

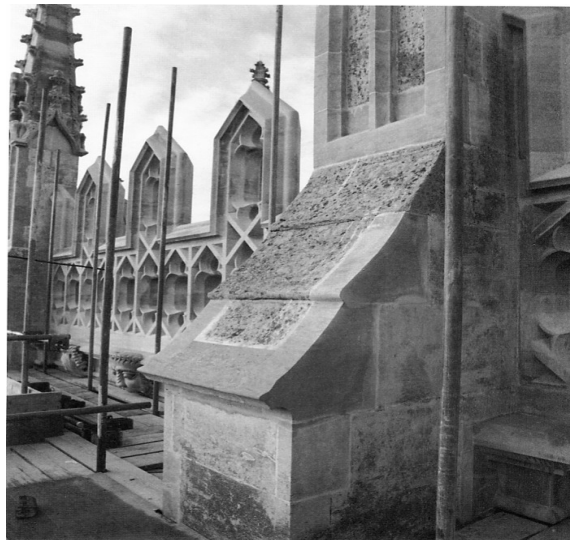
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

« Μελέτη και αξιολόγηση πρώτων υλών και κονιαμάτων ως προς την καταλληλότητά τους για επεμβάσεις συντήρησης και αναστήλωσης »



ΓΕΡΟΓΙΑΝΝΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Δρ. Μαρκόπουλος θεόδωρος : Καθηγητής (Επιβλέπων)

Δρ. Περδικάτσης Βασίλειος : Αναπληρωτής Καθηγητής

Δρ. Χρηστίδης Γεώργιος : Επίκουρος Καθηγητής

ΧΑΝΙΑ

Δεκέμβριος 2003

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2. ΣΥΝΔΕΤΙΚΕΣ ΥΛΕΣ (ΚΟΝΙΕΣ)	
2.1. Γενικά - Ιστορικά.....	3
2.2. Πολτός, Ξήρανση και σκλήρυνση κονιάς.....	4
2.3. Κατηγορίες κονιών.....	5
2.3.1. Ανάλογα με την προέλευση.....	5
2.3.2. Ανάλογα με τον τρόπο που στερεοποιούνται.....	5
2.4. Πηλοκονία.....	7
2.5. Ασβεστος.....	8
2.5.1. Παρασκευή ασβέστη.....	9
- Κάμινοι ασυνεχούς λειτουργίας	
- Κάμινοι συνεχούς λειτουργίας	
2.5.2. Είδη καμένου ασβέστη.....	15
2.5.3. Μεταφορά εμπόριο.....	16
2.5.4. Ποιότητα καμένου ασβέστη.....	17
2.5.5. Σβήσιμο καμένου ασβέστη.....	18
2.5.6. Είδη υδρασβέστου.....	21
2.5.7. Ιδιότητες υδρασβέστου.....	22
2.5.8. Χρήσεις υδρασβέστου.....	23
2.5.9. Διάβρωση ασβέστου – Χρήση στα μνημεία.....	24
2.6. Τσιμέντο.....	26
2.6.1. Γενικά – Ιστορικά.....	26
2.6.2. Πρώτες ύλες και στάδια παρασκευής τσιμέντου.....	27
2.6.3. Παρασκευή τσιμέντου.....	28
- Προπαρασκευή	
- Ψήσιμο (όπτηση)	
- Λειοτρίβηση	
- Αποθήκευση – Συσκευασία	
2.6.4. Χημική σύνθεση τσιμέντου.....	31

2.6.5. Είδη τεχνητών τσιμέντων.....	33
- Κοινό τσιμέντο <i>Portland</i>	
- Τσιμέντο <i>Portland</i> υψηλής αντοχής	
- Αργιλικό τσιμέντο	
- Λευκό και ημίλευκο τσιμέντο <i>Portland</i>	
- Σιδηρικό τσιμέντο	
- Ποζολανικό τσιμέντο	
- Τσιμέντο τοιχοποιίας	
2.6.6. Ιδιότητες του τσιμέντου.....	35
- Χρώμα	
- Ειδικό βάρος	
- Υδραυλικότητα	
- Ενυδάτωση – Πήξη τσιμέντου	
- Έκλυση θερμότητας κατά την πήξη	
- Το φαινόμενο της συστολής κατά την πήξη	
- Μηχανική αντοχή	
- Στεγανότητα	
2.6.7. Χρήσεις του τσιμέντου.....	40
2.6.8. Το τσιμέντο ως υλικό στα μνημεία.....	41
2.7. Γύψος.....	42
- Παρασκευή γύψου	
- Είδη γύψου	
- Ιδιότητες γύψου	
- Χρήσεις γύψου	
2.7.1. Η γύψος ως υλικό στα μνημεία.....	46
2.8. Ποζολάνες – Θηραϊκή γη.....	47
2.8.1. Η θηραϊκή γη σαν υλικό στα μνημεία.....	48
2.9. Μαγνησιακή κονία.....	49
2.10. Συνθετικές κονίες.....	50

3. ΛΕΠΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

3.1. Γενικά.....	51
3.2. Γενικές χρήσεις.....	52
- Συνδετικά υλικά	
- Καλυπτικά και μονωτικά υλικά	
- Πρώτες ύλες για την κατασκευή τεχνητών λίθων	
3.3. Βασικές ιδιότητες κονιαμάτων – Καταλληλότητα.....	55

3.4. Κατασκευή κονιάματος.....	58
- <i>Κονίαμα εργοταξίου</i>	
- <i>Κονίαμα εργοστασίου</i>	
3.5. Κατάταξη κονιαμάτων.....	60
3.6. Πηλοκονιάματα.....	61
3.7. Ασβεστοκονιάματα.....	62
3.7.1. Γενικά.....	62
- <i>Ασβεστος</i>	
- <i>Άμμος</i>	
- <i>Νερό</i>	
3.7.2. Παρασκευή ασβεστοκονιαμάτων – Αναλογίες.....	63
3.7.3. Πήξη και σκλήρυνση ασβεστοκονιάματος – Ιδιότητες.....	64
3.7.4. Χρήσεις ασβεστοκονιαμάτων.....	66
3.8. Ειδικά ασβεστοκονιάματα.....	67
3.8.1. Γενικά.....	67
3.8.2. Ασβεστοτσιμεντοκονιάματα.....	67
- <i>Παρασκευή – Αναλογίες μίξης</i>	
- <i>Ιδιότητες και χρήσεις</i>	
3.8.3. Ασβεστογυψοκονιάματα.....	70
3.8.4. Μαρμαροκονιάματα.....	70
3.8.5. Ποζολανικά κονιάματα – Θηραϊκοκονιάματα.....	70
3.8.6. Κεραμαλευροκονιάματα.....	71
3.9. Τσιμεντοκονιάματα.....	72
3.9.1. Γενικά.....	72
3.9.2. Παρασκευή τσιμεντοκονιαμάτων – Αναλογίες.....	72
- <i>Άμμος</i>	
- <i>Τσιμέντο</i>	
- <i>Νερό</i>	
- <i>Αναλογίες τσιμέντου – άμμου</i>	
3.9.3. Ιδιότητες τσιμεντοκονιαμάτων.....	75
3.9.4. Χρήσεις τσιμεντοκονιαμάτων.....	77
3.10. Γυψοκονιάματα.....	78
3.11. Ειδικά κονιάματα.....	79

3.11.1. Γενικά.....	79
3.11.2. Πυρίμαχα κονιάματα.....	79
3.11.3. Στεγανά κονιάματα.....	80
3.11.4. Θερμομονωτικά και ηχομονωτικά κονιάματα.....	80
3.12. Έτοιμα κονιάματα.....	81
3.13. Προσβολές μετάλλων από κονιάματα	82
3.14. Μηχανισμοί φθοράς παλαιών κονιαμάτων.....	84
3.15. Παλαιότερα πρόσθετα υλικά στα μνημεία. Συμπεριφορά και παρενέργειες...	86
3.15.1. Παλαιότερα υλικά.....	87
3.15.2. Παρενέργειες παλαιότερων υλικών στα δομικά υλικά των μνημείων...	89

4. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΣΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

4.1. Γενικά.....	91
4.2. Κατάταξη αδρανών.....	91
4.2.1. Ανάλογα με την προέλευσή τους.....	92
- Φυσικά αδρανή	
- Τεχνητά αδρανή	
4.2.2. Ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους.....	93
- Άμμος	
- Σκόρα ή χαλίκια	
4.3. Ιδιότητες – Χαρακτηριστικά αδρανών υλικών.....	95
4.3.1. Αντοχή αδρανών.....	95
4.3.2. Καθαρότητα αδρανών.....	96
4.3.2.1. Παιπάλη.....	96
4.3.2.2. Υλικά οργανικής προέλευσης.....	97
4.3.2.3. Ευδιάλυτα άλατα.....	98
4.3.2.4. Μαρμαρυγίες.....	98
4.3.2.5. Θειούχες και θειϊκές ενώσεις.....	99
4.3.2.6. Ενώσεις σιδήρου.....	99
4.3.3. Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών.....	100
4.3.3.1. Βαθμός πυκνότητας.....	100
4.3.3.2. Κοκκομετρική διαβάθμιση.....	101

4.3.4. Σχήμα και μέγεθος κόκκων αδρανών.....	103
- <i>Εργασιμότητα</i>	
- <i>Αντοχή</i>	
- <i>Κατακράτηση νερού</i>	
4.4. Ειδικά αδρανή στα κονιάματα.....	105
4.4.1. Κουρασάνι.....	106
- <i>Kourasanit</i>	
4.4.2. Ελαφρόπετρα (κίσσηρη).....	106
4.4.3. Περλίτης.....	107
4.4.4. Σκωρίες υψικαμίνων.....	108
4.4.5. Ελαφροβαρή αδρανή.....	108
 5. ΝΕΡΟ ΣΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ	
5.1. Γενικά.....	110
5.2. Απαιτούμενη ποσότητα νερού.....	111
5.2.1. Ενυδάτωση και κρυστάλλωση συστατικών της κονίας.....	112
5.2.2. Ποσότητα νερού που δεσμεύεται απότα αδρανή.....	113
5.2.3. Απώλειες νερού.....	114
5.2.4. Ποσότητα νερού που παραμένει ελεύθερη στους πόρους.....	114
5.3. Καθαρότητα νερού.....	115
 6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ	
6.1. Πρώτες ύλες.....	116
6.2. Χημικές αναλύσεις.....	117
6.2.1. Προσδιορισμός υγρασίας – Ξήρανση.....	117
6.2.2. Προσδιορισμός απώλειας πύρωσης.....	119
6.2.3. Φασματοσκοπία ακτίνων-X φθορισμού (XRF).....	121
6.2.4. Προσδιορισμός ποσοστού ασβεστίτη.....	125
6.2.5. Προσδιορισμός ποσοστού δολομίτη.....	127
6.2.6. Αναλογία ποσοστών ασβεστίτη και δολομίτη με το πρόγραμμα Siroquant	
6.3. Ορυκτολογικές αναλύσεις.....	128
6.3.1. Περιθλασιμετρία ακτίνων-X (XRD).....	128

6.3.2. Πολωτική μικροσκοπία.....	131
6.3.3. Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM).....	132
6.4. Κοκκομετρικές αναλύσεις.....	133

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

7.1. Χημικές αναλύσεις.....	137
7.1.1. Προσδιορισμός υγρασίας – Ξήρανση.....	137
7.1.2. Προσδιορισμός απώλειας πύρωσης.....	138
7.1.3. Αποτελέσματα φασματοσκοπίας ακτίνων-X φθορισμού (XRF).....	143
7.1.4. Προσδιορισμός ποσοστού αβεστίτη – δολομίτη.....	145
- Δείγματα μόνο με αβεστίτη	
- Δείγματα με αβεστίτη και δολομίτη	
7.1.5. Αναλογία ποσοστών αβεστίτη και δολομίτη με το πρόγραμμα Siroquant.	
7.2. Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης.....	150
7.3. Ποσοτική ορυκτολογική ανάλυση με το πρόγραμμα Siroquant.....	151
7.3.1. Γενικά – Εισαγωγικά.....	151
7.3.2. Υδράσβεστοι.....	152
7.3.3. Θηραϊκή γη, μηλαϊκή γη, Αβεστομίξ.....	156
7.3.4. Kourasanit, Unicret-fast, Rapicret.....	156
7.4. Αποτελέσματα κοκκομετρικών αναλύσεων.....	159

8. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΚΥΒΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

8.1. Γενικά.....	171
8.2. Διαδικασία παρασκευής.....	172
8.3. Σύσταση κονιαμάτων – Αναλογίες.....	174
8.4. Αντοχή κυβικών δοκιμίων.....	179
- Υπολογισμός της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη	
8.5. Τεχνητή γήρανση.....	182
8.5.1. Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη μετά το θάλαμο γήρανσης.....	185
8.6. Ορυκτολογική ανάλυση κυβικών δοκιμίων.....	186
8.7. Μελέτη με το πολωτικό μικροσκόπιο.....	189

8.8. Μελέτη με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης SEM.....	197
--	-----

9. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	214
--	------------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

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 πρώτων υλών, υλικών και κονιαμάτων τα οποία κυκλοφορούν ευρέως στην αγορά, με στόχο την απόρριψή τους ή όχι σε επεμβάσεις συντήρησης και αναστήλωσης. Η εργασία μου ανατέθηκε από τον Καθηγητή Δρ. Θεόδωρο Μαρκόπουλο, Διευθυντή του Εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας.

Θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω όλους όσους βοήθησαν στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας. Καταρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Καθηγητή Μαρκόπουλο Θεόδωρο, επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα καθώς και για το ενδιαφέρον και την βοήθειά του σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Επίσης, τον Αναπληρωτή Καθηγητή Δρ. Βασίλειο Περδικάτση για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή αλλά και για τις πολύτιμες συμβουλές και γνώσεις που μου μετέφερε στο συγκεκριμένο θέμα. Επίσης τον Επίκουρο Καθηγητή Δρ. Γεώργιο Χρηστίδη για την συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή αλλά και για τις πολύτιμες υποδείξεις του, όχι μόνο τώρα αλλά καθ'όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ακόμη, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τη Δρ. Ευτυχία Ρεπούσκου για το ενδιαφέρον και τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέφερε στον τομέα της μικροσκοπικής μελέτης αλλά και σε όλα τα θέματα που αφορούν στο γνωστικό αντικείμενο της εργασίας αυτής.

Επίσης θα ήθελα να δώσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στη βοηθό του Εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας, Μηχ. Ορ. Πόρων κυρία Πάολα Ροτόντο, της οποίας η βοήθεια (πρακτική και ηθική) και η συμβολή καθ'όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής ήταν κάτι παραπάνω από πολύτιμη.

Επίσης, ευχαριστώ το προσωπικό και τους επιστημονικούς συνεργάτες όλων των Εργαστηρίων του Τμήματος και ειδικότερα τον κύριο Αντώνιο Σκουνάκη και κύριο Γεώργιο Αποστολάκη για την πρακτική τους βοήθεια στον εργαστηριακό τομέα, το Δανιήλ Μωραΐτη για τη βοήθειά του στις αναλύσεις των πρώτων υλών, τους Μηχ. Μετ. Στέλλιο Μαυριγιαννάκη και Σπυρίδωνα Κλεφτάκη από το εργαστήριο της Μηχανικής Πετρωμάτων για τη βοήθειά τους στη μελέτη της αντοχής των υλικών, καθώς επίσης και το Λέκτορα Δρ. Γεώργιο Αλεβίζο και το Μηχ.Ο.Π. Αντώνιο Στρατάκη για τη βοήθειά τους στις ορυκτολογικές αναλύσεις.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου Ελένη Καραβίτη και Νικόλα Σακελλαρίου για την συμπαράσταση και την συνεχή βοήθειά τους καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου και για τις όμορφες στιγμές που περάσαμε αυτά τα χρόνια.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία είχε ως αντικείμενο την μελέτη και αξιολόγηση πρώτων υλών, υλικών και κονιαμάτων τα οποία κυκλοφορούν ευρέως στην αγορά, με στόχο τη μελέτη της συμπεριφοράς τους σε επεμβάσεις συντήρησης και αναστήλωσης. Η επιλογή των υλικών έγινε βάσει καταλόγων από εταιρίες με επιλογή χαρακτηριστικών και αντιπροσωπευτικών πρώτων υλών και κονιαμάτων.

Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε έτοιμο κονίαμα «Kourasanit» (αδρανή, θηραϊκή γη και κεραμάλευρο) από την εταιρία «ΚΟΥΡΑΣΑΝΙΤ, ΤΡΑΤΣΕΛΑΣ Β. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ & ΣΙΑ Ο.Ε.», υδράσβεστοι από την ίδια εταιρία καθώς και από τη «ΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗ ΑΣΒΕΣΤΟΠΟΙΑ», έτοιμα τσιμεντοκονιάματα UNICRET-FAST και RAPICRET από την εταιρία «ISOMAT», Θηραϊκή γη από την εταιρία «ΚΟΥΡΑΣΑΝΙΤ, ΤΡΑΤΣΕΛΑΣ Β. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ & ΣΙΑ Ο.Ε.», Μηλαϊκή γη, έτοιμο κονίαμα «ΑΣΒΕΣΤΟΜΙΞ».

Σε όλες τις παραπάνω ύλες έγιναν κοκκομετρικές αναλύσεις, υπολογίστηκε το ποσοστό τους σε ασβεστίτη και δολομίτη, έγινε υπολογισμός της υγρασίας και της απώλειας πύρωσης, έγιναν χημικές και ορυκτολογικές αναλύσεις και επιλέχθηκαν κάποιες από αυτές για την κατασκευή κυβικών δοκιμίων. Στα κυβικά δοκίμια μετρήθηκε η αντοχή τους σε μονοαξονική θλίψη και υπολογίστηκε η ορυκτολογική τους σύσταση στις 28 και 120 μέρες από την ημερομηνία παρασκευής τους, έγινε μελέτη της συμπεριφοράς τους στην τεχνητή γήρανση και εκ νέου μελέτη της αντοχής και ορυκτολογική μελέτη μετά την παραμονή τους στο θάλαμο γήρανσης για 50 ημέρες. Επίσης κατασκευάστηκαν τομές οι οποίες μελετήθηκαν και φωτογραφήθηκαν στο πολωτικό μικροσκόπιο καθώς και στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης SEM.

Οι αναλύσεις και οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε διάφορα εργαστήρια του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, όπως στο Εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας, Ανόργανης και Οργανικής Γεωχημείας και

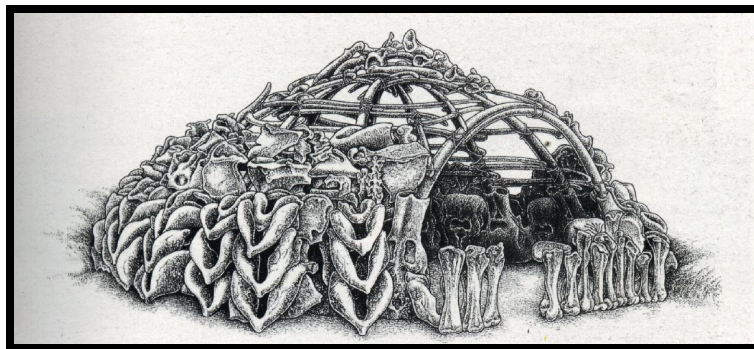
Οργανικής Πετρογραφίας, Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Μηχανικής Πετρωμάτων,
Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας.

2. ΣΥΝΔΕΤΙΚΕΣ ΥΛΕΣ (ΚΟΝΙΕΣ)

2.1. Γενικά - Ιστορικά

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.^[4]

Η ανακάλυψη και χρήση τέτοιων υλικών άρχισε από τα πολύ παλιά χρόνια, όταν ο άνθρωπος στην προσπάθεια βελτίωσης των συνθηκών διαβίωσής του άρχισε να αναζητά νέα υλικά καλύτερης ποιότητας από τα βασικά (λίθους, ξύλα, κόκκαλα), που να έχουν μεγαλύτερες δυνατότητες για κατασκευή πιο σύνθετων έργων.



Εικόνα 2.1. Πρώτες ανθρώπινες κατασκευές

Το υλικό αυτό, που εύρισκε εύκολα στη φύση, ήταν το αργιλικό χώμα. Όταν το χώμα αυτό αναμιχθεί με νερό δημιουργείται μία εύπλαστη μάζα που στερεοποιείται, όταν εκτεθεί στον ήλιο. Η στερεοποίηση αυτή οφείλεται στην ύπαρξη μίας συγκολλητικής ουσίας που ονομάζεται **πηλοκονία**. Η πηλοκονία έχει ασθενείς συγκολλητικές ιδιότητες, που τις χάνει όμως, όταν ξαναβραχεί. Τις συγκολλητικές της ιδιότητες τις διατηρεί μόνο

όταν ψηθεί. Με την πάροδο του χρόνου ανακαλύφθηκαν ισχυρότερες ύλες, όπως π.χ. ο ασβέστης, το τσιμέντο, τα ασφαλτικά υλικά κ.ά.

2.2. Πολτός. Ξήρανση, πήξη και σκλήρυνση κονιάς.

Το μίγμα κονιάς-νερού ονομάζεται **πολτός**.

Το ποσό του νερού με το οποίο πρέπει να αναμιχθούν οι κονίες, εξαρτάται από το είδος της κονιάς, από τις συνθήκες που επικρατούν κατά την επεξεργασία (υγρασία και θερμότητα περιβάλλοντος) και από τις ιδιότητες που θέλουμε να έχει ο πολτός.

Ο πολτός που προέρχεται από την ανάμιξη των απαραίτητων ποσοτήτων νερού και κονιάς, αποκτά τη μέγιστη δυνατή πλαστικότητα και καλείται **κανονικός πολτός**.

Όταν ο πολτός στερεοποιείται με απλή εξάτμιση του νερού έχουμε την **ξήρανση της κονιάς**. Σε αυτή την περίπτωση, η κονία εκδηλώνει ξανά τις πλαστικές της ιδιότητες όταν διαποτισθεί πάλι με νερό. Όταν όμως η στερεοποίηση του πολτού προέρχεται από χημικές αλλοιώσεις, έχουμε την **πήξη της κονιάς**.

Διακρίνουμε **αρχική και τελική πήξη**.

Αρχική πήξη καλείται η κατάσταση εκείνη του πολτού κατά την οποία δεν είναι πια δυνατό να μεταβληθεί το σχήμα που έχει πάρει αυτός, χωρίς να καταστραφεί η συνοχή των μορίων της συγκολλητικής ύλης.

Τελική πήξη καλείται η κατάσταση, κατά την οποία ο πολτός σκληραίνει τόσο, ώστε να έχει φτάσει σε ένα βαθμό μηχανικής αντοχής η οποία καθορίζεται από τους κανονισμούς για κάθε είδος κονιάς. Σε πολλά είδη κονιών ο βαθμός της μηχανικής αντοχής αυξάνει με την πάροδο του χρόνου (περίπτωση τσιμέντου), οπότε έχουμε τη **σκλήρυνση της κονιάς**.

2.3. Κατηγορίες κονιών

Οι κονίες διακρίνονται σε κατηγορίες, ανάλογα με την προέλευσή, τον τρόπο πήξης και σκλήρυνσης (στερεοποίησης).^[1]

2.3.1. Ανάλογα με την προέλευση

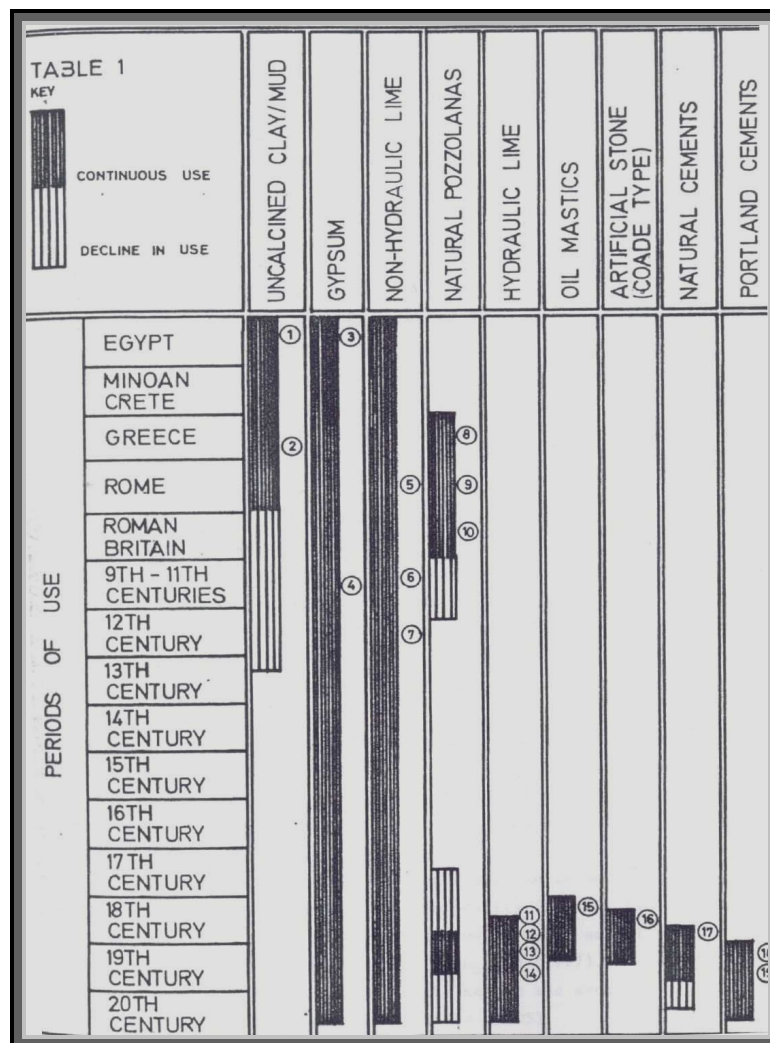
- **Φυσικές κονίες.** Αυτές βρίσκονται ελεύθερες στη φύση και μπορούν να χρησιμοποιηθούν αμέσως, χωρίς οποιαδήποτε κατεργασία. Παράδειγμα τέτοιων κονιών είναι η πηλοκονία, η ποζολάνη (θηραϊκή γη) κ.ά.
- **Τεχνητές κονίες.** Για την παρασκευή τους είναι απαραίτητη η επέμβαση του ανθρώπου, ο οποίος με κατάλληλες χημικές ή φυσικές μεθόδους τις απομονώνει από άλλα υλικά ή τις παρασκευάζει συνθετικά. Κονίες αυτού του είδους είναι ο ασβέστης, το τσιμέντο, τα διάφορα ασφαλτικά υλικά κ.ά.

2.3.2. Ανάλογα με τον τρόπο που στερεοποιούνται

- **Αερικές κονίες.** 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 πηλοκονία, η πλαστική γύψος και η άσβεστος. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε επιφανειακές κατασκευές. Μέσα σε υγρό περιβάλλον δεν αντέχουν ακόμη και όταν έχουν ήδη σκληρυνθεί.
- **Υδραυλικές κονίες.** 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 . Οι υδραυλικές κονίες αφού αναμιχθούν με νερό και σχηματίσουν πολτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως αερικές. Μπορούν δηλαδή να σκληρύνουν και στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι κυριότερες κονίες, ενώ πριν μεσολαβεί ένας πίνακας στον οποίο φαίνεται χαρακτηριστικά η χρονική πορεία της χρήσης των κονιών, από την αρχαιότητα μέχρι και τον εικοστό αιώνα. Ο πίνακας είναι από το βιβλίο του Amy R. Hecker “Mortars and Renderings”, July 1977, York England.^[27]



Πίνακας 2.1. Χρονική πορεία χρήσης κονιών

2.4. Πηλοκονία

Η πηλοκονία είναι ως προς την προέλευση **φυσική κονία**, αν και δε βρίσκεται ελεύθερη στη φύση. Είναι πάντοτε αναμιγμένη με άλλα αδρανή υλικά διαφορετικής συστάσεως και κυρίως με άμμο. Το μίγμα αυτό της πηλοκονίας και των αδρανών υλικών αποτελεί τους πηλούς ή αργίλους οι οποίοι χρησιμοποιούνται πολύ για την κατασκευή των οπτόπλινθων (τούβλων).

Η πηλοκονία δεν έχει ορισμένη φυσική (ορυκτολογική) ή χημική σύσταση. Τα βασικά συστατικά της όμως είναι διάφορες ενώσεις του πυριτίου και του αργιλίου (συνήθως αργιλικά ή/και αργιλοπυριτικά ορυκτά). Ανήκει στην κατηγορία των αερικών κονιών. Για να σταθεροποιηθεί δηλαδή πρέπει να εκτεθεί στον ατμοσφαιρικό αέρα, οπότε εξατμίζεται το νερό που περιέχεται σε αυτή.

Η πηλοκονία ξηραίνεται και συγκολλώνται τα μόρια των αδρανών υλικών με τους κόκκους της κονίας και μεταξύ τους. Επάνω σε αυτή την ιδιότητα βασίζεται και η κατασκευή των **ωμοπλίνθων**. Αν όμως μετά την ξήρανση διαποτισθεί πάλι με νερό επανέρχεται η κονία στην πλαστική της κατάσταση και διαλύεται το στερεό που δημιουργήθηκε. Για να αποφύγουμε αυτό το ενδεχόμενο γίνεται ψήσιμο (όπτηση) της ωμοπλίνθου. Κατά το ψήσιμο η πηλοκονία χάνει το χημικά αναμιγμένο με αυτή νερό και μετατρέπεται πλέον σε σταθερή ένωση, η οποία δεν επηρεάζεται από το νερό. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η κατασκευή των τούβλων, των κεράμων, των πηλοσωλήνων κλπ. **Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται από τους αρχαιότετους χρόνους.**



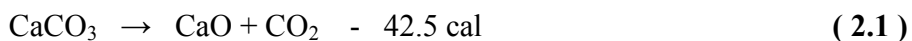
Εικόνα 2.2. Έδαφος αργιλώδες

2.5. Άσβεστος

Μία από τις σημαντικότερες κονίες είναι η άσβεστος. Ο όρος άσβεστος αποτελεί συμβατική ονομασία των προϊόντων της πύρωσης και της μετέπειτα κατεργασίας των ασβεστολίθων. Χρησιμοποιείται για να περιγράψει τον άσβηστο ασβέστη ή την άνυδρη άσβεστο καθώς και το προϊόν της αντίδρασης με το νερό, που λέγεται σβησμένος ασβέστης ή ένυδρη άσβεστος. Η άσβεστος είναι μία από τις σημαντικότερες αερικές κονίες, έχει λευκό χρώμα και τεράστιο πλήθος εφαρμογών με άριστα αποτελέσματα. Αποτελεί μια από τις παλαιότερες συνδετικές ύλες που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος για την παρασκευή κονιαμάτων, καθώς **χρησιμοποιείται από αρχαιότατους χρόνους**.

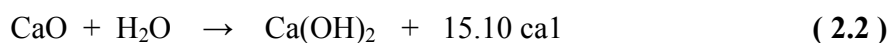
Όταν οι κοινοί ασβεστόλιθοι πυρωθούν μεταξύ 800°C και 1100°C, το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), που περιέχουν, διασπάται στο αέριο διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και στο στερεό οξείδιο του ασβεστίου ή ενεργό ασβέστιο.^[1]

Η χημική εξίσωση της αντίδρασης είναι:



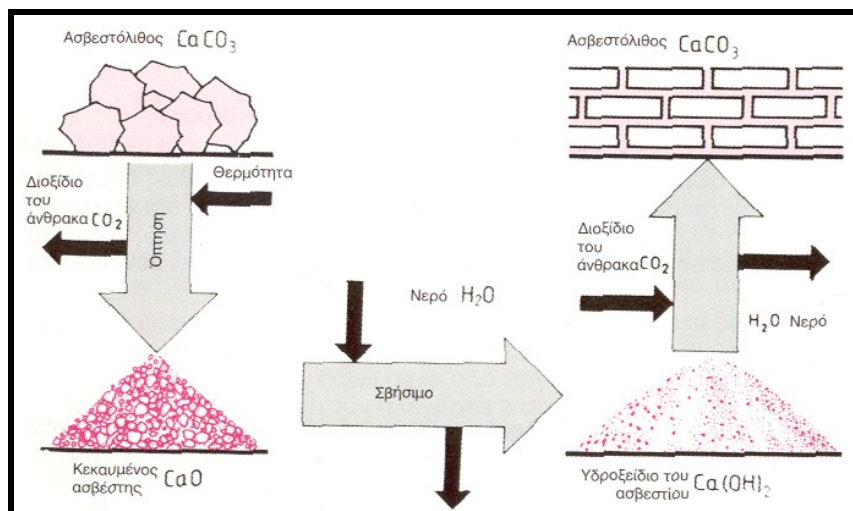
Από την παραπάνω αντίδραση προκύπτει ότι, από 100 Kg ασβεστόλιθου παίρνουμε 56 Kg άσβεστο. Το οξείδιο του ασβεστίου (**CaO**) καλείται **κεκαυμμένος ασβέστης** ή κοινώς **ασβέστης**. Έχει τη μορφή και το μέγεθος των λίθων από τους οποίους προήλθε και το χρώμα του είναι λευκό.

Αν κατόπιν το οξείδιο του ασβεστίου αναμιχθεί με νερό, τότε πραγματοποιείται το λεγόμενο σβήσιμο του ασβέστη και προκύπτει το υδροξείδιο του ασβεστίου [Ca(OH)_2] σύμφωνα με την παρακάτω εξώθερμη αντίδραση:



Το τελευταίο αυτό υλικό που συνήθως χρησιμοποιείται με τη μορφή πολτού και σπανιότερα με τη μορφή σκόνης είναι η κονία και καλείται **σβησμένος ασβέστης** (εσβεσμένη άσβεστος) ή **υδράσβεστος**.

Η υδράσβεστος μαζί με τους πηλούς είναι από τις **παλαιότερες συγκολλητικές ύλες που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος για την παρασκευή κονιαμάτων**. Μόνο τον τελευταίο καιρό αντικαταστάθηκε σε κάποιες εργασίες από το τσιμέντο.



Εικόνα 2.2. Παρασκευή και σκλήρυνση ασβέστη

2.5.1. Παρασκευή ασβέστη

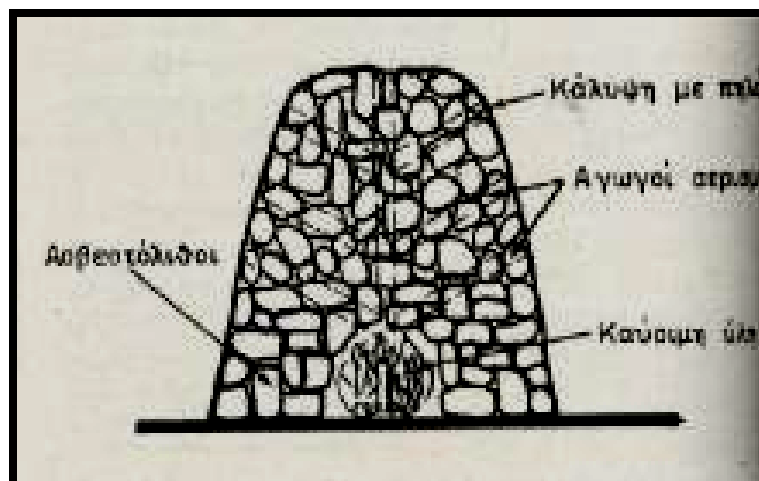
Ως πρώτη ύλη για την παρασκευή του ασβέστη χρησιμοποιούνται οι άφθονοι σε όλο τον κόσμο κοινοί ασβεστόλιθοι, οι δολομίτες, τα μάρμαρα και γενικά όλα τα πετρώματα που περιέχουν σε μεγάλη αναλογία ανθρακικό ασβέστιο. Όλες οι υπόλοιπες προσμίξεις που περιέχονται στους ασβεστόλιθους, όπως τα οξείδια του μαγνησίου, του πυριτίου, του σιδήρου κλπ., μετά την πύρωση του ανθρακικού ασβεστίου παραμένουν αναμιγμένα μαζί με τον ασβέστη. Οι προσμίξεις αυτές ελαττώνουν την ποιότητά του. Πρέπει επομένως να

διαλέγονται εκείνοι οι ασβεστόλιθοι που περιέχουν τη μεγαλύτερη αναλογία σε ανθρακικό ασβέστιο και τις λιγότερες προσμίξεις.^[1]

Το πρώτο στάδιο της παρασκευής της κονιάς είναι η πύρωση των ασβεστόλιθων. Η πύρωση γίνεται σε ειδικά καμίνια, τις λεγόμενες **ασβεστοκαμίνους**.

Παλαιότερα χρησιμοποιούσαν **σωροκαμίνια** που κατασκευάζονταν από τους ίδιους τους ασβεστόλιθους που έπρεπε να ψηθούν (εικόνα 2.3.). Αρχικά έκτιζαν από τους πιο ογκώδεις λίθους μια θολωτή πυρεστία και γύρω καθώς και από πάνω από την οποία τοποθετούσαν τους υπόλοιπους λίθους κατά σειρά μεγέθους. Κατά διαστήματα δημιουργούσαν οριζώντιους και κατακόρυφους οχετούς για τη διόδο των αερίων. Αφού τελείωναν το κτίσιμο, κάλυπταν εξωτερικά το σωρό με στρώμα πηλού για να μη φεύγει η θερμότητα από τα μεταξύ των λίθων κενά.

Ως καύσιμη ύλη χρησιμοποιούσαν ξύλα και θάμνους από τις γύρω περιοχές τα οποία τοποθετούσαν κατά στρώματα μεταξύ των λίθων. Η πύρωση διαρκούσε περίπου 4 έως 6 μέρες. Μετά, αφού κρύωνε ο σωρός τον διέλυναν και έπαιρναν τον ασβέστη, στον οποίον είχαν μετατραπεί οι ασβεστόλιθοι. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ακόμα σε κάποιες περιοχές αλλά πολύ λίγο.^[1]



Εικόνα 2.3. Παραδοσιακό σωροκαμίνι

Σήμερα, για παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων χρησιμοποιούνται όπως αναφέραμε οι ασβεστοκάμινοι. Οι κάμινοι αυτές συνήθως κατασκευάζονται κοντά σε λατομεία και διακρίνονται σε περιοδικής λειτουργίας (ασυνεχούς) και σε συνεχούς λειτουργίας.^[4]

Κάμινοι ασυνεχούς λειτουργίας

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 **μακρίας 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.

Για καύσιμη ύλη στην παραγωγή ασβέστη 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.

Τα πιο χαρακτηριστικά καμίνια διακοπτόμενης λειτουργίας είναι μόνιμα κτίσματα με εξωτερικούς τοίχους από πέτρες ή τούβλα και με εσωτερική επένδυση από πυρίμαχα τούβλα. Η εσωτερική τους διάμετρος είναι 2 έως 3 μέτρα και το ύψος τους 5 έως 7 μέτρα. Το άνω μέρος παραμένει ανοιχτό και χρησιμοποιείται για το γέμισμα του καμινιού με τους ασβεστόλιθους καθώς και για τη διαφυγή των καυσαερίων. Στα πλάγια

υπάρχει θυρίδα μέσα από την οποία ρίχνεται στο εσωτερικό η καύσιμη ύλη, συνήθως λιθάνθρακας ή λιγνίτης. Τέλος σε ορισμένα καμίνια υπάρχει στο δάπεδο τρύπα (οπή) με σιδερένια κινητή σχάρα, με την οποία γίνεται το ξεφόρτωμα του ασβέστη μετά την ψύξη. Το φόρτωμα γίνεται από πάνω, αφού προηγουμένως κατασκευαστεί στο δάπεδο μια θολωτή πυρεστία, την οποία κτίζουν με ασβεστόλιθους μεγάλου μεγέθους.^[4]

Σοβαρό μειονέκτημα αυτού του τύπου καμινιού είναι ότι οι ασβεστόλιθοι των κατώτερων στρωμάτων θερμαίνονται πιο πολύ από τους ασβεστόλιθους των ανώτερων επειδή βρίσκονται πιο κοντά στις φλόγες της καύσιμης ύλης. Συνεπώς η πύρωση του σωρού γίνεται ανομοιόμορφα και η ποιότητα του ασβέστη είναι χαμηλή.

Κάμινι**οι συνεχούς λειτουργίας**

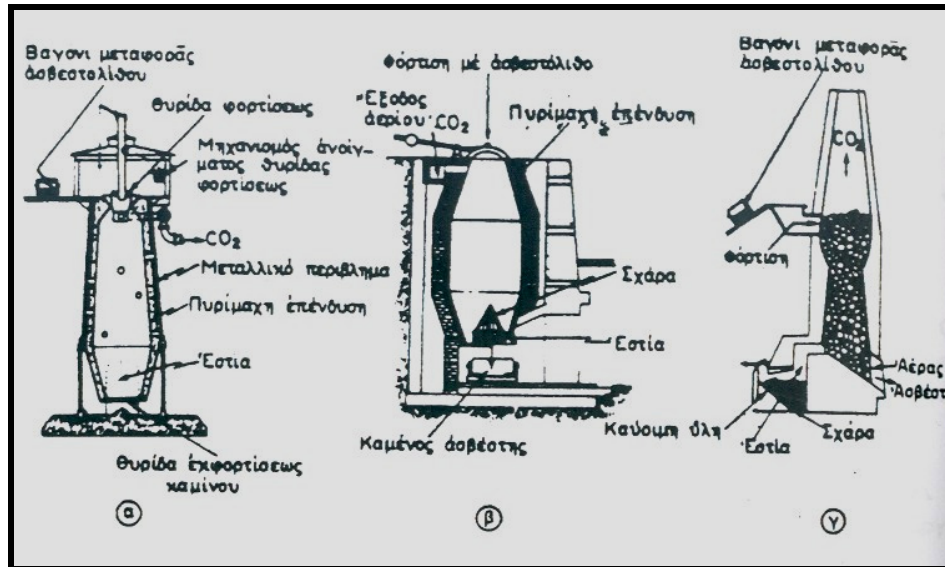
Τα καμίνια συνεχούς λειτουργίας είναι συνήθως πιο σύνθετα συγροτήματα και χρησιμοποιούνται κυρίως για βιομηχανική παραγωγή ασβέστου καλής ποιότητας και χαμηλού κόστους.

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι καμινιών, τα κατακόρυφα και τα οριζόντια καμίνια. Επίσης συναντούνται διαφοροποιήσεις όσον αφορά το μήκος της φλόγας και την καύσιμη ύλη.

Τα κατακόρυφα καμίνια έχουν συνήθως σχήμα δύο κώλουρων κώνων ενωμένων στις βάσεις με τη μεγαλύτερη διάμετρο. Μέγιστη διάμετρος είναι 3 μέτρα και ύψος από 8 έως 12 μέτρα. Κατασκευάζονται από τοιχοποιία ή από οπλισμένο σκυρόδεμα ή από σιδερένιες λαμαρίνες ενισχυμένες με σιδερένια ελάσματα. Εσωτερικά έχουν ισχυρή θερμική και πυρίμαχη μόνωση.

Τα χαρακτηριστικά τους σημεία είναι: η *χοάνη φόρτισης* στο άνω τμήμα, οι *τρύπες* (σε ορισμένο ύψος) μέσα από τις οποίες εισέρχονται οι φλόγες της καύσιμης ύλης μέσα στο καμίνι και ο *θάλαμος ψύξης*, στον οποίο καταλήγει ο ασβέστης μετά την πύρωση για να

κρυώσει. Η τροφοδότηση του καμινιού γίνεται με κεκλιμένη μεταφορική ταινία η οποία μεταφέρει τους ασβεστόλιθους στη χοάνη φόρτισης που βρίσκεται στο άνω τμήμα ή σε πλάγια θέση του καμινιού.



Εικόνα 2.2. 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)].

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

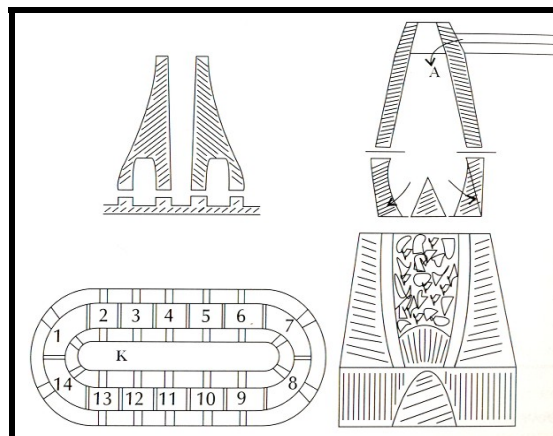
Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της καμινού Hoffman είναι η μεγάλη εκμετάλλευση της θερμότητας των αερίων καύσης και συνεπώς χαμηλό κόστος, καθόσον το βασικό κόστος στη παραγωγή αυτών των ειδών είναι το καύσιμο. Αποδίδει ημερησίως 30 τουλάχιστον τόννους ασβέστου. Πρόσθετο πλεονέκτημα είναι η εύκολη προσαγωγή των πρώτων υλών

και η απομάκρυνση των έτοιμων προϊόντων, που συμβάλλει στη μείωση του εργατικού κόστους.

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 μέτρα 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 στον κοινό, για όλα τα διαμερίσματα, καπναγωγό.

Τα διαμερίσματα δημιουργούνται κάθε φορά με παρεμβολή φράγματος, ανά 3-4 μέτρα πρισσόχαρτου 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. Χαρακτηριστικά φαίνεται η κάμινος Hoffman στην εικόνα 2.3.



Εικόνα 2.3. Κάμινος Hoffman

2.5.2. Είδη καμένου ασβέστη

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στους ασβεστόλιθους και κατά συνέπεια στον παραγόμενο ασβέστη μπορεί να υπάρχουν προσμίξεις, όπως οξείδια του μαγνησίου, του πυριτίου, του σιδήρου κλπ. οι οποίες και ελαττώνουν την ποιότητά του.

Ανάλογα με αυτές τις προσμίξεις διακρίνονται τα παρακάτω είδη καμμένου ασβέστη.

- Ασβέστιο ή ασβεστιτική 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 σε ποσοστό 10% ως 20%. Ο υδραυλικός ασβέστης διαφέρει από τους προηγούμενους, διότι έχει την ιδιότητα να στερεοποιείται και μέσα στο νερό.

Στον **υδραυλικό ασβέστη** η πύρωση του ασβεστολίθου γίνεται στις συνήθεις ασβεστοκάμινους 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, που 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.

Γενικά υδραυλικός ασβέστης παρασκευάζεται πολύ λίγο σήμερα διότι στη θέση του χρησιμοποιείται το τσιμέντο, που έχει σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό ανεπτυγμένη την ιδιότητα της πήξης μέσα στο νερό.

Η καλύτερη ποιότητα ασβέστη είναι η ασβεστιτική γιατί περιέχει σε μεγαλύτερη αναλογία το οξείδιο του ασβεστίου που μόνο αυτό μετατρέπεται μετά το σβήσιμό του στη συγκολλητική ύλη, δηλαδή στην υδράσβεστο.

2.5.3. Μεταφορά - Εμπόριο

Μετά την ψύξη ο ασβέστης διατίθεται στο εμπόριο σε τεμάχια, όπως αυτά βγήκαν από το καμίνι χωρίς άλλη κατεργασία. Μετριέται σε Kg, ενώ παλαιότερα το μετρούσαν σε στατήρες (καντάρια).

Επειδή ο καμμένος ασβέστης έχει την τάση να ενώνεται με το νερό, πρέπει να λαμβάνονται ιδιαίτερες προφυλάξεις για την εναποθήκευσή του. Οι αποθήκες του ασβέστη πρέπει να είναι ξηροί και καλά στεγασμένοι χώροι. Ο ασβέστης, εκτιθέμενος στον αέρα, απορροφά, λόγω της υγροσκοπικότητας, την υγρασία και διογκώνεται. Έτσι,

μεταβάλλεται σε λευκή σκόνη, που με την επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα, γίνεται πάλι ασβεστίτης. Για να αποφευχθεί το φαινόμενο αυτό είναι συνήθως προτιμότερο αμέσως μετά την παραλαβή του στο εργοστάσιο να γίνεται το σβήσιμό του (η σβέση) και έτσι να παρασκευάζεται υδράσβεστος.^[1]

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

2.5.4. Ποιότητα καμένου ασβέστη

Ο καλής ποιότητας ασβέστης είναι λευκός, εκτός αν υπάρχει μεγάλη αναλογία οξειδίου του μαγνησίου, οπότε το χρώμα του είναι υπόλευκο.^[4]

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

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

2.5.5. Σβήσιμο καμένου ασβέστη

Το σβήσιμο του καμένου ασβέστη αποτελεί και το δεύτερο στάδιο παρασκευής της κονιάς. Το σβήσιμο του γίνεται με την προσθήκη νερού στο οξείδιο του ασβεστίου (τον ασβέστη). Τότε παρατηρείται το εξής φαινόμενο:

Τα τεμάχια του ασβέστη διογκώνονται μέχρι διπλασιασμού ή ακόμη και τριπλασιασμού του αρχικού τους όγκου, (όταν πρόκειται για ασβέστη με υψηλή περιεκτικότητα σε οξείδιο του ασβεστίου), στη συνέχεια σπάνε και τελικά μετατρέπονται σε σκόνη.^[1]

Κατά το σβήσιμο εκλύεται υψηλή θερμότητα και από τη μάζα του ασβέστη βγαίνει ατμός σφυρίζοντας. Έτσι παράγεται νέο υλικό, το υδροξείδιο του ασβεστίου δηλαδή ο υδρασβέστης ή η **υδράσβεστος**, με εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά από το αρχικό οξείδιο του ασβεστίου. Η θερμότητα που αναπτύσσεται είναι τόσο μεγάλη ώστε η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει τους 200 βαθμούς °C. Καθώς η θερμοκρασία αυτή είναι κατά πολύ υψηλότερη από τη θερμοκρασία βρασμού του νερού, το νερό που περισσεύει βράζει και εξατμίζεται. Συνεπώς είναι δυνατόν να προκληθούν σοβαρότατα εγκαύματα στους εργάτες που ασχολούνται με το σβήσιμο καθώς και ανάφλεξη σε εύφλεκτα υλικά εάν δε ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα προφύλαξης.

Όταν το νερό που προστίθεται είναι το απολύτως απαραίτητο για την εκτέλεση της χημικής αντίδρασης (32% του βάρους του οξειδίου του ασβεστίου), τότε η υδράσβεστος παίρνει τη μορφή λευκής σκόνης και κυκλοφορεί στο εμπόριο μέσα σε καλά σφραγισμένους και υδατοστεγανούς χάρτινους σάκους. Έτσι αποκλείεται η επαφή της σκόνης της υδρασβέστου με την υγρασία και τον ατμοσφαιρικό αέρα. Επειδή όμως κατά κανόνα η υδράσβεστος χρησιμοποιείται με μορφή πολτού, το προστιθέμενο νερό είναι πολύ περισσότερο.

Ανάλογα με τις συνθήκες σβέσης, η υδράσβεστος έχει χαρακτήρα κολλοειδή ή κρυσταλλοειδή. Συνήθως είναι μίγμα. Μεγαλύτερη αξία όμως έχει η **κολλοειδής**

άσβεστος. Μεγάλο ποσοστό κολλοειδούς επιτυγχάνεται όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της σβέσης.^[4]

Το σβήσιμο του ασβέστη γίνεται με ανάμιξη σε συνήθως ξύλινα ή πλινθόκτιστα κιβώτια (καρούτες), διαστάσεων συνήθως 2.00 x 1.00 x 0.50 m, με περίσσεια νερού. Αν θέλουμε μικρότερες ποσότητες μπορεί να γίνει σε ξύλινο δάπεδο που περιορίζεται περιμετρικά με μικρό ανάχωμα από άμμο. Στα εργοστάσια παραγωγής ασβέστη υπάρχει μονιμότερη εγκατάσταση για το σβήσιμό του.

Πριν τη σβέση πρέπει να εξακριβωθεί η **ταχύτητα σβέσης** του ασβέστη. Αυτό επιτυγχάνεται με παρατήρηση ενός δοχείου γεμάτου με ασβέστη που στη συνέχεια καλύπτεται με νερό. Αν η αποσάρθρωση αρχίσει μέσα σε 5 λεπτά, ο ασβέστης είναι ταχύσβεστος, αν αρχίσει σε 30 λεπτά είναι ημιταχύσβεστος, αν τέλος βραδύνει περισσότερο των 30 λεπτών, τότε είναι βραδύσβεστος. Ανάλογα προς την ταχύτητα σβέσης, ρυθμίζεται και ο τρόπος σβέσης.

Αν πρόκειται για ταχύσβεστο ασβέστη, πρέπει να καλύπτεται διαρκώς με νερό. Ο ημιταχύσβεστος ασβέστης εξέχει από το νερό, ο 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:

1. Το κιβώτιο σβέσης γεμίζει κατά τα 3/4 με νερό. Στο νερό αυτό ρίχνονται τα κομμάτια του ασβέστη, 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.

2. Μετά την διακοπή του κοχλασμού αρχίζει η ανάδευση της υδρασβέστου, που με την προσθήκη περίσσειας νερού, μετατρέπεται σε αραιό πολτό. Το γαλάκτωμα της ασβέστου, δηλαδή 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 του ασβέστη.

3. 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.

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

Συνεπώς τα **μέτρα προστασίας** που πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη στο σβήσιμο του ασβέστη, είναι:

- α) Προσδιορισμός της ποσότητας του νερού που απαιτείται για το σβήσιμο.
- β) Δυνατό ανακάτεμα κατά τη διάρκεια του σβησίματος.
- γ) Αποφυγή χρησιμοποίησης πολύ ψυχρού νερού.
- δ) Χρησιμοποίηση μαλακού και χωρίς άλατα νερού. Απαγορεύεται η χρήση θαλασσινού νερού.
- ε) Απομάκρυνση των τεμαχίων που δε σβήστηκαν και των άλλων προσμιγμάτων, τα οποία τυχόν ήταν αναμιγμένα με τον καμένο ασβέστη.

στ) Παραμονή του πολτού της υδρασβέστου μέσα στο λάκκο για τουλάχιστον 15 μέρες πριν τη χρησιμοποίησή της και ράντισμά της με άφθονο νερό ώστε να σβήσουν εντελώς τα μικρότατα τεμάχια που κατά τύχη έμειναν άσβηστα.

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 άνθρακα. Για το λόγο αυτό καλύπτεται συνήθως με στρώμα υγρής άμμου.

Κατά την ωρίμανση αυξάνονται τα κολλοειδή συστατικά της ασβέστου και συνεπώς η πλαστικότητα 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 του ασβέστη. Το υλικό παραμένει 3 ως 5 εβδομάδες για ωρίμανση. Αν έχουν παραμείνει άσβεστα τεμάχια ασβέστη, αργότερα θα προσβληθούν από το νερό μέσα στο κονίαμα και διογκούμενα θα καταστρέψουν τα επιχρίσματα.

2.5.6. Είδη υδρασβέστου

Η υδράσβεστος διακρίνεται ανάλογα με την περιεκτικότητά της σε υδροξείδιο του ασβεστίου κολλοειδούς μορφής σε **παχιά και ισχνή (αδύνατη)**.^[1]

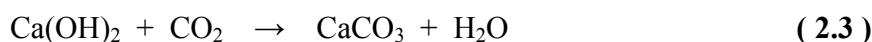
Η **παχιά υδράσβεστος** προέρχεται από ασβεστιτικό ασβέστη πλούσιο σε οξείδιο του ασβεστίου μετά από προσεκτικό σβήσιμό του. Ο όγκος της είναι συνήθως υπερδιπλάσιος από τον όγκο του καμμένου ασβέστη. Ο πολτός αυτού του είδους είναι πολύ πλαστικός και λιπαρός και δεν περιέχει στερεούς κόκκους. Μπορεί να αναμιχθεί με μεγάλη ποσότητα άμμου για την παρασκευή καλού ασβεστοκονιάματος.

Η **αδύνατη υδράσβεστος** προέρχεται από δολομιτικό ασβέστη ή από κακό σβήσιμο ασβεστιτικού ασβέστη. Ο όγκος της είναι μικρότερος από το διπλάσιο όγκο του ασβέστη

από τον οποίο προήλθε. Είναι άγρια στην υφή και λιγότερο πλαστική από την παχιά. Για την παρασκευή ασβεστοκονιάματος απαιτείται μεγάλη ποσότητα αδύνατης υδρασβέστου.

2.5.7. Ιδιότητες υδρασβέστου

Η υδράσβεστος (υδροξείδιο του ασβεστίου $\text{Ca}(\text{OH})_2$) 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). Συγχρόνως αποβάλλεται νερό. Η χημική αυτή αντίδραση παριστάνεται ως εξής :



Στην ιδιότητα αυτή βασίζεται η ικανότητα της κονιάς 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 κατ'εξοχήν αερική κονία γιατί όπως αναφέρθηκε, μόνο με την επαφή της με τον αέρα μπορεί να σκληρυνθεί. Επειδή όμως συγχρόνως αποδίδει και νερό, πρέπει για να ολοκληρωθεί η σκλήρυνση να απομακρυνθεί το νερό αυτό.

Έτσι οι δύο παράγοντες που πρέπει να συνυπάρχουν για να συντελεσθεί η στερεοποίηση της κονιάς 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.

Παρατηρήθηκε ότι σε χονδρούς τοίχους παλαιών κτιρίων που βρίσκονται σε υγρά υπόγεια ή θεμέλια δεν είχε ακόμα ολοκληρωθεί η σκλήρυνση του κονιάματος στο εσωτερικό τους αν και είχαν περάσει πολλά χρόνια από την κατασκευή τους.

Επίσης παρατηρείται κατά τους χειμωνιάτικους υγρούς μήνες, τα ασβεστοκονιάματα να σκληραίνουν πολύ αργότερα από ότι τους καλοκαιρινούς όπου η εξάτμιση είναι πολύ εντονότερη.

2.5.8. Χρήσεις υδρασβέστου

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

Οι αναλογίες άμμου και υδρασβέστου στα κονιάματα αυτά ποικίλουν ανάλογα με την *ποιότητα της υδρασβέστου* (παχιά ή αδύνατη), 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).^[1]

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

Επίσης χρησιμοποιείται στα **τσιμεντοκονιάματα**, γιατί βελτιώνει μερικές ιδιότητές τους. Αν και η υδράσβεστος έχει πολύ μικρότερη αντοχή από το τσιμέντο, έχει αποδειχθεί ότι μικρή ποσότητα υδρασβέστου (μέχρι 10%) αν προστεθεί σε καθαρό τσιμεντοκονίαμα όχι μόνο δεν ελαττώνει την αντοχή του, αλλά αντιθέτως βελτιώνει ορισμένες ιδιότητές του.

Οι σημαντικότερες **βελτιώσεις που προξενεί** είναι οι εξής :

- 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.

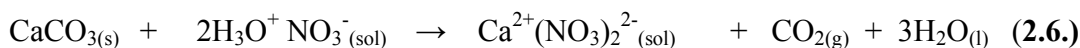
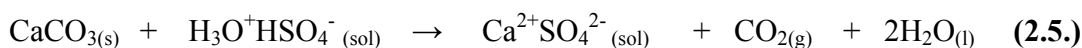
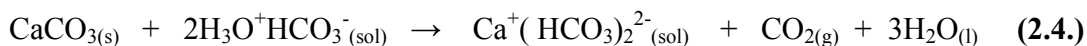
Άλλη χρήση της υδρασβέστου γίνεται στα **υδροχρώματα**. Χρησιμοποιείται αραιή υδράσβεστος μέσα στην οποία ρίχνεται το επιθυμητό χρώμα. Ενεργεί ως συγκολλητική ουσία καθώς συνδέει τα μόρια του χρώματος με τις επιφάνειες που θέλουμε να καλύψουμε. Επίσης, χρησιμοποιείται και στη **σταθεροποίηση εδαφών**, κυρίως στην οδοποιία.

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

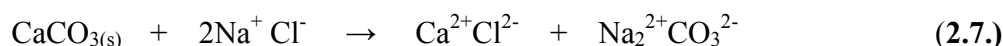
2.5.9. Διάβρωση ασβέστου – Χρήση στα μνημεία

Η υδράσβεστος χρησιμοποιείται ευρύτατα σε επεμβάσεις στα μνημεία. Ωστόσο πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή στη διάβρωση. Όπως αναφέρθηκε στο κεφ.2.5.7, σχέση 2.3. η υδράσβεστος αντιδρά με το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας και μετατρέπεται σε ανθρακικό ασβέστιο. (Τα παρακάτω στοιχεία αποτελούν πιστή αντιγραφή από το βιβλίο του Ομότιμου Καθηγητή του Ε.Μ. Πολυτεχνείου Θ.Ν. Σκουλικίδη «Διάβρωση και συντήρηση των δομικών υλικών των μνημείων» σελ.128,129).

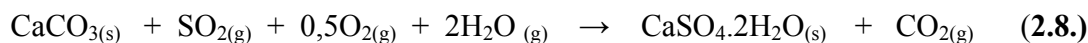
Το ανθρακικό ασβέστιο όμως διαλύεται από την όξινη βροχή όπως φαίνεται στις παρακάτω αντιδράσεις:^[2]



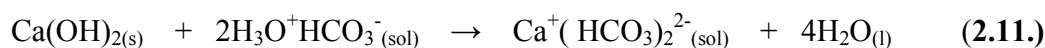
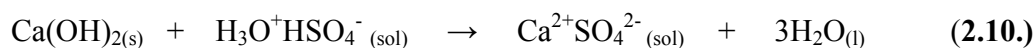
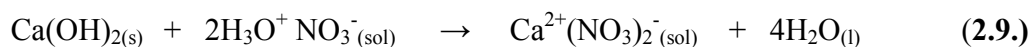
Επίσης και από τα Cl^- της ατμόσφαιρας



Ενώ όταν δε βρέχει, ή σε μέρη του μνημείου που δε βρέχονται, μετατρέπεται σε γύψο (ηλεκτροχημική δράση), δηλαδή το CaCO_3 θειώνεται, γυψοποιείται.



Το πρόβλημα συναντάται περισσότερο στις περιπτώσεις όπου η υδράσβεστος δεν έχει ανθρακωθεί, όπου τα οξέα δρουν και απευθείας σε αυτήν, σύμφωνα πάντα με τις αντιδράσεις:



Επειδή η υδράσβεστος είναι και απ' ευθείας διαλυτή στο νερό της βροχής, η χρήση της στα μνημεία πρέπει να γίνεται σε εποχές του έτους που δε βρέχει, ώστε να προφτάσει η επιφάνειά της να ανθρακωθεί προτού βρέξει.

2.6. Τσιμέντο

2.6.1. Γενικά - Ιστορικά

Με τον όρο τσιμέντο προσδιορίζεται μια μεγάλη κατηγορία υδραυλικών κονιών, που έχουν δηλαδή την ιδιότητα να στερεοποιούνται και μέσα στο νερό. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των τσιμέντων είναι ότι προέρχονται από την καύση μίγματος ασβεστολιθικών και αργυλοπυριτικών πετρωμάτων. Για κάθε είδος τσιμέντου χρησιμοποιούνται τα πετρώματα αυτά με διαφορετικές αναλογίες.^[1]

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) μπορούσε να παρασκευαστεί υδραυλική κονία. Στην ανακάλυψη αυτή οδηγήθηκε από την ανάγκη να βρει κατάλληλη κονία, που να σκληραίνει και μέσα στο νερό, για να τη χρησιμοποιήσει στην κατασκευή ενός φάρου.

Αργότερα, το 1796, ο επίσης Άγγλος James Parker, παρουσίασε μια σύνθεση για την παρασκευή υδραυλικής κονίας από ορισμένα πετρώματα που περιείχαν οξείδια του ασβεστίου, του πυριτίου και του αργιλίου. Για το ψήσιμο χρησιμοποίησε μία συνιθισμένη ασβεστοκάμινο. Τα ψημένα τεμάχια τρίβονταν σε σκόνη η οποία ονομάστηκε **ρωμαϊκή κονία**, γιατί έμοιαζε με την κονία που παρασκεύαζαν οι Ρωμαίοι από ηφαιστειακή γη (ποζολάνες).

Μετά από τους πρώτους αυτούς κατασκευαστές ιδρύθηκαν αρκετές βιομηχανίες παραγωγής τσιμέντου στην Αγγλία, την Αμερική αλλά και σε άλλες χώρες, οι οποίες ως πρώτη ύλη πάντοτε χρησιμοποιούσαν ορισμένο πέτρωμα με κατάλληλες αναλογίες των οξειδίων ασβεστίου, πυριτίου και αργιλίου. Τα τσιμέντα που παρασκευάζονται με αυτόν τον τρόπο είναι γνωστά ως **φυσικά τσιμέντα** και σήμερα ελάχιστες χώρες τα παράγουν.

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 (**τεχνητό 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.

Το τσιμέντο αυτό γρήγορα επιβλήθηκε και προκάλεσε επανάσταση στην οικοδομική, ιδίως μετά την εφαρμογή των οπλισμένων σκυροδεμάτων. Σήμερα μεγάλες βιομηχανίες ασχολούνται με την παρασκευή τσιμέντου Portland.

2.6.2. Πρώτες ύλες και στάδια παρασκευής τσιμέντου

Στις σημερινές βιομηχανίες τα ασβεστούχα υλικά είναι ασβεστόλιθοι ή σαβεστολιθικές μάργες, ενώ τα αργιλούχα είναι άργιλοι, σχιστόλιθοι ή άλλα πετρώματα που περιέχουν οξείδια του αργιλίου και του πυριτίου.^[1]

Όλη η εργασία της παρασκευής του τεχνητού τσιμέντου μπορεί να χωριστεί σε 4 στάδια :

- α) Προπαρασκευή και ανάμειξη πρώτων υλών
- β) Ψήσιμο (όπτηση) του μίγματος
- γ) Προσθήκη των προβλεπομένων συμπληρωματικών ουσιών και λειοτρίβηση των εκβολάδων (Clinker).
- δ) Εναποθήκευση του τσιμέντου

2.6.3. Παρασκευή τσιμέντου

Προπαρασκευή

Κατά την προπαρασκευή των πρώτων υλών, εξετάζεται αρχικά η χημική και ορυκτολογική σύστασή τους και προσδιορίζονται οι ποσότητες που θα ληφθούν από κάθε είδος, ώστε το μίγμα να έχει τις προβλεπόμενες αναλογίες σε ασβεστιακές, αργλικές και πυριτικές ενώσεις.

Οι ασβεστόλιθοι μεταφέρονται σε θραυστήρες και σπάνε σε τεμάχια των 2 έως 5 cm. Τα τεμάχια ξηραίνονται σε περιστρεφόμενο κύλινδρο ξήρανσης ο οποίος τροφοδοτείται με θερμό αέρα 500 °C, και τέλος εναποθηκεύονται σε ειδικά σιλό.

Η άργιλος λειοτριβείται σε σφαιρόμυλους, ξηραίνεται όπως και ο ασβεστόλιθος και εναποθηκεύεται και αυτή σε άλλα σιλό.

Από τα σιλό αυτά, παίρνονται οι απαραίτητες ποσότητες από το κάθε είδος και ρίχνονται στον αναμκτήρα. Ο αναμκτήρας είναι ένας σφαιρόμυλος στον οποίο γίνεται ταυτόχρονα και η κονιοποίηση του μίγματος. Το άλευρο που εξέρχεται πρέπει να διέρχεται σε ποσοστό 95% από κόσκινο με 4900 τρύπες ανά cm². Η εργασία αυτή πρέπει να γίνει με μεγάλη σχολαστικότητα, γιατί από την καλή και ομοιογενή ανάμιξη και τη λεπτότητα του μίγματος εξαρτάται κατά μεγάλο ποσοστό η ποιότητα του τσιμέντου.

Ψήσιμο (όπτηση)

Το ψήσιμο του μίγματος των πρώτων υλών γίνεται μέσα σε **καμίνι** του οποίου το κύριο τμήμα είναι ένας κύλινδρος που στρέφεται αργά γύρω από τον άξονά του με ταχύτητα 4 ως 8 στροφές ανά λεπτό. Ο άξονας του κυλίνδρου έχει ελαφρά οριζόντια κλίση (1 : 20 περίπου), έτσι ώστε τα υλικά να μπορούν να κινούνται από το ένα άκρο στο άλλο. Ο κύλινδρος κατασκευάζεται από χονδρή λαμαρίνα με ενισχυτικά στεφάνια και εσωτερικά έχει ισχυρή επένδυση από πυρίμαχα τούβλα. Εκτός από το βασικό κύλινδρο, το καμίνι

έχει τη χοάνη φόρτισης, την εστία στην οποία υπάρχουν τα ακροφύσια (μπεκ) της καύσιμης ύλης, την καπνοδόχο και διάφορα άλλα εξαρτήματα και μηχανισμούς απαραίτητα για τη λειτουργία του.

Η θερμότητα μεταδίδεται με φλόγες οι οποίες εισέρχονται από το κάτω άκρο του κυλίνδρου μέσω ακροφυσίων, που με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα εξακοντίζονται σε αρκετό βάθος μέσα στο καμίνι. Ως καύσιμη ύλη χρησιμοποιείται σκόνη λιθάνθρακα ή πετρέλαιο.

Ο κύλινδρος χωρίζεται σε 3 θερμοκρασιακές ζώνες :

- Στη ζώνη των 600 C, ή **ζώνη ξήρανσης**, η οποία βρίσκεται κοντά στο άνω άκρο και εκεί το υλικό ξηραίνεται τελείως.
- Στη ζώνη των 1000 C, ή **ζώνη ασβεστοποίησης**, στο μέσο περίπου του κυλίνδρου, όπου διασπάται το ανθρακικό ασβέστιο σε οξείδιο του ασβεστίου και διοξείδιο του άνθρακα (σχέση 2.1. σελ. 8).
- Στη ζώνη των 1500 C, ή **ζώνη αρχόμενης τήξης**, κοντά στο κάτω άκρο, όπου συντελούνται οι χημικές αντιδράσεις που μετατρέπουν τις αρχικές ύλες, λόγω συγκόλλησης των κοκκων, σε μικρά τεμάχια μεγέθους “μπιζελιού” ως “καρυδιού”, τα οποία έχουν λάμψη γυαλιού, χρώμα πρασινόμαυρο και μεγάλη σκληρότητα, και ονομάζονται **εκβολάδες ή Clinker**.

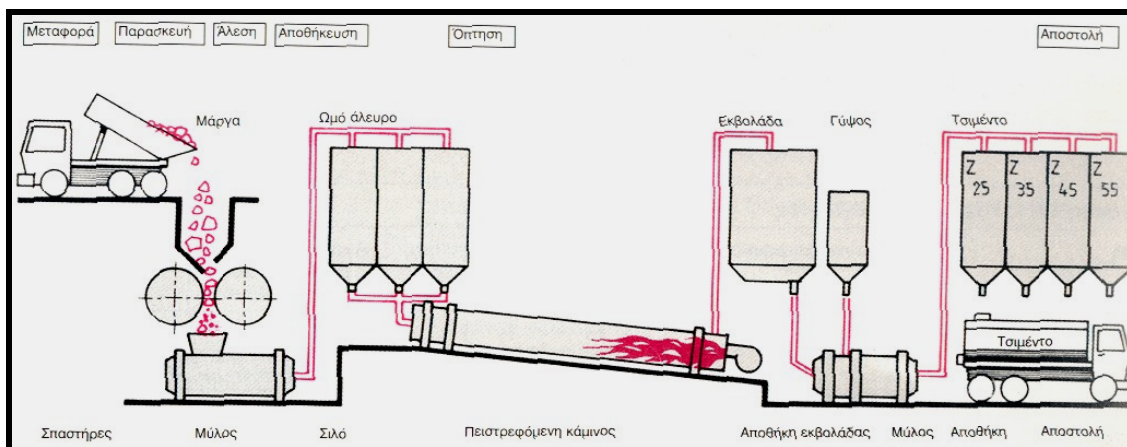
Ως τελικό προϊόν της διαδικασίας αυτής παίρνουμε τις εκβολάδες, οι οποίες αφού εξέλθουν από το κάτω άκρο του καμινιού ψύχονται σε ειδικό περιστρεφόμενο κύλινδρο ψήξης.

Λειοτρίβηση

Κατά το στάδιο αυτό, οι εκβολάδες, μετά την εξαγωγή τους από τον κύλινδρο ψήξης, διαβρέχονται με νερό για να σβήσουν τυχόν ίχνη καμένου ασβέστη και μεταφέρονται σε χώρους όπου παραμένουν μία τουλάχιστον εβδομάδα. Μετά λειοτριβούνται σε σφαιρόμυλους, αφού πρώτα προστεθεί μικρή ποσότητα φυσικής ή πυρωμένης **γύψου** σε αναλογία 2 ως 5%. Η προσθήκη της γύψου είναι απαραίτητη, γιατί το τσιμέντο που προκύπτει από την άλεση αμιγών εκβολάδων πήζει πολύ γρήγορα μετά την ανάμιξή του με νερό και έτσι είναι πολύ δύσκολη η χρήση του. Στην Ελλάδα προστίθεται και **θηραϊκή γη** σε αναλογία 8 ως 10%. Η μικρή αυτή προσθήκη δεν ελαττώνει ουσιωδώς την αντοχή και τις υδραυλικές του ικανότητες, ενώ ελαττώνει το κόστος του.^[1]

Αποθήκευση - Συσκευασία

Μετά τη λειοτρίβηση η σκόνη του τσιμέντου μεταφέρεται σε ειδικά σιλό για εναποθήκευση. Στο εμπόριο κυκλοφορεί συσκευασμένο σε χάρτινους σάκους των 50 Kg. Επίσης διατίθεται χύμα, εναποθηκευμένο στο εργοτάξιο μέσα σε κατάλληλα κυλινδρικά δοχεία (σιλό) από λαμαρίνα.



Εικόνα 2.3. Παρασκευή τσιμέντου

2.6.4. Χημική σύνθεση 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.

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 :^[4]

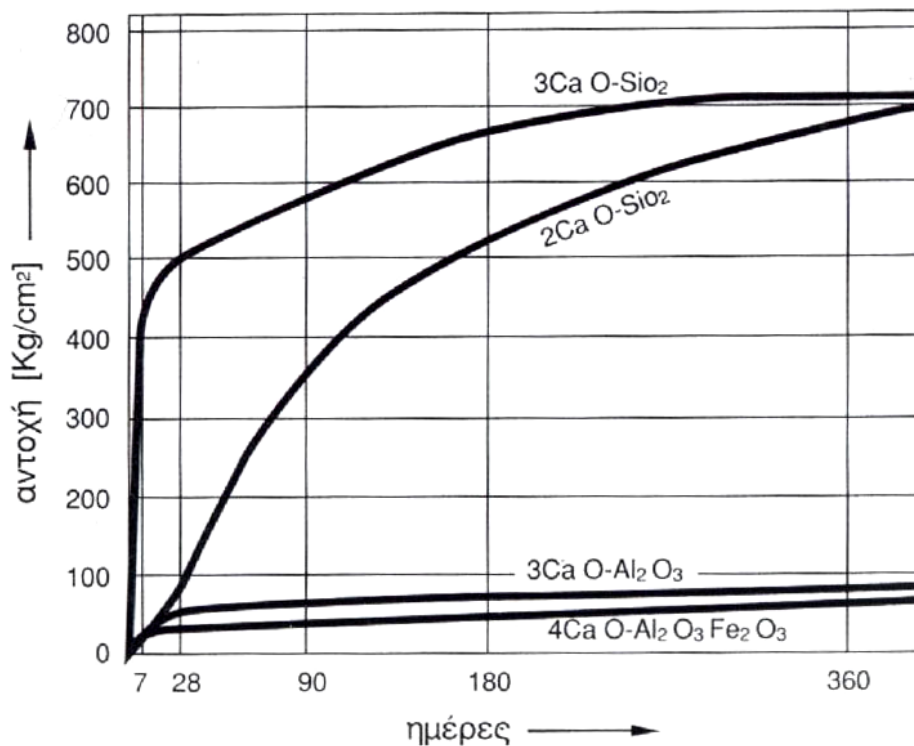
- Το **πυριτικό τριασβέστιο** ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) που συμβολίζεται με C_3S και βρίσκεται σε ποσοστό 54% περίπου κατά βάρος.
- Το **πυριτικό διασβέστιο** ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) που συμβολίζεται με C_2S και βρίσκεται σε ποσοστό 17% περίπου κατά βάρος.
- Το **αργιλικό τριασβέστιο** ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) που συμβολίζεται με C_3A και βρίσκεται σε ποσοστό 19% περίπου κατά βάρος.
- Το **αργιλοσιδηρικό τετρασβέστιο** ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) που συμβολίζεται με C_4AF με κατά βάρος ποσοστό 9% περίπου.

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. Τσιμέντα πλούσια σε πυριτικό

διασβέστιο C_2S παρουσιάζουν γενικά μεγαλύτερη αντοχή από τσιμέντα τα όποια είναι φτωχά σε ασβέστιο.

Το παρακάτω διάγραμμα είναι από το βιβλίο του Χρ. Οικονόμου «Τεχνολογία του σκυροδέματος»^[9] και δείχνει τις αντοχές των καθαρών συστατικών του τσιμέντου όταν αυτά προφανώς αντιδράσουν με νερό.



Εικόνα 2.4. Ανάπτυξη της αντοχής των καθαρών συστατικών του τσιμέντου

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

- **Οξείδιο του μαγνησίου MgO ή μαγνησία**, ουσία παρόμοια με το CaO . Η ποσότητα του οξειδίου του μαγνησίου πρέπει να είναι μικρότερη του 3%, γιατί όταν ενωθεί με το νερό, διογκώνεται αργά και προκαλεί ζημιές.

- **Γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).** Η γύψος προστίθεται σε ποσοστό 2% έως 5% στο τσιμέντο για τη ρύθμιση της ταχύτητας πήξεως.

2.6.5. 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. Η μέθοδος παρασκευής τους είναι η ίδια με τη μέθοδο των κοινών τσιμέντων, όμως τα βασικά τους συστατικά βρίσκονται σε διαφορετικές αναλογίες ή έχουν προστεθεί ειδικές ουσίες για να αυξηθεί μια ορισμένη ιδιότητα ή να ελαττωθεί το κόστος.^[1]

Γενικά τα τσιμέντα που παράγονται σήμερα είναι :

- **Κοινό τσιμέντο Portland**

Το τσιμέντο Portland είναι το τσιμέντο που προέρχεται από την άλεση του Clinker όπως αυτό περιγράφηκε προηγουμένως. Συχνά γίνεται προσθήκη και πληρωτικών υλικών 3% κατά βάρος, δηλαδή υλικών, συνήθως αδρανών, σε λεπτότατο καταμερισμό. Αυτά, 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 2.1. :

SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	MgO	SO_3
22-24%	5-10%	60-65%	2-5%	1-4%	0.5-1.75%

Πίνακας 2.1. 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. Το τσιμέντο αυτό έχει μεγαλύτερη αντοχή από το κοινό τσιμέντο και σκληραίνει πιο γρήγορα.

- **Αργιλικό τσιμέντο**

Αυτό περιέχει λιγότερο οξείδιο του ασβεστίου και περισσότερο οξείδιο του αργιλίου (35% ως 45% Al_2O_3 αντί 5% ως 10% που περιέχεται στο κοινό τσιμέντο). Βασικές πρώτες ύλες του είναι ο ασβεστόλιθος και ο βωξίτης. Παρασκευάζεται όπως το κοινό τσιμέντο ενώ σκληραίνει πιο γρήγορα. Κατά την πήξη του εκλύει μεγάλα ποσά θερμότητας και υφίσταται μεγαλύτερες μεταβολές στον όγκο του. Γι' αυτό είναι κατάλληλο μόνο για ψυχρά κλίματα.

- **Λευκό και ημίλευκο τσιμέντο Portland**

Αυτό παρασκευάζεται με ελάττωση του ποσοστού του οξειδίου του σιδήρου Fe_2O_3 σε 1% και με ψήσιμο σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Χρησιμοποιείται στην οικοδομική κυρίως, όπου απαιτείται καλύτερη εμφάνιση διαφόρων στοιχείων όπως μωσαϊκά δάπεδα, επιχρίσματα αρτιφισιέλ, αρμολογήματα λευκών επιφανειών κλπ.

- **Σιδηρούχο τσιμέντο**

Αποτελείται από 70% κοινό τσιμέντο και από 30% άλευρο μεταλλουργικών σκωριών (σκουριές υψικαμίνων). Αντέχει περισσότερο στις χημικές επιδράσεις από το καινό τσιμέντο. Παράγεται σε χώρες με αυξημένη μεταλλουργία και είναι φθηνότερο από το τσιμέντο Portland.

- **Ποζολανικό τσιμέντο**

Προκύπτει με ανάμιξη τσιμέντου με ποζολάνες σε διάφορες αναλογίες. Είναι φθηνότερο από τα κοινό τσιμέντο. Στην Ελλάδα παράγεται αυτό το είδος με προσθήκη 8% ως 10% θηραϊκής γης στο καθαρό τσιμέντο και καλείται **τσιμέντο ελληνικού τύπου**. Χρησιμοποιείται για εσωτερική κατανάλωση.

- **Τσιμέντο τοιχοποιίας**

Παρασκευάζεται αν αλεθούν μαζί clinker με μια αδρανή ύλη (ασβεστόλιθο, πυριτική άμμο κλπ.) σε αναλογία 50 ως 70% clinker και 50 ως 30% αδρανούς ύλης. Χρησιμοποιείται για την κατασκευή κονιαμάτων δόμησης και επιχρισμάτων.

2.6.6. Ιδιότητες του τσιμέντου

- **Χρώμα**

Το χρώμα του κοινού τσιμέντου είναι γκριζωπό (υπότεφρο) έως πρασινόγκριζο και οφείλεται συνήθως στα οξείδια του σιδήρου. Μικρή περιεκτικότητα στα οξείδια αυτά του δίνει λευκό χρώμα. Το χρώμα δεν είναι ενδεικτικό της ποιότητας του τσιμέντου σε καμία περίπτωση.

- **Ειδικό βάρος**

Το **απόλυτο ειδικό βάρος** του τσιμέντου κυμαίνεται μεταξύ 3.1 και 3.2 p/cm³. Τα σιδερένια τσιμέντα έχουν μεγαλύτερο ειδικό βάρος.

Το **φαινόμενο ειδικό βάρος** εξαρτάται από το βαθμό συμπίεσης, που έχει υποστεί το τσιμέντο. Σε χαλαρή κατάσταση έχει ειδικό βάρος περίπου 1100 με 1200 kp/m³ ενώ με σχετική συμπίεση όπως αυτή που υφίσταται μέσα στο σάκο ή μέσα στο ξύλινο κυβώτιο, έχει 1400 με 1600 kp/m³.

- **Υδραυλικότητα – Δείκτες τσιμέντου**

Υδραυλικότητα καλείται η ιδιότητα του πολτού τσιμέντου (τσιμέντο και νερό) να πήζει ακόμα και όταν βρίσκεται μέσα στο νερό.^[1]

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

Ως δείκτης υδραυλικότητας καλείται ο λόγος Y των κυρίων συστατικών του τσιμέντου που εκφράζεται με την παρακάτω σχέση :

$$Y = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (2.12)$$

Ο δείκτης υδραυλικότητας πρέπει να κυμαίνεται στα εξής όρια : $1.70 < Y < 2.20$.

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 έχει την τάση να διογκώνεται. Με δείκτη $Y < 1.7$ συνεπάγεται έλλειψη CaO και το τσιμέντο αποσαθρώνεται (τρίβεται) ύστερα από την πήξη του.

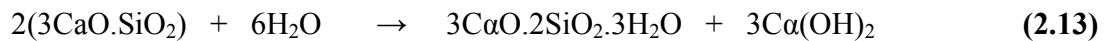
- **Ενυδάτωση – Πήξη τσιμέντου**

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**.

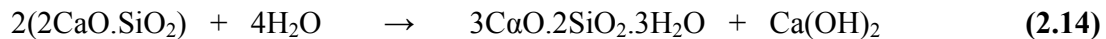
Κατά τη διάρκεια των αντιδράσεων αυτών τα τέσσερα κύρια συστατικά του τσιμέντου ενώνονται με το νερό και σχηματίζουν **ένυδρες κρυσταλλικές ενώσεις**.^[6]

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

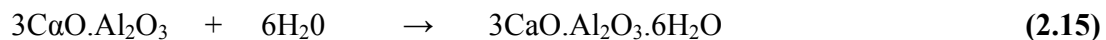
- Για το πυριτικό τριασβέστιο (C₃S)



- Για το πυριτικό διασβέστιο (C₂S)



- Για το αργιλικό τριασβέστιο (C₃A)



- Για το αργιλοσιδηρικό τετρασβέστιο (C₄AF)



Οι χημικές αυτές αντιδράσεις πραγματοποιούνται με *ταυτόχρονη 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 αρχικής πήξεως** και πού εξαρτάται από:

- την λεπτότητα αλέσεως
- την παλαιότητα 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 παράγοντες είναι ίδιοι, η έναρξη της πήξεως και η ταχύτητά της 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.

Γενικά όταν το περιβάλλον είναι πιο θερμό η πήξη του μίγματος επιταγχύνεται, ενώ αντίθετα επιβραδύνεται περισσότερο σε υγρή παρά σε ξηρή ατμόσφαιρα. Αν χρησιμοποιηθεί περισσότερο νερό από το κανονικό, η πήξη επιβραδύνεται και το προϊόν έχει μικρότερη αντοχή. Τέλος, όσο περισσότερο διαρκεί η ανάμιξη, τόσο επιβραδύνεται η πήξη.

Στο **τσιμέντο Portland** η πήξη αρχίζει 1 ώρα ως 3 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.

Έκλυση θερμότητας κατά την 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. Για αυτό το λόγο σε τέτοιες περιπτώσεις λαμβάνονται διάφορα μέτρα όπως η χρησιμοποίηση τσιμέντου βραδείας πήξεως, η δημιουργία σωληνώσεων στη μάζα του έργου μέσα στις οποίες κυκλοφορεί ψυχρό νερό κλπ.

Το φαινόμενο της συστολής κατά την πήξη

Κατά τη διάρκεια της πήξης ο πολτός συστέλλεται με αποτέλεσμα την εμφάνιση μικρών ρηγμάτων στην επιφάνεια του σώματος. Αυτός είναι και ένας από τους βασικούς λόγους που δεν χρησιμοποιείται το τσιμέντο αυτούσιο αλλά πάντοτε αναμιγμένο με άμμο. Το φαινόμενο της συστολής δεν παρουσιάζεται όταν η πήξη γίνεται μέσα στο νερό ή σε υγρό περιβάλλον. Έτσι, για να αποφευχθούν τα ραγίσματα στις κατασκευές από τσιμεντοκονιάματα, πρέπει η εκτεθειμένη επιφάνεια να διατηρείται υγρή, είτε με συνεχή διαβροχή της, είτε με κάλυψή της με υγρά υφάσματα.

- **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).^[6]

- **Στεγανότητα**

Με εξέταση της μάζας του σκληρού τσιμέντου με μικροσκόπιο, διαπιστώνεται ότι αποτελείται από μίγμα κρυστάλλων και κολλοειδούς ύλης. Η κολοειδής αυτή ύλη συγκρατεί τους κρυστάλλους, ενώ συγχρόνως καθιστά στεγανό το σώμα. Συνήθως όμως εμφανίζονται περιοχές όπου η κολοειδής ύλη έχει ξεκολλήσει από τους κρυστάλλους και αυτό οφείλεται ή στην κακή ποιότητα τσιμέντου, ή στην κακή ανάμιξη του πολτού ή στη διατάραξή του κατά τη διάρκεια της πήξης. Σε αυτές τις περιοχές παρατηρείται έλλειψη στεγανότητας.

2.6.7. Χρήσεις του τσιμέντου

Το τσιμέντο χρησιμοποιείται κυρίως για την παρασκευή κονιαμάτων και σκυροδεμάτων. Με ανάμιξη του με άμμο κατά διάφορες αναλογίες και με νερό παρασκευάζονται τα **τσιμεντοκονιάματα**, ενώ με ανάμιξη με άμμο, σκύρα και νερό παρασκευάζονται τα **σκυροδέματα**. Με βάση τα τσιμεντοκονιάματα και τα τσιμεντοσκυροδέματα κατασκευάζεται πλήθος άλλων υλικών τα οποία τείνουν να αντικαταστήσουν τους φυσικούς λίθους και τα αργιλικά προϊόντα (τούβλα κλπ.).αυτό γίνεται διότι για συγκεκριμένες χρήσεις παρουσιάζουν καλύτερες ιδιότητες και χαμηλότερη τιμή. Τέτοια υλικά είναι οι τσιμεντόπλινθοι (τσιμεντότουβλα) διαφόρων σχημάτων και μεγεθών, τσιμεντόλιθοι, τσιμεντοσωλήνες, τσιμεντόφυλλα και άλλα παρόμοια υλικά. Εκεί όμως που το τσιμέντο χρησιμοποιείται κατά κόρον είναι στην κατασκευή **οπλισμένου σκυροδέματος** χάρη στην ισχυρή πρόσφυση του τσιμέντου με το χάλυβα.

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 κατασκευών. Με **πυκνό πολτό** καλύπτονται αρμοί πλακόστρωτων δαπέδων, ταρατσών και λιθοδομών, ενώ με **αραιό πολτό (αριάνι)** γίνεται επάλειψη ταρατσών ή άλλων επιφανειών.

2.6.8. Το τσιμέντο ως υλικό στα μνημεία

Το τσιμέντο ως μεταγενέστερο υλικό δε συναντάται στα παλαιά μνημεία ως βασικό υλικό δόμησης. Έχει όμως κατά το παρελθόν χρησιμοποιηθεί (τις περισσότερες φορές εσφαλμένα) σε επεμβάσεις συντήρησης και αναπαλαίωσης.

Θέλει ιδιαίτερη προσοχή η χρήση του τσιμέντου σε τέτοιες επεμβάσεις διότι οι επιπτώσεις από τα άλατα είναι ιδιαίτερα καταστροφικές. Πάντως **λευκό τσιμέντο** με ελάχιστα όμως θειικά, ελάχιστη ποσότητα C₄AF και ενώσεων μαγγανίου, και απουσία ανυδρίτη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συγκόλληση ασβεστιτικών πετρωμάτων και μαρμάρων με μικρό πορώδες (οι επιπτώσεις των αλάτων του τσιμέντου εμφανίζονται περισσότερο σε πετρώματα με μεγάλο πορώδες και διαμπερείς πόρους). «...τέτοια περίπτωση αποτελεί η Ακρόπολη, που μετά από έντονους προβληματισμούς και δοκιμές ο συγγραφέας κατέλειξε στην υπόδειξη της χρησιμοποίησης λευκού τσιμέντου ειδικής κατασκευής, ώστε να έχει μικρό ποσοστό θειικών, και με πρόσμιξη χαλαζιακής άμμου». (Θ.Ν. Σκουλικίδης «Διάβρωση και συντήρηση των δομικών υλικών των μνημείων», σελ.216,217).^[2] Να τονιστεί ότι το πεντελικό μάρμαρο της Ακρόπολης έχει το μικρότερο πορώδες από όλα τα γνωστά πετρώματα.

2.7. Γύψος

Η γύψος είναι λεπτή σκόνη με χρώμα λευκό ή υπόλευκο. Πρώτη ύλη για την παραγωγή των κονιών γύψου είναι η ορυκτή ή φυσική γύψος, που είναι συνήθως ένυδρο θειϊκό ασβέστιο ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$). Συχνά περιέχει και ξένες προσμίξεις όπως πυριτία, οξείδιο του σιδήρου, ανθρακικό ασβέστιο και οξείδιο του αργιλίου. Κοιτάσματα γύψου υπάρχουν άφθονα στην Ελλάδα και μάλιστα καλής ποιότητας κυρίως στη Ζάκυνθο, στη Σητεία Κρήτης, στην Κω και στην Κάρπαθο.^[4]

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. Το προϊόν που προκύπτει καλείται **καμμένη (κεκαυμένη) γύψος** και έχει την ιδιότητα να μετατρέπεται πάλι σε στερεό ένυδρο θειϊκό ασβέστιο όταν ξαναπάρει την ποσότητα του νερού που έχασε κατά τη θέρμανσή του.

Παρασκευή γύψου

Η παρασκευή της γύψου (βιομηχανικό προϊόν και όχι ορυκτό γύψος) γίνεται με διάφορες μεθόδους.

Παλαιότερα έσπαζαν την ορυκτή γύψο σε μικρά τεμάχια τα οποία τοποθετούσαν μέσα σε κλίβανους παρόμοιους με τους **‘χωριάτικους φούρνους’**. Οι φούρνοι αυτοί θερμαίνονταν από πριν με ξύλα, και αφού απομακρύνονταν τα υπολείματα της καύσης γεμίζονταν με τη φυσική γύψο. Με τη μέθοδο αυτή παράγονταν μικρές ποσότητες πλαστικής γύψου, αλλά άριστης ποιότητας.

Άλλη μέθοδος ήταν η μέθοδος με τα **θολωτά καμίνια** όπου με κατάλληλη τοποθεσία της γύψου και με τη χρήση καύσιμης ύλης γίνονταν η θέρμανση. Με τη μέθοδο αυτή παράγεται πλαστική γύψος κατώτερης όμως ποιότητας λόγω της ανομοιομόρφης θέρμανσης.

Στις μέρες μας χρησιμοποιούνται κυρίως **σιδερένια περιστρεφόμενα καμίνια**, κατακόρυφα ή οριζόντια μέσα στα οποία ρίχνεται η ορυκτή γύψος αφού πρώτα σπαστεί σε μικρά τεμάχια. Η θέρμανση του καμινιού γίνεται εξωτερικά με φλόγες για να μην έρχεται η φωτιά σε επαφή με τη γύψο. Με τη μέθοδο αυτή παράγεται πλαστική ή τραχεία γύψος πολύ καλής ποιότητας.

Είδη γύψου

Ανάλογα με το βαθμό θέρμανσης, την καθαρότητα της πρώτης ύλης και τις συνθήκες όπτησης, λαμβάνονται τα διάφορα είδη γυψοκονιών :

1. Η **πλαστική ή διακοσμητική ή καλλιτεχνική γύψος** δημιουργείται όταν η θερμοκρασία ψησίματος κυμαίνεται μεταξύ 110 και 180 °C περίπου. Σε αυτή τη θερμοκρασία η φυσική γύψος χάνει τα 3/4 του κρυσταλλικού νερού και μετατρέπεται σε προϊόν που μετά την άλεσή του σε λεπτότατη σκόνη μπορεί να σκληρύνει πολύ γρήγορα αν αναμιχθεί με νερό. Αυτή η γύψος χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές.
2. Η **αδρανής γύψος** δημιουργείται όταν η θερμοκρασία ψησίματος είναι υψηλότερη από 180 °C και μέχρι 500 °C. Σε αυτή τη θερμοκρασία η φυσική γύψος χάνει όλο το νερό που περιέχει και παύει πια να έχει την ικανότητα να σκληραίνει όταν προσλάβει ξανά νερό. Προφανώς η γύψος αυτή δε χρησιμοποιείται σαν κονία.
3. Η **τραχεία ή άνυδρη γύψος** δημιουργείται με θέρμανση πάνω από 500 °C, όπου αποκτά ξανά την ικανότητα της σκλήρυνσης και γύρω στους 1000 °C ερυθροπυρώνεται. Η γύψος αυτή σκληραίνει πιο αργά από την πλαστική.

Η γύψος μπορεί να χωριστεί και στα παρακάτω είδη που έχουν να κάνουν κυρίως με τις χρήσεις :

1. Δομική γύψος
2. Πλαστική διακοσμητική ή καλλιτεχνική γύψος (Plaster of Paris)
3. Γύψος οδοντοτεχνίας
4. Τραχεία γύψος

Ιδιότητες γύψου

Οι κύριες ιδιότητες της γύψου είναι οι εξής :

1. **Πήξη.** Επέρχεται μετά την ανάμιξή του με το νερό, οπότε σχηματίζεται πάλι η ένωση του ένυδρου θειϊκού ασβεστίου και η κονία πετρώνει. Κατά την πήξη της πλαστικής γύψου η θερμοκρασία του πολτού αυξάνει αισθητά ενώ συγχρόνως διογκώνεται η μάζα της. Στην τραχεία γύψο δεν παρατηρείται διόγκωση. Η ταχύτητα της πήξης εξαρτάται γενικά από την καθαρότητα της γύψου. Η πλήρης σκλήρυνση επέρχεται μετά από 24 ώρες από την ανάμιξη με νερό.
2. **Θερμομόνωση – Ηχομόνωση.** Καθώς η μάζα της γύψου είναι πορώδης και μέσα στους πόρους υπάρχει αέρας, η θερμότητα και ο ήχος δε μεταδίδονται εύκολα.
3. **Αντοχή στην πύρωση.** Αντέχει ιδιαίτερα στις υψηλές θερμοκρασίες διότι έχει την ιδιότητα να απορροφά μεγάλες ποσότητες θερμότητας χωρίς να αυξάνει τη θερμοκρασία της και επίσης δε διαστέλλεται κατά την αύξηση της θερμοκρασίας.
4. **Μηχανική αντοχή.** Η μηχανική αντοχή της πλαστικής γύψου είναι σχετικά μικρή ενώ η τραχυσία έχει 4 φορές μεγαλύτερη.
5. **Σκληρότητα.** Η επιφανειακή σκληρότητα της γύψου είναι πάρα πολύ μικρή (χαράζεται με το νύχι).

6. **Διαλυτότητα.** Η γύψος είναι διαλυτή στο νερό μετά τη σκλήρυνσή της σε μεγάλο βαθμό. Το γεγονός αυτό αποτελεί και το βασικό της μειονέκτημα ως προς τις άλλες κονίες.

Χρήσεις γύψου

Η γύψος χρησιμοποιείται πολύ από την αρχαιότητα. Οι κυριότερες χρήσεις της σήμερα είναι γενικά στην εσωτερική επικάλυψη ή επίχρηση τοίχων και οροφών, στη σύνδεση άλλων υλικών, και στην κατασκευή των διαφόρων διακοσμητικών στοιχείων όπως διαζώματα, κορνίζες κλπ.

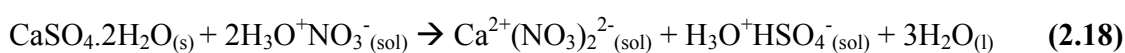
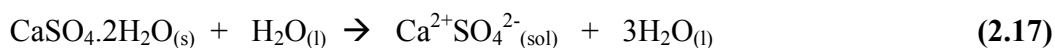
Πιο συγκεκριμένα, η δομική γύψος χρησιμοποιείται ευρύτατα στις οικοδομές, δεδομένου ότι, πολλές κατηγορίες τεχνητών, όπως οι ηλεκτρολόγοι, οι ξυλουργοί, οι υδραυλικοί, οι ελαιοχρωματιστές, οι μαρμαροτεχνίτες, κλπ. χρησιμοποιούν γύψο στις ειδικές εργασίες τους. Επίσης χρησιμοποιείται για την κατασκευή γυψοσανίδων.

Τέλος, χρησιμοποιείται και σαν πρόσμιξη στην κατασκευή των γυψούχων ασβεστοκονιαμάτων. Η προσθήκη της γύψου στα ασβεστοκονιάματα γίνεται, όταν επιζητείται ταχεία πήξη λόγω κινδύνου πρόωρης αποκόλλησης, όπως στα ασβεστοκονιάματα για οροφές επί ξύλινων πήξεων ή επί μεταλλικών πλεγμάτων, για την κατασκευή κορνιζών στους τοίχους, 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.

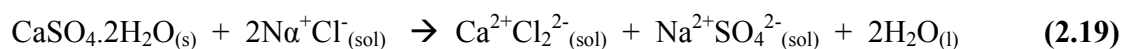
Η χρησιμοποίηση γυψούχων ασβεστοκονιαμάτων σε μέρη όπου αναπτύσσεται υγρασία, όπως σε τοίχους εφαιπτόμενους προς το έδαφος, δεν ενδείκνυνται, γιατί η υγρασία διαπερνά το επίχρισμα και σχηματίζει κηλίδες.^[5]

2.7.1. Η γύψος ως υλικό στα μνημεία

Η γύψος διαλύεται στο νερό της βροχής (και όξινης) με τις παρακάτω αντιδράσεις [Θ.Ν. Σκουλικίδης, «Διάβρωση και συντήρηση των δομικών υλικών των μνημείων», σελ.129] :



Επίσης μετατρέπεται (χημική δράση), με το χλωριούχο νάτριο της ατμόσφαιρας, σε χλωριούχο ασβέστιο και θειικό νάτριο με την παρακάτω αντίδραση:



Το NaSO_4 δρα καταστρεπτικά στην επιφάνεια των μνημείων.

Συγκεκριμένα υπό κάποιες συνθήκες το NaSO_4 μετατρέπεται μεταξύ των θερμοκρασιών 20°C και 32.5°C από ρομβοεδρικό (τεναρδίτης) σε μονοκλινές (μιραβιλίτης) με **διόγκωση κατά 308%** προκαλώντας φθορές (σελ 142) :



2.8. Ποζολάνες. Θηραϊκή γη

Οι ποζολάνες είναι φυσικές και τεχνητές κονίες. Περιέχουν κατά το μεγαλύτερο ποσοστό διοξείδιο του πυριτίου (πυριτία) και σε μικρότερα ποσοστά περιέχουν τριοξείδιο του αργιλίου, του σιδήρου και οξείδια του ασβεστίου και μαγνησίου. Το διοξείδιο του πυριτίου βρίσκεται και σε κρυσταλλική και σε άμορφη κατάσταση, πού είναι και η ενεργός μορφή του.^[6]

Οι ποζολάνες χρησιμοποιούνται συνήθως με υδρασβέστη για την παρασκευή υδραυλικών ασβεστοκονιαμάτων. Το ενεργό διοξείδιο του πυριτίου όταν ενώνεται με την υδράσβεστο Ca(OH)_2 αποκτά 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 και απότομης ψήξης. Κατά την όπτηση αυτή, τα οξείδια μετατράπηκαν σε δραστικές κονίες. Ξετινάχτηκαν στη συνέχεια μέσω των κρατήρων με μορφή σκόνης (στάχτη ηφαιστείων) και κάλυψαν μεγάλες εκτάσεις με παχιά στρώματα. Ανευρίσκονται επομένως κοντά σε ενεργά ή νεκρά ηφαιστεια. Συγκεκριμένα μπορούμε να συναντήσουμε σε πλούσια κοιτάσματα στον Βεζούβιο, στον άνω Ρήνο (Trass), στις Αζόρες και τις Καναρίους νήσους. Στην Ελλάδα υπάρχουν στη Σαντορίνη, τη Μήλο και στο νησί Γυαλί, κοντά στη Νίσυρο. Στη Σαντορίνη (Θήρα), η θηραϊκή γη καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος του νησιού με στρώματα συνολικού πάχους 25 ως 30 μέτρα εναλλασσόμενα με στρώματα ελαφρόπετρας (κίσσηρης).

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 τσιμεντών 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^ο 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 πρωτού 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.^[4]

2.8.1. Η θηραϊκή γη σαν υλικό στα μνημεία

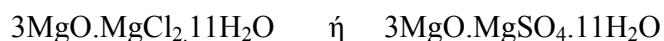
Η θηραϊκή γη χρησιμοποιείται από τα αρχαία κιόλας χρόνια. Στη Ρόδο και συγκεκριμένα στην αρχαία πόλη Κάμειρο αποκαλύφθηκαν, σε ανασκαφές, υπόγειες υδραυλικές εγκαταστάσεις και μια δεξαμενή νερού. Από το δείγμα που πάρθηκε από τη δεξαμενή αυτή και αναλύθηκε, βρέθηκε ότι αποτελείται από αδρανή (σκύρα) και θηραϊκή γη. Αυτό θεωρείται ότι αποτελεί και το **αρχαίο σκυρόδεμα**. [Θ.Ν. Σκουλικίδης, δημοσίευση περιεχ. 30]

Σήμερα η θηραϊκή γη χρησιμοποιείται σαν προσθετικό υλικό σε κάποιες αναλογίες σε ασβεστοκονιάματα σε επεμβάσεις συντήρησης και αναπαλαίωσης. Είναι ένα υλικό που συμβάλει στην προσπάθεια ανεύρεσης κονιαμάτων συμβατών σε παραδοσιακά και αρχαία κονιάματα.

2.9. Μαγνησιακή κονία

Η καυστική μαγνησία (MgO) λαμβάνεται με όπτηση του μαγνησίτη (MgCO₃), με τον ίδιο τρόπο που από τον ασβεστόλιθο (CaCO₃) παράγεται το οξείδιο του ασβεστίου (CaO). Η όπτηση γίνεται μέσα σε ασβεστοκάμينا 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 (MgCl₂) ή το θειϊκό μαγνήσιο (MgSO₄) 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 (MgCl₂) ή του θειϊκού μαγνησίου (MgSO₄), που έχουν τους τύπους:



Η μαγνησιακή κονία χρησιμοποιείται κυρίως για την παρασκευή του **ξυλόλιθου**. Ο ξυλόλιθος είναι ένα κονιάμα, που παρασκευάζεται με πριονίδια ξύλου, ρινίσματα φελλού, άλευρο κίσηρης κ.ά. ως αδρανή και μαγνησιακή κονία με διάλυμα χλωριούχου μαγνησίου (κονίας Sorel) ως συνδετική ύλη. 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.^[4]

2.10. Συνθετικές κονίες

Οι συνθετικές κονίες αποτελούν την τελευταία τεχνολογία της χημικής βιομηχανίας.

Παρασκευάζονται από διάφορες συνθετικές ρητίνες και κυρίως από σιλικόνες. Στο εμπόριο κυκλοφορούν σε υγρή κατάσταση μέσα σε δοχεία. Τις συγκολλητικές τους ιδιότητες τις εκδηλώνουν όταν ενωθούν με ένα άλλο υγρό που καλείται καταλύτης.

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 στεγανά στο νερό και δεν επηρεάζονται από τα αδύναμα οξέα, τα λίπη, τα λάδια (έλαια) 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.^[1]

3. ΛΕΠΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

3.1. Γενικά

Τα λεπτά κονιάματα ή απλά **κονιάματα** (λάσπη) είναι μίγματα αδρανούς υλικού (συνήθως άμμου), νερού και μιας συγκολλητικής ύλης (κονίας). Τα υλικά αυτά αναμιγνύονται σε ορισμένες αναλογίες, που εξαρτώνται από το είδος της κονίας και από τον σκοπό εφαρμογής του κονιάματος.^[1]

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, και έτσι μετατρέπεται σε ένα στερεό σώμα.

Η **ποσότητα της κονίας** που πρέπει να χρησιμοποιείται κατά την παρασκευή ενός κονιάματος, πρέπει να είναι τόση, όση χρειάζεται για να γεμίσουν τα κενά της άμμου, πράγμα που εξαρτάται από την **κοκκομετρική διαβάθμισή** (κεφ. 4.3.3.) της. Μεγαλύτερη ποσότητα αποτελεί σπατάλη, γιατί η επί πλέον κονία όχι μόνο δεν εκτελεί το σκοπό της, δηλαδή την πλήρωση των κενών και τη σύνδεση των κόκκων της άμμου, αλλά και 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 ελαττώνεται η 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**.

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.

3.2. Γενικές χρήσεις

Τα κονιάματα χρησιμοποιούνται με τρεις διαφορετικούς τρόπους :

Συνδετικά υλικά

Κατά τη δόμηση τοίχων από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους τα κονιάματα παρεμβάλλονται μεταξύ των οριζόντιων και κατακόρυφων αρμών και έτσι γεμίζουν τα κενά μεταξύ των λίθων. Με αυτό τον τρόπο η κατασκευή γίνεται πιο συμπαγής και πιο στέρεη. Επίσης δημιουργούν οριζόντιες επίπεδες επιφάνειες και υποβοηθούν έτσι τη στήριξη των υπερκείμενων λίθων και κατανέμουν καλύτερα τα υπερκείμενα φορτία.

Ουσιαστικά ο σκοπός του κονιάματος, κατά τη δόμηση, είναι διπλός:^[4]

1. Προσδίδει στην πέτρα, φυσική ή τεχνητή, πλήρη έδραση
2. Εμποδίζει το νερό να διέρχεται από τους αρμούς.

Όσον αφορά στην προσφορά του κονιάματος στην αντοχή ενός τοίχου, αυτή εντοπίζεται μόνο στην αντοχή σε θλίψη, που και πάλι είναι μικρή. Όσον αφορά στην αντοχή σε εφελκυσμό και διάτμηση, η προσφορά είναι σχεδόν μηδαμινή.

Με τη χρήση των κονιαμάτων ως συνδετικά υλικά έγινε δυνατή και η χρησιμοποίηση αλάξευτων λίθων (αργών λίθων) γεγονός απαγορευτικό παλαιότερα, διότι για την πλήρη επαφή των λίθων μεταξύ τους ήταν απαραίτητη η λάξευσή τους σε τουλάχιστον τέσσερις έδρες τους, γεγονός που κάνει και πιο δύσκολη, πιο χρονοβόρα και πιο ακριβή μια κατασκευή.

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 όμως, 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.

Όσον αφορά στην εφαρμογή αυτών των κονιαμάτων, διακρίνουμε τα **κονιάματα τοιχοποιίας**, τα **κονιάματα αρμών** τα οποία χρησιμεύουν στη συναρμογή εμφανούς τοιχοποιίας και τα **χυτευτά κονιάματα** τα οποία είναι πολύ ρευστά και χρησιμοποιούνται στο κλείσιμο αρμών π.χ. στους αρμούς ξυλότυπων κλπ.

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**.

Καλυπτικά και μονωτικά υλικά

Τα κονιάματα χρησιμοποιούνται ευραίως και για την επένδυση 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.

Το κατάλληλο είδος κονιάματος την κάθε φορά εξαρτάται από τη θέση της επιφάνειας (εξωτερικά ή εσωτερικά επιχρίσματα, οροφοκονιάματα κλπ.) και από την εμφάνιση που θέλουμε να δώσουμε σε αυτή (αρτιφισιέλ, μαρμαροκονιάματα, κοινά λασπώματα κ.ά.). Γενικά στα επιχρίσματα η αντοχή του κονιάματος παίζει δευτερεύοντα ρόλο. Μεγαλύτερη σημασία έχει η καλή πρόσφυση και η αποφυγή της μικρορρηγματώσης (τριχιάσματος).

Τα **εξωτερικά επιχρίσματα** χρησιμοποιήθηκαν για εκατοντάδες χρόνια σε κτίσματα ως καλυμματα για αντίσταση στην αποσάθρωση και συναντώνται ιδιαίτερα σε κάποιες μεσογειακές χώρες. Μίγματα με άσβεστο και ποζολάνη με υδραυλικές ιδιότητες χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς από τους Ρωμαίους. Ψημένοι αργιτικοί ασβεστόλιθοι ανακατεμένοι με άμμο ονομάστηκαν Ρωμαϊκά τσιμέντα και χρησιμοποιήθηκαν ως εξωτερικά επιχρίσματα από το 1800 π.Χ. μέχρι τον 20 αιώνα.

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.



Εικόνα 3.1. Ρωγμές σε παχύ κονίαμα επιχρίσματος

Επίσης έχουμε και τα **κονιάματα πλακόστρωσης** που χρησιμοποιούνται δηλαδή για την κατασκευή ενός στρώματος κονιάματος που τοποθετείται πάνω σε οροφές ή δάπεδα σκελετού και το οποίο προβλέπεται άμεσα για βάδισμα ή ως υπόστρωμα για επίστρωση δαπέδου. Οι πλακοστρώσεις που είναι προσιτές στο βάδισμα (σύνθετες πλακοστρώσεις), πρέπει να αντισταθμίσουν 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.^[5]

Τέλος έχουμε χρήσεις ισχυρών κονιαμάτων (τσιμεντοκονιάματα) για **στεγανοποίηση ειδικών έργων**, ή άλλα που καλύπτουν αρμούς μεταξύ πλακών για την παρεμπόδιση της διέλευσης του νερού ή άλλων υγρών. Τέλος όπου απαιτείται, χρησιμοποιούνται ειδικά κονιάματα για **ακουστικές ή θερμικές μονώσεις**.

Πρώτες ύλες για την κατασκευή τεχνητών λίθων

Κάποια κονιάματα όπως τα πηλοκονιάματα και τα τσιμεντοκονιάματα χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τεχνητών λίθων όπως τα τούβλα, διάφοροι τύποι τσιμεντόλιθων κλπ.

3.3. Βασικές ιδιότητες των κονιαμάτων - Καταλληλότητα

Για να θεωρηθεί ένα κονίαμα κατάλληλο πρέπει να έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά :^[1]

1. **Να είναι πλαστικό και εργάσιμο**. Εργάσιμο ονομάζεται το σύνολο των ρεολογικών ιδιοτήτων, που έχει το νωπό κονίαμα. Έτσι δε διασπάται η μάζα του κατά τους διάφορους χειρισμούς.

Το εργάσιμο επηρεάζεται από τους παρακάτω παράγοντες :

- τη **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. Η πλαστικότητα επηρεάζεται ευνοϊκά από την σφαιρικότητα των κόκκων των αδρανών και από την αύξηση της περιεκτικότητας σε συνδετική ύλη και φύλλερ.

2. **Να έχει ικανή εσωτερική τριβή**, ώστε να μην εκφεύγει των αρμών της τοιχοποιϊας και προκειμένου για επιχρίσματα να συγκρατείται στις κατακόρυφες επιφάνειες.
3. **Να έχει ογκοσταθερότητα**, να μην υπόκειται δηλ. σε μεγάλες συστολές και διαστολές, ώστε να μην προκαλούνται ρωγμές.
4. **Να παρουσιάζει υψηλή μηχανική αντοχή** (θλίψη, εφελκυσμός), ικανή να φέρει το ίδιο βάρος της κατασκευής, αλλά και των φορτίων αυτής.
5. **Να μην προσβάλλεται από το νερό και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες**.

Σημαντικό ρόλο στα κονιάματα παίζει και η **πήξη**. Η διαδικασία δηλαδή, 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 για την έναρξη της πήξης**, δηλ. ο χρόνος που περνάει από την ανάμιξη των υλικών του κονιάματος μέχρι την έναρξη της πήξης είναι απαραίτητο στοιχείο στην 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.

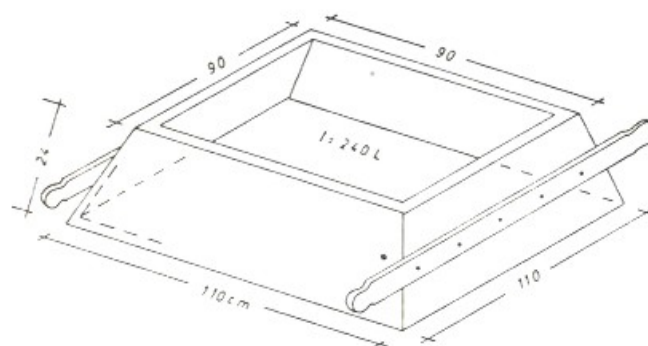
3.4. Κατασκευή κονιάματος

Κονίαμα σε μικρές ποσότητες κατασκευάζεται σε κουβάδες, λεκάνες ή σε καροτσάκια με το χέρι.

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. 3.2.)

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.



Εικόνα 3.2. Κιβώτιο μέτρησης άμμου για 240 lt

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 μίγμα να γίνει ομοιόμορφο.

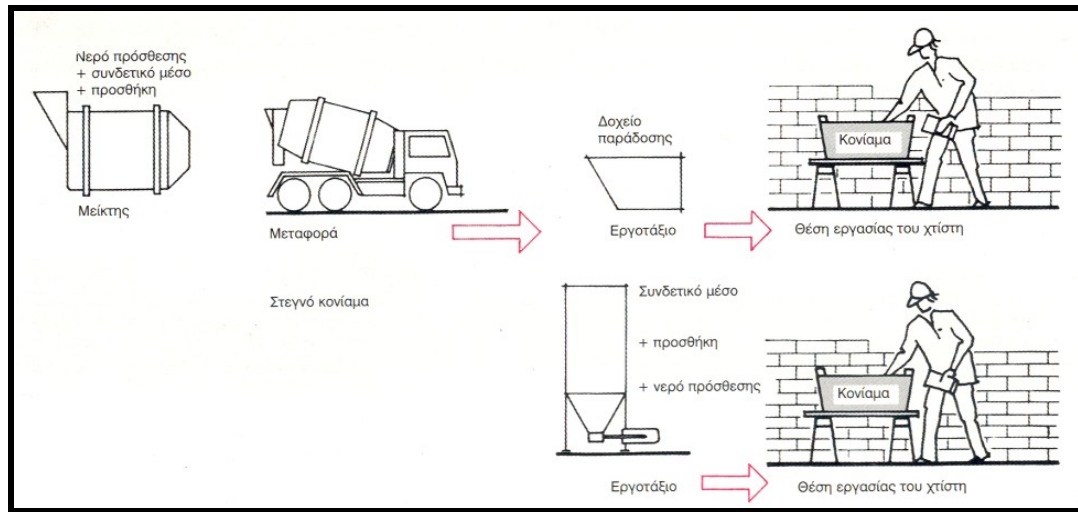
Κονίαμα εργοστασίου

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.

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.



Εικόνα 3.3. Εργοστασιακό κονίαμα

3.5. Κατάταξη των κονιαμάτων

Τα είδη των κονιαμάτων χαρακτηρίζονται κυρίως από την κονία που χρησιμοποιείται για την παρασκευή τους. Έτσι έχουμε τα **πηλοκονιάματα** με συνδετική ύλη την πηλοκονία, τα **ασβεστοκονιάματα** με συνδετική ύλη τον πολύ ασβέστο ή την κονιοποιημένη υδράσβεστο, τα **τσιμεντοκονιάματα** με συνδετική ύλη το τσιμέντο, τα **ασβεστοτσιμεντοκονιάματα** ή μεικτά κονιάματα με συνδετική ύλη τσιμέντο και ασβέστο, τα **γυψοκονιάματα** με κύριο συνδετικό τη γύψο, τα **ασφαλτοκονιάματα** κ.ά.

Σπανιότερα όμως και όταν το επιβάλλουν οι συνθήκες χαρακτηρίζονται από το αδρανές πρόσμιγμά τους ή από τη μηχανική τους αντοχή. Έτσι, αν τα χαρακτηρίσουμε με βάση το αδρανές υλικό έχουμε τα **αμμοκονιάματα**, τα **θηραϊκοκονιάματα**, τα **μαρμαροκονιάματα** κλπ.

Με βάση τη μηχανική τους αντοχή διακρίνονται σε τρεις ομάδες, στην **ομάδα I**, στην οποία ανήκουν τα **κονιάματα χαμηλής αντοχής** (πηλοκονιάματα, ασβεστοκονιάματα), στην **ομάδα II** στην οποία ανήκουν τα **κονιάματα μέτριας αντοχής** (ασβεστοτσιμεντοκονιάματα, θηραϊκοκονιάματα) και στην **ομάδα III** η οποία περιλαμβάνει τα **κονιάματα υψηλής αντοχής** (τσιμεντοκονιάματα).

Τέλος υπάρχουν διάφορα ακόμα κονιάματα τα οποία παρασκευάζονται με ειδικές μεθόδους και με υλικά ορισμένων ιδιοτήτων, ώστε να μπορεί να αυξηθεί ο βαθμός εκδήλωσης μιας συγκεκριμένης κάθε φοράς ιδιότητας. Τα κονιάματα αυτά καλούνται **ειδικά κονιάματα**. Τέτοια είναι τα **πυρίμαχα κονιάματα**, τα **στεγανά κονιάματα**, τα **θερμομονωτικά και ηχομονωτικά κονιάματα**, τα **ελαφρά** (μικρό ειδικό βάρος) ή **βαριά κονιάματα** (μεγάλο ειδικό βάρος), κονιάματα που να **αντέχουν σε ισχυρές τριβές** κ.ά.

3.6. Πηλοκονιάματα

Τα πηλοκονιάματα είναι μίγμα που αποτελείται από πηλοκονία, άμμο και νερό. Βρίσκονται άφθονα στη φύση με διάφορες αναλογίες πηλοκονίας (βλ.κεφ.2.4.) και αδρανούς ύλης. Είναι το πρώτο κονίαμα που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος.

Τα πηλοκονιάματα διακρίνονται σε **αδύνατα (ισχνά)** όταν η πηλοκονία περιέχεται σε αναλογία 15% έως 20% του βάρους του κονιάματος και σε **παχιά** όταν η πηλοκονία υπερβαίνει το ποσοστό αυτό.

Τα πηλοκονιάματα ανήκουν στην κατηγορία των αερικών κονιαμάτων γιατί στερεοποιούνται με την εξάτμιση του νερού που περιέχουν. Έχουν όμως το μειονέκτημα ότι ξαναγίνονται πολτός όταν βραχούν ξανά. Για αυτό το λόγο δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δομικά στοιχεία, που δέχονται την επίδραση του νερού ή βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος.

Έχουν όμως το πλεονέκτημα ότι προσφύουν πολύ καλά στις πέτρες και στα ξύλα και έχουν ικανοποιητική θερμική μόνωση. Παλαιότερα τα χρησιμοποιούσαν για την κατασκευή ωμοπλίνθων και για επικάλυψη σε ξύλινες στέγες και τοίχους. Σήμερα χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τούβλων και άλλων κεραμικών προϊόντων (κέραμοι, πηλοσωλήνες κ.ά.)

3.7. Ασβεστοκονιάματα

3.7.1. Γενικά

Τα ασβεστοκονιάματα είναι μίγμα ασβέστου, άμμου και νερού.

Άσβεστος

Όσον αφορά την άσβεστο, αυτή μπορεί να είναι είτε υπό **μορφή πολτού** είτε υπό **μορφή σκόνης**. Συνήθως χρησιμοποιείται πολτός υδρασβέστου. Πάντως σε κάθε περίπτωση θα πρέπει η υδράσβεστος να έχει υποστεί πλήρες σβήσιμο και φύρανση πριν τη χρησιμοποίησή της ώστε να μην περιέχει άσβεστα κομμάτια καμμένου ασβέστη, διότι αυτά καθώς θα σβήσουν αργότερα θα διογκωθούν δημιουργώντας προβλήματα στο έργο όπως καταστροφή του κονιάματος, δημιουργία φουσκωμάτων (φλύκταινες) κ.ά. Ειδικά για κονιάματα επιχρισμάτων η υδράσβεστος πρέπει να χρησιμοποιηθεί μετά τουλάχιστον 15 μέρες από το σβήσιμο του καμμένου ασβέστη.

Άμμος

Η άμμος μπορεί να είναι **φυσική** ή **τεχνητή**. Η φυσική άμμος παρέχει ανθεκτικότερο κονίαμα αλλά λόγω της υψηλής της τιμής δε χρησιμοποιείται συχνά. Η άμμος πρέπει να είναι **καθαρή**, και να μην περιέχει διαλυτά άλατα. Επίσης δεν πρέπει να έχει πηλώδη υλικά σε αναλογία μεγαλύτερη από 3%, γιατί το κονίαμα που προκύπτει είναι ασθενές, υφίσταται ραγίσματα και τρίβεται εύκολα μετά την πήξη του. Η **κοκκομετρική σύνθεση** της άμμου πρέπει να είναι τέτοια ώστε η κοκκομετρία της να είναι συνεχής, δηλαδή η άμμος να περιέχει όλα τα μεγέθη των κόκκων σε τόση ποσότητα ώστε να δημιουργούνται τα λιγότερα κενά.^[1]

Νερό

Το νερό που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι καθαρό, χωρίς άλατα ή άλλες οργανικές ουσίες. Θαλάσσιο νερό ή πολύ γλυφό δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιείται.^[1]

3.7.2. Παρασκευή ασβεστοκονιαμάτων - Αναλογίες

Σημαντικό ρόλο στην παρασκευή των ασβεστοκονιαμάτων παίζει η **σωστή ανάμιξη** των υλικών. Αυτή πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να προκύψει μια ομοιογενής μάζα. Η ανάμιξη γίνεται με τα χέρια με τη βοήθεια φτυαριού ή τσάπας, ή με ειδικούς αναμκτήρες. Στην ανάμιξη με τα χέρια πρέπει πρώτα να διαλύεται ο πολτός της υδράσβεστου με αρκετό νερό και στο γαλάκτωμα αυτό να ρίχνεται άμμος. Αυτός ο τρόπος εκτός από λιγότερο επίπονος βοηθά και στην αποφυγή του ‘βωλιάσματος’ του ασβέστη. Η ανάμιξη με ειδικούς αναμκτήρες δίνει κονίαμα πολύ καλύτερης ποιότητας.^[1]

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

Για την σύνθεση ενός κανονικού ασβεστοκονιάματος είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τον όγκο που καταλαμβάνουν τα κενά της άμμου γιατί αυτά πρέπει να πληρωθούν με τον πολτό της ασβέστου. Για την κοινή λατομική άμμο με σχετικά καλή κοκκομετρική διαβάθμιση έχει βρεθεί ότι ο όγκος των κενών κυμαίνεται μεταξύ 35% και 42% του φαινομένου όγκου της άμμου. Έτσι, αν πάρουμε 1m³ άμμου και 0,40 m³ υδράσβεστο, θα προκύψει περίπου 1m³ κανονικού ασβεστοκονιάματος.^[6]

Οι αναλογίες κονίας και άμμου που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή ασβεστοκονιάματος καθώς και οι χρήσεις τους φαίνονται στον πίνακα (3.1.) που ακολουθεί:

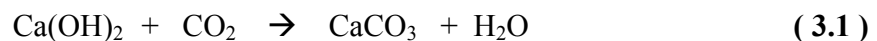
α/α	Χαρακτηρισμός κονιάματος	Χρήση
1/1.5 έως 1/2.5	Παχιά κονιάματα	Για επιχρίσματα
1/2.5 έως 1/3	Κανονικά κονιάματα	Για κτίσιμο τούβλων (οπτοπλίνθων)
1/3 έως 1/4	Αδύνατα κονιάματα	Για κτίσιμο ανωδομών με αργούς λίθους
1/5	Αδύνατα κονιάματα	Για κτίσιμο θεμελίων με αργούς λίθους

Πίνακας 3.1. Αναλογίες υδράσβεστου και άμμου

Η **ποσότητα του νερού** που πρέπει να χρησιμοποιηθεί είναι πρακτικά περίπου η ίδια για όλες τις αναλογίες ασβεστοκονιαμάτων. Ένα μέρος του νερού αυτού θα χρειαστεί για τη διάλυση του πολτού της υδράσβεστου, ενώ ένα άλλο για την ύγρανση των κόκκων της άμμου. Η ποσότητα περίπου του νερού για τη διαβροχή 1m³ άμμου ανέρχεται σε 0,14 m³ και για τη διάλυση της υδράσβεστου σε 0,16 m³.

3.7.3. Πήξη και σκλήρυνση ασβεστοκονιαμάτων - Ιδιότητες

Η πήξη και η σκλήρυνση του κονιάματος οφείλεται στη σκλήρυνση του ασβέστη (βλ.κεφ.2.5.7). Συγκεκριμένα, το χημικά ενωμένο με την άσβεστο νερό, αντικαθίσταται, με την πάροδο του χρόνου, με διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας. Έτσι λοιπόν έχουμε μετατροπή σε στερεό ανθρακικό ασβέστιο, δηλ. σε ασβεστόλιθο.



Η πήξη και η σκλήρυνση του κονιάματος επιταχύνονται όταν γίνεται **καλός αερισμός** γιατί η υγρασία απομακρύνεται και νέες ποσότητες CO₂ απορροφούνται συνεχώς.

Συγκεκριμένα, 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 και η ταχύτητα μειώνεται, όσο το κονίαμα ευρίσκεται πιο μακριά από την εξωτερική επιφάνεια της δομής και συνεπώς του αέρα. Είναι εσφαλμένη εντύπωση ότι με θέρμανση με σόμπα ή καλοριφέρ μπορεί να επέλθει σκλήρυνση. Απλά ξεραίνεται η εξωτερική επιφάνεια και ύστερα από λίγο, όταν εισέλθει στο εσωτερικό του δείγματος νέο CO₂, παρουσιάζεται πάλι υγρασία.

Η ταχύτητα της πήξης εξαρτάται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Κατά τους χειμερινούς μήνες, όταν η ατμόσφαιρα είναι γεμάτη με υδρατμούς, καθυστερεί πολύ η σκλήρυνση του κονιάματος.

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.

Τεχνητή πήξη μπορεί να γίνει αν χρησιμοποιηθούν ανοικτές, χωρίς καπναγωγούς, θερμάστρες, στις οποίες θα καίγεται κωκ ή ξύλα. Ο καπνός των καυσίμων αυτών περιέχει μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και έτσι η πήξη των κονιαμάτων γίνεται πιο γρήγορα.

Εκτός από τα **αερικά ασβεστοκονιάματα** ο μηχανισμός πήξης των οποίων αναφέρεται παραπάνω, έχουμε και τα **υδραυλικά ασβεστοκονιάματα**, τα οποία 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.

Όσον αφορά τις υπόλοιπες ιδιότητες των ασβεστοκονιαμάτων έχουμε τα εξής :

Η **μηχανική αντοχή σε θλίψη** είναι πολύ μικρή και δεν υπερβαίνει τα 15Kp/cm².

Η αντοχή τους στις εξωτερικές επιρροές είναι πιο μικρή σε σχέση με άλλα κονιάματα, γι' αυτό όταν χρησιμοποιούνται σε εξωτερικές επιφάνειες πρέπει να ενισχύονται με τσιμέντο ή με άλλες ενισχυτικές ουσίες (όπου βέβαια οι συνθήκες το επιτρέπουν).

3.7.4. Χρήσεις ασβεστοκονιαμάτων

Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται πολύ τα ασβεστοκονιάματα όπου ο ασβέστης και η άμμος έχουν χαμηλή τιμή. Χρησιμοποιούνται ως **συνδετικά υλικά** με διάφορες αναλογίες ασβέστη προς άμμο κατά την κατασκευή τοίχων από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους και ως **καλυπτικά υλικά** για την κάλυψη των επιφανειών των οικοδομών και την προστασία των τοίχων ή άλλων στοιχείων από τις εξωτερικές επιδράσεις.

Όσον αφορά στις **αναπαλαιώσεις ιστορικών κτιρίων και μνημείων**, τον τελευταίο καιρό όπου οι επιπτώσεις της αλόγιστης χρήσης τσιμέντου των προηγούμενων χρόνων είναι εμφανείς, στρέφεται το ενδιαφέρον πολλών στη μελέτη ασβεστοκονιαμάτων, υλικών που είναι συμβατά με αυτά των ιστορικών αυτών κατασκευών.

3.8. Ειδικά ασβεστοκονιάματα

3.8.1. Γενικά

Για να βελτιωθούν ορισμένες ιδιότητες των ασβεστοκονιαμάτων, όπως η μηχανική αντοχή, η αντοχή σε γήρανση, η εμφάνιση των επιχρισμένων επιφανειών, η υδραυλικότητα κ.ά., χρησιμοποιούνται διάφορα άλλα υλικά, που αναμιγνύομενα με τα ασβεστοκονιάματα συντελούν στη βελτίωση της ποιότητάς τους. Τα κυριότερα από τα ειδικά αυτά ασβεστοκονιάματα είναι :

3.8.2. Ασβεστοτσιμεντοκονιάματα

Τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα είναι ουσιαστικά ασβεστοκονιάματα με τις γνωστές αναλογίες, όπου ένα μέρος του πολτού της υδρασβέστου έχει αντικαταθεί με τσιμέντο. Η προσθήκη τσιμέντου αποσκοπεί την επιτάχυνση σκλήρυνσης των ασβεστοτσιμεντοκονιαμάτων, στην πρόσφυση επί αδρανών, αλλά κυρίως στην αντοχή τους, γι' αυτό και καλούνται ενισχυμένα ασβεστοκονιάματα. 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.^[5]

Παρασκευή ασβεστοτσιμεντοκονιαμάτων - Αναλογίες μίξης

Ο τρόπος παρασκευής των κονιαμάτων αυτών δεν παρουσιάζει ουσιαστικά διαφορές με τα άλλα κονιάματα, μόνο που εδώ, αφού έχουμε 2 διαφορετικές κονίες ακολουθούμε την εξής σειρά: Αν χρησιμοποιείται **ασβεστοπολτός**, πρώτα αναμιγνύονται 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.

Οι αναλογίες που χρησιμοποιούνται σε μέρη όγκου (μ.ό.) φαίνονται στον πίνακα (3.2.) που ακολουθεί:^[4]

α/α	Τσιμέντο	Ασβέστης	Άμμος
Αναλογία I	1	0.5	5
Αναλογία II	1	1.0	6
Αναλογία III	1	1.0	7
Αναλογία IV	1	2.0	8
Αναλογία V	1	2.0	10

Πίνακας 3.2. Συνήθεις αναλογίες ασβεστοτσιμεντοκονιαμάτων

Ιδιότητες και χρήσεις των ασβεστοτσιμεντοκονιαμάτων

Τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα γενικά είναι καλύτερα από τα ασβεστοκονιάματα και τα ισχνά τσιμεντοκονιάματα, επειδή παρουσιάζουν τις παρακάτω ιδιότητες :

1. Είναι πιο **εργάσιμα** από τα ισχνά τσιμεντοκονιάματα και εμφανίζουν μεγαλύτερη επικαλυπτική ικανότητα.
2. **Προσφύονται καλύτερα** στην επιφάνεια των λίθων και σκληρύνονται ταχύτερα από τα κοινά ασβεστοκονιάματα ακόμα και σε υγρό περιβάλλον.
3. Η **αντοχή** τους είναι μεγαλύτερη από τα ασβεστοκονιάματα, αλλά μικρότερη από τα τσιμεντοκονιάματα (8kp/cm^2 ως 18kp/cm^2).
4. 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.
5. Το **κόστος** τους είναι μικρότερο από το κόστος των τσιμεντοκονιαμάτων.

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

Παρ'όλα όμως τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν απέναντι στα ασβεστοκονιάματα, στις **αναπαλαιώσεις μνημείων** πολλές φορές δεν επιτρέπεται η χρησιμοποίησή τους λόγω της παρουσίας τσιμέντου.

3.8.3. Ασβεστογυψοκονιάματα

Αυτά προκύπτουν με ανάμιξη γύψου σε διάφορες αναλογίες και ασβεστοκονιάματος. Το νέο υλικό που παρασκευάζεται είναι **πιο πλαστικό**, έχει την ικανότητα να δημιουργήσει **λείες επιφάνειες** πολύ καλής εμφάνισης και χωρίς σκασίματα και έτσι είναι κατάλληλο για την επικάλυψη εσωτερικών επιφανειών και ειδικά οροφών.

3.8.4. Μαρμαροκονιάματα

Τα κονιάματα αυτά αντί να έχουν άμμο για αδρανές υλικό, έχουν μαρμαρόσκονη. Παρασκευάζονται όπως και τα άλλα κονιάματα και χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του τελευταίου στρώματος των εσωτερικών και εξωτερικών επιχρισμάτων. Οι επιφάνειες που προκύπτουν είναι πολύ καλής εμφάνισης και μπορούν να υποστούν λείανση.

3.8.5. Ποζολανικά κονιάματα - Θηραϊκοκονιάματα

Παρασκευάζονται με άλευρο ποζολάνης, (π.χ. θηραϊκής γης) που αντικαθιστά ένα μέρος ή ολόκληρη την ποσότητα της άμμου του κοινού ασβεστοκονιάματος. Η ποζολάνη, που πήρε το όνομά της από την περιοχή Pozzuoli έχει ηφαιστειακή προέλευση και έχει την ιδιότητα να αντιδρά με την άσβεστο ανεξάρτητα από την ατμόσφαιρα, σκληρύνεται σε μικρό χρονικό διάστημα και παρουσιάζει καλή ανθεκτικότητα παρουσία νερού. Έτσι, το πλεονέκτημα των κονιαμάτων αυτών σε σχέση με τα κοινά ασβεστοκονιάματα είναι ότι εμφανίζουν αυξημένη **υδραυλικότητα**, δηλαδή μπορούν να σκληρύνουν και κάτω από το νερό χωρίς να έρθουν σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα για να απορροφήσουν CO₂. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τοιχοδομών θεμελίων ή τοιχοδομών σε υγρό περιβάλλον (υπόγεια κλπ.).

Σαν κονιάματα έχουν μέτρια αντοχή, αλλά μπορούν να διατηρήσουν την ποιότητά τους για αιώνες. 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. Αντιθέτως σε ξηρό και θερμό περιβάλλον εξασθενίζουν και γίνονται εύθραυστα.

Κονιάματα τέτοια 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 συχνά και στο παρελθόν ακόμα χρήση του όταν η φυσική ποζολάνη δεν ήταν διαθέσιμη, όπως κατά το χτίσιμο της Αγιά-Σοφιάς.^[11]

Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται θηραϊκή γη, φυσική δηλαδή ποζολάνη, γωνστή από τα αρχαία κιάλας χρόνια. Όπως αναφέρθηκε πιο αναλυτικά στο κεφάλαιο 2.8.1., συγκεκριμένο θηραϊκόκονίαμα θεωρείται ότι αποτελεί και το **αρχαίο σκυρόδεμα**.

3.8.6. Κεραμαλευροκονιάματα

Τα κεραμαλευροκονιάματα προκύπτουν με αντικατάσταση ενός μέρους ή ολόκληρης της ποσότητας της άμμου του κοινού ασβεστοκονιάματος με κεραμάλευρο. Τα κονιάματα αυτά όπως και τα θηραϊκόκονιάματα εμφανίζουν αυξημένη υδραυλικότητα. Γι' αυτό τον λόγο μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε έργα που βρίσκονται σε υγρό περιβάλλον ή κοντά στο έδαφος.

3.9. Τσιμεντοκονιάματα

3.9.1. Γενικά

Τσιμεντοκονίαμα (κοινώς τσιμεντολάσπη) καλείται το μίγμα άμμου, τσιμέντου και νερού. Το τσιμέντο συγκριτικά με τις άλλες κονίες (ασβέστη, γύψο κλπ.) έχει μεγαλύτερη ικανότητα πρόσφυσης, μεγαλύτερη μηχανική αντοχή και υδραυλική ιδιότητα. Έτσι, τα τσιμεντοκονιάματα έγιναν από τα πιο σημαντικά δομικά υλικά της σύγχρονης εποχής. Επίσης επειδή το κόστος παρασκευής τους είναι χαμηλό, δίνουν οικονομικές κατασκευές.

Τα τσιμεντοκονιάματα είναι κονιάματα αερικά και υδραυλικά, υψηλής αντοχής. Γενικά είναι ανθεκτικά, έχουν μικρότερο πορώδες και καλή αντίσταση στη φθορά. Βρίσκουν εφαρμογή σε στοιχεία κατασκευών που φορτίζονται ισχυρά, ακόμα και αν τα στοιχεία πρόκειται να φορτισθούν σε μικρό χρονικό διάστημα από την τοποθέτησή τους.

3.9.2. Παρασκευή τσιμεντοκονιαμάτων - Αναλογίες

Όπως σε όλα τα κονιάματα, έτσι και στα τσιμεντοκονιάματα, ο τρόπος παρασκευής τους καθώς η ποιότητα και αναλογίες των υλικών παίζουν σημαντικό ρόλο στην τελική τους ποιότητα.

Η **ανάμιξη** 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 ανάμιξη γίνεται με τα χέρια, με τη βοήθεια φτυαριού από πεπειραμένους εργάτες ή με κατάλληλους αναμκτήρες κονιάματος. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στα υλικά του μίγματος :

Άμμος

Η άμμος που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί πρέπει να διαλεχθεί με μεγαλύτερη προσοχή από την άμμο του ασβεστοκονιάματος επειδή η επιρροή της στις ιδιότητες του τσιμενοκονιάματος είναι είναι πολύ μεγαλύτερη. Ιδανική άμμος είναι η φυσική χαλαζιακή με καλή κοκκομετρική διαβάθμιση. Επειδή όμως είναι πολύ ακριβή συνήθως χρησιμοποιείται τεχνητή λατομική άμμος κυρίως ασβεστολιθικής-δολομιτικής προέλευσης.

Η άμμος δεν πρέπει να περιέχει ξένες προσμίξεις γιατί βλάπτουν τη συνοχή, τη σκλήρυνση, την αντοχή και γενικά όλες τις ιδιότητες του τσιμεντοκονιάματος. Τέτοιες προσμίξεις είναι :

- Άργιλος σε αναλογία μεγαλύτερη από 3%
- Οργανικές ουσίες που περιέχονται στο χώμα
- Τεμάχια άνθρακα ή λιγνίτη
- Διάφορες ενώσεις του θείου
- Τεμάχια ασβέστη
- Διάφορα διαλυτά άλατα όπως το χλωριούχο νάτριο κ.ά.

Τσιμέντο

Το τσιμέντο πρέπει να εκπληρώνει τους όρους που θέτουν οι διάφορες προδιαγραφές. Προκειμένου μάλιστα για σοβαρά έργα πρέπει να εκτελεστούν οι έλεγχοι που προβλέπονται από τους κανονισμούς.

Νερό

Το νερό πρέπει να είναι καθαρό και διαυγές. Ξένες προσμίξεις όπως άργιλος, οργανικές ουσίες, άλατα κλπ. δεν πρέπει να περιέχονται. Γενικά το πόσιμο νερό είναι το πιο κατάλληλο. Η ποσότητα του νερού ασκεί ουσιαστική επίδραση στις ιδιότητες του

τσιμεντοκονιάματος. Μικρή ποσότητα δημιουργεί κονίαμα στεγνό και δυσκολοκατέργαστο, αλλά με αυξημένη μηχανική αντοχή και στεγανότητα ενώ μεγάλη ποσότητα το καθιστά πλαστικό, υδαρές και εύκολα κατεργάσιμο αλλά με μειωμένη αντοχή και στεγανότητα.

Η ποσότητα του νερού λοιπόν πρέπει να υπολογίζεται ανάλογα με τη χρήση για την οποία προσδιορίζεται το τσιμεντοκονίαμα. Γενικά για τα κοινά τσιμέντα Portland, για την πήξη 100Kg τσιμέντου χρειάζονται περίπου 22lt νερού.

Αναλογίες τσιμέντου - άμμου

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.

Αυτές πάντως, όπως και στα ασβεστοκονιάματα, καθορίζονται σε μέρη όγκου τσιμέντου και άμμου και παριστάνονται με ένα κλάσμα. Επειδή όμως υπάρχει ο κίνδυνος να γίνουν λάθη κατά τη μέτρηση του όγκου του τσιμέντου επειδή αυτός μεταβάλλεται με την πίεση που υφίσταται και με την λεπτότητά του, συχνά εκφράζεται η σύνθεση του κονιάματος από το βάρος του τσιμέντου, που περιέχεται σε 1 m³ έτοιμου τσιμεντοκονιάματος. 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.

Οι αναλογίες τσιμέντου-άμμου που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή τσιμεντοκονιάματος, και τις χρήσεις τους φαίνονται στον πίνακα (3.3.) που ακολουθεί :

Τσιμέντο/άμμος	Χαρακτηρισμός κονιάματος	Χρήση
1/1.5 ως 1/2.5 ή 1100-600Kg	Παχιά κονιάματα	Για κονιάματα στεγανών επιχρισμάτων
1/1.5 ως 1/2.5	Παχιά κονιάματα	Για κονιάματα επιστρώσεων
1/2 έως 1/3 ή 750-500Kg	Κανονικά κονιάματα	Για κονιάματα εξωτερικών επιχρισμάτων
1/3 ως 1/4 ή 500-400Kg	Αδύνατα κονιάματα	Για κτίσιμο θεμελίων με αργούς λίθους

Πίνακας 3.3. Αναλογίες τσιμέντου και άμμου

Το κονίαμα όταν παρασκευάζεται πρέπει να χρησιμοποιείται μέσα στις πρώτες ώρες (2 ως 3 ώρες), 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.

3.9.3. Ιδιότητες τσιμεντοκονιαμάτων

Τα τσιμεντοκονιάματα **πήζουν και σκληραίνουν** με την ίδια διαδικασία που πήζει και σκληραίνει το τσιμέντο (κεφ.2.6.6.). Επομένως πρέπει να λαμβάνονται και τα κατάλληλα μέτρα. Ιδιαίτερα να αποφεύγεται κατά τις ψυχρές και παγερές μέρες καθώς και κατά τις πολύ θερμές και ξηρές η εκτέλεση εργασιών επιχρίσεως ή κάλυψης εξωτερικών επιφανειών. Συγκεκριμένα σε θερμοκρασίες κάτω από 5 °C απαγορεύεται τόσο η χρήση όσο και η παραγωγή τσιμέντου. Επίσης για την αποφυγή ραγισμάτων πρέπει κατά τις πρώτες μέρες να διαβρέχεται τακτικά με νερό.

Όσον αφορά στη **μηχανική αντοχή** και τη **στεγανότητα** του τσιμεντοκονιάματος αυτές εξαρτώνται κυρίως από τους παρακάτω παράγοντες :

- Αναλογία τσιμέντου προς άμμο
- Ποιότητα άμμου (προέλευση και κοκκομετρική διαβάθμιση)
- Ποσότητα νερού επεξεργασίας
- Διατήρηση του κονιάματος σε υγρό περιβάλλον – Σωστή παρασκευή

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

Η **αντοχή σε τριβή (σκληρότητα)** των τσιμεντοκονιαμάτων είναι αρκετά μεγάλη και εξαρτάται κυρίως από τη σκληρότητα των αδρανών. Η χαλαζιακή άμμος δίνει πιο σκληρά κονιάματα από την ασβεστολιθική.

Για την αύξηση της **πλαστικότητας και της ελαστικότητας** των τσιμεντοκονιαμάτων γενικά, συνιστάται η προσθήκη μικρής ποσότητας πολτού ασβέστου 0.04-0.06 m³ 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.

Τα τσιμεντοκονιάματα και κυρίως τα παχιά αντιστέκονται στην επίδραση αραίων διαλυμάτων διαφόρων χημικών ουσιών (οξέων, αλάτων κλπ.), καθώς και στην επίδραση του θαλασσινού νερού. Τα πυκνά όμως διαλύματα καταστρέφουν το τσιμεντοκονίαμα και πρέπει να λαμβάνονται ειδικές προφυλάξεις αν είναι να χρησιμοποιηθούν.

3.9.4. Χρήσεις τσιμεντοκονιαμάτων

Τα τσιμεντοκονιάματα χρησιμοποιούνται ως **συνδετικά υλικά** για το κτίσιμο τοίχων από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους, ως **καλυπτικά υλικά** και για το **αρμολόγημα** στις ξεστές τοιχοποιίες, για **επιχρίσματα** τοίχων και οροφών, για τη **στερέωση** μεταλλικών εξαρτημάτων και συνδέσμων επάνω στους τοίχους (στηρίγματα κουφωμάτων, σωλήνων κλπ.), στην **κατασκευή** αρχιτεκτονικών προεξοχών, **επιστρώσεις δαπέδων**, **στεγανές επικαλύψεις** δεξαμενών, βόθρων κλπ.. Επίσης χρησιμοποιούνται σαν πρώτη ύλη για την **κατασκευή τεχνητών υλικών**, όπως τσιμεντόλιθοι, τσιμεντοσωλήνες κλπ.

Ειδικότερα τα τσιμεντοκονιάματα των 900 Kg/m^3 είναι πολύ πλούσια και χρησιμοποιούνται για την παρασκευή των προκατασκευασμένων στοιχείων με ισχυρότατη συμπύκνωση ή φυγοκεντρισμό (π.χ σωλήνες), σε επιχρίσματα μέσα στο νερό, κ.ά.^[4]

Τα τσιμεντοκονιάματα των 700 Kg/m^3 χαρακτηρίζονται σαν πλούσια και εφαρμόζονται στα αρμολογήματα, αυτά των 600 Kg/m^3 είναι σχετικώς πλούσια και εφαρμόζονται στα υγρά θεμέλια, στην κατασκευή επιχρισμάτων, λιμενικών έργων, αυτά των 450 Kg/m^3 είναι ελαφρώς πλούσια και εφαρμόζονται στην κατασκευή θόλων και άλλων στοιχείων, που φορτίζονται ισχυρά και τέλος τα τσιμεντοκονιάματα των 350 Kg/m^3 χαρακτηρίζονται σαν κανονικά και χρησιμοποιούνται σε όλα τα στοιχεία των αερικών κατασκευών.

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

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

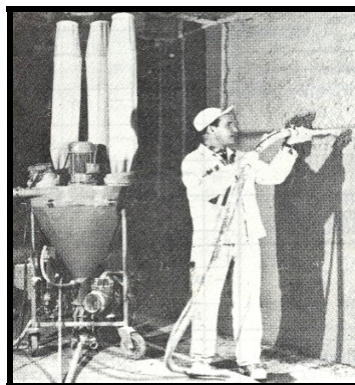
τοιχογραφίες. Πολλοί ερευνητές εξάλλου, υποστηρίζουν ότι η χρήση των κονιαμάτων αυτών είναι **ακατάλληλη γενικότερα για την επισκευή ιστορικών κτιρίων**, καθώς εκτός από την ύπαρξη ανεπιθύμητων αλάτων στο τσιμέντο, έχουν επίσης το μειονέκτημα ότι είναι πολύ ‘σκληρά’ και προσκολλώνται γερά με αποτέλεσμα να εμποδίζουν την εξάτμιση της υγρασίας.

3.10. Γυψοκονιάματα

Τα γυψοκονιάματα περιέχουν γύψο για συνδετική ύλη και άμμο σαν αδρανές. Οι αναλογίες είναι κατ' όγκο 1 μέρος γύψο με 1-3 μέρη άμμος.^[4] Αρχικά αναμιγνύεται το νερό με τη γύψο και κατόπιν προσθέτεται η άμμος. Για σκληρά επιχρίσματα απαιτείται αναλογία γύψου-άμμου 1: 1 κατ' όγκον.

Συνήθως όμως χρησιμοποιείται πολτός γύψου ο οποίος παρασκευάζεται από πλαστική γύψο, χωρίς την προσθήκη άμμου. Οι αναλογίες κατά κανόνα είναι 1 Kg γύψου με 0.6 Kg νερού (3 μ.ό. γύψου + 2 μ.ό. νερού).^[4] Η καθαρή γύψος χρησιμοποιείται σε εργασίες στόκου, για εκμαγεία, για την κατασκευή ακροτοιχιών, κορνιζών και γενικώς γύψινων διακοσμήσεων.

Τέλος για τα ασβεστογυψοκονιάματα, δηλαδή κονιάματα με συνδετική ύλη άσβεστο και γύψο σε κάποιες αναλογίες, έχει γίνει αναφορά στο κεφάλαιο 3.8.3.



Εικόνα 3.4. Εργασία επιχρίσματος με γυψοκονίαμα

3.11. Ειδικά κονιάματα

3.11.1. Γενικά

Τα κονιάματα αυτά όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.8.1. είναι κονιάματα τα οποία παρασκευάζονται με ειδικές μεθόδους και με υλικά ορισμένων ιδιοτήτων, ώστε να μπορεί να αυξηθεί ο βαθμός εκδήλωσης μιας συγκεκριμένης κάθε φοράς ιδιότητας. Τα κυριότερα από αυτά αναπτύσσονται παρακάτω.

3.11.2. 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 στη φωτιά.^[1]

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 αναμιγνύεται με νερό και πήζει, ή σε σοβαρότερες περιπτώσεις με διάλυμα υδρυάλου για να αυξηθεί η αντοχή του στη φωτιά.

Ένα άλλος τύπος πυρίμαχου κονιάματος είναι το **αμιαντοτσιμεντοκονίαμα** που χρησιμοποιείται για την προστασία ξύλινων ή σιδερένιων στοιχείων από τη φωτιά. Παρασκευάζεται με ανάμιξη τσιμέντου, λεπτής σκόνης αμianto και νερού σε διάφορες αναλογίες. Γενικά παρέχει πλήρη ασφάλεια έναντι της πυρκαγιάς, αλλά γενικά η αντοχή του στη φωτιά είναι μικρότερη από την αντοχή του χώματος της φωτιάς.^[1]

3.11.3. Στεγανά κονιάματα

Τα 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 ασφαλτικά υλικά. Οι πρόσθετες αυτές ουσίες όμως, 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 κάποια συνθετική κονία.

3.11.4. Θερμομονωτικά και ηχομονωτικά κονιάματα

Τα κονιάματα αυτά χαρακτηρίζονται από το μεγάλο τους πορώδες, γιατί μόνο με τη δημιουργία των κενών αυτών μέσα στη μάζα τους επιτυγχάνεται η θερμική και ηχητική μόνωση. Τα κονιάματα αυτά παρασκευάζονται με διάφορους τρόπους και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής τους.

Έτσι έχουμε λοιπόν τα **πορώδη κονιάματα** που είναι συνήθως μείγματα ενός πολύ φτωχού σε κονία προς την άμμο ασβεστοκονιάματος (1/8 περίπου) και ενός ίδιου τσιμεντοκονιάματος και τα **αεροκονιάματα** που μοιάζουν με στερεό σπόγγο λόγω των μικρών φυσαλίδων που περιέχουν στη μάζα τους. Αυτά παρασκευάζονται με χρησιμοποίηση σκόνης αλουμινίου ή άλλων μετάλλων (αλκαλίων) τα οποία αναμιγμένα με το τσιμέντο προκαλούν αποσύνθεση του νερού επεξεργασίας και οι φυσαλίδες του υδρογόνου που απελευθερώνεται δημιουργούν τις αντίστοιχες κυψέλες. Επίσης

κατασκευάζονται με προσθήκη κάποιας λιπαρής ουσίας ή σαπουνιού στο τσιμεντοκονίαμα. Τα αεροκονιάματα έχουν χαμηλότερη αντοχή σε θλίψη, έχουν όμως άριστες μονωτικές ικανότητες και μεγάλη αντοχή στον παγετό. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται πολύ σε χώρες όπου ο παγετός είναι συνηθισμένο φαινόμενο.

Τέλος έχουμε τα **περλιτικά κονιάματα** στα οποία αντί για άμμο χρησιμοποιούνται μικροί κόκκοι διογκωμένου περλίτη, οι οποίοι χάρη στα κλειστά κενά που περικλείουν προσδίδουν στο κονίαμα μεγάλη ελαφρότητα και εξαιρετικές θερμομονωτικές ιδιότητες.

3.12. Έτοιμα κονιάματα

Τα έτοιμα κονιάματα προσφέρονται σε ξηρή μορφή συσκευασμένα σε σάκους ή σε silos με προ-αναμιγμένα τα συστατικά τους σε συγκεκριμένες αναλογίες και με την κατάλληλη κοκκομετρία και σκληρότητα αδρανών. Στο εργοτάξιο απαιτείται η ανάμιξή τους μόνο με νερό. Αποτελούν τη σύγχρονη τεχνολογία στον τομέα των επιχρισμάτων με αλματώδη εξέλιξη ενώ στις βιομηχανικά αναπτυγμένες χώρες κατέχουν είδη το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς.

Ανάλογα με τη σύνθεσή τους διακρίνονται σε :

- Ασβεστοτσιμεντοκονιάματα, από τσιμέντο, σκόνη υδρασβέστου και θραυστά ασβεστολιθικά αδανή
- Τσιμεντοκονιάματα, από μίγματα τσιμέντου και αδρανών με προσθήκη χημικού πλαστικοποιητή
- Γυψοκονιάματα, με βασικό υλικό τη γύψο.

Ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται διακρίνονται σε :

- Κονιάματα τοιχοποιίας
- Επιχρίσματα πρώτης στρώσης (λάσπωμα)
- Επιχρίσματα εσωτερικά τελικής στρώσης
- Επιχρίσματα εξωτερικά τελικής στρώσης

Οι πρώτες ύλες καθώς και οι αναλογίες μίξης για τα έτοιμα κονιάματα επιλέγονται με βάση τις ισχύουσες προδιαγραφές και τη χρήση για την οποία προορίζονται, και αναμιγνύονται εν ξηρώ με συγκεκριμένη διαδικασία η οποία κατευθύνεται και ελέγχεται με ηλεκτρονικό τρόπο.

Το βασικό πλεονέκτημα των έτοιμων κονιαμάτων είναι ο βιομηχανικός και αυτοποιημένος τρόπος παραγωγής του κονιάματος, με αποτέλεσμα τις απόλυτα ελεγχόμενες αντοχές και ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Πάντως και αυτά πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή, και εφόσον υπάρχει εγγύηση-πιστοποίηση ότι είναι κατάλληλα, και να χρησιμοποιούνται πάντοτε σύμφωνα με τις οδηγίες και υποδείξεις του κατασκευαστή.

3.13. 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: ^[4]

α) Σίδηρος. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα του σιδήρου είναι η οξείδωση. 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 χονδρόκοκκη άμμο. Αντίθετα με 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 ελάσματα από μόλυβδο πρέπει κατά κανόνα να μονώνονται με άσφαλτο ή ασφαλτόπανο. Μετά τη μόνωση επιτρέπεται η κάλυψη τους με κονίαμα.

γ) Ψευδάργυρος. Τον ψευδάργυρο τον 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.

3.14. Μηχανισμοί φθοράς παλαιών κονιαμάτων

Κατά την ιστορική εποχή, η τέχνη των κονιαμάτων αναπτύχθηκε ιδιαίτερα στη Μεσογειακή λεκάνη. Στην Ελλάδα, στην πλειονότητα των ιστορικών κατασκευών έχει χρησιμοποιηθεί ασβεστοκονίαμα. Το συνδετικό υλικό είναι η άσβεστος με θηραϊκή γη σε διάφορες αναλογίες ή/και κουρασάνι. Τα αδρανή αποτελούνται κυρίως από ποταμίσις πυριτική άμμο με διάφορες κοκκομετρίες, και συχνά από θράυσματα οπτόπλινθων.^[24]

Η ποιότητα και οι μηχανικές ιδιότητες των κονιαμάτων καθορίζονταν από τη σύνθεση των αδρανών, τις αναλογίες ανάμιξης, το συνδετικό υλικό, τα ενδεχόμενα πρόσθετα υλικά για πιθανή βελτίωση (βλ. κεφ. 3.15). των ιδιοτήτων των κονιαμάτων όπως ζωικές ίνες, αυγό, αποστάγματα κ.ά.

Οι αιτίες φθοράς των παλαιών κονιαμάτων είναι ποικίλες και συχνά αλληλοεξαρτώνται. Συνήθως προέρχονται από **κακοτεχνίες, υγρασία, διαλυτά άλατα, παγετό, υπέρβαση του ορίου αντοχής θλίψης, φωτιά και βιολογικές επιδράσεις**.^[24]

Οι παραπάνω αυτές αιτίες έχουν ως αποτέλεσμα τη διάλυση της συνδετικής ύλης, γεγονός που προκαλεί την αύξηση του πορώδους και κατά συνέπεια τη μείωση της μηχανικής αντοχής. Συνέπεια αυτών είναι ο μετασχηματισμός τεμαχιδίων του υλικού σε νέες υδατοδιαλυτές χημικές ενώσεις, τη δημιουργία εξανθημάτων ή την καταστροφή του ιστού του κονιάματος από διάφορα βλαβερά συστατικά. Οι πιο σημαντικές αιτίες καταστροφής των παλαιών κονιαμάτων είναι οι παρακάτω: ^[24]

Μείωση μηχανικής αντοχής του κονιάματος. Συνήθως η μείωση της αντοχής αναφέρεται στη θλίψη, αλλά μπορεί να παρατηρηθεί και στις εφελκυστικές τάσεις. Επέρχεται λόγω της φυσικής γήρανσης του υλικού.

Ενανθράκωση. Προκαλεί αύξηση στο πορώδες του κονιάματος με αποτέλεσμα την αύξηση του ερπυσμού και της ταχύτητας ανάπτυξης του. Ο ερπυσμός στα κονιάματα διαρκεί αρκετά χρόνια και εξαρτάται από το μέτρο ελαστικότητας, τη θλιπτική αντοχή, την περιεκτικότητα σε νερό και το χρόνο φόρτισης.^[25]

Ποσοστό υγρασίας. Οι περισσότεροι μηχανισμοί φθοράς για να εκδηλωθούν χρειάζονται νερό. Συνήθως διάφορες διαβρωτικές ουσίες μεταφέρονται διαλυμένες μέσα στο νερό (διοξείδιο του άνθρακα, άλατα χλωρίου και θεικών κ.ά.). Γενικά ο ρυθμός διάχυσης και άρα η συγκέντρωση των ουσιών αυτών μειώνεται, όταν μειώνεται η ποσότητα της υγρασίας στο κονίαμα.^[26]

Διαλυτά άλατα. Αυτά διαχέονται από τα υλικά μέσω των πόρων. Μεταφέρονται μέσω των τριχοειδών πόρων από το έδαφος ή ενυπάρχουν στα υλικά της τοιχοποιίας και ενεργοποιούνται από την υγρασία. Εάν το κονίαμα έχει πολύ μικρό πορώδες σε σχέση με τα γειτονικά του υλικά (λίθος, οπτόπλινθος κλπ.) δυσχεραίνει την ‘αναπνοή’ δηλαδή την ελεύθερη εξάτμιση του νερού από τους πόρους και οδηγεί στην εναπόθεση των αλάτων στα τοιχώματα των πόρων των λίθων δομής. Η κρυστάλλωση των αλάτων, κάτω από την εξωτερική επιφάνεια και ειδικότερα μέσα στους πόρους, οδηγεί στη δημιουργία κρυσταλλικών πιέσεων οι οποίες τελικά μπορούν (ανάλογα με την έντασή τους) να οδηγήσουν στη ρηγμάτωση λόγω ανάπτυξης εσωτερικών τάσεων. Ενίοτε επέρχεται μείωση της αρχικής διατομής του κονιάματος λόγω των χημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα (επιφανειακή αποφλοίσωση).^[24]

Συνεχής ροή νερού. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος της φθοράς αυτής είναι η ταχύτητα ροής του νερού, τα σωματίδια που τοιχόν να μεταφέρονται από το νερό, η ταχύτητα, η κίνηση, το σχήμα, το μέγεθος, το βάρος και η ποσότητα αυτών των σωματιδίων, και τέλος η σκληρότητα του κονιάματος.

Θερμοκρασία. Οι ακραίες μεταβολές των τιμών της θερμοκρασίας προκαλούν διαδοχικούς κύκλους θέρμανσης – ψύξης, δηλαδή πήξης και τήξης του νερού των πόρων, με αποτέλεσμα την απώλεια βάρους λόγω απότριψης και την τελική μείωση της

μηχανικής αντοχής. Συγκεκριμένα, όταν το νερό που βρίσκεται στους τριχοειδείς πόρους παγώσει, ο όγκος του αυξάνεται κατά 9%. Η αύξηση αυτή προκαλεί την άσκηση ισχυρών υδραυλικών πιέσεων στα τοιχώματα των πόρων η οποία συχνά οδηγεί σε τοπική θραύση του ιστού του κονιάματος. Εάν μετά την αύξηση της θερμοκρασίας ακολουθήσει νέα πτώση της, η θραύση επεκτείνεται. Έτσι οι **εναλλαγές παγετού–τήξης** επιβαρύνουν αθροιστικά το υλικό προκαλώντας τελικά τη μείωση της αντοχής του. (βλ. κεφάλαιο 8. θάλαμος γήρανσης). (Παρατηρούνται ρωγματώσεις στην επιφάνεια του κονιάματος, αφαίρεση μικρών τεμαχίων από την επιφάνεια του κονιάματος, δημιουργία μικρών κοιλοτήτων κλπ., βλ. φωτογραφίες κυβικών δοκιμίων μετά το θάλαμο γήρανσης στο αντίστοιχο παράρτημα).

Βιολογικές επιδράσεις. Οφείλονται κυρίως στη δράση των φυτών. Οι **ρίζες** διεισδύουν στις μικρορωγμές του κονιάματος και ασκούν πιέσεις με αποτέλεσμα την αύξηση της υπάρχουσας ρηγματώσης. Επιπλέον η σήψη τους δίνει **χουμικό οξύ** το οποίο προκαλεί διάβρωση. Φθορά μπορεί να προκληθεί και από **φύκια** όταν αυτά βρίσκονται σε περιβάλλον που διαβρέχεται και ξηραίνεται, διότι συγκρατούν θαλασσινό νερό το οποίο και περιέχει αυξημένη ποσότητα αλάτων λόγω της εξάτμισης. [Τριανταφύλλου «Δομικά υλικά»]

3.15. Παλαιότερα πρόσθετα υλικά στα μνημεία. Συμπεριφορά και παρενέργειές τους.

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.14 παρ.2, συχνά συναντούμε υλικά στις ιστορικές κατασκευές και στα μνημεία (είτε από την κατασκευή τους είτε από παλαιότερες επεμβάσεις συντήρησης) τα οποία προστείνονταν με σκοπό τη βελτίωση κάποιων ιδιοτήτων των κονιαμάτων. Αυτές τις συναντάμε εξαλειωμένες, ενώ πολλές φορές έχουν καταστραφεί τελείως. Παρακάτω αναφέρονται κάποιες χαρακτηριστικές ουσίες, η συμπεριφορά τους καθώς και οι παρενέργειές τους στα δομικά υλικά των μνημείων, όπως αυτές αναφέρονται στο βιβλίο του Ομότιμου Καθηγητή του Ε.Μ. Πολυτεχνείου,

Θ.Ν. Σκουλικίδη: «Διάβρωση και συντήρηση των δομικών υλικών των μνημείων», από τις Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο 2000, σελ.23-26,183-188.

3.15.1. Παλαιότερα υλικά

Κάποια χαρακτηριστικά υλικά που συναντούνται στα μνημεία είναι:

Γάλα. Πρόκειται για γαλάκτωμα (σφαιρίδια υγρού με διαστάσεις μεταξύ 1 και 500 nm διασκορπισμένα σε ένα άλλο υγρό) λιποσφαιρίων (ελαϊκό και παλμιτικό λίπος) σε υδατικό διάλυμα λευκομάτων (καζεΐνη, γαλακτολεύκωμα, γαλακτοσφαιρίνη), υδατανθράκων (λακτόζη), ενζύμων, αλάτων (φωσφορικά και ασβεστίου, νατρίου, καλίου, σιδήρου) και διαφόρων βιταμινών (A, B₁, B₂, PP, C, D). Το χρησιμοποιούσαν σαν συγκολλητικό λόγω της καζεΐνης η οποία δρα ως κόλλα.

Ασπράδι αυγού. Αποτελείται κατά 87% από νερό, 12% από πρωτεΐνες και από 1% ανόργανες ενώσεις. Οι πρωτεΐνες είναι αζωτούχες ενώσεις οι οποίες προέρχονται από τη συνένωση πολλών αμινοξέων. Από την άποψη αυτή μοιάζουν με τα πολυμερή με συγκολλητικές ιδιότητες.

Ούρα αλόγου. Είναι κυρίως υδατικό διάλυμα ουρίας CO(NH₂)₂, οξαλικού οξέος και ινδικάνης, αμμωνίας, ουρικού οξέος, κρεατινίνης, υδροχολίνης και φωσφορικών, χλωριούχων θειικών αλάτων του νατρίου και του καλίου. Λόγω της ουρίας που πολυμερίζεται (παλαιότερα παρασκευάζονταν ρητίνες ουρίας), τα ούρα του αλόγου μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σαν συγκολλητική ύλη.

Λινέλαιο. Είναι οργανική ένωση που υπό την επίδραση του ατμοσφαιρίου οξυγόνου σκληραίνει. Αυτός είναι και ο κυριότερος λόγος για τον οποίον χρησιμοποιήθηκε παλαιότερα. Το λινέλαιο είναι αδιάλυτο στο νερό.

Λίπη ή γλυκερίδια. Πρόκειται για κορεσμένους εστέρες των λιπαρών οξέων (παλμιτικού, στεαρικού κλπ.) ή ακόρεστους (ελαϊκό οξύ κλπ.) με γλυκερίνη. Είναι αδιάλυτα στο νερό. Τα ακόρεστα λίπη οξειδώνονται από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο προς αλδεύδες ή κετόνες και σκληραίνουν. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίον χρησιμοποιήθηκαν παλαιότερα.

Κεριά. Πρόκειται για εστέρες μονοσθενών αλκοολών και καρβοξυλικών οξέων φυτικής ή ζωϊκής προέλευσης, είτε για ορυκτό κερί. Χρησιμοποιούνται ως μονωτικά, βερνίκια κλπ. και για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκαν παλαιότερα. Επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί στη συντήρηση της πέτρας, στη γλυπτική, στην εγκαυστική ζωγραφική, στη χύτευση βρούνζινων αγαλμάτων κλπ.

Φυσικές ρητίνες. Είναι άμορφες ή στερεές οργανικές ενώσεις που προέρχονται από δέντρα και φυτά, όπως η γομμαλάκα, η γουταπέρκα κλπ. Χρησιμοποιήθηκαν επειδή σκληραίνουν στον αέρα υπό την επίδραση του οξυγόνου.

Δεξτρίνη. Προκύπτει από μερική υδρόλυση του αμύλου. Πρόκειται για μείγμα ουσιών που χρησιμοποιούνταν ως κόλλα, σε αντικατάσταση του φυσικού καουτσούκ.

Κόλλες. Είναι οργανικές ουσίες φυτικής ή ζωϊκής προέλευσης οι οποίες σκληραίνουν και πήζουν με το οξυγόνο του αέρα ή αυτοπολυμερίζονται. Παράγονται από παλιά, με βρασμό δερμάτων ή οστών ζώων και ψαριών (ιχθύκολλα). Κόλλες είναι επίσης ο γαλάλιθος και τα πολυμερή.

Κόλλα Meyer. Πρόκειται για υδραυλική κονία Sorel, δηλαδή για οξυχλωριούχο μαγνήσιο ($MgCl_2 \cdot MgO$), με ή χωρίς αδρανείς προσμίξεις. Αποβάλλεται από πάστα με νερό και σχηματίζει μια σκληρή μάζα.

Υδραυλική ασβεστος (γαλλικό χώμα). Πρόκειται για ασβέστη ο οποίος προέκυψε από την πύρωση ασβεστολίθων περιεκτικότητας 10-30% σε άργιλο (πυριτικό άργιλο).

Κουρασάνι. Πρόκειται για ψημένη άργιλο, τριμέννα κεραμικά και τούβλα, με κόκκους διαμέτρου περίπου 1mm και ασβέστη. (βλ. κεφ. 4.4.1).

Ανόργανα χρώματα. Στα αρχαία μνημεία, αλλά και στα νεότερα, υπάρχουν πολυχρωμίες ή νωπογραφίες, που για τη δημιουργία τους χρησιμοποιήθηκαν ανόργανες ουσίες σε διάφορα υλικά, όπως μερικά από αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι ουσίες αυτές είναι οξειδία σιδήρου (από κίτρινο ως καστανέρυθρο), τιτανίου (λευκό), μολύβδου (κόκκινο) κλπ.

3.15.2. Παρενέργειες παλαιότερων υλικών στα δομικά υλικά των μνημείων

Γάλα. Σε σύντομο χρονικό διάστημα αποσυντίθεται από μικροοργανισμούς. Η παρουσία του προκαλεί εκτεταμένο επικοισμό της επιφάνειας από φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς και επομένως μεγαλύτερη βιολογική φθορά της πέτρας.

Ασπράδι αυγού. Ισχύει ότι και για το γάλα.

Ούρα αλόγου. Η ουρία διασπάται σε CO_2 και NH_4OH . Η NH_4OH δημιουργεί με το γύψο (προϊόν αντίδρασης SOx και υγρασίας με το ανθρακικό ασβέστιο της επιφάνειας), $(\text{NH}_4)_2^{2+}\text{SO}_4^{2-}$, ενώ τα NH_4^+ υδρολύονται σε NH_4OH και υδροξόνεια, με καταστρεπτικά αποτελέσματα.

Λινέλαιο. Είναι αρκετά σταθερό, αλλά ρηγματώνεται (επιτρέπει τη διάχυση ιόντων ασβεστίου κατά τη γυψοποίηση) και συνεπώς επιταχύνει τη φθορά.

Λίπη ή γλυκερίδια. Ισχύει ότι και για το γάλα.

Κερί. Ισχύει ότι και για το λινέλαιο.

Φυσικές ρητίνες. Ισχύει ότι και για το λινέλαιο.

Λεξτρίνη. Ισχύει ότι για το γάλα και το λινέλαιο.

Κόλλες. Ισχύει ότι για το γάλα και το λινέλαιο.

Κόλλα Meyer. Η κόλλα Meyer χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα στη συντήρηση μνημείων στο εξωτερικό αλλά και σε αντίστοιχες εργασίες και στην Ελλάδα, σε διάφορα μνημεία και στα μνημεία της Ακρόπολης, μέχρι το 1975-1976, οπότε με την ίδρυση της Επιτροπής για τη Συντήρηση των Μνημείων της Ακρόπολης σταμάτησε η εφαρμογή της. Ο λόγος ήταν ότι πιστοποιήθηκε η υδρόλυσή της προς $Mg(OH)_2$ (σχηματισμός εξανθημάτων) και HCl (διαλυτική δράση).

Υδραυλική άσβεστος (γαλλικό χόμα). Η υδραυλική άσβεστος είναι κίτρινη και ψαθυρή. Ρυγματώνεται και θράνεται με χτυπήματα ή απότομες μετακινήσεις όπως κραδασμοί (αυτοκίνητα, αεροπλάνα) ή με σεισμό. Χρησιμοποιήθηκε στην Ακρόπολη, ως υλικό συντήρησης, από το Martinelli το 1872, και χρησιμοποιείται μερικές φορές στο εξωτερικό, ακόμα και σήμερα.

Κουρασάνι. Η μόνη παρενέργεια μπορεί να οφείλεται στη διαφορά του συντελεστή θερμικής διαστολής από εκείνον του πετρώματος που βρίσκεται σε επαφή μαζί του.

Ανόργανα χρώματα. Αυτά ξασπρίζουν με το υπεριώδες φως και ορισμένα διαλύονται τοπικά από την όξινη βροχή, επιταχύνοντας έτσι τη φθορά των δομικών υλικών.

4. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΣΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

4.1. Γενικά

Με τον όρο **αδρανή υλικά** γενικά χαρακτηρίζουμε όλα τα προσμίγματα αυτά (συνήθως λίθινα και κοκκώδη που προέρχονται από φυσικό ή τεχνητό τεμαχισμό των φυσικών πετρωμάτων) τα οποία αν χρησιμοποιηθούν κατάλληλα με κάποιο συνδετικό μέσο (κονία), συγκολλούνται μεταξύ τους και μας δίνουν τα κονιάματα. Τα υλικά αυτά είναι γενικώς ανόργανα και ονομάζονται αδρανή γιατί τα περισσότερα δεν αντιδρούν χημικά με τις διάφορες συνδετικές ύλες και το νερό.

Τα αδρανή υλικά συμβάλουν μηχανικά στην αντοχή του κονιάματος. Καταλαμβάνουν ένα μεγάλο τμήμα του συνολικού όγκου του κονιάματος και επομένως τα χαρακτηριστικά τους επηρεάζουν την απόδοση και τις ιδιότητες του.

Ως αδρανές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί θεωρητικά οποιοδήποτε υλικό αρκεί να εκπληρώνει συγκεκριμένες απαιτήσεις όπως επαρκή αντοχή, επαρκή πρόσφυση, και χημική ανεκτικότητα με την κονία. Τα συνήθη αδρανή υλικά είναι ασβεστολιθικά και πυριτικά.

4.2. Κατάταξη αδρανών

Γενικά τα αδρανή υλικά κατατάσσονται ανάλογα με την προέλευσή τους και ανάλογα με το μέγεθος και είδος των κόκκων τους.

4.2.1. Ανάλογα με την προέλευσή τους

Ανάλογα με την προέλευσή τους τα αδρανή χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στα **φυσικά αδρανή**, τα οποία προέρχονται από φυσικό τεμαχισμό και στα **τεχνητά αδρανή** τα οποία προέρχονται από τεχνητό τεμαχισμό.

- **Φυσικά αδρανή**

Αυτά λαμβάνονται απ' ευθείας από το περιβάλλον και ειδικά από ορισμένους τόπους, όπου έχουν συγκεντρωθεί λόγω της ενέργειας φυσικών δυνάμεων όπως το νερό και ο άνεμος. Αποτελούνται από κόκκους στρογγυλούς και γωνιώδεις με στρογγυλεμένες ακμές και βρίσκονται σε αφθονία στις παραλίες των θαλασσών, στις κοίτες των ποταμών, σε εναποθέσεις μέσα στη γη (ορυκτή άμμος), στις ερήμους και σε άλλα αντίστοιχα μέρη.

Κατά κατά κανόνα χρησιμοποιούνται χωρίς οποιαδήποτε επεξεργασία, εκτός συγκεκριμένων περιπτώσεων, όταν δηλαδή προορίζονται για ειδικά έργα που απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή, όπου είτε εγκαθίστανται μηχανικά κόσκινα για την ταξινόμηση των υλικών κατά το μέγεθος των κόκκων τους, είτε/και μηχανές πλυσίματος για τον καθαρισμό τους από επιβλαβείς ουσίες όπως άλατα, άργιλος, οργανικές ουσίες κλπ.

Ανάλογα με τη σύστασή τους διακρίνονται σε πυριτικά (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 κονιάματα να πλυθεί για να αποβάλει ένα μέρος από τις αργιλικές αυτές προσμίξεις.

Τον τελευταίο καιρό όμως, η χρησιμοποίησή φυσικών αδρανών περιορίζεται σιγά σιγά. Οι λόγοι της ελάττωσης αυτής είναι η εξάντληση των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων καθώς στα περισσότερα μέρη πλέον απαγορεύεται η λήψη λόγω καταστροφής του

τοπίου, η υψηλή τιμή πώλησης κ.ά. πάντως γενικά στις αναπαλαιώσεις προτιμάται η φυσική άμμος παρά το μεγαλύτερο κόστος της.

- **Τεχνητά αδρανή**

Ο τεμαχισμός των φυσικών λίθων για να προκύψουν τα τεχνητά αδρανή γίνεται με μηχανικά μέσα στα λατομεία. Ο μηχανολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται (θραυστήρας με σιαγόνες, περιστροφικός θραυστήρας κ.ά.) εξαρτάται από την κοκκομετρία που επιδιώκουμε.

Ως προς το μέγεθος των κόκκων τους, τα τεχνητά αδρανή έχουν μεγαλύτερη ποικιλία από τα φυσικά. 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.

4.2.2. Ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους

Ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους, τα αδρανή υλικά χωρίζονται στις εξής κατηγορίες :

- **Άμμος**

Για να χαρακτηριστεί ένα υλικό ως άμμος, πρέπει οι κόκκοι του να είναι μεγαλύτεροι από 0.075mm και μικρότεροι από 7mm. Η άμμος με μέγεθος κόκκων μικρότερο από 0.075 mm ονομάζεται ειδικά **παιπάλη ή άλευρο**. Στον πίνακα (4.1.) που ακολουθεί φαίνεται η κατάταξη της άμμου ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων της, καθώς και οι υποδιαιρέσεις με τις οποίες αυτή χαρακτηρίζεται.

Φυσικός τεμαχισμός	Τεχνητός τεμαχισμός	Μέγεθος κόκκων σε mm
Παιπάλη	Παιπάλη	0 - 0.074
Άμμος	Άμμος	
α) λεπτόκοκκη	α) λεπτόκοκκη	0 - 1
β) μεσόκοκκη	β) μεσόκοκκη	0 - 3
γ) χονδρόκοκκη	γ) χονδρόκοκκη	0 - 7

Πίνακας 4.1. Κοκκομετρία της άμμου

- Σκύρα ή χαλίκια

Το μέγεθος των κόκκων τους κυμαίνεται μεταξύ 7mm και 70mm. **Χαλίκια** συνήθως ονομάζονται όσα προέρχονται από φυσικό τεμαχισμό (φυσικά αδρανή), ενώ **σκύρα** όσα προέρχονται από τεχνητό τεμαχισμό (τεχνητά αδρανή). Στον πίνακα (4.2.) που ακολουθεί φαίνεται η κατάταξη των χαλικιών και σκύρων ανάλογα με το μέγεθός τους.

Φυσικός τεμαχισμός	Τεχνητός τεμαχισμός	Μέγεθος κόκκων σε mm
Λεπτοχαλίκια	Λιθοσύντριμμα	
α) λεπτά	α) λεπτά	5 – 10
β) χονδρά	β) χονδρά	5 – 15
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
Αμμοχάλικο		
α) 0 / 30		0 / 30
β) 0 / 50		0 / 50
γ) 0 / 70		0 / 70

Πίνακας 4.2. Κοκκομετρία χαλικιών

4.3. Ιδιότητες - χαρακτηριστικά αδρανών υλικών

Σημαντικό ρόλο στα αδρανή υλικά παίζουν συγκεκριμένες ιδιότητες οι οποίες και χαρακτηρίζουν την ποιότητά τους και επηρεάζουν και την ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Οι σημαντικότερες από αυτές είναι η **αντοχή** τους, η οποία σχετίζεται με την αντοχή του μητρικού πετρώματος, η **καθαρότητα** τους, η ύπαρξη δηλαδή ή όχι πρόσμεικτων ουσιών, το **σχήμα** (μορφή) των κόκκων, η **κοκκομετρική διαβάθμιση** των κόκκων του αδρανούς, η **πρόσφυση με την κονία**, η **χημική συμπεριφορά** τους με τα άλλα συστατικά του κονιάματος ή με ουσίες που μπορεί να διεισδύσουν μέσα στο τελικό προϊόν κατά την διάρκεια της ζωής του (θαλασσινό νερό, καυσαέριο κλπ.) κ.ά.

4.3.1. Αντοχή αδρανών

Ανάλογα με τη χρήση των υπο κατασκευή κονιαμάτων ελέγχεται και η κατάλληλη μηχανική αντοχή (αντοχή σε θλίψη, αντοχή σε τριβές – σκληρότητα, αντοχή σε κρούση κλπ.). Η αντοχή αυτή εξαρτάται από την αντοχή του μητρικού πετρώματος.

Βέβαια, προκειμένου για υλικά που προήλθαν από περισυλλογή, επειδή δεν είναι δυνατόν πάντοτε να ελεγχθεί ο λίθος από τον οποίον προήλθαν, γίνεται ειδικός έλεγχος στα υλικά που περισυλλέχθηκαν.

Πάντως, σε όλες τις περιπτώσεις, το πέτρωμα πρέπει να είναι **υγιές**, δηλαδή να είναι απαλλαγμένο από κομμούς και να μην αποσθρώνεται από την επίδραση των καιρικών συνθηκών ή άλλους παράγοντες.

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

4.3.2. Καθαρότητα αδρανών

Η καθαρότητα ή μη των αδρανών υλικών αφορά στο ποσοστό της παρουσίας **επιβλαβών συστατικών**, δηλαδή ουσιών που εμποδίζουν την ομαλή εξέλιξη της σκλήρυνσης του κονιάματος, που μειώνουν την πυκνότητά του, που προκαλούν τοπικές αποκολλήσεις – αποφλοιώσεις ή άλλων ειδών ρηγματώσεις, που μετριάζουν την προστασία του από διάβρωση, ή άλλων ουσιών που εμποδίζουν την πρόσφυση με την κονία, που επιδρούν χημικά στην κονία ή σε άλλα υλικά με τα οποία θα έρθουν σε επαφή αργότερα (σίδηρος κ.ά.) κλπ.

Οι βλαπτικές αυτές ουσίες ανάλογα με την ποσότητα και την κατανομή τους μπορούν να είναι η παιπάλη (άργιλος ή σκόνη από το ίδιο το πέτρωμα), υλικά οργανικής προέλευσης, ουσίες που εμποδίζουν τη διαδικασία της σκλήρυνσης, ορισμένες θειούχες ενώσεις, μαλακά υλικά χωρίς ανοχή σε επιφανειακή φθορά, ουσίες που βοηθούν στη διάβρωση όπως τα χλωρίδια κλπ.

4.3.2.1. Παιπάλη

Χαρακτηρίζεται από το λεπτότερο τμήμα του υλικού που περνάει από το κόσκινο 0.075mm (Αμερικανικό πρότυπο ASTM). Μπορεί να είναι κολλημένη πάνω στην επιφάνεια των κόκκων, να σχηματίζει μικρούς σβώλους ή να είναι διασκορπισμένη ανάμεσα στους κόκκους των αδρανών. Πρόκειται τις περισσότερες φορές για αργιλικές ουσίες ή είναι σκόνη από το ίδιο το μητρικό πέτρωμα των αδρανών.^[8]

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.

Στον πίνακα (4.3.) που ακολουθεί φαίνεται η μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα σε παιπάλη ανάλογα με την κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών.

Μικρότερος/μέγιστος κόκκος αδρανών (mm)	Μέγιστη επιτρεπόμενη 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 4.3. Μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα παιπάλης στα αδρανή ανάλογα με την κοκκομετρική διαβάθμισή τους

4.3.2.2. Υλικά οργανικής προέλευσης

Σε αυτά τα υλικά περιλαμβάνονται όλες οι **ουσίες οργανικής προέλευσης** (ζωικές ή φυτικές), οι **γαιάνθρακες** και οι **λιγνίτες**. Τα οργανικά προϊόντα μπορεί να έχουν επίδραση στην πήξη της κονίας και να δημιουργήσουν ρωγματώσεις ή αποφλοιώσεις (σκασίματα) στην επιφάνεια του τελικού προϊόντος (σκυρόδεμα ή κονίαμα).^[6]

Η παρουσία οργανικών προσμίξεων ανιχνεύεται με καυστική σόδα, με αλλαγή χρώματος του διαλύματος. 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.

4.3.2.3. Ευδιάλυτα άλατα

Σε επιχρίσματα ή σε 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 %.^[5]

4.3.2.4. 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.^[11]

Οι μαρμαρυγίες έχουν **αυξημένη υδατοαπορροφητικότητα** και επομένως το μίγμα θα χρειάζεται περισσότερο νερό. Η μεγάλη όμως 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 της κονιάς. 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.

4.3.2.5. Θειούχες και θειϊκές ενώσεις

Οι θειούχες και οι θειϊκές 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**.^[5]

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 ζημιогόνες 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.

4.3.2.6. Ενώσεις 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 ποταμίσιες άμμους και δημιουργεί καφέ κηλίδες που δεν είναι επιθυμητές σε εξωτερικές επιφάνειες. Γενικά έχει καλή σκληρότητα αλλά είναι χημικά ασταθής. Όταν βρεθεί σε εξωτερική επιφάνεια οξειδώνεται αργά, δημιουργώντας καφέ κηλίδες που δεν απομακρύνονται.^[6]

Στα αρχαία μνημεία, αλλά και στα νεότερα, υπάρχουν πολυχρωμίες ή νωπογραφίες που για τη δημιουργία τους χρησιμοποιήθηκαν οξείδια του σιδήρου (από κίτρινο ως καστανέρυθρο). Ωστόσο όμως αυτά ξασπρίζουν με το υπεριώδες φως και ορισμένα διαλύονται τοπικά από την όξινη βροχή επιταχύνοντας έτσι τη φθορά των υλικών.^[2]

4.3.3. Κοκκομετρική διαβάθμιση 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.

Είναι επομένως φανερό ότι η ποσότητα της κονίας πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με τα μεταξύ των κόκκων κενά. Επειδή όμως, η κονία είναι κατά κανόνα περισσότερο πορώδης, λιγότερο ανθεκτική από τα αδρανή και ακριβότερη, όσο λιγότερα είναι τα παραπάνω κενά τόσο μεγαλώνει η πυκνότητα και επομένως και η αντοχή και τόσο μικραίνει το κόστος του κονιάματος.

4.3.3.1. Βαθμός πυκνότητας

Ο **βαθμός πυκνότητας** των αδρανών εκφράζεται από το λόγο:

$$B. Π. = P \text{ σωρού} / P \text{ πετρώματος} \quad (4.1)$$

όπου:

P σωρού = 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.

4.3.3.2. Κοκκομετρική διαβάθμιση

Η κοκκομετρική διαβάθμιση εκφράζει το διαχωρισμό και την κατάταξη των κόκκων του αδρανούς 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 βροχίδας. 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 αθροιστικά ποσοστά του υλικού που περνάει από κάθε κόσκινο

στον κατακόρυφο. Οι διάμετροι 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

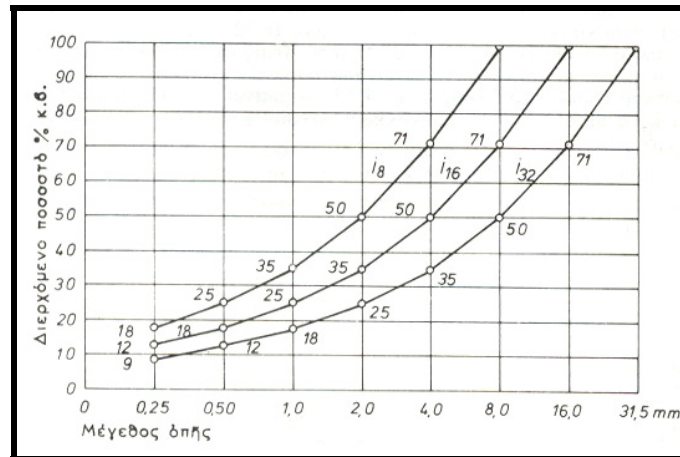
d = η διάμετρος των οπών του κόσκινου

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.



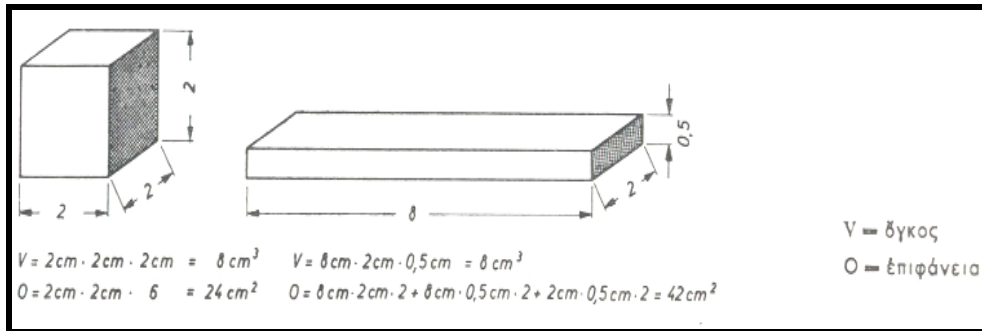
Εικόνα 4.1. Ιδανικές καμπύλες κοκκομετρικής διαβάθμισης μέγιστου κόκκου 8mm, 16mm και 32 mm.

Η κοκκομετρία της άμμου αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τον καθορισμό της αντοχής ενός μίγματος. Σε κάποιες περιπτώσεις όμως, η αντοχή του κονιάματος βελτιώνεται με την ύπαρξη κάποιων κενών, γεγονός που σημαίνει ότι ένα τελείως συμπαγές κονίαμα δεν είναι πάντα κατάλληλο. Γενικά πάντως, άμμος με καλή κοκκομετρική διαβάθμιση αποτελεί σημαντικό παράγοντα για ένα κονίαμα με καλές ιδιότητες και υψηλές αντοχές.

4.3.4. Σχήμα και μέγεθος κόκκων 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 : στρογγυλοί, 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



Εικόνα 4.2. Επίδραση της μορφής πάνω στην επιφάνεια για κόκκους με τον ίδιο όγκο

Το σχήμα και 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 κ.ά., όπως αυτές εκφράζονται παρακάτω :

Εργασιμότητα

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.

Αντοχή

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.

Κατακράτηση νερού

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.

4.4. Ειδικά αδρανή στα κονιάματα

Τα υλικά αυτά έχουν κοκκώδη μορφή και βρίσκονται αυτούσια στη φύση ή παρασκευάζονται τεχνητά, αλλά δεν προέρχονται από λίθους. Έχουν παρόμοιες ιδιότητες και χρήσεις με λίθινα προϊόντα.^[1]

Τα κυριότερα είδη τους είναι :

4.4.1. Κουρασάνι

Το κουρασάνι είναι γνωστό υλικό από την αρχαιότητα. Προέρχεται από το σπάσιμο και την κονιοποίηση υλικών ψημένης αργίλου (τούβλα, κεραμίδια). Το πολύ λεπτό υλικό που παράγεται χρησιμοποιείται για την παρασκευή λεπτών κονιαμάτων με υδράσβεστο. Το κονίαμα αυτό παρουσιάζει σημαντική υδραυλικότητα. Η μόνη παρενέργεια της χρήσης του υλικού αυτού σε επεμβάσεις συντήρησης μπορεί να οφείλεται στη διαφορά του συντελεστή θερμικής διαστολής του από εκείνον του πετρώματος που βρίσκεται σε επαφή μαζί του.

Το κουρασάνι χρησιμοποιούταν (ή ακόμα αλλά πολύ μεμονωμένα) και σε διάφορα παραδοσιακά επαγγέλματα με διάφορες χρήσεις. Χαρακτηριστικά αναφέρεται απόσπασμα από έκδοση του 'Πολιτιστικού Συλλόγου Καρπενησίου' για τα παραδοσιακά επαγγέλματα, για το επάγγελμα του γανωτή : «...αφού καθάριζαν καλά τα σκένη, αλείφανε το εσωτερικό τους με σπέρτο και το τρίβανε με κουρασάνι (=τριμμένο κεραμίδι). Ύστερα κράταγαν...».

Ρωμαϊκό κονίαμα - Kourasanit

Το Kourasanit (κουρασάνι, ρωμαϊκό κονίαμα) είναι ένας τέλειος συνδιασμός κονίας και κεραμικών προϊόντων διαφόρων κοκκομετρικών διαβαθμίσεων αποτελούμενο κυρίως από θηραϊκή γη και κεραμάλευρα. Δεν κατακρατά υγρασία και καταργεί το βάνσιμο χρωματίζοντας το σοβά σε διάφορες αποχρώσεις.

4.4.2. Ελαφρόπετρα (κίσσηρη)

Η κίσσηρη είναι πέτρωμα ηφαιστειακό (ηφαιστιακό γυαλί) που δημιουργήθηκε από τη βίαιη επίδραση των αερίων, κατά την έκρηξη, στη διάπυρη λάβα. Ο τρόπος αυτός δημιουργίας είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία σπογγώδους ιστού με πολυάριθμους πόρους, μεγάλους και συνήθως κλειστούς, συνεπώς έχει και μικρό φαινόμενο βάρος.

Έχει ανοιχτό χρώμα και είναι πλούσια σε ύαλο (άμορφο διοξείδιο του πυριτίου). Στην Ελλάδα λαμβάνονται φυσικά αποθέματα από τη Σαντορίνη, τη Νίσυρο και τη νήσο Γυαλί (δίπλα στη Νίσυρο) όπου υπάρχουν καθαρότερα στρώματα λευκής κίσηρης, εξαιρετικής ποιότητας.

Η κίσηρης δηλαδή προέρχεται από το ίδιο υλικό από το οποίο προέρχεται και η θηραϊκή γη, και διαφέρουν μόνο κατά το μέγεθος των κόκκων τους. Η θηραϊκή γη, όπως αναφέρθηκε, με τους μικρούς και συμπαγείς κόκκους της, υπό ορισμένες συνθήκες μπορεί να αναπτύξει υδραυλικές ιδιότητες, ενώ σε αντίθεση η κίσηρη με τους γεμάτους κενά κόκκους της συμπεριφέρεται σαν αδρανές υλικό.

Συγκεκριμένα συμπεριφέρεται άριστα με όλα τα συγγενή δομικά υλικά (κονίες, αδρανή), και παρουσιάζει εξαιρετικά ισχυρή πρόσφυση με τα κονιάματα. Έχει άριστες θερμομονωτικές ικανότητες και χρησιμοποιείται κιόλας σαν ηχοαπορροφητικό υλικό σε αίθουσες συναυλιών, ηχοληψιών κλπ. έχει το πλεονέκτημα της ελαφρότητας, αλλά λόγω της σπογγώδους υφής της υστερεί σε μηχανική αντοχή. Επειδή απορροφά και συγκρατεί πολύ νερό (περίπου 39% του βάρους της), τα στοιχεία και οι μονωτικές στρώσεις από κίσηρη πρέπει να είναι τελείως απομονωμένες από την υγρασία. Εντάσσεται στα ελαφροβαρή αδρανή.

4.4.3. Περλίτης

Ο περλίτης είναι συμπαγές ηφαιστειογενές πέτρωμα. Στην Ελλάδα υπάρχει στη Μήλο, στην Κω, στη νήσο Γυαλί κ.ά. Με κατάλληλη θερμική επεξεργασία στους 1000 °C περίπου, διογκώνεται στο 10πλάσιο ως 25πλάσιο του αρχικού του όγκου και σπάζεται σε κόκκους διαφόρων διαμέτρων (0.1 ως 5mm), οι οποίοι έχουν το σχήμα μικρών μαργαριταριών, ονομάζονται πέρλες και είναι κούφιοι.

Ο διογκωμένος περλίτης είναι αδρανής και δεν προσβάλλει τα μέταλλα. Αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες (μέχρι 850 °C), εμποδίζει τη μετάδοση της φωτιάς, έχει εξαιρετικές μονωτικές ιδιότητες και δεν προσβάλλεται από την υγρασία.

Χρησιμοποιείται στην παρασκευή μονωτικών λεπτοκονιαμάτων γνωστά ως περλιτικά επιχρίσματα. Ανήκει στα ελαφροβαρή αδρανή.

4.4.4. Σκωρίες υψικαμίνων

Αυτές λαμβάνονται κατά την παραγωγή χυτοσιδήρου στις υψικαμίνους. Κύρια συστατικά τους είναι η πυριτία (SiO_2), το οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3), το οξείδιο του ασβεστίου (CaO) και άλλα οξείδια σε μικρότερες ποσότητες.

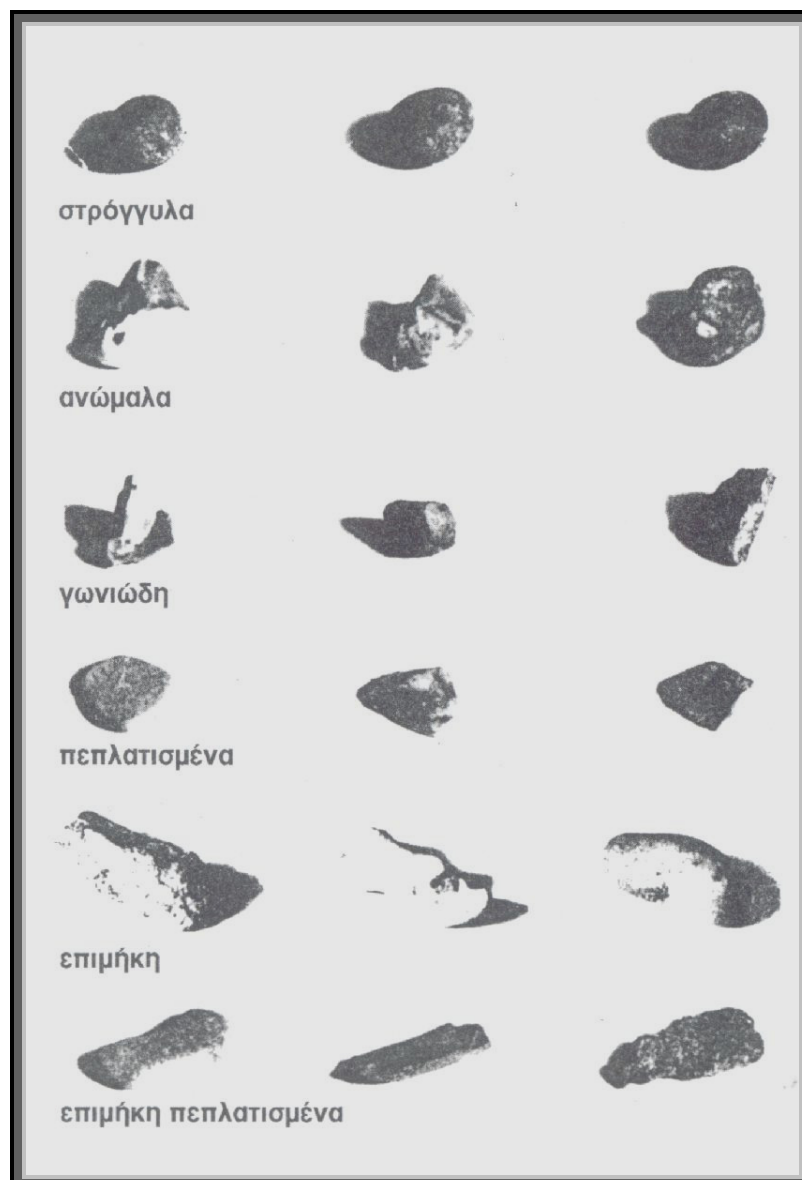
Το υλικό αυτό διέρχεται από θραυστήρες και κόσκινα και χρησιμοποιείται σαν άμμος ή σαν σκύρα ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε έργου.

Η μορφή της άμμου επιτυγχάνεται από την απότομη ψύξη της ρευστής σκουρίας μέσα στο νερό. Η απότομη ψύξη εμποδίζει την κρυστάλλωση και κατακερματίζει το υλικό σε λεπτούς κόκκους άμμου. Η άμμος αυτή είναι πολύ πορώδης (60-40%) και κατά συνέπεια υδατοαπορροφητική. Δεν επηρεάζεται από την υγρασία και τον παγετό. Αν λειοτριβηθεί σε λεπτότητα τσιμέντου, αποτελεί υδραυλική κονία, η οποία ενεργοποιείται όταν αναμιχθεί με άσβεστο.

4.4.5. Ελαφροβαρή αδρανή

Τα ελαφροβαρή αδρανή έχουν χρησιμοποιηθεί ως μερικοί ή ολικοί 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 κυρίως χρησιμοποιείται **περλίτης**,

ο οποίος εξάγεται από την Ελλάδα σε πολλές χώρες της Ευρώπης, καθώς επίσης και **βερμικουλίτης** για ειδικά ελαφροβαρή κονιάματα στο χώρο των πυριμάχων και **διογκωμένη 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]



Εικόνα 4.3. Σχήμα και μορφή κόκκων αδρανών

5. ΝΕΡΟ ΣΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

5.1. Γενικά

Το νερό με την κονία αποτελούν τα δύο ενεργά συστατικά του κονιάματος. Συμπληρώνει δηλαδή μαζί με την κονία και τα αδρανή, το τρίτο συστατικό των κονιαμάτων. 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.

Ο ρόλος του νερού στα κονιάματα είναι διπλός. Ένα μέρος του χρησιμοποιείται για την παρασκευή του κονιάματος και καταναλώνεται στις χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά την πήξη της κονίας (άσβεστος, τσιμέντο κλπ.).

Το υπόλοιπο μέρος χρησιμεύει στη διαβροχή των κόκκων των αδρανών και στην αύξηση της πλαστικότητας και εργασιμότητας του κονιάματος. Αυτό το μέρος επιδρά στις ιδιότητες του κονιάματος. Μικρή ποσότητα δημιουργεί κονίαμα στεγανό και δυσκολοκατέργαστο, αλλά αυξημένης μηχανικής αντοχής και στεγανότητας, ενώ αντιθέτως, 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.

Η συνολική ποσότητα του νερού λοιπόν παίζει σημαντικό ρόλο και στη μηχανική αντοχή και στις υπόλοιπες ιδιότητες του κονιάματος. Όταν γενικά δεν είναι επαρκής, παραμένει μια ποσότητα κονίας ανενεργή, με αποτέλεσμα να έχουμε μερική μόνο σύνδεση των αδρανών. Όταν δε η ποσότητα του νερού είναι μεγαλύτερη από την συνολικά 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 και οι δύο ρόλοι του νερού στο κονίαμα, αλλά επίσης, πρέπει να υπολογιστεί και η ποσότητα που μένει αναπόφευκτα ελεύθερη μέσα στη μάζα του υλικού καθώς και εκείνη που εξατμίζεται κατά την παρασκευή, διάστρωση και πήξη.

5.2. Απαιτούμενη ποσότητα H₂O

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.^[5]

Η απαιτούμενη ποσότητα νερού για την παρασκευή του κονιάματος είναι :

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

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_{αδ} = η ποσότητα νερού που **απορροφούν οι κόκκοι των αδρανών**

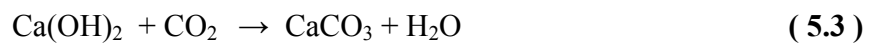
N_{απ} = η ποσότητα νερού που **εξατμίζεται**

N_ε = η ποσότητα νερού που **παραμένει ελεύθερη** μέσα στους πόρους του κονιάματος

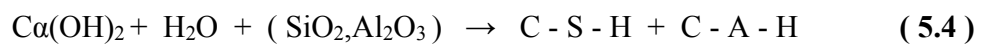
5.2.1. Ενυδάτωση και κρυστάλλωση των συστατικών της κονίας

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 της **ασβέστου** έχουμε:



Στην περίπτωση υδραυλικών (ποζολανικών) κονιαμάτων, 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. Σε αυτήν περίπτωση έχουμε :



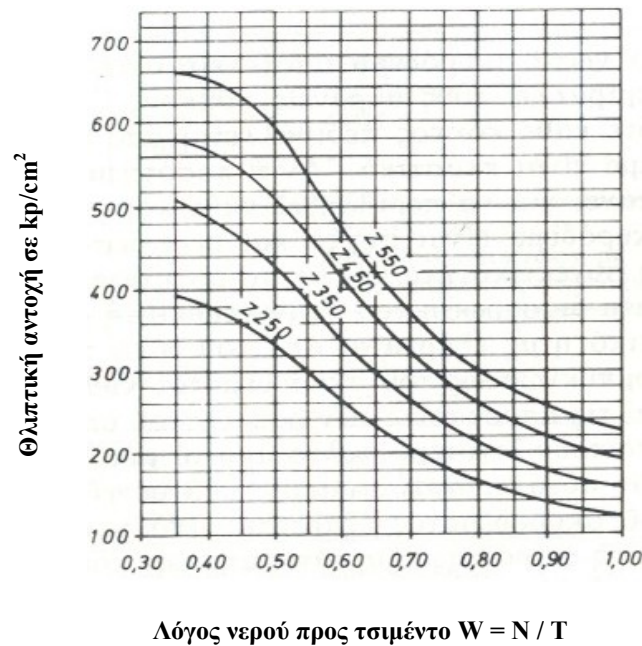
Όπου το H συμβολίζει το H_2O , και:

$\text{C - S} = 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (πυριτικό τριασβέστιο) ή $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (πυριτικό διασβέστιο)

$\text{C - A} = 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (αργιλικό τριασβέστιο)

Η ποσότητα του νερού (N_χ και N_k) 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 m³ ως 0,23 m³ για την πήξη 1t τσιμέντου.

Στο διάγραμμα 5.1. Φαίνεται η εξάρτηση της αντοχής, από το ποσοστό του νερού που παρουσιάζεται με το λόγο $W = N/T$ (ποσότητα νερού ανά τσιμέντο), για διάφορους τύπους τσιμέντου.



Διάγρ. 5.1. Εξάρτηση αντοχής από το λόγο W , για διάφορους τύπους τσιμέντου

5.2.2. Ποσότητα H_2O που δεσμεύεται από τα αδρανή

Εφόσον οι κόκκοι των αδρανών δεν είναι κορεσμένοι σε νερό, μια ποσότητα νερού θα προσροφηθεί σ' αυτούς. Η ποσότητα αυτή εξαρτάται από τη φύση των κόκκων του πετρώματος, από την ολική επιφάνειά τους και από την υγρασία που υπάρχει σε αυτούς.

Η ποσότητα του προσροφούμενου 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, προσροφούν πιο γρήγορα το νερό και επιταχύνουν την πήξη του κονιάματος).

5.2.3. Απώλειες νερού

Οι αναπόφευκτες απώλειες νερού πρέπει να προστίθονται στον υπολογισμό της ποσότητας του νερού. Η κύρια τέτοια απώλεια είναι το νερό που εξατμίζεται είτε κατά τη διάρκεια της παρασκευής και μεταφοράς είτε κατά τη διάστρωση. Η ποσότητα αυτή (Ναπ) εξαρτάται από την υγρασία και τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας.

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. Ποσότητα H₂O που παραμένει ελεύθερο 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 το καλύτερο.^[6]

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. Καθαρότητα 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.^[8]

6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

6.1. Πρώτες ύλες

Το σκεπτικό για την αρχική επιλογή των πρώτων υλών ήταν να επιλεγούν υλικά τα οποία κυκλοφορούν ευρέως στην αγορά, κυρίως έτοιμα κονιάματα, τα οποία αφού αναλυθούν, να διαλεχθούν συγκεκριμένα από αυτά για την κατασκευή κυβικών δοκιμίων και περεταίρω μελέτη και σύγκριση αυτών. Έτσι η επιλογή έγινε με βάση καταλόγους από εταιρίες με επιλογή χαρακτηριστικών και αντιπροσωπευτικών κονιαμάτων (έτοιμο τσιμεντοκονίαμα, ασβεστοκονίαμα κλπ).

Συγκεκριμένα οι αρχικές πρώτες ύλες ήταν :

1. Μίγμα αδρανών και θηραϊκής γης και κεραμάλευρου κοκκομετρίας 0-2 από την εταιρία «ΤΡΑΤΣΕΛΑΣ Β. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ & ΣΙΑ Ο.Ε.»
2. Μίγμα αδρανών και θηραϊκής γης και κεραμάλευρου κοκκομετρίας 0-6 από την εταιρία «ΤΡΑΤΣΕΛΑΣ Β. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ & ΣΙΑ Ο.Ε.»
3. Υδράσβεστος (Α) ξηρή αλεσμένη με προσθήκη μικρού ποσοστού τσιμέντου από την εταιρία «ΤΡΑΤΣΕΛΑΣ Β. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ & ΣΙΑ Ο.Ε.»
4. Υδράσβεστος (Β) ξηρή αλεσμένη με προσθήκη μικρού ποσοστού τσιμέντου από την εταιρία «ΤΡΑΤΣΕΛΑΣ Β. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ & ΣΙΑ Ο.Ε.»
5. Υδράσβεστος (Γ) ξηρή αλεσμένη από την εταιρία «ΤΡΑΤΣΕΛΑΣ Β. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ & ΣΙΑ Ο.Ε.»
6. Υδράσβεστος (Δ) ξηρή αλεσμένη από τη «ΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗ ΑΣΒΕΣΤΟΠΟΙΪΑ»
7. Θηραϊκή γη από την εταιρία «ΤΡΑΤΣΕΛΑΣ Β. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ & ΣΙΑ Ο.Ε.»
8. Μηλαϊκή γη
9. Ασβεστομίξ
10. Ασβεστομίξ γαλάκτωμα
11. Έτοιμο τσιμεντοκονίαμα «UNICRET - FAST» από την εταιρία «ISOMAT»
12. Έτοιμο τσιμεντοκονίαμα «RAPICRET» από την εταιρία «ISOMAT»

Πάνω σε όλες τις παραπάνω ύλες έγιναν διάφορες αναλύσεις με σκοπό την αξιολόγησή τους για την χρήση τους ή όχι στην παρασκευή κονιαμάτων. Συγκεκριμένα αναλύθηκαν **ορυκτολογικά** με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (X-Ray Diffraction analysis), μετρήθηκε το **ποσοστό υγρασίας**, το **ποσοστό** τους σε **ασβεστίτη και δολομίτη** και προσδιορίστηκε και η **κοκκομετρική διαβάθμισή** τους.

6.2. Χημικές αναλύσεις

Στις χημικές αναλύσεις περιλαμβάνεται ο προσδιορισμός της υγρασίας και ο προσδιορισμός του ποσοστού του ασβεστίτη και δολομίτη.

6.2.1. 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.



Φωτ. 6.1. Φούρνος ξήρανσης δειγμάτων

Ζυγίζονται σε ζυγό ακριβείας τουλάχιστον 3-5 gr δείγματος τοποθετημένα σε ύαλο ωρολογίου και θερμαίνονται στους 50 -55 °C για 48h. Το δείγμα αφήνεται να κρυώσει σε αφυγραντήρα (φωτ. 6.2.) 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.



Φωτ. 6.2. Αφυγραντήρας με δείγματα μετά την ξήρανση

Συγκεκριμένα ζυγίστηκαν 10 gr από το κάθε δείγμα και μετρήθηκε η υγρασία τους.

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στο κεφάλαιο 7.1.1., πίνακας 7.1.

6.2.2. 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.^[6]

Η επί τοις εκατό απώλεια πύρωσης προκύπτει ως εξής:

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

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.

Η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε ήταν η εξής: Ζυγίστηκαν 1 gr υλικού από το κάθε δείγμα, τα οποία σε ειδικά χωνευτήρια πυρώθηκαν σε ένα εύρος θερμοκρασιών από 0 έως 1050 °C συνολικά. Συγκεκριμένα η πύρωση έγινε σε 3 στάδια, όπου ενδιάμεσα ζυγίστηκε το υλικό για να υπολογιστεί η απώλεια βάρους. Η πρώτη μέτρηση έγινε μετά από θέρμανση του δείγματος για 2 ώρες περίπου στους 105 °C. Η δεύτερη μετά την πύρωσή του στους 550 °C για 12 ώρες και η τρίτη μετά την πύρωση του υλικού, για 12 ώρες πάλι, στους 1050 °C.

Οι μετρήσεις του βάρους έγιναν σε συνθήκες δωματίου, δηλαδή τα δείγματα μετά την πύρωση αφέθηκαν σε ξηραντήρα για να αποκτήσουν την απαιτούμενη θερμοκρασία.

Οι απώλειες των πτητικών συστατικών λαμβάνουν χώρα στις παρακάτω θερμοκρασίες :

- 50 - 120 °C : Απώλεια της υγρασίας και του διαστρωματικού νερού
(δε συμβαίνει το ίδιο αν περιέχουν σμεκτίτες).
- 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 Ca(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 .

Με κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων της απώλειας βάρους των υλικών, υπολογίζονται και τα ποσοστά που μας ενδιαφέρουν. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στο κεφάλαιο 7.1.2., πίνακες 7.2., 7.3., 7.4. καθώς και στα διαγράμματα 7.1-7.6.

6.2.3. Φασματοσκοπία Ακτίνων-X Φθορισμού (XRF)

Αναγνώριση στοιχείων μπορεί να επιτευχθεί από το χαρακτηριστικό φάσμα ακτίνων-X που εκπέμπουν τα στοιχεία αυτά όταν τους προσδώσουμε ενέργεια. 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-Fluorences XRF) ανήκει στις μεθόδους αυτές.

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 κατάστασή του. 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 I), 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:

$$E2 - E1 = h \cdot \nu \quad (6.2)$$

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 τη 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 .

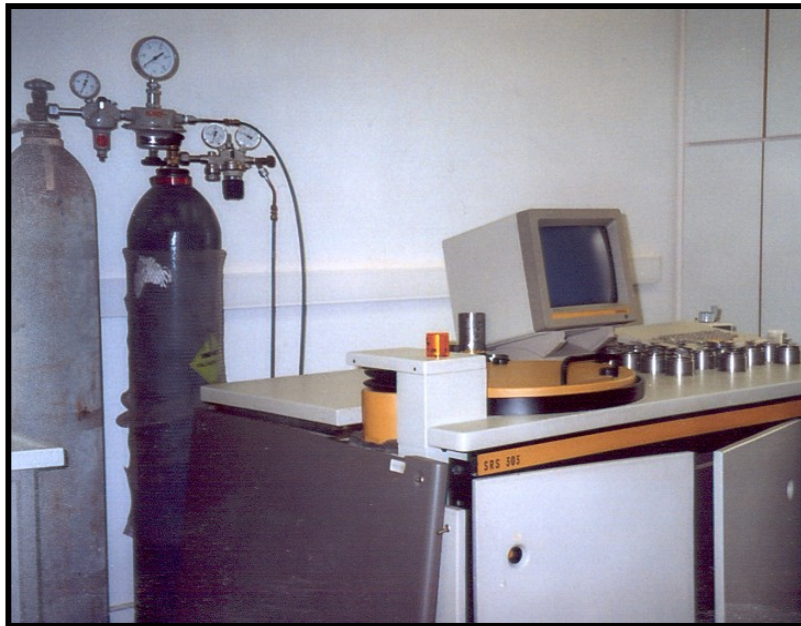
Η σχέση η οποία συνδέει το μήκος κύματος της χαρακτηριστικής γραμμής ενός στοιχείου με τον ατομικό αριθμό είναι γνωστή σαν νόμος του Moseley και είναι :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = K (Z - \sigma) \quad (6.3)$$

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.

Διάταξη 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 (Φωτ. 6.3.).



Φωτ. 6.3. 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 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).

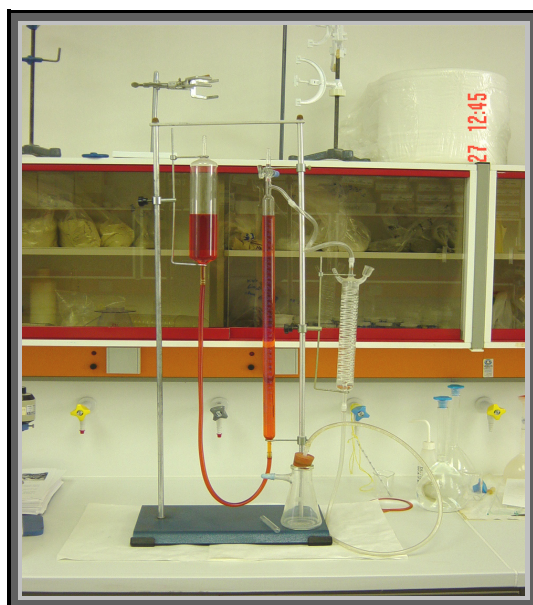
Η διαδικασία παρασκευής των δειγμάτων ακολούθησε την εξής σειρά. Αρχικά έγινε θραύση και λειοτρίβηση των δειγμάτων σε κοκκομετρία <60µm σε αχάτη. Ζυγίστηκαν 5 gr λειοτριβημένου δείγματος το οποίο και αναμίχτηκε με 0.5gr ειδικού κεριού. Στη συνέχεια κατασκευάστηκε στο παρασκευαστήριο του Εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Πολυτεχνείου κρήτης 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 7.1.3., πίνακες 7.5., 7.6. και 7.7.

6.2.4. Προσδιορισμός ποσοστού ασβεστίτη

Ο προσδιορισμός του ποσοστού ασβεστίτη έγινε με ασβεστίμετρο (φωτ. 6.4.) προσδιορισμού αέριου διοξειδίου του άνθρακα CO_2 με τη μέθοδο Dietrich-Fruhling. Το επί τις εκατό ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2 %) ανάγεται στη συνέχεια σε ασβεστίτη CaCO_3 και υπολογίζεται το ποσοστό αυτό (% CaCO_3).

Αρχικά καταγράφονται οι συνθήκες πίεσης (mm Hg) και θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) του χώρου που γίνεται η μέτρηση. Στη συνέχεια ζυγίζεται ποσότητα δείγματος βάρους 0.6-0.7 gr και τοποθετείται στη φιάλη του ασβεστίμετρου μαζί με δοκιμαστικό σωλήνα που περιέχει HCl 1:3. **Το δείγμα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο καλά κονιοποιημένο και ξηρό** (ενδίκνυται η από πριν ξήρανσή του στο φούρνο και τοποθέτησή του στον ξηραντήρα για να κρυώσει). Η φιάλη κλείνεται και ανακινείται μέχρι να σταματήσει η αντίδραση. Το εκλυόμενο αέριο κατεβάζει τη στάθμη του χρωματισμένου υγρού (νερό ελαφρά οξινισμένο με HCl και ερυθρό του μεθυλίου) στο βαθμονομημένο σωλήνα. Αφού εξισορροπηθεί η υδροστατική πίεση, σημειώνεται η ένδειξη σε ml του υγρού στον σωλήνα.



Φωτ. 6.4. Ασβεστίμετρο

Στους υπολογισμούς λαμβάνεται υπ' όψιν πρότυπο δείγμα γνωστής περιεκτικότητας σε ασβεστίτη (Cc: 99.01%, CO₂: 43.56%) ώστε να υπολογισθεί ο συντελεστής διόρθωσης (Σ.Δ.). Κάθε πέντε περίπου δείγματα επαναλαμβάνεται η διαδικασία με το πρότυπο δείγμα.

Από συγκεκριμένο πίνακα φυσικών αντιδράσεων, λαμβάνεται η τάση ατμών P(H₂O) του νερού για τη συγκεκριμένη θερμοκρασία. Ο όγκος VCO₂ του εκλυόμενου διοξειδίου του άνθρακα σε κανονικές συνθήκες δίνεται από τον τύπο :

$$VCO_2^{K\sigma} = [\text{ένδειξη}] * (P - H_2O) * 273 / [760 * (273 + \Theta)] \quad (6.4)$$

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

$$\Pi\% = [\text{ένδειξη}] / [\mu\acute{\alpha}\zeta\alpha] * 0,196 \quad (6.5)$$

$$\text{όπου } 0,196 = M.B. CO_2 / 22400 * 100 = 44 / 22400 * 100$$

Ο συντελεστής διόρθωσης είναι :

$$\Sigma\Delta = 43,56 / \Pi\% \quad (6.6)$$

Τελικά, το ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα είναι

$$CO_2\% = VCO_2 * 0,196 * \Sigma\Delta / [\mu\acute{\alpha}\zeta\alpha] \quad (6.7)$$

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

$$\text{Ασβεστίτης \%} = CO_2\% * 2,273 \quad (6.8)$$

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στο Κεφάλαιο 7.1.4. Α, πίνακες 7.8., 7.9.

6.2.5. Προσδιορισμός ποσοστού δολομίτη

Για τον προσδιορισμό του ποσοστού του δολομίτη $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ χρησιμοποιήθηκε η ίδια μέθοδος με πριν, δηλαδή η μέθοδος Dietrich-Fruhling προσδιορισμού αέριου διοξειδίου του άνθρακα CO_2 με ασβεστίμετρο.

Αρχικά έγιναν μετρήσεις με πρότυπα ασβεστίτη και δολομίτη. Συγκεκριμένα υπολογίζεται ο χρόνος έκλυσης του CO_2 του ασβεστίτη (περίπου 15–25 sec) έτσι ώστε να βρεθεί το ποσοστό του αερίου που προέρχεται από τον ασβεστίτη (ο ασβεστίτης αντιδρά πιο γρήγορα από το δολομίτη). Στη συνέχεια υπολογίζοντας το ολικό αέριο που εκλύθηκε, με αφαίρεση υπολογίζεται το αέριο που εκλύεται από τη διάσπαση του δολομίτη. Τέλος με αναγωγή υπολογίζονται οι περιεκτικότητες των δειγμάτων σε ασβεστίτη και δολομίτη. Η μέθοδος αυτή, δεν είναι απόλυτα ακριβής, ωστόσο δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα και δεν είναι χρονοβόρα.

Τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής παρατίθενται στο κεφ. 7.1.4. Β, πίνακας 7.10.

6.2.6. Αναλογία ποσοστών ασβεστίτη και δολομίτη με το πρόγραμμα SIROQUANT

Για την πιο ολοκληρωμένη μελέτη των δειγμάτων στα ποσοστά ασβεστίτη και δολομίτη, καθώς και για την καλύτερη αξιολόγηση της μεθόδου από πλευράς αξιοπιστίας, έγινε και μελέτη της ποσοστιαίας αναλογίας του ασβεστίτη και του δολομίτη στα δείγματα, με χρήση του προγράμματος **Siroquant**. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα υπολογίζει θεωρητικά διαγράμματα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ, τα οποία προσαρμόζει με τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων στα πειραματικά δεδομένα των μετρήσεων. Η ταύτιση θεωρητικού και πειραματικού διαγράμματος περιθλασιμετρίας, οδηγεί στη σωστή ποσοτική ανάλυση των κρυσταλλικών φάσεων. Έτσι, βάζοντάς το να μετρήσει ασβεστίτη και δολομίτη, μπορούμε να δούμε την αναλογία με την οποία συμμετέχουν τα δύο αυτά ορυκτά στο δείγμα. Προφανώς αυτή δεν είναι και η πραγματική συμμετοχή

τους στο δείγμα, διότι το πρόγραμμα ανάγει όλα τα ποσοστά στο 100%, αγνοώντας την παρουσία άμορφου υλικού ή κρυσταλλικών φάσεων που δεν έχουν συμπεριληφθεί. Με αυτή τη μέθοδο, μόνο οι αναλογίες μπορούν να ελεγχθούν. Τα αποτελέσματα βρίσκονται στο κεφάλαιο 7.1.5., πίνακας 7.11.

6.3. Ορυκτολογικές αναλύσεις

Οι πρώτες ύλες αναλύθηκαν ορυκτολογικά με το **περιθλασίμετρο ακτίνων -X**. Η μετέπειτα διάγνωση έγινε σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με χρήση των προγραμμάτων **EVA** και **SIROQUANT**. Συγκεκριμένα έγινε και ποιοτική εκτίμηση με τα δύο αυτά προγράμματα αλλά και ημιποσοτική με το **SIROQUANT**.

Ορυκτολογική μελέτη έγινε επίσης και με το **πολωτικό μικροσκόπιο** καθώς και με το **ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης**, όχι όμως στις πρώτες ύλες κάθε αυτές, αλλά στα κονιάματα που κατασκευάστηκαν με αυτές. Η μεθοδολογία αυτών των αναλύσεων θα αναφερθεί σε αυτό το κεφάλαιο, αλλά η διαδικασία και τα αποτελέσματα στο κεφάλαιο περί κατασκευής και μελέτης των κυβικών δοκιμών (κεφ. 8.7. και 8.8.).

6.3.1. Περιθλασιμετρία ακτίνων -X (XRD)

Με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (X-Ray Diffraction analysis) έγινε η ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων. Με αυτή τη μέθοδο είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση τόσο των γωνιών όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων -X που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως. Τα αποτελέσματα της περίθλασης των ακτίνων -X μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της δομής των κρυσταλλικών ουσιών.^[15]

Οι **βασικές μονάδες** που συνθέτουν ένα σύγχρονο περιθλασίμετρο ακτίνων – X είναι:

1. Μονάδα παραγωγής υψηλής τάσης.
2. Λυχνία ακτίνων -X.
3. Γωνιόμετρο
4. Απαριθμητής ακτίνων -X
5. Ηλεκτρική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής κρούσεων
6. Μονάδα μικροϋπολογιστή καθοδήγησης του συστήματος και αξιολόγησης δεδομένων

Το προς ανάλυση δείγμα βρίσκεται υπό μορφή κόνεως μέσα στην κοιλότητα ενός πλαστικού ή μεταλλικού πλακιδίου. Η κοιλότητα αυτή έχει βάθος περίπου 1mm και έκταση μερικών cm², έτσι που να προσφέρει χώρο για μάζα του δείγματος της τάξης του 1g, η οποία κατανέμεται με τέτοιο τρόπο στην κοιλότητα του πλακιδίου ώστε να σχηματίζει επίπεδη επιφάνεια.^[15]

Οι προσπίπτουσες ακτίνες-X διαπερνούν έναν μεγάλο αριθμό πλεγματοικών επιπέδων, οπότε λαμβάνεται ένας αριθμός πολλών και παράλληλων ανακλώμενων ακτίνων. Η απόσταση μεταξύ των ανακλώμενων αυτών ακτίνων είναι ανάλογη της απόστασης d μεταξύ των πλεγματοικών 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**.

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \eta \mu \theta \quad (6.9)$$

όπου:

λ : μήκος κύματος,

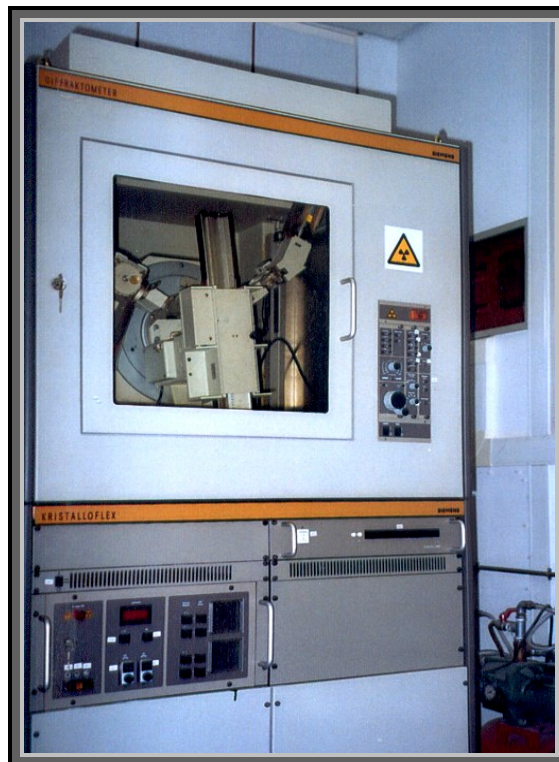
θ :ανάκλασης,

d : πλεγματοική 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.

Το ακτινογράφημα κάθε κρυσταλλικής ουσίας είναι χαρακτηριστικό για την ουσία και κατά συνέπεια αποτελεί ένα είδος ‘ταυτότητας’ βάσει της οποίας προσδιορίζεται η ουσία.

Για τη μελέτη των πρώτων υλών, χρησιμοποιήθηκε το αυτόματο περιθλασίμετρο ακτίνων-X τύπου D-500, Siemens (φωτ. 6.5), του εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης, το οποίο συνδέεται με μονάδα ηλεκτρονικού υπολογιστή τύπου IBM με τη βοήθεια του οποίου γίνεται η όλη διαδικασία επεξεργασίας των αποτελεσμάτων καθώς επίσης και η αξιολόγησή τους.



Φωτ. 6.5. Περιθλασίμετρο ακτίνων-X τύπου D-500

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

Χρησιμοποιήθηκαν πλαστικοί δειγματοφορείς, ενώ η κονιοποίηση των δειγμάτων έγινε χειροκίνητα στον αχάτη. Οι συνθήκες μετρήσεων ήταν :

Ακτινοβολία Cu - $K\alpha_{1-2}$, $\lambda=1,5418 \text{ \AA}$, μονοχρωμάτορας γραφίτη, τάση 35 kV και ένταση 40 mA.

Η ποιοτική αξιολόγηση των δειγμάτων έγινε με τη βοήθεια των δεδομένων της Κοινής Επιτροπής Προτύπων για Πειθλασιμετρία Κόνεως - J.C.P.D.S. (Joint Committee of Powder Diffraction Standards). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στο κεφάλαιο 7.2., πίνακας 7.12.

6.3.2. Πολωτική μικροσκοπία

Το πολωτικό μικροσκόπιο είναι ένα από τα σημαντικότερα όργανα προσδιορισμού και μελέτης των ορυκτών και των πετρωμάτων. Διαφέρει από το συνήθες μικροσκόπιο στο ότι φέρει προσθήκες που επιτρέπουν την παραγωγή και ανάλυση του πολωμένου φωτός και τη μελέτη διαφόρων οπτικών ιδιοτήτων των κρυσταλικών κυρίως ενώσεων.

Οι λεπτές τομές που παρασκευάστηκαν αφορούν στα δοκίμια τα οποία κατασκευάστηκαν από τις πρώτες ύλες και παρέμειναν στο θάλαμο γήρανσης (ψύξη – θέρμανση) για 50 ημέρες (κεφ. 8.6.). Η κατασκευή των λεπτών τομών έγινε στο παρασκευαστήριο του Εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης και τα δείγματα μελετήθηκαν και φωτογραφήθηκαν στο ίδιο εργαστήριο.

Τα αποτελέσματα της μελέτης καθώς και φωτογραφίες βρίσκονται στο κεφάλαιο 8.7.

6.3.3. Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM)

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Scanning Electron Microscope) (φωτ. 6.6.) 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.

Συγκεκριμένα, 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 των δειγμάτων αφορά τα κονιάματα τα οποία κατασκευάστηκαν από τις πρώτες ύλες και γίνεται ιδιαίτερη αναφορά σε αυτά και στα αποτελέσματα της ορυκτολογικής μελέτης με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο στο κεφάλαιο 8.8.

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο που χρησιμοποιήθηκε είναι τύπου JEOL JSM-5400 και ανήκει στο Εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.



Φωτ. 6.6. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης SEM

6.4. Κοκκομετρικές αναλύσεις

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4.3.3.2., η κοκκομετρική διαβάθμιση αφορά στο διαχωρισμό και την 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 υπολοίπων υλικών είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς επηρεάζει τις ιδιότητες των παρασκευασθέντων κονιαμάτων 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 κοσκίων (ASTM) (φωτ. 6.7.) στα κλάσματα με διάμετρο κόκκων +4.75 mm, +2.00mm, +1.00 mm, + 500 μm , +125 μm , +63 μm και -63 μm .

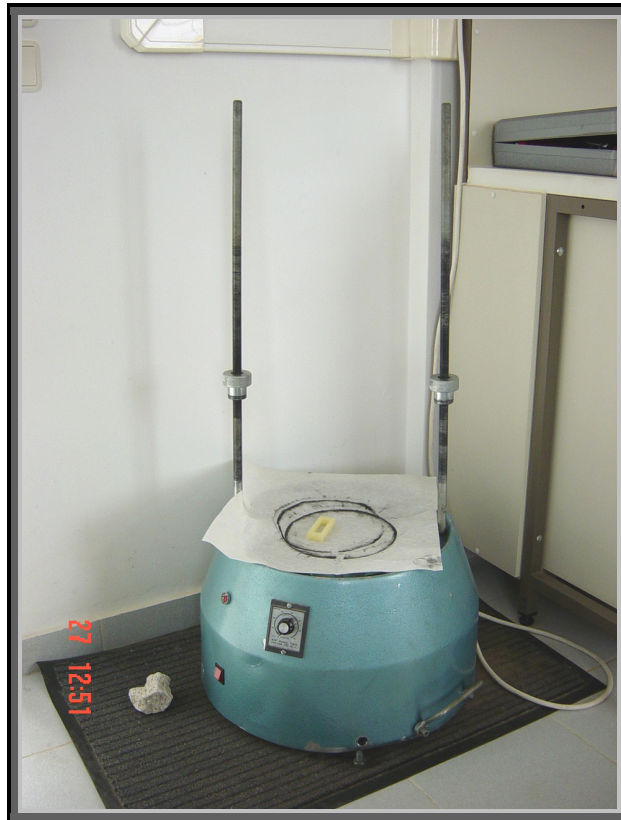


Φωτ. 6.7. Πρότυπα κόσκινα διαφόρων διαμέτρων οπών

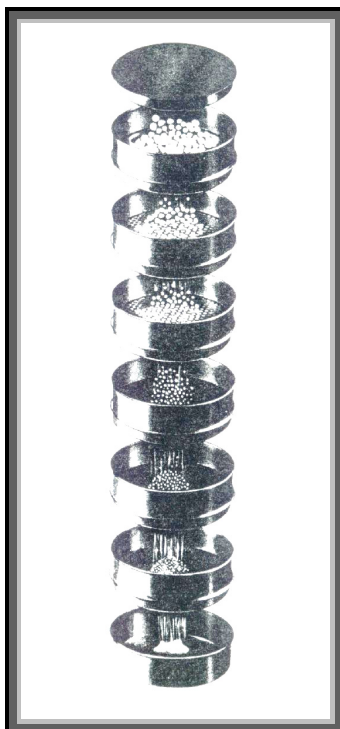
Η κοσκίνηση έγινε με μηχανικό δονητή κοσκίων (φωτ. 6.8.) αλλά και χειροκίνητα. Τα κόσκινα τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο από αυτό με τη μεγαλύτερη οπή προς αυτό με τη μικρότερη, και δονούνται για 15-20 περίπου λεπτά. Μετά συλλέγεται και ζυγίζεται το υλικό που έχει παραμείνει στο κάθε κόσκινο, καθώς και στο τελικό δοχείο. Κοσκινίζονται αρχικά 100gr δείγματος. Η κοσκίνηση δε θεωρείται αντιπροσωπευτική και επαναλαμβάνεται, αν στο τέλος της ζύγισης έχει χαθεί ποσοστό πάνω από 2%.

Τα αποτελέσματά της, δηλαδή η κοκκομετρική διαβάθμιση απεικονίζεται σε διάγραμμα με τη διάμετρο οπής στον οριζόντιο άξονα και τα ποσοστά του υλικού που περνάει από κάθε κόσκινο στον κατακόρυφο.

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης παρατίθενται στο κεφάλαιο 7.4 σε πίνακες και διαγράμματα που παρουσιάζουν την επί τοις % κατά βάρος συμμετοχή κάθε κλάσματος στο ολικό δείγμα και την κοκκομετρική διαβάθμιση.



Φωτ. 6.8. Μηχανικός δονητής κοσκίνων



Εικόνα 6.9. Παραστατική απεικόνιση κοσκίνισης



Φωτ. 6.10. Διαβάθμιση κόκκων ανά κόσκινο

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

7.1. Χημικές αναλύσεις

7.1.1. Προσδιορισμός υγρασίας – ξήρανση

Τα αποτελέσματα του υπολογισμού της υγρασίας που είχαν οι πρώτες ύλες όταν συλλέχθηκαν και τοποθετήθηκαν στο εργαστήριο, φαίνονται στον πίνακα 7.1.

Κωδ. δειγμ.	Δείγμα	Βάρος γυάλινου υποδοχέα (gr)	Βάρος δείγμ. πριν την ξήρανση (gr)	Συνολικό βάρος μετά την ξήρανση (gr)	Βάρος δείγμ. μετά την ξήρανση (gr)	Υγρασία που έφυγε (gr)	Ποσοστό υγρασίας δείγματος %
1	Kourasanit 1	39.0358	10.0180	48.6302	9.5962	0.4218	4.2104
2	Kourasanit 2	39.0388	10.0046	48.7920	9.7532	0.2514	2.5128
3	Ca(OH) ₂ Α	81.3516	5.0341	86.3842	5.0326	0	0
4	Ca(OH) ₂ Β	64.5956	5.0700	69.6667	5.0711	0	0
5	Ca(OH) ₂ Γ	39.3959	5.0151	44.4070	5.0111	0	0
6	Ca(OH) ₂ Δ	39.1362	5.0028	44.1474	5.0112	0	0
7	Θηραϊκή γη	39.0363	5.0138	43.9512	4.9149	0.0989	1.9725
8	Μηλαϊκή γη	31.1053	5.0020	35.5800	4.4747	0.5273	10.5417
9	Ασβεστομίξ	39.6021	5.0196	44.1980	4.5959	0.4237	8.4409
10	Ασβεστομίξ υγρό	174.3	70.1000	177.3000	3.0000	67.1000	95.7203
11	UNICRET	19.5629	5.0324	24.5999	5.0370	0.0000	0
12	RAPICRET	20.9443	5.0220	25.9631	5.0188	0.0000	0

Πίνακας 7.1. Ποσοστό υγρασίας στα δείγματα

Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

1. Παρατηρούμε ότι εκτός από το δείγμα 10, (δηλαδή το Ασβεστομίξ με μορφή γαλακτώματος το οποίο έχει μεγάλο ποσοστό υγρού στοιχείου), οι ύλες οι οποίες

παρουσίασαν σχετικά αυξημένη υγρασία είναι η μηλαϊκή γη και το Ασβεστομίξ. Οι κονίες (υδράσβεστοι και τα δύο τσιμεντοκονιάματα) δεν έχουν κατακρατήσει καθόλου υγρασία μέσα τους. Τα δύο έτοιμα κονιάματα Kourasanit, έχουν κάποιο ποσοστό υγρασίας αλλά σχετικά μικρό, και το οποίο εντοπίζεται κυρίως στην υγρασία που έχουν κατακρατήσει οι κόκκοι του αδρανούς.

7.1.2. Προσδιορισμός απώλειας πύρωσης

Οι μετρήσεις της απώλειας βάρους του δείγματος, όπως αναλυτικά εξηγείται η διαδικασία στο κεφάλαιο 6.2.2, με επεξεργασία έχουν αναχθεί σε εκατοστιαίο ποσοστό. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στους πίνακες 7.2. και 7.3. και 7.4. που ακολουθούν. Ο 7.2. δείχνει τα αποτελέσματα των μετρήσεων, ο 7.3. τα ποσοστά μετά την επεξεργασία ανά θερμοκρασία και ο 7.4. την ολική απώλεια πύρωσης. Να σημειωθεί ότι η συνολική απώλεια πύρωσης είναι από τους 105°C και επάνω (πιο κάτω φεύγει η υγρασία) και όταν από εδώ και πέρα αναγράφεται θερμοκρασία 0-105°C το 0 αντιστοιχεί στη θερμοκρασία δωματίου.

Κωδ. δείγμ.	Δείγμα	Βάρος κάψας gr	Αρχικό βάρος δείγμ. gr	Ολικό βάρος μετά τους 105° C	Ολικό βάρος μετά τους 550° C	Ολικό βάρος μετά τους 1050° C	Βάρος δειγμ. μετά τους 105° C	Βάρος δειγμ. μετά τους 550° C	Βάρος δειγμ. μετά τους 1050° C
1	Kourasanit 1	35.6384	1.0307	36.6470	36.6324	36.3802	1.0086	0.994	0.7418
2	Kourasanit 2	33.7751	1.0083	34.7725	34.7516	34.4826	0.9974	0.9765	0.7075
3	Ca(OH) ₂ A	37.6400	1.0008	38.6326	38.4969	38.4299	0.9926	0.8569	0.7899
4	Ca(OH) ₂ B	37.4703	1.0026	38.4646	38.3516	38.2894	0.9943	0.8813	0.8191
5	Ca(OH) ₂ Γ	35.7450	1.0376	36.7777	36.6146	36.5111	1.0327	0.8696	0.7661
6	Ca(OH) ₂ Δ	36.2020	1.0005	37.1982	37.0219	36.9550	0.9962	0.8199	0.7530
7	Θηραϊκή γη	32.1630	1.0090	33.1491	33.0833	33.0661	0.9861	0.9203	0.9031
8	Μηλαϊκή γη	34.7439	1.0528	35.7000	35.6719	35.6445	0.9561	0.928	0.9006
9	Ασβεστομίξ	34.9159	1.0224	35.8463	35.8306	35.7912	0.9304	0.9147	0.8753
11	UNICRET	24.8618	1.0168	25.8764	25.8003	25.4531	1.0146	0.9385	0.5913
12	RAPICRET	23.9563	1.0090	24.9620	24.8600	24.6852	1.0057	0.9037	0.7289

Πίνακας 7.2. Αποτελέσματα μετρήσεων βάρους στην πύρωση

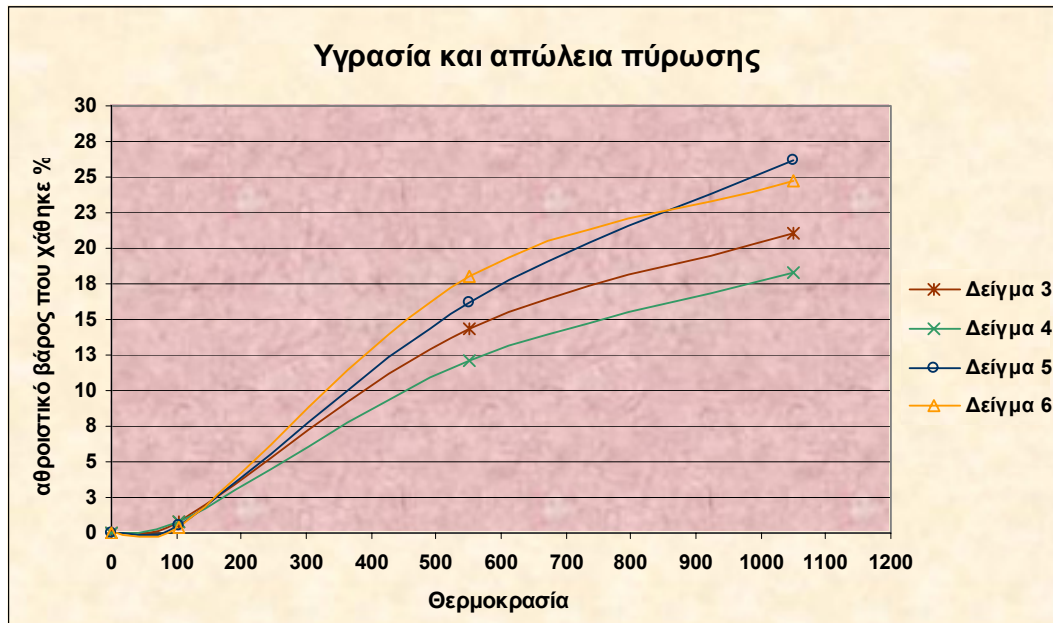
Κωδ. δείγμ.	Δείγμα	Ολικό ποσοστό μετά τους 105°C %	Ολικό ποσοστό μετά τους 550°C %	Ολικό ποσοστό μετά τους 1050°C %	Ποσοστό από 0-105°C %	Ποσοστό από 105-550°C %	Ποσοστό από 550-1050°C %
1	Kourasanit 1	2.1442	3.5607	28.0295	2.1442	1.4165	24.4688
2	Kourasanit 2	1.0810	3.1538	29.8324	1.0810	2.0728	26.6786
3	Ca(OH) ₂ A	0.8193	14.3785	21.0731	0.8193	13.5592	6.6946
4	Ca(OH) ₂ B	0.8278	12.0985	18.3024	0.8278	11.2707	6.2039
5	Ca(OH) ₂ Γ	0.4722	16.1912	26.1662	0.4722	15.7190	9.9749
6	Ca(OH) ₂ Δ	0.4298	18.0510	24.7376	0.4298	17.6212	6.6867
7	Θηραϊκή γη	2.2696	8.7909	10.4955	2.2696	6.5213	1.7047
8	Μηλαϊκή γη	9.1850	11.8541	14.4567	9.1850	2.6691	2.6026
9	Ασβεστομίξ	8.9984	10.5340	14.3877	8.9984	1.5356	3.8537
11	UNICRET	0.2164	7.7006	41.8470	0.2164	7.4843	34.1463
12	RAPICRET	0.3271	10.4361	27.7602	0.3271	10.1090	17.3241

Πίνακας 7.3. Αποτελέσματα ποσοστού απώλειας πύρωσης ανά θερμοκρασία

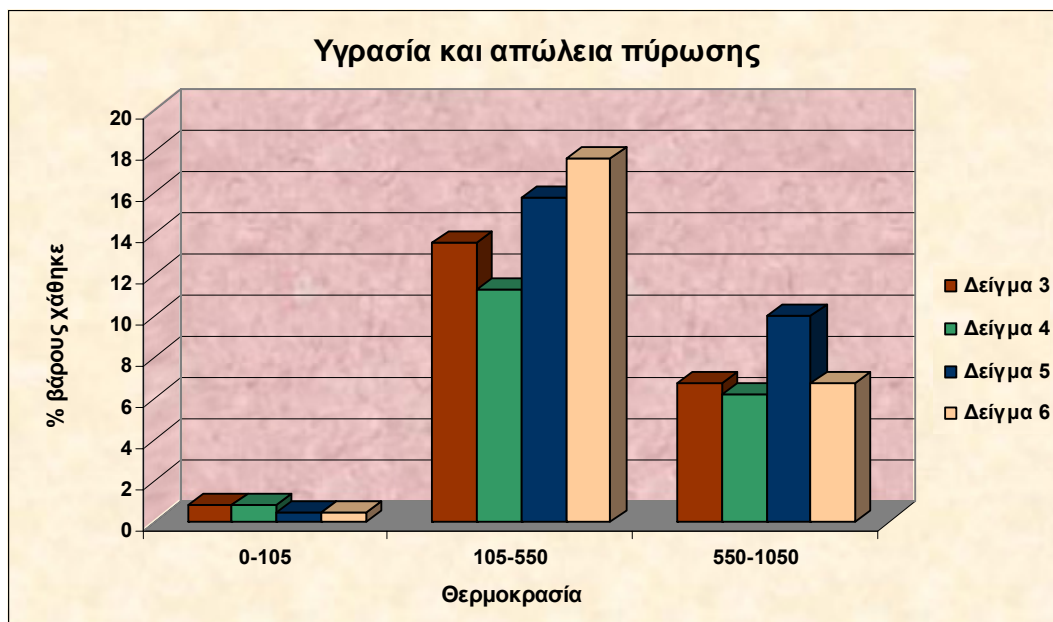
Κωδ. δείγμ.	Δείγμα	Ολική απώλεια πύρωσης 105 – 1050 °C %
1	Kourasanit 1	25.88
2	Kourasanit 2	28.75
3	Ca(OH) ₂ A	20.25
4	Ca(OH) ₂ B	17.47
5	Ca(OH) ₂ Γ	25.69
6	Ca(OH) ₂ Δ	24.30
7	Θηραϊκή γη	8.22
8	Μηλαϊκή γη	5.27
9	Ασβεστομίξ	5.38
11	Unicret	41.63
12	Rapicret	27.43

Πίνακας 7.4. Αποτελέσματα ολικού ποσοστού απώλειας πύρωσης

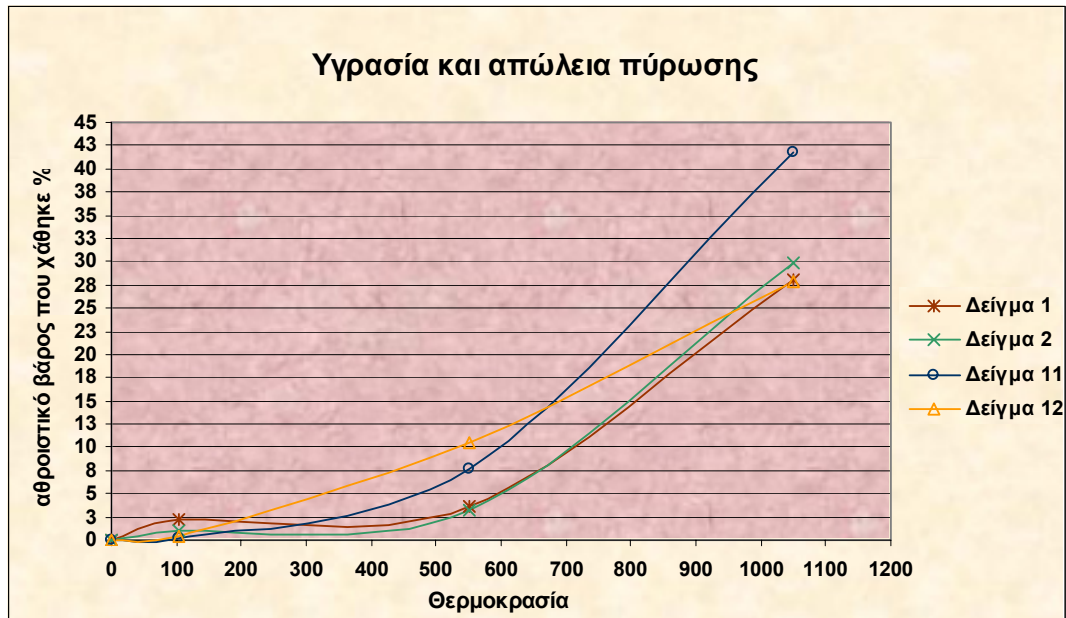
Παρακάτω στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνονται χαρακτηριστικά τα ποσοστά των βαρών τα οποία φεύγουν ανάλογα με τη θερμοκρασία.

Απώλεια πύρωσης δειγμάτων 3, 4, 5, 6.

Διάγραμμα 7.1. Αθροιστικό βάρος που χάθηκε επί τις 100



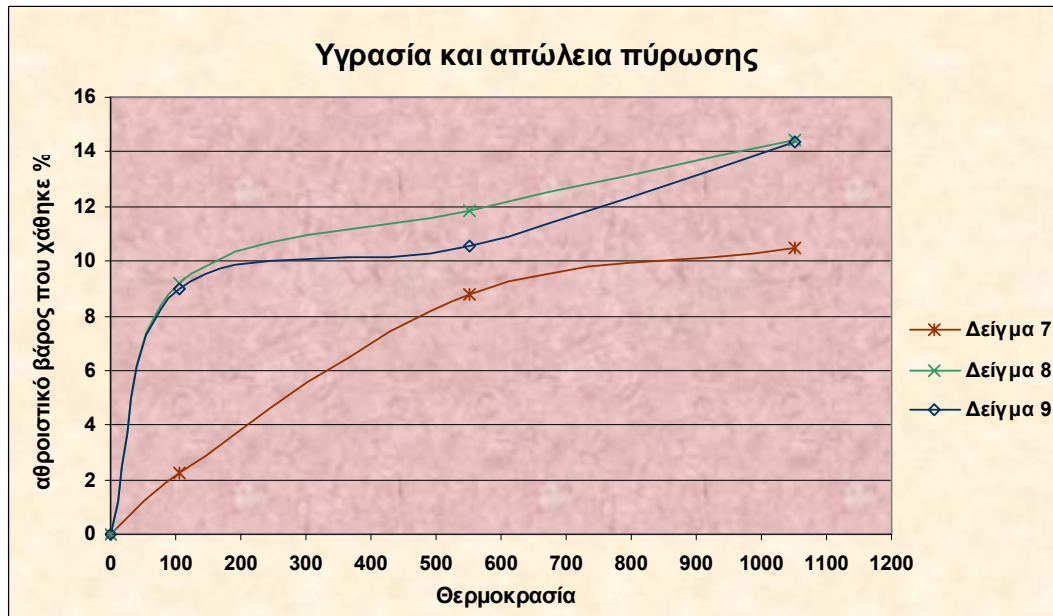
Διάγραμμα 7.2. Ποσοστό βάρους που χάθηκε ανάλογα με τη θερμοκρασία

Απώλεια πύρωσης δειγμάτων 1, 2, 11, 12.

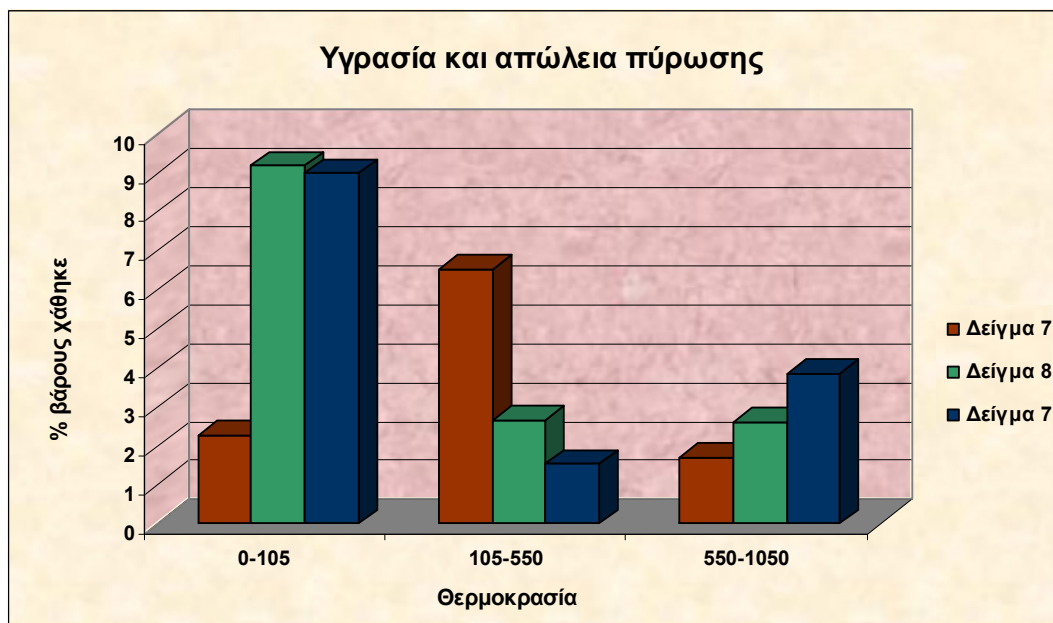
Διάγραμμα 7.3. Αθροιστικό βάρος που χάθηκε επί τις 100



Διάγραμμα 7.4. Ποσοστό βάρους που χάθηκε ανάλογα με τη θερμοκρασία

Απώλεια πύρωσης δειγμάτων 7, 8, 9.

Διάγραμμα 7.5. Αθροιστικό βάρος που χάθηκε επί τις 100



Διάγραμμα 7.6. Ποσοστό βάρους που χάθηκε ανάλογα με τη θερμοκρασία

7.1.3. Αποτελέσματα Φασματοσκοπίας Ακτίνων-X Φθορισμού (XRF)

Για τη μελέτη των δειγμάτων ήταν απαραίτητη η κατάταξή τους -σε γενικές γραμμές- σε πυριτικά και ασβεστιτικά. Αυτό γίνεται για την καλύτερη ακρίβεια του οργάνου μέτρησης και την πιο αντιπροσωπευτική επιλογή προτύπων. Σαν πυριτικά χαρακτηρίστηκαν τα δείγματα 7,8 και 9, δηλαδή η Θηραϊκή γη, η Μηλαϊκή γη και το Ασβεστομίξ ενώ σαν ασβεστιτικά όλα τα υπόλοιπα (με βάση τις ορυκτολογικές τους αναλύσεις). Τα αποτελέσματα λοιπόν παρατίθενται στους παρακάτω δύο πίνακες, ο πρώτος για τα ‘ασβεστιτικά’ δείγματα και ο δεύτερος για τα ‘πυριτικά’. Οι έντονα γραμμένες μετρήσεις στον πίνακα 7.6. διορθώνονται αργότερα στις ‘παρατηρήσεις – συμπεράσματα’ όπου και εξηγείται γιατί η τόσο μεγάλη απόκλιση από το 100%.

Κωδ. δείγμ.	Fe ₂ O ₃ %	MnO %	TiO ₂ %	CaO %	K ₂ O %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	MgO %	P ₂ O ₅ %	Na ₂ O %	Απώλεια πύρωσης %	Σύνολο %
7	1.97	0.10	0.21	1.52	3.12	70.32	11.82	0.65	0.38	1.70	8.23	100.00
8	2.43	0.05	0.27	1.02	0.35	74.55	11.49	2.30	0.03	2.24	5.27	100.00
9	2.23	0.07	0.27	3.41	2.20	72.74	10.51	1.39	0.05	1.75	5.39	100.00

Πίνακας 7.5. Χημική ανάλυση XRF ‘πυριτικών’ δειγμάτων

Κωδ. δείγμ.	Fe ₂ O ₃ %	MnO %	CaO %	K ₂ O %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	MgO %	Na ₂ O %	Απώλεια πύρωσης %	Σύνολο %
1	0.86	0.02	18.49	1.08	33.93	6.48	12.37	0.88	25.89	100.00
2	0.81	0.02	19.79	0.99	30.69	5.83	12.29	0.82	28.75	100.00
3	0.07	0.00	57.56	0.05	3.51	0.02	1.08	0.07	20.25	82.60
4	0.08	0.00	54.60	0.08	5.74	0.34	1.17	0.09	17.47	79.60
5	0.05	0.00	61.16	0.02	0.56	0.04	0.89	0.02	25.69	88.42
6	0.06	0.00	62.63	0.02	0.72	0.06	1.36	0.02	24.31	89.16
11	0.06	0.00	38.62	0.03	2.79	1.77	15.07	0.03	41.63	100.00
12	1.52	0.01	39.35	0.54	12.60	5.59	12.78	0.18	27.43	100.00

Πίνακας 7.6. Χημική ανάλυση XRF ‘ασβεστιτικών’ δειγμάτων

Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

1. Το άθροισμα σε όλα τα δείγματα εκτός των υδρασβέστων (3,4,5,6) έβγαινε κοντά στο 100 με απόκλιση +/- 2%. Έτσι έγινε κανονικοποίηση στα 100 χωρίς να υπάρχει ιδιαίτερο σφάλμα.

2. Πρόβλημα παρατηρήθηκε στα δείγματα 3,4,5,6, τα οποία ήταν κυρίως υδράσβεστοι με κάποιο ποσοστό ασβεστίτη (προφανώς από μετατροπή της υδρασβέστου) και κάποιο επίσης ποσοστό λευκού τσιμέντου καθώς και λίγη γύψο. Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης αυτών των δειγμάτων (όπως φαίνεται στον πίνακα 7.6.) δεν έδιναν άθροισμα κοντά στο 100, αλλά ανάμεσα στο 80% και στο 90%. Αυτό οφείλεται στους παρακάτω λόγους. Καταρχήν τα δείγματα αυτά όπως φάνηκε περιέχουν σχεδόν αποκλειστικά CaO , (τα δύο από αυτά και λίγο SiO_2 από το λευκό τσιμέντο που περιέχουν, (φάσεις C_2S και C_3S)). Καθώς ιδιαίτερα αυξημένο το ποσοστό του CaO στο δείγμα, η συσκευή δυσκολεύτηκε να το μετρήσει (μπουκώνει) διότι ο ανιχνευτής μπορεί να μετρήσει μέχρι ένα μέγιστο αριθμό κρούσεων ανά δευτερόλεπτο. Ο αριθμός αυτός αντιστοιχεί περίπου κοντά στην περιεκτικότητα σε CaO του καθαρού ασβεστίτη (56%). Η υδράσβεστος Ca(OH)_2 στην ένωσή της δίνει θεωρητικά 75.7% σε CaO , ποσοστό πολύ μεγαλύτερο από το 56% του καθαρού ασβεστίτη. Για αυτό το λόγο τα αποτελέσματα στο ποσοστό του CaO ήταν υποτιμημένα. Εξάλλου τα πρότυπα τα οποία είναι περασμένα στο αρχείο του υπολογιστή της συσκευής, περιέχουν ποσοστό σε CaO μέχρι και το ποσοστό του καθαρού ασβεστίτη (56%), άρα και πάλι, και να μέτραγε καλά η συσκευή δε θα είχαμε τελείως ακριβή αποτελέσματα. Μια λύση για καλύτερα αποτελέσματα μετρήσεων σε αντίστοιχες τέτοιες περιπτώσεις είναι η λειτουργία της συσκευής με χαμηλότερη τάση και ένταση στο ρεύμα, έτσι ώστε να μπορούν να 'διαβαστούν' όλες οι πληροφορίες που θα φτάνουν στον ανιχνευτή. Από τη στιγμή που τα δείγματα περιέχουν μόνο CaO , μπορεί να ανέβει το ποσοστό τους σε αυτό μέχρι το άθροισμα 100 (μαζί με την απώλεια πύρωσης).

Η νέα διορθωμένη περιεκτικότητα σε οξείδια των δειγμάτων αυτών φαίνεται στον πίνακα 7.7. που ακολουθεί.

Κωδ. δείγμ.	Fe ₂ O ₃ %	MnO %	CaO %	K ₂ O %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	MgO %	Na ₂ O %	Απώλεια πύρωσης %	Σύνολο %
3	0.07	0.00	74.95	0.05	3.51	0.02	1.08	0.07	20.25	100.00
4	0.08	0.00	75.01	0.08	5.74	0.34	1.17	0.09	17.47	100.00
5	0.05	0.00	72.74	0.02	0.56	0.04	0.89	0.02	25.69	100.00
6	0.06	0.00	73.47	0.02	0.72	0.06	1.36	0.02	24.31	100.00

Πίνακας 7.7. Διορθωμένη χημική ανάλυση XRF των δειγμάτων πλούσιων σε CaO

7.1.4. Προσδιορισμός ποσοστού ασβεστίτη – δολομίτη

Α) Δείγματα μόνο με ασβεστίτη

Οι μετρήσεις έγιναν με το ασβεστίμετρο, και τα αποτελέσματα των παρατίθενται στους παρακάτω πίνακες. (Στον πρώτο παρουσιάζονται απλά τα αποτελέσματα, στο δεύτερο φαίνεται και η διαδικασία).

Κωδικός δείγματος	Δείγμα	Ασβεστίτης %
---	Πρότυπο Cc-1	99.01
---	Πρότυπο Cc-2	99.01
3	Ca(OH) ₂ - Α	14.85
4	Ca(OH) ₂ - Β	15.46
5	Ca(OH) ₂ - Γ	23.16
6	Ca(OH) ₂ - Δ	13.31
7	Θηραϊκή γη	0.93
8	Μηλαϊκή γη	2.78
9	Ασβεστομίξ	5.86

Πίνακας 7.8. Ποσοστό ασβεστίτη στα δείγματα

Οι συνθήκες κάτω από τις οποίες έγιναν οι μετρήσεις καθώς και η διαδικασία (εξηγείται στο θεωρητικό μέρος για το ασβεστίμετρο κεφ. 6.2.2) φαίνονται στον αναλυτικό πίνακα 7.9. που ακολουθεί.

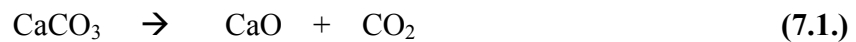
Κωδ	Δείγμα	Βάρος δείγμ. (gr)	P (mm Hg)	T (°C)	PH ₂ O	VCO ₂ total (ml)	VCO ₂ ασβεστ. (ΚΣ ml)	% CO ₂ std ασβ.	% CO ₂ ασβ.	Ασβεστίτης %
Cc-1	Πρότυπο Cc-1	0.6507	760	22.5	21.068	161	144.62	43.56	43.56	99.01
Cc-2	Πρότυπο Cc-2	0.6515	760	22.5	21.068	161	144.62	43.51	43.56	99.01
3	Ca(OH) ₂ - Α	0.6508	760	22.5	21.068	24	21.56	43.29	6.53	14.85
4	Ca(OH) ₂ - Β	0.6512	760	22.5	21.068	25	22.46	43.29	6.80	15.46
5	Ca(OH) ₂ - Γ	0.6519	760	22.5	21.068	37.5	33.68	43.29	10.19	23.16
6	Ca(OH) ₂ - Δ	0.6503	760	22.5	21.068	21.5	19.31	43.29	5.86	13.31
7	Θηραϊκή γη	0.6517	760	22.5	21.068	1.5	1.35	43.29	0.41	0.93
8	Μηλαϊκή γη	0.6518	760	22.5	21.068	4.5	4.04	43.29	1.22	2.78
9	Ασβεστομίξ	0.6530	760	22.5	21.068	9.5	8.53	43.29	2.58	5.86

Πίνακας 7.9. Αναλυτικός πίνακας προσδιορισμού ποσοστού ασβεστίτη

Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

1. Παρατηρούμε ότι και οι τέσσερις υδράσβεστοι που αναλύθηκαν έχουν κάπως αυξημένο ποσοστό σε ασβεστίτη (CaCO₃). Αυτό οφείλεται όπως είδαμε στο κεφάλαιο 2.5.7 στην αντίδραση του Ca(OH)₂ με το διοξείδιο του άνθρακα CO₂. Στην περίπτωση μας αυτό αποτελεί ένα πρόβλημα διότι αυτό το ποσοστό της κονίας θα παραμείνει ανενεργό κατά τη δημιουργία των κονιαμάτων. Το ήδη μετατραπέν ποσοστό της υδρασβέστου σε ανθρακικό ασβέστιο προφανώς θα οφείλεται σε μη σωστή αποθήκευσή του (επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα – CO₂).

2. Όσον αφορά στην αξιοπιστία της μεθόδου αυτής πρέπει να αναφερθεί ότι είναι ακριβής στα δείγματα τα οποία περιέχουν **μόνο ασβεστίτη**. Αυτό φαίνεται συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής με τα αποτελέσματα της απώλειας πύρωσης. Η απώλεια πύρωσης στα δείγματα αυτά μεταξύ των θερμοκρασιών 550 έως 1050 °C, αντιστοιχεί στο ποσοστό του CO₂ το οποίο ‘φεύγει’ από τον ασβεστίτη σύμφωνα με την αντίδραση-διάσπαση του ασβεστίτη



η οποία θεωρητικά αναλογεί σε 44% σε CO₂ και σε 56% CaO. Αν πολλαπλασιάσουμε δηλαδή το ποσοστό του ασβεστίτη του κάθε δείγματος που υπολογίσαμε με το ασβεστίμετρο με το 44% θα πρέπει να ισούται με το ποσοστό της απώλειας πύρωσης σε αυτές τις θερμοκρασίες, γεγονός που συμβαίνει (το σφάλμα είναι πολύ μικρό). Αυτός ήταν και ο λόγος για τον οποίον έγινε η απώλεια πύρωσης κατά στάδια, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα σύγκρισης με άλλες μεθόδους καθώς και καλύτερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

B) Δείγματα με ασβεστίτη και δολομίτη

Κωδικός	Δείγμα	Ασβεστίτης %	Δολομίτης %	Ασβεστ.+ Δολομ. %
---	Πρότυπο Cc-1	99.01	0.00	99.01
---	Πρότυπο Cc-2	99.01	0.00	99.01
---	Πρότυπο Dol.		100.01	100.01
1	Κουρασάνιτ	6.16	50.03	56.19
2	Κουρασάνιτ	12.36	44.48	56.84
11	Unicret-fast	9.27	43.30	52.57
12	Rapicret	9.08	35.32	44.40

Πίνακας 7.10. Ποσοστό ασβεστίτη και δολομίτη στα δείγματα

Ο αναλυτικός πίνακας προσδιορισμού ασβεστίτη και δολομίτη στις πρώτες ύλες βρίσκεται στο παράρτημα Α.

Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

1. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης και του ποσοστού σε δολομίτη που βρήκαμε στα παραπάνω δείγματα, παρατηρούμε ότι το **ποσοστό του δολομίτη είναι γενικά υποτιμημένο** (τα δείγματα αποτελούνται κυρίως από δολομίτη). Αυτό έχει να κάνει με την αξιοπιστία της μεθόδου αυτής στη μέτρηση του ποσοστού δολομίτη. Ο δολομίτης αργεί πολύ να αντιδράσει με το HCl (βλ. θεωρητικό μέρος για προσδιορισμό ασβεστίτη με ασβεστίμετρο) και έτσι πιθανόν να μην ολοκληρώθηκε η αντίδραση κατά την εκτέλεση του πειράματος. Κατά τη διαδικασία του πειράματος αυτό είχε φανεί πως θα συνέβαινε διότι εκεί που φαινόταν ότι είχε αντιδράσει όλος ο δολομίτης, με αναμονή 5 λεπτών και επόμενη ανάδευση, η στάθμη έπεφτε και άλλο. Θεωρητικά αυτό θα συνεχιζόταν για αρκετή ώρα, έτσι ώστε να μην είμαστε σίγουροι για το πότε ακριβώς θα τελείωνε η αντίδραση.

2. Όσον αφορά στο **ποσοστό του ασβεστίτη** στα παραπάνω δείγματα, αυτό είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα, αλλά και πάλι **δεν είναι τελείως ακριβής η μέτρηση**. Αυτό συμβαίνει διότι τα όρια μεταξύ της ολοκλήρωσης της αντίδρασης του ασβεστίτη με το HCl και της έναρξης της ίδιας αντίδρασης με το δολομίτη είναι πολύ ασαφή. Γνωρίζουμε ότι η συγκεκριμένη αντίδραση του ασβεστίτη είναι πολύ πιο γρήγορη, αλλά ήδη έχει αρχίσει να αντιδρά και ο δολομίτης. Έτσι, τα τελικά αποτελέσματα του ποσοστού του ασβεστίτη θα βγουν συνεκτιμώντας και άλλες μεθόδους όπως φαίνεται παρακάτω.

7.1.5. Αναλογία ποσοστών ασβεστίτη και δολομίτη με το πρόγραμμα Siroquant

Για την πιο ολοκληρωμένη μελέτη των δειγμάτων στα ποσοστά ασβεστίτη και δολομίτη, καθώς και για την καλύτερη αξιολόγηση της μεθόδου από πλευράς αξιοπιστίας, έγινε και μελέτη της ποσοστιαίας αναλογίας του ασβεστίτη και του δολομίτη στα δείγματα, με χρήση του προγράμματος **Siroquant**. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα υπολογίζει θεωρητικά διαγράμματα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ, τα οποία προσαρμόζει με τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων στα πειραματικά δεδομένα των μετρήσεων. Η ταύτιση θεωρητικού και πειραματικού διαγράμματος περιθλασιμετρίας, οδηγεί στη σωστή ποσοτική ανάλυση των κρυσταλλικών φάσεων. Έτσι, βάζοντάς το να μετρήσει ασβεστίτη και δολομίτη, μπορούμε να δούμε την αναλογία με την οποία συμμετέχουν τα δύο αυτά ορυκτά στο δείγμα. Προφανώς αυτή δεν είναι και η πραγματική συμμετοχή τους στο δείγμα, διότι το πρόγραμμα ανάγει όλα τα ποσοστά στο 100%, αγνοώντας την παρουσία άμορφου υλικού ή κρυσταλλικών φάσεων που δεν έχουν συμπεριληφθεί. Με αυτή τη μέθοδο, μόνο τις αναλογίες μπορούμε να δούμε. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί και θα χρησιμεύσουν βοηθητικά στην καλύτερη ανάλυση των πρώτων υλών.

Κωδικός	Δείγμα	Ασβεστίτης %	Δολομίτης %	Ασβεστίτης + Δολομίτης %
1	Kourasanit 1	3.9	96.1	100
2	Kourasanit 2	8.1	91.9	100
3	Ca(OH) ₂ Α	100	---	100
4	Ca(OH) ₂ Β	100	---	100
5	Ca(OH) ₂ Γ	100	---	100
6	Ca(OH) ₂ Δ	100	---	100
7	Θηραϊκή γη	100	---	100
8	Μηλαϊκή γη	100	---	100
9	Ασβεστομίξ	100	---	100
11	UNICRET	4.6	95.4	100
12	RAPICRET	6.1	93.9	100

Πίνακας 7.11. Αναλογία ασβεστίτη - Δολομίτη

Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

1. Παρατηρούμε ότι το ποσοστό του ασβεστίτη σε όλα τα δείγματα είναι πολύ μικρό σε σχέση με το δολομίτη. Αυτή η αναλογία θα μας βοηθήσει αργότερα στην καλύτερη ανάλυση των πρώτων υλών.

7.2. Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης

Στις πρώτες ύλες όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 6.4. αναλυτικά, έγινε ορυκτολογική ανάλυση με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (X-Ray Diffraction analysis). Τα αποτελέσματα μελετήθηκαν με χρήση των προγραμμάτων EVA και SIROQUANT. Τα ακτινοδιαγράμματα τα οποία μελετήθηκαν με το πρόγραμμα EVA, παρατίθενται στο παράρτημα Β.

Συγκεκριμένα στο δείγμα 10 καθώς γαλάκτωμα, έγινε φυγοκέντριση για να παρθεί πιο πυκνό υλικό το οποίο μελετήθηκε όχι στους χαρακτηριστικούς δειγματοφορείς που αναφέρονται στο αντίστοιχο κεφάλαιο (6.4), αλλά σε ένα γυάλινο ειδικό τζαμάκι. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης ήταν τελείως ασαφή, πιθανόν να αποτελείται από κάποια ρητίνη, κρίθηκε εξ αρχής ακατάλληλο για περαιτέρω ανάλυση και για αυτό το λόγο δε φαίνεται πουθενά στις υπόλοιπες εργαστηριακές αναλύσεις.

Τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής μελέτης φαίνονται στον πίνακα 7.12.

Κωδικός	Δείγμα	Ορυκτά
1	Kourasanit 1	Δολομίτης, Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Άστριοι
2	Kourasanit 2	Δολομίτης, Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Άστριοι
3	Ca(OH) ₂ Α	Πορτλαντίτης, Ασβεστίτης, C ₂ S, C ₃ S, Γύψος, Ανυδρίτης
4	Ca(OH) ₂ Β	Πορτλαντίτης, Ασβεστίτης, C ₂ S, C ₃ S, Γύψος, Ανυδρίτης
5	Ca(OH) ₂ Γ	Πορτλαντίτης, Ασβεστίτης, C ₂ S, C ₃ S, Γύψος
6	Ca(OH) ₂ Δ	Πορτλαντίτης, Ασβεστίτης, C ₂ S, C ₃ S, Γύψος
7	Θηραϊκή γη	Άμορφο υλικό, Χαλαζίας, (Ασβεστίτης, Μοσχοβίτης, Ανορθόκλαστο)
8	Μηλαϊκή γη	Χριστοβαλίτης, Βειδελίτης, Χαλαζίας, Ασβεστίτης
9	Ασβεστομίξ	Χαλαζίας, Χριστοβαλίτης, Ασβεστίτης, Βειδελίτης, Σανίδινο
10	Ασβεστομίξ υγρό	-----
11	UNICRET	Δολομίτης, Ασβεστίτης, ανεπαίσθητη ύπαρξη κονιάς
12	RAPICRET	Δολομίτης, Ασβεστίτης, C ₂ S, C ₃ S, Ρανκινίτης

Πίνακας 7.12. Ορυκτολογική ανάλυση των πρώτων υλών

7.3. Ποσοτική ορυκτολογική ανάλυση με το πρόγραμμα Siroquant

7.3.1. Γενικά – Εισαγωγικά

Αφού μελετήθηκαν τα ακτινοδιαγράμματα με το πρόγραμμα EVA, έγινε και ποσοτική ανάλυση με το πρόγραμμα Siroquant. Όπως ήδη αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η ποσοτική ανάλυση θέλει ιδιαίτερη προσοχή, διότι το πρόγραμμα ανάγει τα αποτελέσματα σε επί τις εκατό αναλογία με βάση τις κρυσταλλικές φάσεις τις οποίες το βάζουμε εμείς να ψάξει. Δηλαδή αν δεν του βάλουμε όλα τα ορυκτά που περιέχει το δείγμα, αυτό ανεβάζει το ποσοστό των υπολοίπων για να γίνει η κατανομή επί τις εκατό.

Έτσι είναι δυνατόν πολλές φορές να παρατηρηθεί υπερτίμηση κάποιων τιμών, γεγονός το οποίο παρατηρήθηκε στην παρούσα εργασία.

Ένα άλλο σημείο το οποίο θέλει ιδιαίτερη προσοχή είναι το ότι το πρόγραμμα ανιχνεύει κρυσταλλικές φάσεις. Σε δείγματα λοιπόν που έχουμε άμορφο υλικό (θηραϊκή γη, υδράσβεστο η οποία δεν έχει αποκτήσει ακόμα κρυσταλλική μορφή κλπ.) αυτό το ποσοστό δεν υπολογίζεται, με αποτέλεσμα τα ποσοστά των υπόλοιπων κρυσταλλικών φάσεων να είναι πάλι υπερτιμημένα. Πρέπει λοιπόν πριν γίνει οποιαδήποτε μέτρηση να γνωρίζουμε αν και πόσο περίπου άμορφο υλικό έχουμε στα δείγματά μας.

Για τους παραπάνω λόγους έγινε ανάλυση των υλικών ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες του καθε ενός από αυτά. Συγκεκριμένα τα δείγματα χωρίστηκαν στις παρακάτω κατηγορίες. Στις υδρασβέστους, στα πυριτικά δείγματα (θηραϊκή γη, μηλαϊκή γη, ασβεστομίξ), και στα έτοιμα κονιάματα – αδρανή (Kourasanit, Unicret-fast, Rapicret).

7.3.2. Υδράσβεστοι

Η φιλοσοφία για τον ποσοτικό προσδιορισμό που ακολουθήθηκε στη μελέτη των υδρασβέστων είναι η εξής: Αν βάζαμε κατευθείαν τις κρυσταλλικές φάσεις να μετρηθούν στο πρόγραμμα, μπορεί να ήταν υπερτιμημένες (πιθανόν λόγω παρουσίας άμορφης υδρασβέστου κλπ), πράγμα το οποίο και έγινε. Σκοπός λοιπόν είναι η αναζήτηση κάποιου ποσοστού για το οποίο είμαστε σίγουροι ότι ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα με βάση άλλα πειράματα. Το ποσοστό αυτό σε αυτά τα δείγματα είναι το ποσοστό του ασβεστίτη το οποίο μετρήθηκε με το ασβεστίμετρο και επαληθεύτηκε το αποτέλεσμα της μέτρησης με την απώλεια πύρωσης (βλ. παρατηρήσεις-συμπεράσματα (2), κεφ.7.1.4.(Α)). Έτσι, με το πραγματικό ποσοστό του ασβεστίτη και με αυτό που βγάζει το πρόγραμμα, βρίσκουμε το συντελεστή διόρθωσης με βάση τον οποίο θα υπολογιστούν οι νέες περιεκτικότητες των κρυσταλλικών φάσεων στο δείγμα. Η διαφορά από το 100% θα αντιστοιχεί προφανώς σε κάποιο άμορφο υλικό, στην προκειμένη σε υδράσβεστο. Τα αρχικά αποτελέσματα των δύο μεθόδων φαίνονται στον πίνακα 7.13.

Κωδ.	Δείγμα	Ασβεστίμετρο	Siroquant					
		Cc	Cc	Portlandite	Gypsum	Anhydrite	3CaO.SiO ₂	2CaO.SiO ₂
3	Ca(OH) ₂ Α	14.85	11.6	22.4	4.2	1.9	43.2	16.7
4	Ca(OH) ₂ Β	15.46	16.9	34.4	4.2	3.2	36.2	5.2
5	Ca(OH) ₂ Γ	23.16	51.6	26.0	3.7	2.0	12.2	4.4
6	Ca(OH) ₂ Δ	13.31	36.8	34.0	4.2	3.0	8.3	13.7

Πίνακας 7.13. Ασβεστίμετρο - Siroquant

Στα δείγματα 5 και 6, το Siroquant δίνει υπερτιμημένα αποτελέσματα, οπότε εκεί θα πρέπει να γίνει η διόρθωση. Τα δείγματα 1 και 2 μπορούν να μείνουν ως έχει, καθώς τα αποτελέσματα είναι αρκετά κοντά.

Ο συντελεστής διόρθωσης στο δείγμα 5 είναι $23.26 / 51.6 = 0,44$ και στο δείγμα 6 $13.31 / 36.8 = 0.36$. Άρα προκύπτει ο νέος διορθωμένος πίνακας 7.14. για τα ποσοστά των ορυκτών που συμμετέχουν στα δείγματα.

Κωδ.	Δείγμα	Siroquant						
		Cc	Portlandite	Gypsum	Anhydrite	3CaO.SiO ₂	2CaO.SiO ₂	Άμορφο
3	Ca(OH) ₂ Α	11.60	22.40	4.20	1.90	43.20	16.70	0
4	Ca(OH) ₂ Β	16.90	34.40	4.20	3.20	36.20	5.20	0
5	Ca(OH) ₂ Γ	22.70	11.44	1.63	0.88	5.37	1.94	56.04
6	Ca(OH) ₂ Δ	13.25	12.24	1.51	1.08	2.99	4.93	64.00

Πίνακας 7.14. Διορθωμένος πίνακας ποσοτικής ανάλυσης κονιών

Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

1. Παρατηρούμε ότι οι υδράσβεστοι 5 και 6 έχουν πραγματικά μικρή ποσότητα τσιμέντου και πολύ άμορφο υλικό. Το άμορφο προφανώς είναι υδράσβεστος η οποία δεν έχει κρυσταλλωθεί κατά τη διαδικασία παρασκευής της.

2. Το δείγμα 5 έχει ιδιαίτερα αυξημένο ποσοστό ασβεστίτη. Αυτό σημαίνει ότι έχει μετατραπεί τμήμα της υδρασβέστου λόγω της επαφής της με το CO₂ της ατμόσφαιρας σε ασβεστίτη CaCO₃. Αυτό προφανώς θα οφείλεται σε μη κατάλληλη αποθήκευσή της. Αυτή είναι η υδράσβεστος που προμηθευτήκαμε από την εταιρία «ΤΡΑΤΣΕΛΑΣ Β. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ & ΣΙΑ Ο.Ε.».

3. Οι υδράσβεστοι 3 και 4 περιέχουν λευκό τσιμέντο σε ιδιαίτερα υψηλό ποσοστό. Αυτό το γεγονός τις καθιστά ακατάλληλες για επεμβάσεις συντήρησης και αναπαλαίωσης, αν και υπάρχουν περιπτώσεις που λευκό τσιμέντο επιτρέπεται. (βλ. σελ. 27, κεφ 2). Για διευκόλυνση παρατίθεται αυτολεξεί η αντίστοιχη παράγραφος του δευτέρου κεφαλαίου τα στοιχεία της οποίας περιλαμβάνονται στο βιβλίο του Θ.Ν. Σκουλικίδη: «*Διάβρωση και συντήρηση των δομικών υλικών των μνημείων*», σελ.216,217.

«...Θέλει ιδιαίτερη προσοχή η χρήση του τσιμέντου σε τέτοιες επεμβάσεις διότι οι επιπτώσεις από τα άλατα είναι ιδιαίτερα καταστροφικές. Πάντως **λευκό τσιμέντο** με **ελάχιστα όμως θειικά, ελάχιστη ποσότητα C₄AF και ενώσεων μαγγανίου, και απουσία ανυδρίτη**, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συγκόλληση ασβεστιτικών πετρωμάτων και μαρμάρων με μικρό πορώδες (οι επιπτώσεις των αλάτων του τσιμέντου εμφανίζονται περισσότερο σε πετρώματα με μεγάλο πορώδες και διαμπερείς πόρους). [«...τέτοια περίπτωση αποτελεί η Ακρόπολη, που μετά από έντονους προβληματισμούς και δοκιμές ο συγγραφέας κατέλειξε στην υπόδειξη της χρησιμοποίησης λευκού τσιμέντου ειδικής κατασκευής, ώστε να έχει μικρό ποσοστό θεικών, και με πρόσμιξη χαλαζιακής άμμου» Θ.Ν. Σκουλικίδης, *Διάβρωση και συντήρηση των δομικών υλικών των μνημείων*, σελ.216,217)]. Να τονιστεί ότι το πεντελικό μάρμαρο της Ακρόπολης έχει το μικρότερο πορώδες από όλα τα γνωστά πετρώματα...».

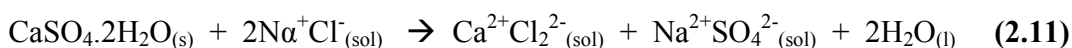
Στην περίπτωση μας το τσιμέντο αυτό δεν ικανοποιεί πλήρως τα παραπάνω, διότι εμφανίστηκε **ανυδρίτης**. Επιπλέον μαζί με το τσιμέντο έχουμε στην κονία και **γύψο**, η οποία υπό κάποιες συνθήκες δρα καταστρεπτικά στα μνημεία (βλ.κεφ.2.7.1). Για διευκόλυνση παρατίθεται πάλι αυτολεξεί η αντίστοιχη παράγραφος του κεφαλαίου αυτού

η οποία επίσης αποτελεί πιστή αντιγραφή από το βιβλίο του Θ.Ν. Σκουλικίδη «Διάβρωση και συντήρηση των δομικών υλικών των μνημείων», σελ.129:

«...η γύψος διαλύεται στο νερό της βροχής (και όξινης) με τις παρακάτω αντιδράσεις:



Επίσης μετατρέπεται (χημική δράση), με το χλωριούχο νάτριο της ατμόσφαιρας, σε χλωριούχο ασβέστιο και θειϊκό νάτριο με την παρακάτω αντίδραση:



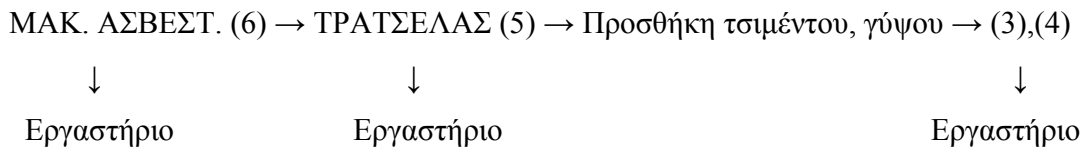
Το NaSO_4 δρα καταστρεπτικά στην επιφάνεια των μνημείων.

Συγκεκριμένα υπό κάποιες συνθήκες το NaSO_4 μετατρέπεται μεταξύ των θερμοκρασιών 20°C και 32.5°C από ρομβοεδρικό (τεναρδίτης) σε μονοκλινές (μυραβιλίτης) με **διόγκωση κατά 308%** προκαλώντας φθορές...».

Οι παραπάνω λόγοι καθιστούν τις υδρασβέστους αυτές ακατάλληλες για επεμβάσεις συντήρησης και αναπαλαίωσης μνημείων.

4. Παρατηρείται ομοιότητα στις υδρασβέστους 5 και 6, με εξαίρεση βέβαια το ποσοστό του ασβεστίτη το οποίο οφείλεται προφανώς σε μετά την παρασκευή της ασβέστου διαδικασίες. Αυτό εξηγεί και την αρχική πληροφορία που είχαμε το ότι δηλαδή η εταιρία «ΤΡΑΤΣΕΛΑΣ Β. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ & ΣΙΑ Ο.Ε.» προμηθεύεται την υδράσβεστό της (5) από τη ΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗ ΑΣΒΕΣΤΟΠΟΙΑ (6).

5. Συγκεντρωτικά και για μεγαλύτερη κατανόηση του αναγνώστη, παρατίθεται το παρακάτω σχέδιο το οποίο δείχνει την πορεία των υδράσβεστων πριν φτάσουν στο συγκεκριμένο εργαστήριο και αναλυθούν.



Έτσι δικαιολογείται και η σχέση που έχουν συγκρινόμενες μεταξύ τους.

7.3.3. Θηραϊκή γη, Μηλαϊκή γη, Ασβεστομίξ

Όπως στα παραπάνω δείγματα, έτσι και σε αυτά, η αναλογία των ορυκτών βασίζεται στο ‘σίγουρο’ ποσοστό του ασβεστίτη από το ασβεστίμετρο. Βέβαια εδώ και συγκεκριμένα στη θηραϊκή γη το υπόλοιπο ποσοστό αντιστοιχεί κυρίως στο άμορφο υλικό το οποίο υπάρχει σε μεγάλη αναλογία στις ποζολάνες γενικότερα. Δε κρίθηκε αναγκαία η αναλυτική μελέτη των ποσοστών που συμμετέχουν τα ορυκτά σε αυτά τα δείγματα διότι τα δείγματα αυτά δεν επιλέχθηκαν για περαιτέρω μελέτη. Πάντως να αναφερθεί ότι τα ορυκτά τα οποία αναφέρονται στην ορυκτολογική ανάλυση περιέχονται γενικά σε δύσκολα προσδιορίσιμες ποσότητες, καθώς και τα τρία δείγματα έχουν άμορφο υλικό.

7.3.4. Kourasanit, Unicret, Rapicret.

Σε αυτά τα δείγματα μπορούμε να ακολουθήσουμε την εξής διαδικασία. Ο δολομίτης έχει το χημικό τύπο $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Με βάση τα ατομικά τους βάρη η αναλογία σε οξείδια στο δολομίτη είναι: $\text{MgO}=21.73\%$, $\text{CaO}=30.43\%$ και σε $\text{CO}_2=47.84\%$. Με αυτή την έννοια, και αν υποθέσουμε ότι όλο το οξείδιο του μαγνησίου που υπολογίστηκε στη φασματοσκοπία ακτίνων-X (XRF) οφείλεται στο δολομίτη (δε φάνηκε η παρουσία άλλου ορυκτού που να περιέχει μαγνήσιο), μπορεί να υπολογιστεί η περιεκτικότητα του

δείγματος σε δολομίτη ως εξής: Αν το δείγμα αποτελούταν 100% από δολομίτη, θα είχαμε 21.73% MgO. Με το ποσοστό σε MgO που υπολογίστηκε ότι έχουμε, με απλή μέθοδο των τριών υπολογίζεται το πραγματικό ποσοστό σε δολομίτη. Αυτό συγκρίνεται με το ποσοστό που βρήκαμε με το ασβεστίμετρο και αναλύονται τα αποτελέσματα. Στον πίνακα 7.15. που ακολουθεί, φαίνονται τα αποτελέσματα του υπολογισμού του ποσοστού σε δολομίτη με αυτόν τον τρόπο, καθώς και το ποσοστό το οποίο υπολογίστηκε με το ασβεστίμετρο και με το πρόγραμμα Siroquant.

Κωδ.	Δείγμα	MgO %	Δολομίτης % (υπολογιστικά βάσει του MgO)	Δολομίτης % (ασβεστίμετρο)	Δολομίτης % (Siroquant)
1	Kourasanit	12.37	56.93	50.03	90.1
2	Kourasanit	12.29	56.58	44.48	86.1
3	Unicret-fast	15.07	69.33	43.30	95.3
4	Rapicret	12.78	58.82	35.32	90.5

Πίνακας 7.15. Αποτελέσματα υπολογισμού ποσοστού δολομίτη

Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

1. Παρατηρούμε μια μεγάλη απόκλιση στις τιμές του ποσοστού του δολομίτη με τους τρεις αυτούς διαφορετικούς τρόπους.
2. Οι τιμές του Siroquant είναι κατά πολύ υπερτιμημένες και θέλουν διόρθωση. Αυτό ήταν αναμενόμενο διότι ιδίως τα δείγματα 1 και 2 περιέχουν και θηραϊκή γη της οποίας το μεγαλύτερο ποσοστό δεν αναγνωρίζεται επειδή είναι άμορφο και επίσης δε μέτρησε το πρόγραμμα και το ποσοστό σε αστρίους.
3. Οι τιμές του ασβεστιμέτρου σε δολομίτη είναι υποτιμημένες για τους λόγους που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο (7.1.4.B, δείγματα με ασβεστίτη και δολομίτη,

συμπ.1). Άρα ενισχύεται ο ισχυρισμός για την αναξιοπιστία των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με ασβεστίμετρο σε δείγματα με δολομίτη.

4. Μπορούμε να θεωρήσουμε αξιόπιστες τις τιμές που υπολογίσαμε με αυτόν τον τρόπο, χωρίς βέβαια να ανταποκρίνονται 100% στην πραγματικότητα, λόγω ότι θεωρήσαμε ότι όλο το μαγνήσιο οφείλεται στο δολομίτη ενώ μπορεί να βρίσκονται μέσα στο δείγμα, καθώς αδρανές, και διάφορα άλλα ορυκτά σε μικρές ποσότητες, «βρωμιές», τα οποία να βρέθηκαν τυχαία στο δείγμα. (Εδώ αξίζει να αναφερθεί ότι στη μελέτη με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο στο δείγμα 1 βρέθηκε τιτανίτης (CaSiTiO_5), ο οποίος προφανώς είχε τυχαία παρουσία στο δείγμα και καθώς δε φάνηκε και τίποτα στην ορυκτολογική ανάλυση, κρίθηκε ανούσιο το να αναφερθεί σαν ορυκτό. Αντίστοιχο τέτοιο ορυκτό με Mg, θα μπορούσε να αλλάξει ελάχιστα τα δεδομένα αν τύχει και βρεθεί σε κάποια ποσότητα μέσα στα 5gr του υλικού με τα οποία κατασκευάζονται τα προς ανάλυση δείγματα στο XRF).

5. Επαληθεύτηκε ο ισχυρισμός για τα σφάλματα στη μέτρηση του ποσοστού δείγματος σε δολομίτη με το ασβεστίμετρο.

6. Βάσει των αναλογιών ασβεστίτη – δολομίτη που υπολογίστηκαν με το πρόγραμμα Siroquant (πίνακας 7.11.) και του ποσοστού σε δολομίτη που υπολογίστηκε με τον παραπάνω τρόπο (πίνακας 7.15), υπολογίζονται τα τελικά ποσοστά σε δολομίτη και ασβεστίτη των δειγμάτων, τα οποία φαίνονται στον πίνακα 7.16. που ακολουθεί .

Κωδ.	Ασβεστίτης %	Δολομίτης %	Ασβ.+ Δολ. %
1	2.31	56.93	59.24
2	4.99	56.58	61.57
11	3.34	69.33	72.67
12	3.82	58.82	62.64

Πίνακας 7.16. Τελικά ποσοστά σε ασβεστίτη και δολομίτη

7. Παρατηρούμε ότι και όσον αφορά στο ποσοστό του ασβεστίτη, αυτό ήταν υπερτιμημένο και με τη μέθοδο του ασβεστιμέτρου. Αυτό οφείλεται όπως αναφέρθηκε στο κεφ.7.1.4.B (συμπέρασμα 2), στα ασαφή όρια μεταξύ της αντίδρασης του ασβεστίτη και του δολομίτη με το HCl.

7.3. Αποτελέσματα κοκκομετρικών αναλύσεων

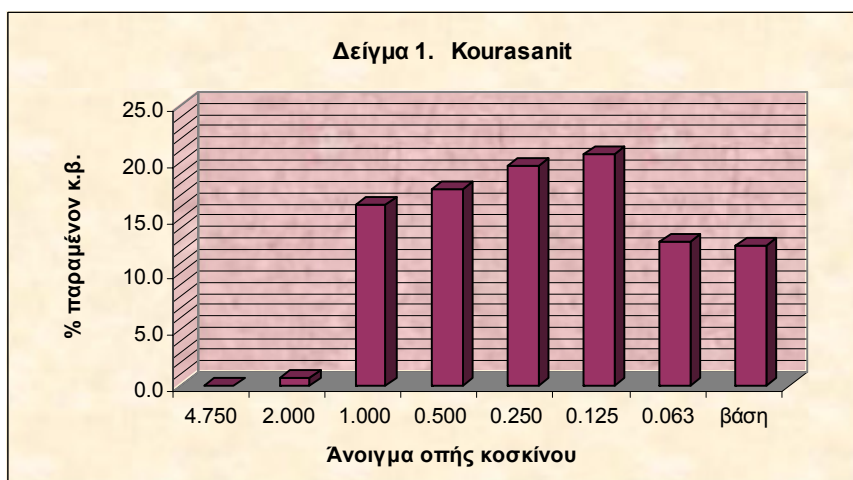
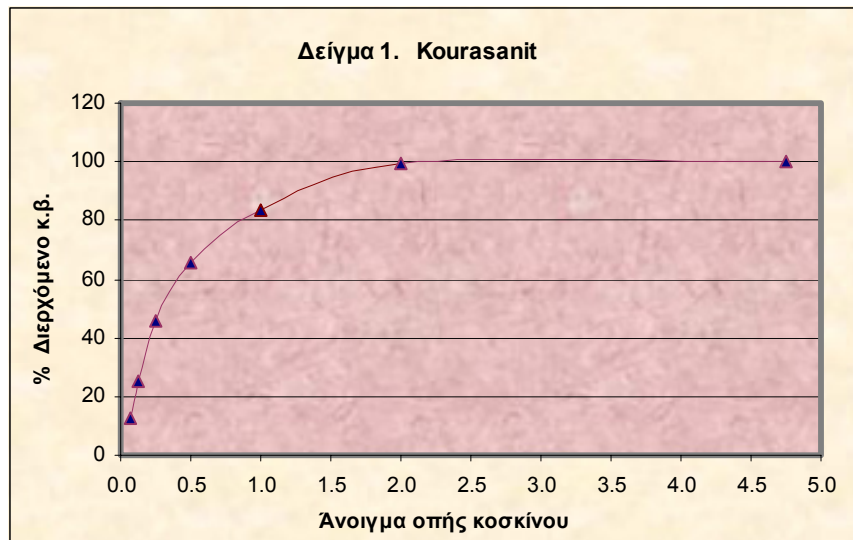


Φωτ.7.1. Πρότυπα κόσκινα

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων των πρώτων υλών.

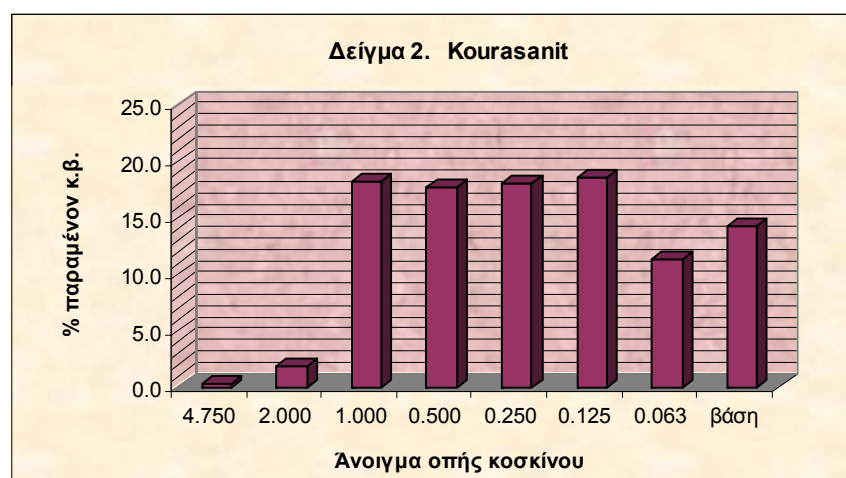
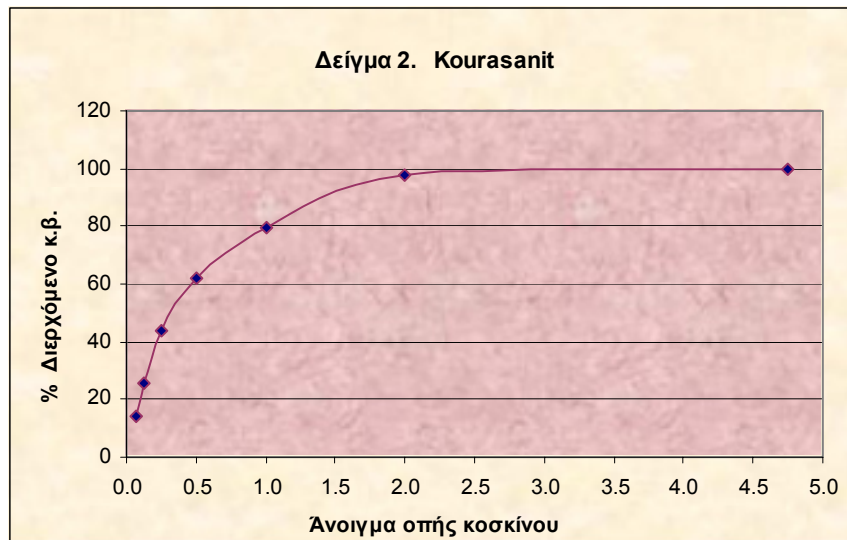
Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος 1: Kourasanit

Κοκ. κλάσμα (mm)	Βάρος παραμ. στο κόσκινο (gr)	Βάρος διερχ. από κόσκινο (gr)	Παραμένον κ.β. %	Διερχόμενο κ.β. %
>4,75	0.0	300.0	0.0	100.0
4.750	0.0	300.0	0.0	100.0
2.000	1.9	298.1	0.6	99.4
1.000	48.4	249.7	16.1	83.2
0.500	52.6	197.1	17.5	65.7
0.250	58.9	138.2	19.6	46.1
0.125	62.2	76.0	20.7	25.3
0.063	38.6	37.4	12.9	12.5
βάση	37.4	0.0	12.5	0.0
Σύνολο	300.0		100.0	



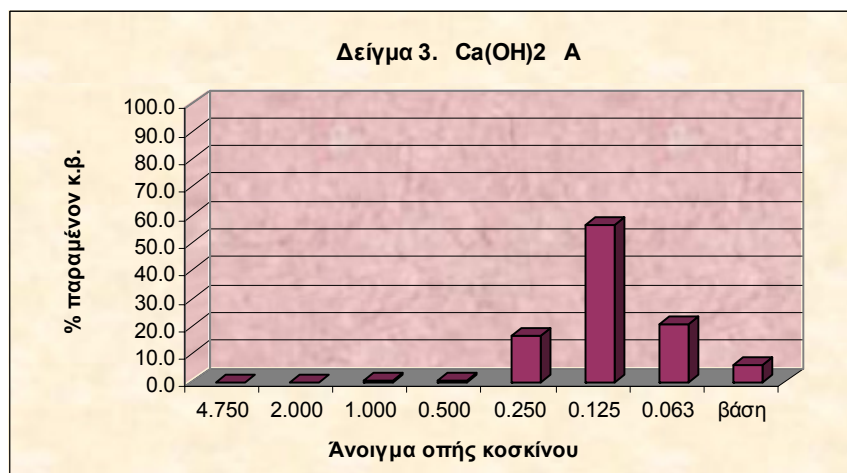
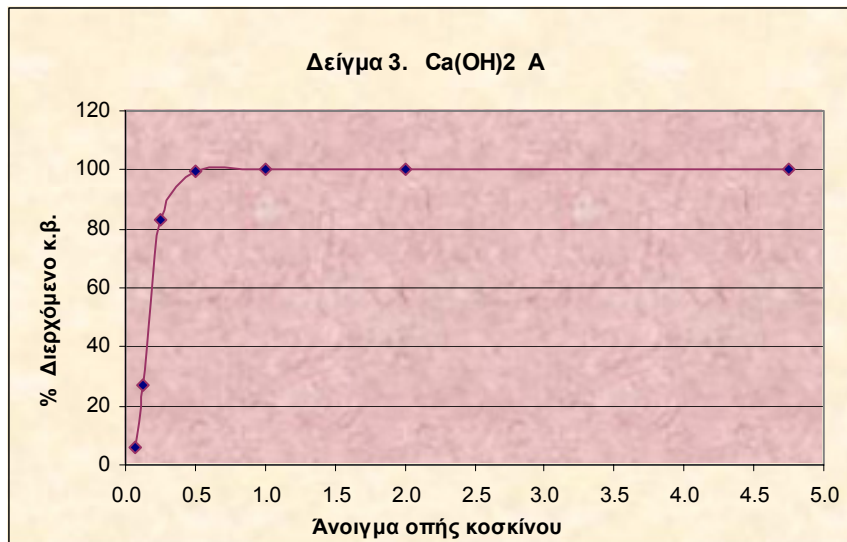
Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος 2: Kourasanit

Κοκ. κλάσμα (mm)	Βάρος παραμ. στο κόσκινο (gr)	Βάρος διερχ. από κόσκινο (gr)	Παραμένον κ.β. %	Διερχόμενο κ.β. %
>4,75	0.0	300.0	0.0	100.0
4.750	0.8	299.2	0.3	99.7
2.000	5.4	293.8	1.8	97.9
1.000	54.8	239.0	18.3	79.7
0.500	52.9	186.1	17.6	62.0
0.250	53.9	132.2	18.0	44.1
0.125	55.5	76.7	18.5	25.6
0.063	34.0	42.7	11.3	14.2
βάση	42.7	0.0	14.2	0.0
Σύνολο	300.0		100.0	



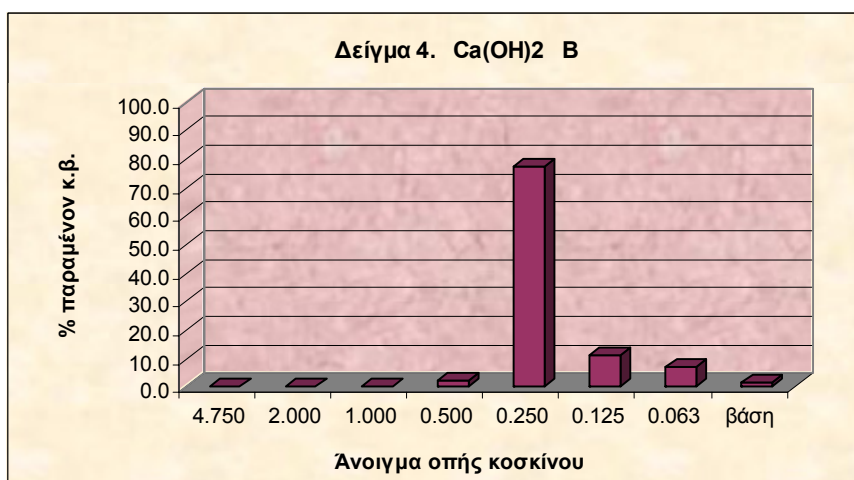
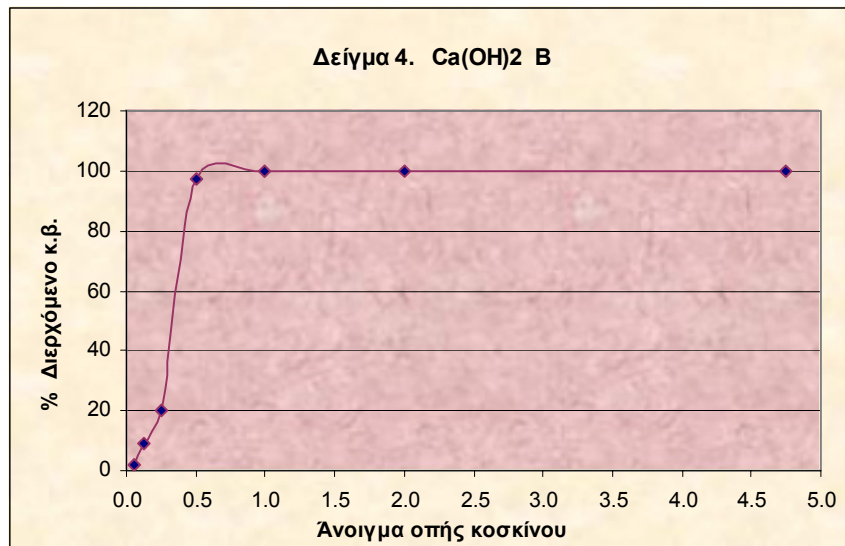
Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος 3: Υδράσβεστος Α

Κοκ. κλάσμα (mm)	Βάρος παραμ. στο κόσκινο (gr)	Βάρος διερχ. από κόσκινο (gr)	Παραμένον κ.β. %	Διερχόμενο κ.β. %
>4,75	0.0	100.0	0.0	100.0
4.750	0.0	100.0	0.0	100.0
2.000	0.0	100.0	0.0	100.0
1.000	0.1	99.9	0.1	99.9
0.500	0.3	99.6	0.3	99.6
0.250	16.5	83.1	16.5	83.1
0.125	56.2	26.9	56.2	26.9
0.063	20.9	6.0	20.9	6.0
βάση	6.0	0.0	6.0	0.0
Σύνολο	100.0		100.0	



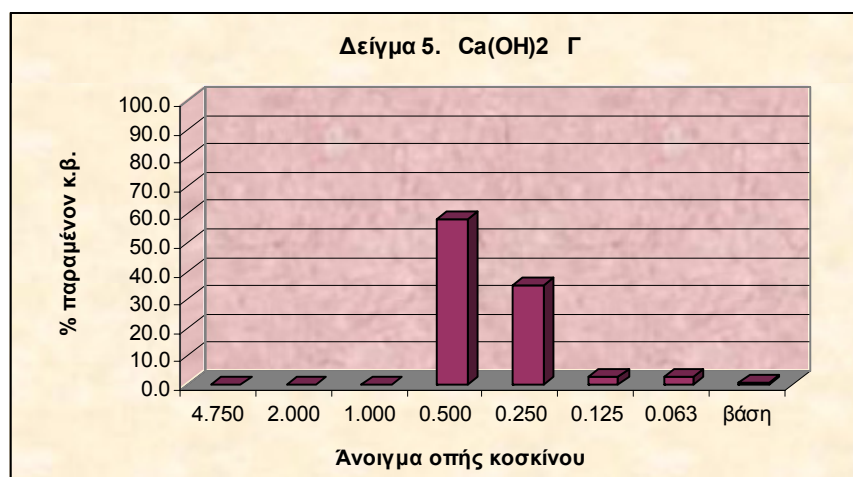
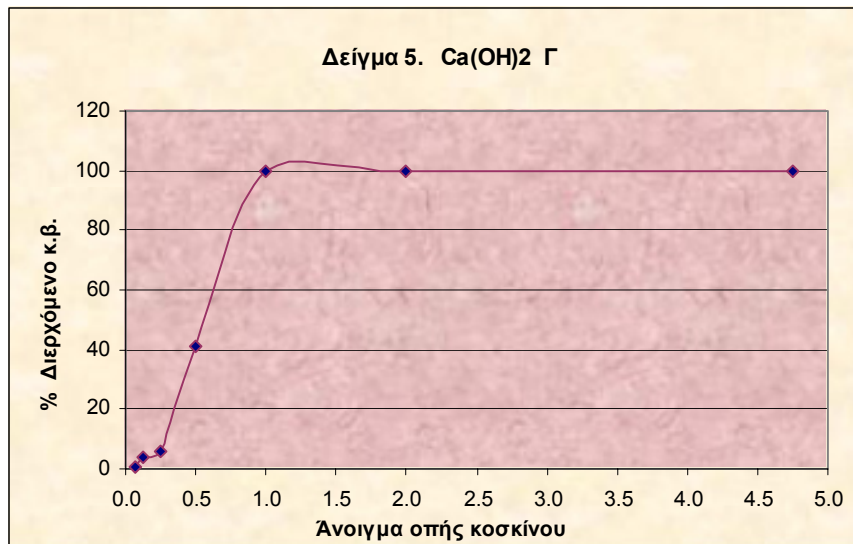
Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος 4: Υδράσβεστος Β

Κοκ. κλάσμα (mm)	Βάρος παραμ. στο κόσκινο (gr)	Βάρος διερχ. από κόσκινο (gr)	Παραμένον κ.β. %	Διερχόμενο κ.β. %
>4,75	0.0	100.0	0.0	100.0
4.750	0.0	100.0	0.0	100.0
2.000	0.0	100.0	0.0	100.0
1.000	0.2	99.8	0.2	99.8
0.500	2.4	97.4	2.4	97.4
0.250	77.4	20.0	77.4	20.0
0.125	11.1	8.9	11.1	8.9
0.063	7.0	1.9	7.0	1.9
βάση	1.9	0.0	1.9	0.0
Σύνολο	100.0		100.0	



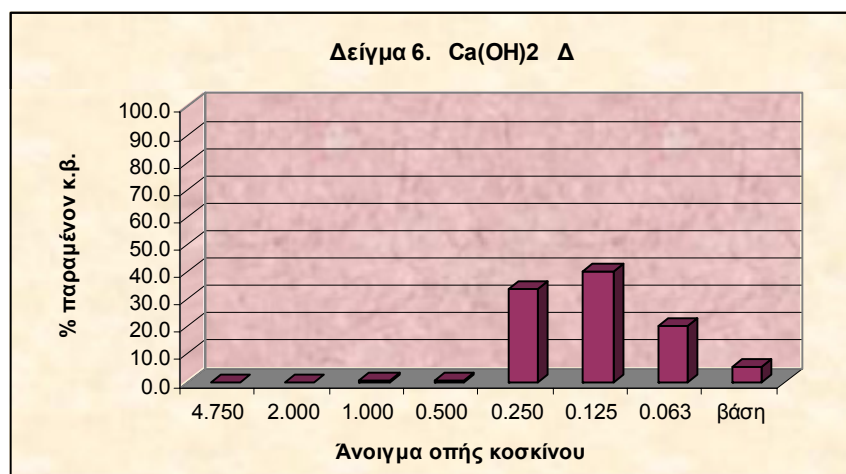
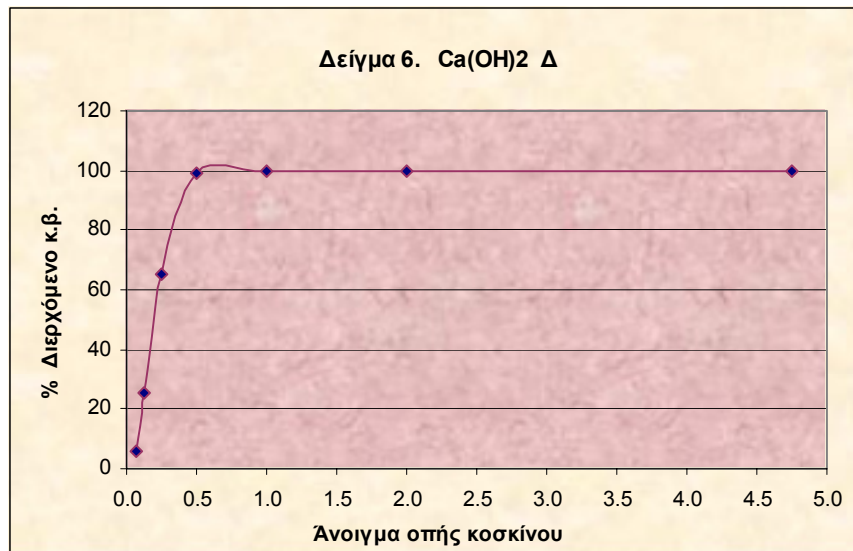
Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος 5: Υδράσβεστος Γ

Κοκ. κλάσμα (mm)	Βάρος παραμ. στο κόσκινο (gr)	Βάρος διερχ. από κόσκινο (gr)	Παραμένον κ.β. %	Διερχόμενο κ.β. %
>4,75	0.0	300.0	0.0	100.0
4.750	0.0	100.0	0.0	100.0
2.000	0.0	100.0	0.0	100.0
1.000	0.3	99.7	0.3	99.7
0.500	58.5	41.2	58.5	41.2
0.250	35.1	6.1	35.1	6.1
0.125	2.5	3.6	2.5	3.6
0.063	2.9	0.7	2.9	0.7
βάση	0.7	0.0	0.7	0.0
Σύνολο	100.0		100.0	



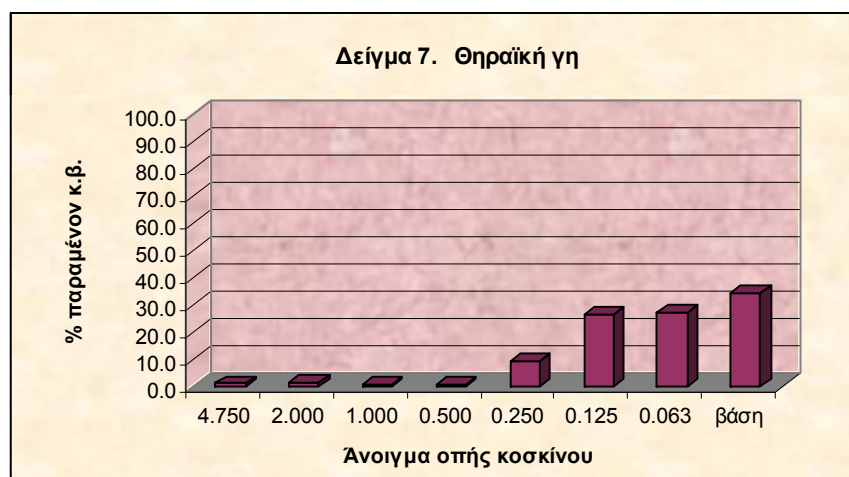
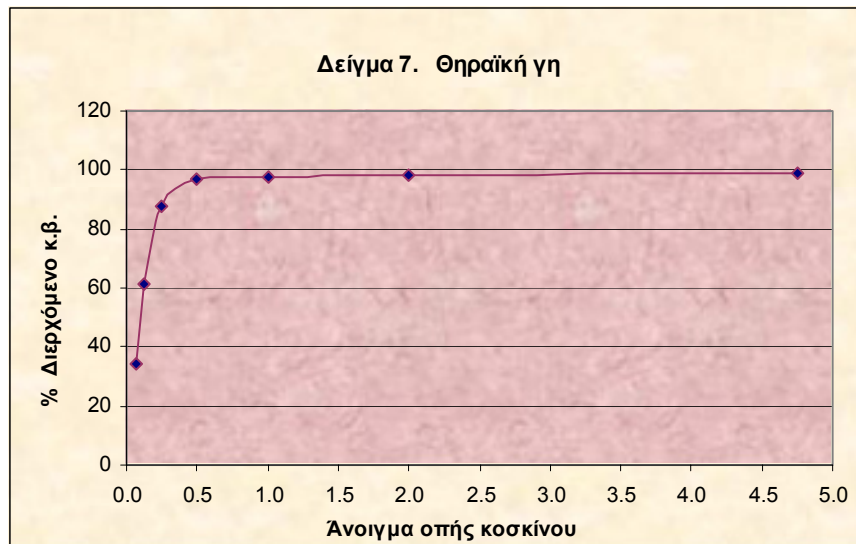
Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος 6: Υδράσβεστος Δ

Κοκ. κλάσμα (mm)	Βάρος παραμ. στο κόσκινο (gr)	Βάρος διερχ. από κόσκινο (gr)	Παραμένον κ.β. %	Διερχόμενο κ.β. %
>4,75	0.0	300.0	0.0	100.0
4.750	0.0	100.0	0.0	100.0
2.000	0.0	100.0	0.0	100.0
1.000	0.2	99.8	0.2	99.8
0.500	0.6	99.2	0.6	99.2
0.250	33.7	65.5	33.7	65.5
0.125	39.8	25.7	39.8	25.7
0.063	20.1	5.6	20.1	5.6
βάση	5.6	0.0	5.6	0.0
Σύνολο	100.0		100.0	



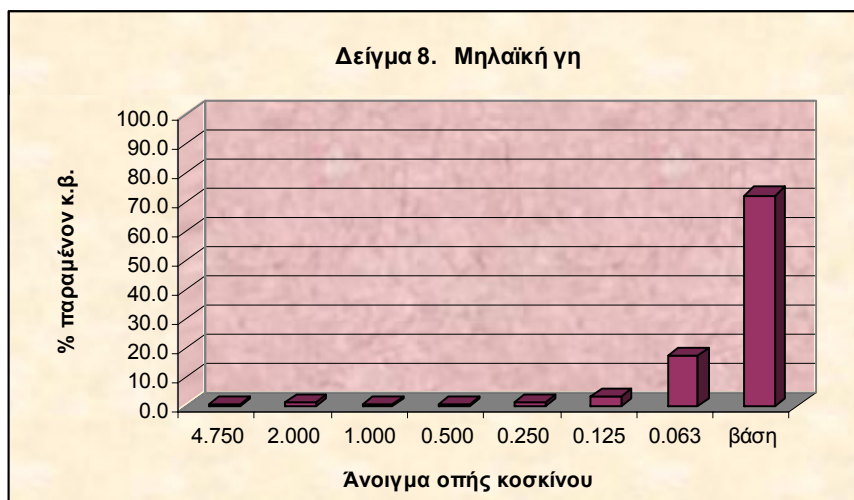
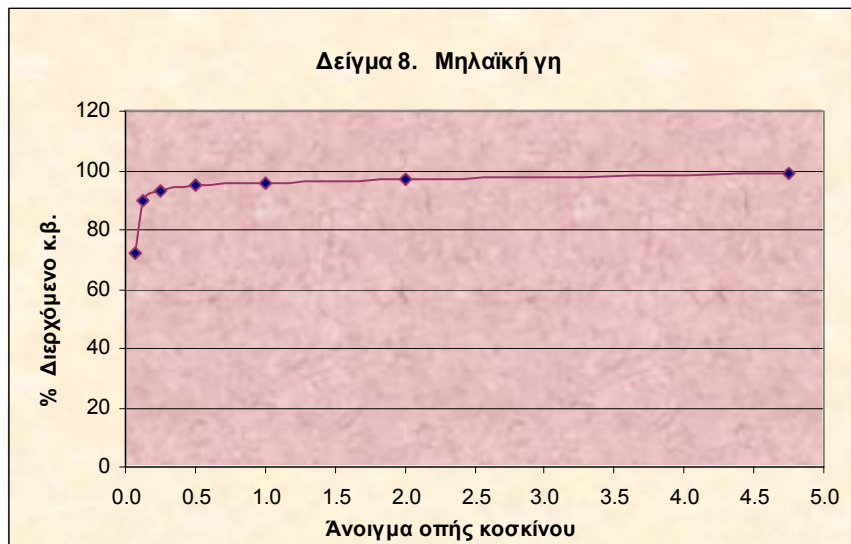
Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος 7: Θηραϊκή γη

Κοκ. κλάσμα (mm)	Βάρος παραμ. στο κόσκινο (gr)	Βάρος διερχ. από κόσκινο (gr)	Παραμένον κ.β. %	Διερχόμενο κ.β. %
>4,75	0.0	300.0	0.0	100.0
4.750	0.8	99.2	0.8	99.2
2.000	1.1	98.1	1.1	98.1
1.000	0.7	97.4	0.7	97.4
0.500	0.7	96.7	0.7	96.7
0.250	9.1	87.6	9.1	87.6
0.125	26.5	61.1	26.5	61.1
0.063	26.8	34.3	26.8	34.3
βάση	34.3	0.0	34.3	0.0
Σύνολο	100.0		100.0	



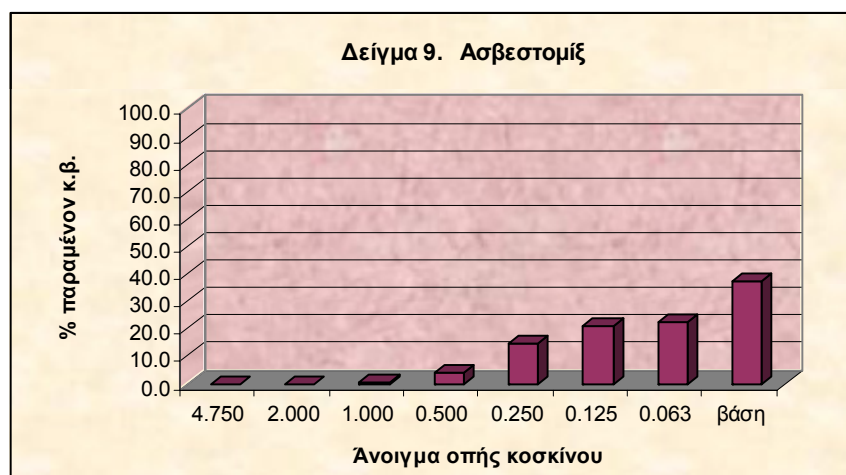
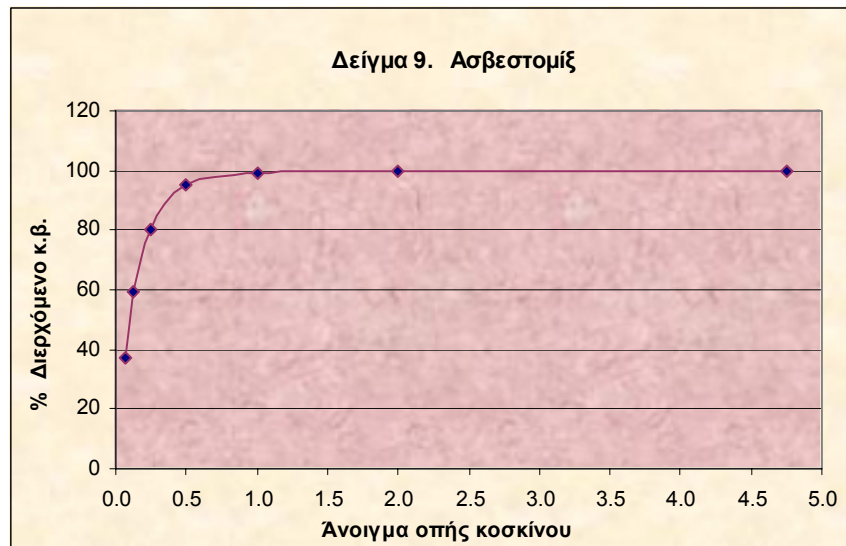
Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος 8: Μηλαϊκή γη

Κοκ. κλάσμα (mm)	Βάρος παραμ. στο κόσκινο (gr)	Βάρος διερχ. από κόσκινο (gr)	Παραμένον κ.β. %	Διερχόμενο κ.β. %
>4,75	0.0	100.0	0.0	100.0
4.750	1.2	98.8	1.2	98.8
2.000	1.7	97.1	1.7	97.1
1.000	1.1	96.0	1.1	96.0
0.500	1.1	94.9	1.1	94.9
0.250	1.5	93.4	1.5	93.4
0.125	3.8	89.6	3.8	89.6
0.063	17.4	72.2	17.4	72.2
βάση	72.2	0.0	72.2	0.0
Σύνολο	100.0		100.0	



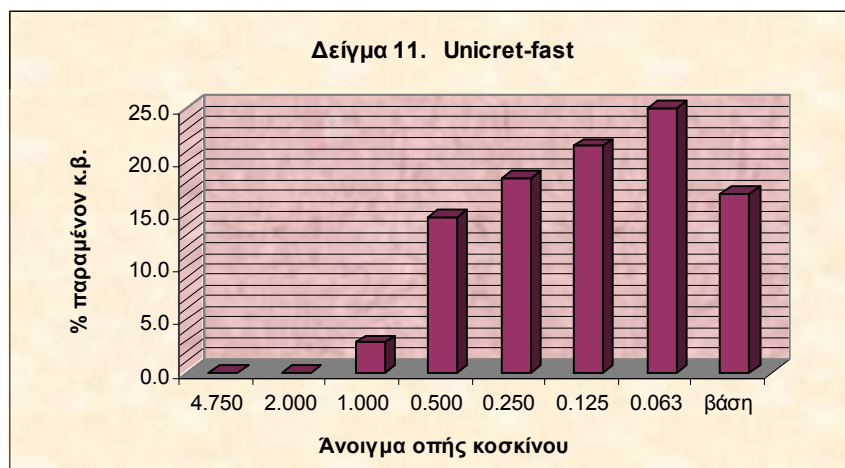
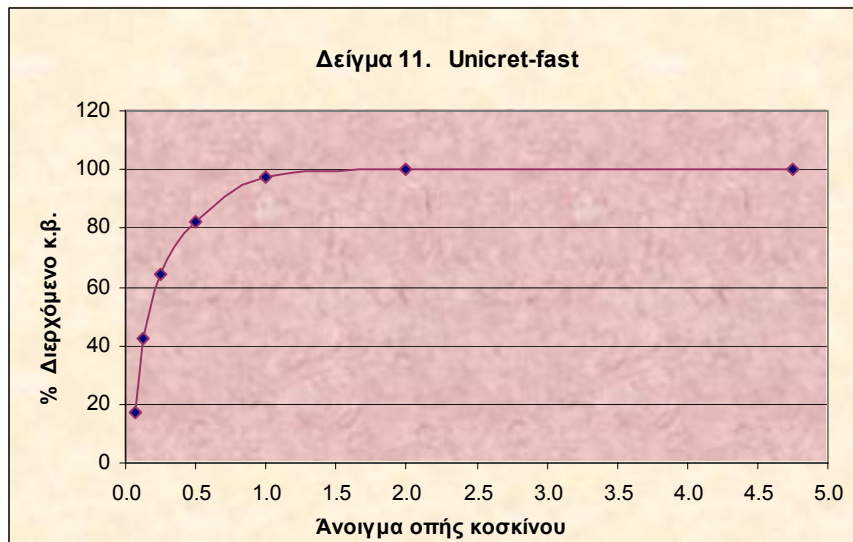
Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος 9: Ασβεστομίξ

Κοκ. κλάσμα (mm)	Βάρος παραμ. στο κόσκινο (gr)	Βάρος διερχ. από κόσκινο (gr)	Παραμένον κ.β. %	Διερχόμενο κ.β. %
>4,75	0.0	100.0	0.0	100.0
4.750	0.0	100.0	0.0	100.0
2.000	0.0	100.0	0.0	100.0
1.000	0.7	99.3	0.7	99.3
0.500	4.2	95.1	4.2	95.1
0.250	14.6	80.5	14.6	80.5
0.125	20.9	59.6	20.9	59.6
0.063	22.3	37.3	22.3	37.3
βάση	37.3	0.0	37.3	0.0
Σύνολο	100.0		100.0	



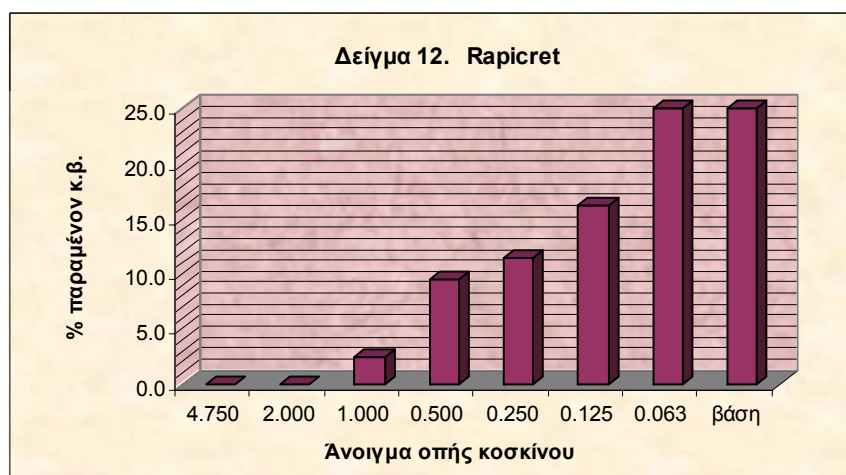
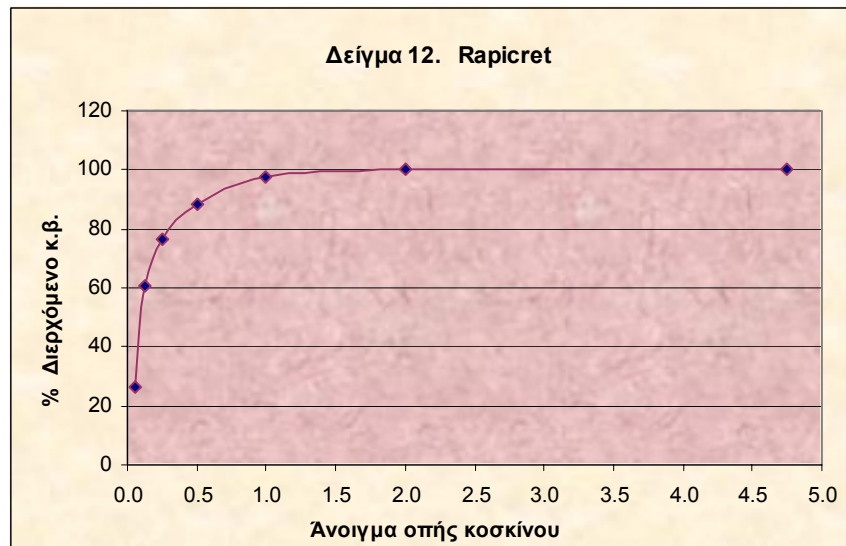
Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος 11: Unicret-fast

Κοκ. κλάσμα (mm)	Βάρος παραμ. στο κόσκινο (gr)	Βάρος διερχ. από κόσκινο (gr)	Παραμένον κ.β. %	Διερχόμενο κ.β. %
>4,75	0.0	300.0	0.0	100.0
4.750	0.0	300.0	0.0	100.0
2.000	0.0	300.0	0.0	100.0
1.000	8.4	291.6	2.8	97.2
0.500	44.1	247.5	14.7	82.5
0.250	55.2	192.3	18.4	64.1
0.125	64.4	127.9	21.5	42.6
0.063	77.0	50.9	25.7	17.0
βάση	50.9	0.0	17.0	0.0
Σύνολο	300.0		100.0	



Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος 12: Rapicret

Κοκ. κλάσμα (mm)	Βάρος παραμ. στο κόσκινο (gr)	Βάρος διερχ. από κόσκινο (gr)	Παραμένον κ.β. %	Διερχόμενο κ.β. %
>4,75	0.0	300.0	0.0	100.0
4.750	0.0	300.0	0.0	100.0
2.000	0.0	300.0	0.0	100.0
1.000	7.4	292.6	2.5	97.5
0.500	28.5	264.1	9.5	88.0
0.250	34.3	229.8	11.4	76.6
0.125	48.6	181.2	16.2	60.4
0.063	101.3	79.9	33.8	26.6
βάση	79.9	0.0	26.6	0.0
Σύνολο	300.0		100.0	



8. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΚΥΒΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

8.1. Γενικά

Κατασκευάστηκαν συνολικά έξι διαφορετικά είδη κυβικών δοκιμίων με τις πρώτες ύλες που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 6.

Τα δοκίμια αυτά κατασκευάστηκαν σε ξύλινα και σε μεταλλικά καλούπια διαστάσεων 5 x 5 x 5 cm (βλ. φωτογραφίες παραρτήματος Α). Στα δοκίμια έγινε έλεγχος της μηχανικής τους αντοχής σε θλίψη στις 28 και στις 120 μέρες. Αντίστοιχα έγινε ορυκτολογική ανάλυση στα ίδια διαστήματα. Επίσης μπήκαν σε θάλαμο γήρανσης την 70^η μέρα από την παρασκευή τους και παρέμειναν εκεί για 50 μέρες-κύκλους (ψύξη θέρμανση από -18° C σε +32° C). Μετά την έξοδό τους από το θάλαμο γήρανσης έγινε νέος έλεγχος της αντοχής τους σε θλίψη καθώς και νέα ορυκτολογική ανάλυση.

Κατά το διάστημα ανάμεσα στις ημερομηνίες διεξαγωγής των πειραμάτων, τα δοκίμια παρέμειναν σε συνθήκες σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας δωματίου.

Οι αναλογίες των πρώτων υλών καθώς και οι διαδικασίες παρασκευής των δοκιμίων καθορίστηκαν από τις οδηγίες χρήσης του κάθε κονιάματος όπως αυτές δίνονται από τις εταιρίες, καθώς και από αντίστοιχη βιβλιογραφία.

Συνολικά κατασκευάστηκαν 59 κυβικά δοκίμια από τις παρακάτω πρώτες ύλες.

1. Έτοιμο κονίαμα Kourasanit (0-6) (2) από την εταιρία «ΤΡΑΤΣΕΛΑΣ Β. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ & ΣΙΑ Ο.Ε.» με υδράσβεστο (3)
2. Έτοιμο κονίαμα Kourasanit (0-2) (1) από την εταιρία «ΤΡΑΤΣΕΛΑΣ Β. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ & ΣΙΑ Ο.Ε.» με υδράσβεστο (3)

3. Έτοιμο κονίαμα Kourasanit (0-6) (2) από την εταιρία «ΤΡΑΤΣΕΛΑΣ Β. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ & ΣΙΑ Ο.Ε.» με υδράσβεστο (5)
4. Έτοιμο κονίαμα Kourasanit (0-6) (2) από την εταιρία «ΤΡΑΤΣΕΛΑΣ Β. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ & ΣΙΑ Ο.Ε.» με υδράσβεστο (3) και προσθήκη οικοδομικής ρητίνης
5. Έτοιμο τσιμεντοκονίαμα Unicret-fast (11)
6. Έτοιμο τσιμεντοκονίαμα Rapicret (12)

8.2. Διαδικασία παρασκευής

Η διαδικασία παρασκευής των κονιαμάτων παίζει σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση των ιδιοτήτων τους. Η **καλή ανάμειξη** των πρώτων υλών και η **σωστή τοποθέτηση** του μείγματος στα καλούπια, καθώς βέβαια και η **σύσταση των πρώτων υλών** (αδρανές/κονία/νερό) (βλ. κεφ. 8.3.) αποτελούν κάποιους από τους παράγοντες που συνεισφέρουν στο αποτέλεσμα αυτό.

Στην πράξη ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία. Αφού μετρήθηκαν οι ποσότητες των πρώτων υλών, έγινε η ανάμειξή τους σε **μηχανικό αναδευτήρα** (φωτ. 8.1.) με νερό. Αρχικά στον αναδευτήρα τοποθετήθηκε η κονία (για τα 4 πρώτα δείγματα, διότι τα 2 έτοιμα τσιμεντοκονιάματα περιείχαν την κονία μέσα στη συσκευασία αναμειγμένη με το αδρανές). Μπηκε ο αναδευτήρας σε λειτουργία, ενώ ταυτόχρονα προστέθησαν σιγά σιγά η απαιτούμενη ποσότητα του νερού που είχε υπολογιστεί. Μετά και την προσθήκη του νερού, προστέθηκε, πάλι σιγά σιγά, το αδρανές, και το μίγμα παρέμεινε στον αναδευτήρα για περίπου για 25 λεπτά.



Φωτ. 8.1. Μηχανικός αναδευτήρας

Μετά την ανάμειξη, το μείγμα τοποθετήθηκε στα **καλούπια**. Τα καλούπια είχαν αλειφθεί εσωτερικά με λίγο λάδι για την εύκολη εξαγωγή των δοκιμίων μετά την πήξη τους. Η τοποθέτηση του δείγματος στα καλούπια έγινε με μικρή σπάτουλα, και με ιδιαίτερη προσοχή έτσι ώστε να μην αφήνονται κενά (εγκλωβισμένος αέρας).



Φωτ. 8.2. Τοποθέτηση υλικού σε ξύλινα κυβικά καλούπια

Το υλικό παρέμεινε στα καλούπια περίπου για 10 μέρες (φωτ.8.3.), από τις οποίες στις πρώτες 5 διαβρεχόταν έτσι ώστε να έχει μια μόνιμη υγρασία και να μη ‘σκάσει’.



Φωτ. 8.3. Παραμονή υλικού σε ξύλινα και μεταλλικά καλούπια

Μετά το πέρας των δέκα ημερών τα δοκίμια βγήκαν από τα καλούπια κα παρέμειναν σε συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας δωματίου για την περαιτέρω σκλήρυνσή τους.

8.3. Σύσταση κονιαμάτων - Αναλογίες

Οι αναλογίες των πρώτων υλών καθορίστηκαν κυρίως από τις οδηγίες που αναφέρονταν στα φυλλάδια των εταιριών αλλά και από ανάλογη βιβλιογραφία.

Οι αναλογίες του κάθε κονιάματος καθώς και η ποσότητα του νερού φαίνονται στους πίνακες που ακολουθούν.

Α) Δοκίμιο 1 (συνολικά 15 δοκίμια)

1. Έτοιμο κονίαμα Kourasanit (2), (ποταμίσια δολομιτική άμμος, θηραϊκή γη, κεραμάλευρο)
2. Υδράσβεστος με μικρή προσθήκη τσιμέντου (3),
3. Νερό βρύσης.

Δείγμα 1	Kourasanit (2)	Ca(OH)₂ (A)	H₂O
Κατ'όγκο (ml)	800 ml	350 ml	297 ml
% αναλογία μείγματος	55 %	24 %	20 %
Κατά βάρος (gr)	1000 gr	200 gr	297 gr
% αναλογία μείγματος	66 %	14 %	30 %

Β) Δοκίμιο 2 (συνολικά 9 δοκίμια)

1. Έτοιμο κονίαμα Kourasanit (1), (ποταμίσια δολομιτική άμμος, θηραϊκή γη, κεραμάλευρο)
2. Υδράσβεστος ξηρή αλεσμένη με μικρή προσθήκη τσιμέντου (3),
3. Νερό βρύσης

Δείγμα 2	Kourasanit (1)	Ca(OH)₂ (A)	H₂O
Κατ'όγκο (ml)	800 ml	350 ml	297 ml
% αναλογία μείγματος	55 %	24 %	20 %
Κατά βάρος (gr)	1000 gr	200 gr	297 gr
% αναλογία μείγματος	66 %	14 %	20 %

Γ) Δοκίμιο 3 (συνολικά 10 δοκίμια)

1. Έτοιμο κονίαμα Kourasanit (2), (ποταμίσια δολομιτική άμμος, θηραϊκή γη, κεραμάλευρο)
2. Υδράσβεστος ξηρή αλεσμένη (5),
3. Νερό βρύσης

Δείγμα 3	Kourasanit (2)	Ca(OH)₂ (Γ)	H₂O
Κατ'όγκο (ml)	800 ml	350 ml	297 ml
% αναλογία μείγματος	55 %	24 %	20 %
Κατά βάρος (gr)	1000 gr	160 gr	297 gr
% αναλογία μείγματος	68 %	11 %	21 %

Δ) Δοκίμιο 4 (συνολικά 8 δοκίμια)

1. Έτοιμο κονίαμα Kourasanit (2), (ποταμίσια δολομιτική άμμος, θηραϊκή γη, κεραμάλευρο)
2. Υδράσβεστος ξηρή αλεσμένη (5),
3. Νερό βρύσης
4. Οικοδομική ρητίνη Duro Stick D-20

Δείγμα 4	Kourasanit (2)	Ca(OH)₂ (Γ)	H₂O	Ρητίνη
Κατ'όγκο (ml)	1600 ml	740 ml	594 ml	200 ml
% αναλογία μείγματος	51 %	24 %	19 %	6 %
Κατά βάρος (gr)	2000 gr	320 gr	594 gr	---
% αναλογία μείγματος	---	---	---	---

Ε) **Δοκίμιο 5** (συνολικά 8 δοκίμια)

1. Έτοιμο τσιμεντοκονίαμα Unicret-fast (τσιμέντο και αδρανή συσκευασμένα μαζί)
2. Νερό βρύσης

Δείγμα 5	Unicret-fast	H₂O
Κατά βάρος (gr)	1000 gr	184 gr (ml)
% αναλογία μείγματος κ.β.	84 %	16 %

ΣΤ) **Δοκίμιο 6** (συνολικά 9 δοκίμια)

1. Έτοιμο τσιμεντοκονίαμα Rapicret (τσιμέντο και αδρανή συσκευασμένα μαζί)
2. Νερό βρύσης

Δείγμα 6	Rapicret	H₂O
Κατά βάρος (gr)	750 gr	150 gr (ml)
% αναλογία μείγματος κ.β.	83 %	17 %

Παρατηρήσεις από την κατασκευή των δοκιμίων

1. Το έτοιμο τσιμεντοκονίαμα Rapicret, αντέδρασε με το ξύλινο καλούπι με αποτέλεσμα να καταστραφεί μερικώς το καλούπι. Κατασκευάστηκαν νέα δοκίμια σε μεταλλικά καλούπια. Καλό είναι λοιπόν να αποφεύγονται τα ξύλινα καλούπια σε ισχυρά τσιμεντοκονιάματα.
2. Στο δοκίμιο 4 (ρητίνη), παρατηρήθηκε μεγάλη συρρίκνωση του όγκου του δοκιμίου κατά την πήξη. Οφείλεται στο ποσοστό του γαλακτώματος της ρητίνης. Η προσθήκη ρητίνης έγινε σύμφωνα με τις αναλογίες που αναγράφονται πάνω στο κουτί της).
3. Όλα τα υπόλοιπα κονιάματα δεν παρουσίασαν κανένα πρόβλημα στην κατασκευή κυβικών δοκιμίων



Φωτ. 8.4. *Πρώτες ύλες λίγο πριν την ανάμειξη*

8.4. Αντοχή κυβικών δοκιμίων

Η μελέτη της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη των κυβικών δοκιμίων έγινε με κατάλληλη συσκευή, η οποία βρίσκεται στο 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 καταγράψει 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 σερβουδραυλικό 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 :^[5]

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

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

όπου:

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

L₀ = το 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 (m²) 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.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται τα αποτελέσματα της αντοχής σε θλίψη στις 28 και στις 120 μέρες μετά την ημερομηνία κατασκευής τους, όπως αυτές προέκυψαν μετά από επεξεργασία των δεδομένων που έδωσε η συσκευή μετρήσης.

Κωδικός δοκιμίου	Δοκίμιο	Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη στις 28 μέρες (MPa)	Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη στις 120 μέρες (MPa)
1	Kourasanit (2) με $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Α	2.61	2.22
2	Kourasanit (1) με $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Α	2.59	1.77
3	Kourasanit 2 με $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Γ	2.09	2.15
4	Kourasanit 2 με $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Γ και Ρητίνη	2.18	1.36
5	Unicret-fast	1.25	0.76
6	Rapicret	7.83	10.1

Πίνακας 8.1. Αντοχή κυβικών δοκιμίων σε μονοαξονική θλίψη

Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

1. Όλα τα κυβικά δοκίμια πλην του τσιμεντοκονιάματος Rapicret (6) έδωσαν μικρές τιμές στην αντοχή στη μονοαξονική θλίψη.
2. Οι τιμές αυτές δεν αυξήθηκαν μετά το πέρας των 120 ημερών όπως αναμενόταν. Μόνο στο Rapicret αυξήθηκε η αντοχή. Σε όλα τα υπόλοιπα δείγματα η αντοχή παρέμεινε σχεδόν η ίδια.
3. Στα δείγματα 1,2,3 και 4, αυτό εξηγείται εν μέρει από τη χαμηλή ποιότητα της υδρασβέστου που χρησιμοποιήθηκε. Υπήρχε εξ' αρχής μεγάλο ποσοστό σε ασβεστίτη, γεγονός που έκανε τμήμα της υδρασβέστου να λειτουργήσει σαν αδρανές (ανενεργή κονία). Επίσης οι ποζολάνες γενικά (θηραϊκή γη), αργούν πολύ να αντιδράσουν και να συμβάλουν στην αντοχή του κονιάματος (6 μήνες με ένα χρόνο).
4. Στο τσιμεντοκονίαμα Unicret-fast (5), η χαμηλή αντοχή ήταν αναμενόμενη διότι ήδη η πρώτη ορυκτολογική ανάλυση έδειξε σχετική απουσία κονίας
5. Τα κονιάματα αυτά όσον αφορά τις αντοχές τους κρίνονται ακατάλληλα, πλην του 6 που έτσι κι αλλιώς είναι ακατάλληλο σε επεμβάσεις συντήρησης και αναπαλαίωσης λόγω της παρουσίας γκρίζου τσιμέντου.

8.5. Τεχνητή γήρανση

Η συμπεριφορά και μελέτη των κυβικών δοκιμίων στην τεχνητή γήρανση έγινε στο Θάλαμο Τεχνητής Γήρανσης ο οποίος βρίσκεται στο Εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας στο Πολυτεχνείο Κρήτης. Συγκεκριμένα, ο θάλαμος τεχνητής γήρανσης είναι μια συσκευή η οποία με εναλλαγή της θερμοκρασίας (ψύξη-θέρμανση) φέρνει τα δείγματα σε συνθήκες τέτοιες ώστε να υποστούν σε σύντομο χρονικό διάστημα φθορές, τις οποίες πιθανόν να υποστούν στη μακροχρόνια παρουσία τους σε φυσικές συνθήκες.

Συγκεκριμένα τα κυβικά δοκίμια εισήχθησαν στο θάλαμο γήρανσης την 70^η ημέρα από την κατασκευή τους παρέμειναν εκεί για 50 ημέρες-50 κύκλους ψύξης θέρμανσης ανάμεσα στις θερμοκρασίες -18 °C και +32 °C. Πριν την είσοδό τους στο θάλαμο ακολουθήθηκε η εξής προεργασία. Ζυγίστηκαν για τον υπολογισμό του αρχικού τους βάρους, και αμέσως μετά μπήκαν στο φούρνο όπου και παρέμειναν για 24 ώρες στους 105 °C. Μετά το φούρνο ζυγίστηκαν πάλι. Πριν μπουνε τελικά στο θάλαμο γήρανσης εβαπτίσθηκαν σε διάλυμα ισοπροπυλικής αλκοόλης 0.5% (πρότυπα ASTM 5312) για αρκετή ώρα και ξαναυπολογίστηκε το βάρος τους. Κατά τη διάρκεια της παραμονής τους στο θάλαμο γήρανσης τα δοκίμια είχαν πάντοτε την απαιτούμενη υγρασία.

Κατά τη διάρκεια των 50 κύκλων ψύξης θέρμανσης, τα δείγματα βγήκαν μία φορά στις 12 ημέρες, παρέμειναν στο φούρνο για 24 ώρες στους 105 °C, υπολογίστηκε το βάρος που έχασαν, ξαναβαπτίσθηκαν στο διάλυμα της ισοπροπυλικής αλκοόλης και ξαναμπήκαν στο θάλαμο. Μετά το πέρας και των 50 ημερών ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία για τον υπολογισμό του τελικού βάρους που έχασαν. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας φαίνονται στον πίνακα 8.3 και στα διαγράμματα 8.1. και 8.2.

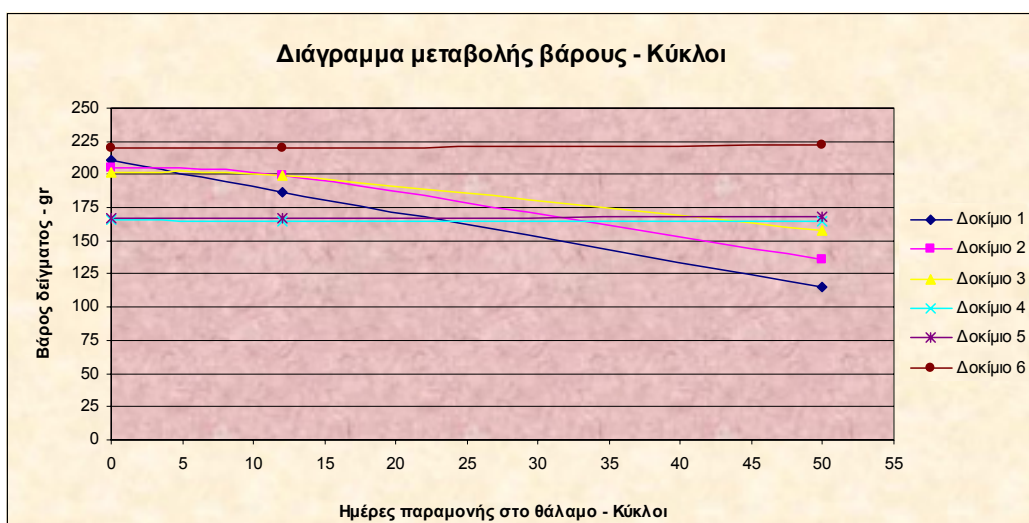
Μετά και την παραμονή των δειγμάτων στο θάλαμο τεχνητής γήρανσης, έγινε νέα ορυκτολογική μελέτη με περιθλασιμετρία ακτίνων-X, ενώ επίσης κατασκευάστηκαν λεπτές τομές για μελέτη στο πολωτικό μικροσκόπιο καθώς και στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης SEM.

Στον πίνακα 8.3. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίδρασης της τεχνητής γήρανσης στο βάρος των δοκιμίων.

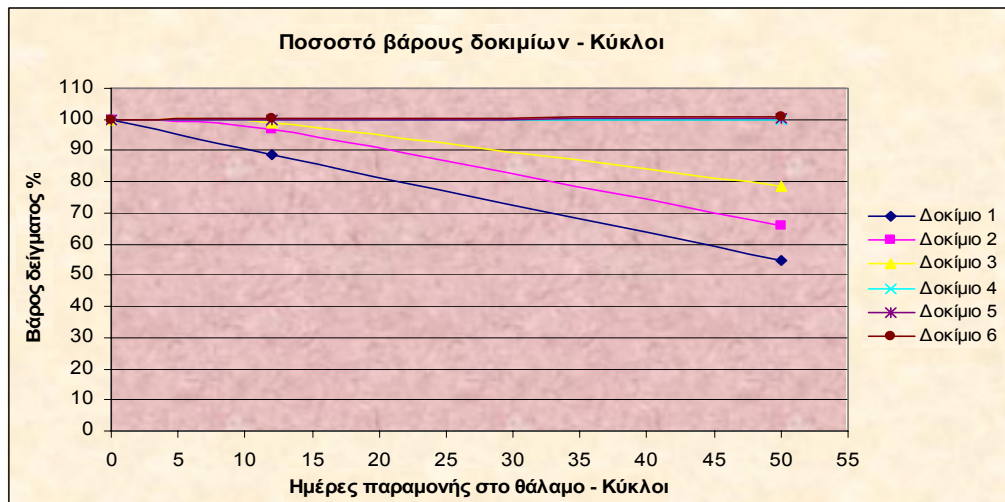
Κωδ. δείγμ.	Αρχικό βάρος (gr)	Βάρος μετά τους 105°C (gr)	Υγρασία %	Βάρος πριν την είσοδο (gr)	Βάρος στις 12 μέρες ξηρό (gr)	Χαμένο βάρος 12 κύκλων %	Τελικό βάρος ξηρό (gr)	Χαμένο βάρος μεταξύ 12-50 %	Συνολ. χαμένο βάρος %
1	214.00	210.90	1.45	252.50	187.00	11.33	115.40	33.95	45.28
2	208.30	205.40	1.39	247.60	198.80	3.21	135.40	30.87	34.08
3	202.70	201.30	0.69	232.20	199.00	1.14	157.80	20.47	21.61
4	166.80	165.70	0.66	194.90	165.10	0.36	165.10	0.00	0.36
5	169.00	167.60	0.83	190.30	167.60	0.00	167.80	-0.12	-0.12
6	231.00	219.90	4.81	245.10	220.20	-0.14	222.30	-0.95	-1.09

Πίνακας 8.3. Μεταβολές βάρους δοκιμίων στο θάλαμο γήρανσης

Στο διάγραμμα 8.1. που ακολουθεί φαίνεται η μεταβολή του βάρους του κάθε δείγματος σε σχέση με τις μέρες παραμονής του στο θάλαμο γήρανσης (κύκλοι), ενώ στο 8.2. το ποσοστό μεταβολής του βάρους του δείγματος σε σχέση πάλι με τους κύκλους ψύξης-θέρμανσης. Στο παράρτημα Α παρατίθενται φωτογραφίες των δειγμάτων πριν και μετά το θάλαμο γήρανσης.



Διάγραμμα 8.1. Μεταβολή βάρους δείγματος - Κύκλοι



Διάγραμμα 8.2. Ποσοστό βάρους δείγματος - Κύκλοι

Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

1. Όσον αφορά τη συμπεριφορά των δειγμάτων στο θάλαμο γήρανσης, τα τρία πρώτα δείγματα (ασβεστοκονιάματα) έχασαν κάποιο βάρος κατά την ψύξη και θέρμανση. Δεν παρατηρήθηκε απώλεια βάρους στα δοκίμια 4,5 και 6, δηλαδή στο ασβεστοκονίαμα με προσθήκη ρητίνης και στα δύο τσιμεντοκονιάματα. Αντιθέτως στα δύο τσιμεντοκονιάματα το βάρος αυξήθηκε ελάχιστα. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στη δημιουργία ένυδρων ενώσεων κατά την παραμονή τους σε υγρασία όλο αυτό το διάστημα.

2. Οι απώλεια βάρους στα τρία πρώτα δοκίμια εντοπίζεται σε 'αποφλοιώσεις' της εξωτερικής τους επιφάνειας και σε ρωγμές που δημιουργήθηκαν στη μάζα τους. (βλ. φωτ. στα παραρτήματα)

8.5.1. Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη μετά το θάλαμο γήρανσης

Μετά το πέρας των 50 κύκλων ψύξης – θέρμανσης, έγινε εκ νέου μελέτη των δοκιμίων στην αντοχή τους σε μονοαξονική θλίψη. Η ημέρα που βγήκαν τα δοκίμια από το θάλαμο γήρανσης αντιστοιχεί στην 120^η ημέρα από την κατασκευή τους. Κατά αυτόν τον τρόπο μπορεί να γίνει σύγκριση στην αντοχή των δοκιμίων τα οποία υπέστησαν τεχνητή γήρανση με αυτά τα οποία παρέμειναν σε συνθήκες περιβάλλοντος (βλ. παρατηρήσεις-συμπεράσματα 2).

Τα δείγματα από το 1 έως και το 5 εμφάνισαν μηδενική αντοχή. Μόνο το δείγμα 6 (έτοιμο τσιμεντοκονίαμα Rapicret) εμφάνισε αυξημένη αντοχή η οποία φαίνεται στον πίνακα 8.4. που ακολουθεί.

Κωδικός δείγματος	Δείγμα	Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη Μpa
6	Rapicret	23,17

Πίνακας 8.4. Αντοχή μετά το θάλαμο γήρανσης

Στο παράρτημα Δ παρατείνεται το διάγραμμα θλίψης – παραμόρφωσης του παραπάνω δοκιμίου.

Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

1. Όλα τα δοκίμια εκτός από το Rapicret (6) έδειξαν μηδενικές αντοχές μετά το θάλαμο γήρανσης. Για τα τρία πρώτα δείγματα αυτό ήταν αναμενόμενο πρίν ακόμα γίνει εργαστηριακά η μέτρηση της αντοχής διότι όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο είχαν σχεδόν διαλυθεί όταν βγήκαν από το θάλαμο. Τα δείγματα 4 και 5 μπορεί

εξωτερικά να φαίνονταν υγιή αλλά η επίδραση της ψύξης-θέρμανσης στη μάζα τους ήταν καταστροφική όσον αφορά την αντοχή τους.

2. Το τσιμεντοκονίαμα Rapicret έδειξε αρκετά μεγαλύτερη αντοχή μετά το θάλαμο γήρανσης από πριν. Μάλιστα, εκ πρώτης όψεως, φάνηκε να επωφελήθηκε από την τεχνητή γήρανση, διότι έδειξε μεγαλύτερη αντοχή (αύξηση πάνω από το διπλάσιο!) και από δοκίμιο που παρέμεινε σε συνθήκες περιβάλλοντος όλο αυτό το διάστημα (βλ. πίνακα 8.1.). Η αύξηση της αντοχής πιθανόν να οφείλεται στην καλύτερη ενυδάτωση του τσιμέντου η οποία πραγματοποιήθηκε κατά την παραμονή του στο θάλαμο (τα δοκίμια βρίσκονταν συνεχώς με την απαιτούμενη υγρασία). Προφανώς το σχήμα, το μέγεθος και η σύνδεση των πόρων του συγκεκριμένου τσιμεντοκονιάματος να είναι τέτοια που να ελαχιστοποιεί τις επιδράσεις της ψύξης-θέρμανσης σε αυτό.

8.6. Ορυκτολογική ανάλυση κυβικών δοκιμίων

Τα κυβικά δοκίμια αναλύθηκαν ορυκτολογικά με το **περιθλασίμετρο ακτίνων –X**, μετά ακριβώς τη μελέτη της αντοχής τους σε μονοαξονική θλίψη, στις 28 και στις 120 μέρες, καθώς και μετά το θάλαμο γήρανσης. Η διάγνωση έγινε σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με χρήση των προγραμμάτων **EVA** και **SIROQUANT**. Συγκεκριμένα έγινε και ποιοτική εκτίμηση με τα δύο αυτά προγράμματα αλλά και προσεγγιστικά ποσοτική με το **SIROQUANT**. Τα αποτελέσματα της τελευταίας βρίσκονται στις παρατηρήσεις – συμπεράσματα που ακολουθούν.

Τα κυβικά δοκίμια επίσης μελετήθηκαν και με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης SEM, τα αποτελέσματα των οποίων καθώς και φωτογραφίες περιέχονται σε επόμενο κεφάλαιο.

Τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης σύμφωνα με αξιοποίηση των ακτινοδιαγραμμάτων με χρήση του προγράμματος EVA, παρουσιάζονται στον πίνακα 8.4.

Κωδ. δείγματος	28 μέρες	120 μέρες	Μετά την τεχνητή γήρανση
1	Δολομίτης, Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Πορτλαντίτης, Άστριοι	Δολομίτης, Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Πορτλαντίτης, Άστριοι	Δολομίτης, Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Άστριοι
2	Δολομίτης, Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Πορτλαντίτης, Άστριοι	Δολομίτης, Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Πορτλαντίτης, Άστριοι	Δολομίτης, Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Άστριοι
3	Δολομίτης, Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Πορτλαντίτης, Άστριοι	Δολομίτης, Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Πορτλαντίτης, Άστριοι	Δολομίτης, Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Άστριοι
4	Δολομίτης, Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Πορτλαντίτης, Άστριοι	Δολομίτης, Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Πορτλαντίτης, Άστριοι	Δολομίτης, Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Άστριοι
5	Δολομίτης, Ασβεστίτης, Πορτλαντίτης	Δολομίτης, Ασβεστίτης, Πορτλαντίτης	Δολομίτης, Ασβεστίτης, Πορτλαντίτης
6	Δολομίτης, Ασβεστίτης, Ρανκινίτης, C3S, Πορτλαντίτης	Δολομίτης, Ασβεστίτης, Ρανκινίτης, C3S, Πορτλαντίτης	Δολομίτης, Ασβεστίτης, Ρανκινίτης, C3S, Πορτλαντίτης

Πίνακας 8.4. Ορυκτολογική ανάλυση κυβικών δοκιμίων

Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

1. Η ορυκτολογική ανάλυση στα κυβικά δοκίμια έδειξε σχεδόν αποκλειστικά τα ορυκτά που περιέχονταν στα αδρανή υλικά των κονιαμάτων.
2. Στα δείγματα 1,2,3 και 4 τα οποία περιείχαν και θηραϊκή γη, δεν εμφανίστηκε ασβεστοπυριτική φάση στην ορυκτολογική ανάλυση. Αυτό δε σημαίνει απαραίτητα ότι δε δημιουργήθηκε. Πολλές φορές μια φάση μπορεί να υπάρχει αλλά να μην ανιχνεύεται εύκολα. Εξάλλου, εάν συμμετέχει σε πολύ μικρό ποσοστό στο δείγμα δεν ανιχνεύεται έτσι κι αλλιώς (με το πρόγραμμα EVA ανιχνεύονται φάσεις που περιέχονται στο δείγμα σε ποσοστό πάνω από 2%). Επίσης η δημιουργία ασβεστοπυριτικής φάσης είναι μια αργή διαδικασία (6 μήνες με ένα χρόνο). Οφείλουμε όμως να υπενθυμίσουμε ότι οι υδράσβεστοι που χρησιμοποιήθηκαν είχαν ήδη από την αρχή χαμηλή περιεκτικότητα σε Ca(OH)_2 , γεγονός το οποίο κάνει ακόμα πιο δύσκολη τη δημιουργία ασβεστοπυριτικής φάσης.

3. Με χρήση του προγράμματος Siroquant, υπολογίστηκε η αναλογία ασβεστίτη-δολομίτη στα δείγματα 1,2,3 και 4, κατά τις διάφορες φάσεις. Παρατηρήθηκε ότι η αναλογία μεταξύ τους άλλαξε και στα τέσσερα δείγματα. Συγκεκριμένα το ποσοστό του ασβεστίτη σε σχέση με το δολομίτη αυξήθηκε με την πάροδο του χρόνου. Η αύξηση αυτή ήταν μικρή και σχετίζεται με τη δημιουργία ασβεστίτη από την αντίδραση της υδρασβέστου με το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας.

4. Σε σχέση με τα παραπάνω, και πάλι όσον αφορά τα τέσσερα πρώτα ασβεστοκονιάματα, παρατηρείται και μείωση του ποσοστού του δοκιμίου σε πορτλαντίτη με την πάροδο του χρόνου. Η μείωση του ποσοστού αυτού σχετίζεται με την αύξηση του ποσοστού σε ασβεστίτη. Δε φάνηκε καθόλου πορτλαντίτης στην ορυκτολογική ανάλυση μετά το θάλαμο γήρανσης.

5. Στα δύο τσιμεντοκονιάματα εμφανίστηκε πορτλαντίτης, ο οποίος δεν είχε εμφανιστεί κατά την ανάλυση των πρώτων υλών. Η παρουσία του πιθανόν να οφείλεται στην ενυδάτωση του CaO το οποίο υπάρχει στο τσιμέντο κατά την παρασκευή του. Συγκεκριμένα, για το τσιμεντοκονίαμα Rapicret (6), το ποσοστό του πορτλαντίτη στις 120 μέρες από την κατασκευή του δοκιμίου διπλασιάστηκε κατά την παραμονή του στο θάλαμο γήρανσης. Αυτό οφείλεται (όπως είδαμε προηγουμένως) στη καλύτερη ενυδάτωση του μίγματος. Ο πορτλαντίτης φάνηκε και στη μελέτη με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (βλ. κεφ. 8.8.)

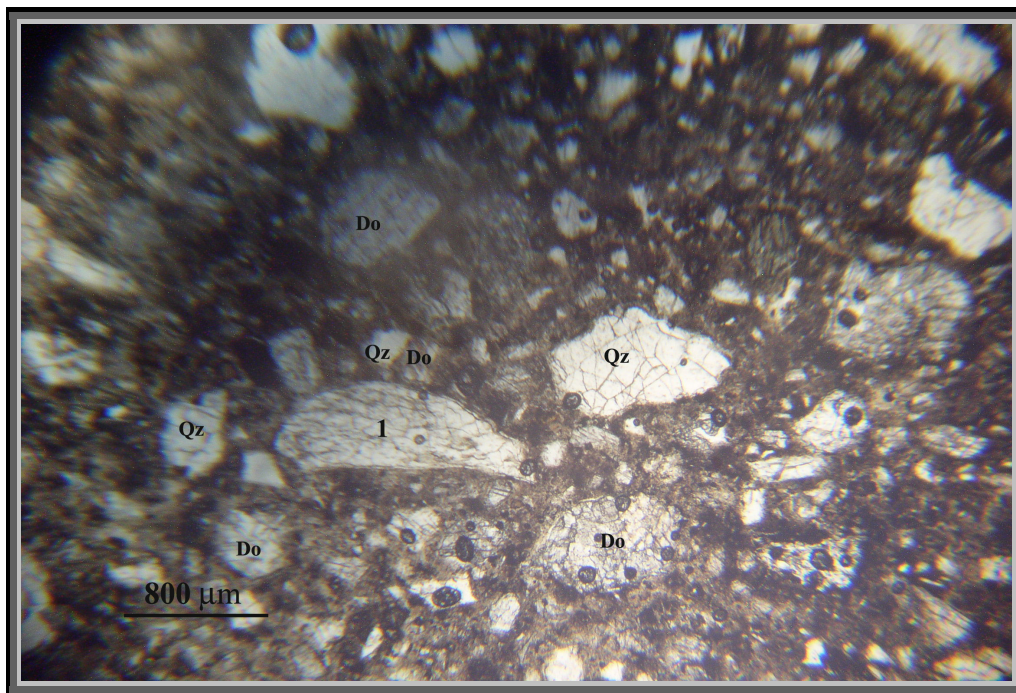
6. Στο τσιμεντοκονίαμα Rapicret (6), εκτός από πορτλαντίτη, στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο φάνηκε και ετριγκίτης (χαρακτηριστικές ίνες-βλ. κεφ. 8.8.), ο οποίος όμως δεν αναφέρεται σαν κύριο ορυκτό διότι δεν ανιχνεύτηκε με τις παραπάνω μεθόδους.

8.7. Πολωτικό μικροσκόπιο

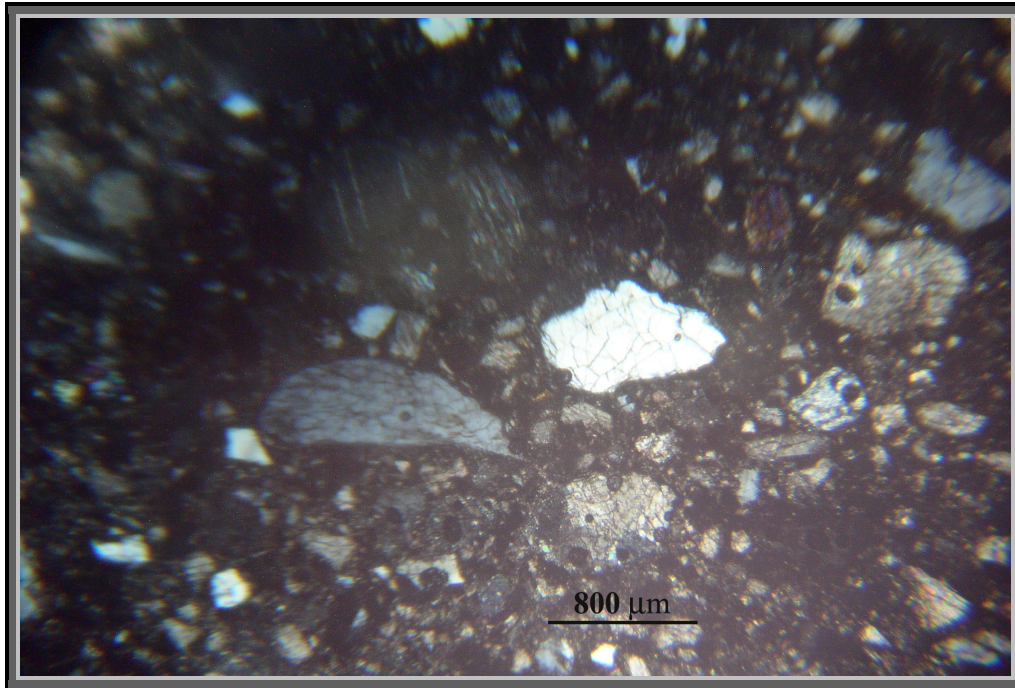
Μετά την παραμονή των κυβικών δοκιμίων στο θάλαμο γήρανσης, κατασκευάστηκαν λεπτές τομές οι οποίες μελετήθηκαν και φωτογραφήθηκαν στο πολωτικό μικροσκόπιο. Τόσο η κατασκευή όσο και η μελέτη των λεπτών τομών έγιναν στο Εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Πρέπει ωστόσο να τονιστεί ότι για τα 5 πρώτα δοκίμια, όσον αφορά το συνδετικό υλικό, αυτό περιέχει και τη ρητίνη με την οποία σταθεροποιήθηκαν τα δείγματα κατά την κατασκευή των λεπτών τομών, διότι όπως αναφέρθηκε στο κεφ. 8.5., μετά το θάλαμο γήρανσης είχαν τελείως ‘σπάσει’ με συνέπεια να επιβάλεται ο εμποτισμός τους αυτός στη ρητίνη.

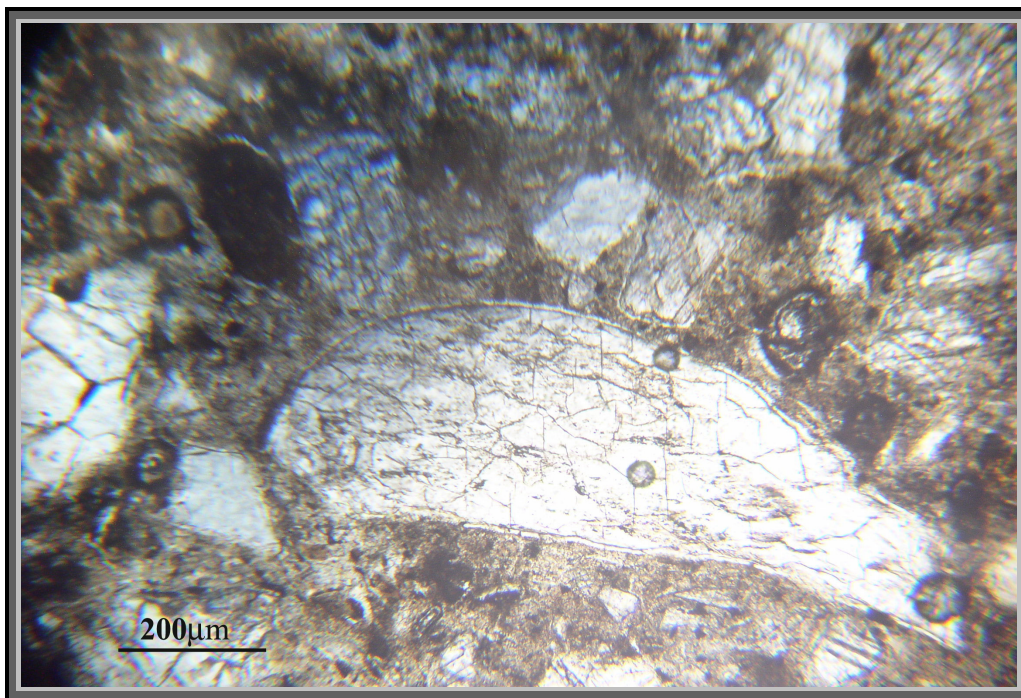
ΚΥΒΙΚΟ ΔΟΚΙΜΙΟ 1



Φωτ. 1.1. Γενική όψη ασβεστοκονιάματος Kourasanit (II Nichols) μετά την τεχνητή γήρανση. Φαίνονται τέσσερεις κόκκοι δολομίτη, τρεις χαλαζία και ένας άστριος (1). Χαρακτηριστικά να αναφερθεί ότι ο μεγάλος κόκκος του χαλαζία είναι κατακερματισμένος, όχι απαραίτητα λόγω της τεχνητής γήρανσης (πιθανόν από πριν).

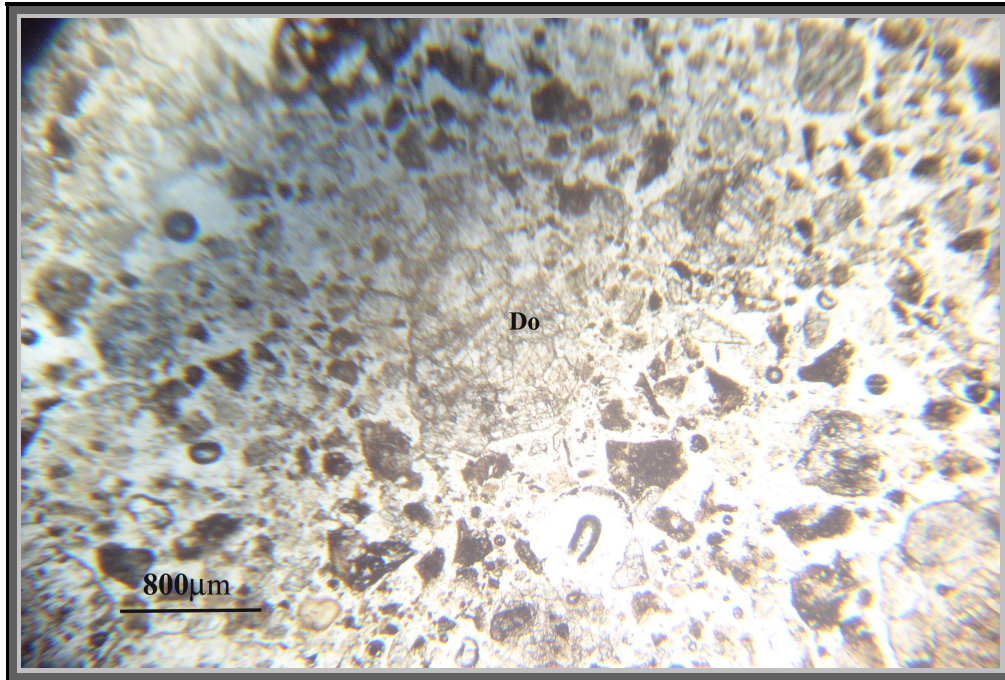


Φωτ. 1.2. Φωτογραφία 1.1., με (\neq Nichols)

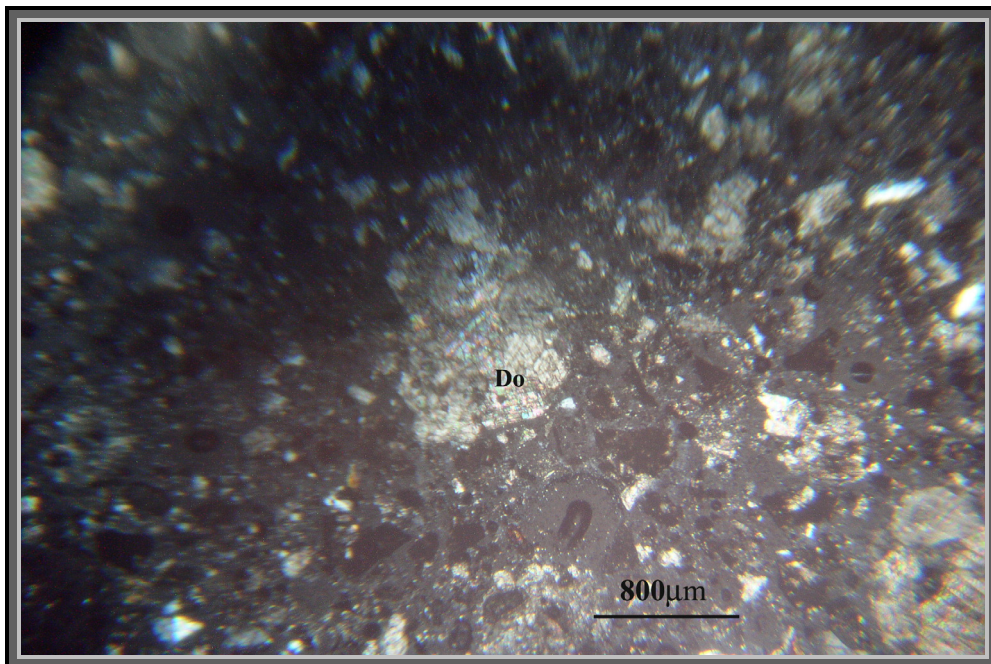


Φωτ. 1.3. Γύρω από τον κόκκο του αστρίου και του δολομίτη εμφανίζεται ζώνη αντίδρασης. Είναι ο ίδιος κρύσταλλος με τις προηγούμενες φωτογραφίες σε μεγαλύτερη μεγέθυνση (II Nichols)

ΚΥΒΙΚΟ ΔΟΚΙΜΙΟ 2

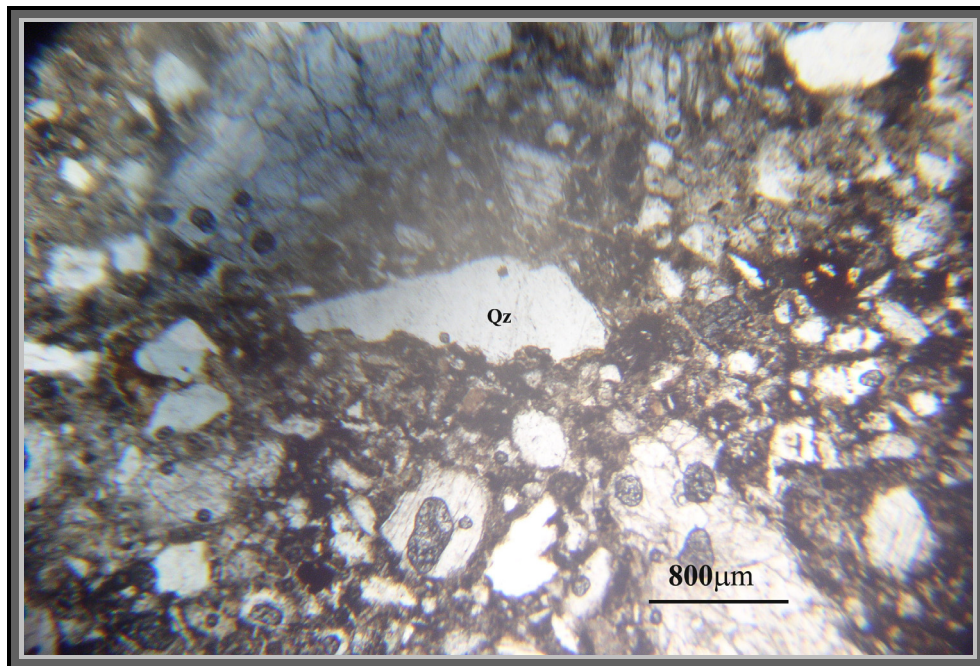


Φωτ. 2.1. Γενική όψη ασβεστοκονιάματος Kourasanit (0-2) μετά το θάλαμο γήρανσης.
Χαρακτηριστικά φαίνεται κόκκος δολομίτη

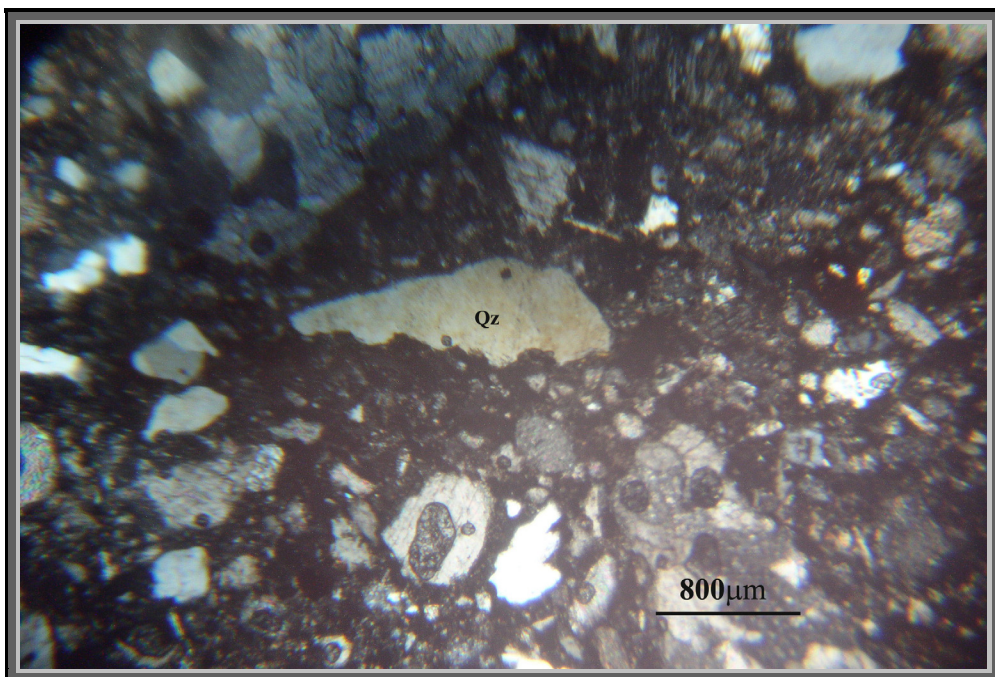


Φωτ. 2.2. (≠ Nichols)

ΚΥΒΙΚΟ ΔΟΚΙΜΙΟ 3

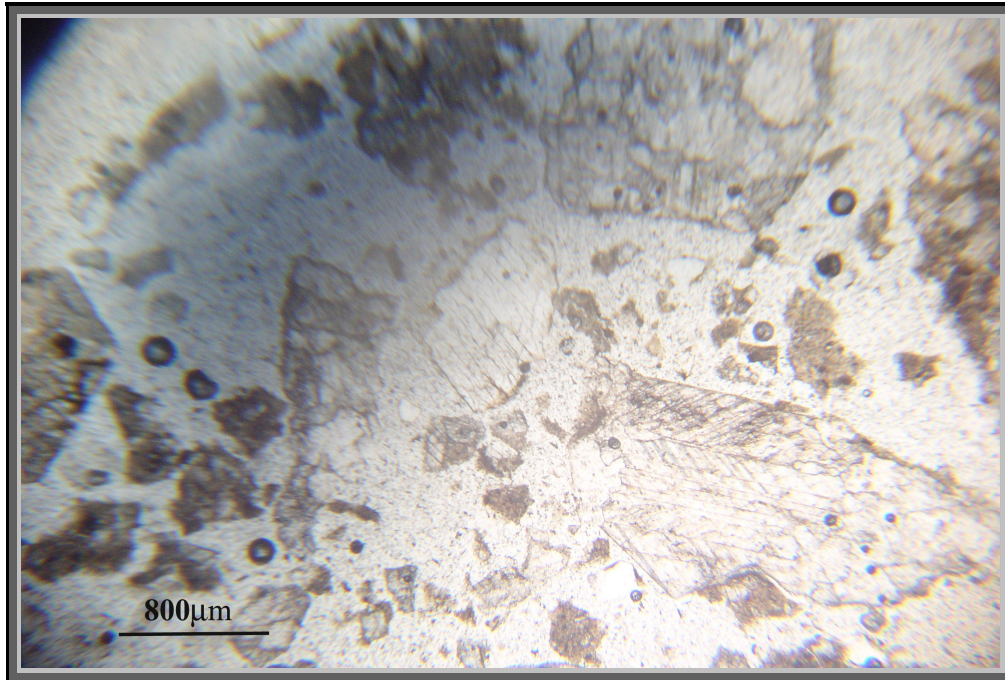


Φωτ. 3.1. Γενική μορφή ασβεστοκονιάματος Kourasanit (3), μετά την τεχνητή γήρανση. Χαρακτηριστικά φαίνεται κόκκος χαλαζία (πιο υγής από τη φωτ.1.1.)

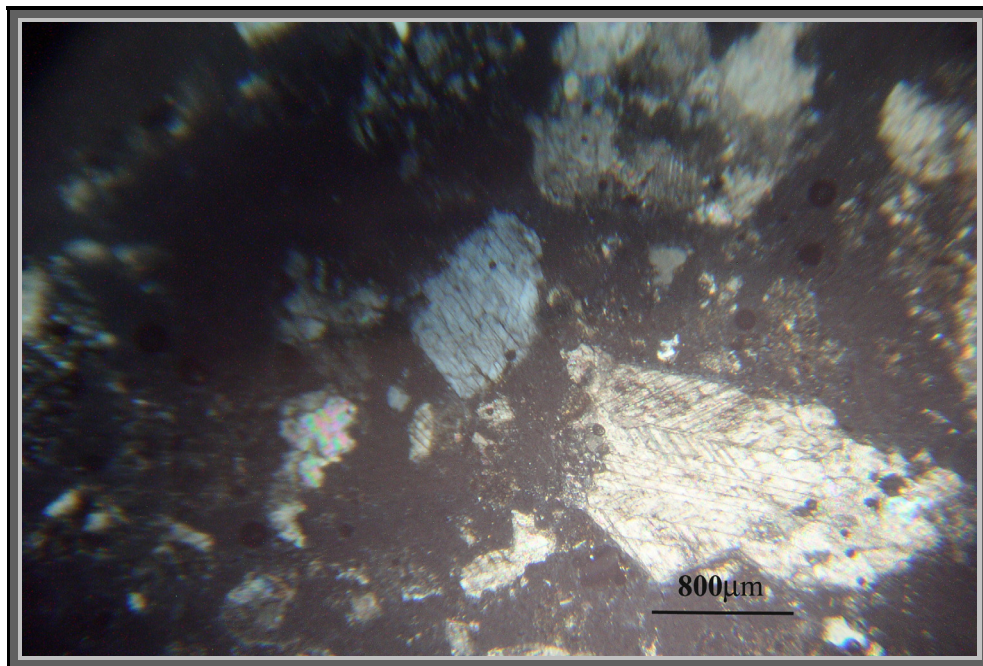


Φωτ. 3.2. (≠ Nichols)

ΚΥΒΙΚΟ ΔΟΚΙΜΙΟ 5

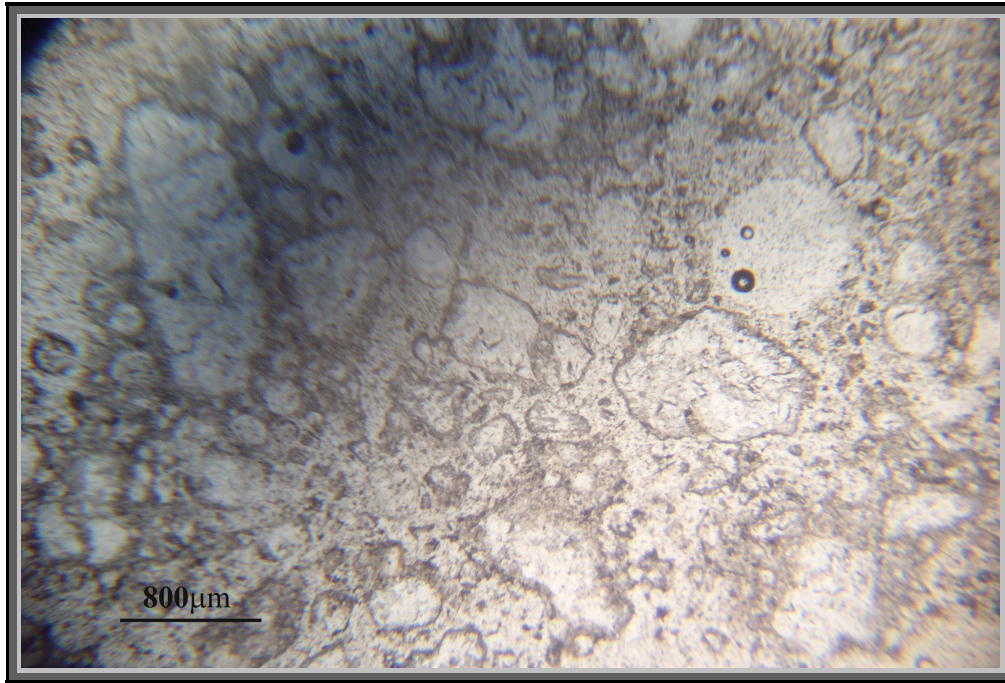


Φωτ. 4.1. Γενική μορφή ασβεστοκονιάματος Kourasanit με ρητίνη, μετά την τεχνητή γήρανση, μελέτη με Π Nichols

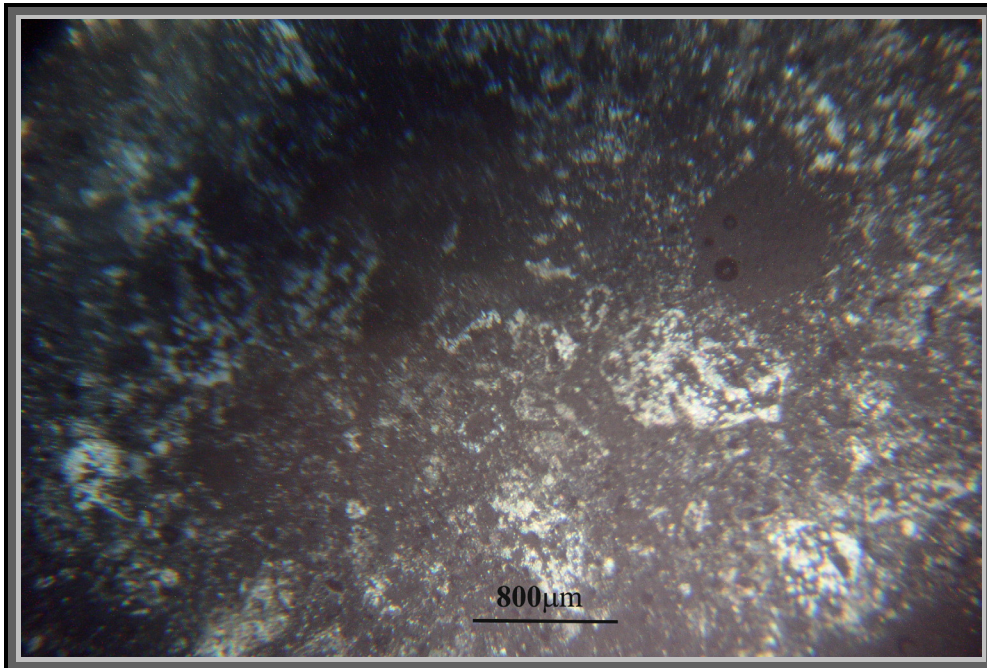


Φωτ. 4.2. (≠ Nichols)

ΚΥΒΙΚΟ ΔΟΚΙΜΙΟ 4

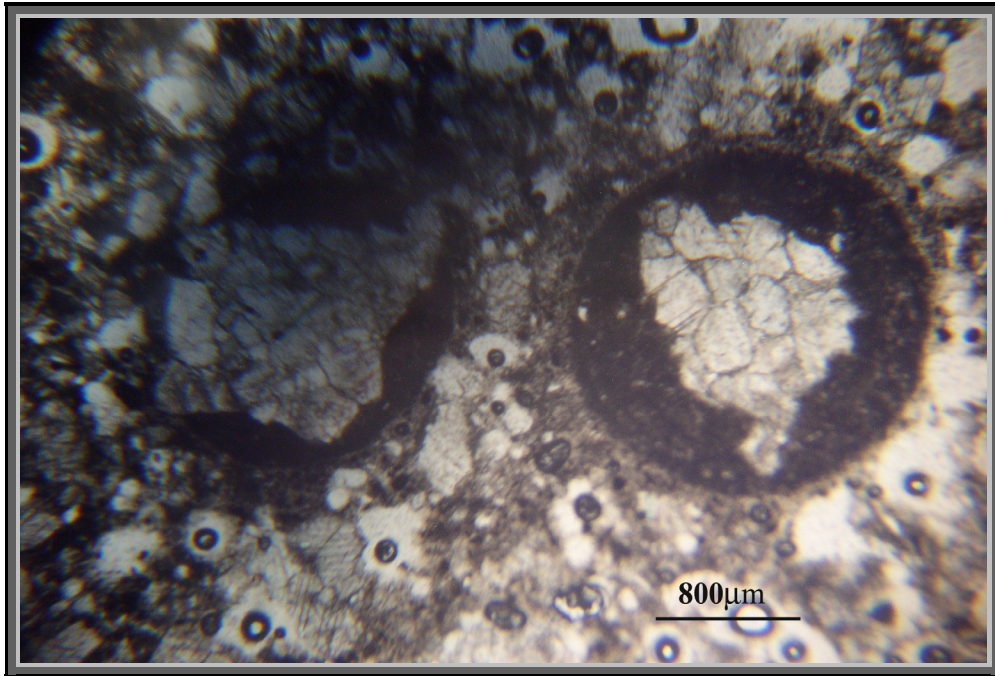


Φωτ. 5.1. Γενική όψη τσιμεντοκονιάματος Unicret-fast μετά το θάλαμο γήρανσης με
II Nichols

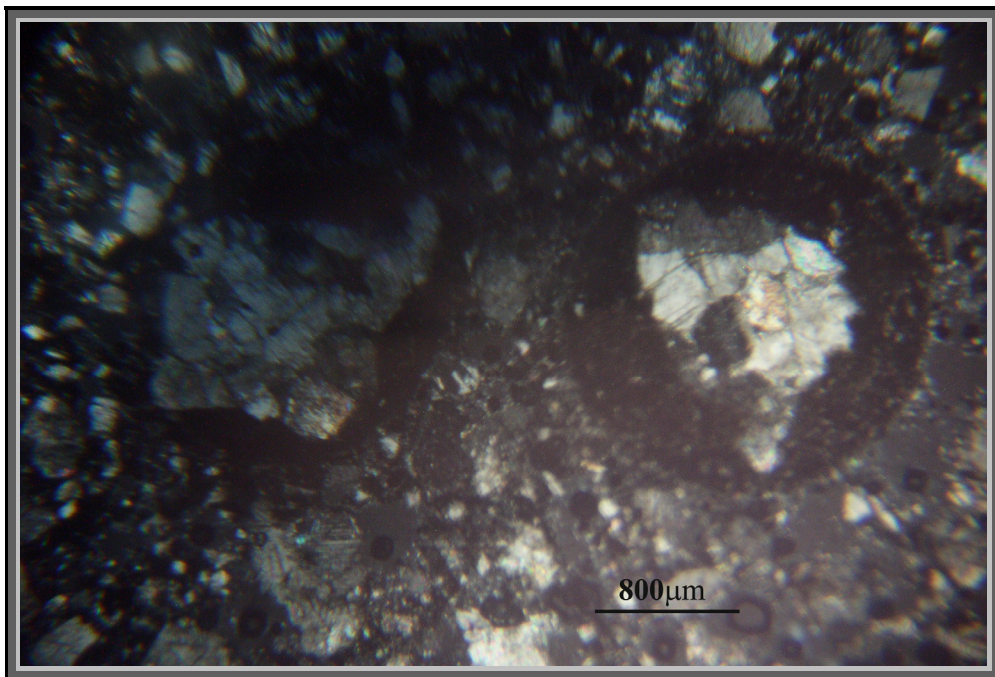


Φωτ. 5.2. (≠ Nichols)

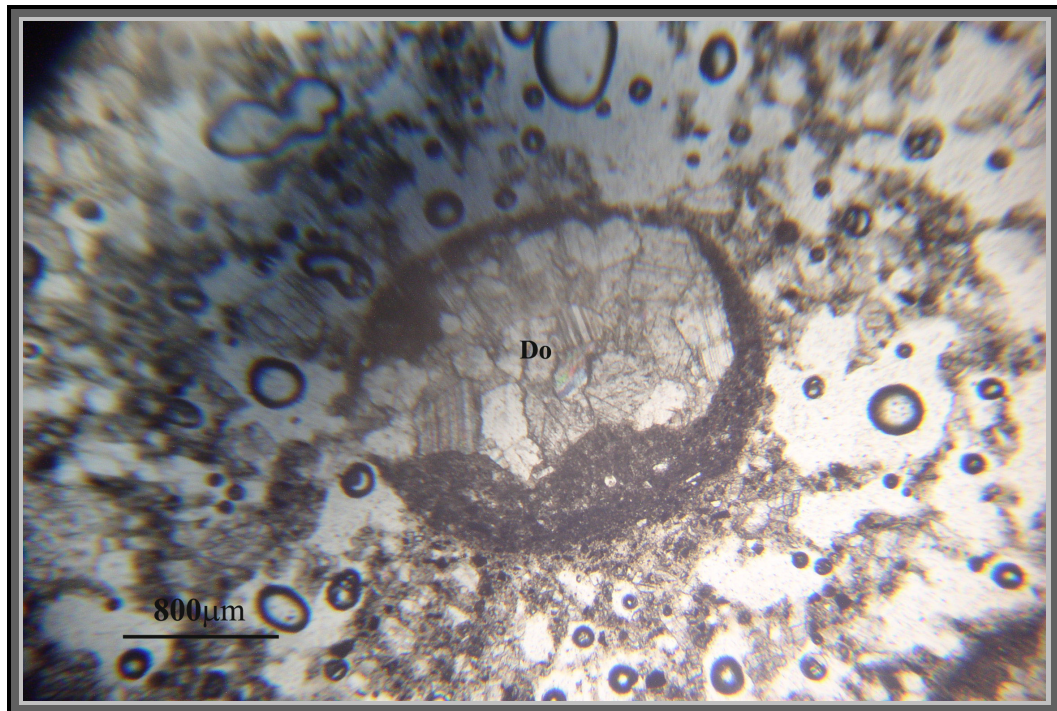
ΚΥΒΙΚΟ ΔΟΚΙΜΙΟ 6



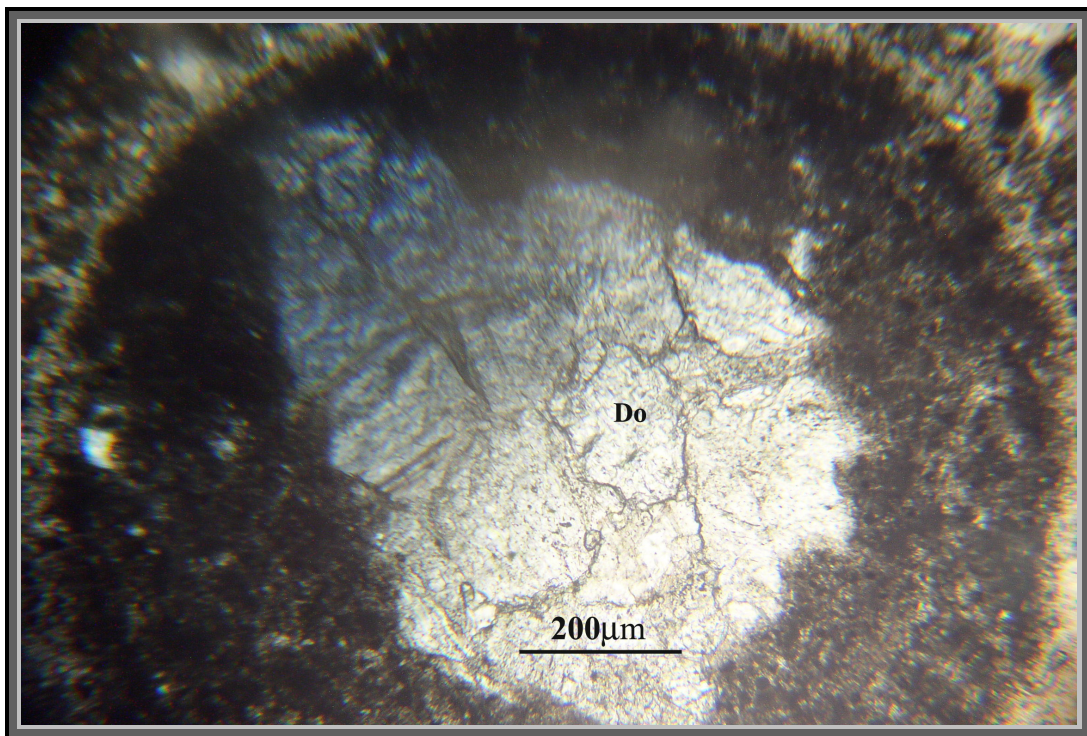
Φωτ. 6.1. Τσιμεντοκονίαμα Rapicret μετά το θάλαμο γήρανσης με II Nichols. Φαίνονται οι ‘κενόσφαιρες’ (χαρακτηριστική σφαίρα γύρω από το δολομίτη) που δημιουργούνται στα τσιμέντα. [βλ.κεφ. 8.8. (ηλεκτρονικό μικροσκόπιο)].



Φωτ. 6.2. (≠ Nichols)



Φωτ. 6.3. Χαρακτηριστική κενόςφαιρα η οποία περιβάλλει κόκκο δολομίτη.
Φωτογραφία με Π Nickols.

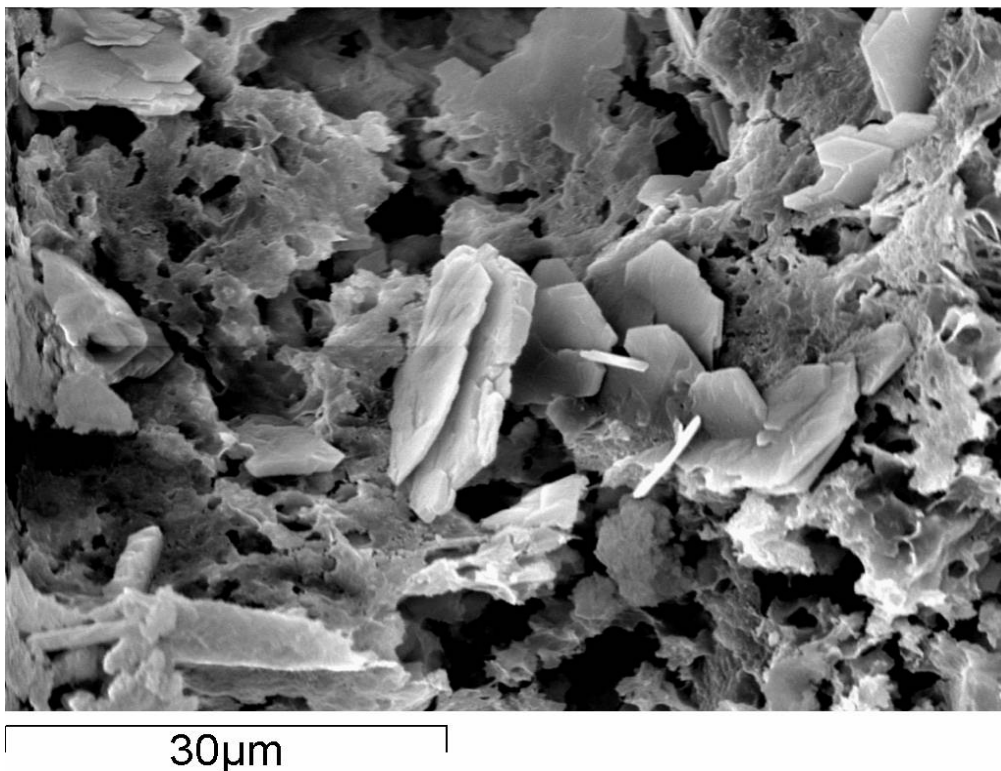


Φωτ. 6.4. Κενόςφαιρα γύρω από κόκκο δολομίτη σε μεγέθυνση, Π Nichols

8.8. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

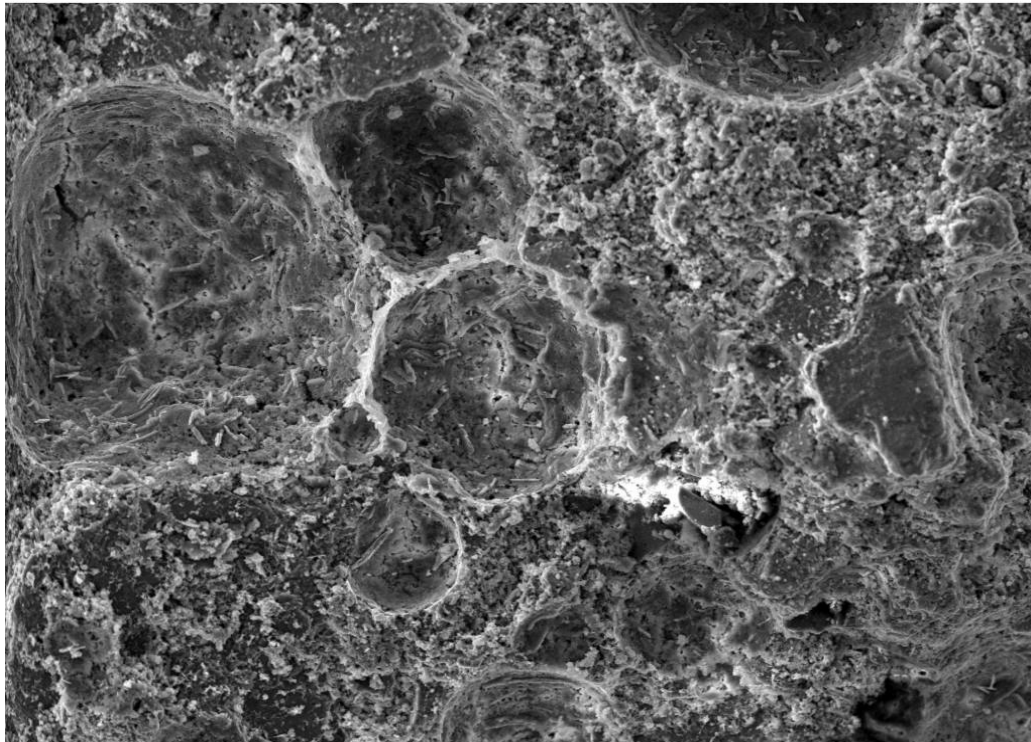
Η μελέτη των κυβικών δοκιμίων με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο ακολούθησε τη μελέτη με το πολωτικό. Συγκεκριμένα μελετήθηκαν δείγματα από όλα τα δοκίμια εκτός θαλάμου γήρανσης, ενώ από το τσιμεντοκονίαμα Rapicret (6) κατασκευάστηκε δείγμα και μετά το θάλαμο γήρανσης. Η μελέτη έγινε τόσο σε θραύσματα που επικαλύφθηκαν με γραφίτη ή/και με χρυσό, όσο και σε λεπτές τομές σε κανονικές και σε Back Scattering εικόνες. Παρακάτω παρατίθενται κάποιες από τις φωτογραφίες με τις αντίστοιχες παρατηρήσεις.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 1

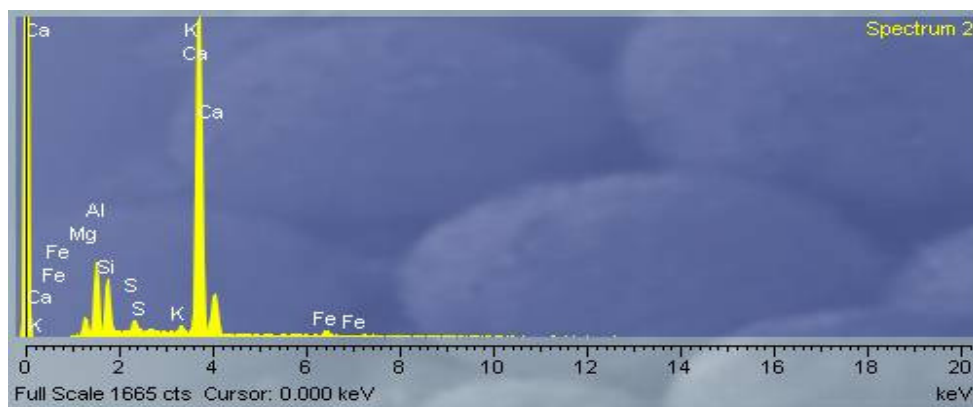


Φωτ.1. Τσιμεντοκονίαμα Rapicret εκτός θαλάμου γήρανσης. Φαίνονται κρύσταλλοι πορτλαντίτη καθώς και η γενική όψη του συνδετικού υλικού.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 2

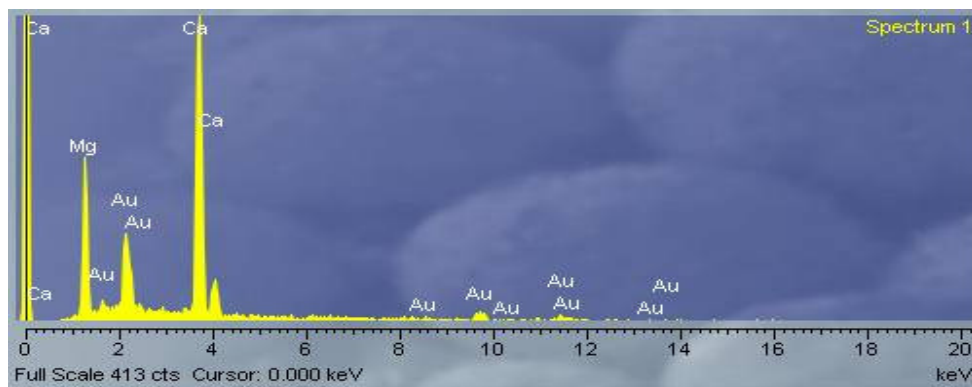
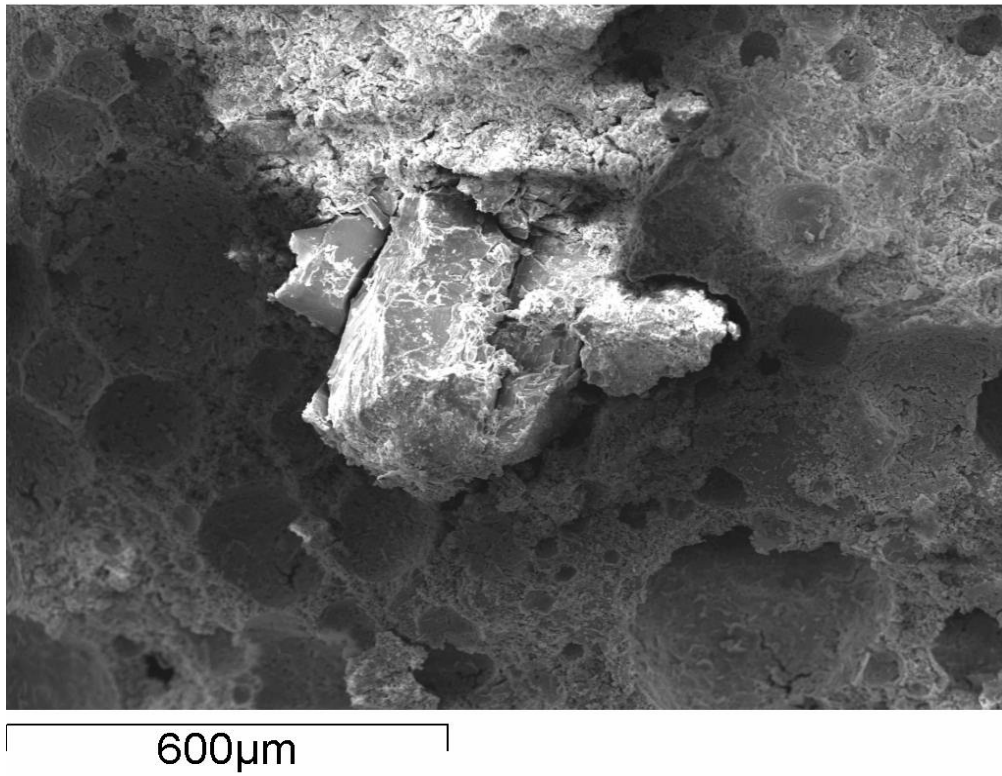


300μm



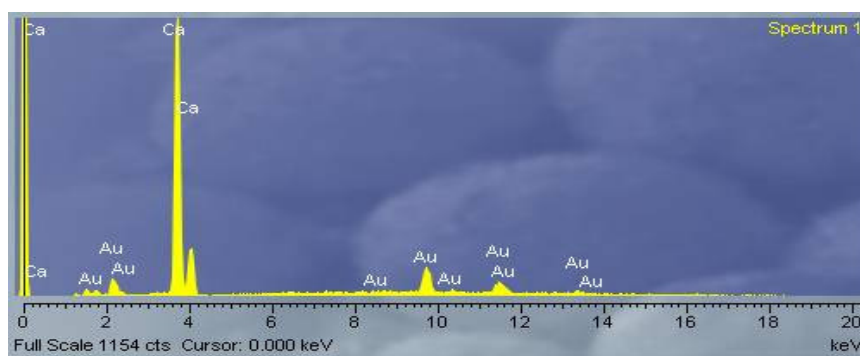
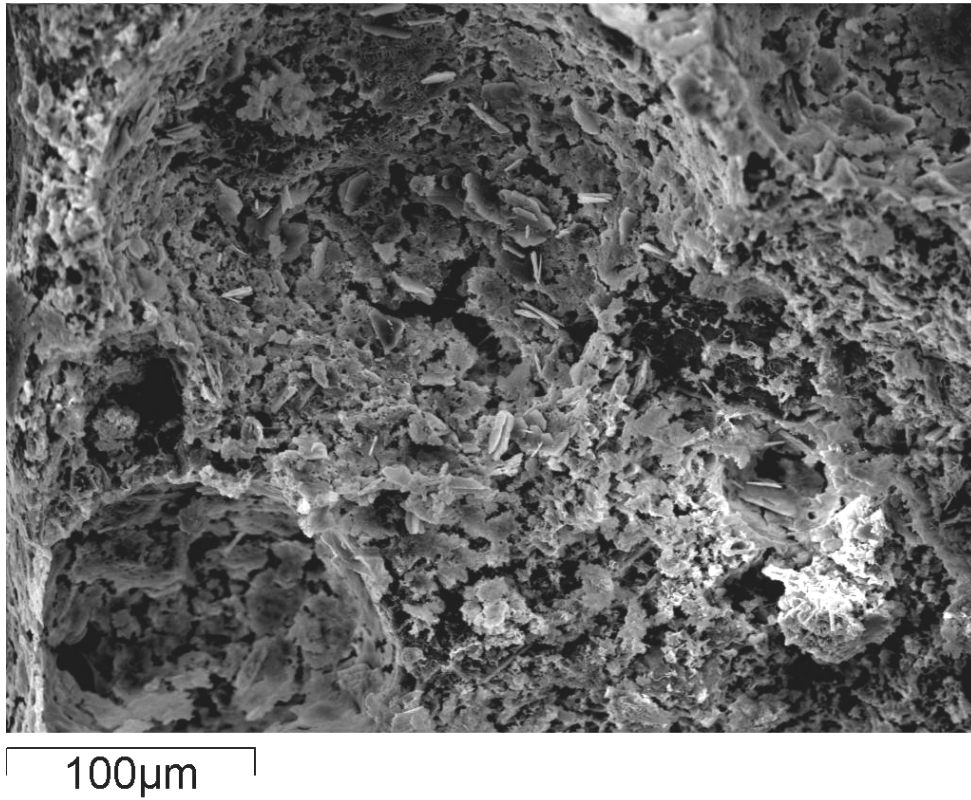
Φωτ.2. Τσιμεντοκονίαμα *Rapicret* εκτός θαλάμου γήρανσης. Γενική άποψη συνδετικού υλικού και κενόσφαιρες. Παρατίθεται και η στοιχειακή ανάλυση στο συνδετικό υλικό.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 3



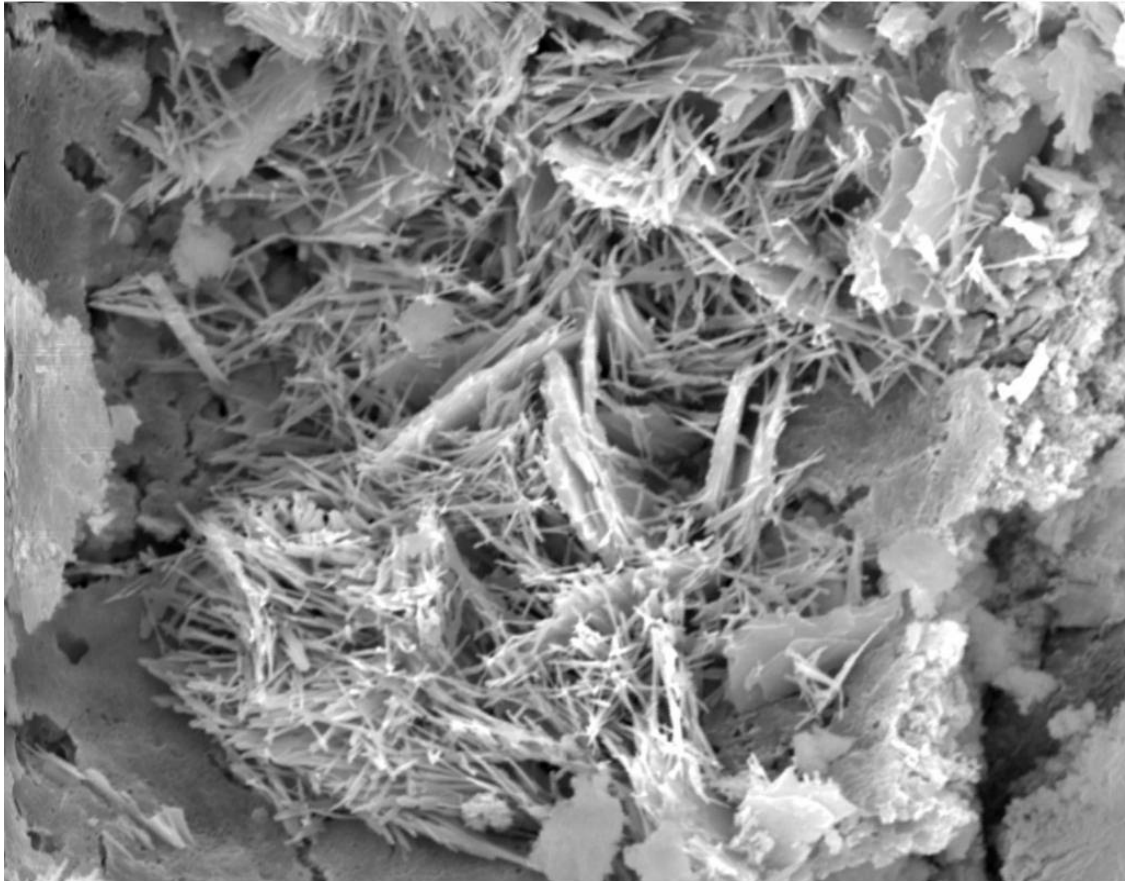
Φωτ.3. Τσιμεντοκονίαμα Rapicret εκτός θαλάμου γήρανσης. Φαίνεται κόκκος δολομίτη συγκρατούμενος από το συνδετικό υλικό. Η στοιχειακή ανάλυση έγινε πάνω στον κόκκο του δολομίτη.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 4



Φωτ.4. Τσιμεντοκονίαμα *Rapicret* εκτός θαλάμου γήρανσης. Γενική όψη. Στο κέντρο φαίνεται ο κρύσταλλος του πορτλαντίτη της πρώτης φωτογραφίας πάνω στον οποίο έγινε η στοιχειακή ανάλυση.

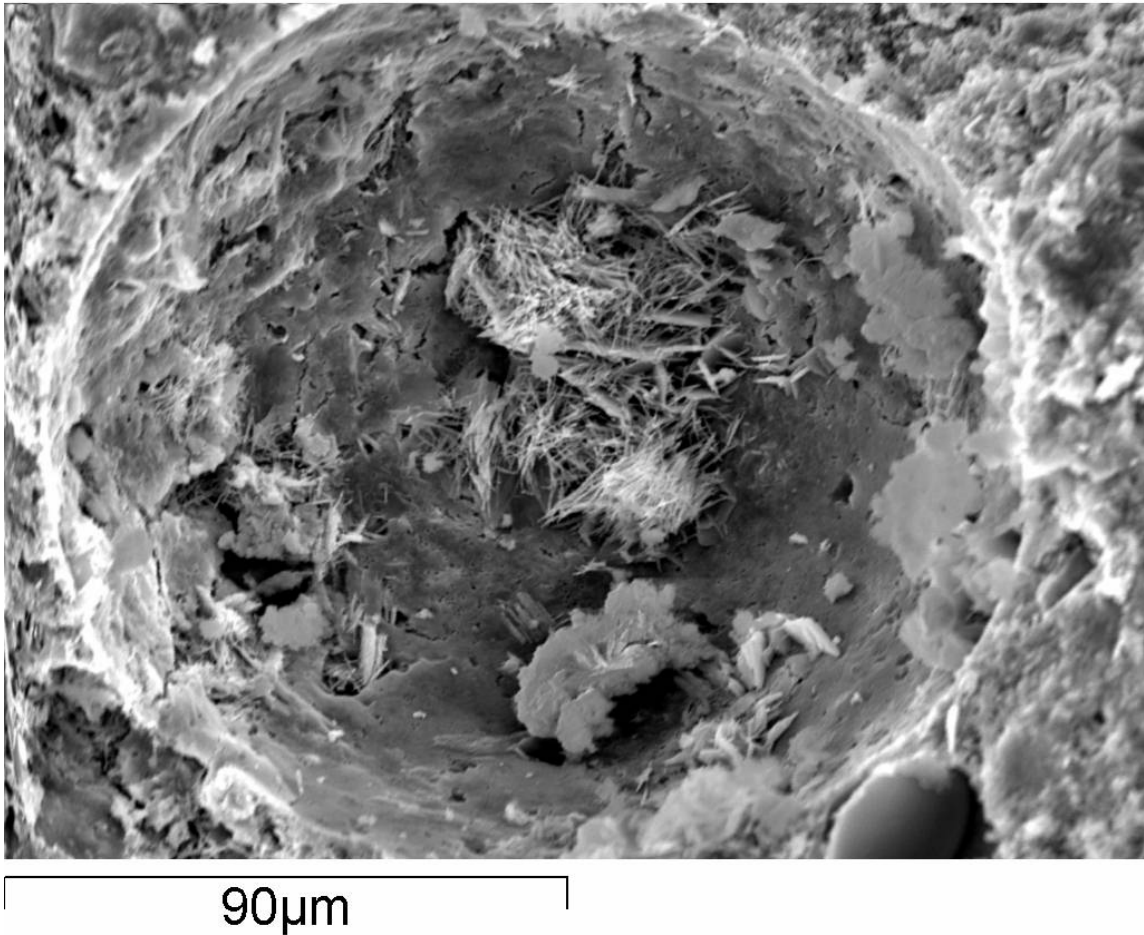
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 5



30μm

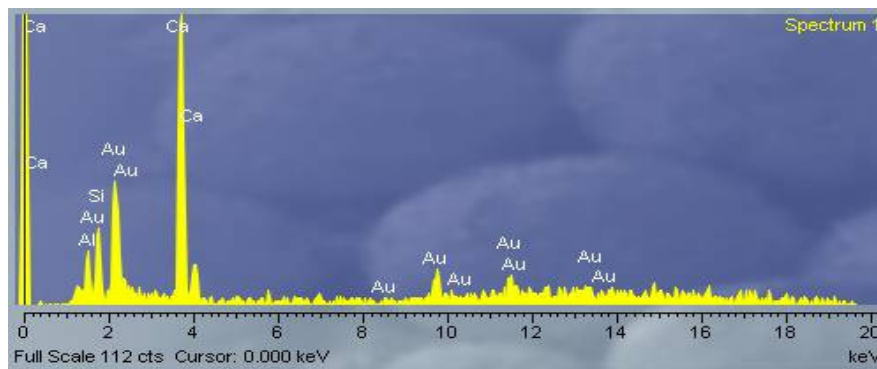
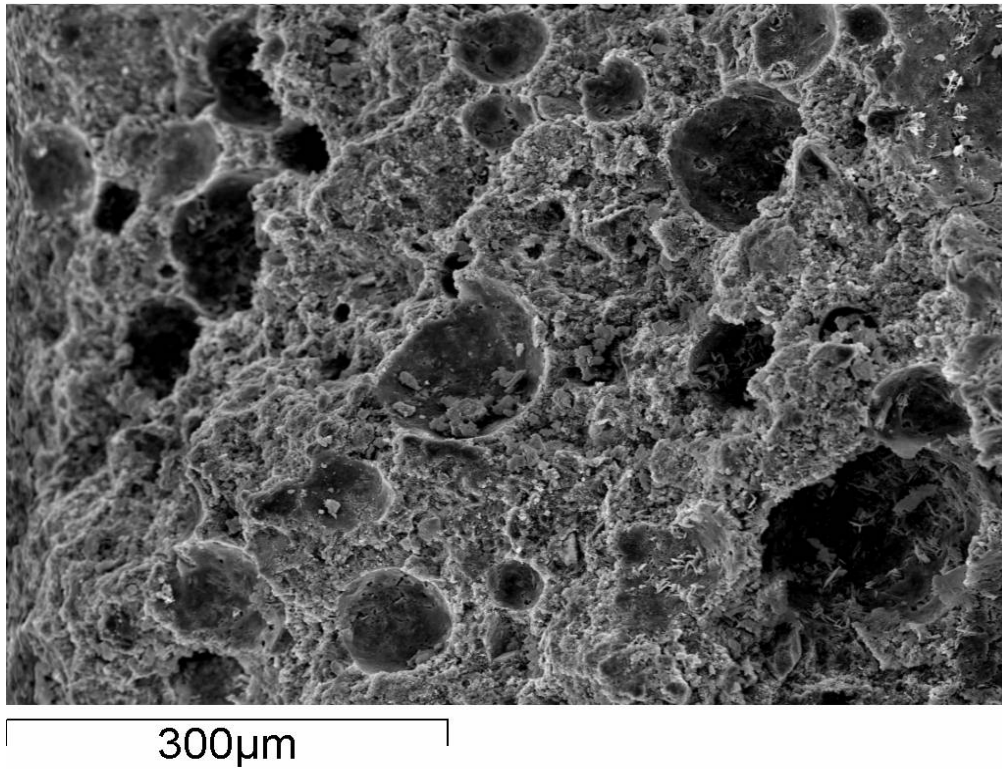
Φωτ.5. Τσιμεντοκονίαμα Rapicret μετά το θάλαμο γήρανσης. Φαίνονται κρύσταλλοι ετρινγκίτη (ίνες ετρινγκίτη) $[Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O]$
Hydrated Calcium Aluminum Sulfate Hydroxide

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 6



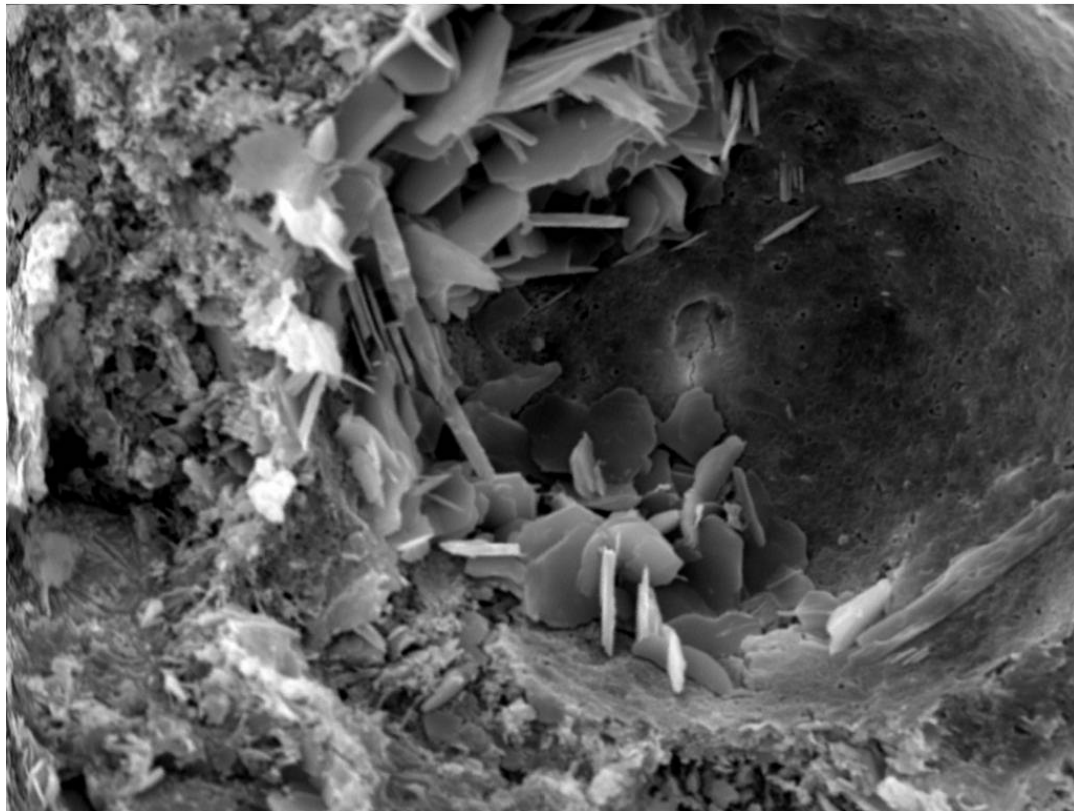
Φωτ.6. Τσιμεντοκονίαμα *Rapicret* μετά το θάλαμο γήρανσης. Φαίνονται οι ίνες του εντριγκίτη μαζί με λίγο πορτλαντίτη (πιο μπροστά) μέσα σε κενόσφαιρα.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 7

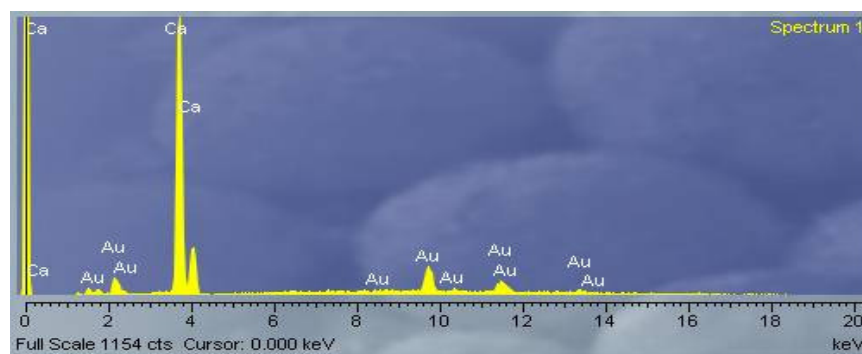


Φωτ.7. Τσιμεντοκονίαμα *Rapicret* μετά το θάλαμο γήρανσης. Φαίνονται οι κενόσφαιρες στη γενική τους μορφή ενώ η στοιχειακή ανάλυση δείχνει Ca, Si και Al. (Ο χρυσός οφείλεται στην επιχρύσωση)

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 8

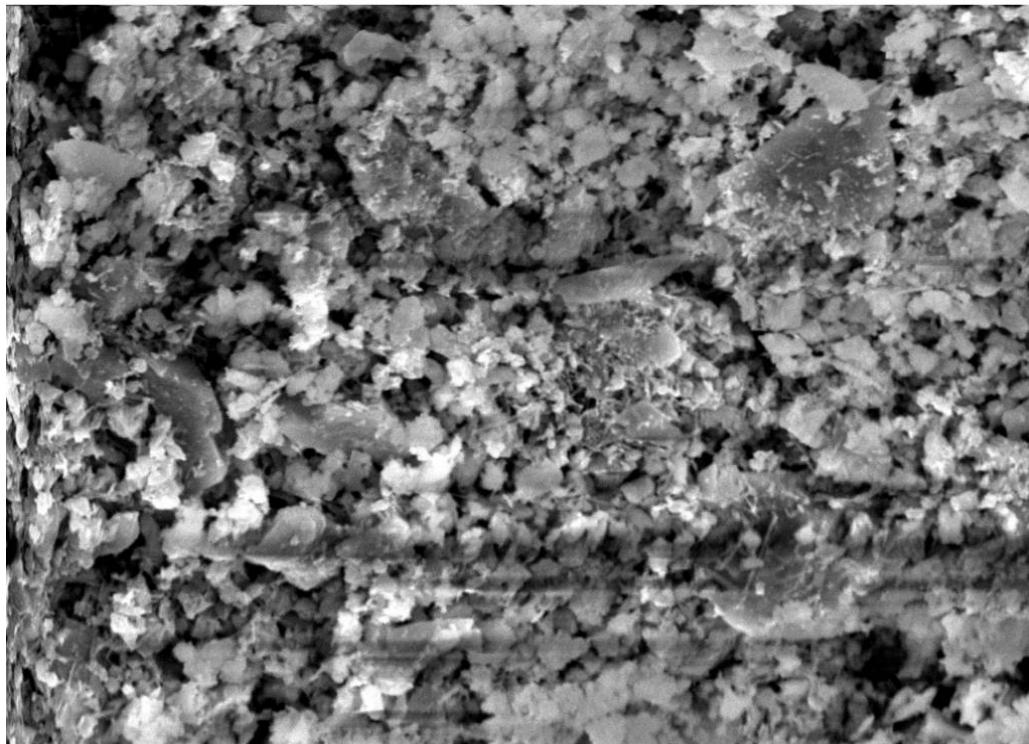


30μm

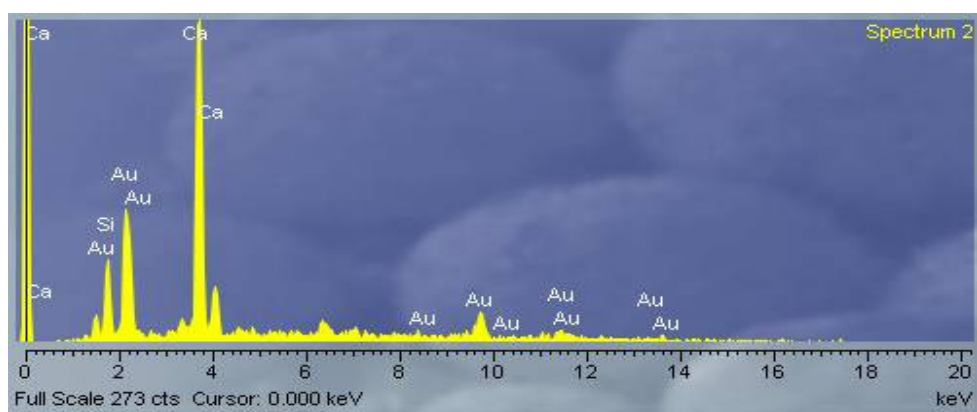


Φωτ.8. Τσιμεντοκονίαμα Rapicert μετά το θάλαμο γήρανσης. Φαίνεται χαρακτηριστικά η κενόσφαιρα, μέσα στην οποία βρίσκονται κρύσταλλοι πορτλαντίτη.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 9

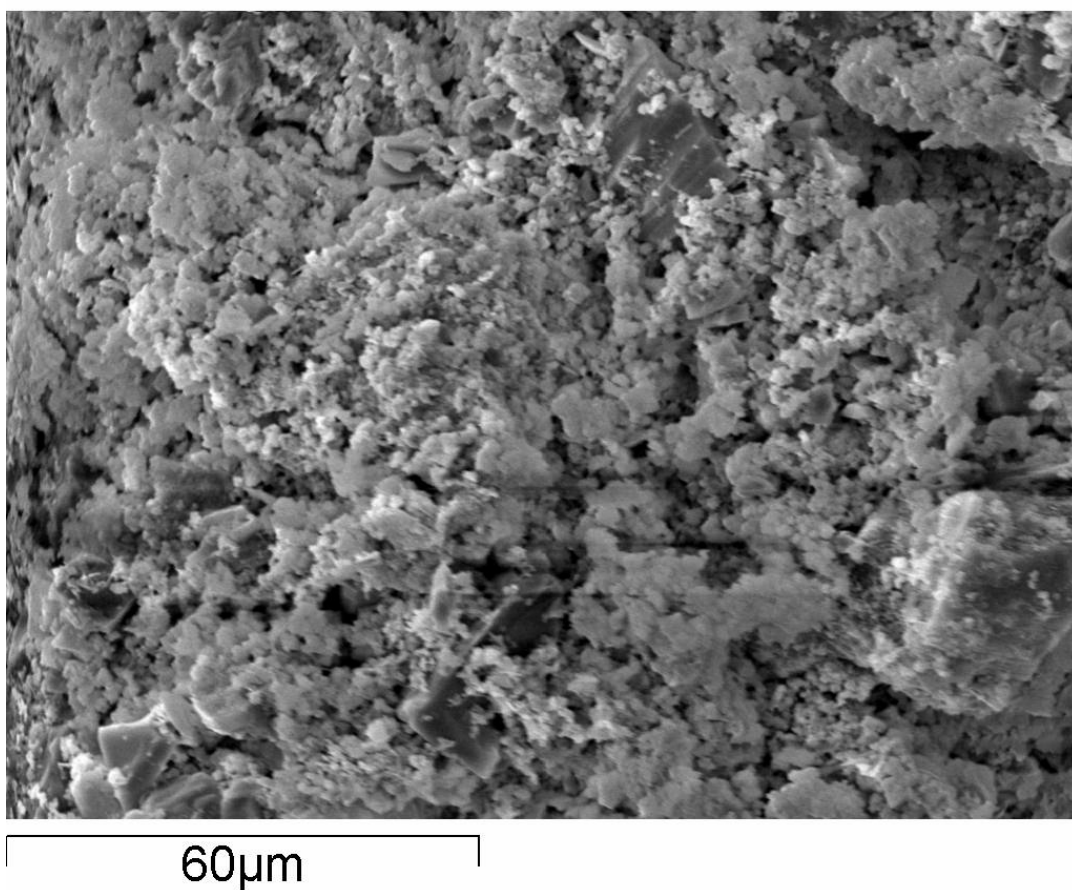


30μm



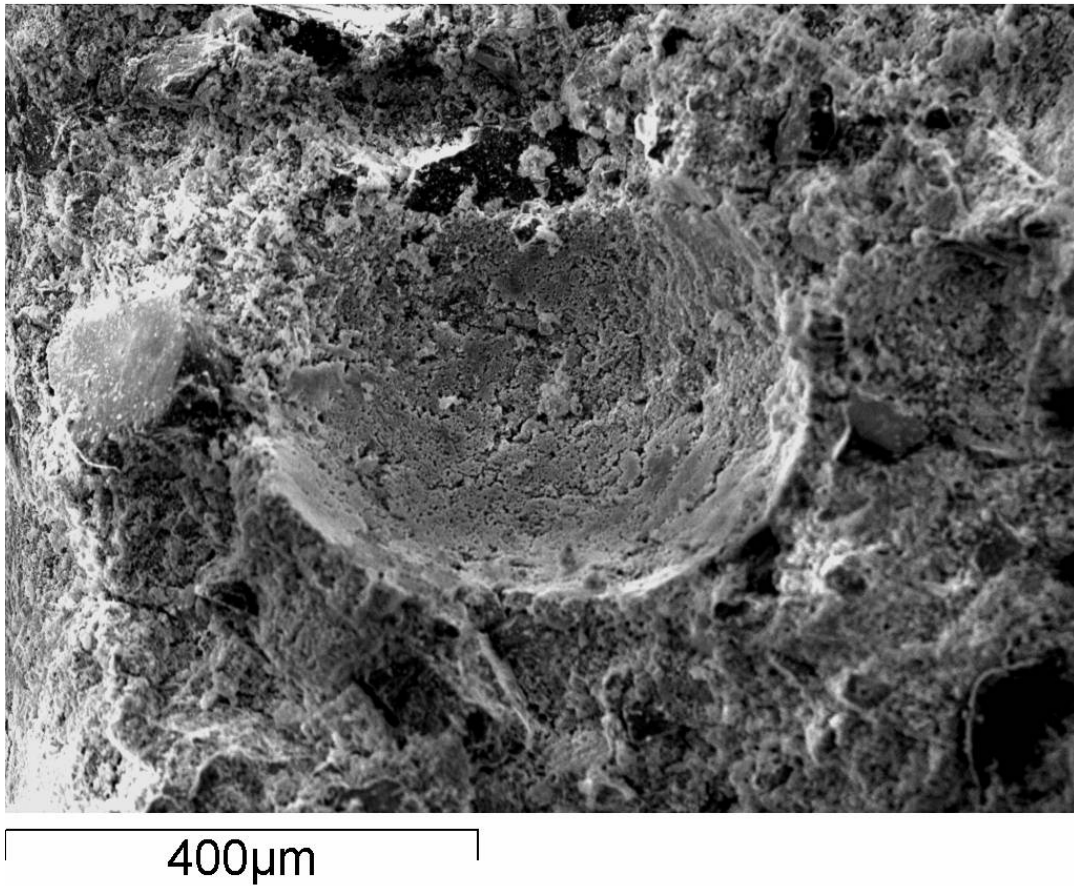
Φωτ.9. Γενική μορφή ασβεστοκονιάματος Kourasanit (1) εκτός θαλάμου γήρανσης.
Η στοιχειακή ανάλυση έγινε στο συνδεδετικό υλικό

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 10

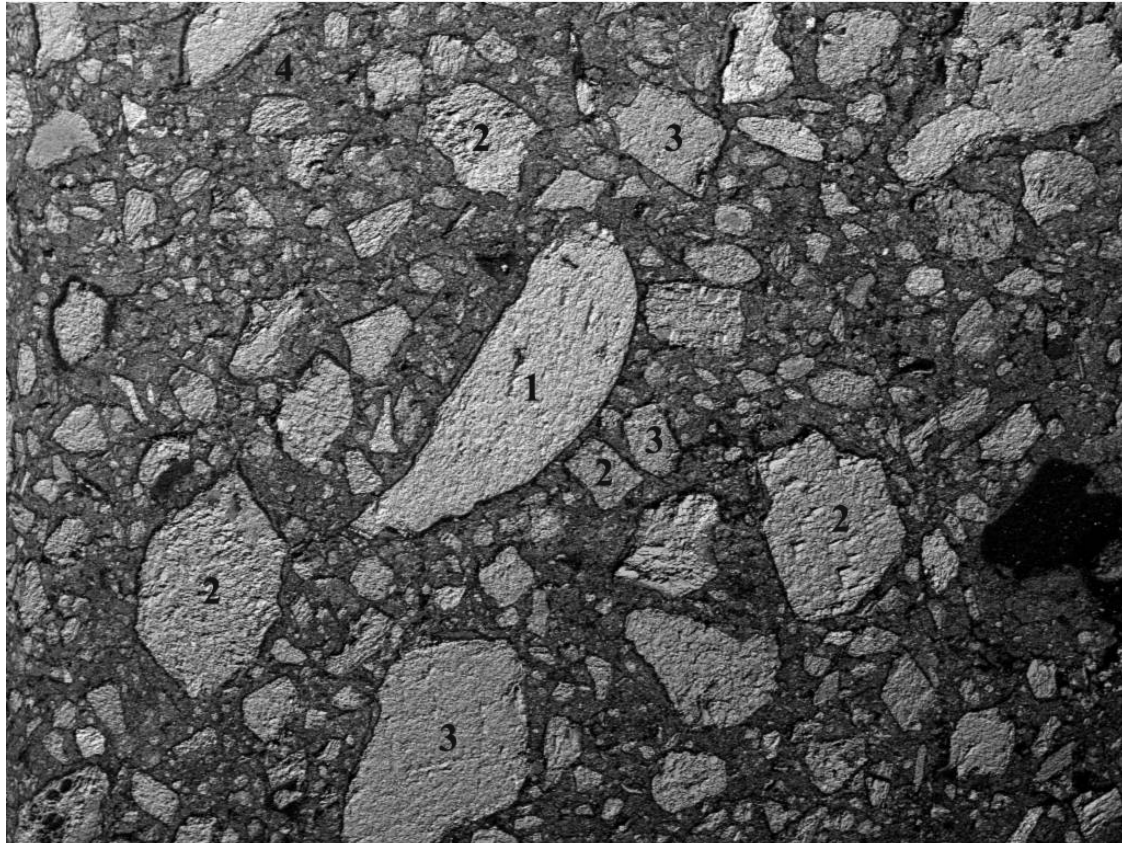


Φωτ.10. Γενική μορφή ασβεστοκονιάματος Kourasanit με ρητίνη (4) εκτός θαλάμου γήρανσης.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 11

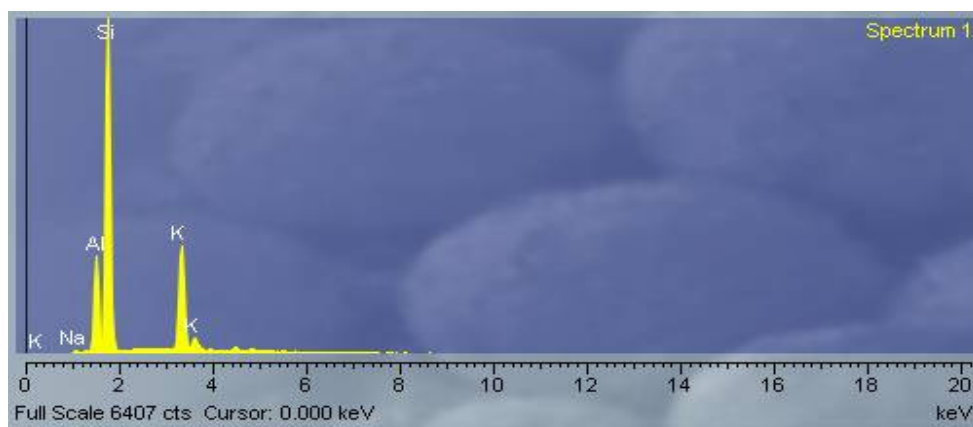


Φωτ.11. Γενική μορφή ασβεστοκονιάματος Kourasanit (2) εκτός θαλάμου γήρανσης.

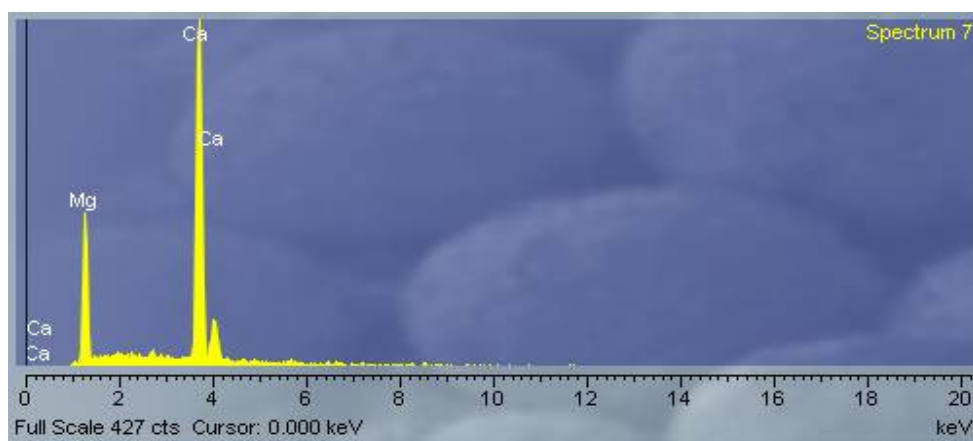
Back Scattering Images**ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 12**

1mm

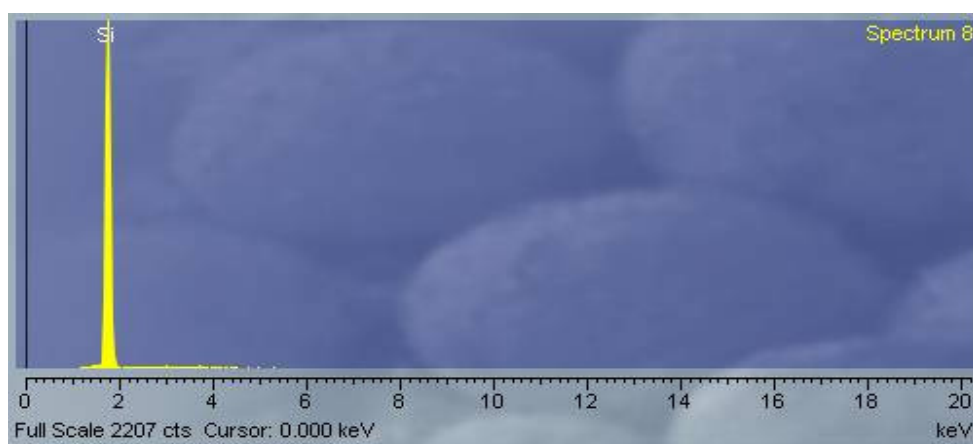
Φωτ.12. Γενική όψη ασβεστοκονιάματος Kourasanit (λεπτή τομή) μετά την τεχνητή γήρανση. Είναι η ίδια φωτογραφία με την 1.1. σελ. 188 στο πολωτικό μικροσκόπιο. Φαίνεται κόκκος αστρίου (1), τέσσερεις κόκκοι δολομίτη (2), τρεις χαλαζία (3) και το συνδετικό υλικό (4). Ακολουθούν και οι αντίστοιχες στοιχειακές αναλύσεις στις παραπάνω θέσεις:



Στοιχειακή ανάλυση κόκκου (1), **Αστριος**

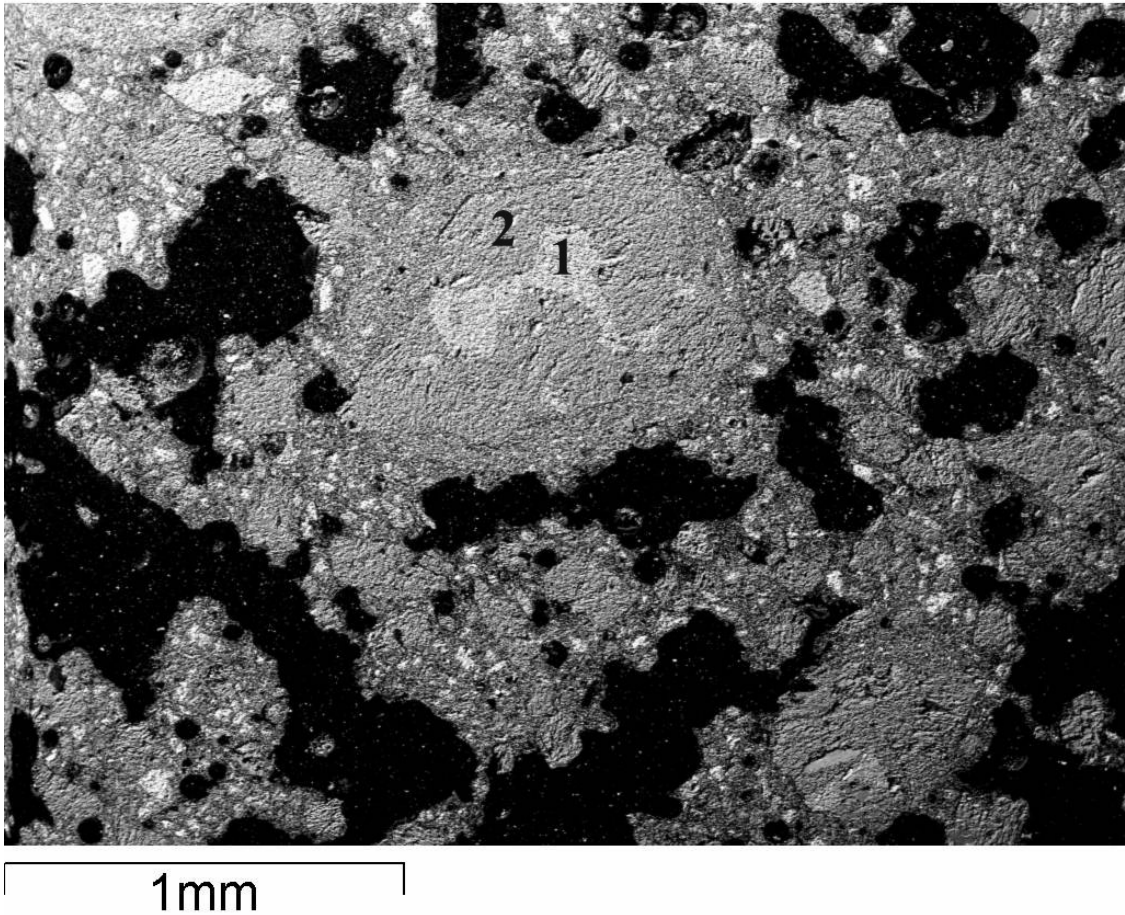


Στοιχειακή ανάλυση κόκκου (2), **Δολομίτης**

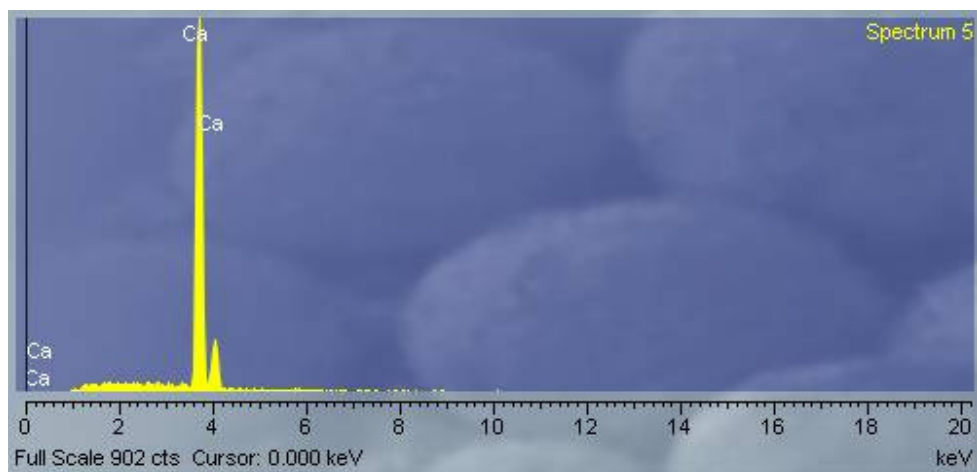


Στοιχειακή ανάλυση κόκκου (3), **Χαλαζίας**

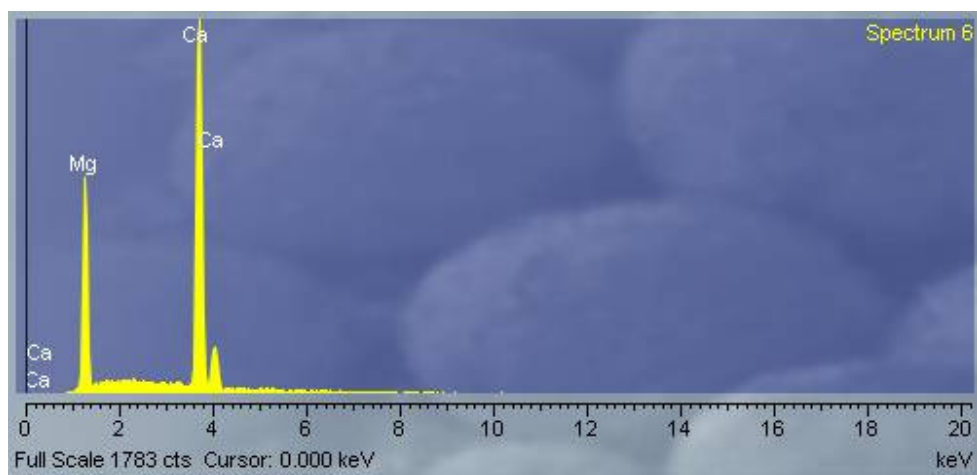
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 13



Φωτ.12. Τσιμεντοκονίαμα *Rapicret* μετά το θάλαμο γήρανσης. Φαίνεται κόκκος δολομίτη (2) στη μέση του οποίου συναντάται περιοχή με μόνο ασβέστιο όπως έδειξε η στοιχειακή ανάλυση. Ακολουθούν οι αντίστοιχες αναλύσεις.

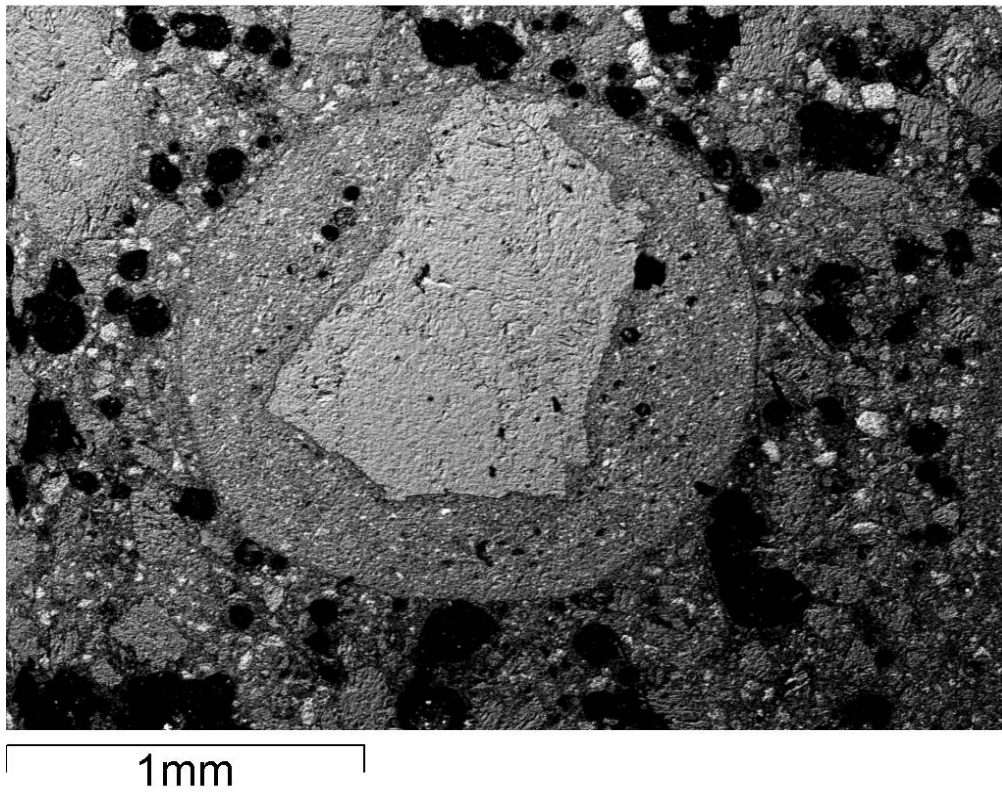


Περιοχή (1) όπου συναντάμε μόνο ασβέστιο

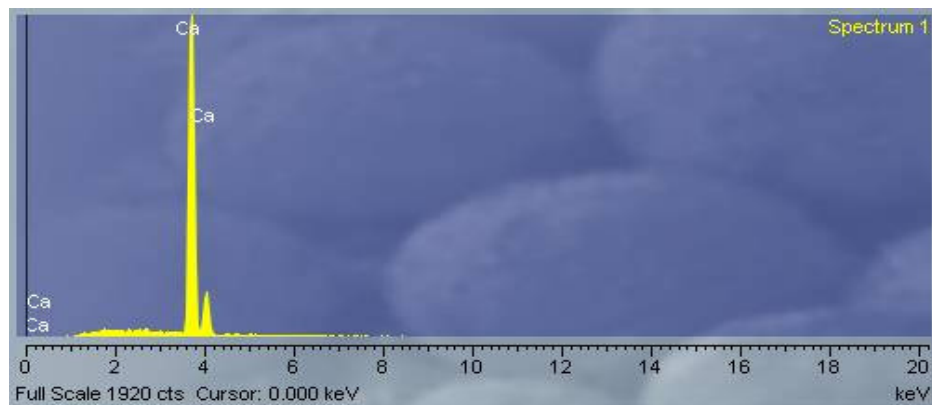


Κόκκος δολομίτη (2)

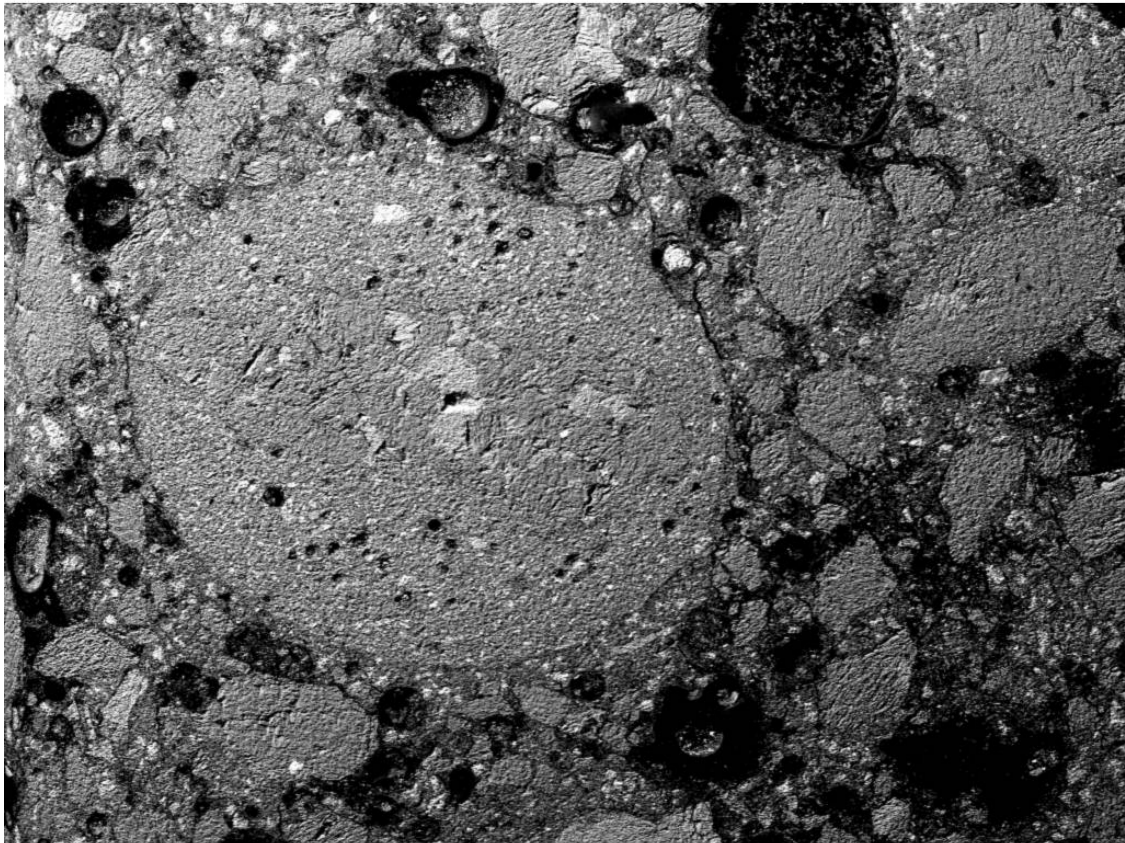
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 14



Φωτ.14. Τσιμεντοκονίαμα Rapidet μετά το θάλαμο γήρανσης. Φαίνεται κόκκος ασβεστίτη μέσα σε κενόσφαιρα. Η ανάλυση έγινε πάνω στον κόκκο.



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 15



1mm

Φωτ.15. Τσιμεντοκονίαμα Rapicret μετά το θάλαμο γήρανσης. Γενική όψη.

9. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα γενικά συμπεράσματα καθώς γίνεται και αξιολόγηση κάθε πρώτης ύλης και έτοιμου κονιάματος βάσει όλων των επί μέρους εργαστηριακών αναλύσεων καθώς και της συμπεριφοράς των παρασκευασθέντων δοκιμίων.

1. Το αδρανές υλικό που χρησιμοποιεί η εταιρία «ΤΡΑΤΣΕΛΑΣ Β.ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ & ΣΙΑ Ο.Ε.» είναι ποταμίσις δολομιτική άμμος παρουσία μικρού ποσοστού ασβεστίτη, χαλαζία και αστρίων, με καλή κοκκομετρική διαβάθμιση με μέγιστο κόκκο 2mm. Περιέχει επίσης παιπάλη θηραϊκής γης και κεραμάλευρο.

2. Σαν συνδετική ύλη χρησιμοποιείται κονία υδρασβέστου (ξηρή αλεσμένη) με προσθήκη λευκού τσιμέντου και λίγης γύψου. Η εργαστηριακή μελέτη κάθε μίας από τις υδρασβέστους έδειξε τα εξής:

- Οι υδράσβεστοι (3) και (4) περιέχουν αρκετό ποσοστό λευκού τσιμέντου, γύρω στο 4% γύψο ενώ εμφανίζεται και ανυδρίτης σε ποσοστό 2 με 3%. Η περιεκτικότητά τους σε ασβεστίτη είναι κοντά στο 15%. Το ποσοστό αυτό σε ασβεστίτη είναι υψηλό και αυτό μπορεί να οφείλεται ή στη μη σωστή αποθήκευση της υδρασβέστου ή στην εξ'αρχής μη ολοκληρωμένη παρασκευή ασβέστη από το αρχικό πέτρωμα. Το ποσοστό αυτό σε ασβεστίτη, καθιστά τμήμα της κονίας ανενεργό, γεγονός που δε συμβαδίζει με τις πρότυπες προδιαγραφές για τις υδρασβέστους. Επίσης η χρήση των παραπάνω υδρασβέστων σε επεμβάσεις συντήρησης και αναπαλαίωσης δεν ενδύκνεται-θέλει ιδιαίτερη προσοχή, λόγω του υψηλού ποσοστού σε λευκό τσιμέντο καθώς και της παρουσίας γύψου και ανυδρίτη.
- Οι υδράσβεστοι (5) και (6) εμφανίζουν πολύ μικρό ποσοστό σε λευκό τσιμέντο γύψο και ανυδρίτη, αρκετά μεγάλο ποσοστό άμορφης φάσης και υψηλό ποσοστό σε ασβεστίτη (ιδιαίτερα η (5) κοντά στο 25%). Πάλι η αυξημένη περιεκτικότητα σε

ασβεστίτη τις καθιστά ασύμφωνες με τις πρότυπες προδιαγραφές για τις υδρασβέστους. Πάντως, όσον αφορά τη σύστασή τους, με χαμηλότερο ποσοστό σε ασβεστίτη μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επεμβάσεις συντήρησης και αναπαλαίωσης.

3. Η θηραϊκή γη αποτελείται κυρίως από άμορφο υλικό αλλά περιέχει και κάποια ορυκτά (χαλαζία, ασβεστίτη, μοσχοβίτη, ανορθόκλαστο) σε μικρά κυρίως ποσοστά. Είναι αρκετά λεπτόκοκκη με μέγιστο κόκκο 1mm και ομαλή κοκκομετρική διαβάθμιση στα λεπτά κλάσματα. Η χημική ανάλυση έδειξε SiO_2 κοντά στο 70%. Στην ορυκτολογική ανάλυση των κυβικών δοκιμών που περιείχαν και θηραϊκή γη, στις 28 μέρες, στις 120 καθώς και μετά την παραμονή τους στο θάλαμο τεχνητής γήρανσης, δε φάνηκε η δημιουργία ασβεστοπυριτικών φάσεων. Βέβαια, η δημιουργία αυτών των φάσεων είναι μια αργή διαδικασία η οποία πραγματοποιείται στους 6 μήνες με ένα χρόνο από την ανάμιξη της ποζολάνης με την υδράσβεστο. Το γεγονός ότι οι υδράσβεστοι που χρησιμοποιήθηκαν είχαν εξ'αρχής αρκετά χαμηλό ποσοστό σε Ca(OH)_2 , κάνει ακόμα πιο δύσκολη τη δημιουργία ασβεστοπυριτικών φάσεων.

4. Το έτοιμο τσιμεντοκονίαμα Rapicret από την εταιρία ISOMAT, αποτελείται από δολομιτική άμμο με μικρό ποσοστό ασβεστίτη. Σαν κονία περιέχει γκρίζο τσιμέντο, με μεγαλύτερη εμφάνιση της φάσης C_3S , γεγονός στο οποίο οφείλεται και η ταχύτητά του στην πήξη. Έδειξε ικανοποιητικές αντοχές και δεν επηρεάστηκε καθόλου από την παρουσία του στο θάλαμο τεχνητής γήρανσης. Αντιθέτως μετά το θάλαμο γήρανσης έδειξε κατά πολύ αυξημένη αντοχή. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στην καλύτερη ενυδάτωσή του, καθώς μέσα στο θάλαμο γήρανσης τα δοκίμια βρίσκονται πάντα με την απαιτούμενη υγρασία. Αν συμβαίνει το παραπάνω γεγονός αποδεικνύεται για ακόμα μια φορά η μεγάλη σημασία που παίζει η σωστή ενυδάτωση στη συμπεριφορά και στις τελικές ιδιότητες των τσιμεντών.

5. Το έτοιμο τσιμεντοκονίαμα Unicret-fast από την εταιρία ISOMAT, αποτελείται και αυτό από δολομιτική άμμο με πικρό ποσοστό ασβεστίτη. Σαν κονία χρησιμοποιείται λευκό τσιμέντο, φάνηκε μόνο ανεπαίσθητη συμμετοχή σε C_3S . Τα κυβικά δοκίμια που

κατασκευάστηκαν από αυτό παρουσίασαν πολύ μικρές τιμές σε αντοχή, γεγονός που σχετίζεται απόλυτα με το πολύ μικρό ποσοστό σε κονία που περιέχει. Μετά την παραμονή του στο θάλαμο γήρανσης έχασε τελείως την έτσι κι αλλιώς μικρή αντοχή του, αλλά δεν εμφάνισε απώλεια βάρους ούτε μεταβολές στην εξωτερική του επιφάνεια.

6. Τα κυβικά δοκίμια (1), (2), (3), και (4), (Kourasanit με υδρασβέστους), εμφάνισαν χαμηλές αντοχές ενώ στο θάλαμο γήρανσης καταστράφηκαν εντελώς χάνοντας αρκετό ποσοστό του βάρους τους. Εξαίρεση αποτέλεσε το δοκίμιο (4) το οποίο περιείχε και ρητίνη το οποίο ναι μεν έχασε τελείως την αντοχή του, αλλά εξωτερικά έμεινε ανεπηρέαστο. Η χαμηλή αντοχή που έδειξαν όλα τα παραπάνω δοκίμια οφείλεται στη χαμηλής ποιότητα υδρασβέστου και στην απουσία ασβεστοπυριτικής φάσης (βλ. συμπέρασμα 3). Ως έχουν δεν προτείνονται για χρήση σε επεμβάσεις συντήρησης και αναπαλαίωσης.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η συνολική ενασχόληση με αυτή την εργασία μπορεί να οδηγήσει και σε κάποια πιο γενικά συμπεράσματα-προτάσεις τα οποία προέκυψαν κατά τη διάρκεια των αναλύσεων τόσο των πρώτων υλών όσο και της μελέτης των κυβικών δοκιμίων. Συγκεκριμένα φάνηκε η σημασία των ορυκτολογικών και των χημικών αναλύσεων στη μελέτη των πρώτων υλών αλλά και στην πρόβλεψη με βάσει αυτές της μετέπειτα πορείας και συμπεριφοράς των κυβικών δοκιμίων. Αυτό είναι πολύ σημαντικό στη χρήση των υλικών αυτών σε μνημεία διότι οι λανθασμένες επιλογές υλικών σε τέτοιες επεμβάσεις μπορούν να αποβούν μοιραίες και καταστροφικές για το ίδιο το μνημείο με ότι αυτό συνεπάγεται.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Ακτινοδιαγράμματα XRD

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Φωτογραφίες



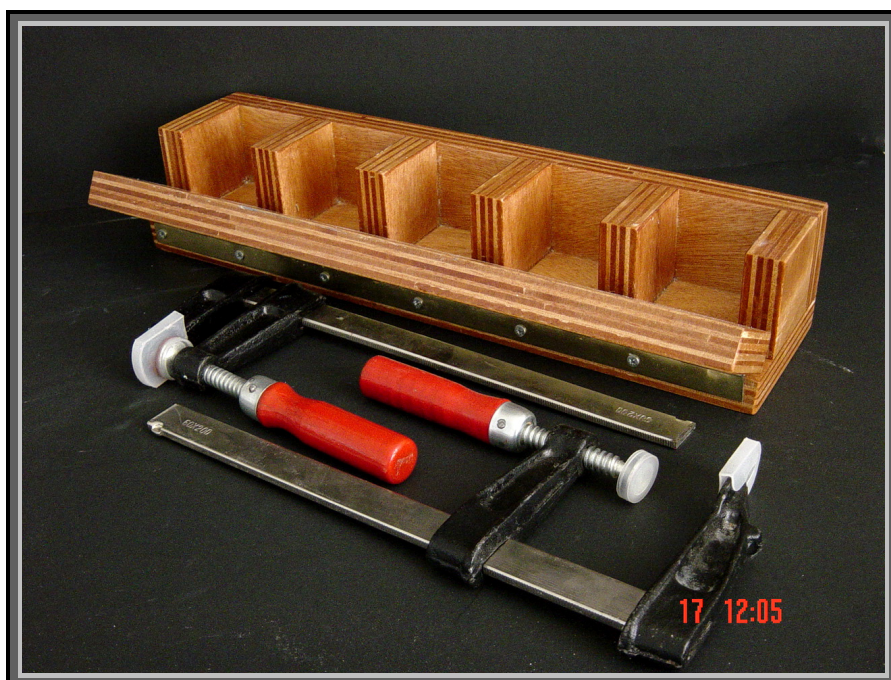
Φωτ.1. Υδράσβεστοι
1 = (3), 2 = (4), 3 = (5), 4 = (6)



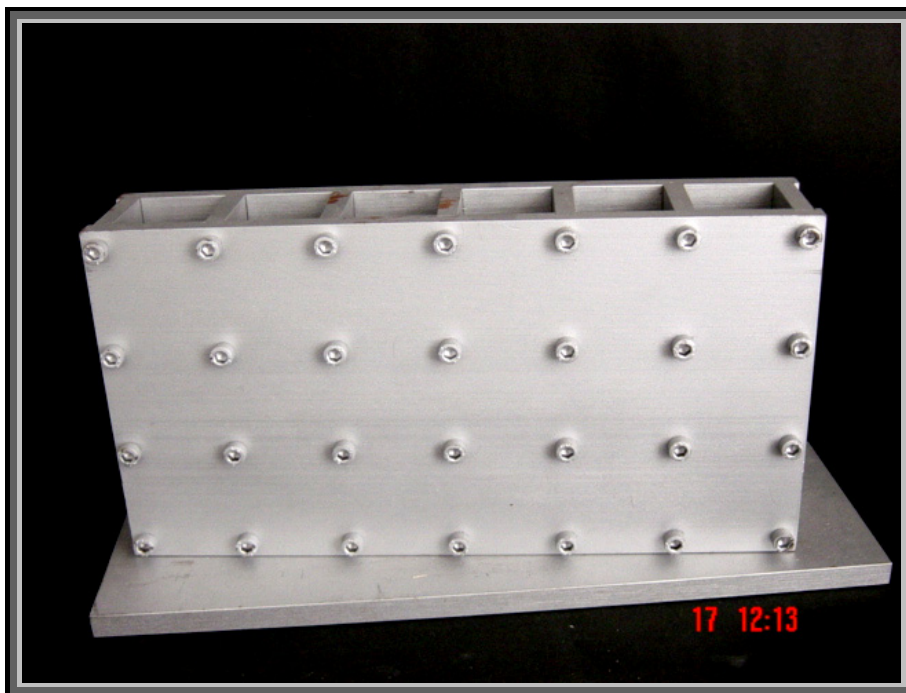
Φωτ.2. Έτοιμα κονιάματα.
 1 = Kourasanit (0-6), 2 = Kourasanit (0-2), 3 = Unicret-fast, 4 = Rapicret



Φωτ.3. Κυβικό καλούπι ξύλινο



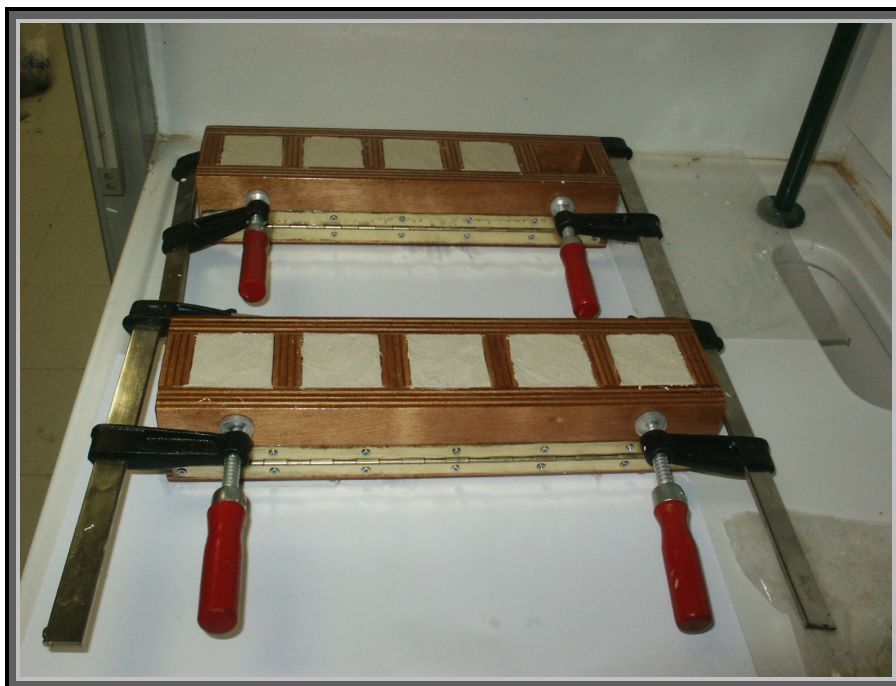
Φωτ.4. Κυβικό καλούπι ξύλινο



Φωτ.5. *Μεταλλικά καλούπια*



Φωτ.6. *Διαδικασία τοποθέτησης πολτού στα δοκίμια*



Φωτ.7. Κονίαμα Kourasanit σε ξύλινα καλούπια



Φωτ.8. Τσιμεντοκονιάματα *Unicret-fast* και *Rapicret* σε μεταλλικά καλούπια



Φωτ.9. Κυβικά δοκίμια Kourasanit (βλ. αρίθμηση κεφ.8.1)



Φωτ.10. Κυβικά δοκίμια

1 = Rapidret, 2 = Unicret-fast, 3 = Kourasanit με ρητίνη (4)



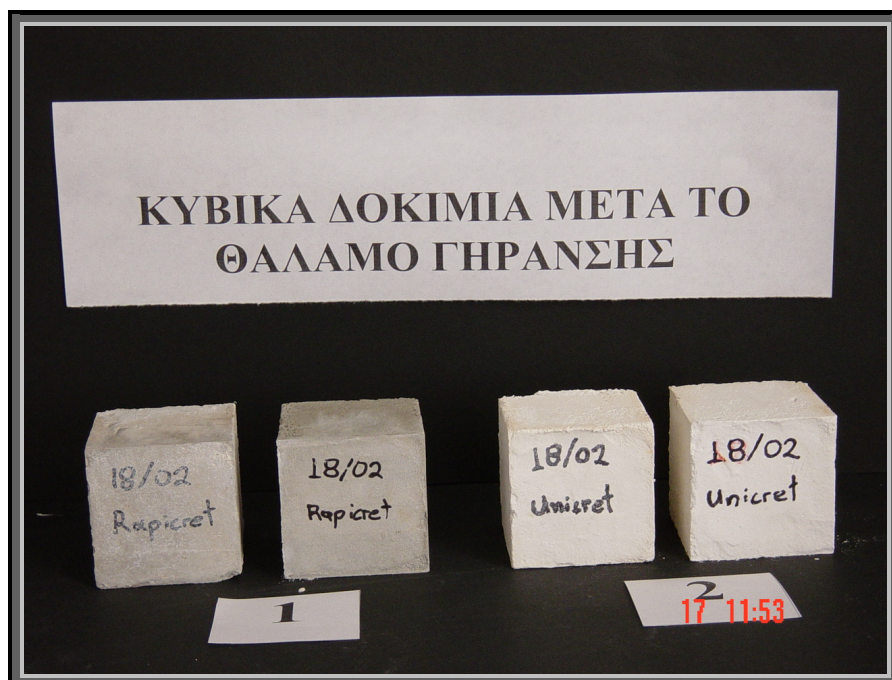
Φωτ.11. Κυβικά και κυλινδρικό δοκίμιο μετά την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη



Φωτ.12. Κυβικά δοκίμια μετά το θάλαμο γήρανσης (βλ. αρίθμηση κεφ. 8.1)



Φωτ.13. Τσιμεντοκονιάματα Rapicret (1) και Unicret-fast μετά το θάλαμο γήρανσης



Φωτ.14. Τσιμεντοκονιάματα Rapicret (1) και Unicret-fast μετά και πριν (όπως είναι τοποθετημένα) το θάλαμο γήρανσης



Φωτ. 10. Διαβάθμιση κόκκων ανά κόσκινο

-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-

- [1] Λεγάκις Α. Αντωνίου, (1954), «Δομικά Υλικά», Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα.
- [2] Θ. Ν. Σκουλικίδης, (2000), «Διάβρωση και Συντήρηση των Δομικών Υλικών των Μνημείων», Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο Κρήτης.
- [3] Θ. Ν. Σκουλικίδης, (2000), «Βλαβερές και αβλαβείς μέθοδοι και υλικά δομικής συντήρησης της επιφάνειας μνημείων και κτιρίων», πρακτικά 1^{ου} Εθν. Συνεδρίου Ήπιες επεμβάσεις και προστασία ιστορικών κατασκευών', Θεσσαλονίκη.
- [4] Βιαζής Γ., (2003), «Τεχνολογία Δομικών Υλικών», Αθήνα
- [5] Καραβίτη Ελ. (2003), «Αξιολόγηση ποζολανικών υλικών για παρασκευή συμβατών κονιαμάτων με δυνατότητα εφαρμογής σε επεμβάσεις συντήρησης και αναστήλωσης», Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- [6] 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.
- [7] Μωχαμεντ Μ. (1994), «Μελέτη των φυσικοχημικών ιδιοτήτων μεσαιωνικών και παραδοσιακών κονιαμάτων και των πρώτων υλών παρασκευής τους», Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- [8] Wendehorst R., (1975-Hannover), «Δομικά Υλικά», μετάφραση από τα γερμανικά, εκδόσεις Μ. Γκιούρδας (1981-Αθήνα).
- [9] Οικονόμου Χρ., «Τεχνολογία του σκυροδέματος», δεύτερη έκδοση
- [10] 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.

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

[12] Δαβη Ελ. (1991), «Πετρολογία», έκδοση Β', Αθήνα

[13] Γαλετάκης Μ., (1991), «Βασικές αρχές φασματοσκοπίας ακτίνων-Χ, φθορισμού και πρακτική των μετρήσεων». Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.

[14] Κωστάκης Γ., (1988), «Φυσικές ιδιότητες των ορυκτών», Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.

[15] Κωστάκης Γ., (1995), «Κεφάλαια ακτινοσκοπίας των κρυστάλλων», Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων

[16] Αλεβίζος Γ., (2002), «Μικροσκοπία Ορυκτών Πρώτων Υλών και Τεχνητών Προϊόντων», Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά

[17] Θεωδορίκας Στ. (1997), «Γεωχημεία», Θεσσαλονίκη.

[18] Φώσκολος Α., (1995), «Σημειώσεις από τις παραδόσεις του μαθήματος Γεωχημείας». Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.

[19] Στειακάκης Ε., (1996), «Εργαστηριακές ασκήσεις Τεχνικής Γεωλογίας – Εδαφομηχανικής». Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Χανιά.

- [20] Μιλτιάδου Α. (1990), «Contribution `a l' `Etude des Coulis Hydraylikes pour la Reparation et le Renforcement des Structures et des Monuments Historiques en Maconnerie», Doctorat de l' `Ecole Nationale des Ponts et Chaussees, Paris.
- [21] Μιλτιάδου Α. – Fezans, «Σχεδιασμός και εφαρμογή υδραυλικών ενεμάτων για την επισκευή και ενίσχυση μνημείων από λιθοδομή», απόσπασμα από τα πρακτικά του σεμιναρίου 'Εφαρμογές στη συντήρηση δομικών υλικών των μνημείων', Comett-Itecom, 1993, Αθήνα.
- [22] Πάππας Δ. (1996), «Μελέτη φυσικών και χημικών ιδιοτήτων δομικών λίθων των Νεωρίων Χανίων και αναζήτηση των χώρων εκλατόμευσής των», Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- [23] Κατσαντώνης-Αντωνιάδης Γ. (1994), «Μελέτη της ορυκτολογικής, χημικής και κοκκομετρικής σύστασης λίθων και κονιαμάτων του μεγάλου Αρσεναλίου της πόλης των Χανίων», Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- [24] Μανίτα Π. – Μανταζοπούλου Σ.
- [25] Σιδέρης, «Τεχνολογία δομικών υλικών»
- [26] Τάσιος – Αλιγιζάκη, «Ανθεκτικότητα οπλισμένου σκυροδέματος».
- [27] Hecker R. Amy (1977), «Mortars and Renderings», Institute of Advanced Architectural Studies, York England.
- [28] Ιστοσελίδες από το διαδίκτυο