορσκίτη λόγω της δομής του.

Σε ότι αφορά την ταχύτητα των επιμήκων κυμάτων, αυτή μειώθηκε κατά 25% κατά την διάρκεια της συμπαγοποίησης. Στα αρχικά δοκίμια (3 ημέρες) μετρήθηκαν τιμές ταχύτητας επιμήκων κυμάτων 1.414 m/sec οι οποίες μετά από 90 ημέρες συμπαγοποίησης έπεσαν στα 1.068 m/sec. Η μεταβολή αυτή αποδίδεται στην αύξηση του πορώδους, καθώς η ταχύτητα των επιμήκων κυμάτων είναι αντιστρόφως ανάλογη του πορώδους ενός υλικού.

Από της μετρήσεις φαίνεται πως η προσθήκη του συγκεκριμένου υλικού είχε ως αποτέλεσμα την μείωση της αντοχής σε μοναξονική θλίψη του κονιάματος, κάτι το οποίο οφείλεται και στην αύξηση του πορώδους του κονιάματος, ενώ λόγω των τιμών αυτής στις 28 ημέρες, το κονίαμα κατατάσσεται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 998-2 στην κατηγορία M 1, δηλαδή σε αυτή των κονιαμάτων με ελάχιστη αντοχή σε θλίψη μεγαλύτερη του 1 MPa.

Στη συγκεκριμένη εργασία διαπιστώθηκε πως η αντικατάσταση της άμμου κατά 50% κ.β. από παλυγορσκίτη οδήγησε στην παραγωγή κονιάματος που κατατάσσεται στα ελαφροβαρή. Συγκεκριμένα, το πορώδες και το φαινόμενο βάρος, μετρήθηκαν στις 90 ημέρες 38,7% και 0,73 g/cm³, αντίστοιχα, τιμές οι οποίες πληρούν τα κριτήρια των ελαφροβαρών κονιαμάτων.

Συνεπώς, ένα κονίαμα με 50% παλυγορσκίτη σε αντικατάσταση του αδρανούς αποτελεί ελαφροβαρές κονίαμα χαμηλού ειδικού βάρους και υψηλού πορώδους. Έχει δημιουργηθεί από φυσικό υλικό, τον παλυγορσκίτη, χωρίς χημική ή άλλη επεξεργασία, ενώ περεταίρω έρευνα μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή ενός υλικού με πολύ καλές μονωτικές ιδιότητες, τόσο ως προς τη θερμότητα, όσο και ως προς τον ήχο.

- Akinyemi, O.D., 2022. Multivariate interrelatedness of geotechnical and petrophysical properties towards developing near-surface lithology clusters in a sedimentary terrain. *Bull Eng Geol Environ* 81, 258.
- Andrejkovičová S., Velosa A., Gameiro A., Ferraz E., Rocha F., 2013. Palygorskite as an admixture to air lime–metakaolin mortars for restoration purposes, *Applied Clay Science, Volumes 83–84, October 2013, Pages 368-374*.
- Bailey S.W., 1980. Structures of Layer Silicates, *Brindley GW & Brown G ed. Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. London, Mineralogical Society, pp 1–123*
- Bergaya F. and Lagaly G., 2006. Clays, Clay Minerals, and Clay Science, *Developments in Clay Science Volume 1, 2006, Pages 1-18*.
- Berge Patricia A., Bonner Brian P., and Berryman James G., 1995. Ultrasonic velocity-porosity relationships for sandstone analogs made from fused glass beads, *Society of exploration geophysicists, Geophysics, Volume 60, Issue 1, January-February 1995*.
- Carette J., Staquet S., 2015. Monitoring the setting process of mortars by ultrasonic P and S-wave transmission velocity measurement, *Construction and Building Materials Volume 94, 30 September 2015, Pages 196-208*.
- Gruner J., 1934. The Structures of Vermiculites and their Collapse by Dehydration, *American Mineralogist, 19 (12): 557–575*.
- Kalimur Rahman Md., 2011. Assessment of heavy metal contamination of sediments of some polluted rivers, *M.Sc. Thesis, Bangladesh University of Engineering and Technology*
- Kantiranis N., Christaras B., Filippidis A. and Tsirambides A., 2001. The usage of ultrasonic techniques at calcination studies, *European Commission, Directorate General X, Compatible materials recommendations for the preservation of European cultural heritage, PACT, 59: 231-237*.
- Kantiranis N., Stamatakis M., Filippidis A., & Squires C., 2004. The uptake ability of the clinoptilolitic tuffs of samos island, Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece, 36(1), 89–96*

Kastritis, I.D., Mposkos, E., Kacandes, G.H., 2003. The palygorskite and Mg-Fesmecite clay deposits of the Ventsia basin, western Macedonia, Greece. *In: Eliopoulos et al. (Eds), Proceedings of the 7th SGA-Mineral exploration and Sustainable Development Meeting, Millpress, Rotterdam, 891-894.*

Momma K., Izumi F., 2011. VESTA 3 for three-dimensional visualization of crystal, volumetric and morphology data, *Journal of Applied Crystallography, Volume 44, Issue 6, Pages 1272-1276.*

Vogiatzis D., Kantiranis N., Filippidis A., Tzamos E. and Sikalidis C., 2012. Hellenic Natural Zeolite as a Replacement of Sand in Mortar: Mineralogy Monitoring and Evaluation of Its Influence on Mechanical Properties, *Geoscience of the Built Environment, 2012, 2(4), 298-307.*

Wyllie M. R. J., Gregory A. R., and Gardner L. W., 1965. Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media, *Geophysics 21: 41-70.*

Papayianni I., 2006. The longevity of old mortars, *Appl. Phys. A 83, 685–688*

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αντωνόπουλος Α., 2011. Αδρανή Υλικά, *Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.*

Βογιατζής Δ., 2009. Χρήση ιπτάμενης τέφρας και φυσικού ζεολίθου στην παρασκευή ελαφροβαρών κονιαμάτων, *Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ.*

Ζαχαροπούλου Γ., 2004. Παραγωγή ασβέστου υψηλής δραστηριότητας κατάλληλης για αποκαταστάσεις μνημείων και ιστορικών κτιρίων, *Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ.*

Κορωνάιος Α.Μ. και Πουλάκος, Γ.Ι., 2006. Τεχνικά Υλικά, *Τόμος 1, Ε.Μ.Π., Αθήνα.*

Κωστάκης, Γ., 1999. Εισαγωγή στην Αξιολόγηση Βιομηχανικών Ορυκτών, *Σημειώσεις παραδόσεων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά*

Λεγάκης Α., 1954. Δομικά Υλικά, *Βιβλιοθήκη του Τεχνικού, Τόμος Α, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα.*

Λιτσίου Α. Α., 2023. Χρήση αργιλικών ορυκτών για την εξυγίανση ρυπασμένων αστικών εδαφών, *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.*

Μητρογιάννης Ι., 2015. Εφαρμογές των Ζεολίθων στην επεξεργασία νερού και Υγρών Αποβλήτων, *Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών-Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης.*

Μπούρας Γ., 2012. Πυρόλυση λυματολάσπης και παραγωγή βιοεξανθρακώματος, *Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάς, 2012.*

Μπουρλίβα Α., 2013. Χρήση φυσικών αργίλων στην απομάκρυνση βαρέων μετάλλων από υδατικά διαλύματα και αστικά και βιομηχανικών λύματα, *Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.*

Μυτιγλάκη Χ., 2023. Γένεση των κοιτασμάτων παλυγορσκήτη-σμεκτίτη στην ευρύτερη περιοχή Γρεβενών-Κοζάνης, *Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.*

Μωχάμεντ Μ., 1996. Παρασκευή νέων κονιαμάτων με παραδοσιακά υλικά για εφαρμογές συντήρησης ενετικών μνημείων – Μελέτη της συμβατότητας των δομικών λίθων, της αντοχής και της θαλάσσιας διάβρωσής τους, *Μεταπτυχιακή Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.*

Νικολόπουλος Ο., 2019. Διερεύνηση της ποζολανικής ιδιότητας Ζεολίθου, Περλίτη και φυσικής Ποζολάνας με χρήση υδρασβέστου, *Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.*

Σαμιωτάκη Α., 2020. Έλεγχος της επίδρασης διαφόρων αδρανών υλικών και ποζολάνης στις μηχανικές ιδιότητες κονιαμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου, *Μεταπτυχιακή Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.*

Σικαλίδης Κ., 1991. Προσρόφιση U, TH, BA και CS από ορυκτά της αργίλου και συνθετικά ορυκτά-Εκλεκτικότητα και δέσμευση του CS, *Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, ΑΠΘ*

Σπυρόπουλος Α., 2005. Διερεύνηση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών στο νομό Αχαΐας σχετικά με την αναζήτηση αδρανών υλικών για διάφορες χρήσεις, *Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.*

Στυλιανού Μ., 2012. Απομάκρυνση Βαρέων Μετάλλων από Υδατικά Διαλύματα με χρήση Φυσικών Ορυκτών, *Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Αθήνα*



Διαδικτυακές Πηγές

<http://archive.eclass.uth.gr/eclass/>

<https://www.bruker.com/en.html>

<https://elearning.auth.gr>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Cement>

<https://www.fasmamed.gr>

<https://geohellas.com>

<http://www.legah.metal.ntua.gr>

<https://opencourses.auth.gr>

<https://pavetest.gr>

<https://www.orykta.gr>

<https://web.tee.gr>

<https://portal.tee.gr>

<https://tunnelling.metal.ntua.gr>

<https://el.wikipedia.org>

<https://www.lafarge.gr/tsimento>

<http://www.legah.metal.ntua.gr/pdf/tex1/1D.pdf>