

>>

Ιούνιος 2003

- ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ -

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
2. ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ.....	3
2.1. Γενικά.....	3
2.2. Είδη κονιαμάτων.....	5
2.2.1. Ασβεστοκονιάματα.....	6
2.2.2. Τσιμεντοκονιάματα.....	10
2.2.3. Ασβεστοτσιμεντοκονιάματα.....	14
2.2.4. Ποζολανικά κονιάματα.....	16
2.2.5. Γυψοκονιάματα – Γυψοασβεστοκονιάματα.....	17
2.2.6. Πηλοκονιάματα.....	18
2.2.7. Στεγανά κονιάματα.....	19
2.2.8. Πυρίμαχα κονιάματα.....	19
2.2.9. Θερμομονωτικά και ηχομονωτικά κονιάματα.....	20
2.3. Χρήσεις των κονιαμάτων.....	20
2.3.1. Κονιάματα τοιχοποιίας.....	20
2.3.2. Κονιάματα πλακόστρωσης.....	24
2.3.3. Επιχρίσματα.....	25
2.4. Οι βασικές ιδιότητες των κονιαμάτων.....	27
2.5. Προσβολές των μετάλλων από τα κονιάματα.....	29
2.6. Κατασκευή κονιάματος.....	31
3. ΣΥΝΔΕΤΙΚΗ ΥΛΗ (ΚΟΝΙΑ).....	33
3.1. Γενικά.....	33
3.2. Κατηγορίες κονιών.....	34
3.3. Σημαντικότερες κονίες.....	35
3.3.1. Άσβεστος.....	35
3.3.1.α. Ασβέστης ή καμμένος ασβέστης.....	36

3.3.1.β. Υδράσβεστος ή σβησμένος ασβέστης.....	41
3.3.2. Τσιμέντο.....	46
3.3.3. Ποζολάνες.....	55
3.3.4. Γύψος.....	56
3.3.5. Μαγνησιακή κονία.....	58
3.3.6. Συνθετικές κονίες.....	59
4. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΣΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ.....	60
4.1. Γενικά.....	60
4.2. Κατηγορίες αδρανών.....	60
4.2.1. Κατηγορίες αδρανών ανάλογα με την προέλευσή τους.....	61
4.2.2. Κατηγορίες αδρανών ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους.....	62
4.3. Τα χαρακτηριστικά των αδρανών υλικών.....	64
4.4. Ειδικά αδρανή για κονιάματα.....	75
5. ΝΕΡΟ ΣΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ.....	77
5.1. Γενικά.....	77
5.2. Η απαιτούμενη ποσότητα νερού.....	78
5.2.1. Η ποσότητα νερού για την ενυδάτωση και κρυστάλλωση των συστατικών της κονίας	79
5.2.2. Η ποσότητα νερού που απορροφούν τα αδρανή.....	80
5.2.3. Η ποσότητα νερού που εξατμίζεται.....	81
5.2.4. Η ποσότητα νερού που παραμένει ελεύθερη μέσα στους πόρους.....	81
5.3. Η καθαρότητα του νερού	82
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ.....	83
6.1. Γενικά.....	83
6.2. Κοκκομετρικές αναλύσεις.....	85
6.3. Χημικές αναλύσεις.....	86
6.3.1. Προσδιορισμός υγρασίας - ξήρανση.....	86
6.3.2 Προσδιορισμός απώλειας πύρωσης.....	87
6.3.3. Θερμοβαρική ανάλυση TGA.....	88

6.3.4. Προσδιορισμός ειδικής επιφάνειας.....	92
6.3.5. Προσδιορισμός ασβεστίτη.....	96
6.3.6. Φασματοσκοπία ακτίνων –X φθορισμού (XRF).....	98
6.3.7. Προσδιορισμός άμορφου πυριτίου.....	102
6.3.7.1. Προσδιορισμός άμορφου Si με διαφορά βαρών.....	102
6.3.7.2. Προσδιορισμός άμορφου Si με Φασματομετρία ατομικής απορρόφησης.....	103
6.3.7.3. Προσδιορισμός άμορφου Si με Περιθλασιμετρία ακτίνων -X....	106
6.4. Ορυκτολογικές αναλύσεις.....	108
6.4.1. Περιθλασιμετρία ακτίνων -X (XRD).....	108
6.4.2. Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM).....	111
6.4.3. Πολωτική μικροσκοπία.....	112
6.4.5. Στερεοσκόπιο.....	112
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ.....	113
7.1. Κοκκομετρικές αναλύσεις.....	113
7.2. Χημικές αναλύσεις.....	120
7.2.1. Προσδιορισμός υγρασίας - ξήρανση.....	120
7.2.2. Προσδιορισμός απώλειας πύρωσης.....	120
7.2.3. Θερμοβαρική ανάλυση DTG.....	123
7.2.4. Προσδιορισμός ειδικής επιφάνειας.....	124
7.2.5. Προσδιορισμός ασβεστίτη.....	124
7.2.6. Φασματοσκοπία ακτίνων –X φθορισμού (XRF).....	125
7.2.7. Προσδιορισμός άμορφου πυριτίου.....	126
7.2.7.1. Προσδιορισμός άμορφου Si με διαφορά βαρών.....	126
7.2.7.2. Προσδιορισμός άμορφου Si με ατομική απορρόφηση.....	128
7.2.7.3. Προσδιορισμός άμορφου Si με Περιθλασιμετρία ακτίνων -X	129
7.3. Ορυκτολογικές αναλύσεις.....	129
7.3.1. Περιθλασιμετρία ακτίνων -X (XRD).....	129
7.3.2. Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM).....	131

8. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ.....	134
8.1. Γενικά.....	134
8.2. Σύσταση κονιαμάτων για κυλινδρικά δοκίμια.....	135
8.3. Σύσταση κονιαμάτων για κυβικά δοκίμια.....	136
8.4. Αντοχή δοκιμίων.....	139
8.5. Μελέτη των κονιαμάτων.....	142
8.5.1. Περιθλασιμετρία ακτίνων -X (XRD)	142
8.5.2. Προσδιορισμός ασβεστίτη.....	144
8.6. Συμπεράσματα.....	145

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : Διαγράμματα TGA

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : Ακτινοδιαγράμματα πρώτων υλών με μεταλλικό πυρίτιο

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ : Ακτινοδιαγράμματα πρώτων υλών

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ : Ακτινοδιαγράμματα κονιαμάτων

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε : Φωτογραφίες δοκιμίων

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης και είχε ως αντικείμενο την μελέτη και αξιολόγηση ποζολανικών υλικών με στόχο την παρασκευή κονιαμάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επεμβάσεις συντήρησης και αναστήλωσης. Η εργασία μου ανατέθηκε από τον Καθηγητή και Διευθυντή του Εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας, κύριο Δρ. Μαρκόπουλο Θεόδωρο.

Θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω όλους όσους βοήθησαν στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας. Καταρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Καθηγητή κύριο Δρ.Μαρκόπουλο Θεόδωρο, Επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, για το ενδιαφέρον και για την βοήθειά του σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Επίσης, τον Αναπληρωτή Καθηγητή Δρ.Περδικάτση Βασίλειο και τον Λέκτορα Δρ. Αλεβίζο Γεώργιο για την συμμετοχή τους στην Εξεταστική επιτροπή αλλά και για τις υποδείξεις και την βοήθεια που μου προσέφεραν.

Ακόμη, θέλω να ευχαριστήσω θερμά για την πρακτική και ηθική στήριξη της την βοηθό του Εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας, κυρία Ροτόντο Πάολα, χωρίς τη βοήθεια της οποίας η διεκπεραίωση της εργασίας θα ήταν πολύ πιο δύσκολη. Επίσης, ευχαριστώ τον Ομότιμο Καθηγητή του Τμήματος κύριο Δρ. Φώσκολο Αντώνιο αλλά και το προσωπικό όλων των Εργαστηρίων του Τμήματος και ειδικότερα τον κύριο Κλεφτάκη Σπυρίδων, τις κυρίες Παντελάκη Όλγα, Δρ.Πεντάρη Δέσποινα και Δρ.Ρεπούσκου Ευτυχία και τους Παρασκευαστές κυρίους Σκουνάκη Αντώνιο και Αποστολάκη Γεώργιο για την πρακτική τους βοήθεια κατά τη διεξαγωγή των εργαστηριακών προσδιορισμών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου Κανελλοπούλου Γεωργία, Γερογιάννη Γιώργο και Καζελίδου Κατερίνα για την συμπαράσταση και την συνεχή βοήθειά τους καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία είχε σαν στόχο την μελέτη και αξιολόγηση ποζολανικών υλικών με στόχο την παρασκευή κονιαμάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επεμβάσεις συντήρησης και αναστήλωσης. Η εργασία χωρίζεται σε δύο κύρια μέρη : το Θεωρητικό, όπου αναφέρονται βασικά στοιχεία σχετικά με τα κονιάματα και τα συστατικά που τα αποτελούν. Και το Πειραματικό, όπου περιγράφονται οι μεθοδολογίες και τα αποτελέσματα των αναλύσεων τόσο των πρώτων υλών, όσο και των κονιαμάτων που παρασκευάστηκαν.

Αρχικά, μελετήθηκαν τα δύο ποζολανικά υλικά (ποζολάνη και ζεόλιθος) που προήλθαν από το νησί της Κιμώλου, καθώς επίσης και ένας διατομίτης από την Κρήτη (νομός Ηρακλείου). Ακόμη, αναλύθηκαν και οι άλλες πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των κονιαμάτων. Ως αδρανή συστατικά χρησιμοποιήθηκε μια λατομική άμμος και μια θαλάσσια άμμος, που προέρχονται και οι δύο από το νομό Χανίων. Επίσης από το νομό Χανίων είναι και ο πολτός υδράσβεστου, που χρησιμοποιήθηκε ως συνδετική ύλη για τα κονιάματα.

Μετά την μελέτη των πρώτων υλών, παρασκευάστηκαν 18 κονιάματα από διαφορετικές αναλογίες και συνδυασμούς συνδετικών υλών και αδρανών. Από τα κονιάματα αυτά παρασκευάστηκαν δοκίμια και εξετάστηκαν οι μηχανικές ιδιότητες τους, καθώς επίσης και οριμένες φυσικοχημικές ιδιότητες.

Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις και δοκιμές σε διάφορα εργαστήρια του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης : Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας, Ανόργανης και Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας, Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Μηχανικής Πετρωμάτων, Εξευγενισμού και Τεχνολογίας Στερεών Καυσίμων, Εμπλουτισμού, Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας.

2. ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

2.1. Γενικά

Τα κονιάματα είναι μίγματα κονιών με νερό ή και αδρανή υλικά. Ή διαφορετικά, μίγματα συνδετικής ύλης, που αποτελεί η κονία με το νερό ή και αδρανή υλικά ^[2].

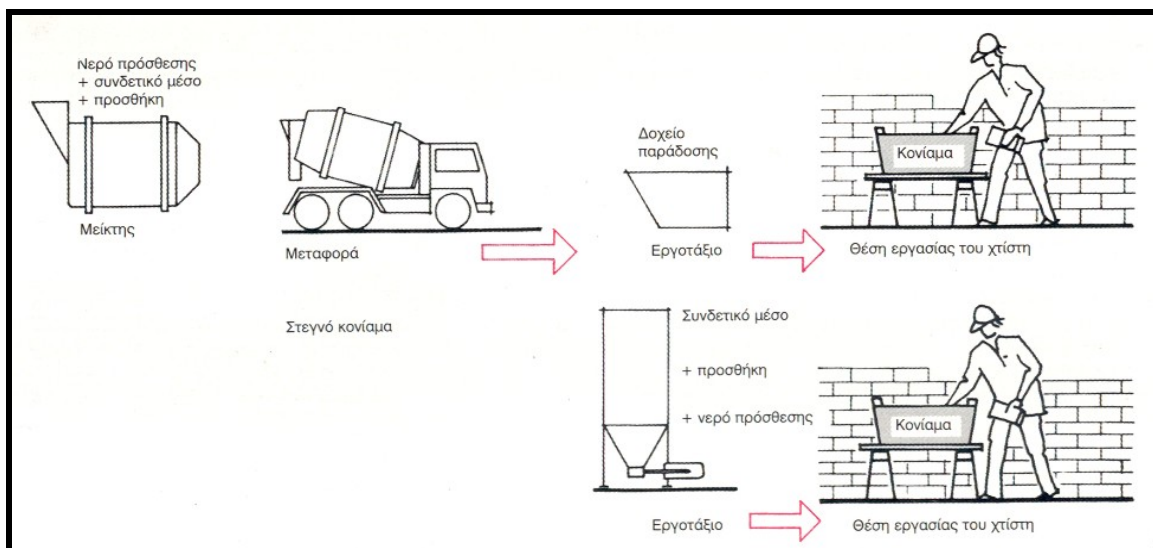
Τα υλικά αυτά αναμιγνύονται σε ορισμένες αναλογίες, που εξαρτώνται από το είδος της κονίας και από τον σκοπό εφαρμογής του κονιάματος.

Η σύνθεση και επεξεργασία των κονιαμάτων γίνεται υπό μορφή πολτού, που με τη δράση του ατμοσφαιρικού αέρα ή του νερού, πήζει και σκληραίνει. Το κονίαμα στο πρώτο στάδιο της παρασκευής του, βρίσκεται σε πλαστική κατάσταση και μπορεί να πάρει οποιαδήποτε σχήμα ή μορφή και γενικά μπορεί να υποστεί οποιαδήποτε επεξεργασία χωρίς να επηρεάζονται οι ιδιότητές του. Όταν όμως περάσει ορισμένος χρόνος, ο οποίος εξαρτάται κυρίως από το είδος της κονίας που χρησιμοποιήθηκε, το κονίαμα αρχίζει να στερεοποιείται, επειδή πήζει η κονία, μετατρέπόμενο σε ένα στερεό σώμα.

Τα κονιάματα χρησιμοποιούνται συνήθως σαν συνδετική ύλη των πετρών για την κατασκευή μιας λιθοδομής ή τουβλοδομής ή για επένδυση των διαφόρων επιφανειών, που σκοπό έχει την προφύλαξη, μόνωση και την αισθητική εμφάνιση. Τα κονιάματα, που χρησιμοποιούνται για επενδύσεις ονομάζονται επιχρίσματα και αποτελούν ουσιώδη παράγοντα ποιότητας και διάρκειας του έργου. Υπάρχουν και μερικές άλλες δευτερεύουσες χρήσεις των κονιαμάτων, όπως η κατασκευή διακοσμητικών στοιχείων, στόμωση μικροδιαρροών, έμφραξη μικρορωγμών ή πόρων, κλπ.

Ο σκοπός του κονιάματος, κατά τη δόμηση, είναι διπλός^[2]. Οφείλει:

- α) να προσδίδει στην πέτρα, φυσική ή τεχνητή, πλήρη έδραση
- β) να εμποδίζει το νερό να διέρχεται από τους αρμούς.



Εικόνα 2.1 : Εργοστασιακό κονίαμα

Η σύνδεση συνεπάγεται αντοχή σε εφελκυσμό και διάτμηση του κονιάματος, μετά τη σκλήρυνσή του. Τα κονιάματα όμως δεν έχουν συνήθως αυτές τις ιδιότητες και από την άποψη αυτή λίγο μόνο προσφέρουν στη μηχανική αντοχή του τοίχου. Αντί θετα από απόψεως αντοχής σε θλίψη, έχουν ευνοϊκές επιπτώσεις στην αντοχή του τοίχου.

Κατά την παρασκευή του κονιάματος, πρέπει να χρησιμοποιείται τόση ποσότητα κονίας, όσο χρειάζεται για να γεμίσουν τα κενά της άμμου, που εξαρτάται από την κοκκομετρική διαβάθμισή της. Μεγαλύτερη ποσότητα αποτελεί σπατάλη, γιατί η επί πλέον κονία δεν εκτελεί το σκοπό της, δηλαδή την πλήρωση των κενών και τη σύνδεση των κόκκων της άμμου. Αντίθετα ελαττώνει την αντοχή και αυξάνει την τιμή του κονιάματος. Μικρότερη ποσότητα δημιουργεί κονίαμα πορώδες και με κόκκους που δεν είναι καλά δεμένοι μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να ελαττώνει την αντοχή του κονιάματος.

Το κονίαμα στο οποίο η ποσότητα της κονίας είναι όση ακριβώς χρειάζεται, ονομάζεται *κανονικό*. Μεγαλύτερη ποσότητα κονίας δημιουργεί το *παχύ* κονίαμα, ενώ μικρότερη ποσότητα δημιουργεί το *ισχνό* κονίαμα.

Μέχρι αρκετά χρόνια πριν η επιλογή του συνδετικού υλικού περιοριζόταν ανάμεσα στην άσβεστο και το τσιμέντο ή σε μίγματα αυτών των δύο. Πλέον, κονιάματα που έχουν ως συνδετικό μόνο άσβεστο δεν χρησιμοποιούνται στην οικοδομική, εκτός από ειδικές εφαρμογές που αφορούν στην επισκευή ιστορικών κτιρίων.

Τα κονιάματα διακρίνονται σε αερικά όταν στερεοποιούνται μόνο στον αέρα όπως τα πηλοκονιάματα, ασβεστοκονιάματα, και σε υδραυλικά όταν μπορεί να στεροποιηθούν και μέσα στο νερό όπως τα τσιμεντοκονιάματα

2.2. Είδη των κονιαμάτων

Ανάλογα με το είδος της κονίας που θα χρησιμοποιηθεί παρασκευάζονται διάφορα είδη κονιαμάτων. Τα κυριότερα από αυτά είναι ^[2]:

1. **Τα ασβεστοκονιάματα**, με συνδετική ύλη τον πολτό ασβέστου ή την κονιοποιημένη υδράσβεστο.
2. **Τα τσιμεντοκονιάματα**, με συνδετική ύλη το τσιμέντο
3. **Τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα** ή μικτά κονιάματα, με συνδετική ύλη τσιμέντο και άσβεστο (πολτό ή κονιοποιημένη)
4. **Τα ποζολανικά κονιάματα** με βάση τις ποζολάνες και συνδετική ύλη την άσβεστο. Στα ποζολανικά κονιάματα είναι δυνατόν ένα μέρος της ποζολάνης να αντικατασταθεί με άμμο και ένα μέρος της ασβέστου με τσιμέντο.
5. **Τα γυψοκονιάματα**, με κύριο συνδετικό την γύψο, νερό και πρόσμιξη άμμου. Για δευτερεύοντες σκοπούς χρησιμοποιείται και σκέτη γυψοκονία, δηλ. μίγμα γύψου και νερού.
6. **Πηλοκονιάματα** που είναι φυσικά μίγματα που αποτελούνται από πηλοκονία, άμμο και νερό.
7. **Στεγανά κονιάματα**. Τα στεγανά κονιάματα παρασκευάζονται με προσθήκη στο τσιμεντοκονίαμα μικρής ποσότητας αλεύρου διαφόρων πετρωμάτων ή σκουριάς υψικαμίνου ή με προσθήκη ειδικών ουσιών με μορφή υγρού ή σκόνης, που προέρχονται κυρίως από τα αφαλτικά υλικά.

8. Πυρίμαχα κονιάματα. Το κονίαμα αυτό παρασκευάζεται συνήθως από πηλοκονία που περιέχει σε μεγάλη αναλογία οξειδία του αργιλίου και του πυριτίου.

9. Θερμομονωτικά και ηχομονωτικά κονιάματα. Βασικό χαρακτηριστικό των κονιαμάτων αυτών είναι το μεγάλο πορώδες, λόγω των κενών που βρίσκονται στη μάζα τους. Χρησιμοποιούνται μόνο εκεί όπου απαιτείται θερμική ή ηχητική μόνωση

Στην συνέχεια θα αναπτυχθούν μερικά από τα περισσότερα χρησιμοποιούμενα κονιάματα εν συντομία, οι αναλογίες παρασκευής, ιδιότητες και κυριότερες χρήσεις τους.

2.2.1. Ασβεστοκονιάματα

Ασβεστοκονίαμα ονομάζουμε το μίγμα ασβέστου και άμμου με νερό^[2]. Προκειμένου για ασβεστοπολτό, η ορθή πορεία είναι να αραιώσουμε πρώτα τον πολτό με νερό και στη συνέχεια να προσθέσουμε άμμο επί του γαλακτώματος. Προκειμένου για σκόνη υδρασβέστου η ανάμιξη αυτής και της στεγνής άμμου είναι εύκολη. Η άμμος που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι φυσική ή τεχνητή.

Είναι ελαφρώς διαλυτά στο νερό και η παρουσία υψηλών επιπέδων υγρασίας αποτελεί ζημιογόνο παράγοντα. Ο σίδηρος (οπλισμός) που μπορεί να βρεθεί μέσα σ' αυτό το κονίαμα διαβρώνεται πολύ εύκολα λόγω αλκαλικής αντίδρασης παράγοντας σκουριά.

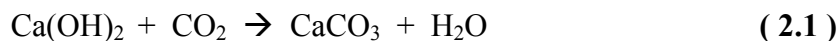
Αερικά ασβεστοκονιάματα. Συνθέτονται από σβησμένη άσβεστο, άμμο (πυριτική ή ασβεστιτική) και νερό. Σκληρύνονται μέσω αντίδρασης με το CO₂ του αέρα και αυτός είναι λόγος για τον οποίο ονομάζονται 'αερικά'. Σε υγρά περιβάλλοντα όπου ο αέρας είναι δυσκολότερο να διεισδύσει, τα κονιάματα αυτά μπορεί να αποτύχουν να πήξουν τελείως και να προκύψουν ρωγμές καθώς υπόκεινται σε αξιοσημείωτη συρρίκνωση. Για το λόγο αυτό δεν ενδείκνυνται για ενέματα σε τοιχοποιίες.

Υδραυλικά ασβεστοκονιάματα. Συνθέτονται όπως και τα αερικά, με τη διαφορά ότι η άσβεστος λαμβάνεται θερμαίνοντας σε ένα φούρνο μάργα ή μίγματος ασβεστόλιθου με ενδογενή ή αργιλικά πρόσθετα. Αυτός ο τύπος κονιάματος είναι σχετικά πρόσφατος και

είναι παρόμοιος με το τσιμέντο που ανακαλύφθηκε περίπου έναν αιώνα μετά. Σκληρύνεται ακόμη και κάτω από νερό απουσία αέρα και γενικά είναι καλής ποιότητας.

Σκλήρυνση του κονιάματος

Η πολύ καλή ανάμιξη είναι βασικότερη προϋπόθεση για οιονδήποτε καλής ποιότητας κονίαμα. Η πήξη και η σκλήρυνση του κονιάματος οφείλεται στο γεγονός ότι, το χημικά ενωμένο με την άσβεστο νερό, αντικαθίσταται, με την πάροδο του χρόνου, με διοξείδιο του άνθρακος της ατμόσφαιρας. Έτσι λοιπόν έχουμε μετατροπή σε στερεό ανθρακικό ασβέστιο, δηλ. τον ασβεστόλιθο.



Η υδρασβέστος χρησιμοποιείται συνήθως σε μορφή πολτού ή σπάνια σε μορφή σκόνης. Η υδρασβέστος πριν από κάθε χρήση πρέπει να σβηστεί τελείως, ώστε να μην περιέχει άσβηστα μόρια. Όταν το σβήσιμο αυτών των μορίων επέρχεται κατά την πήξη του κονιάματος δημιουργούνται φυσαλλίδες CO_2 με αποτέλεσμα την διόγκωση και την καταστροφή του υλικού. Ειδικά σε κονιάματα που προορίζονται για την κατασκευή επιχρισμάτων, η υδρασβέστος πρέπει να χρησιμοποιηθεί τουλάχιστον 15 μέρες μετά το σβήσιμο του καμμένου ασβέστη.

Η εξάτμιση ενός σημαντικού ποσοστού νερού, μετά την εφαρμογή του κονιάματος, αποτελεί το πρώτο στάδιο σκλήρυνσης του κονιάματος. Όταν το διοξείδιο του άνθρακος της ατμόσφαιρας προσβάλλει την υδράσβεστο και τη μετατρέπει σε ανθρακικό ασβέστιο, τούτο κρυσταλλούται και επικάθεται στους κόκκους της άμμου. Έτσι γεμίζει και τα κενά της άμμου, συνδέοντας κατά τον τρόπο αυτό τους κόκκους μεταξύ τους.

Ταυτόχρονα το νερό που αποβάλλεται διατηρεί τα κέντρα των κενών της άμμου ελεύθερα και ανοικτά και συνεπώς το κονίαμα παραμένει πορώδες. Κατά τον τρόπο αυτό ο αέρας κινείται ελεύθερα για να προσδώσει το απαιτούμενο διοξείδιο του άνθρακος και να εκδιώξει το νερό. Κατά τον τρόπο αυτό η σκλήρυνση προχωρεί αργά και η ταχύτητα

μειώνεται, όσο το κονίαμα ευρίσκεται πιο μακριά από την εξωτερική επιφάνεια της δομής και συνεπώς του αέρα.

Η αντίδραση σκλήρυνσης των ασβεστοκονιαμάτων, με αποβολή νερού, είναι το αίτιο της έντονα υγρής ατμόσφαιρας των νεόκτιστων κατοικιών και οικοδομών γενικά, που έχει χρησιμοποιηθεί ασβεστοκονίαμα για τη δομή ή τα επιχρίσματα. Η δε διατήρηση της υγρασίας για μακρύ χρονικό διάστημα οφείλεται στο αποβαλλόμενο νερό.

Οι αναλογίες της υδρασβέστου, της άμμου και του νερού που χρησιμοποιούνται, εξαρτώνται από την ποιότητα των πρώτων υλών και από τον προορισμό του ασβεστοκονιάματος.

Αναλογίες μίξης ασβεστοκονιαμάτων

Συνήθως οι χρησιμοποιούμενες αναλογίες ασβεστοκονιαμάτων σε μέρη όγκου (μ.ο.) της ασβέστου, αναφερομένης, σε ασβεστοπολτό, είναι ανάλογα με το σκοπό του ασβεστοκονιάματος, ως εξής ^[6]:

α/α	κονία: αδρανή	χρήσεις
1	1 : 1.5	για επιχρίσματα
	1 : 2	
	1 : 2.5	
2	1 : 3	για δομές
	1 : 4	
	1 : 5	

Πίνακας 2.1: Ενδεικτικές αναλογίες ασβέστου-άμμου

Οι δύο πρώτες κατηγορίες κατατάσσονται στα παχέα ασβεστοκονιάματα, οι δε υπόλοιπες στα ισχνά ασβεστοκονιάματα. Τα ισχνά κονιάματα χρησιμοποιούνται για δομικά στοιχεία μεγάλου πάχους ή για κατασκευές που βρίσκονται μέσα στο έδαφος, όπου η πήξη της

υδρασβέστου δυσκολεύεται επειδή δεν έρχεται σε άμεση επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Αντίθετα στα επιχρίσματα μπορεί να χρησιμοποιηθούν παχιά κονιάματα.

Η ανάμιξη των υλικών πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να προκύψει ομοιογενής μάζα. Δεν πρέπει να υπάρχουν μικροί σβώλοι αδιάλυτου υδρασβέστη γιατί θα αποτελέσουν εστίες καταστροφής του κονιάματος. Η ομοιογένεια της μάζας εξακριβώνεται με μία απλή δοκιμή. Με το μυστρί δημιουργείται ένα αυλάκι στην επιφάνεια του έτοιμου κονιάματος. Αν στις παρειές του αυλακιού δεν παρουσιασθούν άσπρες γραμμές ή άσπρα στίγματα, αυτό σημαίνει ότι η ανάμιξη είναι ικανοποιητική. Η ανάμιξη γίνεται με τα χέρια, με τη βοήθεια φτυαριού ή με ειδικούς αναμικτήρες.

Ιδιότητες και χρήσεις των ασβεστοκονιαμάτων

Η πήξη του ασβεστοκονιάματος γίνεται αργά από τα εξωτερικά στρώματα προς τα εσωτερικά. Κατά την πήξη παρουσιάζεται νερό στις εξωτερικές επιφάνειες πράγμα που δημιουργεί μεγάλη υγρασία στις κατασκευές και εμποδίζει την συνέχιση των εργασιών. Η πήξη και η σκλήρυνση του κονιάματος γίνονται ταχύτερα, όταν υπάρχει καλός αερισμός, γιατί έτσι η υγρασία απομακρύνεται και νέες ποσότητες CO₂ απορροφούνται συνεχώς.

Τεχνητή πήξη μπορεί να γίνει με τη χρησιμοποίηση ανοικτών χώρων καπναγωγών, θερμαινόμενων, στις οποίες καίγονται κωκ ή ξύλα. Ο καπνός περιέχει μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και έτσι επιταχύνει την πήξη του κονιάματος

Οι μηχανικές αντοχές του είναι μικρές, επίσης η αντοχή στις εξωτερικές επιρροές είναι μικρότερη από την αντοχή άλλων κονιαμάτων. Γι' αυτό όταν χρησιμοποιούνται σε εξωτερικές επιφάνειες πρέπει να ενισχύονται είτε με τσιμέντο είτε με άλλες ουσίες.

Τα ασβεστοκονιάματα χρησιμοποιούνται ως συνδετικά υλικά στην κατασκευή τοίχων από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους και ως επικαλυπτικά υλικά στην κάλυψη εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών τοίχων.

Ειδικά ασβεστοκονιάματα

Για να βελτιωθούν ορισμένες ιδιότητες των ασβεστοκονιαμάτων, όπως η μηχανική αντοχή, η εμφάνιση, η υδραυλικότητα κλπ., χρησιμοποιούνται ποικίλα άλλα υλικά, που αναμιγνύονται με τα ασβεστοκονιάματα και συντελούν στη βελτίωση της ποιότητάς τους. Τα κυριότερα από τα ειδικά αυτά ασβεστοκονιάματα είναι ^[5]:

- **Ασβεστογυψοκονιάματα.** Με ανάμειξη γύψου με διάφορες αναλογίες με το ασβεστοκονίαμα, παρασκευάζεται ένα υλικό πιο πλαστικό που δημιουργεί λείες επιφάνειες και είναι κατάλληλο για την επικάλυψη εσωτερικών επιφανειών και ειδικά οροφών.
- **Θηραίκοκονιάματα.** Παρασκευάζονται με άλευρο θηραϊκής γης που αντικαθιστά ένα μέρος ή ολόκληρη την ποσότητα της άμμου του κοινού ασβεστοκονιάματος. Το πλεονέκτημα των κονιαμάτων αυτών σε σχέση με το κοινό ασβεστοκονίαμα είναι ότι εμφανίζουν αυξημένη υδραυλικότητα. Θα αναφερθούμε και παρακάτω στα συγκεκριμένα κονιάματα.
- **Κεραμαλευροκονιάματα.** Με αντικατάσταση ενός μέρους ή ολόκληρης της ποσότητας της άμμου του κοινού ασβεστοκονιάματος με κεραμάλευρο, προκύπτει το κεραμαλευροκονίαμα. Το κονίαμα αυτό όπως και το θηραίκοκονίαμα εμφανίζει αυξημένη υδραυλικότητα. Γι' αυτό τον λόγο μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε έργα που βρίσκονται σε υγρό περιβάλλον ή κοντά στο έδαφος.

2.2.2. Τσιμεντοκονιάματα

Το μίγμα άμμου, τσιμέντου και νερού καλείται τσιμεντοκονίαμα ^[5]. Είναι πιο πρόσφατος και ανθεκτικός τύπος, έχει μικρότερο πορώδες και καλή αντίσταση στη φθορά. Τα τσιμεντοκονιάματα είναι κονιάματα αερικά και υδραυλικά, υψηλής αντοχής. Γενικά έχουν εφαρμογή σε στοιχεία κατασκευών, που φορτίζονται ισχυρά, όπως και όταν τα στοιχεία πρόκειται να φορτισθούν σε μικρό χρονικό διάστημα από την τοποθέτησή τους.

Τα τσιμεντοκονιάματα χρησιμοποιούνται επίσης σαν πρώτη ύλη για την κατασκευή διαφόρων τεχνητών υλικών, όπως τσιμεντόλιθοι, τσιμεντοσωλήνες κλπ. Επίσης σαν επικαλυπτικά υλικά για επίχρισμα τοίχων και οροφών, για επιστρώσεις δαπέδων, για στεγανές επικαλύψεις δεξαμενών οχετών κλπ.

Παρ' όλ' αυτά, πρέπει να σημειωθεί ότι τα τσιμεντοκονιάματα δεν είναι πάντα συμβατά με κάποιους τύπους τοιχοποιίας και ότι ο σχηματισμός ευδιάλυτων αλάτων του νατρίου μπορεί να δημιουργήσει κρυστάλλους στους πόρους των τοίχων αλλά και στην επιφάνειά τους. Έτσι, αυτά τα κονιάματα δεν είναι, για παράδειγμα, κατάλληλα όταν υπάρχουν τοιχογραφίες. Πολλοί ερευνητές εξάλλου, υποστηρίζουν ότι η χρήση των κονιαμάτων αυτών είναι ακατάλληλη γενικότερα για την επισκευή ιστορικών κτιρίων, καθώς εκτός από την ύπαρξη ανεπιθύμητων αλάτων στο τσιμέντο, έχουν επίσης το μειονέκτημα να είναι πολύ 'σκληρά' και να προσκολλώνται γερά με αποτέλεσμα να εμποδίζουν την εξάτμιση της υγρασίας.

Το τσιμεντοκονίαμα παρουσιάζει μεγαλύτερη ικανότητα προσφύσεως και μεγαλύτερη μηχανική αντοχή από τα άλλα κονιάματα. Επίσης έχει την υδραυλική ιδιότητα.

Για τους παραπάνω λόγους το τσιμεντοκονίαμα έγινε ένα από τα πιο σημαντικά δομικά υλικά της σύγχρονης εποχής. Επίσης το κόστος παρασκευής του είναι χαμηλό και έτσι δίνει οικονομικές κατασκευές.

Ειδικότερα τα τσιμεντοκονιάματα των 900 Kg/m^3 είναι πολύ πλούσια και χρησιμοποιούνται για την παρασκευή των προκατασκευασμένων στοιχείων με ισχυρότατη συμπίκνωση ή φυγοκεντρισμό (π.χ σωλήνες), σε επιχρίσματα μέσα στο νερό, κ.ά ^[2].

Τα τσιμεντοκονιάματα των 700 Kg/m^3 χαρακτηρίζονται σαν πλούσια και εφαρμόζονται στα αρμολογήματα. Τα τσιμεντοκονιάματα των 600 Kg/m^3 είναι σχετικώς πλούσια και εφαρμόζονται στα υγρά θεμέλια, στην κατασκευή επιχρισμάτων, λιμενικών έργων, κλπ. Τα τσιμεντοκονιάματα των 450 Kg/m^3 είναι ελαφρώς πλούσια και εφαρμόζονται στην κατασκευή θόλων και άλλων στοιχείων, που φορτίζονται ισχυρά. Τα

τσιμεντοκονιάματα των 350 Kg/m^3 χαρακτηρίζονται σαν κανονικά και χρησιμοποιούνται σε όλα τα στοιχεία των αερικών κατασκευών.

Γενικά η περιεκτικότητα τσιμέντου των 350 και 450 Kg είναι η απαιτούμενη, ανάλογα και με την κοκκομετρική διαβάθμιση της άμμου, για να παρασκευασθεί ένα πλήρες κονίαμα, δηλ. ένα κονίαμα, που η συνδετική ύλη γεμίζει όλα τα κενά και περιβάλλει τους κόκκους των αδρανών.

Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και ισχνά τσιμεντοκονιάματα των 250 ή και των 200 Kg/m^3 . Τα κονιάματα αυτά κατατάσσονται στα μετρίου αντοχής και εφαρμόζονται σε τοιχοδομές πλήρωσης ή ελαφρώς φορτιζόμενες.

Για την αύξηση της πλαστικότητας και της ελαστικότητας των τσιμεντοκονιαμάτων γενικά, συνιστάται η προσθήκη μικρής ποσότητας πολτού ασβέστου $0.04-0.06 \text{ m}^3$ ανά κυβικό μέτρο κονιάματος ή σκόνης υδρασβέστου περί το 10-15% του βάρους του τσιμέντου. Η προσθήκη αυτή της ασβέστου δεν λαμβάνεται υπ' όψη σαν συνδετική ύλη και δεν πρέπει να ελαττώνει την ποσότητα του τσιμέντου. Απλώς βελτιώνει το εργάσιμο και το κονίαμα γίνεται λιγότερο ψαθυρό.

Αναλογίες μίξης τσιμεντοκονιαμάτων

Οι αναλογίες τσιμέντου και άμμου εξαρτώνται από τον προορισμό του τσιμεντοκονιάματος. Άλλες αναλογίες ισχύουν για τσιμεντοκονίαμα που προορίζεται για στεγανές επικαλύψεις, άλλες για επιστρώσεις δαπέδων και άλλες για την παρασκευή σκυροδεμάτων.

Οι αναλογίες καθορίζονται σε μέρη όγκου τσιμέντου και άμμου και παριστάνονται με ένα κλάσμα, όπως στο ασβεστοκονίαμα. Επειδή μεταβάλλεται ο όγκος του τσιμέντου ανάλογα με την πίεση που έχει υποστεί το τσιμέντο και την λεπτότητά του, μπορεί να προσδιορίζεται η σύνθεση του κονιάματος με το βάρος του τσιμέντου, που περιέχεται σε

1 m³ έτοιμου τσιμεντοκονιάματος. Οι αναλογίες τσιμέντου-άμμου που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή τσιμεντοκονιάματος, και τις χρήσεις τους φαίνονται στον πίνακα 2.2 ^[6].

α/α	κονία: αδρανή	είδος κονιαμάτων	χρήσεις
1	1 : 1.5 έως 1 : 2.5	Παχιά	Για στεγανά επιχρίσματα και επιστρώσεις
2	1 : 2.0 έως 1 : 3.0	Κανονικά	Για εξωτερικά επιχρίσματα
3	1 : 3.0 έως 1 : 4.0	Ισχνά	Για κτίσιμο θεμελίων από πέτρες σε υγρό περιβάλλον

Πίνακας 2.2: Ενδεικτικές αναλογίες τσιμέντου-άμμου

Η ανάμειξη των υλικών πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ομοιογενής. Το κονίαμα δεν πρέπει να περιέχει συμπαγή κομμάτια ή σβώλους, αλλά η μάζα του πρέπει να είναι ομοιόμορφη και ομοιόχρωμη. Η ανάμειξη γίνεται με τα χέρια, με τη βοήθεια φτυαριού από πεπειραμένους εργάτες ή με κατάλληλους αναμικτήρες κονιάματος.

Το έτοιμο κονίαμα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μέσα στις πρώτες ώρες (2 ως 3 ώρες) από την παρασκευή του, γιατί μετά το χρονικό αυτό διάστημα αρχίζει η πήξη του τσιμέντου. Πρέπει επομένως η ποσότητα που παρασκευάζεται κάθε φορά να είναι τόση, ώστε να μπορεί να καταναλωθεί ολόκληρη σε δύο ώρες.

Εάν παραμείνει κονίαμα αχρησιμοποίητο στο τέλος της ημερήσιας εργασίας, δεν πρέπει να ξαναχρησιμοποιηθεί την άλλη ημέρα, έστω και αν αναμιχθεί με νέο τσιμέντο.

Ιδιότητες και χρήσεις των τσιμεντοκονιαμάτων

Η πήξη και σκλήρυνση των τσιμεντοκονιαμάτων ακολουθούν τη διαδικασία αυτών του τσιμέντου. Επομένως πρέπει να λαμβάνονται μέτρα και προφυλάξεις για να ολοκληρωθεί με επιτυχία όλη η διαδικασία της πήξεως και της σκλήρυνσεως του τσιμεντοκονιάματος.

Η μηχανική αντοχή και η στεγανότητα του τσιμεντοκονιάματος εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες οι κυριότεροι από τους οποίους είναι ^[5]:

- Η αναλογία τσιμέντου προς άμμο. Μεγαλύτερη αναλογία τσιμέντου προς άμμο δίνει ανθεκτικότερα και στεγανότερα κονιάματα.
- Χαλαζιακή άμμος, άμμος από την θάλασσα, δίνουν ισχυρότερα κονιάματα από την ασβεστολιθική άμμο αφού έχουν την ίδια κοκκομετρική διαβάθμιση.
- Η ποσότητα του νερού επεξεργασίας. Το πολύ νερό ελαττώνει την αντοχή και την στεγανότητα του κονιάματος. Το ίδιο ισχύει για μικρή ποσότητα νερού (μικρότερη ποσότητα από ότι είναι απαραίτητο).

Η στεγανότητα των τσιμεντοκονιαμάτων αυξάνεται με τη προσθήκη ορισμένων ουσιών κατά την παρασκευή τους, όπως ασφαλτόλιθοι, θηραϊκή γη, σκωρίες υψικαμίνων κλπ.. Επίσης η στεγανότητα αυξάνεται, αν η επιφάνεια της επιστρώσεως από το τσιμεντοκονίαμα υποστεί προσεκτική λείανση κατά τη διάρκεια της κατασκευής της.

2.2.3. Ασβεστοτσιμεντοκονιάματα

Τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα λαμβάνονται με προσθήκη τσιμέντου στα ασβεστοκονιάματα ^[2]. Η προσθήκη τσιμέντου αποσκοπεί την επιτάχυνση σκλήρυνσης του ασβεστοτσιμεντοκονιάματος, στην πρόσφυση επί αδρανών, αλλά κυρίως στην αντοχή του, γι' αυτό και καλούνται ενισχυμένα ασβεστοκονιάματα. Κατά βάση πρόκειται για ένα ασβεστοκονίαμα με τις γνωστές αναλογίες όπου ένα μέρος του πολτού της υδρασβέστου έχει αντικαταθεί με τσιμέντο. Η ποσότητα του τσιμέντου εξαρτάται από το σκοπό που προορίζεται το ασβεστοτσιμεντοκονίαμα.

Η παρασκευή του ασβεστοτσιμεντοκονιάματος οφείλεται στην ανάγκη να συνδυασθούν οι ιδιότητες του ασβεστοκονιάματος, που έχει μικρότερο κόστος, με τις δύο βασικές ιδιότητες του τσιμεντοκονιάματος. Δηλαδή τη μεγαλύτερη μηχανική αντοχή του και την ικανότητα να σκληραίνεται γρήγορα και μέσα στο νερό. Τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα

είναι πλαστικότερα και περισσότερο εργάσιμα από τα τσιμεντοκονιάματα και υπόκεινται σε μεγαλύτερες συστολές, γιατί το ποσοστό αναλογίας νερού είναι υψηλό.

Η ανάμιξη των ασβεστοτσιμεντοκονιαμάτων, αν χρησιμοποιείται ασβεστοπολτός, γίνεται, αφού αναμιχθούν καλά η άμμος και το τσιμέντο, εν ξηρώ και στη συνέχεια το μίγμα προστίθεται στον ασβεστοπολτό, οπότε ακολουθεί νέα και προσεκτική ανάμιξη. Αν χρησιμοποιείται σκόνη υδρασβέστου, αναμιγνύεται καλά με το τσιμέντο και την άμμο, εν ξηρώ και στο μίγμα των τριών συστατικών προστίθεται το νερό με συνεχή ανάμιξη.

Αναλογίες μείξης ασβεστοτσιμεντοκονιαμάτων

Οι αναλογίες που χρησιμοποιούνται σε μέρη όγκου (μ. ο.) είναι ^[6]:

α/α	Τσιμέντο : άσβεστος : άμμος
1	1 : 0.5 : 5
2	1 : 1.0 : 6
3	1 : 1.0 : 7
4	1 : 2.0 : 8
5	1 : 2.0 : 10

Πίνακας 2.3: Οι συνήθεις αναλογίες ασβεστοτσιμεντοκονιαμάτων

Έχει παρατηρηθεί ότι μικρή ποσότητα υδρασβέστου, μέχρι 10% της ποσότητας του τσιμέντου, όχι μόνο δεν ελαττώνει τη μηχανική αντοχή και την υδραυλικότητα του τσιμεντοκονιάματος, αλλά αντίθετα στα ισχνά τσιμέντο-κονιάματα αυξάνει τις ιδιότητες αυτές, ενώ συνγχρόνως τα κάνει περισσότερο εργάσιμα.

Ιδιότητες και χρήσεις των ασβεστοτσιμεντοκονιαμάτων

Τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα πλεονεκτούν ως προς τα ασβεστοκονιάματα και τα ισχνά τσιμεντοκονιάματα, επειδή [5]:

- Είναι πιο εργάσιμα από τα ισχνά τσιμεντοκονιάματα και εμφανίζουν μεγαλύτερη επικαλυπτική ικανότητα.
- Προσφύονται καλύτερα στην επιφάνεια των λίθων και σκληρύνονται ταχύτερα από τα κοινά ασβεστοκονιάματα ακόμα και σε υγρό περιβάλλον.
- Η αντοχή τους είναι μεγαλύτερη από τα ασβεστοκονιάματα, αλλά μικρότερη από τα τσιμεντοκονιάματα (8kp/cm^2 ως 18kp/cm^2).
- Μέσα στο νερό δεν πήζουν, αλλά μετά τη σκλήρυνσή τους στον αέρα αντέχουν στην επιρροή του νερού. Το θαλασσινό νερό όμως και τα αλατούχα νερά τα καταστρέφουν.
- Το κόστος τους είναι μικρότερο από το κόστος των τσιμεντοκονιαμάτων.

Τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα στο κτίσιμο τοίχων από ψυσικούς ή από τεχνητούς λίθους και κυρίως στα χαμηλά τμήματα του τοίχου που έχουν μεγαλύτερη υγρασία, επίσης χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των εξωτερικών επιχρισμάτων.

2.2.4. Ποζολανικά κονιάματα

Αυτά συνθέτονται από σβησμένη άσβεστο, ποζολάνη και νερό, ή προέρχονται από αερικά ασβεστοκονιάματα αντικαθιστώντας την άμμο με ποζολάνη. Είναι υδραυλικά κονιάματα μέτριας αντοχής.

Η ποζολάνη έχει ηφαιστειακή προέλευση και πήρε το όνομά της από την περιοχή Pozzuoli. Έχει την ιδιότητα να αντιδρά με την άσβεστο ανεξάρτητα από την ατμόσφαιρα, σκληρύνεται σε μικρό χρονικό διάστημα και παρουσιάζει καλή ανθεκτικότητα παρουσία νερού.

Και αυτά έχουν την ιδιότητα να σκληρύνονται σε υγρά περιβάλλοντα και κάτω από το νερό διατηρώντας την ποιότητά τους για αιώνες. Μπορούν ακόμη να παρασκευαστούν χρησιμοποιώντας ένα είδος τεχνητής ποζολάνης που λαμβάνεται κατά τη θέρμανση κονιοποιημένων κεραμιδιών ή παλιών τούβλων. Αυτός ο τύπος κονιάματος, παρ' όλο που χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να πάρει τις αντοχές του, είναι καλής ποιότητας και γινόταν χρήση του συχνά όταν η φυσική ποζολάνη δεν ήταν διαθέσιμη, όπως κατά το χτίσιμο της Αγια-Σοφιάς ^[15].

Η χρησιμοποίησή τους είναι σκόπιμη στις λιθοδομές των θεμελίων σε υγρά ή βαλτώδη εδάφη, σε λιμενικά έργα και γενικά σε κατασκευές, που βρίσκονται σε υγρό περιβάλλον. Αντίθετα τα θηραϊκόκονιάματα σε ξηρό και θερμό περιβάλλον εξασθενίζουν και γίνονται εύθραυστα.

2.2.5. Γυψοκονιάματα – Γυψοασβεστοκονιάματα

Πολτός γύψου παρασκευάζεται από πλαστική γύψο, χωρίς την προσθήκη άμμου. Κατά κανόνα χρησιμοποιούμε 1 Kg γύψο με 0.6 Kg νερό (3 μ.ό. γύψο + 2 μ.ο. νερό) ^[2]. Ο καθαρός γύψος χρησιμοποιείται σε εργασίες στόκου, για εκμαγεία, για την κατασκευή ακροτοιχιών, κορνιζών και γενικώς γύψινων διακοσμήσεων.



Εικόνα 2.2 : Μηχανή επίχρισης για γυψοκονίαμα

Γυψοκονίαμα περιέχει γύψο για συνδετική ύλη και άμμο, ώστε το κονίαμα να γίνει ισχυρότερο και οικονομικότερο. Οι αναλογίες είναι κατ' όγκο 1 μέρος γύψο με 1-3 μέρη άμμος ^[2]. Προηγουμένως αναμιγνύουμε το νερό με τη γύψο και κατόπιν προσθέτουμε την άμμο. Για σκληρά επιχρίσματα απαιτείται αναλογία γύψου-άμμου 1: 1 κατ' όγκον. Γυψοασβεστοκονίαμα περιέχει τις κονίες γύψο και άσβεστο σε ίση περίπου αναλογία, καθώς και άμμο για να γίνει ισχυρότερο και οικονομικότερο.

2.2.6. Πηλοκονιάματα

Το πηλοκονίαμα είναι ένα φυσικό μίγμα που αποτελείται από πηλοκονία, άμμο και νερό. Είναι το πρώτο κονίαμα που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος ^[5]. Τα πηλοκονιάματα διακρίνονται σε ισχνά και παχιά. Όταν η πηλοκονία περιέχεται σε αναλογία 15% έως 20% του βάρους του κονιάματος τότε μιλάμε για ισχνά, ενώ όταν η πηλοκονία υπερβαίνει το ποσοστό αυτό τότε μιλάμε για παχιά πηλοκονιάματα.

Το πηλοκονίαμα εντάσσεται στην κατηγορία των αερικών κονιαμάτων. Και αυτό γιατί στερεοποιείται με τη εξάτμιση του νερού που εμπεριέχει. Με την επανενυδάτωσή του μεταπίπτει ξανά σε κατάσταση πολτού. Για αυτό το λόγο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δομικά στοιχεία, που δέχονται την επίδραση του νερού ή βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος.

Προσφύεται πολύ καλά στις πέτρες και στα ξύλα και έχει ικανοποιητική θερμική μόνωση. Παλαιότερα το χρησιμοποιούσαν για την κατασκευή ωμοπλίνθων και για επικάλυψη σε ξύλινες στέγες και τοίχους. Σήμερα χρησιμοποιείται για την κατασκευή τούβλων και άλλων κεραμικών προϊόντων.

2.2.7. Στεγανά κονιάματα

Τα κονιάματα αυτά πρέπει να έχουν μεγάλη πυκνότητα, δηλ. να έχουν όσο το δυνατόν λιγότερα κενά. Τα κοινά τσιμεντοκονιάματα έχουν επαρκή στεγανότητα, εφόσον η αναλογία τσιμέντου είναι αρκετά μεγάλη, η ανάμιξη των υλικών πλήρης και η εκτέλεση της εργασίας της στεγανοποίησης επιμελημένη και σύμφωνα με τους κανόνες της τέχνης^[2].

Τα ειδικά στεγανά κονιάματα παρασκευάζονται με προσθήκη στο κοινό τσιμεντοκονίαμα μικρής ποσότητας αλεύρου διαφόρων πετρωμάτων ή σκουριάς υψικαμίνου. Κατά τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται ελάττωση των κενών της άμμου και επομένως ελάττωση του πορώδους. Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται άλευρο θηραϊκής γης .

Μία άλλη κατηγορία παρασκευάζεται με προσθήκη ειδικών ουσιών με μορφή υγρού ή σκόνης, που κυκλοφορούν στο εμπόριο με διάφορες ονομασίες. Οι ουσίες αυτές προέρχονται κυρίως από τα αφαλτικά υλικά. Οι πρόσθετες αυτές ουσίες ελαττώνουν την αντοχή του κονιάματος. Μεγάλη στεγανότητα όχι μόνο για το νερό, αλλά και για δραστικά χημικά υγρά επιτυγχάνεται με κονιάματα, που χρησιμοποιείται σαν συνδετική ύλη μία συνθετική κονία.

2.2.8. Πυρίμαχα κονιάματα

Γενικά τα κονιάματα, που περιέχουν τσιμέντο, αντέχουν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (μέχρι 1000°C). Προκειμένου όμως για το κτίσιμο πυρίμαχων πλίνθων (πυρότουβλα) σε εστίες κλιβάνων και σε καπναγωγούς ή για επένδυση μεταλλουργικών καμίνων ή για την επίχριση στοιχείων, που είναι πιθανόν να υποστούν την επίδραση φλογών, πρέπει να χρησιμοποιηθεί κονίαμα με αυξημένη αντοχή στην πύρωση (MgO)^[5].

Το κονίαμα αυτό παρασκευάζεται από πηλοκονία που περιέχει σε μεγάλη αναλογία οξείδια του αργιλίου και του πυριτίου. Κυκλοφορεί στον εμπόριο με την ονομασία

"χώμα της φωτιάς". Το χώμα αυτό ανακατεύεται με το νερό και πήζει με την εξάτμιση του νερού. Ένα άλλος τύπος πυρίμαχου κονιάματος είναι το αμιαντοτσιμεντοκονίαμα που χρησιμοποιείται για την προστασία ξύλινων ή σιδερένιων στοιχείων από τη φωτιά.

2.2.9. Θερμομονωτικά και ηχομονωτικά κονιάματα

Βασικό χαρακτηριστικό των κονιαμάτων αυτών είναι το μεγάλο πορώδες, λόγω των κενών που βρίσκονται στη μάζα τους. Χρησιμοποιούνται μόνο εκεί, όπου απαιτείται θερμική ή ηχητική μόνωση. Τα κονιάματα αυτά παρασκευάζονται με διάφορους τρόπους^[5].

2.3. Χρήσεις των κονιαμάτων

Τα κονιάματα μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τον τρόπο χρήσης τους ως εξής^[4]:

2.3.1. Κονιάματα τοιχοποιίας

Το κονίαμα τοιχοποιίας ενώνει τους λίθους τοιχοποιίας μεταξύ τους και τους συγκρατεί σταθερά στη θέση τους. Με το κονίαμα τοιχοποιίας αντισταθμίζονται στην περίπτωση λίθων τοιχοποιίας οι τυχόν αποκλίσεις στις διαστάσεις. Το κονίαμα τοιχοποιίας είναι τυποποιημένο (DIN 1053)^[4].

Για να λειτουργήσει το κονίαμα ως συνδετικό τούβλων ή άλλων μονάδων τοιχοποιίας είναι απαραίτητη κάποια αντοχή. Θα πρέπει ακόμη να προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις διαφορικές κινήσεις θερμότητας και υγρασίας που εμφανίζονται στη δομή. Αν αυτές οι κινήσεις είναι μικρές, συνήθως οι τάσεις που αναπτύσσονται βρίσκονται μέσα στα όρια ελαστικότητας του υλικού. Πέρα από αυτά τα όρια, οι τάσεις ανακουφίζονται υποχωρώντας κατά μήκος γραμμών όπου εμφανίζεται σχετική αδυναμία της δομής.

Σε μια σύνθετη κατασκευή από τούβλα και κονίαμα, η αστοχία θα συμβεί στα τούβλα αν το κονίαμα έχει μεγαλύτερη αντοχή από αυτά. Όταν το κονίαμα είναι ασθενέστερο από τα τούβλα, η ανακούφιση των τάσεων καταλήγει σε λεπτές ρωγμές μη εμφανώς κατανεμημένες κατά μήκος των κατακόρυφων ενώσεων της πλινθοδομής, ενώ στις οριζόντιες ενώσεις παρατηρείται μόνο μικρή σχετική κίνηση ανάμεσα στο κονίαμα και τα τούβλα.

Ιδιότητες του κονιάματος τοιχοποιίας

Νωπό κονίαμα είναι μη σκληρυμένο κονίαμα. Πρέπει να είναι εύπλαστο και καλώς επεξεργάσιμο. Δεν πρέπει να απομειγνύεται, δεν πρέπει να σκληραίνει πρώιμα και δεν πρέπει να απομονώνει νερό. Οι ιδιότητες αυτές εξαρτώνται από τη δομή των κόκκων, τη συνεκτικότητα, την ικανότητα συγκράτησης του νερού και από το χρόνο αποθήκευσης του νωπού κονιάματος.

Το στερεό κονίαμα είναι σκληρυμένο κονίαμα. Αυτό πρέπει να είναι διαπερατό στους υδρατμούς και να έχει καλή επαφή στον λίθο. Το στερεό κονίαμα πρέπει να έχει τη ζητούμενη αντοχή (πίνακας 2.4). Αυτή επαληθεύεται με δοκιμή ποιότητας.

Στη δοκιμή καταλληλότητας καθορίζεται η σύνθεση που είναι απαραίτητη για την επίτευξη μίας ορισμένης αντοχής^[4].

Οι ιδιότητες του νωπού και του στερεού κονιάματος μεταβάλλονται με προσμείξεις. Έτσι, στο σκυρόδεμα π.χ. αυξάνεται το εργάσιμο, επιβραδύνεται ή επιταχύνεται η στερεοποίηση του κονιάματος και αυξάνεται η στεγανότητα.

Στα κονιάματα τοιχοποιίας διακρίνουμε 3 ομάδες με διαφορετική αντοχή σε θλίψη. Η ζητούμενη αντοχή σε θλίψη προκύπτει από το είδος και την ποσότητα των συνδετικών μέσων και προσθηκών που χρησιμοποιήθηκαν.

Ομάδα κονιάματος	Ελάχιστη αντοχή σε θλίψη σε N/mm^2 μετά από 28 μέρες (μέση τιμή)		παραδείγματα εφαρμογής
	σε δοκιμές ποιότητας	σε δοκιμές καταλληλότητας	
ασβεστοκονιάματα	-	-	αφόρτιστοι τοίχοι απομόνωσης
ασβεστοτσιμεντοκονιάματα	2.5 - 5	3.5 - 7	κανονικά φορτισμένοι τοίχοι π.χ. εσωτερικοί και εξωτερικοί τοίχοι
τσιμεντοκονιάματα	10 - 20	14 - 25	υπερφορτισμένη τοιχοποιία π.χ. κολόνες, στηρίγματα φορέων

Πίνακας 2.4 : Αντοχή σε θλίψη των κονιαμάτων

Το ασβεστοκονίαμα περιέχει μόνο ασβέστη ως συνδετικό μέσο, τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα ασβέστη και τσιμέντο, τα τσιμεντοκονιάματα μόνο τσιμέντο (πίνακας 2.4). Στο κονίαμα της πρώτης ομάδας δεν υπάρχουν απαιτήσεις ως προς την αντοχή σε θλίψη. Την πιο ευρεία εφαρμογή έχουν τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα. Αυτά έχουν επαρκή αντοχή σε θλίψη και είναι λόγω του ασβέστη εύπλαστα και καλά επεξεργάσιμα. Η ταυτόχρονη χρήση τους στο ίδιο εργοτάξιο δεν επιτρέπεται για λόγους σύγχυσης. Τα τσιμεντοκονιάματα έχουν ακόμη μεγαλύτερη αντοχή σε θλίψη.

Εφαρμογές κονιάματος τοιχοποιίας

Ανάλογα με την εφαρμογή τους διακρίνουμε κονίαμα τοιχοποιίας, κονίαμα αρμών και κονίαμα χύτευσης ^[4].

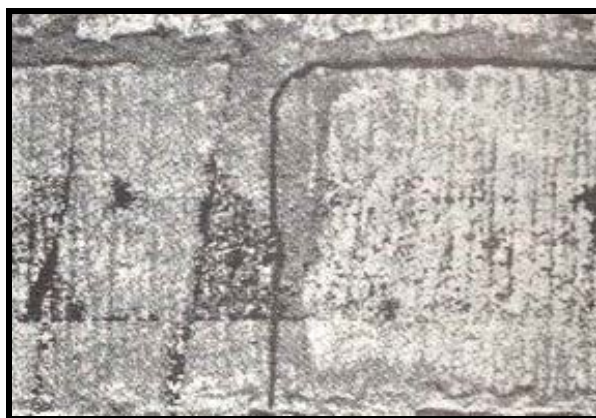
- **Το κονίαμα τοιχοποιίας** δε χρειάζεται να πληρεί ειδικές προδιαγραφές ως προς τη θερμοαπορρόφηση, την υδατοαπορρόφηση και τις κοκκομετρικές διαστάσεις. Η τοιχοποιία που κατασκευάζεται από κονίαμα τοιχοποιίας δεν αντέχει στον παγετό και επομένως πρέπει να προστατεύεται από διύγρανση.

Το αραιόρευστο κονίαμα χρησιμοποιείται για το χτίσιμο πορώδων λίθων σκυροδέματος. Η προμήθειά του γίνεται ως κονίαμα εργοστασίου σε σάκκους . Αποτελείται από τσιμέντο και λεπτή άμμο με μέγιστο κόκκο από 1,0 mm. Εξάλλου εμπεριέχει χημικές προσμείξεις που επεκτείνουν π.χ. το χρόνο δεσίματος, κάνουν το κονίαμα πιο εύπλαστο και αυξάνουν την ικανότητά συγκράτησης νερού. Για την επεξεργασία του χρειάζεται μόνο πρόσθεση νερού. Το ελαφρύ κονίαμα εφαρμόζεται για την επίτευξη ομοιόμορφης θερμοαπορρόφησης σε λίθο και αρμό. Εμπεριέχει τσιμέντο ως συνδετικό μέσο και ελαφρές προσθήκες με υψηλή ικανότητα θερμοαπορρόφησης.

Η αντοχή του σε θλίψη είναι 5 N/mm^2 και σε δοκιμή καταλληλότητας είναι 7 N/mm^2 . Η διαφορά έγκειται κυρίως στη στεγνή φαινόμενη πυκνότητα και στη θερμική αγωγιμότητα.

- **Το κονίαμα αρμών** χρησιμεύει για τη συναρμογή εμφανούς τοιχοποιίας. Κατάλληλο ως συνδετικό μέσο είναι το τσιμέντο τράσσης. Η προσθήκη πρέπει να έχει κόκκο μικρότερο από 2 mm. Με τη βοήθεια μέσων πρόσμειξης, το κονίαμα αρμών αποκτά υδροφόρες ιδιότητες.

- **Το χυτευτό κονίαμα** είναι ένα πολύ ρευστό κονίαμα για το κλείσιμο αρμών, π.χ. στους αρμούς ξυλότυπων.



Εικόνα 2.3 : Ρωγμές συστολής ξήρανσης σε κονίαμα αρμών

2.3.2. Κονιάματα πλακόστρωσης

Με τον όρο πλακόστρωση εννοούμε ένα στρώμα κονιάματος που τοποθετείται πάνω σε οροφές ή δάπεδα σκελετού και το οποίο προβλέπεται άμεσα για βάδισμα ή ως υπόστρωμα για επίστρωση δαπέδου ^[4].

Οι πλακοστρώσεις που είναι προσιτές στο βάδισμα (σύνθετες πλακοστρώσεις) πρέπει να αντισταθμιστούν ανισότητες, να είναι ηχοαπορροφητικές και θερμοαπορροφητικές, στερεές στο βάδισμα, σταθερές στην τριβή και να μην είναι ευαίσθητες στο νερό. Το πάχος τους δε, πρέπει να είναι τουλάχιστον 3 cm.

Οι πλακοστρώσεις που χρησιμεύουν ως υπόστρωμα, διαμορφώνονται συνήθως ως επιπλέουσες πλακοστρώσεις με πάχος από τουλάχιστον 3,5 cm. Αυτές τοποθετούνται πάνω σε απορροφητικό στρώμα και δεν πρέπει να συνδέονται με δομικά εξαρτήματα. Επειδή τα απορροφητικά στρώματα αποτελούνται συνήθως από μαλακά, στο βάδισμα, μη ανθεκτικά υλικά, το κονίαμα πλακόστρωσης πρέπει να είναι τόσο στερεό, ώστε να σπάει. Ως συνδετικό μέσο για κονίαμα πλακόστρωσης καταλληλότητα έχουν ο γύψος πλακόστρωσης, οι ανυδρίτες, το τσιμέντο και το συνδετικό από μαγνησίτη. Υλικά προσθήκης είναι π.χ. η άμμος, το λιθάλευρο ή τα ροκανίδια.

Τα κονιάματα τσιμέντου-άμμου χρησιμοποιούνται για να κάνουν μια επιφάνεια από σκυρόδεμα λεία και επίπεδη ώστε να δεχτεί το διακοσμητικό πάτωμα. Τα μίγματα κονιαμάτων για πατώματα που συνδέονται κατευθείαν με υποδάπεδα από σκυρόδεμα και μετά καλύπτονται από διακοσμητικό τελείωμα πρέπει να έχουν αναλογία από 1: 3 ως 1 : 4.5 κατά βάρος τσιμέντο portland προς άμμο. Μίγματα ασθενέστερα από 1: 5 καταστρέφονται εύκολα είτε με τριβή είτε με κρούση, προβλήματα που όμως μειώνονται αν τα μίγματα σχεδιαστούν έτσι ώστε να καλύπτονται οι συνθήκες συντήρησης ^[4].

2.3.3. Επιχρίσματα

Στα επιχρίσματα η αντοχή του κονιάματος παίζει δευτερεύοντα ρόλο. Μεγαλύτερη σημασία έχει η καλή πρόσφυση και η αποφυγή της μικρορρηγμάτωσης (τριχιάσματος). Ειδικότερα στα εξωτερικά επιχρίσματα ενδιαφέρει και η στεγανότητα. Μία γενική αρχή στα επιχρίσματα είναι, ότι οι κατώτερες στρώσεις πρέπει να γίνονται με ισχυρότερα κονιάματα από τις επόμενες. Το αντίστροφο αποτελεί κακοτεχνία (Εικ. 2.4) ^[2].



Εικόνα 2.4 : Ρωγμές σε πολύ παχύ κονίαμα επιχρίσματος

Οι κυριότερες συνθέσεις κονιαμάτων, που χρησιμοποιούνται στις διάφορες στρώσεις των επιχρισμάτων, είναι, οι ακόλουθες ^[2]:

- α) Τσιμεντοκονίαμα των 450 Kg χρησιμοποιείται στα πεταχτά, στα σαγρέ, στα τριπτά επί δικτυωτού ελάσματος και στα αρμολογήματα λιθοδομών πάσης φύσεως.
- β) Τσιμεντοκονίαμα των 600 Kg χρησιμοποιείται κυρίως στις πατητές τσιμεντοκονίες και σε επιχρίσματα αρτιφισιέλ .
- γ) Ασβεστοκονιάματα 1: 2 χρησιμοποιούνται στα τριπτά επιχρίσματα με άμμο ή και μαρμαρόσκονη, όπως επίσης σαν τελική στρώση σε τριπτά επί πλέγματος, κλπ.
- δ) Ασβεστοκονιάματα 1: 2 με προσθήκη 150 Kg τσιμέντου επίσης πολύ συχνά χρησιμοποιούνται για τριπτά επιχρίσματα ή μαρμαροκονιάματα, όπως επίσης για ραντιστά και στην τελευταία στρώση τριπτών επί πλεγμάτων.

Εκτός από τις παραπάνω συνθέσεις, που είναι οι συνηθέστερες, χρησιμοποιούνται και διάφορες άλλες και μάλιστα για ειδικούς σκοπούς όπως π.χ. με ελαφρά μονωτικά αδρανή.

Το ελάχιστο πάχος του επιχρίσματος, που πρέπει να είναι 2 cm και να εφαρμόζεται τουλάχιστον σε δύο στρώσεις. Τέλος υποδεικνύεται, ότι οι υπερκείμενες στρώσεις πρέπει να είναι ασθενέστερες από τις υποκείμενες, αποκλεισμένης αντιστροφής διάταξης.

Στους εξωτερικούς τοίχους γενικά πρέπει να προβλέπεται σχετικά στεγανό κονίαμα, ικανό να προστατεύσει από την εξωτερική υγρασία ή άλλως να προβλέπεται στεγανοποίηση του επιχρίσματος με κατάλληλες προσμίξεις ή επιφανειακές επαλείψεις.

Το εξωτερικό επίχρισμα, χρησιμοποιήθηκε για εκατοντάδες χρόνια σε κτίσματα ως κάλυμμα για αντίσταση στην αποσάθρωση και συναντάται σε κάποιες Μεσογειακές χώρες. Μίγματα με άσβεστο και ποζολάνη με υδραυλικές ιδιότητες χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς από τους Ρωμαίους. Ψημένοι αργιλικοί ασβεστόλιθοι ανακατεμένοι με άμμο ονομάστηκαν Ρωμαϊκά τσιμέντα και χρησιμοποιήθηκαν ως εξωτερικά επιχρίσματα από το 1800 Π.Χ. μέχρι τον 20ο αιώνα. Αργότερα, η 'Ρωμαϊκή' ποιότητα αντικαταστάθηκε από το τσιμέντο portland, ένα υλικό που σε συνδυασμό με άσβεστο παράγει μίγματα επιστρώσεων με καλές ιδιότητες εφαρμογής καθώς και κατάλληλη αντοχή και αντίσταση στην αποσάθρωση ^[15].

Τα εσωτερικά επιχρίσματα από κονιάματα παρέχουν μια συνεχή, λεία, επίπεδη επιφάνεια στους τοίχους και τα ταβάνια, κατάλληλη να δεχτεί τα διακοσμητικά τελειώματα. Τα εσωτερικά κονιάματα μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ως προς την αντοχή και το πορώδες, αλλά στην πράξη, εκείνα που έχουν τη δυνατότητα να απορροφούν και να ελευθερώνουν την υγρασία έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα στεγανά επιχρίσματα ^[15].

Στα επιχρίσματα πρέπει να γίνει ένας διαχωρισμός μεταξύ εκείνων που έχουν ως βάση το τσιμέντο και εκείνων που έχουν ως βάση τη γύψο. Στη δεύτερη περίπτωση

υπάρχουν πλεονεκτήματα, όπως η ικανότητά του να στεγνώνει πιο γρήγορα και να παρουσιάζει μικρότερη συρρίκνωση κατά την ξήρανση. Απ' την άλλη πλευρά, η γύψος παρουσιάζει κάποια διαλυτότητα στο νερό και γι' αυτό περιορίζεται η χρήση της ως εσωτερικό επίχρισμα, εκτός και αν βρισκόμαστε σε πολύ ξηρά κλίματα.

2.4. Οι βασικές ιδιότητες των κονιαμάτων

Για να θεωρηθεί ένα κονίαμα κατάλληλο πρέπει να έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά ^[5]:

α) να είναι πλαστικό και εργάσιμο. Εργάσιμο ονομάζεται το σύνολο των ρεολογικών ιδιοτήτων, που έχει το νωπό κονίαμα (ή σκυρόδεμα).

Το εργάσιμο επηρεάζεται από την σύνθεση των παρακάτω:

- την ρευστότητα, δηλ. την εσωτερική ευκινησία του μίγματος και την ευκολία, που οι κόκκοι κινούνται μεταξύ τους, ώστε να γεμίζουν τα κενά .
- την πλαστικότητα, δηλ. την ευκολία, που παρουσιάζει το μίγμα στη ροή και το γέμισμα ενός καλουπιού χωρίς κενά, σπηλιές, κλπ.
- το αναπόμικτο, δηλ. την ικανότητα, που έχει το νωπό κονίαμα να διατηρεί την ομοιογένειά του, όταν μεταφέρεται, κοπανίζεται, πέφτει από ψηλά.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι, η αύξηση της ποσότητας του νερού αυξάνει την ρευστότητα του μίγματος, ενώ συγχρόνως εξασθενίζει το αναπόμικτο, δηλ. μεγαλώνει τους κινδύνους και το ενδεχόμενο διαχωρισμού των υλικών, που το αποτελούν.

Στην πλαστικότητα του μίγματος δεν παίζει σπουδαίο ρόλο η αύξηση της ποσότητας του νερού. Αντίθετα η πλαστικότητα επηρεάζεται ευνοϊκά από την σφαιρικότητα των κόκκων των αδρανών και από την αύξηση της περιεκτικότητας σε συνδετική ύλη και φίλλερ.

β) να έχει ικανή εσωτερική τριβή, ώστε να μην εκφεύγει των αρμών της τοιχοποιίας και προκειμένου για επιχρίσματα να συγκρατείται στις κατακόρυφες επιφάνειες.

γ) να έχει ογκοσταθερότητα, να μην υπόκειται δηλ. σε μεγάλες συστολές και διαστολές, ώστε να μην προκαλούνται ρωγμές.

δ) να παρουσιάζει υψηλή μηχανική αντοχή (θλίψη, εφελκυσμός), ικανή να φέρει το ίδιο βάρος της κατασκευής, αλλά και των φορτίων αυτής. Το κονίαμα πρέπει εφ' όσον θα χρησιμοποιηθεί σε έργα που δέχονται μεγάλες δυνάμεις. Ένα κονίαμα με αντοχή σε θλίψη 80 psi (0.55 Mpa), μπορεί να στηρίζει ένα τετραόροφο κτίριο με τοιχοποιία από συμπαγές τούβλο.

ε) να μην προσβάλλεται από το νερό και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Σχετικά με τη πήξη και σκλήρυνση των κονιαμάτων, που αποτελούν δύο διαδοχικές φάσεις του ίδιου φαινομένου, έχουμε τα εξής:

Η πήξη είναι η φάση της στερεοποίησης, δηλ. η περίοδος, που το κονίαμα από εύπλαστο μετατρέπεται σε στερεή μάζα. Έναρξη της πήξης είναι η στιγμή, κατά την οποία η εύπλαστη μάζα αρχίζει να στερεοποιείται και να χάνει την πλαστικότητά της.

Ο χρόνος έναρξης της πήξης, δηλ. ο χρόνος που περνάει από την ανάμιξη των υλικών του κονιάματος μέχρι την έναρξη της πήξης είναι απαραίτητο στοιχείο για την πράξη γιατί μέσα σ' αυτό το διάστημα, πρέπει να γίνει η παρασκευή, η μεταφορά και η εφαρμογή του κονιάματος στο έργο.

Η λήξη της πήξης είναι η στιγμή, που ο πολτός έχει πλέον στερεοποιηθεί. Πρακτικά το νύχι δεν πρέπει να αφήνει αποτύπωμα στο στερεοποιημένο πολτό. Η ταχύτητα της πήξης καθορίζεται από τον χρόνο έναρξης και λήξης της πήξης.

Μετά τη λήξη της πήξης αρχίζει η περίοδος της **σκλήρυνσης**, που διαρκεί επί μήνες ή επί χρόνια, ανάλογα με το είδος του κονιάματος και τις συνθήκες, που βρίσκεται. Κατά την περίοδο της σκλήρυνσης το κονίαμα εξακολουθεί να ζει και η ζωή αυτή εκδηλώνεται με αύξηση των αντοχών και με μικρομεταβολές του όγκου του (συστολή).

Σαν ταχύτητα σκλήρυνσης σε μία ορισμένη χρονική στιγμή, ορίζεται ο λόγος της αύξησης της αντοχής σε θλίψη προς το χρονικό διάστημα, που διέρρευσε. Η ταχύτητα αυτή μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου, είναι μεγαλύτερη στην αρχή και ελαττώνεται προοδευτικά, μέχρι μηδενισμού.

Μία άλλη έννοια είναι η **απόδοση** ενός κονιάματος, που εκφράζει το λόγο του φαινομένου όγκου του κονιάματος, προς το ξηρό φαινόμενο όγκο της άμμου, που περιέχει. Η απόδοση των συνήθων κονιαμάτων κυμαίνεται γύρω από τη μονάδα και συνήθως είναι λίγο μικρότερη.

Όλα τα νερά είναι κατάλληλα για την παρασκευή κονιαμάτων, εφόσον δεν περιέχουν επιβλαβείς προσμίξεις. Όλα τα πόσιμα νερά είναι συνεπώς απόλυτα κατάλληλα.

Επιβλαβείς προσμίξεις είναι τα ελεύθερα οργανικά ή ανόργανα οξέα, σχεδόν όλες οι οργανικές ουσίες, όπως έλαια, λίπη και σάκχαρα, τα άλατα και κυρίως τα θειικά και ορισμένα χλωριούχα και η αιωρούμενη άργιλος. Επίσης το χημικώς καθαρό νερό, δεδομένου ότι, αυτό διαλύει το ασβέστιο, καθώς επίσης και το αμιγές βρόχινο νερό.

2.5. Προσβολές των μετάλλων από τα κονιάματα

Τα κυριότερα μέταλλα, που χρησιμοποιούνται στα δομικά έργα και έρχονται σε επαφή με τα κονιάματα είναι ο σίδηρος, ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος και το αργίλιο (αλουμίνιο). Η συμπεριφορά τους με τα κονιάματα είναι η ακόλουθη ^[2].

α) Σίδηρος. Το μεγαλύτερο ελάττωμα του σιδήρου είναι η σκωρίαση. Ο κίνδυνος σκωρίασεως του χυτοσιδήρου είναι μικρότερος από του χάλυβα. Για να δημιουργηθεί σκωρία είναι απαραίτητη η συνύπαρξη οξυγόνου και νερού και όχι μόνον νερού.

Τα τσιμεντοκονιάματα προστατεύουν τον σίδηρο από την σκωρίαση, γι'αυτό συχνά ο σιδηροπλισμός επαλείφεται με γαλάκτωμα τσιμέντου. Τελευταία τα μεγάλα έργα από σίδηρο προστατεύονται με εκσφενδονισμό υπό πίεση τσιμεντοκονιάματος με χονδρόκοκκο άμμο. Αντίθετα προς τα τσιμεντοκονιάματα, τα ασβεστοκονιάματα και τα γυψοκονιάματα προσβάλλουν το σίδηρο και σχηματίζουν σκωρία. Γι' αυτό στην περίπτωση αυτή, ο σίδηρος πρέπει να αλείφεται με πίσσα ή άσφαλτο ή να περιβάλλεται με ασφαλτόπανο.

β) Μόλυβδος. Τα γυψοκονιάματα δεν προσβάλλουν τον μόλυβδο. Όταν είναι νωπά, σχηματίζουν στην επιφάνεια του μολύβδου στρώση από θειϊκό μόλυβδο, που δεν διαλύεται από το νερό και προστατεύει τον μόλυβδο από κάθε περαιτέρω προσβολή. Αντίθετα τα ασβεστοκονιάματα και τα τσιμεντοκονιάματα, επειδή είναι πλούσια σε βάσεις ασβεστίου, σχηματίζουν υδροξείδιο του μολύβδου., που καταστρέφει τον μόλυβδο. Η προσβολή σταματά, όταν παύσει να υπάρχει ελεύθερο ασβέστιο. Γι' αυτό οι μολυβδοσωλήνες και τα από μόλυβδο ελάσματα πρέπει κατά κανόνα να μονώνονται με άσφαλτο ή ασφαλτόπανο. Μετά τη μόνωση επιτρέπεται η κάλυψη τους με κονίαμα.

γ) Ψευδάργυρος. Τον ψευδάργυρο προσβάλλουν όλα γενικώς τα κονιάματα, όταν είναι νωπά, γιατί περιέχουν υδροξείδιο του ασβεστίου, που προσβάλλει ισχυρά και διαλύει τον ψευδάργυρο. Γι' αυτό δεν πρέπει να υπάρχει άμεση επαφή μεταξύ κονιάματος και φύλλων ψευδαργύρου, αλλά να παρεμβάλλεται οπωσδήποτε μονωτική στρώση.

δ) Αλουμίνιο (αργίλιο). Το αλουμίνιο, όπως και ο ψευδάργυρος, είναι μέταλλο ευαίσθητο στα οξέα και τις βάσεις, επομένως και προς τα νωπά κονιάματα, γι' αυτό είναι καλύτερο να έρχεται σε επαφή μ' αυτά, μόνον αφού σκληρυνθούν. Τα νωπά κονιάματα, όταν έρθουν σε επαφή με το αλουμίνιο, προκαλούν άμεση προσβολή του.

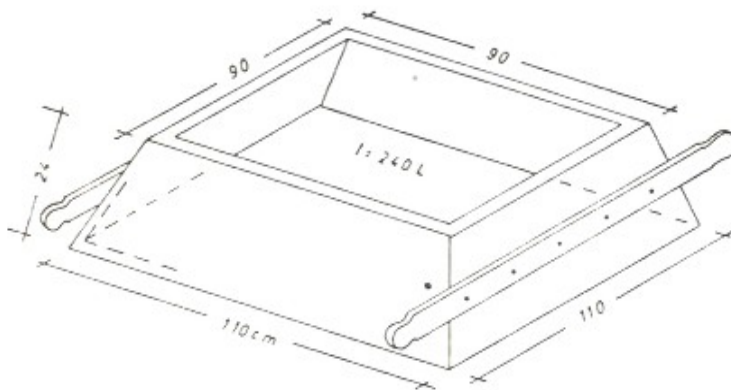
2.6. Κατασκευή κονιάματος

Κονίαμα σε μικρές ποσότητες κατασκευάζεται σε κουβάδες, λεκάνες ή σε καροτσάκια με το χέρι ^[4].

Στα εργοτάξια λειτουργούν συνήθως μηχανήματα ανάμειξης. Η προσθήκη και το συνδετικό μέσο δίδονται σ' αυτή την περίπτωση κατά όγκο στο τύμπανο ανάμειξης. Το νερό προστίθεται με την κρίση του ματιού. Το ποιοτικά άριστο κονίαμα κατασκευάζεται ως κονίαμα εργοστασίου στις εγκαταστάσεις ανάμειξης. Οι εγκαταστάσεις αυτές αποτελούνται από στερεά μονταρισμένα τύμπανα ανάμειξης, τα οποία τροφοδοτούνται μέσω δοσιμετρικών διατάξεων με τα συνδετικά μέσα, την προσθήκη και το νερό πρόσθεσης. Τα συνδετικά μέσα και η προσθήκη προστίθενται κατά βάρος, ενώ το νερό προστίθεται σε λίτρα. Για την μέτρηση της άμμου μπορούν να χρησιμοποιηθούν απλά κιβώτια μέτρησης από ξύλο (Εικ. 2.3)

α) Κονίαμα εργοταξίου

Κατά την κατασκευή στο εργοτάξιο η επιμέτρηση των συνδετικών μέσων και της προσθήκης γίνεται με ζυγό ή ογκομετρικό δοχείο. Κατά την κατασκευή του κονιάματος, τα συστατικά προστίθενται με την εξής σειρά: νερό, συνδετικό μέσο, προσθήκη και αναμειγνύονται με τη σειρά, ώσπου το μείγμα να γίνει ομοιόμορφο ^[4].



Εικόνα 2.5 : Κιβώτιο μέτρησης άμμου για 240 lt

β) Κονίαμα εργοστασίου

Τα συστατικά κονιάματος επιμετρούνται κατά βάρος. Κάθε αποστολή κονιάματος εργοστασίου πρέπει να συνοδεύεται από δελτίο αποστολής στο οποίο να φαίνεται η ομάδα κονιάματος, η αναλογία μείξης, το είδος του χρησιμοποιούμενου συνδετικού μέσου και ενδεχομένως το είδος και η ποσότητα των εφαρμοζόμενων προσμίξεων. Εξάλλου, πρέπει να δίδονται οδηγίες για την περαιτέρω επεξεργασία του κονιάματος^[4].

Το κονίαμα εργοστασίου μπορεί να προμηθεύεται ως νωπό κονίαμα ή ως στεγνό κονίαμα.

Το *νωπό κονίαμα* μεταφέρεται ετοιμοπαράδοτο (έτοιμο για μυστρί) με οχήματα μείξης μέχρι το εργοτάξιο και μεταφορτώνεται σε ειδικούς κάδους παράδοσης. Με πρόσμειξη επιβραδυντών, επιτυγχάνεται χρόνος επεξεργασίας μέχρι 36 ώρες.

Το *στεγνό κονίαμα* είναι ένα μείγμα από συνδετικό μέσο και προσθήκη. Το μείγμα έρχεται σε σιλό στο εργοτάξιο και αναμειγνύεται ανάλογα με τις απαιτήσεις, με πρόσθεση νερού σε κονίαμα. Το στεγνό κονίαμα εργοστασίου μπορεί να προμηθεύεται και σε τσουβάλια.

3. ΣΥΝΔΕΤΙΚΗ ΥΛΗ (ΚΟΝΙΑ)

3.1. Γενικά

Συνδετική ύλη ή κονία καλείται κάθε κονιοποιημένο υλικό που με κατάλληλη προεργασία (π.χ. όταν αναμιχθεί με νερό) μπορεί να γίνει πλαστικό και να παρουσιάσει συγκολλητικές ιδιότητες. Το υλικό αυτό στερεοποιείται βαθμιαία, ώσπου να σχηματισθεί σκληρή και συμπαγής μάζα, δηλαδή μετά από ορισμένο χρόνο πήγνυται και σκληρύνεται ^[2]. Οι κονίες παράγονται κατά το πλείστον με βιομηχανικές επεξεργασίες. Όσο λεπτότερη είναι η σκόνη, τόσο καλύτερα αντιδρά με το νερό και εμφανίζει ταχύτερα τις ιδιότητές της.

Οι βασικές πρώτες ύλες των κονιών, με εξαίρεση την γύψο, είναι ασβεστολιθικά, αργιλικά και πυριτικά πετρώματα, οι ηφαίστειες γαίες και οι σκωρίες των υψικαμίνων, καθώς επίσης και οι ιπτάμενες τέφρες των καμινάδων. Τα βασικά συστατικά των κονιών είναι η άσβεστος (CaO) , το οξείδιο του μαγνησίου (MgO), τα τριοξείδια του αργιλίου και του σιδήρου (Al_2O_3 , Fe_2O_3) και η πυριτία (SiO_2) .

Τα ανωτέρω συστατικά των κονιών αντιδρούν με το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας ή μόνο με το νερό και στη συνέχεια πήγνυνται και σκληρύνονται. Η ποικιλία των κονιών και κονιαμάτων είναι μεγάλη, εξαρτωμένη κυρίως από τις επιτόπιες συνθήκες κάθε χώρας, συχνά δε και των διαμερισμάτων αυτής. Εξαιρέσεις αποτελούν οι τεχνητές κονίες portland και τα σκυροκονιάματα.

Οι περισσότερες συνδετικές ύλες γίνονται πλαστικές και εμφανίζουν συγκολλητικές ιδιότητες, όταν αναμιχθούν με νερό. Στερεοποιούνται είτε επειδή εξατμίζεται το νερό που περιέχουν, όπως π.χ. συμβαίνει στην πηλοκονία, ή επειδή προκαλούνται χημικές αντιδράσεις, όπως π.χ. συμβαίνει με την άσβεστο και το τσιμέντο. Άλλες κονίες, όπως π.χ. οι ασφαλικές, γίνονται πλαστικές όταν θερμανθούν, και σκληραίνουν όταν ψυχθούν ^[2].

3.2. Κατηγορίες κονιών

Οι κονίες διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με την προέλευσή τους και ανάλογα με τον τρόπο πήξης και σκλήρυνσης (στερεοποίησης) ^[5].

α) Ανάλογα με την προέλευση

- **Φυσικές κονίες.** Βρίσκονται ελεύθερες στη φύση και μπορούν να χρησιμοποιηθούν αμέσως, χωρίς οποιαδήποτε κατεργασία π.χ. η πηλοκονία, η ποζολάνη (θηραϊκή γη) κλπ.
- **Τεχνητές κονίες.** Για την παρασκευή τους είναι απαραίτητη η εξωτερική κατεργασία, που με κατάλληλες χημικές ή φυσικές μεθόδους τις απομονώνει από άλλα υλικά ή τις παρασκευάζει συνθετικά. Κονίες αυτού του είδους είναι ο ασβέστης, το τσιμέντο κλπ.

β) Ανάλογα με τον τρόπο που στερεοποιούνται

- **Αερικές.** Ξηραίνονται ή πήζουν μόνο όταν έλθουν σ' επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα και αυτό γίνεται με την βοήθεια του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) της ατμόσφαιρας. Αντιπροσωπευτικοί τύποι είναι η πλαστική γύψος και η άσβεστος. Χρησιμοποιούνται σε επιφανειακές κατασκευές. Μέσα σε υγρό περιβάλλον δεν αντέχουν ακόμη και οι αερικές κονίες που έχουν σκληρυνθεί ^[2].
- **Υδραυλικές.** Μπορούν να στερεοποιηθούν μέσα στο νερό. Η ιδιότητα που έχουν οι κονίες αυτές να στερεοποιούνται μέσα στο νερό, καλείται υδραυλικότητα και οφείλεται στην ειδική χημική σύστασή τους. Αντιπροσωπευτικοί τύποι είναι η τραχεία γύψος, η υδραυλική άσβεστος, οι ασφαλτοκονίες και οι τεχνητές κονίες Portland (τα τσιμέντα). Χρησιμοποιούνται σε κατασκευές που βρίσκονται σε συνεχή ή περιοδική επαφή με το νερό ^[2].

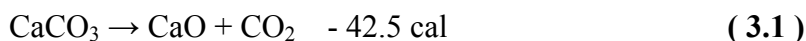
3.3. Σημαντικότερες κονίες

3.3.1. Άσβεστος

Μία από τις σημαντικότερες κονίες είναι η άσβεστος. Η άσβεστος είναι από τις πιο σημαντικές αερικές κονίες, έχει λευκό χρώμα και αποτελεί μια από τις παλαιότερες συνδετικές ύλες, που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος για την παρασκευή κονιαμάτων.

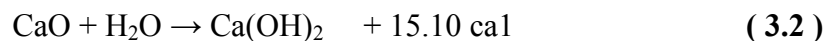
Όταν οι κοινοί ασβεστόλιθοι πυρωθούν μεταξύ 800°C και 1 200°C, το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), που περιέχουν, διασπάται στο αέριο διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και στο στερεό οξείδιο του ασβεστίου ή ενεργό ασβέστιο, που απομένει σαν πορώδης μάζα, με την ίδια μορφή των λίθων του ασβεστόλιθου ^[2].

Δηλαδή λαμβάνει χώρα η παρακάτω αντίδραση:

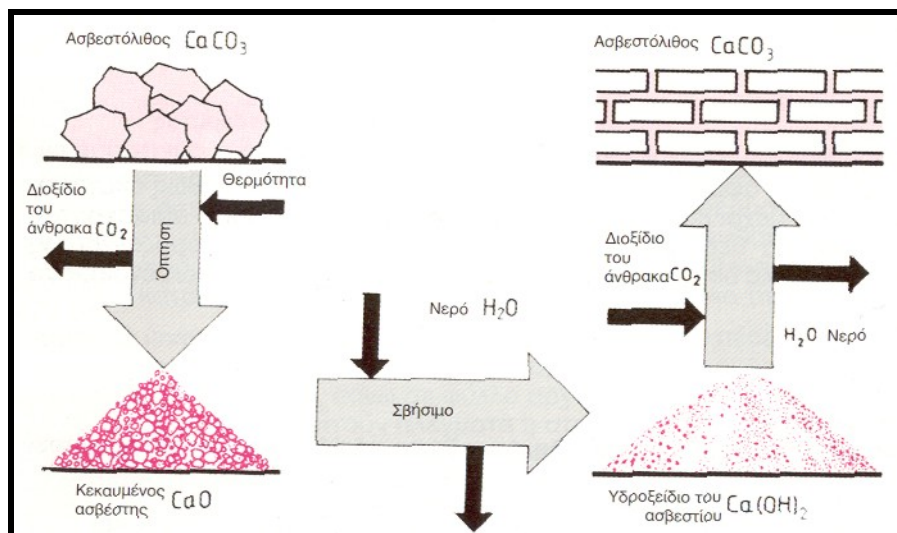


Από την ανωτέρω αντίδραση προκύπτει ότι, από 100 Kg ασβεστόλιθου παίρνουμε 56 Kg άσβεστο. Η αντίδραση για να πραγματοποιηθεί απαιτεί θερμότητα, που συνήθως, λόγω μεγάλων απωλειών, είναι διπλάσια της θεωρητικής. Το οξείδιο του ασβεστίου (**CaO**) ονομάζεται **ασβέστης ή κεκαυμένος ασβέστης**.

Αν το οξείδιο του ασβεστίου αναμιχθεί με νερό, τότε πραγματοποιείται το λεγόμενο σβήσιμο του ασβέστη και προκύπτει το υδροξείδιο του ασβεστίου **Ca(OH)₂** (**υδράσβεστος**) κατά την παρακάτω εξώθερμο αντίδραση:



Θα δούμε αναλυτικότερα παρακάτω τους τρόπους παραγωγής και τις ιδιότητες τόσο του ασβέστη όσο και της υδρασβέστου.



Εικόνα 3.1 : Παρασκευή και σκλήρυνση ασβέστη

3.3.1.α. Ασβέστης ή καμμένος ασβέστης

Η σύσταση και οι ιδιότητες της ασβέστου εξαρτώνται, από την ορυκτολογική σύσταση των ασβεστόλιθων που χρησιμοποιήθηκαν και από τη θερμοκρασία και την κανονικότητα της πύρωσης : ο ασβεστόλιθος αποτελείται από ανθρακικό ασβέστιο, που περιέχει σε μικρό ή μεγάλο ποσοστό, ξένες προσμίξεις, όπως ανθρακικό μαγνήσιο, άργιλο, πυριτία, οξείδιο του σιδήρου, οργανικές ουσίες, κλπ^[5].

Έτσι διακρίνονται τα παρακάτω είδη καμμένου ασβέστη:

- Ασβέστιο ή ασβεστολιθική άσβεστος. Το ενεργό οξείδιο του ασβεστίου, περιέχεται σε αναλογία μεγαλύτερη από 85%.
- Μαγνησιακός ασβέστης. Η ποσότητα του οξειδίου του ασβεστίου και του μαγνησίου, περιέχεται σε αναλογία μεταξύ 80% και 90%. Στο ποσοστό αυτό το οξείδιο του μαγνησίου δε πρέπει να υπερβαίνει το 10% ως 20%.
- Δολομιτικός ασβέστης. Περιέχει ποσοστό οξειδίου του μαγνησίου μεγαλύτερο από 20%.

- Υδραυλικός ασβέστης. Οι ασβεστόλιθοι που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή του ασβέστη, περιείχαν αργλικές προσμίξεις με ποσοστό 10% ως 20%. Ο υδραυλικός ασβέστης διαφέρει από τους προηγούμενους ασβέστες, διότι έχει την ιδιότητα να στερεοποιείται και μέσα στο νερό.

Παραγωγή της ασβέστου

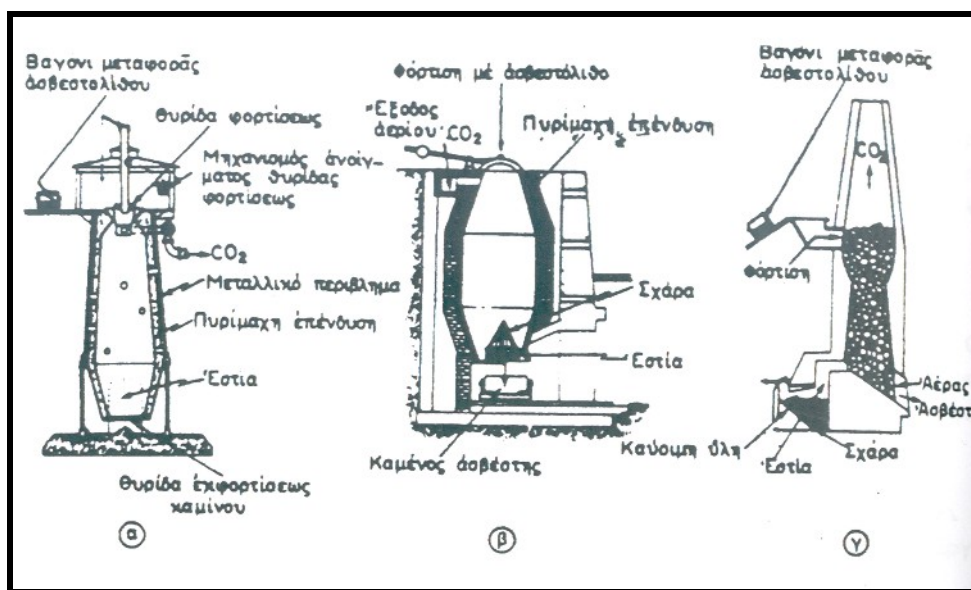
Η παραγωγή της ασβέστου γίνεται με πύρωση (όπτηση) μέσα στις λεγόμενες ασβεστοουργικές καμίνους, που συνήθως κατασκευάζονται κοντά σε λατομεία και διακρίνονται σε περιοδικής λειτουργίας (ασυνεχούς) και σε συνεχούς λειτουργίας ^[2].

Υπάρχει πλήθος μορφών και κατασκευών καμίνων ασυνεχούς λειτουργίας παραγωγής. Μπορεί να είναι βραχείας ή μακράς φλόγος, με ποικιλία κατασκευών, από τις πρωτόγονες καμίνους μέχρι τις πολύπλοκες και πολυσύνθετες μόνιμες, που έχουν πυρίμαχη επένδυση, φρεατοειδούς μορφής

Στις βραχείας φλόγας καμίνους, τα στρώματα του ασβεστόλιθου και του στερεού καυσίμου τοποθετούνται εναλλάξ, η πύρωση κάθε στρώματος ασβεστόλιθου γίνεται βασικά με την καύση του στρώματος του στερεού καυσίμου.

Στις μακριάς φλόγας υψικαμίνους, η πύρωση του ασβεστόλιθου, γίνεται με τις φλόγες της καύσιμης ύλης, στερεής ή υγρής, που καίγεται, προκειμένου για στερεή, στον πυθμένα της καμίνου, ενώ για την υγρή, κατόπιν εκτόξευσης μέσω καυστήρων, στο χαμηλότερο σημείο αυτής.

Φανερό είναι ότι, για καύσιμη ύλη στην παραγωγή ασβέστου χρησιμοποιούνται οποιαδήποτε καύσιμα επιτρέπουν ή επιβάλλουν οι τοπικές συνθήκες, το μέγεθος και το είδος της εγκατάστασης. Μπορεί να χρησιμοποιηθούν ξύλα (κορμοί, κλάδοι, θάμνοι, ρίζες), τύρφη, λιγνίτης, λιθάνθρακας και υγρά ή αέρια καύσιμα. Στο σχέδιο που ακολουθεί φαίνονται διάφορες μορφές καμίνων.



Εικόνα 3.2 : Τρεις τύποι ασβεστοουργικών καμίνων συνεχούς λειτουργίας.

Διαφέρουν ως προς τον τρόπο φόρτισης (Από πάνω στο (α) και στο (β), από πλάγια στο (γ)), και ως προς την καύσιμη ύλη (υγρά καύσιμα ή σκόνη στο (α) και στο (β), ενώ στερεά καύσιμα στο (γ)).

Βιομηχανική παραγωγή ασβέστου καλής ποιότητας και χαμηλού κόστους γίνεται σε καμίνους σύγχρονης κατασκευής και συνεχούς λειτουργίας. Ανάλογα με το σχήμα τους, υποδιαιρούνται σε όρθιες και σε οριζόντιες, ανάλογα δε με το μήκος της φλόγας και σε καμίνους μακράς φλόγας. Όλοι οι κάμινοι της κατηγορίας αυτής φέρουν εσωτερική πυρίμαχη προστατευτική πλινθοδομή. Οι όρθιοι φέρουν επί πλέον, μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής τοιχοποιίας, μονωτική στοιβάδα από άμμο ή από σύντριμμα πλίνθων.

Παρακάτω περιγράφεται περιληπτικά η πιο επιβεβλημένη για την παραγωγή της ασβέστου κάμινο, η **κάμινος Hoffman**, που αποτελεί την πιο διαδεδομένη, τόσο στη παραγωγή της ασβέστου, όσον και στην παραγωγή τούβλων, κεραμιδιών και κεραμικών προϊόντων.

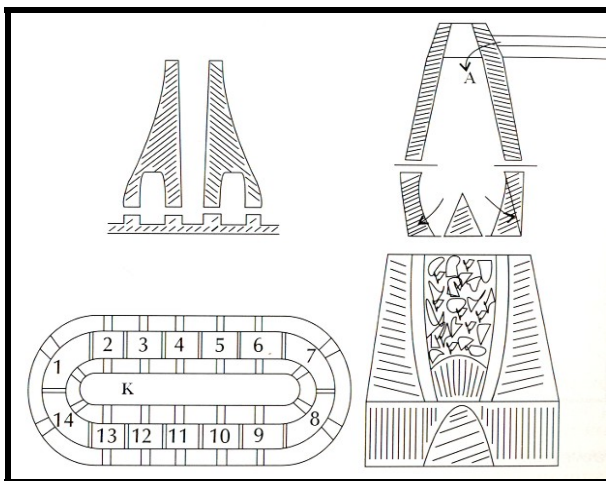
Στην κάμινο *Hoffman* έχουμε πολύ μεγάλη εκμετάλλευση της θερμότητας των αερίων καύσης και συνεπώς χαμηλό κόστος, καθόσον το βασικό κόστος στη παραγωγή αυτών των ειδών είναι το καύσιμο. Αποδίδει ημερησίως 30 τουλάχιστον τόννους ασβέστου.

Πρόσθετο πλεονέκτημα είναι η εύκολη προσαγωγή των πρώτων υλών και η απομάκρυνση των έτοιμων προϊόντων, που συμβάλλει στη μείωση των εργατικών.

Η κάμινος *Hoffman* αποτελείται από ορθογώνιο κατασκευή με στρογγυλεμένες τις γωνίες. Έχει στον επιμήκη άξονά της κεντρικό καπναγωγό, που οδηγεί στην ή στις καπνοδόχους.

Σε κάτοψη, χωρίζεται σε 14 ή 16 ή και περισσότερα διαμερίσματα όπτησης με διαστάσεις 3x4x3 m περίπου. Εξωτερικά, το κάθε ένα έχει πόρτα, που αποτελεί και το στόμιο φόρτωσης και εκφόρτωσης ενώ απέναντι στη πόρτα, στο εσωτερικό τοίχωμα, υπάρχει άνοιγμα αντίστοιχο, που εκβάλλει στο κοινό για όλα τα διαμερίσματα καπναγωγό.

Τα διαμερίσματα δημιουργούνται κάθε φορά με παρεμβολή φράγματος, ανά 3-4 m πισσόχαρτου ή άλλου καύσιμου υλικού, σε μορφή φύλλων. Η φόρτιση των διαμερισμάτων γίνεται με ασβεστόλιθους. Οι ασβεστόλιθοι κτίζονται κατάλληλα, ώστε να σχηματίζονται οριζόντιοι οχετοί, παρά την βάση, για την κυκλοφορία των αερίων καύσης και κατακόρυφα κυλινδρικά ανοίγματα, ακριβώς κάτω από τις τρύπες τροφοδότησης με καύσιμη ύλη.



Εικόνα 3.3 : Κάμινος Hoffman

Ιδιότητες της ασβέστου

Ο καλής ποιότητας ασβέστης είναι λευκός, εκτός αν υπάρχει μεγάλη αναλογία οξειδίου του μαγνησίου, οπότε το χρώμα του είναι υπόλευκο ^[2].

Η άσβεστος, εκτιθέμενη στον αέρα, απορροφά, λόγω της υγροσκοπικότητας, την υγρασία και διογκώνεται, μεταβαλλομένη σε λευκή σκόνη, που με την επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα, γίνεται πάλι πέτρα. Συνιστάται η γρήγορη χρησιμοποίησή της και η αποθήκευσή της πρέπει να γίνεται σε ξηρούς χώρους.

Όταν η άσβεστος έρθει σε επαφή με το νερό, η εκλυόμενη ποσότητα θερμότητας είναι τόσο μεγάλη, ώστε έχει παρατηρηθεί ανάφλεξη ξύλινων βαρελιών γεμάτων ασβέστου, που ήταν εκτεθειμένα στη βροχή, καθώς επίσης και σοβαρή απανθράκωση του ξύλινου κιβώτιου φορτηγών αυτοκινήτων σε όμοια περίπτωση. Γι' αυτό η μεταφορά της ασβέστου, μέσω θάλασσας πρέπει να γίνεται με ειδικά προφυλακτικά μέτρα.

Η ποιότητα της ασβέστου εξαρτάται από την καθαρότητα του ασβεστόλιθου και από την κανονική όπτηση. Ο έλεγχος ποιότητας γίνεται κατά διαφόρους τρόπους. Ο κυριότερος βασίζεται στην απόδοση σε πολτό υδρασβέστου (σε κυβικά μέτρα) ανά τόννο ασβέστου. Έτσι 1 ton ταχείας ασβέστου αποδίδει 2.5 m³ πολτό υδρασβέστου

Πρακτική μέθοδος ελέγχου της ποιότητας της ασβέστου στηρίζεται στον προσδιορισμό του αδιάλυτου υπολείμματος της ασβέστου, κατά τη σβέση της με νερό. Το αδιάλυτο υπόλειμμα δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5% ή κατά μέγιστο το 10%. Η σβέση ασβέστου καλής ποιότητας αρχίζει μέσα σε 5 λεπτά, ενώ η σβέση κατώτερης ποιότητας αρχίζει πολύ αργότερα.

Υδραυλική άσβεστος

Υδραυλική άσβεστος ονομάζεται, όπως αναφέρθηκε, η άσβεστος, που παράγεται από την πύρωση αργιλούχων ασβεστολίθων, που περιέχουν 10-20% άργιλο. Η πύρωση του ασβεστολίθου γίνεται στα συνήθη ασβεστοουργικά καμίνια συνεχούς λειτουργίας και σε

θερμοκρασία από 1000° ως 1300°C, όπου συνήθως αρχίζει η επίτηξη του ασβεστόλιθου. Η υδραυλική άσβεστος, μετά από ειδική σβέση, φέρεται στο εμπόριο πάντοτε σε μορφή σκόνης.

Οι υδραυλικές ιδιότητες οφείλονται στις σχηματιζόμενες, κατά την πύρωση, ενώσεις των οξειδίων της αργίλου, του πυριτίου και σιδήρου με την άσβεστο, που αποτελούν τους υδραυλικούς παράγοντες της κονιάς. Συνήθως προστίθεται η θεωρητικά απαιτούμενη ποσότητα νερού, πού προκαλεί την άμεση σβέση του οξειδίου του ασβεστίου. Η πλήρης σβέση απαιτεί περισσότερο χρόνο, δεδομένου ότι το πυριτικό ασβέστιο αργεί να ενυδατωθεί.

Η υδραυλική άσβεστος χρησιμοποιείται για την παρασκευή κονιαμάτων για υδραυλικές κατασκευές. Είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί και για την παρασκευή αερικών κονιαμάτων που πλεονεκτούν στις μηχανικές ιδιότητες. Στην Ελλάδα δεν παράγεται υδραυλική άσβεστος.

Η ασθενώς υδραυλική άσβεστος είναι κονία, που περιέχει υδραυλικά συστατικά, που της δίνουν μία σχετική υδραυλική σκληρυντική ικανότητα

3.3.1.β. Υδράσβεστος ή σβησμένος ασβέστης

Αναφέρθηκε προηγουμένως ότι εάν το οξείδιο του ασβεστίου αναμιχθεί με νερό, τότε πραγματοποιείται το λεγόμενο σβήσιμο του ασβέστη και προκύπτει το υδροξείδιο του ασβεστίου Ca(OH)_2 ή αλλιώς υδράσβεστος ^[5].

Παραγωγή της υδρασβέστου

Ανάλογα με τις συνθήκες σβέσης, η υδράσβεστος έχει χαρακτήρα κολλοειδή ή κρυσταλλοειδή. Συνήθως είναι μίγμα. Αξία όμως έχει η κολλοειδής άσβεστος που αποτελεί κονίαμα. Μεγάλο ποσοστό κολλοειδούς επιτυγχάνεται όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της σβέσης.

Η σβέση γίνεται με ανάμιξη της κεκαυμένης ασβέστου σε ξύλινα ή πλινθόκτιστα κιβώτια (καρούτες), διαστάσεων συνήθως 2.00 x 1.00 x 0.50 m, με περίσσεια νερού. Λόγω της έντονα εξωθερμικής αντίδρασης, η κεκαυμένη θερμότητα, που είναι σημαντική, μπορεί να προκαλέσει ανάφλεξη σε εύφλεκτα υλικά. Η ασβεστος ερχομένη σε επαφή με το νερό διογκώνεται κατά 2.5 ως 3 φορές του αρχικού της όγκου ^[2].

Πριν τη σβέση πρέπει να εξακριβωθεί η ταχύτητα σβέσης της ασβέστου. Αυτό επιτυγχάνεται με γέμισμα ενός δοχείου με ασβέστη και στη συνέχεια καλύπτεται με νερό. Αν η αποσάθρωση αρχίσει μέσα σε 5 λεπτά, η ασβεστος είναι ταχύσβεστη, αν αρχίσει σε 30 λεπτά είναι ημιταχύσβεστη, αν τέλος βραδύνει περισσότερο των 30 λεπτών, τότε είναι βραδύσβεστος. Ανάλογα προς την ταχύτητα σβέσης, ρυθμίζεται και ο τρόπος σβέσης.

Αν πρόκειται για ταχύσβεστο ασβεστο, πρέπει να καλύπτεται διαρκώς με νερό. Η ημιταχύσβεστος ασβεστος εξέχει από το νερό, η δε βραδύσβεστος απλώς διαποτίζεται από αυτό. Αν η ποσότητα του νερού είναι μικρότερη της απαιτούμενης, ορισμένα τεμάχια παραμένουν αδιάλυτα και ο ασβεστοπολτός παρουσιάζει θρόμβους. Αν η ποσότητα του νερού είναι μεγαλύτερη της απαιτούμενης, προκαλείται επιβράδυνση της αντίδρασης, λόγω ψύξης. Επομένως πρέπει να χρησιμοποιείται η κανονική ποσότητα νερού.

Στην πράξη ακολουθείται η εξής διαδικασία:

-Το κιβώτιο σβέσης γεμίζει κατά τα 3/4 με νερό. Στο νερό αυτό ρίχνονται τα κομμάτια της ασβέστου, ανάλογα με την ταχύτητα σβέσης. Όταν αρχίσει ο κοχλασμός από την εκλυόμενη θερμότητα, μετά περίπου 5 λεπτά, δεν πρέπει να τον διακόψουμε με την προσθήκη περισσότερου νερού και συνεπώς απότομης ψύξης.

-Μετά την διακοπή του κοχλασμού αρχίζει η ανάδευση της υδρασβέστου, που με την προσθήκη περίσσειας νερού, μετατρέπεται σε αραιό πολτό. Το γαλάκτωμα της ασβέστου, δηλ. ο αραιός αυτός πολτός, μέσω ανοίγματος, που υπάρχει στο κάτω σημείο, συρμάτινου πλέγματος και αυλακιού εκκένωσης, χύνεται στο λάκκο, που βρίσκεται από κάτω. Το πλέγμα έχει σκοπό να συγκρατεί τα αδιάλυτα κομμάτια της ασβέστου.

-Στον λάκκο γίνεται η φύραση, η ωρίμανση (το σίτεμα) της υδρασβέστου. Σκοπός της ωρίμανσης είναι η ολοκλήρωση της σβέσης και η τόνωση της πλαστικότητας του προϊόντος.

-Μέσα στον λάκκο σβήνονται τα μη σβεσθέντα κομμάτια, το νερό πού πλεονάζει εξατμίζεται ή απορροφάται από τα τοιχώματα του λάκκου με όλα τα διαλυμένα στο νερό ξένα άλατα και το γαλάκτωμα της ασβέστου μετατρέπεται σε πολτό. Στην επιφάνεια του πολτού εμφανίζονται ρωγμές σε όλο το βάθος.

Όσο περισσότερο χρόνο παραμένει η άσβεστος μέσα στο λάκκο, τόσο καλύτερα ωριμάζει, με την προϋπόθεση ,ότι προστατεύεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα και το διοξείδιο του άνθρακος. Για το λόγο αυτό καλύπτεται συνήθως με στρώμα υγρής άμμου.

Κατά την ωρίμανση αυξάνονται τα κολλοειδή συστατικά της ασβέστου και συνεπώς η πλαστικότητά της, με την προϋπόθεση ότι θα προστατευθούν από ψύξη. Για την υδράσβεστο που προορίζεται για επιχρίσματα, πρέπει να προσπαθούμε να έχουμε την μεγαλύτερη φύραση και ωρίμανση. Με κοσκίνισμα απομακρύνονται όλες οι ξένες ύλες, ιδιαίτερα δε τυχόν άσβεστα κομμάτια της ασβέστου, παραμένει επί 3 ως 5 εβδομάδες για ωρίμανση. Διαφορετικά τα άσβεστα τεμάχια της ασβέστου θα προσβληθούν από το νερό αργότερα μέσα στο κονίαμα και διογκούμενα θα καταστρέψουν τα επιχρίσματα.

Το νερό σβέσης πρέπει να είναι καλής ποιότητας, αν είναι δυνατόν πόσιμο, δεν πρέπει να περιέχει διοξείδιο του άνθρακα και άλατα διαλυμένα. Δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί θαλασσίνο νερό ^[2].

Ιδιότητες της υδρασβέστου

Η υδράσβεστος έχει την ιδιότητα να απορροφάει εύκολα διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) που βρίσκεται ελεύθερο στον ατμοσφαιρικό αέρα και να μετατρέπεται πάλι στην αρχική ένωση από την οποία προέκυψε ο καμένος ασβέστης, δηλαδή σε στερεό ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3). Για τον λόγο αυτό η υδράσβεστος πρέπει να προφυλάσσεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα, κατά την αποθήκευση, συνήθως με υγρή άμμο ^[5].

Συγχρόνως αποβάλλεται νερό, όπως δείχνει η παρακάτω αντίδραση :



Στην ιδιότητα αυτή βασίζεται η ικανότητα της κονίας να πήζει και επομένως να συγκρατεί τους κόκκους της άμμου στερεά δεμένους μεταξύ τους ή να συγκολλά τις πέτρες και τα τούβλα μεταξύ τους, όταν παρεμβληθεί ασβεστοκονίαμα. Το ασβεστοκονίαμα αυτό όταν σκληρυνθεί, δεν είναι τίποτα άλλο παρά ασβεστόλιθος που περιέχει στη μάζα του άμμο.

Η υδράσβεστος είναι αερική κονία. Όπως αναφέρθηκε, για να στερεοποιηθεί χρειάζεται να έχει επαφή με το ελεύθερο διοξείδιο του άνθρακα του ατμοσφαιρικού αέρα και να απομακρυνθεί το νερό που αποβάλλεται.

Έτσι οι δύο παράγοντες που πρέπει να συνυπάρχουν για να συντελεσθεί η στερεοποίηση της κονίας είναι:

- Επαφή όλης της μάζας του υδρασβέστου με τον αέρα.
- Διατήρηση του περιβάλλοντος σε όσο το δυνατό ξηρότερη κατάσταση, για να γίνεται εύκολα η εξάτμιση του νερού.

Γι' αυτό τα ασβεστοκονιάματα σκληρύνονται πολύ αργότερα τους χειμωνιάτικους υγρούς μήνες παρά στους καλοκαιρινούς. Έχει παρατηρηθεί ότι σε τοίχους μεγάλου πάχους, παλιών κτηρίων, που βρισκόταν σε υγρά υπόγεια ή σε θεμέλια, δεν είχε ακόμα ολοκληρωθεί η σκλήρυνση του κονιάματος στο εσωτερικό τους αν και είχαν περάσει πολλά χρόνια από την κατασκευή τους.

Χρήσεις υδράσβεστου

Η υδράσβεστος χρησιμοποιείται ως συγκολλητική ύλη για την παρασκευή διαφόρων ασβεστοκονιαμάτων.

Οι αναλογίες άμμου και υδρασβέστου στα κονιάματα αυτά ποικίλουν ανάλογα με την ποιότητα του υδρασβέστη (παχύς ή ισχνός) , με την κοκκομετρική διαβάθμιση της άμμου (λεπτόκοκκη, μέση, χονδρόκοκκη) και με το σκοπό, για τον οποίο προορίζονται τα κονιάματα (κονιάματα για τη δόμηση θεμελίων ή ανωδομών, για την κατασκευή εσωτερικών ή εξωτερικών επιχρισμάτων κλπ).

Η υδράσβεστος επίσης χρησιμοποιείται και σε συνθετότερα κονιάματα, όπως είναι τα γυψοασβεστοκονιάματα, τα θηραϊκόκονιάματα, τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα κλπ.

Η υδράσβεστος χρησιμοποιείται στα τσιμεντοκονιάματα, γιατί βελτιώνει μερικές ιδιότητές τους. Έχει αποδειχθεί ότι μικρή ποσότητα υδρασβέστου (μέχρι 10%) αν προστεθεί σε καθαρό τσιμεντοκονίαμα όχι μόνο δεν ελαττώνει την αντοχή του, αλλά αντιθέτως αυξάνει ορισμένες ιδιότητές του. Οι σημαντικότερες **βελτιώσεις που προξενεί** είναι οι εξής ^[5]:

- Το κάνει περισσότερο εργάσιμο, δηλαδή πιο μαλακό και ευκατέργαστο κατά την χρησιμοποίησή του.
- Διατηρεί για αρκετό χρόνο την σχετική υγρασία, που είναι απαραίτητη για την κανονική πήξη του τσιμέντου και την αποφυγή ρωγματώσεων στη μάζα του τσιμεντοκονιάματος.
- Αυξάνει την ικανότητα προσφύσεως του τσιμεντοκονιάματος στους λίθους και στα τούβλα, γιατί τροφοδοτεί με νερό τα υλικά αυτά, που σε αντίθετη περίπτωση θα αφαιρούσαν νερό από το κονίαμα λόγω της απορροφητικής τους ικανότητας.

Άλλη χρήση του υδρασβέστη γίνεται στα υδροχρώματα. Χρησιμοποιείται αραιός υδρασβέστης μέσα στον οποίο ρίχνεται το επιθυμητό χρώμα. Ενεργεί ως συγκολλητική ουσία καθώς συνδέει τα μόρια του χρώματος με τις επιφάνειες που θέλουμε να καλύψουμε. Επίσης, χρησιμοποιείται και στη σταθεροποίηση εδαφών, κυρίως στην οδοποιία.

Τέλος, τόσο ο καμμένος όσο και ο σβησμένος ασβέστης χρησιμοποιούνται σε μεγάλη έκταση σε διάφορες χημικές βιομηχανίες ως βοηθητική ύλη.

3.3.2. Τσιμέντο

Με τον όρο τσιμέντο προσδιορίζεται μια μεγάλη κατηγορία υδραυλικών κονιών, που έχουν την ιδιότητα να στερεοποιούνται και μέσα στο νερό. Η πρώτη παρασκευή τσιμέντου έγινε το 1756 από τον Άγγλο μηχανικό John Smeaton, ο οποίος ανακάλυψε ότι με το ψήσιμο ενός ειδικού πετρώματος (αργιλικού αβεστολίθου) μπορούμε να παρασκευάσουμε υδραυλική κονία. Το τσιμέντο αυτού του τύπου είναι γνωστό με το όνομα φυσικό τσιμέντο και σήμερα ελάχιστες χώρες το παράγουν ^[5].

Ο πρώτος που σκέφθηκε να μη χρησιμοποιήσει αυτούσιο ένα πέτρωμα, αλλά να παρασκευάσει μίγμα από διάφορα πετρώματα, ώστε να πετύχει τις καλύτερες αναλογίες οξειδίων και να παράγει επομένως ανώτερης ποιότητας τσιμέντο ήταν ο Άγγλος Joseph Aspdin το 1824, που του έδωσε την ονομασία τσιμέντο portland γιατί το νέο αυτό υλικό είχε το χρώμα των εδαφών της περιοχής Portland της Αγγλίας .

- **Φυσικό τσιμέντο**

Το φυσικό τσιμέντο αποτελεί, όπως αναφέρθηκε, τον πρόδρομο του τσιμέντου portland. Παρασκευάζεται με την όπτηση αργιλούχων ασβεστολίθων, που περιέχουν 20-25% άργιλο. Η όπτηση γίνεται μέσα σε όρθια ή περιστροφικά καμίνια, μέχρις ότου αρχίζει η επίτξη, τα δε σχηματιζόμενα κλίνκερ (όστρακα), μετά την ψύξη, αλέθονται προς λεπτή σκόνη, που αποτελεί το φυσικό τσιμέντο.

Οι σχηματιζόμενες ενώσεις κατά την όπτηση είναι ανάλογες του τσιμέντου Portland, πλην όμως επειδή η σύσταση των πετρωμάτων δεν είναι σταθερή, οι ιδιότητες του φυσικού τσιμέντου υπολείπονται σημαντικά από το τεχνητό. Γενικά παράγεται και χρησιμοποιείται σε πολύ περιορισμένη κλίμακα ^[2].

- **Τεχνητό τσιμέντο**

Το τσιμέντο είναι κονία, που προέρχεται από βιομηχανικό προϊόν το οποίο παρασκευάζεται από ταυτόχρονη όπτηση ασβεστολιθικών και αργιλικών πετρωμάτων.

Για κάθε είδος τσιμέντου χρησιμοποιούνται τα πετρώματα αυτά με διαφορετικές αναλογίες.

α) Χημική σύνθεση του τσιμέντου

Η χημική σύνθεση του τσιμέντου δεν είναι απόλυτα σταθερή αλλά εξαρτάται από τη χημική σύνθεση των πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες, από τον τρόπο παραγωγής και κυρίως από το χρόνο και τη θερμοκρασία οπτήσεως ^[5].

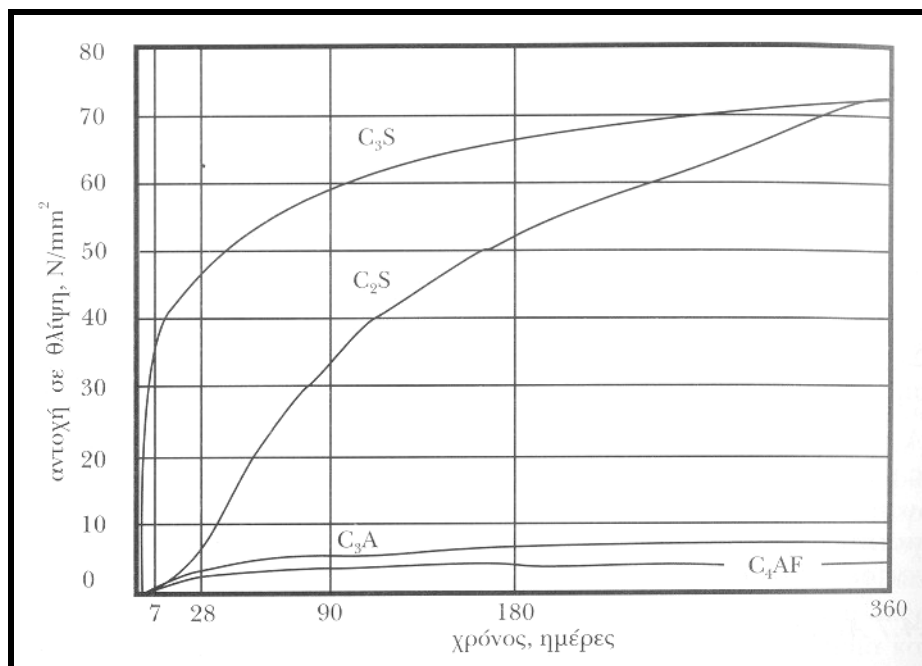
Οι επικρατέστερες ενώσεις του τσιμέντου είναι το οξείδιο του ασβεστίου (CaO), το οξείδιο του πυριτίου (SiO_2) και το οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3). Ακολουθούν σε μικρότερες ποσότητες το οξείδιο του σιδήρου (Fe_2O_3), του μαγνησίου (MgO), του νατρίου (Na_2O) και του καλίου (K_2O).

Οι παραπάνω ενώσεις βρίσκονται ενωμένες στα ακόλουθα τέσσερα κύρια συστατικά που αποτελούν τις τέσσερις κύριες φάσεις του τσιμέντου :

1. Το πυριτικό τριασβέστιο ($3\text{CaO}.\text{SiO}_2$) που συμβολίζεται με C_3S .
2. Το πυριτικό διασβέστιο ($2\text{CaO}.\text{SiO}_2$) που συμβολίζεται με C_2S .
3. Το αργιλικό τριασβέστιο ($3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$) που συμβολίζεται με C_3A .
4. Το αργιλοσιδηρικό τετρασβέστιο ($4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$) που συμβολίζεται με C_4AF .

Η αναλογία των παραπάνω συστατικών έχει επίδραση στην ταχύτητα αναπτύξεως της αντοχής, δηλαδή στην ταχύτητα της χημικής αντιδράσεως του τσιμέντου με το νερό. Οι δύο πυριτικές ενώσεις συμβάλλουν σημαντικά στη γρήγορη ανάπτυξη της αντοχής, αντίθετα από τις αργλικές.

Αντίθετα όμως, η αναλογία των τεσσάρων συστατικών του τσιμέντου δεν παίζει τόσο αποφασιστική σημασία στην τελική τιμή της αντοχής. Έχει παρατηρηθεί ότι μεγαλύτερη αντοχή παρουσιάζουν γενικά τα τσιμέντα τα όποια είναι φτωχά σε ασβέστιο και πλούσια σε πυριτικό διασβέστιο (C_2S).



Εικόνα 3.4 : Ανάπτυξη της αντοχής των καθαρών συστατικών του τσιμέντου.

Το C_3S σχηματίζεται κάτω από τους $1250^{\circ}C$, και επομένως βρίσκεται σε μία κατάσταση μετασταθή στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Εάν κατά την ψύξη του Clinker το μίγμα παραμείνει για αρκετό χρονικό διάστημα σε θερμοκρασία μικρότερη αλλά πλησίον της θερμοκρασίας σχηματισμού (μεταξύ $1250^{\circ}C$ και $1000^{\circ}C$) έχει την τάση να αποσυντίθεται σε C_2S και CaO , με αποτέλεσμα να επιφέρει σημαντική μείωση στην απόδοση του τσιμέντου.

Εκτός από τα παραπάνω τέσσερα βασικά συστατικά υπάρχουν στο τσιμέντο, σε μικρότερες ποσότητες:

α) *Οξείδιο του μαγνησίου* MgO ή μαγνησία, ουσία παρόμοια με το CaO . Στο οξείδιο του μαγνησίου οφείλεται το γκριζοπράσινο χρώμα του τσιμέντου. Η ποσότητα του οξειδίου του μαγνησίου πρέπει να είναι μικρότερη του 5%, γιατί όταν ενωθεί με το νερό, διογκώνεται αργά και προκαλεί ζημιές.

β) *Γύψος* ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Η γύψος προστίθεται σε ποσοστό 2% ως 3% στο τσιμέντο για τη ρύθμιση της ταχύτητας πήξεως.

β) Είδη τεχνητών τσιμέντων

Για την κάλυψη των διαφόρων απαιτήσεων που δημιουργούνται στα τεχνικά έργα ή για την ελάττωση του κόστους, παρασκευάζονται διαφόρων ειδών τεχνητά τσιμέντα που έχουν τα ίδια βασικά συστατικά, δηλαδή CaO , SiO_2 και Al_2O_3 με συγκεκριμένες αναλογίες ^[6].

- Καθαρό τσιμέντο portland

Το τσιμέντο portland είναι το τσιμέντο που προέρχεται από την άλεση του Clinker με τις ελάχιστες αναγκαίες προσθήκες όπως γύψος 2-3% και filler 3% κατά βάρος(filler ονομάζουμε υλικά, συνήθως αδρανή, σε λεπτότατο καταμερισμό). Τα filler σε μικρές ποσότητες επιδρούν στην εργασιμότητα και την υδατοπερατότητα. Η δράση τους είναι κυρίως μηχανική, δηλαδή δρουν σαν λιπαντικό για την εργασιμότητα και με τη διόγκωση των κόκκων τους παρουσία υγρασίας αυξάνουν την υδατοστεγανότητα. Η χημική σύνθεση του τσιμέντου portland παρουσιάζεται στον πίνακα :

SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	MgO	SO_3
22%	7.3%	64%	3.3%	1.4%	1.9%

Πίνακας 3.1: Χημική σύνθεση του τσιμέντου portland.

- Τσιμέντο portland υψηλής αντοχής

Έχει τις ίδιες αναλογίες πρώτων υλών με το καθαρό τσιμέντο, εκτός από το οξείδιο του ασβεστίου, που εμφανίζεται λίγο αυξημένο. Το ψήσιμο όμως των πρώτων υλών γίνεται σε μεγαλύτερη θερμοκρασία και η άλεση των εκβολάδων (Clinker) επιδιώκεται να είναι λεπτότερου βαθμού.

- Λευκά και ημίλευκα τσιμέντα portland

Με την ελάττωση του ποσοστού του οξειδίου του σιδήρου σε 1% (Fe_2O_3) και με ψήσιμο σε χαμηλότερη θερμοκρασία, παρασκευάζονται τα λευκά ή ημίλευκα τσιμέντα.

- Αργιλικά τσιμέντα

Έχουν διαφορετική σύσταση από τα προηγούμενα, περιέχουν λιγότερο οξείδιο του ασβεστίου και περισσότερο οξείδιο του αργιλίου (35% ως 45% Al_2O_3 αντί 5% ως 10% που περιέχεται στο καθαρό τσιμέντο). Βασικές πρώτες ύλες τους είναι ο ασβεστόλιθος και ο βωξίτης.

- Σιδηρά τσιμέντα

Αποτελούνται από 70% καθαρό τσιμέντο και από 30% άλευρο μεταλλουργικών σκωριών (σκουριές υψικαμίνων). Αντέχουν περισσότερο στις χημικές επιδράσεις από το καθαρό τσιμέντο.

- Ποζολανικά τσιμέντα

Με ανάμιξη τσιμέντου με ποζολάνες σε διάφορες αναλογίες λαμβάνονται τα ποζολανικά τσιμέντα. Είναι φθηνότερα από τα καθαρά τσιμέντα. Στην Ελλάδα παράγεται αυτό το είδος με προσθήκη 8% ως 10% θηραϊκής γης στο καθαρό τσιμέντο και καλείται τσιμέντο ελληνικού τύπου ή κοινό τσιμέντο. Χρησιμοποιείται για εσωτερική κατανάλωση.

γ) Ιδιότητες του τσιμέντου

➤ Υδραυλικότητα

Η ιδιότητα του πολτού τσιμέντου (τσιμέντο και νερό) να πήζει ακόμα και όταν βρίσκεται μέσα στο νερό καλείται υδραυλικότητα ^[5].

Ο βαθμός εκδηλώσεως της υδραυλικότητας του τσιμέντου εξαρτάται από την κανονικότητα της οπτήσεως, από τη λεπτότητα της αλέσεως και κυρίως από τη χημική σύστασή του.

Έχει αποδειχθεί ότι ο λόγος Y των κυρίων συστατικών του τσιμέντου που εκφράζεται από τη σχέση (3.4), και καλείται δείκτης υδραυλικότητας, πρέπει να κυμαίνεται στα εξής όρια $1.7 < Y < 2.2$. Δίνεται από την σχέση:

$$Y = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (3.4)$$

Εάν ο δείκτης υδραυλικότητας Y δεν είναι μέσα στα όρια, τότε θεωρείται το τσιμέντο ακατάλληλο. Τσιμέντο με δείκτη υδραυλικότητας $Y > 2.2$ σημαίνει περίσσεια CaO και παρουσιάζει τάσεις προς διόγκωση. Με δείκτη $Y < 1.7$ συνεπάγεται έλλειψη CaO και το τσιμέντο αποσαθρώνεται ύστερα από την πήξη του.

➤ Ενυδάτωση του τσιμέντου

Η πήξη και η σκλήρυνση του τσιμέντου οφείλεται σε πολύπλοκες χημικές αντιδράσεις, που πραγματοποιούνται όταν το τσιμέντο αναμειχθεί με νερό. Οι χημικές διαδικασίες αρχίζουν αμέσως με την ανάμειξη των δύο υλικών και συνεχίζονται ομαλά επί χρόνια.

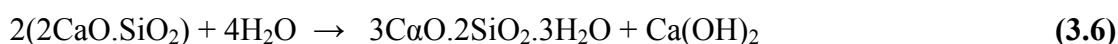
Κατά τη διάρκεια των αντιδράσεων αυτών τα τέσσερα κύρια συστατικά του τσιμέντου ενώνονται με το νερό και σχηματίζουν ένυδρες κρυσταλλικές ενώσεις ^[5].

Η αρχική και η τελική μορφή των ενώσεων όμως είναι η εξής:

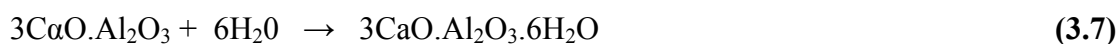
- Για το πυριτικό τριασβέστιο (C₃S).



- Για το πυριτικό διασβέστιο (C₂S).



- Για το αργιλικό τριασβέστιο (C₃A).



- Για το αργιλοσιδηρικό τετρασβέστιο (C₄AF).



Οι χημικές αυτές αντιδράσεις πραγματοποιούνται με σύγχρονη έκλυση θερμότητας και συστολή του όγκου των αρχικών προϊόντων.

Η πήξη δεν αρχίζει αμέσως μετά την ανάμειξη των δύο υλικών (τσιμέντο και νερό), αλλά αφού παρέλθει ορισμένο χρονικό διάστημα, το οποίο καλείται χρόνος αρχής πήξεως και πού εξαρτάται από:

- την λεπτότητα αλέσεως.
- την παλαίωση του τσιμέντου.
- την χημική σύσταση (δείκτης υδραυλικότητας)
- την περιεκτικότητα σε ξένες προσμίξεις (γύψος, θηραϊκή γη κλπ).

Προκειμένου για τσιμέντα της ίδιας κατηγορίας και ποιότητας, στα οποία δηλαδή οι παραπάνω τρεις παράγοντες είναι ίδιοι, η έναρξη πήξεως και η ταχύτητα εξαρτώνται από:

- την ποσότητα νερού αναμίξεως.
- τη θερμοκρασία του μίγματος και του περιβάλλοντος.
- την υγρομετρική κατάσταση της ατμόσφαιρας
- τη δραστηριότητα, με την οποία θα γίνει η ανάμιξη του τσιμέντου και του νερού.

Στο τσιμέντο portland η πήξη αρχίζει μία ώρα ως τρεις ώρες από τη στιγμή της αναμίξεως του με το νερό. Όταν όμως το τσιμέντο αναμιχθεί με αδρανή υλικά (άμμο και σκύρα) και με περισσότερο νερό από όσο απαιτείται για την πήξη, πράγμα που γίνεται κατά την παρασκευή των τσιμεντοκονιαμάτων και σκυροδεμάτων, ο χρόνος αρχικής πήξεως των κονιαμάτων αυτών διπλασιάζεται ή τετραπλασιάζεται ως προς τον αντίστοιχο χρόνο του πολτού του τσιμέντου.

Μετά την έναρξη της πήξεως, συνεχίζεται αργά η σκλήρυνση, ώσπου ο πολτός να στερεοποιηθεί τελείως και να φθάσει στην κατάσταση τελικής πήξης. Ο χρόνος τελικής πήξεως για το τσιμέντο portland κυμαίνεται μεταξύ 6 ως 10 ώρες.

Μετά την τελική πήξη, το τσιμέντο εξακολουθεί να σκληρύνεται για μεγάλο χρονικό διάστημα, ενώ συγχρόνως αυξάνεται η αντοχή του. Η σκλήρυνση διαρκεί επί μήνες και έτη ακόμα. Κατά τις πρώτες ημέρες παρατηρείται γρήγορη αύξηση της σκληρύνσεως αλλά κατόπιν επιβραδύνεται συνεχώς.

Κατά τη διάρκεια της σκληρύνσεως και κυρίως τις πρώτες μέρες είναι απαραίτητο να διατηρείται το σώμα σε υγρό περιβάλλον για να ολοκληρωθούν οι διάφορες χημικές αντιδράσεις. Για το λόγο αυτό πρέπει το σώμα να διαβρέχεται συνεχώς για διάστημα τουλάχιστον 5 ημερών από την τελική πήξη.

Κατά τη διάρκεια της πήξεως και της σκληρύνσεως και επειδή συντελούνται χημικές αντιδράσεις, παράγεται θερμότητα στη μάζα του υλικού, που μεταδίδεται στην

ατμόσφαιρα. Εάν η μετάδοση αυτή εμποδισθεί είτε λόγω υπερβολικής θερμοκρασίας του περιβάλλοντος (καλοκαίρι), είτε λόγω μεγάλου πάχους του έργου που κατασκευάζεται, (φράγμα), τότε προκαλούνται εσωτερικές τάσεις και υπάρχει κίνδυνος να καταστραφεί το έργο.

Ένα άλλο φαινόμενο που παρατηρείται κατά τη διάρκεια της πήξεως είναι η συστολή που παρουσιάζει ο πολτός και η εμφάνιση μικρών ρηγμάτων στην επιφάνεια του σώματος. Αυτός είναι ένας από τους βασικούς λόγους που δεν χρησιμοποιείται το τσιμέντο αυτούσιο αλλά πάντοτε αναμεμειγμένο με άμμο. Το φαινόμενο της συστολής δεν παρουσιάζεται όταν η πήξη γίνεται μέσα στο νερό ή σε υγρό περιβάλλον

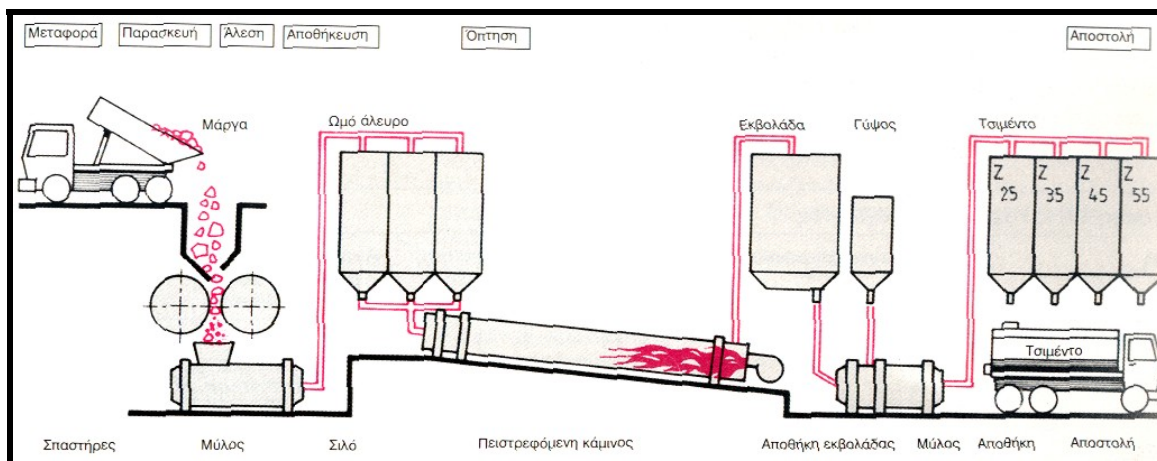
➤ Μηχανική αντοχή

Το τσιμέντο ύστερα από τη σκλήρυνση του παρουσιάζει αρκετή αντοχή σε θλίψη (200 ως 350 kp/cm³) για κοινό τσιμέντο, ενώ η αντοχή σε εφελκυσμό είναι πολύ μικρή (15 ως 30 kp/cm³) [5].

δ) Χρήσεις του τσιμέντου

Το τσιμέντο χρησιμοποιείται κυρίως για την παρασκευή κονιαμάτων και σκυροδεμάτων. Με ανάμειξη του με άμμο κατά διάφορες αναλογίες και με νερό παρασκευάζονται τα τσιμεντοκονιάματα, ενώ με ανάμειξη με άμμο, σκύρα και νερό παρασκευάζονται τα σκυροδέματα.

Επίσης χρησιμοποιείται για την ενίσχυση άλλων ασθενέστερων κονιαμάτων, όπως ασβεστοκονιάματα, γυψοκονιάματα κλπ.. Πολτός τσιμέντου, χωρίς να αναμιχθεί με άμμο, χρησιμοποιείται σε περιορισμένη κλίμακα και κυρίως για τη στεγανοποίηση ορισμένων στοιχείων.



Εικόνα 3.5 : Παραγωγή τσιμέντου

3.3.3. Ποζολάνες

Οι ποζολάνες είναι φυσικές και τεχνητές κονίες. Περιέχουν κατά το μεγαλύτερο ποσοστό οξείδιο του πυριτίου (πυριτία) και σε μικρότερα ποσοστά περιέχουν οξείδιο του αργιλίου, του σιδήρου, του ασβεστίου και μαγνησίου. Το οξείδιο του πυριτίου βρίσκεται και σε κρυσταλλική και σε άμορφη κατάσταση, πού είναι και η ενεργός μορφή του ^[5].

Χρησιμοποιούνται συνήθως με υδρασβέστη για την παρασκευή υδραυλικών ασβεστοκονιαμάτων. Το ενεργό οξείδιο του πυριτίου όταν ενώνεται με την υδράσβεστο $\text{Ca}(\text{OH})_2$ προσδίδει υδραυλικές ιδιότητες. Δηλαδή, οι ποζολάνες έχουν την ικανότητα να πήζουν και να σκληρύνουν στον αέρα ή μέσα στο νερό όταν αναμιχθούν με υδράσβεστο ή με υδραυλικές κονίες. Η σκλήρυνση των θηραϊκοκονιαμάτων οφείλεται κυρίως στον σχηματισμό του ένυδρου πυριτικού ασβεστίου $\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Οι **φυσικές ποζολάνες** ή ηφαιστειες γαίες είναι εκείνες που προήλθαν από τη δράση των ηφαιστειακών εκρήξεων όπως π.χ. η θηραϊκή γη, είναι δηλαδή προϊόντα φυσικής όπτησης. Βρίσκονται σε πλούσια κοιτάσματα στον Βεζούβιο, στον άνω Ρήνο (Trass), στις Αζόρες και τις Καναρίους νήσους. Στην Ελλάδα υπάρχουν στη Σαντορίνη και στο νησί Γυαλί, κοντά στη Νίσυρο.

Η θηραϊκή γη, αφού κοσκινισθεί, προς απομάκρυνση της ελαφρόπετρας και αφού ξηρανθεί, υποβάλλεται σε άλεση, οπότε λαμβάνεται το άλευρο της θηραϊκής γης, που αποτελεί βασικό συστατικό των τεχνητών τσιμέντων Portland ελληνικού τύπου, στα οποία συμμετέχει κατά 10%.

Τεχνητές ποζολάνες είναι εκείνες που προήλθαν από τεχνητές εργασίες όπως και οι ασβεστιτοποιημένες άργιλοι που προέρχονται από το ψήσιμο των αργίλων ($600-900^{\circ}\text{C}$), όπως π.χ. το κεραμάλευρο, ή η ιπτάμενη τέφρα, η οποία προκύπτει από την καύση κονιοποιημένου γαιάνθρακα ή λιγνίτη.

Οι ιπτάμενες τέφρες είναι τα στερεά υπολείμματα από τις καύσεις των κονιοποιημένων λιγνιτών ή λιθανθράκων στα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια, που συλλέγονται από τα ηλεκτροστατικά φίλτρα προτού τα καυσαέρια οδηγηθούν στον καπναγωγό. Ανάλογα με τη χημική και ορυκτολογική σύνθεσή τους, συμπεριφέρονται σαν κονίες ή παρουσιάζουν ποζολανικές ιδιότητες. Οι ιπτάμενες τέφρες λιγνιτών συνδιάζουν τις ιδιότητες των τριών τυπικών κονιών (τσιμέντου, γύψου, ασβέστου), όσον αφορά τον τρόπο σκλήρυνσης ^[2].

3.3.4. Γύψος

Πρώτη ύλη για την παραγωγή των κονιών γύψου είναι η ορυκτή ή φυσική γύψος, που είναι συνήθως ένυδρο θειικό ασβέστιο ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) μετά ξένων προσμίξεων, συνήθως πυριτίας, οξειδίου του σιδήρου, ανθρακικού ασβεστίου και οξειδίου του αργιλίου. Κοιτάσματα υπάρχουν, άφθονα στην Ελλάδα και μάλιστα καλής ποιότητας κυρίως στη Ζάκυνθο, στη Σητεία Κρήτης, στην Κω και στην Κάρπαθο ^[2].

Η καθαρή γύψος $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ περιέχει 20.9% νερό και θερμαινόμενη πάνω από 100°C αρχίζει να αποβάλλει βαθμιαία το περιεχόμενο σ' αυτή κρυσταλλικό νερό. Ανάλογα με το βαθμό όπτησης, την καθαρότητα της πρώτης ύλης και τις συνθήκες όπτησης, λαμβάνονται τα διάφορα είδη γυψοκονιών.

Τα κυριότερα είναι:

- δομική γύψος
- πλαστική διακοσμητική ή καλλιτεχνική γύψος (Plaster of Paris)
- γύψος οδοντοτεχνίας
- τραχεία γύψος .

Οι γυψοκονίες αποτελούν εντελώς ιδιαίτερη κατηγορία αερικών κονιών και για την πήξη και σκλήρυνσή τους αρκεί η ανάμιξη με νερό. Έτσι προσλαμβάνουν το νερό, που χάθηκε και επανέρχονται στο ένυδρο θειϊκό ασβέστιο $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$. Σε αντίθεση με όλες τις κονίες και τα κονιάματα αερικά και υδραυλικά, που χάρις στο περιεχόμενο CaO , έχουν χαρακτήρα αλκαλικό, οι γυψοκονίες και τα γυψοκονιάματα έχουν χαρακτήρα όξινο.

Όλα τα κονιάματα, κατά την πήξη, συστέλλονται ισχυρά, τα γυψοκονιάματα της μεν πλαστικής γύψου διογκούνται, της δε τραχείας γύψου έχουν σταθερό όγκο. Ενώ όλα τα κονιάματα είναι αδιάλυτα στο νερό, το γυψοκονίαμα της πλαστικής γύψου είναι υδατοδιαλυτό.

Δομική γύψος

Η δομική γύψος χρησιμοποιείται ευρύτατα στις οικοδομές, δεδομένου ότι, πολλές κατηγορίες τεχνητών, όπως οι ηλεκτρολόγοι, οι ξυλουργοί, οι υδραυλικοί, οι ελαιοχρωματιστές, οι μαρμαροτεχνίτες, κλπ. χρησιμοποιούν γύψο στις ειδικές εργασίες τους. Η δομική γύψος χρησιμοποιείται επίσης στην κατασκευή γυψοσανίδων ^[2].

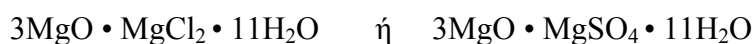
Η δομική γύψος χρησιμοποιείται όμως και σαν πρόσμιγμα στην κατασκευή των γυψούχων ασβεστοκονιαμάτων. Η προσθήκη της γύψου στα ασβεστοκονιάματα γίνεται, όταν επιζητείται ταχεία πήξη λόγω κινδύνου προώρου αποκόλλησης, όπως στα ασβεστοκονιάματα για οροφές επί ξύλινων πηχέων ή επί μεταλλικών πλεγμάτων, για την κατασκευή κορνιζών επί τοίχων, για επιχρίσεις επί ελαφρών οροφών από ξύλινο σκελετό με οροφοπήχεις (τσατμάδες) κ.ά. Ισχυρότερα γυψούχα ασβεστοκονιάματα και επομένως πλέον ταχύπηκτα χρησιμοποιούνται για μικροεπισκευές εσωτερικών τοίχων κλπ.

Η χρησιμοποίηση γυψούχων ασβεστοκονιαμάτων σε μέρη ύποπτα για υγρασία, όπως σε τοίχους εφραπτόμενους προς το έδαφος, δεν ενδείκνυνται, γιατί η υγρασία διαπερνά το επίχρισμα και σχηματίζει κηλίδες.

3.3.5. Μαγνησιακή κονία

Όπως από τον ασβεστόλιθο (CaCO_3) παράγεται το οξείδιο του ασβεστίου (CaO), κατά τον ίδιο τρόπο με όπτηση του μαγνησίτη (MgCO_3) λαμβάνεται η καυστική μαγνησία (MgO)^[2]. Η όπτηση γίνεται μέσα σε ασβεστοκάμινα σε θερμοκρασία περίπου στους 700-800 °C.

Το παραγόμενο οξείδιο του μαγνησίου αλέθεται σε λεπτή λευκή σκόνη, που είτε όπως έχει, ή μετά από επεξεργασία με χλωριούχο μαγνήσιο (MgCl_2) ή το θειϊκό μαγνήσιο (MgSO_4) δημιουργεί την μαγνησιακή κονία ή κονία Sorel. Η πήξη της κονίας αυτής οφείλεται στον σχηματισμό σύμπλοκων ένυδρων ενώσεων του οξειδίου του μαγνησίου (MgO) μετά του χλωριούχου μαγνησίου (MgCl_2) ή του θειϊκού μαγνησίου (MgSO_4), που έχουν τους τύπους:



Η μαγνησιακή κονία χρησιμοποιείται κυρίως για την παρασκευή του ξυλόλιθου. Ο ξυλόλιθος είναι ένα κονίαμα, που παρασκευάζεται με πριονίδια ξύλου, ρινίσματα φελλού, άλευρο κίσηρης κ.ά., ως αδρανή και μαγνησιακή κονία με διάλυμα χλωριούχου μαγνησίου (κονίας Sorel) ως συνδετικής ύλης. Ο ξυλόλιθος χρησιμοποιείται στις κατασκευές για επενδύσεις και επιστρώσεις σε μορφή πλακών, καθώς επίσης και για την κατασκευή χυτών δαπέδων χωρίς ραφή.

Τα προϊόντα του ξυλόλιθου είναι άκαυστα, έχουν λεία επιφάνεια, σκληρότητα και αντοχή. Με προσθήκη χρώματος μέσα στο μίγμα της τελευταίας στρώσης χρωματίζονται και εμφανίζουν καλαίσθητη όψη. Έχουν το μειονέκτημα να προσβάλλονται από το νερό και γι' αυτό η εφαρμογή τους περιορίζεται στους εσωτερικούς χώρους.

Η μαγνησιακή κονία εφαρμόζεται επίσης σε μορφή κονιάματος με άμμο, χαλαζιακό φύλλερ και μαρμαρόσκονη ή μίγματος αυτών για την κατασκευή σκληρών και στιλβώσιμων τεχνητών λίθων, οι οποίοι φέρονται στο εμπόριο σαν τεχνητά μάρμαρα ^[2].

3.3.6. Συνθετικές κονίες

Αποτελούν την τελευταία τεχνολογία της χημικής βιομηχανίας. Παρασκευάζονται από διάφορες συνθετικές ρητίνες και κυρίως από σιλικόνες.

Έχουν μεγαλύτερη συγκολλητική ικανότητα από τις μέχρι σήμερα γνωστές κονίες (ασβέστης, γύψος, τσιμέντο, άσφαλτος) και προσφύονται ισχυρότατα σε οποιαδήποτε επιφάνεια. Τα κονιάματά τους παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στις μηχανικές τάσεις και στις τριβές. Είναι στεγανές και δεν επηρεάζονται από τα αδύναμα οξέα, τα λίπη και από άλλες χημικές ουσίες.

Η χρήση τους προς το παρόν είναι περιορισμένη λόγω κυρίως της υψηλής τιμής τους. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την παρασκευή κονιαμάτων που προορίζονται για ειδικές χρήσεις ^[5].

4. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΣΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

4.1. Γενικά

Τα αδρανή υλικά οφείλουν την ονομασία τους στο γεγονός ότι παραμένουν χημικώς αδρανή, σε αντίθεση με την κονία (τσιμέντο, άσβεστος) και το νερό. Τα αδρανή υλικά συνδέονται και συγκολλούνται μεταξύ τους και συμβάλουν μηχανικά στην αντοχή του τελικού προϊόντος (κονιάματος) ^[5].

Καταλαμβάνουν, όμως, ένα μεγάλο τμήμα του συνολικού όγκου του μίγματος του κονιάματος και επομένως τα χαρακτηριστικά τους θα επηρεάζουν την απόδοση και τις ιδιότητες τόσο του νωπού όσο και του σκληρυμένου κονιάματος. Οι ιδιότητες όπως χημική αδράνεια, γραμμικός συντελεστής θερμικής διαστολής και ανθεκτικότητα είναι σημαντικές, μεγαλύτερο ρόλο όμως για τις ιδιότητες του κονιάματος παίζουν το σχήμα και η διαβάθμιση των λεπτόκοκκων αδρανών ^[15].

Για αδρανή υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν θεωρητικά οποιαδήποτε υλικά αρκεί να συγκεντρώνουν τις τρεις βασικές απαιτήσεις: επαρκή αντοχή, επαρκή πρόσφυση, και χημική ανεκτικότητα με την κονία. Τα πετρώματα είτε θραύονται τεχνικά είτε συλλέγονται όπως βρίσκονται στην φύση. Τα καταλληλότερα πετρώματα είναι τα ασβεστολιθικά και τα πυριτικά.

4.2. Κατηγορίες αδρανών

Τα αδρανή υλικά μπορούμε να τα ταξινομήσουμε τόσο ανάλογα με την προέλευσή τους όσο και ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους.

4.2.1. Κατηγορίες αδρανών ανάλογα με την προέλευσή τους

Τα αδρανή προϊόντα κατατάσσονται, ανάλογα με την προέλευσή τους στις εξής κατηγορίες ^[5]:

- Φυσικά αδρανή
- Τεχνητά αδρανή

Πιο αναλυτικά :

➤ **Φυσικά αδρανή**

Προέρχονται από φυσικό τεμαχισμό των στερεών πετρωμάτων, λαμβάνονται απ' ευθείας από το περιβάλλον και ειδικά από ορισμένους τόπους, όπου έχουν συγκεντρωθεί με την ενέργεια φυσικών δυνάμεων (νερό και άνεμος) και χρησιμοποιούνται κατά κανόνα χωρίς οποιαδήποτε επεξεργασία. Σε σπάνιες περιπτώσεις, όταν δηλαδή τα υλικά αυτά προορίζονται για έργα που απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή, μπορεί να εγκατασταθούν μηχανικά κόσκινα για την ταξινόμηση των υλικών κατά το μέγεθος των κόκκων τους, καθώς και μηχανές πλύσεως για τον καθαρισμό τους από επιβλαβείς ουσίες όπως άλατα, πηλός, οργανικές ουσίες κλπ.

Τα φυσικά αδρανή αποτελούνται από κόκκους στρογγυλούς και γωνιώδεις με στρογγυλεμένες ακμές, βρίσκονται σε αφθονία στις παραλίες των θαλασσών, στις κοίτες των ποταμών, σε εναποθέσεις μέσα στη γη και στις ερήμους.

Ανάλογα με την σύστασή τους διακρίνονται σε χαλαζιακά, ασβεστολιθικά, κλπ.. Η χαλαζιακή άμμος που προέρχεται από παραλίες, είναι η πιο κατάλληλη για την κατασκευή δομικών υλικών, είναι σκληρή ανθεκτική στις καιρικές συνθήκες και καθαρή χωρίς ξένες προσμίξεις, εκτός από το αλάτι. Η ποταμίσια άμμος περιέχει αρκετή ποσότητα αργιλικών υλικών και πρέπει όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε σκυροδέματα ή κονιάματα να πλυθεί για να αποβάλει ένα μέρος από τις αργιλικές αυτές προσμίξεις.

➤ Τεχνητά αδρανή

Προέρχονται από τεχνητό τεμαχισμό με μηχανική θραύση των λίθων. Ο τεμαχισμός με μηχανικά μέσα γίνεται στα λατομεία με κατάλληλο μηχανολογικό εξοπλισμό ανάλογα με την κοκκομετρία (θραυστήρας με σιαγόνες, περιστροφικός θραυστήρας).

Τα τεχνητά αδρανή έχουν μεγαλύτερη ποικιλία ως προς το μέγεθος των κόκκων, από εκείνα που προέρχονται από φυσικό τεμαχισμό. Επίσης είναι περισσότερο ομοιογενή, επειδή προέρχονται από το ίδιο πέτρωμα και οι ακμές τους είναι γωνιώδεις, ενώ οι επιφάνειές τους τραχείς γιατί έχουν υποστεί κυλινδρισμό. Οι διαστάσεις των τεχνητών άμμων κυμαίνεται, από 0.25mm ως 7mm. Ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων διακρίνονται σε:

- Άμμο με μέγεθος κόκκων από 1 mm ως 7mm.
- Ψιλή άμμο με μέγεθος κόκκων κάτω από 1 mm.

4.2.2. Κατηγορίες αδρανών ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους

Ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων, τα αδρανή διακρίνονται στις βασικές κατηγορίες:

- α) Άμμος
- β) Χαλίκια ή Σκύρα

α) Άμμος

Για να χαρακτηριστεί ένα υλικό άμμος, πρέπει οι κόκκοι του να είναι μεγαλύτεροι από 0.25mm και μικρότεροι από 7mm. Αδρανές υλικό με μέγεθος κόκκων μικρότερο από 0.25mm ονομάζεται παιπάλη ή άλευρο.

β) Χαλίκια ή Σκύρα

Το μέγεθος των κόκκων τους κυμαίνεται μεταξύ 7mm και 70mm. Χαλίκια συνήθως ονομάζονται τα αδρανή, που προέρχονται από φυσικό τεμαχισμό (φυσικά αδρανή), ενώ

σκύρα όσα προέρχονται από τεχνητό τεμαχισμό. Τα υλικά, που ανήκουν στις κατηγορίες αυτές, διακρίνονται σε μικρότερες υποδιαίρεσεις ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους όπως φαίνεται στο πίνακα 4.1 ^[6].

α/α	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ		Μέγεθος κόκκων σε mm
	Φυσική	Τεχνητή	
1	Παιπάλη	Παιπάλη	0 - 0.74
2	Άμμος	Άμμος	
	α)λεπτόκοκκη	α) λεπτόκοκκη	0 - 1
	β)μεσόκοκκη	β) μεσόκοκκη	0 - 3
	γ)χονδρόκοκκη	γ) χονδρόκοκκη	0 - 7
3	Λεπτοχαλίκια	Λιθοσύντριμμα	
	α) λεπτά	α) λεπτά	5 - 10
	β) χονδρά	β) χονδρά	5 - 15
4	Χαλίκια	Σκύρα	
	α) 7 / 30	α) 7 / 30	7 - 30
	β) 7 / 50	β) 7 / 50	7 - 50
	γ) 7 / 70	γ) 7 / 70	7 - 70

Πίνακας 4.1: Ονοματολογία και διαστάσεις αδρανών.

4.3. Τα χαρακτηριστικά των αδρανών υλικών

Τα κύρια χαρακτηριστικά των αδρανών υλικών που επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι ^[5]:

- η αντοχή τους, δηλαδή η αντοχή του μητρικού πετρώματος
- η καθαρότητα, η ύπαρξη δηλαδή ή όχι πρόσμεικτων ουσιών
- το σχήμα (μορφή) των κόκκων
- η κοκκομετρική διαβάθμιση των κόκκων
- η πρόσφυση με την κονία
- η χημική συμπεριφορά τους με τα άλλα συστατικά του κονιάματος, του σκυροδέματος ή με ουσίες που μπορεί να διεισδύσουν μέσα στο τελικό προϊόν κατά την διάρκεια της ζωής του (θαλασσινό νερό, καυσαέριο κλπ.).

➤ Αντοχή των αδρανών

Εκτός από την αντοχή σε θλίψη του μητρικού πετρώματος που επηρεάζει το κυριότερο χαρακτηριστικό του τελικού προϊόντος (σκυρόδεμα, κονίαμα), το πέτρωμα πρέπει να είναι απαλλαγμένο από κομμούς και να μην αποσαθρώνεται από την επίδραση των καιρικών συνθηκών ή άλλους παράγοντες. Οι ιδιότητες αυτές χαρακτηρίζονται με τον όρο υγεία του πετρώματος.

Επομένως, ακατάλληλα από άποψη αντοχής για την παραγωγή αδρανών θεωρούνται τα αποσαθρωμένα, αποσχιζόμενα, αργιλικά και μαλακά μητρικά πετρώματα.

Τέλος, πρέπει το πέτρωμα να διαθέτει αρκετή αντοχή σε επιφανειακή φθορά, δηλαδή αντοχή σε επιφανειακή τριβή και επιφανειακές κρούσεις.

➤ Καθαρότητα των αδρανών - επιβλαβή συστατικά

Σαν επιβλαβή συστατικά χαρακτηρίζονται αυτές οι ουσίες που εμποδίζουν την ομαλή εξέλιξη της σκλήρυνσης του κονιάματος, που μειώνουν την πυκνότητά του, που προκαλούν τοπικές αποκολλήσεις, που μετριάζουν την προστασία του από διάβρωση κλπ.

Τα αδρανή δεν πρέπει να έχουν επάνω στην επιφάνειά τους ή μέσα στη μάζα τους ή αναμεταξύ τους ξένες ουσίες που μπορεί να εμποδίσουν την πρόσφυση με την κονία ή να έχουν επιβλαβή χημική επίδραση στην κονία ή σε υλικά που συμμετέχουν στο τελικό προϊόν όπως π.χ σίδηρο.

Τα κυριότερα από τα επιβλαβή αυτά πρόσμεικτα υλικά είναι ^[1]:

α) Παιπάλη

Χαρακτηρίζεται από το λεπτότερο τμήμα του υλικού που περνάει από το κόσκινο 0.075mm (Αμερικανικό πρότυπο ASTM). Η παιπάλη όταν βρίσκεται σε μικρή ποσότητα (1 ως 3 % του βάρους) δεν βλάπτει τα παρασκευαζόμενα κονιάματα, γιατί γεμίζει τα πολύ μικρά κενά των αδρανών. Σε μεγαλύτερη όμως ποσότητα έχει βλαβερά αποτελέσματα. Η παιπάλη απομακρύνεται όταν τα αδρανή πλυθούν με νερό ^[1].

Μικροτερος/μεγιστος κόκκος αδρανων (mm)	Μεγίστη έπιτρεπομένη περιεκτικότητα παιπάλης σε % κ.β
0/1, 0/2 ,0/4	4,0
1/2, 1/4, 2/4	3,0
2/8, 4/8	2,0
4/16,4/32, 8/16, 8/32, 16/32, 16/63, 2/63	0,5

Πίνακας 4.2 : Μεγίστη έπιτρεπομένη περιεκτικότητα παιπάλης στά αδρανή
ανάλογα με την κοκκομετρικη διαβάθμιση

β) Οι οργανικές προσμίξεις

Στις οργανικές προσμίξεις περιλαμβάνονται υλικά οργανικής προελεύσεως (ζωικής ή φυτικής), γαιάνθρακες και λιγνίτες. Τα οργανικά προϊόντα μπορεί να έχουν επίδραση στην πήξη της κονιάς και να δημιουργήσουν ρωγματώσεις ή σκασίματα στην επιφάνεια του τελικού προϊόντος (σκυρόδεμα ή κονίαμα) ^[5].

Η παρουσία οργανικών προσμίξεων ανιχνεύεται με καυστική σόδα. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν ανιχνεύει π.χ. άνθρακα, καθώς ένα μεμονωμένο σωματίδιο δεν προκαλεί αλλαγή χρώματος. Έτσι, υπάρχει ανάγκη για μια μέθοδο που θα αναγνωρίζει λιγνίτη, άνθρακα ή άλλες οργανικές προσμίξεις που μπορεί να προκαλέσουν κηλίδες στο κονίαμα.

Στα λεπτόκοκκα αδρανή ο πιο συχνά απαντώμενος λιγνίτης είναι ο εύθρυπτος και μαλακός που δημιουργεί χαρακτηριστικές καφέ κηλίδες στην επιφάνεια του κονιάματος. Η ύπαρξη του λιγνίτη είναι ιδιαίτερα κρίσιμη στα επιχρίσματα και τα κονιάματα για πατώματα γιατί αν η σχετική του πυκνότητα ξεπερνάει τη μονάδα, τότε ο λιγνίτης τείνει να απομονωθεί από το μίγμα και μεταναστεύει στα επιφανειακά στρώματα, όπου είναι και λιγότερο επιθυμητός. Όταν είναι σημαντική η όψη μιας επιφάνειας ή η ανθεκτικότητά της, η ποσότητα του λιγνίτη πρέπει να είναι αμελητέα ιδιαίτερα σε επίπεδες οριζόντιες επιφάνειες.

γ) Οι μαρμαρυγίες

Οι μαρμαρυγίες είναι επιβλαβή υλικά όταν πρόκειται για επιχρίσματα. Χωρίς να είναι γνωστό το ποσοστό συμμετοχής τους σε παλιότερες κατασκευές, φαίνεται πως η ύπαρξή τους προκαλεί προβλήματα. Από πιο λεπτομερείς μελέτες σε κονιάματα με μαρμαρυγίες, έγινε γνωστό ότι οι ιδιότητες των αδρανών αλλάζουν με αύξηση του ποσοστού των μαρμαρυγιών ^[15]. Η μειωμένη μέση πυκνότητα τέτοιων αδρανών σημαίνει ότι θα απαιτείται μικρότερο βάρος για συγκεκριμένο όγκο νερού και επομένως, θα πρέπει να προστεθεί περισσότερο τσιμέντο για να καλυφθούν τα κενά.

Η αυξημένη υδατοαπορρόφηση από τους μαρμαρυγίες συνεπάγεται ότι το μίγμα θα χρειάζεται περισσότερο νερό. Επιπλέον, η μεγάλη ποσότητα νερού στο μίγμα παράγει ασθενές κονίαμα. Άλλο χαρακτηριστικό των μαρμαρυγιών είναι ότι τείνουν να παίρνουν φυλλόμορφο σχήμα κατά την ανάμειξη και έτσι δημιουργούνται νέες επιφάνειες τις οποίες οφείλει να καλύψει ο πολφός του τσιμέντου. Συνήθως, η ποσότητα του πολφού αυτού πρέπει να αυξηθεί για να καλύψει τα σωματίδια και να πληρώσει τα κενά με αποτέλεσμα το κονίαμα να γίνεται πιο ακριβό.

Παλιότερα, συμμετοχή μαρμαρυγιών σε ποσοστό 2 -3 % ήταν επιθυμητή σε επιχρίσματα για σπίτια, καθώς η λάμψη των ορυκτών αυτών δίνει ωραίο αισθητικό αποτέλεσμα. Ωστόσο, πολλά προβλήματα παρουσιάζονται στα κονιάματα όπως ξεφλούδισμα, χαμηλή αντοχή, ασθενές δέσιμο, μέχρι μεγάλο πορώδες. Αναγνωρίζονται όμως εύκολα λόγω της επίπεδης σχιστότητάς τους. Ο μοσχοβίτης ξεχωρίζει λόγω της λευκής, γυαλιστερής του εμφάνισης, ενώ ο βιοτίτης ίσως δεν είναι τόσο εύκολο να εντοπιστεί λόγω του σκούρου χρώματός του.

γ) Θειούχες ενώσεις

Θειούχες ενώσεις μεταξύ των αδρανών έχουν δυσμενή επίδραση στην τελική αντοχή του κονιάματος και σε μεγαλύτερη ποσότητα ή συγκεντρώσεις σε ορισμένα σημεία μπορούν να προκαλέσουν ρωγματώσεις^[15].

Η επίδραση των θειούχων ενώσεων στο κονίαμα εξαρτάται από την ποσότητα, τον τύπο και από την διαλυτότητα στο νερό, ενώ ως μέγιστο ανεκτό όριο των θειούχων ενώσεων, μετρούμενο σε SO₃, λαμβάνεται το 1% του βάρους των αδρανών.

Μεγάλες ποσότητες ευδιάλυτων θειικών αλάτων στην άμμο επιφέρουν ζημιογόνες διογκώσεις σε κονιάματα με βάση το τσιμέντο. Είναι γενικά αποδεκτό ότι θειικά άλατα σε ποσότητες πάνω από 5 % της μάζας του τσιμέντου στο κονίαμα προκαλούν θείωση.

δ) Ενώσεις του σιδήρου

Ενώσεις του Fe που προσδίδουν χρωματισμό είναι παρούσες στις περισσότερες άμμους. Ο σιδηροπυρίτης εμφανίζεται με τη μορφή διακριτών σωματιδίων και γι' αυτό το λόγο θεωρείται ως ξεχωριστή πρόσμιξη. Ο FeS₂ εμφανίζεται συχνά σε ποτάμιες άμμους και δημιουργεί καφέ κηλίδες που δεν είναι επιθυμητές σε εξωτερικές επιφάνειες. Έχει καλή σκληρότητα αλλά είναι χημικά ασταθής. Όταν βρεθεί σε εξωτερική επιφάνεια, οξειδώνεται αργά δημιουργώντας καφέ κηλίδες που δεν απομακρύνονται ^[5].

ε) Ευδιάλυτα άλατα

Σε επιχρίσματα ή παρόμοιες εργασίες η κίνηση του νερού μέσα στο υλικό μπορεί να επηρεαστεί από την ύπαρξη ευδιάλυτων αλάτων. Τα θαλάσσια άλατα αποδίδουν υγρασία και δημιουργούν προβλήματα στη διάβρωση μεταλλικών τμημάτων σωληνώσεων κ.λ.π.. Η κίνηση των αλάτων προς την επιφάνεια, είτε λόγω της παρουσίας του νερού κατά τη διάρκεια της κατασκευής, είτε λόγω έκθεσης σε υγρασία είναι δυνατό να προκαλέσει την ανάπτυξη φυτικών οργανισμών. Το επιτρεπόμενο όριο σε χλωροϊόντα μιας άμμου με υγρασία 10 % είναι 0.2 %.

➤ Η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών

Οι κόκκοι των αδρανών υλικών στηρίζονται ο ένας επάνω στον άλλο, αλλά λόγω του ακανόνιστου σχήματος που έχουν (πολυγωνικό, σφαιρικό κλπ.), δεν εφάπτονται απόλυτα μεταξύ τους, αλλά αφήνουν ενδιάμεσα κενά. Τα κενά αυτά γεμίζονται με το συνδετικό υλικό ή κονία, δημιουργώντας κατά αυτόν τον τρόπο ένα συμπαγές υλικό. ^[5]

Είναι επομένως φανερό ότι η ποσότητα της κονίας πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με τα μεταξύ των κόκκων κενά. Επειδή από την άλλη μεριά, η κονία είναι κατά κανόνα περισσότερο πορώδης, λιγότερο ανθεκτική από το πέτρωμα αδρανών και ακριβότερη,

όσο λιγότερα είναι τα παραπάνω κενά τόσο μεγαλώνει η αντοχή και η πυκνότητα και τόσο μικραίνει το κόστος του κονιάματος.

Ο βαθμός πυκνότητας των αδρανών εκφράζεται από το λόγο:

$$B. Π. = \frac{P \text{ σωρός}}{P \text{ πετρώματος}} \quad (4.1)$$

όπου:

P σωρός = το φαινόμενο ειδικό βάρος του σωρού των αδρανών.

P πετρώματος = το φαινόμενο ειδικό βάρος του πετρώματος των αδρανών.

Ο βαθμός πυκνότητας δίνει μια γενική εικόνα των αδρανών από την άποψη της γεωμετρικής ποιότητας αυτών.

Ακριβέστερη εικόνα δίνει η **κοκκομετρική διαβάθμιση** αυτών, δηλαδή ο διαχωρισμός και η κατάταξη των κόκκων σε ομάδες από άποψη όχι του μεγέθους των κόκκων, αλλά του ποσοστού της κάθε κατηγορίας μεγέθους κόκκων που περιέρχεται στην συνολική ποσότητα των αδρανών. Η διαβάθμιση της άμμου είναι κρίσιμη για τις ρεολογικές ιδιότητες των νωπών κονιαμάτων και τη δομή του σκληρυμένου προϊόντος.

Το μέγεθος των κόκκων προσδιορίζεται με πρότυπα κόσκινα που έχουν καθορισμένες διαμέτρους οπών. Η έννοια της διαμέτρου χρησιμοποιείται κατ' επέκταση της αντίστοιχης έννοιας του κύκλου, χωρίς όμως να μπορεί να προσδιοριστεί γεωμετρικά.

Η μέγιστη πυκνότητα πετυχαίνεται, όταν τα μεγέθη των κόκκων της άμμου ή των χαλικιών καταλαμβάνουν όλες τις διαβαθμίσεις από τα λεπτότερα μέχρι τα χονδρότερα και με ορισμένη αναλογία κατά βάρος για κάθε μέγεθος. Αυτό φαίνεται στο εξής παράδειγμα:

Αν οι κόκκοι ενός σώματος ήταν σφαίρες με ίση διάμετρο, τότε είναι εύκολο, από τη γεωμετρία, να αποδειχθεί ότι άσχετα με το μέγεθος της σφαίρας, ο όγκος των κενών θα καταλαμβάνει το 47.5% και ο όγκος των κόκκων το 52.5% του συνολικού όγκου των κόκκων του σωρού. Αν τοποθετηθούν σφαίρες με μικρότερη διάμετρο στα μεταξύ των αρχικών σφαιρών κενά, είναι φανερό ότι ο όγκος των κενών θα ελαττωθεί και θα αυξηθεί ο όγκος που καταλαμβάνουν οι κόκκοι.

Η κοκκομετρική διαβάθμιση απεικονίζεται σε διάγραμμα με τις διαμέτρους στον οριζόντιο άξονα και τα ποσοστά του υλικού που περνάει από κάθε κόσκινο στον κατακόρυφο. Οι διαμέτροι σημειώνονται στον οριζόντιο άξονα, είτε σε απλή είτε σε λογαριθμική ή σε άλλη παρόμοια κλίμακα.

Ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής διαβάθμισης του υλικού και η χάραξη της αντίστοιχης καμπύλης δεν παρουσιάζουν καμιά δυσκολία, πολύ δυσκολότερη είναι η **εκτίμηση και αξιολόγηση** της καμπύλης αυτής και η εκλογή της καταλληλότερης, για κάθε περίπτωση, από άποψη ιδιοτήτων του κονιάματος ή του σκυροδέματος.

Πολλές προτάσεις έγιναν στο παρελθόν για τη μαθηματική διατύπωση μίας τέτοιας καμπύλης. Ο Fuller δίνει ως ιδεατή καμπύλη αυτήν που έχει τη μορφή :

$$A = \left[\frac{d}{D} \right]^{1/2} * 100 \quad (4.2)$$

όπου:

A = το διερχόμενο ποσοστό αδρανών

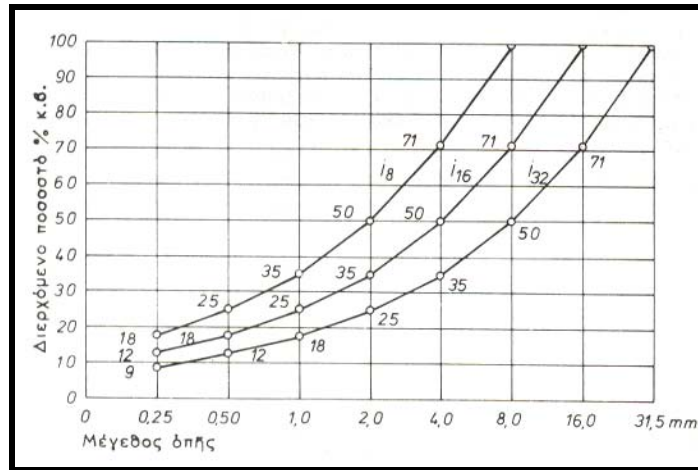
d = η διάμετρος των οπών του κόσκινου

D = η μεγαλύτερη διάμετρος των κόκκων

Ο A. Hummel δοκιμάζει την παραπάνω πρόταση πειραματικά με καμπύλη της μορφής:

$$A = \left[\frac{d}{D} \right]^n * 100 \quad (4.3)$$

με διάφορες τιμές του n , και βρίσκει καταλληλότερη την τιμή $n=0.3$ για πολυγωνικά και $n=0.4$ για στρογγυλεμένα αδρανή.



Εικόνα 4.1 : Ιδανικές καμπύλες κοκκομετρικής διαβάθμισης μέγιστου κόκκου 8mm, 16mm και 32 mm.

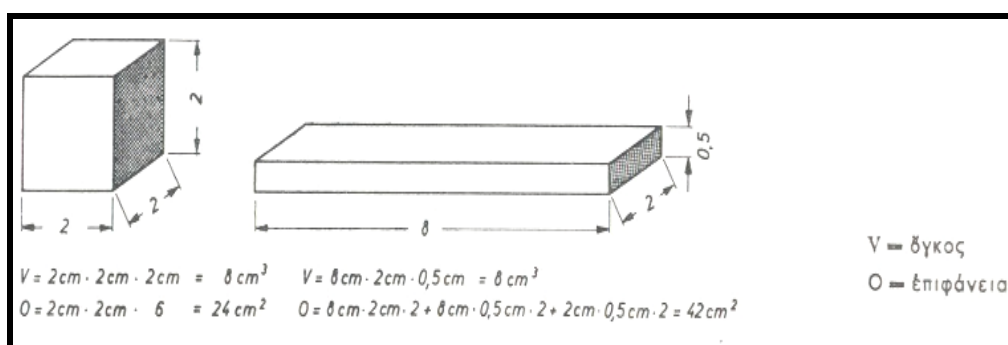
Η κοκκομετρία της άμμου αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τον καθορισμό της αντοχής ενός μίγματος. Παρ' όλα αυτά, σε κάποιες περιπτώσεις η άμμος μπορεί να μη δώσει τις αναμενόμενες αντοχές παρά τη συμμόρφωσή της με τα όρια των προτύπων λόγω της ανάγκης μεγαλύτερης ποσότητας νερού για την επίτευξη της εργασιμότητας.

➤ Το σχήμα και το μέγεθος των κόκκων των αδρανών

Το σχήμα των σωματιδίων και η υφή της επιφάνειάς τους διαπιστώνεται εύκολα όταν πρόκειται για χονδρόκοκκα αδρανή, ενώ αντίθετα είναι δύσκολο όταν πρόκειται για πιο λεπτόκοκκα σωματίδια. Η μικροσκοπική μελέτη δείχνει το σχήμα των σωματιδίων, η υφή της επιφάνειας όμως (λεία, υαλώδης κλπ) δεν είναι εύκολο να περιγραφεί. Οι κόκκοι των αδρανών που δεν έχουν κανονική γεωμετρική μορφή, κατατάσσονται στις ακόλουθες γενικές κατηγορίες : στρογγυλούς, κυβοειδείς, γωνιώδεις, πλακοειδείς και επιμήκεις.

Το σχήμα των μη σφαιρικών σωματιδίων που δεν ανήκουν στις παραπάνω κατηγορίες μπορεί να προσδιοριστεί σε σχέση με το μήκος και το πλάτος τους. Η γεωλογική εμφάνιση των αποθεμάτων στα οποία βρίσκονται οι άμμοι δίνει συνήθως μια ένδειξη για την πετρολογία των λεπτόκοκκων αδρανών

Το σχήμα ή η μορφή των κόκκων επηρεάζει, άσχετα από την κοκκομετρική διαβάθμιση, τις ιδιότητες του κονιάματος ή του σκυροδέματος όπως την εργασιμότητα, την αντοχή, την κατακράτηση νερού και την ανθεκτικότητα [15].



Εικόνα 4.2 : Η επίδραση της μορφής πάνω στην επιφάνεια για κόκκους με τον ίδιο όγκο

■ Η **εργασιμότητα** των κονιαμάτων εξετάζεται από δύο απόψεις: τη συνοχή και τα πλαστικά χαρακτηριστικά, που αναφέρονται απλά ως συνεκτικότητα για μια δεδομένη συνοχή. Παρά το γεγονός ότι η συνεκτικότητα βελτιώνεται με την αυξημένη ποσότητα λεπτόκοκκων υλικών, όπως το τσιμέντο και η άσβεστος, η παρουσία ιλύος και αργιλικών καθιστά το μίγμα πιο εργάσιμο και παρέχει τη "λιπαρότητα" που απαιτείται. Ωστόσο, υπερβολική ποσότητα ιλύος και αργίλου μπορεί να μειώσει την συνοχή και την εργασιμότητα. Επίσης, το σχήμα και η κοκκομετρία της άμμου και της ιλύος επιδρούν στην εργασιμότητα ενός κονιάματος.

Η εργασιμότητα των κονιαμάτων επηρεάζεται από την εσωτερική τριβή των κόκκων. Από την άποψη αυτή η σφαιρική μορφή παρουσιάζει τη μικρότερη γωνία τριβής και επομένως τη μεγαλύτερη εργασιμότητα του υλικού. Όσο η μορφή των κόκκων

απομακρύνεται από τη σφαιρική τόσο αυξάνεται η εσωτερική τριβή και ελαττώνεται η εργασιμότητα του υλικού. Συγχρόνως όμως αυξάνεται η ειδική επιφάνεια και επομένως αυξάνεται ακόμα περισσότερο η ανάγκη για νερό.

- Σημαντικό ρόλο για την **αντοχή** των κονιαμάτων παίζει το μέγεθος των κόκκων των αδρανών και η αναλογία άμμου-τσιμέντου. Σε κάποιες περιπτώσεις, η αντοχή του κονιάματος βελτιώθηκε με την ύπαρξη κάποιων κενών, γεγονός που σημαίνει ότι ένα τελείως συμπαγές κονίαμα δεν είναι πάντα κατάλληλο. Ένα καλά διαβαθμισμένο μίγμα βελτιώνει την αντοχή σε θλίψη περισσότερο από την αντοχή σε διάτμηση.

Η αύξηση της πολυγωνικότητας των κόκκων βελτιώνει τη στήριξη των κόκκων μεταξύ τους καθώς και την πρόσφυση με την κονία αφού έχουμε αύξηση της επιφάνειας επαφής. Κατά τον ίδιο τρόπο και οι κυβοειδείς και οι πλακοειδείς κόκκοι συντελούν στη μηχανική αντοχή, λόγω της καλύτερης δράσεως αυτών.

Η αντοχή του κονιάματος, επειδή σχετίζεται με την αντοχή της λιθοδομής, δεν πρέπει να είναι υπερβολικά μεγάλη. Γενικά θεωρείται ότι η σύμφυση μεταξύ κονιάματος και λίθων εξαρτάται από τη ροή της υγρασίας από το σώμα του κονιάματος προς τη διεπιφάνεια κονιάματος-λίθων. Πάντως, ο ακριβής μηχανισμός της σύμφυσης δεν είναι τελείως κατανοητός.

- Η δομική **ανθεκτικότητα** και το αισθητικό αποτέλεσμα σχετίζονται άμεσα με την απόδοση του κονιάματος. Οι προδιαγραφές για τα κονιάματα λαμβάνουν συνήθως υπόψη την ανάγκη για κατάλληλη ανθεκτικότητα και προστασία των ενσωματωμένων οπλισμών. Η διαβάθμιση της άμμου είναι σημαντική προκειμένου για αντίσταση στον παγετό. Μια καλά διαβαθμισμένη άμμος χρειάζεται μικρότερη ποσότητα τσιμέντου από άλλη άμμο, πιο φτωχά διαβαθμισμένη, η οποία έχει μεγάλη απαίτηση σε νερό. Επομένως, η διαβάθμιση των λεπτόκοκκων αδρανών είναι σημαντική για την παραγωγή ενός μείγματος, στο οποίο η διάταξη των σωματιδίων πρέπει να επιτρέπει στον πολτό του τσιμέντου να πληρώσει τα κενά.

Το σχήμα των σωματιδίων επηρεάζει τη διάταξή τους, ενώ η απόσταση μεταξύ των μεγαλύτερων πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μπορούν τα μικρότερα να περάσουν και να καλύψουν τα κενά.

▪ **Κατακράτηση νερού.** Και αυτή η ιδιότητα συνδέεται άμεσα με την εργασιμότητα. Είναι η ιδιότητα του κονιάματος να διατηρεί το νερό του μίγματος και να παραμένει εργάσιμο όταν βρίσκεται σε επαφή με τούβλα τα οποία έχουν την ιδιότητα να απορροφούν υγρασία. Η κατακράτηση νερού μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση λεπτόκκοκων εδαφικών σωματιδίων, καθώς και από την ύπαρξη αργίλου. Η χρήση καλά διαβαθμισμένης άμμου βοηθάει στη μείωση των κενών όγκων και τον διαχωρισμό των υλικών στο κονίαμα που αυξάνει την κατακράτηση νερού.

Η ποσότητα του νερού και κατά συνέπεια η αντοχή του κονιάματος επηρεάζεται από το σχήμα και την υφή των αδρανών, παράγοντες που έμμεσα εμφανίζονται π.χ. ως το ποσοστό των κενών της άμμου όταν βρίσκεται σε χαλαρή κατάσταση.

Το νερό, εκτός από το να ενυδατώνει το τσιμέντο, δίνει στο μίγμα τσιμέντου, άμμου και ασβέστου την απαιτούμενη 'λιπαρότητα' που κάνει το κονίαμα εργάσιμο. Το νερό αυτό αργότερα εξατμίζεται και αφήνει κενούς χώρους στο κονίαμα. Έτσι, το ιδανικό μίγμα είναι αυτό που έχει τόση ποσότητα νερού, ώστε και η εργασιμότητα να εξασφαλίζεται και ο όγκος των κενών να είναι ο κατά το δυνατόν μικρότερος.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των αδρανών που επηρεάζουν την ποσότητα του νερού σε ένα μίγμα είναι η συνολική επιφάνεια και η διάταξη των σωματιδίων. Και τα δύο είναι συνάρτηση της κοκκομετρίας που υποστηρίζει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια των σωματιδίων ενός μίγματος τόσο μεγαλύτερη ποσότητα νερού απαιτείται. Η μεγάλη επιφάνεια ερμηνεύεται είτε από την ύπαρξη πολλών λεπτομερών, είτε από μεγάλη αναλογία αιχμηρών, γωνιωδών σωματιδίων, ή ακόμη από συνδυασμό αυτών.

Οι παραπάνω ποιοτικές παρατηρήσεις δύσκολα μπορούν να υπαχθούν σε ποσοτική μέτρηση και αξιολόγηση. Η άποψη που επικρατεί είναι ότι οι κόκκοι των αδρανών

πρέπει να έχουν μορφή που πλησιάζει το σφαιρικό ή το κυβοειδές σχήμα και να έχουν ανώμαλη γωνιώδη και όχι λεία εξωτερική επιφάνεια.

Η φυσική άμμος έχει πιο στρογγυλμένα και λεία σωματίδια από τη θραυστή άμμο. Η θραυστή άμμος με τα κοφτερά και γωνιώδη σωματίδια πιθανόν να δίνει κονίαμα με διαφορετικές ιδιότητες εργασιμότητας από τη φυσική άμμο. Τα αδρανή πρέπει να αποτελούνται από φυσική άμμο, άμμο από θραυστό πέτρωμα ή θραυστά χαλίκια ή από συνδυασμό αυτών. Η άμμος πρέπει να είναι σκληρή, ανθεκτική, καθαρή και ελεύθερη από προσκολλημένα καλύμματα, όπως άργιλο ή υπολογίσιμη ποσότητα αργίλου σε μορφή συσσωματωμάτων.

Πάντως επιτρέπεται, όπως αναφέρθηκε, ένα ποσοστό αργίλου, ιλύος και παιπάλης στην άμμο. Τα υλικά αυτά προσδίδουν διαφορετικές ιδιότητες στο κονίαμα ανάλογα με το αν προέρχονται από φυσική άμμο ή θραυστό πέτρωμα.

4.4. Ειδικά αδρανή για κονιάματα

Τα υλικά αυτά έχουν κοκκώδη μορφή και βρίσκονται αυτούσια στη φύση ή παρασκευάζονται τεχνητά. Έχουν παρόμοιες ιδιότητες και χρήσεις με λίθινα προϊόντα.

Τα κυριότερα είδη τους είναι ^[5]:

α) Ελαφρόπετρα (κίσσηρης)

Η κίσσηρης είναι πορώδης ρυολιθική λάβα πλούσια σε ύαλο (άμορφο οξείδιο του πυριτίου). Χαρακτηριστικό της είναι το υψηλό πορώδες, με πόρους μεγάλους και συνήθως κλειστούς, συνεπώς έχει πολύ χαμηλό φαινόμενο βάρος.

Η κίσσηρης χρησιμοποιείται σαν αδρανές υλικό, το οποίο επιταχύνει την πήξη, μειώνει το φαινόμενο βάρος και αυξάνει τις μονωτικές ιδιότητες.

β) Κουρασάνι

Γνωστό υλικό από τους αρχαίους. Προέρχεται από το σπάσιμο και την κονιοποίηση υλικών ψημένης αργίλου (τούβλα, κεραμίδια). Το πολύ λεπτό υλικό που παράγεται χρησιμοποιείται για την παρασκευή λεπτοκονιαμάτων με ασβέστη. Το κονίαμα αυτό παρουσιάζει σημαντική υδραυλικότητα ^[2].

γ) Ελαφροβαρή αδρανή

Ελαφροβαρή αδρανή έχουν χρησιμοποιηθεί ως ολικοί ή μερικοί αντικαταστάτες της άμμου στα κονιάματα για πολλά χρόνια. Αδρανή από την κατηγορία αυτή χρησιμοποιήθηκαν σε κονιάματα που χρονολογούνται από τη Ρωμαϊκή εποχή και έχουν ως βάση ηφαιστειακά υλικά, κίσηρη, κλπ. Σήμερα χρησιμοποιείται περλίτης, ο οποίος εξάγεται από την Ελλάδα σε πολλές χώρες της Ευρώπης, καθώς επίσης βερμικουλίτης για ειδικά ελαφροβαρή κονιάματα στο χώρο των πυριμάχων και διογκωμένα πολυστερίνη για εσωτερικά και εξωτερικά επιχρίσματα. Η καταλληλότητα των ελαφροβαρών αδρανών για χρήση σε κονιάματα έγκειται στην κατάλληλη πυκνότητα, στην πυραντίσταση, στην ανθεκτικότητα και την αντοχή τους ^[5].

5. ΝΕΡΟ ΣΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

5.1. Γενικά

Μετά την κονία και τα αδρανή, το νερό αποτελεί το τρίτο σημαντικό συστατικό των κονιαμάτων. Το νερό και η κονία είναι τα δύο ενεργά συστατικά του κονιάματος. Παίρνει μέρος σε μία σειρά χημικών αντιδράσεων που οδηγούν (με τη δημιουργία ένυδρων κρυστάλλων) στην πήξη και σκλήρυνση του μείγματος. Για το λόγο αυτό πρέπει να περιέχει όσο το δυνατόν λιγότερα συστατικά που μπορεί να επηρεάσουν τις χημικές αντιδράσεις.

Το νερό επιδρά διπλά στα κονιάματα. Ένα μέρος, που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του κονιάματος, καταναλώνεται για τις χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά την πήξη της κονίας (άσβεστος, τσιμέντο). Το υπόλοιπο μέρος χρησιμεύει για τη διαβροχή των κόκκων των αδρανών και την αύξηση της πλαστικότητας και την εργασιμότητα του κονιάματος.

Το δεύτερο αυτό μέρος επιδρά στις ιδιότητες του κονιάματος. Μικρή ποσότητα δημιουργεί κονίαμα στεγανό και δυσκολοκατέργαστο, αλλά αυξημένης μηχανικής αντοχής και στεγανότητας. Αντίθετα, μεγάλη ποσότητα το κάνει πλαστικό ως υδαρές και ευκολοκατέργαστο, αλλά συγχρόνως, ελαττώνει την αντοχή του και τη στεγανότητά του. Επομένως, το νερό σε κατάλληλη ποσότητα είναι απαραίτητο για να δώσει στο κονίαμα την απαιτούμενη πλαστικότητα και εργασιμότητα.

Επιπλέον, η ποσότητα του νερού παίζει σημαντικό ρόλο στη μηχανική αντοχή του κονιάματος. Όταν δεν είναι επαρκής, παραμένει μια ποσότητα κονίας ανενεργή, με αποτέλεσμα να έχουμε μερική μόνο σύνδεση των αδρανών. Όταν η ποσότητα του νερού είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη, δεν απορροφάται από την κονία και τα αδρανή, αλλά μένει ελεύθερη μέσα στη μάζα του υλικού. Το αρνητικό σ' αυτή την περίπτωση

είναι ότι μετά την εξάτμιση του νερού δημιουργούνται πόροι και κοιλότητες μειώνοντας τη συνοχή και τις αντοχές του κονιάματος.

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ποσότητας νερού σε ένα κονίαμα, όπως θα δούμε παρακάτω, πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφοροι παράγοντες. Κάποια ποσότητα απορροφάται και ενώνεται χημικά με την κονία, ενώ κάποια άλλη διαβρέχει τα αδρανή ή τα υλικά με τα οποία έρχεται σε επαφή το κονίαμα κατά την εφαρμογή του. Τέλος, πρέπει να υπολογίζεται η ποσότητα που μένει αναπόφευκτα ελεύθερη μέσα στη μάζα του υλικού και εκείνη που εξατμίζεται κατά την παρασκευή, διάστρωση και πήξη^[5].

5.2. Η απαιτούμενη ποσότητα νερού

Όπως αναφέρθηκε, σε περίπτωση που η ποσότητα του νερού είναι μικρότερη από την απαραίτητη, παραμένει μια ποσότητα κονιάς ανενεργή με αποτέλεσμα να μην δημιουργηθεί ολική σύνδεση των αδρανών. Από την άλλη μεριά, όταν είναι μεγαλύτερη, παραμένει μια ποσότητα νερού ελεύθερη μέσα στη μάζα του υλικού μετά την πήξη και σκλήρυνση του κονιάματος. Η ποσότητα αυτή γεμίζει το χώρο που μετά την εξάτμισή της θα αφήσει πόρους και τριχοειδείς κοιλότητες που επηρεάζουν σημαντικά τις τελικές μηχανικές αντοχές του κονιάματος.

Η απαιτούμενη ποσότητα νερού για την παρασκευή του κονιάματος είναι^[5].

$$N = N_{\chi} + N_{\kappa} + N_{\alpha\delta} + N_{\alpha\pi} + N_{\epsilon} \quad (5.1)$$

όπου:

N_{χ} = η ποσότητα νερού που ενώνεται χημικά με την κονία (ενυδάτωση)

N_{κ} = η ποσότητα νερού που ενώνεται κρυσταλλικά με την κονία

$N_{\alpha\delta}$ = η ποσότητα νερού που απορροφούν οι κόκκοι των αδρανών

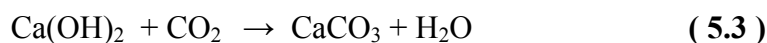
$N_{\alpha\pi}$ = η ποσότητα νερού που εξατμίζεται

N_{ϵ} = η ποσότητα νερού που παραμένει ελεύθερη μέσα στους πόρους του κονιάματος.

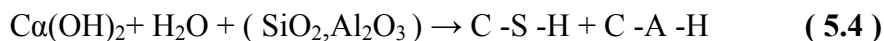
5.2.1. Η ποσότητα νερού για την ενυδάτωση και κρυστάλλωση των συστατικών της κονίας

Όταν τα συστατικά της κονίας έρθουν σε επαφή με το νερό αρχίζει η ανάπτυξη σειράς χημικών αντιδράσεων κατά τις οποίες τα συστατικά αυτά ενώνονται με τα μόρια του νερού και σχηματίζουν καινούργιες χημικές ενώσεις, όπως φαίνεται παρακάτω:

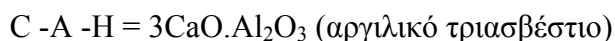
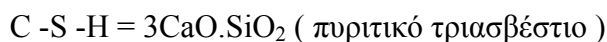
Στην περίπτωση **ασβέστου** έχουμε:



Στην περίπτωση υδραυλικών (ποζολανικών) κονιαμάτων, στην ποζολάνη **τα πυριτικά ή τα αργιλοπυριτικά υλικά** έχουν την ιδιότητα να ενώνονται με την υδράσβεστο Ca(OH)_2 και να σχηματίζουν ένυδρες ασβεστοπυριτικές ενώσεις που με το χρόνο σκληραίνουν και αποκτούν μικρές ή μεγαλύτερες αντοχές έχουμε:

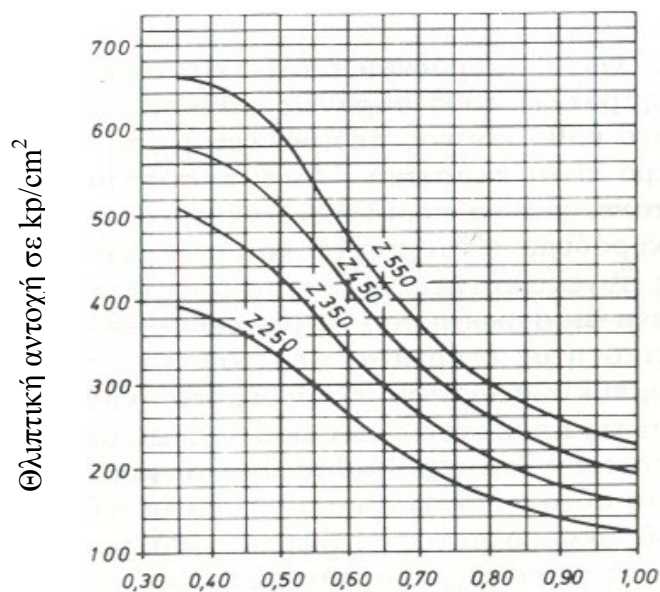


όπου:



Η ποσότητα του νερού (Nχ και Nκ) που απαιτείται για τις χημικές αντιδράσεις είναι ανάλογη προς το είδος της κονίας, που περιέχει το κονίαμα. Για το τσιμέντο Portland απαιτούνται περίπου 22 ως 23 λίτρα νερού για την πήξη 100kg τσιμέντου ή $0,22 \text{ m}^3$ ως $0,23 \text{ m}^3$ για την πήξη 1t τσιμέντου.

Το παρακάτω σχήμα (5.1) δείχνει την εξάρτηση της αντοχής, από το ποσοστό του νερού που παρουσιάζεται με το λόγο $W = N/T$ (ποσότητα νερού ανά τσιμέντο), για διάφορους τύπους τσιμέντου ^[1].



Λόγος νερού προς τσιμέντο $W = N / T$

Εικόνα 5.1: Εξάρτηση της αντοχής από το λόγο W , για διάφορους τύπους τσιμέντου.

5.2.2. Η ποσότητα νερού που απορροφούν τα αδρανή

Εφόσον οι κόκκοι των αδρανών δεν είναι κορεσμένοι σε νερό, μια ποσότητα νερού θα απορροφηθεί απ' αυτούς. Η ποσότητα αυτή εξαρτάται από τη φύση των κόκκων του πετρώματος, από την ολική επιφάνεια των κόκκων και από την υγρασία που υπάρχει στους κόκκους.

Η ποσότητα του απορροφούμενου νερού (N_{ad}) είναι ανάλογη με την ειδική επιφάνεια των κόκκων και επομένως αυξάνεται σημαντικά όσο μικραίνει η διάμετρος των κόκκων (οι κόκκοι μικρής διαμέτρου, λόγω μεγαλύτερης ειδικής επιφάνειας, απορροφούν πιο γρήγορα το νερό και επιταχύνουν την πήξη του κονιάματος).

5.2.3. Η ποσότητα νερού που εξατμίζεται

Κατά τον προσδιορισμό της απαιτούμενης ποσότητας νερού πρέπει να προστεθούν και οι αναπόφευκτες απώλειες νερού, όπως απώλεια λόγω εξατμισμού, είτε κατά τη διάρκεια της παρασκευής, μεταφοράς και διάστρωσης, είτε κατά τη διάστρωση. Η ποσότητα αυτή (Ναπ) εξαρτάται από την υγρασία και τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας ^[5].

Άλλη αιτία απώλειας είναι η απορρόφηση νερού από τον ξυλότυπο και από τους λίθους. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με διαβροχή των λίθων και των ξυλοτύπων πριν τη διάστρωση.

Οι παραπάνω περιπτώσεις έχουν αρκετή σημασία. Πρέπει να αντιμετωπίζονται κατάλληλα ώστε να αποφεύγονται ρωγματώσεις ή έλλειψη νερού για την ολοκλήρωση της ενυδάτωσης.

5.2.4. Η ποσότητα νερού που παραμένει ελεύθερη μέσα στους πόρους.

Εκτός από τις παραπάνω περιπτώσεις, ορισμένη ποσότητα νερού είναι αναπόφευκτο να παραμείνει ελεύθερη μέσα στη μάζα του υλικού και μετά την πήξη και σκλήρυνση του κονιάματος (Νε). Η ποσότητα αυτή επηρεάζει αρκετά τις μηχανικές ιδιότητες τις συστολές ενυδατώσεως του κονιάματος και όσο μικρότερη είναι τόσο καλύτερα ^[5].

Παρ'όλα αυτά, όμως, η περίσσεια νερού είναι αναπόφευκτη και αναγκαία. Πρώτον διότι, όπως είναι φανερό, δεν είναι δυνατή η ομοιόμορφη κατανομή του νερού μέσα στο μίγμα κατά τη διάρκεια της ανάμιξης και σκλήρυνσης. Δεύτερον διότι είναι αναγκαίο το μίγμα να έχει μια συγκεκριμένη ρευστότητα για να μπορεί να μεταφερθεί και να έχει την ικανότητα να γεμίζει τους πόρους ανάμεσα στους λίθους και ανάμεσα στους ξυλότυπους.

5.3. Η καθαρότητα του νερού

Το νερό αναμείξεως δεν πρέπει να περιέχει συστατικά ή χημικές ενώσεις, που μπορούν να επηρεάσουν τις αντιδράσεις που πραγματοποιούνται μεταξύ κονίας και νερού κατά την πήξη και την σκλήρυνση του κονιάματος όπως οξέα, οργανικές ουσίες, λάδια και ζάχαρη ^[1].

6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

6.1. Γενικά

Στο 6ο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη μεθοδολογία των αναλύσεων των πρώτων υλών που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των κονιαμάτων, ενώ στο επόμενο Κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών.

Ως πρώτες ύλες για τα κονιάματα χρησιμοποιήθηκαν οι εξής:

Αδρανή υλικά :

- α. χαλαζιακή-θαλάσσια άμμος Ακρωτηρίου
- β. ασβεστολιθική άμμος λατομείου
- γ. ένα μέρος χαλαζιακής άμμου Επιδαύρου

Συνδετικές ύλες :

- α. πολτός υδρασβέστου και
- β. ποζολανικά υλικά :
 - 1. ποζολάνη
 - 2. ζεόλιθος
 - 3. διατομίτης

Τα υλικά αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή διαφορετικών κονιαμάτων σε διάφορες αναλογίες και συνδυασμούς, όπως θα δούμε στο 8ο Κεφάλαιο.

Όλες οι πρώτες ύλες αναλύθηκαν ορυκτολογικά με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων –X (X-Ray Diffraction analysis) και χημικά με τη μέθοδο φασματοσκοπίας με ακτίνες- X φθορισμού (X-Ray-Fluorences XRF).

Ειδικότερα, στα **ποζολανικά υλικά** μετρήθηκε επιπλέον η υγρασία, η ειδική επιφάνεια, η απώλεια πύρωσης, προσδιορίστηκε το άμορφο πυρίτιο, έγινε θερμοβαρική ανάλυση TGA, και μελετήθηκαν τομές στα μικροσκόπια (Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης SEM, Πολωτικό μικροσκόπιο, Στερεοσκόπιο).

Στα **αδρανή υλικά** προσδιορίστηκε η κοκκομετρική διαβάθμιση και μετρήθηκε η απώλεια πύρωσης.

Στον **πολτό υδρασβέστου** προσδιορίστηκε το ποσοστό υγρασίας και τέλος, τόσο στον πολτό υδρασβέστου όσο και στην λατομική άμμο μετρήθηκε το ποσοστό του ασβεστίτη.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται κωδικές ονομασίες για τα υλικά ώστε να διευκολύνεται η κατηγοριοποίηση τους. Οι κωδικοί αυτοί είναι οι εξής :

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ	ΚΩΔΙΚΟΣ
Αδρανή υλικά	χαλαζιακή-θαλάσσια άμμος Ακρωτηρίου	ΧΑ
	ασβεστολιθική άμμος λατομείου	ΛΑ
	χαλαζιακή άμμος Επιδαύρου	ΕΡΔΣ
Συνδετικές ύλες	πολτός υδρασβέστου	ΑΣΒ
	ποζολάνη	ΠΙ
	ζεόλιθος	Π2
	διατομίτης	Δ1

Πίνακας 6.1 : Κωδικοί πρώτων υλών

6.2. Κοκκομετρικές αναλύσεις

Κοκκομετρική διαβάθμιση είναι ο διαχωρισμός και η κατάταξη των κόκκων σε ομάδες από άποψη όχι του μεγέθους των κόκκων, αλλά του ποσοστού της κάθε κατηγορίας μεγέθους κόκκων που περιέχεται στην συνολική ποσότητα των αδρανών. Η ανάλυση της κοκκομετρικής διαβάθμισης τόσο των αδρανών όσο και των ποζολανικών υλικών είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς επηρεάζει τη συμβατότητα και τη συνάφεια των παρασκευασθέντων κονιαμάτων με τους δομικούς λίθους αλλά και την ποσότητα των συνδετικών υλικών που θα χρησιμοποιηθούν.

Το μέγεθος των κόκκων προσδιορίζεται με πρότυπα κόσκινα που έχουν καθορισμένες διαμέτρους οπών. Τα δείγματα που μελετήθηκαν διαχωρίστηκαν με τη χρήση Αμερικάνικων πρότυπων κοσκίνων (ASTM) στα κλάσματα με διάμετρο κόκκων +4.75 mm, +1.00 mm, + 500 μ m, +125 μ m, +63 μ m και -63 μ m. Η κοκκομετρική διαβάθμιση απεικονίζεται σε διάγραμμα με τις διαμέτρους στον οριζόντιο άξονα και τα ποσοστά του υλικού που περνάει από κάθε κόσκινο στον κατακόρυφο.

Ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής διαβάθμισης του υλικού και η χάραξη της αντίστοιχης καμπύλης δεν παρουσιάζουν καμιά δυσκολία όμως είναι δυσκολότερη η εκτίμηση και αξιολόγηση της καμπύλης αυτής και η εκλογή της καταλληλότερης, από άποψη ιδιοτήτων του κονιάματος. Όσο περισσότερο προσεγγίζει η κοκκομετρική διαβάθμιση των υλικών τις ιδανικές καμπύλες κοκκομετρικής διαβάθμισης, όπως περιγράφονται στο Κεφάλαιο 4.3, τόσο καλύτερες ιδιότητες θα παρουσιάζει το κονίαμα.

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης παρατίθενται στο Κεφάλαιο 7.1 σε πίνακες και διαγράμματα που παρουσιάζουν την επί τοις % κατά βάρος συμμετοχή κάθε κλάσματος στο ολικό δείγμα και την κοκκομετρική διαβάθμιση.

6.3. Χημικές αναλύσεις

Στις χημικές αναλύσεις περιλαμβάνεται ο προσδιορισμός της υγρασίας, ο προσδιορισμός της απώλειας πύρωσης, η θερμοβαρική ανάλυση TGA, ο προσδιορισμός της ειδικής επιφάνειας, ο προσδιορισμός του ασβεστίτη, η ανάλυση XRF και ο προσδιορισμός του άμορφου πυριτίου.

6.3.1. Προσδιορισμός υγρασίας - ξήρανση

Ο προσδιορισμός της υγρασίας του υλικού πραγματοποιείται με την ξήρανση του δείγματος και τον προσδιορισμό της διαφοράς βάρους του αρχικού υλικού από το τελικό (που έχει ξηρανθεί). Η μέτρηση της υγρασίας είναι προτιμότερο να γίνεται αμέσως μετά την δειγματοληψία και σε μεγάλο κομμάτι δείγματος προκειμένου να έχει μεγαλύτερη αντιπροσωπευτικότητα.

Ζυγίζονται τουλάχιστον 3-5 gr δείγματος σε ύαλο ωρολογίου και θερμαίνονται στους 50 -55 °C για 48h. Το δείγμα αφήνεται να κρυώσει σε αφυγραντήρα για 30 λεπτά και ζυγίζεται ξανά. Το επί τις εκατό ποσοστό της υγρασίας βρίσκεται διαιρώντας τη διαφορά βάρους δια το αρχικό βάρος του δείγματος και πολλαπλασιάζοντας επί εκατό. Η μέτρηση της υγρασίας δεν έγινε στις μεγαλύτερες θερμοκρασίες, γιατί η γύψος αποβάλλει το μεγαλύτερο μέρος από τα κρυσταλλικά νερά της μεταξύ 60 και 120 °C.

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στο Κεφάλαιο 7.2.1.

6.3.2 Προσδιορισμός της απώλειας πύρωσης

Κατά την απώλεια πύρωσης προσδιορίζεται το ποσοστό του CO₂ που εκλύεται κατά τη διάρκεια της πύρωσης, των κρυσταλλικών νερών και των υδροξυλίων των ενώσεων, και των οργανικών ουσιών. Ζυγίζεται ποσότητα ξηραμένου δείγματος, τοποθετείται στο φούρνο και θερμαίνεται στην θερμοκρασία που επιλέγεται. Το δείγμα μετά το τέλος του πειράματος απομακρύνεται από το φούρνο, τοποθετείται σε αφυγραντήρα, έτσι ώστε να αποφευχθεί η προσρόφηση υγρασίας και στη συνέχεια με την πάροδο λίγων λεπτών επαναζυγίζεται αμέσως σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ^[5].

Η επί τοις εκατό απώλεια πύρωσης προκύπτει ως εξής:

$$\% \text{ A.Π.} = \frac{A - T}{A} * 100 \quad (6.1)$$

Όπου:

A = αρχικό βάρος του ξηρού δείγματος σε γραμμάρια

T = τελικό βάρος του δείγματος μετά την πύρωση επίσης σε γραμμάρια.

Τα πειράματα για τον προσδιορισμό της απώλειας πύρωσης σε διαφορετικές θερμοκρασίες έγιναν σε ηλεκτρικό φούρνο της NABER Industrieofenbau, Model D-2804, του Εργαστηρίου Ανόργανης και Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Ζυγίζεται περίπου 1 gr υλικού σε χωνευτήριο και πυρώνεται σε ένα εύρος θερμοκρασιών αρχικά από 105 έως 550 °C για 12h και έπειτα από 550 έως 1050 °C για άλλες 12h. Το χωνευτήριο ζυγίζεται ξανά και η απώλεια βάρους ανάγεται σε ποσοστό του αρχικού βάρους. Αφαιρώντας από το ποσοστό της απώλεια πύρωσης το ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα, έχουμε το ποσοστό (οργ. + κ.ν. %) που αντιστοιχεί στα κρυσταλλικά νερά, στα υδροξύλια και στις οργανικές ουσίες του δείγματος.

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στο Κεφάλαιο 7.2.2.

6.3.3. Θερμοβαρική ανάλυση TGA

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η θερμοβαρυτομετρική ή θερμοβαρική ανάλυση (Thermogravimetric Analysis, TGA). Η θερμοβαρυτομετρική ανάλυση χωρίζεται σε δύο είδη, αυτήν που μετρά την απώλεια βάρους και άλλες ιδιότητες υπό σταθερή θερμοκρασία και ονομάζεται Ισοθερμική Θερμοβαρική Ανάλυση, και την Δυναμική Θερμοβαρική Ανάλυση, που μετρά την απώλεια βάρους συναρτήσει της μεταβαλλόμενης θερμοκρασίας. Στην δυναμική θερμοβαρική ανάλυση η θερμοκρασία συνήθως μεταβάλλεται γραμμικά. Η θερμοβαρυτομετρική ανάλυση, είτε ισοθερμική είτε δυναμική, μπορεί να μετρά την απώλεια βάρους ενός δείγματος στερεού συναρτήσει της θερμοκρασίας οπότε ονομάζεται Θερμοβαρυτομετρική Ανάλυση (TGA), ή το ρυθμό απώλειας βάρους συναρτήσει της θερμοκρασίας οπότε και ονομάζεται Διαφορική Θερμοβαρυτομετρική Ανάλυση (Differential Thermogravimetric Analysis, DTGA ή DTG) ^[13].

Καταγράφησαν οι μεταβολές του βάρους των δειγμάτων καθώς και του ρυθμού απώλειας βάρους των δειγμάτων, συναρτήσει της γραμμικά αυξανόμενης θερμοκρασίας, εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία της δυναμικής θερμοβαρυτομετρικής ανάλυσης. Στόχος της καταγραφής είναι να πάρουμε σημαντικές πληροφορίες για την ποσοτική του σύσταση και κυρίως για υλικά που περιέχουν κρυσταλλικά νερά και υδροξύλια (δεδομένου ότι οργανικές ουσίες δεν περιέχονται σε σημαντικό ποσοστό στο δείγμα).

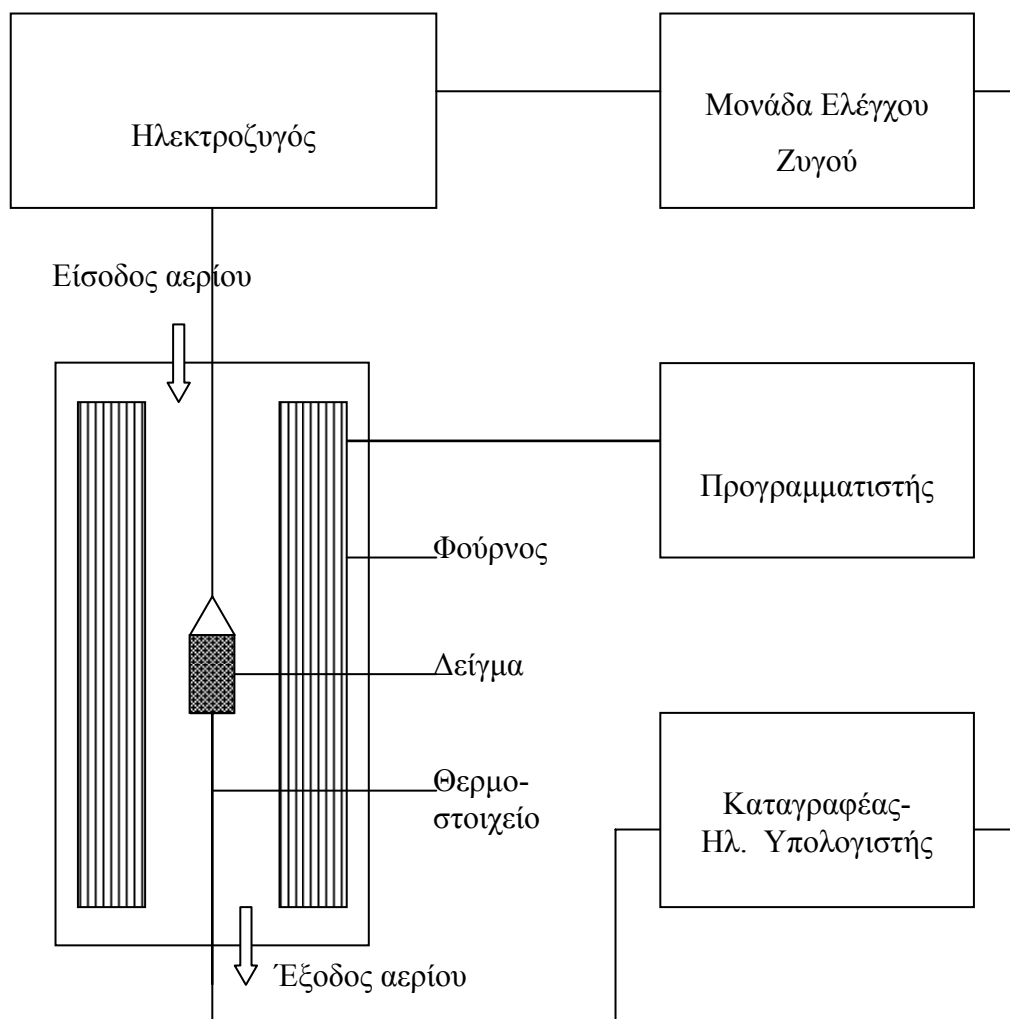
Οι απώλειες των πτητικών συστατικών λαμβάνουν χώρα στις παρακάτω θερμοκρασίες :

- 50 - 120 °C : Απώλεια της υγρασίας και του διασπρωματικού νερού.
- 130 - 150 °C: Ολοκληρώνεται η αφυδάτωση της γύψου.
- 200 - 500 °C: Αφυδατώνονται οι αργιλοπυριτικές ενώσεις.
- 300 - 400 °C: Καίγονται οι οργανικές ενώσεις.
- 450 °C: Αφυδατώνεται το $\text{Ca}(\text{OH})_2$.
- 500 - 550 °C: Αποσυντίθεται το MgCO_3 .
- 573 °C: Αλλάζει ο κρυσταλλικός χαλαζίας από α- σε β-.
- 700 - 800 °C: Αποσυντίθεται το CaCO_3 .

Να σημειωθεί πως η αφυδάτωση και η αφυδροξυλίωση των αργιλοπυριτικών ενώσεων συνεχίζεται σε ορισμένες περιπτώσεις μέχρι τους 1000 °C, αλλά το μεγαλύτερο μέρος της διεργασίας συμβαίνει στις προαναφερθείσες θερμοκρασίες.

Περιγραφή Εξοπλισμού

Η βασική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή των πειραμάτων ήταν ένας θερμοζυγός ακριβείας, τύπου TGA 6, της εταιρείας Perkin Elmer (Εικόνα 6.1), του Εργαστηρίου Εξευγενισμού και Τεχνολογίας Στερεών Καυσίμων, του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων^[13].



Εικόνα 6.1 : Σχηματική αναπαράσταση της συσκευής του θερμοζυγού

Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται ένας θερμοζυγός είναι το σύστημα θέρμανσης, το σύστημα μέτρησης σήματος και το σύστημα παροχής ισχύος.

Το σύστημα θέρμανσης αποτελείται από την βασική κατασκευή και το σύστημα θερμοκρασιακού ελέγχου. Η βασική κατασκευή αποτελείται από ένα κυλινδρικό αλουμινένιο φούρνο, περιμετρικά του οποίου υπάρχουν γύρω στις 20 οπές. Γύρω από το φούρνο είναι τυλιγμένη μία επιμήκης ηλεκτρική αντίσταση. Το σύρμα είναι έτσι τυλιγμένο, ώστε να εξουδετερώνει το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από τα ρεύματα που διαρρέουν το σύρμα, και διέρχεται διαμέσω των οπών.

Το σύστημα θερμοκρασιακού ελέγχου ή θερμοστοιχείο, αποτελείται από ένα αισθητήρα Χρωμίου / Αλουμινίου. Βρίσκεται στο εσωτερικό του φούρνου, τοποθετημένο σε μια απ' τις οπές. Η θερμοκρασιακή κλίμακα λειτουργίας του φούρνου είναι από 0-1000°C, με ακρίβεια 2°C και ο ρυθμός θέρμανσης κυμαίνεται μεταξύ 0 και 100°C/min.

Ολόκληρη η παραπάνω διάταξη περιβάλλεται από σύστημα αυτόματης ψύξης. Αυτό αποτελείται από σωλήνα που περιελίσσεται γύρω από το φούρνο, και χρησιμοποιεί νερό, ως ψυκτικό ρευστό. Κατά τη διαδικασία της αυτόματης ψύξης, ενεργοποιείται μια αντλία, που μεταφέρει ψυχρό νερό διαμέσω του κυκλώματος ψύξης, και ψύχει την διάταξη.

Το όλο σύστημα είναι θερμικά μονωμένο και συνδέεται με το σύστημα μέτρησης σήματος. Εκείνο είναι συνδεδεμένο με υπολογιστή, όπου αποθηκεύεται η ένδειξη του συστήματος μέτρησης σήματος, και με τη βοήθεια λογισμικού (του λογισμικού Pygis, της εταιρείας Perkin Elmer) είναι σε θέση να πραγματοποιεί περαιτέρω επεξεργασίες του σήματος.

Τα αέρια που εισέρχονται στο θερμοζυγό μπορεί να είναι αέρας, άζωτο, κάποιο ευγενές αέριο π.χ. ήλιο, αργό, ή άλλα αέρια ανάλογα με το είδος της αντίδρασης που θέλουμε να λάβει χώρα. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και μείγματα αερίων.

Το σύστημα μέτρησης σήματος αποτελείται από έναν ηλεκτρονικό μικροζυγό. Η θέση του ζυγού μπορεί να προσδιορισθεί από μία διαφορική φωτοδίοδο, και διατηρείται στη μηδενική θέση από ένα ρεύμα, που διέρχεται από ένα ηλεκτρομαγνήτη, άμεσα συνδεδεμένου με την μία πλευρά του ζυγού. Ο ηλεκτρομαγνήτης αυτός εμπεριέχει ένα πυρήνα από μαλακό σίδηρο.

Αν τοποθετηθεί ένα βάρος στο ζυγό, τότε οι μεταβολές στο ηλεκτρικό ρεύμα αντανακλούν μεταβολές στο βάρος που δέχεται ο ζυγός. Οι μεταβολές αυτές ανιχνεύονται με ένα υπερευαίσθητο γαλβανόμετρο. Η θέση μηδενισμού του ζυγού προσδιορίζεται από την τοποθέτηση ενός αντίβαρου στην αντίθετη πλευρά του άξονα του ζυγού. Το σήμα που προκύπτει από την καταμέτρηση υφίσταται ενίσχυση και επεξεργασία και καταλήγει σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή, όπου και καταγράφεται.

Πειραματική Διαδικασία

Για την εκτέλεση του πειράματος με χρήση του θερμοζυγού χρησιμοποιήθηκαν δείγματα κονιορτοποιημένα, βάρους περίπου 20-30 mg. Το φέρον αέριο ήταν **αέρας** παροχής 45 ml/min.

Για την καύση πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες φάσεις:

1. Ζυγίστηκε στο θερμοζυγό μικρή ποσότητα δείγματος περίπου 20 mg.
2. Προγραμματίστηκε η μονάδα ελέγχου του θερμοζυγού με τις κατάλληλες παραμέτρους του πειράματος, που περιλαμβάνουν την αρχική θερμοκρασία, τον ρυθμό ανόδου της θερμοκρασίας, την τελική θερμοκρασία και τον χρόνο παραμονής στην θερμοκρασία της αντίδρασης.
3. Μετά τον προγραμματισμό ακολούθησε εισαγωγή του αερίου. Η ροή του αέρα διατηρήθηκε στα 45 ml/min με τη βοήθεια μιας βαλβίδας ρύθμισης υψηλής ακρίβειας και με ανάγνωση των αντίστοιχων ενδείξεων ενός μηχανικού ροόμετρου. Η βαθμονόμηση του ροόμετρου έγινε με τη βοήθεια ενός φουσαλιδόμετρου στην έξοδο των αερίων από το θερμοζυγό και η ακρίβεια των ενδείξεων ελέγχόταν περιοδικά.

4. Αμέσως μετά τη ρύθμιση της ροής ξεκίνησε η διαδικασία της θέρμανσης που περιλάμβανε τα εξής στάδια:

- Θέρμανση από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος μέχρι τους 40°C και παραμονή για 1 min, ώστε να απομακρυνθεί η υγρασία που τυχόν έχει απορροφηθεί στο δείγμα.
- Θέρμανση από τους 40°C στη τελική θερμοκρασία αντίδρασης (900°C για την ποζολάνη και τον διατομίτη και 850°C για τον ζεόλιθο), με ρυθμό θέρμανσης 10°C/min.
- Παραμονή στη θερμοκρασία αντίδρασης για 10 min σε ροή αέρα (45 ml/min) , ώστε να αποπερατωθεί η αντίδραση.
- Ψύξη του δείγματος και επαναφορά του σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στο Κεφάλαιο 7.2.3.

6.3.4. Προσδιορισμός ειδικής επιφάνειας

Στην παρούσα εργασία μετρήθηκε η ειδική επιφάνεια των ποζολανικών δειγμάτων καθώς θα πρέπει να συμμορφώνεται με την προδιαγραφή DIN 51043 για τα κονιάματα, όπου απαιτείται η ειδική επιφάνεια της ποζολάνης να μην υπερβαίνει τα 5000 cm²/gr.

Ειδική επιφάνεια ενός κόκκου ονομάζουμε το λόγο της εξωτερικής του επιφάνειας προς το βάρος του:

$$S_w = \frac{S}{W} = \frac{f \cdot d^2}{K \cdot \rho \cdot d^3} \quad (6.2)$$

όπου K, f είναι σταθερές αναλογίας,

ρ η πυκνότητα

d η διάμετρος του κόκκου

Η ειδική επιφάνεια είναι αντιστρόφως ανάλογη της διαμέτρου του κόκκου. Όσο μικραίνει ο κόκκος, τόσο μεγαλώνει η ειδική του επιφάνεια.

Σε ένα σύνολο κόκκων διαφόρων μεγεθών η ειδική επιφάνεια είναι:

$$S_w = \frac{\text{Συνολική Επιφάνεια}}{\text{Συνολικό Βάρος}} = \frac{\Sigma \Delta S}{\Sigma \Delta W} \quad (6.3)$$

όπου ΔS και ΔW η επιφάνεια και το βάρος των επιμέρους κλασμάτων.

Η γνώση της ειδικής επιφάνειας δεν οδηγεί σε συμπεράσματα για την κατανομή των κόκκων, αλλά αποτελεί δείκτη της λεπτότητας του υλικού σαν σύνολο. Η ειδική επιφάνεια ενός κοκκώδους υλικού μπορεί να υπολογιστεί ή να μετρηθεί με διάφορους τρόπους ^[12]. Η ειδική επιφάνεια των ποζολανικών δειγμάτων εδώ υπολογίστηκε με τη μέθοδο της προσρόφησης αερίων ή αλλιώς μέθοδο B.E.T.

Υπολογισμός ειδικής επιφάνειας με τη μέθοδο προσρόφησης αερίων. Μέθοδος B.E.T.

Η ειδική επιφάνεια ενός δείγματος σκόνης μπορεί να μετρηθεί από την απορρόφηση κάποιου αερίου που γίνεται πάνω στην επιφάνεια των κόκκων. Ο όγκος του προσροφούμενου αερίου είναι μεγαλύτερος όσο μικραίνει η θερμοκρασία. Ο ισοδύναμος όγκος του προσροφούμενου αερίου που χρειάζεται για να σχηματιστεί ένα μόνο στρώμα μορίων πάνω στην επιφάνεια του στερεού συμβολίζεται με V_m . Οι Brunauer, Emmett και Teller (B.E.T.) έδωσαν την εξίσωση που συνδέει την πίεση και τον όγκο του απορροφούμενου αερίου:

$$\frac{P}{V^*(P-P_0)} = \frac{1}{V_m * C} + \frac{C-1}{V_m * C} * \frac{P}{P_0} \quad (6.4)$$

όπου V ο όγκος του αερίου που απορροφάται σε πίεση P και θερμοκρασία στην οποία η τάση ατμών του υγρού αερίου είναι P_0 , και C σταθερά.

Σε ένα διάγραμμα του $P/V(P_0 - P)$ συναρτήσει του P/P_0 η εξίσωση (6.4) είναι μια ευθεία γραμμή που τέμνει τον κατακόρυφο άξονα στο $1/V_m * C$ και έχει κλίση $(C-1)/V_m * C$. Από αυτά υπολογίζουμε τα V_m και C .

Τέλος, η ειδική επιφάνεια S_w υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$S_w = \frac{N \cdot \sigma \cdot V_m}{M_v \cdot W} \quad (6.5)$$

όπου N = ο αριθμός Avogadro

σ = το εμβαδόν επιφάνειας που καταλαμβάνει ένα μόριο απορροφούμενου αερίου
(για το άζωτο $\sigma = 16,2 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$)

V_m = Ο όγκος μονού στρώματος (ml),

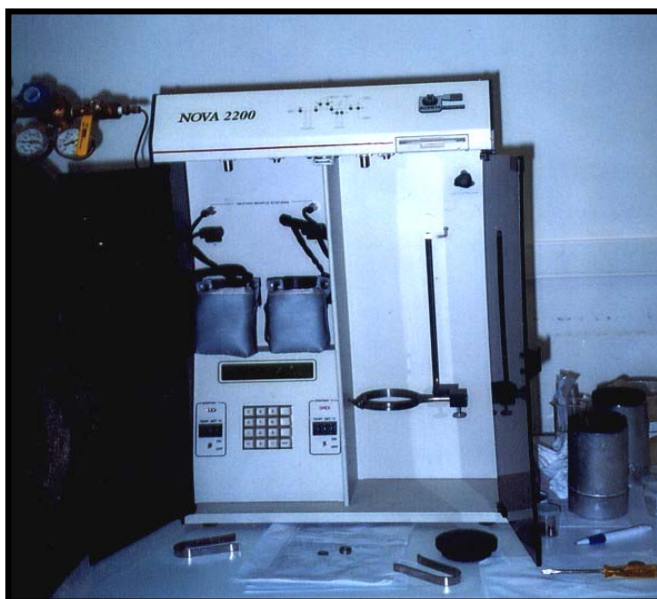
M_v = γραμμομοριακός όγκος = 22,410 ml

W = βάρος δείγματος (gr)

Για την απορρόφηση αζώτου η εξίσωση (6.5) απλοποιείται ως εξής:

$$S_w = 4,35 \cdot V_m / W \quad (6.6)$$

Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της ειδικής επιφάνειας είναι η NOVA 2200 της QUANTACHROME, του Εργαστηρίου Εμπλουτισμού του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, η οποία χρησιμοποιεί αέριο άζωτο ως αέριο προσρόφησης (Εικόνα 6.2).



Εικόνα 6.2 : Συσκευή NOVA2200

Πειραματική Διαδικασία

Ποσότητα δείγματος της τάξεως των mgs ζυγίζεται σε αναλυτικό ζυγό με ακρίβεια 0.1 mg και ξηραίνεται για 10 -12 ώρες στους 100 °C -110 °C. Στη συνέχεια το δείγμα ζυγίζεται, εισάγεται στο κατάλληλο «κελί» και τοποθετείται στη συσκευή^[14].

Πριν πραγματοποιηθεί το πείραμα προσρόφησης, η στερεή επιφάνεια θα πρέπει να απελευθερωθεί από τους διάφορους μολυσματικούς παράγοντες όπως το νερό και τα έλαια. Ο καθαρισμός της επιφάνειας (εξαέρωση) πραγματοποιείται με την τοποθέτηση του δείγματος (στερεό) στο γυάλινο «κελί» και τη θέρμανσή του, υπό κενό ή με ροή αερίου, για χρονικό διάστημα 12 ωρών.

Μόλις το δείγμα καθαριστεί, αποκαθίσταται σε μια σταθερή θερμοκρασία με τη βοήθεια ενός εξωτερικού λουτρού. Κατόπιν, μικρά ποσά αερίου αζώτου (το προσροφούμενο υλικό -adsorbate) εισάγονται βαθμηδόν στον εκκενωθέντα θάλαμο του δείγματος. Τα μόρια του αερίου που προσκολλούνται στην επιφάνεια του στερεού (προσροφητικό υλικό -adsorbent) καλούνται προσροφημένα και τείνουν να σχηματίσουν ένα λεπτό στρώμα που καλύπτει ολόκληρη την προσροφητική επιφάνεια.

Με βάση τη θεωρία των Brunauer, Emmett και Teller (B.E. T.), μπορεί να υπολογιστεί ο αριθμός των μορίων Nm ανά μονάδα βάρους στερεού που απαιτείται για να καλυφθεί η προσροφητική επιφάνεια με ένα μονομοριακό στρώμα (monolayer) προσροφημένων μορίων. Πολλαπλασιάζοντας το Nm με τη διατομή της επιφάνειας ενός μορίου προσροφημένης ουσίας προκύπτει η ειδική επιφάνεια του δείγματος.

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας, αποθηκεύονται τα δεδομένα στο κατάλληλο λογισμικό και απομακρύνεται το κελί από τη συσκευή. Το δείγμα ζυγίζεται και φυλάσσεται σε συνθήκες έλλειψης υγρασίας.

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στο Κεφάλαιο 7.2.4

6.3.5. Προσδιορισμός ασβεστίτη

Ο προσδιορισμός του ασβεστίτη έγινε με ασβεστίμετρο προσδιορισμού αέριου CO_2 με τη μέθοδο Dietrich-Fruhling (Εικόνα 6.3). Το ποσοστό του CO_2 ($\text{CO}_2 \%$) ανάγεται στη συνέχεια σε CaCO_3 . Αυτή η μέθοδος δίνει καλά αποτελέσματα στην περίπτωση που το δείγμα δεν περιέχει ορυκτό το οποίο μπορεί να παράγει αέριο CO_2 με την επίδραση του HCl , όπως π.χ. ο δολομίτης^[5].

Πειραματική Διαδικασία

Αρχικά καταγράφονται οι συνθήκες πίεσης (mm Hg) και θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) του χώρου που γίνεται η μέτρηση. Στη συνέχεια ζυγίζεται βάρος 0,7-1 gr δείγματος και τοποθετείται στη φιάλη του ασβεστίμετρου μαζί με δοκιμαστικό σωλήνα που περιέχει HCl 1:3. Η φιάλη κλείνεται και ανακινείται μέχρι να σταματήσει η αντίδραση. Το εκλυόμενο αέριο κατεβάζει τη στάθμη του χρωματισμένου υγρού (νερό ελαφρά οξιμισμένο με HCl και ερυθρό του μεθυλίου) στο βαθμονομημένο σωλήνα.



Εικόνα 6.3: Ασβεστίμετρο

Αφού εξισορροπηθεί η υδροστατική πίεση, σημειώνεται η ένδειξη σε ml του υγρού στον σωλήνα, καθώς και η πίεση P (σε mmHg) και η θερμοκρασία Θ(σε °C) του χώρου όπου γίνεται η μέτρηση. Στους υπολογισμούς λαμβάνεται υπ' όψιν πρότυπο δείγμα γνωστής περιεκτικότητας σε ασβεστίτη. Κάθε πέντε περίπου δείγματα επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία με το πρότυπο δείγμα γνωστής περιεκτικότητας σε CO₂ (43,56% στη συγκεκριμένη περίπτωση), ώστε να υπολογίσουμε τον συντελεστή διόρθωσης ΣΔ.

Από πίνακα λαμβάνεται η τάση ατμών PH₂O του νερού για τη συγκεκριμένη θερμοκρασία. Ο όγκος VCO₂ του εκλυόμενου διοξειδίου του άνθρακα σε κανονικές συνθήκες δίνεται από τον τύπο :

$$VCO_2^{K\sigma} = [\text{ένδειξη}] * (P - PH_2O) * 273 / (760 * (273 + \Theta)) \quad (6.7)$$

Η περιεκτικότητα Π% επί τις εκατό του προτύπου σε CO₂ είναι :

$$\Pi\% = [\text{ένδειξη}] / [\mu\acute{\alpha}\zeta\alpha] * 0,196 \quad (6.8)$$

όπου 0,196 = M.B. CO₂ / 22400 * 100 = 44 / 22400 * 100

Ο συντελεστής διόρθωσης είναι :

$$\Sigma\Delta = 43,56 / \Pi\% \quad (6.9)$$

Τελικά, το ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα είναι

$$CO_2\% = VCO_2 * 0,196 * \Sigma\Delta / [\mu\acute{\alpha}\zeta\alpha] \quad (6.10)$$

Και δεδομένου ότι σε 1 gr CO₂ αντιστοιχούν 2,273 gr CaCO₃ το ποσοστό του ασβεστίτη είναι :

$$\text{Ασβ. \%} = CO_2\% * 2,273 \quad (6.11)$$

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στο Κεφάλαιο 7.2.5

6.3.6. Φασματοσκοπίας Ακτίνων -X Φθορισμού (XRF)

Το χαρακτηριστικό φάσμα που εκπέμπουν τα στοιχεία όταν τους προσδώσουμε ενέργεια, έχει χρησιμοποιηθεί πριν από πολλά χρόνια για την αναγνώριση τους. Οι μέθοδοι μελέτης του εκπεμπόμενου φάσματος έχουν προοδεύσει σημαντικά σήμερα, αντικαθιστώντας με επιτυχία την κλασσική υγροχημική ανάλυση σε πάρα πολλές εφαρμογές. Η μέθοδος φασματοσκοπίας με ακτίνες X φθορισμού (X-Ray-Fluorescences XRF) ανήκει στις μεθόδους αυτές ^[9].

Τα άτομα των στοιχείων διεγείρονται από ακτίνες X υψηλής ενέργειας και εκπέμπουν δευτερογενή ακτινοβολία (φθορισμός) ακτίνων X, το φάσμα της οποίας αναλύεται και μελετάται. Τα στοιχεία τα οποία μπορούν να μετρηθούν με την μέθοδο XRF ευρίσκονται μεταξύ του Βορίου (B) και του Ουρανίου (U).

Όταν ένα στοιχειώδες σωματίδιο που κατέχει υψηλή ενέργεια (ηλεκτρόνιο, ή φωτόνιο ακτίνων X) προσκρούσει σε ένα ηλεκτρόνιο μίας εσωτερικής στοιβάδας του ατόμου, τότε ένα μέρος της ενέργειας του αρχικού στοιχειώδους σωματιδίου προσλαμβάνεται από το ηλεκτρόνιο με αποτέλεσμα τον εξοστρακισμό του.

Στη θέση αυτή το άτομο παραμένει για πολύ μικρό χρονικό διάστημα της τάξεως 10^{-12} - 10^{-15} sec (ασταθής κατάσταση) και μεταπίπτει σε χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη με πλήρωση της κενής θέσεως με άλλο ηλεκτρόνιο κ.ο.κ. έως ότου επιστρέψει στη θεμελιώδη του κατάσταση. Η δυνατότητα πλήρωσης της δημιουργούμενης κάθε φορά ελεύθερης θέσης παρέχεται σύμφωνα με τους νόμους της κβαντομηχανικής, σε ηλεκτρόνια που ο δεύτερος κβαντικός τους αριθμός (ο αριθμός l), διαφέρει κατά του μετατοπισθέντος. Η διαφορά ενεργειών κατά την μετάβαση ενός ηλεκτρονίου από μία ενεργειακή στάθμη E1 σε μία E2 εκπέμπεται υπό μορφή φωτονίων συγκεκριμένης ενέργειας σύμφωνα με τη σχέση:

$$E2 - E1 = h \cdot \nu \quad (6.12)$$

όπου ν συχνότητα εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και h η σταθερά του Planck.

Επειδή, όπως αναφέρθηκε, τα ηλεκτρόνια που μπορούν να καταλάβουν τη θέση μετατοπισθέντος ηλεκτρονίου είναι περισσότερα του ενός, είναι φανερό ότι η εκπεμπόμενη ακτινοβολία θα αποτελείται από αρκετές γραμμές τις λεγόμενες χαρακτηριστικές, και την συνεχή που οφείλεται στην πέδηση του εισερχόμενου σωματιδίου στον ηλεκτρονικό φλοιό του προς διέγερση ατόμου.

Οι εντάσεις των εκπεμπομένων χαρακτηριστικών γραμμών αποτελούν μέτρο της πιθανότητας της συγκεκριμένης ηλεκτρονιακής μεταβολής. Η σειρά K είναι η πιο ισχυρή με σχέση γραμμών εντός αυτής, $K\gamma : K\beta : K\alpha_1 : K\alpha_2 = 15 : 35 : 100 : 50$ με δεύτερη την L, με σχέση $La_1 : La_2 = 10 : 1$ και με πολύ ασθενέστερες τις υπόλοιπες.

Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται στην ποσοτική ανάλυση σχεδόν αποκλειστικά οι γραμμές $K\alpha_{1,2}$ και La_1 .

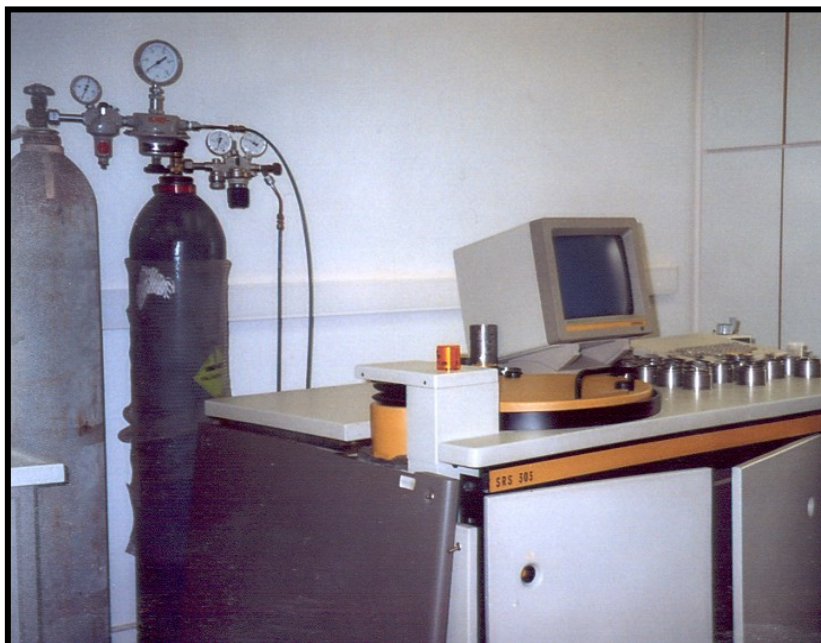
Η σχέση η οποία συνδέει το μήκος κύματος της χαρακτηριστικής γραμμής ενός στοιχείου με τον ατομικό αριθμό είναι γνωστή σαν νόμος του Moseley και είναι :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = K (Z - \sigma) \quad (6.13)$$

όπου K είναι μία σταθερά γνωστή για κάθε δεδομένη σειρά φασματικών γραμμών το σ είναι επίσης σταθερά και το Z είναι ο ατομικός αριθμός του στοιχείου.

Περιγραφή της διάταξης μέτρησης

Οι χημικές αναλύσεις των δειγμάτων έγιναν σε αυτοματοποιημένο Σύστημα Φασματοσκοπίας Ακτίνων -X Φθορισμού τύπου SRS 303 της Siemens του Εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης. Το SRS 303 διαθέτει λυχνία Rh, έχει σύστημα έξι κρυστάλλων, ανιχνευτές ροής αερίου και σπινθηροβολισμού με δυνατότητα μέτρησης στοιχείων με ατομικό αριθμό από 5(B) έως και 92(U). Οι μετρήσεις και διορθώσεις γίνονται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή που είναι συνδεδεμένος με το σύστημα SRS 303 (Εικόνα 6.4).



Εικόνα 6.4 : Σύστημα Φασματοσκοπίας Ακτίνων -X Φθορισμού τύπου SRS 303

Αναλυτικότερα, το σύστημα αποτελείται από τα παρακάτω κύρια μέρη:

- Τη λυχνία παραγωγής της πρωτογενούς ακτινοβολίας X
- Το φίλτρο πρωτογενούς ακτινοβολίας
- Τον ευθυγραμμιστή
- Τον αναλυτή κρύσταλλο
- Τον ανιχνευτή
- Το ηλεκτρονικό σύστημα μέτρησης και καταγραφής

Η πρωτογενής ακτινοβολία X προσπίπτει στο δείγμα το οποίο στη συνέχεια λόγω διέγερσης εκπέμπει την ακτινοβολία φθορισμού- X. Η δέσμη των ακτίνων X φθορισμού διέρχεται από τον ευθυγραμμιστή για να γίνει παράλληλη και προσπίπτει στον αναλυτή κρύσταλλο όπου και περιθλάται. Η περιθλώμενη ακτινοβολία μετριέται από τον ανιχνευτή που είναι τοποθετημένος σε κατάλληλη γωνία 2θ και καταγράφει την ένταση της συγκεκριμένης ακτινοβολίας.

Λυχνία παραγωγής πρωτογενούς ακτινοβολίας (X-Ray tube)

Τα στοιχεία τα οποία έχουν μεγάλη σημασία κατά την εκλογή μιας λυχνίας είναι:

- Το στοιχείο της αντικαθόδου και η καθαρότητα του (συνήθως Mo, W, Pt, Rh, Cr)
- Το πάχος του παραθύρου (συνήθως από Be)
- Η ισχύς της λυχνίας

Φίλτρο πρωτογενούς ακτινοβολίας (Primary beam filter)

Αποτελείται από ένα έλασμα Al 0,2 mm ή 0,9 mm ή από Cu 0,2mm και χρησιμοποιείται για να βελτιστοποιήσει το λόγο των εντάσεων της χαρακτηριστικής γραμμής προς το θόρυβο (1 peak/1 background ratio)

Ο ευθυγραμμιστής (Collimator)

Αποτελείται από μία σειρά παράλληλων μεταλλικών ελασμάτων σε απόσταση 0,13mm (λεπτομερής ευθυγραμμιστής) έως 1.3mm (αδρομερής ευθυγραμμιστής) που έχει σκοπό να καταστήσει την εκπεμπόμενη από το δείγμα ακτινοβολία παράλληλη (γωνιακή απόκλιση από 0.070 έως 0.17 .

Η διαδικασία παρασκευής ενός δείγματος, προκειμένου για ανάλυση, είναι θραύση του δείγματος, λειοτρίβηση του δείγματος σε κοκκομετρία <60μm σε αχάτη, ζύγιση 5 gr λειοτριβημένου δείγματος και ανάμιξή του με 0.5gr ειδικού κεριού. Στη συνέχεια κατασκευάζεται ανθεκτικός δειγματοφορέας διαμέτρου 30mm με επικάλυψη βορικού οξέος με τη βοήθεια ειδικής μήτρας σε πρέσσα σε πίεση 150 Atm. Για την κατασκευή των προτύπων καμπύλων μετρήσεων των στοιχείων χρησιμοποιήθηκαν τα standards του USGS του B.S.I. και του N.B.S.

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στο Κεφάλαιο 7.2.6

6.3.7. Προσδιορισμός άμορφου πυριτίου

Ο προσδιορισμός του άμορφου (μη κρυσταλλικού) ή δραστικού πυριτίου των ποζολανικών υλικών έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς το άμορφο πυρίτιο είναι αυτό που αντιδρά με τον ασβέστη των κονιαμάτων. Όσο περισσότερο άμορφο πυρίτιο περιέχεται στα ποζολανικά υλικά τόσο καλύτερες ιδιότητες έχουν τελικά τα κονιάματα. Ο ακριβής προσδιορισμός, όμως, του μη κρυσταλλικού πυριτίου είναι αρκετά δύσκολος. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήσαμε τρεις μεθοδολογίες μέτρησης.

Στην πρώτη μεθοδολογία, υπολογίσαμε το ποσοστό του άμορφου πυριτίου ως τη διαφορά του αρχικού βάρους του υλικού και του τελικού βάρους που προέκυψε έπειτα από διαλυτοποίηση του υλικού με NaOH. Με τη δεύτερη μεθοδολογία διαλυτοποιήσαμε το υλικό με υδροξείδιο του Na και προσδιορίσαμε το ποσό του άμορφου πυριτίου με τη μέθοδο της Φασματομετρίας ατομικής απορρόφησης. Τέλος, προσδιορίσαμε ποσοτικά το άμορφο πυρίτιο με τη μέθοδο της Περιθλασιμετρίας ακτίνων -X.

6.3.7.1. Προσδιορισμός άμορφου Si με διαφορά βαρών

Κατά την διαδικασία αυτή προσδιορίζονται τα άμορφα πυριτικά συστατικά μετά από διαλυτοποίηση με υδατικό διάλυμα NaOH. Προσδιορίζεται, δηλαδή, το ολικό στερεό υπόλειμμα αδιάλυτο σε πυκνό NaOH. Το μεγαλύτερο μέρος των πυριτικών συστατικών καταλήγει στην καθαρή μορφή SiO₂. Λέμε "το μεγαλύτερο μέρος" και όχι όλο, γιατί παρά τις συνεχείς επιδράσεις με πυκνό καυστικό νάτριο και παρά τη μεγάλη θερμοκρασία, ένα μέρος των αδιάλυτων πυριτικών συστατικών πιθανώς να χάσει απλώς τα κρυσταλλικά νερά και τα υδροξυλίά του, χωρίς να διασπαστεί και να μετατραπεί σε SiO₂. (π.χ. μοσχοβίτης, καολίνη).

Ζυγίζονται 15 gr δείγματος σε δοχείο ζέστης και στη συνέχεια προσθέτουμε 150 ml πυκνό NaOH (5 N). Στο δοχείο τοποθετούμε μεταλλικό αναδευτήρα και ακολουθεί θέρμανση μέχρι βρασμού για μία ώρα περίπου.

Διηθούμε, εκπλένοντας το δοχείο και το φίλτρο με NaOH. Το φίλτρο ξηραίνεται στο φούρνο και, αφού κρυώσει μέσα στον αφυγραντήρα, ζυγίζεται.

Το βάρος του υπολείμματος αφαιρείται από το βάρος αρχικής ουσίας. Η διαφορά του βάρους αντιστοιχεί προσεγγιστικά στο ποσό των αδιάλυτων αργιλοπυριτικών συστατικών, όπως δείχνει η παρακάτω σχέση:

$$\text{Αδιάλυτα Πυριτικά (Α.Π.\%)} = \frac{\text{Α.Β.} - \text{Β.Υ.}}{\text{Α.Β.}} * 100 \quad (6.14)$$

όπου

Β.Υ. : Βάρος υπολείμματος μετά την θέρμανση (gr)

Α.Β. : Αρχικό Βάρος (gr)

Το ποσοστό των ευδιάλυτων πυριτικών συστατικών (που αντιστοιχούν στα μη κρυσταλλικά πυριτικά συστατικά), προκύπτει εάν αφαιρέσουμε το ποσοστό των αδιάλυτων πυριτικών συστατικών από το ποσοστό του ολικού πυριτίου που έχουμε ήδη υπολογίσει με τη μέθοδο φασματοσκοπίας με ακτίνες X φθορισμού (X-Ray-Fluoresces XRF) :

$$\text{Ευδιάλυτα Πυριτικά (Ε.Π.\%)} = \text{ΟΛΙΚΟ ΠΥΡΙΤΙΟ \%} - \text{Α.Π.\%} \quad (6.15)$$

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στο Κεφάλαιο 7.2.7.1.

6.3.7.2. Προσδιορισμός άμορφου Si με Φασματομετρία ατομικής απορρόφησης

Κατά την διαδικασία αυτή προσδιορίζονται τα πυριτικά συστατικά, μετά από διαλυτοποίηση του υλικού με υδροξείδιο του Na, με τη μέθοδο της Φασματομετρίας ατομικής απορρόφησης.

Ζυγίζονται 0.1 gr ουσίας που μεταφέρονται σε δοχείο από νικέλιο. Προσθέτουμε 100 ml αραιό NaOH (0.5 N) και αμέσως ακολουθεί θέρμανση μέχρι βρασμού. Ο βρασμός διαρκεί 2.5 min (ο συνολικός χρόνος θέρμανσης είναι 5min). Το δοχείο ψύχεται μέσα σε λεκάνη με παγωμένο νερό. Το διάλυμα διηθείται και αμέσως προσδιορίζεται το ευδιάλυτο πυρίτιο με τη μέθοδο της Φασματομετρίας ατομικής απορρόφησης. Τα πρότυπα διαλύματα έχουν συγκεντρώσεις Si 10ppm, 30ppm, 50ppm. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία και δεύτερη φορά και σαν τελική τιμή θεωρούμε τον μέσο όρο των δύο μετρήσεων.

Φασματομετρία ατομικής απορρόφησης

Η φασματομετρία ατομικής απορρόφησης ανήκει στις οπτικές μεθόδους ενόργανης ανάλυσης. Η ιδιότητα που μετράται είναι η απορροφούμενη ακτινοβολία από τα ελεύθερα και στη θεμελιώδη κατάσταση ευρισκόμενα άτομα του υπό προσδιορισμό στοιχείου. Η μέθοδος θεμελιώθηκε το 1955 και χρησιμοποιείται ευρέως στον ποσοτικό προσδιορισμό πολλών μεταλλοϊόντων [7].



Εικόνα 6.5 : Διάταξη οργάνων Φασματομετρίας ατομικής απορρόφησης

Κατά τον προσδιορισμό με φασματομετρία ατομικής απορρόφησης πραγματοποιούνται δυο διαδικασίες. Αρχικά ατομοποιείται το υπό εξέταση στοιχείο και ακολουθεί διέγερση των παραγόμενων ατόμων. Η διέγερση επιτυγχάνεται με απορρόφηση ακτινοβολίας συγκεκριμένου μήκους κύματος, που αντιστοιχεί στην απαιτούμενη ενέργεια για μια ηλεκτρονική μετάπτωση από την θεμελιώδη κατάσταση σε μια διεγερμένη. Όταν ακτινοβολία αυτού του μήκους κύματος διέλθει μέσα από τα άτομα του μεταλλοϊόντος, μέρος της απορροφάται, ενώ τα άτομα διεγείρονται.

Η παρατηρούμενη απορρόφηση είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του μεταλλοϊόντος και ακολουθεί τον νόμο των Lambert-Beer :

$$A = \log P_0/P = -\log T = \epsilon bc$$

όπου:

A= απορρόφηση

P₀= ισχύς της προσπίπτουσας ακτινοβολίας

P= ισχύς της εξερχόμενης ακτινοβολίας

T= διαπερατότητα

b= απόσταση μέσα στο διάλυμα που διανύει η δέσμη της ακτινοβολίας

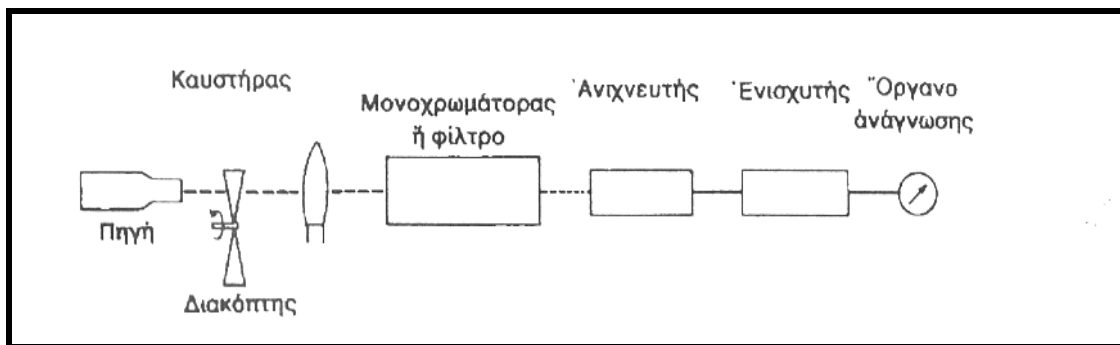
ε= μοριακή απορροφητικότητα (σταθερά αναλογίας)

c= συγκέντρωση

Το στάδιο της ατομοποίησης είναι το σημαντικότερο και η διαδικασία που ακολουθείται έχει δραστικές επιδράσεις στην ακρίβεια και την ευαισθησία της μεθόδου. Ανάλογα με το μέσο ατομοποίησης, η μέθοδος διακρίνεται σε τέσσερις κατηγορίες: Την φασματομετρία ατομικής απορρόφησης με φλόγα (ΦΑΑΦ) κατά την οποία η ατομοποίηση γίνεται με φλόγα, την ηλεκτροθερμική φασματομετρία ατομικής απορρόφησης (ΗΦΑΑ) στην οποία χρησιμοποιείται ειδικός κλίβανος από γραφίτη που θερμαίνεται ηλεκτρικά, την φασματομετρία ατομικής απορρόφησης υδριδίων (ΦΑΑΥ) στην οποία αρχικά τα ιόντα του μετάλλου ανάγονται προς πτητικά υδρίδια, τα οποία μεταφέρονται στο χώρο θέρμανσης διασπώνται και μετράται η παρατηρούμενη απορρόφηση και τέλος την τεχνική της φασματομετρίας ατομικής απορρόφησης ψυχρών

ατμών, που εφαρμόζεται στον προσδιορισμό του Hg και στηρίζεται στην αναγωγή των ιόντων προς το μέταλλο, που στην θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι πτητικό και μεταφέρεται στο χώρο, όπου μετράται η παρατηρούμενη απορρόφηση.

Για τα συγκεκριμένα πειράματα χρησιμοποιήσαμε την φασματομετρία ατομικής απορρόφησης με φλόγα.



Εικόνα 6.6: Σχηματικό διάγραμμα συστήματος φασματομετρίας ατομικής απορρόφησης

Οι δυο τελευταίες τεχνικές παρέχουν την δυνατότητα προσδιορισμού Hg και στοιχείων, που σχηματίζουν υδρίδια με πολύ καλή ευαισθησία, οι δυο πρώτες όμως είναι εκείνες που χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερη κλίμακα. Η ΦΑΑΦ χρησιμοποιήθηκε πάρα πολύ στις δεκαετίες του 60 και 70 και παρά το ότι σήμερα έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι που παρέχουν χαμηλότερα όρια ανίχνευσης για πολλά στοιχεία, χρησιμοποιείται ευρύτατα για προσδιορισμούς ρουτίνας. Η ΗΦΑΑ χρησιμοποιείται επίσης ευρύτατα και παρέχει τα χαμηλότερα γνωστά όρια ανίχνευσης για ένα μεγάλο αριθμό στοιχείων

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στο Κεφάλαιο 7.2.7.2.

6.3.7.3. Προσδιορισμός άμορφου Si με Περιθλασιμετρία ακτίνων -X

Η ορυκτολογική ανάλυση με τη μέθοδο του περιθλασιμέτρου ακτίνων -X (X-Ray Diffraction analysis) θα περιγραφεί αναλυτικά παρακάτω (Κεφάλαιο 6.4.1.). Εδώ, θα γίνει αναφορά στον ποσοτικό προσδιορισμό του άμορφου πυριτίου των δειγμάτων με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων -X.

Μεθοδολογία της ποσοτική ανάλυση με Περιθλασιμετρία ακτίνων –X

Για τον ποσοτικό προσδιορισμό του άμορφου πυριτίου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος RIETVIELD. Σαν φάση αναφοράς (standard) χρησιμοποιήθηκε μεταλλικό πυρίτιο^[11].

Εάν το δείγμα περιέχει η κρυσταλλικές φάσεις και μια άμορφη φάση (x) που είναι συγκεκριμένα το μεταλλικό πυρίτιο, τότε υπολογίζοντας τις περιεκτικότητες με το περιθλασίμετρο και κανονικοποιώντας στο 100% ισχύει ότι συνολικά (κατά βάρος) :

$$n = 100\%$$

Στην πραγματικότητα, όμως, με το περιθλασίμετρο μετρήθηκε όλο το δείγμα, δηλαδή :

$$n + x = 100\%$$

Προσθέτοντας την φάση αναφοράς (μεταλλικό πυρίτιο) στο δείγμα σε γνωστή περιεκτικότητα, που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι 20% κατα βάρος, και μετρώντας πάλι με το περιθλασίμετρο, θα ισχύει ότι :

$$n + \text{standard} = 100\%$$

Υπολογίζοντας με τη μεθοδο RIETVIELD, την ακριβή περιεκτικότητα του standard, τότε:

- ο Εάν η περιεκτικότητα του standard είναι πάλι 20%, τότε δεν υπάρχει άμορφη φάση.
- ο Εάν η περιεκτικότητα του standard είναι μεγαλύτερη του 20%, τότε υπάρχει άμορφη φάση.

Η % περιεκτικότητα του άμορφου πυριτίου υπολογίζεται από τη διαφορά της κρυσταλλικής φάσης από το συνολικό δείγμα (χωρίς το standard), με αναγωγή στο 100%.

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στο Κεφάλαιο 7.2.7.3.

6.4. Ορυκτολογικές αναλύσεις

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται οι μεθοδολογίες των ορυκτολογικών αναλύσεων. Αρχικά, αναλύθηκαν ορυκτολογικά με το περιθλασίμετρο ακτίνων -X όλες οι πρώτες ύλες. Στα τρία μικροσκόπια (ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, πολωτικό μικροσκόπιο, στερεοσκόπιο) μελετήθηκαν τα ποζολανικά υλικά, που παρουσίαζαν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

6.4.1. Περιθλασιμετρία ακτίνων -X (XRD)

Η ποιοτική ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων έγινε με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων -X (X-Ray Diffraction analysis). Με τη μέθοδο του περιθλασιμέτρου ακτίνων -X είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση τόσο των γωνιών όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων -X που προσπίπτουν πάνω στα πλεγματικά επίπεδα των κρυστάλλων των διαφόρων ορυκτών. Τα αποτελέσματα της περίθλασης των ακτίνων -X μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της δομής των κρυσταλλικών ουσιών [8].

Χρησιμοποιήθηκε αυτόματο περιθλασίμετρο ακτίνων -X τύπου D-500, Siemens (Εικόνα 6.7), του εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης, που συνδέεται με μονάδα ηλεκτρονικού υπολογιστή τύπου IBM με τη βοήθεια του οποίου γίνεται η όλη διαδικασία επεξεργασίας των αποτελεσμάτων καθώς επίσης και η αξιολόγησή των.

Βασικές μονάδες περιθλασιμέτρου ακτίνων- X

- Μονάδα παραγωγής υψηλής τάσης.
- Λυχνία ακτίνων -X.
- Γωνιόμετρο
- Απαριθμητής ακτίνων -X
- Ηλεκτρική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής κρούσεων
- Μικροϋπολογιστής καθοδήγησης του συστήματος και αξιολόγησης δεδομένων



Εικόνα 6.7: Περιθλασίμετρο ακτίνων -X τύπου D-500

Οι προσπίπτουσες ακτίνες- X διαπερνούν έναν μεγάλο αριθμό πλεγματικών επιπέδων, οπότε λαμβάνεται ένας αριθμός πολλών και παράλληλων ανακλώμενων ακτίνων. Η απόσταση μεταξύ των ανακλώμενων αυτών ακτίνων είναι ανάλογη της απόστασης d μεταξύ των πλεγματικών επιπέδων του κρυστάλλου και της γωνίας ανάκλασης θ . Αν λ είναι το μήκος κύματος των ακτίνων-X, τότε για κάθε ορυκτό ισχύει η εξίσωση του Bragg.

$$\lambda = 2 \cdot d \cdot \eta\mu\theta$$

όπου:

λ : μήκος κύματος,

θ : ανάκλασης,

d : πλεγματική απόσταση των επιπέδων ανάκλασης του κρυστάλλου.

Το περιθλασίμετρο XRD καταγράφει υπό μορφή ακτινογραφήματος την ένταση των ανακλώμενων ακτίνων για κάθε συγκεκριμένη γωνία και για ορισμένο φάσμα γωνιών.

Προκειμένου να ανιχνευθεί ένα ορυκτό από το XRD πρέπει να περιέχεται στο δείγμα σε ποσοστό 2% ή και μεγαλύτερο. Σε περίπτωση που έχουμε αργιλικοπυριτικά ορυκτά στο δείγμα, αυτά δεν ανιχνεύονται εύκολα με το περιθλασίμετρο, καθώς είναι άμορφα στο μεγαλύτερο ποσοστό και παρουσιάζονται στα ακτινογραφήματα σαν θόρυβος.

Οι συνθήκες μετρήσεων ήταν: ακτινοβολία Cu - $K\alpha_{1-2}$, $\lambda=1,5418$ Å, μονοχρωμάτορας γραφίτη, τάση 35 kV, ένταση 40 mA.

Η ποιοτική αξιολόγηση των δειγμάτων έγινε με τη βοήθεια των δεδομένων J.C.P.D.S. (Joint Committee of Powder Diffraction Standards). Για την εξέταση των δειγμάτων με το περιθλασίμετρο ακτίνων -X χρησιμοποιήθηκαν πλαστικοί δειγματοφορείς οι οποίοι πληρώθηκαν με σκόνη των δειγμάτων, έτσι ώστε να προκύψουν παρασκευάσματα με τους κόκκους τους όσο το δυνατό μη προσανατολισμένους.

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στο Κεφάλαιο 7.3.1.

6.4.2. Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM)

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Scanning Electron Microscope) επιτρέπει την παρατήρηση της επιφάνειας στερεών με υψηλή ευκρίνεια και σε συγκεκριμένα σημεία εστίασης, εξαιτίας της μεγάλης δυνατότητας του μηχανήματος ανακάλυψης των λεπτομερειών μετά από μεγέθυνση της εικόνας. Σε συνδυασμό με το φασματοφωτόμετρο EDS / WDS παρέχει στοιχειακή ανάλυση της εξεταζόμενης περιοχής σε βάθος (depth profiles).

Εάν το SEM είναι συνδεδεμένο με μικροαναλυτή, μπορεί να δώσει στοιχειακή μικροανάλυση των συστατικών στο σημείο εστίασης. Για την δημιουργία της εικόνας, δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας (1-50 KeV) εστιάζεται στο δείγμα με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητικών φακών. Ειδικά συστήματα επιτρέπουν την κίνηση της δέσμης αλλά και του δείγματος. Ο βομβαρδισμός με ηλεκτρόνια προκαλεί, εκτός από άλλα φαινόμενα, την διέγερση των ατόμων στη περιοχή εστίασης και την επακόλουθη εκπομπή δευτερογενών ηλεκτρονίων χαμηλής ενέργειας και ακτίνων-X που είναι χαρακτηριστικές για κάθε στοιχείο.

Ένα φασματοφωτόμετρο αναλύει την ένταση και το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, επιτρέποντας την στοιχειακή ανάλυση στο εξεταζόμενο τμήμα. Τα δευτερογενή ηλεκτρόνια ενισχύονται και χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία εικόνας με τρόπο παρόμοιο με τις τηλεοράσεις. Η παρατήρηση της μορφής των κρυστάλλων μπορεί να δώσει πολύτιμες πληροφορίες για την ταυτοποίηση των ορυκτών ιδιαίτερα των δευτερογενών ή και αυτών που υπάρχουν σε πολύ μικρή ποσότητα.

Η μελέτη για τα ποζολανικά υλικά έγινε στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο του Εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.

Οι φωτογραφίες από τη μελέτη των δειγμάτων παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 7.3.2.

6.4.3. Πολωτική μικροσκοπία

Το πολωτικό μικροσκόπιο είναι ένα από τα σημαντικότερα όργανα προσδιορισμού και μελέτης των ορυκτών και των πετρωμάτων. Παρασκευάστηκαν λεπτές τομές από τα ποζολανικά υλικά, που εξετάστηκαν στο ερευνητικό ανθρακοπετρογραφικό και πολωτικό μικροσκόπιο του Εργαστηρίου Ανόργανης, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η κατασκευή των λεπτών τομών έγινε στο Παρασκευαστήριο δειγμάτων SEM του Εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

6.4.4. Στερεοσκόπιο

Στο στερεοσκόπιο του Εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης μελετήθηκαν στιλπνές τομές από τα ποζολανικά υλικά.

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

7.1. Κοκκομετρικές αναλύσεις

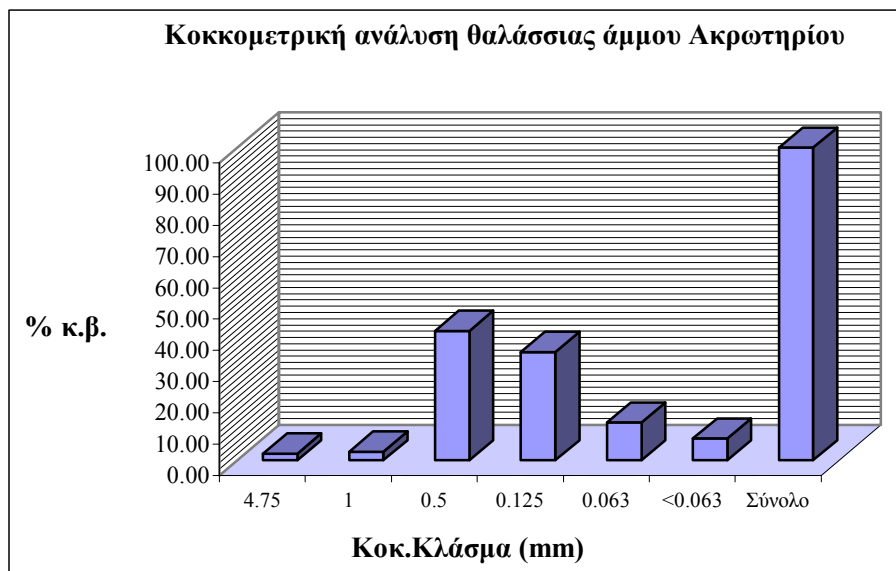
Στο Κεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης των αδρανών υλικών (**θαλάσσιας άμμου Ακρωτηρίου και άμμου λατομείου**), που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των κονιαμάτων, σε πίνακες και διαγράμματα που παρουσιάζουν την επί τοις % κατά βάρος συμμετοχή κάθε κλάσματος στο ολικό δείγμα και την κοκκομετρική διαβάθμιση.

Επίσης, αναλύθηκε η κοκκομετρία μιας τρίτης άμμου, της **άμμου Επιδαύρου** που είναι χαλαζιακή άμμος. Από την άμμο αυτή χρησιμοποιήθηκαν ορισμένα κλάσματα για να συμπληρωθούν οι κοκκομετρίες των αδρανών (θαλάσσιας άμμου Ακρωτηρίου και άμμου λατομείου), έτσι ώστε τα αδρανή να αποκτήσουν κοκκομετρική διαβάθμιση **πρότυπης χαλαζιακής άμμου Normesand με τυποποιημένη κοκκομετρική διαβάθμιση** για να προσαρμοστούν στις προδιαγραφές DIN 51043. Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης της άμμου Επιδαύρου, καθώς επίσης και της πρότυπης άμμου παρατίθενται επίσης παρακάτω.

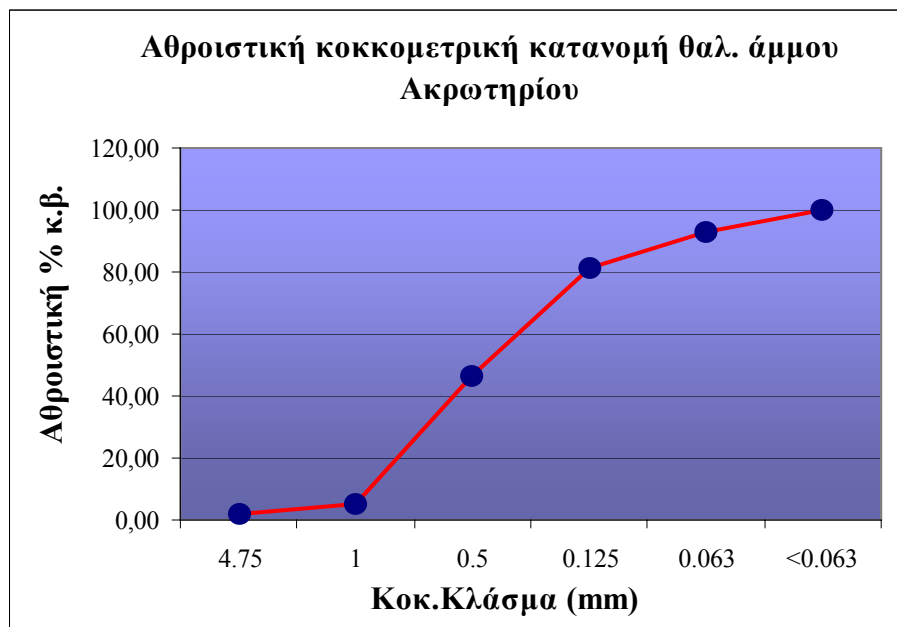
Πραγματοποιήθηκε κοσκίνιση σε δονητή κοσκίνων, χρονικής διάρκειας 7 min. Το μέγεθος των κόκκων προσδιορίστηκε με πρότυπα κόσκινα που έχουν καθορισμένες διαμέτρους οπών. Τα δείγματα που μελετήθηκαν διαχωρίστηκαν με τη χρήση Αμερικάνικων πρότυπων κοσκίνων (ASTM) στα κλάσματα με διάμετρο κόκκων +4.75 mm, +1.00 mm, + 500 μm , +125 μm , +63 μm και -63 μm .

Κοκ. Κλάσμα (mm)	Βάρος (gr)	% κ.β.	Αθροιστική % κ.β.
0.710	2,1	2,11	2,11
0.355	2,8	2,82	4,93
0.180	41,2	41,45	46,38
0.125	34,4	34,61	80,99
0.090	12	12,07	93,06
<0.090	6,9	6,94	100,00
Σύνολο	99,4	100	

Πίνακας 7.1.1 : Κοκκομετρική ανάλυση θαλάσσιας άμμου Ακρωτηρίου σε αρχικό βάρος (μέρος του όλου) δείγματος ίσο με 98,5gr



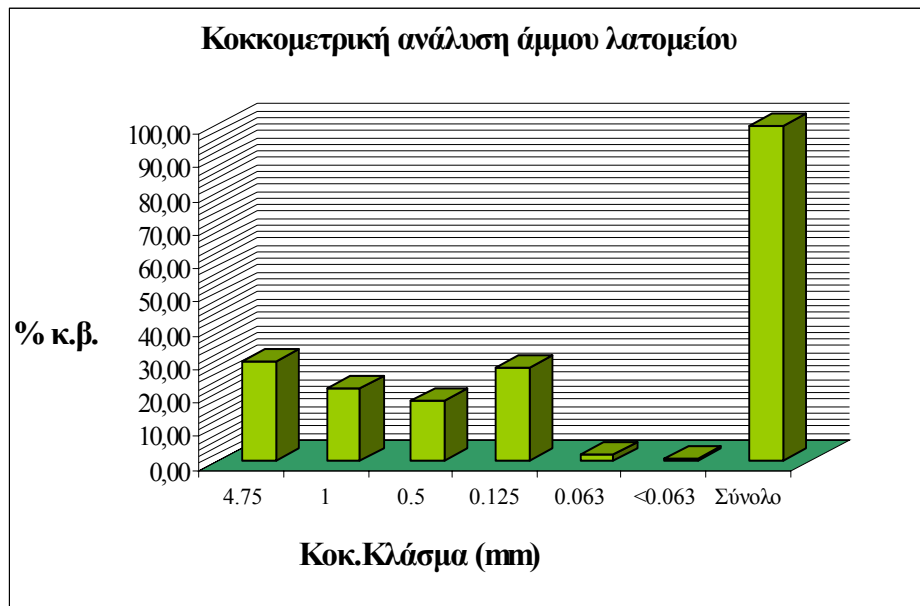
Διάγραμμα 7.1.1 : Κοκκομετρική ανάλυση θαλάσσιας άμμου Ακρωτηρίου



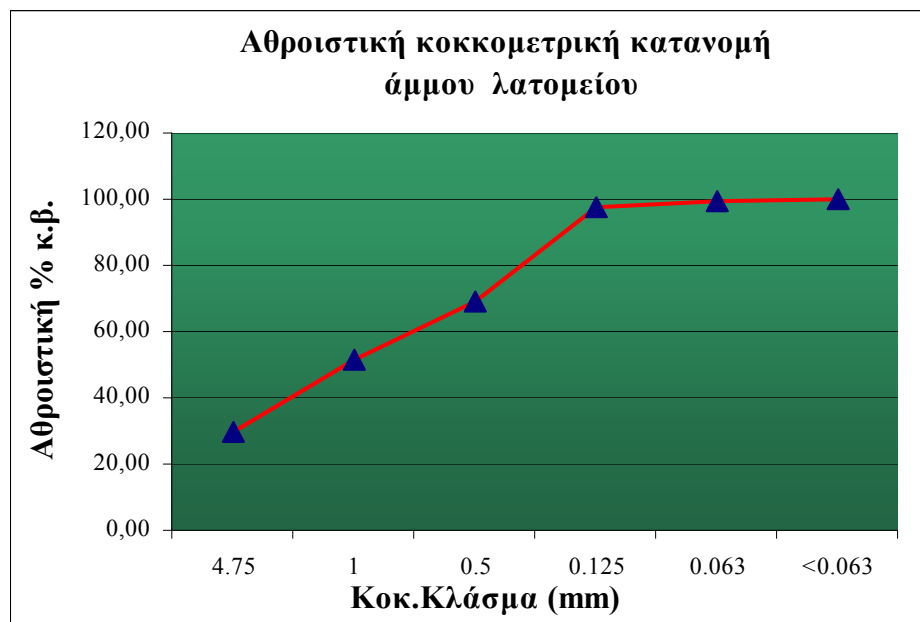
Διάγραμμα 7.1.2 : Αθροιστική κοκκομετρική ανάλυση θαλάσσιας άμμου Ακρωτηρίου

Κοκ. Κλάσμα (mm)	Βάρος (gr)	% κ.β.	Αθροιστική % κ.β.
4.75	29,1	29,66	29,66
1	21,4	21,81	51,48
0.5	17,5	17,84	69,32
0.125	27,5	28,03	97,35
0.063	2	2,04	99,39
<0.063	0,6	0,61	100,00
Σύνολο	98,1	100	

Πίνακας 7.1.2 : Κοκκομετρική ανάλυση άμμου λατομείου σε αρχικό βάρος (μέρος του όλου) δείγματος ίσο με 98,1gr



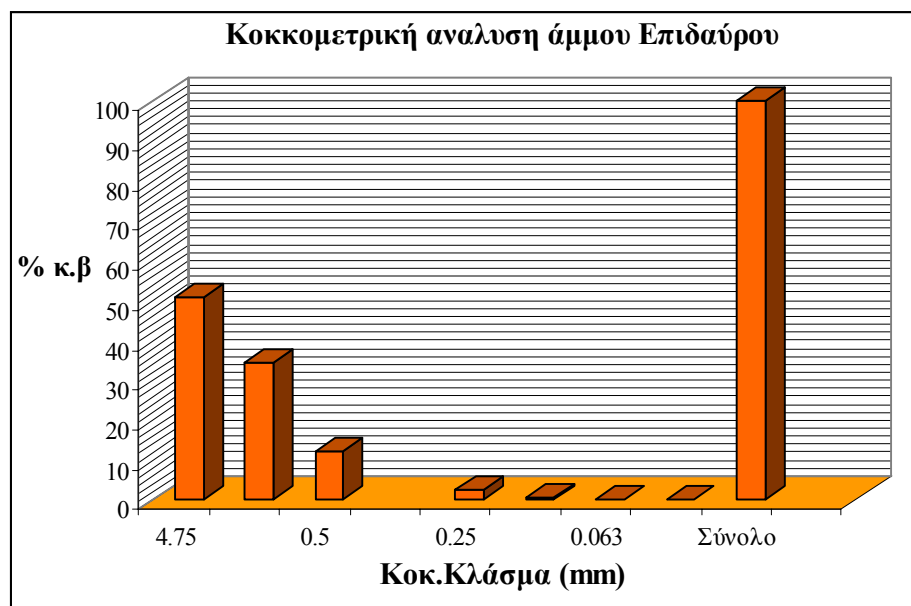
Διάγραμμα 7.1.3 : Κοκκομετρική ανάλυση άμμου λατομείου



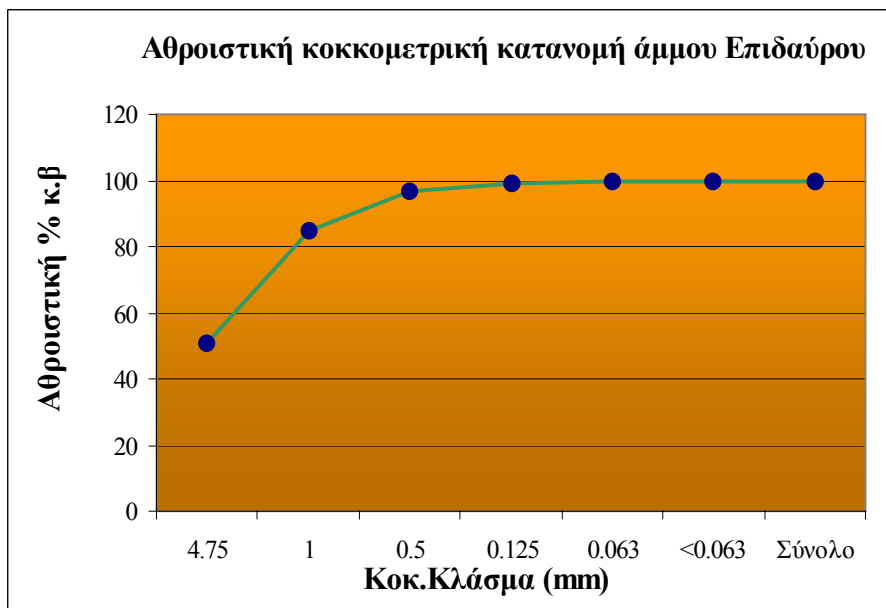
Διάγραμμα 7.1.4 : Αθροιστική κοκκομετρική ανάλυση άμμου λατομείου

Κοκ. Κλάσμα (mm)	Βάρος (gr)	% κ.β.	Αθροιστική % κ.β.
4.75	507,3	50,73	50,73
1	342,1	34,21	84,94
0.5	119,8	11,98	96,92
0.25	23,9	2,39	99,31
0.125	3,6	0,36	99,67
0.063	0,7	0,07	99,74
<0.063	2,5	0,25	100
Σύνολο	1000	100	

Πίνακας 7.1.3 : Κοκκομετρική ανάλυση άμμου **Επιδαύρου** σε αρχικό βάρος (μέρος του όλου) δείγματος ίσο με 1000gr.



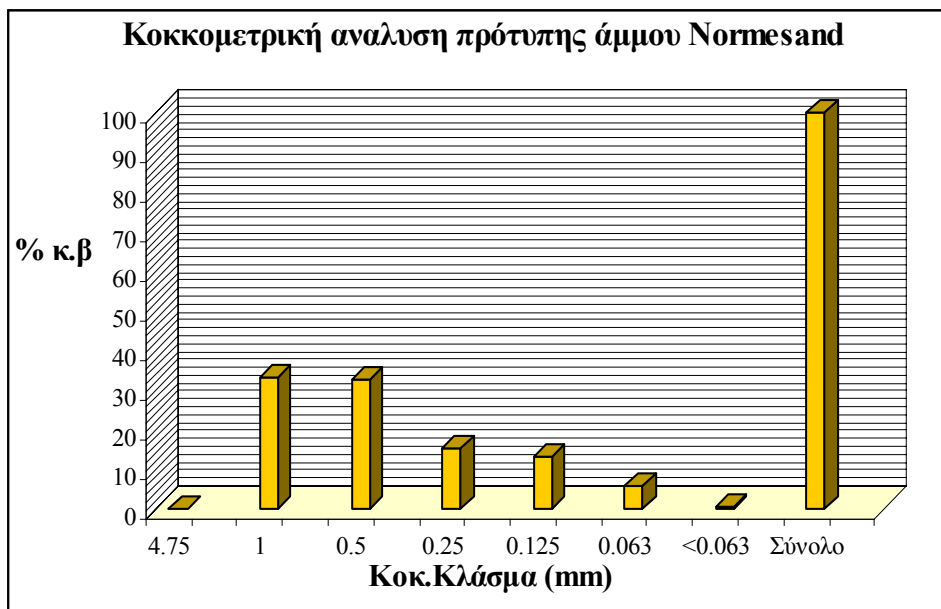
Διάγραμμα 7.1.5 : Κοκκομετρική ανάλυση άμμου **Επιδαύρου**



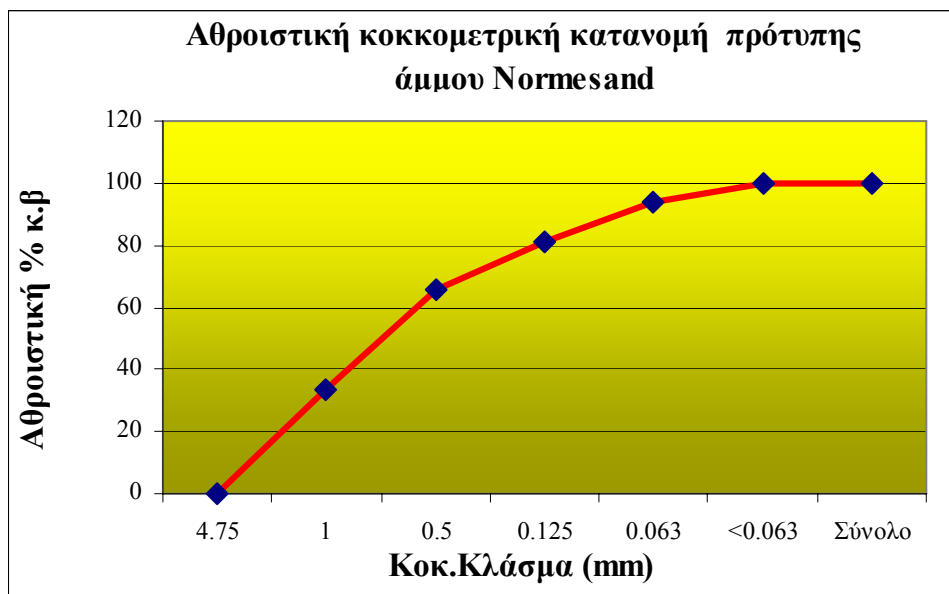
Διάγραμμα 7.1.6 : Αθροιστική κοκκομετρική ανάλυση άμμου Επιδαύρου

Κοκ. Κλάσμα (mm)	Βάρος (gr)	% κ.β.	Αθροιστική % κ.β.
4.75	0	0,00	0,00
1	488,6	33,20	33,20
0.5	442	32,70	65,90
0.25	204	15,10	81,00
0.125	176,6	13,10	94,10
0.063	74,4	5,50	99,60
<0.063	3,8	0,30	100,00
Σύνολο	1389,4	100	

Πίνακας 7.1.4 : Κοκκομετρική ανάλυση πρότυπης χαλαζιακής άμμου Normesand με τυποποιημένη κοκκομετρική διαβάθμιση σε αρχικό βάρος (μέρος του όλου) δείγματος ίσο με 1389,4gr



Διάγραμμα 7.1.7 : Κοκκομετρική ανάλυση πρότυπης χαλαζιακής άμμου Normesand



Διάγραμμα 7.1.8 : Αθροιστική κοκκομετρική ανάλυση πρότυπης χαλαζιακής άμμου Normesand

7.2. Χημικές αναλύσεις

7.2.1. Προσδιορισμός υγρασίας - ξήρανση

Ο προσδιορισμός της υγρασίας του υλικού πραγματοποιείται με την ξήρανση δείγματος και τον προσδιορισμό της διαφοράς βάρους του αρχικού υλικού από το τελικό (που έχει ξηρανθεί). Ζυγίζονται τουλάχιστον 3-5 gr δείγματος σε ύαλο ωρολογίου και θερμαίνονται στους 50 -55 °C για 48h. Μετρήθηκε η υγρασία στα ποζολανικά υλικά και στην υδράσβεστο.

ΔΕΙΓΜΑ	Βάρος ύαλου (gr)	Βάρος δείγματος (gr)	Βάρος τελικό (δείγμα+ύαλος) (gr)	Βάρος νερού (gr)	Ποσοστό υγρασίας %
ΑΣΒ	21	4,9	23,1	2,8	57,14
Π1	39,6	10	49,5	0,1	1
Π2	39,4	10	49	0,4	4
Δ1	39,1	5	43,8	0,3	6

Πίνακας 7.2.1 : Ποσοστό υγρασίας στα ποζολανικά υλικά και στην υδράσβεστο

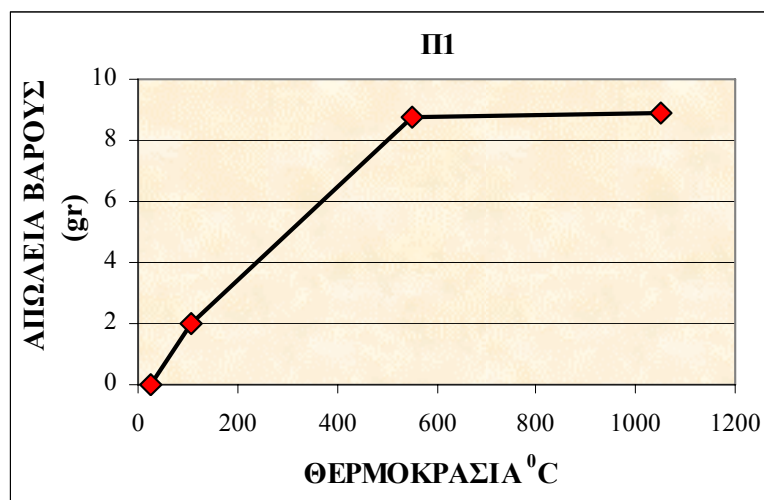
7.2.2 Προσδιορισμός απώλειας πύρωσης

Κατά την απώλεια πύρωσης προσδιορίζεται το ποσοστό του CO₂ που εκλύεται κατά τη διάρκεια της πύρωσης, των κρυσταλλικών νερών και των υδροξυλίων των ενώσεων, και των οργανικών ουσιών. Ζυγίζεται περίπου 1 gr υλικού σε χωνευτήριο και πυρώνεται σε ένα εύρος θερμοκρασιών αρχικά από 105 έως 550 °C για 12h και έπειτα από 550 έως 1050 °C για άλλες 12h.

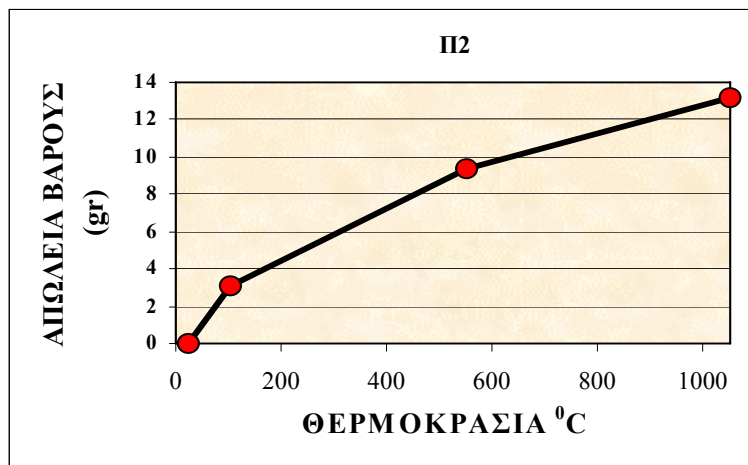
	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΩΛΕΙΑΣ %	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΩΛΕΙΑΣ %	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΩΛΕΙΑΣ %	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΩΛΕΙΑΣ %
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	25°C - 105°C	105°C - 550°C	550°C - 1050°C	25°C - 1050°C
ΔΕΙΓΜΑ				
Π1	2,02	6,733	0,143	8,896
Π2	3,125	6,247	3,808	13,18
Δ1	0	13,232	0,754	13,986
ΧΑ	2	11,241	2,193	15,434
ΛΑ	1,6	6,249	37,37	45,219

Πίνακας 7.2.2 : Προσδιορισμός απώλειας πύρωσης στα ποζολανικά και στα αδρανή υλικά

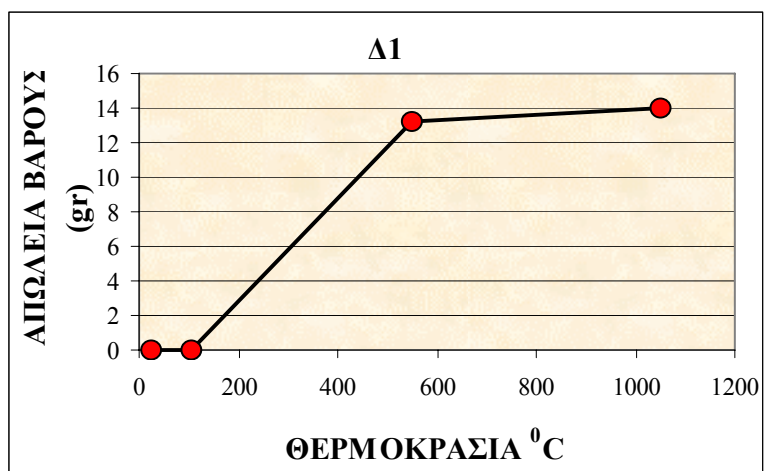
Ακολουθούν τα διαγράμματα απώλειας βάρους - θερμοκρασίας:



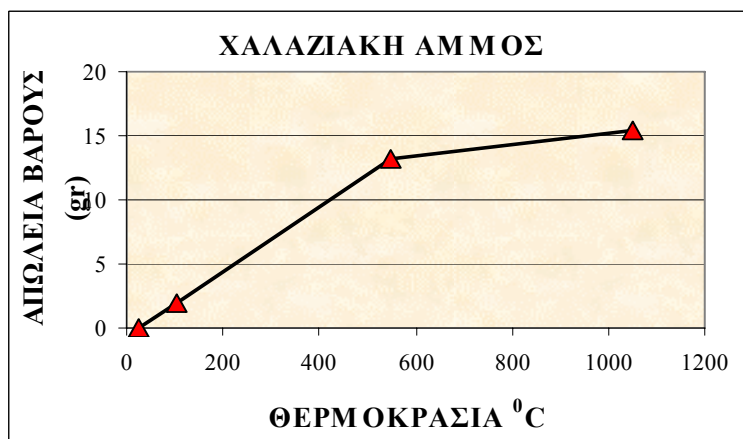
Διάγραμμα 7.2.1 : Απώλεια βάρους ποζολάνης



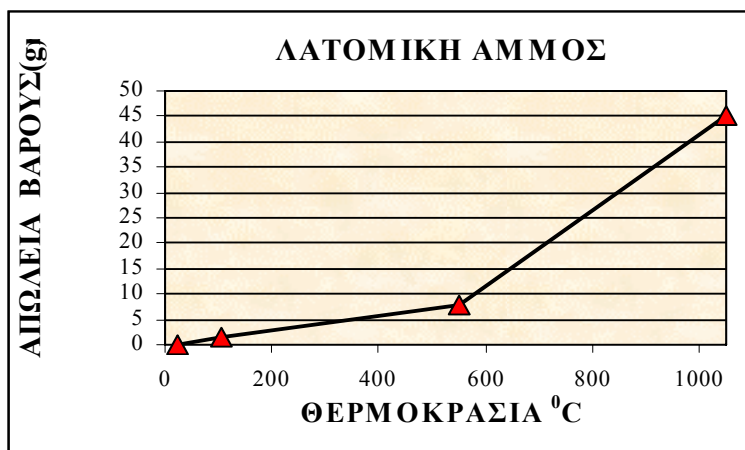
Διάγραμμα 7.2.2 : Απώλεια βάρους ζεολίθου



Διάγραμμα 7.2.3 : Απώλεια βάρους διατομίτη



Διάγραμμα 7.2.4 : Απώλεια βάρους χαλαζιακής άμμου



Διάγραμμα 7.2.5 : Απώλεια βάρους λατομικής άμμου

7.2.3. Θερμοβαρική ανάλυση TGA

Με τη θερμοβαρική ανάλυση μετρήσαμε την απώλεια βάρους και το ρυθμό απώλειας βάρους των ποζολανικών υλικών, συναρτήσει της θερμοκρασίας, με θερμοζυγό ακριβείας, τύπου TGA 6. Τα διαγράμματα απώλειας βάρους και ρυθμού απώλειας βάρους συναρτήσει της θερμοκρασίας παρατίθενται στο Παράρτημα Α.

Ακολουθεί ο πίνακας που αναφέρεται στις τελικές θερμοκρασίες των πειραμάτων και το αντίστοιχο τελικό βάρος των δειγμάτων σε ποσοστό % του αρχικού (Πίνακας 7.2.3.) :

ΔΕΙΓΜΑ	ΤΕΛΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΤΕΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ %
Π1	900°C	92.05
Π2	850°C	89.25
Δ1	900°C	86.93

Πίνακας 7.2.3.: Τελική θερμοκρασία - τελικό βάρος %, των ποζολανικών υλικών με τη θερμοβαρτομετρική ανάλυση

7.2.4. Προσδιορισμός ειδικής επιφάνειας

Μετρήθηκε η ειδική επιφάνεια των ποζολανικών δειγμάτων με τη συσκευή NOVA 2200 της QUANTACHROME.

ΔΕΙΓΜΑ	ΕΙΔΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
Δ1	13,34 m ² /gr
Π1	0,62 m ² /gr
Π2	13,95 m ² /gr

Πίνακας 7.2.4 : Ειδική επιφάνεια ποζολανικών δειγμάτων

7.2.5. Προσδιορισμός ασβεστίτη

Ο προσδιορισμός του ασβεστίτη έγινε με ασβεστίμετρο προσδιορισμού αέριου CO₂ με τη μέθοδο Dietrich-Fruhling. Το ποσοστό του CO₂ ανάγεται στη συνέχεια σε CaCO₃.

ΔΕΙΓΜΑ	Μάζα (gr)	P (mmHg)	Θερμ. °C	PH ₂ O (mmHg)	VCO ₂ (ml)	VCO ₂ (ΚΣ)	%CO ₂ προτυπ.
ΠΡΟΤΥΠ	0,6886	757	21	22,387	168	150,79	42,92
ΑΣΒ	1,4	757	21	22,387	10	8,98	43,69
ΛΑ	0,6823	757	21	22,387	163,5	146,75	43,69
ΔΕΙΓΜΑ	% CO ₂	%CaCO ₃					
ΠΡΟΤΥΠ	43,56	99,01					
ΑΣΒ	1,25	2,85					
ΛΑ	42,03	95,54					

Πίνακας 7.2.5 : Πίνακας προσδιορισμού του ασβεστίτη για την υδράσβεστο και την λατομική άμμο

Όπου :

- Μάζα : μάζα δείγματος (gr).
- P : συνθήκες πίεσης του χώρου που γίνεται η μέτρηση (mmHg).
- Θερμ.: συνθήκες θερμοκρασίας του χώρου που γίνεται η μέτρηση (°C).
- PH₂O : η τάση ατμών PH₂O του νερού για τη συγκεκριμένη θερμοκρασία από πίνακα(mmHg).
- VCO₂ : όγκος του υγρού στον σωλήνα από ένδειξη (ml).
- VCO₂ (ΚΣ) : όγκος του εκλυόμενου CO₂ σε κανονικές συνθήκες.
- % CO₂ προτυπ. : η περιεκτικότητα του πρότυπου δείγματος σε CO₂ (ml).
- CO₂% : το ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα του δείγματος.
- CaCO₃ % : το ποσοστό του ασβεστίτη του δείγματος.

7.2.6. Φασματοσκοπία με ακτίνες- X φθορισμού (XRF)

Με τη μέθοδο φασματοσκοπίας με ακτίνες X φθορισμού (X-Ray-Fluorences XRF) αναλύθηκε η χημική σύσταση όλων των πρώτων υλών.

ΔΕΙΓΜΑ	Fe ₂ O ₃ %	MnO %	TiO ₂ %	CaO %	K ₂ O %	SiO ₂ %
Π1	1.11	0.06	0.14	0.89	4.22	77.52
Π2	1.12	0.03	0.15	1.50	2.7	77.95
Δ1	2.25	0.02	0.2	10.9	0.53	78.02
ΧΑ	2.87	0.05	0.31	18.3	0.51	67.84
ΔΕΙΓΜΑ	Al ₂ O ₃ %	MgO %	P ₂ O ₅ %	Na ₂ O %	sum %	
Π1	12.5	0.36	0.02	3.13	100	
Π2	13.3	0.76	0.03	2.45	100	
Δ1	6.72	0.75	0.1	0.51	100	
ΧΑ	7.36	1.55	0.14	1.07	100	

Πίνακας 7.2.6 : Χημική σύσταση ποζολανικών υλικών και θαλάσσιας άμμου Ακρωτηρίου

ΔΕΙΓΜΑ	Fe ₂ O ₃ %	MnO %	CaO %	K ₂ O %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	MgO %	Al ₂ O ₃ %	CO ₂ %	sum %
ΛΑ	0.08	0.0015	54.3	0.01	0.72	0.25	0.55	0.03	44.0	100
ΑΣΒ	0.07	0.0049	61.3	0.02	0.79	0.19	0.63	0.028	37.0	100

Πίνακας 7.2.7 : Χημική σύσταση Λατομικής άμμου και πολτού υδρασβέστου

Σημειώνεται ότι οι περιεκτικότητες των χημικών ενώσεων έχουν θεωρηθεί σαν μέρος του συνόλου (100%) χωρίς να έχει ληφθεί υπ' όψη το ποσοστό της απώλειας πύρωσης.

7.2.7. Προσδιορισμός άμορφου πυριτίου

7.2.7.1. Προσδιορισμός άμορφου Si με διαφορά βαρών

Κατά την διαδικασία αυτή προσδιορίζονται τα άμορφα πυριτικά συστατικά μετά από διαλυτοποίηση με υδατικό διάλυμα NaOH. Προσδιορίζεται, δηλαδή, το ολικό στερεό υπόλειμμα αδιάλυτο σε πυκνό NaOH. Το βάρος του υπολείμματος αφαιρείται από το βάρος αρχικής ουσίας. Η διαφορά του βάρους αντιστοιχεί προσεγγιστικά στο ποσό των αδιάλυτων ή κρυσταλλικών αργιλοπυριτικών συστατικών, όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 6.3.7.1.:

$$\text{Αδιάλυτα Πυριτικά (Α.Π.\%)} = \frac{\text{Α.Β.} - \text{Β.Υ.}}{\text{Α.Β.}} * 100$$

όπου

B.Y. : Βάρος υπολείμματος μετά την θέρμανση

A.B. : Αρχικό Βάρος

ΔΕΙΓΜΑ	A.B (gr)	B.Y (gr)	Αδιάλυτα Πυριτικά (Α.Π.\%)
Π1	15.0575	13.6631	9.26
Π2	15.0768	12.5688	16.63
Δ1*	14.9997	26.8	-78.67

Πίνακας 7.2.8 : Προσδιορισμός Αδιάλυτων Πυριτικών συστατικών ποζολανικών υλικών

Παρατήρηση :

Στο διατομίτη ($\Delta 1^*$) το βάρος του αυξήθηκε κατά τη διαλύτοποίηση με NaOH και τη διήθηση, ενώ θα έπρεπε να μειωθεί. Για τον λόγο αυτό μελετήθηκε η ορυκτολογική σύσταση του διατομίτη μετά τη διαλύτοποίηση με Περιθλασίμετρο ακτίνων -X. Παρατηρήθηκε ο σχηματισμός νέων νατριούχων ενώσεων, που προφανώς δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια της διαλύτοποίησης. Επομένως, δεν ήταν εφικτός ο προσδιορισμός του άμορφου Si για το διατομίτη με τη μέθοδο αυτή.

Το ποσοστό των ευδιάλυτων πυριτικών συστατικών (που αντιστοιχούν στα μη κρυσταλλικά πυριτικά συστατικά), προκύπτει εάν αφαιρέσουμε το ποσοστό των αδιάλυτων πυριτικών συστατικών από το ποσοστό του ολικού πυριτίου που έχουμε ήδη υπολογίσει με τη μέθοδο φασματοσκοπίας με ακτίνες- X φθορισμού (XRF) :

$$\text{Ευδιάλυτα Πυριτικά (Ε.Π.\%)} = \text{ΟΛΙΚΟ ΠΥΡΙΤΙΟ \%} - \text{Α.Π.\%}$$

ΔΕΙΓΜΑ	ΟΛΙΚΟ SiO ₂ %	Αδιάλυτα Πυριτικά (Α.Π.\%)	Ευδιάλυτα Πυριτικά (Ε.Π.\%)
Π1	77.52	9.26	68.26
Π2	77.95	16.63	61.32
$\Delta 1^*$	78.02	-78.67	*

Πίνακας 7.2.9 : Προσδιορισμός Ευδιάλυτων Πυριτικών συστατικών των ποζολανικών υλικών

7.2.7.2. Προσδιορισμός άμορφου Si με ατομική απορρόφηση

Κατά την διαδικασία αυτή προσδιορίζονται τα άμορφα πυριτικά συστατικά, μετά από διαλυτοποίηση του υλικού με υδροξείδιο του Na με τη μέθοδο της Φασματομετρίας ατομικής απορρόφησης.

ΔΕΙΓΜΑ	ΜΕΤΡΗΣΗ Si (ppm)	% Si	% SiO ₂
Π1	188.8	18.88	40.3843
Π2	345.6	34.56	73.9238
Δ1	606.9	60.69	129.816

Πίνακας 7.2.10 : Προσδιορισμός Ευδιάλυτου SiO₂ των ποζολανικών υλικών

Μετρήθηκε το Si που αντιστοιχεί στα ευδιάλυτα πυριτικά συστατικά σε ppm (mgr/ltr).

Ανάχθηκαν τα ppm σε ποσοστό Si επί τοις εκατό του αρχικού ολικού δείγματος και, τέλος, το ποσοστό αυτό ανάχθηκε σε ποσοστό SiO₂ επί τοις εκατό του αρχικού ολικού δείγματος.

Παρατήρηση:

Το ποσοστό SiO₂ επί τοις εκατό του αρχικού ολικού δείγματος διατομίτη υπερβαίνει το 100%. Συμπαιρένουμε ότι υπάρχει σφάλμα που πιθανώς να οφείλεται σε λάθος του οργάνου μέτρησης.

7.2.7.3. Προσδιορισμός άμορφου Si με Περιθλασιμετρία ακτίνων -X

Προσδιορίζεται ποσοτικά το άμορφο πυρίτιο των ποζολανικών υλικών με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων -X. Τα σχετικά ακτινοδιαγράμματα παρατίθενται στο Παράρτημα Β.

ΔΕΙΓΜΑ	ΑΜΟΡΦΟ SiO ₂ %
Π1	99
Π2	36
Δ1	67

Πίνακας 7.2.11 : Προσδιορισμός άμορφου SiO₂ των ποζολανικών υλικών

7.3. Ορυκτολογικές αναλύσεις

7.3.1. Περιθλασιμετρία ακτίνων -X (XRD)

Αναλύθηκαν ορυκτολογικά με το περιθλασίμετρο ακτίνων -X όλες οι πρώτες ύλες. Τα ακτινοδιαγράμματα παρατίθενται στο Παράρτημα Γ.

Τα κυριότερα ορυκτά για κάθε υλικό είναι τα εξής :

Α. Συνδετικές ύλες

1. Ποζολάνη (Π1) : άμορφη

2. Ζεόλιθος (Π2) :

- Μορντενίτης
- Χαλαζίας

3. Διατομίτης (Δ1) :

- Ασβεστίτης
- Χαλαζίας
- Μοσχοβίτης
- Χριστοβαλλίτης
- Αλβίτης

4. Πολτός υδρασβέστου (ΑΣΒ) :

- Ασβεστίτης
- Πορτλαντίτης

B. Αδρανή υλικά

1. Χαλαζιακή-θαλάσσια άμμος Ακρωτηρίου (ΧΑ) :

- Χαλαζίας
- Ασβεστίτης
- Αλβίτης
- Κλινόχλωρο

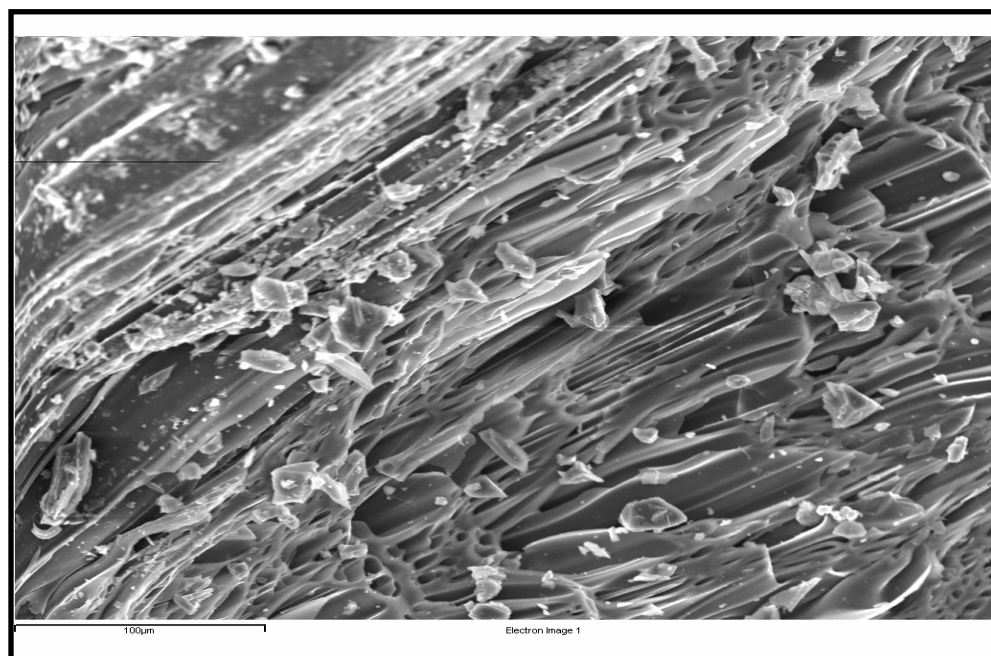
2. Ασβεστολιθική άμμος λατομείου (ΛΑ) :

- Ασβεστίτης
- Δολομίτης

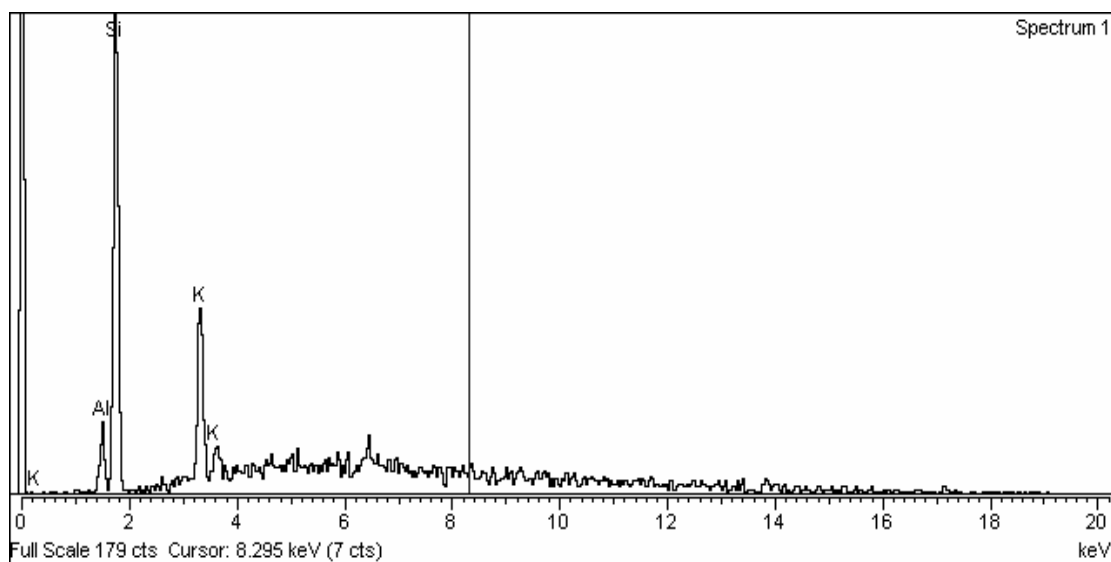
3. Χαλαζιακή άμμος Επιδαύρου :

- Χαλαζίας
- Αλβίτης
- Μορντενίτης
- Μοντμοριλλονίτης
- Γλαυκωνίτης

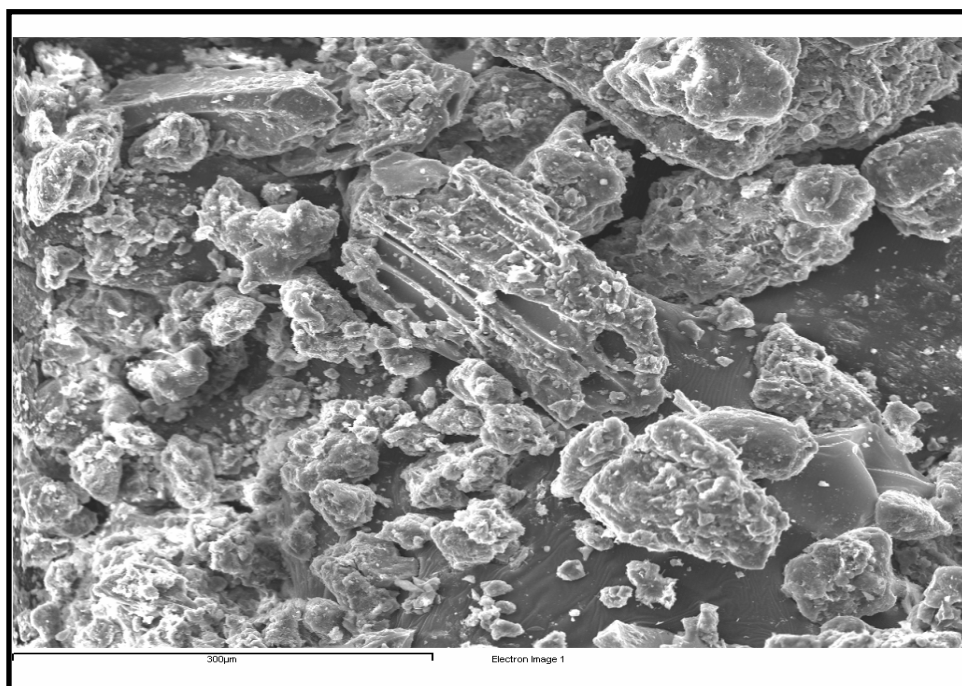
7.3.2. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM)



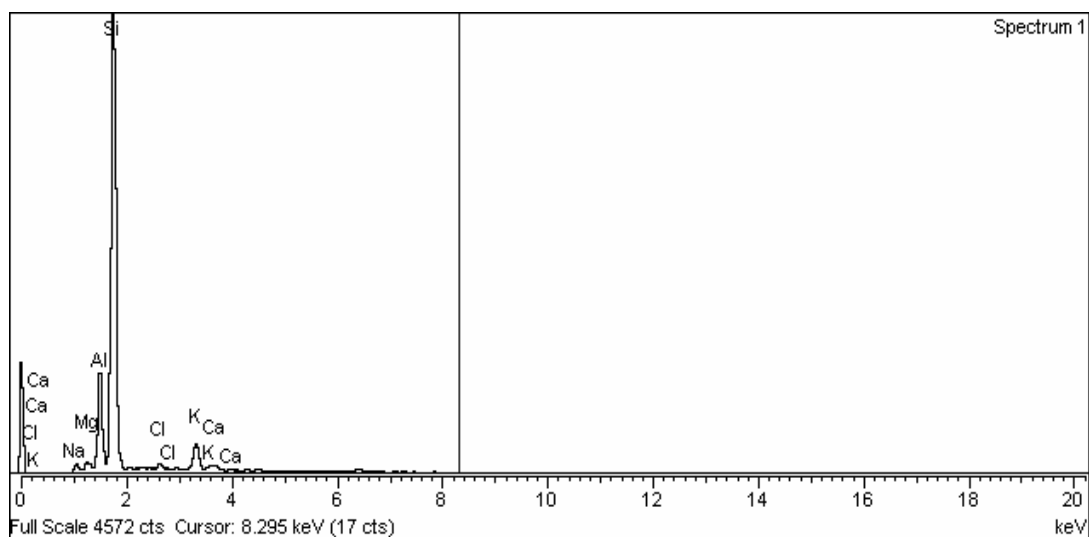
Εικόνα 7.1 : Φωτογραφία SEM της ποζολάνης



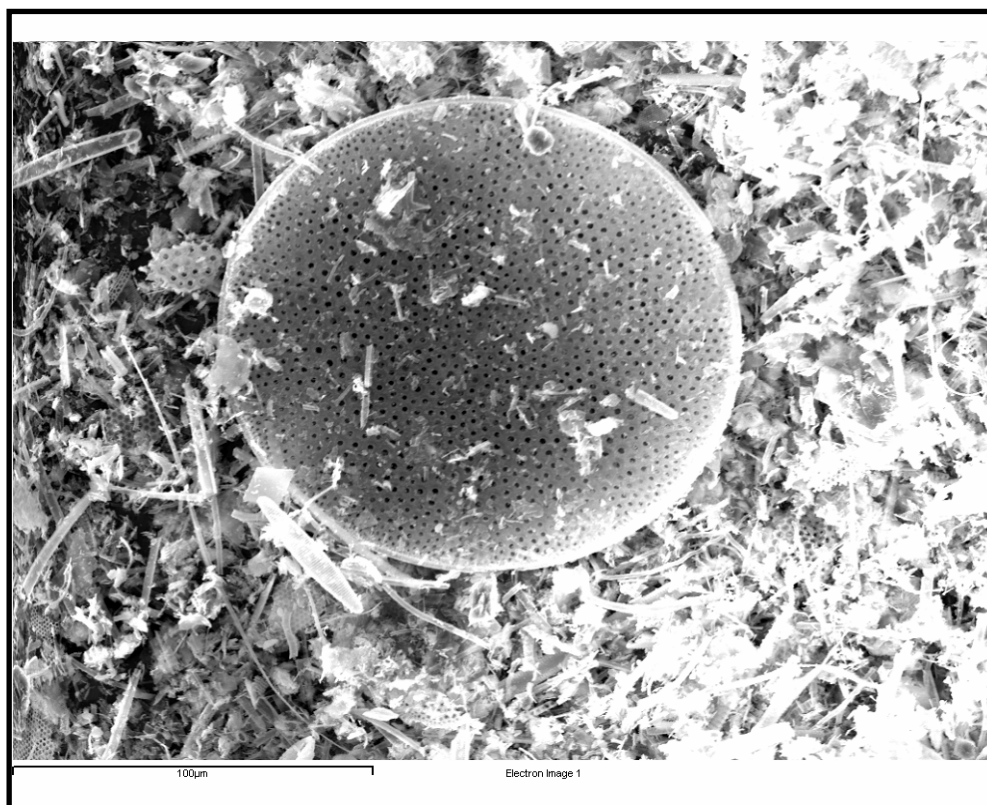
Διάγραμμα 7.3.1 : Στοιχειακή ανάλυση με το SEM της ποζολάνης



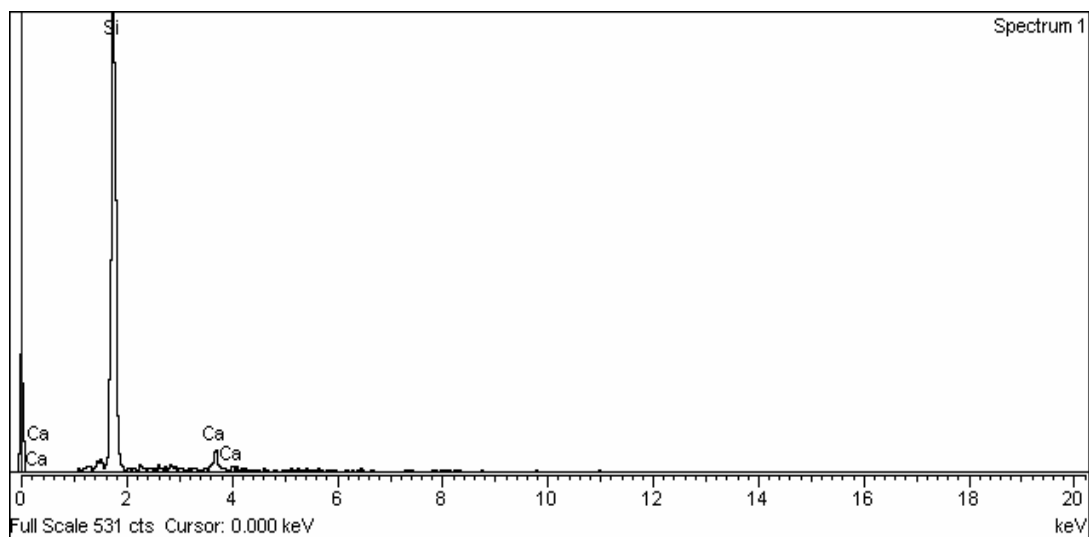
Εικόνα 7.2 : Φωτογραφία SEM του ζεολίθου. Διακρίνεται κρύσταλλος του Μορντενίτη



Διάγραμμα 7.3.2 : Στοιχειακή ανάλυση με το SEM του ζεολίθου



Εικόνα 7.3 : Φωτογραφία SEM του διατομίτη. Διακρίνονται θραύσματα πυριτιόσπογγου.



Διάγραμμα 7.3.3 : Στοιχειακή ανάλυση με το SEM του διατομίτη

8. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

8.1. Γενικά

Τα κονιάματα που παρασκευάστηκαν είναι μείγματα διαφόρων ειδών αδρανών και συνδετικών υλικών, που αναφέρθηκαν και στο Κεφάλαιο 6. Ως αδρανή υλικά χρησιμοποιήθηκαν θαλάσσια άμμος Ακρωτηρίου, ασβεστολιθική άμμος λατομείου και ένα μέρος χαλαζιακής άμμου Επιδαύρου. Ως συνδετικές ύλες χρησιμοποιήθηκαν πολτός υδρασβέστου και τα ποζολανικά υλικά (ποζολάνη, ζεόλιθος, διατομίτης).

Τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν, σύμφωνα με τα πρότυπα ASTM, έχουν σχήμα κυλινδρικό και κυβικό. Εφαρμόστηκαν σε αυτά δοκιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη οι οποίες έγιναν στο Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Τα μίγματα που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή κυλινδρικών δοκιμίων παρέμειναν για ένα χρονικό διάστημα 3 μηνών προτού υποβληθούν σε δοκιμές αντοχών σε μονοαξονική θλίψη. Τα μίγματα που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των κυβικών δοκιμίων παρέμειναν για ένα χρονικό διάστημα 28 ημερών σε συνθήκες σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας δωματίου, προτού υποβληθούν σε δοκιμές αντοχών σε μονοαξονική θλίψη.

Συνολικά παρασκευάστηκαν στο Εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης 18 τύποι κονιαμάτων με αναλογίες που αναφέρονται στα παρακάτω κεφάλαια. Η προσθήκη του νερού έγινε σταδιακά ώστε να δίνει ικανοποιητική εργασιμότητα στο κονιαμα.

Με το πέρας της δοκιμής αντοχής σε μονοαξονική θλίψη, αναλύθηκε η ορυκτολογική σύσταση των κονιαμάτων με το περιθλασίμετρο ακτίνων -X (XRD), και ελέγχθηκαν στο ασβεστίμετρο τα μείγματα για τα κυλινδρικά δοκίμια, για να προσδιοριστεί το ποσοστό ασβεστίτη που περιέχουν.

8.2. Σύσταση κονιαμάτων για κυλινδρικά δοκίμια

Τα μίγματα που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή κυλινδρικών δοκιμίων διαμέτρου περίπου 50 mm και ύψους 100 mm, τοποθετήθηκαν σε ειδικούς πλαστικούς υποδοχείς για 2-3 ημέρες. Στη συνέχεια, παρέμειναν για ένα χρονικό διάστημα 3 μηνών σε συνθήκες σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας δωματίου, προτού υποβληθούν σε δοκιμές αντοχών σε μονοαξονική θλίψη.

Παρασκευάστηκαν 12 μίγματα με διαφορετικές πρώτες ύλες και διαφορετική αναλογία πρώτων υλών, όπως φαίνεται στον Πίνακα 8.1.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΥΛΙΚΑ	ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ			ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΙΓΜΑ.
			Π1	Π2	Δ1	
A1	ΠΟΖ. ΥΛΙΚΟ	60% κ.ο.	255ml	255ml	306ml	A1Π1
	ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΣ	40% κ.ο.	170ml	170ml	200ml	A1Π2
	H ₂ O		75ml	75ml	100ml	A1Δ1
A2	ΠΟΖ. ΥΛΙΚΟ	40% κ.ο.	300ml	300ml	300ml	A2Π1
	ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΣ	60% κ.ο.	200ml	200ml	200ml	A2Π2
	H ₂ O		10ml	10ml	10ml	A2Δ1
B	ΠΟΖ. ΥΛΙΚΟ	1 μέρ. όγκου	150ml	150ml	150ml	BΠ1
	ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΣ	2 μέρη όγκου	300ml	300ml	300ml	BΠ2
	ΘΑΛ.ΑΜΜΟΣ	1 μέρ. όγκου	150ml	150ml	150ml	BΔ1
	H ₂ O		75ml	75ml	75ml	
Γ	ΠΟΖ. ΥΛΙΚΟ	1 μέρ. όγκου	150ml	150ml	150ml	ΓΠ1
	ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΣ	2 μέρη όγκου	300ml	300ml	300ml	ΓΠ2
	ΛΑΤ.ΑΜΜΟΣ	1 μέρ. όγκου	150ml	150ml	150ml	ΓΔ1
	H ₂ O		75ml	75ml	75ml	

Πίνακας 8.1 : Αναλογίες όγκων μειγμάτων για κυλινδρικά δοκίμια

Οι κατηγορίες A1 και A2 δεν περιέχουν αδρανή υλικά και μοιάζουν σαν αναλογίες μείξης επιχρισμάτων παρά κονιαμάτων δομών.

Η κατηγορία **B** έχει σαν αδρανές τη θαλάσσια άμμο και αναλογίες μείξης κονιαμάτων εργοταξίου. Η αναλογία είναι:

1 μέρος όγκου ασβέστη : 1 μέρος όγκου ποζολάνης : 1 μέρος όγκου αδρανών.

Όμως, σαν συνδετική ύλη δεν χρησιμοποιήθηκε καμμένος ασβέστης όπως είθισται, αλλά πολτός υδρασβέστου που περιέχει κατά το ήμισυ σχεδόν νερό. Επομένως, το 1 μέρος όγκου ασβέστη μετατρέπεται σε 2 μέρη όγκου, ενώ μειώνεται η απαιτούμενη ποσότητα νερού.

Η κατηγορία **Γ** έχει σαν αδρανές τη λατομική άμμο και αναλογίες μείξης όμοιες με την κατηγορία **B**.

Για κάθε κατηγορία παρασκευάστηκαν 3 δοκίμια, το κάθε ένα με διαφορετικό ποζολανικό υλικό.

Οι ποσότητες υλικών που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τόσες ώστε να επαρκούν για την παρασκευή δοκιμίων διαστάσεων 5 x 10 cm. Η ποσότητα του νερού υπολογίστηκε εμπειρικά, ώστε να δίνει την ικανοποιητική εργασιμότητα στο κονίαμα.

8.3. Σύσταση κονιαμάτων για κυβικά δοκίμια

Τα μίγματα που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των κυβικών δοκιμίων με ακμή 40 mm, τοποθετήθηκαν σε ειδικούς μεταλλικούς δειγματοφορείς, ώστε τα προκύπτοντα δοκίμια να έχουν αυστηρά καθορισμένες διαστάσεις, για 2-3 ημέρες. Παρέμειναν για ένα χρονικό διάστημα 28 ημερών σε συνθήκες σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας δωματίου, προτού υποβληθούν σε δοκιμές αντοχών σε μονοαξονική θλίψη. Η σύσταση των μιγμάτων ακολούθησε τις προδιαγραφές DIN 51043.

Η αναλογία μείξης κονιαμάτων προδιαγραφών DIN 51043 παρουσιάζεται στον Πίνακα 8.2.

ΥΛΙΚΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ	ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ % κ.β.
ΠΟΖ. ΥΛΙΚΟ	720 gr.	27.11%
ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΣ	180 gr.	6.70%
ΑΜΜΟΣ	1350 gr.	50.84%
H ₂ O	405 gr.	15.25%

Πίνακας 8.2 : Η αναλογία κονιαμάτων προδιαγραφών DIN 51043

Τα υλικά, οι ποσότητες και οι κωδικοί των δοκιμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.3. Οι αναλογίες % κ.β. των προδιαγραφών έχουν αναχθεί σε συνολικό βάρος μείγματος 306 gr., που είναι περίπου η απαιτούμενη ποσότητα κονιάματος για την παρασκευή του κυβικού δοκιμίου.

ΥΛΙΚΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ			ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ
	Π1	Π2	Δ1	
ΠΟΖ. ΥΛΙΚΟ	83	83	83	ΤΑΠ1
ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΣ	20.7	20.7	20.7	ΤΑΠ2
ΘΑΛΑΣ. ΑΜΜΟΣ	155.6	155.6	155.6	ΤΑΔ1
H ₂ O	46.7	46.7	46.7	
ΠΟΖ. ΥΛΙΚΟ	83	83	83	ΤΒΠ1
ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΣ	20.7	20.7	20.7	ΤΒΠ2
ΛΑΤΟΜ. ΑΜΜΟΣ	155.6	155.6	155.6	ΤΒΔ1
H ₂ O	46.7	46.7	46.7	

Πίνακας 8.3 : Ποσότητες υλικών για παρασκευή κυβικών δοκιμών προδιαγραφών DIN 51043

Πρέπει να σημειωθεί ότι τόσο η θαλάσσια όσο και η λατομική άμμος **δεν χρησιμοποιήθηκαν ως έχουν**, αλλά οι κοκκομετρίες τους προσαρμόστηκαν ώστε να προσεγγίζουν την κοκκομετρική διαβάθμιση πρότυπης χαλαζιακής άμμου Normesand με τυποποιημένη κοκκομετρική διαβάθμιση. Για να επιτευχθεί η προσαρμογή της κοκκομετρίας, χρησιμοποιήθηκαν ορισμένα κλάσματα της χαλαζιακής άμμου Επιδαύρου. Το συνολικό βάρος της νέας άμμου που προέκυψε είναι περίπου 156 gr.

Κοκ.Κλάσμα (mm)	% κ.β. Πρότυπ.Άμμου	Βάρος Θαλάσς. Άμμου (gr)	Βάρος Άμμου Επιδαύρου (gr)	Σύνολο (gr)
4.75	0	0	0	0
1	33.2	15.6	39.4	55
0.5	32.7	34.5	15.5	50
0.25	15.1	22.5	0	22.5
0.125	13.1	19.6	0	19.6
0.063	5.5	8.6	0	8.6
<0.063	0.3	0	0	0
Σύνολο	100	100.8	54.9	155.7

Πίνακας 8.4 : Προσαρμοσμένη κοκκομετρία Θαλάσσιας Άμμου μαζί με Άμμο Επιδαύρου στη κοκκομετρική διαβάθμιση πρότυπης χαλαζιακής άμμου Normesand

Κοκ.Κλάσμα (mm)	% κ.β. Πρότυπ. Άμμου	Βάρος Λατομ. Άμμου (gr)	Βάρος Άμμου Επιδαύρου(gr)	Σύνολο (gr)
4.75	0	0	0	0
1	33.2	28	27	55
0.5	32.7	43.7	6.3	50
0.25	15.1	22.5	0	22.5
0.125	13.1	3.2	16.4	19.6
<0.063	0.3	0.2	0	0.2
Σύνολο	100	106.2	49.7	155.9

Πίνακας 8.5 : Προσαρμοσμένη κοκκομετρία Λατομικής Άμμου μαζί με Άμμο Επιδαύρου στη κοκκομετρική διαβάθμιση πρότυπης χαλαζιακής άμμου Normesand

8.4. Αντοχή δοκιμίων

Για τις δοκιμές αντοχών σε μονοαξονική θλίψη χρησιμοποιήθηκε συσκευή του Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό αντοχής σε μονοαξονική θλίψη αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα :

- **Συσκευή δοκιμής :** Η συσκευή μπορεί να επιβάλλει σταθερό ρυθμό φόρτισης στο δοκίμιο και συγχρόνως έχει την δυνατότητα να καταγράφει το επιβαλλόμενο φορτίο. Η μηχανή φόρτισης είναι τύπου MTS 815. Η μηχανή φόρτισης MTS είναι άκαμπτη τόσο στη θλίψη όσο και σε εφελκυσμό έχει μέγιστη φόρτωση 1600 KN με μέγιστη μετατόπιση 50mm από μια θέση ισορροπίας. Ο έλεγχος της διαδικασίας γίνεται απο ηλεκτρονική μικροκονσόλα.
- **Σύστημα ελέγχου :** χρησιμοποιεί την μικροκονσόλα τύπου MTS για την δημιουργία ενός ελέγχου κλειστού βρόγχου στο σερβοϋδραυλικό σύστημα, έχει την δυνατότητα σύνδεσης με ηλεκτρικό υπολογιστή H/Y.
- **Πλάκες φόρτισης :** χρησιμεύουν για να μεταφέρουν το φορτίο στο δοκίμιο. Η ανω πλάκα φόρτισης είναι σφαιρική κεφαλή έδρασης. Η κεφαλή λιπαίνεται με ελαφρό ορυκτέλαιο.
- **Σύστημα μέτρησης Φορτίου και Αξονικής Μετατόπισης :** Η μέτρηση του αξονικού φορτίου και της αξονικής μετατόπισης γίνεται μέσω γραμμικών μεταβλητών διαφορικών, πρεσσοστατών στην βάση του εμβόλου φόρτισης.
- **Σύστημα Συνεχούς Καταγραφής :** Η μεταβολή του φορτίου και της μετατόπισης συναρτήσει του χρόνου καταγράφεται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή που είναι εξοπλισμένος με μια πολυλειτουργική κάρτα, συνδεδεμένου με το σύστημα ελέγχου.

Υπολογισμός της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη

Προκειμένου να γίνει υπολογισμός των ανηγμένων παραμορφώσεων και των εφαρμοζόμενων τάσεων πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω ^[10]:

Η μοναδιαία παραμόρφωση (ϵ) υπολογίζεται βάσει της μηχανικής των υλικών σαν

$$\epsilon = \Delta L / L_0 \quad (8.1)$$

όπου

ΔL = η μεταβολή στο ύψος του δοκιμίου σε mm σύμφωνα με τις ενδείξεις του μετρητή παραμόρφωσης

L_0 = αρχικό ύψος του δοκιμίου σε mm

Η στιγμιαία τάση (σ) στο δοκίμιο υπολογίζεται σαν

$$\sigma = P / A' \quad \text{kPa} \quad (8.2)$$

όπου

P = το στιγμιαίο φορτίο (kN) στο δείγμα που αντιστοιχεί σε μία τιμή του ΔL .

A' = Η μέση εγκάρσια επιφάνεια του δείγματος (m^2) που αντιστοιχεί στο φορτίο P .

Από το **διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης** προκύπτει η τιμή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη (MPa), ως η μέγιστη τιμή του διαγράμματος.

Οι τιμές αντοχών που παρουσιάζονται στους Πίνακες 8.6 και 8.7 προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων που καταγράφησαν στον υπολογιστή.

Οι φωτογραφίες των δοκιμών παρατίθενται στο Παράρτημα Ε.

α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Lo (cm)	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ A (cm²)	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ (MPa)
1	A1Π1	9.011	25.29	2.25
2	A1Π2	8.116	24.6	1.76
3	A1Δ1	*	*	*
4	A2Π1	9.356	25.45	2.22
5	A2Π2	9.343	25.53	1.1
6	A2Δ1	7.96	25.29	1.58
7	BΠ1	10.875	26.01	1.17
8	BΠ2	10.893	25.29	1.27
9	BΔ1	10.798	25.29	1.1
10	ΓΠ1	10.693	24.97	1.34
11	ΓΠ2	11.2	25.51	2.06
12	ΓΔ1	10.68	23.77	1.5

Πίνακες 8.6 : Οι τιμές αντοχών σε μονοαξονική θλίψη κυλινδρικών δοκιμίων

**Το δοκίμιο A1Δ1 καταστράφηκε κατά την εξαγωγή του από τον υποδοχέα*

α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ (MPa)
1	ΤΑΠ1	1.26
2	ΤΑΠ2	0.26
3	ΤΑΔ1	1.44
4	ΤΒΠ1	1.83
5	ΤΒΠ2	0.26
6	ΤΒΔ1	1.58

Πίνακες 8.7 : Οι τιμές αντοχών σε μονοαξονική θλίψη κυβικών δοκιμίων

8.5. Μελέτη των κονιαμάτων

Σε όλα τα κονιάματα αναλύθηκε η ορυκτολογική σύσταση με το περιθλασίμετρο ακτίνων -X (XRD), ώστε να προσδιοριστεί αν έχει δημιουργηθεί ασβεστοπυριτική φάση (ένυδρο πυριτικό ασβέστιο - $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

Ελέγχθηκαν επίσης στο ασβεσίμετρο τα μειγμάτα για τα κυλινδρικά δοκίμια που είχαν παραμείνει 3 μήνες πριν την δοκιμή σε αντοχή, για να προσδιοριστεί το ποσοστό ασβεστίτη που περιέχουν.

8.5.1. Περιθλασίμετρο ακτίνων -X (XRD)

Τα κυριότερα ορυκτά για κάθε κονίαμα είναι τα εξής :

A. Κυλινδρικά δοκίμια

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ A1		
A1Π1	A1Π2	A1Δ1
• Ασβεστίτης	• Ασβεστίτης	• Ασβεστίτης
• Πορτλαντίτης	• Μορντενίτης	• Χαλαζίας
• $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	• $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	• $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ A2		
A2Π1	A2Π2	A2Δ1
• Ασβεστίτης	• Ασβεστίτης	• Ασβεστίτης
• Πορτλαντίτης	• Μορντενίτης	• Χαλαζίας
• $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	• $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	• $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Β		
ΒΠ1	ΒΠ2	ΒΔ1
• Χαλαζίας	• Χαλαζίας	• Ασβεστίτης
• Ασβεστίτης	• Ασβεστίτης	• Χαλαζίας
• Πορτλαντίτης	• Δολομίτης	• Πορτλαντίτης
• Δολομίτης	• Πορτλαντίτης	• Μοσχοβίτης
• Μοσχοβίτης	• Μορντενίτης	• $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
• Κλινόχλωρο	• Μοσχοβίτης	
• $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	• $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Γ		
ΓΠ1	ΓΠ2	ΓΔ1
• Ασβεστίτης	• Ασβεστίτης	• Ασβεστίτης
• Πορτλαντίτης	• Μορντενίτης	• Πορτλαντίτης
• $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	• $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	

Α. Κυβικά δοκίμια

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΑ		
ΤΑΠ1	ΤΑΠ2	ΤΑΔ1
• Ασβεστίτης	• Ασβεστίτης	• Ασβεστίτης
• Πορτλαντίτης	• Μορντενίτης	• Χαλαζίας
• $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	• Πορτλαντίτης	• $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
	• $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΒ		
ΤΒΠ1	ΤΒΠ2	ΤΒΔ1
• Χαλαζίας	• Χαλαζίας	• Χαλαζίας
• Ασβεστίτης	• Ασβεστίτης	• Ασβεστίτης
• Μοσχοβίτης	• Πορτλαντίτης	• Μοσχοβίτης
• $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	• Δολομίτης	• Δολομίτης
	• Μορντενίτης	• Κλινόχλωρο
	• Μοσχοβίτης	• $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
	• $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	

Ενδεικτικά ακτινοδιαγράμματα παρατίθενται στο Παράρτημα Δ.

8.5.2. Προσδιορισμός ασβεστίτη

Κατά τον έλεγχο στο ασβεστίμετρο των μειγμάτων για τα κυλινδρικά δοκίμια, προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα :

Δείγμα	Μάζα (gr)	P (mmHg)	Θ oC	PH ₂ O	VCO ₂ (ml)	VCO ₂ (KΣ)	%CO ₂ προτ.	% CO ₂	% CaCO ₃
Πρότ-1	0.6347	758	23	22.387	158.0	141.05	43.56	43.56	99.01
Πρότ-2	0.6483	758	23	22.387	160.0	142.83	43.18	43.56	99.01
A1Π1	0.6550	758	23	22.387	54.0	48.21	43.37	14.49	32.93
A1Π2	0.6226	758	23	22.387	44.0	39.28	43.37	12.42	28.23
A1Δ1	0.6657	758	23	22.387	94.0	83.91	43.37	24.81	56.40
A2Π1	0.6542	758	23	22.387	68.5	61.15	43.37	18.40	41.83
A2Π2	0.6800	758	23	22.387	46.0	41.06	43.37	11.89	27.02

Πίνακας 8.8 : Πίνακας προσδιορισμού του ασβεστίτη για τα κονιάματα A1Π1 ως A2Π2

Δείγμα	Μάζα (gr)	P (mmHg)	Θ οC	PH ₂ O	VCO ₂ (ml)	VCO ₂ (KΣ)	%CO ₂ προτ.	% CO ₂	% CaCO ₃
Πρότ-1	0.6507	760	23	22.387	161.0	144.36	43.48	43.56	99.01
Πρότ-2	0.6515	760	23	22.387	160.5	143.91	43.29	43.56	99.01
A2Δ1	0.6586	760	23	22.387	100.5	90.11	43.39	26.93	61.20
ΒΠ1	0.6226	760	23	22.387	104.0	93.25	43.39	29.47	67.00
ΒΠ2	0.6492	760	23	22.387	114.0	102.22	43.39	30.98	70.43
ΒΔ1	0.6855	760	23	22.387	109.5	98.18	43.39	28.19	64.07
ΓΠ1	0.6693	760	23	22.387	40.0	35.87	43.39	10.55	23.97
ΓΠ2	0.6596	760	23	22.387	49.5	44.38	43.39	13.24	30.10
ΓΔ1	0.6361	760	23	22.387	57.5	51.56	43.39	15.95	36.25

Πίνακας 8.9 : Πίνακας προσδιορισμού του ασβεστίτη για τα κονιάματα Α2Δ1 ως ΓΔ1

8.6. Συμπεράσματα

➤ **Ασβεστοπυριτική φάση :** όσον αφορά τη δημιουργία ασβεστοπυριτικής φάσης παρατηρούμε στα αποτελέσματα των ορυκτολογικών αναλύσεων ότι, σε μικρές και κυμαινόμενες αναλογίες, δημιουργήθηκε ένυδρο πυριτικό ασβέστιο ($\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) σε όλα τα κονιάματα. Η ασβεστοπυριτική φάση είναι αυτή που τελικά προσδίδει τις καλύτερες ιδιότητες (π.χ. αντοχή σε μονοαξονική θλίψη) στα κονιάματα.

Ειδικότερα παρατηρούμε ότι :

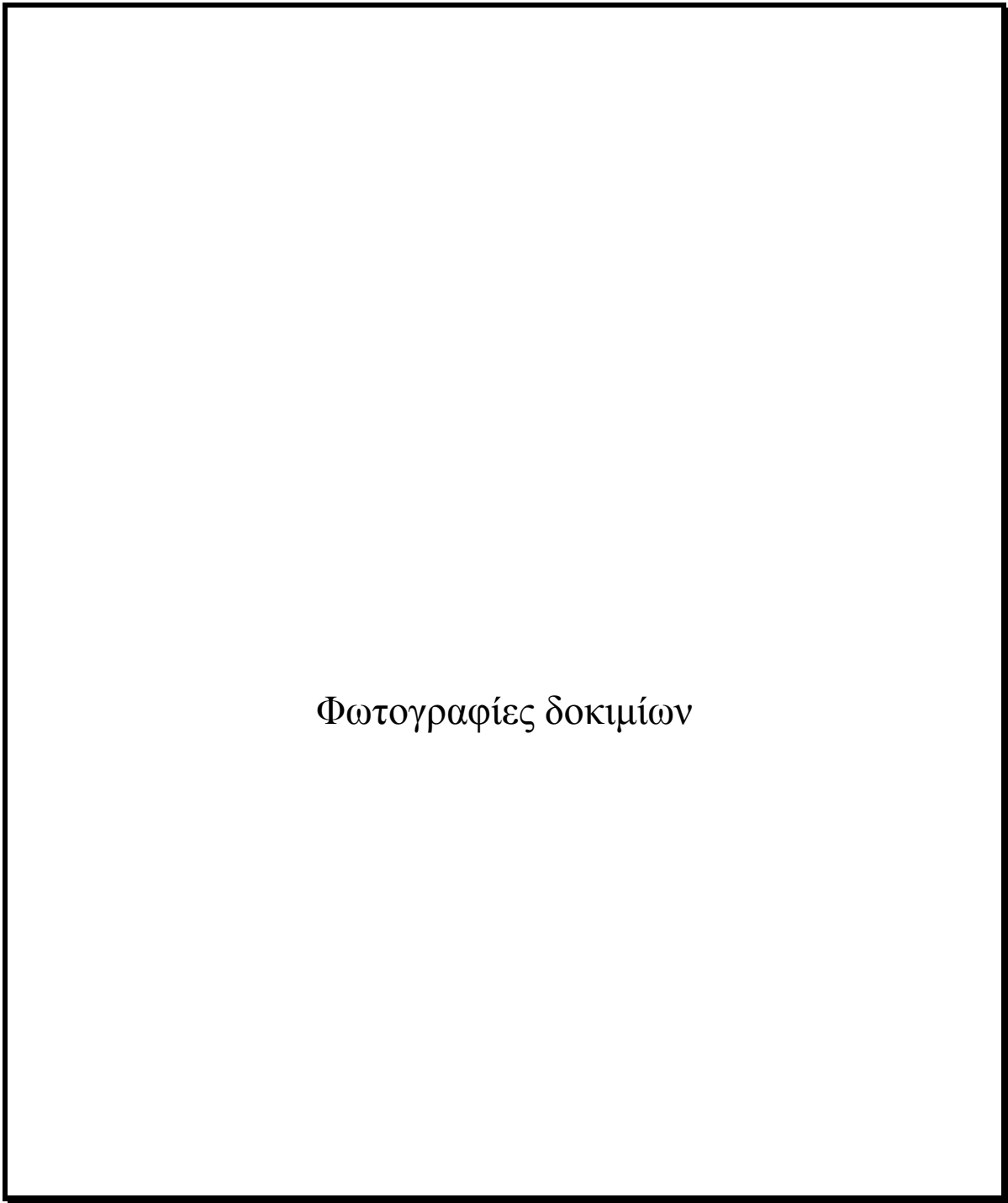
- Τα κυλινδρικά κονιάματα χωρίς αδρανή (κατηγορίες Α1 και Α2) περιέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό ένυδρου πυριτικού ασβεστίου.
- Από τα κονιάματα που έχουν αδρανή, όσα έχουν πορτλαντίτη ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) περιέχουν και μεγαλύτερο ποσοστό ένυδρου πυριτικού ασβεστίου.
- Τα κονιάματα με το ζεόλιθο (κωδ. Π2) σε όλες τις κατηγορίες περιέχουν μεγαλύτερο ποσοστό ένυδρου πυριτικού ασβεστίου σε σχέση με αυτά που περιέχουν ποζολάνη ή διατομίτη.

- **Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη :** Παρατηρήθηκε ότι κατά τη δοκιμή σε μονοαξονική θλίψη, οι αντοχές των κονιαμάτων ήταν χαμηλές. Τα συμπεράσματα είναι τα εξής :
- Στα δοκίμια χωρίς αδρανή οι τιμές αυτές ήταν οι αναμενόμενες, καθώς πλησίαζαν την τάξη μεγέθους των τιμών σε μονοαξονική θλίψη των επιχρισμάτων.
 - Τα υπόλοιπα κυλινδρικά δοκίμια δεν είχαν πακτωθεί επαρκώς κατά την κατασκευή τους. Επίσης, οι ειδικοί πλαστικοί υποδοχείς δεν ήταν πλήρως στεγανοί, με αποτέλεσμα τα δοκίμια να μην είναι συμπαγή, όπως απαιτείται. Λόγω της ακατάλληλης κατασκευής τους οι χαμηλές τιμές ήταν αναμενόμενες.
 - Τα κυβικά δοκίμια είχαν επίσης χαμηλές τιμές σε αντοχή, αν και ήταν περισσότερο συμπαγή, καθώς κατασκευάστηκαν σε μεταλλικούς υποδοχείς. Ενδεχομένως, όμως, ο χρόνος παραμόνής (28 ημέρες) να μην ήταν επαρκής.

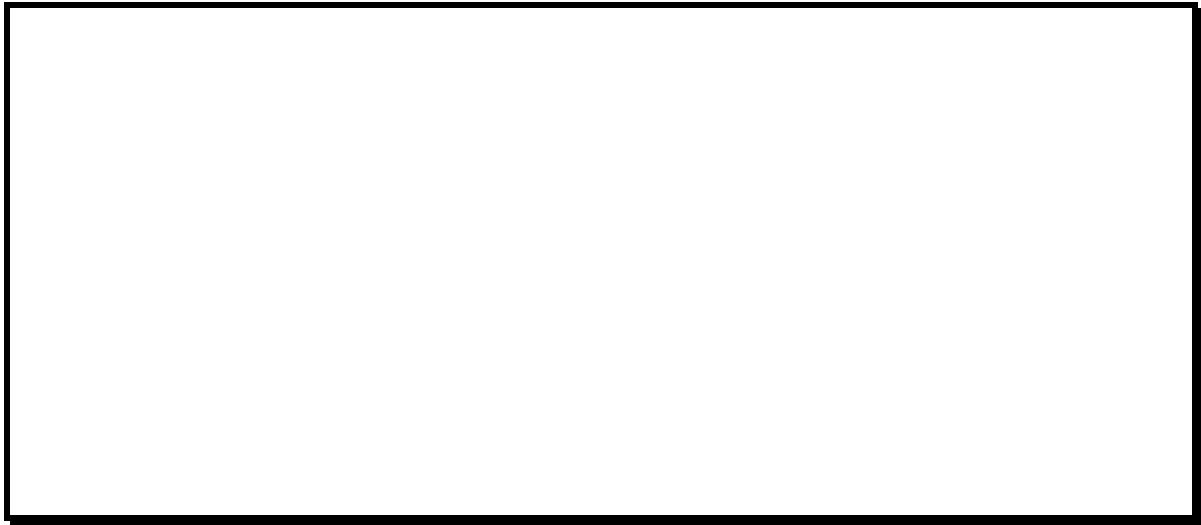
Σαν τελικό συμπέρασμα προκύπτει ότι οι αντοχές που επιτεύχθηκαν δεν ήταν οι επιθυμητές παρ'ότι δημιουργήθηκαν ασβεστοπυριτικές φάσεις, οι οποίες όμως χρειάζονται περισσότερο χρόνο (ένα έτος) ώστε να αποκτήσουν ικανοποιητικές αντοχές για κονιάματα. Επομένως, τα εξετασθέντα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επεμβάσεις συντήρησης μνημείων, με προϋπόθεση ότι θα χρησιμοποιηθεί καλής ποιότητας υδράσβεστος ή και σε ορισμένες περιπτώσεις υδραυλική άσβεστος.

Ακτινοδιαγράμματα Πρώτων Υλών

Ακτινοδιαγράμματα Κονιαμάτων



Φωτογραφίες δοκιμίων



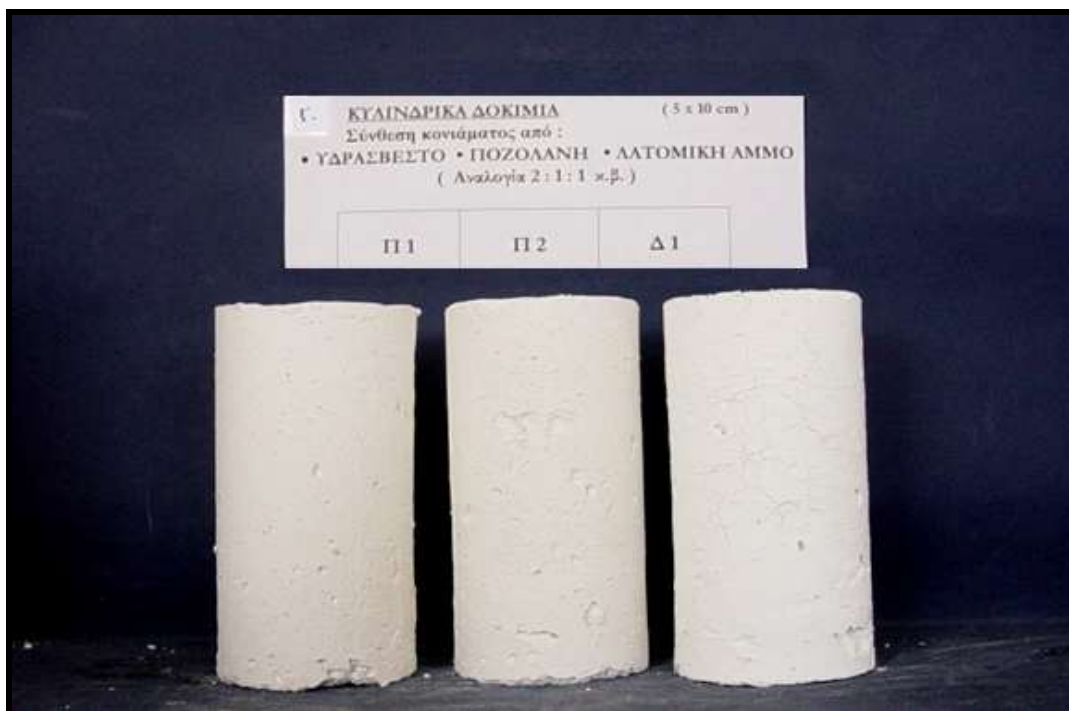
Φωτογραφία Κυλινδρικών δοκιμών με κωδικό **A1**



Φωτογραφία Κυλινδρικών δοκιμίων με κωδικό **A2**



Φωτογραφία Κυλινδρικών δοκιμίων με κωδικό **B**



Φωτογραφία Κυλινδρικών δοκιμίων με κωδικό Γ



Φωτογραφία Κυβικών δοκιμίων με κωδικό ΤΑ



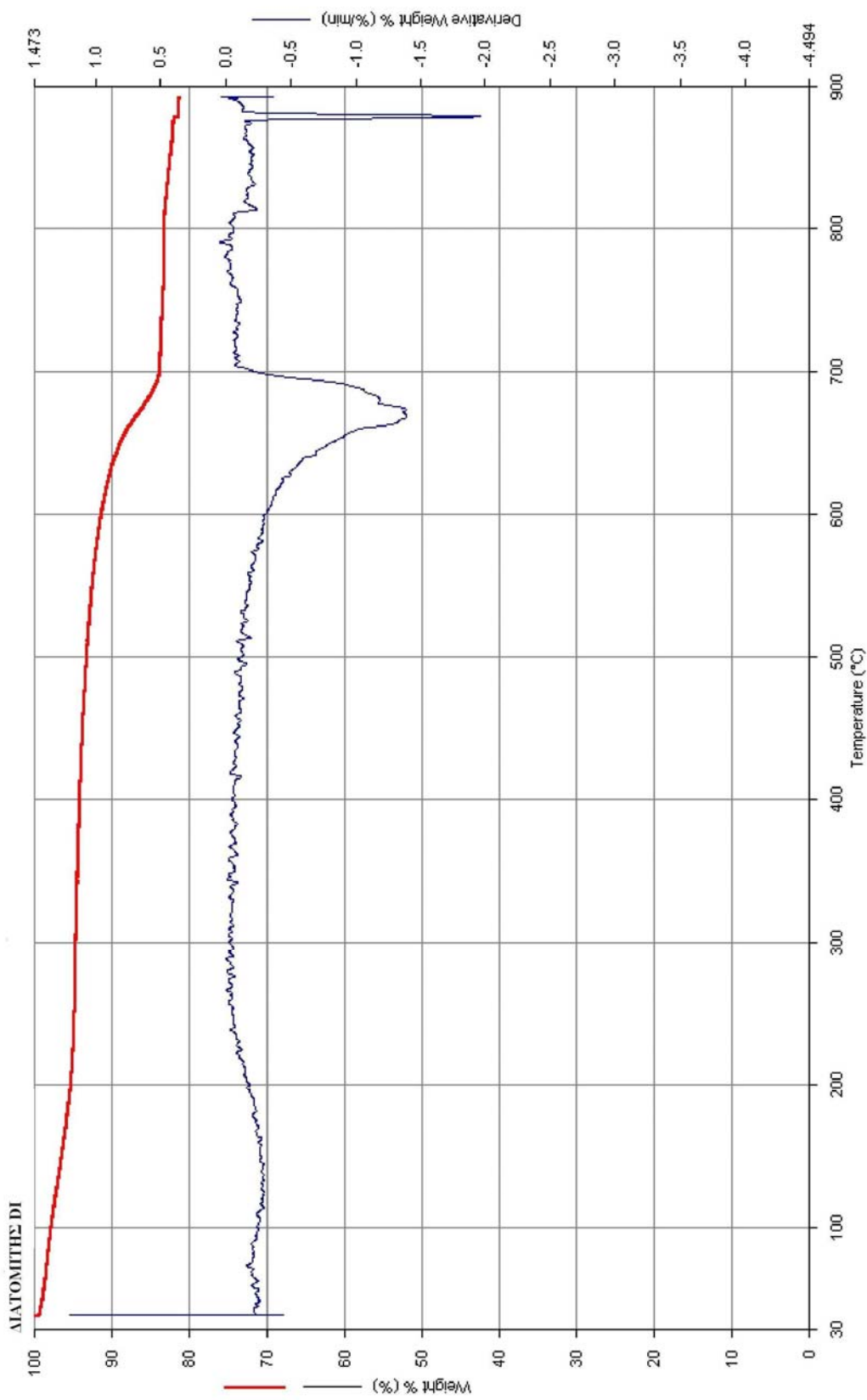
Φωτογραφία Κυβικών δοκιμίων με κωδικό **TB**

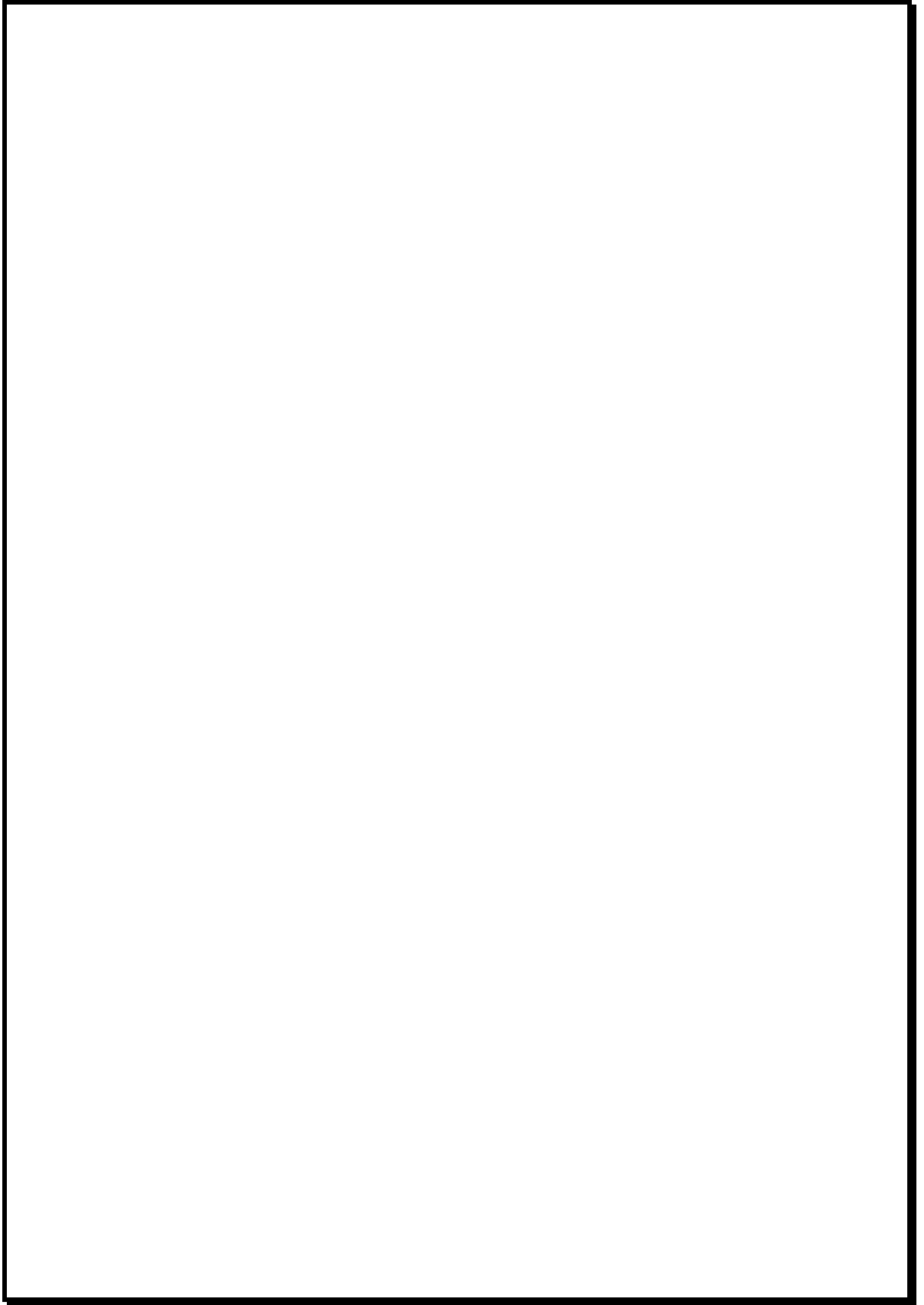


Διαγράμματα TGA

B

Ακτινοδιαγράμματα πρώτων υλών με μεταλλικό πυρίτιο





-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-

- [1] Wendehorst R., (1975), «Δομικά υλικά», Μετάφραση από τα γερμανικά του εκδότη Μ. Γκιούρδα. Hannover.
- [2] Βιαζής Γ., (2001), «Τεχνολογία των δομικών υλικών». Αθήνα.
- [3] Καλκάνης Γ., Χατήρης Ι., Σταθουλοπούλου Χ., (2001), «Τεχνολογία των δομικών υλικών». Αθήνα.
- [4] Frey H., Herrmann A., Kuhn V., Lillich J., Nestle H., Nutsch W., Schulz P., Waibel H., Werner H., (1996), «Τεχνολογία δομικών υλικών», Επιμέλεια έκδοσης στα ελληνικά Μηλιωρίτσας Ε. Germany.
- [5] 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, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Χανιά.
- [6] Λεγάκης Α. Αντωνίου, (1954) «Δομικά Υλικά». Αθήνα.
- [7] Φώσκολος Α., (1995), «Σημειώσεις από τις παραδόσεις του μαθήματος Γεωχημείας». Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
- [8] Κωστάκης Γ., (1995), «Κεφάλαια ακτινοσκοπίας των κρυστάλλων», Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
- [9] Γαλετάκης Μ., (1991), «Βασικές αρχές φασματοσκοπίας ακτίνων-Χ, φθορισμού και πρακτική των μετρήσεων». Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Χανιά.
- [10] Στειακάκης Ε., (1996), «Εργαστηριακές ασκήσεις Τεχνικής Γεωλογίας – Εδαφομηχανικής». Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Χανιά.
- [11] Περδικάτσης Β., (2003), «Ποσοτική ανάλυση με περιθλασιμετρία ακτίνων –Χ (Κλασικές μέθοδοι – Μέθοδος RIETVELD)». Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Χανιά.
- [12] Αμπαριώτη Μ. και Ροτόντο Π., (1995), «Μελέτη της ορυκτολογικής σύστασης και των φυσικοχημικών και τεχνικών χαρακτηριστικών σκυροδέματος και κονιάματος που χρησιμοποιήθηκαν σε επεμβάσεις συντήρησης οικίας του ανακτόρου της Κνωσού και του λιμενοβραχίονα Χανίων», Διπλωματική εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Χανιά.

[13] Λασηθιωτάκης Μ., (2003), «Μελέτη πυρόλυσης μειγμάτων λιγνίτη με άλλα καύσιμα με χρήση θερμοβαρυτομετρικών δεδομένων», Διπλωματική εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Χανιά.

[14] Δραγάνη Ε., (2003), «Πυρόλυση / αεριοποίηση λιγνίτη και βιομάζας παρουσία διαφόρων προσθετικών υλικών για την παρασκευή ενεργών εξανθρακωμάτων», Διπλωματική εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Χανιά.

[15] Ράκα Σ., (2002), «Μελέτη παλαιών και νέων κονιαμάτων του Ιερού Ναού Άγιου Πέτρου Δομνηκανών Ηρακλείου και εκτίμηση της ανθεκτικότητας τους σε θαλάσσια διάβρωση με τη βοήθεια συστήματος αλατονέφωσης», Διπλωματική εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Χανιά.

[16] Προδιαγραφές DIN 51 043 (Έκδοση 1.72), Traß ; Anforderungen, Prüfung.

[17] Ιστοσελίδες από το διαδίκτυο