



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**



***“ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΡΟΛΟΥ ΤΩΝ
ΑΔΡΑΝΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ
ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ”***

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΣΟΦΙΑ ΗΛ. ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΥ
ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΜΠ, MSc**

ΑΘΗΝΑ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2012



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

A. Μοροπούλου, Καθηγήτρια ΕΜΠ (επιβλέπουσα)

Γ. Μπατής, Καθηγητής ΕΜΠ

Σ. Τσιβιλής, Καθηγητής ΕΜΠ

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή

A. Μοροπούλου, Καθηγήτρια ΕΜΠ (επιβλέπουσα)

Γ. Μπατής, Καθηγητής ΕΜΠ

Σ. Τσιβιλής, Καθηγητής ΕΜΠ

E. Βιντζηλαίου, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Σ.Τσίμας, Καθηγητής ΕΜΠ

M.Μπεάζη-Κατσιώτη, Αν.Καθηγήτρια ΕΜΠ

A.Καραγιάννης-Μπακόλας, Λέκτορας ΕΜΠ



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή: **Α. Μοροπούλου, Καθηγήτρια ΕΜΠ** (επιβλέπουσα)

Γ. Μπατής, Καθηγητής ΕΜΠ

Σ. Τσιβιλής, Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή στις 2012.

(Υπογραφή)

.....
Α. Μοροπούλου
Καθηγήτρια ΕΜΠ
(επιβλέπουσα)

(Υπογραφή)

.....
Ε. Βιντζηλαίου
Καθηγήτρια ΕΜΠ

(Υπογραφή)

.....
Γ. Μπατής
Καθηγητής ΕΜΠ

(Υπογραφή)

.....
Σ. Τσίμας
Καθηγητής ΕΜΠ

(Υπογραφή)

.....
Α. Καραγιάννης-
Μπακόλας
Λέκτορας ΕΜΠ

(Υπογραφή)

.....
Σ. Τσιβιλής
Καθηγητής ΕΜΠ

(Υπογραφή)

.....
Μ.Μπεάζη-Κατσιώτη
Αν.Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Δεκέμβριος 2012

*...στα παιδιά μου
Άρη και Αλέξανδρο*

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή ανατέθηκε τον Νοέμβριο του 2004 από τη Σχολή Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ, με επιβλέπουσα την Καθηγήτρια ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου.

Στόχος της εργασίας αυτής είναι ο καθορισμός χαρακτηριστικών κρίσιμων παραμέτρων αξιολόγησης των αδρανών υλικών που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή κονιαμάτων αποκατάστασης και η τυποποίηση της μεθοδολογίας ελέγχου αυτών. Ο καθορισμός κρίσιμων παραμέτρων που προκύπτουν κατά βάση από την κοκκομετρική ανάλυση των αδρανών υλικών θα επιτρέψει τον έμμεσο προσδιορισμό ποιοτικών και ποσοτικών απαιτήσεων κατά τον σχεδιασμό κονιαμάτων αποκατάστασης.

Οι πειραματικές εργασίες εκπονήθηκαν στο Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ, σε συνεργασία με το Εργαστήριο της Διεύθυνσης Τεχνικών Ερευνών Αναστήλωσης (ΔΙΤΕΑ) του ΥΠΠΟΤ.

Με την ολοκλήρωση της προσπάθειας αυτής θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά:

- Την Καθ. ΕΜΠ Α. Μοροπούλου, για την επιστημονική καθοδήγηση, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση του θέματος, και την ευκαιρία που μου έδωσε να αναλύσω διεξοδικά ένα τόσο συγκεκριμένο και ειδικό κομμάτι του γνωστικού πεδίου που αφορά στα κονιάματα αποκατάστασης, το οποίο ανέκαθεν με ενδιέφερε, καθώς και για την διαρκή υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας.
- Τον Λέκτορα ΕΜΠ, Α. Καραγιάννη-Μπακόλα, για την επιστημονική υποστήριξη, τον χρόνο που αφιέρωσε στο αντικείμενο της παρούσας εργασίας, τις ανεξάντλητες ιδέες του και την έμπνευση που μου παρείχε σε όλες τις φάσεις της ανάλυσης του συγκεκριμένου γνωστικού αντικειμένου.
- Τα μέλη της συμβουλευτικής επιτροπής για τις παρατηρήσεις τους.
- Την Δρ. ΕΜΠ Ε. Αγγελακοπούλου, για τις χρήσιμες συμβουλές της και τις εύστοχες παρατηρήσεις της επί της συγγραφής της παρούσας διατριβής.
- Τους Α. Μιλτιάδου, Πολιτικό Μηχανικό ΥΠΠΟΤ και Α. Καλαγή, Χημικό Μηχανικό ΥΠΠΟΤ, για την υποστήριξη και συμβολή τους σε όλες τις φάσεις του πειραματικού έργου στο Εργαστήριο της Δ/σης Τεχνικών Ερευνών Αναστήλωσης και για την συγκέντρωση των απαιτούμενων πρώτων υλών.
- Όλους τους συναδέλφους - φίλους στο εργαστήριο του ΕΜΠ και στο εργαστήριο της ΔΙΤΕΑ για την άψογη συνεργασία και την υποστήριξή τους.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, και ειδικότερα **τους γονείς μου** και τα παιδάκια μου, **Άρη** και **Αλέξανδρο**, για την συμπαράστασή τους, την κατανόησή τους και για τις ώρες που επέτρεψαν να λείπει η μαμά από δίπλα τους, αν και πολύ μωρά για να καταλάβουν το γιατί!

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επίδραση της κοκκομετρίας των αδρανών υλικών και της κατανομής του μεγέθους των κόκκων τους είναι ιδιαίτερος σημαντική στη σύνθεση κονιαμάτων αποκατάστασης.

Τα αδρανή είναι κοκκώδη υλικά που καταλαμβάνουν σημαντικό ποσοστό στη μίτρα ενός κονιάματος (συνήθως άνω του 60%). Οι ιδιότητές τους επηρεάζουν σημαντικά την συμπεριφορά των κονιαμάτων και συγκεκριμένα, μεταξύ άλλων, την εργασιμότητα των νωπών μιγμάτων, αλλά και την αντοχή, την συνεκτικότητα και την ανθεκτικότητα του σκληρυμένου κονιάματος.

Η κατανομή μεγέθους κόκκων ενός αδρανούς υλικού είναι κρίσιμος παράγοντας για την συμπεριφορά του τελικού προϊόντος.

Στο γενικότερο πλαίσιο των επεμβάσεων αποκατάστασης σε ιστορικές τοιχοποιίες, τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό κατάλληλων κονιαμάτων αποκατάστασης θα πρέπει να συμβαδίζουν κατά το δυνατόν με τις απαιτήσεις της φύσης και της κοκκομετρίας του πλέγματος των αδρανών που αναγνωρίζονται στα αυθεντικά κονιάματα ιστορικών τοιχοποιιών.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι, στο πέρασμα των χρόνων, τα αυθεντικά κονιάματα έχουν επιδείξει αξιοσημείωτη συμπεριφορά και ανθεκτικότητα σε μηχανικές καταπονήσεις και περιβαλλοντικά φορτία, η Μελέτη Σχεδιασμού (*Mix Design*) κονιαμάτων αποκατάστασης θα πρέπει να προσεγγιστεί υπό το πρίσμα της προσομοίωσης των αυθεντικών υλικών.

Ωστόσο, λόγω της σημαντικής διαφοροποίησης μέσω της βιομηχανικής παραγωγής των δομικών υλικών και της εξάλειψης των παραδοσιακών τεχνικών, καθώς και της ευρείας εφαρμογής τσιμεντιτικών υλικών σε επεμβάσεις αποκατάστασης, έχουν προκληθεί σημαντικές αστοχίες και φθορές στα αυθεντικά δομικά υλικά, επιβεβαιώνοντας την ακαταλληλότητα των υλικών με βάση το τσιμέντο.

Επομένως, είναι αναγκαίος ο σχεδιασμός κατάλληλων κονιαμάτων αποκατάστασης συμβατών προς τα αυθεντικά δομικά υλικά.

Η επιλογή των πρώτων υλών για την παρασκευή κατάλληλων κονιαμάτων αποκατάστασης χρήζει ιδιαίτερης μελέτης. Ως πρώτες ύλες νοούνται η κονία και τα αδρανή από τα οποία αποτελείται στη βάση του ένα κονίαμα.

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στη διερεύνηση του ρόλου των αδρανών στα κονιάματα αποκατάστασης και συγκεκριμένα στην παραμετροποίηση των κοκκομετρικών αναλύσεων αδρανών υλικών μέσω χαρακτηριστικών κρίσιμων παραμέτρων που προκύπτουν από την μαθηματική και στατιστική επεξεργασία των δεδομένων των κοκκομετρικών αναλύσεων.

Οι πειραματικές εργασίες διεξήχθησαν στο Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ, σε συνεργασία με το εργαστήριο της Διεύθυνσης Τεχνικών Ερευνών Αναστήλωσης του ΥΠΠΟΤ.

Οι εργασίες αυτές αφορούν στην ολοκληρωμένη διερεύνηση των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τις κοκκομετρικές αδρανών υλικών, οι οποίες καθορίζουν τα ποσοστά των πρώτων υλών που απαιτούνται για την παρασκευή εργάσιμων μιγμάτων κονιαμάτων αποκατάστασης.

Η κοκκομετρία των αδρανών επηρεάζει σημαντικά την τελική συμπεριφορά του κονιάματος ως προς τις προσλαμβανόμενες μηχανικές αντοχές και την μικροδομή του.

Μια συνδυασμένη εκτίμηση των μαθηματικών και στατιστικών δεδομένων που προκύπτουν από την επεξεργασία των κοκκομετρικών καμπυλών των αδρανών επιτρέπει τον καθορισμό συγκεκριμένης μεθοδολογίας ανάλυσης και διερεύνησης των χαρακτηριστικών τους.

Στην εργασία αυτή, οι κοκκομετρικές καμπύλες που προέκυψαν από την κοκκομετρική ανάλυση συγκεκριμένων αδρανών υλικών παρατέθηκαν σε ημιλογαριθμικά διαγράμματα κατανομής όπου καθορίστηκαν περιοχές που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένο ποσοστό όγκου κενών αδρανών (%voids) και κατά συνέπεια σε συγκεκριμένο ποσοστό κόνιας που απαιτείται για την πλήρωση των κενών όγκων στο πλέγμα του κονιάματος. Η παραπάνω παράμετρος (%voids) είναι καθοριστική στον σχεδιασμό κονιαμάτων αποκατάστασης.

Επιπλέον, εξετάστηκαν στο εργαστήριο και παρουσιάζονται ενδεικτικά συνθέσεις κονιαμάτων αποκατάστασης με συγκεκριμένα ποσοστά ανάμιξης κόνιας και αδρανών, όπως αυτά προέκυψαν από την διερεύνηση των κοκκομετρικών καμπυλών των αδρανών υλικών. Τα κονιάματα αυτά εξετάστηκαν ως προς την εξέλιξη των μηχανικών αντοχών και των παραμέτρων μικροδομής τους στο χρόνο. Περαιτέρω διερεύνηση διαφόρων μιγμάτων κονιαμάτων με χρήση διαφορετικών τύπων συνδετικών κονιών αλλά και αδρανών υλικών θα διεύρυνε την συγκεκριμένη έρευνα που πιστοποιεί την σημαντική επίδραση της κοκκομετρικής κατανομής των αδρανών υλικών στην τελική συμπεριφορά των κονιαμάτων αποκατάστασης.

ABSTRACT

The effect of aggregates grading and particle size distribution on the composition of restoration mortars has long been recognised.

Aggregates are granular materials that occupy significant volume of the mortar matrix (usually more than 60%). Aggregates properties significantly affect the workability of fresh mortar and the strength, durability and density of hardened mortar. Moreover, the particle size distribution of an aggregate material is critical for the performance of the end mixture.

In terms of restoration interventions on historical buildings, the aggregate materials employed for the design of proper restoration mortars should take into consideration the nature and the grading properties of the aggregates already applied in the authentic mortars.

Taking into account that through the centuries historic mortars have proved to be well compatible with the historic structural units and long lasting under severe mechanical and environmental loads, mix design of restoration mortars should be approached on the basis of historic materials simulation.

However, due to the overcoming industrial production, traditional materials and techniques have been replaced by cement technology, resulting to the loss of traditional building practice. A number of recent restoration interventions have caused significant failures and damage accelerations to the historic building materials and structural units. Therefore, there is a demand for proper restoration mortars and building materials compatible to the original structures.

Special research should be followed on the selection of raw materials for the production of suitable restoration mortars. Binder and aggregates are the raw materials of which a mortar mixture consists on its basis.

The present work focuses on a thorough investigation on aggregate materials, through mathematical and statistical examination of their grading, by extracting crucial parameters and factors that correspond to the characteristics of grading curves.

The experimental works took place at the Materials Laboratory of National Technical University of Athens and at the Directorate for Technical Research and Restoration of the Ministry of Culture, Greece. They concern a thorough investigation of the parameters characterizing gradings of aggregate materials which determine the necessary proportions of raw materials for the mix design of workable restoration mortars. Grading of aggregates contribute significantly to the final behaviour of mortars.

A combined evaluation of the mathematical and statistical data obtained permitted a standard method of analysing and integrating various aggregate materials and their properties. The gradation curves extracted from the typical gradation analysis that was performed on a significant number of various aggregates were plotted on graphs where areas of certain void content were determined. These areas correspond to certain proportions of binding materials that should be occupied in the mortar matrix released from the aggregates, which contribute essentially to the final mix design of restoration mortars.

Moreover, restoration mortars with certain proportions of binding material and aggregates, as they derive from the study of grading curves, were evaluated regarding their strength development and microstructural parameters obtained through time. For this purpose certain mortar mixes were tested in the laboratory. Further investigation on various mortar mixes would prove the effectiveness of a good grading curve on the behaviour of restoration mortars using various types of binding materials and aggregates.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
I. ΓΕΝΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	4
I.1. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ	4
I.2. ΚΟΝΙΕΣ ΚΑΙ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ	5
I.3. ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ	5
I.3.1. Πήξη και σκλήρυνση των κονιαμάτων	5
I.3.2. Ιδιότητες των κονιαμάτων	6
I.4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ	7
I.5. ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ	8
I.5.1. Συνδετικές ύλες	8
I.5.1.1. Ασβέστος	8
I.5.1.1.1. Γενικά	8
I.5.1.1.2. Τεχνολογία Οπτησης Ασβεστολίθου - Παραγωγή ασβέστου	8
I.5.1.1.3. Ιδιότητες της ασβέστου - Τεχνολογία σβέσης της ασβέστου – Παραγωγή υδρασβέστου	9
I.5.1.1.4. Φύραση του πολτού της ασβέστου (υδράσβεστος)	10
I.5.1.1.5. Σκλήρυνση της υδρασβέστου	10
I.5.1.2. Υδραυλική Ασβέστος	10
I.5.1.2.1. Γενικά	10
I.5.1.2.2. Οπτηση Υδραυλικής Ασβέστου	11
I.5.1.2.3. Σβέση της Υδραυλικής Ασβέστου	11
I.5.1.2.4. Πήξη και Σκλήρυνση της Υδραυλικής Ασβέστου	12
I.5.1.3. Τσιμέντο	12
I.5.2. Ποζολανικά πρόσμικτα	13
I.5.2.1. Ταξινομήση των ποζολανών	14
I.5.2.1.1. Φυσικές ποζολάνες	14

1.5.2.1.2. Τεχνητές ποζολάνες	16
1.5.2.2. Δραστικότητα των ποζολανών	18
1.5.2.3. Θερμική κατεργασία ποζολανών	18
1.5.3. Αδρανή Υλικά	19
II. ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	20
II.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	20
II.2. ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ Α'	28
II.2.1. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ – Ορισμοί	28
II.2.2. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ – Προέλευση	29
II.2.3. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ – Κατάταξη	30
II.2.4. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ – Ιδιότητες	32
II.2.5. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ – Ποιοτικές Απαιτήσεις	41
II.2.6. ΔΟΚΙΜΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	42
II.2.7. ΑΔΡΑΝΗ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ	49
II.3. ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ Β'	53
II.3.1. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	53
II.3.2. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΩΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	56
II.3.3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ – ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ	61
II.3.3.1. Στατιστική επεξεργασία δεδομένων κοκκομετρικής καμπύλης	63
II.3.3.2. Γραφική επεξεργασία κοκκομετρικής καμπύλης	64
II.3.3.3. Ευρέως χρησιμοποιούμενοι κρίσιμοι δείκτες	69
II.3.3.4. Συσχετίσεις Κρίσιμων Δεικτών	70
II.3.4. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ FULLER	72
II.3.4.1. Βέλτιστη Κοκκομετρική Καμπύλη Αδρανών	72
II.3.4.2. Εφαρμογή Καμπύλης Fuller	72
II.3.5. ΑΝΑΜΙΞΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	80
II.3.5.1. Υπολογισμός ποσοστών συμμετοχής κλασμάτων αδρανών σε μίγμα	81

III.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	83
III.1.	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	85
III.2.	ΚΡΙΣΙΜΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ	87
III.3.	ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΣΤΗΚΑΝ	89
	III.3.1. Αμμοι	89
	III.3.2. Χαλίκια	106
IV.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ-ΜΕΡΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	113
IV.1.	Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα Αμμων	113
IV.2.	Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα Χαλικιών	119
IV.3.	Περιοχές Συγκεκριμένου Εύρους Ογκου Κενών Αμμων	121
IV.4.	ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ	125
	IV.4.1. Εξίσωση Αμμων	125
	IV.4.2. Συντελεστής Λεπτότητας - Συσχετίσεις	128
	IV.4.3. Συσχέτιση Συντελεστή Λεπτότητας & Απαίτησης σε Νερό	130
IV.5.	ΑΝΑΜΙΞΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	132
	IV.5.1. Μίγματα Αδρανών Υλικών	132
	IV.5.2. Περιοχές Συγκεκριμένου Εύρους Ογκου Κενών Μιγμάτων Αδρανών	157
V.	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	161
V.1.	Πειραματική Εφαρμογή των Εξεταζόμενων Αδρανών επί Κονιαμάτων Αποκατάστασης	164
V.2.	Συνθέσεις Κονιαμάτων Αποκατάστασης	166
V.3.	Αποτελέσματα Φυσικομηχανικών Χαρακτηριστικών	171
	V.3.1. Αποτελέσματα Ορυκτολογικής Ανάλυσης	171
	V.3.2. Στερεομικροσκοπική Παρατήρηση	174
	V.3.3. Αποτελέσματα Παραμέτρων Μικροδομής	175
	V.3.4. Αποτελέσματα Μηχανικών Αντοχών	177
VI.	ΓΕΝΙΚΗ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	181
VII.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	187
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	191

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΠΡΟΤΥΠΑ – ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα κονιάματα αποκατάστασης αποτελούν ουσιώδες κεφάλαιο στον τομέα της αποκατάστασης ιστορικών μνημείων. Η επιλογή των κατάλληλων συνθέσεων απαιτεί εκτεταμένη μελέτη τόσο της τεχνολογίας των εκάστοτε αυθεντικών κονιαμάτων και εν γένει δομικών υλικών, όσο και των χρησιμοποιούμενων πρώτων υλών.

Τα αυθεντικά κονιάματα που απαντώνται σε ιστορικές τοιχοποιίες αποτελούν μέρος ενός συνόλου αυθεντικών δομικών υλικών που αποτυπώνουν την παραδοσιακή οικοδομική τεχνική, όπως αυτή εξελίχθηκε στον χρόνο και διαφοροποιήθηκε ανάλογα με την εξέλιξη των κονιών, των διατιθέμενων πρώτων υλών, τις τεχνικές παρασκευής, τον τρόπο εφαρμογής και την εμπειρία.

Παρόλο που μέχρι σήμερα έχουν επιδείξει αξιοσημείωτη ανθεκτικότητα στο χρόνο, η φθορά τους επέβαλε την αναγκαιότητα αποκατάστασής τους με γνώμονα τη διατήρηση του ιστορικού χαρακτήρα και της αρχιτεκτονικής των ιστορικών κατασκευών και ειδικότερα τοιχοποιιών. Για το λόγο αυτό έγινε επιτακτική η ενδελεχής διερεύνηση των αυθεντικών δομικών υλικών και εν προκειμένω των αυθεντικών κονιαμάτων, τόσο ως προς τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν όσο και ως προς την τεχνολογία παρασκευής τους, καθώς και ως προς την αναγνώριση τυχόν πρόσφατων επεμβάσεων σε ιστορικές κατασκευές.

Με την εισαγωγή στο εμπόριο νέων υλικών (τσιμέντο) και την ευρεία εφαρμογή τους, η ανάγκη για αναγνώριση των αυθεντικών κονιαμάτων και η ανάγκη διερεύνησης κονιαμάτων αποκατάστασης, έγινε επιτακτική, δεδομένου ότι με το χρόνο άρχισαν να εμφανίζονται σημαντικά προβλήματα σε ιστορικές τοιχοποιίες λόγω εφαρμογής νέων ασύμβατων προς τα αυθεντικά υλικών.

Ο όρος συμβατότητα αποτυπώνει εν πολλοίς το πρόβλημα αλλά ταυτόχρονα και τη λύση του.

Από την στιγμή που η εφαρμογή κονιαμάτων αποκατάστασης με βάση το τσιμέντο, ένα σύγχρονο υλικό με χαρακτηριστικά πολύ διαφορετικά από αυτά των παραδοσιακών και κοινώς χρησιμοποιούμενων πρώτων υλών, άρχισε να διαφαίνεται ως προβληματική σε ιστορικές κατασκευές, δημιουργήθηκε η αναγκαιότητα επιστροφής σε κονιάματα αποκατάστασης με χρήση παραδοσιακών υλικών και γενικότερα υλικών συμβατών με τα αυθεντικά δομικά υλικά.

Γενικά, για την παρασκευή κατάλληλων κονιαμάτων αποκατάστασης απαιτείται Μελέτη Σύνθεσης Κονιάματος, κατά την οποία διερευνώνται όλα τα χαρακτηριστικά και οι παράμετροι των πρώτων υλών. Ως πρώτες ύλες νοούνται κατά βάση η κονία και τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή μιγμάτων με την προσθήκη νερού.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή στοχεύει στην διαμόρφωση μιας μεθοδολογίας εκτίμησης του ρόλου των αδρανών υλικών σε κονιάματα αποκατάστασης, μέσω καθορισμού χαρακτηριστικών παραμέτρων αξιολόγησης και αποτίμησης αδρανών, τα οποία προορίζονται για την παρασκευή κονιαμάτων αποκατάστασης. Βάσει των παραμέτρων αυτών επιδιώκεται η τυποποίηση της μεθοδολογίας ελέγχου των πρώτων υλών (αδρανών υλικών) που χρησιμοποιούνται σε έργα αποκατάστασης.

Η σκοπιμότητά της παρούσας διατριβής απορρέει από την αναγκαιότητα που εντοπίζεται σε έργα αποκατάστασης μιας ταχείας και ολοκληρωμένης εκτίμησης των διατιθέμενων πρώτων υλών για την παρασκευή κονιαμάτων αποκατάστασης με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά μικροδομής και μηχανικών αντοχών.

Η μεθοδολογία διερεύνησης και καθορισμού των χαρακτηριστικών παραμέτρων αδρανών υλικών που προκύπτει θα αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο για όλους τους φορείς που εμπλέκονται στην περαίωση των έργων αποκατάστασης, για μια πιο εμπειριστατωμένη επιλογή των καταλληλότερων πρώτων υλών (και δη αδρανών υλικών), ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες και απαιτήσεις.

Για τη διερεύνηση των αδρανών υλικών και της καταλληλότητάς τους για την παρασκευή κονιαμάτων αποκατάστασης καταγράφονται οι τύποι των διαθέσιμων αδρανών υλικών (άμμοι, χαλίκια) είτε αυτά είναι (i) τοπικά αδρανή φυσικών αποθέσεων, είτε (ii) αδρανή εμπορίου και εξετάζονται τα τυπικά χαρακτηριστικά τους και οι παράμετροι κοκκοδιαβάθμισης τους.

Οι γενικότεροι **στόχοι** της έρευνας είναι:

Ο καθορισμός συγκεκριμένων παραμέτρων που θα αποτυπώνουν αναλυτικά την κοκκομετρία των αδρανών υλικών.

Η δημιουργία βάσης δεδομένων αδρανών υλικών με όλα τα χαρακτηριστικά τους.

Ο καθορισμός κοκκομετρικών καμπυλών που θα αποτελούν όρια (ανώφλια και κατώφλια) για την ένταξη των διαφόρων αδρανών υλικών σε συγκεκριμένες κατηγορίες εύρους όγκου κενών, ανάλογα και με το μέγιστο κόκκο του κάθε αδρανούς.

Ο προσδιορισμός της απαίτησης κάθε αδρανούς υλικού σε κονία.

Η ενδεικτική αναφορά τιμών μηχανικών αντοχών και παραμέτρων μικροδομής κονιαμάτων αποκατάστασης, ανάλογα με την κοκκομετρία των αδρανών και τον τύπο της κονίας, με στόχο περισσότερες εμπειριστατωμένες προτάσεις κονιαμάτων αποκατάστασης.

Η διευκόλυνση των αναδόχων σε θέματα προμήθειας πρώτων υλών (αδρανών υλικών).

Η δυνατότητα ευρείας χρήσης της βάσης δεδομένων από όλους τους μελετητές, αναδόχους, και γενικότερα φορείς που εμπλέκονται στην περαίωση των έργων αποκατάστασης, για μια πιο εύκολη και ολοκληρωμένη επιλογή των καταλληλότερων πρώτων υλών (αδρανών) που απαιτούνται στα έργα, ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες και απαιτήσεις.

Το **αντικείμενο** της παρούσας εργασίας στηρίχτηκε σε εκτενή βιβλιογραφική έρευνα που αφορά στα αδρανή υλικά και στις σχετικές απαιτήσεις και κανονισμούς, καθώς και σε βιβλιογραφική έρευνα περί των μεθόδων και τεχνικών εξέτασης αδρανών υλικών και των τεχνικών και ποιοτικών απαιτήσεών τους.

Για τις ανάγκες της έρευνας πραγματοποιήθηκε πλήθος κοκκομετρικών αναλύσεων και προσδιορίστηκαν οι τιμές φαινόμενης και πραγματικής πυκνότητας των προς εξέταση δειγμάτων.

Από τις κοκκομετρικές αναλύσεις των αδρανών υλικών που επιλέχθηκαν προσδιορίστηκαν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- ποσοστό των κενών κάθε καμπύλης μεμονομένων αδρανών υλικών
- ποσοστό των κενών βέλτιστων καμπυλών μιγμάτων αδρανών υλικών (δυαδικών μιγμάτων)
- χαρακτηριστικοί δείκτες μεμονωμένων αδρανών και μιγμάτων αδρανών όπως προκύπτουν από στατιστική και γραφική επεξεργασία των κοκκομετρικών κατανομών
- μαθηματικά μοντέλα (συναρτήσεις) που εκφράζουν την κοκκομετρική κατανομή κάθε αδρανούς

Η ομαδοποίηση των αδρανών υλικών έγινε με βάση τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Μέγιστος κόκκος αδρανούς.
- Κοκκομετρική καμπύλη & κοκκομετρική κατανομή αδρανούς ή μίγματος αδρανών.
- Είδος κύρτωσης κοκκομετρικής καμπύλης.
- Χαρακτηριστικές παράμετροι κοκκομετρικών καμπυλών όπως προκύπτουν από την στατιστική επεξεργασία των κλασμάτων τους. Εξαγωγή των χαρακτηριστικών στατιστικών παραμέτρων κοκκομετρικών κατανομών βάσει στατιστικής επεξεργασίας και χαρακτηρισμός των κοκκομετρικών κατανομών των εξεταζόμενων αδρανών υλικών βάσει συγκεκριμένων παραμέτρων (μέγιστος κόκκος, είδος κύρτωσης κοκκομετρικής καμπύλης, χαρακτηριστικοί δείκτες κοκκομετρικών κατανομών, ποσοστό όγκου κενών αδρανών υλικών).
- Περιεχόμενο όγκου κενών αδρανών υλικών (προσδιορισμός με θεωρητική και πειραματική μέθοδο και σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από αυτές). Καθορισμός συγκεκριμένων περιοχών κοκκομετρικών καμπυλών (άνω & κάτω κατώφλι), οι οποίες εκφράζουν συγκεκριμένα ποσοστά κενών και ομοδοποιούν τα αδρανή ανάλογα με το μέγιστο κόκκο, τον όγκο των κενών και κατ' επέκταση το ποσοστό της απαιτούμενης κονιάς.
- Μαθηματικές προσεγγίσεις που εκφράζουν την κοκκομετρική κατανομή των αδρανών.
- Προσδιορισμός της απαίτησης των αδρανών υλικών σε ποσοστό κονιάς. Προσδιορισμός των αντίστοιχων λόγων κονιάς/αδρανών.

Οι παραπάνω χαρακτηριστικές στατιστικές παράμετροι που προδιαγράφουν τα εξεταζόμενα αδρανή υλικά, τα οποία αποτελούν και την μήτρα ενός κονιάματος, εφαρμόστηκαν σε δοκιμαστικές συνθέσεις κονιαμάτων αποκατάστασης, οι οποίες αποτιμήθηκαν ως προς τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά τους και τις παραμέτρους μικροδομής τους.

Οι συνθέσεις των κονιαμάτων που εξετάστηκαν έχουν σταθερό τον παράγοντα “τύπος & φύση κονιάς”. Η κονιά που χρησιμοποιήθηκε είναι φυσική υδραυλική άσβεστος (βιομηχανοποιημένο υλικό), κατηγορίας που ορίζεται από το σχετικό Ευρωπαϊκό Πρότυπο (CEN EN 459-1).

I. ΓΕΝΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εντάσσεται στα πλαίσια της γενικότερης έρευνας που πραγματοποιείται στο Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών του ΕΜΠ, με επιστημονικά υπεύθυνη την Καθ. Α. Μοροπούλου, και αφορά σε κονιάματα αποκατάστασης, τα οποία εξετάζονται τόσο όσο προς την σύνθεσή τους και τις παραμέτρους που οδηγούν στη βελτιστοποίησή τους, όσο και ως προς την συμβατότητά τους με τα υπάρχοντα κονιάματα που απαντώνται σε ιστορικές κατασκευές και μνημεία.

Τα κονιάματα αποκατάστασης αποτελούν ουσιώδες κεφάλαιο στον τομέα της αναστήλωσης και αποκατάστασης ιστορικών μνημείων. Η έρευνα στο εργαστήριο ξεκινά από την μελέτη των χαρακτηριστικών των ιστορικών κονιαμάτων στα πλαίσια ερευνητικών προγραμμάτων και διεπιστημονικών συνεργασιών στον τομέα της προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς [1-17]. Κύριος στόχος είναι η αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση των ζητημάτων της προστασίας, ανάδειξης και αξιοποίησης της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς. Στο πλαίσιο αυτό, το Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών του ΕΜΠ, με επιστημονικά υπεύθυνη την Καθ. Α. Μοροπούλου, βρέθηκε συμμετέχων της Ελληνικής Συμβολής στην Προστασία της Αγια-Σοφιάς στην Κωνσταντινούπολη [18], συνδιοργανώνοντας το 1998 και το 2000 με την Ευρωπαϊκή Ένωση, το Συμβούλιο της Ευρώπης, τα Πανεπιστήμια του Princeton και του Βοσπόρου κ.α. συνέδρια που πραγματοποιήθηκαν στην Αθήνα, στη Βενετία και στην Κωνσταντινούπολη περί συμβατών υλικών για τη συντήρηση και την προστασία του μνημείου στο πέρασμα του χρόνου [19-24]. Με αναφορά την Αγια-Σοφιά, προτάθηκαν ερευνητικά δεδομένα και κατευθύνσεις για την αντισεισμική προστασία των μνημείων στον άξονα του σχεδιασμού και της παρασκευής συμβατών κονιαμάτων αποκατάστασης, αναπτύσσοντας και εφαρμόζοντας την αντίστροφη μηχανική προσέγγιση (Reverse Engineering) [25], ώστε αυτά να προσομοιώνουν και να βελτιώνουν τα ιστορικά κονιάματα, τα οποία συνεισέφεραν σημαντικά στη σεισμική απόκριση του εν λόγω Μνημείου.

Επί της ουσίας, τα ιστορικά κονιάματα είναι αυτά που προδιαγράφουν τις απαιτήσεις των συνθέσεων νέων επισκευαστικών κονιαμάτων. Τα τελευταία έχουν διερευνηθεί διεξοδικά στο Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών του ΕΜΠ τόσο ως προς τις χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες, ώστε να προσομοιάζουν τα αυθεντικά δομικά υλικά που χρησιμοποιούνταν γενικότερα σε ιστορικές κατασκευές και μνημεία, όσο και ως προς την επιλογή των κατάλληλων συνθέσεων, προκειμένου αυτές να ανταποκρίνονται στην υπάρχουσα τεχνογνωσία των ιστορικών κονιαμάτων [26-38].

1.1. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Η ιστορία των κονιαμάτων συνδέεται με την ανακάλυψη του πηλού και ακολούθως της ασβέστου, η οποία αποτελεί ένα από τα βασικότερα συστατικά τους. Χρήση των κονιαμάτων έγινε για πρώτη φορά στην Αίγυπτο, όπου τα κονιάματα, παρασκευάζονταν από άσβεστο και γύψο σε μεγάλο ποσοστό, χρησιμοποιούνταν δε ως επιχρίσματα στις πυραμίδες. Ακολούθησε η διάδοση της τεχνογνωσίας των κονιαμάτων σε νεότερους πολιτισμούς, των Ελλήνων και των Ρωμαίων [39].

Οι Ρωμαίοι ανέπτυξαν περισσότερο από κάθε άλλο λαό τη χρήση των κονιαμάτων για κατασκευαστικούς λόγους. Ο πρώτος που προσπάθησε να κατηγοριοποιήσει τις διάφορες χρήσεις και τους τρόπους παρασκευής των κονιαμάτων ήταν ο *Vitruvius* [40]. Συνέταξε συνταγές για μίγματα κονιαμάτων, χρησιμοποιούμενα ως δομικά στοιχεία στις κατασκευές (πέτρα και αργιλικό τούβλο), για εσωτερικά και εξωτερικά επιχρίσματα, για κατασκευές δρόμων. Οι Ρωμαίοι, επίσης, χρησιμοποίησαν ευρέως τα ποζολανικά κονιάματα, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν ως πρώιμη μορφή σκυροδέματος.

Η παραπάνω τεχνοτροπία απαντάται αργότερα στο Βυζάντιο. Νέα ίχνη ποζολανικών κονιαμάτων χρονολογήθηκαν στην περίοδο του Μεσαίωνα και της Αναγέννησης. Στο τέλος του προηγούμενου αιώνα τα κονιάματα παρασκευάζονται από τσιμέντο Portland, άσβεστο, άμμο, κονιοποιημένα αδρανή και νερό, σχηματίζοντας ένα πολύ ισχυρό κονίαμα, το οποίο γρήγορα αποτέλεσε το πλέον διαδεδομένο υλικό [41,42]. Χάρη στη γρήγορη ανάπτυξη ομοιόμορφων προτύπων ποιότητας και παραγωγής, που τέθηκαν από τη βιομηχανία τσιμέντου, το τσιμέντο Portland αποτελεί πλέον το κύριο συστατικό της οικοδομικής βιομηχανίας.

1.2. ΚΟΝΙΕΣ ΚΑΙ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Κονίες ονομάζονται τα κονιοποιημένα υλικά, τα οποία όταν αναμιγνύονται με το νερό σχηματίζουν πολτό, ο οποίος πήζει και σκληραίνει. Οι κονίες παράγονται ως επί το πλείστον βάσει βιομηχανικής κατεργασίας.

Οι κονίες υποδιαιρούνται σε δύο βασικές κατηγορίες, τις αερικές και τις υδραυλικές. **Αερικές** ονομάζονται οι κονίες εκείνες που πήζουν και σκληραίνουν με την επίδραση του ατμοσφαιρικού αέρα. Μέσα σε υγρό περιβάλλον δεν αντέχουν ακόμα και οι αερικές κονίες που έχουν σκληρυνθεί (π.χ. αερική άσβεστος, γύψος). **Υδραυλικές** ονομάζονται οι κονίες εκείνες που πήζουν και σκληραίνουν και κάτω από την επίδραση του νερού (π.χ. τσιμέντο, υδραυλικός ασβέστης) [43].

Οι κονίες σπάνια εφαρμόζονται αμιγείς, για τεχνικούς αλλά και οικονομικούς λόγους. Εκτός από το απαιτούμενο νερό, χρειάζεται να αναμιχθούν και με ορισμένη ποσότητα άμμου ή γενικότερα άλλου αδρανούς. Με τον τρόπο αυτό παρασκευάζονται τα κονιάματα, τα οποία αποτελούν μίγματα συνδετικής ύλης (κονίας), αδρανών και νερού. Το τελευταίο είναι απαραίτητο για να αποκτήσει ο πολτός την κατάλληλη πλαστιμότητα και εργασιμότητα για την εφαρμογή του, και ακολούθως για την σκλήρυνσή του.

Οι κονίες χρησιμοποιούμενες αυτούσιες χωρίς άμμο, συστέλλονται σημαντικά κατά την πήξη και σκλήρυνσή τους, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται στην επιφάνειά τους ρωγμές ανεπιθύμητες στις κατασκευές. Επομένως, οι κονίες “οπλίζονται” με έναν σκελετό αδρανών, ώστε το κονίαμα να αποκτήσει αντοχή και να μην παρουσιάζει ρηγματώσεις. Η τεχνική αυτή εναρμονίζεται και με την οικονομία της κατασκευής, δεδομένου ότι τα αδρανή είναι πολύ φθηνότερα υλικά από τις κονίες. Απαιτείται, ωστόσο, ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή των αδρανών, ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο προορίζεται το κονίαμα, όσον αφορά στην κοκκομετρική τους διαβάθμιση και στην ποιότητά τους [44].

1.3. ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Απαραίτητο είναι να καθοριστούν ορισμένες γενικές έννοιες και ιδιότητες των κονιαμάτων προκειμένου να τονιστεί η σημασία τους ως δομικά υλικά.

1.3.1. Πήξη και σκλήρυνση των κονιαμάτων

Το κονίαμα, όπως αναφέρθηκε, είναι μίγμα κονίας, αδρανών και του απαιτούμενου νερού. Όταν το μίγμα αυτό παρασκευαστεί σχηματίζει έναν πολτό, ο οποίος σε ορισμένο χρόνο - ανάλογα με το είδος, τη σύνθεση και τις θερμοκρασιακές συνθήκες - πήζει και σκληραίνει προοδευτικά.

Επομένως η πήξη και η σκλήρυνση αποτελούν δύο διαδοχικές φάσεις του ίδιου φαινομένου, που οφείλεται στην κρυστάλλωση των ενυδατωμένων φάσεων της κονίας. Η πήξη είναι η φάση της στερεοποίησης, δηλαδή η περίοδος κατά την οποία το κονίαμα από εύπλαστη μετατρέπεται σε στερεή μάζα. Έναρξη της πήξης είναι η στιγμή κατά την οποία η εύπλαστη μάζα αρχίζει να στερεοποιείται και να χάνει την πλαστιμότητά της. Ο χρόνος έναρξης της πήξης, δηλαδή ο χρόνος που περνάει από τη στιγμή που στο κονίαμα προστίθεται το νερό, μέχρι την έναρξη της πήξης, είναι σημαντικό στοιχείο στην πράξη,

γιατί μέσα σ' αυτό το χρονικό διάστημα πρέπει να γίνει η παρασκευή, μεταφορά και εφαρμογή του κονιάματος στο έργο. Αν το κονίαμα εφαρμοστεί μετά την έναρξη της πήξης, καταστρέφεται το πλέγμα που έχει αρχίσει να δημιουργείται και τελικά οι αντοχές που αναπτύσσονται είναι μικρότερες. Η λήξη της πήξης είναι η στιγμή που ο πολτός έχει στερεοποιηθεί. Μετά τη λήξη της πήξης αρχίζει η περίοδος της σκλήρυνσης που διαρκεί επί μήνες ή και επί χρόνια ανάλογα με το είδος του κονιάματος και τις συνθήκες κάτω από τις οποίες βρίσκεται [44].

Κατά την περίοδο της σκλήρυνσης το κονίαμα παρουσιάζει μεταβολές στον όγκο του (συστολή) και αύξηση της αντοχής του. Το τέλος της σκλήρυνσης είναι ακαθόριστο και δεν έχει πρακτική σημασία. Σημασία έχει ο ρυθμός αύξησης των αντοχών, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της αύξησης της αντοχής σε θλίψη, προς το χρονικό διάστημα που απαιτήθηκε για να πραγματοποιηθεί η αύξηση αυτή. Ο ρυθμός μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου, είναι μεγαλύτερος στην αρχή και ελαττώνεται βαθμιαία μέχρι μηδενισμού [43].

1.3.2. Ιδιότητες των κονιαμάτων

Μια ιδιότητα που αφορά στα κονιάματα κατά τη στιγμή της εφαρμογής τους είναι το εργάσιμο (*Workability*).

Η έννοια του εργάσιμου, που παρουσιάζει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον στην παρασκευή και την εφαρμογή, δεν έχει ακόμα τελείως αποκρυσταλλωθεί, όσον αφορά στις μεθόδους και στις μονάδες μέτρησης αυτού. Αυτό ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι το εργάσιμο είναι μια πολύπλοκη έννοια που εξαρτάται και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Σε πολλές περιπτώσεις η έννοια του εργάσιμου συγχέεται ή ταυτίζεται με την έννοια της πλαστιμότητας (*Plasticity*) ή της συνεκτικότητας (*Consistency*) [42].

“Εργάσιμο” ονομάζεται το σύνολο των ρεολογικών ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν ένα κονίαμα. Οι ρεολογικές αυτές ιδιότητες είναι:

- η *ρευστότητα*, δηλαδή η εσωτερική ευκινησία του μίγματος και η ευκολία με την οποία οι κόκκοι του κινούνται ώστε να γεμίσουν τα κενά (εσωτερική ρευστότητα)
- η *πλαστιμότητα*, δηλαδή η ευκολία που παρουσιάζει το μίγμα κατά τη ροή του και κατά το γέμισμα ενός καλουπιού, χωρίς κενά, σπηλιές κλπ.
- το *αναπόμικτο*, δηλαδή η ικανότητα που έχει το νωπό κονίαμα να διατηρεί την ομοιογένειά του και να μην ξεπλένεται ούτε να διαχωρίζεται στα συστατικά του

Οι τρεις αυτές ιδιότητες, που συνθέτουν και προσδιορίζουν την έννοια του εργάσιμου, δεν είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους και δεν επηρεάζονται παρόμοια από εξωτερικούς παράγοντες. Έτσι παράγοντες που δρουν ευνοϊκά για τη μία μπορούν να δρουν δυσμενώς για την άλλη ιδιότητα με αποτέλεσμα η τελική επίδραση στο εργάσιμο να είναι αμφίβολη, γεγονός που αποτελεί μια πρόσθετη δυσκολία στη διερεύνηση της έννοιας αυτής.

Γενικά, αύξηση της ποσότητας του νερού αυξάνει την ρευστότητα του μίγματος, ενώ συγχρόνως εξασθενεί τις αντοχές και το αναπόμικτο. Στην πλαστιμότητα του μίγματος δεν παίζει σπουδαίο ρόλο η αύξηση της ποσότητας του νερού. Αντίθετα η πλαστιμότητα επηρεάζεται ευνοϊκά από τη σφαιρικότητα των κόκκων του αδρανούς και από την αύξηση της περιεκτικότητας σε συνδετική ύλη. Η απόμιξη εξάλλου ευνοείται από την αύξηση της ποσότητας του νερού, ενώ οι λεπτοί κόκκοι κονιάς και αδρανών εμποδίζουν την απόμιξη [42].

Η εκτίμηση του εργάσιμου ενός κονιάματος στο εργοτάξιο γίνεται εμπειρικά. Μια από τις μεθόδους μέτρησης του εργάσιμου στα κονιάματα γίνεται, πειραματικά, με την αμερικανική μέθοδο εξάπλωσης, που είναι γνώστη ως Flow Table Test (*ASTM C230/C230M-08: Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement*).

Άλλες ιδιότητες των κονιαμάτων είναι:

- Μηχανικές αντοχές
- Στεγανότητα κονιάματος
- Πρόσφυση με τα στοιχεία τα οποία συνδέει ή επί των οποίων εδράζεται

- Αντίσταση στις χημικές επιδράσεις του περιβάλλοντος και στις καιρικές συνθήκες
- Σταθερότητα όγκου του κονιάματος (ογκοσταθερότητα)

Επιπλέον ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τα κονιάματα είναι:

- Τα αερικά κονιάματα δεν πρέπει να παρουσιάζουν επιφανειακή αποσάθρωση με την παρατεταμένη παραμονή τους στον αέρα και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.
- Τα υδραυλικά κονιάματα πρέπει να παρουσιάζουν σημαντική αρχική συνοχή, ώστε να μη διαλύονται κατά την εφαρμογή τους από την πίεση του νερού ή από μικρές κινήσεις τους (π.χ. κυματισμούς) και να σκληρύνονται μέσα στο νερό.

Ειδικότερα,

Η στεγανότητα ενός κονιάματος αυξάνει όταν αυξάνει η συμπύκνωσή του, δηλαδή όταν ελαττωθεί το πορώδες του.

Η πρόσφυση, σε πολλές περιπτώσεις εφαρμογών, είναι η σπουδαιότερη ιδιότητα, γιατί η συγκόλληση των στοιχείων αλλά και αυτού του ίδιου του κονιάματος πάνω στο υπόβαθρό του (π.χ. τοιχοδομή) είναι μια από τις κυριότερες απαιτήσεις των κονιαμάτων. Η πρόσφυση των κονιαμάτων αφορά κατ' αρχήν στην καλή πρόσφυση των κόκκων του αδρανούς με την κονία. Γι' αυτό τα αδρανή πρέπει να είναι καθαρά. Η τυχόν παρεμβολή μεταξύ της συνδετικής ύλης και των κόκκων του αδρανούς αργιλικών υλικών, χουμικών ουσιών κλπ, εμποδίζει τη σύνδεση της κονιάς με τα αδρανή και δημιουργεί θραυσίγγεις επιφάνειες, έστω και αν η συνδετική ύλη είναι επαρκής για την πλήρη περιβολή των κόκκων.

Η ογκοσταθερότητα είναι η ικανότητα του κονιάματος να μη μεταβάλλει αισθητά τον όγκο του, ιδίως κατά την αρχική περίοδο της σκλήρυνσής του. Το παρατηρούμενο φαινόμενο της συστολής εξαρτάται από την ποσότητα του νερού ή ακριβέστερα από το λόγο νερού/συνδετική ύλη και αυξάνει όσο πιο υδαρές γίνεται το κονίαμα. Οι μεγάλες θερμοκρασίες επιταχύνουν τη δημιουργία συστολών με ενδεχόμενο την εμφάνιση μικρορωγμών, ιδίως στα υδραυλικά κονιάματα, και ειδικότερα αν συγχρόνως απουσιάζει η απαιτούμενη υγρασία [44].

1.4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Τα κονιάματα, κατ' αντιστοιχία με τις κονίες, διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες [42]:

- τα αερικά, δηλαδή εκείνα που πήζουν, σκληρύνονται και διατηρούνται μόνο στον αέρα,
- τα υδραυλικά, που είναι δυνατό να πήξουν, να σκληρυνθούν και να διατηρηθούν, όχι μόνο στον αέρα, αλλά και μέσα στο νερό.

Στην κατηγορία των υδραυλικών κονιαμάτων κατατάσσονται και εκείνα τα οποία, αφού πήξουν στον αέρα, μπορούν να σκληρυνθούν και να διατηρηθούν μέσα στο νερό.

Ανάλογα με το είδος της κονιάς και του αδρανούς που θα χρησιμοποιηθεί, παρασκευάζονται διάφορα είδη κονιαμάτων, τα κυριότερα από τα οποία είναι:

- Τσιμεντοκονιάματα, με συνδετική ύλη το τσιμέντο.
- Ασβεστοκονιάματα, με συνδετική ύλη τον πολτό της ασβέστου ή την κονιοποιημένη υδράσβεστο (σκόνη υδρασβέστου).
- Τσιμεντοασβεστοκονιάματα, μικτά κονιάματα, με συνδετική ύλη τσιμέντο και άσβεστο (πολτό ή σκόνη υδρασβέστου).
- Ποζολανικά κονιάματα, με συνδετική ύλη άσβεστο και ποζολάνη ως πρόσμικτο υλικό. Στα ποζολανικά κονιάματα είναι δυνατό ένα μέρος της ασβέστου να αντικατασταθεί με τσιμέντο.
- Μαρμαροκονιάματα, με κύριο αδρανές τη μαρμαρόσκη και συνδετική ύλη την άσβεστο ή το τσιμέντο ή και με μικρή πρόσμιξη γύψου.
- Γυψοκονιάματα, με κύριο συνδετικό υλικό το γύψο.
- Διάφορα ειδικά κονιάματα ποικίλων συνθέσεων με διάφορα αδρανή ή πρόσμικτα υλικά. Τα κονιάματα αυτά εξυπηρετούν ειδικούς σκοπούς, όπως είναι η αύξηση της μονωτικής ικανότητας ή της πυροπροστασίας του τοιχώματος με τη χρήση ελαφρών αδρανών (περλίτης κ.α.).

1.5. ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

1.5.1. Συνδετικές ύλες

1.5.1.1. Ασβεστος

1.5.1.1.1. Γενικά

Η πιο γνωστή και η πιο διαδεδομένη μεταξύ των αερικών συνδετικών κονιών είναι η άσβεστος (CaO), η οποία παράγεται από αρχαιοτάτων χρόνων, μέσω της διεργασίας όπτησης του ασβεστολίθου σε θερμοκρασία περίπου 900-950°C. Ο ασβεστόλιθος αποτελείται από ανθρακικό ασβέστιο (CaCO₃), το οποίο συναντάται στη φύση συνήθως σε δύο κρυσταλλικές μορφές γνωστές ως ασβεστίτης (ειδικό βάρος: 2,71 g/cm³) και αραγωνίτης (ειδικό βάρος: 2,93 g/cm³). Το ανθρακικό ασβέστιο συναντάται συχνά με τη μορφή του ανθρακικού μαγνησίου (MgCO₃) ή με τη μορφή του δολομίτη (CaMg(CO₃)₂) και μπορεί επίσης να περιέχει ξένες προσμίξεις σε διάφορα ποσοστά, όπως οξείδιο του αργιλίου (Al₂O₃), οξείδιο του σιδήρου (Fe₂O₃), οργανικές ουσίες κλπ. Όσο μικρότερη είναι η περιεκτικότητα σε ξένες προσμίξεις, τόσο καταλληλότερος είναι ο ασβεστόλιθος για την παρασκευή ασβέστου υψηλής ποιότητας. Τέτοια καθαρά ασβεστολιθικά πετρώματα είναι ο ασβεστίτης (κρυσταλλικό ανθρακικό ασβέστιο) και το μάρμαρο. Κανονική άσβεστος θεωρείται εκείνη που παρασκευάζεται από ασβεστόλιθους που περιέχουν 98-99% CaCO₃ [45,46].

Η συνολική διαδικασία παραγωγής ασβέστου περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

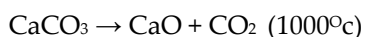
- Έψηση ασβεστολιθικών πετρωμάτων κατά την ενδόθερμη αντίδραση:
 $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2 -42 \text{ kcal}$
- Σβέση της παραγόμενης ασβέστου και παραγωγή της υδρασβέστου κατά την εξώθερμη αντίδραση:
 $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 +15,6 \text{ Kcal}$

1.5.1.1.2. Τεχνολογία Όπτησης Ασβεστολίθου - Παραγωγή ασβέστου

Εφόσον η άσβεστος (CaO) προέρχεται από τη θερμική διάσπαση ασβεστολιθικών πετρωμάτων είναι φυσικό η αρχική σύσταση του πετρώματος να επηρεάσει τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Εάν ο αρχικός ασβεστόλιθος περιέχει ποσοστό σε MgCO₃ 2-5%, τότε παράγεται άσβεστος πλούσια σε CaO, ενώ εάν το παραπάνω ποσοστό ξεπερνά το 5% παράγεται μαγνησιακή (δολομιτική) άσβεστος. Οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι με περιεκτικότητα Al₂O₃ μεγαλύτερη του 5% δεν είναι μεν κατάλληλοι για την παρασκευή αερικής άσβεστου, είναι όμως κατάλληλοι για την παρασκευή υδραυλικής άσβεστου [41,42].

Η άσβεστος που παρασκευάζεται από τους καθαρότερους ασβεστολίθους, μετά από κανονική όπτηση, ονομάζεται *παχεία*. Όταν όμως παρασκευάζεται από μαγνησιακούς (δολομιτιομένους) ασβεστόλιθους με περιεκτικότητα σε MgCO₃ μεγαλύτερη του 15% ή από ασβεστόλιθους με χαμηλή περιεκτικότητα σε CaCO₃, ονομάζεται *ισχνή*.

Η όπτηση του ασβεστόλιθου, που συμβολίζεται με την ακόλουθη χημική αντίδραση,



γίνεται σε ασβεστοκαμίνους, όπου τα διερχόμενα καυσαέρια παρασύρουν το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) που εκλύεται. Σε ατμοσφαιρική πίεση η θερμοκρασία διάσπασης του CaCO₃ είναι 895°C. Το MgCO₃ διασπάται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από το CaCO₃, και αυτός είναι και ο κύριος λόγος παραγωγής υπερψημένου ασβέστη σε συνήθεις κλιβάνους, με αποτέλεσμα να μην σβήνεται εύκολα στη συνέχεια. Η ακριβής θερμοκρασία διάσπασης του πετρώματος εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως το μέγεθος και το πορώδες των τεμαχίων του ασβεστολίθου που εισέρχονται στον κλίβανο, η συγκέντρωση ανόργανων και οργανικών προσμίξεων καθώς και η μερική πίεση του CO₂. Έρευνες που έχουν γίνει για τη συσχέτιση θερμοκρασίας έψησης και διάρκειας έψησης κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι όσο πιο χαμηλή θερμοκρασία αναπτύσσεται στον κλίβανο τόσο πιο μικροκρυσταλλικός

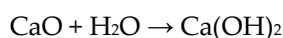
(κόκκοι μικρότεροι της τάξης των 0,1μm) είναι ο ασβέστης που παράγεται, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το πορώδες του, η ειδική του επιφάνεια και η δραστηριότητά του [45]. Γενικά, ως βέλτιστη θερμοκρασία όπτησης θεωρείται αυτή των 900°C περίπου.

1.5.1.1.3. Ιδιότητες της ασβέστου - Τεχνολογία σβέσης της ασβέστου – Παραγωγή υδρασβέστου

Η ασβεστος έχει χρώμα λευκό. Διαφορετικό χρώμα οφείλεται είτε σε ρύπανση είτε σε παρουσία μεγάλου ποσοστού μαγνησίας (MgO). Η ρύπανση της ασβέστου και το μέγεθος των κόκκων της εξαρτώνται από τον τύπο της ασβεστοκαμίνου. Ο δολομιτικός ασβεστόλιθος με περιεκτικότητα σε ανθρακικό μαγνήσιο (MgCO₃) μεγαλύτερη από 20% δίνει μαγνησιούχο ασβέστιο που έχει φαιό χρώμα και αποτελεί ισχυρή ασβεστο.

Η ασβεστος είναι πορώδες υλικό, δεδομένου ότι ο ασβεστόλιθος κατά την όπτησή του χάνει το μισό σχεδόν βάρος του (44%), ενώ ο όγκος του ελαττώνεται μόλις κατά 10-20%.

Η ασβεστος όταν έλθει σε επαφή με το νερό μετατρέπεται στο ογκώδες υδροξείδιο του ασβεστίου (υδράσβεστος), με σύγχρονη έκλυση θερμότητας, σύμφωνα με την χημική αντίδραση:



Όταν η ποσότητα του χρησιμοποιούμενου νερού είναι η στοιχειομετρικά απαιτούμενη σύμφωνα με την παραπάνω αντίδραση, τότε η ασβεστος καταπίπτει με τη μορφή σκόνης υδρασβέστου. Όταν όμως χρησιμοποιηθεί περίσσεια νερού τότε λαμβάνεται πολτός ασβέστου (υδράσβεστος). Ο πολτός που παράγεται με τον τρόπο αυτό είναι μίγμα κολλοειδούς και κρυσταλλικής μορφής. Η κολλοειδής μορφή έχει πλαστικό χαρακτήρα και αποτελεί δομήσιμη κονία. Με εφαρμογή ειδικών κανόνων κατά τη σβέση στις ασβεστος επιτυγχάνεται προϊόν σχεδόν εξ' ολοκλήρου κολλοειδούς μορφής. Όσο ταχύτερη είναι η αντίδραση της σβέσης, τόσο μεγαλύτερη αναλογία κολλοειδούς προϊόντος λαμβάνεται. Αντίθετα η βραδεία αντίδραση ευνοεί το σχηματισμό της κρυσταλλικής μορφής. Επειδή η ταχύτητα μιας αντίδρασης είναι ανάλογη προς το ύψος της θερμοκρασίας στην οποία αυτή πραγματοποιείται, κατά τη σβέση το σύστημα ασβεστος-νερό επιβάλλεται να διατηρείται στην υψηλότερη δυνατή θερμοκρασία, δηλαδή η σβέση να γίνεται με το νερό σε κατάσταση βρασμού [46].

Ο πολτός παρουσιάζει σε σχέση με την σκόνη μεγαλύτερη πλαστιμότητα, εξασφαλίζει ολοκληρωμένη ενυδάτωση, και σχηματίζει κονιάματα μεγαλύτερης αντοχής και συνοχής. Αντίθετα η σκόνη είναι πιο εύκολη στην αποθήκευση και πιο πρακτική στην επί τόπου ανάμιξη και παραγωγή των κονιαμάτων.

Όταν η ασβεστος (προϊόν εξαιρετικά πορώδες λόγω της διαφυγής του CO₂) έρθει σε επαφή με το νερό το προσροφά έντονα στους πόρους της λόγω της αυξημένης υγροσκοπικότητάς της. Αρχίζει έτσι η ενυδάτωση που οδηγεί σε αύξηση όγκου (περίπου 10%) και, σε συνδυασμό με την βιαιότητα της αντίδρασης, σε κατακερματισμό των αρχικών τεμαχίων του CaO, οπότε παράγεται η υδράσβεστος. Αντίθετα ο δολομιτικός ασβέστης σβήνεται αργά ή υπάρχει ακόμη και περίπτωση το περιεχόμενο MgO να μην ενυδατωθεί καθόλου, με αποτέλεσμα να δημιουργήσει περαιτέρω προβλήματα [46,47]. Σε αυτή την περίπτωση η ποιότητα της λαμβανόμενης υδρασβέστου είναι αμφιλεγόμενη.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η διαδικασία της σβέσης είναι πολύ σημαντική για την περαιτέρω συμπεριφορά της ασβέστου ως συστατικό των κονιαμάτων. Εάν η σβέση είναι ανεπαρκής, τότε το περιεχόμενο μη ενυδατωμένο CaO όταν έρθει σε επαφή με το νερό της βροχής ή την υγρασία θα προσροφήσει το νερό με ταυτόχρονη αύξηση όγκου που εκδηλώνεται με την παρουσία φουσκωμάτων στην επιφάνεια των κονιαμάτων.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την σβέση είναι [45,48]:

- Η θερμοκρασία του νερού και της ασβέστου. Η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού και της ασβέστου επηρεάζει θετικά την ταχύτητα ενυδάτωσης.

- Ο βαθμός έψησης της ασβέστου. Όταν η ασβέστος είναι ψημένη σε χαμηλές θερμοκρασίες έχει μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια, γεγονός που αυξάνει την ταχύτητα σβέσης.
- Προσμίξεις της ασβέστου και του νερού. Οι προσμίξεις έχουν αρνητική επίδραση στην ταχύτητα σβέσης με ισχυρότερη επίδραση αυτή που οφείλεται στην παρουσία του Fe_2O_3 .

1.5.1.1.4. Φύραση του πολτού της ασβέστου (υδρασβέστος)

Το δεύτερο στάδιο της παρασκευής του πολτού υδρασβέστου είναι η φύραση (σίτεμα). Η υδρασβέστος που προκύπτει από τη σβέση της ασβέστου υποβάλλεται σε φύραση μέσα στον ασβεστόλακκο όπου συγκεντρώνεται.

1.5.1.1.5. Σκλήρυνση της υδρασβέστου

Το υδροξείδιο του ασβεστίου έχει την ιδιότητα να προσροφά εύκολα CO_2 από την ατμόσφαιρα και να μετατρέπεται σε ανθρακικό ασβέστιο με σύγχρονη αποβολή νερού.

Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι:



Η διαδικασία της σκλήρυνσης είναι αδύνατο να επιτευχθεί χωρίς την παρουσία νερού. Απαραίτητη είναι η ύπαρξη πόρων στη μάζα της υδρασβέστου, όπου θα εισχωρήσει το νερό. Η κινητική της αντίδρασης αρχικά είναι αργή, αφού οι πόροι είναι γεμάτοι με νερό, και δυσχεραίνεται η διείσδυση του CO_2 . Στην συνέχεια όμως, οι πόροι αδειάζουν σταδιακά λόγω της εξατμίσις του νερού και η κινητική επιταχύνεται. Όταν οι πόροι είναι μερικώς μόνο πληρωμένοι, το φαινόμενο προχωρά πολύ γρήγορα. Αυτός είναι και ο λόγος που χρησιμοποιούνται αδρανή στα ασβεστοκονιάματα. Με την παρουσία τους δημιουργούν πόρους και έτσι είναι εφικτή η διείσδυση του CO_2 στο εσωτερικό τους. Έτσι μπορεί να ερμηνευθεί και το γεγονός ότι δεν χρησιμοποιήθηκε ποτέ αμιγής πολτός υδρασβέστου ως δομικό υλικό. Αφ' ενός παρουσιάζει μεγάλη μεταβολή όγκου κατά την πήξη του, προκαλώντας ρωγμές στη μάζα του, και αφ' ετέρου εάν σκληρυνθεί το εξωτερικό στρώμα δεν είναι δυνατή η διείσδυση του CO_2 στο εσωτερικό της μάζας του, με αποτέλεσμα το εσωτερικό να παραμένει στη μορφή πολτού, χωρίς να αναπτύσσει μηχανικές αντοχές, γεγονός που αποτελεί ένα από τα κυριότερα προβλήματα των ασβεστοκονιαμάτων.

Για να ολοκληρωθεί επομένως το στάδιο της σκλήρυνσης θα πρέπει, από τη μια να υπάρχει επαφή όλης της μάζας της κονίας με τον αέρα, δηλαδή με το CO_2 , και από την άλλη να διατηρείται όσο το δυνατό σε ξηρότερο περιβάλλον, προκειμένου να εξατμίζεται εύκολα το νερό.

Κονίαμα με αερική ασβέστο, κάτω από ιδανικές συνθήκες παρασκευής και σκλήρυνσης, μπορεί να επιτύχει αντοχή σε θλίψη μέχρι και 1MPa, μετά από 28 ημέρες [49].

1.5.1.2. Υδραυλική Άσβεστος

1.5.1.2.1. Γενικά

Η φυσική υδραυλική ασβέστος προέρχεται από την όπτηση μαργαϊκών ασβεστολίθων [μίγμα ανθρακικού ασβεστίου και αργίλου (μάργες)] που περιέχουν 5-20% αργίλο. Η όπτηση του ασβεστολίθου γίνεται στα ασβεστοουργικά καμίνια (κλιβάνους) συνεχούς λειτουργίας σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 900°C και μικρότερες των 1300°C. Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται μέσα στον κλίβανο πρέπει να κυμαίνεται στο εύρος 900-950°C, δεδομένου ότι η αύξηση της θερμοκρασίας δρα μεν θετικά στην παραγωγή υδραυλικών ενώσεων, αυξάνει όμως τον κίνδυνο υπερέψησης του περιεχόμενου ασβεστολίθου, με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνεται στη συνέχεια η σωστή σβέση της υδραυλικής ασβέστου, με όλες τις δυσμενείς συνέπειες που προαναφέρθηκαν [47].

Η υδραυλική άσβεστος, μετά από ειδική σβέση, φέρεται στο εμπόριο υπό μορφή σκόνης. Έχει υδραυλικές ιδιότητες οφειλόμενες στις σχηματιζόμενες κατά την όπτηση ενώσεις των οξειδίων του αργίλου, πυριτίου και σιδήρου, που αποτελούν τους υδραυλικούς παράγοντες της κονιάς.

Ως υδραυλική κονία μειονεκτεί σε σχέση με τις άλλες, λόγω του μεγάλου ποσοστού της περιεχόμενης ελεύθερης ασβέστου. Γι' αυτό σπάνια χρησιμοποιείται αυτούσια για την παραγωγή υδραυλικών κονιαμάτων. Συνήθως αναμιγνύεται με ποζολάνες για τη δέσμευση της ελεύθερης ασβέστου από το ενεργό οξείδιο του πυριτίου (SiO₂) αυτών.

1.5.1.2.2. Όπτηση Υδραυλικής Ασβέστου

Κατά την όπτηση το CaCO₃ αποσυντίθεται σε CaO και από αυτό ένα μέρος αντιδρά με το περιεχόμενο Al₂O₃, SiO₂, που προέρχεται από την άργιλο, σχηματίζοντας αργιλοπυριτικές ενώσεις του ασβεστίου. Οι παρακάτω χημικές αντιδράσεις περιγράφουν το φαινόμενο [50]:



Οι πιο δραστικές ενώσεις που περιέχονται στην υδραυλική άσβεστο είναι οι C₂S και CaO [43]. Το ποσοστό του παραγόμενου C₂S και CA εξαρτάται από τις αρχικές συγκεντρώσεις των οξειδίων του πυριτίου και αργιλίου στο πέτρωμα του μαργαϊκού ασβεστολίθου, το οποίο με την σειρά του αποτελεί ένδειξη της υδραυλικότητας της ασβέστου. Οι διάφοροι τύποι ασβέστου κατατάσσονται βάσει του δείκτη υδραυλικότητας Vicat [51]:

$$\text{Δείκτης Υδραυλικότητας (i)} = (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3) / (\text{CaO} + \text{MgO})$$

Όσο πιο μεγάλος είναι ο δείκτης υδραυλικότητας τόσο πιο υδραυλικό χαρακτηρα παρουσιάζει η άσβεστος. Ανάλογα με την τιμή του δείκτη υδραυλικότητας οι άσβεστοι κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

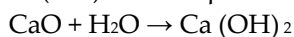
- i = 0,00 – 0,10 αερική άσβεστος
- i = 0,10 – 0,16 άσβεστος χαμηλής υδραυλικότητας
- i = 0,16 – 0,32 άσβεστος μεσαίας υδραυλικότητας
- i = 0,32 – 0,42 υδραυλική άσβεστος
- i = 0,42 – 0,50 άσβεστος υψηλής υδραυλικότητας

Όταν μια κονία περιέχει υψηλότερο δείκτη υδραυλικότητας από 0,50 γίνεται πλέον αναφορά στην κατηγορία των τσιμεντών.

1.5.1.2.3. Σβέση της Υδραυλικής Ασβέστου

Η παραγόμενη κονία από την έψηση των μαργαϊκών ασβεστολίθων αποτελείται από δύο μέρη. Από το CaO το οποίο πρέπει να σβηστεί για να παραχθεί το Ca(OH)₂, το οποίο με τη σειρά του θα αντιδράσει με το CO₂ και θα σκληρυνθεί παράγοντας το CaCO₃, και από τις υδραυλικές ενώσεις C₂S, CA, οι οποίες όταν έρθουν σε επαφή με το νερό, αντιδρούν γρήγορα με αυτό σχηματίζοντας ένυδρα προϊόντα C-S-H, C-A-H (σε μορφή gel) που παρέχουν γρήγορη σκλήρυνση. Η σβέση είναι απαραίτητη για το CaO και επιπλέον αποτελεί μια πολύ ευαίσθητη διεργασία γιατί μια υπερβολή στην ποσότητα του νερού ή στη διάρκεια της σβέσης μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρη σκλήρυνση των υδραυλικών ενώσεων, ενώ εάν η σβέση είναι ημιτελής θα υπάρχει ελεύθερο CaO στη μάζα της κονιάς, το οποίο θα δράσει ανασταλτικά στην μετέπειτα συμπεριφορά του κονιάματος [47]. Η αντίδραση που εκφράζει την σβέση της υδραυλικής ασβέστου και η οποία οδηγεί σε πήξη και σκλήρυνση του μίγματος χωρίς να έχει προχωρήσει η ενανθράκωση, εκφράζεται σε δύο στάδια [49]:

- Στο πρώτο στάδιο, κατά τη διάρκεια της ξηρής σβέσης, το CaO μετατρέπεται σε Ca(OH)₂ κατά την αντίδραση:

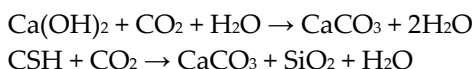


- Κατά το δεύτερο στάδιο, και όταν προστεθεί επιπλέον νερό, οι αργιλοπυριτικές ενώσεις ενυδατώνονται, παράγοντας ένυδρο πυριτικό ασβέστιο (CSH) και ένυδρο πυριτικό αργίλιο (CAH). Αυτές οι ενώσεις είναι που προκαλούν και τη γρήγορη σκλήρυνση του μίγματος κατά την αντίδραση:

$$C_2S + CA + H_2O \rightarrow CSH + CAH + Ca(OH)_2$$

1.5.1.2.4. Πήξη και Σκλήρυνση της Υδραυλικής Ασβέστου

Όταν το προϊόν της σβέσης έρθει σε επαφή με το CO₂ της ατμόσφαιρας, τότε το Ca(OH)₂ πήζει και σκληραίνει ενώ τα ενυδατωμένα αργιλοπυριτικά είναι δυνατό να αποσυντεθούν με μια πολύ αργή κινητική που μπορεί να κρατήσει και μήνες. Το φαινόμενο εκφράζεται με τις εξής αντιδράσεις [52,53]:



Όσον αφορά στις μηχανικές αντοχές που μπορεί να αναπτύξει ένα κονίαμα με αναλογία συνδετικής ύλης / αδρανές : 1/3, μετά από 28 ημέρες, όταν η συνδετική ύλη είναι αερική άσβεστος η προσλαμβανόμενη αντοχή είναι μικρότερη από 1 MPa, για κονίαμα με υδραυλική άσβεστο ή μίγμα ασβέστου-ποζολάνης μεγαλύτερη των 5 MPa, ενώ για το τσιμέντο φτάνει τα 10 MPa και γρήγορα έως τα 30-40 MPa [49].

Η κατάταξη των υδραυλικών ασβέστων, φυσικών και τεχνητών, γίνεται σύμφωνα με την αντοχή σε θλίψη που αποκτούν στις 28 ημέρες. Υπάρχει η φυσική υδραυλική άσβεστος (NHL2, NHL3.5, NHL5) και η τεχνητή υδραυλική άσβεστος (HL2, HL3.5, HL5), όπου οι δείκτες 2, 3.5, 5 αναφέρονται στην ελάχιστη τιμή της θλιπτικής αντοχής που μπορεί να προσλάβει μέσα σε 28 ημέρες μια υδραυλική άσβεστος αυτής της κατηγορίας. Οι αντοχές που αναπτύσσουν οι υδραυλικές άσβεστοι φαίνονται στον παρακάτω πίνακα [54]:

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1: Θλιπτική αντοχή τύπων υδραυλικής ασβέστου

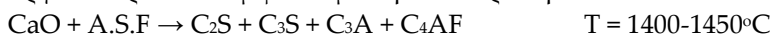
Τύπος Υδραυλικής Ασβέστου	Αντοχή σε Θλίψη N/mm ²	
	7 ημέρες	28 ημέρες
HL2, NHL2		2-7
HL3.5, NHL3.5	≥1.5	3.5-10
HL5, NHL5	≥2	5-15

1.5.1.3. Τσιμέντο

Το τσιμέντο είναι το προϊόν ανάμιξης του κλίνκερ και μιας μικρής ποσότητας γύψου. Για την παραγωγή του κλίνκερ ακολουθείται η εξής διαδικασία:

Αρχικά γίνεται η εξόρυξη των πρώτων υλών, δηλαδή του ασβεστολίθου και της αργίλου. Ακολουθεί η άλεση αυτών σε πολύ μικρούς κόκκους σε μορφή φαρίνας, η οποία διοχετεύεται στην υψικάμινο σε αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες 1400-1450°C, και παράγεται το κλίνκερ με την μορφή τεμαχίων. Στη συνέχεια το κλίνκερ ψύχεται, αναμιγνύεται με διάφορα πρόσθετα (γύψος, ποζολάνες, ιπτάμενη τέφρα), αλέθεται σε λεπτόκοκκη μορφή μέσα σε μύλους και αποθηκεύεται σε σάκκους, έτοιμο για την κατανάλωση. Όταν αυτή η σκόνη έρθει σε επαφή με το νερό σκληρύνεται αποδίδοντας πολύ υψηλές αντοχές [41-43,55].

Κατά την έψηση των πρώτων υλών παράγεται CaO το οποίο δεσμεύεται από τα αργιλοπυριτικά σύμφωνα με την αντίδραση:



Σημειώνεται ότι όλο το CaO που παράγεται από τη διάσπαση του CaCO₃ δεσμεύεται από τις αργιλοπυριτικές ενώσεις. Αυτή είναι και η διαφορά του τσιμέντου από την υδραυλική άσβεστο, η οποία μετά την έψηση περιέχει ελεύθερο CaO που θα πρέπει να σβηστεί και να

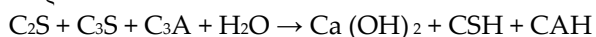
ενανθρακωθεί. Παρόλα αυτά και στο κλίνκερ είναι δυνατό να υπάρχει μια μικρή ποσότητα CaO. Οι αντιδράσεις που συμβαίνουν στον κλίβανο με τη σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα [47]:

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι.2.: Διεργασία παραγωγής κλίνκερ

Θερμοκρασία Κλίβανου (°C)	Παρατηρούμενες Διεργασίες
-100	Αποβολή της περιεχόμενης υγρασίας
-500	Αφυδροξυλίωση των αργίλων
~900	Μετατροπή του CaCO ₃ σε CaO
900-1200	Το CaO αντιδρά σταδιακά με τις ενώσεις της αργίλου (SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃)
>1250-1280	Εμφάνιση της υγρής φάσης
>1280	Ολοκλήρωση της παραγωγής του κλίνκερ

Προκειμένου να ρυθμιστεί η ταχύτητα πήξης (μια διεργασία αρκετά γρήγορη και ανεξέλεγκτη) το κλίνκερ αναμιγνύεται με μικρό ποσοστό γύψου (2,5-5%). Το μίγμα αλέθεται για την επίτευξη ομογενοποίησης και μεγαλύτερης ειδικής επιφάνειας και τέλος το μίγμα του τσιμέντου ενυδατώνεται [41-43,55].

Όταν το τσιμέντο έρθει σε επαφή με το νερό, τα συστατικά του το δεσμεύουν χημικά παράγοντας τα ένυδρα CSH, CAH, τα οποία με τη μορφή gel προσδίδουν πολύ γρήγορη σκλήρυνση στο μίγμα, απελευθερώνοντας μεγάλη ποσότητα θερμικής ενέργειας. Η χημική αντίδραση που εκφράζει το φαινόμενο, αρκετά απλοποιημένη, φαίνεται παρακάτω:



Στην πραγματικότητα το φαινόμενο είναι εξαιρετικά πολύπλοκο, δεδομένου ότι τα προϊόντα περιέχουν αρκετές προσμίξεις στο εσωτερικό τους εκτός από τα βασικά συστατικά τους. Επίσης, κατά την ενυδάτωση σχηματίζεται και Ca(OH)₂ το οποίο μαζί με αλκάλια είναι η κύρια αιτία δημιουργίας εξανθημάτων στα κονιάματα.

Παρακάτω γίνεται αναφορά στον τρόπο δράσης του κάθε συστατικού στην πήξη και στις μηχανικές αντοχές του μίγματος.

C₃S *Αλίτης*. Γρήγορη αντίδραση με το νερό. Χρόνος πήξης ανώμαλος. Κύριος φορέας των μηχανικών αντοχών.

C₂S *Μπελίτης*. Αργή αντίδραση με το νερό. Παρέχει μηχανικές αντοχές σε μεγάλο χρονικό διάστημα. Μαζί με το C₃S υπεύθυνα συστατικά για τη συστολή του μίγματος.

C₂A *Αργιλική φάση*. Γρήγορη πήξη και σκλήρυνση. Μικρή μηχανική αντοχή.

C₄AF *Φερριτική φάση*. Πρακτικά ανενεργή και στην πήξη και στην παροχή μηχανικών αντοχών.

Συχνή είναι και η χρήση ποζολάνας ως πρόσμικτο του τσιμέντου, για την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας ύπαρξης ελεύθερου CaO μέσα στην μάζα του τσιμέντου, το οποίο δεσμεύεται από τις ποζολάνες και παράγεται κονίαμα υψηλότερων αντοχών. Επιπλέον, με τη χρήση ασβέστου βελτιώνονται μια σειρά από ιδιότητες όπως πρόσφυση, στεγανότητα, πλαστιμότητα, εργασιμότητα [55].

1.5.2. Ποζολανικά πρόσμικτα

Ο επίσημος ορισμός της ποζολάνας δίνεται από τον κανονισμό ASTM C618, βάσει του οποίου ένα ποζολανικό υλικό είναι: «πυριτικό ή αργιλικό υλικό, το οποίο δεν παρουσιάζει υδραυλικές ιδιότητες, αλλά σε λεπτοαλεσμένη μορφή και με την παρουσία υγρασίας, αντιδρά με το Ca(OH)₂ σε συνθήκη θερμοκρασία σχηματίζοντας υδραυλικές ενώσεις» [42].

Γενικότερα, στον όρο “*pozzolana*” μπορούν να αποδοθούν δύο ερμηνείες. Η πρώτη υποδηλώνει τα πυροκλαστικά πετρώματα, ιδιαίτερος υαλώδη και μερικές φορές ζεολιθικά. Η δεύτερη ερμηνεία συμπεριλαμβάνει όλα εκείνα τα ανόργανα υλικά, είτε φυσικά είτε τεχνητά, τα οποία σκληρύνονται παρουσία νερού όταν αναμιγνύονται με την υδράσβεστο ή γενικά τα υλικά τα οποία μπορούν να απελευθερώσουν Ca(OH)_2 (όπως το κλίνκερ του τσιμέντου Portland).

Η χρήση των ποζολανών τόσο σε τσιμεντιτικά μίγματα όσο και σε κονιάματα αποδίδει υψηλές τιμές μηχανικών αντοχών, αλλά και μεγάλη αντίσταση στην προσβολή από διάφορους παράγοντες.

Η προσπάθεια ακριβούς κατηγοριοποίησης των ποζολανών αποδεικνύεται δύσκολη, εφόσον πρόκειται για υλικά με πολύ διαφορετική χημική σύσταση, ορυκτολογική φύση και γεωλογική προέλευση, τα οποία σχετίζονται μόνο λόγω της κοινής τους ιδιότητας να αντιδρούν και να σκληρύνονται όταν αναμιγνύονται με την υδράσβεστο και το νερό. Ωστόσο, η πλέον κοινά αποδεκτή κατηγοριοποίηση των ποζολανών αφορά στην προέλευσή τους, και επομένως μια πρώτη κατηγοριοποίηση κατατάσσει τις ποζολάνες σε φυσικές και τεχνητές. Οι φυσικές ποζολάνες δεν απαιτούν περαιτέρω κατεργασία εκτός από την κοκκοδιαβάθμισή τους. Οι τεχνητές ποζολάνες προκύπτουν από την χημική ή/και δομική διαφοροποίηση υλικών που έχουν ελάχιστες ή ακόμα και καθόλου ποζολανικές ιδιότητες. Αυτές μπορεί να αποτελούν υπολείμματα διεργασιών παραγωγής ή προϊόντων παρασκευασμένων από επιλεγμένες πρώτες ύλες.

1.5.2.1. Ταξινόμηση των ποζολανών

Οι ποζολάνες ανάλογα με την προέλευσή τους διακρίνονται σε φυσικές και τεχνητές.

1.5.2.1.1. Φυσικές ποζολάνες

Οι φυσικές ποζολάνες προέρχονται από υλικά ηφαιστειακής προέλευσης (πυροκλαστικά πετρώματα), υαλώδους μορφής, με περιεχόμενο ποσοστό ενεργού πυριτίου 45-60%. Στην κατηγορία αυτή των φυσικών ποζολανών ανήκουν τα φυσικά αποθέματα ηφαιστειογενών πηγών (πυροκλαστικά υλικά) που έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε πυριτικά πετρώματα (π.χ. Θηραϊκή γη). Ανάλογα με τη φύση των ορυκτολογικών συστατικών τους διακρίνονται σε: ηφαιστειογενείς υάλους, ζεόλιθους ή μερικά ζεολιθοποιημένες υάλους και δραστικές μορφές ένυδρων πυριτικών.

Οι πιο γνωστές φυσικές ποζολάνες είναι η Θηραϊκή γη (από την Σαντορίνη), οι Ιταλικές ποζολάνες, η ηφαιστειακή τέφρα από την Γαλλία κλπ. [56].

Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικότερα οι χαρακτηριστικότερες κατηγορίες φυσικών ποζολανών.

- ***Υλικά ηφαιστειακής προέλευσης (πυροκλαστικά πετρώματα)***

Τα πυροκλαστικά πετρώματα προέρχονται από ηφαιστειακές εκρήξεις κατά τις οποίες απελευθερώνονται λεπτότατα σωματίδια ρευστού μάγματος στην ατμόσφαιρα. Λόγω της απότομης ελάττωσης της πίεσης κατά την ηφαιστειακή έκρηξη προκαλείται αυτόματα διάλυση των εκλυόμενων αερίων στο ρευστό μάγμα που απελευθερώνεται. Συνέπεια αυτού του φαινομένου είναι η δημιουργία σωματιδίων, καθένα από τα οποία περιλαμβάνει πλήθος μικροσκοπικών φυσαλίδων, οι οποίες δημιουργούν μια μικροπορώδη δομή [57]. Ταυτόχρονα, τα σωματίδια υπόκεινται σε στιγμιαία διεργασία σβέσης που ευθύνεται για την υαλώδη κατάσταση του υλικού. Το υλικό τελικά αποτίθεται είτε στο έδαφος είτε στο νερό. Γενικά, οι εδαφικές αποθέσεις, οι οποίες είναι ετερογενείς, συντίθενται από τέφρες αναμεμιγμένες με θραύσματα προερχόμενα από τα τοιχώματα του ηφαιστείου ή από τη βάση αυτού. Από συνεπακόλουθες εκρήξεις παράγονται ηφαιστειακές τέφρες με μικρή ή ακόμη και καθόλου ποζολανική δραστηριότητα, μιας και η διεργασία της σβέσης που

προαναφέρθηκε δεν είναι αρκετά ταχεία ώστε να αποτρέψει την κρυστάλλωση του ρευστού μάγματος [58].

- *Μη συνεκτικά υλικά*

Σε αυτή την κατηγορία κατατάσσονται οι τυπικές ιταλικές ποζολάνες και η επονομαζόμενη Θηραϊκή γη. Στον πίνακα που ακολουθεί είναι φανερό ότι η χημική σύσταση των μη συνεκτικών ηφαιστειακών ποζολανών κυμαίνεται σε ένα μεγάλο εύρος τιμών. Το πυρίτιο (silica) και η αλούμινα (alumina) εμφανίζονται σε μεγαλύτερες περιεκτικότητες από ότι άλλα συστατικά. Το αλκαλικό περιεχόμενο είναι αρκετά υψηλό ξεπερνώντας ακόμη και το 10%. Η απώλεια κατά την ανάφλεξη (*Loss on Ignition*) μπορεί να φτάσει ακόμη και το 10%.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι.3.: Χημική σύσταση μη συνεκτικών ηφαιστειακών ποζολανών

<i>Προέλευση Ποζολάνας</i>	<i>SiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>Fe₂O₃</i>	<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>Na₂O</i>	<i>K₂O</i>	<i>TiO₂</i>	<i>SO₃</i>	<i>LOI</i>
Ιταλία	53,08	17,89	4,29	9,05	1,23	3,08	7,61	0,31	0,65	3,05
Ιταλία	44,07	19,18	9,81	12,25	6,66	1,64	1,12	0,97	tr ^a	4,42
Ιταλία	46,84	18,44	10,25	8,52	4,75	1,02	6,35	0,06	tr	3,82
Ιταλία	50,48	16,77	11,59	4,86	5,24	0,87	0,17	0,08	0,15	9,68
Γαλλία	54,30	16,80				4,47	2,60			
Ελλάδα	65,1	14,50	5,5	3,0	1,1					3,5
Γερμανία	52,12	18,29 ^b	5,81	4,94	1,20	1,48	5,06			11,10
Γερμανία	62,45	16,47 ^b	4,41	3,39	0,94	1,91	2,06			7,41
ΗΠΑ	65,74	15,89	2,54	3,35	1,33	4,97	1,92			3,43
Ιαπωνία	69,34	14,56	1,02	2,61		3,00	2,39	0,25		1,85
Ιαπωνία	71,77	11,46	1,14	1,10	0,54	1,53	2,55	0,14		6,50

^atr = ίχνη

^bAl₂O₃ + TiO₂

- *Συνεκτικά υλικά (τόφφοι)*

Οι αποθέσεις των ηφαιστειακών ποζολανών συχνά σχετίζονται με τη μορφοποίηση συνεκτικών στρωμάτων (τόφφοι), τα οποία προέρχονται από την αποσάθρωση ή την σκλήρυνση των χαλαρών σωματιδίων μέσω διεργασιών διαγένεσης ή άλλων φυσικών διεργασιών. Το φαινόμενο της αποσάθρωσης μπορεί να προκαλέσει διεργασίες ζεολιθοποίησης ή αργιλοποίησης, δηλαδή μετατροπής των υαλωδών φάσεων της ποζολάνας σε ζεολιθικά ή αργιλικά ορυκτά. Ο βαθμός μετατροπής των αρχικών αποθέσεων εξαρτάται από την ένταση των δράσεων διαγένεσης καθώς και από την διάρκειά τους. Γενικά, η διεργασία ζεολιθοποίησης βελτιώνει τις ποζολανικές ιδιότητες, ενώ η αργιλοποίηση τις υποβαθμίζει [59,60].

Όσον αφορά στην χημική σύσταση μερικών ποζολανικών τόφφων σημειώνεται ότι το περιεχόμενο σε πυριτικά ή αθροιστικά το περιεχόμενο πυριτικών και αργιλικών είναι παρόμοιο με αυτό που παρουσιάζουν οι πυροκλαστικές ποζολάνες. Η απώλεια πυρός (*loss on ignition*) είναι γενικά υψηλή, ενώ το περιεχόμενο των συστατικών που εμφανίζονται σε ίχνη παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις.

Σε κάποιες αποθέσεις η μετατροπή των ηφαιστειακών ποζολανών, μη συνεκτικών και κυρίως υαλωδών, προς συνεκτικούς και ζεολιθικούς τόφφους, είναι περισσότερο εμφανής. Η ποζολάνα διαχωρίζεται από τον τόφφο με ενδιάμεσα στρώματα. Η χημική σύνθεση των δημιουργούμενων στρωμάτων είναι παρόμοια. Ωστόσο, κινούμενοι από το στρώμα της ποζολάνας σε αυτό του τόφφου το περιεχόμενο του τριθενούς σιδήρου και του νερού αυξάνεται, ενώ το αλκαλικό περιεχόμενο μειώνεται. Ο αποκαλούμενος «ηφαιστειακός τόφφος» περιέχει μεγάλα ποσά υαλωδών φάσεων, αλλά κανένα ίχνος ζεολιθικών συστατικών. Αντιθέτως, στο συνεκτικό στρώμα των τόφφων κάτω από τον χαλαρό

«ηφαιστειακό τόφφο» η εδαφική μάζα εμφανίζεται υαλώδης, περιέχοντας μεγάλες ποσότητες διασκορπισμένων ζεολίθων που μπορούν να ανιχνευθούν μόνο με περίθλαση ακτίνων Χ (XRD) [61].

- *Υλικά ιζηματογενούς προέλευσης*

Τα αργιλικά και οι επονομαζόμενες διατομικές γαίες αποτελούν ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να συνδυαστούν με την άσβεστο (CaO). Τα αργιλικά πετρώματα προκύπτουν από την μετατροπή των πυριγενών πετρωμάτων, ενώ οι διατομικές γαίες από τους πυριτικούς σκελετούς μικροοργανισμών (διάτομα) που έχουν εναποθεθεί στις θάλασσες. Δεδομένου ότι και τα δύο αυτά υλικά προέρχονται από εναποθέσεις στο νερό και παρά την διαφορετική τους προέλευση, συχνά οι διατομικές γαίες και τα αργιλικά ορυκτά απαντώνται αναμειγμένα μεταξύ τους.

Τα αργιλικά ορυκτά, ειδικά αυτά που ανήκουν στην κατηγορία του μοντμοριλονίτη, αντιδρούν με την άσβεστο (CaO) αποδίδοντας ενυδατωμένες ασβεστο-πυριτικές και ασβεστο-αργιλικές ενώσεις. Γενικά, οι διατομικές γαίες παρουσιάζουν υψηλή δραστηριότητα προς την άσβεστο, γεγονός που οφείλεται στο υψηλό ποσοστό τους σε άμορφη πυριτία και στην υψηλή τιμή ειδικής επιφάνειας. Παρά την ισχυρή ποζολανική συμπεριφορά, η χρήση των διατόμων στα ποζολανικά μίγματα αποφεύγεται λόγω της υψηλής ειδικής επιφάνειας που παρουσιάζουν, η οποία οδηγεί σε αύξηση του απαιτούμενου νερού. Ωστόσο, περιορισμένη προσθήκη διατόμων βελτιώνει την πλαστικότητα και μειώνει το φαινόμενο της απόμιξης (*bleeding*) [62,63].

- *Υλικά ετερογενούς προέλευσης (υβριδικά πετρώματα)*

Βόρεια της Ρώμης απαντώνται ικανοποιητικές αποθέσεις εύθρυπτων πετρωμάτων αποτελούμενων από ορυκτά διαφορετικής προέλευσης (ηφαιστειακής, ιζηματογενούς, οργανικής) [64,65,66]. Τα υπερκείμενα στρώματα χαρακτηρίζονται από περιεχόμενο σε πυριτικά μέχρι και 90%, σημαντική απώλεια πυρός και μικρές ποσότητες άλλων οξειδίων. Αναφορικά με τα εσωτερικά βαθύτερα στρώματα, το περιεχόμενο σε πυριτικά είναι σημαντικά χαμηλότερο. Τα οξείδια του αλουμινίου φτάνουν μέχρι και ποσοστό 20%, ενώ άλλα οξείδια απαντώνται σε πολύ μικρά ποσοστά [65]. Το χαμηλό περιεχόμενο σε σίδηρο ερμηνεύει το ανοιχτό χρώμα αυτών των υλικών, τα οποία είναι γνωστά ως «λευκές γαίες». Για τα στρώματα που είναι πλουσιότερα σε πυριτίο, τα κρυσταλλικά ορυκτά αποτελούνται κατά κύριο λόγο από άστριους, βιοτίτη, χαλαζία, καλσίτη, ζεόλιθο και διατομικούς σκελετούς.

Όσον αφορά στα ορυκτά των υπερκείμενων στρωμάτων, η καταστροφή της κρυσταλλικής δομής λαμβάνει χώρα με τον σχηματισμό της πυριτικής φάσης (*silica gel*). Όσον αφορά τα ορυκτά των υποκείμενων στρωμάτων οι μετασχηματισμοί είναι μερικοί και σχηματίζονται ζεόλιθοι και αργιλικά ορυκτά.

1.5.2.1.2. Τεχνητές ποζολάνες

Έτσι ορίζονται τα διάφορα αργιλοπυριτικά υλικά που λαμβάνονται μετά από συγκεκριμένη θερμική κατεργασία. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι ιπτάμενες τέφρες καθώς και οι σκωρίες των υψικαμίνων.

Οι τεχνητές ποζολάνες που χρησιμοποιήθηκαν στην αρχαιότητα αφορούσαν σε λεπτά θραύσματα από κεραμικά, κεραμίδια, πλίνθους, αγγεία κλπ. Η δραστηριότητα αυτών των ποζολανών εξαρτάται από την αρχική σύνθεση της αργίλου (πηλού) που χρησιμοποιείται κατά την έψηση, από τη θερμοκρασία έψησης, καθώς και από το τελικό μέγεθος των τεμαχιδίων. Δεδομένου ότι κάθε άργιλος έχει διαφορετική βέλτιστη θερμοκρασία έψησης, η έψηση της αργίλου στη σωστή θερμοκρασία μπορεί ακόμη και να διπλασιάσει την αντοχή της σε σχέση με φυσική (άψητη) άργιλο. Επιπλέον, το μέγεθος των θραυσμάτων που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερο, ώστε να αυξηθεί η ειδική επιφάνεια της ποζολάνης άρα και η δραστηριότητά της. Γενικά, οι ποζολάνες είναι ενεργές όταν το μέγεθός τους είναι μικρότερο από 75μm, ενώ εάν το μέγεθος των σωματιδίων τους

είναι μεγαλύτερο από 300μm τότε δρουν ως αδρανή. Σε αυτή την περίπτωση προστίθενται συνειδητά στο κονίαμα προκειμένου να το καταστήσουν πιο ελαφρύ και ελαστικό [42].

Οι σημερινές τεχνητές ποζολάνες που χρησιμοποιούνται είναι οι ιπτάμενες τέφρες (PFA: pulverized fuel ash), σκωρίες υψικαμίνων (blast furnace slag), η πυριτική παιπάλη και ο μετακαολινίτης που προκύπτει από έψηση του καολινίτη, ο οποίος δεν είναι πάντα αρκετά ενεργός.

Παρακάτω παρατίθενται ορισμένες κατηγορίες τεχνητών ποζολανών.

- *Ιπτάμενες τέφρες*

Οι ιπτάμενες τέφρες αποτελούν λεπτοαλεσμένες τέφρες παραγόμενες κατά την καύση κονιοποιημένου άνθρακα σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Απομακρύνονται από το στάδιο της συμπύκνωσης των αερίων. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας καύσης του άνθρακα, τα περισσότερα από τα ορυκτά συστατικά που περιέχονται στον άνθρακα τήκονται και σχηματίζουν μικρές φυσαλίδες. Η απότομη ψύξη που ακολουθεί κατά την διεργασία τις μετατρέπει μερικώς ή ολικώς σε σφαιρικά υαλώδη σωματίδια. Η χημική σύσταση των ιπτάμενων τεφρών εξαρτάται από την ορυκτολογική σύσταση της οργανικής φάσης του άνθρακα.

Οι ιπτάμενες τέφρες θεωρείται ότι συντίθενται από σχετικά μικρό αριθμό ορυκτών φάσεων, δεδομένου ότι το ανθρακικό ορυκτό υλικό αποτελείται από όχι περισσότερα από πέντε ή έξι συστατικά: αργιλικά ορυκτά, πυρίτη, χαλαζία και ένα ή δύο φάσεις ανθρακικού ασβεστίου, σιδήρου και μαγνησίου. Πιο συχνά, λαμβάνοντας υπόψη την ορυκτολογική κατανομή του άνθρακα και τις συνθήκες καύσης αυτού, κάθε σωματίδιο πιθανότατα παράγεται από τεμαχίδια άνθρακα που περιέχουν μόνο ένα ή δύο ορυκτά.

Τα σωματίδια των ιπτάμενων τεφρών είναι γενικά σφαιρικά και υαλώδη, αλλά είναι δυνατό να παρουσιάσουν και άλλες τυπολογίες, βασισμένες σε κριτήρια όπως το σχήμα, το χρώμα, η κρυσταλλικότητα και η υφή. Τα λεπτότατα υαλώδη σωματίδια είναι γενικά πυκνά. Μερικές φορές τα μεγαλύτερα σωματίδια μοιάζουν με κενές σφαίρες πληρούμενες με άλλα μικρότερα σφαιρικά σωματίδια. Κάποιοι άλλοι τύποι σωματιδίων είναι ακανόνιστου σχήματος και μερικές φορές περιέχουν φυσαλίδες, οι οποίες αποδίδουν μια σπογγώδη μορφή, ή διακρίνονται από υψηλό περιεχόμενο κρυσταλλικού υλικού. Γενικά, η μορφολογία και η συμπεριφορά των ιπτάμενων τεφρών εξαρτάται από την διεργασία καύσης [61].

- *Εψημένες άργιλοι και σχιστόλιθοι*

Τα αργιλικά ορυκτά προσλαμβάνουν μια διακριτή ποζολανική δραστικότητα όταν πυρώνονται σε θερμοκρασίες μεταξύ 600 και 900°C. Δεδομένης της χημικής σύστασης των αργιλικών και των συσχετιζόμενων υλικών, αυτές οι τεχνητές ποζολάνες συντίθενται κυρίως από οξειδίο του πυριτίου και του αλουμινίου.

Η απώλεια του χημικά δεσμευμένου νερού λόγω της θερμικής κατεργασίας προκαλεί την καταστροφή του κρυσταλλικού πλέγματος των αργιλικών ορυκτών, ενώ παράλληλα το πυρίτιο και η αλούμινα παραμένουν σε μια ασταθή, άμορφη κατάσταση. Η θέρμανση δεν επηρεάζει τα άνυδρα ορυκτά, όπως τον χαλαζία ή τα πλαγιόκλαστα, επομένως η ποζολανική δραστικότητα εξαρτάται μόνο από το περιεχόμενο σε αργιλικά ορυκτά καθώς και από τις συνθήκες της θερμικής κατεργασίας [67].

Η καύση ή η θέρμανση σε κλίβανο κάποιων πετρελαίων παράγουν τέφρες οι οποίες σκληραίνουν κατά την ανάμιξή τους με το νερό. Η χημική τους σύνθεση ποικίλει σημαντικά ανάλογα με την προέλευσή τους. Το πυριτικό περιεχόμενο μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 22-42%, ενώ το ασβεστιτικό περιεχόμενο μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 55-22% [68]. Η σκλήρυνση προκύπτει από την παρουσία τσιμεντιτικών φάσεων, όπως C₂S και C₃S. Οι θερμικά κατεργασμένοι σχιστόλιθοι έχουν μια πιο πολύπλοκη ορυκτολογική σύνθεση από ότι οι θερμικά κατεργασμένες άργιλοι, η οποία εξαρτάται από την σύνθεση, τη θερμοκρασία και τη διάρκεια έψησης. Σε κάθε περίπτωση, οι τέφρες της παραπάνω

προέλευσης διακρίνονται από ποζολανικές ιδιότητες καθώς καταναλώνουν ασβεστίτη όταν αναμιγνύονται με το νερό, την υδράσβεστο ή το τσιμέντο Portland.

- *Μικροπυριτία (πυριτική παιπάλη ή silica fume)*

Οι διεργασίες παραγωγής των πυριτικών μετάλλων και των φεροπυριτικών κραμάτων υπό θερμοκρασίες μέχρι και 2000°C έχουν ως συνέπεια την παραγωγή παιπάλης, η οποία περιέχει σφαιρικά μικροσωματίδια άμορφου διοξειδίου του πυριτίου. Αυτός είναι και ο λόγος που το προϊόν επονομάζεται «πυριτική παιπάλη» ή, λόγω του σχηματισμού του και της χημικής του σύνθεσης, «μικροπυριτία».

Τα κύρια χαρακτηριστικά της πυριτικής παιπάλης είναι το υψηλό πυριτικό περιεχόμενο, η υψηλή ειδική επιφάνεια και η άμορφη δομή. Σε αυτά τα χαρακτηριστικά οφείλεται και η σημαντική ποζολανική δραστικότητα της μικροπυριτίας, όσον αφορά τόσο στη δέσμευση ασβεστίτη όσο και στον ρυθμό αντίδρασης. Η χημική σύνθεση της πυριτικής παιπάλης ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του παραγόμενου κράματος ή μετάλλου. Η διεργασία μέσω πυριτικού μετάλλου καταλήγει σε καθαρότερα προϊόντα, ενώ η παραγωγή μέσω πυριτικών κραμάτων καταλήγει σε πιο πολύπλοκες συστάσεις [69].

1.5.2.2. Δραστικότητα των ποζολανών

Αυτή συνίσταται στην ικανότητά τους να αντιδρούν με την υδράσβεστο και να σχηματίζουν ένυδρες ασβεστοπυριτικές και ασβεσταργιλικές ενώσεις όμοιες με εκείνες του τσιμέντου Portland.

Η δραστικότητα των συστατικών της ποζολάνης οφείλεται στην ύπαρξη αταξιών στη δομή του πλέγματος ή και στην έλλειψη πλέγματος σε ορισμένες περιπτώσεις, δομές οι οποίες αποτελούν συνέπεια διαφόρων φυσικών (φυσικές ποζολάνες) ή τεχνητών (τεχνητές ποζολάνες) μεταβολών που έχει υποστεί το υλικό. Στο αλκαλικό διάλυμα τα Al_2O_3 και SiO_2 διαλυτοποιούνται και μεταφέρονται στο διάλυμα σαν φορτισμένα σύμπλοκα και τελικά αντιδρούν με τα περιεχόμενα σ' αυτό ιόντα ασβεστίου προς σχηματισμό ασβεστοπυριτικών και ασβεσταργιλικών ενώσεων. Οι ασβεστοπυριτικές ενώσεις που σχηματίζονται διαθέτουν χαμηλή αναλογία Ca/Si γεγονός που τις κάνει πιο σταθερές στο χρόνο. Εξάλλου οι ενώσεις αυτές οδηγούν τις περισσότερες φορές σε κονίες με χαμηλό πορώδες και μεγαλύτερες αντοχές στο χρόνο [43].

1.5.2.3. Θερμική κατεργασία ποζολανών

Όταν θερμαίνονται, πολλές ποζολάνες υφίστανται χημική και δομική μετατροπή η οποία μπορεί να μεταβάλλει, είτε θετικά είτε αρνητικά, την δραστικότητά τους ως προς την άσβεστο. Η θετική επιρροή της θερμικής κατεργασίας αφορά στην απώλεια του νερού των υαλωδών ή ζεολιθικών φάσεων και την καταστροφή της κρυσταλλικής δομής των αργιλικών ορυκτών. Η αρνητική επιρροή συνίσταται στην μείωση της ειδικής επιφάνειας, στην αποαλλοποίηση και στην κρυστάλλωση. Το αποτέλεσμα της θερμικής κατεργασίας, δηλαδή η αύξηση ή η μείωση της ποζολανικής δραστικότητας, εξαρτάται από την φύση της ποζολάνης, την θερμοκρασία και τη διάρκεια της κατεργασίας [70].

Τα αντίθετα από τα παραπάνω αποτελέσματα, προκληθέντα επίσης λόγω θερμικής κατεργασίας, επιβεβαιώνουν την ανακόλουθη συμπεριφορά που πολλές φορές παρουσιάζεται στο ίδιο υλικό. Γενικότερα πρέπει να σημειωθεί ότι για κάθε ποζολάνη υπάρχει ένα βέλτιστο θερμοκρασιακό εύρος κατεργασίας, το οποίο κάθε φορά πρέπει να ανιχνεύεται μέσω εργαστηριακών δοκιμών. Συγκεκριμένα, έχει βρεθεί ότι για πολλές φυσικές ποζολάνες η βέλτιστη θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 700-800°C. Μεγαλύτερες θερμοκρασίες θα ενίσχυαν τον σχηματισμό περισσότερο σταθερών φάσεων [70].

Μεταβολές στη μικροδομή προκαλούμενες λόγω έψησης έχουν παρατηρηθεί σε πλήθος φυσικών ποζολανών. Επί παραδείγματι, το ποσό του υδροξειδίου του ασβεστίου

συντιθέμενου από ποζολάνες αποτελούμενες κατά κύριο λόγο από ζεολιθικά ορυκτά, μειώνεται σταδιακά με την αύξηση της θερμοκρασίας [67]. Μέχρι τους 700°C, η έψηση δεν τροποποιεί την ποζολανική συμπεριφορά της φυσικής μικροπυριτίας. Αντιθέτως, η έψηση βελτιώνει τη δραστικότητα των διατόμων που περιέχουν σε μεγάλο ποσοστό αργιλικά ορυκτά [67]. Σε αυτή την περίπτωση η ποζολανική δραστικότητα των εψημένων αργίλων σχετίζεται με τη δραστικότητα των διατόμων. Η δραστικότητα των εψημένων αργίλων και του καολίνη εξαρτάται από τη θερμοκρασία έψησης, καθώς και από τον τύπο του υλικού.

1.5.3. Αδρανή Υλικά

Τα αδρανή υλικά αποτελούν αντικείμενο εκτενούς έρευνας της συγκεκριμένης εργασίας. Πρόκειται για εκείνα τα υλικά τα οποία δημιουργούν το πλέγμα και τον σκελετό ενός κονιάματος καθορίζοντας σε μεγάλο βαθμό το περιεχόμενο της συνδετικής ύλης και του νερού που θα χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή εργάσιμων μιγμάτων κονιαμάτων.

Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικά θεωρητικά δεδομένα που αφορούν στην προέλευση, την κατάταξη και τις ιδιότητες των αδρανών υλικών, καθώς και εργαστηριακές δοκιμές που εφαρμόζονται και ποιοτικές απαιτήσεις που ισχύουν περί της καταλληλότητας των αδρανών υλικών που χρησιμοποιούνται σε κονιάματα αποκατάστασης.

II. ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

II.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΑΣΕΙ ΤΗΣ ΔΙΕΘΝΟΥΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η επίδραση της κοκκομετρίας των αδρανών υλικών και της κατανομής του μεγέθους των κόκκων τους έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας στα πλαίσια της διερεύνησης του σχεδιασμού κονιαμάτων αποκατάστασης.

Τα αδρανή, όπως άμμοι, χαλίκια, θραυστοί λίθοι, είναι κοκκώδη υλικά τα οποία συνήθως αποτελούν το 60-75% περίπου του όγκου ενός μίγματος κονιάματος αποκατάστασης. Πέραν του ότι τα αδρανή απομειώνουν τις μεταβολές όγκου λόγω συρρίκνωσης της κονιάς (συνδετικής ύλης) κατά την σκλήρυνση του κονιάματος, γενικότερα χαρακτηρίζονται ως φθηνά υλικά που μειώνουν το κόστος παρασκευής συγκριτικά με το κόστος της κονιάς στο μίγμα.

Λόγω του σημαντικού ποσοστού συμμετοχής τους είναι προφανές ότι οι ιδιότητες των αδρανών υλικών επηρεάζουν σημαντικά την εργασιμότητα των μιγμάτων αλλά και την ανθεκτικότητα (*durability*), τις μηχανικές αντοχές (*strength*), την πυκνότητα (*density*) και τη μικροδομή (*porosity*) των κονιαμάτων. Ουσιαστικά είναι εκείνα τα υλικά που διαμορφώνουν το πλέγμα (μήτρα) ενός κονιάματος.

Αδρανή που εμφανίζουν ομαλή κοκκομετρική καμπύλη και καμία υπεροχή ή έλλειψη υλικού σε μεμονωμένες κλάσεις κόκκων γενικά αποδίδουν μίγματα με μικρότερα κενά μεταξύ των κόκκων του αδρανούς. Η διατήρηση του όγκου των κενών στα χαμηλότερα δυνατά επίπεδα είναι επιθυμητή, δεδομένου ότι μειώνεται ταυτόχρονα και η απαίτηση σε ποσοστό κονιάς (περίσσεια κονιάς οδηγεί σε φαινόμενα συρρίκνωσης κατά την σκλήρυνση του κονιάματος). Ωστόσο, πρέπει να διατηρηθεί ένα βέλτιστο σημείο στον όγκο των κενών των αδρανών ώστε να ικανοποιείται και η απαίτηση της πορώδους δομής των κονιαμάτων που τελικά παρασκευάζονται. Πρώτος ο Fuller ήταν αυτός που καθόρισε μέσω μαθηματικών μοντέλων τις βέλτιστες κοκκομετρικές καμπύλες με τα ελάχιστα δυνατά κενά [43].

Τα κενά μεταξύ των κόκκων του αδρανούς, που μπορεί παραμετρικά να εκφράζονται από το ποσοστό του όγκου των κενών (% voids) και το μέγεθος των κόκκων τους, είναι από τις πιο κρίσιμες παραμέτρους που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη Μελέτη Σύνθεσης ενός κονιάματος, δεδομένου ότι καθορίζουν το ποσοστό της απαιτούμενης κονιάς στο μίγμα, αλλά και την απαίτηση σε νερό για την παρασκευή εργάσιμων κονιαμάτων γενικά ή κονιαμάτων συγκεκριμένης εργασιμότητας.

Ως προς τα ισχύοντα κανονιστικά πλαίσια, αν και έχουν διαμορφωθεί πρότυπα και κανονισμοί αυτά αφορούν κατά βάση την παρασκευή σκυροδεμάτων από τσιμέντο. Από το 2004 ενσωματώθηκε στην εθνική νομοθεσία (ΠΔ334/94, ΚΥΑ5328/122/2-3-2007) η οδηγία 89/106/ΕΟΚ και εφαρμόζεται το πρότυπο **ΕΛΟΤ EN 13139/2002: Αδρανή Κονιαμάτων**, το οποίο σε γενικές γραμμές καθορίζει τις γεωμετρικές απαιτήσεις, τις φυσικές απαιτήσεις, τις χημικές απαιτήσεις, τα πιστοποιητικά συμμόρφωσης και τις λεπτομέρειες σχετικά με την παράδοση των αδρανών υλικών και τις υποχρεώσεις των παραγωγών. Στο πρότυπο αυτό καθορίζεται η ονοματολογία των αδρανών υλικών μέσω του μεγέθους των κόκκων τους (αποδίδεται με τον λόγο d/D , όπου d η μικρότερη διάσταση κόκκων σε mm και D η μέγιστη διάσταση των κόκκων σε mm). Υιοθετείται για την κοκκομετρική ανάλυση η σειρά κοσκίνων κατά EN: 0,063-0,25-0,5-1,0-2,0-4,0-8,0-16-31,5mm. Με τον όρο άμμοι

χαρακτηρίζονται τα αδρανή υλικά κοκκομετρίας 0/1, 0/2, 0/4, 0/8 και με τον όρο χαλίκια χαρακτηρίζονται τα πιο αδρά αδρανή κοκκομετρίας 2/4, 2/8, 4/8, 8/16, 16/31,5. Επιπλέον, ορίζονται γενικά όρια αποδοχής των κοκκομετρικών καμπυλών (άνω και κάτω όρια επί του ημιλογαριθμικού διαγράμματος) τόσο για τις άμμους όσο και για τα χαλίκια και καθορίζεται ως απαιτούμενη χαρακτηριστική παράμετρος του υλικού (που πρέπει να καταγράφεται στο αντίστοιχο τεχνικό δελτίο) το μέσον της κατανομής, δηλαδή το μέγεθος του κοσκίνου (mm) από το οποίο διέρχεται το 50% του υλικού. Η παιπάλη προσδιορίζεται ως το υλικό το διερχόμενο από το κόσκινο των 63μm και δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5%.

Επιπροσθέτως, καθορίζονται μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις σε χλωριόντα, θειικά, θειούχα και οργανικές ουσίες.

Τέλος, καθορίζονται χρονοδιαγράμματα ελέγχων κατά την παραγωγική διαδικασία στις εγκαταστάσεις του παραγωγού.

Το ισχύον αυτό πρότυπο αφορά σε αδρανή υλικά κονιαμάτων γενικότερης εφαρμογής, τα οποία χρησιμοποιούνται στις κατασκευές. Εισάγει την απαίτηση για σήμανση "CE" σε όλα τα διακινούμενα προϊόντα, και στόχο έχει την διασφάλιση της σταθερής ποιότητας και της αναπαραγωγισιμότητας των αδρανών υλικών του εμπορίου.

Εξακολουθεί, ωστόσο, να υπάρχει ένα «κενό» ως προς τις ειδικότερες απαιτήσεις αδρανών υλικών που χρησιμοποιούνται σε κονιάματα αποκατάστασης και τα οποία εφαρμόζονται σε αναστηλωτικά έργα ιστορικών κατασκευών, με κύριο γνώμονα την συμβατότητά τους με τα αυθεντικά δομικά υλικά. Στα μίγματα κονιαμάτων αποκατάστασης χρησιμοποιούνται αδρανή υλικά (π.χ. άμμοι 0/2 ή 0/4mm) ή και αδρόκοκκα αδρανή τα οποία εξετάζονται κάθε φορά κατά περίπτωση, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των αυθεντικών κονιαμάτων. Στα αδρανή αυτά υλικά οι απαιτήσεις θα πρέπει να τίθενται βάσει ειδικότερων κριτηρίων, κυρίως ως προς τις παραμέτρους που χαρακτηρίζουν την κοκκομετρική τους κατανομή.

Για το λόγο αυτό και οι περισσότερες βιβλιογραφικές αναφορές επικεντρώνονται σε ερευνητικές εργασίες επί συγκεκριμένων μιγμάτων κονιαμάτων ή ακόμα και μελετών περιπτώσεων (case studies), χωρίς να υπάρχουν γενικότερες αναφορές για μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία προσέγγισης της Μελέτης Σύνθεσης (Mix Design) κονιαμάτων αποκατάστασης ιστορικών κατασκευών.

Η Διατριβή αυτή επιχειρεί να διαμορφώσει ένα πλαίσιο και μια μεθοδολογία διερεύνησης των αδρανών υλικών μέσω κρίσιμων παραμέτρων και δεικτών που θα επιτρέψουν την πρόβλεψη/εκτίμηση των χαρακτηριστικών αντοχής και μικροδομής (πορώδους) των κονιαμάτων αποκατάστασης.

Η υπάρχουσα βιβλιογραφία πάνω στην μελέτη της επίδρασης και του ρόλου των αδρανών υλικών στα κονιάματα αποκατάστασης είναι κατά βάση αποσπασματική και αφορά κατά κύριο λόγο μελέτες περιπτώσεων (case studies). Οι περισσότερες εργασίες επικεντρώνονται στην ανάλυση των αδρανών υλικών ως προς τα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά και την επίδραση που έχει π.χ. μια άμμος πυριτικής ή μια άμμος ασβεστολιθικής φύσεως στις τελικές μηχανικές αντοχές και την μικροδομή (πορώδες) ενός κονιάματος αποκατάστασης. Ωστόσο, απουσιάζει μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία ελέγχου των αδρανών υλικών που πέραν της κλασικής κοκκομετρικής καμπύλης να καθορίζει δείκτες και παραμέτρους χαρακτηριστικές των αδρανών υλικών. Ελάχιστες είναι οι αναφορές σχετικά με την παραμετροποίηση της κοκκομετρίας των αδρανών υλικών με στόχο την συγκριτική αξιολόγησή τους και ως επί τω πλείστον αφορούν σε αδρανή που εφαρμόζονται σε εδάφη και έργα οδοποιίας.

Η επιστημονική κοινότητα έχει αναγνωρίσει τα τελευταία χρόνια την ανάγκη διερεύνησης και προσομοίωσης των αυθεντικών δομικών υλικών των ιστορικών κατασκευών, παρόλο που το τσιμέντο εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως έως σήμερα ως κύριο συστατικό των κονιαμάτων αποκατάστασης.

Η προσομοίωση αρχικά περιοριζόταν στον προσδιορισμό του λόγου κονιάς/αδρανών σε δείγματα αυθεντικών κονιαμάτων και στην κοκκομετρική ανάλυση των περιεχομένων αδρανών υλικών. Ωστόσο, κονιάματα με ίδιους λόγους κονιάς/αδρανών και παρόμοιες κοκκομετρικές καμπύλες αδρανών εμφανίζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά τόσο μικροδομής όσο και μηχανικών αντοχών, γεγονός που αποδίδεται στα διαφορετικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των πρώτων υλών και στις διαφορετικές τεχνολογίες παρασκευής.

Γενικότερος και αντικειμενικός στόχος στην υπάρχουσα βιβλιογραφία είναι η επίτευξη συμβατότητας μεταξύ των κονιαμάτων αποκατάστασης και των αυθεντικών κονιαμάτων και γενικότερα δομικών υλικών που απαντώνται σε μια ιστορική κατασκευή.

Ο σχεδιασμός κονιαμάτων αποκατάστασης με κριτήριο την συμβατότητά τους με τα αυθεντικά δομικά υλικά ιστορικών κατασκευών απασχόλησε διάφορους ερευνητές. Η υπάρχουσα βιβλιογραφία εμφανίζει, ωστόσο, μεγάλη ανομοιογένεια και χαρακτηρίζεται από αποσπασματική αντιμετώπιση των ζητημάτων της αποκατάστασης ιστορικών κατασκευών, χωρίς να έχει επιτευχθεί μέχρι στιγμής μια κοινώς αποδεκτή και ολοκληρωμένη μεθοδολογία προσέγγισης της μελέτης σύνθεσης επισκευαστικών κονιαμάτων και ορισμού κριτηρίων ευρείας αποδοχής.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρατίθενται και σχολιάζονται σχετικές μελέτες και ερευνητικές εργασίες που έχουν γίνει στο πεδίο των κονιαμάτων αποκατάστασης μέχρι σήμερα.

- Οι **Schafer & Hilsdorf** [127], στηριζόμενοι στα αποτελέσματα της ανάλυσης ιστορικών κονιαμάτων, κατόπιν διαχωρισμού και κοκκοδιαβάθμισής τους, ασχολήθηκαν με τον σχεδιασμό και την αποτίμηση κονιαμάτων αποκατάστασης με διάφορες αναλογίες κονιάς/αδρανών. Παρασκευάστηκαν διαφορετικού τύπου κονιάματα, κατά βάση ως προς την φύση της κονιάς (υδράσβεστος, υδραυλική άσβεστος) και χρησιμοποιήθηκε άμμος κοκκομετρίας 0/2mm, με ένα ποσοστό της τάξης του 10% να ξεπερνά την διάσταση των 2mm. Οι αναλογίες κονιάς/αδρανών διαφοροποιούνταν, ενώ η αναλογία νερού/κονία ρυθμίστηκε ώστε τα κονιάματα να παρουσιάζουν παρόμοια εργασιμότητα/συνεκτικότητα. Παρατηρήθηκε αύξηση της απαίτησης σε νερό στα κονιάματα με την αύξηση της ειδικής επιφάνειας της χρησιμοποιούμενης κονιάς. Επιπλέον, με αύξηση του ποσοστού συμμετοχής της κονιάς στο μίγμα παρατηρήθηκε μείωση του ανοιχτού πορώδους, όπως αυτό προσδιορίστηκε με πορομετρία υδραργύρου, γεγονός που αποδόθηκε στην μείωση του απαιτούμενου νερού λόγω αύξησης της προστιθέμενης κονιάς στο μίγμα. Από την εργασία προκύπτει συσχέτιση της προσλαμβανόμενης θλιπτικής αντοχής των κονιαμάτων αποκατάστασης με το % κ.ο. πορώδες της συνδετικής ύλης (κονιάς) των κονιαμάτων, υπό το πρίσμα του ότι η κονία αποτελεί το ασθενέστερο υλικό στο κονίαμα και άρα συνεισφέρει σε σημαντικότερο βαθμό στην θλιπτική αντοχή του κονιαματος. Γενικότερα, στην εργασία αποτυπώνεται η επίδραση της δομής των κονιαμάτων αποκατάστασης _ η οποία καθορίζεται τόσο από την κοκκομετρία των αδρανών όσο και από το ολικό πορώδες και την κατανομή μεγέθους πόρων _ στις μηχανικές αντοχές τους (θλιπτική αντοχή) και στην πορώδη δομή τους, η οποία καθορίζεται μέσω παραμέτρων όπως η ειδική επιφάνεια της κονιάς, το απαιτούμενο νερό και ο λόγος νερού/κονία για την επίτευξη συγκεκριμένης εργασιμότητας μίγματος.
- Σε ανάλογη εργασία, οι **J.Lanas και J.I.Alvarez** [128] εξετάζουν τους παράγοντες που επιδρούν στα μηχανικά χαρακτηριστικά των κονιαμάτων. Στην συγκεκριμένη εργασία εξετάστηκαν σε ασβεστιτικά κονιάματα διαφορετικής φύσεως άμμοι

(χαλαζιακής φύσης και θραυστές άμμοι) ενώ ταυτόχρονα μεταβαλλόταν και ο λόγος κονιάς/αδρανών. Η αποτίμηση των κονιαμάτων έγινε με γνώμονα τις προσλαμβανόμενες μηχανικές αντοχές, τα χημικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά και τα χαρακτηριστικά μικροδομής (πορώδες) των κονιαμάτων. Επιπλέον, μελετήθηκε η επίδραση των χαρακτηριστικών των αδρανών στις μηχανικές ιδιότητες των κονιαμάτων, από όπου, όπως είναι αναμενόμενο, προέκυψε ότι η κοκκοδιαβάθμιση των αδρανών υλικών επηρεάζει σαφώς τις τελικές μηχανικές αντοχές. Ομοίως, η φύση και το μέγεθος των κόκκων των αδρανών επηρεάζει τις μηχανικές αντοχές. Εν προκειμένω, βέλτιστη συμπεριφορά ως προς τις προσλαμβανόμενες αντοχές εμφανίζουν τα κονιάματα με ασβεστολιθικά αδρανή, λόγω χημικής συνάφειας της ασβεστιτικής κονιάς με τα αδρανή αυτά. Καλύτερη μηχανική συμπεριφορά σημειώνεται για τα αδρανή με γωνιώδεις κόκκους, προφανώς λόγω επίτευξης καλύτερης πρόσφυσης μεταξύ αδρανών και κονιάς στη διεπιφάνεια.

- Σε εργασία των **Maurenbrecher et al** [129] σημειώνεται ότι τα κονιάματα αποκατάστασης θα πρέπει να εξετάζονται κατά περίπτωση λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των αυθεντικών κονιαμάτων μιας τοιχοποιίας, καθώς και τις ευρύτερες συνθήκες του μικροκλίματος και των περιβαλλοντικών παραγόντων που επιδρούν σε μια κατασκευή. Παραθέτουν γενικότερες παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον σχεδιασμό κονιαμάτων αποκατάστασης και ειδικότερα ως προς τα αδρανή υλικά σημειώνουν ότι για την επίτευξη της ελάχιστης συρρίκνωσης κατά την εφαρμογή σε αρμό ενός κονιάματος αποκατάστασης θα πρέπει να χρησιμοποιείται καλά κοκκοδιαβαθμισμένη πλυμμένη άμμος, η οποία να χαρακτηρίζεται από απουσία αργιλικών προσμίξεων ενώ ταυτόχρονα να χρησιμοποιείται μικρή ποσότητα νερού για την επίτευξη του εργάσιμου του κονιάματος. Σημειώνουν ότι επίδραση στην συρρίκνωση ενός κονιάματος έχει και το σχήμα και η μορφή των κόκκων της άμμου που χρησιμοποιείται.
- Οι **E.A.Charola et al** [130] σημειώνουν την αναγκαιότητα σύνταξης προτύπων για την παρασκευή κονιαμάτων (υδρασβέστου) που χρησιμοποιούνται σε έργα αποκατάστασης. Γίνεται λεπτομερής αναφορά στις συνθήκες παρασκευής των μιγμάτων κονιαμάτων (είδος, τύπος, πλήθος καλουπιών χύτευσης, συνθήκες συντήρησης), απαιτούμενο νερό και χρόνος ανάμιξης των πρώτων υλών, συνθήκες συντήρησης, καθώς και απαιτούμενες δοκιμές για την αποτίμηση των μηχανικών αντοχών των κονιαμάτων. Πιο συγκεκριμένα, έμφαση δίνεται στα παρακάτω σημεία τα οποία εμφανίζονται στα ισχύοντα πρότυπα και κατά τους μελετητές θα πρέπει να επαναπροσδιοριστούν:
 - ❖ Μήτρες _ οι μήτρες (καλουπία) όπου γίνεται η χύτευση νωπών μιγμάτων κονιαμάτων, στην περίπτωση των ασβεστιτικών κονιαμάτων θα πρέπει να διασφαλίζουν την καλή επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα, προκειμένου να ευνοείται η ενανθράκωση. Το πρόβλημα με τα κλασικά πρισματικά δοκίμια 4x4x16cm είναι ότι δεν αναταποκρίνονται στις συνηθισμένες διαστάσεις των αρμών επί τόπου
 - ❖ Νερό ανάμιξης _ το νερό που χρησιμοποιείται κατά την ανάμιξη στόχο έχει την επίτευξη καλής εργασιμότητας του μίγματος και δεν συμμετέχει σε χημικές αντιδράσεις στην μάζα των κονιαμάτων. Σε πραγματικές συνθήκες στην κλίμακα της τοιχοποιίας ένα μέρος του νερού θα απορροφηθεί από τα δομικά στοιχεία της κατασκευής και το υπόλοιπο ελεύθερο νερό θα εξατμιστεί. Ωστόσο, όταν χρησιμοποιούνται μεταλλικές μήτρες για την χύτευση στο εργαστήριο (κατά τα πρότυπα), το νερό μπορεί μόνο να εξατμιστεί με αποτέλεσμα την συρρίκνωση της μάζας του κονιάματος, γεγονός που δεν ανταποκρίνεται στην πραγματική συμπεριφορά του ίδιου κονιάματος σε πραγματικές συνθήκες

- ❖ Συνθήκες συντήρησης _ τα κονιάματα με βάση το τσιμέντο συντηρούνται είτε σε υγρό θάλαμο είτε εμβαπτισμένα σε δοχεία με νερό. Η παρουσία όμως υγρασίας στην περίπτωση κονιαμάτων υδρασβέστου ευνοεί την ενανθράκωση και την κρυστάλλωση του ασβεστίτη, ενώ ταυτόχρονα δυσχεραίνεται η διέλευση του CO₂ της ατμόσφαιρας που απαιτείται για την σκλήρυνση αυτού του τύπου κονιαμάτων
- Από την **Moropoulou et al** [126] προτείνεται η μεθοδολογία της αντίστροφης μηχανικής προσέγγισης ως μεθοδολογία σχεδιασμού κονιαμάτων αποκατάστασης, που στηρίζεται στην προσομοίωση των αυθεντικών κονιαμάτων κάθε ιστορικής κατασκευής. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία αυτή, σε πρώτη φάση, χαρακτηρίζονται τα αυθεντικά κονιάματα τόσο ως προς τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή τους όσο και ως προς την τεχνολογία παρασκευής. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, σε δεύτερη φάση, σχεδιάζονται κονιάματα αποκατάστασης που να προσομοιάζουν τα αυθεντικά, τα οποία ακολούθως (τρίτη φάση) αποτιμώνται κατά την πήξη και σκλήρυνσή τους ως προς τις αντοχές τους, την μικροδομή τους και την εξέλιξη της ανάπτυξης των χημικών φάσεων. Τελευταίο στάδιο της μεθοδολογίας είναι η αριστοποίηση των εξεταζόμενων συνθέσεων κονιαμάτων αποκατάστασης, όπου κρίνεται αν απαιτείται βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών τους για να πληρούν το κριτήριο της συμβατότητας με τα αυθεντικά υλικά. Στο τελικό αυτό στάδιο προτείνεται και η επί τόπου πιλοτική εφαρμογή των κονιαμάτων για την αποτίμηση της συμπεριφοράς τους σε πραγματικές συνθήκες στην κλίμακα της τοιχοποιίας.
- Σε ένα πιο εξειδικευμένο πλαίσιο, το 1999 ο **P.Paige-Green** [98] εξετάζει την επίδραση της κοκκομετρίας των αδρανών υλικών, που χρησιμοποιούνται σε ασφαλτομίγματα στην οδοποιία, στην επίτευξη ικανοποιητικής συμπύκνωσης εδαφών, αναλύοντας έναν αριθμό κρίσιμων παραμέτρων που χαρακτηρίζουν μια κοκκομετρική καμπύλη και αποτυπώνοντας τους συσχετισμούς που προκύπτουν μεταξύ των παραμέτρων αυτών. Εισάγει μια νέα παράμετρο, τον συντελεστή κοκκομετρίας [Grading Coefficient_ *GC*] ως ικανοποιητικό δείκτη αξιολόγησης της κοκκομετρικής κατανομής ενός αδρανούς υλικού. Ο δείκτης αυτός (*GC*) χρησιμοποιείται συνδυαστικά με άλλες παραμέτρους για την εκτίμηση της κοκκομετρίας αδρανών που θα επιτρέψουν ικανοποιητική συμπύκνωση σε ασφαλτομίγματα. Εν προκειμένω, ο δείκτης *GC* αναπτύχθηκε για να προβλέψει την συμπεριφορά αδρόκοκκων αδρανών. Αποδείχθηκε ότι είναι εκείνη η κοκκομετρική παράμετρος που συσχετίζεται καλύτερα με την συμπεριφορά οδοστρωμάτων χαμηλού όγκου. Στην εργασία αυτή, πέραν του *GC*, εξετάζονται και άλλοι δείκτες όπως οι *grading modulus*, *median size*, *effective size d10*, *d60*, *uniformity coefficient*, *dust ratio* και διαμορφώνεται ένα πλέγμα συσχετισμών (*correlation matrix*) μέσω ανάλυσης γραμμικής συσχέτισης (*linear regression analysis*), όπου σημειώνονται οι τιμές καλής προσαρμογής και ικανοποιητικής συσχέτισης μεταξύ των προς διερεύνηση δεικτών. Αποδεικνύεται ότι υπάρχει ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων *Median* και *d60*, καθώς και του συντελεστή *GC* με τον *grading modulus*.
- Σε εργασία των **Schutter, Poppe** [131], εξετάζεται η επίδραση του τύπου της άμμου στην απαίτηση σε νερό ενός κονιαματος. Ως γενική παραδοχή σημειώνεται ότι η κοκκομετρική καμπύλη ενός αδρανούς θεωρείται ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες, που αποτελεί τη βάση του σχεδιασμού κονιαμάτων αποκατάστασης. Η γενικότερη αρχή είναι η χρήση μιας ιδανικής ή επιθυμητής κοκκομετρικής καμπύλης. Αδρανή που εμφανίζουν πυκνή δομή/κατανομή οδηγούν σε χαμηλό περιεχόμενο κενών όγκων μεταξύ των κόκκων και άρα χαμηλότερο περιεχόμενο κονιάς στο μίγμα. Εν προκειμένω, εξετάζεται πειραματικά η επίδραση της άμμου στις ρεολογικές και μηχανικές ιδιότητες του κονιαματος. Αναλυτικά εξετάζεται η σημαντικότητα παραγόντων όπως η κοκκομετρική καμπύλη, ο συντελεστής λεπτότητας, η ειδική επιφάνεια και η φαινόμενη πυκνότητα, ενώ γίνεται

προσπάθεια ποσοτικοποίησης της επίδρασης των χαρακτηριστικών της άμμου στην απαίτηση σε νερό στο κονίαμα, με χρήση απλών παραμέτρων. Συνοπτικά εξάγονται τα ακόλουθα:

- ❖ Η επιλογή του τύπου της άμμου επηρεάζει σημαντικά τον σχεδιασμό του κονιάματος αποκατάστασης
 - ❖ Τα διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά της άμμου/αδρανών επηρεάζουν την απαίτηση σε νερό για την παρασκευή εργάσιμου μίγματος
 - ❖ Πολύ καλός συσχετισμός προκύπτει μεταξύ της απαίτησης σε νερό του κονιάματος και της ξηρής φαινόμενης πυκνότητας της άμμου που χρησιμοποιείται. Η φαινόμενη πυκνότητα επηρεάζεται ξεκάθαρα από το σχήμα των κόκκων του αδρανούς.
 - ❖ Η φαινόμενη πυκνότητα των αδρανών ως παράμετρος εμπεριέχει τον ρόλο που παίζουν τόσο η κοκκομετρική καμπύλη των αδρανών όσο και το σχήμα και οι γεωμετρικές ιδιότητές τους. Εκφράζει σε μεγάλο βαθμό την συνεκτικότητα και την δομή των κόκκων και είναι παράμετρος αντιπροσωπευτική του ρόλου που παίζουν τα αδρανή στις ρεολογικές ιδιότητες και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του τελικού κονιάματος.
- Οι **Pavía και Toomey** [132] σε πρόσφατη έρευνά τους εξετάζουν την επίδραση του μεγέθους, του μέσου μεγέθους κόκκων και του ασβεστιτικού περιεχομένου αδρανών υλικών στις τελικές αντοχές, το πορώδες, την απορροφητικότητα και την πυκνότητα κονιαμάτων ελαφρώς υδραυλικού χαρακτήρα (υδραυλικής ασβέστου NHL2). Εξετάζονται πειραματικά τέσσερα διαφορετικά μίγματα κονιαμάτων με τέσσερις διαφορετικούς τύπους άμμων, από όπου προκύπτει μεταξύ άλλων, ότι αδρανή με γωνιώδεις κόκκους καθώς και αδρανή με χαμηλή τιμή μέσου μεγέθους κόκκων τείνουν να αυξήσουν την μηχανική αντοχή και την φαινόμενη πυκνότητα των παρασκευαζόμενων κονιαμάτων, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται το πορώδες και το ποσοστό απορρόφησης νερού μέσω τριχοειδούς αναρρόφισης των κονιαμάτων. Στα γενικά συμπεράσματα της έρευνας έμφαση δίνεται στην σημαντική επίδραση της ποιότητας των αδρανών στις τελικές μηχανικές αντοχές του κονιάματος. Επιπλέον, ένα αδρανή με ευρύ φάσμα κατανομής μεγέθους κόκκων οδηγεί σε αύξηση των μηχανικών αντοχών και της φαινόμενης πυκνότητας των κονιαμάτων, με ταυτόχρονη μείωση του πορώδους και της απορροφητικότητας. Γενικότερα, γωνιώδη αδρανή, καλώς κοκκοδιαβαθμισμένα παράγουν υψηλότερης ποιότητας και πιο ανθεκτικά κονιάματα.
 - Οι **Donza et al** [133] πραγματεύονται σε εργασία τους την επίδραση της διαφορετικής γωνιότητας των κόκκων αδρανών υλικών (θραυστά αδρανή με γωνιώδεις κόκκους ή φυσικές άμμοι με αποστρωγγλυμένους κόκκους), τόσο στην πρόσληψη των μηχανικών αντοχών όσο και στην απαίτηση σε νερό παρασκευαζόμενων μιγμάτων σκυροδεμάτων για την επίτευξη ικανοποιητικής εργασιμότητας, αλλά και στον λόγο νερού/τσιμέντο για την παρασκευή εργάσιμων μιγμάτων.
Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις (4) διαφορετικές άμμοι, διαφορετικής ορυκτολογικής προέλευσης, αλλά με παρόμοιο συντελεστή λεπτότητας (Fineness Modulus). Ως άμμος αναφοράς χρησιμοποιήθηκε πυριτική άμμος με στρωγγλυμένους κόκκους. Παρασκευάστηκαν οχτώ μίγματα σκυροδέματος τα οποία ταυτοποιήθηκαν μέσω της ορυκτολογικής σύστασης των αδρανών και του περιεχομένου του τσιμέντου.
Σημειώνεται ότι, αδρανή με γωνιώδεις κόκκους επηρεάζουν αρνητικά την εργασιμότητα του σκυροδέματος, βελτιώνουν όμως την θλιπτική αντοχή του. Η χρήση θραυστής άμμου γενικά είναι περιορισμένη λόγω του υψηλού ποσοστού πάστας (τσιμέντου) που απαιτείται για την επίτευξη ικανοποιητικής εργασιμότητας. Το ακριβές ποσοστό της προστιθέμενης κονιάς εξαρτάται από το σχήμα, την υφή, την κοκκομετρία και το περιεχόμενο παιπάλης της θραυστής άμμου. Οι μηχανικές ιδιότητες και η ανθεκτικότητα ενός σκυροδέματος με θραυστό αδρανή εξαρτώνται από την σύσταση της κονιάς, τον όγκο της κονιάς στο μίγμα, από τα φυσικά

χαρακτηριστικά των κόκκων της άμμου και από τη φύση της διεπιφάνειας που αναπτύσσεται μεταξύ κονιάς-αδρανών.

- Οι **Ta-Peng Chang et al** [134] εξετάζουν σε εργασία τους την επίδραση των διαφορετικών συντελεστών λεπτότητας (Fineness Modulus) λεπτόκοκκων αδρανών στις ιδιότητες σκυροδεμάτων υψηλών αντοχών. Χρησιμοποιούν δύο τύπους χονδρόκοκκων και τρεις τύπους λεπτόκοκκων αδρανών με διαφορετικούς συντελεστές λεπτότητας. Για τις συγκεκριμένες κοκκομετρικές κατανομές και τις συγκεκριμένες διαστάσεις μέγιστων κόκκων των αδρανών διαπίστωσαν ότι τα χονδρόκοκκα με συμμετοχή και μεσαίου-λεπτού κλάσματος αδρανή εμφανίζουν μια πιο πυκνή δομή που ως αποτέλεσμα έχει την ενίσχυση των μηχανικών αντοχών του τελικού σκυροδέματος κατά 10% καθώς και υψηλότερη τιμή του μέτρου ελαστικότητας.
- Σε άλλη εργασία οι **Winnefeld και Bottger** [135] εξετάζουν την επίδραση των λεπτόκοκκων υλικών στις αντοχές ασβεστιτικών κονιαμάτων. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερο το ποσοστό των λεπτόκοκκων υλικών σε ένα μίγμα τόσο αυξάνεται η απαίτηση σε νερό και συνεπακόλουθα μειώνεται η προσλαμβανόμενη μηχανική αντοχή του τελικού προϊόντος. Στα συμπεράσματα της εργασίας σημειώνεται ότι αυξανόμενου του λόγου νερό/κονία (w/b) – είτε λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των αδρανών σε λεπτόκοκκα είτε λόγω της φύσης της χρησιμοποιούμενης κονιάς – το κονίαμα εμπεριέχει ένα αυξημένο ποσοστό ελεύθερου νερού (από την ανάμιξη) το οποίο δεν συμμετέχει στην πρόοδο των αντιδράσεων ενυδάτωσης. Όταν το νερό αυτό της ανάμιξης εξατμιστεί, απομένουν στη δομή του κονιάματος τριχοειδείς πόροι που παίζουν σημαντικό ρόλο σε φαινόμενα μεταφοράς νερού. Γενικά, υψηλό περιεχόμενο τριχοειδών πόρων επηρεάζει αρνητικά την ανθεκτικότητα των κονιαμάτων π.χ. ανθεκτικότητα σε παγετό.
Στην πράξη, αύξηση του απαιτούμενου κατά την ανάμιξη νερού λόγω παρουσίας λεπτόκοκκων ή αργιλικών υλικών μπορεί να βελτιώνει την εργασιμότητα του νωπού μίγματος, ωστόσο επιδρά αρνητικά στις μηχανικές αντοχές και την ανθεκτικότητα του κονιάματος.
Και μπορεί στα πλαίσια της συμβατότητας με τα αυθεντικά κονιάματα ιστορικών τοιχοποιιών να είναι επιθυμητή μια διατήρηση των μηχανικών αντοχών σε σχετικά χαμηλά επίπεδα, ωστόσο –σε γενικές γραμμές– χαμηλές αντοχές υποδηλώνουν και χαμηλή ανθεκτικότητα των κονιαμάτων αποκατάστασης.
- Σε εργασία τους (2001) οι **R.M.Bittencourt et al** [136], εξετάζουν τις βέλτιστες τιμές συντελεστή λεπτότητας (Fineness Modulus) σε συνδυασμό με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά χονδρόκοκκων αδρανών σκυροδέματος (ως και 76mm), για τον καθορισμό των ποσοστών συμμετοχής κονιάς-αδρανών στη μάζα του σκυροδέματος. Η μεθοδολογία που παρουσιάζεται διερευνά διάφορα μίγματα σκυροδεμάτων που έχουν σχεδιαστεί με βάση έναν “βέλτιστο” συντελεστή λεπτότητας και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αδρανών που μετέχουν. Οι βέλτιστες τιμές των συντελεστών λεπτότητας προσδιορίζονται πειραματικά για κάθε μέγιστο μέγεθος αδρανών που εξετάζεται, παρασκευάζοντας μίγματα σκυροδεμάτων με διαφορετικά αδρανή και προσδιορίζοντας ποια από τα μίγματα αυτά δίνουν τις υψηλότερες τιμές θλιπτικής αντοχής για συγκεκριμένο λόγο τσιμέντου-αδρανών.
Ωστόσο, η μεθοδολογία αυτή δεν μπορεί να βρει εφαρμογή σε λεπτόκοκκα αδρανή (άμμους) που χρησιμοποιούνται ευρέως σε κονιάματα αποκατάστασης κι επιπλέον μοιάζει να ξεφεύγει από τις συνήθεις τεχνικές και τα δεδομένα που παρατίθενται στην βιβλιογραφία για το συγκεκριμένο θέμα.
- Οι **Rivet & Ritchie** [137], μελέτησαν την επίδραση του συντελεστή λεπτότητας της άμμου στις ιδιότητες τσιμεντοκονιαμάτων. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ποσότητα του συγκρατούμενου νερού στο κονίαμα είναι ανεξάρτητη του συντελεστή λεπτότητας της χρησιμοποιούμενης άμμου, και επηρεάζεται μόνο από την αναλογία τσιμέντου/αδρανούς. Η θλιπτική αντοχή των κονιαμάτων εξαρτάται εμμέσως από

τον συντελεστή λεπτότητας της άμμου, ενώ η φαινόμενη πυκνότητα των κονιαμάτων επηρεάζεται από τον συντελεστή λεπτότητας της άμμου. Γενικότερα, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η επίδραση μεταξύ κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών και ιδιοτήτων τελικού κονιάματος αποδίδεται ως επί τω πλείστον μέσω του όγκου των κενών του αδρανούς κι όχι μέσω του συντελεστή λεπτότητάς τους.

- Οι **Ventakarama & Gupta** [138], σημειώνουν την επίδραση των χαρακτηριστικών της άμμου (συντελεστής λεπτότητας, ποσοστό όγκου κενών, ειδική επιφάνεια) και της αναλογίας νερού προς κονία στην αντοχή του κονιάματος. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε τσιμεντικά κονιάματα όπου χρησιμοποιήθηκαν 30 διαφορετικά δείγματα άμμων. Παρατηρήθηκε ότι η αναλογία νερού/κονίας (τσιμέντου) είναι ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει τη θλιπτική αντοχή του κονιάματος. Με αύξηση του όγκου των κενών της άμμου, η απαίτηση σε νερό αυξάνεται για ίδιας σύστασης κονιάματα. Ομοίως, με μείωση του συντελεστή λεπτότητας της άμμου, η απαίτηση σε νερό αυξάνεται για ίδιας σύστασης κονιάματα. Η ειδική επιφάνεια της άμμου δεν σχετίζεται με το απαιτούμενο νερό του μίγματος και δεν επηρεάζει την τελική αντοχή του κονιάματος.
- Μια πρώτη προσπάθεια εφαρμογής παραμέτρων για την ερμηνεία των κοκκομετρικών κατανομών αδρανών υλικών αυθεντικών κονιαμάτων έγινε το 2002 στη διδακτορική διατριβή του **κ.Α.Μπακόλα-Καραγιάννη** [95], “*Κριτήρια και Μέθοδοι Χαρακτηρισμού Ιστορικών Κονιαμάτων*”, ΕΜΠ, Αθήνα, 2002. Στην εργασία αυτή αναλύονται και επεξεργάζονται στατιστικά κοκκομετρικές κατανομές αδρανών υλικών υπαρχόντων ιστορικών κονιαμάτων από διάφορες περιοχές και μνημεία της Μεσογείου. Εν προκειμένω, η στατιστική επεξεργασία εφαρμόζεται ουσιαστικά επί αδρανών ή μιγμάτων αδρανών που έχουν χρησιμοποιηθεί σε ιστορικά κονιάματα και στην περίπτωση αυτή οι χαρακτηριστικοί κρίσιμοι δείκτες που προκύπτουν χρησιμεύουν, εκτός των άλλων, και στον χαρακτηρισμό και τον προσδιορισμό της προέλευσης των αδρανών αυτών υλικών, τα οποία στις περιπτώσεις εξέτασης αυθεντικών κονιαμάτων είναι επί της ουσίας άγνωστα.

II.2. ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ Α'

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή εξετάζονται αδρανή υλικά, και συγκεκριμένα άμμοι και χαλίκια, που προορίζονται για την παρασκευή κονιαμάτων αποκατάστασης.

Η εξέταση των αδρανών υλικών επικεντρώνεται στην αναλυτική επεξεργασία των αντίστοιχων κοκκομετρικών αναλύσεων μέσω στατιστικής επεξεργασίας και γραφικού προσδιορισμού εκείνων των παραμέτρων που αποτελούν κρίσιμους δείκτες για τον χαρακτηρισμό και την συγκριτική αξιολόγηση αδρανών υλικών μεταξύ τους.

II.2.1. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ - ΟΡΙΣΜΟΙ

Ως αδρανή υλικά χαρακτηρίζονται όλα εκείνα τα κοκκώδη, ανόργανα υλικά που προέρχονται από φυσική κατάτμηση ή τεχνητή θραύση των φυσικών πετρωμάτων ή ακόμα και των βιομηχανικών υπολειμμάτων. Τα αδρανή υλικά αποτελούνται από κόκκους, είτε φυσικούς οπότε ονομάζονται «φυσικά ή συλλεκτά» αδρανή, είτε από κόκκους που προκύπτουν από τη θραύση πετρώματος ή τη θραύση φυσικών αδρανών οπότε ονομάζονται «θραυστά αδρανή». Έτσι, ανάλογα με την προέλευσή τους, διακρίνονται σε φυσικά, θραυστά και βιομηχανικά αδρανή. Είναι υλικά διαβαθμισμένα, ορυκτής ή βιομηχανικής προέλευσης.

Χρησιμοποιούνται είτε με κάποιο συνδετικό υλικό ή κάποιο συγκολλητικό μέσο για την παρασκευή κονιαμάτων, σκυροδεμάτων, ασφαλτομιγμάτων κλπ, είτε αυτούσια σε πάσης φύσεως τεχνικά έργα (έρμα σιδηροδρομικών γραμμών, στραγγιστηρίων, φίλτρων διηθήσεως ή καθαρισμού, βράχοι θωράκισης, κλπ). Τα αδρανή των κονιαμάτων με την προσθήκη ενός ή περισσότερων συνδετικών υλικών (κονιών), νερού και ενδεχομένως ειδικών προσθέτων σχηματίζουν κονίαμα.

Τα υλικά αυτά είναι κατά γενικό κανόνα ανόργανα και ονομάζονται αδρανή γιατί τα περισσότερα από αυτά δεν αντιδρούν με τις διάφορες συγκολλητικές ουσίες (κονίες). Τα αδρανή υλικά δεν αντιδρούν χημικά μεταξύ τους. Παρουσιάζουν μόνο φυσική συνοχή λόγω της γεωμετρικής ταξινόμησης των κόκκων τους και του βάρους τους.

Τέτοια υλικά είναι οι άμμοι, τα χαλίκια, οι θραυστοί λίθοι, η κίσηρης, οι βιομηχανικές σκωρίες κλπ. Όσον αφορά στην άμμο, σήμερα η έρευνα δεν έχει καταλήξει στην προέλευση της άμμου που μπορεί να βελτιώσει τα χαρακτηριστικά του κονιάματος. Γενικά, όταν πρόκειται για ασβεστολιθικό κονίαμα, προτιμάται η χρήση ασβεστολιθικής άμμου, λόγω χημικής συγγένειας. Εάν η συνδετική ύλη είναι υδραυλική, η οποία περιέχει ποσότητα SiO_2 , τότε επίσης λόγω χημικής συγγένειας η χαλαζιακή άμμος έχει καλή συμπεριφορά ενώ παράλληλα χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ανθεκτικότητα [44].

Στην αρχαιότητα γινόταν χρήση θραυσμάτων κεραμικού ή κίσηρης (ελαφρόπετρας) σαν αδρανή στην παρασκευή κονιαμάτων [44]. Τα παραπάνω πρόσθετα χρησιμοποιούνταν για την παρασκευή ελαφρών κονιαμάτων με μεγαλύτερη ελαστικότητα από το συμβατικό κονίαμα με άμμο. Ταυτόχρονα λόγω της παρουσίας αργιλοπυριτικών ενώσεων στη μάζα τους ήταν δυνατός ο σχηματισμός ενυδατωμένων αργιλοπυριτικών προϊόντων του ασβεστίου, τα οποία λόγω χημικού δεσμού αύξαναν την πρόσφυση στη διεπιφάνεια συνδετικής ύλης-αδρανούς με ταυτόχρονη αύξηση της μηχανικής αντοχής.

Στα κονιάματα χρησιμοποιούνται αδρανή με μέγεθος κόκκων μικρότερο από 5mm. Όταν τα χρησιμοποιούμενα αδρανή έχουν διάσταση μεγαλύτερη από 5mm τότε γίνεται αναφορά σε σκυρόδεμα [41,42].

Τα αδρανή μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνα τους (π.χ. οδοστρώσεις) ή με τσιμεντιτικά υλικά (τσιμέντο Portland ή ασφαλτικά) για τον σχηματισμό σύνθετων υλικών ή

σκυροδέματος. Η πιο κοινή χρήση των αδρανών είναι η παραγωγή σκυροδέματος με τσιμέντο Portland. Περίπου τα $\frac{3}{4}$ του όγκου του σκυροδέματος καταλαμβάνεται από αδρανή. Είναι λοιπόν προφανές ότι ένα υλικό που καταλαμβάνει τον μεγαλύτερο όγκο του συνολικού μίγματος πρέπει να έχει και σημαντικό ρόλο στις ιδιότητες τόσο του νωπού όσο και του σκληρυμένου προϊόντος. Σημαντική επίσης εφαρμογή είναι η χρήση των αδρανών σε ασφαλτικά μίγματα, όπου καταλαμβάνουν περίπου το 90% του συνολικού όγκου. Λόγω του κλάσματος μεγάλου όγκου τα αδρανή επηρεάζουν σημαντικά τις ιδιότητες του μίγματος. [71]

Τα αδρανή υλικά δεν πρέπει να περιέχουν προσμίξεις ικανές να προκαλέσουν μείωση της αντοχής και της σταθερότητας των κονιαμάτων, να επηρεάσουν δυσμενώς άλλες ιδιότητες τους, να προκαλέσουν επιβλαβείς χημικές αντιδράσεις με την εκάστοτε συνδετική ύλη. Κατά την επιλογή, την παραγωγή και τη χρήση των αδρανών έμφαση δίνεται στην κοκκοδιαβάθμιση (προτιμάται η χρήση αδρανούς με μεγάλο εύρος κοκκοδιαβάθμισης), στην τυχόν παρουσία αλάτων και άλλων προσμίξεων, καθώς και στην παρουσία χωματοειδών υλικών και υγρασίας, που καθιστούν την πρόσφυση μεταξύ του αδρανούς και του συνδετικού υλικού δύσκολη.

Τα αργιλοπυριτικά αδρανή πρέπει να αποφεύγονται με συνδετικές ύλες που περιέχουν αλκάλια, γιατί αυτά αντιδρούν με τα αδρανή και δίνουν διαλυτές ενώσεις (alkali aggregate reaction) [42]. Για ειδικούς σκοπούς και κυρίως για μονώσεις χρησιμοποιούνται ελαφρά και υπερελαφρά αδρανή, όπως η κίσηρης, η διογκωμένη άργιλος, διογκωμένες σκωρίες, διογκωμένος περλίτης και διογκωμένος βερμουλίτης [44].

Γενικά, η χρήση των αδρανών υλικών γίνεται για οικονομικούς κυρίως λόγους, δεδομένου ότι το κόστος των αδρανών είναι μικρότερο από αυτό των συνδετικών κονιών, με συνέπεια το πλεονέκτημα της διασποράς σημαντικού όγκου αδρανών υπό μορφή πλέγματος, στο οποίο διατάσσεται η συγκολλητική κονία. Επιπλέον, εξασφαλίζουν την ανθεκτικότητα του παραγόμενου κονιάματος, λόγω της αντικατάστασης σημαντικού ποσοστού συνδετικής ύλης, υλικό σχετικά ευπρόσβλητο από περιβαλλοντικούς παράγοντες, από υλικά πιο ανθεκτικά όπως είναι τα αδρανή.

II.2.2. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ - ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ

Τα αδρανή υλικά προέρχονται κυρίως από τις διάφορες φυσικές πηγές, τα ορυχεία και τα λατομεία.

Φυσικές πηγές μπορεί να είναι οι κοίτες των ποταμών, οι χείμαρροι, οι θαλάσσιες αποθέσεις.

Τα υλικά των ορυχείων χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή επιχωμάτων και για επιστρώσεις δευτερευουσών οδών. Εκλεκτά υλικά ορυχείων χρησιμοποιούνται για την παραγωγή υλικών σκυροδέματος, ασφαλτομιγμάτων και οδοστρώσις. Τα αδρανή υλικά ορυχείων πολλές φορές προτιμώνται από τα υλικά των λατομείων, γιατί η εξόρυξή τους είναι πολύ πιο εύκολη, ταχεία και οικονομική.

Ωστόσο, τα αδρανή των λατομείων πλεονεκτούν ως προς το γωνιώδες σχήμα των κόκκων και την καθαρότητά τους, όταν προέρχονται από καθαρό πέτρωμα. Μετά την εξόρυξη, τα πετρώματα τεμαχίζονται στα επιθυμητά μεγέθη με θραυστήρες, τριβεία ή μύλους διάφορων τύπων. Εν συνεχεία διαχωρίζονται σε διάφορα κλάσματα μεγεθών με κόσκινα.

Όταν τα υλικά τα προερχόμενα είτε από ορυχεία είτε από λατομεία περιέχουν άργιλο και γενικά όταν δεν είναι καθαρά και σύμφωνα με τις απαιτήσεις των προδιαγραφών, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν μετά από πλύση.

Τα παραχθέντα υλικά είτε αποθηκεύονται προσωρινά σε σιλό ή σε σωρούς πλησίον των θέσεων παραγωγής ή μεταφέρονται κατευθείαν στο έργο [44].

II.2.3. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ - ΚΑΤΑΤΑΞΗ

Τα αδρανή υλικά ανάλογα με την προέλευση τους, την πηγή λήψης τους, το μέγεθος των κόκκων τους, το ειδικό τους βάρος, αλλά και τις χρήσεις τους διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες.

Η κατάταξη, η ονοματολογία και ο αντίστοιχος συμβολισμός των αδρανών υλικών που ακολουθείται έγινε σύμφωνα με την Ελληνική Προδιαγραφή «Αδρανή σκυροδεμάτων» και το “Νέο Ευρωπαϊκό Πρότυπο Αδρανών Σκυροδέματος” (EN 12620/2002) [72,73].

Οι κατηγορίες στις οποίες κατατάσσονται τα αδρανή υλικά είναι [74]:

A) Με βάση την προέλευσή τους:

- φυσικής προέλευσης
- τεχνητά ή βιομηχανικά
- ανακυκλωμένα

Φυσικής προέλευσης είναι τα αδρανή τα οποία έχουν ληφθεί φυσικά και έχουν υποστεί μόνο μηχανική επεξεργασία θραύσης, πλυσίματος και διαλογής (πχ θραυστά πετρώματα, ποταμίσιες λιμναίες ή θαλάσσιες αποθέσεις, αποθέσεις άμμων ή χαλίκων, λάβα, ηφαιστειακοί τόφφοι, λατομικά προϊόντα κλπ).

Τεχνητά ή βιομηχανικά είναι τα αδρανή που έχουν προκύψει ως προϊόντα ή παραπροϊόντα βιομηχανικής δραστηριότητας από χημική ή θερμοκή επεξεργασία πρώτων υλών ορυκτής ή άλλης προέλευσης (πχ τέφρες, σκωρίες, υπολείμματα καύσεων, άργιλοι, βερμικουλίτης, περλίτης, υλικά στίλβωσης, κλπ).

Ανακυκλωμένα είναι τα αδρανή που προκύπτουν από την επεξεργασία και επανάχρηση δομικών υλικών από υφιστάμενες κατασκευές (υλικά κατεδαφίσεως τοιχοποιιών, ασφαλτικών έργων κλπ).

B) Με βάση την πηγή λήψης:

- Φυσικά ή συλλεκτά αδρανή
- Αδρανή λατομείων

«Φυσικά» ή **συλλεκτά** ονομάζονται τα αδρανή που η λήψη τους γίνεται από φυσικές αποθέσεις (π.χ. ποτάμια, ορυχεία κτλ.). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έχουν ή να επεξεργαστούν περαιτέρω ανάλογα με τις απαιτήσεις (π.χ. θραύση, πλύσιμο, κτλ.) Επειδή σε αυτά τα υλικά υπάρχει αυξημένος ο κίνδυνος αργιλικής παιπάλης, έχουν κατά κανόνα αυξημένες απαιτήσεις ως προς αυτή.

Αδρανή λατομείων ονομάζονται τα αδρανή που προκύπτουν από εξόρυξη και θραύση όγκων πετρώματος.

Γ) Με βάση το μέγεθος των κόκκων :

- Χονδρόκοκκα
- Λεπτόκοκκα
- Filler

Χονδρόκοκκα (σύμφωνα με τους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς Αδρανών) είναι τα αδρανή με μέγιστο μέγεθος κόκκου > 4 mm, και ελάχιστο >2 mm (ογκόλιθοι, κροκάλες, έρμα, χαλίκι, γαρμπίλι, ρυζάκι)

- **Χάλικες.** Στρογγυλά τεμάχια πετρωμάτων που διέρχονται από το κόσκινο 3in και συγκρατούνται στο κόσκινο No 10 (2mm).
 - α. *Χονδροί χάλικες.* Διέρχονται από το κόσκινο 3 in και συγκρατούνται στο κόσκινο 1in.
 - β. *Μέσοι χάλικες.* Διέρχονται από το κόσκινο 1in και συγκρατούνται στο κόσκινο 3/8in.
 - γ. *Λεπτοί χάλικες.* Διέρχονται από το κόσκινο 3/8in και συγκρατούνται στο κόσκινο No 10 (2mm).
- **Θραυστοί χάλικες.** Είναι το προϊόν της τεχνητής θραύσης των χαλίκων και οι κόκκοι τους έχουν μια τουλάχιστον θραυστηγή επιφάνεια.
- **Σκύρα.** Γωνιώδη τεμάχια πετρωμάτων που διέρχονται από το κόσκινο No 10 (2mm).

α. Χονδρά σκύρα. Διέρχονται από το κόσκινο 3in και συγκρατούνται στο κόσκινο 1in.

β. Μέσα σκύρα. Διέρχονται από το κόσκινο 1in και συγκρατούνται στο κόσκινο 3/8in.

γ. Λεπτά σκύρα. Διέρχονται από το κόσκινο 3/8in και συγκρατούνται στο κόσκινο Νο 10 (2mm).

Λεπτόκοκκα (σύμφωνα με τους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς Αδρανών Υλικών) είναι τα αδρανή με μέγιστο μέγεθος κόκκου 4 mm (κατά EN 933.01: 1998) [100].

- **Άμμος.** Υλικό κοκκώδες που προήλθε από την αποσάθρωση ή θραύση των πετρωμάτων. Η άμμος διέρχεται από το κόσκινο Νο 10 (2mm) και συγκρατείται στο κόσκινο Νο 200 (74 μm).

α. Χονδρή. Διέρχεται από το κόσκινο Νο 10 και συγκρατείται στο κόσκινο Νο 40 (0.42mm).

β. Λεπτή. Διέρχεται από το κόσκινο Νο 40 (0.42mm) και συγκρατείται στο κόσκινο Νο 200 (74 μm).

Filler είναι το διαβαθμισμένο λεπτομερές αδρανές υλικό με μέγιστο κόκκο 2 mm, το οποίο διέρχεται σε ποσοστό 70-100% από το κόσκινο 0,063 mm. Προστιθέμενο σε δομικά υλικά προσδίδει συγκεκριμένες ιδιότητες.

Δ) Με βάση το ειδικό τους βάρος σε :

- Κανονικού ειδικού βάρους

- Ελαφροβαρή

- Βαρέα

Κανονικού ειδικού βάρους είναι τα αδρανή με ειδικό βάρος από ~ 2 έως <3 g/cm³

Ελαφροβαρή είναι τα αδρανή με ειδικό βάρος < 2 g/cm³

Βαρέα είναι τα αδρανή με ειδικό βάρος ~ 3 g/cm³

Πίνακας II.1: Κατηγορίες αδρανών με βάση το ειδικό τους βάρος - Ενδεικτικές Χρήσεις

Είδος αδρανούς	Ενδεικτικές χρήσεις
Κανονικού ειδικού βάρους (2-3 g/cm ³)	Είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα αδρανή για τεχνικά έργα (ασφαλτικά, οδοστρώσας, παραγωγή σκυροδέματος, κονιαμάτων, κτλ).
Ελαφροβαρή (<2 g/cm ³)	Χρησιμοποιούνται κυρίως για ελαφροβαρή θερμομονωτικά σκυροδέματα; ή κονιάματα
Βαρέα (>3 g/cm ³)	Έχουν ειδικές χρήσεις (πχ κατασκευές από σκυρόδεμα για προστασία από την ακτινοβολία κλπ)

Με βάση τις χρήσεις τους τα αδρανή κατατάσσονται σε επτά (7) βασικές κατηγορίες [72,74]:

1. Αδρανή για παρασκευή τσιμεντοσκυροδέματος (*aggregates for concrete*)
2. Αδρανή για παρασκευή ασφαλτομιγμάτων (*aggregates for bituminous mixtures*)
3. Αδρανή Κονιαμάτων (*aggregates for mortar*)
4. Αδρανή για Ογκόλιθους για υδραυλικά και λιμενικά έργα (*armourstones*)
5. Αδρανή για έρμα σιδηροδρομικής γραμμής (*aggregates for railway track ballast*)
6. Αδρανή υλικά για βάσεις και υποβάσεις σταθεροποιημένες ή όχι για χρήση σε οδοστρώματα και έργα πολιτικού μηχανικού (*aggregates for unbound and hydraulically bound materials*)
7. Αδρανή για παρασκευή ασφαλτομιγμάτων (*aggregates for bituminous mixtures*)

II.2.4. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ - ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Κατανομή μεγέθους κόκκων

Η επίδραση της κατανομής μεγέθους των αδρανών αυξάνεται καθώς μειώνεται το ποσοστό της συνδετικής ύλης σε ένα κονίαμα ή καθώς ενισχύεται η απαίτηση για ικανοποιητική εργασιμότητα [75]. Πρακτικά, βάσει των τεχνικών σχεδιασμού μιγμάτων κονιαμάτων είναι δυνατό να παραχθούν κονιάματα χρησιμοποιώντας αδρανή περιέχοντα σχεδόν όλο το φάσμα της κοκκομετρικής κατανομής. Αυτή η προσέγγιση υιοθετείται από τα ευρωπαϊκά πρότυπα για αδρανή σκυροδέματος, βάσει των οποίων απαιτείται οι προμηθευτές να καθορίζουν τις τυπικές κοκκομετρικές και να διασφαλίζουν την ποικιλία αυτών, μεταξύ ανεκτών ορίων [76]. Η κοκκοδιαβάθμιση των αδρανών καθορίζεται συνήθως μέσω ανάλυσης σε πρότυπα κόσκινα και εκφράζεται γραφικά με εκτεταμένες κανονικές καμπύλες.

▪ *Αδρόκοκκα αδρανή*

Τα αδρανή τα οποία συγκρατούνται στο κόσκινο διαμέτρου 5mm ονομάζονται αδρόκοκκα ή χονδρόκοκκα αδρανή. Στη Μεγάλη Βρετανία οι προτυποποιημένες κοκκομετρικές αδρόκοκκων αδρανών καθορίζονται από τα πρότυπα BS 882: 1992 [77] και μερικές φορές από το BS 63: 1987 [78,79]. Άλλα σενάρια κοκκομετριών καθορίζονται από το πρότυπο BS 882, είτε με εύρος κοκκομετριών ονομαστικής διαμέτρου 40-5mm, 20-5mm και 14-5mm, είτε συγκεκριμένης κοκκομετρίας ονομαστικής διαμέτρου 40, 20, 14, 10 και 5 mm.

Βάσει των Ευρωπαϊκών Προτύπων ως αδρόκοκκα αδρανή χαρακτηρίζονται αυτά που συγκρατούνται στο κόσκινο των 4mm, ενώ τα μεγέθη των αδρανών περιγράφονται με το μέγεθος του μικρότερου κοσκίνου (d) να προτάσσεται του μεγέθους του κοσκίνου με τη μέγιστη διάμετρο (D) [76]. Επί παραδείγματι, ο συμβολισμός $d/D = 4/20$ αφορά σε μέγιστη διάμετρο αδρανών 20mm και ελάχιστη διάμετρο αδρανών 4mm, δηλαδή σε κοκκομετρική διαβάθμιση εύρους από 4-20mm.

▪ *Λεπτόκοκκα αδρανή – Άμμοι*

Τα αδρανή τα οποία διέρχονται από το κόσκινο των 5mm χαρακτηρίζονται ως λεπτόκοκκα αδρανή ή άμμοι. Στη Μεγάλη Βρετανία οι προτυποποιημένες κοκκοδιαβαθμίσεις άμμων καθορίζονται από το πρότυπο BS 882: 1992 [77]. Βάσει αυτού τα αδρανή πλέον χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: “C” – αδρόκοκκα (coarse), “M” – μεσαίου μεγέθους (medium), “F” – λεπτόκοκκα (fine).

Γενικά, η κοκκοδιαβάθμιση των λεπτόκοκκων αδρανών έχει μεγαλύτερη επίδραση στις ιδιότητες του παραγόμενου κονιάματος ή σκυροδέματος από ότι η κοκκοδιαβάθμιση των αδρόκοκκων αδρανών. Μια ασυνήθιστα αδρόκοκκη άμμος είναι δυνατό να οδηγήσει σε μίγμα χαμηλής εργασιμότητας που παρουσιάζει τάση διαχωρισμού (*bleeding*) των συστατικών του. Από την άλλη, μια ασυνήθιστα λεπτόκοκκη άμμος είναι δυνατό να αυξήσει σημαντικά την απαίτηση του κονιάματος σε νερό, λόγω της μεγαλύτερης τιμής ειδικής επιφάνειας που τη χαρακτηρίζει. Ωστόσο, είναι δυνατό να βελτιώσει την συνοχή του κονιάματος. Επομένως, η κοκκοδιαβάθμιση των αδρανών είναι δυνατό να βελτιωθεί αναμιγνύοντας αδρόκοκκα με λεπτόκοκκα υλικά ή κλάσματα του ίδιου υλικού [42].

▪ *Βέλτιστη κοκκομετρική καμπύλη αδρανών*

Για τον προσδιορισμό της βέλτιστης κοκκομετρικής καμπύλης των αδρανών υλικών έχουν προταθεί διάφορες εξισώσεις υπολογισμού αυτής, με κριτήριο το ελάχιστο ποσοστό όγκου κενών των χρησιμοποιούμενων αδρανών [43].

Ο Fuller πρότεινε την ακόλουθη εξίσωση υπολογισμού της βέλτιστης κοκκομετρικής καμπύλης των αδρανών:

$$p_t = 100 \sqrt{\frac{d}{D}}$$

που εκφράζει εκείνη την κοκκομετρική καμπύλη με το ελάχιστο περιεχόμενο κενών όγκων. Στην παραπάνω εξίσωση p_t είναι το διερχόμενο (%) ποσοστό από το κόσκινο διαμέτρου d και D είναι η μέγιστη διάμετρος των κόκκων του αδρανούς.

Πρακτικά, το πρόβλημα του καθορισμού της βέλτιστης κοκκομετρικής καμπύλης αφορά στον πειραματικό υπολογισμό του ελάχιστου περιεχομένου κενών σε ένα αδρανές υλικό ή και σε μίγμα αδρανών. Ο όγκος των κενών (u) ενός αδρανούς υλικού καθορίζεται από την εξίσωση:

$$u = \frac{V}{i\nu} - 1 = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}$$

που εκφράζει τη σχέση μεταξύ του κλάσματος των κενών όγκων (ε) και του κλάσματος του πληρωμένου χώρου ($1-\varepsilon$). Στην εξίσωση αυτή το V εκφράζει τον όγκο του δοχείου που καταλαμβάνει ένα αδρανές, το i εκφράζει το βάρος του αδρανούς και το ν τον ειδικό όγκο του αδρανούς, δηλαδή τον στερεό όγκο ανά μονάδα επιφάνειας, ο οποίος είναι το αντίστροφο της φαινόμενης πυκνότητας.

Πειραματικά, ο όγκος των κενών καθορίζεται από τον όγκο του νερού που (V') που απαιτείται για να κατακλιστεί το περιεχόμενο του αδρανούς σε ένα δοχείο γνωστού όγκου (V), δηλαδή το ($V-V'$) είναι ισοδύναμο του γινομένου ($i\nu$) της παραπάνω εξίσωσης. Από τα παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα ότι ο όγκος των κενών ενός αδρανούς υλικού είναι δυνατό να υπολογιστεί αν είναι γνωστές οι τιμές του ειδικού βάρους (d_{real}) και του φαινόμενου βάρους (d) ενός αδρανούς υλικού, από την αντίστοιχη σχέση:

$$u (\%) = 1 - \frac{d}{d_{real}}$$

Στην περίπτωση δυαδικού μίγματος αδρανών υλικών, ο όγκος των κενών εξαρτάται από την περιεκτικότητα του κάθε αδρανούς στο μίγμα. Επί παραδείγματι, για ένα μίγμα λεπτόκοκκου (άμμος) και αδρόκοκκου (χαλίκι) υλικού καθορίζονται από τις ακόλουθες εξισώσεις κατά Powers [43]:

$$u = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} = \frac{V}{av_a + bv_b} - 1$$

$$n = \frac{bv_b}{av_a + bv_b}$$

και από τις καμπύλες: $u = A(1 - n)$
 $u = Cn - (1 - n)$

όπου a και b είναι οι μάζες των δύο αδρανών, του λεπτόκοκκου και του αδρόκοκκου αδρανούς αντίστοιχα, με φαινόμενο ειδικό όγκο v_a και v_b , ενώ το n εκφράζει το κλάσμα του όγκου του αδρόκοκκου αδρανούς και ($1-n$) το κλάσμα του όγκου του λεπτόκοκκου αδρανούς. Η παράμετρος a αναλογεί στο ποσοστό του όγκου των κενών του λεπτόκοκκου υλικού και η παράμετρος b στο ποσοστό του όγκου των κενών του αδρόκοκκου υλικού. Cn είναι ο συνολικός όγκος κενών του μίγματος.

Από τις παραπάνω θεωρητικές εξισώσεις είναι φανερό ότι αύξηση του ποσοστού του λεπτόκοκκου υλικού στο μίγμα οδηγεί σε μείωση του όγκου των κενών, η οποία μπορεί να ερμηνευτεί ως εξής:

- (i) μειούμενου του κλάσματος του αδρόκοκκου αδρανούς (n) περιορίζεται παράλληλα η συμβολή του στον συνολικό όγκο κενών του μίγματος (C_n)
- (ii) παρουσία της άμμου συμπληρώνονται θεωρητικά τα μεσοδιαστήματα του αδρόκοκκου υλικού, δεδομένου ότι το λεπτόκοκκο αδρανές λειτουργεί θεωρητικά ως υγρό.

Γενικά, σε ένα δυαδικό μίγμα αδρανών υλικών (λεπτόκοκκο και χονδρόκοκκο) ο όγκος των κενών του μίγματος είναι μικρότερος από τον όγκο των κενών που χαρακτηρίζει το κάθε αδρανές.

Ο Bolomey μετέτρεψε την καμπύλη ιδανικής κατανομής του Fuller λαμβάνοντας υπόψη ότι στην περίπτωση χρησιμοποίησης δυαδικού μίγματος αδρανών, η κοκκομετρική καμπύλη του Fuller δεν εξασφαλίζει την απαιτούμενη εργασιμότητα της πάστας. Για τον λόγο αυτό ο Bolomey, με στόχο τον προσδιορισμό της βέλτιστης κοκκομετρικής καμπύλης ενός αδρανούς έτσι ώστε να εξασφαλίζεται εργασιμότητα, προτείνει την παρακάτω εξίσωση:

$$p_i = A + (100 - A) \sqrt{\frac{d}{D}}$$

που αφορά σε όλη τη μάζα του μίγματος

όπου A : σταθερά που εξαρτάται από τον τύπο του αδρανούς και από την επιτυγχάνομενη εργασιμότητα.

Στην περίπτωση που η κοκκομετρική κατανομή αφορά όχι στο συνολικό μίγμα, αλλά σ' αυτό καθ' αυτό το αδρανές, η παραπάνω εξίσωση αντικαθίσταται από τη σχέση:

$$p_i = [A - C + (100 - A) \sqrt{\frac{d}{D}}] \frac{100}{100 - C}$$

όπου p_i , το ποσοστό του όγκου του αδρανούς που διέρχεται από κόσκινο διαμέτρου οπής d

C , είναι το ποσοστό της συνδετικής κονιάς επί του συνόλου του μίγματος, το οποίο εξαρτάται από την ποσότητα της πάστας και από το λόγο νερού/κονία.

Βάσει της τελευταίας εξίσωσης που προτείνεται από τον Bolomey είναι δυνατή η διάκριση της βέλτιστης κοκκομετρικής καμπύλης σε σχέση με τον τύπο του αδρανούς, την ποσότητα της συνδετικής ύλης και την επιθυμητή εργασιμότητα, εξασφαλίζοντας ένα αδρανές με το ελάχιστο περιεχόμενο κενών όγκων.

Μια πολύ σημαντική παράμετρος, που υπογραμμίζεται σε όλες τις αναφορές περί κοκκομετρικών καμπυλών, είναι το περιεχόμενο σε λεπτόκοκκα υλικά, εκτός από την ιλύ και την αργιλώδη φάση, και πιο συγκεκριμένα το ποσοστό που διέρχεται από τα κόσκινα διαμέτρου 300 και 150 μm . Γενικά, είναι επιθυμητή η παρουσία του λεπτόκοκκου αυτού υλικού με στόχο να μην προκληθούν φαινόμενα διαχωρισμού στο μίγμα των αδρανών [43].

Ομοίως, έμφαση δίνεται στο ποσοστό του χονδρόκοκκου υλικού για την παρασκευή εργάσιμων μιγμάτων. Γενικά, για την παρασκευή εργάσιμων μιγμάτων, το ποσοστό του αδρόκοκκου αδρανούς είναι συνυφασμένο με τον τύπο της προστιθέμενης άμμου (λεπτόκοκκο υλικό). Γενικά όσο πιο λεπτόκοκκη είναι η άμμος τόσο πιο υψηλές οι τιμές που λαμβάνει ο λόγος αδρόκοκκο/λεπτόκοκκο υλικό για την παραγωγή μιγμάτων ικανοποιητικής εργασιμότητας.

Η εκλογή του λόγου αδρόκοκκο/λεπτόκοκκο υλικό είναι πολύ σημαντική για τον παράγοντα εργασιμότητα, δεδομένου ότι ένας τέτοιος λόγος επηρεάζει την ειδική

επιφάνεια του αδρανούς και κατά συνέπεια το ποσοστό του νερού που απαιτείται για την διαβροχή του αδρανούς αλλά και για τη δημιουργία της πάστας η οποία θα επικαλύψει το αδρανές [43].

- *Αδρανή ασυνεχούς κατανομής κόκκων*

Οποιαδήποτε κι αν είναι η αναλογία των αδρανών σε ένα μίγμα, ο συνήθης στόχος είναι η επίτευξη συνεχούς κοκκοδιαβάθμισης, η οποία οδηγεί σε σχετικά ομαλή, σιγμοειδή κοκκομετρική καμπύλη. Πρακτικά, όμως, είναι γεγονός ότι δεν υπάρχει ιδανική κοκκομετρία, δεδομένου ότι τα αδρανή προέρχονται από φυσικές πηγές και αποθέσεις, όπου δεν ισχύουν οι ιδανικές συνθήκες. Επιπλέον, τελείως ομαλές κοκκομετρικές καμπύλες σπάνια επιτυγχάνονται [42].

Όταν υπάρχει σημαντική απώλεια κάποιων κλασμάτων συγκεκριμένου μεγέθους τότε το αδρανές χαρακτηρίζεται από την λεγόμενη ασυνεχή κοκκομετρική καμπύλη. Σε μερικές περιπτώσεις, ωστόσο, για την παρασκευή σκυροδέματος είναι επιθυμητή αυτή η ασυνέχεια, καθώς είναι δυνατό να αποτελέσει πλεονέκτημα του παρασκευαζόμενου μίγματος, το οποίο όμως θα χαρακτηρίζεται αναπόφευκτα από χαμηλή εργασιμότητα. Γενικά, συνεχής και ασυνεχής κοκκομετρικές διαβαθμίσεις αδρανών χρησιμοποιούνται εξίσου στον σχεδιασμό μιγμάτων καλής ποιότητας. Παρ' όλα αυτά, η χρήση αδρανών ασυνεχούς κοκκομετρίας προφανώς απαιτεί μεγαλύτερη εμπειρία, λαμβάνοντας υπόψη ότι αυξάνεται αισθητά ο κίνδυνος διαχωρισμού (segregation) των υλικών του μίγματος [80,81].

Περιεχόμενη παιπάλη

Τα αδρανή στην πλειοψηφία τους περιέχουν ένα ποσοστό πολύ λεπτού υλικού το οποίο χαρακτηρίζεται ως αργιλόχωμα ή παιπάλη και αφορά στο υλικό που διέρχεται από το κόσκινο των 75 μm (BS 812) [82]. Μεγάλες ποσότητες λεπτόκοκκων υλικών τείνουν να αυξήσουν την απαίτηση σε νερό του μίγματος και επιπλέον να επηρεάσουν δυσμενώς τους δεσμούς που αναπτύσσονται μεταξύ αδρανών/συνδετικής ύλης. Για το λόγο αυτό καθορίζονται από το σχετικό πρότυπο (BS 882: 1992) [77] τα αποδεκτά όρια του υλικού που μπορεί να διαπερνά το κόσκινο των 75μm μετά την πλύση και την κοκκοδιαβάθμιση αυτού. Τα αποδεκτά αυτά όρια ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο του χρησιμοποιούμενου αδρανούς και την χρήση για την οποία προορίζεται [82].

Η επίδραση του διερχόμενου από το κόσκινο των 75μm υλικού στις ιδιότητες του μίγματος εξαρτάται άμεσα από την φύση της παιπάλης. Οι φυσικές άμμοι και τα χαλίκια είναι δυνατό να περιέχουν παιπάλη (2-75μm) και αργιλικά (-2μm), ενώ τα θραυστά αδρανή είναι δυνατό να περιέχουν "σκόνη" κλασμάτων [83]. Η σκόνη των θραυστών αδρανών είναι σχετικά πιο αδρή και περιέχει μικρότερα ποσοστά αργιλικών ορυκτών από ότι το λεπτόκοκκο κλάσμα των φυσικών αδρανών. Συνήθως, επιτρέπεται μεγαλύτερο περιεχόμενο λεπτόκοκκου υλικού στα θραυστά υλικά [42].

Το αργιλικό περιεχόμενο του λεπτόκοκκου υλικού ενός αδρανούς μπορεί να αποτελείται από υλικό "αργιλικού μεγέθους", και όχι από αυτά καθ'αυτά αργιλικά ορυκτά. Αυτή η διαφοροποίηση είναι πολύ σημαντική, καθώς τα αργιλικά ορυκτά είναι ασυνήθιστα ευαίσθητα στην υγρασία και αναμένεται να επηρεάσουν σε μεγαλύτερο βαθμό το μίγμα από ότι τα λεπτόκοκκα υλικά "αργιλικού μεγέθους", ειδικά στην περίπτωση των προσροφητικών αργίλων [84].

Μέγεθος και υφή των κόκκων

Το χαρακτηριστικό σχήμα των κόκκων ενός αδρανούς είναι δυνατό να επηρεάσει την εργασιμότητα και την αντοχή του παραγόμενου μίγματος [85]. Οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν ένα αδρανές υλικό όσον αφορά το σχήμα των κόκκων του είναι η

σφαιρικότητα (*sphericity*) και η κυκλικότητα (*roundness*). Επιπλέον, οι παράμετροι που προσδιορίζονται σε ένα αδρανές υλικό είναι η γωνιότητα και η υφή.

- **Γωνιότητα (*angularity*)**

Το περιεχόμενο των κενών των συνεκτικών αδρανών υλικών εξαρτάται άμεσα από την γωνιότητα των σωματιδίων του, σε τέτοιο βαθμό ώστε το ποσοστό των κενών να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ποσοτικό μέτρο της γωνιότητας των σωματιδίων [86]. Μια ομοιόμορφου μεγέθους, κυκλικών σωματιδίων θαλασσινή άμμος οδηγεί σε ένα ποσοστό κενών περίπου 33%, τιμή η οποία καθορίστηκε ως αναφορά για την “τιμή γωνιότητας”. Έτσι, η τιμή γωνιότητας ισοδυναμεί με τον προσδιοριζόμενο κάθε φορά όγκο κενών μείον την σταθερή τιμή 33 (τιμή γωνιότητας = % όγκος κενών – 33%). Στην πράξη η τιμή γωνιότητας μπορεί να φτάσει μέχρι και την τιμή 11 για τα πλέον γωνιώδη θραυστά αδρανή.

- **Υφή (*roughness*)**

Η υφή των σωματιδίων ενός αδρανούς έχει επίδραση στις προσλαμβανόμενες από το μίγμα αδρανών / συνδετική ύλη αντοχές. Ωστόσο, η συγκεκριμένη παράμετρος σπάνια λαμβάνεται υπόψη και δεν αποτελεί προδιαγεγραμμένη απαίτηση κατά την παρασκευή του μίγματος. Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι προσδιορισμού της υφής των σωματιδίων των αδρανών υλικών [87,88,89], καθώς και προσδιορισμοί που χρησιμοποιούν τη μέθοδο Fourier ή τη μέθοδο των σωματιδίων, αλλά καμία από αυτές δεν έχει υιοθετηθεί σε εφαρμογές ρουτίνας [90-93].

Φαινόμενη πυκνότητα

Δεδομένου ότι η φαινόμενη πυκνότητα αντιστοιχεί στη μάζα του αδρανούς υλικού που καταλαμβάνει σε συγκεκριμένο όγκο, η φαινόμενη πυκνότητα παρουσιάζει τιμή μικρότερη από την τιμή της πραγματικής πυκνότητας των σωματιδίων που απαρτίζουν το αδρανές υλικό στο σύνολό του, λόγω των κενών που εμφανίζονται μεταξύ των σωματιδίων του αδρανούς.

Παρουσία περιεχόμενης υγρασίας, η φαινόμενη πυκνότητα μειώνεται, ειδικά στην περίπτωση λεπτόκοκκων αδρανών, λόγω της επιφανειακής τάσης που αναπτύσσεται μεταξύ του νερού και των σωματιδίων των αδρανών, με αποτέλεσμα το διαχωρισμό αυτών (φαινόμενο “*bulking*”) [43].

Τα θραυστά αδρανή παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές φαινόμενης πυκνότητας από τις φυσικές άμμους και τα χαλίκια. Η φαινόμενη πυκνότητα των λεπτόκοκκων αδρανών είναι τυπικά περίπου 10% μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή των αδρόκοκκων αδρανών.

Η χρησιμότητα της τιμής της φαινόμενης πυκνότητας έγκειται στην μετατροπή του όγκου σε βάρος κατά την παρασκευή του μίγματος. Επιπλέον, είναι βασικός παράγοντας για τον προσδιορισμό του όγκου των κενών στο μίγμα των χρησιμοποιούμενων αδρανών, ο οποίος σχετίζεται άμεσα με το ποσοστό της συνδετικής ύλης που πρέπει να χρησιμοποιηθεί ώστε να πληρωθεί το πλέγμα το δημιουργούμενο από τα αδρανή, προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή συνοχή στο τελικό παραγόμενο μίγμα [43].

Η φαινόμενη πυκνότητα αποτελεί εύκολα καθοριζόμενη ιδιότητα ικανή να δώσει έμμεσες συγκριτικές πληροφορίες όσον αφορά ένα εύρος άλλων φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των αδρανών, συμπεριλαμβανομένων της κοκκοδιαβάθμισης και του μεγέθους των σωματιδίων.

Ειδικό βάρος αδρανών

Είναι ο λόγος του βάρους του αδρανούς προς τον όγκο συμπαγούς υλικού και των αδιαπέρατων κενών (κλειστών πόρων)

- **Κανονικά αδρανή**
Η πυκνότητα των αδρανών υλικών ή αλλιώς σχετική πυκνότητα ή ειδικό βάρος χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για την κατηγοριοποίηση των αδρανών σε «κανονικά», «ελαφροβαρύ» ή «βαριά». Το ειδικό βάρος των αδρανών υλικών εκφράζεται ως ο λόγος της μάζας δεδομένου όγκου υλικού (π.χ. 1cm³) προς την μάζα του ίδιου όγκου νερού, αλλά λαμβάνονται διαφορετικές τιμές ανάλογα με το πορώδες που χαρακτηρίζει το κάθε υλικό [4].

Συνήθως, καθορίζονται τρεις τύποι ειδικών βαρών:

- ειδικό βάρος επί ξηρού δείγματος υλικού
- ειδικό βάρος επί κορεσμένου, επιφανειακά στεγνού υλικού
- φαινόμενο βάρος ακατέργαστου αδρανούς

Οι πιθανές τιμές φαινόμενων βαρών για τα αδρανή γενικά κυμαίνονται στο εύρος 2,4–3,0 g/cm³, αλλά η πλειοψηφία κυμαίνεται στο μικρότερο εύρος 2,5-2,7 g/cm³, όπως φαίνεται και στον πίνακα που ακολουθεί [81].

ΠΙΝΑΚΑΣ II.2.: Τιμές φαινόμενων βαρών αδρανών υλικών

Τύπος αδρανούς	Εύρος τιμών ειδικού	Μέση τιμή ειδικού
Βασάλτες	2,6-3,0	2,80
Χάλικες	2,4-2,7	2,54
Γρανίτης	2,6-3,0	2,69
Ασβεστόλιθος	2,5-2,8	2,66
Μίγμα πυριγενών χαλίκων	2,7-2,8	2,72
Χαλαζιακή άμμος	2,6-2,7	2,62
Πωρόλιθος	2,6-2,9	2,69

Ο προσδιορισμός του ειδικού βάρους είναι σημαντικός για τον υπολογισμό του όγκου του μίγματος του παραγόμενου από συγκεκριμένη μάζα υλικών. Ασυνήθεις υψηλές ή χαμηλές τιμές ειδικού βάρους αδρανών είναι δυνατό να ενισχύσουν την τάση διαχωρισμού που παρουσιάζουν τα μίγματα.

- **Ελαφροβαρύ αδρανή**
Τόσο τα φυσικά όσο και τα συνθετικά ελαφροβαρύ υλικά χρησιμοποιούνται εσκεμμένα σε μίγματα στα οποία η χαμηλή πυκνότητά τους είναι πρωταρχική απαίτηση. Τα ειδικά βάρη επί ξηρού δείγματος των ελαφροβαρών αυτών αδρανών κυμαίνονται από 0,3-2,0 g/cm³.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι παρατηρείται γενικά η τάση τα μίγματα χαμηλού ειδικού βάρους να παρουσιάζουν μια μείωση των προσλαμβανόμενων μηχανικών αντοχών, τέτοια που τα πολύ χαμηλού ειδικού βάρους μίγματα να χρησιμοποιούνται κατά βάση στα ενέματα.

Γενικά, ως ελαφρά αδρανή χαρακτηρίζονται η κίσηρης, η διογκωμένη άργιλος, ο διογκωμένος περλίτης, ο βερμικουλίτης.

- **Βαριά αδρανή**
Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται τα φυσικά βαριά αδρανή με πυκνότητες που κυμαίνονται στο εύρος 3,0-8,0 g/cm³, οι οποίες εξαρτώνται από τον τύπο του βαρέος αδρανούς, αλλά και από το ειδικό βάρος του κανονικού αδρανούς με το οποίο το πρώτο είναι δυνατό να συνδυασθεί.

Μικτό φαινόμενο ειδικό βάρος (bulk specific gravity): είναι ο λόγος του βάρους του αδρανούς προς τον συνολικό φαινόμενο όγκο (όγκο συμπαγούς υλικού, διαπερατών και αδιαπερατών πόρων, όχι όμως και των κενών μεταξύ των πόρων).

Μικτό φαινόμενο ειδικό βάρος κορεσμένου υλικού επιφανειακά ξηρού (bulk specific gravity / Saturated - Surface - Dry): είναι ο λόγος του συνολικού βάρους του αδρανούς και του νερού που προσροφήθηκε προς το συνολικό φαινόμενο όγκο.

Υγρασία αδρανών

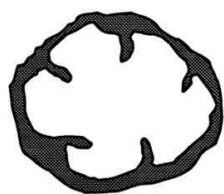
Η απορρόφηση υγρασίας από ένα αδρανές υλικό είναι χαρακτηριστική του υλικού και δεν εξαρτάται τόσο από την υγροσκοπικότητά του όσο από το πορώδες του αδρανούς. Γενικά, οι χάλικες παρουσιάζουν απορροφητικότητα 1-3,5% μεγαλύτερη αυτής των θραυστών αδρανών (0,5-1%), ενώ για την άμμο μετρήθηκαν ακόμη μικρότερες τιμές (0,1-0,2%) [87].

Η υγρασία των αδρανών αναφέρεται στο ποσοστό του νερού στους πόρους και στην επιφάνεια των αδρανών. Οι καταστάσεις υγρασίας των αδρανών είναι οι ακόλουθες.

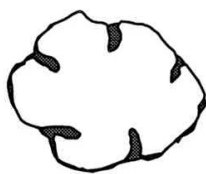
1. Εν ξηρώ (oven dry – OD), μέσω ξήρανσης των αδρανών σε θερμοκρασία 110°C για χρονικό διάστημα τέτοιο ώστε να επιτευχθεί σταθερό βάρος.
2. Εν ξηρώ (air dry – AD), μέσω διατήρησης των αδρανών σε θερμοκρασία και υγρασία δωματίου (περιβάλλοντος). Οι πόροι στο εσωτερικό των κόκκων των αδρανών είναι εν μέρει κατηλλημένοι από νερό.
3. Ξηρό – επιφανειακά κορεσμένο (surface saturated dry – SSD). Σε αυτή την κατάσταση οι πόροι στο εσωτερικό των κόκκων του αδρανούς καταλαμβάνονται πλήρως από νερό, ενώ η επιφάνεια αυτών είναι ξηρή. Αυτή η κατάσταση μπορεί να επιτευχθεί με εμβάπτιση του αδρανούς στο νερό επί 24 ώρες και ακολούθως με στέγνωμα επιφανειακά (wet cloth).
4. Νωπό (wet – w). Οι πόροι του αδρανούς είναι πλήρως καλυμμένοι με νερό και η επιφάνεια του αδρανούς καλύπτεται από ένα φιλμ νερού

Γενικά, οι βαθμοί κορεσμού των αδρανών υλικών οδηγούν στην παρακάτω κατάταξη, με κριτήριο την υγρασία των αδρανών:

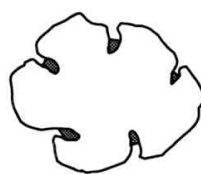
- Ξηρό αδρανές
- ακόρεστο αδρανές
- κορεσμένο αδρανές επιφανειακά ξηρό
- υγρό αδρανές



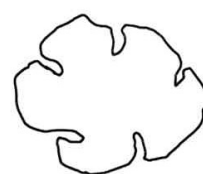
υγρό αδρανές



κορεσμένο αδρανές
- επιφανειακά ξηρό



ακόρεστο αδρανές



ξηρό αδρανές

Όταν όλοι οι πόροι ενός αδρανούς υλικού πληρούνται με νερό, ενώ αντίθετα η επιφάνεια των κόκκων είναι ξηρή, θεωρείται ότι το αδρανές είναι κορεσμένο με ξηρή επιφάνεια. Αν το αδρανές σε αυτή την κατάσταση αφεθεί σε περιβάλλον αέρα μη κορεσμένο σε ατμούς, μέρος του νερού που περιέχεται στους πόρους εξατμίζεται και το αδρανές καθίσταται ακόρεστο. Αν η εξατμωση του νερού εξακολουθήσει, το αδρανές φτάνει σε κατάσταση πλήρους ξήρανσης και πλέον χαρακτηρίζεται ξηρό. Στη διαφορετική περίπτωση που το αδρανές έχει αφεθεί σε περιβάλλον κορεσμένο από τους ατμούς της ατμόσφαιρας η επιφάνειά του καθίσταται υγρή και γενικά το αδρανές χαρακτηρίζεται υγρό [43].

Στην πράξη τα αδρανά είναι δυνατό να βρίσκονται σε μία από τις παραπάνω καταστάσεις. Ωστόσο, για την παρασκευή μιγμάτων επιθυμητό είναι το αδρανές να είναι κορεσμένο και επιφανειακά ξηρό. Αν το αδρανές χρησιμοποιείται υγρό αποδίδει την περίσσεια του νερού

στην πάστα του μίγματος με αποτέλεσμα ο λόγος νερού / συνδετική ύλη να αποκλίνει από τον αρχικά υπολογιζόμενο (ο υπολογισμός γίνεται βάσει του απαιτούμενου νερού της πάστας και της υγρασίας του αδρανούς). Αν το αδρανές είναι ξηρό ή ακόρεστο, παρουσιάζει την τάση να απορροφά μέρος του νερού της πάστας, ώστε να μεταβεί στην επιθυμητή κατάσταση. Σε αυτή την περίπτωση ο λόγος νερού / συνδετική ύλη μεταβάλλεται, καθώς αφαιρείται το νερό της πάστας που απορροφάται από τα αδρανή για να μεταβούν αυτά στον επιθυμητό βαθμό κορεσμού.

Η σημαντικότητα του ελέγχου και του καθορισμού της ικανοποιητικής υγρασίας αδρανούς, έγκειται στην απαίτηση διατήρησης σταθερού λόγου νερού / συνδετική ύλη, προκειμένου να παραχθεί ικανοποιητική πάστα κονιάματος ικανής εργασιμότητα και ανθεκτικότητας.

Προκειμένου να προσδιοριστεί το ποσοστό του νερού που αντιστοιχεί στον κορεσμό του αδρανούς ξηρής επιφάνειας, το υλικό παραμένει στο νερό επί εικοσιτέσσερις ώρες (100% RH) και ακολούθως απομακρύνεται η περίσσεια του νερού για την επίτευξη ξηρής επιφάνειας αδρανούς υλικού. Μια σταθερή ποσότητα του αδρόκοκκου ή λεπτόκοκκου αδρανούς, σε αυτή την κατάσταση, θερμαίνεται στους 110°C και από τη διαφορά βάρους προκύπτει το ποσοστό του απορροφούμενου νερού (υγρασίας), που αποτελεί παράλληλα και χαρακτηριστικό της επιθυμητής κτάστασης κορεσμού.

Κατά τον σχεδιασμό μιγμάτων σκυροδέματος η κατάσταση ξηρών-επιφανειακά κορεσμένων (SSD) αδρανών χρησιμοποιείται ως αναφορά, δεδομένου ότι είναι μια κατάσταση στην οποία τα αδρανή αφ' ενός δεν απορροφούν νερό, εφ' ετέρου δεν αποδίδουν νερό στην πάστα.

Η δυνατότητα απορρόφησης νερού ενός αδρανούς προσδιορίζεται πειραματικά από την σχέση:

$$\text{Absorption} = [(W_{\text{SSD}} - W_{\text{OD}}) / W_{\text{OD}}] \times 100\%$$

Το φαινόμενο “bulking” της άμμου

Όσον αφορά στην άμμο, απαραίτητο είναι να ληφθεί υπόψη ο παράγοντας του φαινομένου *bulking* της άμμου, ο οποίος εξαρτάται από την παρουσία υγρασίας. Το φαινόμενο *bulking* αφορά στην αύξηση του όγκου ποσότητας ξηρής άμμου, λόγω της παρουσίας υγρασίας στο λεπτόκοκκο αδρανές. Λόγω του δημιουργούμενου φιλμ απορροφούμενου νερού, οι κόκκοι της άμμου τείνουν να απομακρυνθούν με συνέπεια την προοδευτική αύξηση του όγκου της αρχικής ποσότητας, ανάλογα με το πάχος του σχηματιζόμενου φιλμ και εκείνου της υγρασίας [42].

Παρουσία υγρασίας γύρω στο 6-10% της μάζας της ξηρής άμμου, το φιλμ του νερού, σε αντίθεση με τους κόκκους, τείνει να διαμορφώσει ένα συνεχές μέσο για την πλήρωση των κενών. Αυξανομένης της υγρασίας της άμμου, οι κόκκοι τείνουν να πλησιάσουν την διάσταση του πάχους του σχηματιζόμενου φιλμ, με προοδευτική μείωση του όγκου της άμμου μέχρι να επανέλθει στην αρχική ποσότητα υγρασίας.

Ο παράγοντας καθορισμού του φαινομένου *bulking* ορίζεται από το λόγο του όγκου της ποσότητας της υγρή άμμου (V_u) προς τον όγκο (V_a) της ξηρής άμμου: $f_b = V_u / V_a$.

Ο παράγοντας του φαινομένου *bulking* υπολογίζεται ως επί τω πλείστον πειραματικά, με εισαγωγή της υγρής άμμου σε δοχείο σταθερού όγκου V_u . Αν κατακλυστεί προοδευτικά η άμμος με νερό και αναμιχθεί ελαφρώς ευνοείται η ελαχιστοποίηση του αέρα και η διευθέτηση του όγκου της άμμου. Μετρώντας τον όγκο (V_a) που καταλαμβάνει η άμμος στην κατάσταση αυτή υπολογίζεται και ο λόγος V_u/V_a . Τιμές του παράγοντα *bulking* μεταξύ 1,2-1,3 αντιστοιχούν σε ποσοστό υγρασίας περίπου 6-10%. Το φαινόμενο είναι λιγότερο αισθητό όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το αδρανές.

Πορώδες και απορροφητικότητα

Υδροαπορροφητικότητα % (absorption) είναι η ποσότητα του νερού που απορροφάται από 100 g του υλικού σε ορισμένο χρόνο και θερμοκρασία.

Το πορώδες και απορροφητικότητα ενός αδρανούς υλικού είτε εξαρτάται από το ποσοστό ενός συγκεκριμένου συστατικού που υπάρχει στο σύνολο του αδρανούς, είτε εκφράζει την μέση τιμή ενός μίγματος υλικών υψηλής ή χαμηλής απορροφητικότητας.

Τα φυσικά αδρανή παρουσιάζουν τιμές απορροφητικότητας που κυμαίνονται από 1-5% περίπου. Αν οι πόροι του αδρανούς υλικού είναι μικρότεροι από 4μm είναι δυνατό να εγκλωβίσουν νερό, οδηγώντας στη δημιουργία εσωτερικών τάσεων και κατά συνέπεια διάρρηξης του παραγόμενου μίγματος [42].

II.2.5. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ – ΠΟΙΟΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

Η προσθήκη των αδρανών στα κονιάματα συνιστάται για οικονομικούς και τεχνικούς λόγους. Τα κονιάματα που παράγονται χωρίς προσθήκη αδρανών, συστέλλονται κατά την πήξη και σκλήρυνση, με αποτέλεσμα την δημιουργία επιφανειακών ρηγματώσεων. Από οικονομικής άποψης, τα αδρανή υλικά είναι πιο φθηνά από τις κονίες.

Από έναν σημαντικό αριθμό ουσιών που παρουσιάζονται μεταξύ των κόκκων των αδρανών και που αφορούν σε ορυκτά υλικά των πετρωμάτων, ένα ποσοστό είναι δυνατό να προκαλέσει σε σημαντικό βαθμό φθορά στα παρασκευαζόμενα μίγματα κονιαμάτων και για το λόγο αυτό οι συγκεκριμένες ουσίες χαρακτηρίζονται ως ανεπιθύμητες προσμίξεις. Μεταξύ αυτών διακρίνονται οι ουσίες (π.χ. οργανικά υλικά) που παρεμβάλλονται μεταξύ των αδρανών και της κονιάς, εμποδίζοντας την άμεση ανάληψη των ιδιοτήτων του μίγματος.

Μια δεύτερη κατηγορία ανεπιθύμητων προσμίξεων είναι τα ενεργά πυριτικά υλικά, τα οποία είναι δυνατό να παρεμποδίσουν το σχηματισμό σημαντικών ρωγμών, αλλά να διαφοροποιήσουν τη δομή του αρχικού μίγματος μετά την πάροδο κάποιου χρονικού διαστήματος καταλαμβάνοντας τη θέση άλλων συστατικών στο πλέγμα του μίγματος.

Μερικά υλικά με βάση τα θεϊικά ιόντα και τα χλωριόντα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε μία από τις παραπάνω κατηγορίες ανεπιθύμητων προσμίξεων, ως ένα ποσοστό των αδρανών υλικών.

Τέλος, η προσθήκη αργιλικών υλικών μεταξύ των αδρανών στο μίγμα είναι παρακινδυνευμένη.

Όσον αφορά στα οργανικά υλικά εμφανίζονται κατά κύριο λόγο στην άμμο και γενικότερα στα λεπτόκοκκα και όχι στα αδρόκοκκα αδρανή. Έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν την ενυδάτωση της νωπής πάστας με τρόπο ανεξέλεγκτο σε συνάρτηση με την ποιότητα και την ποσότητα τους, κατά διαφορετικό τρόπο, τυχηματικά και επί μακρό χρονικό διάστημα. Η παρουσία του οργανικού υλικού οδηγεί στην επιβράδυνση της διαδικασίας ενυδάτωσης της πάστας και την μείωση της μηχανικής αντίστασης του μίγματος [43].

Για να χρησιμοποιηθούν στην παρασκευή κονιαμάτων, τα αδρανή υλικά θα πρέπει να ικανοποιούν συγκεκριμένες απαιτήσεις. Δεν πρέπει να περιλαμβάνουν επιβλαβείς προσμίξεις που θα επηρεάζουν την σταθερότητα, αντοχή και λοιπές ιδιότητες των κονιαμάτων, η υγρασία τους δεν θα πρέπει να ξεπερνά σε ποσοστό το 3% και θα πρέπει να υπολογίζεται πάντα πριν τον καθορισμό των αναλογιών του κονιάματος, και γενικά θα πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του ευρωπαϊκού προτύπου ΕΛΟΤ EN 13139/2002 : *Αδρανή Κονιαμάτων*.

Κύριες ποιοτικές απαιτήσεις αδρανών υλικών [72,94]

Κοκκομετρική ανάλυση: να καλύπτει ολόκληρη την περιοχή των προδιαγραφών ακόμη και τη σύνθεση της λεπτής περιοχής

Ποσοστό παιπάλης: το ποσοστό της παιπάλης, δηλαδή του υλικού που διέρχεται από το κόσκινο διάστασης οπής 0,063mm, να μην υπερβαίνει τις μέγιστες τιμές που καθορίζει το χρησιμοποιούμενο πρότυπο. Εντούτοις μία άμμος θεωρείται ότι ικανοποιεί τις απαιτήσεις του προτύπου σχετικά με το ποσοστό παιπάλης αν αυτό είναι <5% ή μικρότερο άλλης τιμής σύμφωνα με τις εθνικές απαιτήσεις κάθε χώρας όπου χρησιμοποιείται.

Καθαρότητα: τα αδρανή να είναι απαλλαγμένα (με πλύσιμο ή άλλη επεξεργασία) αργίλου, πηλού, αλκαλικών ή οργανικών ουσιών.

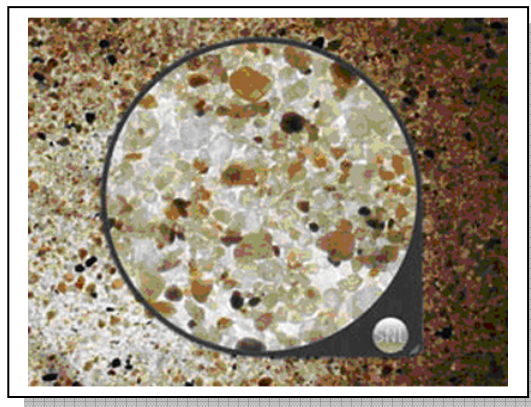
Μορφή κόκκων: το ποσοστό των δισκοειδών, λεπτών ή επιμήκων κόκκων (με σχέση διαστάσεων 3:1 να μην υπερβαίνει το μέγιστο επιτρεπτό όριο [ΕΛΟΤ EN 13383-2 (αρθρ. 7)]).

II.2.6. ΔΟΚΙΜΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Παρακάτω, παρουσιάζεται το σύνολο των δοκιμών που εκτελούνται στα αδρανή υλικά ανεξαρτήτως χρήσης και γίνεται σύντομος σχολιασμός του σκοπού και των μεθόδων ελέγχου [74]. Οι δοκιμές αναφέρονται τόσο στους Ελληνικούς Κανονισμούς για τα αδρανή όσο και στα Νέα Ευρωπαϊκά Πρότυπα (EN) των αδρανών, τα οποία έχουν ισχύ στην Ελλάδα από το 2004 [Παράρτημα I].

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή όλες οι παρακάτω δοκιμές αναφέρονται για θεωρητικούς λόγους, δεδομένου ότι το θέμα επικεντρώνεται στην διεξοδική ανάλυση της κοκκομετρικής καμπύλης που προκύπτει από την βασική δοκιμή της κοκκομετρικής ανάλυσης των αδρανών και στον καθορισμό κρίσιμων στατιστικών παραμέτρων που επιτρέπουν την συγκριτική διερεύνηση και αξιολόγηση των αδρανών μεταξύ τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ II.3.α : Γενικές Ιδιότητες		
Δοκιμή	Σκοπός	Κανονισμοί
Μέθοδοι δειγματοληψίας	Η δειγματοληψία ενός αδρανούς μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τα αποτελέσματα των δοκιμών στις οποίες θα υποβληθεί το δείγμα. Τα δείγματα θα πρέπει να λαμβάνονται τυχαία και από όλα τα σημεία της εξεταζόμενης παρτίδας. Ανάλογα με το μέγεθος του μέγιστου κόκκου καθώς και με το επιθυμητό σημείο δειγματοληψίας (σωροί αποθήκευσης, μεταφορική ταινία , φορτηγά, πλοία κλπ) πρέπει να ακολουθείται διαφορετική διαδικασία.	ΣΚ-319 ΣΚ-324 ASTM D75 ΕΛΟΤ EN 932-1
Πετρογραφική εξέταση	Προσδιορισμός των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών που εξετάζονται με πετρογραφικές μεθόδους ανάλυσης. Εφαρμόζεται σε όλα τα αδρανή τα οποία περιέχουν χημικώς ασταθή ορυκτά ή ορυκτά που είναι δυνατόν να επηρεάσουν τις ιδιότητες και την ποιότητα του τελικού προϊόντος	ASTM 294 ASTM 295 ΕΛΟΤ EN 932-3



ΠΙΝΑΚΑΣ Π.3.β. : Δοκιμές Προσδιορισμού Γεωμετρικών Ιδιοτήτων		
Δοκιμή	Σκοπός	Κανονισμοί
Κοκκομετρική ανάλυση	<p>Η κοκκομετρική διαβάθμιση αναλύει τα επιμέρους κλάσματα που με ανάμιξη δίνουν το τελικό μίγμα του αδρανούς. Ο μέγιστος κόκκος καθορίζει την δυνατότητα του αδρανούς να διέρχεται κατά ένα συγκεκριμένο ποσοστό από κάποιο περιοριστικό άνοιγμα βροχίδας κοσκίνου.</p> <p>Σε συνδυασμό με τους δείκτες πλακοειδούς και επιμήκυνσης καθορίζει το ποσοστό του όγκου των κενών μεταξύ των κόκκων του συμπυκνωμένου αδρανούς.</p> <p>Η συνολική διαβάθμιση σε συνάρτηση με το γωνιώδες, την τραχύτητα, τους δείκτες πλακοειδούς και επιμήκυνσης, το ειδικό βάρος των κόκκων και την φαινόμενη πυκνότητα καθορίζει την ρεολογία του μίγματος, τη συνεκτικότητά του και την τάση απόμιξης.</p>	<p>ΣΚ-320 ASTM C-136 ΕΛΟΤ EN 933-1</p>
Ποσοστό παιπάλης	<p>Προσδιορισμός ποσοστού κόκκων με μέση διάσταση μικρότερη από το όριο των προδιαγραφών (< 63 μm)</p> <p>Η παιπάλη εμπεριέχεται στα χονδρόκοκκα και κυρίως στα λεπτόκοκκα αδρανή σε ποσοστά που ποικίλουν ανάλογα με την προέλευση του υλικού και την παραγωγική διαδικασία. Σε πολλές εφαρμογές απαιτείται πολύ χαμηλό ποσοστό ώστε να μην επηρεαστούν συγκεκριμένες ιδιότητες (π.χ. σκυρόδεμα). Σε άλλες εφαρμογές απαιτείται σε επιπλέον ποσότητα από αυτή που περιέχεται στα αδρανή οπότε και προστίθεται υπό μορφή filler (π.χ. οδοστρώματα)</p>	<p>ΣΚ- 305 ASTM C-117 ΕΛΟΤ EN 933-1</p>
Δείκτης Πλακοειδούς	<p>Προσδιορισμός μέγιστου ποσοστού πεπλατυσμένων κόκκων σε κάθε κοκκομετρικό κλάσμα di/Di.</p> <p>Αυτό αντιστοιχεί σε % διερχόμενων κόκκων από ραβδωτό κόσκινο με απόσταση ράβδων Di/2.</p>	<p>ΕΛΟΤ EN 933-3 BS 812</p>
Δείκτης Σχήματος	<p>Προσδιορισμός μέγιστου ποσοστού επιμηκυσμένων κόκκων. Αυτό αντιστοιχεί σε % κόκκων των οποίων ο λόγος μήκος / πλάτος είναι μεγαλύτερος από 3/1 (με βάση το σχέδιο προτύπου ΕΛΟΤ 408 το % αντιστοιχεί σε ποσοστό των κόκκων που η μέγιστη προς ελάχιστη διάσταση είναι μεγαλύτερη από 3:1).</p> <p>Οι επιμήκεις και πεπλατυσμένοι κόκκοι πρέπει να αποφεύγονται επειδή είναι δυνατόν να υπάρχει ανομοιόμορφη κατανομή τάσεων λόγω σχήματος με αποτέλεσμα τον κίνδυνο θραύσης των αδρανών.</p> <p>Επιπλέον το κυβικό σχήμα επιτυγχάνει τη βέλτιστη γεωμετρική κατανομή των κόκκων με αποτέλεσμα την μέγιστη δυνατή συμπύκνωση.</p> <p>Η δοκιμή του δείκτη σχήματος είναι εναλλακτική του δείκτη πλακοειδούς.</p>	<p>ΕΛΟΤ EN 933-4 BS 812</p>
Μήκος Κόκκων	<p>Προσδιορισμός του μήκους των κόκκων με χρήση καλίμπρας. Η δοκιμή εφαρμόζεται κυρίως σε σκύρα για έρμα σιδηροδρομικής γραμμής.</p>	<p>Προδιαγραφές Ο.Σ.Ε. ΕΛΟΤ EN 13450</p>
Λόγος Μήκους/ Πάχος > 3	<p>Προσδιορισμός ποσοστού τεμαχίων επί της μάζας ή του αριθμού, τα οποία έχουν λόγο Μ/Π μεγαλύτερο του 3. Η δοκιμή εφαρμόζεται σε βράχους θωράκισης -ογκόλιθους.</p>	<p>ΕΛΟΤ EN 13383-2 (άρθρο 7)</p>

<p>Ποσοστό θραυστών επιφανειών</p>	<p>Προσδιορισμός ποσοστού θραυστών επιφανειών που δημιουργούνται ύστερα από θραύση φυσικών αδρανών ή γενικά μη συμπαγών πετρωμάτων.</p> <p>Τα φυσικά αδρανή (ποταμίσιες ή λιμναίες αποθέσεις) έχουν συνήθως στρογγυλεμένο σχήμα και λεία επιφάνεια. Προκειμένου να προκύψουν νέες υγιείς επιφάνειες απαιτείται θραύση. Όσο μεγαλύτερο είναι αυτό το ποσοστό των θραυστών κόκκων τόσο περισσότερες είναι οι νέες επιφάνειες που προκύπτουν. Οι θραυστοί κόκκοι έχουν μεγαλύτερη τραχύτητα και καλύτερη πρόσφυση με το συνδετικό υλικό.</p>	<p>ΕΛΟΤ EN 933-5</p>
<p>Συντελεστής Ροής Αδρανών</p>	<p>Προσδιορισμός του χρόνου ροής (sec) συγκεκριμένου όγκου αδρανούς υλικού δια μέσου δεδομένου ανοίγματος ειδικής πρότυπης συσκευής. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζεται το γωνιώδες των κόκκων καθώς και ο συντελεστής θραύσης. Το γωνιώδες, κυρίως, των λεπτόκοκκων αδρανών επηρεάζει σημαντικά την ρεολογία του μίγματος στην περίπτωση που αυτά συμμετέχουν με κάποιο συνδετικό υλικό για την δημιουργία ρευστού μείγματος (κονιάμα, σκυρόδεμα κλπ). Η δοκιμή εφαρμόζεται τόσο στις άμμους όσο και στα χονδρόκοκκα κλάσματα αδρανών με μέγιστο κόκκο > 4 και < 20 mm.</p>	<p>ΕΛΟΤ EN 933-6</p>
<p>Περιεκτικότητα σε κελύφη</p>	<p>Προσδιορισμός μέγιστου ποσοστού κατά βάρος προσμίξεων σε κελύφη. Η δοκιμή εφαρμόζεται σε φυσικά αδρανή (λιμναίων ή ποταμίσιων αποθέσεων) ή σε αδρανή θαλάσσιας προέλευσης που χρησιμοποιούνται κυρίως στο σκυρόδεμα ή σε κονιάματα.</p> <p>Τα όστρακα ή κελύφη λόγω της οργανικής φύσης τους δημιουργούν, κυρίως, προβλήματα πήξης.</p>	<p>ΕΛΟΤ EN 933-7</p>
<p>Ποιοτικός Προσδιορισμός Παιπάλης: Ισοδύναμο Άμμου</p>	<p>Έμμεσος και συγκριτικός προσδιορισμός ποσοστού κόκκων λεπτόκοκκου κλάσματος, όχι κατ' ανάγκη αργιλικών, που παραμένουν σε αιώρηση σε υδατικό διάλυμα μετά από συγκεκριμένη ώρα, σε σχέση με το σύνολο των κόκκων.</p> <p>Δίνει ένδειξη για την ύπαρξη βλαπτικών αργιλικών συστατικών στην άμμο (0/4) και στα υλικά βάσεων, υποβάσεων οδοστρωμάτων.</p> <p>Σε συνδυασμό με την ποσότητα της παιπάλης δίνει μια ολοκληρωμένη εικόνα.</p> <p>Στην Ευρωπαϊκή μέθοδο (EN 933-8) εξετάζεται το κλάσμα (0/2 mm). Σε περίπτωση που πρέπει να εξεταστεί το κλάσμα 0/4 τότε η άμμος υπόκειται σε ειδική επεξεργασία που περιγράφεται στο παράρτημα της μεθόδου.</p>	<p>ΣΚ- 346 ASTM D-2419 ΕΛΟΤ EN 933-8</p>
<p>Μπλε του Μεθυλενίου</p>	<p>Έμμεσος προσδιορισμός των κόκκων, όχι κατ' ανάγκη αργιλικών, που έχουν την ικανότητα απορρόφησης διαλύματος μπλε του μεθυλενίου. Δίνει αντίστοιχη ένδειξη με την δοκιμή Ισοδυναμίου Άμμου. Ο συνδυασμός των δύο μεθόδων, όπου αυτό είναι εφικτό, δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα για τον χαρακτηρισμό του εξεταζόμενου δείγματος. Εκτελείται στα κλάσματα 0/2 και 0/0,125 mm.</p>	<p>ΕΛΟΤ EN 933-9</p>

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.3.γ. : Δοκιμές Προσδιορισμού Φυσικών και Μηχανικών Ιδιοτήτων των Αδρανών		
<i>Δοκιμή</i>	<i>Σκοπός</i>	<i>Κανονισμοί</i>
Αντοχή σε φθορά κατά micro-Deval (συντελεστής micro- Deval)	Προσδιορισμός του μέγιστου ποσοστού φθοράς χονδρόκοκκου κλάσματος κατά την εκτέλεση πρότυπης δοκιμής στην συσκευή micro-Deval παρουσία νερού. Σύμφωνα με τους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς η δοκιμή θα εκτελείται στα αδρανή για ασφαλτικά μίγματα, αδρανή για βάσεις και υποβάσεις.	ΕΛΟΤ EN1097-1
Αντοχή σε φθορά κατά Deval	Προσδιορισμός της ποσότητας των κόκκων των μικρότερων από 1,6 mm που παράγονται μετά την αμοιβαία τριβή και μέτριες κρούσεις των κόκκων στην συσκευή Deval . Πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχουν δύο τύποι δοκιμών : Ξηρά δοκιμή ή με παρουσία νερού. Εκτελείται στα αδρανή για έρμα σιδηροδρομικής γραμμής. Η δοκιμή (ξηρή ή υγρή) χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την δοκιμή Los Angeles για τον προσδιορισμό της σκληρότητας του σκύρου, στην περίπτωση που ο δείκτης Los Angeles κατά την γαλλική μέθοδο προσδιορισμού (NF P 18- 573) είναι ≤ 24 %.	NF P 18- 577
Αντοχή σε θρυμματισμό κατά Los Angeles (συντελεστής Los Angeles)	Προσδιορισμός του μέγιστου ποσοστού φθοράς χονδρόκοκκου κλάσματος αδρανών υλικών κατά την εκτέλεση πρότυπης δοκιμής θρυμματισμού με τριβή και κρούση. Χαμηλές τιμές του συντελεστή Los Angeles αποτελούν ένδειξη υγείας πετρώματος. Γενικά κατά την θραύση και την συνεπαγόμενη μείωση του μεγέθους του υλικού, προκύπτει τελικό προϊόν που παρουσιάζει καλύτερη ανθεκτικότητα σε θρυμματισμό αφού μειώνονται οι πιθανές ασυνέχειες της μάζας του, βελτιώνεται το σχήμα, λειοτριβούνται και αποβάλλονται ασθενείς και ψαθυροί κόκκοι. Αποτελεί δοκιμή αναφοράς για τον προσδιορισμό του ποσοστού φθοράς των αδρανών σε τριβή και σε κρούση.	ΣΚ- 345 ΕΛΟΤ EN1097-2 ASTM C 535 ASTM C 131
Φαινόμενο βάρους και ποσοστό όγκου κενών	Προσδιορισμός μάζας αδρανών ανά μονάδα όγκου πρότυπα συμπυκνωμένη ή μη. Σε συνδυασμό με το φαινόμενο ειδικό βάρος προσδιορίζεται ο όγκος των κενών του συμπυκνωμένου ή μη μίγματος αδρανών . Με βάση τις Ευρωπαϊκές προδιαγραφές η δοκιμή αυτή εφαρμόζεται μόνο στα ελαφροβαρή αδρανή , σε αντίθεση στην Ελλάδα εκτελείται σε όλους τους τύπους. Ειδικά για τα filler ο προσδιορισμός γίνεται με κηροζίνη σύμφωνα με το EN 1097-3B	ΕΛΟΤ EN1097-3 ASTM C-29
Πορώδες ξηρού και συμπυκνωμένου filler (Rigden)	Προσδιορισμός του όγκου των κενών ανάμεσα στους κόκκους πρότυπα συμπυκνωμένου και ξηρού filler, με χρήση ειδικής συσκευής. Εφαρμόζεται σε filler και στο κλάσμα < 0,125 mm άμμων που χρησιμοποιούνται σε ασφαλτομίγματα και περιέχουν διερχόμενο ποσοστό από το κόσκινο 0,063 mm >10%.	ΕΛΟΤ EN1097-4

Φυσική Υγρασία Αδρανών	<p>Προσδιορισμός του % ποσοστού υγρασίας που περιέχεται στο δείγμα αδρανών που εξετάζεται με ξήρανση του υλικού.</p> <p>Ο προσδιορισμός της φυσικής υγρασίας αποτελεί προκαταρκτική δοκιμή για πλήθος άλλων δοκιμών. Ιδιαίτερη σημασία έχει ο προσδιορισμός της στα αδρανή που συμμετέχουν σε χρήσεις με συνδετικό υλικό (σκυροδέματα, κονιάματα, κλπ) τους 110±5°C</p>	<p>ASTM C 566 ΕΛΟΤ EN1097-5</p>
Φαινόμενο Ειδικό βάρος & Υδροαπορροφητικότητα	<p>Προσδιορισμός του ειδικού βάρους των κόκκων συμπεριλαμβανομένων των απροσπέλαστων ή των συνολικών κενών τους στον συνολικό όγκο.</p> <p>Υδροαπορροφητικότητα κόκκων στα κενά του όγκου τους.</p> <p>Η Υδροαπορροφητικότητα είναι έμμεσος τρόπος χαρακτηρισμού του πορώδους των κόκκων και της απορροφητικότητας γενικά.</p>	<p>ΣΚ-301 ΣΚ-302 ASTM C-127 ASTM C-128 ΕΛΟΤ EN1097-6</p>
Όριο Υδαρότητας	<p>Προσδιορισμός της περιεκτικότητας σε νερό στο όριο μεταξύ υδαρούς και στερεάς κατάστασης .</p> <p>Χρησιμοποιώντας την συσκευή Casagrande, ως όριο υδαρότητας ορίζεται η περιεκτικότητα σε νερό κατά την οποία το εδαφικό υλικό μετά από 25 χτυπήματα ρέει κατά μια απόσταση 1mm. Εφαρμόζεται στα αδρανή υλικά βάσης- υποβάσεων</p>	<p>ASTM D 854</p>
Όριο πλαστικότητας	<p>Προσδιορισμός της περιεκτικότητας σε νερό στην οποία το εδαφικό υλικό βρίσκεται στο όριο μεταξύ πλαστικής και ημι-στερεάς μορφής. Εφαρμόζεται στα αδρανή υλικά βάσης- υποβάσεων.</p>	<p>ASTM D 4318</p>
Δείκτης Πλαστικότητας	<p>Είναι η αριθμητική διαφορά μεταξύ του ορίου υδαρότητας και ορίου πλαστικότητας Εφαρμόζεται στα αδρανή υλικά βάσεων- υποβάσεων</p>	<p>ASTM D 4318</p>
Καλιφορνιακός Λόγος Φέρουσας Ικανότητας (CBR)	<p>Τρία δείγματα συμπυκνώνονται με πυκνότητα από 95-100% της μέγιστης ξηράς πυκνότητας και γίνεται υδροεμποτισμός για 96 ώρες. Κατόπιν έμβολο διεισδύσεως φορτίου 44,5N επικάθεται επάνω στο δοκίμιο με ταχύτητα 1,3mm/min.</p> <p>C.B.R.= διορθωμένη τιμή πίεσης x 100 πρότυπη πίεση.</p> <p>Εφαρμόζεται στα αδρανή υλικά βάσης - υποβάσεων</p>	<p>ASTM D 1883 AASHTO T-193 BS 1377</p>
Αντοχή σε απότριψη-(AAV - Aggregates Abrasion Value)	<p>Προσδιορίζεται η φθορά χονδρόκοκκων αδρανών πακτωμένων με ρητίνη σε μήτρα μορφής δίσκου που λειαινούνται με περιστρεφόμενο ελαστικό δίσκο υπό σταθερό φορτίο και με συνεχή παροχή λειαντικής άμμου και νερού στη διεπιφάνεια.</p>	<p>BS 812/75 ΕΛΟΤ EN1097-8</p>
Αντοχή σε θλίψη	<p>Μητρικό πέτρωμα συγκεκριμένων διαστάσεων σχήματος κυβικού ή καρτού υποβάλλεται σε θλίψη. Η δοκιμή εφαρμόζεται στα αδρανή σκυροδέματος, σύμφωνα με τον ισχύον κανονισμό, και στους βράχους θωράκισης.</p>	<p>ΕΛΟΤ 408 § 3.1 ΕΛΟΤ EN13383-2</p>

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.3.δ. : Δοκιμές Προσδιορισμού των Ιδιοτήτων των αδρανών σε θερμικές και καιρικές μεταβολές

<i>Δοκιμή</i>	<i>Σκοπός</i>	<i>Κανονισμοί</i>
Ανθεκτικότητα σε κύκλους ψύξης-απόψυξης	Δείγμα χονδρόκοκκων αδρανών (d/D) (συνήθη κλάσματα 4/8, 8/16, 16/32 mm), αφού πρώτα έχει εμβάπτιστεί σε νερό, υποβάλλεται σε 10 κύκλους ψύξης- απόψυξης. Η ανθεκτικότητα του σε ψύξη-απόψυξη προσδιορίζεται με βάση την ποσότητα του δείγματος με μέγιστο κόκκο $d/2$	ΕΛΟΤ EN1367-1
Ανθεκτικότητα στην αποσάθρωση με χρήση θειϊκού μαγνησίου (Υγεία πετρώματος)	Προσδιορίζεται η φθορά του υλικού όταν υποστεί κύκλους εμβάπτισης σε διάλυμα θειϊκού μαγνησίου. Οι δοκιμές προσομοιάζουν τους κύκλους ψύξης-απόψυξης και καθορίζουν την ανθεκτικότητα του υλικού σε παγετό σε συνδυασμό με τη υδροαπορροφητικότητα του με την πετρογραφική του δομή καθώς και με τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής. Είναι αναγκαίες προκειμένου για αδρανή εκτεθειμένα σε έντονες ατμοσφαιρικές επιδράσεις (εναλλαγές ακραίων θερμο-υγραμετρικών συνθηκών). Έχουν εφαρμογή σε όλα τα αδρανή.	ΕΛΟΤ EN1367-2 ASTM C 88
Προσδιορισμός σταθερότητας όγκου - συστολή ξήρανσης αδρανών	Εκτίμηση της επίδρασης των αδρανών στην συστολή του σκυροδέματος. Αυτή η δοκιμή βασίζεται στην μέτρηση της μεταβολής των διαστάσεων δοκιμίων σκυροδέματος πρότυπης σύνθεσης (με $D < 20$ mm) Εφαρμόζεται μόνο στα αδρανή σκυροδέματος. Είναι σκόπιμο να γίνεται σε χώρες της Ευρώπης όπου υπάρχει κίνδυνος ολικής ξήρανσης και που το σκυρόδεμα παρουσιάζει πιθανότητα ρωγματώσεις από συστολή οφειλόμενη στα αδρανή	ΕΛΟΤ EN1367-4
Προσδιορισμός της ανθεκτικότητας αδρανών σε θερμικό shock	Καθορίζει την διαφορά του συντελεστή Los Angeles των αδρανών πριν και μετά την θέρμανση τους στους 700° C. Εφαρμόζεται σε αδρανή ασφαλτομιγμάτων τα οποία υποβάλλονται σε θερμικό shock. (Κατά την παραγωγή ασφαλτομιγμάτων τα αδρανή στεγνώνονται πρώτα σε κλίβανο με φλόγιστρο.)	ΕΛΟΤ EN1367-5

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.3.ε. : Δοκιμές Προσδιορισμού των Χημικών Ιδιοτήτων των Αδρανών		
Δοκιμή	Σκοπός	Κανονισμοί
Χημική ανάλυση	Προσδιορίζονται οργανικές προσμίξεις και επιβλαβή συστατικά των αδρανών υλικών. Ανάλογα με την χρήση τους εφαρμόζεται το κατάλληλο άρθρο της μεθόδου.	ΕΛΟΤ EN1744-1
Προσδιορισμός Ευδιάλυτων Χλωριόντων (μέθοδος Volhard)	Προσδιορίζεται η περιεκτικότητα σε ευδιάλυτα χλωριόντα των αδρανών με τιτλοδότηση Volhard. Αποκλειστική εφαρμογή σε αδρανή θαλάσσιας προέλευσης που θα χρησιμοποιηθούν σε σκυρόδεμα. Αποτελεί πρότυπη μέθοδο (εναλλακτική μέθοδος EN1744-1, άρθρο 8)	ΕΛΟΤ EN1744-1 (άρθρο 7)
Προσδιορισμός Ευδιάλυτων Χλωριόντων (Ποτενσιομετρική μέθοδος)	Προσδιορίζεται η περιεκτικότητα σε ευδιάλυτα χλωριόντα των αδρανών με χρήση ποτενσιόμετρου. Εφαρμόζεται στα αδρανή σκυροδέματος, κατόπιν ειδικών απαιτήσεων (σκυρόδεμα εκτεθειμένο σε θαλάσσια άλατα κλπ)	ΕΛΟΤ EN1744-1 (άρθρο 8)
Προσδιορισμός των ευδιάλυτων στο νερό SO ₃	Προσδιορίζεται η περιεκτικότητα σε ευδιάλυτα SO ₃ από το σχηματισμό του ιζήματος BaSO ₃ σε όξινο περιβάλλον.	ΕΛΟΤ EN1744-1 (άρθρο 10)
Προσδιορισμός ολικού θείου	Προσδιορίζεται η περιεκτικότητα σε ολικό θείο με χρήση βρώμιου και νιτρικού οξέος. Εφαρμόζεται στα αδρανή σκυροδέματος καθώς και σε αδρανή βάσεων και υποβάσεων με ή όχι συνδετικό υλικό. Η ύπαρξη θειούχων ενώσεων σε αδρανή υλικά είναι δυνατόν να προκαλέσει διογκώσεις στο σκυρόδεμα	ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 11)
Προσδιορισμός ευδιάλυτων σε οξεία SO ₃	Προσδιορισμός της περιεκτικότητας των SO ₃ με χρήση HCl. Εφαρμόζεται στα αδρανή σκυροδέματος και βάσεων-υποβάσεων με ή χωρίς συνδετικό υλικό	ΕΛΟΤ EN1744-1 (άρθρο 12)
Προσδιορισμός οργανικών προσμίξεων	Προσδιορισμός της ύπαρξης οργανικών προσμίξεων με χρωματογραφική μέθοδο ελέγχου. Οι οργανικές προσμίξεις παρεμποδίζουν την πήξη και την σκλήρυνση σκυροδέματος ή κονιάματος, και είναι δυνατόν να χρωματίσουν τις επιφάνειες αυτών. Εφαρμόζεται σε αδρανή σκυροδέματος, κονιάματος και σε αδρανή βάσεων-υποβάσεων με ή χωρίς συνδετικό υλικό.	ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 15) ASTM C-33
Δυνητική Βλαπτικότητα Αδρανών σύμφωνα με την αλκαλοπυρρική αντίδραση	Προσδιορίζονται οι αλλοιώσεις του σκυροδέματος οι οποίες οφείλονται στην αντίδραση ορισμένων συστατικών των αδρανών υλικών με τα αλκάλια του τσιμέντου. Απαιτείται η πετρογραφική εξέταση του αδρανούς. Εφαρμόζεται κυρίως σε νέες πηγές λήψης αδρανών υλικών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε σκυρόδεμα. Σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές, σε περίπτωση που δεν υπάρχει μακροχρόνια εμπειρία σχετικά με τις πιθανές αλλοιώσεις που μπορεί να προκαλέσει ο συνδυασμός ενός αδρανούς νέας πηγής με το τσιμέντο τότε είναι αναγκαίο να ληφθούν τα ακόλουθα μέτρα: α) οριοθέτηση του συνολικού ποσοστού αλκαλίων στο σκυρόδεμα β) χρήση τύπου τσιμέντου με χαμηλή περιεκτικότητα σε αλκάλια γ) χρήση ενός μη βλαπτικού συνδυασμού αδρανών δ) οριοθέτηση του βαθμού κορεσμού του σκυροδέματος στο νερό	ASTM C-227 CEN Report CR1901

II.2.7. ΑΔΡΑΝΗ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Τα αδρανή υλικά με την προσθήκη ενός ή περισσότερων συνδετικών υλικών (κονιών), νερού και ενδεχομένως ειδικών προσθέτων σχηματίζουν κονίαμα.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, τα αδρανή αποτελούνται από λίθινους κόκκους, είτε φυσικούς οπότε ονομάζονται «φυσικά ή συλλεκτά αδρανή», είτε από κόκκους που προκύπτουν από τη θραύση πετρώματος ή τη θραύση φυσικών αδρανών οπότε ονομάζονται «θραυστά αδρανή»

Τα συνηθέστερα κλάσματα που χρησιμοποιούνται στα κονιάματα είναι τα λεπτόκοκκα αδρανή και το filler.

Τα κονιάματα ανάλογα με την χρήση τους διακρίνονται σε [74]:

Κονιάματα δόμησης (ή τοιχοποιίας)

Κονιάματα επιχρισμάτων

Κονιάματα εξίσωσης δαπέδων

Επισκευαστικά κονιάματα

Κονιάματα συγκολλητικά όπου υπάγονται και οι διάφορες κόλλες

Ειδικά κονιάματα

Η προσθήκη των αδρανών στα κονιάματα συνίσταται για οικονομικούς και τεχνικούς λόγους. Τα κονιάματα που παράγονται χωρίς προσθήκη αδρανών, συστέλλονται κατά την πήξη και σκλήρυνση, με αποτέλεσμα την δημιουργία επιφανειακών ρηγματώσεων. Από οικονομικής άποψης, τα αδρανή είναι πιο φθηνά υλικά από τις κονίες.

Για να χρησιμοποιηθούν στην παρασκευή κονιαμάτων, τα αδρανή υλικά θα πρέπει να ικανοποιούν συγκεκριμένες απαιτήσεις. Δεν πρέπει να περιλαμβάνουν επιβλαβείς προσμίξεις που θα επηρεάζουν την σταθερότητα, αντοχή και λοιπές ιδιότητες των κονιαμάτων. Η υγρασία τους δεν θα πρέπει να ξεπερνά σε ποσοστό το 3% και θα πρέπει να υπολογίζεται πάντα πριν τον καθορισμό των αναλογιών του κονιάματος [87].

Συγκεκριμένα, τα αδρανή των κονιαμάτων θα πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του ευρωπαϊκού προτύπου ΕΛΟΤ EN 13139/2002: *Αδρανή Κονιαμάτων (Aggregates for mortar)*.

Οι μέθοδοι βάσει των οποίων ελέγχονται τα αδρανή κονιαμάτων συνοψίζονται παρακάτω:

ΠΙΝΑΚΑΣ II.4. : Μέθοδοι ελέγχου αδρανών κονιαμάτων

ΣΚ-319, ΣΚ-324, ASTM D75 AASHTO-T2, ΕΛΟΤ EN 932-1:1996	Δοκιμές προσδιορισμού γενικών χαρακτηριστικών. Μέθοδοι δειγματοληψίας αδρανών υλικών
AASHTO T-248 ASTM C702 ΕΛΟΤ EN 932-2:2000	Δοκιμές προσδιορισμού γενικών χαρακτηριστικών. Μέθοδοι μείωσης εργαστηριακών δειγμάτων
ΣΚ-320, AASHTO- T27, ASTM C -136 ΕΛΟΤ EN 933-1:1998	Κοκκομετρική Ανάλυση Δοκιμές προσδιορισμού των γεωμετρικών χαρακτηριστικών αδρανών- Προσδιορισμός της κοκκομετρίας.
ASTM C-566 ΕΛΟΤ EN 1097-5:2000	Προσδιορισμός Φυσικής Υγρασίας Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών και φυσικών χαρακτηριστικών αδρανών - Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας με ξήρανση σε ξηραντήριο ανακυκλούμενου αέρα
ΣΚ 301, ΣΚ-302 ASTM C 127 ASTM C128 ΕΛΟΤ EN 1097-6:2000	Προσδιορισμός ειδικού βάρους και υδροαπορροφητικότητας χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων αδρανών Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών και φυσικών χαρακτηριστικών αδρανών - Προσδιορισμός ειδικού βάρους και υδροαπορροφητικότητας
ΣΚ-346, ASTM D-2419 ΕΛΟΤ EN 933-8:2000	Δοκιμή Ισοδυναμίου Αμμου Δοκιμές προσδιορισμού γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Ποιοτικός προσδιορισμός παιπάλης

ΕΛΟΤ EN 933-9:1999	Δοκιμές προσδιορισμού γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Ποιοτικός Προσδιορισμός Παιπάλης – Δοκιμή Μπλε του μεθυλενίου
ΕΛΟΤ EN 933-3:1997	Δοκιμές προσδιορισμού γεωμετρικών χαρακτηριστικών των αδρανών - Προσδιορισμός του δείκτη πλακοειδούς
ΣΚ-363 ASTM C-33 ΕΛΟΤ EN 1744-1:1999 (άρθρο 15-1)	Προσδιορισμός των οργανικών προσμίξεων στην άμμο με χρωματογραφική μέθοδο. Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών - Χημική ανάλυση – Προσδιορισμός των οργανικών προσμίξεων με υδροξείδιο του Νατρίου
ASTM C-87 ΕΛΟΤ EN 1744 (άρθρο 15-3)	Προσδιορισμός της επιρροής οργανικών προσμίξεων λεπτόκοκκων αδρανών στην αντοχή κονιάματος. Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών - Χημική ανάλυση - Προσδιορισμός των επιβλαβών οργανικών προσμίξεων με δοκιμή σε κονίαμα
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 7)	Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών - Χημική ανάλυση - Προσδιορισμός των ευδιάλυτων στο νερό Χλωριόντων (Μέθοδος Volhard)
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 8)	Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών - Χημική ανάλυση - Προσδιορισμός των ευδιάλυτων στο νερό Χλωριόντων (Ποτενσιομετρική Μέθοδος)
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 11)	Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών - Χημική ανάλυση - Προσδιορισμός του ολικού θείου
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 12)	Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών - Χημική ανάλυση - Προσδιορισμός των ευδιάλυτων σε οξύ θειϊκών ενώσεων
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 19.1, 19.2)	Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών - Χημική ανάλυση - Προσδιορισμός διάσπασης πυριτικού διασβεστίου και σιδήρου
ASTM C-295 ΕΛΟΤ EN 932-3:1996	Πετρογραφική και ορυκτολογική εξέταση
ASTM C-227	Δυνητική Βλαπτικότητα Αδρανών σύμφωνα με την μέθοδο της αλκαλοπυριτικής αντίδρασης

Όλα τα αδρανή θα πρέπει να προσδιορίζονται από άποψη κοκκομετρικής διαβάθμισης χρησιμοποιώντας τον χαρακτηρισμό d/D, όπου d η διάσταση των κόκκων της μικρότερης διαμέτρου και D η διάσταση των κόκκων της μέγιστης διαμέτρου. Τα συνηθέστερα κλάσματα είναι: 0/1 mm, 0/2 mm, 0/4mm, 0/8mm 2/4 mm, 2/8 mm. Στο ισχύον πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13139:2002 αναγράφονται τα χαρακτηριστικά και οι αντίστοιχες απαιτήσεις των αδρανών για κονιάματα γενικά, και παράλληλα ορίζονται οι μέθοδοι ελέγχων και δοκιμών.

Σύμφωνα με την οδηγία **89/106** της ΕΟΚ, που αφορά στα δομικά προϊόντα, κατάλληλα προς χρήση θεωρούνται αυτά που κατασκευάζονται για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις του έργου στο οποίο θα ενσωματωθούν και απαιτούν σήμανση CE, εφόσον υπάρχει σχετική εναρμονισμένη Τεχνική Προδιαγραφή.

Με την **ΚΥΑ 5328/122/2-3-2007 (ΦΕΚ386/Β/20-3-2007)** τα αδρανή που διατίθενται και χρησιμοποιούνται στις κατασκευές μετά την **1/4/2008** στη χώρα μας υποχρεωτικά πρέπει να φέρουν σήμανση CE και ανάλογα με τη χρήση τους να ακολουθούνται τα αντίστοιχα εναρμονισμένα ευρωπαϊκά πρότυπα ΕΛΟΤ EN.

Τα αδρανή, ανάλογα με τη χρήση τους αφορούν σε:

- Αδρανή για σκυρόδεμα (ΕΛΟΤ EN 12620)
- Αδρανή για ασφαλτικά (ΕΛΟΤ EN 13043)
- Αδρανή για έργα οδοποιίας (ΕΛΟΤ EN 13242)
- Αδρανή για κονιάματα (ΕΛΟΤ EN 13139:2002)

Τα αδρανή υλικά προέρχονται είτε από εξόρυξη κατάλληλων πετρωμάτων, είτε από φυσικές αποθέσεις. Χρησιμοποιούνται πλέον και τεχνητά αδρανή, που προέρχονται από επεξεργασία βιομηχανικών προϊόντων (συνθετικά) καθώς και ανακυκλούμενα αδρανή.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και οι ιδιότητές τους ελέγχονται ως προς α) τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά β) τα φυσικά χαρακτηριστικά γ) τα χημικά χαρακτηριστικά τους.

Στην κατηγορία των φυσικών χαρακτηριστικών των αδρανών τίθενται απαιτήσεις, μεταξύ άλλων, και για την κοκκομετρική διαβάθμισή τους, δηλαδή την % σύνθεση του αδρανούς σε κόκκους διαφόρων μεγεθών.

Βάσει του νέου πλαισίου η ονομασία των αδρανών καθορίζεται από την περιοχή των διερχόμενων από τα κόσκινα, ως d/D , όπου d το μέγεθος των κόκκων με τη μικρότερη διάμετρο και D το μέγεθος των κόκκων με τη μεγαλύτερη διάμετρο.

Ως άμμος καθορίζεται το υλικό το οποίο κατά 100% διέρχεται από το κόσκινο ανοίγματος οπής 2D και κατά 85-99% από το $D=4\text{mm}$.

Εισάγεται το μέγεθος $d/2$, ως απαιτούμενο χαρακτηριστικό των αδρανών, το οποίο αφορά στο μέγεθος του κόκκου (mm) από το οποίο διέρχεται το 50% του υλικού (δηλ. η παράμετρος Mediana που παρουσιάζεται παρακάτω).

Ως παιπάλη ορίζεται το διερχόμενο από το κόσκινο των 63 μm .

Για τα φυσικά αδρανή το ποσοστό της παιπάλης δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5% και για θραυστά αδρανή (για σκυρόδεμα) το ποσοστό της παιπάλης δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16%, σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 12620.

Καλά διαβαθμισμένα αδρανή, με διαστάσεις κόκκων που καλύπτουν όλο το φάσμα κατανομής, παρουσιάζουν λίγα κενά και απαιτούν μικρότερη ποσότητα συνδετικής ύλης, παρουσιάζοντας καλύτερη συνεκτικότητα και εργασιμότητα.

Κατά τον έλεγχο παραγωγής μιας μονάδας αδρανών, θα πρέπει τουλάχιστον το 90% των κοκκομετρικών διαβαθμίσεων των δειγμάτων που έχουν ληφθεί από διαφορετικές παρτίδες και εντός διαστήματος το πολύ 6 μηνών να είναι εντός των επιτρεπόμενων αποκλίσεων, σύμφωνα με τις δηλωθείσες από τον παραγωγό τυπικές κοκκομετρίες.

¹ Ν.ΛΙΤΙΝΑΣ, Υ.Δ.Π. ΑΕ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΤΙΤΑΝ, 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα, Μάιος 2008

Τα πρότυπα ΕΛΟΤ EN, ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου στο οποίο θα ενσωματωθούν τα αδρανή υλικά και την προέλευσή τους, καθορίζουν μια σειρά δοκιμών που πρέπει να εκτελεστούν και τα αποτελέσματά τους να δηλωθούν από τον παραγωγό.

Εφόσον από 1/4/2008 τα αδρανή που κυκλοφορούν στη χώρα μας πρέπει να ακολουθούν τα ευρωπαϊκά πρότυπα, που επιβάλλουν τη σήμανση CE, ο ισχύον ΚΤΣ'97 για το σκυρόδεμα δεν μπορεί να εφαρμοσθεί ως προς τα άρθρα που αφορούν στα αδρανή υλικά (εφόσον δεν έχουν αναθεωρηθεί), ενώ τα ίδια ισχύουν και για τα αδρανή οδοποιίας, ασφαλικών, κονιαμάτων και τις αντίστοιχες προδιαγραφές.

Το ερώτημα που τίθεται είναι πώς θα γίνεται ο έλεγχος της αγοράς με το ισχύον κανονιστικό πλαίσιο.

Παράλληλα, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι πολλά λατομεία λειτουργούν υπό καθεστώς αβεβαιότητας (ή χωρίς άδεια λειτουργίας) και δεν διατίθενται να προσαρμοστούν στις νέες απαιτήσεις που δημιουργούν τα νέα πρότυπα.

Υπάρχει άμεση ανάγκη αναθεώρησης των εθνικών κανονισμών για την προσαρμογή τους στην κοινοτική νομοθεσία και τις νέες προδιαγραφές που τίθενται για τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές.

Σημειώνεται ότι θα πρέπει να τεθούν αυστηρότερα κριτήρια για υλικά (αδρανή υλικά) που χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές, όπως είναι τα κονιάματα αποκατάστασης ιστορικών τοιχοποιιών.

ΠΡΟΤΑΣΗ: στα νέα πρότυπα ΕΛΟΤ EN για τα αδρανή τίθεται ως παράμετρος καθορισμού της κοκκομετρίας τους και ο δείκτης $d/2$ ή αλλιώς *Mediana*, όπως αναφέρεται στην παρούσα διδακτορική διατριβή. Για αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές θα μπορούσαν να τεθούν επιπλέον προδιαγραφές για αντίστοιχες παραμέτρους που προσδιορίζουν την κοκκομετρική καμπύλη των αδρανών, όπως οι δείκτες $Q_3(75\%)$, $Q_1(25\%)$ και D_{60} , D_{10} , από τους οποίους υπολογίζονται αντίστοιχα οι συντελεστές S_o (συντελεστής ταξινόμησης) και C_u (συντελεστής ομοιομορφίας). Οι δείκτες αυτοί αναλύονται διεξοδικά παρακάτω. Με τον τρόπο αυτό καθίσταται αυστηρότερος ο έλεγχος των ορίων της κοκκομετρικής καμπύλης, η οποία ουσιαστικά διαιρείται σε περισσότερα τμήματα.

Οι καμπύλες συγκεντρώνονται σε συγκεκριμένα αποδεκτά εύρη και ελέγχεται καλύτερα και πιο ολοκληρωμένα ο σχεδιασμός των συνθέσεων κονιαμάτων αποκατάστασης.

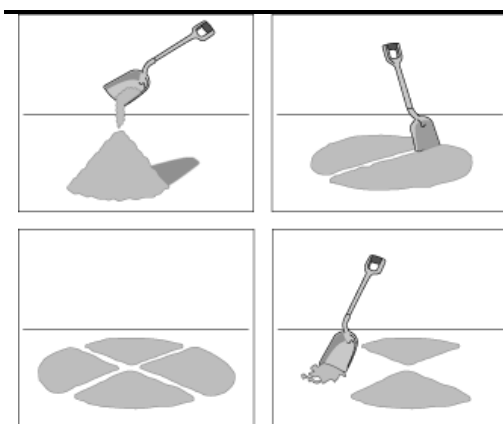
Ταυτόχρονα, εξασφαλίζεται η σταθερότητα των παρτίδων και η αναπαραγωγιμότητα των συνθέσεων.

II.3. ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ Β'

II.3.1. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η κοκκομετρική ανάλυση που λαμβάνει χώρα στα αδρανή υλικά προσδιορίζει το ποσοστό επί τοις εκατό της σύνθεσης του αδρανούς σε κόκκους διαφόρων μεγεθών. Επειδή στο εργαστήριο η εξέταση μιας μεγάλης ποσότητας δείγματος είναι πρακτικά δύσκολη, από το δείγμα των αδρανών που προσκομίζεται στο εργαστήριο επιλέγεται μικρότερη ποσότητα, αντιπροσωπευτική του όλου δείγματος. Η επιλογή του αντιπροσωπευτικού αυτού δείγματος γίνεται με δύο τρόπους: (α) με συσκευή διαχωρισμού δειγμάτων (sample splitter), (β) με τετραμερισμό [44].

Η διαδικασία του τετραμερισμού έχει ως εξής: το προς εξέταση δείγμα αδειάζεται προσεκτικά σε μια επίπεδη επιφάνεια ώστε να σχηματιστεί ένας κώνος. Στη συνέχεια με μία σπάτουλα ανακατεύεται το δείγμα λαμβάνοντας υλικό από τη βάση του κώνου και ρίχνοντάς το στην κορυφή του. Με την σπάτουλα επιπεδώνεται η κορυφή του κώνου και χωρίζεται το υλικό σε τέσσερα τεταρτημόρια. Απομακρύνονται τα δύο τεταρτημόρια και συγκρατείται το υλικό των δύο άλλων. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έτσι ώστε το τελικό προς εξέταση δείγμα να είναι το ένα τέταρτο περιήπου του αρχικού δείγματος.



Σχ. II.1. Διαδικασία τετραμερισμού

Η ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα δείγματος για την κοκκομετρική ανάλυση είναι 500 g για την άμμο και 5 kg για τα σκύρα μέγιστου κόκκου 30 mm. Ακολουθεί ξήρανση του δείγματος σε φούρνο. Πρακτικά η έκθεση του δείγματος στον ήλιο είναι αρκετή για την ξήρανση, όταν πρόκειται για εργασίες εργοταξίου.

Απαιτούμενα όργανα για την διεξαγωγή της κοκκομετρικής ανάλυσης είναι τα εργαστηριακά κόσκινα. Τα κόσκινα αυτά είναι κατασκευασμένα από κυλινδρικό μεταλλικό (ατσάλινο ή ορειχάλκινο) πλαίσιο διαμέτρου 200 ή 300 mm. Η επιφάνεια κοσκίνισματος είναι κατασκευασμένη από συρμάτινο πλέγμα με οπές τετραγωνικής μορφής. Ο αριθμός και ο τύπος που θα χρησιμοποιηθούν εξαρτάται από την πρότυπη σειρά κοσκίνων που χρησιμοποιείται κατά τη δοκιμή.

Στη χώρα μας τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα κόσκινα είναι:

α) Η σειρά των αμερικανικών κοσκίνων ή αμερικάνικα κόσκινα, όπως αυτά περιγράφονται στο πρότυπο **ASTM C136** [101]. Τα κόσκινα αυτά φέρουν οπές τετραγωνικής μορφής από πλέγμα και συμβολίζονται είτε με τον αριθμό των οπών που φέρουν ανά γραμμική ίντσα για τα πιο λεπτά (μέχρι το No 4), είτε με βάση το άνοιγμα της οπής σε ίντσες για τα μεγαλύτερου ανοίγματος. Έτσι το κόσκινο 3/4 in ή 3/4" δηλώνει αμερικάνικο κόσκινο οπής

3/4 της ίντσας (19 mm περίπου). Αντίστοιχα η ονομασία Νο 12 δηλώνει αμερικάνικο κόσκινο που φέρει 12 οπές ανά γραμμική ίντσα. (1 in=2,54 cm).

β) Η σειρά των γερμανικών κοσκίων **DIN** ή βάσει των ευρωπαϊκών κανονισμών **EN**, όπως καθορίζονται πλέον στο πρότυπο **EN13139:2002** και περιγράφονται και στο **EN 933.01** [100]. Φέρουν οπές τετραγωνικής μορφής και συμβολίζονται με το σύμβολο π που ακολουθείται από ένα αριθμό, που δηλώνει το άνοιγμα της οπής σε mm. Τα ευρωπαϊκά κόσκινα που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής: - πλέγματος: 0.063, 0.125, 0.25, 0.50, 1, 2mm - ελάσματος: 4 , 8 , 16 , 31.5 , 63 mm.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

Το προς εξέταση δείγμα τοποθετείται στο κόσκινο με τη μεγαλύτερη οπή, από το οποίο, ανάλογα με το είδος του δείγματος, διέρχεται όλη η ποσότητα. Στη συνέχεια με οριζόντιες και κάθετες κινήσεις, που περιοδικά συνοδεύονται με προσεκτικές ανατινάξεις του δείγματος, γίνεται το κοσκίνισμα του υλικού. Το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο συλλέγεται σε κατάλληλους πλατύστομους συλλέκτες. Η κοσκίνιση θεωρείται ότι έληξε όταν τοποθετώντας ένα άσπρο χαρτί κάτω από το κόσκινο διαπιστώνεται ότι δεν διέρχεται άλλο υλικό. Η διαδικασία της κοσκίνησης, όπως αυτή περιγράφεται παραπάνω, μπορεί να γίνει και με ειδικές μηχανές κοσκίνησης (sieve shakers). Στις συσκευές αυτές τα κόσκινα τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο με το κόσκινο μεγαλύτερης οπής στην κορυφή και τον υποδοχέα συλλογής του λεπτότερου υλικού στο τέλος. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτεί η χρήση των μηχανών αυτών για την διαπίστωση της λήξης της κοσκίνησης. Ανάλογα με το υλικό η κοσκίνιση διαρκεί συγκεκριμένο χρόνο.



Σχ. Π.2. Συσκευές κοσκίνησης αδρανών υλικών

Η ποσότητα του υλικού που παραμένει σε κάθε κόσκινο καλείται συγκρατούμενο και αυτή που πέρασε διερχόμενο. Τα συγκρατούμενα σε κάθε κόσκινο ζυγίζονται με ακρίβεια και το βάρος τους καταγράφεται. Στη συνέχεια μέσω υπολογισμών προσδιορίζεται το διερχόμενο βάρος και το ποσοστό (%) του διερχόμενου. Ο υπολογισμός του % διερχόμενου υλικού στο κόσκινο i δίνεται από τη σχέση :

$$\text{Διερχόμενο \% στο κόσκινο } i = (\text{διερχόμενο στο κόσκινο } i / \text{αρχικό βάρος δείγματος}) * 100$$

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης αποτυπώνονται σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα. Στο διάγραμμα αυτό στον οριζόντιο άξονα (X) εμφανίζεται η διάμετρος της οπής των κοσκίων και στον κατακόρυφο άξονα (Y) το ποσοστό του διερχόμενου υλικού. Ο οριζόντιος άξονας είναι σε λογαριθμική κλίμακα δεδομένου ότι είναι επιθυμητή η ανάπτυξη της περιοχής των μικρών διαμέτρων. Η συνένωση των σημείων του διαγράμματος δίνει μια πολυγωνική γραμμή που καλείται κοκκομετρική καμπύλη.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ

Παιπάλη ή filler χαρακτηρίζεται το λεπτόκοκκο υλικό που διέρχεται από το κόσκινο τετραγωνικής οπής διάστασης 63μm κατά EN. Η παιπάλη μπορεί να είναι άργιλος ή σκόνη από το ίδιο υλικό. Βρίσκεται είτε προσκολλημένη στους κόκκους του υλικού εμποδίζοντας την πρόσφυση των αδρανών με την κονία, είτε σχηματίζει συσσωματώματα δημιουργώντας αδύνατα σημεία στην μάζα του κονιάματος, ή ακόμη είναι διασκορπισμένη ομοιόμορφα μέσα στην μάζα του αδρανούς. Η παιπάλη έχει γενικά την ιδιότητα να αυξάνει την αναγκαία ποσότητα του νερού στο κονίαμα και να ελαττώνει αντίστοιχα την αντοχή του.

Για τον παραπάνω λόγο, σύμφωνα με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ.) για τα αδρανή που χρησιμοποιούνται στο σκυρόδεμα, το μέγιστο επιτρεπτό ποσοστό παιπάλης δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16% για την άμμο και το 1% για τα χονδρόκοκκα υλικά (σκύρα, γαρμπίλι, ρυζάκι) [73,74]. Για τα κονιάματα το ποσοστό της παιπάλης της άμμου δεν μπορεί να υπερβαίνει το 5% (ΕΛΟΤ EN 13139:2002).

Στο ασφαλτικό σκυρόδεμα και για την στρώση κυκλοφορίας το ποσοστό παιπάλης των αδρανών πρέπει να βρίσκεται μεταξύ 5-12 %. Μεγάλο ποσοστό παιπάλης δίνει στο ασφαλτικό σκυρόδεμα μεγάλη πλαστιμότητα. Επειδή η παιπάλη έχει την ιδιότητα να προσκολλάται πάνω στο χονδρόκοκκο υλικό, ο διαχωρισμός της από αυτό με τον συνήθη τρόπο κοσκινίσματος είναι αρκετά δύσκολος και όχι πλήρης. Γι'αυτό και ο προσδιορισμός της γίνεται με έκπλυση.

Για τον εργαστηριακό προσδιορισμό της παιπάλης ενός δείγματος άμμου ξηραίνονται σε φούρνο (105°C) περίπου 500 g άμμου. Το δείγμα εισάγεται, αφού ζυγιστεί, στη χρησιμοποιούμενη πρότυπη σειρά κοσκίνων και εκτελείται η δοκιμή της κοκκομετρίας. Το υλικό που συγκεντρώνεται κάτω από το κόσκινο των 63μm χαρακτηρίζεται ως η παιπάλη της εξεταζόμενης άμμου και αναγόμενη στην αρχική μάζα του υλικού εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό.



Για την σύγκριση αποτελεσμάτων διαφορετικών κοκκομετρικών καμπυλών έχουν αναπτυχθεί διάφορες παράμετροι. Ωστόσο, βασική παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για την σύγκριση των κοκκομετρικών καμπυλών είναι ο μέγιστος κόκκος του αδρανούς υλικού. Σύγκριση γίνεται μεταξύ αδρανών με τον ίδιο μέγιστο κόκκο.

Ανάλογα με το σύστημα κατάταξης – πρότυπο που χρησιμοποιείται ορίζονται διαφορετικές διάμετροι κόκκων για την διαφοροποίηση π.χ. του κλάσματος της άμμου από το κλάσμα της παιπάλης – αργιλικών ή το κλάσμα των χαλικιών.

Στον τομέα της Μηχανικής (Engineering) ο διαχωρισμός των κλασμάτων των αδρανών είναι: παιπάλη/άργιλος – άμμος – χαλίκια.

II.3.2. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΩΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Μέσω μαθηματικής επεξεργασίας των ποσοστών των κλασμάτων μιας κοκκοδιαβάθμισης, είναι δυνατόν να εξαχθούν παράμετροι και δείκτες που εκφράζουν στατιστικά τους κύριους χαρακτήρες κάθε ιστογράμματος κατανομής [95,96].

Οι κοκκομετρικές κατανομές μπορούν να αντιμετωπισθούν ως κατανομές συχνότητας ενός οποιουδήποτε χαρακτήρα στατιστικά μεταβλητού, λαμβάνοντας ποσοτικά δεδομένα και ειδικότερα δεδομένα [95,97]:

1. προσδιορισμού της “κεντρικής τάσης” (μέση τιμή κατανομής, διάμεση ή διχοτόμος τιμή κατανομής, συχνότερη ή πιθανότερη τιμή κατανομής)
2. προσδιορισμού της διασποράς από την μέση τιμή κατανομής
3. προσδιορισμού της ασυμμετρίας (skewness)
4. προσδιορισμού της κύρτωσης (kurtosis)

Αυτοί οι προσδιορισμοί μπορούν να προέλθουν από έναν ακριβή αναλυτικό υπολογισμό όταν η κατανομή είναι κλειστή στα άκρα, δηλαδή όταν είναι γνωστό το ανώτατο και το κατώτατο όριο είναι δυνατόν να υπολογιστούν οι ροπές όπως η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, ο βαθμός ασυμμετρίας, ο βαθμός κύρτωσης [97].

Το κλάσμα που περιέχει την μεγαλύτερη σχετική ποσότητα των κόκκων ονομάζεται κλάσμα μέγιστης συχνότητας ή συχνότερη τιμή κατανομής (**Moda**). Εκτός από την κύρια συχνότερη τιμή κατανομής μπορεί να υπάρχουν και άλλες συχνότερες τιμές κατανομής, μικρότερες από την κύρια. Αν υπάρχει μόνο μία συχνότερη τιμή κατανομής η κατανομή ονομάζεται *μονοκόρυφη*. Αντίθετα, όταν οι συχνότερες τιμές κατανομής είναι περισσότερες από μία τότε αναφερόμαστε σε δικόρυφες, τρικόρυφες κ.ο.κ. ανάλογα με τον αριθμό των συχνότερων τιμών που παρουσιάζει μια συγκεκριμένη κατανομή [96].

Η παρουσία δύο ή περισσότερων συχνότερων τιμών αντανακλά τη μίξη διαφορετικών πληθυσμών ή την έλλειψη ορισμένων κοκκομετρικών κλάσεων. Ιζήματα δικόρυφων ή πολυκόρυφων κατανομών μπορούν να βρεθούν στις κοίτες ποταμών ή χειμάρρων. Για την προέλευσή τους θα μπορούσε να υποθεθεί ότι μερικές φορές το ρεύμα ήταν ικανό να μεταφέρει και να εναποθέσει, σχεδόν ταυτόχρονα, υλικά διαφορετικής κοκκομετρίας ή άλλες φορές ήταν ικανό να εναποθέσει ή χαλίκι ή άμμο σε συνάρτηση με την ταχύτητα και τη δύναμη του ρεύματος. [96].

Χαρακτηριστική παράμετρος μιας κατανομής είναι και η διασπορά ή μεταβλητότητα. Αυτή η παράμετρος είναι υψηλή όταν στο αδρανές υπάρχουν πολλά κλάσματα κόκκων με διαφορετικές διαμέτρους και χαμηλή όταν οι κόκκοι είναι κατανομημένοι σε λίγα κλάσματα κοντά στην συχνότερη τιμή. Έτσι, το ιστόγραμμα μιας κατανομής μπορεί να είναι συμμετρικό ή ασύμμετρο. Η ασυμμετρία (**skewness**) υποδηλώνει υπεροχή ή περίσσεια λεπτών κόκκων ή χονδρών κόκκων σε σχέση με την συχνότερη τιμή κατανομής. [96,97].

Οι ίδιες παράμετροι ισχύουν, αλλά είναι λιγότερο εμφανείς, και στις αθροιστικές καμπύλες κατανομής. Μεταξύ αυτών η πιο εμφανής είναι η διασπορά: όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση του κεντρικού τμήματος της αθροιστικής καμπύλης κατανομής τόσο μικρότερο είναι το εύρος του κοκκομετρικού φάσματος. [96].

Οι παραπάνω διαφορές σε ποιοτικό επίπεδο αντανακλούν σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό την ιζηματολογία, τις συνθήκες μεταφοράς και εναπόθεσης των κλαστών, την προέλευσή τους και ενδεχομένως τις μετέπειτα μετατροπές εναπόθεσης (π.χ. η διαγένεση μπορεί να αυξήσει την αναλογία λεπτών και λεπτότατων σε διάμετρο υλικών) [96].

Ο συντελεστής ασυμμετρίας (skewness) εκφράζει την ομοιογένεια ενός πληθυσμού κόκκων. Μια συμμετρική καμπύλη είναι συνήθως μονοκόρυφη και log-κανονική, ενώ ένας συντελεστής ασυμμετρίας πολύ υψηλός αντιστοιχεί συχνά σε δικόρυφες, τρικόρυφες κ.ο.κ.

κατανομές. Η ασυμμετρία είναι αρνητική όταν υπάρχει ουρά ή υπεροχή χονδρόκοκκων υλικών σε σχέση με την συχνότερη τιμή κατανομής και θετική όταν υπάρχει περίσσεια λεπτόκοκκων υλικών. Η ασυμμετρία μιας κατανομής μπορεί να οφείλεται:

- στο ότι σε έναν αρχικό πληθυσμό κόκκων προστίθενται και αναμιγνύονται στη συνέχεια υλικά ενός άλλου πληθυσμού κόκκων
- στο ότι στην ίδια αφαιρούνται κόκκοι ορισμένων κοκκομετρικών κλάσεων

Η ασυμμετρία, λοιπόν, εκφράζει την επιλεκτική δράση των μηχανικών φαινομένων, μολονότι οι ενδείξεις της από μόνες τους δεν είναι πάντα καθαρές και μονοσήμαντες. Το ίδιο μπορεί να ειπωθεί και για την κύρτωση (**kurtosis**) που δίνει μια εικόνα του βαθμού απόκλισης της κατανομής από την κύρια συχνότερη τιμή. [95,96].

Πιο γρήγορη, αλλά λιγότερο ακριβής, είναι η γραφική μέθοδος βασισμένη στη χρήση των επί τοις εκατό τμημάτων και ο γραφικός προσδιορισμός τους από την αθροιστική ημιλογαριθμική καμπύλη κατανομής. Το 25% και το 75% της κατανομής ονομάζονται αντίστοιχα I και III τεταρτημόριο, γιατί μαζί με το 50% διαιρούν σε 4 τμήματα την κατανομή και το πεδίο της αθροιστικής καμπύλης κατανομής. Το 50% της κατανομής ονομάζεται διάμεση ή διχοτόμος τιμή της κατανομής (**Mediana**). Η διάμεση τιμή είναι μια από τις τιμές κεντρικής τάσης, όπως επίσης και η συχνότερη (**Moda**) και η μέση τιμή κατανομής (**Media**). Οι τρεις αυτές τιμές της κεντρικής τάσης κατανομής δεν πρέπει να συγχέονται μεταξύ τους π.χ. η διάμεση τιμή (**Mediana**) εκφράζει το “γεωμετρικό κέντρο” της κατανομής και η μέση τιμή (**Media**) το “κέντρο βάρους” της κατανομής. Διάμεση και μέση τιμή απέχουν τόσο πιο πολύ μεταξύ τους όσο πιο ασύμμετρη είναι η καμπύλη κατανομής. Η μέση τιμή μεταφέρεται προς την “ουρά” ενώ η διάμεση τιμή μένει πιο κοντά στην συχνότερη τιμή. Μόνο στην περίπτωση τέλει συμμετρίας οι 3 παράμετροι συμπίπτουν. Στην περίπτωση αυτή η καμπύλη χαρακτηρίζεται ως κανονική κατανομή ή κατανομή Gauss. [96,97].

Ευρέως χρησιμοποιούνται και οι τιμές οι εκφραζόμενες σε mm των τεταρτημορίων από όπου λαμβάνεται γραφικά ο λεγόμενος δείκτης ταξινόμησης (**Sorting Index, So**) ($So = Q3 / Q1$), όπου $Q1$: 1^ο τεταρτημόριο στο 25% της κατανομής και $Q3$: 3^ο τεταρτημόριο στο 75% της κατανομής. Όταν ο δείκτης είναι $So < 2.5$ το αδρανές είναι καλά ταξινομημένο, όταν ο δείκτης είναι $So \{2.5-4.5\}$ το αδρανές είναι κανονικά ταξινομημένο και όταν ο δείκτης είναι $So > 4.5$ το αδρανές χαρακτηρίζεται κακώς ταξινομημένο.

Στην ιζηματολογία ο δείκτης ταξινόμησης εκφράζει την επιλεκτική ικανότητα ταξινόμησης του μέσου μεταφοράς, δηλαδή την ικανότητά του να παρασύρει ή να εναποθέτει κόκκους. Τα ιζήματα περισσότερο ταξινομημένα ή με μικρότερο φάσμα κατανομής είναι οι άμμοι της θάλασσας και τα ιζήματα τα λιγότερο ταξινομημένα είναι τα ιζήματα των παγετώνων και ποταμών, δηλαδή εκείνα που μεταφέρονται πρώτα από τους παγετώνες και μετά από τους ποταμούς ή όλα εκείνα που εναποτίθενται σχεδόν ακαριαία και μετά θάβονται χωρίς να καθαρίζονται. [96].

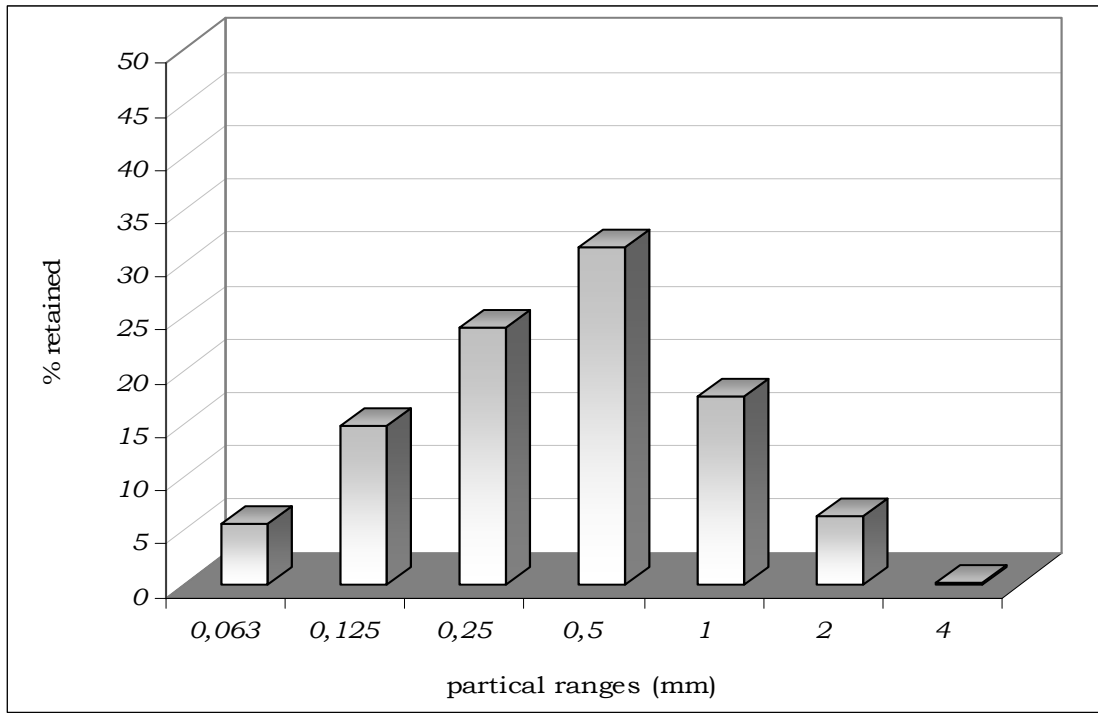
Οι στατιστικές παράμετροι είτε ως ροπές είτε οι προσεγγίσεις των ίδιων (γραφικές παράμετροι) θεωρητικά είναι αμοιβαία ανεξάρτητες. Στην πραγματικότητα όμως, δηλαδή στη φύση, παρατηρείται πως μπορούν να είναι και συσχετισμένες μεταξύ τους. Έτσι κατά μήκος της κατεύθυνσης ενός ρεύματος νερού ελαττώνονται οι μέσες και μέγιστες διαστάσεις των ιζημάτων, ενώ αυξάνει γενικά η ταξινόμηση. Άλλες φορές μένει αμετάβλητη η ταξινόμηση και μειώνεται η ασυμμετρία. Στις θαλασσινές άμμους η ασυμμετρία τείνει στο μηδέν, ενώ ιλύς και άργιλοι παρουσιάζουν ασυμμετρία.

Γενικά ο πιο χαμηλός συντελεστής ή δείκτης ταξινόμησης So (**Sorting Index**) παρουσιάζεται σε μια διάμεση τιμή κατανομής 0,1-0,2mm (λεπτόκοκκη άμμος). Η ταξινόμηση χειροτερεύει για τιμές μεγαλύτερες και μικρότερες από αυτή της διάμεσης τιμής κατανομής.

Για την σχηματική κατανοήση των παραπάνω παραμέτρων παρατίθεται ακολούθως το ιστόγραμμα κατανομής και η κοκκομετρική καμπύλη τυχαίου αδρανούς υλικού.

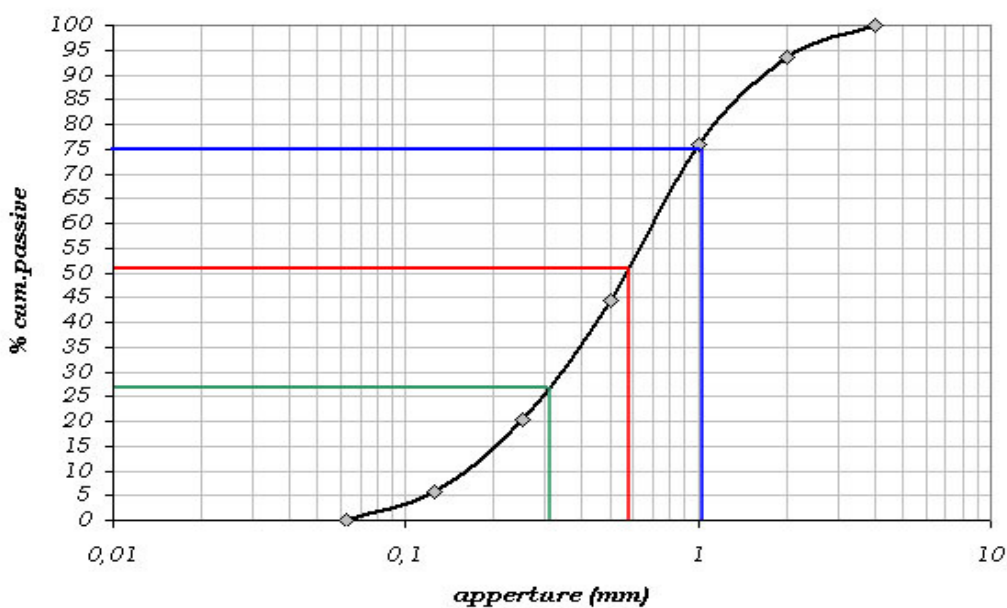
Στο ιστόγραμμα κατανομής, ο άξονας των Χ αντιπροσωπεύει τις διάφορες κοκκομετρικές κλάσεις σε mm (particle ranges), ενώ ο άξονας των Υ αφορά στο ποσοστό της συγκρατούμενης μάζας σε κάθε κλάση κόκκων (% retained).

Στο συγκεκριμένο ιστόγραμμα η συχνότερη τιμή κατανομής (Moda) βρίσκεται στο διάστημα 0,5-1,0mm στο οποίο λαμβάνει την μονοσήμαντη τιμή 0,707mm, όπως θα αναλυθεί παρακάτω. Το ιστόγραμμα παρουσιάζει μονοκόρυφη κατανομή με θετική ασυμμετρία και αρνητική κύρτωση.



Διάγραμμα II.α: Ιστόγραμμα κατανομής μεγέθους κόκκων αδρανούς υλικού

Moda : 0.707 / Skewness : 0,3524 / Kurtosis : -0,9185



Διάγραμμα II.β: Κοκκομετρική καμπύλη αδρανούς υλικού

Mediana(50%) : 0.51 / Q3 : 1.00 / Q1 : 0.3

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατίθεται η αντίστοιχη κοκκομετρική καμπύλη του εν λόγω ιστογράμματος σε ημιλογαριθμική κλίμακα.

Ο άξονας των X εκφράζει τις κοκκομετρικές κλάσεις των αδρανών [aperture(mm)] σε δεκαδική λογαριθμική κλίμακα, ενώ στον άξονα των Y εμφανίζεται το αθροιστικά διερχόμενο ποσοστό (% cumulative passive) της μάζας των αδρανών για κάθε κλάση κόκκων.

Στο αθροιστικό αυτό διάγραμμα κατανομής η διχοτόμος τιμή (Mediana), δηλ. η διάμετρος των κόκκων που αντιστοιχεί στο 50% της κατανομής και υπολογίζεται γραφικά λαμβάνει τιμή 0,51. Ο δείκτης ή συντελεστής ταξινομήσης S_o (Sorting Index), που υπολογίζεται επίσης γραφικά από την αναλογία του μεγέθους των κόκκων που αντιστοιχούν στο ποσοστό του αθροιστικά διερχόμενου στο 75% και στο 25% της κατανομής λαμβάνει τιμή 3,33 και υποδηλώνει ένα κανονικά ταξινομημένο αδρανές.

Από τα ιστογράμματα κατανομής μέσω στατιστικής επεξεργασίας υπολογίζονται οι τιμές ασυμμετρίας και κύρτωσης κατά Anderson – Darling [99].

Όταν η τιμή ασυμμετρίας είναι θετική η κατανομή έχει “ουρά” προς τα δεξιά, δηλαδή περίσσεια λεπτόκοκκου υλικού, ενώ η τιμή της είναι αρνητική όταν η κατανομή παρουσιάζει “ουρά” προς τα αριστερά, δηλαδή περίσσεια χονδροκόκκου υλικού. Όταν η τιμή της είναι μηδέν (0) η κατανομή είναι συμμετρική.

Αντίθετα η κύρτωση είναι θετική όταν η κατανομή παρουσιάζεται πιο οξεία από την κανονική, ενώ είναι αρνητική όταν παρουσιάζεται αμβλεία σε σχέση με την κανονική κατανομή. Όταν η τιμή είναι μηδέν (0) έχουμε κανονική κατανομή.

Τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτουν εφαρμόζοντας Παραμετρική Στατιστική Ανάλυση (**Descriptive Statistics Analysis**) στο πλήθος των δεδομένων που αφορούν στο % συγκρατούμενο στα κόσκινα υλικό, όπως θα παρουσιαστεί αναλυτικά παρακάτω. Η παραπάνω ανάλυση εφαρμόζεται μέσω του *Excel*, ενεργοποιώντας την εφαρμογή *Analysis Toolpack* (Πακέτο Ανάλυσης Δεδομένων).

Προκειμένου να ερμηνευτούν και ποιοτικά οι παραπάνω δείκτες σημειώνονται τα ακόλουθα παραδείγματα [95].

π.χ.

- Ιστόγραμμα κατανομής παρουσιάζει θετική ασυμμετρία και θετική κύρτωση. Μπορεί να υποτεθεί ότι τα αδρανή είναι θαλασσινής προέλευσης
- Ιστόγραμμα κατανομής παρουσιάζει θετικούς δείκτες ασυμμετρίας και κύρτωσης με δικόρυφη κατανομή. Ταυτόχρονα ο δείκτης ταξινομήσης αντικατοπτρίζει ένα κακώς κατανομημένο αδρανές λόγω της παρουσίας αδρανών μεγάλων διαμέτρων. Μπορεί να υποτεθεί ότι το αδρανές προέρχεται από την κοίτη κάποιου ποταμού ή χειμάρρου.
- Ιστόγραμμα κατανομής με θετικό δείκτη ασυμμετρίας, αρνητικό δείκτη κύρτωσης και μονοκόρυφη κατανομή. Ο δείκτης ταξινομήσης παρουσιάζει σχετικά χαμηλές τιμές με μικρή απόκλιση μεταξύ τους και με μέση τιμή που υποδηλώνει κανονικά ταξινομημένο αδρανές. Οι παράμετροι κατανομής παρουσιάζουν σχετικά μικρές αποκλίσεις με την κεντρική τάση κατανομής σε χαμηλές τιμές. Μπορεί να υποτεθεί ότι το αδρανές είναι θαλασσινής προέλευσης
- Ιστόγραμμα κατανομής παρουσιάζει δικόρυφη κατανομή με αρνητική ασυμμετρία και κύρτωση. Ο δείκτης ταξινομήσης λαμβάνει μεγάλες τιμές, υποδηλώνοντας κακώς ταξινομημένο αδρανές. Οι παράμετροι κατανομής εμφανίζουν μεγάλη ανομοιομορφία υποδηλώνοντας ιζηματογενές αδρανές μεγάλης ανομοιογένειας. Τα παραπάνω υποδηλώνουν μίξη αδρανών διαφορετικής φύσης.

- Ιστόγραμμα ευρείας κατανομής που χαρακτηρίζεται από θετική ασυμμετρία και κύρτωση. Ο δείκτης ταξινόμησης παρουσιάζει μεγάλες διαφορές υποδηλώνοντας κακώς ταξινομημένο αδρανές. Οι παράμετροι κατανομής παρουσιάζουν μεγάλη ανομοιομορφία και μίξη διαφορετικών πληθυσμών κόκκων. Μπορεί να υποτεθεί ότι το αδρανές προέρχεται πιθανότατα από χείμαρρο.
- Ιστόγραμμα με μονοκόρυφη κατανομή και παρουσία μικρού ποσοστού κόκκων >1mm, με θετική ασυμμετρία και αρνητική κύρτωση, με δείκτη ταξινόμησης που υποδηλώνει κακώς ταξινομημένο αδρανές και παραμέτρους κατανομής που παρουσιάζουν ανομοιομορφία αντικατοπτρίζει ανομοιογενείς πληθυσμούς. Η προέλευση της άμμου είναι πιθανότατα ποταμίσια.

II.3.3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ - ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ

Η κοκκομετρική ανάλυση αφορά στην μαθηματική επεξεργασία των δεδομένων που προκύπτουν από την κοκκοδιαβάθμιση ενός αδρανούς υλικού (άμμου), κατόπιν ξήρασης του δείγματος και εισαγωγής σε πρότυπη σειρά κοσκίνων.

Κατά την αναλυτική επεξεργασία των εργαστηριακών δεδομένων σε worksheets του Excel σημειώνονται τα ακόλουθα, όπως φαίνεται και στο σχετικό *Παράδειγμα Ανάλυσης Κοκκομετρίας* που ακολουθεί:

Η αρχική μάζα του δείγματος της άμμου που εισήχθη στα κόσκινα σημειώνεται σε συγκεκριμένο μεμονωμένο κελί του worksheet [$M_{\text{start}}(\text{g})$].

Παρακάτω, στην πρώτη στήλη καταγράφονται οι οπές της πρότυπης σειράς κοσκίνων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εργαστηριακή δοκιμή. Εν προκειμένω, 4-2-1-0,5-0,25-0,125-0,063mm είναι τα ανοίγματα των βρογχίδων των κοσκίνων στην κοκκομετρική ανάλυση κατά EN.

Στη δεύτερη στήλη (retained) καταγράφονται οι μάζες σε (g) του υλικού που συγκρατήθηκε σε κάθε κόσκινο, όπως ζυγίστηκαν εργαστηριακά.

Στην τρίτη στήλη υπολογίζεται το ποσοστό (%) της συγκρατούμενης μάζας σε κάθε κόσκινο (% retained). Ο υπολογισμός γίνεται επί του συνόλου της μάζας της άμμου που εισήχθη στα κόσκινα, χωρίς να προσμετράται σε αυτό η παιπάλη του δείγματος, το υλικό δηλαδή που διέρχεται από το κόσκινο των 63μm.

Η φόρμουλα υπολογισμού είναι:

$$[\text{Συγκρατούμενη μάζα (g) / συνολική μάζα άμμου χωρίς την παιπάλη (g)}] * 100\%$$

Στην τέταρτη στήλη υπολογίζεται το ποσοστό (%) του αθροιστικά συγκρατούμενου σε κάθε κόσκινο υλικού (% cum.retained). Δηλαδή, επί παραδείγματι, στο κόσκινο του 1mm το % αθροιστικά συγκρατούμενο ποσοστό άμμου προκύπτει αθροίζοντας το % αθροιστικά συγκρατούμενο από το κόσκινο των 2mm με την % συγκρατούμενη μάζα στο κόσκινο του 1mm.

Στην πέμπτη στήλη υπολογίζεται το ποσοστό (%) του αθροιστικά διερχόμενου υλικού από κάθε κόσκινο. Η φόρμουλα είναι απλή: από το 100 αφαιρείται το ποσοστό του αθροιστικά διερχόμενου υλικού από κάθε κόσκινο.

Από την παραπάνω κοκκομετρική ανάλυση προκύπτει το αντίστοιχο διάγραμμα της κοκκομετρικής καμπύλης του αδρανούς (gradation curve), όπου στον άξονα των X παρατίθενται σε λογαριθμική κλίμακα οι οπές των κοσκίνων σε mm και στον άξονα των Y τα ποσοστά (0-100) του αθροιστικά διερχόμενου υλικού από κάθε κόσκινο (% cum.passive). Με αυτόν τον τρόπο προκύπτει η κοκκομετρική καμπύλη του αδρανούς.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Σε καμία από τις κοκκομετρικές καμπύλες που διαμορφώνονται δεν σημειώνεται το ποσοστό της παιπάλης που συγκρατείται κάτω από τα 63μm. Τα αδρανή αντιμετωπίζονται στη φάση της ανάλυσης στο Excel ως καθαρά υλικά και η κοκκομετρική τους καμπύλη ξεκινά από το "0" και καταλήγει στο "100" (κλειστές κατανομές), δεδομένου ότι ενδιαφέρει η κατανομή των κόκκων των αδρανών για την περαιτέρω στατιστική επεξεργασία και συγκριτική αξιολόγηση.

Το ποσοστό της παιπάλης μετράται εργαστηριακά και σημειώνεται ξεχωριστά ως φυσικό χαρακτηριστικό του αδρανούς υλικού.

Παράδειγμα Ανάλυσης Κοκκομετρίας

ΛΗΜΜΕ ΙΣΤΑΜΜΟΥ

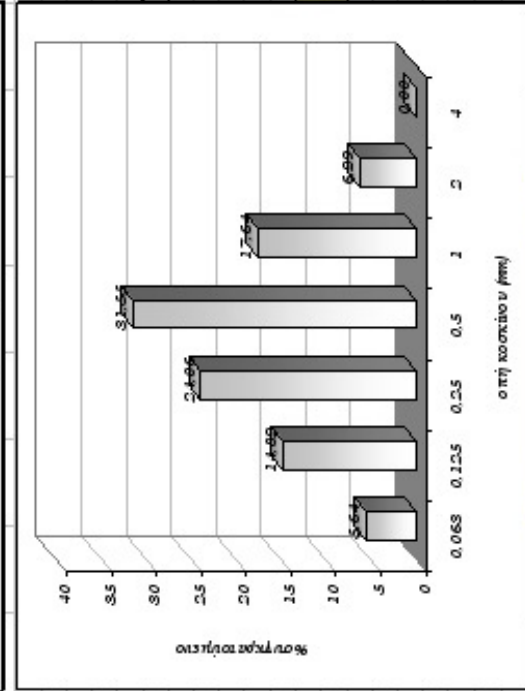
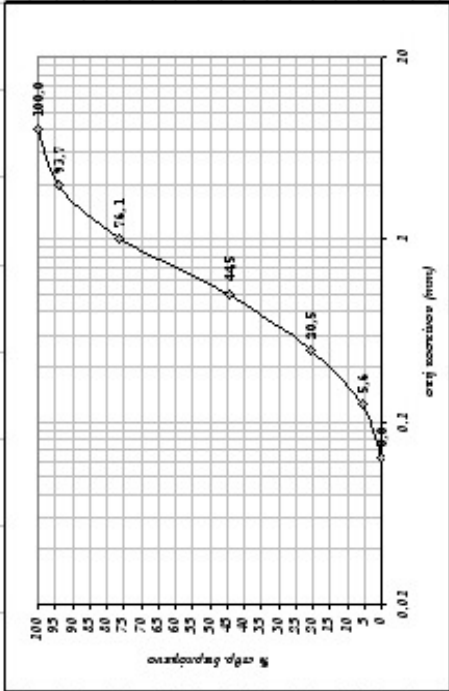
Gradation Curve / EN1				
M_{max} [g]	100,903			
apperture [mm]	mesh size	% cum. retained	% cum. passed	% cum. passed
4	0	0.00	0.00	100.00
2	6.019	6.29	6.29	93.71
1	16.875	27.64	23.33	76.08
0.5	30.182	31.55	55.47	44.53
0.35	39.017	24.06	79.59	20.47
0.125	14.189	24.82	94.96	5.64
0.063	5.4	5.64	100.00	0.00
ΣΜΜ	95.67	101.45		
σφάλμα (%)	5.1862			
πυκνότητα (%)	1.8776			

Μέσος [mm] (μέση τιμή κοκκομέτρης) : $\sum f_i m_i / \sum f_i$

mm	m_i	f_i	$f_i m_i^2$	$f_i m_i$	$m_i f_i$
16-8	11.31	137.93	0	0.00	0.00
8-4	5.75	33.06	0.00	0.00	0.00
4-2	2.83	8.01	6.29	50.34	17.79
2-1	1.414	2.00	27.64	35.27	24.94
1-0.5	0.707	0.50	81.55	15.77	23.30
0.5-0.35	0.354	0.13	24.06	3.01	8.52
0.35-0.125	0.177	0.03	24.82	0.46	2.62
0.125-0.063	0.088	0.01	5.64	0.04	0.50
ΣΜΜ			104.90	76.67	
ΣΜΜ			11	5372.81	

MEDIA $M = \sum f_i m_i / \sum f_i$	0.767	Q3	0.1
$\sigma = \sqrt{\sum f_i (m_i^2 / \sum f_i) - M^2}$	0.679	Q3	0.25
σ: τυπική απόκλιση			
MEDIA (50%) (δηλαδή η άκρη που είναι η μέση)	0.510		
MODA (ακρότατη ή κλειστότερη τιμή)	0.707		
SORTING INDEX (SI): $Q3/Q1$ (συμβολισμός ομοεπιπέδου)	3.84		

Density	1.472 g/cm ³	D60	0.7
% voids	37%	D10	0.16
		Cu	4.375



Descriptive Statistics Analysis	
	f _i
Mean	11.8689
Standard Error	3.84876
Median	10.0076
Standard Deviation	10.8859
Sample Variance	118.504
Kurtosis	-0.9277
Skewness	0.52257
Range	29.9119
Minimum	0
Maximum	29.9119
Sum	94.9516
Count	8
Largest(1)	29.9119
Smallest(1)	0
Confidence Level(95.0%)	9.10087

Kurtosis: -0.91853
Skewness: 0.35243

II.3.3.1. Στατιστική Επεξεργασία Δεδομένων Κοκκομετρικής Ανάλυσης

Το επόμενο στάδιο στην κοκκομετρική ανάλυση αφορά στην εξαγωγή του ιστογράμματος κατανομής μεγέθους κόκκων του αδρανούς και στον προσδιορισμό της μέσης τιμής της κατανομής (**MEDIA**) του αδρανούς, που αποτελεί χαρακτηριστική στατιστική παράμετρο για κάθε αδρανές που εξετάζεται. Ο προσδιορισμός της μέσης τιμής κατανομής (**MEDIA**) στηρίζεται σε μαθηματικά μοντέλα που ισχύουν στην εδαφομηχανική και στην ιζηματολογία και τα οποία είναι δυνατό να εφαρμοσθούν και στην ανάλυση υλικών όπως οι άμμοι και τα χαλίκια.

Για τον υπολογισμό της μέσης τιμής της κατανομής, η οποία εκφράζει ουσιαστικά το κέντρο βάρους της κατανομής, εφαρμόζεται η φόρμουλα:

$$(\sum f_i m_i) / N$$

όπου,

f_i : το ποσοστό (%) της συχνότητας (frequency) με την οποία εμφανίζεται μια κλάση κόκκων στην κοκκομετρική κατανομή

m_i : το μέσον του εύρους των κόκκων, δηλαδή της κάθε κλάσης κόκκων που εμφανίζεται στην κατανομή

N : το συνολικό ποσοστό (100%) στο οποίο γίνεται αναγωγή των μετρούμενων μαζών του υλικού

Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στο παράδειγμα του Excel που προηγήθηκε,

- Στην πρώτη στήλη καταγράφονται τα εύρη των κόκκων (mm) των κοσκίνων που χρησιμοποιούνται κατά την δοκιμή της κοκκομετρίας
- Στην δεύτερη στήλη σημειώνεται το μέσον (**m_i**) του κάθε εύρους μεγεθών κόκκων, όπως αυτό υπολογίζεται για την λογαριθμική κλίμακα του άξονα των X, δηλαδή το μέσον της κάθε κλάσης κόκκων. Πρόκειται για μονοσήμαντο αριθμό που είναι σταθερός για κάθε συγκεκριμένη κλάση κόκκων π.χ. στο εύρος κόκκων 1-2mm το μέσον (**m_i**) είναι 1,414 [96,97].
- Δεδομένου ότι υπολογίζεται για μαθηματικούς λόγους και η τυπική απόκλιση (σ) της μέσης τιμής της κατανομής (**MEDIA**), στην τρίτη στήλη υπολογίζεται το τετράγωνο του μέσου της κάθε κλάσης κόκκων (**m_i²**).
- Στην τέταρτη στήλη σημειώνεται το ποσοστό της συχνότητας (frequency - **f_i**) με την οποία εμφανίζεται μια κλάση κόκκων και στην περίπτωση της κοκκομετρικής ανάλυσης το ποσοστό της συχνότητας (**f_i**) ταυτίζεται με το ποσοστό του (%) συγκρατούμενου υλικού (% retained) σε κάθε κόσκινο, το οποίο υπολογίσθηκε παραπάνω κατά την κοκκομετρική ανάλυση {**f_i** = % retained mass}.
- Στην πέμπτη στήλη υπολογίζεται το γινόμενο (**f_im_i²**), δεδομένου ότι υπολογίζεται και η τυπική απόκλιση της μέσης τιμής κατανομής (**Media**), για εφαρμογή στην μαθηματική σχέση.
- Στην έκτη στήλη υπολογίζεται το γινόμενο (**m_if_i**) που θα εφαρμοστεί στην σχέση υπολογισμού της μέσης τιμής κατανομής (**Media**).

Από τον παραπάνω πίνακα αναλυτικών υπολογισμών προκύπτει το άθροισμα ($\sum f_i m_i$), το οποίο ονομάζεται $\Sigma 2$ και το άθροισμα ($\sum f_i m_i^2$), το οποίο ονομάζεται $\Sigma 1$.

Για τον τελικό υπολογισμό της μέσης τιμής της κατανομής (**Media**) εφαρμόζεται η σχέση:

$$M = \sum f_i m_i / N$$

όπου N, το συνολικό ποσοστό (100) επί του οποίου γίνεται η αναγωγή των μετρούμενων μαζών του εξεταζόμενου υλικού.

Η τυπική απόκλιση (σ) της **Media** (**M**) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\sigma = \text{SQRT} \{ [\sum f_i m_i^2 - (\sum f_i m_i / N)^2] / N \}$$

Δύο σημαντικοί δείκτες που χαρακτηρίζουν μια κοκκομετρική κατανομή, η οποία αντιμετωπίζεται ως κατανομή συχνότητας, είναι η ασυμμετρία (*skewness*) και η κύρτωση (*kurtosis*).

Οι δείκτες αυτοί υπολογίζονται εφαρμόζοντας στατιστική επεξεργασία και συγκεκριμένα **Descriptive Statistics Analysis** μέσω του πακέτου **Analysis Toolpack** του Excel. Ειδικότερα, εφαρμόζεται Descriptive Statistics Analysis επί του δείκτη **fi** και για όλες τις τιμές που λαμβάνει αυτός σε όλες τις κλάσεις των κόκκων (**Σχέδιο 1 – Σχέδιο 2 – Σχέδιο 3 – Σχέδιο 4**). Υπενθυμίζεται ότι ο δείκτης **fi** αντικατοπτρίζει το ποσοστό (%) της συγκρατούμενης μάζας του εξεταζόμενου υλικού σε κάθε κόσκινο.

Από την στατιστική αυτή επεξεργασία προκύπτουν μεταξύ άλλων παραμέτρων η ασυμμετρία και η κύρτωση της κατανομής, που λαμβάνουν θετικές ή αρνητικές τιμές.

Η **κύρτωση (kurtosis)** εκφράζει τον βαθμό απόκλισης της κατανομής από την κύρια συχνότερη τιμή της κατανομής (*Moda*).

Η **ασυμμετρία (skewness)** εκφράζει την ομοιογένεια ενός πληθυσμού κόκκων. Είναι αρνητική όταν υπάρχει υπερχρή χονδρόκοκκων υλικών σε σχέση με την συχνότερη τιμή κατανομής (*Moda*) και θετική όταν υπάρχει περίσσεια λεπτόκοκκων υλικών.

II.3.3.2. Γραφική Επεξεργασία Κοκκομετρικής Καμπύλης

Εκτός από την μέση τιμή κατανομής (*Media*) που υπολογίζεται με τον παραπάνω μαθηματικό τρόπο και αφορά στο κέντρο βάρους της κατανομής, υπολογίζονται ως χαρακτηριστικές παράμετροι κατανομής και οι ακόλουθες:

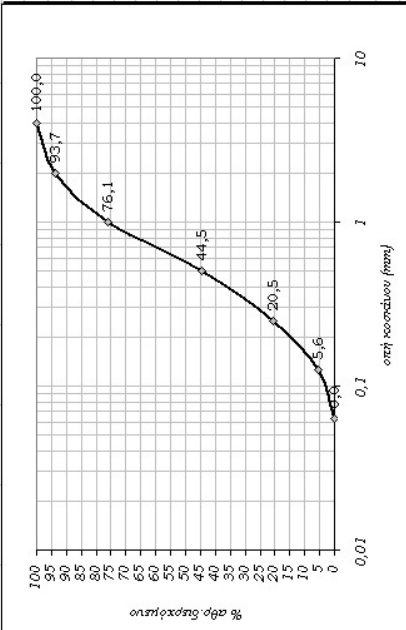
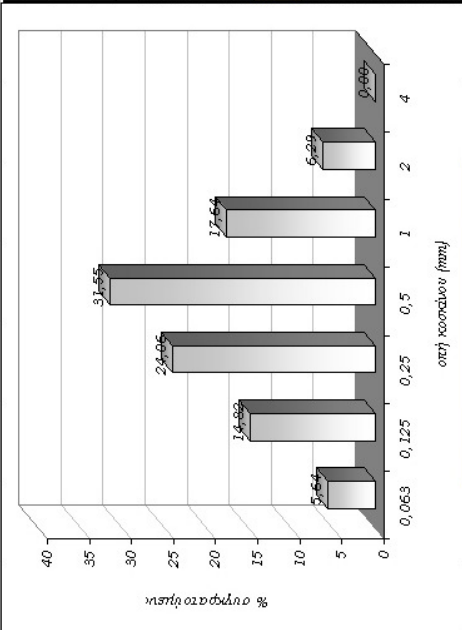
- **MEDIANA:** διάμεση ή διχοτόμος τιμή, που υπολογίζεται γραφικά από την κοκκομετρική καμπύλη ως η διάμετρος των κόκκων που αντιστοιχεί στο 50% του αθροιστικά διερχόμενου υλικού και υποδηλώνει το γεωμετρικό κέντρο της καμπύλης.
- **MODA:** συχνότερη ή πιθανότερη τιμή, η οποία εκφράζει την τιμή της μέγιστης συχνότητας μιας κλάσης κόκκων. Η *Moda* ταυτίζεται με τον δείκτη *mi* (μέσον κλάσης) εκείνον για τον οποίο εμφανίζεται το μεγαλύτερο ποσοστό συχνότητας (*fi*), δηλαδή για το μεγαλύτερο ποσοστό συγκρατούμενου υλικού (% retained). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι *Moda* : 0.707 αφού στην κλάση κόκκων 0,5 – 1,0 mm εμφανίζεται το υψηλότερο ποσοστό συγκρατούμενου υλικού.
- **Q3:** δείκτης που υπολογίζεται γραφικά από την κοκκομετρική καμπύλη και αφορά στο μέγεθος των κόκκων σε (mm) που αντιστοιχεί στο 75% του αθροιστικά διερχόμενου υλικού.
- **Q1:** δείκτης που υπολογίζεται γραφικά από την κοκκομετρική καμπύλη και αφορά στο μέγεθος των κόκκων σε (mm) που αντιστοιχεί στο 25% του αθροιστικά διερχόμενου υλικού.
- **So:** δείκτης ταξινόμησης (**Sorting Index**) ο οποίος υπολογίζεται ως το κλάσμα των συντελεστών $Q3 / Q1$.
- **D60:** δείκτης που υπολογίζεται γραφικά από την κοκκομετρική καμπύλη και αφορά στο μέγεθος των κόκκων σε (mm) που αντιστοιχεί στο 60% του αθροιστικά διερχόμενου υλικού.
- **D10:** δείκτης που υπολογίζεται γραφικά από την κοκκομετρική καμπύλη και αφορά στο μέγεθος των κόκκων σε (mm) που αντιστοιχεί στο 10% του αθροιστικά διερχόμενου υλικού.
- **Cu:** συντελεστής ομοιομορφίας (**Uniformity Coefficient**) ο οποίος υπολογίζεται ως το κλάσμα των συντελεστών $D60/D10$.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι κοκκομετρικές κατανομές αδρανών υλικών, εν προκειμένω άμμων και χαλικιών, μπορούν να αντιμετωπιστούν ως κατανομές συχνότητας και να επεξεργαστούν τόσο στατιστικά όσο και γραφικά προκειμένου να προκύψουν κρίσιμες χαρακτηριστικές παράμετροι που επιτρέπουν τον αναλυτικό χαρακτηρισμό των υλικών και την συγκριτική αξιολόγηση μεταξύ αδρανών υλικών.

Descriptive Statistics Analysis

ΕΧΕΙΔΙΟ 1

Α	B	C
1	ΑΜΜΟΣ ΠΟΤΑΜΟΥ	
2		
3		Gradation Curve
4	M _{max} (g)	100,903
5	aperture (mm)	% retained
6	4	0
7	2	6,013
8	1	16,875
9	0,5	30,182
10	0,25	23,017
11	0,125	14,183
12	0,063	5,4
13	Σ	1,39
14	Σ _{max}	95,67
15	σκόλεσης (%)	5,1862
16	περατότητα (%)	1,3776
17		

Μέτρια [mm] (μέση των κατανομών) : $\sum f_i m_i / N$			
mm	m _i	f _i	m _i · f _i
16-8	11,31	0	0,00
21	8-4	5,75	33,06
22	4-2	2,83	8,01
23	2-1	1,414	2,00
24	1-0,5	0,707	0,50
25	0,5-0,25	0,354	0,13
26	0,25-0,125	0,177	0,03
27	0,125-0,063	0,088	0,01
28		Σ	Σ
29		sum	104,90
30		N	Σ
31			100
32	MEDIA M=Σ(m _i · f _i) / N		0,767
33	σ=SQRT[Σ(f _i · (Σ ² · m _i) / N) - (MEDIA M) ²]		0,679
34	σ : (τυπική απόκλιση)		
35	MEDIANA (50%) [διάμεση ή δεύτερος ταύ]		0,510
36	MODA (απόκλιση ή ταχύτερη ταύ)		0,707
37	SORTING INDEX (S ₀) : Q ₃ /Q ₁ (ενταξιακή αναμορφωσιμότητα)		3,84
38			
39	bulk density	1,472 g/cm ³	0,7
40	% voids	37%	0,16
41			4,375
42			

Descriptive Statistics Analysis	
Mean	11,86895
Standard Error	3,848758
Median	10,00763
Standard Deviation	10,88593
Sample Variance	118,5035
Kurtosis	-0,92765
Skewness	0,522568
Range	29,9119
Minimum	0
Maximum	29,9119
Sum	94,95159
Count	8
Largest(1)	29,9119
Smallest(1)	0
Confidence Level(95,0%)	3,100867

Descriptive Statistics Analysis

ΣΧΗΔΙΟ 2

Microsoft Excel - A G G R E G A T I (ammios-1)

Αρχείο Επεξεργασία Προβολή Εισαγωγή Βοήθεια Ενοχάσει Δεδομένα Παράθυρο Βοήθεια Ομπράκι

Bookman Old Style 9 B I U % 000 € % 00 % 00 % 100%

A1 AMMIOS ΠΟΤΑΜΟΥ

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	AMMIOS ΠΟΤΑΜΟΥ															
2																
3																
4																
5	M_{start} [g]	100,903														
6	apperture [mm]	retained	% retained	% cum. retained	% cum. passine											
7	2	0	0,00	0,00	100,00											
8	1	6,013	6,29	93,71												
9	0,5	16,875	17,64	23,92	76,08											
10	0,25	30,182	31,55	55,47	44,53											
11	0,125	23,017	24,06	79,53	20,47											
12	0,063	5,4	5,64													
13	<0,063	1,39	1,45													
14	sum	95,67	101,45													
15	απόλειψη [%]	5,1862														
16	πασάλιη [%]	1,3776														
17																
18																
19	m_1															
20	16-8	11,31	127,92													
21	8-4	5,75	33,06													
22	4-2	2,83	8,01	6,29	50,34	17,79										
23	2-1	1,414	2,00	17,64	35,27	24,94										
24	1-0,5	0,707	0,50	31,55	15,77	22,30										
25	0,5-0,25	0,354	0,13	24,06	3,01	8,52										
26	0,25-0,125	0,177	0,03	14,82	0,46	2,62										
27	0,125-0,063	0,088	0,01	5,64	0,04	0,50										
28				sum	Σ1	Σ2										
29				sum	104,90	76,67										
30				N	Σ2 ³											
31				100	5878,31											
32	MEDIA M=Σ(x _i ·f _i) / N	0,767														
33	σ=SQRT(Σ(x _i -μ) ² ·f _i) / N	0,679														
34	σ (εναλλαγή απόδοσης)															
35	MEDIA M (50%) [διάμεση ή διατεταμένος τιμή]	0,510														
36	MODA [συνάντηση ή πιθανότερη τιμή]	0,707														
37	SORTING INDEX (S ₀), Q ₃ /Q ₁ [συντελεστής ομοιομορφίας]	3,84														
38																
39	bulk density	1,472g/cm ³														
40	% voids	37%														
41																
42																

ομοιομορφία

Ανάλυση δεδομένων

Εργασία ανάλυσης

Ανάλυση δεδομένων κατά ένα παράγοντα

Ανάλυση δεδομένων δύο παραγόντων με αλληλεπίδραση

Ανάλυση δεδομένων δύο παραγόντων χωρίς αλληλεπίδραση

Συνέπηση

Συντελεστής ομοιομορφίας

Εξέταση ετερογένειας

Εκτελεστικός F των διακυμάνσεων δύο δειγμάτων

Ανάλυση Fourier

Προγράμματα

OK

Άκυρο

Βοήθεια

κέρση ανασφάλιση

Descriptive Statistics Analysis		f _i
Mean	11,86825	
Standard Error	3,848758	
Median	10,00763	
Standard Deviation	10,88593	
Sample Variance	118,5035	
Kurtosis	-0,92765	
Skewness	0,522568	
Range	29,9119	
Minimum	0	
Maximum	29,9119	
Sum	94,95159	
Count	8	
Largest(1)	29,9119	
Smallest(1)	0	
Confidence Level(95,0%)	9,100867	

Kurtosis -0,918529

Skewness 0,35243

Descriptive Statistics Analysis ΣΧΕΔΙΟ 3

Microsoft Excel - A G G R E G A T T I (ammis-1)

Αρχείο Επεξεργασία Προβολή Εισαγωγή Βοήθεια Ενοποίηση Δεδομένα Παράθυρο Βοήθεια Ομπράκι

Α	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	ΑΜΜΟΣ ΠΟΤΑΜΟΥ														
2															
3			Gradation Curve (DIN)												
4	M _{max} (g)	100,903	% retained	% cum. retained	% cum. passize										
5	apperture (mm)														
6	4	0	0,00	0,00	100,00										
7	2	6,013	6,29	6,29											
8	1	16,875	17,64	23,92											
9	0,5	30,182	31,55	55,47											
10	0,25	23,017	24,06	79,53											
11	0,125	14,183	14,82	94,36											
12	0,063	5,4	5,64	100,00											
13	<-0,063	1,39	1,45	101,45											
14	sum	95,67	101,45												
15	απόκλιση (%)	5,1862													
16	παράκλη (%)	1,3776													
17															
18		Μέδια [mm] (μση των κατανομών):	$\sum f_i$	$\sum f_i \cdot i$											
19	n	11,31	127,92	0											
20	16-8	8,4	5,75	33,06	0,00										
21	8-4	2,83	8,01	6,29											
22	4-2	1,414	2,00	17,64											
23	2-1	0,707	0,50	31,55											
24	1-0,5	0,354	0,13	24,06											
25	0,5-0,25	0,177	0,03	14,82											
26	0,25-0,063	0,088	0,01	5,64											
27															
28															
29															
30															
31															
32		MEDIA M=Σ(i·m_i / N	0,767												
33		σ=SQRT(Σ(i-1)·f_i / N)	0,679												
34		σ:	0,821												
35		MEDIA M (50%) (διάμετρο ή διαστάσεις τμήτ)	0,510												
36		MODA (συνάντηση ή πιθανότερη τμήτ)	0,707												
37		SORTING INDEX (So): Q3/Q1 (συντελεστής ομοιομορφίας)	3,84												
38															
39		bulk density	1,472g/cm³	D60	0,7										
40		% voids	37%	D10	0,16										
41				Cu	4,375										
42															

Περιγραφικά στατιστικά

Είσοδος: Σημεία Ομάδες

Ομαδοποίηση κατά: Έκτεςτες στην πρώτη γραμμή

Επιλογές εξόδου: Περσκή εξόδοι Νέο φύλλο

Νέο βιβλίο εργασιών

Περιληπτικά στατιστικά

Βαθμύς εμπιστοσύνης για το μέσο: 95 %

Κ μεγαλύτερο: 1

Κ μικρότερο: 1

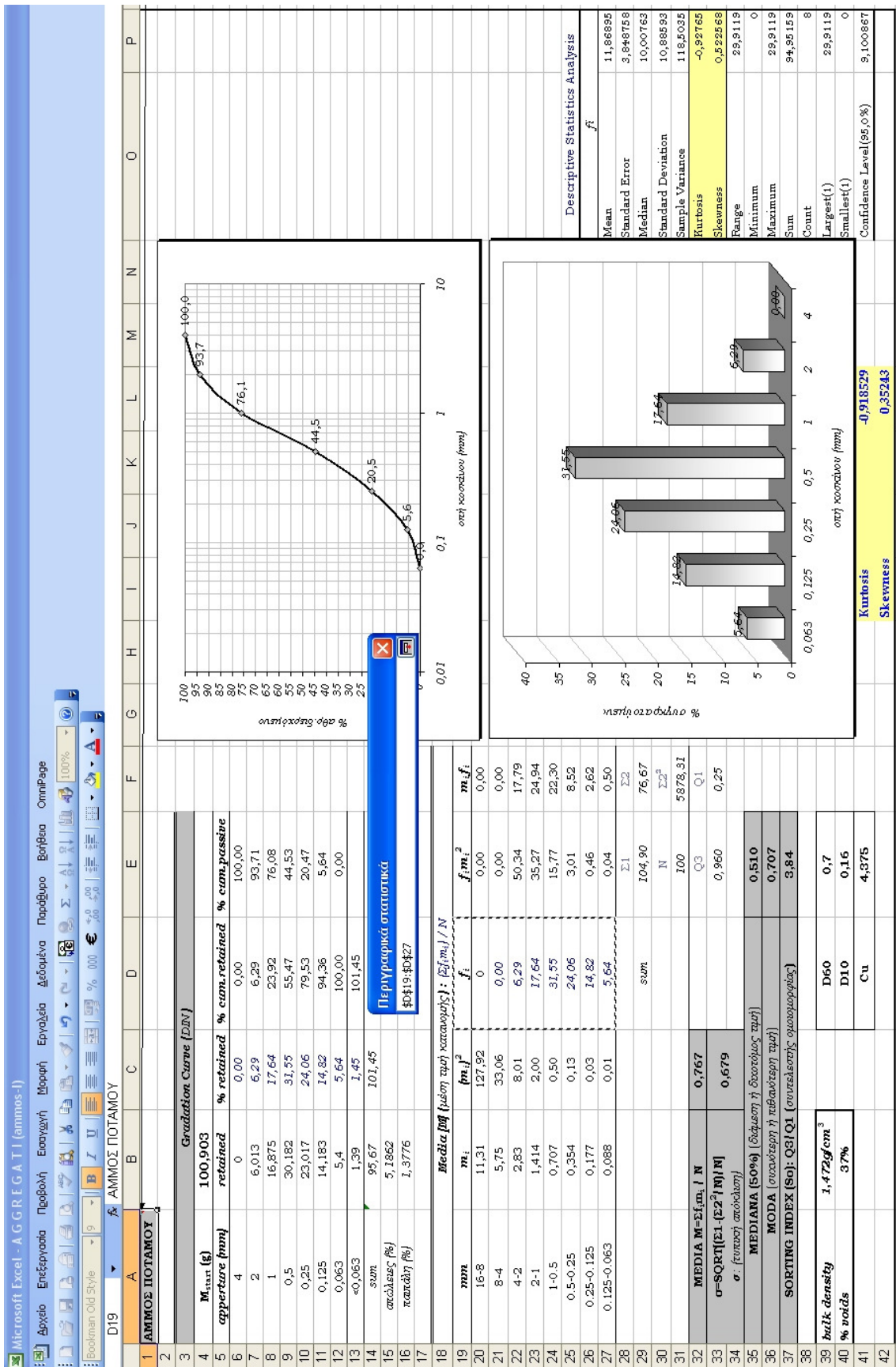
Κurtosis: -0,918529

Skewness: 0,35243

Mean: 11,86895
Standard Error: 3,848758
Median: 10,00763
Standard Deviation: 10,88593
Sample Variance: 118,5035
Kurtosis: -0,92765
Skewness: 0,522568
Range: 29,9119
Minimum: 0
Maximum: 29,9119
Sum: 94,35159
Count: 8
Largest(1): 29,9119
Smallest(1): 0
Confidence Level(95,0%): 9,100867

Descriptive Statistics Analysis

ΣΧΕΔΙΟ 4



II.3.3.3. Ευρέως χρησιμοποιούμενοι κρίσιμοι δείκτες

Γενικά, οι κρίσιμοι δείκτες που χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιβλιογραφία και χαρακτηρίζουν την κοκκομετρική καμπύλη ενός αδρανούς υλικού παρατίθενται παρακάτω [98].

▪ **GRADING COEFFICIENT (GC)**

Αποτελεί δείκτη του ποσοστού των λεπτόκοκκων και των μέσης διαμέτρου κόκκων ενός υλικού καθώς και της συσχέτισης μεταξύ των παραπάνω ποσοστών και της κλίσης (slope) της κοκκομετρικής καμπύλης στο διάστημα αυτό (Piege-Green 1999). Προσδιορίζεται από το ποσοστό το διερχόμενο στα 26.5mm μείον το ποσοστό το διερχόμενο στα 2mm και αυτό επί το ποσοστό το διερχόμενο στα 4.75mm. Λαμβάνει τιμές από 0-100 και προσδιορίζεται σε υλικά με μέγιστο κόκκο 37.5mm.

▪ **GRADING MODULUS (GM)**

Προσδιορίζεται από τα ποσοστά τα αθροιστικά συγκρατούμενα στα κόσκινα των (75μm + 0.425mm + 2.00mm)/100. Ουσιαστικά χαρακτηρίζει την αδρότητα ενός υλικού και λαμβάνει τιμές 0-3. Χρησιμοποιείται για υλικά που διέρχονται κατά 100% από το κόσκινο διαμέτρου 37.5mm.

▪ **MEDIAN SIZE ή MEDIANA**

Η Mediana ενός αδρανούς υλικού είναι εκείνο το “θεωρητικά ισοδύναμο μέγεθος κοσκίνου” από το οποίο διέρχεται το 50% του υλικού. Προσδιορίζεται γραφικά από την κοκκομετρική καμπύλη.

▪ **EFFECTIVE SIZE (D_{10})**

Είναι εκείνο το “θεωρητικά ισοδύναμο μέγεθος κοσκίνου” από το οποίο διέρχεται το 10% του υλικού. Αυτή η παράμετρος χρησιμοποιείται ευρέως στην ιζηματολογία καθώς και για τον προσδιορισμό του συντελεστή ομοιομορφίας (uniformity coefficient).

▪ **D_{60}**

Αυτή η παράμετρος χαρακτηρίζεται ως το “θεωρητικό μέγεθος κοσκίνου” από το οποίο διέρχεται το 60% του υλικού. Προσδιορίζεται γραφικά από την κοκκομετρική καμπύλη και χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του συντελεστή ομοιομορφίας (uniformity coefficient).

▪ **UNIFORMITY COEFFICIENT (C_u)**

Προσδιορίζεται ως ο λόγος του D_{60} προς D_{10} (D_{60}/D_{10}). Η τιμή του συντελεστή αυτού μπορεί να κυμαίνεται σημαντικά, από μονόκοκκα υλικά ως πολύ μεγάλες τιμές για υλικά που περιέχουν όλα τα κλάσματα. Για χάλικες με τιμές $C_u > 4$ και για άμμους με τιμές $C_u > 2.5$ θεωρείται ότι τα υλικά αυτά είναι καλώς κοκκοδιαβαθμισμένα [98].

▪ **DUST RATIO**

Το ποσοστό του υλικού το διερχόμενο από το κόσκινο οπής 75μm (<75μm) προς το ποσοστό του υλικού το διερχόμενο από το κόσκινο οπής 0.425mm (<0.425mm).

▪ **ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ή ΜΕΤΡΟ ΛΕΠΤΟΤΗΤΑΣ (Fineness Modulus) [71,103]**

Για να χαρακτηρισθεί η αδρότητα ή η λεπτότητα ενός αδρανούς αναπτύχθηκε ένας χαρακτηριστικός δείκτης, ο συντελεστής λεπτότητας, ο οποίος καθορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$F.M. = \Sigma(\% \text{ αθροιστικά συγκρατούμενο}) / 100$$

δηλ. αθροίζονται τα ποσοστά των αθροιστικά συγκρατούμενων μαζών σε καθορισμένη σειρά κοσκίνων συγκεκριμένων οπών ανοίγματος και το αποτέλεσμα του αθροίσματος διαιρείται με το 100. Η καθορισμένη σειρά κοσκίνων για τον παραπάνω υπολογισμό είναι: 150 μ m - 300 μ m - 600 μ m - 1.18mm - 2.36mm - 4.75mm - 9.5mm - 19mm - 37.5mm - 75mm. Ο συντελεστής λεπτότητας (F.M.) για λεπτόκοκκα αδρανή κυμαίνεται στο εύρος **2,3-3,1** [103].

Μικρός συντελεστής υποδηλώνει λεπτόκοκκο υλικό, ενώ μεγάλος συντελεστής υποδηλώνει χονδρόκοκκο υλικό. Η συντελεστής λεπτότητας είναι σημαντικός δείκτης για τον προσδιορισμό των αναλογιών του μίγματος ενός κονιάματος κατά τον σχεδιασμό του, μιας και η κοκκομετρία της άμμου επηρεάζει σημαντικά την εργασιμότητα του μίγματος. Μια λεπτόκοκκη άμμος απαιτεί περισσότερο νερό για την επίτευξη καλής εργασιμότητας.

Πολλές φορές απαιτείται η μίξη αδρανών π.χ. για τη διόρθωση μιας κακής κοκκομετρικής καμπύλης. Ο συντελεστής λεπτότητας μίγματος αδρανών υπολογίζεται αν γνωρίζουμε τους επιμέρους συντελεστές λεπτότητας κάθε αδρανούς. Π.χ. αν δύο αδρανή υλικά Α και Β με συντελεστές λεπτότητας FM_A και FM_B αντίστοιχα αναμιχθούν, το τελικό μίγμα θα έχει συντελεστή λεπτότητας:

$$FM_{blend} = FM_A(P_A/100) + FM_B(P_B/100)$$

όπου P_A και P_B είναι τα ποσοστά (κ.β.) συμμετοχής του κάθε αδρανούς στο μίγμα.

Η επίδραση του συντελεστή λεπτότητας στην ποιότητα σκυροδεμάτων εξετάστηκε για πρώτη φορά από τον Daft A. Abrams (1918) [114], ο οποίος εισήγαγε μια μεθοδολογία σχεδιασμού μιγμάτων σκυροδέματος στηριζόμενος στην λεπτότητα / αδρότητα των αδρανών. Αργότερα ο Lyse (1932)² κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οποιαδήποτε δύο διαφορετικά αδρανή που έχουν τον ίδιο συντελεστή λεπτότητας, αν και μπορεί να εμφανίζουν διαφορετικά ποσοστά υλικού στις διάφορες κλάσεις κόκκων, μπορεί να παράγουν σκυροδέμα της ίδιας απαίτησης σε νερό και της ίδιας εργασιμότητας.

II.3.3.4. Συσχετίσεις Κρίσιμων Δεικτών [71,98]

Προσδιορίζοντας τις παραμέτρους για ένα πλήθος αδρανών υλικών είναι δυνατόν να σχηματιστεί μια μήτρα γραμμικής συσχέτισης συντελεστών κατά Pearson (Pearson's r) ως μια προκαταρκτική εξέταση των συσχετισμών που αναπτύσσονται μεταξύ των διαφόρων παραμέτρων. Ακολουθεί γραμμική συσχέτιση (Linear regression) για τις παραμέτρους που μεταξύ τους εμφανίζουν τους καλύτερους συσχετισμούς.

Βάσει της βιβλιογραφίας [Σχ.ΙΙ.3], από την συγκεκριμένη μήτρα συσχετισμών (correlation matrix) προκύπτει ένα πλήθος συνδυασμών μεταξύ των παραμέτρων. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η καλή συσχέτιση μεταξύ του GC με το GM. Ο συντελεστής GM συσχετίζεται καλά με τον συντελεστή GC, με το ποσοστό των χαλίκων, με το ποσοστό της παιπάλης, με τον D60 και με την Mediana. Το D60 επίσης συσχετίζεται καλά με την Mediana. Ακολουθεί για τους παραπάνω συσχετισμούς Linear Regression Analysis για τον προσδιορισμό του βαθμού συσχέτισης (fit) αυτών, με συντελεστές συσχέτισης R² > 0.75. Ο μεγαλύτερος συντελεστής συσχέτισης R² εμφανίζεται για τις παραμέτρους Mediana και D60, με την Mediana ως ανεξάρτητη τιμή (x) και το D60 ως εξαρτημένη τιμή (y).

² Lyse I., "Tests on consistence and strength of concrete having constant water content", Proc. Am. Soc. For Testing & Material, 32 (Part2), ASTM, Philadelphia, 1932, pp. 629-636

Correlation coefficient matrix

	GC	GM	DR	d ₁₀	Gravel	Sand	Silt and clay	d ₆₀	Median	UC	GI
GC	1.00										
GM	0.88	1.00									
DR	-0.24	-0.54	1.00								
d ₁₀	0.20	0.36	-0.54	1.00							
Gravel	0.93	0.93	-0.29	0.35	1.00						
Sand	-0.64	-0.46	-0.42	0.04	-0.69	1.00					
Silt and clay	-0.55	-0.80	0.89	-0.47	-0.58	-0.16	1.00				
d ₆₀	0.72	0.87	-0.28	0.24	0.88	-0.64	-0.56	1.00			
Median	0.69	0.87	-0.36	0.39	0.90	-0.60	-0.58	0.96	1.00		
UC	0.22	0.08	0.45	-0.29	0.17	-0.33	0.14	0.16	0.02	1.00	
GI	-0.46	-0.64	0.64	-0.25	-0.45	-0.17	0.83	-0.43	-0.39	-0.11	1.00

Bull Eng Geol Env (1999) 57:215–223 é © Springer-Verlag

Σχ. II.3. Μήτρα γραμμικής συσχέτισης κρίσιμων δεικτών κατά Pearson (P.Paige-Green, 1999)

Αντίστοιχες συσχετίσεις με αυτές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία μπορούν να πραγματοποιηθούν και για τα αδρανή υλικά (άμμοι, χαλίκια) που διερευνώνται στην παρούσα εργασία. Όπως θα αναλυθεί διεξοδικά παρακάτω, από την εξέταση προέκυψε ικανοποιητική συσχέτιση του δείκτη Mediana με τον δείκτη D₆₀ καθώς και του συντελεστή λεπτότητας F.M. με το ποσοστό του νερού που απαιτείται για την παρασκευή εργάσιμου μίγματος κονιάματος.

II.3.4. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ FULLER

II.3.4.1. Βέλτιστη κοκκομετρική καμπύλη αδρανών

Όπως ήδη αναφέρθηκε, για τον προσδιορισμό της βέλτιστης κοκκομετρικής καμπύλης των αδρανών υλικών, με κριτήριο το ελάχιστο ποσοστό όγκου κενών μεταξύ των κόκκων [43], ο Fuller πρότεινε την ακόλουθη εξίσωση υπολογισμού:

$$p_i = 100 \sqrt{\frac{d}{D}}$$

που εκφράζει εκείνη την κοκκομετρική καμπύλη με το ελάχιστο περιεχόμενο κενών όγκων.

Στην παραπάνω εξίσωση p_i είναι το διερχόμενο (%) ποσοστό από το κόσκινο διαμέτρου d και D είναι η μέγιστη διάμετρος των κόκκων του αδρανούς.

Πρακτικά, το πρόβλημα του καθορισμού της βέλτιστης κοκκομετρικής καμπύλης αφορά στον πειραματικό υπολογισμό του ελάχιστου περιεχομένου κενών σε ένα αδρανές υλικό ή και σε μίγμα αδρανών. Ο όγκος των κενών (u) ενός αδρανούς υλικού καθορίζεται από την εξίσωση:

$$u = \frac{V}{i\nu} - 1 = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}$$

που εκφράζει τη σχέση μεταξύ του κλάσματος των κενών όγκων (ε) και του κλάσματος του πληρωμένου χώρου ($1-\varepsilon$). Στην εξίσωση αυτή το V εκφράζει τον όγκο του δοχείου που καταλαμβάνει ένα αδρανές, το i εκφράζει το βάρος του αδρανούς και το ν τον ειδικό όγκο του αδρανούς, δηλαδή τον στερεό όγκο ανά μονάδα επιφάνειας, ο οποίος είναι το αντίστροφο της φαινόμενης πυκνότητας.

Πειραματικά, ο όγκος των κενών καθορίζεται από τον όγκο του νερού που (V') που απαιτείται για να κατακλιστεί το περιεχόμενο του αδρανούς σε ένα δοχείο γνωστού όγκου (V), δηλαδή το ($V-V'$) και είναι ισοδύναμο του γινομένου ($i\nu$) της παραπάνω εξίσωσης. Από τα παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα ότι ο όγκος των κενών ενός αδρανούς υλικού είναι δυνατό να υπολογιστεί αν είναι γνωστές οι τιμές του ειδικού βάρους (d_{real}) και του φαινόμενου βάρους (d) ενός αδρανούς υλικού, από την αντίστοιχη σχέση:

$$u (\%) = 1 - \frac{d}{d_{real}}$$

II.3.4.2. Εφαρμογή καμπύλης Fuller

Για την εργαστηριακή και γραφική αναπαραγωγή των κατανομών Fuller, που αφορούν σε αδρανή με τα ελάχιστα δυνατά κενά, εφαρμόζεται στον πίνακα κοκκομετρικής κατανομής αντίστροφως προσδιορισμός της μάζας της συγκρατούμενης στα κόσκινα, όπως αυτή εξάγεται από τα ποσοστά του αθροιστικά διερχόμενου υλικού, τα οποία έχουν προκύψει από την εφαρμογή της θεωρητικής σχέσης του Fuller:

$$P = 100 * \text{SQRT}(d/D).$$

Στην σχέση αυτή το P εκφράζει το ποσοστό του αθροιστικά διερχόμενου από τα κόσκινα υλικού.

Πιο συγκεκριμένα, για αδρανές υλικό με μέγιστο κόκκο $D=4\text{mm}$ τα ποσοστά του επί τοις εκατό αθροιστικά διερχόμενου υλικού από κόσκινα σειράς κοσκίνων κατά EN και κατόπιν εφαρμογής της παραπάνω σχέσης, είναι:

<i>if $X_{max}=4$</i>	<i>Y (%passive)</i>
4	100
2	70,71
1	50
0,5	35,36
0,25	25
0,125	17,68
0,063	12,55

όπου,


X είναι ο μέγιστος κόκκος του αδρανούς (εν προκειμένω $X=4$) και εμφανίζεται στον ημιλογαριθμικό άξονα των **X**

Y, το ποσοστό του αθροιστικά διερχόμενου υλικού που εμφανίζεται στον άξονα των **Y** του γραφήματος που θα ακολουθήσει.

Τα αποτελέσματα (οι τιμές) του αθροιστικά διερχόμενου υλικού χρησιμοποιούνται στην τελευταία στήλη του παρακάτω πίνακα αντίστροφου υπολογισμού, προκειμένου να προσδιορισθεί η μάζα η συγκρατούμενη στα κόσκινα, εφαρμόζοντας αντίστροφα στον πίνακα της μαθηματικές σχέσεις, δηλ. με γνωστές τις τιμές του αθροιστικά διερχόμενου υλικού (% cum.passive) υπολογίζεται το % αθροιστικά συγκρατούμενο υλικό (% cum.retained), ακολούθως το ποσοστό του % συγκρατούμενου σε κάθε κόσκινο υλικού και τέλος η μάζα σε (g) που συγκρατείται σε κάθε κόσκινο, με βάση την παραδοχή ότι το συνολικό υλικό στα κόσκινα είναι $M=100\text{g}$.

Ακολουθεί επαλήθευση του παραπάνω αντίστροφου υπολογισμού, χρησιμοποιώντας στις φόρμουλες του Excel κανονικά τις μάζες του υλικού που συγκρατούνται σε κάθε κόσκινο, σαν να είχαν μετρηθεί πειραματικά για αδρανές υλικό συνολικής μάζας 100g.

Κοκκομετρική Καμπύλη				
<i>apperture (mm)</i>	<i>retained</i>	<i>% retained</i>	<i>% cum.retained</i>	<i>% cum.passive</i>
4	0	0	0	100
2	29,29	29,29	29,29	70,71
1	20,71	20,71	50	50
0,5	14,64	14,64	64,64	35,36
0,25	10,36	10,36	75	25
0,125	7,32	7,32	82,32	17,68
0,063	5,13	5,13	87,45	12,55
Μαρχ. (g):	100			



αντίστροφος προσδιορισμός μάζας συγκρατούμενης στα κόσκινα

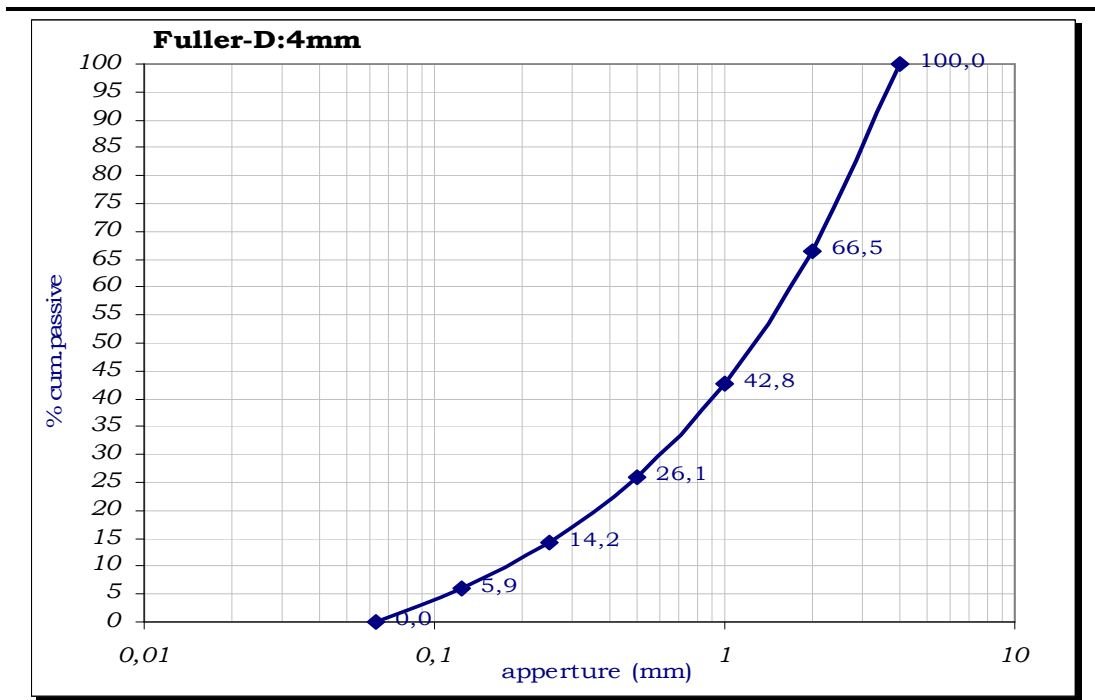
επαλήθευση

<i>apperture (mm)</i>	<i>retained</i>	<i>% retained</i>	<i>% cum.retained</i>	<i>% cum.passive</i>
4	0,00	0,00	0,00	100,00
2	29,29	29,29	29,29	70,71
1	20,71	20,71	50,00	50,00
0,5	14,64	14,64	64,64	35,36
0,25	10,36	10,36	75,00	25,00
0,125	7,32	7,32	82,32	17,68
0,063	5,13	5,13	87,45	12,55
Μαρχ. (g):	100			

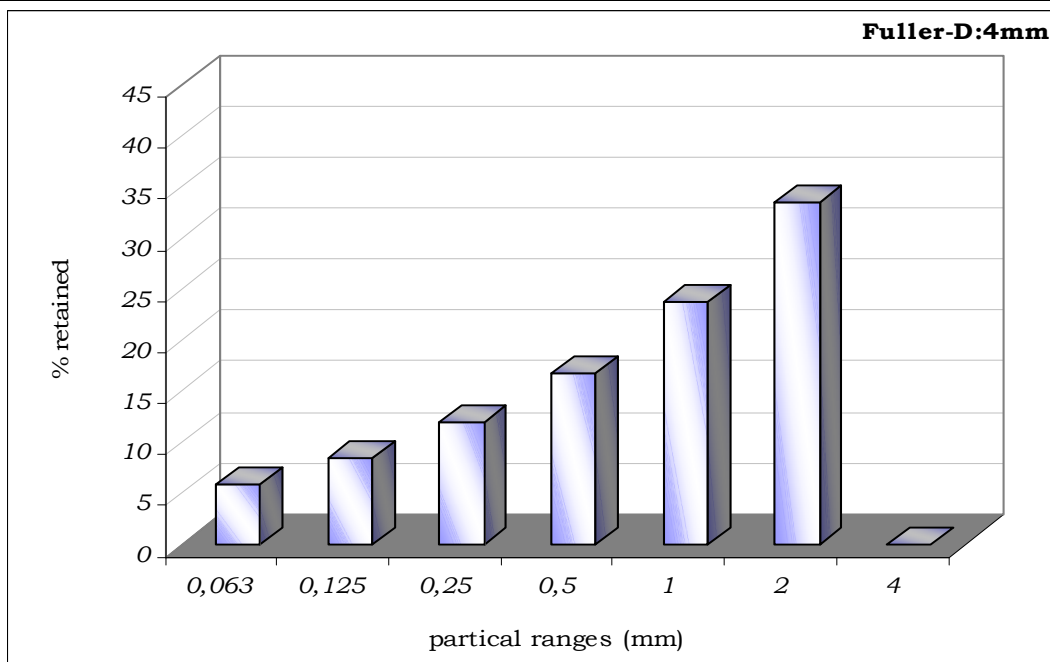
Με τον αντίστροφο αυτό υπολογισμό είναι δυνατόν να προσδιορισθεί γραφικά, πέραν της κοκκομετρικής καμπύλης η οποία προκύπτει εύκολα από την εξίσωση του Fuller, και το ιστόγραμμα κατανομής μεγέθους κόκκων.

Ουσιαστικά και οι θεωρητικές καμπύλες Fuller μπορούν να αντιμετωπιστούν ως κατανομές συχνότητας και να εξαχθούν το διάγραμμα κοκκομετρικής καμπύλης και το ιστόγραμμα κοκκομετρικής κατανομής που προσδιορίζονται για όλες τις άμμοις που διερευνώνται πειραματικά, καθώς και κρίσιμοι δείκτες και παράμετροι που χαρακτηρίζουν μια τέτοια καμπύλη.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η θεωρητική κοκκομετρική καμπύλη και το ιστόγραμμα κατανομής κόκκων του Fuller για θεωρητικό αδρανές με μέγιστο κόκκο $D=4\text{mm}$, που χαρακτηρίζεται από τα ελάχιστα δυνατά κενά, δηλ. περίπου 25%κ.ο.

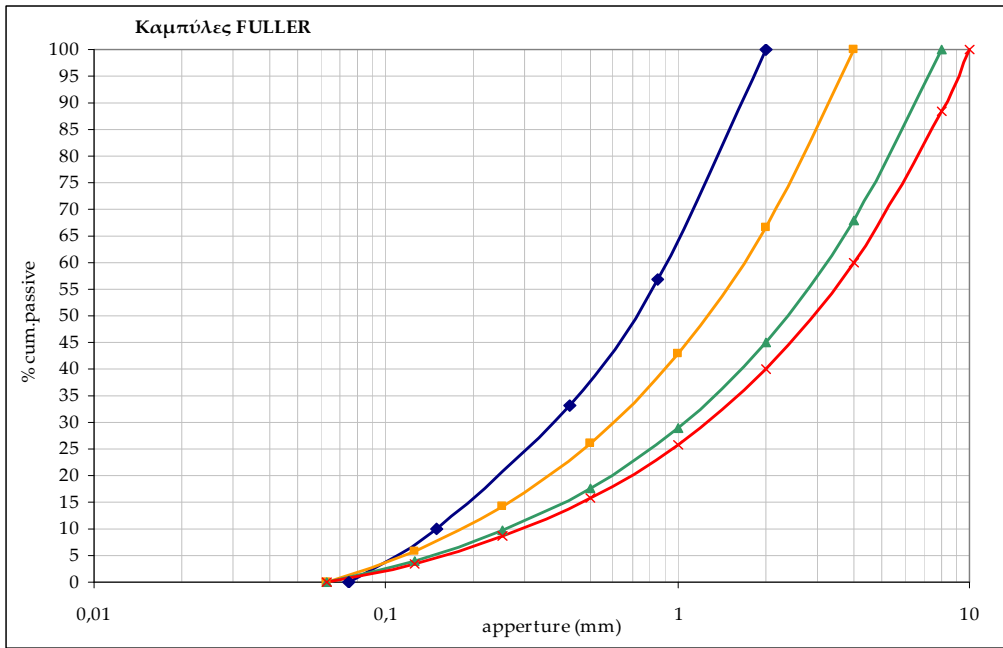


Διάγραμμα Π.1. : Θεωρητική κοκκομετρική καμπύλη Fuller για $D=4\text{mm}$



Διάγραμμα Π.2. : Ιστόγραμμα θεωρητικής κατανομής κόκκων (κατά Fuller) για $D=4\text{mm}$

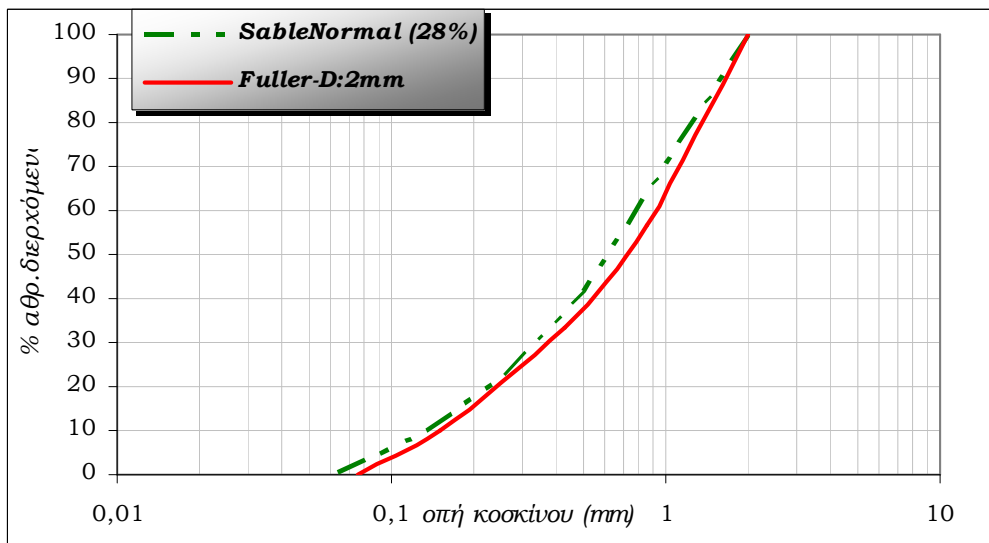
Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρατίθενται οι θεωρητικές κοκκομετρικές καμπύλες Fuller για διαφορετικό μέγιστο κόκκο αδρανούς και συγκεκριμένα για μέγιστο κόκκο $D = 2 - 4 - 8 - 10\text{mm}$.



Διάγραμμα Π.3. : Θεωρητικές κοκκομετρικές καμπύλες Fuller για $D=2-4-8-10\text{mm}$

Οι καμπύλες Fuller είναι πρότυπες θεωρητικές καμπύλες οι οποίες δύσκολα απαντώνται σε αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται ευρέως στο εμπόριο. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καμπύλες αναφοράς στις οποίες αντιστοιχούν τα ελάχιστα δυνατά κενά (% voids).

Η μόνη άμμος η οποία σχεδόν ταυτίζεται με την θεωρητική καμπύλη Fuller για μέγιστο κόκκο $D: 2\text{mm}$ είναι η πρότυπη άμμος Sable Normal κατά EN 196-1 (§11), η οποία χαρακτηρίζεται από μέγιστο κόκκο αδρανούς $D=2\text{mm}$ και από όγκο κενών 28% κ.ο., προσομοιώνει δηλαδή την θεωρητική πρότυπη καμπύλη και χρησιμοποιείται ως άμμος αναφοράς [Παράρτημα II]. Στο διάγραμμα Π.4 είναι προφανής η σύγκλιση των δύο αυτών καμπυλών. Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρατίθεται η ανάλυση των κοκκομετρικών κατανομών των θεωρητικών καμπυλών κατά Fuller.



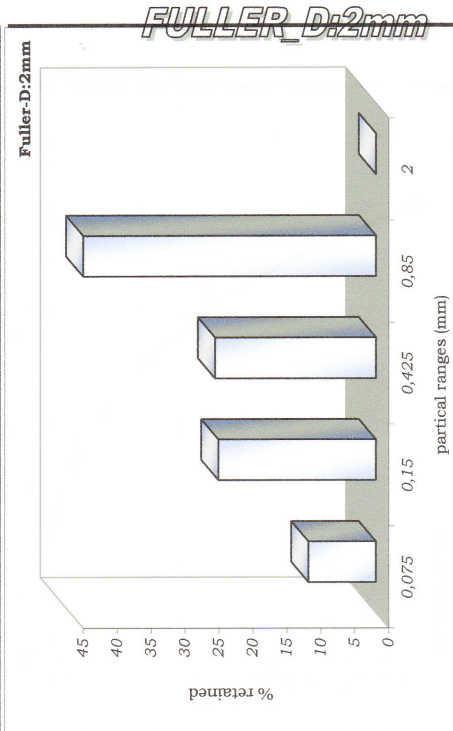
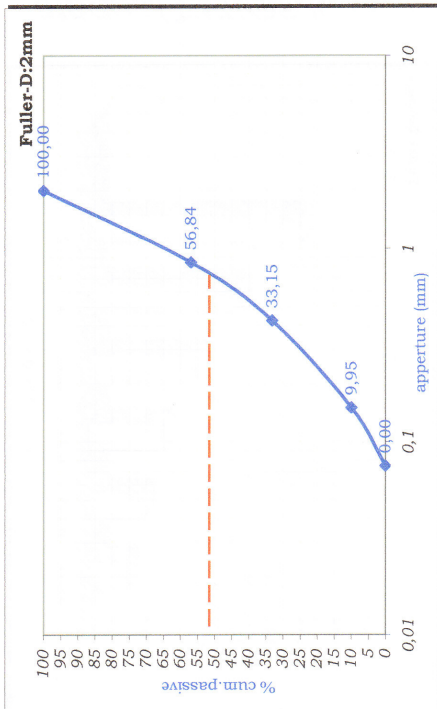
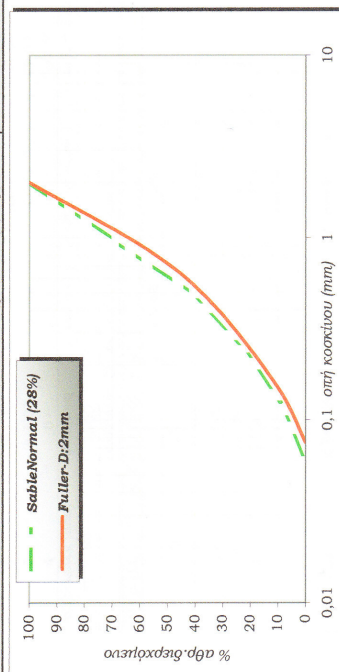
Διάγραμμα Π.4.: Ταύτιση θεωρητικής καμπύλης Fuller για $D=2\text{mm}$ με την κοκκομετρική καμπύλη της πρότυπης άμμου Sable Normal με μέγιστο κόκκο $D=2\text{mm}$

FULLER D=2			
	% passive	% retained	retained mass
2	100	0	0
0,85	65,192	34,8	733,8
0,425	46,098	19,1	402,6
0,15	27,386	18,7	394,5
0,075	19,365	8,0	169,1
		80,64	1700

THEORETICAL CURVE - FULLER: D=2mm

Gradation Curve (κοκκομετρική κατανομή)			
M _{start} (g)	retained	% retained	% cum.retained
2	0	0,00	0,00
0,85	733,8	43,16	43,16
0,425	402,6	23,68	66,85
0,15	394,5	23,21	90,05
0,075	169,1	9,95	100,00
sum	1700		

MEDIANA (50%) (διάμεση ή διχοτόμος τιμή)	
Q3	Q1
1,250	0,30
SORTING INDEX (S₀): Q3/Q1 (συντελεστής ομοιομορφίας)	
0,70	4,17



FULLER D=2mm

FULLER D:4mm

FULLER D=4			
	% <i>passive</i>	% <i>retained</i>	<i>retained mass</i>
4	100	0	0
2	70,71	29,29	569,39
1	50,000	20,71	402,60
0,5	35,360	14,64	281,60
0,25	25,000	10,36	201,40
0,125	17,680	7,32	142,30
0,063	12,55	5,13	99,73
		87,45	1700

THEORETICAL CURVE FULLER: D=4mm

Gradation Curve (noncohesive materials)			
M _{max} (g) 1700			
aperture (mm)	% <i>retained</i>	% <i>cum.retained</i>	% <i>cum.passive</i>
4	0	0,00	100,00
2	569,39	33,49	66,51
1	402,60	23,68	42,82
0,5	281,60	16,74	26,08
0,25	201,40	11,85	14,24
0,125	142,30	8,37	5,87
0,063	99,73	5,87	0,00
sum	1700		

Q1

Q3

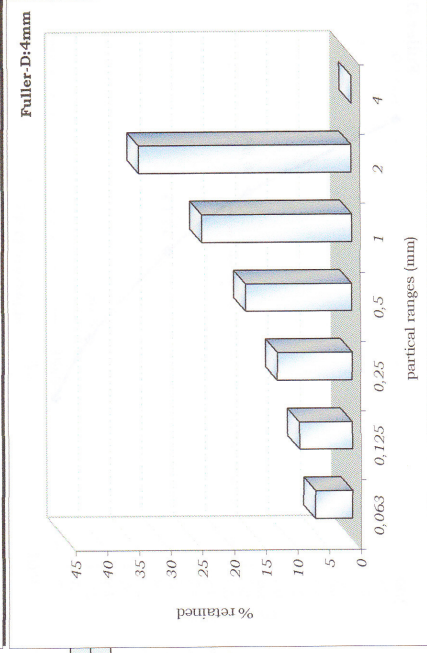
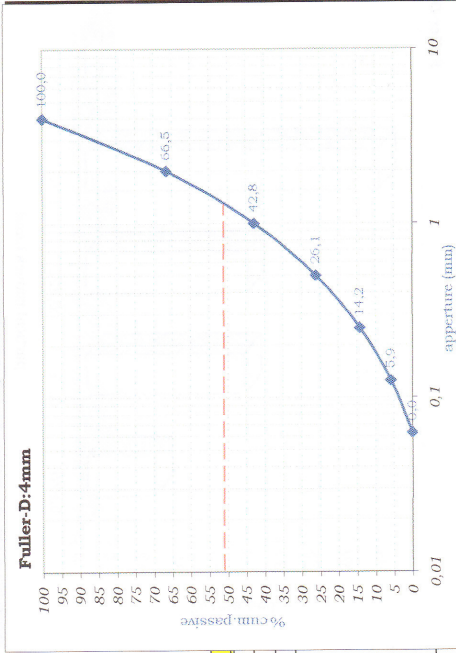
2,35
0,48

MEDIANA (50%) (διαίρεση ή διχοτόμος από)

1,25

SORTING INDEX (S₀: Q3/Q1 (αντιμεταβολής ομοιοτητας))

4,90



FULLER D:8mm

FULLER D=8			
	% passive	% retained	retained mass
8	100,00	0	0,0
4	70,71	29,29	546,4
2	50,00	20,71	386,4
1	35,36	14,64	273,2
0,5	25,00	10,36	193,2
0,25	17,68	7,32	136,6
0,125	12,50	5,18	96,6
0,063	8,87	3,63	67,6
		91,13	1700

THEORETICAL CURVE - FULLER: D=8mm

Gradation Curve (συνολική κατανομή)

M_{max} (g)

aperture (mm)	retained	% retained	cum.retained	% cum.passive
8	0	0,00	0,00	100,00
4	546,41	32,14	32,14	67,86
2	386,37	22,73	54,87	45,13
1	273,20	16,07	70,94	29,06
0,5	193,18	11,36	82,30	17,70
0,25	136,60	8,04	90,34	9,66
0,125	96,59	5,68	96,02	3,98
0,063	67,64	3,98	100,00	0,00
sum	1700			

Q3
4,95

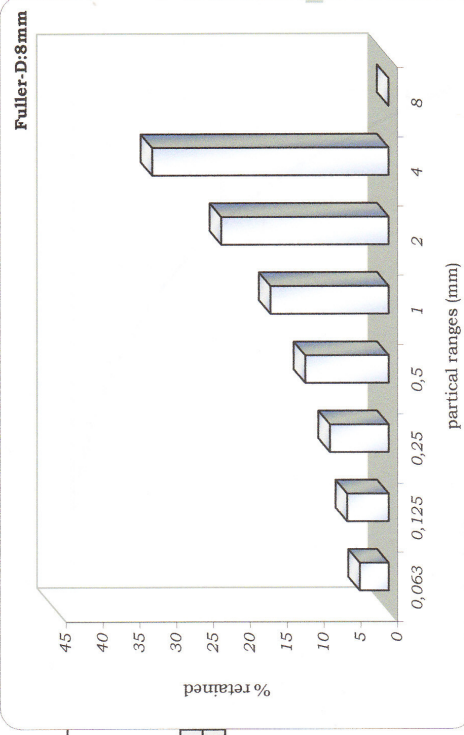
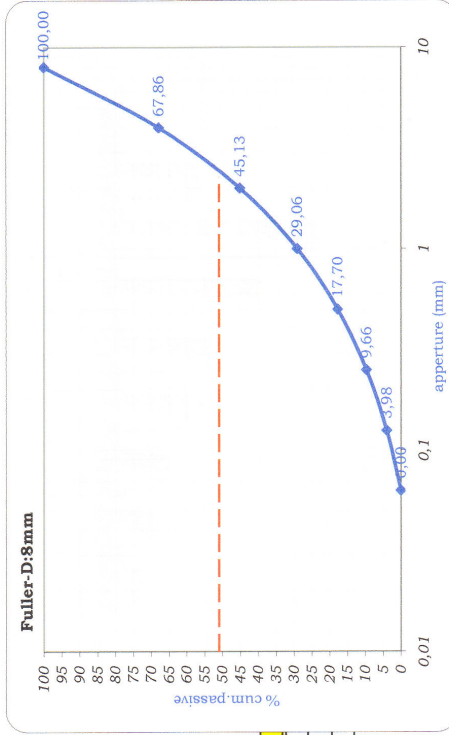
Q1
0,80

MEDIANA (50%) (διάμετρος διχοτόμος τιμή)

2,30

SORTING INDEX (So): Q3/Q1 (συντελεστής ομοιομορφίας)

6,19



FULLER_D:10mm

FULLER D=10			
	% passive	% retained	retained mass
10	100,00	0	0,0
8	89,44	10,56	194,9
4	63,25	26,20	483,7
2	44,72	18,52	342,1
1	31,62	13,10	241,9
0,5	22,36	9,26	171,0
0,25	15,81	6,55	120,9
0,125	11,18	4,63	85,5
0,063	7,94	3,24	59,9
		92,06	1700

THEORETICAL CURVE - FULLER D=10mm

Gradation Curve (κοκκομετρική καμπύλη)

M _{max} (g)	1700			
aperture (mm)	retained	% retained	% cum. retained	% cum. passive
10	0	0,00	0,00	100,00
8	194,95	11,47	11,47	88,53
4	483,75	28,46	39,92	60,08
2	342,06	20,12	60,04	39,96
1	241,87	14,23	74,27	25,73
0,5	171,03	10,06	84,33	15,67
0,25	120,94	7,11	91,45	8,55
0,125	85,52	5,03	96,48	3,52
0,063	59,89	3,52	100,00	0,00
sum	1700			

Q3

6,00

Q1

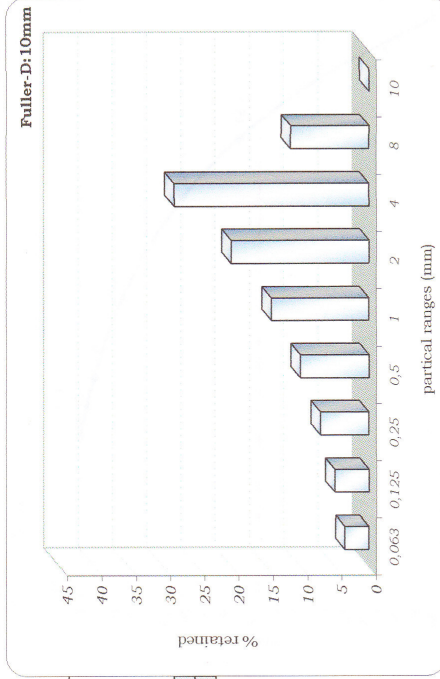
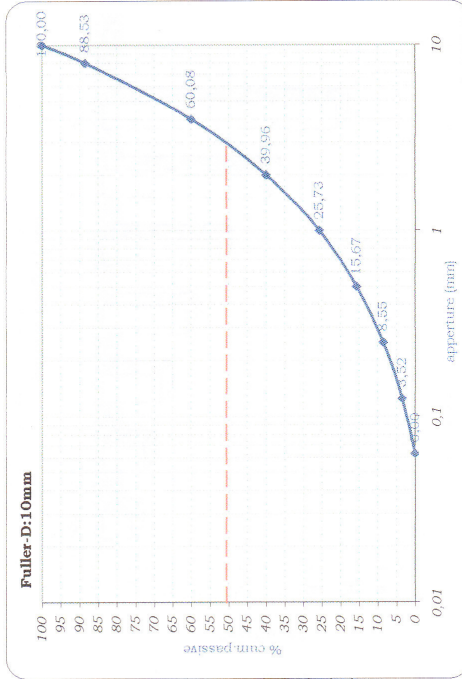
0,95

MEDIANA (50%) (διχασμό ή διακόπτες μπι)

3,00

SORTING INDEX (So): Q3/Q1 (αριθμητικός ομοιομορφίας)

6,32



II.3.5. ΑΝΑΜΙΞΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Οι συνηθέστερες εφαρμογές των αδρανών υλικών απαιτούν την ανάμιξη υλικών διαφορετικής κοκκομετρικής σύστασης. Για παράδειγμα ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ.) προβλέπει την ανάμιξη τριών τουλάχιστον κλασμάτων αδρανών για παρασκευή σκυροδέματος κατηγορίας C20/25 ή μεγαλύτερης [73].

Γνωρίζοντας την κοκκομετρική διαβάθμιση στα επί μέρους κλάσματα των αδρανών είναι δυνατό να υπολογιστεί η κοκκομετρική διαβάθμιση του μίγματος που θα προκύψει αν αναμιχθούν τα αδρανή αυτά με γνωστή αναλογία.

Για τον υπολογισμό του ποσοστού του διερχόμενου μίγματος σε κάποιο κόσκινο αθροίζονται τα γινόμενα του διερχόμενου ποσοστού κάθε κλάσματος στο συγκεκριμένο κόσκινο επί το ποσοστό συμμετοχής του στο δείγμα.

Παράδειγμα: Η κοκκομετρική διαβάθμιση του μίγματος που θα προκύψει από την ανάμιξη άμμου και σκύρων σε ποσοστό 40% και 60% αντίστοιχα έχει ως εξής:

οπή κοσκίνου (mm) (κατά EN)	% διερχόμενο		
	άμμος	σκύρα	μίγμα
31.5	100	100	$0.4*100+0.6*100=100$
16.0	100	80	$0.4*100+0.6*80=88$
8.0	100	30	$0.4*100+0.6*30=58$
4.0	100	5	$0.4*100+0.6*5=43$
2.0	92	2	$0.4*92+0.6*2=38$
1.0	70	-	$0.4*70=28$
0.50	30	-	$0.4*30=12$
0.25	10	-	$0.4*10=4$

Στην πλειοψηφία των εφαρμογών η διάταξη των κόκκων των αδρανών υλικών πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο που το μίγμα να διαθέτει τα λιγότερα δυνατά κενά, να παρουσιάζει δηλαδή μεγάλη συνεκτικότητα. Παράλληλα όμως υψηλή τιμή της συνεκτικότητας μεταβάλλει δυσμενώς άλλες ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Για τον λόγο αυτό, με βάση τα πειραματικά δεδομένα και την εμπειρία, οι κανονισμοί καθορίζουν περιοχές μέσα στις οποίες πρέπει να βρίσκονται οι καμπύλες κοκκομετρικής διαβάθμισης των υλικών, ανάλογα με τις ζητούμενες ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

Στο σχήμα II.4. παρατίθεται το κοκκομετρικό διάγραμμα αδρανών υλικών μέγιστου κόκκου 31.5mm του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος.



Σχ. Π.4. Κοκκομετρικό διάγραμμα αδρανών μέγιστου κόκκου 31.5mm

Η επιλογή της καταλληλότερης καμπύλης, από τις θεωρητικά τουλάχιστον άπειρες σε αριθμό που ικανοποιούν τα κριτήρια των κανονισμών, καθορίζεται από τις επί μέρους επιθυμητές ιδιότητες του τελικού προϊόντος, τα διαθέσιμα υλικά, τις εργοταξιακές συνθήκες, το οικονομικό κόστος.

Αν και η χάραξη της κοκκομετρικής καμπύλης είναι μια σχετικά εύκολη εργασία η αξιολόγηση αυτής παρουσιάζει δυσκολίες και απαιτεί εμπειρία.

Π.3.5.1. Υπολογισμός ποσοστών συμμετοχής κλασμάτων αδρανών σε μίγμα [94]

Ένα σύνηθες πρόβλημα ανάμιξης αδρανών υλικών είναι εκείνο του υπολογισμού των ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων, ώστε το μίγμα που θα προκύψει να έχει κοκκομετρική διαβάθμιση εντός συγκεκριμένων ορίων.

Ο υπολογισμός μπορεί να γίνει με δύο μεθόδους.

1η Μέθοδος. (διαδοχικών προσεγγίσεων). Ορίζονται αυθαίρετα τα ποσοστά συμμετοχής κάθε κλάσματος και με βάση αυτά υπολογίζεται η κοκκομετρική καμπύλη του μίγματος. Συγκρίνεται η καμπύλη αυτή με τα όρια που θέτουν οι κανονισμοί. Εάν η καμπύλη βρίσκεται μέσα στα όρια έχει καλώς, διαφορετικά γίνεται διόρθωση της αναλογίας αυξάνοντας ή μειώνοντας το ποσοστό κάποιου κλάσματος. Η κατεύθυνση προς την οποία θα γίνει η διόρθωση φαίνεται από την θέση της καμπύλης σε σχέση με τα όρια.

Αν κάποιο ή κάποια σημεία της καμπύλης εξέρχονται άνω των ορίων της περιοχής σημαίνει ότι η αναλογία που επιλέχθηκε είναι πλούσια σε λεπτόκοκκο υλικό, συνεπώς η διόρθωση πρέπει να γίνει μειώνοντας το λεπτόκοκκο υλικό και αυξάνοντας το χονδρόκοκκο. Αν η κοκκομετρική καμπύλη εξέρχεται των κάτω ορίων η εργασία γίνεται αντίστροφα.

2η Μέθοδος. Με βάση τις επιδιωκόμενες ιδιότητες του προϊόντος επιλέγεται εντός των ορίων των κανονισμών η επιθυμητή κοκκομετρική καμπύλη. Εν συνεχεία, διαμορφώνονται τόσες εξισώσεις, όσες και τα χρησιμοποιούμενα κόσκινα. Αν για παράδειγμα χ,ψ,ζ είναι οι ζητούμενες αναλογίες των υλικών και Α₁, Β₁, Γ₁ είναι αντιστοίχως τα διερχόμενα ποσοστά των τριών κλασμάτων από το κόσκινο Ι, τότε το διερχόμενο ποσοστό του μίγματος στο αντίστοιχο κόσκινο θα είναι:

$$M_i = \chi A_i + \psi B_i + \zeta \Gamma_i$$

Παράλληλα το άθροισμα των ποσοστών των τριών κλασμάτων είναι ίσο με 100. Δηλαδή: $\chi + \psi + \zeta = 1$

Επειδή ο αριθμός των εξισώσεων είναι μεγαλύτερος του αριθμού των αγνώστων, η επίλυση του προβλήματος στοχεύει στην εξεύρεση της καμπύλης εκείνης που πλησιάζει περισσότερο την καμπύλη επιλογής. Μαθηματικά αυτό μπορεί να γίνει με την μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων.

Πρακτικά το σύστημα εξισώσεων που προκύπτει μπορεί να επιλυθεί προσεγγιστικά, όπως στο παράδειγμα που ακολουθεί.

Έστω ότι ισχύουν τα δεδομένα του προηγούμενου παραδείγματος και είναι επιθυμητό η κοκκομετρική καμπύλη του μίγματος να πλησιάζει κατά το δυνατόν περισσότερο την καμπύλη (ε) του σχήματος. Στην περίπτωση αυτή προκύπτει το παρακάτω σύστημα εξισώσεων:

<i>Κόσκινο</i>	<i>Εξίσωση</i>	
31.5	$100 z + 100 \psi + 100 \chi = 100$	(1)
16.0	$44 z + 100 \psi + 100 \chi = 78$	(2)
8.0	$14 z + 80 \psi + 100 \chi = 61$	(3)
4.0	$6 z + 40 \psi + 96 \chi = 42$	(4)
2.0	$10 \psi + 72 \chi = 33$	(5)
1.0	$5 \psi + 44 \chi = 20$	(6)
0.50	$28 \chi = 12$	(7)
0.25	$16 \chi = 7$	(8)
	$z + \psi + \chi = 1$	(9)

Από τις εξισώσεις (7) και (8) προκύπτει $x=0.4285$ και $x=0.4375$ αντίστοιχα. Λαμβάνεται προσεγγιστικά η τιμή $x=0.43$.

Με βάση την παραπάνω τιμή του x και τις εξισώσεις (5) και (6) υπολογίζονται αντίστοιχα $y=0.20$ και $y=0.23$. Λαμβάνεται προσεγγιστικά η τιμή $y=0.21$.

Από τις τιμές των x και y και την εξίσωση (9) προκύπτει $z=0.39$.

Αντικαθιστώντας τις τιμές των x, y, z στις εξισώσεις 1- 8 προκύπτουν οι παρακάτω τιμές:

κόσκινο	31.5	16.0	8.0	4.0	2.0	1.0	0.50	0.25
% διερχόμενο	100.0	80	65	52	33	20	13	7

με βάση τις οποίες λαμβάνεται η τελική καμπύλη του μίγματος, η οποία ελέγχεται εάν συμφωνεί με την θεωρητική καμπύλη των κανονισμών που αρχικά επιλέχθηκε. Εάν υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις διορθώνονται τα ποσοστά και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

III. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Γενικά, ο εργαστηριακός έλεγχος των αδρανών υλικών περιλαμβάνει τόσο τον έλεγχο του μητρικού πετρώματος από το οποίο προέρχονται τα αδρανή, όσο και τον έλεγχο των ίδιων των αδρανών. Σε πρώτη φάση οι έλεγχοι περιλαμβάνουν: προσδιορισμό της μηχανικής αντοχής του μητρικού πετρώματος, της αντοχής σε αποσάθρωση του πετρώματος, της αντοχής σε τριβή και κρούση, προσδιορισμό ορυκτολογικής σύστασης, κ.ά. Σε δεύτερη φάση οι έλεγχοι περιλαμβάνουν κοκκομετρική ανάλυση, προσδιορισμό φαινομένου και ειδικού βάρους, προσδιορισμό παιπάλης.

Σε κάθε πειραματική διαδικασία, η επιλογή του προς ανάλυση δείγματος αποτελεί σημαντικό παράγοντα ενός εργαστηριακού ελέγχου. Η δειγματοληψία ενός αδρανούς πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε το δείγμα που θα ληφθεί να εκφράζει πιστά τις ιδιότητες όλης της ποσότητας του υλικού που αντιπροσωπεύει.

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν δείγματα αδρανών υλικών (άμμων, χαλικιών) του εμπορίου αλλά και φυσικών αποθέσεων, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε εργαστηριακή και εργοταξιακή κλίμακα για την παρασκευή κονιαμάτων αποκατάστασης, με κεντρικό άξονα ελέγχου την **κοκκομετρική ανάλυση**. Γύρω από την κοκκομετρική ανάλυση αναπτύσσεται ένα πλέγμα υπολογισμών κρίσιμων χαρακτηριστικών παραμέτρων που προκύπτουν από στατιστικούς και γραφικούς υπολογισμούς, με γενικότερο στόχο την παραμετροποίηση της κοκκομετρικής καμπύλης και της κατανομής μεγέθους κόκκων των αδρανών υλικών.

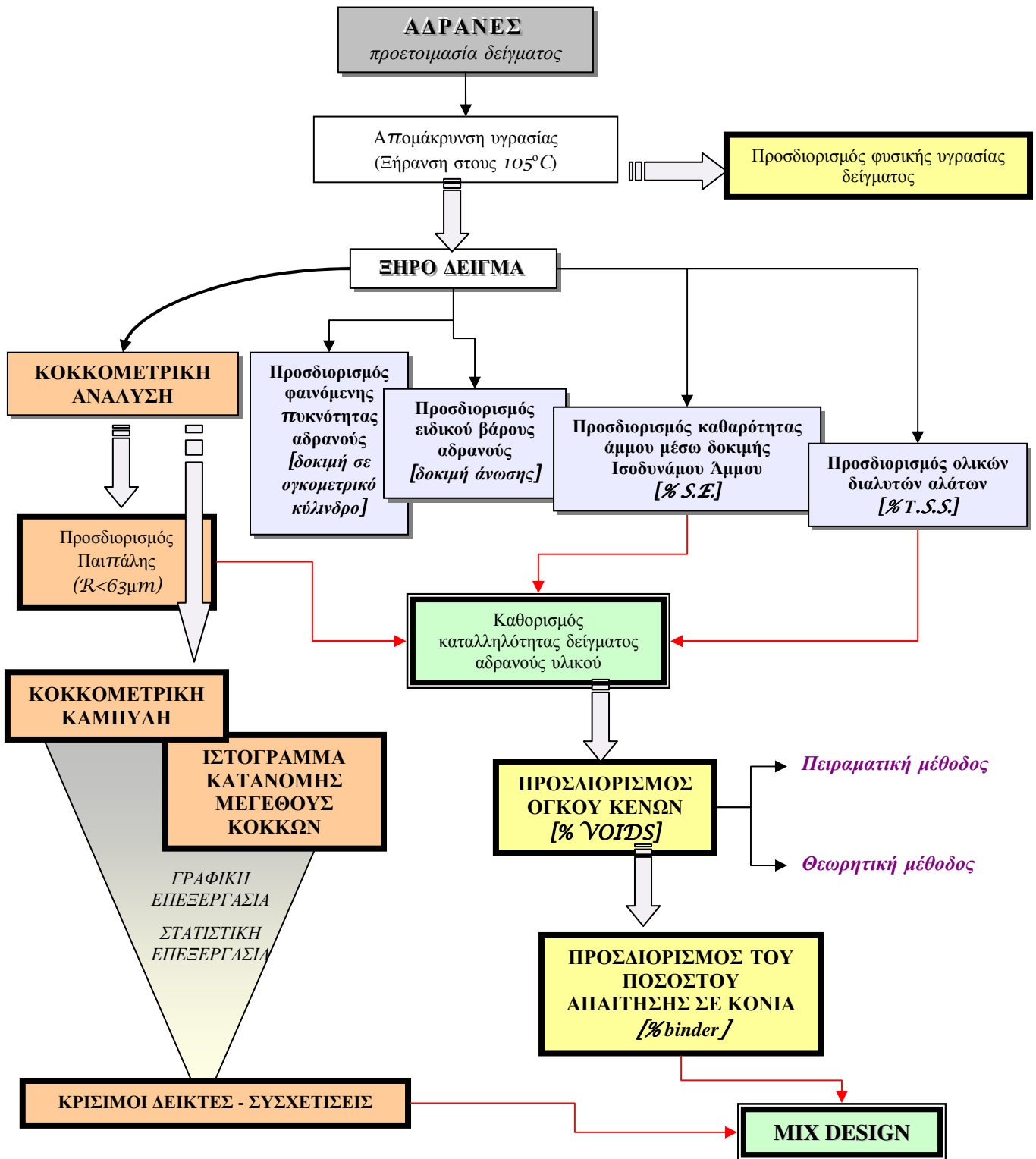
Η πειραματική διαδικασία αφορά σε επί μέρους ελέγχους και προσδιορισμούς των χαρακτηριστικών των αδρανών υλικών που εξετάζονται με γνώμονα την καταλληλότητά τους για την χρήση τους σε κονιάματα αποκατάστασης

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται σχηματικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε.

Η κεντρική ιδέα της διδακτορικής διατριβής είναι η μετάβαση από μια κλασική εργαστηριακή δοκιμή (κοκκομετρική ανάλυση) σε μαθηματική μοντελοποίηση των πειραματικών δεδομένων, μέσω εφαρμογής των όρων που διέπουν μια κοινή στατιστική επεξεργασία.

Δηλαδή, τα εργαστηριακά αποτελέσματα που προκύπτουν από την κοκκομετρική ανάλυση των εξεταζόμενων αδρανών αντιμετωπίζονται ως χαρακτηριστικές στατιστικά μεταβλητοί.

Στόχος είναι η εξαγωγή χαρακτηριστικών κρίσιμων παραμέτρων και δεικτών που θα επιτρέψουν στο γενικότερο πλαίσιο της Μελέτης Σύνθεσης κονιαμάτων αποκατάστασης την πρόβλεψη/εκτίμηση των μηχανικών αντοχών των κονιαμάτων με το πέρας της σκλήρυνσης και ωρίμανσής τους και της μικροδομής τους, δηλαδή του ποσοστού του πορώδους του τελικού κονιάματος.



Σχήμα III.1.: Σχεδιασμός πειραματικής διαδικασίας

Τα κριτήρια και η μεθοδολογία που αναπτύσσονται στην διδακτορική διατριβή βρίσκουν μερική εφαρμογή, η οποία παρουσιάζεται ενδεικτικά, σε μια περίπτωση κονιαμάτων αποκατάστασης υδραυλικού χαρακτήρα (χρήση υδραυλικής ασβέστου τύπου NHL5) στα οποία χρησιμοποιούνται άμμοι των κατηγοριών που εξετάζονται καθώς και ένα μίγμα αδρανών όπου συνδυάζονται άμμος και χαλίκι στο βέλτιστο ποσοστό ανάμιξης.

III.1. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Στο εργαστήριο διερευνήθηκαν δύο κατηγορίες αδρανών υλικών, οι οποίες διακρίνονται βάσει του μεγέθους του μέγιστου κόκκου:

- άμμοι ($D_{max} : 4mm$)
- χαλίκια ή ρυζάκια ($D_{max} : 10mm$)

Για τα υλικά αυτά έλαβε χώρα κοκκομετρική ανάλυση και ακολούθως στατιστική και γραφική επεξεργασία των κοκκομετρικών καμπυλών που προκύπτουν από την ανάλυση αυτή. Επιπλέον, εξετάστηκαν παραμετρικά τα βέλτιστα μίγματα που προκύπτουν μεταξύ των αδρανών αυτών υλικών.

Σημειώνεται ότι εξετάστηκαν μίγματα αδρανών μεταξύ των οποίων προκύπτουν ομαλές κοκκομετρικές κατανομές, καθώς δεν είναι πάντα δυνατή η καλή προσαρμογή ως προς τις κοκκομετρικές καμπύλες όλων των αδρανών μεταξύ τους.

Το στάδιο της ανάμιξης αδρανών υλικών θα αναλυθεί διεξοδικά παρακάτω.

Εργαστηριακά κοκκομετρήθηκε μεγάλος αριθμός δειγμάτων διαφόρων αδρανών υλικών (άμμοι, χαλίκια), καθώς και διαφορετικές παρτίδες του ίδιου υλικού σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Τα υλικά συγκεντρώθηκαν στο εργαστήριο μέσα σε διάστημα ετών και αφορούν μεν στο ίδιο αδρανές υλικό, είτε φυσικό είτε εμπορίου, προερχόμενο όμως από διαφορετική παρτίδα ή διαφορετικό δείγμα αδρανούς που αποθηκευόταν κάθε φορά σε έργα αποκατάστασης που βρίσκονταν σε εξέλιξη σε διάφορες περιοχές.

Οι κοκκομετρικές καμπύλες των αδρανών υλικών που παρατίθενται στην παρούσα εργασία προέκυψαν ως μέσες καμπύλες κατανομής από το πλήθος αυτών των μεμονομένων κατανομών που εξήχθησαν κατά την κοκκομέτρηση κάθε μιας διαφορετικής παρτίδας αδρανούς υλικού στις διαφορετικές χρονικές στιγμές. Σημειώνεται ότι οι αποκλίσεις, ιδίως για τα αδρανή υλικά του εμπορίου, δεν ήταν μεγάλες, γεγονός που οδήγησε σε ασφαλή προσέγγιση μιας μέσης κοκκομετρικής καμπύλης για κάθε αδρανές υλικό, ανεξαρτήτως παρτίδας.

Συγκεκριμένα εξετάστηκαν **11** άμμοι και **4** ρυζάκια ως μεμονωμένα αδρανή, αλλά και οι συνδυασμοί τους, που στο σύνολό τους απαριθμούν **44** μίγματα αδρανών. Από αυτά και με βάση το κριτήριο ομαλής κοκκομετρικής καμπύλης, ως αποδεκτά εμφανίζονται τα **16** μίγματα.

Η κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων των άμμων έγινε και στις δύο πρότυπες σειρές κοσκίνων που διατίθενται στο εργαστήριο, κατά **EN** και **ASTM** [100,101]. Η κοκκομετρική ανάλυση των χαλικιών (1/10mm) έγινε κατά **ASTM** για το λόγο ότι στη σειρά αυτή των κοσκίνων του εργαστηρίου υπάρχουν κόσκινα με μεγαλύτερη διάμετρο οπής, που καλύπτει όλο το φάσμα των κλασμάτων των συγκεκριμένων αδρανών με μέγιστο κόκκο $D=10mm$, δεδομένου ότι στην σειρά κοσκίνων κατά **ASTM** το μεγαλύτερο κόσκινο έχει άνοιγμα βρογχίδας 12,5mm. Στην σειρά των κοσκίνων κατά **EN** του εργαστηρίου το μεγαλύτερο κόσκινο έχει άνοιγμα βρογχίδας 8mm.

Κατά την ανάμιξη των παραπάνω αδρανών (άμμοι, χαλίκια) σε διάφορα ποσοστά συμμετοχής στο μίγμα χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των % αθροιστικά διερχόμενων μαζών από τα κόσκινα κατά **ASTM**, προκειμένου να είναι δυνατός ο συνδυασμός των ποσοστών συμμετοχής αλλά και η παράθεση στο ημιλογαριθμικό διάγραμμα των κοκκομετρικών καμπυλών των μιγμάτων των αδρανών.

Η ομαδοποίηση των κοκκομετρικών κατανομών έγινε με βάση τον μέγιστο κόκκο (D_{max}) του κάθε υλικού, προκειμένου εν συνεχεία να είναι δυνατός ο καθορισμός συγκεκριμένων περιοχών επί των διαγραμμάτων των κοκκομετρικών καμπυλών που αποκρίνονται σε συγκεκριμένα ποσοστά όγκου κενών (%voids). Το ποσοστό του όγκου των κενών (% voids)

αποτελεί μια από τις πλέον χαρακτηριστικές και κρίσιμες παραμέτρους ενός αδρανούς υλικού και θα εξετασθεί αναλυτικά παρακάτω [43].

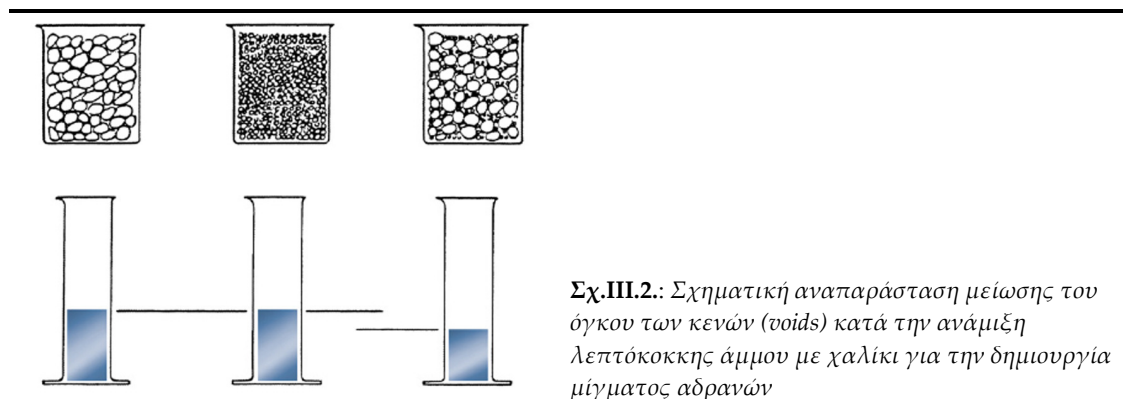
Για εργαστηριακές δοκιμές χρησιμοποιείται η πρότυπη άμμος **Sable Normal** κατά CEN EN 196-1 (§5) [102], η οποία ουσιαστικά ακολουθεί με ικανοποιητική προσέγγιση τις απαιτήσεις της θεωρητικής καμπύλης που εξάγεται από την εξίσωση Fuller, χαρακτηρίζεται δε από το ελάχιστο ποσοστό όγκου κενών που ορίζεται κατά Fuller, δηλ. περίπου 28% κ.ο., όπως αποδεικνύεται και πειραματικά. Η συγκεκριμένη πρότυπη άμμος χαρακτηρίζεται από μέγιστο κόκκο D_{max} : 2mm.

Σε κάθε δείγμα αδρανούς που εξετάστηκε στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκαν οι βασικές προκαταρκτικές δοκιμές που συνηθίζονται σε δείγματα αδρανών υλικών.

- Συγκεκριμένα, για κάθε υλικό προσδιορίστηκε η φαινόμενη πυκνότητά του μέσω της δοκιμής του πρότυπου κυλίνδρου 1lt [103,104,105]. Η ποσότητα της μάζας που εισάγεται ελεύθερα (χωρίς πάκτωση) στον κύλινδρο σταθερού όγκου 1lt ζυγίζεται και από την γνωστή σχέση μάζας δια όγκου προσδιορίζεται η φαινόμενη πυκνότητα του δείγματος.
- Μετρήθηκε επίσης το ειδικό βάρος των αδρανών υλικών, μέσω δοκιμής άνωσης σε 100g περίπου υλικού, τα οποία επίσης εισάγονται σε ογκομετρικό κυλινδρικό δοχείο. Από το νερό που εκτοπίζεται προσδιορίζεται το ειδικό βάρος του αδρανούς [103,104,105,106].
- Τα δείγματα ξηράθηκαν στο φούρνο στους 105°C για την απομάκρυνση της φυσικής υγρασίας.
- Ακολούθησε η διαδικασία της κοκκομετρικής ανάλυσης ή κοκκοδιαβάθμισης [107,108]. Κατά την κοκκομετρική ανάλυση προσδιορίστηκε το υπόλειμμα το διερχόμενο από το τελευταίο κόσκινο (<63μm κατά EN), που αντιστοιχεί στο ποσοστό της παιπάλης του δείγματος, το οποίο για τις εξεταζόμενες άμμους δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5% (EN 13139:2002).
- Στα δείγματα που εξετάστηκαν πραγματοποιήθηκε και προσδιορισμός περιεχομένου αργιλικών προσμίξεων μέσω της δοκιμής ισοδυναμίου άμμου [109,110], προκειμένου να επιλεχθούν και να εξετασθούν περαιτέρω τα αδρανή εκείνα τα οποία είναι απαλλαγμένα από ανεπιθύμητες αργιλικές προσμίξεις.
- Όπως ήδη αναφέρθηκε, πολύ σημαντικός εργαστηριακός προσδιορισμός είναι και ο προσδιορισμός του όγκου των κενών των αδρανών υλικών (% voids) τόσο πειραματικά όσο και θεωρητικά μέσω φαινόμενης και πραγματικής πυκνότητας, όπως προαναφέρθηκε. Πειραματικά το ποσοστό του όγκου των κενών ενός αδρανούς υπολογίζεται με χρήση πρότυπου κυλίνδρου 1lt όπου εισάγεται ελεύθερα (χωρίς πάκτωση) το υλικό, και ακολούθως ογκομετρύεται το νερό που απαιτείται για την τέλεια πλήρωση των κενών του αδρανούς που καταλαμβάνει τον συγκεκριμένο όγκο του 1lt [111,112,113]. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για μίγματα αδρανών υλικών.



Παρακάτω αποδίδεται σχηματικά η μείωση του όγκου των κενών που λαμβάνει χώρα κατά την ανάμιξη ενός λεπτόκοκκου με ένα αδρόκοκκο αδρανές υλικό για την δημιουργία μίγματος αδρανών με τα ελάχιστα δυνατά κενά.



Στην συγκεκριμένη εργασία η βασική εργαστηριακή δοκιμή αφορά σε αυτή καθ'αυτή την κοκκομετρική ανάλυση των αδρανών υλικών, η οποία πραγματοποιείται σε πρότυπες σειρές κοσκίνων τόσο κατά τα ευρωπαϊκά πρότυπα EN όσο και κατά το αμερικάνικο πρότυπο ASTM. Τα δεδομένα που προέκυψαν επεξεργάστηκαν ώστε να εξαχθούν οι κοκκομετρικές καμπύλες και τα ιστογράμματα κατανομής μεγέθους κόκκων των αδρανών. Ακολούθησε παραμετρική ανάλυση και στατιστική επεξεργασία των δεδομένων, καθώς και γραφικοί προσδιορισμοί των κρίσιμων μεγεθών που χαρακτηρίζουν μια κοκκομετρική καμπύλη.

ΙΙΙ.2. ΚΡΙΣΙΜΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Οι κρίσιμοι δείκτες που προσδιορίζονται κατά την επεξεργασία της κοκκομετρικής καμπύλης αφορούν στις παραμέτρους εκείνες που υπολογίζονται με εφαρμογή *Descriptive Statistics Analysis* μέσω Excel επί των αποτελεσμάτων της κοκκομετρίας κάθε αδρανούς υλικού που εξετάζεται.

Οι παράμετροι που προκύπτουν από την στατιστική επεξεργασία της κατανομής και μέσω γραφικού υπολογισμού επί της καμπύλης και εξετάζονται στην παρούσα εργασία συγκεντρώνονται παρακάτω [96,98]:

MEDIA _ αποτελεί ουσιαστικά το κέντρο βαρύτητας της κατανομής των κόκκων ενός αδρανούς υλικού

MEDIANA _ διάμεση ή διχοτόμος τιμή, που υπολογίζεται γραφικά από την κοκκομετρική καμπύλη, ως η διάμετρος των κόκκων που αντιστοιχεί στο 50% του αθροιστικά διερχόμενου υλικού και αφορά ουσιαστικά στο γεωμετρικό κέντρο της καμπύλης

Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά μεταξύ των τιμών της Media και της Mediana τόσο πιο ασύμμετρη είναι η καμπύλη

MODA _ συχνότερη ή πιθανότερη τιμή, η οποία αντικατοπτρίζει την τιμή της μέγιστης συχνότητας μιας κλάσης κόκκων

Q3 _ δείκτης που υπολογίζεται γραφικά από την κοκκομετρική καμπύλη και αφορά στο μέγεθος των κόκκων σε mm που αντιστοιχεί στο 75% του αθροιστικά διερχόμενου υλικού

Q1 _ δείκτης που υπολογίζεται γραφικά από την κοκκομετρική καμπύλη και αφορά στο μέγεθος των κόκκων σε mm που αντιστοιχεί στο 25% του αθροιστικά διερχόμενου υλικού

So _ δείκτης ταξινόμησης (Sorting Index) ο οποίος υπολογίζεται ως το κλάσμα των συντελεστών Q3/Q1. Από την τιμή που λαμβάνει συνεκτιμάται αν ένα αδρανές υλικό είναι καλώς ή κακώς ταξινομημένο

D60 _ δείκτης που υπολογίζεται γραφικά από την κοκκομετρική καμπύλη και αφορά στο μέγεθος των κόκκων σε mm που αντιστοιχεί στο 60% του αθροιστικά διερχόμενου υλικού
D10 _ δείκτης που υπολογίζεται γραφικά από την κοκκομετρική καμπύλη και αφορά στο μέγεθος των κόκκων σε mm που αντιστοιχεί στο 10% του αθροιστικά διερχόμενου υλικού
Cu _ συντελεστής ομοιομορφίας (uniformity coefficient) ο οποίος υπολογίζεται ως το κλάσμα των συντελεστών D60/D10.

[%voids (κ.ο.)]: Σημαντική παράμετρος χαρακτηρισμού ενός αδρανούς υλικού είναι το ποσοστό του όγκου των κενών, το οποίο προκύπτει τόσο πειραματικά στο εργαστήριο όσο και θεωρητικά, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μέσω φαινόμενης και πραγματικής πυκνότητας του αδρανούς, εφαρμόζοντας τον σχετικό τύπο.

Η συγκεκριμένη παράμετρος αποτελεί κρίσιμη παράμετρο σχεδιασμού προκειμένου να προσδιορισθεί το απαιτούμενο ποσοστό κονιάς για την παρασκευή κονιαμάτων.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΛΕΠΤΟΤΗΤΑΣ [Fineness Modulus (F.M.)] [103]

Ο συντελεστής λεπτότητας (Fineness Modulus) εκφράζει την αδρότητα ή τη λεπτότητα ενός αδρανούς υλικού και αποτελεί ενδεικτική τιμή της γεωμετρίας του. Στην βιβλιογραφία καταγράφεται ο ακόλουθος τύπος υπολογισμού του συντελεστή λεπτότητας:

$$F.M. = \Sigma (\% \text{ αθρ.συγκρατούμενο}) / 100$$

δηλ. αθροίζονται τα ποσοστά των επί τοις εκατό αθροιστικά συγκρατούμενων μαζών σε καθορισμένη σειρά κοσκίνων και διαιρούνται με το 100. η σειρά κοσκίνων αφορά στα κόσκινα διαμέτρων 9,5mm-4.75mm-2.36mm-1.18mm-600μm-300μm-150μm.

Παράδειγμα υπολογισμού F.M. λεπτόκοκκου αδρανούς

<i>οπή κοσκίνου</i>	<i>% αθρ.συγκρατούμενο</i>
4.95mm (No4)	2
2.3.6mm (No8)	15
1.18mm (No16)	35
600μm (No30)	55
300μm (No50)	79
150μm (No100)	97
<i>Αθροισμα</i>	283
F.M.	(283/100)
	2.83

Αυτός ο παράγοντας αποδεικνύεται στη συνέχεια πολύ σημαντικός διότι συσχετίζεται με το ποσοστό του νερού που απαιτείται για την παρασκευή εργάσιμου μίγματος κονιάματος. Γενικότερα, ο συντελεστής λεπτότητας ενός αδρανούς είναι χαρακτηριστικός της αδρότητας ή της λεπτότητας αυτού και κατά ευρύτερη έννοια της κοκκομετρίας του, που επηρεάζει σημαντικά την εργασιμότητα του μίγματος.

Τέλος, ως χαρακτηριστικές παράμετροι ενός αδρανούς συνεκτιμώνται και τα φυσικά χαρακτηριστικά αυτού, δηλαδή η φαινόμενη πυκνότητα d_{bulk} , η πραγματική πυκνότητα d_{real} , το ποσοστό παιπάλης.

III.3. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΣΤΗΚΑΝ

III.3.1. ΑΜΜΟΙ

Στο εργαστήριο, έχει εξεταστεί τα τελευταία χρόνια ένας μεγάλος αριθμός αδρανών υλικών ως προς την κοκκομετρική τους διαβάθμιση και την παραμετρική διερεύνηση της κοκκομετρικής τους καμπύλης. Μεταξύ του πλήθους αυτών των αδρανών, επιλέχθηκαν και διερευνώνται παρακάτω αναλυτικά οι κοκκομετρικές κατανομές **11** διαφορετικών άμμων κατά κύριο λόγο ποταμίσις προέλευσης, καθαρές, με χαμηλά ποσοστά παιπάλης και μέγιστο κόκκο αδρανούς $D=4\text{mm}$, οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως στην αγορά και εφαρμόζονται σε έργα αποκατάστασης. Μεταξύ αυτών εξετάστηκαν και άμμοι με μεγαλύτερο μέγιστο κόκκο ($D=8\text{mm}$), καθώς και μία άμμος ναταμαρίσις προέλευσης (Χίου), η οποία ωστόσο εμφανίζει υψηλό ποσοστό παιπάλης και αναφέρεται ενδεικτικά η κοκκομετρική της καμπύλη.

Στον πίνακα παρουσίασης των δειγμάτων άμμων που ακολουθεί παρατίθενται τα αποτελέσματα από τον προσδιορισμό των ολικών διαλυτών αλάτων (% TSS) και του ισοδύναμου άμμου (% SE) [109,110,115], καθώς και εικόνες από την παρατήρηση των κλασμάτων των άμμων και των δειγμάτων των άμμων στο στερεομικροσκόπιο σε ανάλυση ($\times 16$).

Ακολουθούν τα διαγράμματα κοκκομετρικής καμπύλης και κοκκομετρικής κατανομής για κάθε άμμο ξεχωριστά, όπως αυτά προέκυψαν από την κοκκομετρική ανάλυση, και σημειώνονται οι χαρακτηριστικές παράμετροι κάθε αδρανούς όπως προκύπτουν από την στατιστική και μαθηματική επεξεργασία και τους γραφικούς προσδιορισμούς επί των κοκκομετρικών καμπυλών, που παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο κεφ.ΙΙ.3 (Ειδικό Θεωρητικό Μέρος Β').

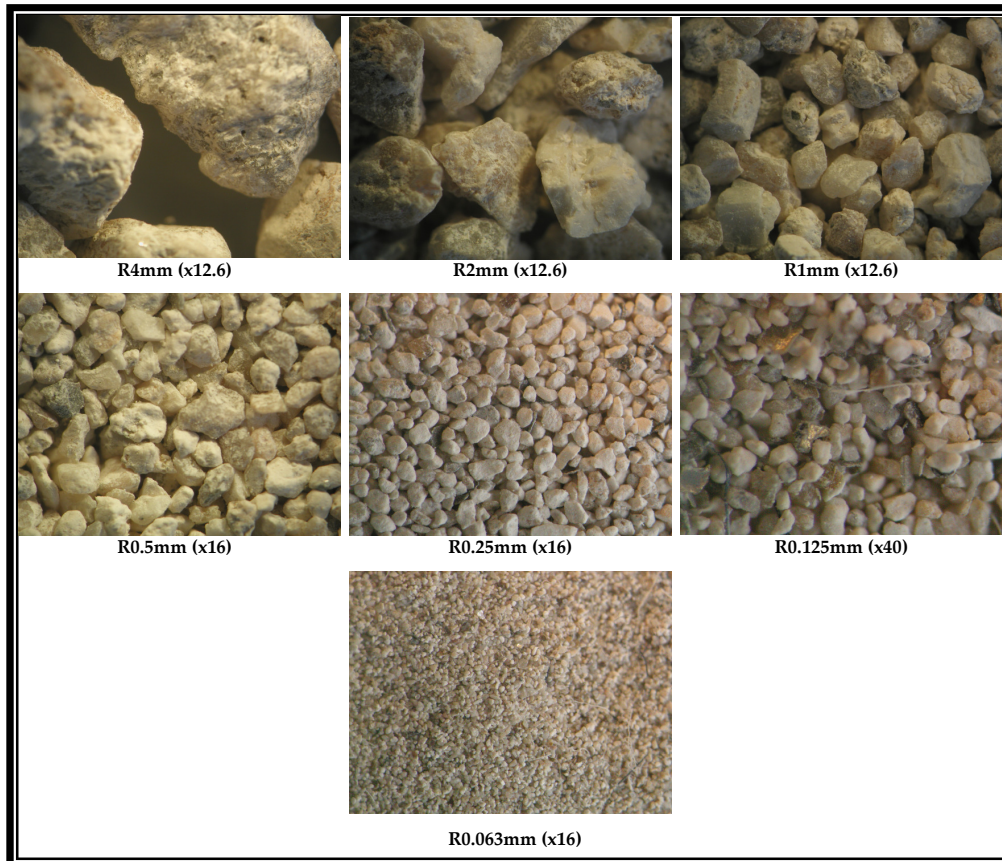


Εικ.ΙΙΙ.1.: Πρότυπη σειρά εργαστηριακών κοσκίνων κατά EN



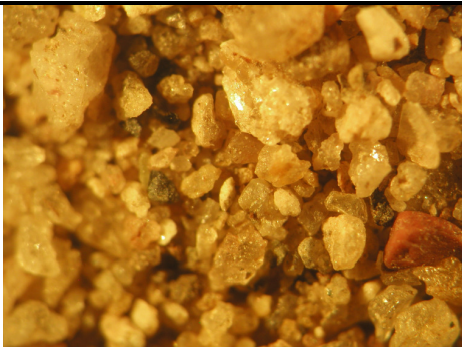



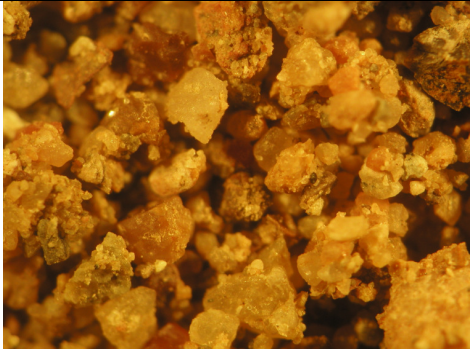



Εικ.ΙΙΙ.2.: Στερεομικροσκοπική παρατήρηση κλασμάτων κατά την κοκκοδιαβάθμιση





ΣΤΕΡΕΟΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΚΛΑΣΜΑΤΩΝ ΑΜΜΩΝ

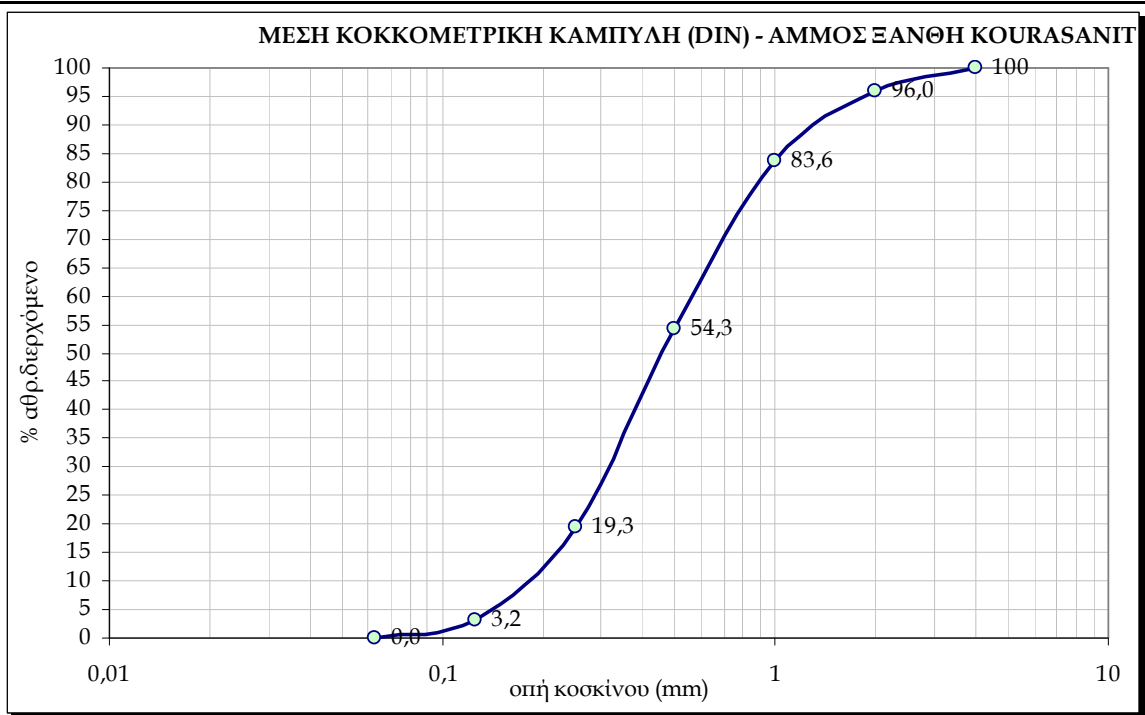


Πίνακας III.1. : Άμμοι

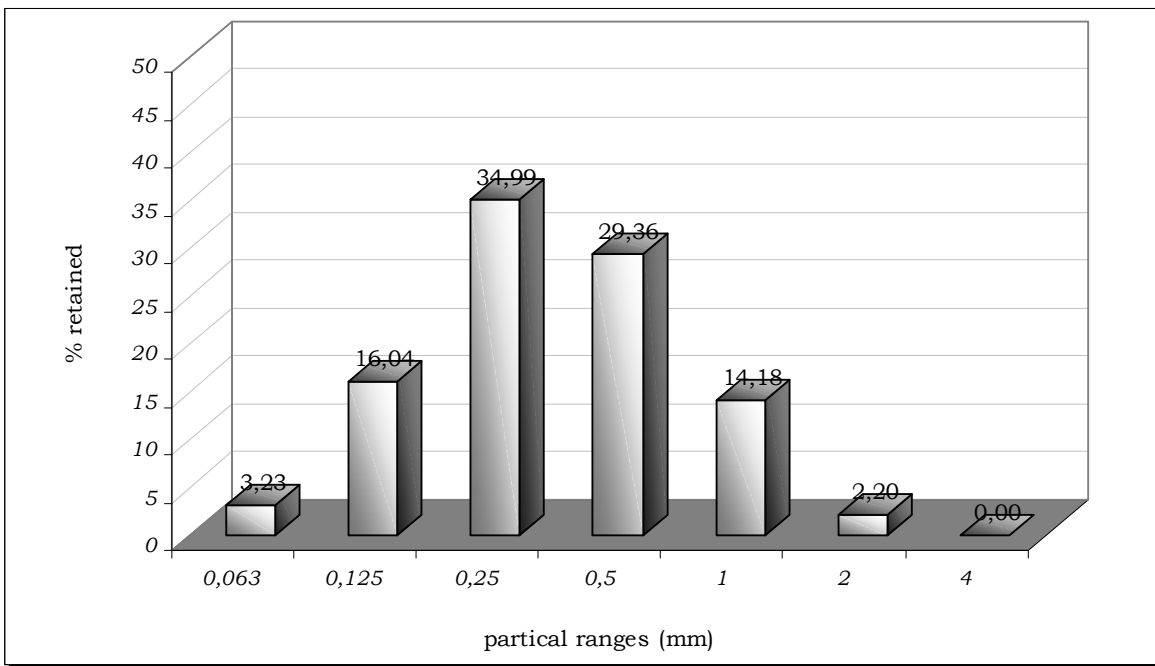
ΑΜΜΟΣ	Στερεομικροσκοπική παρατήρηση (x16)	% παιπάλη	% T.S.S.	% S.E.
Άμμος Ξανθή Kourasanit		1.7	0.7	77
Άμμος Αλιάρτου		1.4	1.9	79
Άμμος Κιλκίς		1.2	0.15	85
Άμμος ποταμού Νάξου		3.2	2.05	82

ΑΜΜΟΣ	Στερεομικροσκοπική παρατήρηση (x16)	% παιπάλη	% T.S.S.	% S.E.
Άμμος ποταμού Ερμής		1.5	1.76	83
Άμμος ποταμού Χίου		1.95	1.98	81
Άμμος νταμαρίσια Χίου		5.0	2.19	72
Άμμος μαύρη Kourasanit		0.25	0.39	94

ΑΜΜΟΣ	Στερεομικροσκοπική παρατήρηση (x16)	% παμπάλη	% T.S.S.	% S.E.
Άμμος Ξανθιά Θεσ/νικη		1.5	0.78	94
Άμμος μέτρια Θεσ/νικη		0.2	0.65	96
Άμμος χοντρή Θεσ/νικη		0.05	0.51	98
Sable Normal (πρότυπη άμμος)		0.05	0.47	98



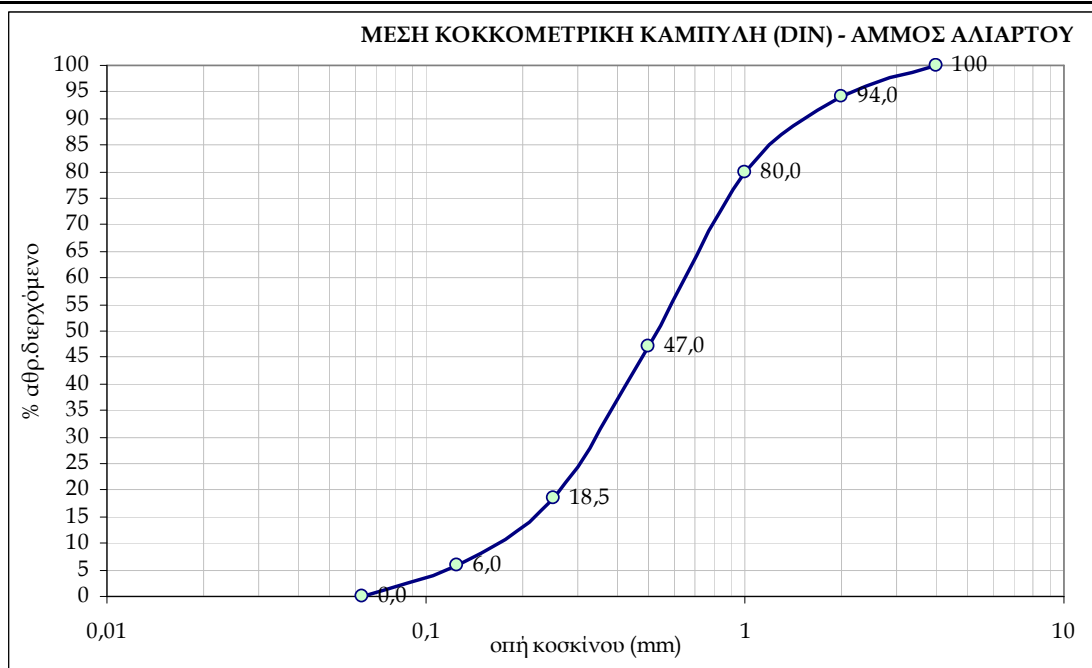
Διάγραμμα III.1α: Μέση κοκκομετρική καμπύλη άμμου Ξανθής Kourasanit



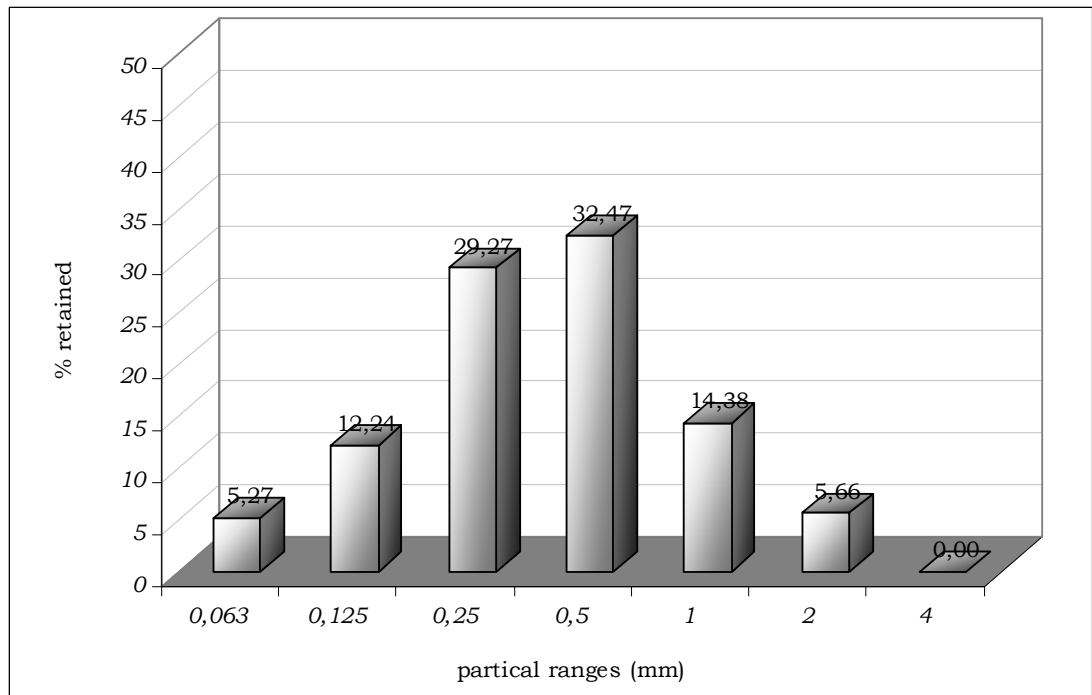
Διάγραμμα III.1β: Μέση κοκκομετρική κατανομή μεγέθους κόκκων άμμου Ξανθής Kourasanit

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

D_{max} (mm)	4	Cu	3,17
MEDIA	0,62	Kurtosis	-1,149
MODA	0,354	Skewness	0,654
MEDIANA (50%)	0,48	F.M.	2,44
So	2,79	% voids	39 %

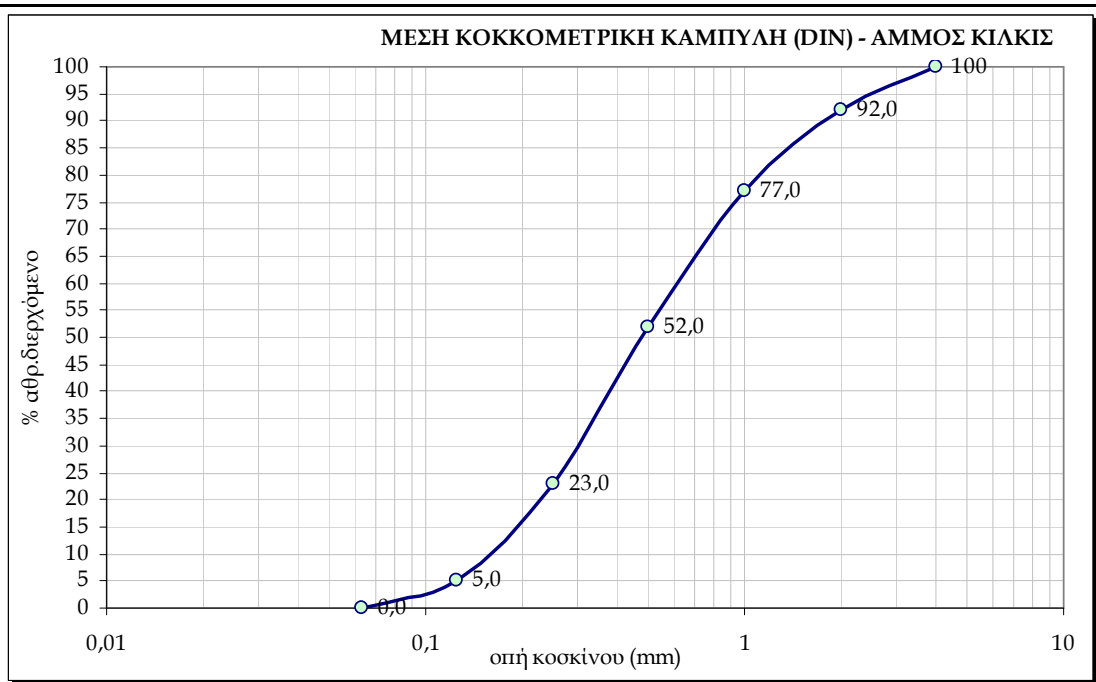


Διάγραμμα III.2.α: Μέση κοκκομετρική καμπύλη άμμου ποταμού Αλιάρτου

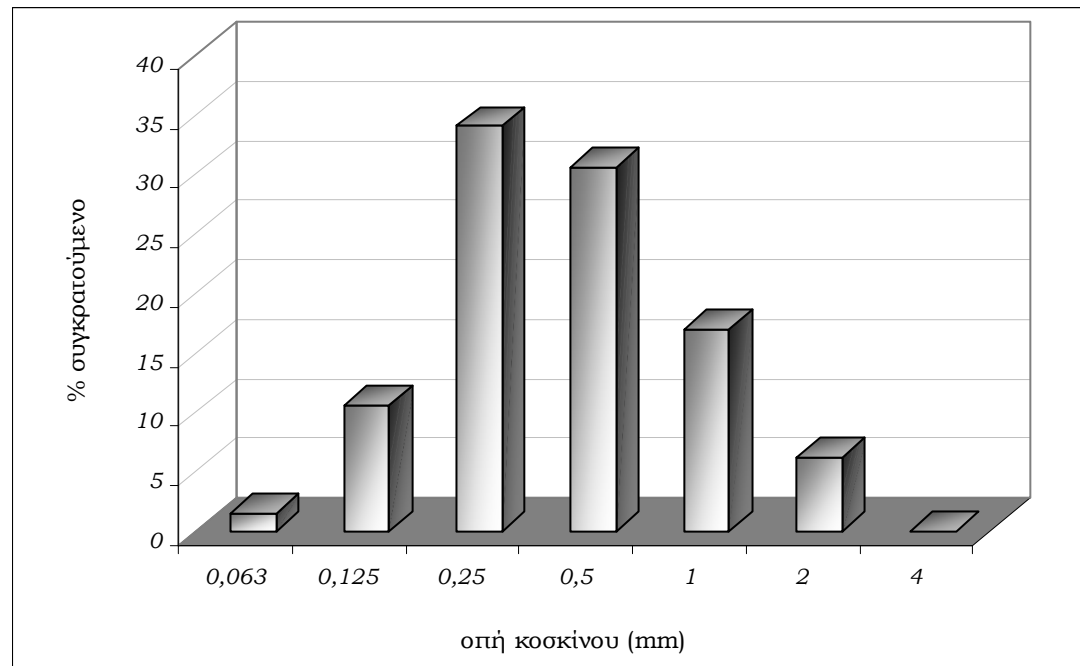


Διάγραμμα III.2.β: Μέση κοκκομετρική κατανομή μεγέθους κόκκων άμμου ποταμού Αλιάρτου

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ			
D_{max} (mm)	4	Cu	3,76
MEDIA	0.74	Kurtosis	-0,919
MODA	0.707	Skewness	0,685
MEDIANA (50%)	0.52	F.M.	2,55
So	2,97	% voids	37,5 %

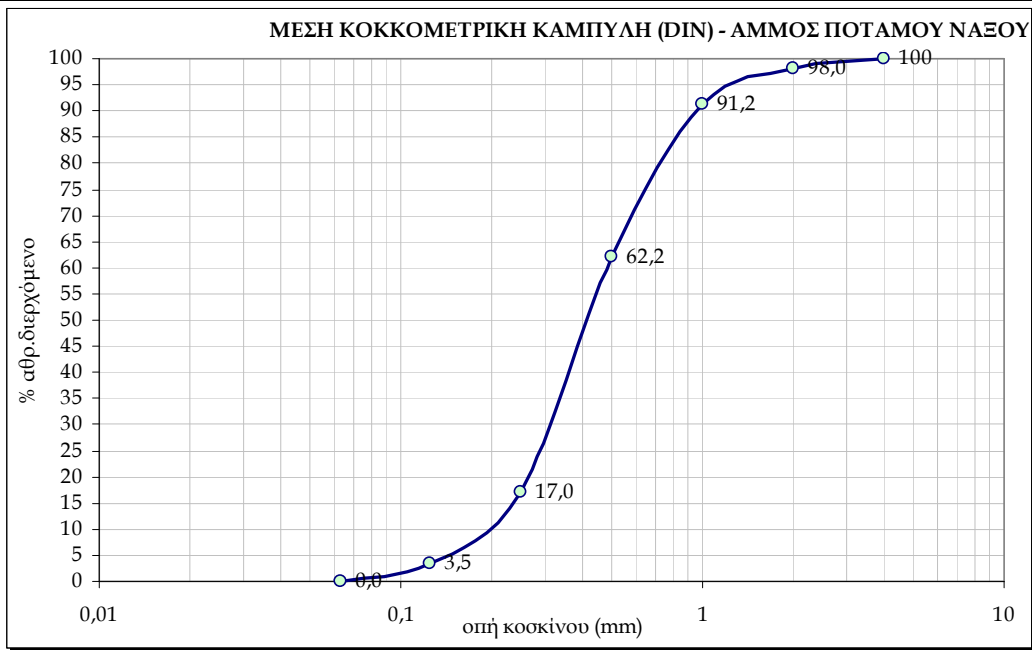


Διάγραμμα III.3.α: Μέση κοκκομετρική καμπύλη άμμου ποταμού Κιλκίς

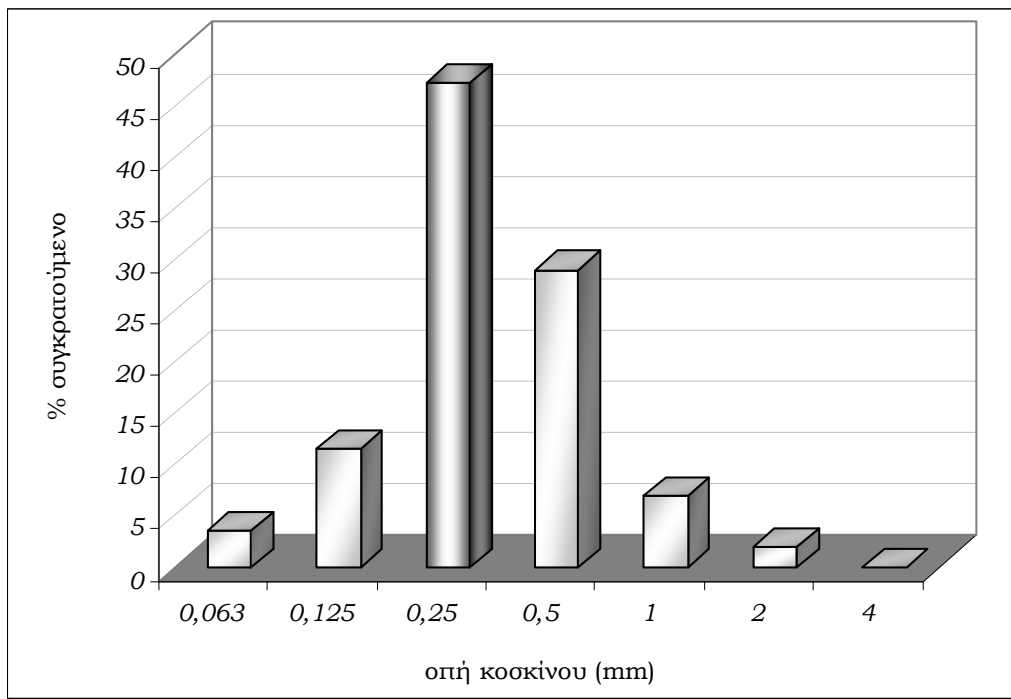


Διάγραμμα III.3.β: Μέση κοκκομετρική κατανομή μεγέθους κόκκων άμμου ποταμού Κιλκίς

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ			
D_{max} (mm)	4	Cu	3,75
MEDIA	0,92	Kurtosis	-1,316
MODA	0,354	Skewness	0,095
MEDIANA (50%)	0,49	F.M.	2,51
So	3,21	% voids	39 %

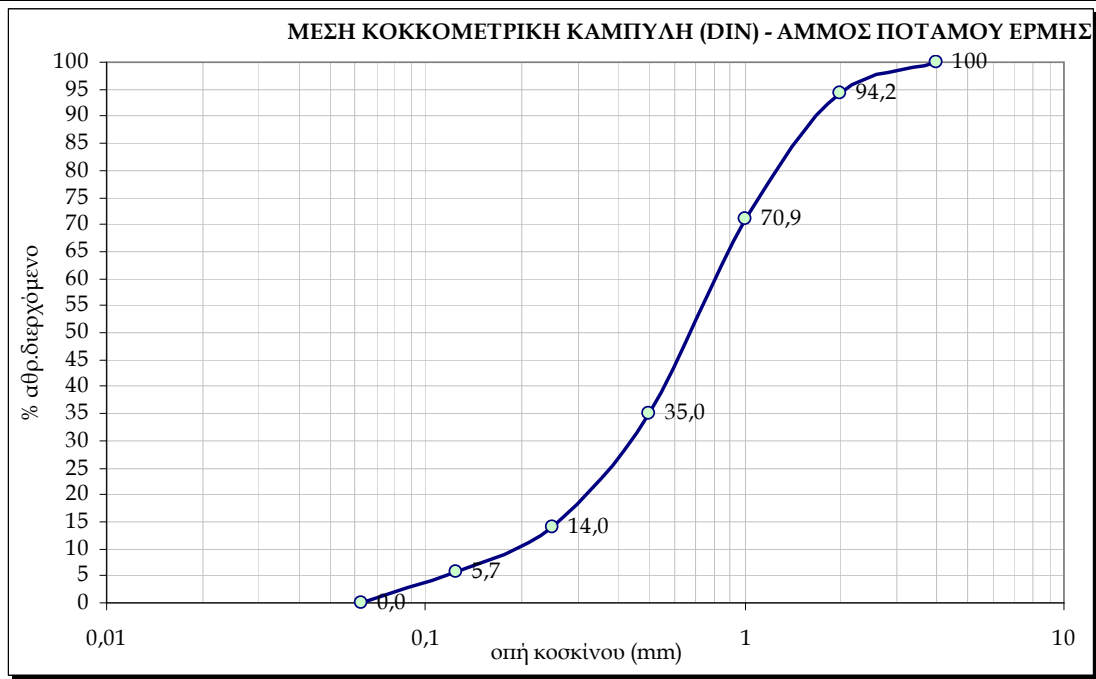


Διάγραμμα III.4.α: Μέση κοκκομετρική καμπύλη άμμου ποταμού Νάξου

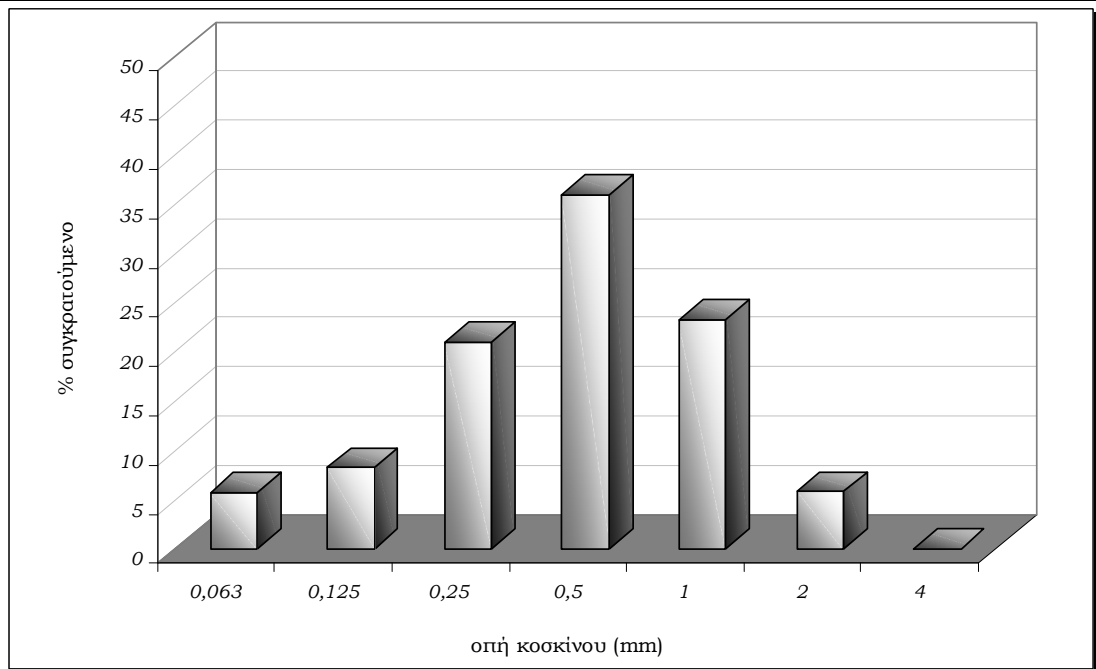


Διάγραμμα III.4.β: Μέση κοκκομετρική κατανομή μεγέθους κόκκων άμμου ποταμού Νάξου

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ			
D_{max} (mm)	4	Cu	2,45
MEDIA	0,55	Kurtosis	0,652
MODA	0,354	Skewness	1,286
MEDIANA (50%)	0,41	F.M.	2,28
So	2,17	% voids	40 %



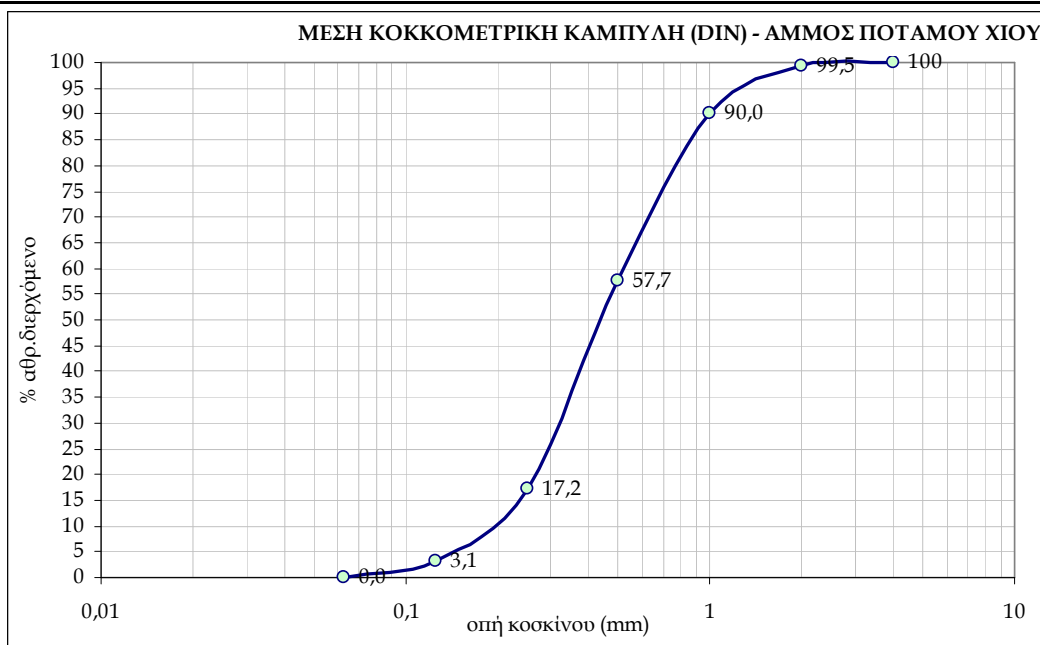
Διάγραμμα III.5.α: Μέση κοκκομετρική καμπύλη άμμου ποταμού Ερμής



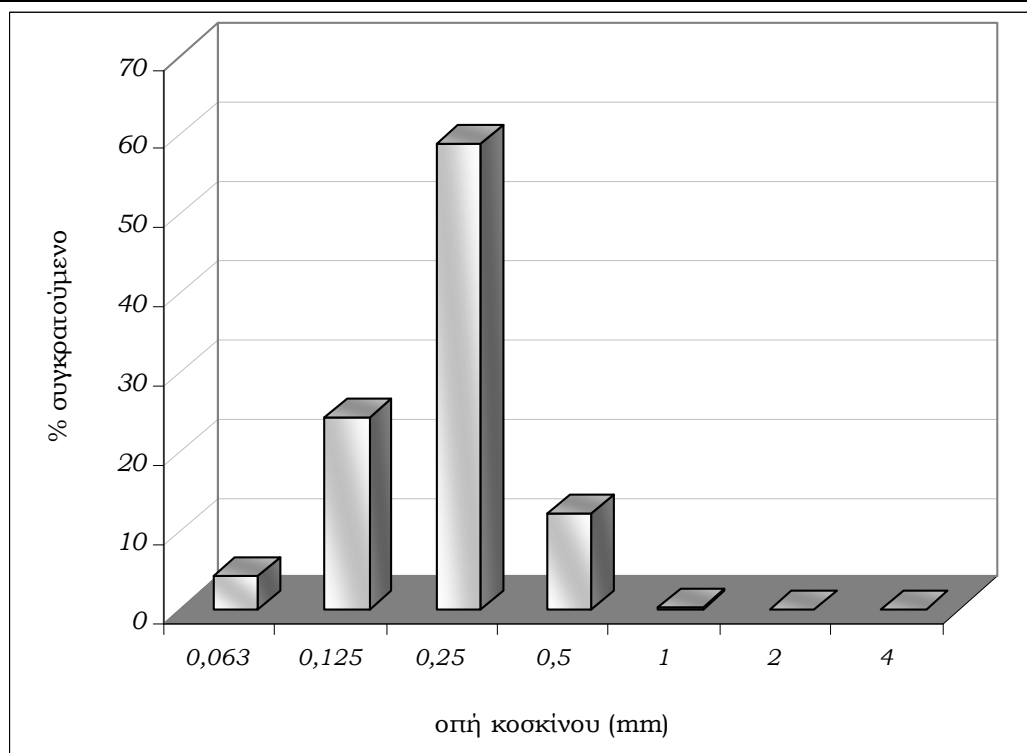
Διάγραμμα III.5.β: Μέση κοκκομετρική κατανομή μεγέθους κόκκων άμμου ποταμού Ερμής

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

D_{max} (mm)	4	Cu	4,00
MEDIA	0,87	Kurtosis	0,080
MODA	0,707	Skewness	1,002
MEDIANA (50%)	0,67	F.M.	2,80
So	2,86	% voids	39%



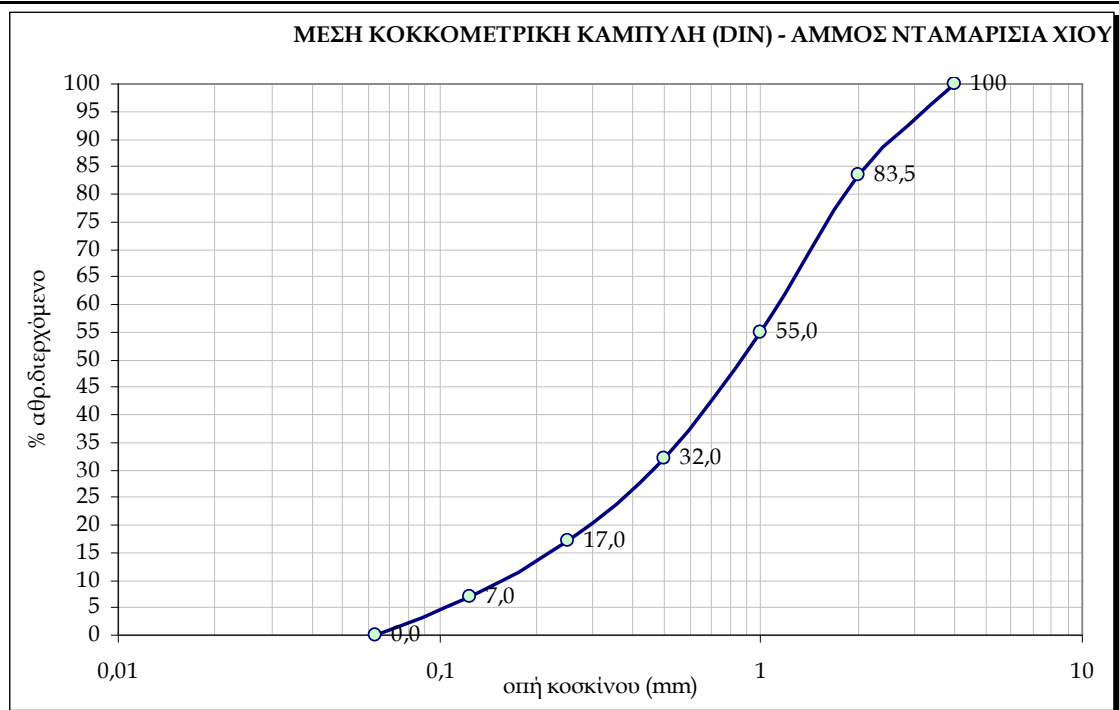
Διάγραμμα III.6.α: Μέση κοκκομετρική καμπύλη άμμου ποταμού Χίου



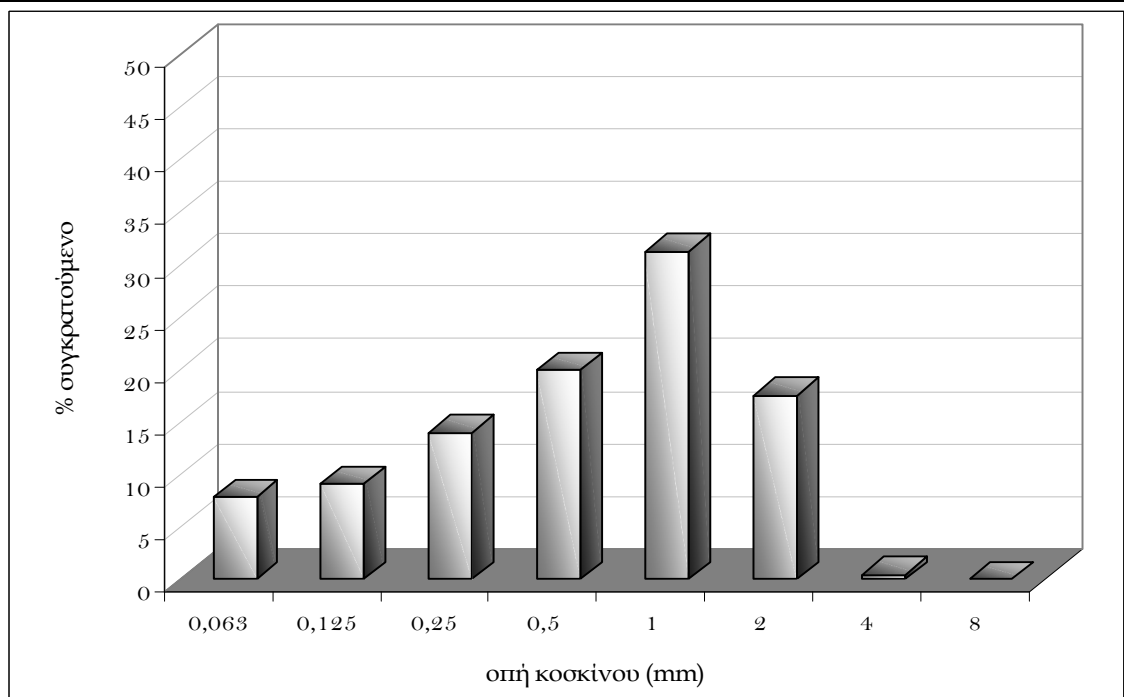
Διάγραμμα III.6.β: Μέση κοκκομετρική κατανομή μεγέθους κόκκων άμμου ποταμού Χίου

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

D_{max} (mm)	4	Cu	4,00
MEDIA	0,507	Kurtosis	-0,4445
MODA	0,354	Skewness	1,1705
MEDIANA (50%)	0,42	F.M.	2,33
So	3,08	% voids	41%



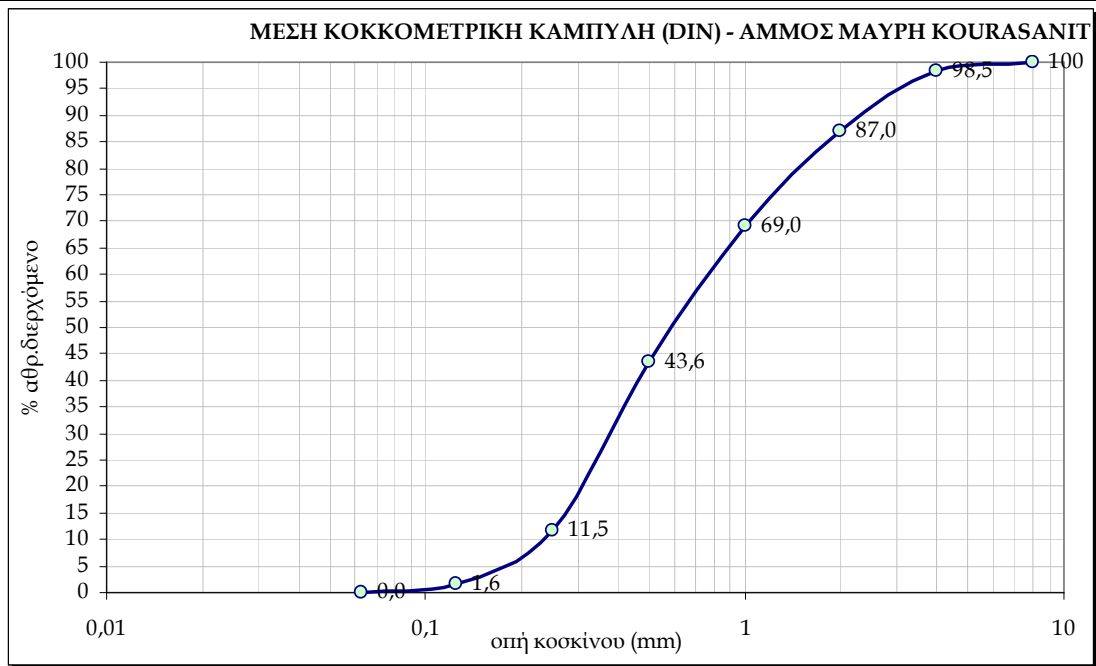
Διάγραμμα III.7.α: Μέση κοκκομετρική καμπύλη νταμαρίσιας άμμου Χίου



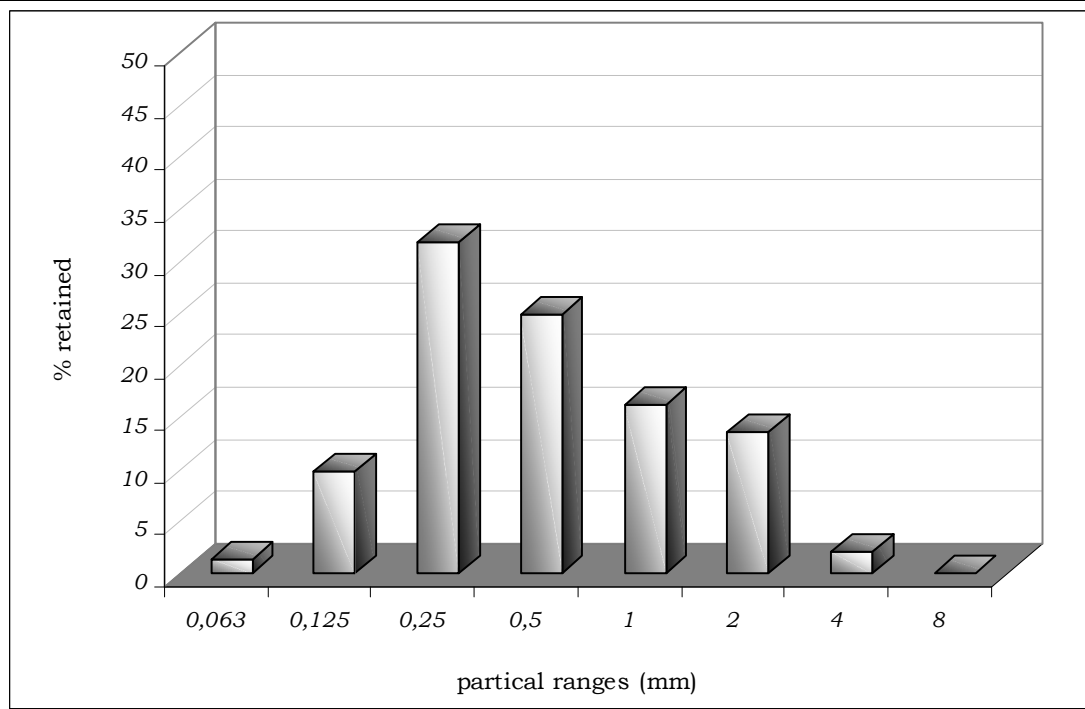
Διάγραμμα III.7.β: Μέση κοκκομετρική κατανομή μεγέθους κόκκων νταμαρίσιας άμμου Χίου

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

D_{max} (mm)	4	Cu	6,88
MEDIA	1,007	Kurtosis	-0,8377
MODA	1,414	Skewness	0,4849
MEDIANA (50%)	0,89	F.M.	3,06
So	4,47	% voids	37%



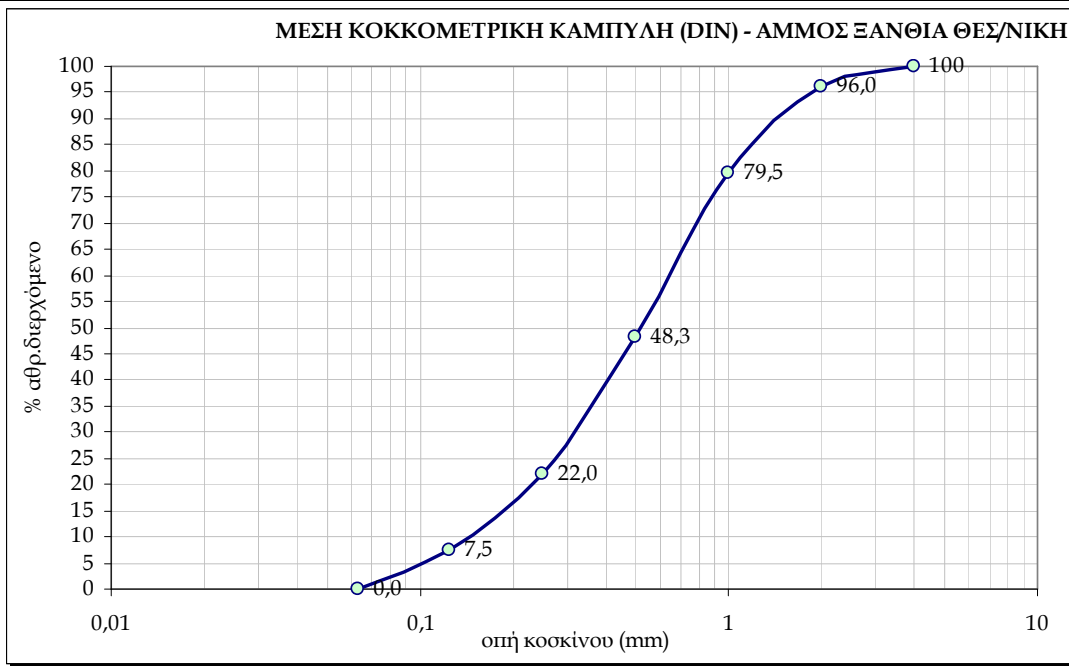
Διάγραμμα III.8.α: Μέση κοκκομετρική καμπύλη άμμου μαύρης Kourasanit



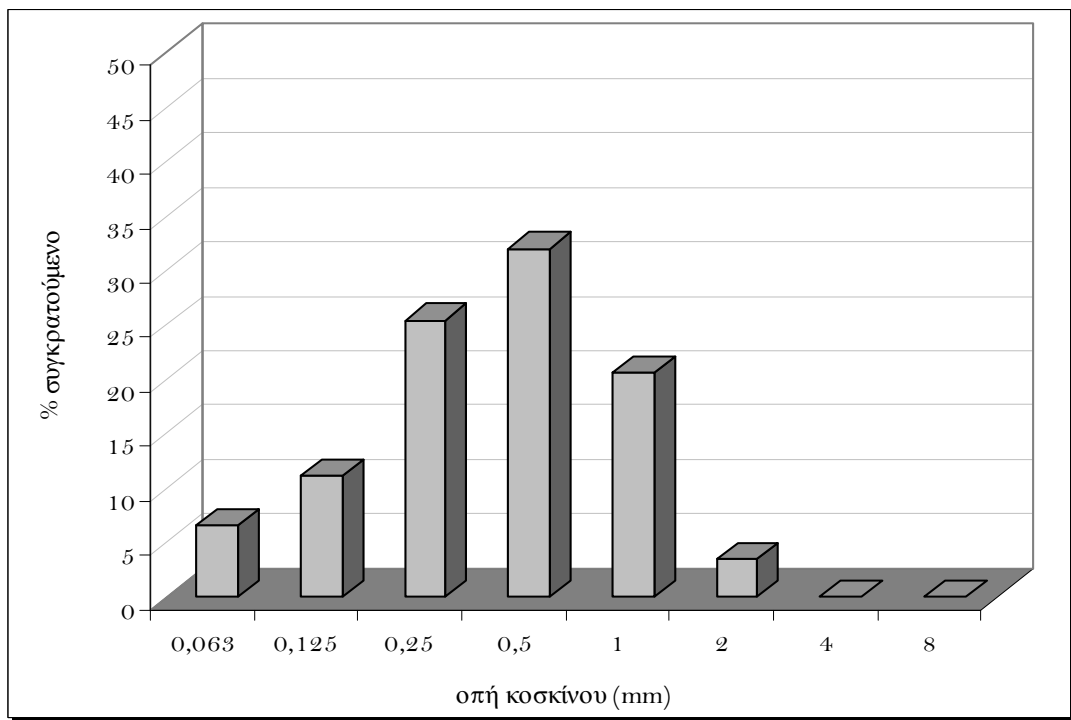
Διάγραμμα III.8.β: Μέση κοκκομετρική κατανομή μεγέθους κόκκων άμμου μαύρης Kourasanit

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

D_{max} (mm)	4	Cu	3,48
MEDIA	0,903	Kurtosis	-1,037
MODA	0,354	Skewness	0,791
MEDIANA (50%)	0,60	F.M.	2,89
So	3,64	% voids	39%



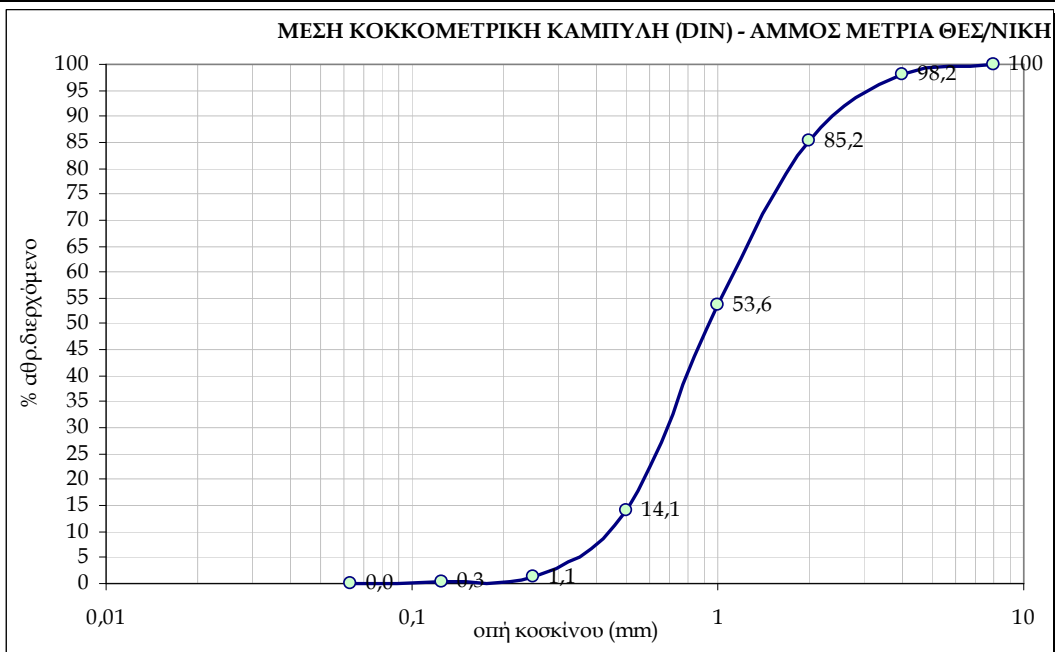
Διάγραμμα III.9.α: Μέση κοκκομετρική καμπύλη άμμου ξανθιάς Θεσσαλονίκης



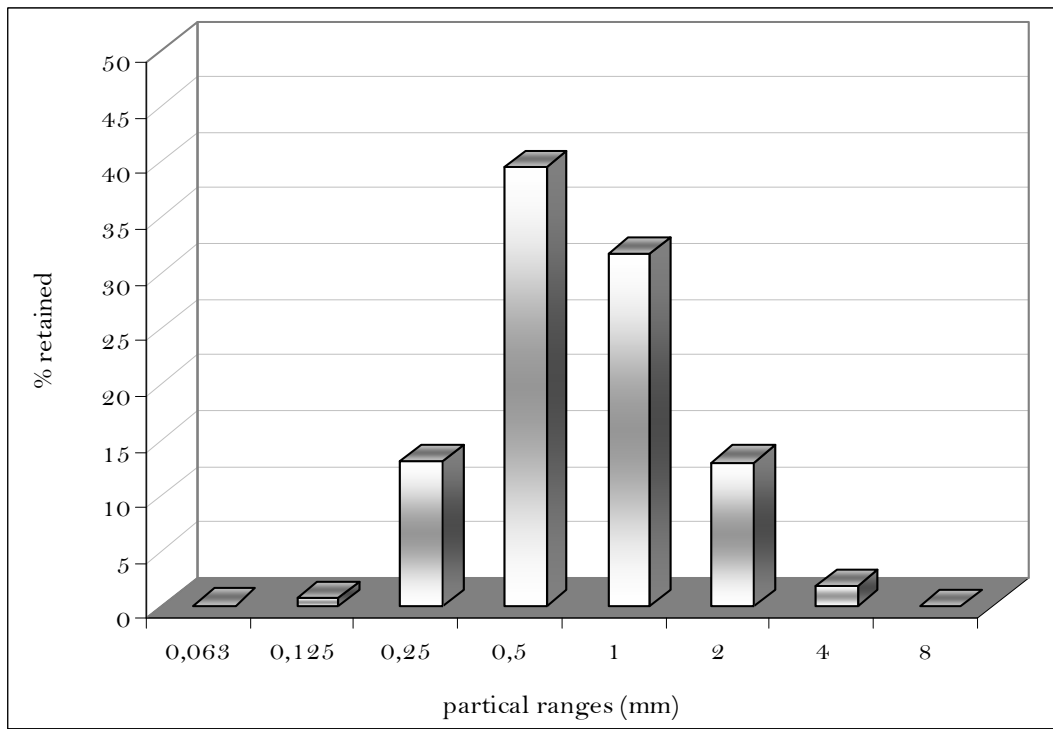
Διάγραμμα III.9.β: Μέση κοκκομετρική κατανομή μεγέθους κόκκων άμμου ξανθιάς Θεσσαλονίκης

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

D_{max} (mm)	4	Cu	4,13
MEDIA	0,732	Kurtosis	-1,259
MODA	0,707	Skewness	0,5854
MEDIANA (50%)	0,50	F.M.	2,47
So	3,21	% voids	38,5%



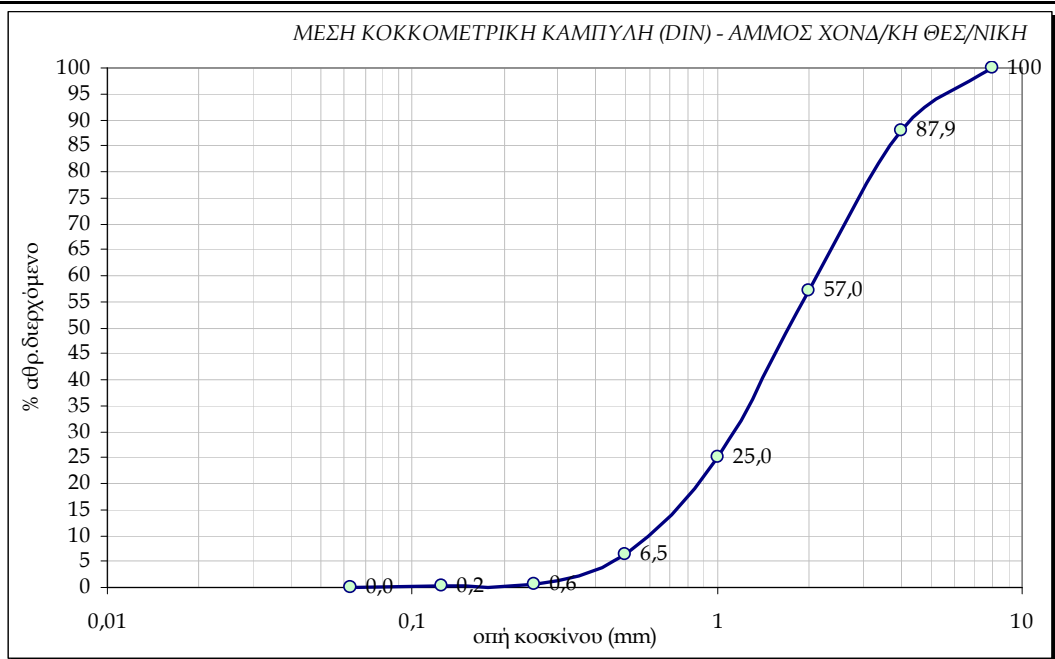
Διάγραμμα III.10.α : Μέση κοκκομετρική καμπύλη άμμου μέτριας Θεσσαλονίκης



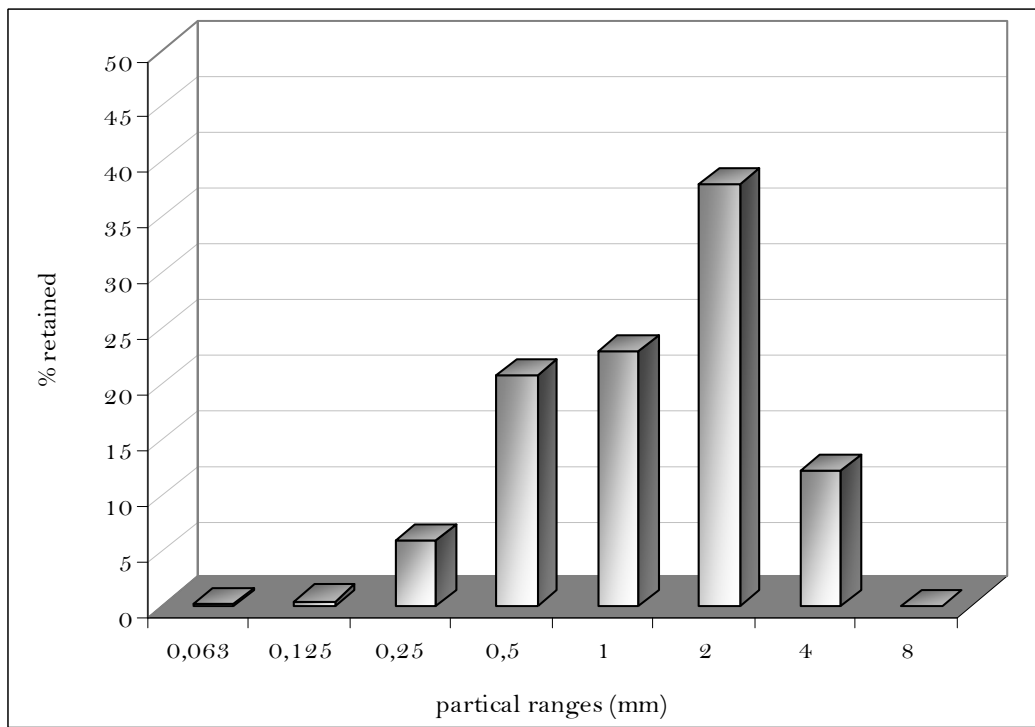
Διάγραμμα III.10.β: Μέση κοκκομετρική κατανομή μεγέθους κόκκων άμμου μέτριας Θεσσαλονίκης

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

D_{max} (mm)	4	Cu	2,60
MEDIA	1,247	Kurtosis	-0,3343
MODA	0,354	Skewness	1,0509
MEDIANA (50%)	0,91	F.M.	3,48
So	2,70	% voids	40%



Διάγραμμα III.11.α: Μέση κοκκομετρική καμπύλη άμμου χονδρόκοκκης Θεσ/νίκη

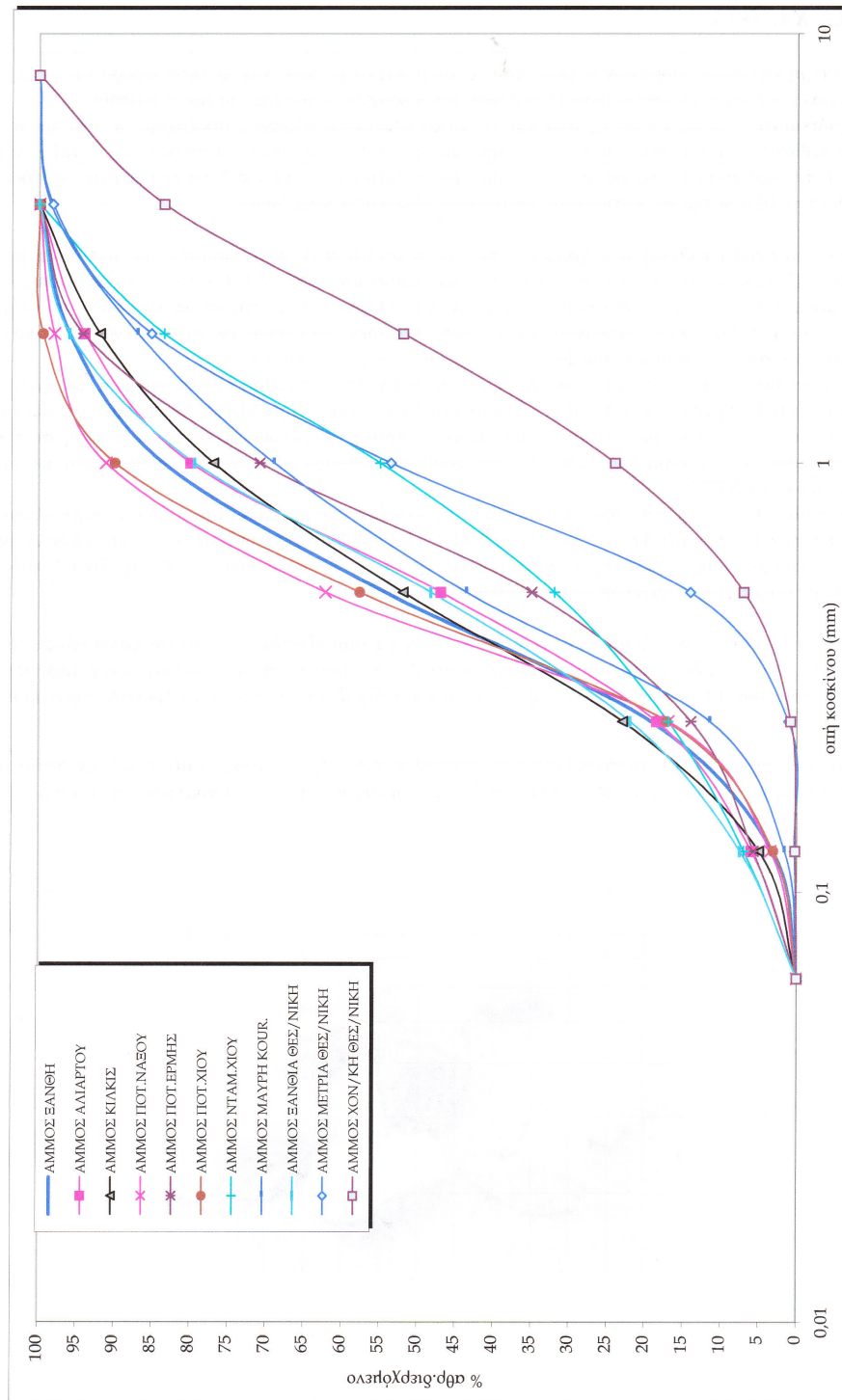


Διάγραμμα III.11.β: Μέση κοκκομετρική κατανομή μεγέθους κόκκων άμμου χονδρόκοκκης Θεσ/νίκη

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

D_{max} (mm)	8	Cu	3,42
MEDIA	2,39	Kurtosis	-0,058
MODA	2,83	Skewness	0,8911
MEDIANA (50%)	1,85	F.M.	4,33
So	2,95	% voids	37%

ΣΤΡΟΓΓΥΛΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΩΝ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΜΜΩΝ



III.3.2. ΧΑΛΙΚΙΑ

Η δεύτερη κατηγορία αδρανών υλικών που εξετάζονται στην παρούσα εργασία αφορά σε χαλίκια (ή ρυζάκια) του εμπορίου των οποίων η διάμετρος των κόκκων κυμαίνεται στο εύρος 1-10mm.

Τα χαλίκια αυτά αφορούν σε σχετικά χονδρόκοκκα κλάσματα αδρανών προερχόμενα από ποταμούς, είναι καθαρά, εμφανίζοντας ίχνη παιπάλης και διάφορες χρωματικές αποχρώσεις. Μεταξύ αυτών εξετάζεται και ένας τύπος θραυστού χάλικα (από νταμάρι), ο οποίος διαφοροποιείται ως προς τα υπόλοιπα υλικά αυτής της κατηγορίας, με μέγιστο κόκκο αδρανούς 5mm.

Η κοκκομετρική ανάλυση των χαλικιών που εξετάζονται πραγματοποιήθηκε, σε αντίθεση με τις κοκκοδιαβαθμίσεις των άμμων, σε πρότυπη σειρά κοσκίνων κατά ASTM, όπου το άνοιγμα της οπής των κοσκίνων λαμβάνει υψηλότερες τιμές (ως και 12,5mm), ενώ στη σειρά κατά EN το μέγιστο διαθέσιμο μέγεθος οπής κοσκίνου είναι 8mm, και δεν καλύπτει εν προκειμένω τις ανάγκες κοκκομέτρησης των χαλικιών που φτάνουν μέχρι το 1cm μέγιστο κόκκο.

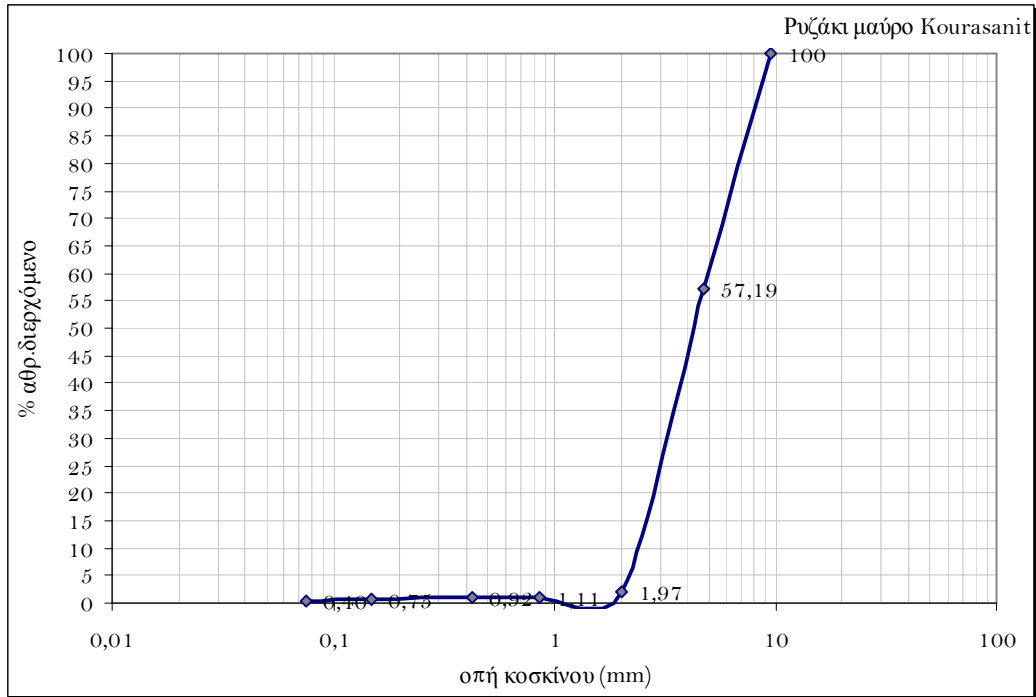
Αυτό συνεπάγεται ότι δεν είναι δυνατή η διεξαγωγή της επεξεργασίας των δεδομένων των χαλικιών στη δεύτερη φάση, όπου προσδιορίζονται οι στατιστικές παράμετροι Media, Moda, kurtosis, skewness, δεδομένου ότι τα εύρη των κλάσεων των κόκκων που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση αυτή δεν συμβαδίζουν με τα εύρη των κόκκων που χρησιμοποιούνται σε μια κοκκοδιαβάθμιση με σειρά κοσκίνων κατά ASTM.

Υπενθυμίζεται ότι για τον προσδιορισμό των παραπάνω στατιστικών παραμέτρων απαιτούνται οι κλάσεις των κόκκων (fi) 8-4, 4-2, 2-1, 1-0.5, 0.5-0.25, 0.25-0.125, 0.125-0.063mm, οι οποίες εμφανίζονται όταν η κοκκομετρική ανάλυση λαμβάνει χώρα σε σειρά κοσκίνων κατά EN και είναι διαθέσιμα δεδομένα μαζών που συγκρατούνται στα αντίστοιχα κόσκινα.

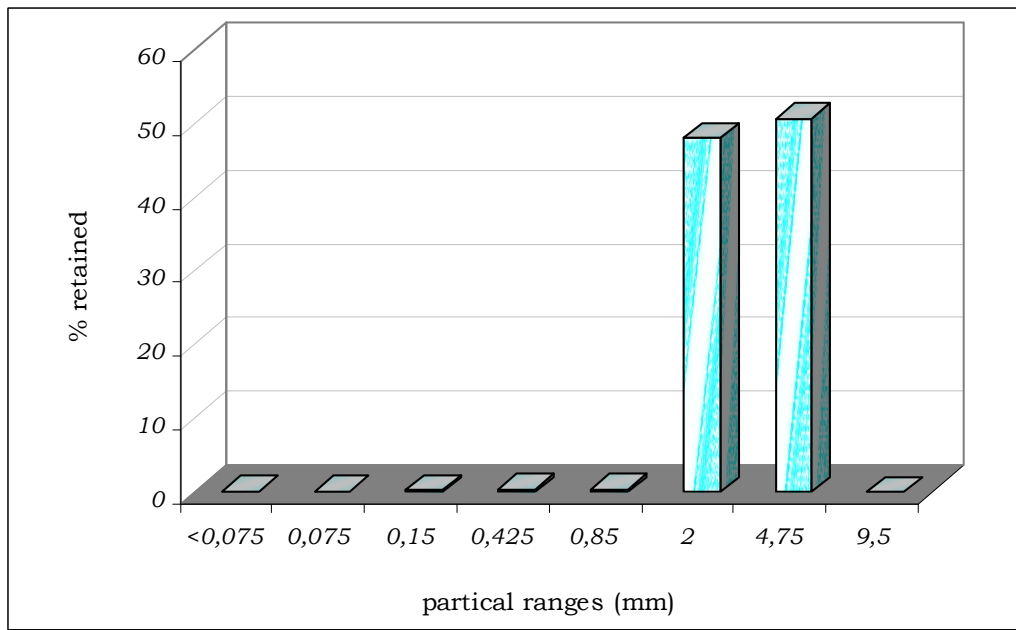
Ωστόσο, οι χάλικες που εξετάζονται δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μεμονωμένα υλικά σε ένα κονίαμα, επομένως δεν ενδιαφέρει να προσδιοριστεί αναλυτικά το σύνολο των κρίσιμων παραμέτρων που προκύπτουν από στατιστική επεξεργασία και χαρακτηρίζουν ένα αδρανές υλικό όπως οι άμμοι.

Παρακάτω παρατίθενται οι κοκκομετρικές καμπύλες των υλικών αυτών καθώς και τα αντίστοιχα ιστογράμματα κατανομής μεγέθους κόκκων, όπως προέκυψαν από την κοκκομετρική ανάλυση.





Διάγραμμα III.12.α: Κοκκομετρική καμπύλη αδρανούς υλικού

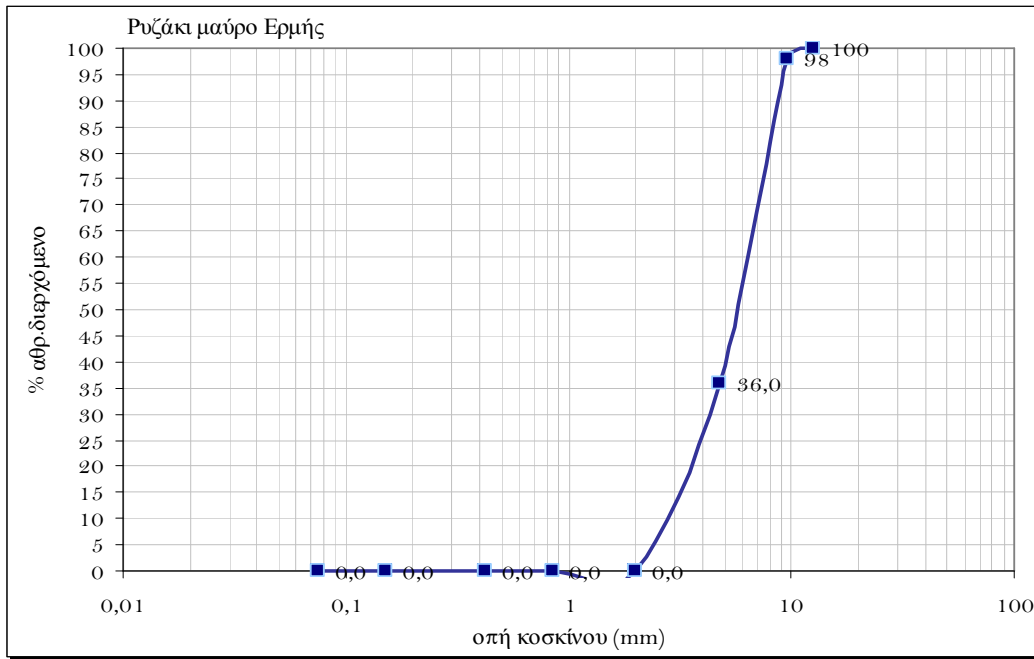


Διάγραμμα III.12.β: Ιστόγραμμα κατανομής μεγέθους κόκκων αδρανούς υλικού

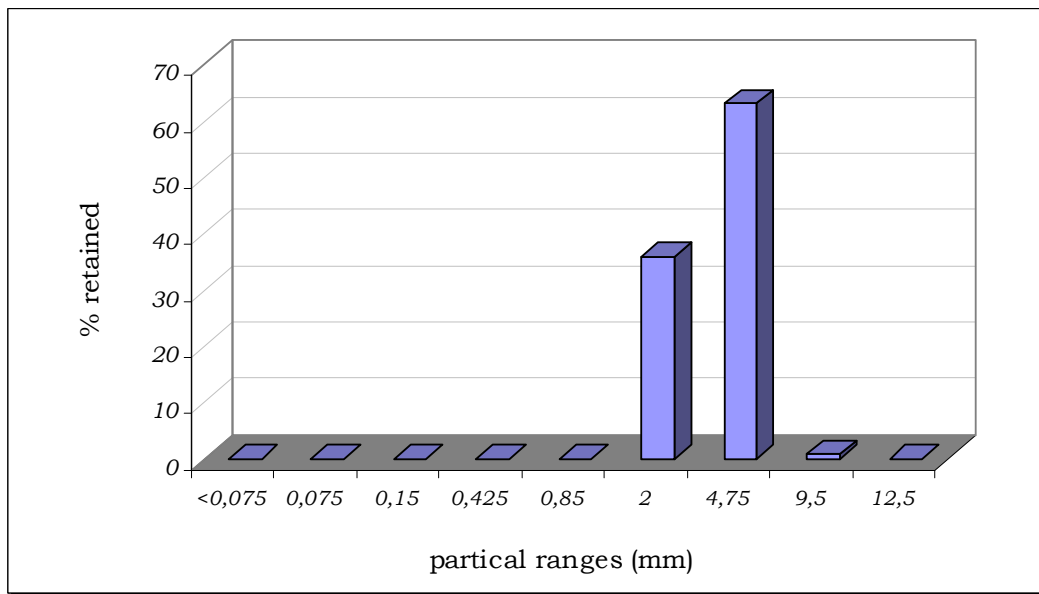
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

D_{max} (mm)	10	Cu	2,33
MEDIANA (50%)	4,1	F.M.	5,32
So	2,1	% voids	41%

Όπως φαίνεται και από τα παραπάνω διαγράμματα πρόκειται για αδρανές υλικό που περιορίζεται σε δύο κλάσεις κόκκων (δίκκοκο), με συγκεντρωμένη κατανομή που καλύπτει το εύρος των κόκκων 2-10mm (μέγιστος κόκκος αδρανούς D=10mm).



Διάγραμμα III.13.α: Κοκκομετρική καμπύλη αδρανούς υλικού

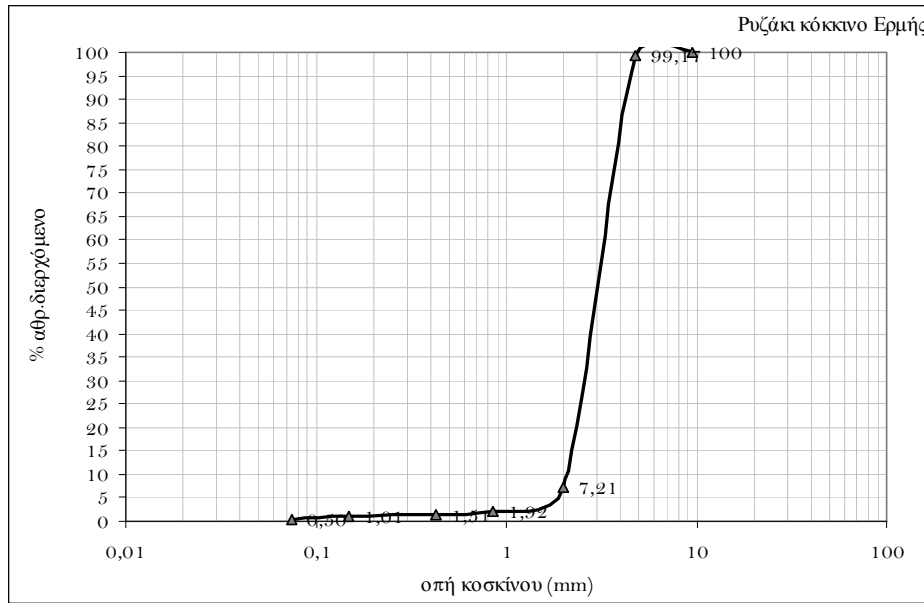


Διάγραμμα III.13.β: Ιστόγραμμα κατανομής μεγέθους κόκκων αδρανούς υλικού

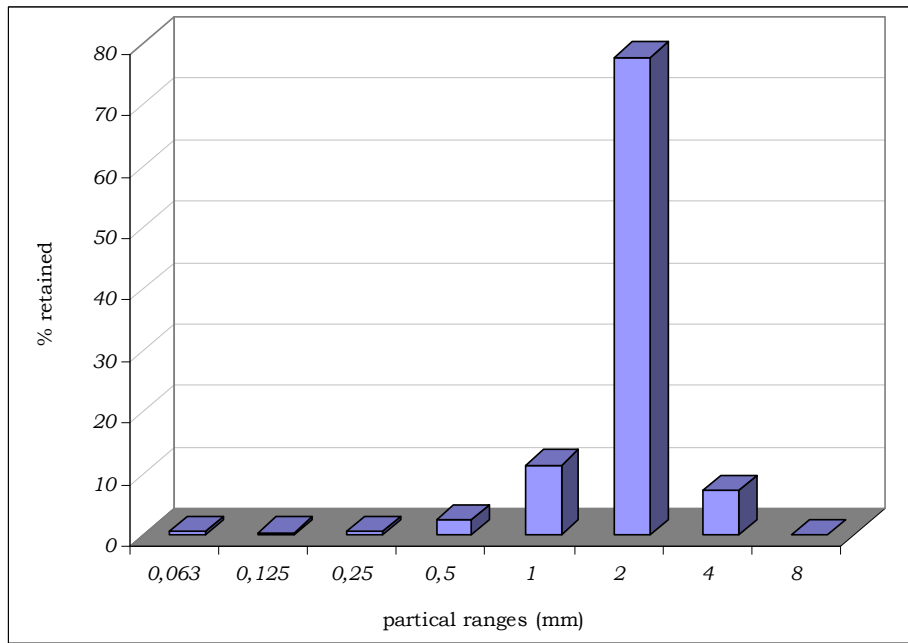
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

D_{max} (mm)	10	Cu	2,18
MEDIANA (50%)	5,90	F.M.	5,42
So	1,85	% voids	43%

Και αυτό το υλικό περιορίζεται σε δύο κλάσεις κόκκων (δίκοκκο), με συγκεντρωμένη κατανομή που καλύπτει το εύρος των κόκκων 2-10mm (μέγιστος κόκκος αδρανούς D=10mm). Ο συντελεστής ομοιομορφίας Cu είναι χαμηλός, υποδηλώνοντας υλικό με περιορισμένο εύρος κατανομής. Υπενθυμίζεται ότι ο συντελεστής αυτός λαμβάνει υψηλές τιμές για υλικά που περιέχουν όλες τις κλάσεις κόκκων.



Διάγραμμα III.14.α: Κοκκομετρική καμπύλη αδρανούς υλικού

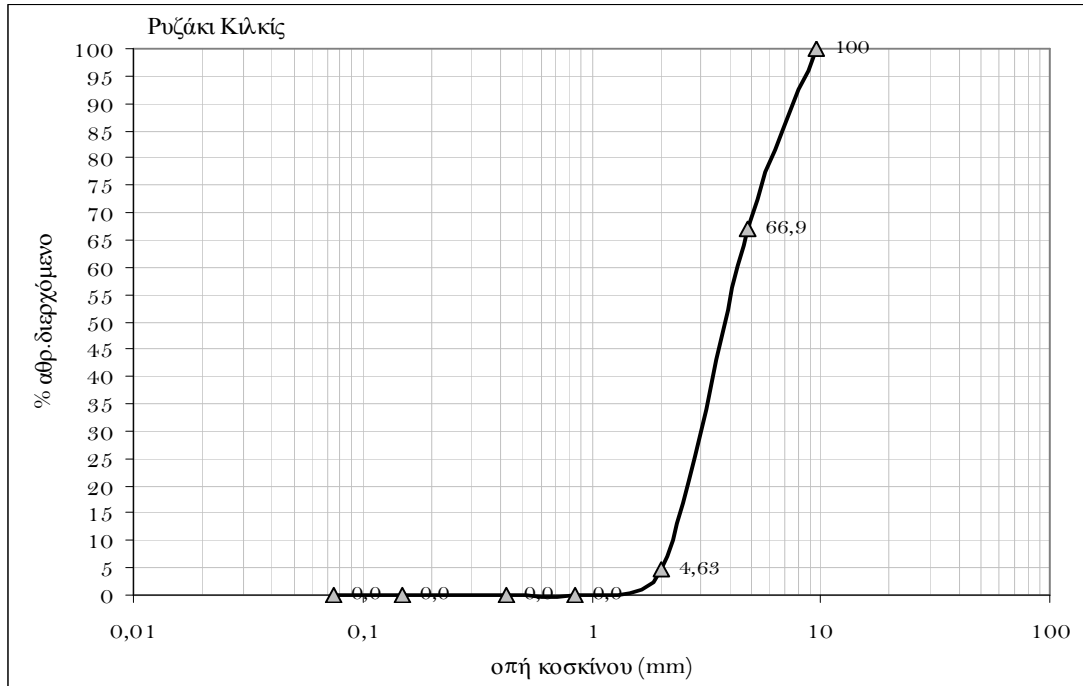


Διάγραμμα III.14.β: Ιστόγραμμα κατανομής μεγέθους κόκκων αδρανούς υλικού

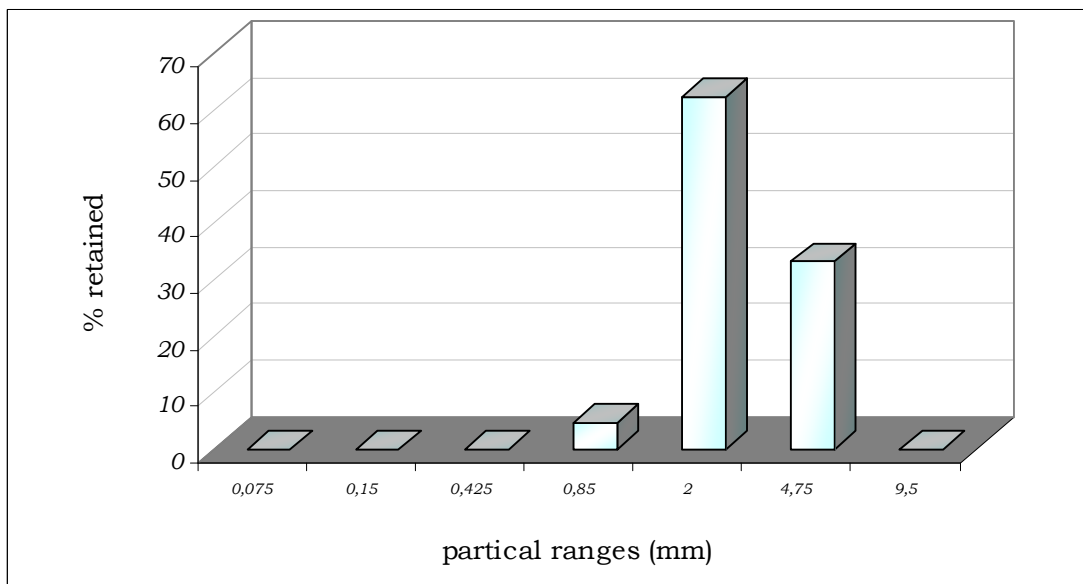
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

D_{max} (mm)	10	Cu	1,53
MEDIANA (50%)	3,00	F.M.	4,73
So	1,75	% voids	43%

Ομοίως, το ρυζάκι αυτό εμφανίζει συγκεντρωμένη κατανομή κόκκων ως επί τω πλείστον στην κλάση 2-4mm. Μπορεί να χαρακτηριστεί μονόκοκκο με μέγιστο κόκκο αδρανούς D=10mm. Ο συντελεστής ομοιομορφίας Cu είναι χαμηλός, υποδηλώνοντας υλικό με περιορισμένο εύρος κατανομής.



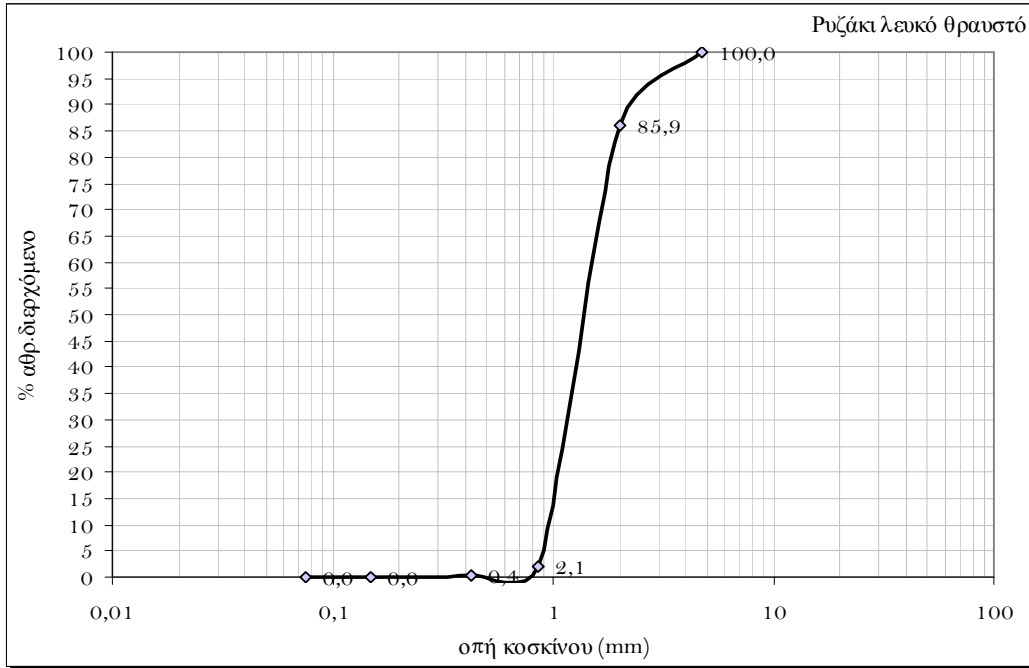
Διάγραμμα III.15.α: Κοκκομετρική καμπύλη αδρανούς υλικού



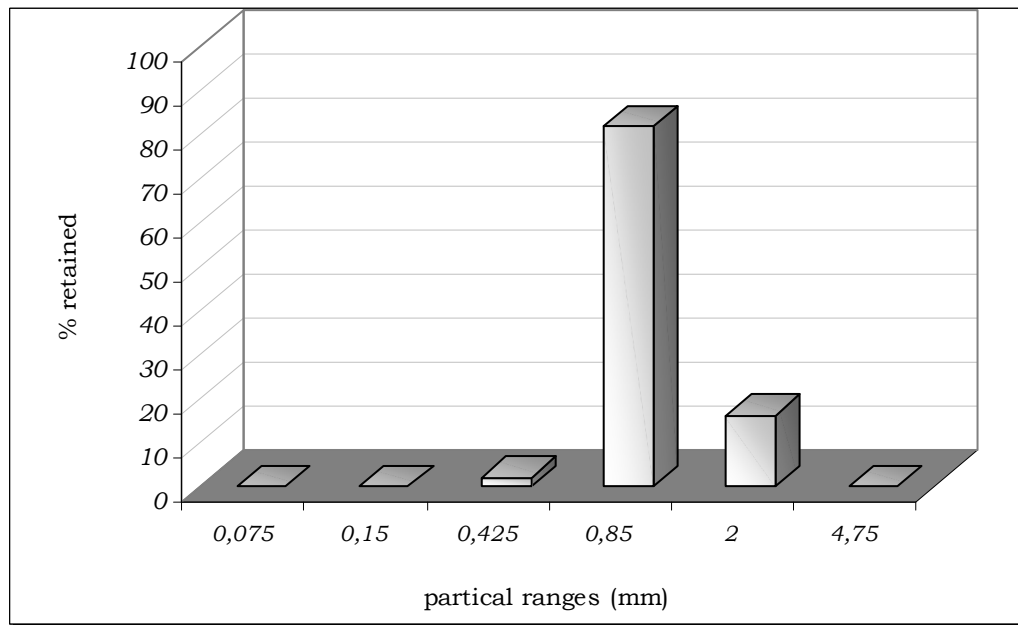
Διάγραμμα III.15.β: Ιστόγραμμα κατανομής μεγέθους κόκκων αδρανούς υλικού

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ			
D_{max} (mm)	10	Cu	1,95
MEDIANA (50%)	3,90	F.M.	5,15
So	2,19	% voids	42%

Δίκκοκο υλικό με συγκεντρωμένη κατανομή σε δύο κλάσεις κόκκων, στα 2mm και 4,75mm, και με χαμηλές τιμές για τον συντελεστή ταξινόμησης και τον συντελεστή ομοιομορφίας. Όπως είναι αναμενόμενο, ο συντελεστής λεπτότητας είναι υψηλός καθώς και το ποσοστό του όγκου των κενών του αδρανούς.



Διάγραμμα III.16.α: Κοκκομετρική καμπύλη αδρανούς υλικού



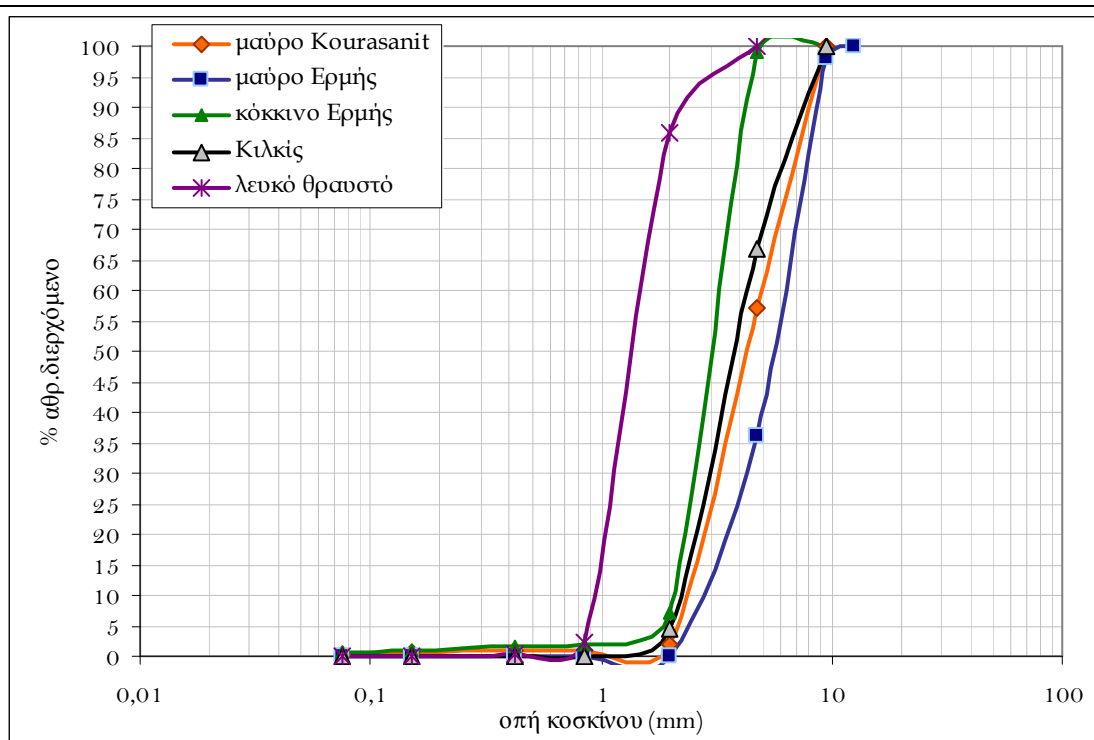
Διάγραμμα III.16.β: Ιστόγραμμα κατανομής μεγέθους κόκκων αδρανούς υλικού

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

D_{max} (mm)	5	Cu	1,58
MEDIANA (50%)	1,35	F.M.	3,75
So	1,59	% voids	40%

Δίκκοκο υλικό με συγκεντρωμένη κατανομή σε δύο κλάσεις κόκκων, στα 0,85mm και 2mm, και με χαμηλές τιμές για τον συντελεστή ταξινόμησης και τον συντελεστή ομοιομορφίας.

Οι κοκκομετρικές καμπύλες των χαλικιών που εξετάστηκαν ομαδοποιούνται και παρατίθενται συγκεντρωτικά στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα III.17: Συγκεντρωτικό διάγραμμα μέσων κοκκομετρικών καμπυλών των χαλικιών που εξετάστηκαν

Στο διάγραμμα αυτό η καμπύλη του θραυστού χάλικα προφανώς διαφοροποιείται από τις υπόλοιπες κοκκομετρικές καμπύλες, λόγω του διαφορετικού μέγιστου κόκκου του υλικού αυτού ($D_{max}: 5mm$).

Τα χάλικια (ριζάκια) της κατηγορίας αυτής δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν ως μεμονωμένα αδρανή στην μήτρα ενός κονιάματος για την παρασκευή εργάσιμου μίγματος, λόγω της απουσίας του λεπτόκοκκου κλάσματος. Πρόκειται για υλικά με συγκεντρωμένες κατανομές, δίκοκκα ή μονόκοκκα πολλές φορές, τα οποία πρέπει να αναμιχθούν με κάποια άμμο προκειμένου να προκύψει κατάλληλη καμπύλη μίγματος αδρανών για την παρασκευή εργάσιμου μίγματος κονιάματος.

Ωστόσο, τα αδρανή αυτά υλικά εξετάζονται ως μεμονωμένα υλικά και προσδιορίζονται οι κοκκομετρικές τους καμπύλες και οι αντίστοιχες παράμετροι κατανομής, ώστε να είναι δυνατή ακολούθως η κατάλληλη επεξεργασία και ο συνδυασμός με τις άμμους για την εξαγωγή των βέλτιστων καμπυλών ανάμιξης των αδρανών μεταξύ τους, δηλαδή των άμμων με τα χάλικια.

IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΜΕΡΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των κοκκομετρικών αναλύσεων όλων των αδρανών υλικών (άμμοι, χαλίκια) που εξετάστηκαν ως μεμονωμένα υλικά και τα οποία αφορούν τόσο στις παραμέτρους κατανομής και στους χαρακτηριστικούς κρίσιμους δείκτες, όσο και στα φυσικά χαρακτηριστικά των υλικών, συνοψίζονται στους συγκεντρωτικούς πίνακες που ακολουθούν.

IV.1. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΜΜΩΝ

Στους πίνακες που ακολουθούν συγκεντρώνονται τα χαρακτηριστικά των άμμων που εξετάστηκαν.

ΥΛΙΚΟ	D (mm)	d (g/cm ³)	d _r (g/cm ³)	% voids	% voids (theor)	% παιπ.
Άμμος Ξανθή Kourasanit	4	1.50	2.60	39.0	42.0	1.70
Άμμος Αλιάρτου	4	1.55	2.60	37.5	40.4	1.40
Άμμος Κιλκίς	4	1.55	2.65	39.0	41.5	1.20
Άμμος ποταμού Νάξου	4	1.47	2.55	40.0	42.4	3.20
Άμμος ποταμού Ερμής	4	1.39	2.40	39.0	42.1	1.50
Άμμος ποταμού Χίου	4	1.50	2.65	41.0	43.4	1.95
Άμμος νταμαρίσια Χίου	4	1.64	2.70	37.0	39.3	5.00
Άμμος μαύρη Kourasanit	8	1.55	2.60	39.0	40.4	0.25
Άμμος Ξανθιά Θεσ/νικη	4	1.50	2.55	38.5	41.2	1.50
Άμμος μέτρια Θεσ/νικη	8	1.55	2.65	40.0	41.5	0.20
Άμμος χονδρόκοκκη Θεσ/νικη	8	1.70	2.65	37.0	35.8	0.05

ΥΛΙΚΟ	MEDIA	MEDIANA	MODA	Kurtosis	Skewness	So	Cu	F.M.
Άμμος Ξανθή Kourasanit	0.62	0.48	0.354	-1.149	0.654	2.79	3.17	2.44
Άμμος Αλιάρτου	0.74	0.52	0.707	-0.919	0.685	2.97	3.76	2.55
Άμμος Κιλκίς	0.92	0.49	0.354	-1.316	0.095	3.21	3.75	2.51
Άμμος ποταμού Νάξου	0.55	0.41	0.354	0.652	1.286	2.17	2.45	2.28
Άμμος ποταμού Ερμής	0.87	0.67	0.707	0.080	1.002	2.86	4.00	2.80
Άμμος ποταμού Χίου	0.51	0.41	0.354	-0.445	1.171	2.13	2.31	2.33
Άμμος νταμαρίσια Χίου	1.01	0.89	1.414	-0.838	0.485	4.83	3.59	3.06
Άμμος μαύρη Kourasanit	0.90	0.60	0.354	-1.037	0.791	3.64	3.48	2.89
Άμμος Ξανθιά Θεσ/νικη	0.73	0.50	0.707	-1.259	0.585	3.21	4.13	2.47
Άμμος μέτρια Θεσ/νικη	1.25	0.91	0.354	-0.334	1.051	1.76	2.74	3.48
Άμμος χοντρή Θεσ/νικη	2.39	1.85	2.83	-0.058	0.891	2.95	3.42	4.33

Τα υλικά αυτά είναι, ως επί τω πλείστον, άμμοι ποταμού, καθαρές και απαλλαγμένες από προσμίξεις, με χαμηλά ποσοστά παιπάλης (<2%). Οι συντελεστές λεπτότητας (F.M.) κυμαίνονται σε χαμηλές τιμές στο εύρος {2,0-4,0} περίπου, δεδομένου ότι πρόκειται για λεπτόκοκκα υλικά. Όλες οι τιμές ασυμμετρίας (skewness) που προσδιορίζονται λαμβάνουν θετικό πρόσημο, υποδηλώνοντας περίσσεια λεπτόκοκκου κλάσματος. Οι συντελεστές ταξινόμησης (So) κυμαίνονται στο εύρος {2,5-4,0} υποδηλώνοντας κανονικά ταξινομημένα αδρανή υλικά. Οι φαινόμενες πυκνότητες είναι της τάξης 1,4-1,7g/cm³ και οι πραγματικές πυκνότητες κυμαίνονται στο εύρος 2,4-2,7g/cm³. Οι άμμοι αυτού του τύπου και με τα παραπάνω χαρακτηριστικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μεμονωμένα αδρανή για την παρασκευή κονιαμάτων αρμολόγησης αρμών πάχους περίπου 1.5-2cm.

Πιο συγκεκριμένα, οι άμμοι που εξετάστηκαν είναι κατά βάση φυσικής προέλευσης άμμοι ποταμού, καθαρές και απαλλαγμένες από προσμίξεις, με χαμηλά ποσοστά ολικών διαλυτών αλάτων (% TSS) και υψηλές τιμές ισοδυναμίου άμμου (%SE), οι οποίες υποδηλώνουν την καθαρότητα του λεπτόκοκκου κλάσματος του αδρανούς.

Τα υλικά αυτά εμφανίζουν μονοκόρυφες κατανομές, δηλαδή κατανομές κόκκων με μία και μόνο μέγιστη τιμή ή συχνότερη τιμή κατανομής (*Moda*). Οι μονοσήμαντες τιμές της *Moda* που εμφανίζονται συχνότερα είναι οι τιμές 0,354 και 0,707, που αντιστοιχούν στις κλάσεις κόκκων 0,5-0,25mm και 1-0,5mm, αντίστοιχα. Οι άμμοι, δηλαδή, που εξετάζονται χαρακτηρίζονται ως επί τω πλείστον από λεπτόκοκκα κλάσματα διαμέτρου κόκκων από 0,25mm ως 1mm.

Παρατηρώντας πιο προσεκτικά τις κοκκομετρικές καμπύλες των άμμων στο συγκεντρωτικό ημιλογαριθμικό διάγραμμα φαίνεται ότι στο διάστημα αυτό των κλάσεων κόκκων {0,25-1}, όπου συγκεντρώνεται δηλαδή το μεγαλύτερο ποσοστό του υλικού της άμμου, οι κοκκομετρικές καμπύλες τείνουν να λάβουν μορφή ευθείας. Τα κοίλα τμήματα της κοκκομετρικής καμπύλης εμφανίζονται εκατέρωθεν του τμήματος αυτού, που καλύπτει τις κλάσεις 0,25-1mm, δηλαδή για σπές κοσκίνων <0,25mm όπου τα κοίλα της καμπύλης είναι προς τα πάνω και για σπές κοσκίνων >1mm όπου τα κοίλα της καμπύλης είναι προς τα κάτω. Ουσιαστικά, με τον τρόπο αυτό η καμπύλη διαιρείται σε τρία τμήματα, δύο κοίλα κι ένα ευθύγραμμο τμήμα.

Συμπερασματικά μπορεί να ειπωθεί ότι το ευθύγραμμο τμήμα μιας κοκκομετρικής καμπύλης (με μονοκόρυφη κατανομή) αντιστοιχεί στις κλάσεις κόκκων του αδρανούς που εμφανίζονται στην μάζα του σε μεγαλύτερη αναλογία.

Επιπλέον, το γεγονός ότι πρόκειται για μονοκόρυφες κατανομές με μία συχνότερη τιμή (*Moda*) υποδηλώνει ότι οι άμμοι που εξετάστηκαν δεν προέρχονται από μίξη διαφορετικών πληθυσμών κόκκων, αλλά προέρχονται από συγκεκριμένες φυσικές αποθέσεις [95].

Οι κοκκομετρικές καμπύλες των άμμων αυτών εμφανίζουν διαφορετικές κλίσεις στο ευθύγραμμο τμήμα τους. Άλλες εμφανίζουν μεγαλύτερη κι άλλες μικρότερη κλίση. ***Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση του κεντρικού ευθύγραμμου τμήματος μιας αθροιστικής καμπύλης κατανομής τόσο μικρότερο είναι το εύρος του κοκκομετρικού φάσματος και άρα λιγότερο ευρεία και ομαλή η κοκκομετρική καμπύλη.***

Οι ευρείες και ομαλές κοκκομετρικές καμπύλες είναι επιθυμητές στα αδρανή υλικά προκειμένου αυτά να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως μεμονωμένα αδρανή για να δημιουργήσουν το κατάλληλο πλέγμα για την παρασκευή ενός μίγματος κονιάματος με ικανοποιητική συμπεριφορά ως προς την αντοχή και την συμπύκνωσή του. Διαφορετικά, αδρανή με μεγάλες κλίσεις στο ευθύγραμμο τμήμα και άρα πιο συγκεντρωμένο κοκκομετρικό φάσμα, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με κάποιο άλλο ή άλλα αδρανή υλικά, σε μίγμα αδρανών, υπό την προϋπόθεση ότι οι κοκκομετρικές τους καμπύλες “συνεργάζονται” ικανοποιητικά και δημιουργούν μια νέα ομαλή κοκκομετρική καμπύλη που δεν παρουσιάζει ασυνέχειες σε κάποιες κλάσεις κόκκων και που εμφανίζει μεγαλύτερο εύρος κοκκομετρικού φάσματος.

Η κλίση του ευθύγραμμου τμήματος της κοκκομετρικής καμπύλης αντικατοπτρίζει το ποσοστό του όγκου των κενών (% voids) ενός αδρανούς. Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση, δηλαδή όσο πιο απότομη η καμπύλη στο ευθύγραμμο τμήμα της, τόσο πιο μικρό το εύρος του κοκκομετρικού φάσματος και άρα τόσο μεγαλύτερος ο κενός χώρος που αφήνουν οι κόκκοι του αδρανούς μεταξύ τους. ***Όσο πιο μικρή η κλίση και άρα πιο ευρεία και ομαλή η καμπύλη, τόσο μικρότερος είναι ο όγκος των κενών, και άρα τόσο πιο μικρό το ποσοστό της κονίας που απαιτείται για την πλήρωση των κενών του αδρανούς κατά τον σχεδιασμό ενός μίγματος κονιάματος. Τα παραπάνω αποτελούν την βασική συλλογιστική του σχεδιασμού μιγμάτων κονιαμάτων αποκατάστασης (Mix Design).***

Με αυτή καθ' αυτή την κανονικότητα μιας κοκκομετρικής κατανομής σχετίζονται οι παράμετροι της ασυμμετρίας (*skewness*) και της κύρτωσης (*kurtosis*), οι οποίες από μόνες τους δεν είναι καθαρά μονοσήμαντες και πρέπει να αξιολογούνται συνδυαστικά.

Πιο συγκεκριμένα, μια κατανομή μπορεί να είναι συμμετρική ή ασύμμετρη, εμφανίζοντας μια διασπορά ή μεταβλητότητα. Προφανώς, απόλυτα συμμετρική είναι μια κατανομή που η ασυμμετρία της είναι μηδέν "0". Ωστόσο, σε ένα ιστόγραμμα κατανομής κόκκων αδρανούς υλικού εμφανίζεται πάντα μια διασπορά, η οποία είναι υψηλή, δηλαδή η τιμή της ασυμμετρίας απέχει από το "0", όταν στο αδρανές υπάρχουν πολλά κλάσματα κόκκων με διαφορετικές διαμέτρους σε σχέση πάντα με την συχνότερη τιμή κατανομής (*Moda*). Η διασπορά είναι χαμηλή, και άρα η τιμή της ασυμμετρίας τείνει στο "0", όταν οι κόκκοι του αδρανούς είναι κατανεμημένοι σε λίγα κλάσματα κοντά στην συχνότερη τιμή.

Σε μια πιο πραγματιστική προσέγγιση, η ασυμμετρία (*skewness*) ενός αδρανούς υλικού υποδηλώνει περίσσεια λεπτόκοκκων ή χονδροκόκκων κλασμάτων σε σχέση με την συχνότερη τιμή της κατανομής. Εν προκειμένω, όλες οι άμμοι που εξετάστηκαν εμφανίζουν θετικές τιμές ασυμμετρίας, υποδηλώνοντας περίσσεια λεπτόκοκκου υλικού σε σχέση με την συχνότερη τιμή κατανομής. Μεταξύ των δειγμάτων που εξετάστηκαν υπάρχουν άμμοι των οποίων οι τιμές ασυμμετρίας είναι πιο κοντά στο "0" και άμμοι που οι τιμές ασυμμετρίας ξεπερνούν την μονάδα. Πάντως, όπως είναι αναμενόμενο, καμία από τις κατανομές των φυσικών αυτών υλικών δεν είναι απόλυτα συμμετρική.

Ομοίως και οι συντελεστές κύρτωσης (*kurtosis*) των κατανομών των άμμων, που δίνουν μια εικόνα του πόσο αμβλεία ή οξεία είναι η κατανομή σε σχέση με την log-κανονική, εμφανίζουν τιμές διαφορετικές του μηδενός και στην πλειοψηφία τους αρνητικές, υποδηλώνοντας ανομοιογένεια κόκκων, διατάσσονται δε οι καμπύλες πάνω από την νοητή ευθεία της log-κανονικής κατανομής ως πιο αμβλείες και για το λόγο αυτό λαμβάνουν αρνητικό πρόσημο.

Γενικά, οι τιμές ασυμμετρίας και κύρτωσης που προσδιορίστηκαν από την στατιστική επεξεργασία (*Descriptive Statistics Analysis*) των δεδομένων των κοκκομετρικών αναλύσεων των άμμων υποδηλώνουν μη συμμετρικές κατανομές με περίσσεια κόκκων μικρής διαμέτρου (λεπτού κλάσματος), όπως είναι λογικό, δεδομένου ότι πρόκειται για υλικά φυσικών αποθέσεων.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, οι κοκκομετρικές καμπύλες και τα ιστογράμματα κατανομής ενός αδρανούς υλικού εμφανίζουν ένα "γεωμετρικό κέντρο" που εκφράζεται μέσω της διάμεσης ή διχοτόμου τιμής *Mediana* και υπολογίζεται γραφικά στο 50% της καμπύλης κι ένα "κέντρο βάρους" που εκφράζεται μέσω της μέσης τιμής *Media*. **Όσο πιο πολύ απέχουν οι τιμές των παραμέτρων *Mediana* και *Media* μεταξύ τους τόσο πιο ασύμμετρη είναι η κατανομή.**

Παρατηρώντας στους πίνακες των αποτελεσμάτων τις τιμές που λαμβάνουν οι παράμετροι αυτές για τις άμμους που εξετάστηκαν φαίνεται ότι οι διαφορές γεωμετρικού κέντρου και κέντρου βάρους των κατανομών δεν είναι πολύ μεγάλες, με ένα Δ στο εύρος {0.1-0.35} και με μέγιστη τιμή Δ : 0.5. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση που οι παράμετροι *Mediana*, *Media* και *Moda* συνέπιπταν η κατανομή θα εμφάνιζε τέλεια συμμετρία και θα χαρακτηριζόταν ως κανονική κατανομή ή κατανομή Gauss.

Ευρέως χρησιμοποιούμενοι κρίσιμοι δείκτες, που εκτιμώνται σε συνδυασμό με τους παραπάνω, για την αξιολόγηση μιας κατανομής, είναι ο συντελεστής ταξινόμησης (*So*) και ο συντελεστής ομοιομορφίας (*Cu*), που προσδιορίζονται γραφικά από την κοκκομετρική καμπύλη του αδρανούς.

Από τα πειραματικά δεδομένα προκύπτουν συντελεστές ταξινόμησης (*So*) για τις άμμους που εξετάστηκαν στο εύρος {2.5-4.0}. Οι τιμές αυτές υποδηλώνουν κανονικά ταξινομημένα αδρανή.

Γενικά, για λεπτόκοκκες άμμους μέχρι μέγιστου κόκκου $D: 4\text{mm}$, ισχύει [95]:

- $S_o < 2.5$ - καλώς ταξινομημένα αδρανή
- $S_o: 2.5-4.5$ - κανονικά ταξινομημένα αδρανή
- $S_o > 4.5$ - κακώς ταξινομημένα αδρανή

Και οι συντελεστές ομοιομορφίας (C_u) για τις άμμους που εξετάζονται λαμβάνουν παρόμοιες τιμές σε ένα διάστημα {2.3-4.1}.

Ο συντελεστής λεπτότητας ($F.M.$) λαμβάνει τιμές στο διάστημα {2.0-4.0}, υποδηλώνοντας λεπτόκοκκα αδρανή. Γενικά, οι τιμές του συντελεστή λεπτότητας για αδρανή σκυροδέματος κυμαίνονται στο εύρος 2.3-3.1, ενώ για χονδρόκοκκα υλικά λαμβάνει τιμές $F.M. > 6.5$, όταν το αδρανές του σκυροδέματος είναι $< 38\text{mm}$ [71]. Συνδυασμοί λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων αδρανών σε μίγμα οδηγούν σε συντελεστές λεπτότητας με ενδιάμεσες τιμές.

Για αδρανή υλικά με μεγαλύτερο μέγιστο κόκκο, τόσο ο συντελεστής ταξινόμησης (S_o) όσο και ο συντελεστής ομοιομορφίας (C_u) μπορεί να λαμβάνουν υψηλότερες τιμές και να ανταποκρίνονται σε ευρείες και ομαλές κοκκομετρικές κατανομές.

Οι συντελεστές S_o , C_u και $F.M.$ πρέπει να εκτιμώνται και να αξιολογούνται συνδυαστικά.

Οι κρίσιμοι δείκτες είναι χαρακτηριστικές παράμετροι μιας κοκκομετρικής καμπύλης αδρανών υλικών και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για λόγους αναπαραγωγισιμότητας συνθέσεων κονιαμάτων αποκατάστασης κατά τον σχεδιασμό στην περίπτωση που αναζητούνται αδρανή υλικά παρόμοιων ιδιοτήτων.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΑΜΜΩΝ

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	ΑΜΜΟΣ ΞΑΝΘΗ	ΑΜΜΟΣ ΔΙΑΡΤΟΥ	ΑΜΜΟΣ ΚΛΙΑΚΙΣ	ΑΜΜΟΣ ΠΟΤ. ΝΑΞΟΥ	ΑΜΜΟΣ ΠΟΤ. ΕΡΜΗΣ	ΑΜΜΟΣ ΠΟΤ. ΧΙΟΥ	ΑΜΜΟΣ ΝΤΑΜΑΡΕΙΑ ΧΙΟΥ	ΑΜΜΟΣ ΜΑΥΡΗ ΚΟΥΡΑΣΑΝΙΤ	ΑΜΜΟΣ ΞΑΝΘΙΑ ΘΕΣ/ΝΙΚΗ	ΑΜΜΟΣ ΜΕΤΡΙΑ ΘΕΣ/ΝΙΚΗ	ΑΜΜΟΣ ΧΟΝ/ΚΗ ΘΕΣ/ΝΙΚΗ			
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	96	94	92	98	94,2	99,5	89,5	87	96	98,2	88,5	96	85,2	52
3	83,6	80	77	91,2	70,9	90	55	69	79,5	53,6	24	48,3	14,1	7
4	54,3	47	52	62,2	35	57,7	17	11,5	22	1,1	0,8	7,5	0,3	0
5	19,3	18,5	23	17	14	17,2	3,1	1,6	0,2	0	0	0	0	0
6	3,2	6	5	5,5	5,7	3,1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	2,2	5,66	6,26	1,98	5,8	0	17,53	13,62	3,51	1,81	12,12	3,51	12,96	37,82
10	14,18	14,58	17	6,84	23,28	0,25	31,23	16,19	20,59	31,65	22,9	20,59	31,65	20,7
11	29,86	32,47	30,58	28,99	35,92	12,18	19,93	24,83	32,04	39,45	20,7	32,04	39,45	20,7
12	34,99	29,27	34,00	47,19	21,03	58,9	13,97	31,85	25,46	13,01	5,85	25,46	13,01	5,85
13	16,04	19,24	10,62	11,45	8,21	24,3	9,1	9,89	11,11	0,79	0,42	11,11	0,79	0,42
14	3,93	5,27	1,54	3,54	5,72	4,4	7,79	1,39	6,57	0,13	0,19	6,57	0,13	0,19
15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
16	96	96	92	98	97,3	95,5	80	97	96	99,4	98	94	91,14	50,34
17	74	78	70	85	68,0	41,4	58	58	74	45,57	17,45	74	45,57	17,45
18	42	43,5	38	50	33,3	10,9	31	31	45	13,29	3,36	45	13,29	3,36
19	5	6,5	3,5	6	8,2	2,97	1,5	1,5	9	0,63	0	9	0,63	0
20	0	0,5	1,2	0	0	0	0,1	0	4	0	0	4	0	0
21	0,48	0,52	0,49	0,41	0,67	0,41	0,89	0,60	0,50	0,91	1,85	0,50	0,91	1,85
22	0,795	0,89	0,90	0,63	1,10	0,64	1,70	1,20	0,90	1,60	2,95	0,90	1,60	2,95
23	0,285	0,30	0,28	0,29	0,385	0,30	0,38	0,38	0,28	0,38	0,91	0,28	0,38	0,91
24	2,79	2,97	3,21	2,17	2,86	2,13	4,47	3,64	3,21	1,76	2,95	3,21	1,76	2,95
25	0,57	0,64	0,60	0,49	0,80	0,485	1,1	0,8	0,62	1,15	2,05	0,62	1,15	2,05
26	0,18	0,17	0,16	0,20	0,20	0,21	0,16	0,23	0,15	0,42	0,6	0,15	0,42	0,6
27	3,17	3,76	3,75	2,45	4,00	2,31	6,88	3,48	4,13	2,74	3,42	4,13	2,74	3,42
28	0,62	0,74	0,92	0,55	1,007	0,507	1,007	0,903	0,732	1,247	2,99	0,732	1,247	2,99
29	0,95	0,707	0,354	0,354	0,707	0,354	1,414	0,354	0,707	0,354	2,88	0,707	0,354	2,88
30	-1,149	-0,919	-1,316	0,652	0,980	-0,445	-0,838	-1,037	-1,037	-0,354	-0,058	-1,037	-0,354	-0,058
31	0,654	0,685	0,095	1,286	1,002	1,171	0,485	0,791	0,585	1,051	0,891	0,585	1,051	0,891
32	2,44	2,55	2,51	2,28	2,8	2,33	3,06	2,89	2,47	3,48	4,33	2,47	3,48	4,33
33	1,5	1,55	1,55	1,47	1,39	1,50	1,64	1,55	1,5	1,55	1,7	1,5	1,55	1,7
34	2,60	2,60	2,65	2,55	2,40	2,65	2,70	2,6	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65
35	42	40,4	41,5	42,4	42,1	43,4	39,3	40,4	41,2	41,5	35,8	41,2	41,5	35,8
36	39	37,5	39	40	39	41	37	39	38,5	40	37	38,5	40	37
37	1,70	1,40	1,20	3,20	1,50	1,95	5,00	0,25	1,50	0,20	0,05	1,50	0,20	0,05

ΕΥΚΕΝΤΡΙΩΤΗΤΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΧΑΛΙΚΩΝ

	G	P	Q	R	S	T	U	V
	ΧΑΛΙΚΙΑ			1	2	3	4	5
				ΦΥΖΙΚΙ ΜΑΥΡΟ Ε.Ο.Υ.Ρ.Α.Ν.Τ.	ΦΥΖΙΚΙ ΜΑΥΡΟ Ε.Π.Μ.Ε.	ΦΥΖΙΚΙ ΚΟΚΚΙΝΟ Ε.Π.Μ.Ε.	ΦΥΖΙΚΙ Κ.Ι.Α.Κ.Ι.Σ.	ΦΥΖΙΚΙ ΑΣΥΚΟ Θ.Ρ.Α.Υ.Σ.Τ.Ο.
4								
5		8						
6		4						
7		0						
8		0,5						
9		0,25						
10		0,125						
11		0,062						
12		0						
13		4						
14		0						
15		1						
16		0,5						
17		0,25						
18		0,125						
19		0,062						
20								
21		11,5		100		100		
22		3,52		100	100,2	100	99,74	
23		4,70		59,74	20	99,12	7,291	100
24		1,9		1,69	0	0,95	7,97	79,73
25		0,94		0,50	0	1,79	1,51	0,79
26		0,47		0,05	0	1,25	1,24	0,97
27		0,149		0,49	0	0,94	0,75	0,17
28		0,074		0,24	0	0,41	0,22	0
29				10	10	10	10	5
30				6,1	5,9	3,9	3,9	1,35
31				0,2	7,4	2,95	5,8	1,75
32				2,0	4,0	2,2	2,65	1,1
33				0,10	1,25	1,75	0,19	1,59
34				0,00	0,2	0,05	4,1	1,5
35				0,15	2,95	2	0,1	0,95
36				0,22	0,18	1,52	1,95	1,59
37								
38								
39								
40								
41								
42				5,24	5,84	9,72	5,15	3,75
43				1,61	1,41	1,65	1,49	1,67
44				2,60	2,60	2,60	2,65	2,65
45				4,75	4,55	44,2	44,2	42,7
46				4,1	4,2	4,2	4,2	4,0

IV.2. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΑΛΙΚΙΩΝ

Στους πίνακες που ακολουθούν συγκεντρώνονται τα χαρακτηριστικά των χαλίκων που εξετάστηκαν.

Πίνακας IV.3. Φυσικά Χαρακτηριστικά Χαλικιών					
ΥΛΙΚΟ	D (mm)	d (g/cm ³)	d _r (g/cm ³)	% voids	% voids (theor)
Ρυζάκι μαύρο Kourasanit	10	1.51	2.60	41.0	41.9
Ρυζάκι μαύρο Ερμής	10	1.41	2.60	43.0	45.8
Ρυζάκι κόκκινο Ερμής 2/8	10	1.45	2.60	43.0	44.2
Ρυζάκι Κιλκίς 2/10	10	1.48	2.65	42.0	44.2
Ρυζάκι λευκό (θραυστό)	5	1.53	2.65	40.0	42.3

Πίνακας IV.4. Παράμετροι Κατανομής Χαλικιών					
ΥΛΙΚΟ	D (mm)	MEDIANA	S ₀	C _u	F.M.
Ρυζάκι μαύρο Kourasanit	10	4.1	2.10	2.33	5.32
Ρυζάκι μαύρο Ερμής	10	5.9	1.85	2.18	5.42
Ρυζάκι κόκκινο Ερμής	10	3.0	1.75	1.53	4.73
Ρυζάκι Κιλκίς	10	3.9	2.19	1.95	5.15
Ρυζάκι λευκό (θραυστό)	5	1.35	1.59	1.58	3.75

Από τις παραμέτρους κατανομής και τις τιμές που λαμβάνουν αυτές είναι προφανές ότι οι χάλικες που εξετάζονται χαρακτηρίζονται ως κακώς κοκκοδιαβαθμισμένα υλικά με συγκεντρωμένες κατανομές, υψηλές τιμές για τον συντελεστή λεπτότητας (F.M.>3.9) σε σύγκριση με τους αντίστοιχους συντελεστές των άμμων, οι οποίες εμφανίζουν πιο ομαλές κατανομές, χαμηλούς συντελεστές συντελεστή ταξινόμησης (S₀<2.1) και χαμηλούς συντελεστές ομοιομορφίας (C_u<2.3).

Οι συντελεστές ομοιομορφίας για συγκεντρωμένες κατανομές όπως αυτές των χαλικιών είναι μικρότεροι σε σύγκριση με τους συντελεστές ομοιομορφίας που προσδιορίστηκαν για τις άμμους (λεπτόκοκκα υλικά). Για μίγματα αδρανών με μεγαλύτερο συνολικά μέγιστο κόκκο αδρανούς (D_{max}) ο συντελεστής ομοιομορφίας, ανάλογα και με τα ποσοστά ανάμιξης λεπτόκοκκου και αδρόκοκκου κλάσματος, θα είναι αυξημένος.

Υπάρχουν περιπτώσεις που ο συντελεστής ομοιομορφίας (C_u) μπορεί να ξεπερνά και το 5.0 ή 6.0 (συνήθως σε μίγματα) και να ανταποκρίνεται σε κοκκομετρική καμπύλη ευρεία και ομαλή ανάλογα με τον μέγιστο κόκκο του αδρανούς. **Γενικά, για συντελεστές ομοιομορφίας (C_u) πολύ χαμηλούς, σε σχέση πάντα με τον μέγιστο κόκκο, οι κατανομές είναι συγκεντρωμένες και το αδρανές χαρακτηρίζεται ως κακώς κοκκοδιαβαθμισμένο.**

Λόγω των συγκεντρωμένων κατανομών που παρουσιάζουν τα χάλικια που εξετάζονται, οι τιμές των ποσοστών των όγκων των κενών (% voids) που προκύπτουν τόσο εργαστηριακά όσο και θεωρητικά είναι υψηλότερες των αντίστοιχων τιμών των άμμων (%voids > 40.0%).

Τα υλικά αυτά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μεμονωμένα αδρανή για την παρασκευή κονιάματος αποκατάστασης. Στην πλειοψηφία τους εμφανίζονται ως δίκκοκα υλικά. Γι' αυτό και θα πρέπει να αναμιχθούν με άλλο αδρανές, λεπτόκοκκο, ώστε να καλύπτεται το εύρος των χαμηλότερων κλάσεων κόκκων το οποίο και απουσιάζει από τα αδρανή αυτά. Χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα υλικά σε μίγμα αδρανών κονιάματος προκειμένου να ενισχύσουν την περιοχή των μεγαλύτερων κλάσεων κόκκων (1mm-10mm).

Γενικότερα, οι κρίσιμες παράμετροι που χαρακτηρίζουν μια κοκκομετρική καμπύλη αξιολογούνται συνδυαστικά και αφορούν σε καμπύλες σιγμοειδούς μορφής, όπως αυτές

των άμμων που εξετάστηκαν και οι οποίες συγκεντρώνονται παρακάτω στα αθροιστικά ημιλογαριθμικά διαγράμματα.

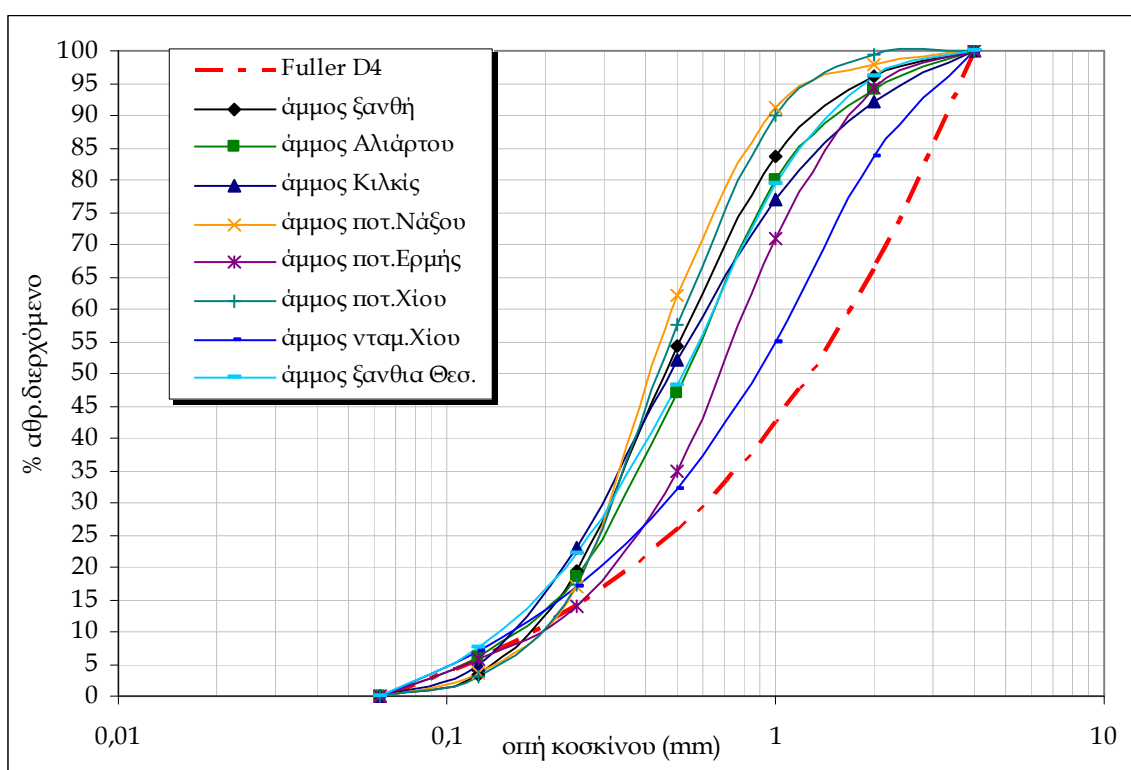
Η ερμηνεία των κρίσιμων δεικτών, όπως αναλύθηκε διεξοδικά, δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε καμπύλες του τύπου π.χ. των θεωρητικών καμπυλών Fuller, οι οποίες δεν απαντώνται στη φύση.

Οι σιγμοειδείς καμπύλες των άμμων στις οποίες βρίσκουν εφαρμογή οι παραπάνω κρίσιμοι δείκτες, προσεγγίστηκαν ικανοποιητικά με μαθηματικές εξισώσεις της μορφής $y^{-1} = a + b/x^2$, όπως αναλύεται πιο κάτω στο Κεφ.ΙV.4.

IV.3. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΟΓΚΟΥ ΚΕΝΩΝ ΑΜΜΩΝ

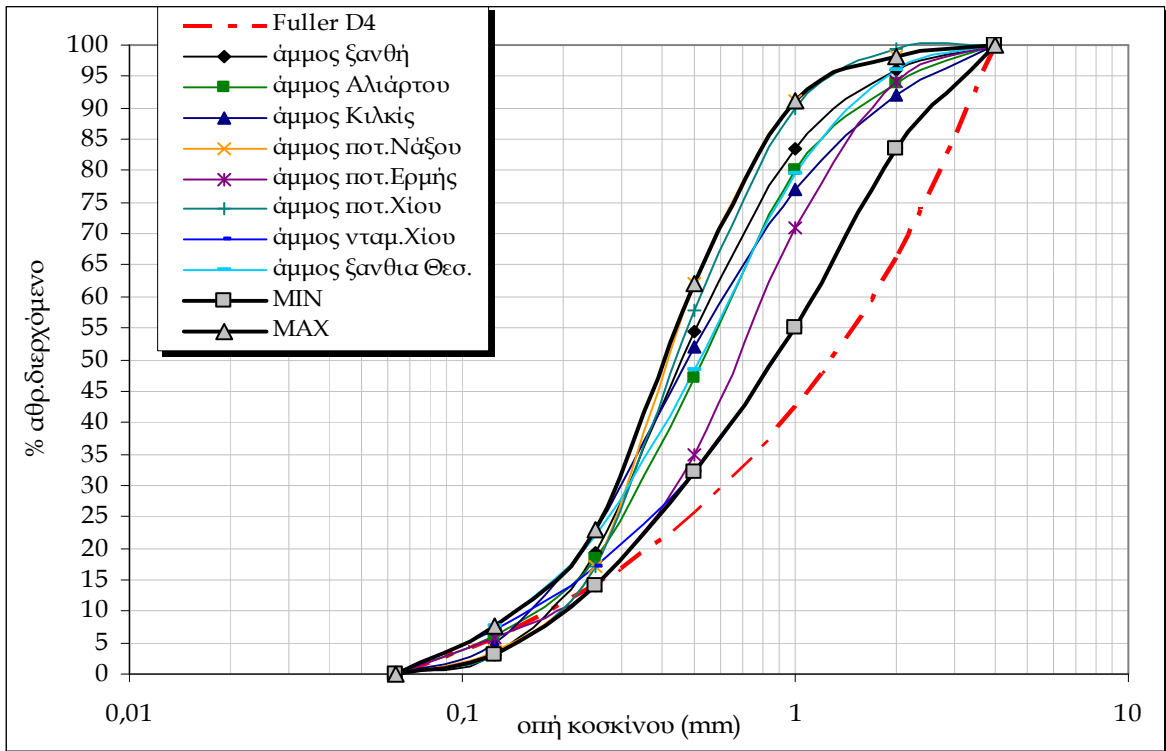
Παρακάτω παρατίθενται συγκεντρωτικά οι μέσες κοκκομετρικές καμπύλες των άμμων που εξετάστηκαν. Υπενθυμίζεται ότι οι μέσες κοκκομετρίες προέκυψαν από την συγκριτική αξιολόγηση ενός πλήθους κοκκομετρικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν για το κάθε ένα υλικό σε διαφορετικές παρτίδες και σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Στο συγκεντρωτικό διάγραμμα που ακολουθεί σημειώνεται και η θεωρητική καμπύλη Fuller, που εκφράζει το ελάχιστο δυνατό ποσοστό όγκου κενών, για μέγιστο κόκκο $D=4\text{mm}$, και για λόγους συγκριτικούς. Όπως φαίνεται όλες οι κοκκομετρικές καμπύλες διατάσσονται πάνω από την θεωρητική αυτή καμπύλη και χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερο ποσοστό όγκου κενών (%voids).



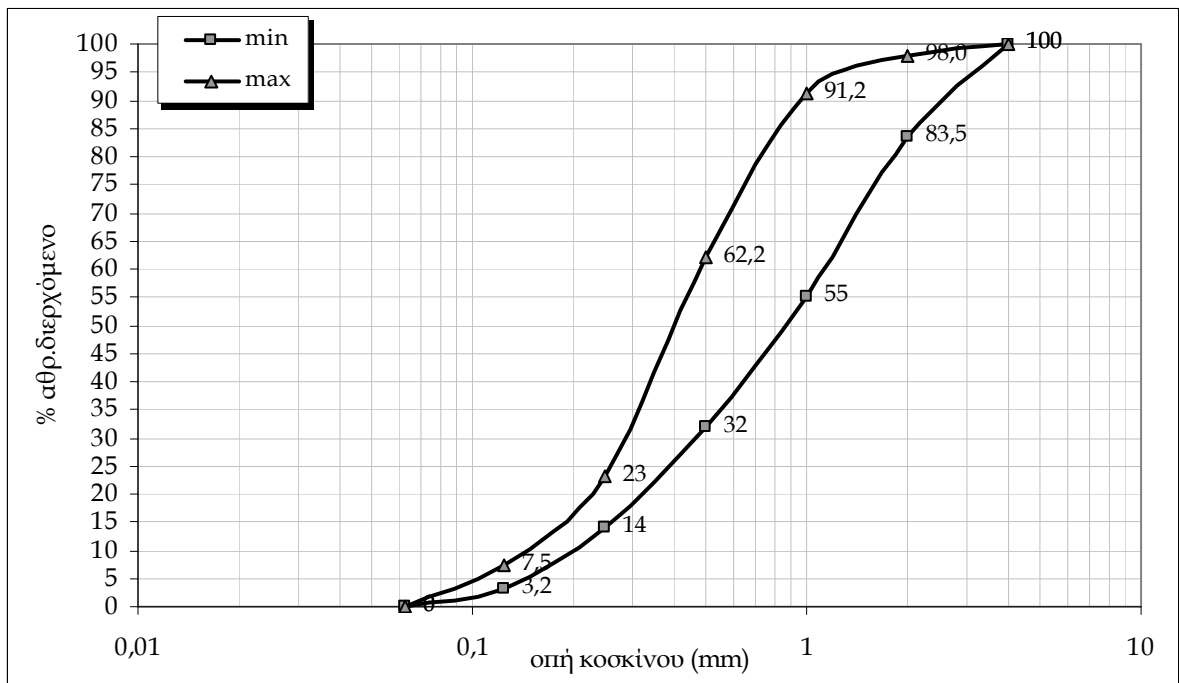
Διάγραμμα IV.1: Συγκεντρωτικό διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών άμμων

Οι παραπάνω καμπύλες ορίζουν μια περιοχή με άνω και κάτω όριο ή αλλιώς κατώφλι. Η περιοχή αυτή σημειώνεται με τις αντίστοιχες καμπύλες στα διαγράμματα που ακολουθούν.



Διάγραμμα IV.2: Διάγραμμα περιοχής όπου συγκεντρώνονται οι κοκκομετρικές καμπύλες των άμμων που εξετάστηκαν

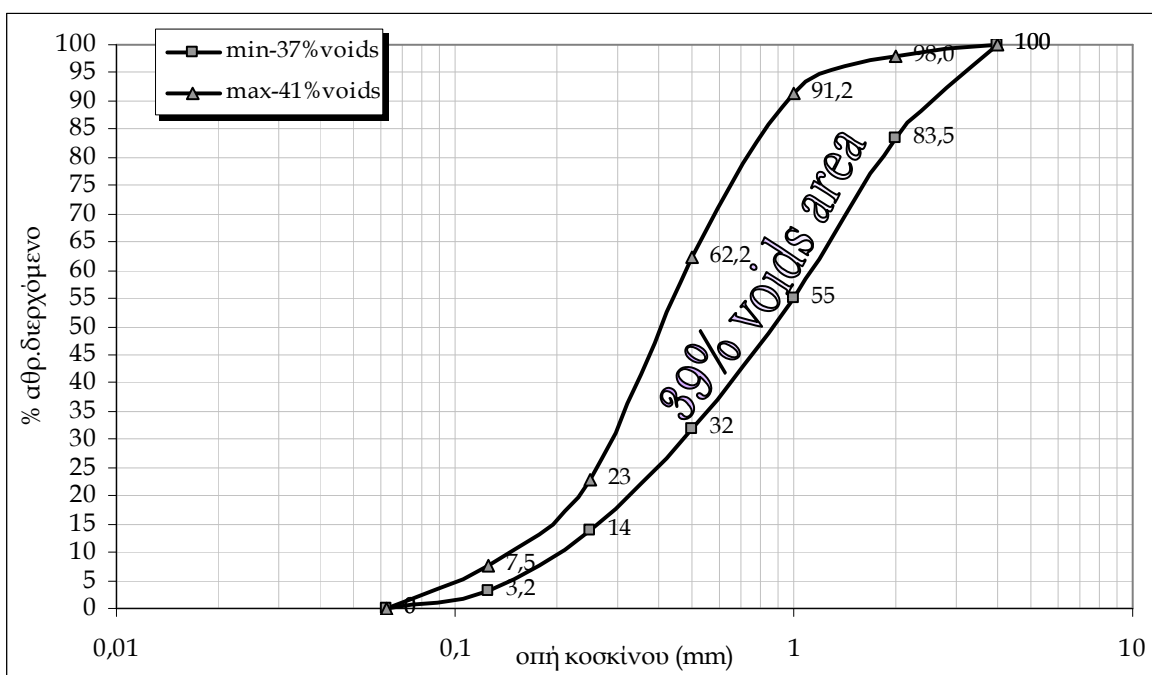
Τα όρια μέσα στα οποία εμπίπτουν οι καμπύλες των εξεταζόμενων άμμων προκύπτουν ως θεωρητικές καμπύλες, οι οποίες ορίζουν συγκεκριμένη περιοχή στην κοκκομετρική κατανομή.



Διάγραμμα IV.3: Άνω και κάτω κατώφλια κοκκομετρικών καμπυλών άμμων

Η περιοχή που ορίζεται ανάμεσα στο άνω (max) και κάτω (min) κατώφλι των κοκκομετρικών καμπυλών αφορά σε μια περιοχή όπου συγκεντρώνονται οι κοκκομετρικές καμπύλες των αδρανών που εξετάστηκαν και οι οποίες χαρακτηρίζονται από ποσοστό

όγκου κενών (%voids) που κυμαίνεται στο εύρος **37-41%**. Κατά μέσο όρο λαμβάνεται περίπου **39%** κ.ο. όγκος κενών.



Διάγραμμα IV.4: Άνω και κάτω κατώφλια περιοχής κοκκομετρικών καμπυλών άμμων με μέσο ποσοστό όγκου κενών ~ 39%

Ορια κοκκομετρικών καμπυλών άμμων							
Ποσοστά αθροιστικά διερχόμενου από κάθε κόσκινο							
Οπή Κοσκίνου (mm)	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
min	100	83,5	55	32	14	3,2	0
max	100	98	91,2	62,2	23	7,5	0

39% voids area

Σημειώνεται ότι η περιοχή αυτή αφορά σε άμμους που χαρακτηρίζονται από μέγιστο κόκκο αδρανούς **D=4mm**.

Συγκεκριμένα, το κάτω κατώφλι αντιπροσωπεύει καμπύλη που χαρακτηρίζεται από ποσοστό όγκου κενών 37% και το άνω κατώφλι αντιπροσωπεύει καμπύλη με ποσοστό όγκου κενών 41%. Δηλαδή, όλες οι άμμοι που εξετάστηκαν εμφανίζουν κοκκομετρικές καμπύλες που βρίσκονται στην συγκεκριμένη περιοχή και χαρακτηρίζονται από μέσο όγκο κενών περίπου **39% κ.ο.**

Το ποσοστό της κονιάς που απαιτείται για την παρασκευή μίγματος κονιάματος με τα συγκεκριμένα αδρανή και με την παραδοχή ότι η κονία που χρησιμοποιείται είναι κονία υδραυλικής ασβέστου με φαινόμενη πυκνότητα $d \sim 0.75 \text{g/cm}^3$, υπολογίζεται ως εξής:

$$d = m/V$$

$$m = d \cdot V = 0.75 \cdot 39.0 = \mathbf{29.25\% \text{ κ.β. κονιά}}$$

Το ποσοστό της κονιάς που απαιτείται για την παρασκευή κονιάματος με μεμονωμένο αδρανές του τύπου και των χαρακτηριστικών των άμμων που εξετάστηκαν είναι **30%** περίπου, με την παραδοχή ότι η κονία που χρησιμοποιείται είναι υδραυλική άσβεστος

Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται επιπλέον η τάση μιας κοκκομετρικής καμπύλης άμμου προς υψηλότερο ποσοστό όγκου κενών. Συγκεκριμένα, οι καμπύλες που εμφανίζουν τάση μετατόπισης προς τα αριστερά, δηλαδή προς μικρότερα μεγέθη κόκκων χαρακτηρίζονται από υψηλότερες τιμές ποσοστού όγκου κενών. Η καμπύλη που χαρακτηρίζεται από το χαμηλότερο δυνατό ποσοστό όγκου κενών είναι η θεωρητική καμπύλη Fuller (~25% voids).

Επομένως τάση της καμπύλης προς τα αριστερά συνεπάγεται αύξηση του ποσοστού του όγκου των κενών.

*Μετατόπιση μιας κοκκομετρικής καμπύλης προς τα αριστερά,
δηλ. προς μικρότερα μεγέθη κόκκων,
υποδηλώνει τάση αύξησης
του ποσοστού του όγκου των κενών του αδρανούς*

Οι συγκριτικές αυτές εκτιμήσεις γίνονται για κοκκομετρικές καμπύλες και κατανομές υλικών με τον ίδιο μέγιστο κόκκο αδρανούς.

IV.4. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ

IV.4.1. ΕΞΙΣΩΣΗ ΑΜΜΩΝ

Σε μια προσπάθεια απόδοσης των κοκκομετρικών καμπυλών των αδρανών υλικών που εξετάστηκαν με μαθηματικές συναρτήσεις τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά.

Συγκεκριμένα, οι άμμοι (0/4mm) που εξετάστηκαν εμφανίζουν μια καλή προσαρμογή της κοκκομετρικής τους καμπύλης σιγμοειδούς μορφής στην εξίσωση:

$$y^{-1} = a + b/x^2$$

με υψηλούς συντελεστές προσαρμογής $R^2 > 0.99$.

Η ανεξάρτητη παράμετρος X εκφράζει το μέγεθος της οπής του κοσκίνου σε (mm) και η εξαρτημένη παράμετρος Y εκφράζει το ποσοστό του αθροιστικά διερχόμενου υλικού από την οπή του κοσκίνου.

Στα worksheets που επισυνάπτονται παρατίθενται τα διαγράμματα των κοκκομετρικών καμπυλών των άμμων σε αντιπαραβολή με τις καμπύλες που εκφράζουν οι μαθηματικές εξισώσεις στις οποίες προσαρμόζονται με πολύ υψηλούς συντελεστές προσαρμογής.

Οι μαθηματικές εξισώσεις που προέκυψαν από την μαθηματική επεξεργασία, για τις άμμους που εμφανίζουν πολύ καλή προσαρμογή είναι:

Άμμος Ξανθή Kourasanit

$$\text{Equation : } y^{-1} = a + b/x^2 \quad y^{-1} = 0,0097 + 0,0023/x^2$$

$$R^2 = 0.998$$

Άμμος Αλιάρτου

$$\text{Equation : } y^{-1} = a + b/x^2 \quad y^{-1} = 0,0099 + 0,0028/x^2$$

$$R^2 = 0.9996$$

Άμμος Κιλκίς

$$\text{Equation : } y^{-1} = a + b/x^2 \quad y^{-1} = 0,010 + 0,002/x^2$$

$$R^2 = 0.997$$

Άμμος ποταμού Ερμής

$$\text{Equation : } y^{-1} = a + b/x^2 \quad y^{-1} = 0,0097 + 0,0043/x^2$$

$$R^2 = 0.9986$$

Άμμος Ξανθιά Θεσ/νικης

$$\text{Equation : } y^{-1} = a + b/x^2 \quad y^{-1} = 0,0099 + 0,0025/x^2$$

$$R^2 = 0.9976$$

Άμμος χονδρόκοκκη Θεσ/νικης

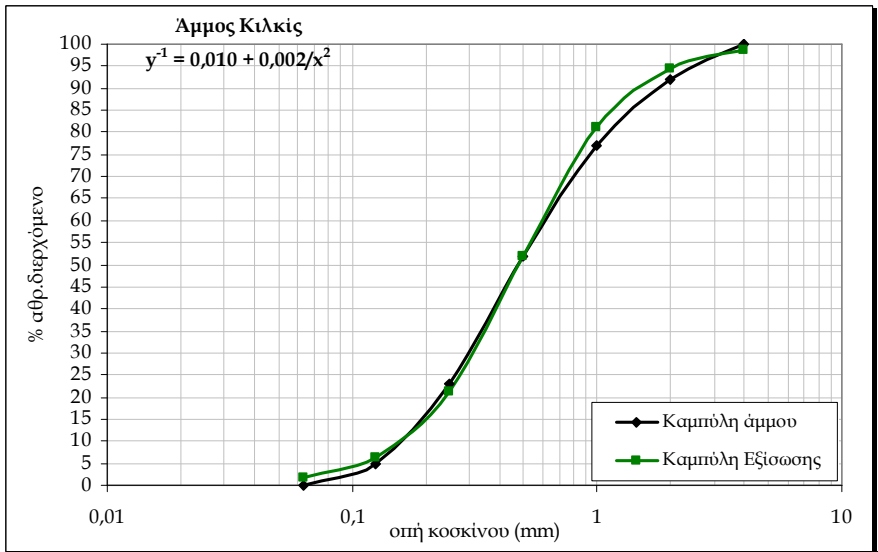
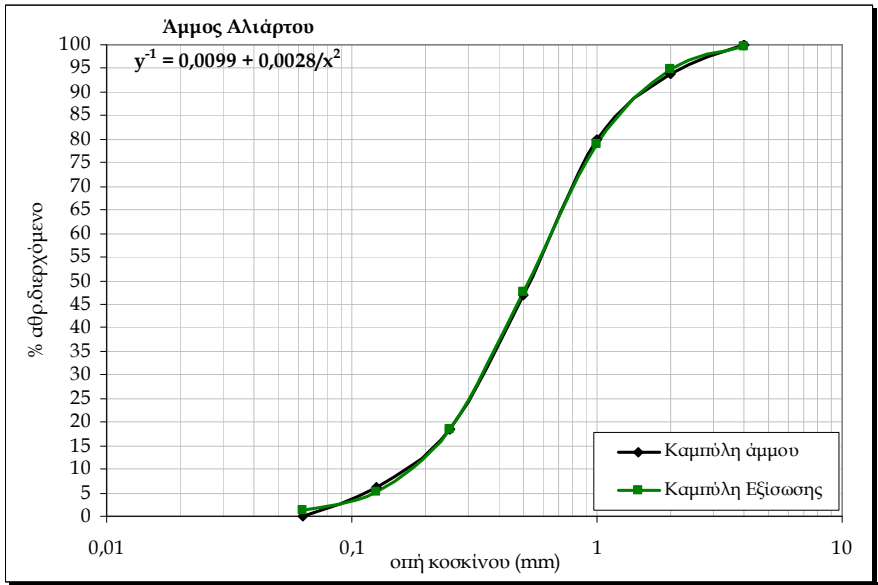
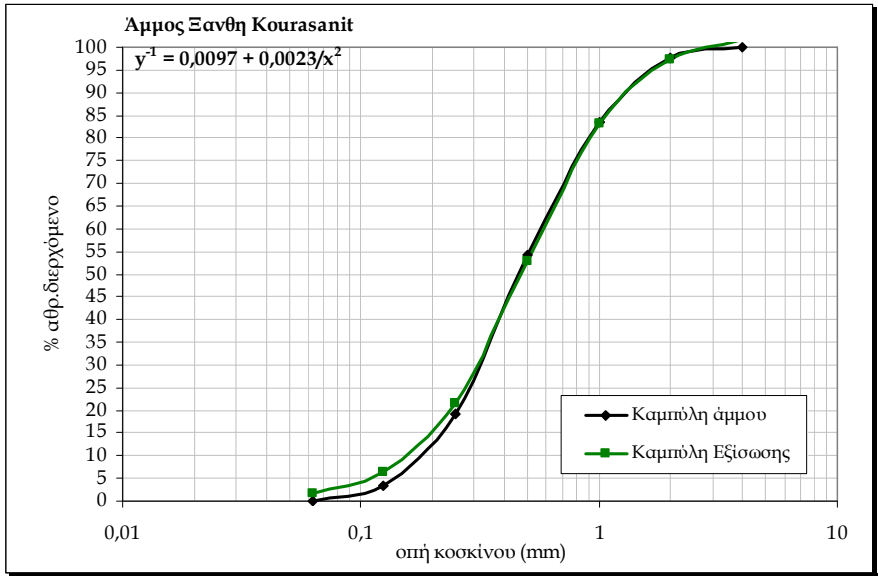
$$\text{Equation : } y^{-1} = a + b/x^2 \quad y^{-1} = 0,0095 + 0,035/x^2$$

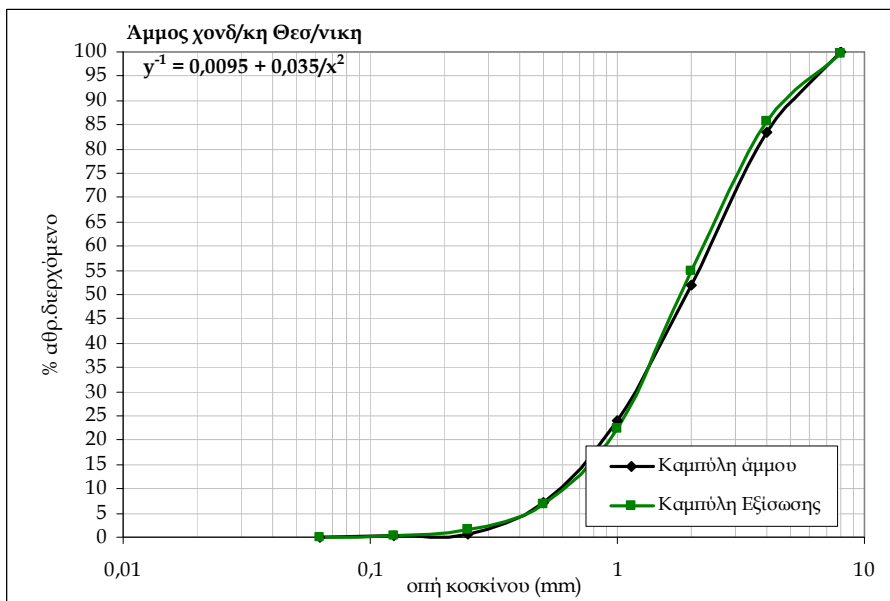
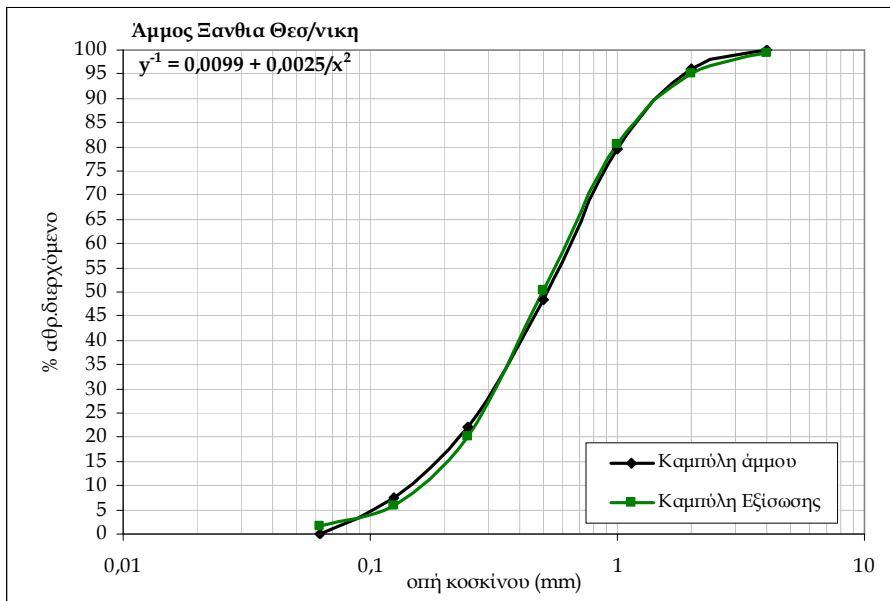
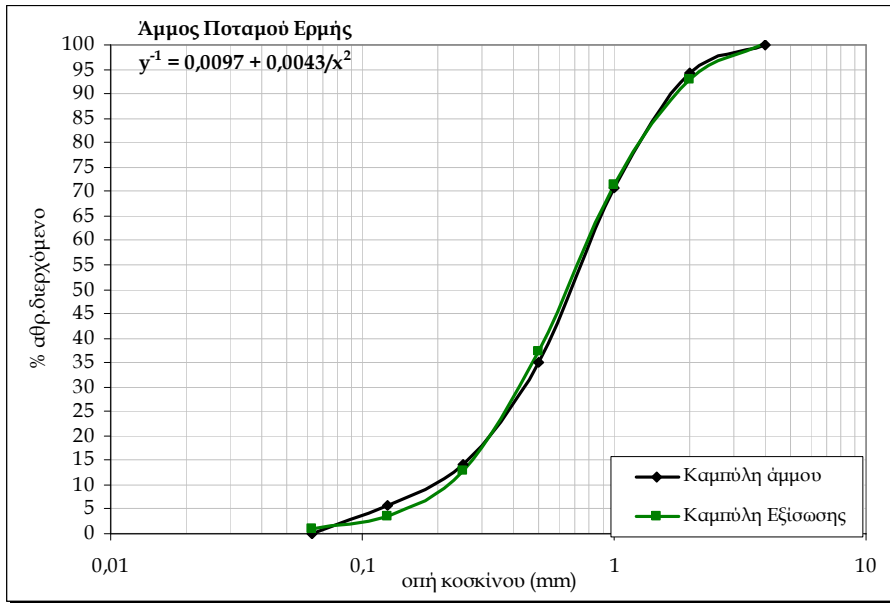
$$R^2 = 0.998$$

Συμπερασματικά, οι κοκκομετρικές καμπύλες άμμων με μέγιστο κόκκο $D=4\text{mm}$, που εμπίπτουν στα όρια (άνω και κάτω κατώφλι) της περιοχής που ορίστηκε παραπάνω και χαρακτηρίζει κοκκομετρικές καμπύλες με ποσοστό όγκου κενών περίπου 39% κ.ο. εκφράζονται ικανοποιητικά από την μαθηματική εξίσωση :

$$y^{-1} = a + b/x^2$$

Τα χαλίκια (ρυζάκια) που εξετάστηκαν εμφανίζουν σχετικά καλή προσαρμογή σε διάφορους τύπους εκθετικών συναρτήσεων, με συντελεστές $R^2 > 0.95$.



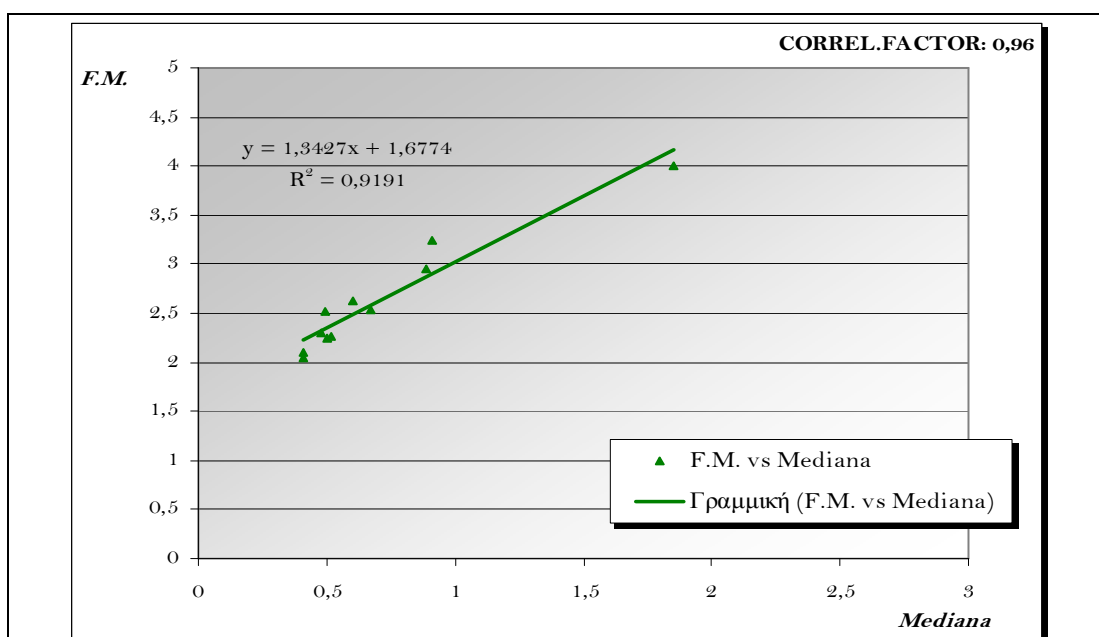


IV.4.2. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΛΕΠΤΟΤΗΤΑΣ (F.M.) - ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ

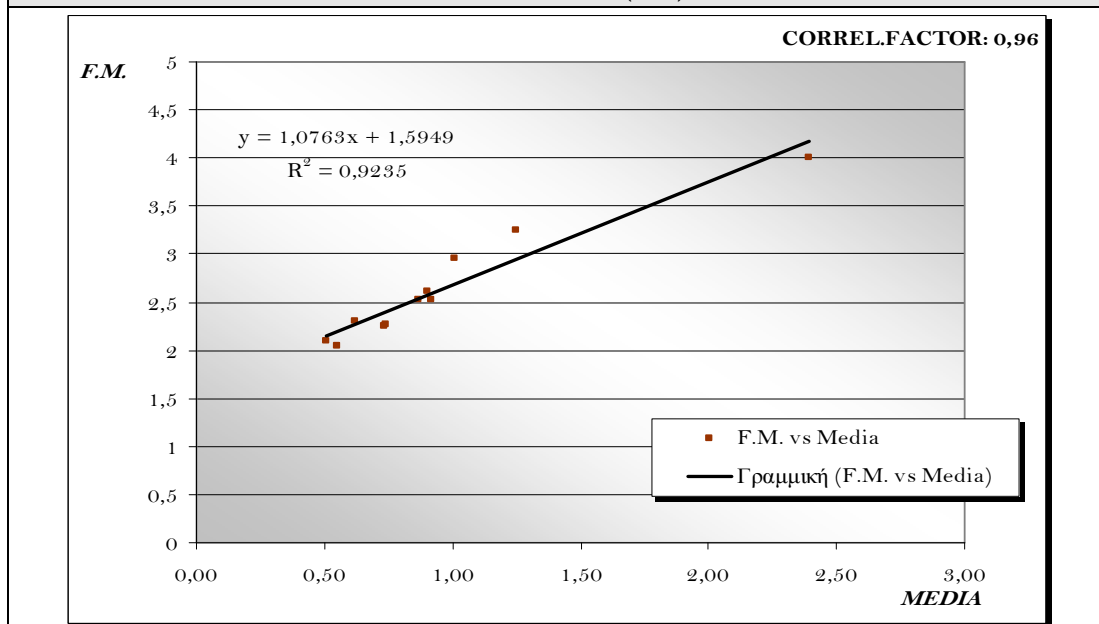
Ο συντελεστής λεπτότητας των άμμων που εξετάστηκαν κυμαίνεται στο διάστημα:
F.M. : 2.3 – 4.3

Από τα πειραματικά δεδομένα προκύπτει ότι η μεγαλύτερη συχνότητα εμφανίζεται σε τιμές του συντελεστή λεπτότητας F.M.:2-3, δεδομένου ότι οι άμμοι που εξετάζονται αφορούν σε αδρανή υλικά της τάξης 0/4mm, δηλαδή υλικά λεπτόκοκκα.

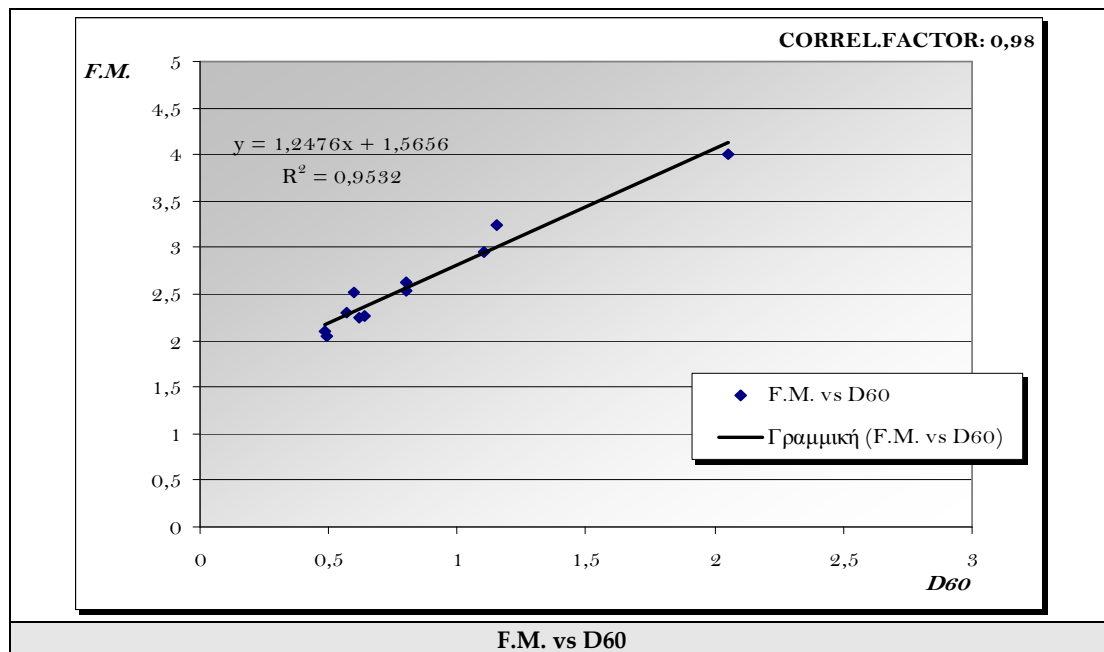
Προκειμένου να διερευνηθεί η αλληλεπίδραση μεταξύ των κρίσιμων δεικτών των αδρανών με τον αντίστοιχο συντελεστή λεπτότητας F.M., προσδιορίστηκαν μέσω γραμμικής ανάλυσης (linear regression analysis) οι συντελεστές συσχέτισης (correlation factors) μεταξύ των κρίσιμων δεικτών και του συντελεστή λεπτότητας F.M. για κάθε άμμο που εξετάστηκε. Από την επεξεργασία αυτή προκύπτει γραμμική συσχέτιση του συντελεστή λεπτότητας F.M. με τις παραμέτρους Mediana, Media και D60, όπως φαίνεται στα διαγράμματα που ακολουθούν.



F.M. vs Mediana (50%)



F.M. vs Media



Μεταξύ του συντελεστή λεπτότητας και της κρίσιμης παραμέτρου *Mediana* (διάμεση ή διχοτόμος ή γεωμετρικό κέντρο κοκκομετρικής καμπύλης) των αδρανών υπάρχει γραμμική συσχέτιση που εκφράζεται από την εξίσωση:

$$Y = 1.33 X + 1.67$$

με συντελεστή προσαρμογής $R^2=0.92$ και συντελεστή συσχέτισης (correlation factor): 0.96.

Δηλαδή, όσο αυξάνεται ο συντελεστής λεπτότητας ενός αδρανούς υλικού τόσο αυξάνεται και η χαρακτηριστική παράμετρος *Mediana*, και άρα το ποσοστό των χονδρόκοκκων κλασμάτων του αδρανούς, και το αντίστροφο.

Μεταξύ του συντελεστή λεπτότητας και της κρίσιμης παραμέτρου *Media* (μέση τιμή κατανομής κόκκων) των αδρανών υπάρχει γραμμική συσχέτιση που εκφράζεται από την εξίσωση:

$$Y = 1.08 X + 1.55$$

με συντελεστή προσαρμογής $R^2=0.92$ και συντελεστή συσχέτισης (correlation factor): 0.96. Αυξανόμενης της *Media* αυξάνεται και ο συντελεστής λεπτότητας F.M. του αδρανούς.

Μεταξύ του συντελεστή λεπτότητας και της κρίσιμης παραμέτρου *D60* (μέγεθος κόκκων σε mm που αντιστοιχεί στο 60% του αθροιστικά διερχόμενου υλικού) των αδρανών υπάρχει γραμμική συσχέτιση που εκφράζεται από την εξίσωση:

$$Y = 1.27 X + 1.53$$

με συντελεστή προσαρμογής $R^2=0.95$ και συντελεστή συσχέτισης (correlation factor): 0.98. Αυξανόμενου του *D60* αυξάνεται και ο συντελεστής λεπτότητας F.M. του αδρανούς.

IV.4.3. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΛΕΠΤΟΤΗΤΑΣ & ΑΠΑΙΤΗΣΗΣ ΣΕ ΝΕΡΟ

Η απαίτηση σε νερό του μίγματος του κονιάματος σχετίζεται άμεσα με τον συντελεστή λεπτότητας (F.M.) του αδρανούς ή του μίγματος των αδρανών υλικών που μετέχουν στο κονίαμα.

Στην βιβλιογραφία υπάρχουν αναφορές όπου εξετάζεται η επίδραση του συντελεστή λεπτότητας F.M. των αδρανών στην ποσότητα του απαιτούμενου νερού για την παρασκευή, ως επί τω πλείστον, εργάσιμων μιγμάτων σκυροδέματος. Στις εργασίες αυτές σημειώνεται η γραμμική συσχέτιση του συντελεστή λεπτότητας F.M. με το απαιτούμενο νερό.

Προφανώς, τα μεγέθη αυτά είναι αντιστρόφως ανάλογα, τόσο για μίγματα σκυροδεμάτων όσο και μίγματα κονιαμάτων. Ωστόσο, το κατά πόσον η μεταξύ τους σχέση είναι γραμμική, ειδικότερα στις περιπτώσεις κονιαμάτων αποκατάστασης, θα πρέπει να διερευνηθεί διεξοδικότερα, δεδομένου ότι η εν λόγω συσχέτιση επηρεάζεται σημαντικά από το ποσοστό των λεπτόκοκκων υλικών της άμμου και ειδικότερα από το ποσοστό της παιπάλης. Η παιπάλη ενός αδρανούς τείνει να προσροφά νερό κατά την ανάμιξη λόγω αυξημένης ειδικής επιφάνειας.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι, στην παρούσα εργασία οι άμμοι που εξετάζονται έχουν επιλεγεί με κριτήριο την καθαρότητά τους και το χαμηλό ποσοστό παιπάλης και οι κοκκομετρικές τους καμπύλες και οι κρίσιμοι δείκτες που προκύπτουν διερευνώνονται στη βάση καθαρών υλικών.

Γενικά, όσο πιο μικρός είναι ο συντελεστής λεπτότητας των αδρανών τόσο αυξάνεται η απαίτηση σε νερό του κονιάματος.

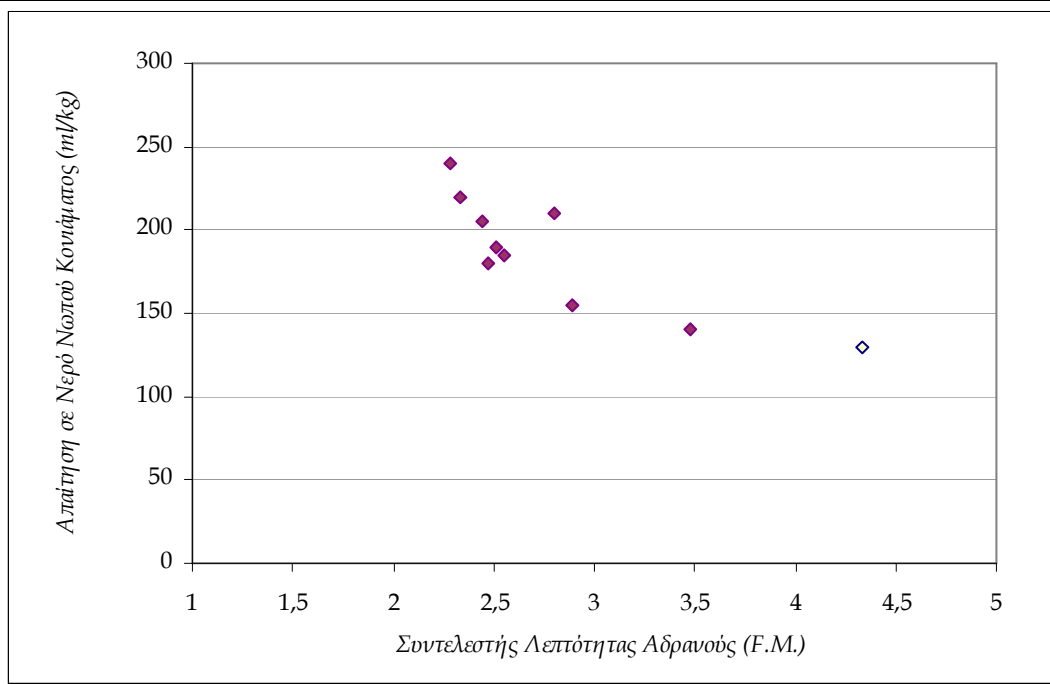
Εν προκειμένω, για την πιστοποίηση του παραπάνω συσχετισμού, παρασκευάσθηκαν στο εργαστήριο νωπά μίγματα κονιαμάτων με κονία υδραυλικής ασβέστου και αδρανές άμμο με μέγιστο κόκκο D=4mm.

Στα μίγματα αυτά σημειώθηκε το νερό που απαιτείται κατά την ανάμιξη (ml/kg) για την παρασκευή εργάσιμου μίγματος, το οποίο χαρακτηρίζεται από τιμή εξάπλωσης νωπού : 15cm.

Τα δεδομένα του απαιτούμενου νερού νωπού μίγματος σε συνάρτηση με τον συντελεστή λεπτότητας του αδρανούς παρατίθενται στον πίνακα και τα διαγράμματα που ακολουθούν.

Πίνακας IV.5.: Ποσοστά απαιτούμενου νερού νωπού κονιάματος υδραυλικής ασβέστου με διάφορες άμμους σε αναλογία 30% κονία - 70% άμμος

Αδρανές	%B-%A	F.M.	Νερό (ml/kg)
άμμος Ξανθή	30-70	2,44	205
άμμος Αλιάρτου	30-70	2,55	185
άμμος Κιλκίς	30-70	2,51	190
άμμος ποτ.Νάξου	30-70	2,28	240
άμμος ποτ.Ερμής	30-70	2,80	210
άμμος ποτ.Χίου	30-70	2,33	220
άμμος μαύρη Kourasanit	30-70	2,89	155
άμμος Ξανθιά θεσ/νικη	30-70	2,47	180
άμμος μέτρια θεσ/νικη	30-70	3,48	140
άμμος χονδ/κη θεσ/νικη	30-70	4,33	130



Διάγραμμα IV.8: Διάγραμμα συσχέτισης συντελεστή λεπτότητας αδρανούς με το νερό που απαιτείται για την παρασκευή εργάσιμου μίγματος κονιάματος

Από τα διαγράμματα είναι εμφανής η τάση μείωσης του απαιτούμενου νερού με αύξηση του συντελεστή λεπτότητας, ή άλλως όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το αδρανές (χαμηλός συντελεστής λεπτότητας F.M.) τόσο μεγαλύτερη είναι η απαίτηση σε νερό για την παρασκευή εργάσιμου μίγματος κονιάματος.

IV.5. ΑΝΑΜΙΞΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Δεδομένου ότι για την παρασκευή κονιαμάτων αποκατάστασης που εφαρμόζονται σε αρμούς συγκεκριμένου πάχους πολλές φορές δεν είναι αρκετό ένα αδρανές με μέγιστο κόκκο 4mm, δημιουργείται η ανάγκη ανάμιξης περισσότερων αδρανών (άμμοι – χαλίκια) που χαρακτηρίζονται από διαφορετικό μέγιστο κόκκο αδρανούς, στο σύνολό τους όμως μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες για ένα κονίαμα με μήτρα αδρανών με ευρεία και ομαλή κοκκομετρική καμπύλη.

Ωστόσο, για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να προηγηθεί αναλυτική διερεύνηση των κοκκομετρικών καμπυλών του κάθε αδρανούς ξεχωριστά και των ποσοστών συμμετοχής κάθε αδρανούς κατά την ανάμιξη, για την δημιουργία ευρείας και ομαλής κοκκομετρικής καμπύλης με αποδεκτά χαρακτηριστικά και τιμές κρίσιμων παραμέτρων και δεικτών.

Σημειώνεται ότι δεν είναι δυνατό να αναμιχθούν επιτυχώς όλοι οι τύποι αδρανών υλικών, αφού δεν προκύπτουν από τις όποιες τυχαίες αναμίξεις ομαλές αποδεκτές κατανομές και καμπύλες.

Το γεγονός αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό ενός κονιάματος αποκατάστασης προκειμένου να προκύψει εργάσιμο μίγμα με αδρανή υλικά ομαλώς κοκκοδιαβαθμισμένα.

Για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε πειραματικά μια μεγάλη βάση δεδομένων στην οποία αναμιγνύεται κάθε άμμος με κάθε χαλίκι σε διάφορα ποσοστά ανάμιξης, εξετάστηκε δε κάθε μία καμπύλη, η οποία μπορούσε να χαρακτηριστεί ομαλή, ξεχωριστά. Σημειώνεται και πάλι ότι υπήρχαν αναμίξεις υλικών οι οποίες δεν κατέληγαν σε ομαλές καμπύλες και επομένως απορρίφθηκαν. Αυτό σημαίνει ότι όλα τα αδρανή δεν μπορούν να αναμιχθούν μεταξύ τους (δεν “συνεργάζονται”) ώστε να προκύψουν αποδεκτές καμπύλες μιγμάτων αδρανών που καλύπτουν μεγαλύτερα εύρη κοκκομετρικού φάσματος, εν προκειμένω 0-10mm.

IV.5.1. ΜΙΓΜΑΤΑ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Έλαβε χώρα ένα πλήθος δοκιμαστικών μιγμάτων μεταξύ των άμμων και των χαλικιών που εξετάζονται, αναλύοντας διάφορα ποσοστά ανάμιξης μεταξύ τους και εκτιμώντας συγκριτικά της τελικές κοκκομετρικές καμπύλες.

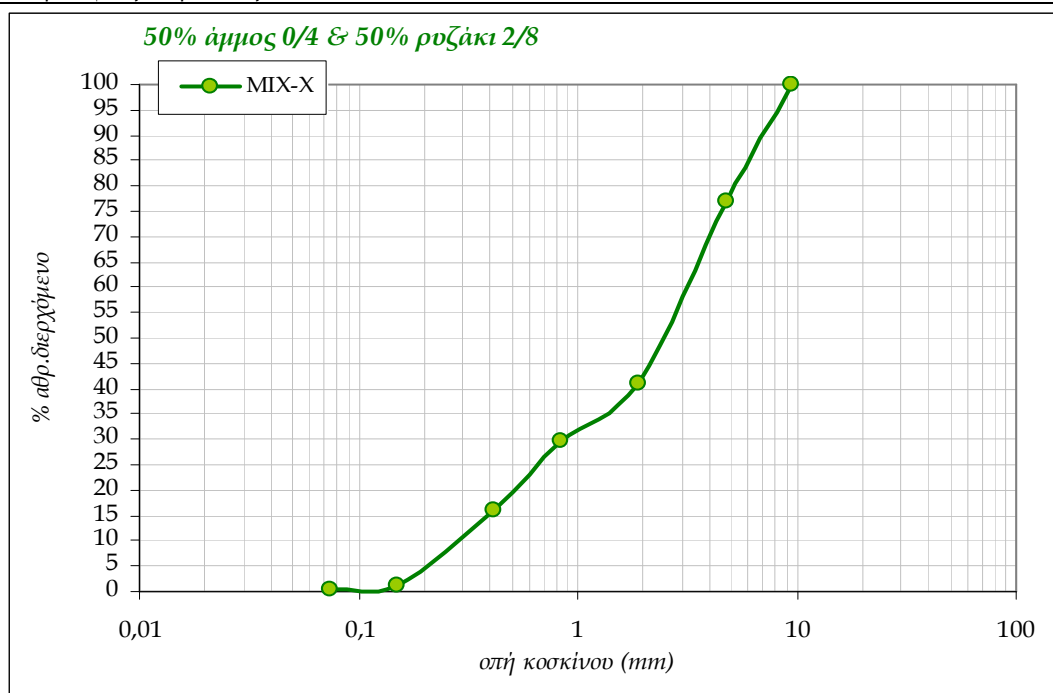
Γενικά, η δημιουργία ενός μίγματος αδρανών υλικών, τα οποία είναι διαφορετικά μεταξύ τους και χαρακτηρίζονται από διαφορετικές κρίσιμες παραμέτρους, είναι σχετική περίπλοκη διαδικασία. Απαιτείται η δοκιμή πλήθους διαφορετικών ποσοστών συμμετοχής των δύο αδρανών, όταν πρόκειται για δυαδικό μίγμα ή και τριών ή και περισσότερων αδρανών όταν στο μίγμα των αδρανών συμμετέχουν περισσότερα από δύο υλικά.

Τα ποσοστά συμμετοχής των αδρανών του μίγματος επιμερίζονται σε κάθε μια κλάση κόκκων προκειμένου να εξαχθεί η κοκκομετρική καμπύλη του μίγματος. Το γεγονός αυτό προϋποθέτει ότι οι κοκκομετρίες των επί μέρους υλικών έχουν πραγματοποιηθεί με την ίδια πρότυπη σειρά κοσκίων, προκειμένου να είναι δυνατόν να αθροιστούν ακολούθως τα επί μέρους ποσοστά και να παρατεθούν στο ημιλογαριθμικό διάγραμμα κοκκομετρικής καμπύλης.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, δεν προκύπτουν πάντα ομαλές κοκκομετρικές καμπύλες για όλα τα ποσοστά ανάμιξης μεταξύ των αδρανών υλικών. Τις περισσότερες φορές οι καμπύλες που λαμβάνονται εμφανίζουν ασυνέχειες λόγω απουσίας ή λόγω μικρού ποσοστού

κάποιας κλάσης κόκκων, γεγονός που οφείλεται στα διαφορετικά ποσοστά που εμφανίζουν τα επί μέρους υλικά στις διάφορες κλάσεις κόκκων.

Για παράδειγμα, σε ένα μίγμα που περιλαμβάνει μια άμμο 0/4mm κι ένα ρυζάκι 2/8mm με ποσοστά συμμετοχής π.χ. 50% άμμος και 50% ρυζάκι είναι δυνατό να προκύψει η ακόλουθη κοκκομετρική καμπύλη.



Διάγραμμα IV.9.: Ασυνεχής κοκκομετρική καμπύλη μίγματος αδρανών

Η κοκκομετρική αυτή καμπύλη του μίγματος των αδρανών του συγκεκριμένου παραδείγματος εμφανίζει ασυνέχεια στο διάστημα διαμέτρου κόκκων 1-2mm και δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ομαλή. Μια τέτοια κοκκομετρική καμπύλη απορρίπτεται και επομένως απορρίπτονται και τα ποσοστά των μιγμάτων των αδρανών που αναμίχθηκαν.

Είτε θα πρέπει να εξετασθούν διαφορετικά ποσοστά ανάμιξης μεταξύ των συγκεκριμένων αδρανών, είτε τα αδρανή αυτά υλικά δεν μπορούν να “συνεργαστούν” μεταξύ τους με κανένα ποσοστό συμμετοχής σε δυαδικό μίγμα.

Προφανώς, οι δοκιμές των ποσοστών ανάμιξης μεταξύ διαφορετικών αδρανών υλικών είναι πολλές, προκειμένου να βρεθεί το βέλτιστο ποσοστό ανάμιξης το οποίο θα οδηγήσει σε μίγμα αδρανών με ομαλή και ευρεία κατανομή και καμπύλη με αποδεκτές χαρακτηριστικές παραμέτρους. Για το λόγο αυτό η διαδικασία είναι χρονοβόρα και επίπονη και απαιτεί πολλές δοκιμές.

Στο γράφημα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση κοκκομετρικών καμπυλών που προκύπτουν κατόπιν διαδοχικών δοκιμών για την εύρεση των αποδεκτών ποσοστών ανάμιξης μεταξύ δύο τυχαίων αδρανών υλικών. Εν προκειμένω, στο παράδειγμα αυτό εξετάζονται οι πιθανοί συνδυασμοί της ξανθής άμμου Kourasanit με το μαύρο ρυζάκι Kourasanit. Εξετάζονται διάφορα ποσοστά ανάμιξης. Κάθε ποσοστό συμμετοχής του αδρανούς πολλαπλασιάζεται με το αντίστοιχο ποσοστό του διερχόμενου υλικού σε κάθε κόσκινο. Από το άθροισμα των επί μέρους ποσοστών προκύπτει η κοκκομετρική καμπύλη του κάθε πιθανού μίγματος.

Η δοκιμή ξεκινά με ποσοστά συμμετοχής 50% άμμος - 50% χαλίκι, για τα οποία προκύπτει κοκκομετρική καμπύλη μίγματος η οποία όπως φαίνεται και στο γράφημα (IV.9) δεν μπορεί να είναι αποδεκτή. Ομοίως, ακολουθεί γραφική αναπαράσταση των κοκκομετρικών καμπυλών των μιγμάτων με ποσοστά συμμετοχής σε άμμο - χαλίκι 60-40, 70-30, 80-20, 90-10 % αντίστοιχα. Από τις λαμβανόμενες καμπύλες προκύπτει ότι οι αναμίξεις με ποσοστά 80-20% και 90-10% είναι αποδεκτές. Για τις καμπύλες αυτές γίνεται περαιτέρω γραφική και μαθηματική επεξεργασία για τον προσδιορισμό των κρίσιμων δεικτών.

Ανάμνη αδρανών υλικών
Μαθηματική και γραφική επίδειγασία

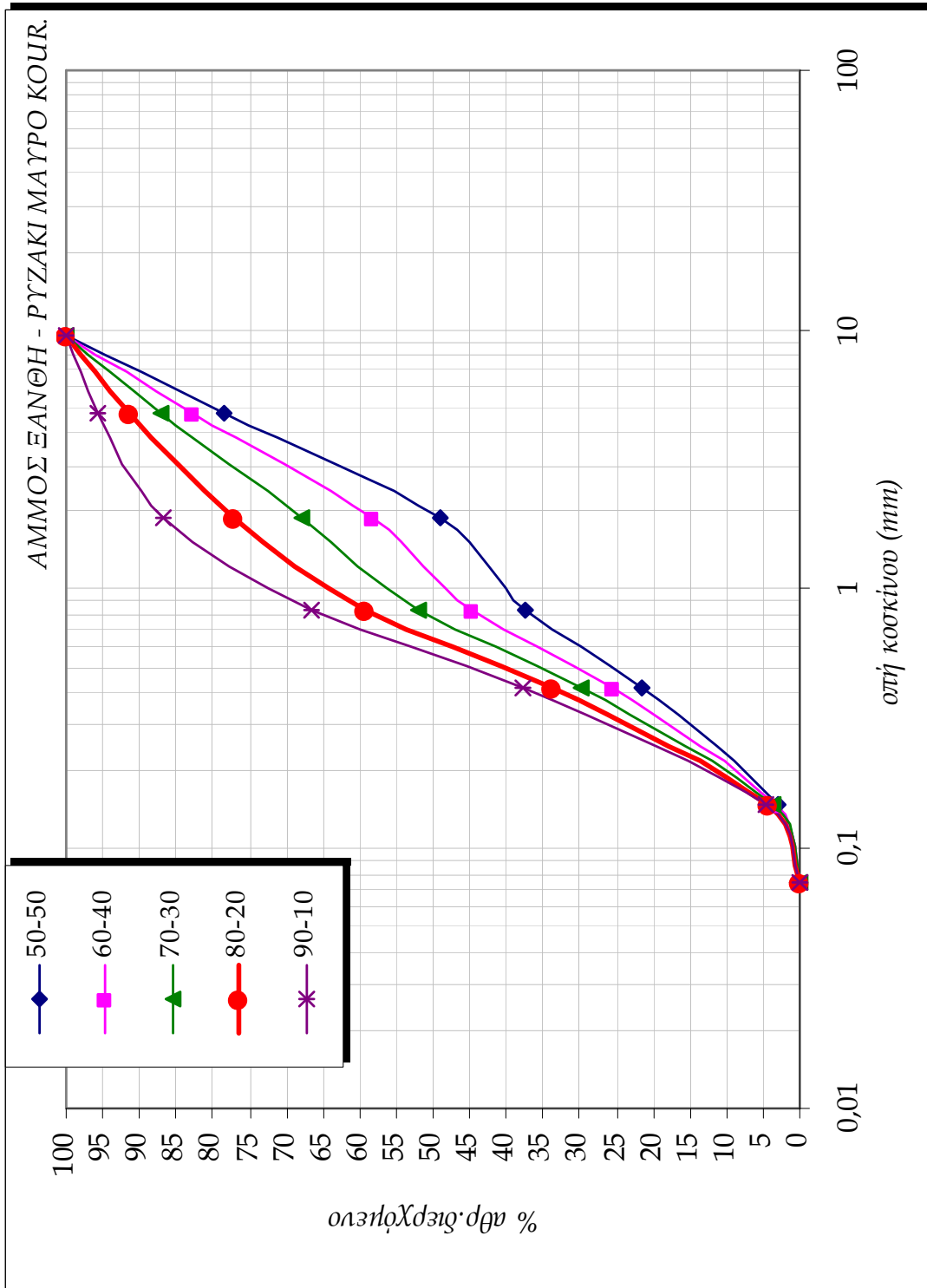
ΑΜΜΟΣ ΣΑΝΔΗ	ΠΥΣΑΚΙ ΜΑΓΠΟ ΚΟΥΡΑΣΑΝΤ		ΕΞΑΡΕΜΑΤΟ ΚΟΥΡΑΣΑΝΤ		MIX-A
	% cumulative passes		50%	50%	
125			50	50	100
9,52	100	100	50	28,595	78,595
4,75	100	57,19	48	0,985	48,985
1,9	96	1,97	37	0,355	37,555
0,84	74	1,11	24	0,46	24,46
0,47	42	0,92	2,5	0,375	2,875
0,19	5	0,75	0	0,2	0,2
0,074	0	0,4			

ΠΥΣΑΚΙ ΜΑΓΠΟ ΚΟΥΡΑΣΑΝΤ		ΕΞΑΡΕΜΑΤΟ ΚΟΥΡΑΣΑΝΤ		MIX-B
% cumulative passes		60%	40%	
100	100	60	40	100
100	57,19	60	22,876	82,876
96	1,97	57,6	0,788	58,588
74	1,11	44,4	0,444	44,844
42	0,92	25,2	0,368	25,568
5	0,75	3	0,3	3,3
0	0,4	0	0,16	0,16

ΠΥΣΑΚΙ ΜΑΓΠΟ ΚΟΥΡΑΣΑΝΤ		ΕΞΑΡΕΜΑΤΟ ΚΟΥΡΑΣΑΝΤ		MIX-Γ
% cumulative passes		70%	30%	
100	100	70	30	100
100	57,19	70	17,157	87,157
96	1,97	67,2	0,594	67,794
74	1,11	51,8	0,383	52,133
42	0,92	29,4	0,276	29,676
5	0,75	3,5	0,225	3,725
0	0,4	0	0,12	0,12

ΠΥΣΑΚΙ ΜΑΓΠΟ ΚΟΥΡΑΣΑΝΤ		ΕΞΑΡΕΜΑΤΟ ΚΟΥΡΑΣΑΝΤ		MIX-Δ	Γραφική Επισήμανση		
% cumulative passes		80%	20%		ΑΜΜΟΣ ΣΑΝΔΗ	ΠΥΣΑΚΙ ΜΑΓΠΟ ΚΟΥΡΑΣΑΝΤ	MIX-Δ
					80%	20%	
100	100	80	20	100			0,64
100	57,19	80	11,438	91,438			1,8
96	1,97	76,8	0,394	77,194			0,31
74	1,11	59,2	0,232	59,422			5,81
42	0,92	33,6	0,184	33,784			0,89
5	0,75	4	0,15	4,15			0,19
0	0,4	0	0,08	0,08			4,68
							2,82
Σύνολο = 10 mm							

ΠΥΣΑΚΙ ΜΑΓΠΟ ΚΟΥΡΑΣΑΝΤ		ΕΞΑΡΕΜΑΤΟ ΚΟΥΡΑΣΑΝΤ		MIX-Ε
% cumulative passes		90%	10%	
100	100	90	10	100
100	57,19	90	5,719	95,719
96	1,97	86,4	0,197	86,597
74	1,11	66,6	0,114	66,714
42	0,92	37,8	0,092	37,892
5	0,75	4,5	0,075	4,575
0	0,4	0	0,04	0,04



Η διαδικασία που παρουσιάστηκε στο παραπάνω παράδειγμα ακολουθείται για όλες τις άμμους που εξετάζονται με όλους τους πιθανούς συνδυασμούς με χαλίκια σε διάφορα ποσοστά ανάμιξης.

Γενικά, η παραπάνω διαδικασία αλληπάλληλων δοκιμών είναι σημαντικό να πραγματοποιείται κάθε φορά που απαιτείται μίγμα αδρανών για την παρασκευή κονιάματος αποκατάστασης, προκειμένου να διερευνείται η δυνατότητα συνδυασμού αδρανών υλικών σε μίγμα, ώστε να προκύπτει ομαλή κοκκομετρική καμπύλη τελικού μίγματος.

Η διαδικασία έχει αναλυτικά ως εξής:

Σημειώνονται οι οπές των κοσκίνων (mm) που χρησιμοποιήθηκαν για την κοκκομετρική ανάλυση και τα ποσοστά του (%) αθροιστικά διερχόμενου υλικού, δηλαδή τα ποσοστά της κοκκομετρικής καμπύλης της άμμου που εξετάζεται.

Στην φάση αυτή η επεξεργασία του μίγματος αφορά στον εντοπισμό αποδεκτού μίγματος αδρανών με σταθερή συγκεκριμένη άμμο η οποία συνδυάζεται σε διάφορα ποσοστά ανάμιξης με διαφορετικούς χάλικες.

Στην πρώτη περίπτωση, η άμμος Ξανθή Kourasanit είναι το σταθερό αδρανές του μίγματος το οποίο συνδυάζεται με διαφορετικά ποσοστά ανάμιξης διαφορετικών χαλικιών (ρυζάκι μαύρο, ρυζάκι κόκκινο, κλπ).

Στο αντίστοιχο worksheet του Excel σημειώνονται δίπλα στα ποσοστά της άμμου και τα ποσοστά του (%) αθροιστικά διερχόμενου υλικού για κάθε ρυζάκι που δοκιμάζεται στο μίγμα.

Σε δεύτερη φάση δοκιμάζονται διάφορα ποσοστά ανάμιξης μεταξύ άμμου και χάλικα, π.χ. 80% ποσοστό συμμετοχής της άμμου στο μίγμα και 20% ποσοστό συμμετοχής του χάλικα σε δυαδικό μίγμα αδρανών. Τα ποσοστά αυτά πολλαπλασιάζονται με το (%) αθροιστικά διερχόμενο σε κάθε διάμετρο κόκκου της αντίστοιχης πρότυπης σειράς κοσκίνων που έχει χρησιμοποιηθεί. Από το άθροισμα των ποσοστών αυτών προκύπτουν τα (%) αθροιστικά διερχόμενα σε κάθε μέγεθος κόκκου για το μίγμα των δύο αδρανών. Τα ποσοστά αυτά παρατίθενται σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα κατανομής προκειμένου να εξαχθεί η κοκκομετρική καμπύλη του μίγματος των αδρανών. Η νέα αυτή καμπύλη μπορεί να αντιμετωπισθεί πλέον και αυτή ως κατανομή συχνότητας και να λάβουν χώρα όλοι οι γραφικοί προσδιορισμοί που προαναφέρθηκαν προκειμένου να εξαχθούν οι κρίσιμοι χαρακτηριστικοί δείκτες της νέας καμπύλης.

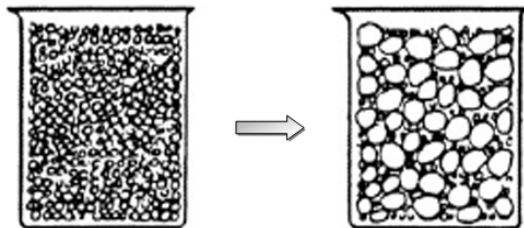
Στην συγκεκριμένη ανάμιξη, από τις καμπύλες των μιγμάτων που προκύπτουν υπολογίζονται το γεωμετρικό κέντρο της καμπύλης (Mediana-50%), ο συντελεστής ταξινόμησης S_o [$Q(75\%)/Q(25\%)$], ο συντελεστής ομοιομορφίας C_u [D_{60}/D_{10}] και ο συντελεστής λεπτότητας $F.M.$ αθροίζοντας τα γινόμενα των επί μέρους ποσοστών συμμετοχής κάθε αδρανούς με τον αντίστοιχο συντελεστή λεπτότητας του καθενός.

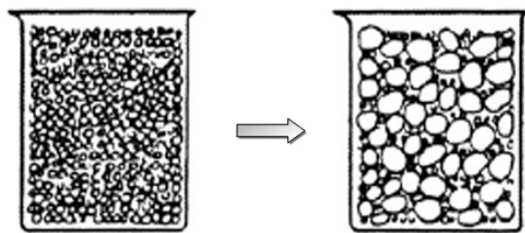
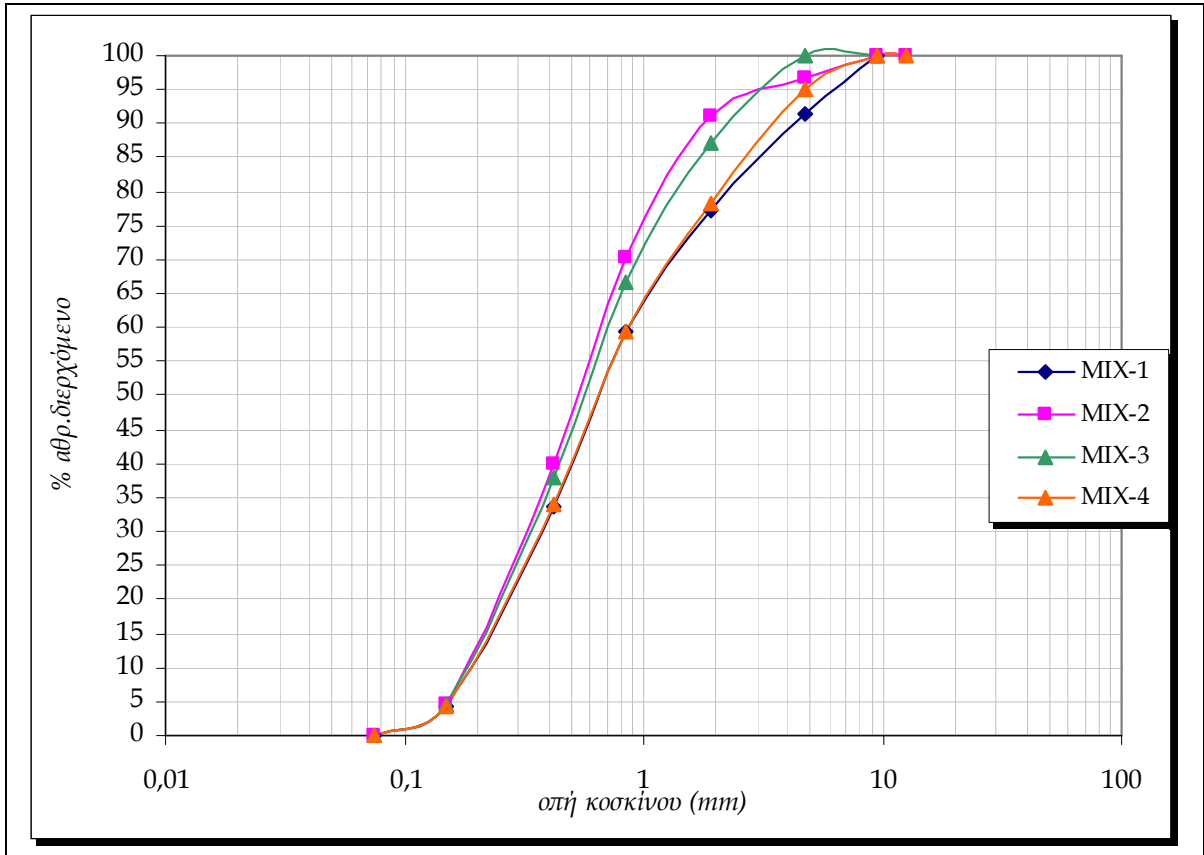
Η παραπάνω διαδικασία αφορά σε δύο διαφορετικά αδρανή υλικά. Το ίδιο μπορεί να γίνει και για περισσότερα αδρανή, π.χ. ανάμιξη μιας άμμου με δύο διαφορετικά χαλίκια, οπότε πρόκειται για τριαδικό μίγμα αδρανών κ.ο.κ.

Για κάθε ένα από τα αποδεκτά μίγματα αδρανών υλικών υπολογίστηκε το ποσοστό του όγκου των κενών τους μέσω μαθηματικών υπολογισμών (όπως αυτοί αναφέρθηκαν στο θεωρητικό κομμάτι), γνωρίζοντας τις φαινόμενες πυκνότητες των επί μέρους αδρανών αλλά και τα ποσοστά ανάμιξης αυτών ή αλλιώς γνωρίζοντας τα ποσοστά του όγκου των κενών των επί μέρους αδρανών.

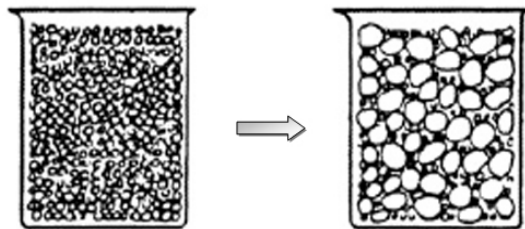
Στους πίνακες που ακολουθούν εμφανίζονται τα μίγματα των αδρανών που δοκιμάστηκαν σε διάφορα ποσοστά ανάμιξης.

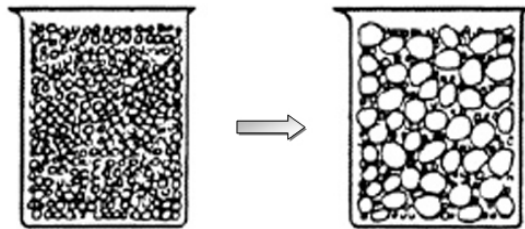
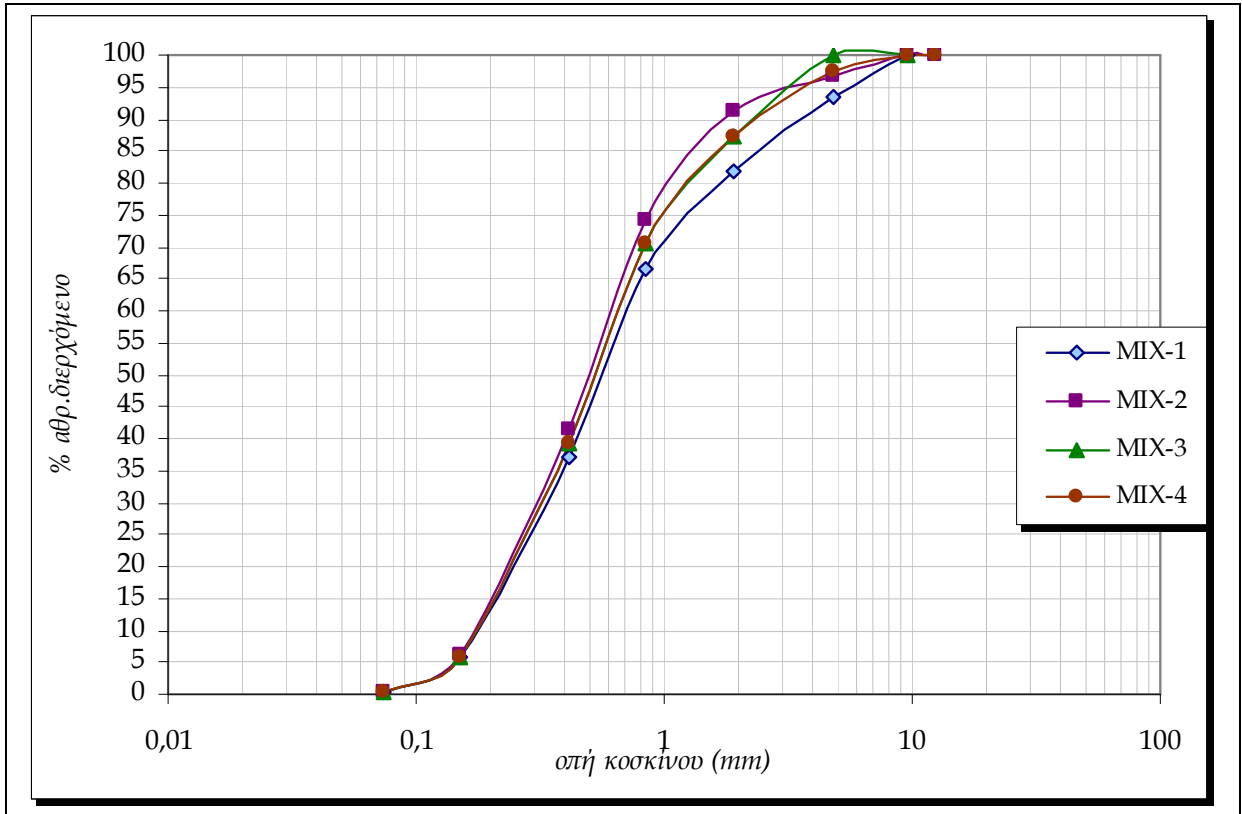
AMMOΣ ΞΑΝΘΗ		ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ KOURASANIT	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ EPMHΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΟΚΚΙΝΟ EPMHΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΙΑΚΙΣ	80%	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ KOURASANIT	20%	MIX-1	Dmax - 10mm
Mediana: 0,48	12,5		100		100					Mediana: 0,59
So = 2,79	9,52	100	100	99,2	100	99,74	80	20	100	Q3 = 1,75
Cu = 3,17	4,76	100	57,19	36	99,17	75,91	80	11,438	91,44	Q1 = 0,31
	1,9	96	1,97	0	7,21	7,07	76,8	0,394	77,19	So = 5,65
F.M. = 2,44	0,84	74	1,11	0	1,92	1,81	59,2	0,222	59,42	D60 = 0,87
% voids = 39,0	0,417	42	0,92	0	1,51	1,54	33,6	0,184	33,78	D10 = 0,19
	0,149	5	0,75	0	1,01	0,75	4	0,15	4,15	Cu = 4,58
	0,074	0	0,4	0	0,5	0,33	0	0,08	0,08	F.M. = 3,02
									% voids : 39,4	
		ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ KOURASANIT	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ EPMHΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΟΚΚΙΝΟ EPMHΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΙΑΚΙΣ	95%	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ EPMHΣ	5%	MIX-2	Dmax - 10mm
	12,5	100	100	100	100	95	5		100	Mediana: 0,59
	9,52	100	100	99,2	100	99,74	95	4,96	99,96	Q3 = 0,99
	4,76	100	57,19	36	99,17	75,91	95	1,8	96,8	Q1 = 0,28
	1,9	96	1,97	0	7,21	7,07	91,2	0	91,2	So = 3,54
	0,84	74	1,11	0	1,92	1,81	70,3	0	70,3	D60 = 0,64
	0,417	42	0,92	0	1,51	1,54	39,9	0	39,9	D10 = 0,18
	0,149	5	0,75	0	1,01	0,75	4,75	0	4,75	Cu = 3,56
	0,074	0	0,4	0	0,5	0,33	0	0	0	F.M. = 2,71
									% voids : 39,2	
		ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ KOURASANIT	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ EPMHΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΟΚΚΙΝΟ EPMHΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΙΑΚΙΣ	90%	ΠΥΖΑΚΙ ΚΟΚ. EPMHΣ	10%	MIX-3	Dmax - 10mm
	12,5		100		100					Mediana: 0,59
	9,52	100	100	99,2	100	99,74	90	10	100	Q3 = 1,1
	4,76	100	57,19	36	99,17	75,91	90	9,917	99,917	Q1 = 0,29
	1,9	96	1,97	0	7,21	7,07	86,4	0,721	87,121	So = 3,79
	0,84	74	1,11	0	1,92	1,81	66,6	0,192	66,792	D60 = 0,7
	0,417	42	0,92	0	1,51	1,54	37,8	0,151	37,951	D10 = 0,18
	0,149	5	0,75	0	1,01	0,75	4,5	0,101	4,601	Cu = 3,89
	0,074	0	0,4	0	0,5	0,33	0	0,05	0,05	F.M. = 2,78
									% voids : 39,4	
		ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ KOURASANIT	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ EPMHΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΟΚΚΙΝΟ EPMHΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΙΑΚΙΣ	80%	ΠΥΖΑΚΙ ΚΙΑΚΙΣ	20%	MIX-4	Dmax - 10mm
	12,5	100	100	100	100	80	20		100	Mediana: 0,59
	9,52	100	100	99,2	100	99,74	80	19,948	99,95	Q3 = 1,7
	4,76	100	57,19	36	99,17	75,91	80	15,182	95,18	Q1 = 0,31
	1,9	96	1,97	0	7,21	7,07	76,8	1,414	78,21	So = 5,48
	0,84	74	1,11	0	1,92	1,81	59,2	0,362	59,56	D60 = 0,87
	0,417	42	0,92	0	1,51	1,54	33,6	0,308	33,91	D10 = 0,19
	0,149	5	0,75	0	1,01	0,75	4	0,15	4,15	Cu = 4,58
	0,074	0	0,4	0	0,5	0,33	0	0,066	0,07	F.M. = 2,98
									% voids : 39,6	



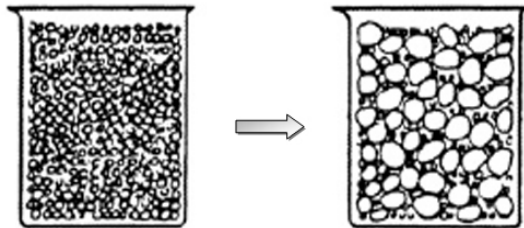


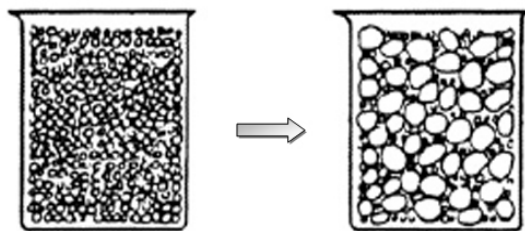
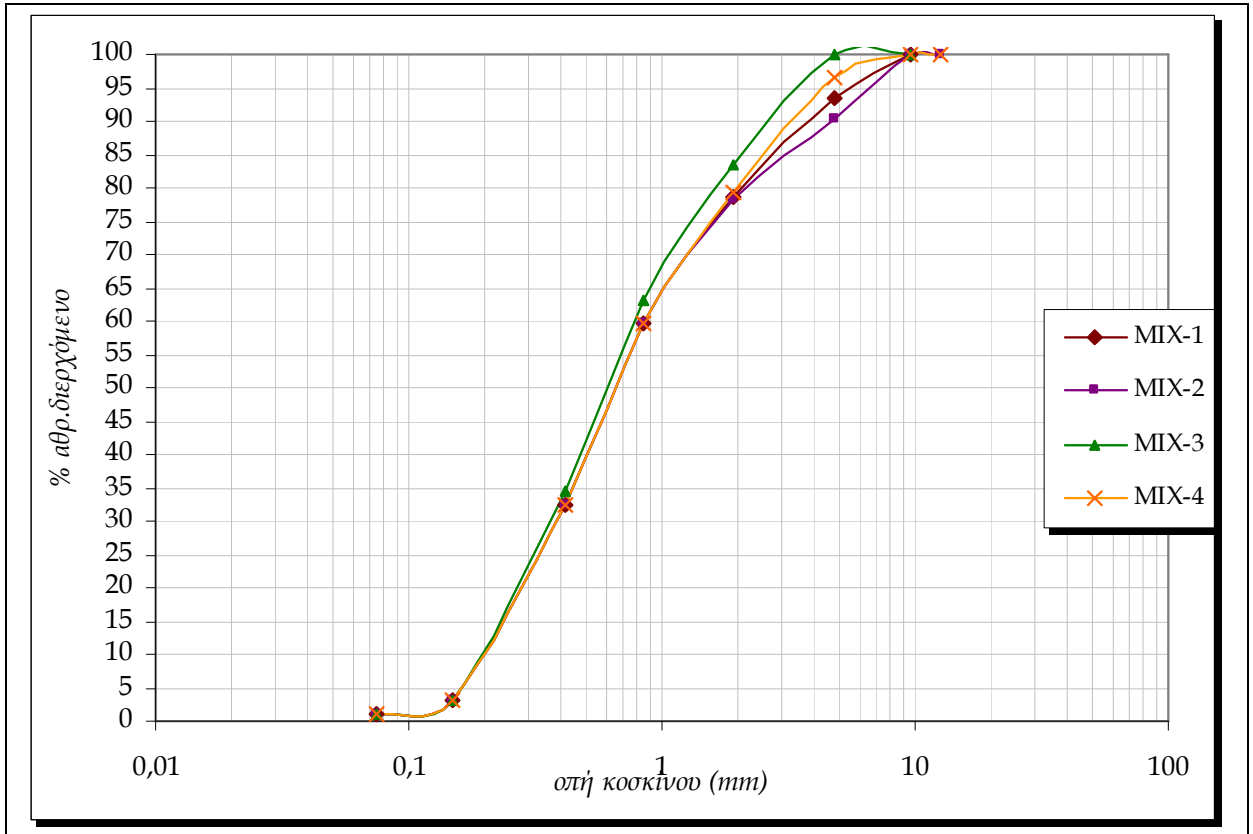
AMMOΣ ΑΛΙΑΡΤΟΥ	PYZAKI MAYPO KOURASANIT		PYZAKI MAYPO EPMHΣ		PYZAKI KOKKINO EPMHΣ		PYZAKI KIAKIS		PYZAKI MAYPO KOURASANIT		MIX-1	
	%		%		%		%		85%	15%		Dmax - 10mm
Mediana: 0,52	100	100	100	100	100	100	100	100	85	15	100	Mediana: 0,58
So = 2,97	9,52	100	100	99,2	100	99,74	99,74	99,74	85	15	93,58	Q3 = 1,2
Cu = 3,76	4,76	100	57,19	36	99,12	75,91	75,91	75,91	85	8,5785	81,90	Q1 = 0,3
	1,9	96	1,97	0	6,95	7,07	7,07	7,07	81,6	0,2955	66,47	So = 4,0
F.M. = 2,55	0,84	78	1,11	0	1,79	1,81	1,81	1,81	66,3	0,1665	37,11	D60 = 0,7
% voids = 37,5	0,417	43,5	0,92	0	1,35	1,54	1,54	1,54	36,975	0,138	5,64	D10 = 0,18
	0,149	6,5	0,75	0	0,94	0,75	0,75	0,75	5,525	0,1125	0,49	Cu = 3,89
	0,074	0,5	0,4	0	0,41	0,33	0,33	0,33	0,425	0,06	0,49	F.M. = 2,97
											% voids : 38,0	
	PYZAKI MAYPO KOURASANIT		PYZAKI MAYPO EPMHΣ		PYZAKI KOKKINO EPMHΣ		PYZAKI KIAKIS		PYZAKI MAYPO EPMHΣ		MIX-2	
	%		%		%		%		95%	5%		Dmax - 10mm
Mediana: 0,52	100	100	100	100	100	100	100	100	95	5	100	Mediana: 0,50
So = 2,97	9,52	100	100	99,2	100	99,74	99,74	99,74	95	4,96	99,96	Q3 = 0,86
Cu = 3,76	4,76	100	57,19	36	99,12	75,91	75,91	75,91	95	1,8	96,8	Q1 = 0,27
	1,9	96	1,97	0	6,95	7,07	7,07	7,07	91,2	0	91,2	So = 3,19
F.M. = 2,55	0,84	78	1,11	0	1,79	1,81	1,81	1,81	74,1	0	74,1	D60 = 0,60
% voids = 37,5	0,417	43,5	0,92	0	1,35	1,54	1,54	1,54	41,325	0	41,325	D10 = 0,17
	0,149	6,5	0,75	0	0,94	0,75	0,75	0,75	6,175	0	6,175	Cu = 3,53
	0,074	0,5	0,4	0	0,41	0,33	0,33	0,33	0,475	0	0,475	F.M. = 2,35
											% voids : 37,8	
	PYZAKI MAYPO KOURASANIT		PYZAKI MAYPO EPMHΣ		PYZAKI KOKKINO EPMHΣ		PYZAKI KIAKIS		PYZAKI KOKKEPMHΣ		MIX-3	
	%		%		%		%		90%	10%		Dmax - 10mm
Mediana: 0,52	100	100	100	100	100	100	100	100	90	10	100	Mediana: 0,53
So = 2,97	9,52	100	100	99,2	100	99,74	99,74	99,74	90	10	99,91	Q3 = 1,0
Cu = 3,76	4,76	100	57,19	36	99,12	75,91	75,91	75,91	90	9,912	99,91	Q1 = 0,28
	1,9	96	1,97	0	6,95	7,07	7,07	7,07	86,4	0,695	87,10	So = 3,57
F.M. = 2,55	0,84	78	1,11	0	1,79	1,81	1,81	1,81	70,2	0,179	70,38	D60 = 0,65
% voids = 37,5	0,417	43,5	0,92	0	1,35	1,54	1,54	1,54	39,15	0,135	39,29	D10 = 0,17
	0,149	6,5	0,75	0	0,94	0,75	0,75	0,75	5,85	0,094	5,94	Cu = 3,82
	0,074	0,5	0,4	0	0,41	0,33	0,33	0,33	0,45	0,041	0,49	F.M. = 2,44
											% voids : 38,1	
	PYZAKI MAYPO KOURASANIT		PYZAKI MAYPO EPMHΣ		PYZAKI KOKKINO EPMHΣ		PYZAKI KIAKIS		PYZAKI KIAKIS		MIX-4	
	%		%		%		%		90%	10%		Dmax - 10mm
Mediana: 0,52	100	100	100	100	100	100	100	100	90	10	100	Mediana: 0,53
So = 2,97	9,52	100	100	99,2	100	99,74	99,74	99,74	90	9,974	99,97	Q3 = 1,0
Cu = 3,76	4,76	100	57,19	36	99,12	75,91	75,91	75,91	90	7,591	97,59	Q1 = 0,28
	1,9	96	1,97	0	6,95	7,07	7,07	7,07	86,4	0,707	87,11	So = 3,57
F.M. = 2,55	0,84	78	1,11	0	1,79	1,81	1,81	1,81	70,2	0,181	70,38	D60 = 0,65
% voids = 37,5	0,417	43,5	0,92	0	1,35	1,54	1,54	1,54	39,15	0,154	39,30	D10 = 0,17
	0,149	6,5	0,75	0	0,94	0,75	0,75	0,75	5,85	0,075	5,93	Cu = 3,82
	0,074	0,5	0,4	0	0,41	0,33	0,33	0,33	0,45	0,033	0,48	F.M. = 2,47
											% voids : 38,0	



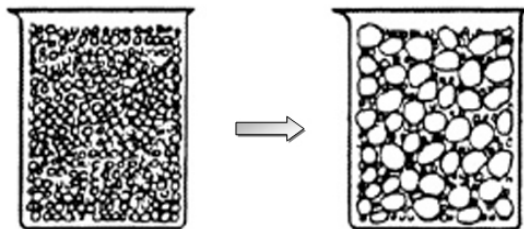


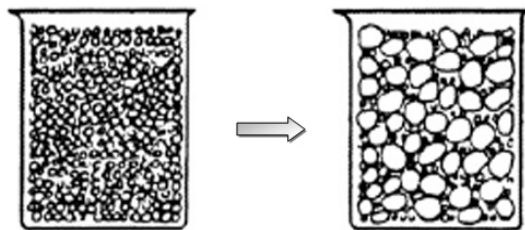
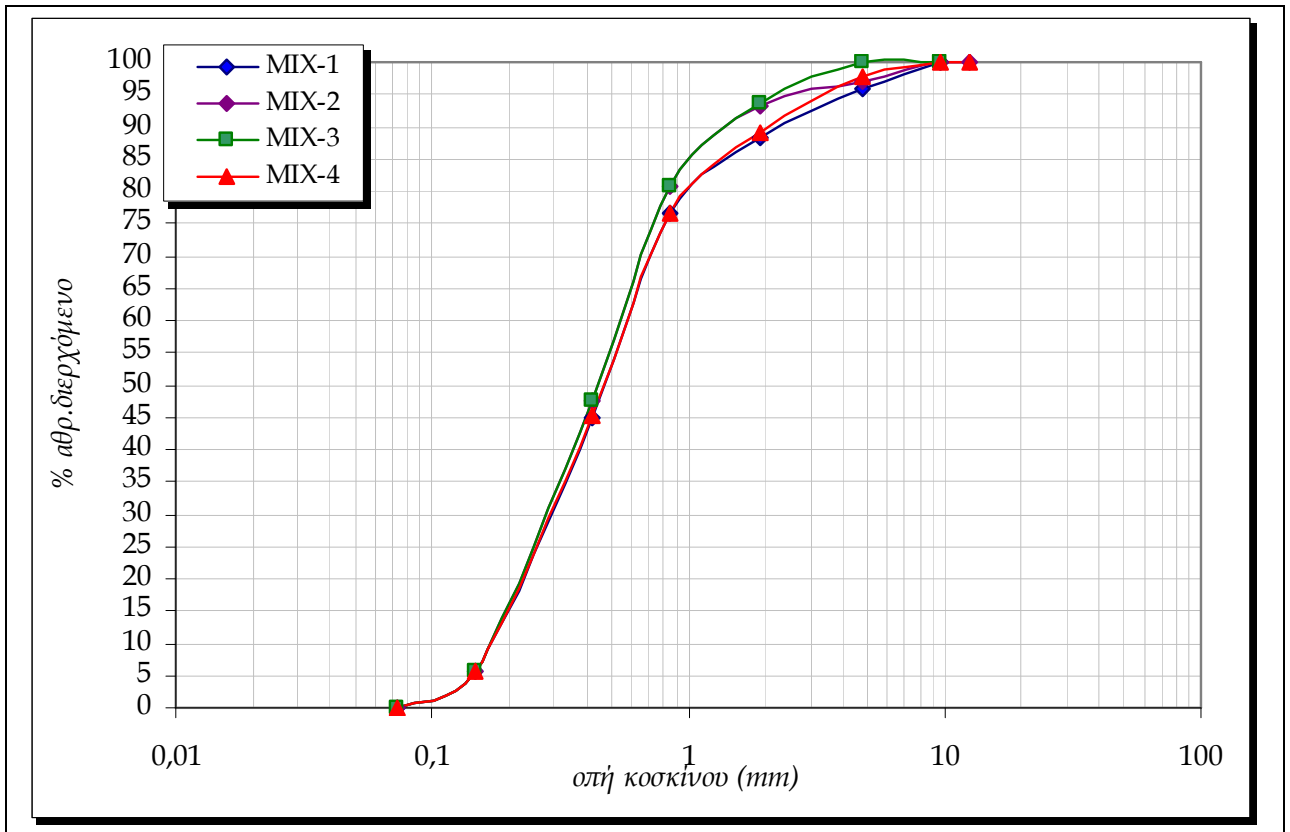
AMMOΣ KIAKIS	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ KOURASANIT	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ EPMHΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΟΚΚΙΝΟ EPMHΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΙΑΚΙΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ KOURASANIT	MIX-1	
	% cumulative passive				85%	15%	Dmax - 10mm
Mediana: 0,49	12,5	100	100	100			Mediana: 0,65
So = 3,21	9,52	100	100	99,74	85	15	Q3 = 1,7
Cu = 3,75	4,76	100	57,19	36	99,17	75,91	93,58
	1,9	92	1,97	0	7,21	7,07	78,50
F.M. = 2,51	0,84	70	1,11	0	1,92	1,81	59,67
% voids = 39,0	0,417	38	0,92	0	1,51	1,54	32,44
	0,149	3,5	0,75	0	1,01	0,75	3,09
	0,074	1,2	0,4	0	0,5	0,33	1,08
							F.M. = 2,91
							% voids : 39,5
	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ KOURASANIT	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ EPMHΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΟΚΚΙΝΟ EPMHΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΙΑΚΙΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ EPMHΣ	MIX-2	
	% cumulative passive				85%	15%	Dmax - 10mm
	12,5	100	100	100	100	100	Mediana: 0,65
	9,52	100	100	99,2	100	99,74	Q3 = 1,7
	4,76	100	57,19	36	99,17	75,91	93,58
	1,9	92	1,97	0	7,21	7,07	78,2
	0,84	70	1,11	0	1,92	1,81	59,5
	0,417	38	0,92	0	1,51	1,54	32,3
	0,149	3,5	0,75	0	1,01	0,75	2,975
	0,074	1,2	0,4	0	0,5	0,33	1,02
							F.M. = 2,96
							% voids : 39,6
	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ KOURASANIT	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ EPMHΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΟΚΚΙΝΟ EPMHΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΙΑΚΙΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΟΚΚΙΝΟ EPMHΣ	MIX-3	
	% cumulative passive				90%	10%	Dmax - 10mm
	12,5	100	100	100	100	100	Mediana: 0,60
	9,52	100	100	99,2	100	99,74	Q3 = 1,3
	4,76	100	57,19	36	99,17	75,91	99,917
	1,9	92	1,97	0	7,21	7,07	83,521
	0,84	70	1,11	0	1,92	1,81	82,8
	0,417	38	0,92	0	1,51	1,54	63
	0,149	3,5	0,75	0	1,01	0,75	34,2
	0,074	1,2	0,4	0	0,5	0,33	3,15
							1,08
							0,05
							F.M. = 2,74
							% voids : 39,4
	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ KOURASANIT	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ EPMHΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΟΚΚΙΝΟ EPMHΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΙΑΚΙΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΙΑΚΙΣ	MIX-4	
	% cumulative passive				85%	15%	Dmax - 10mm
	12,5	100	100	100	100	100	Mediana: 0,65
	9,52	100	100	99,2	100	99,74	Q3 = 1,7
	4,76	100	57,19	36	99,17	75,91	11,3865
	1,9	92	1,97	0	7,21	7,07	85
	0,84	70	1,11	0	1,92	1,81	78,2
	0,417	38	0,92	0	1,51	1,54	85
	0,149	3,5	0,75	0	1,01	0,75	14,961
	0,074	1,2	0,4	0	0,5	0,33	11,3865
							85
							1,0605
							0,2715
							0,231
							0,1125
							1,07
							F.M. = 2,91
							% voids : 39,5



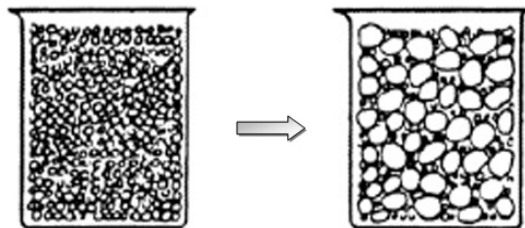


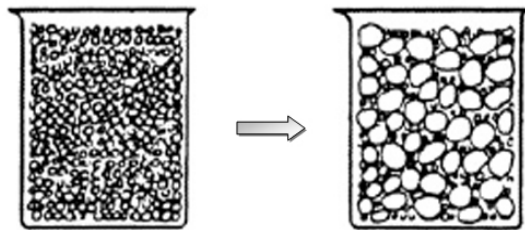
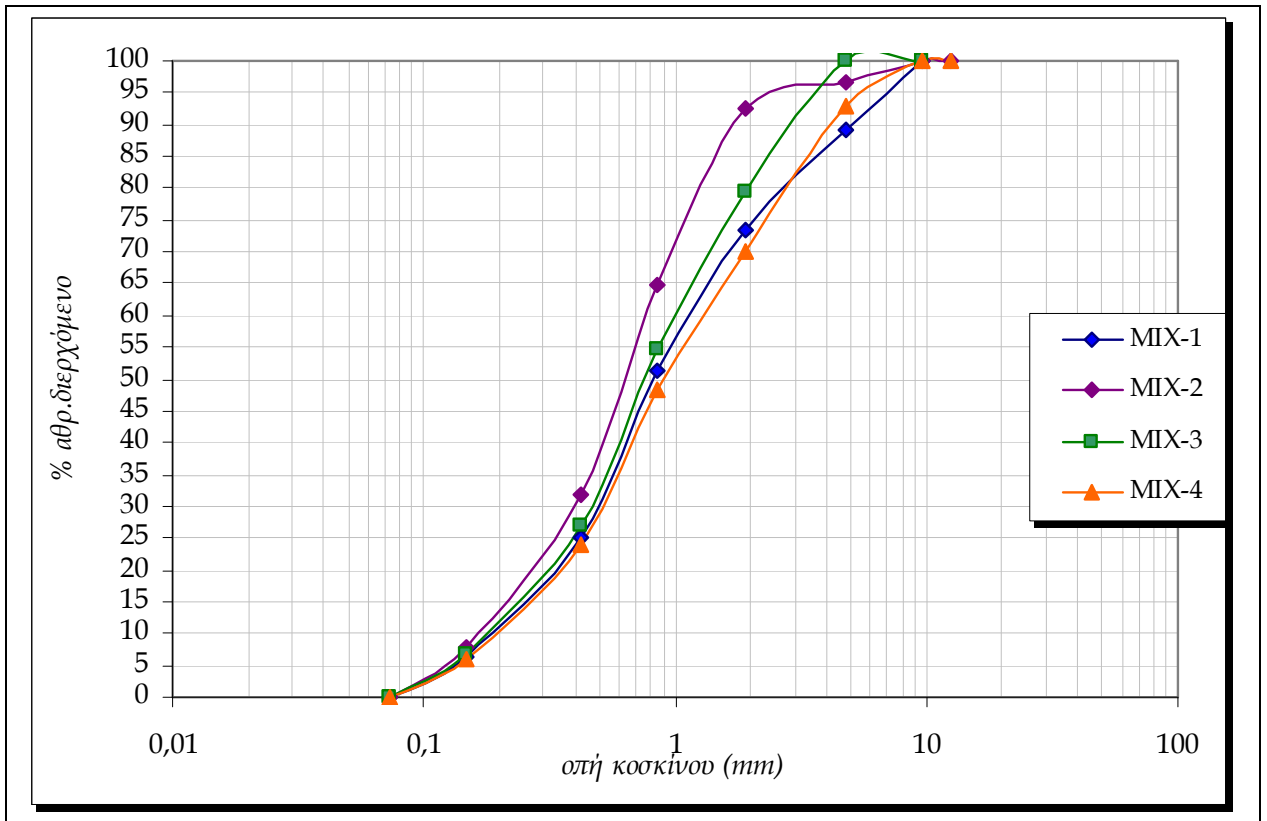
AMMOΣ ΠΙΟΤ.ΝΑΕΟΥ	PYZAKI MAYPO KOURASANIT				PYZAKI MAYPO EPMHΣ		PYZAKI KOKKINO EPMHΣ		PYZAKI KIAKIΣ		PYZAKI MAYPO KOURASANIT		MIX-1	
	% cumulative passive										90%	10%		Dmax - 10mm
Mediana: 0,41	12,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	10	100	Dmax - 10mm
So = 2,17	9,52	100	100	100	99,2	100	100	99,74	99,74	99,74	90	10	95,72	Mediana: 0,48
Cu = 2,45	4,76	100	57,19	36	0	99,17	75,91	75,91	75,91	75,91	90	5,719	95,72	Q3 = 0,8
	1,9	98,00	1,97	0	0	7,21	7,07	7,07	7,07	7,07	88,2	0,197	88,40	Q1 = 0,26
F.M. = 2,28	0,84	85,00	1,11	0	0	1,92	1,81	1,81	1,81	1,81	76,5	0,111	76,61	So = 3,08
% voids = 40,0	0,417	50,00	0,92	0	0	1,51	1,54	1,54	1,54	1,54	45	0,092	45,09	D60 = 0,58
	0,149	6,00	0,75	0	0	1,01	0,75	0,75	0,75	0,75	5,4	0,075	5,48	D10 = 0,17
	0,074	0	0,4	0	0	0,5	0,33	0,33	0,33	0,33	0	0,04	0,04	Cu = 3,41
													40,1	F.M. = 2,30
													% voids : 40,1	
	PYZAKI MAYPO KOURASANIT				PYZAKI MAYPO EPMHΣ		PYZAKI KOKKINO EPMHΣ		PYZAKI KIAKIΣ		PYZAKI MAYPO KOURASANIT		MIX-2	
	% cumulative passive										95%	5%		Dmax - 10mm
	12,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	5	100	Dmax - 10mm
	9,52	100	100	100	99,2	100	100	99,74	99,74	99,74	95	4,96	99,96	Mediana: 0,44
	4,76	100	57,19	36	0	99,17	75,91	75,91	75,91	75,91	95	1,8	96,80	Q3 = 0,7
	1,9	98,00	1,97	0	0	7,21	7,07	7,07	7,07	7,07	93,1	0	93,10	Q1 = 0,25
	0,84	85,00	1,11	0	0	1,92	1,81	1,81	1,81	1,81	80,75	0	80,75	So = 2,80
	0,417	50,00	0,92	0	0	1,51	1,54	1,54	1,54	1,54	47,5	0	47,50	D60 = 0,53
	0,149	6,00	0,75	0	0	1,01	0,75	0,75	0,75	0,75	5,7	0	5,70	D10 = 0,17
	0,074	0	0,4	0	0	0,5	0,33	0,33	0,33	0,33	0	0	0	Cu = 3,12
													40,2	F.M. = 2,17
													% voids : 40,2	
	PYZAKI MAYPO KOURASANIT				PYZAKI MAYPO EPMHΣ		PYZAKI KOKKINO EPMHΣ		PYZAKI KIAKIΣ		PYZAKI KOK.EPMHΣ		MIX-3	
	% cumulative passive										95%	5%		Dmax - 10mm
	12,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	5	100	Dmax - 10mm
	9,52	100	100	100	99,2	100	100	99,74	99,74	99,74	95	4,9585	100	Mediana: 0,44
	4,76	100	57,19	36	0	99,17	75,91	75,91	75,91	75,91	95	0,3605	100,0	Q3 = 0,7
	1,9	98,00	1,97	0	0	7,21	7,07	7,07	7,07	7,07	93,1	0	93,5	Q1 = 0,25
	0,84	85,00	1,11	0	0	1,92	1,81	1,81	1,81	1,81	80,75	0,096	93,5	So = 2,80
	0,417	50,00	0,92	0	0	1,51	1,54	1,54	1,54	1,54	47,5	0,0755	80,8	D60 = 0,53
	0,149	6,00	0,75	0	0	1,01	0,75	0,75	0,75	0,75	5,7	0,0505	47,6	D10 = 0,17
	0,074	0	0,4	0	0	0,5	0,33	0,33	0,33	0,33	0	0,025	5,8	Cu = 3,12
													40,2	F.M. = 2,12
													% voids : 40,2	
	PYZAKI MAYPO KOURASANIT				PYZAKI MAYPO EPMHΣ		PYZAKI KOKKINO EPMHΣ		PYZAKI KIAKIΣ		PYZAKI KIAKIΣ		MIX-4	
	% cumulative passive										90%	10%		Dmax - 10mm
	12,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	10	100	Dmax - 10mm
	9,52	100	100	100	99,2	100	100	99,74	99,74	99,74	90	9,974	99,97	Mediana: 0,48
	4,76	100	57,19	36	0	99,17	75,91	75,91	75,91	75,91	90	7,591	97,59	Q3 = 0,8
	1,9	98,00	1,97	0	0	7,21	7,07	7,07	7,07	7,07	88,2	0,707	88,91	Q1 = 0,26
	0,84	85,00	1,11	0	0	1,92	1,81	1,81	1,81	1,81	76,5	0,181	88,91	So = 3,08
	0,417	50,00	0,92	0	0	1,51	1,54	1,54	1,54	1,54	45	0,154	76,68	D60 = 0,58
	0,149	6,00	0,75	0	0	1,01	0,75	0,75	0,75	0,75	5,4	0,075	45,15	D10 = 0,17
	0,074	0	0,4	0	0	0,5	0,33	0,33	0,33	0,33	0	0,033	5,48	Cu = 3,41
													40,3	F.M. = 2,27
													% voids : 40,2	



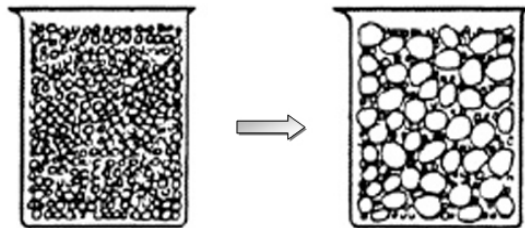


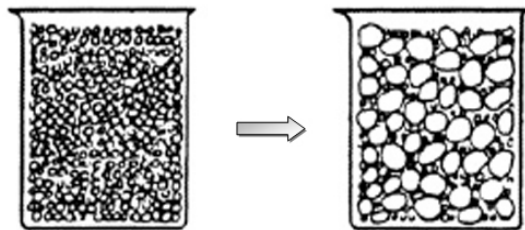
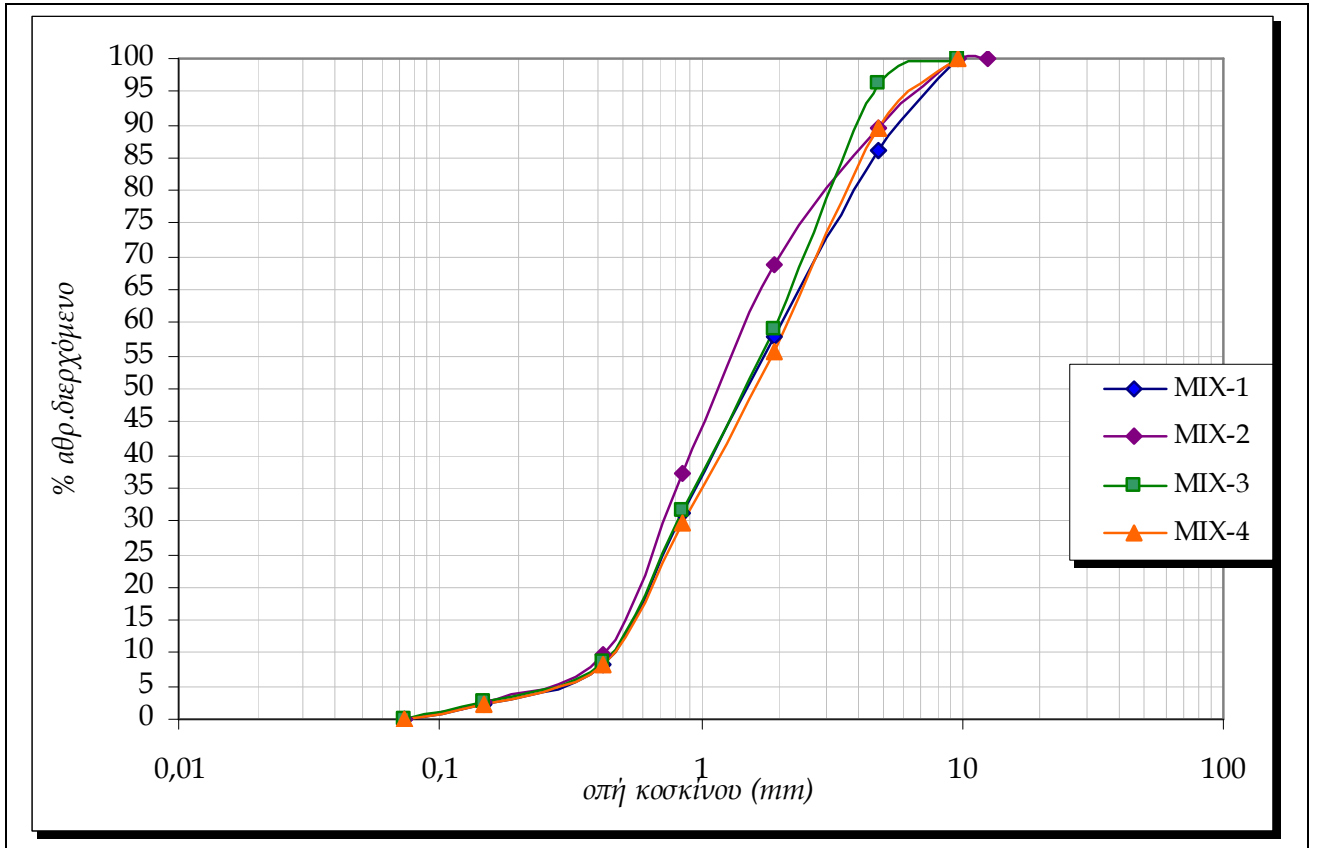
ΑΜΜΟΣ ΠΙΟΤ.ΕΡΜΗΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ KOURASANIT	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ ΕΡΜΗΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΟΚΚΙΝΟ ΕΡΜΗΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΙΑΚΙΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ KOURASANIT	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ ΕΡΜΗΣ	MIX-1	Dmax - 10mm	
[mm]	% cumulative passive				75%	25%		Mediana: 0,80	
12,5		100		100					
9,52	100	100	99,2	100	99,74	75	25	100	
4,76	100	57,19	36	99,17	75,91	75	14,30	89,30	
1,9	97,28	1,97	0	7,21	7,07	72,96	0,49	73,45	
0,84	68,03	1,11	0	1,92	1,81	51,02	0,28	51,30	
0,417	33,33	0,92	0	1,51	1,54	25,00	0,23	25,23	
0,149	8,16	0,75	0	1,01	0,75	6,12	0,19	6,31	
0,074	0	0,4	0	0,5	0,33	0	0,1	0,1	
								F.M. = 3,43	
								% voids : 39,5	
[mm]	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ KOURASANIT	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ ΕΡΜΗΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΟΚΚΙΝΟ ΕΡΜΗΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΙΑΚΙΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ ΕΡΜΗΣ	95%	5%	MIX-2	Dmax - 10mm
	% cumulative passive								Mediana: 0,61
12,5	100	100	100	100	99,74	95	5	100	
9,52	100	100	99,2	100	99,17	95	4,96	99,96	Q3 = 1,1
4,76	100	57,19	36	99,17	75,91	95	1,8	96,80	Q1 = 0,31
1,9	97,28	1,97	0	7,21	7,07	92,41	0	92,41	So = 3,55
0,84	68,03	1,11	0	1,92	1,81	64,63	0	64,63	D60 = 0,78
0,417	33,33	0,92	0	1,51	1,54	31,67	0	31,67	D10 = 0,17
0,149	8,16	0,75	0	1,01	0,75	7,76	0	7,76	Cu = 4,59
0,074	0	0,4	0	0,5	0,33	0	0	0	F.M. = 2,54
								% voids : 39,2	
[mm]	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ KOURASANIT	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ ΕΡΜΗΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΟΚΚΙΝΟ ΕΡΜΗΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΙΑΚΙΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΟΚ.ΕΡΜΗΣ	80%	20%	MIX-3	Dmax - 10mm
	% cumulative passive								Mediana: 0,72
12,5		100		100					
9,52	100	100	99,2	100	99,74	80	20	100	Q3 = 1,65
4,76	100	57,19	36	99,17	75,91	80	19,834	99,8	Q1 = 0,40
1,9	97,28	1,97	0	7,21	7,07	77,82	1,442	79,3	So = 4,13
0,84	68,03	1,11	0	1,92	1,81	54,42	0,384	54,8	D60 = 1,0
0,417	33,33	0,92	0	1,51	1,54	26,67	0,302	27,0	D10 = 0,185
0,149	8,16	0,75	0	1,01	0,75	6,53	0,202	6,7	Cu = 5,41
0,074	0	0,4	0	0,5	0,33	0	0,1	0,1	F.M. = 2,97
								% voids : 39,8	
[mm]	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ KOURASANIT	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΡΟ ΕΡΜΗΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΟΚΚΙΝΟ ΕΡΜΗΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΙΑΚΙΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΙΑΚΙΣ	70%	30%	MIX-4	Dmax - 10mm
	% cumulative passive								Mediana: 0,90
12,5	100	100	100	100	99,74	70	30	100	
9,52	100	100	99,2	100	99,74	70	29,922	99,92	Q3 = 2,40
4,76	100	57,19	36	99,17	75,91	70	22,773	92,77	Q1 = 0,43
1,9	97,28	1,97	0	7,21	7,07	68,10	2,121	70,22	So = 5,58
0,84	68,03	1,11	0	1,92	1,81	47,62	0,543	48,16	D60 = 1,30
0,417	33,33	0,92	0	1,51	1,54	23,33	0,462	23,80	D10 = 0,20
0,149	8,16	0,75	0	1,01	0,75	5,71	0,225	5,94	Cu = 6,5
0,074	0	0,4	0	0,5	0,33	0	0,099	0,099	F.M. = 3,51
								% voids : 39,9	



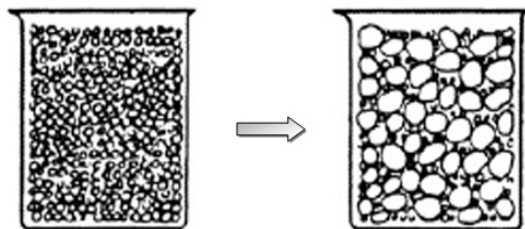


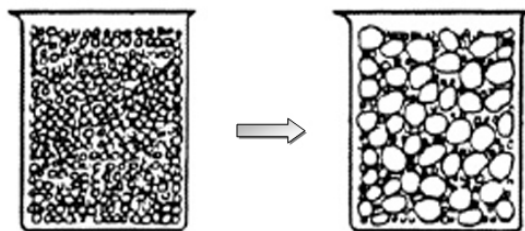
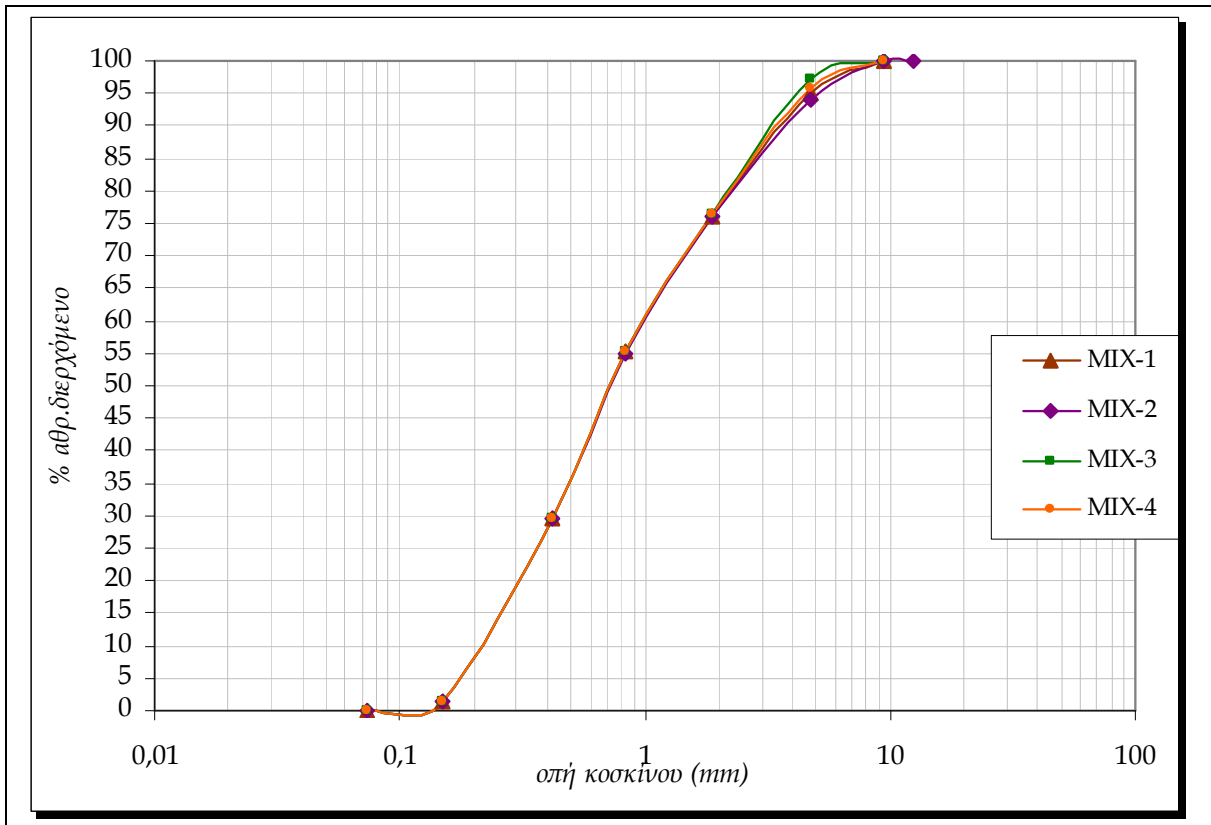
AMMOΣ ΠΟΤ.ΧΙΟΥ	PYZAKI MAYPO KOURASANIT		PYZAKI MAYPO EPMHΣ		PYZAKI KOKKINO EPMHΣ		PYZAKI KIAKIΣ		PYZAKI MAYPO KOURASANIT		MIX-1	
			% cumulative passive						75%	25%		Dmax - 10mm
Mediana: 0,41	12,5		100		100		100					Mediana: 1,50
So = 2,13	9,52	100	100	99,2	100	99,74	99,74	75	25	100	85,92	Q3 = 3,15
Cu = 2,31	4,76	95,5	57,19	36	99,17	75,91	75,91	71,625	14,2975	100	57,87	Q1 = 0,70
	1,9	76,50	1,97	0	7,21	7,07	7,07	57,375	0,4925	57,87	31,33	So = 4,50
F.M. = 2,33	0,84	41,40	1,11	0	1,92	1,81	1,81	31,05	0,2775	31,33	8,41	D60 = 2,00
% voids = 41,0	0,417	10,90	0,92	0	1,51	1,54	1,54	8,175	0,23	8,41	2,42	D10 = 0,45
	0,149	2,97	0,75	0	1,01	0,75	0,75	2,2275	0,1875	2,42	0,1	Cu = 4,44
	0,074	0	0,4	0	0,5	0,33	0,33	0	0	0,1		F.M. = 3,08
											% voids :	41,0
	PYZAKI MAYPO KOURASANIT		PYZAKI MAYPO EPMHΣ		PYZAKI KOKKINO EPMHΣ		PYZAKI KIAKIΣ		PYZAKI MAYPO EPMHΣ		MIX-2	
			% cumulative passive						90%	10%		Dmax - 10mm
	12,5	100	100	99,2	100	99,74	99,74	90	10	100	99,92	Mediana: 1,10
	9,52	100	100	99,2	100	99,74	99,74	90	9,92	100	89,55	Q3 = 2,40
	4,76	95,5	57,19	36	99,17	75,91	75,91	85,95	3,6	100	68,85	Q1 = 0,62
	1,9	76,50	1,97	0	7,21	7,07	7,07	68,85	0	68,85	37,26	So = 3,87
	0,84	41,40	1,11	0	1,92	1,81	1,81	37,26	0	37,26	9,81	D60 = 1,50
	0,417	10,90	0,92	0	1,51	1,54	1,54	9,81	0	9,81	2,67	D10 = 0,41
	0,149	2,97	0,75	0	1,01	0,75	0,75	2,673	0	2,67	0	Cu = 3,66
	0,074	0	0,4	0	0,5	0,33	0,33	0	0	0		F.M. = 2,42
											% voids :	41,2
	PYZAKI MAYPO KOURASANIT		PYZAKI MAYPO EPMHΣ		PYZAKI KOKKINO EPMHΣ		PYZAKI KIAKIΣ		PYZAKI KOK.EPMHΣ		MIX-3	
			% cumulative passive						75%	25%		Dmax - 10mm
	12,5	100	100	99,2	100	99,74	99,74	75	25	100	96,4	Mediana: 1,50
	9,52	100	100	99,2	100	99,74	99,74	75	25	100	59,2	Q3 = 2,80
	4,76	95,5	57,19	36	99,17	75,91	75,91	71,625	24,7925	100	59,2	Q1 = 0,70
	1,9	76,50	1,97	0	7,21	7,07	7,07	57,375	1,8025	100	31,5	So = 4,00
	0,84	41,40	1,11	0	1,92	1,81	1,81	31,05	0,48	31,5	8,6	D60 = 2,00
	0,417	10,90	0,92	0	1,51	1,54	1,54	8,175	0,3775	8,6	2,5	D10 = 0,45
	0,149	2,97	0,75	0	1,01	0,75	0,75	2,2275	0,2525	2,5	0,125	Cu = 4,44
	0,074	0	0,4	0	0,5	0,33	0,33	0	0,125	0,125		F.M. = 2,74
											% voids :	41,5
	PYZAKI MAYPO KOURASANIT		PYZAKI MAYPO EPMHΣ		PYZAKI KOKKINO EPMHΣ		PYZAKI KIAKIΣ		PYZAKI KIAKIΣ		MIX-4	
			% cumulative passive						70%	30%		Dmax - 10mm
	12,5	100	100	99,2	100	99,74	99,74	70	30	100	99,92	Mediana: 1,65
	9,52	100	100	99,2	100	99,74	99,74	70	29,922	100	89,62	Q3 = 3,15
	4,76	95,5	57,19	36	99,17	75,91	75,91	66,85	22,773	100	55,67	Q1 = 0,75
	1,9	76,50	1,97	0	7,21	7,07	7,07	53,55	2,121	100	29,52	So = 4,20
	0,84	41,40	1,11	0	1,92	1,81	1,81	28,98	0,543	100	8,09	D60 = 2,20
	0,417	10,90	0,92	0	1,51	1,54	1,54	7,63	0,462	100	2,30	D10 = 0,48
	0,149	2,97	0,75	0	1,01	0,75	0,75	2,079	0,225	100	0,10	Cu = 4,58
	0,074	0	0,4	0	0,5	0,33	0,33	0	0,099	100		F.M. = 3,00
											% voids :	41,3



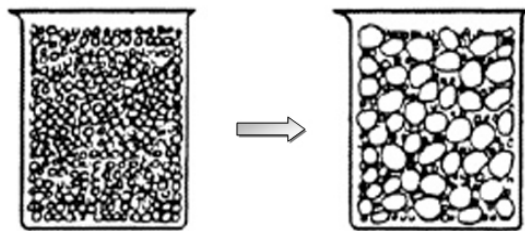


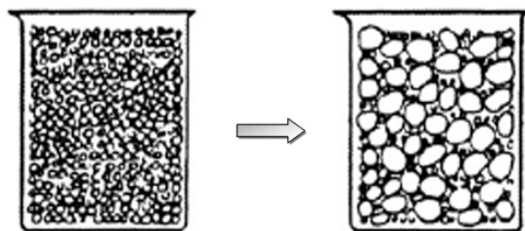
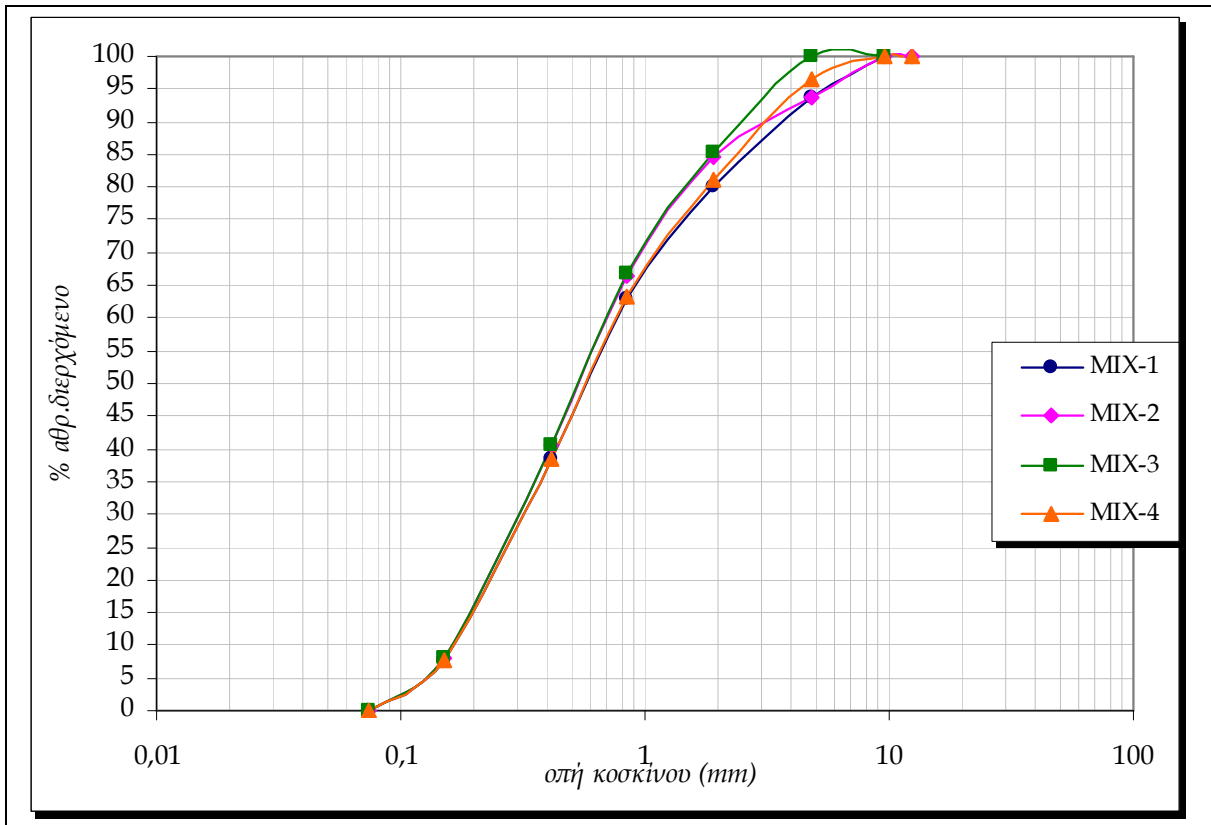
ΑΜΜΟΣ ΜΑΥΦ ΚΟΥΡΑΣΑΝΙΤ		ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΠΟ ΚΟΥΡΑΣΑΝΙΤ	ΠΥΖΑΚΙ ΜΑΥΠΟ ΕΡΜΗΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΟΚΚΙΝΟ ΕΡΜΗΣ	ΠΥΖΑΚΙ ΚΙΑΚΙΣ	95%	5%	MIX-1	
Mediana: 0,60	12,5	100	100	100	100	95	5	100	Dmax - 10mm
So = 3,64	9,52	100	99,2	100	99,74	95	5	95,01	Mediana: 0,70
Cu = 3,48	4,76	97	36	99,17	75,91	92,15	2,8595	76,10	Q3 = 1,9
	1,9	80,00	1,97	0	7,21	7,07	0,0985	55,16	Q1 = 0,38
F.M. = 2,89	0,84	58,00	1,11	0	1,92	1,81	0,0555	29,50	So = 5
% voids = 39,0	0,417	31,00	0,92	0	1,51	1,54	0,046	1,46	D60 = 1
	0,149	1,50	0,75	0	1,01	0,75	0,0375	0,02	D10 = 0,22
	0,074	0	0,4	0	0,5	0,33	0	0,02	Cu = 4,55
								39,1	F.M. = 3,01
									% voids : 39,1
									MIX-2
									Dmax - 10mm
									Mediana: 0,70
									Q3 = 1,9
									Q1 = 0,38
									So = 5
									D60 = 1
									D10 = 0,22
									Cu = 4,55
									F.M. = 2,76
									% voids : 39,2
									MIX-3
									Dmax - 10mm
									Mediana: 0,70
									Q3 = 1,9
									Q1 = 0,38
									So = 5
									D60 = 1
									D10 = 0,22
									Cu = 4,55
									F.M. = 2,73
									% voids : 39,2
									MIX-4
									Dmax - 10mm
									Mediana: 0,70
									Q3 = 1,9
									Q1 = 0,38
									So = 5
									D60 = 1
									D10 = 0,22
									Cu = 4,55
									F.M. = 2,75
									% voids : 39,2



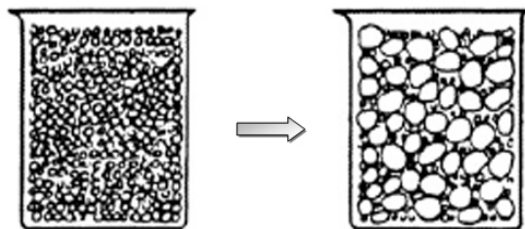


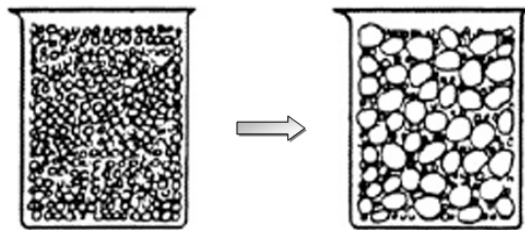
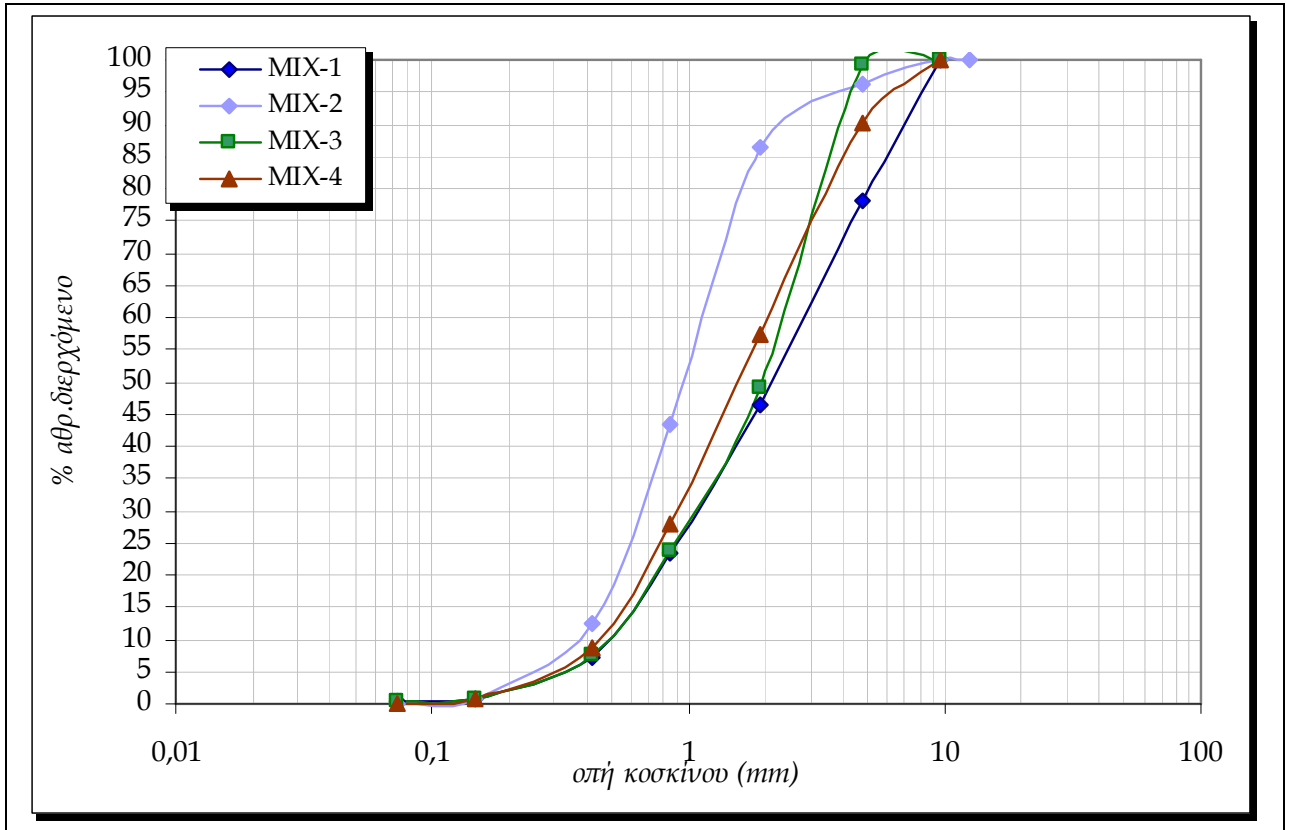
AMMOΣ ΕΑΝΘΙΑ ΘΕΣ/ΝΙΚΗ	PYZAKI MAYPO				PYZAKI MAYPO		MIX-1	
	KOURASANT	EPMHΣ	PYZAKI KOKKINO EPMHΣ	PYZAKI KIAKIS	KOURASANT	EPMHΣ		
	% cumulative passive				85%	15%		
12,5	100	100	100	100			Dmax - 10mm	
So = 3,21	9,52	100	99,2	100	85	15	100	Mediana: 0,60
Cu = 4,13	4,76	100	57,19	36	99,17	75,91	85	8,5785
	1,9	94,00	1,97	0	7,21	7,07	79,9	0,2955
F.M. = 2,47	0,84	74,00	1,11	0	1,92	1,81	62,9	0,1665
% voids = 38,5	0,417	45,00	0,92	0	1,51	1,54	38,25	0,138
	0,149	9,00	0,75	0	1,01	0,75	7,65	0,1125
	0,074	0	0,4	0	0,5	0,33	0	0,06
								% voids : 38,9
	PYZAKI MAYPO				PYZAKI MAYPO		MIX-2	
	KOURASANT	EPMHΣ	PYZAKI KOKKINO EPMHΣ	PYZAKI KIAKIS	KOURASANT	EPMHΣ		
	% cumulative passive				85%	15%		
12,5	100	100	100	100	90	10	100	Dmax - 10mm
So = 3,21	9,52	100	100	99,2	99,74	9,92	99,92	Mediana: 0,59
Cu = 4,13	4,76	100	57,19	36	99,17	75,91	90	8,5785
	1,9	94,00	1,97	0	7,21	7,07	90	0,2955
F.M. = 2,47	0,84	74,00	1,11	0	1,92	1,81	84,6	0,1665
% voids = 38,5	0,417	45,00	0,92	0	1,51	1,54	66,6	0,138
	0,149	9,00	0,75	0	1,01	0,75	40,5	0,1125
	0,074	0	0,4	0	0,5	0,33	8,1	0,06
								% voids : 39,0
	PYZAKI MAYPO				PYZAKI KOKKINO		MIX-3	
	KOURASANT	EPMHΣ	EPMHΣ	PYZAKI KIAKIS	EPMHΣ	EPMHΣ		
	% cumulative passive				85%	15%		
12,5	100	100	100	100	90	10	100	Dmax - 10mm
So = 3,21	9,52	100	99,2	100	99,74	9,92	99,92	Mediana: 0,59
Cu = 4,13	4,76	100	57,19	36	99,17	75,91	90	8,5785
	1,9	94,00	1,97	0	7,21	7,07	84,6	0,2955
F.M. = 2,47	0,84	74,00	1,11	0	1,92	1,81	66,6	0,1665
% voids = 38,5	0,417	45,00	0,92	0	1,51	1,54	40,5	0,138
	0,149	9,00	0,75	0	1,01	0,75	8,1	0,1125
	0,074	0	0,4	0	0,5	0,33	0	0,06
								% voids : 39,0
	PYZAKI MAYPO				PYZAKI KOKKINO		MIX-4	
	KOURASANT	EPMHΣ	EPMHΣ	PYZAKI KIAKIS	EPMHΣ	EPMHΣ		
	% cumulative passive				85%	15%		
12,5	100	100	100	100	85	15	100	Dmax - 10mm
So = 3,21	9,52	100	99,2	100	99,74	14,961	99,96	Mediana: 0,61
Cu = 4,13	4,76	100	57,19	36	99,17	75,91	85	8,5785
	1,9	94,00	1,97	0	7,21	7,07	79,9	0,2955
F.M. = 2,47	0,84	74,00	1,11	0	1,92	1,81	62,9	0,1665
% voids = 38,5	0,417	45,00	0,92	0	1,51	1,54	38,25	0,138
	0,149	9,00	0,75	0	1,01	0,75	7,65	0,1125
	0,074	0	0,4	0	0,5	0,33	0	0,06
								% voids : 39,0



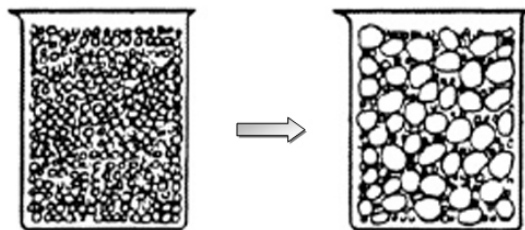


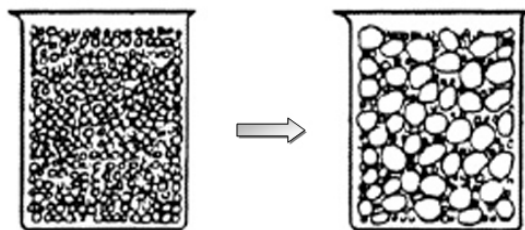
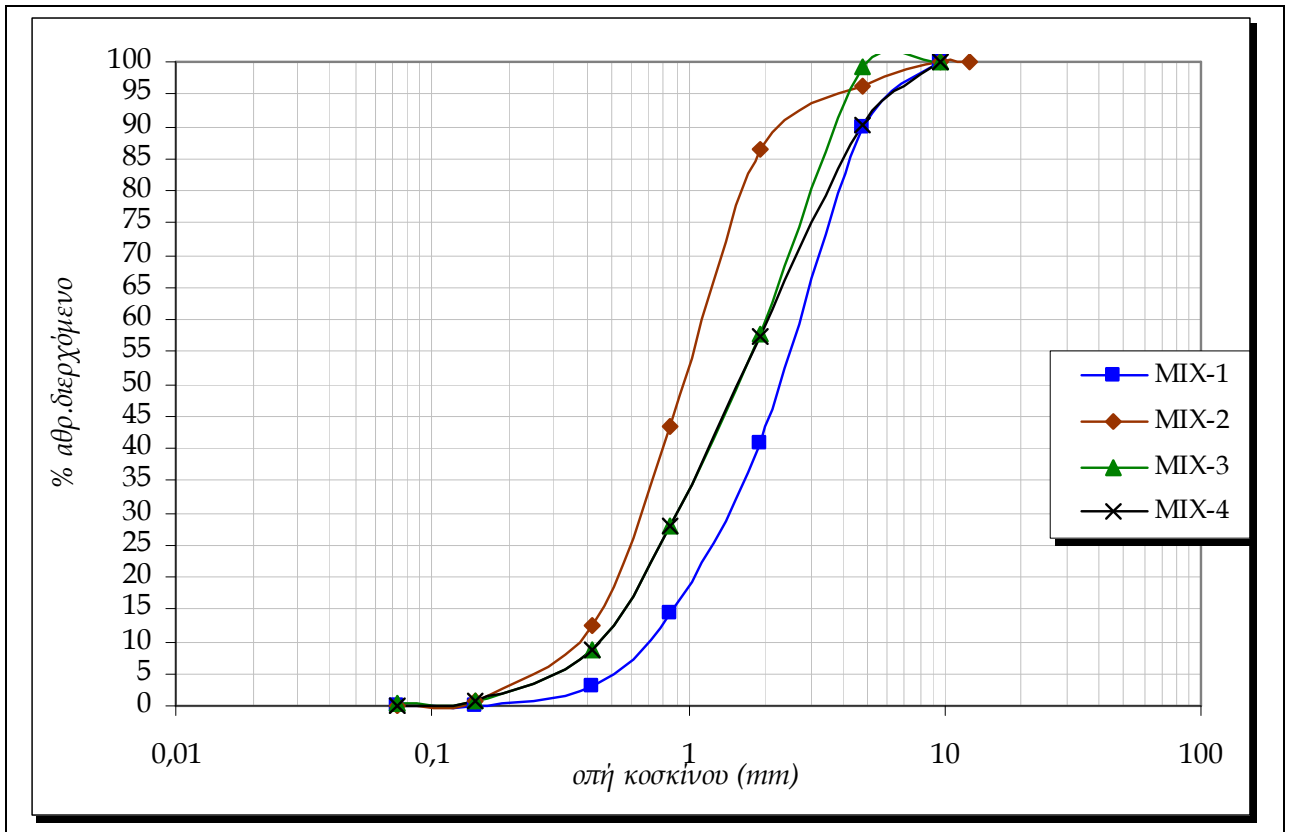
AMMOΣ METPIA ΘEE/NIKH	PYZAKI MAYPO KOURASANIT				PYZAKI MAYPO EPMHΣ		PYZAKI KOKKINO EPMHΣ		PYZAKI KIAKIΣ		PYZAKI MAYPO KOURASANIT		MIX-1	
	[mm]	% cumulative passive				50%		50%		50%			Dmax - 10mm	
Mediana: 0,91	12,5	100	100	100	99,2	100	99,74	100	50	50	100	100	100	Mediana: 2,1
So = 1,76	9,52	100	100	100	99,2	100	99,74	100	50	50	100	100	100	Q3 = 4,2
Cu = 2,74	4,76	99,4	57,19	36	99,17	75,91	75,91	49,7	28,595	28,595	78,30	78,30	78,30	Q1 = 0,9
	1,9	91,14	1,97	0	7,21	7,07	7,07	45,57	0,985	0,985	46,56	46,56	46,56	So = 4,67
F.M. = 3,48	0,84	45,57	1,11	0	1,92	1,81	1,81	22,785	0,555	0,555	23,34	23,34	23,34	D60 = 2,8
% voids = 40,0	0,417	13,29	0,92	0	1,51	1,54	1,54	6,645	0,46	0,46	7,11	7,11	7,11	D10 = 0,5
	0,149	0,63	0,75	0	1,01	0,75	0,75	0,315	0,375	0,375	0,69	0,69	0,69	Cu = 5,6
	0,074	0	0,4	0	0,5	0,33	0,33	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	F.M. = 4,40
														% voids : 40,5
														MIX-2
	[mm]	% cumulative passive				95%		5%		5%			Dmax - 10mm	
	12,5	100	100	100	99,2	100	99,74	100	95	5	100	100	100	Mediana: 0,95
	9,52	100	100	100	99,2	100	99,74	100	95	4,96	99,96	99,96	99,96	Q3 = 1,5
	4,76	99,4	57,19	36	99,17	75,91	75,91	94,43	1,8	1,8	96,23	96,23	96,23	Q1 = 0,6
	1,9	91,14	1,97	0	7,21	7,07	7,07	86,583	0	0	86,58	86,58	86,58	So = 2,5
	0,84	45,57	1,11	0	1,92	1,81	1,81	43,2915	0	0	43,29	43,29	43,29	D60 = 1,1
	0,417	13,29	0,92	0	1,51	1,54	1,54	12,6255	0	0	12,63	12,63	12,63	D10 = 0,37
	0,149	0,63	0,75	0	1,01	0,75	0,75	0,5985	0	0	0,60	0,60	0,60	Cu = 2,97
	0,074	0	0,4	0	0,5	0,33	0,33	0	0	0	0	0	0	F.M. = 3,35
														% voids : 40,2
														MIX-3
	[mm]	% cumulative passive				50%		50%		50%			Dmax - 10mm	
	12,5	100	100	100	99,2	100	99,74	100	50	50	100	100	100	Mediana: 1,9
	9,52	100	100	100	99,2	100	99,74	100	50	50	100	100	100	Q3 = 3,0
	4,76	99,4	57,19	36	99,17	75,91	75,91	49,585	49,585	49,585	99,3	99,3	99,3	Q1 = 0,9
	1,9	91,14	1,97	0	7,21	7,07	7,07	45,57	3,605	3,605	49,2	49,2	49,2	So = 3,33
	0,84	45,57	1,11	0	1,92	1,81	1,81	22,785	0,96	0,96	23,7	23,7	23,7	D60 = 2,3
	0,417	13,29	0,92	0	1,51	1,54	1,54	6,645	0,755	0,755	7,4	7,4	7,4	D10 = 0,5
	0,149	0,63	0,75	0	1,01	0,75	0,75	0,315	0,505	0,505	0,8	0,8	0,8	Cu = 4,6
	0,074	0	0,4	0	0,5	0,33	0,33	0	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	F.M. = 3,99
														% voids : 41,5
														MIX-4
	[mm]	% cumulative passive				60%		40%		40%			Dmax - 10mm	
	12,5	100	100	100	99,2	100	99,74	100	60	40	100	100	100	Mediana: 1,6
	9,52	100	100	100	99,2	100	99,74	100	60	40	100	100	100	Q3 = 3,2
	4,76	99,4	57,19	36	99,17	75,91	75,91	59,64	39,896	39,896	99,896	99,896	99,896	Q1 = 0,79
	1,9	91,14	1,97	0	7,21	7,07	7,07	54,684	2,828	2,828	57,512	57,512	57,512	So = 4,05
	0,84	45,57	1,11	0	1,92	1,81	1,81	27,342	0,724	0,724	28,066	28,066	28,066	D60 = 2,1
	0,417	13,29	0,92	0	1,51	1,54	1,54	7,974	0,616	0,616	8,59	8,59	8,59	D10 = 0,49
	0,149	0,63	0,75	0	1,01	0,75	0,75	0,378	0,3	0,3	0,678	0,678	0,678	Cu = 4,29
	0,074	0	0,4	0	0,5	0,33	0,33	0	0,132	0,132	0,132	0,132	0,132	F.M. = 4,15
														% voids : 40,8





ΑΜΜΟΣ ΧΩΝΑ/ΚΗ ΘΕΣ/ΝΙΚΗ	PYZAKI MAYPO				PYZAKI KIAKIS	PYZAKI MAYPO		MIX-1	Dmax - 10mm
	KOURASANIT	EPMHΣ	EPMHΣ	EPMHΣ		KOURASANIT	EPMHΣ		
Mediana: 1,85	12,5	100	100	99,2	100	80	20	100	Mediana: 2,2
So = 2,95	9,52	100	100	57,19	36	99,74	75,91	89,84	Q3 = 3,6
Cu = 3,42	4,76	98	57,19	1,97	0	7,21	7,07	40,67	Q1 = 1,2
F.M. = 4,53	1,9	50,34	1,97	0	0	1,92	1,81	13,96	So = 3,0
% voids = 37,0	0,84	17,45	1,11	0	0	1,51	1,54	2,688	D60 = 2,8
	0,417	3,56	0,92	0	0	1,01	0,75	0	D10 = 0,7
	0,149	0,00	0,75	0	0	0,5	0,33	0	Cu = 4,0
	0,074	0	0,4	0	0	0	0	0,08	F.M. = 4,53
									% voids : 37,8
									MIX-2
									Dmax - 10mm
									Mediana: 0,95
									Q3 = 1,5
									Q1 = 0,6
									So = 2,5
									D60 = 1,1
									D10 = 0,37
									Cu = 2,97
									F.M. = 4,08
									% voids : 37,3
									MIX-3
									Dmax - 10mm
									Mediana: 1,65
									Q3 = 2,8
									Q1 = 0,78
									So = 3,59
									D60 = 2,0
									D10 = 0,46
									Cu = 4,35
									F.M. = 4,57
									% voids : 40,0
									MIX-4
									Dmax - 10mm
									Mediana: 2,0
									Q3 = 3,9
									Q1 = 0,9
									So = 4,33
									D60 = 2,75
									D10 = 0,5
									Cu = 5,5
									F.M. = 4,66
									% voids : 39,0





IV.5.2. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΟΓΚΟΥ ΚΕΝΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ

Από τις άμμους και τα χαλίκια που εξετάστηκαν ως μίγματα, τα βέλτιστα ποσοστά ανάμιξης που προκύπτουν καθώς και οι αντίστοιχες κρίσιμες παράμετροι κατανομής που λαμβάνονται από την στατιστική επεξεργασία των καμπυλών των μιγμάτων σημειώνονται παρακάτω.

Πίνακας IV.6. : Αποδεκτά μίγματα αδρανών								
MIX	ΑΜΜΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΝΑΜΙΞΗΣ	ΧΑΛΙΚΙ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΝΑΜΙΞΗΣ	% VOIDS	So	Cu	F.M.(MIX)
M 1	Άμμος Ξανθή	80%	Ρυζάκι μαύρο Kourasanit	20%	39.4	5,65	4,58	3,02
M 2	Άμμος Ξανθή	80%	Ρυζάκι Κιλκίς	20%	39.6	5,48	4,58	2,98
M 3	Άμμος Κιλκίς	85%	Ρυζάκι μαύρο Kourasanit	15%	39.3	5,30	4,25	2,93
M 4	Άμμος Κιλκίς	85%	Ρυζάκι Κιλκίς	15%	39.5	5,30	4,25	2,91
M 5	Άμμος Αλιάρτου	85%	Ρυζάκι μαύρο Kourasanit	15%	38.0	4,00	3,89	2,97
M 6	Άμμος ποταμού Ερμής	75%	Ρυζάκι μαύρο Kourasanit	25%	39.5	4,88	5,79	3,43
M 7	Άμμος ποταμού Ερμής	80%	Ρυζάκι κόκκινο Ερμής	20%	39.8	4,13	5,41	3,19
M 8	Άμμος ποταμού Ερμής	70%	Ρυζάκι Κιλκίς	30%	39.9	5,58	6,50	3,51
M 9	Άμμος μαύρη Kourasanit	95%	Ρυζάκι μαύρο Kourasanit	5%	39.1	5,00	4,55	3,01
M 10	Άμμος Ξανθιά Θεσ/νικης	85%	Ρυζάκι μαύρο Kourasanit	15%	38.9	5,18	4,47	2,89
M 11	Άμμος Ξανθιά Θεσ/νικης	85%	Ρυζάκι Κιλκίς	15%	39.0	5,18	4,59	2,87
M 12	Άμμος ποταμού Χίου	75%	Ρυζάκι μαύρο Kourasanit	25%	41.0	4,50	4,44	3,08
M 13	Άμμος μέτρια Θεσ/νικης	50%	Ρυζάκι μαύρο Kourasanit	50%	40.5	4,67	5,60	4,40
M 14	Άμμος μέτρια Θεσ/νικης	60%	Ρυζάκι Κιλκίς	40%	40.8	4,05	4,29	4,15
M 15	Άμμος χονδρόκοικη Θεσ/νικης	80%	Ρυζάκι μαύρο Kourasanit	20%	37.8	3,00	4,00	4,53
M 16	Άμμος χονδρόκοικη Θεσ/νικης	60%	Ρυζάκι Κιλκίς	40%	39.0	4,33	5,50	4,66

Ο συντελεστής λεπτότητας (F.M.) των μιγμάτων αυτών προσδιορίστηκε από την σχέση

$$F.M.(MIX) = P_A(\%) F.M.(A) + P_B(\%) F.M.(B)$$

όπου

A, το υλικό της άμμου

P_A (%), το ποσοστό συμμετοχής της άμμου στο μίγμα

F.M. (A), ο συντελεστής λεπτότητας της άμμου

B, το υλικό του χάλικα

P_B (%), το ποσοστό συμμετοχής του χάλικα στο μίγμα

F.M. (B), ο συντελεστής λεπτότητας του χάλικα

Το ποσοστό του όγκου των κενών (% voids) των παραπάνω μιγμάτων αδρανών υπολογίζεται, πέραν της θεωρητικής μεθόδου μέσω των φαινομένων και πραγματικών πυκνοτήτων των αδρανών, και πειραματικά προσδιορίζοντας τον όγκο των κενών του μίγματος των αδρανών σε πρότυπο κύλινδρο όγκου 1lt, αναμιγνύοντας στο εργαστήριο με τα συγκεκριμένα ποσοστά τα εξεταζόμενα αδρανή υλικά.

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτουν τα ακόλουθα:

Οι περισσότερες άμμοι που εξετάστηκαν στο στάδιο της ανάμιξης με διαφορετικά χαλίκια “συνεργάζονται” καλύτερα με δύο κυρίως ρυζάκια: το μαύρο ρυζάκι Kourasanit και το ρυζάκι Κιλκίς, δίνοντας ευρείες και ομαλές κοκκομετρικές καμπύλες.

Τα υπόλοιπα χαλίκια δεν “συνεργάζονται” με τις άμμους αυτές πέραν ενός μικρού ποσοστού συμμετοχής στο μίγμα (5-10%).

Για τις κοκκομετρικές καμπύλες των μιγμάτων που προκύπτουν γίνεται γραφική και μαθηματική επεξεργασία προκειμένου να προσδιορισθούν οι χαρακτηριστικοί δείκτες κάθε καμπύλης: Mediana(50%) – So – Cu – Fineness Modulus F.M. - % voids (ποσοστό όγκου κενών).

Τα ποσοστά του όγκου των κενών (% voids) των παραπάνω μιγμάτων αδρανών κυμαίνονται, με μικρές αποκλίσεις, στο εύρος **38-41%**, με συχνότερες τιμές αυτές του **39-40%** περίπου.

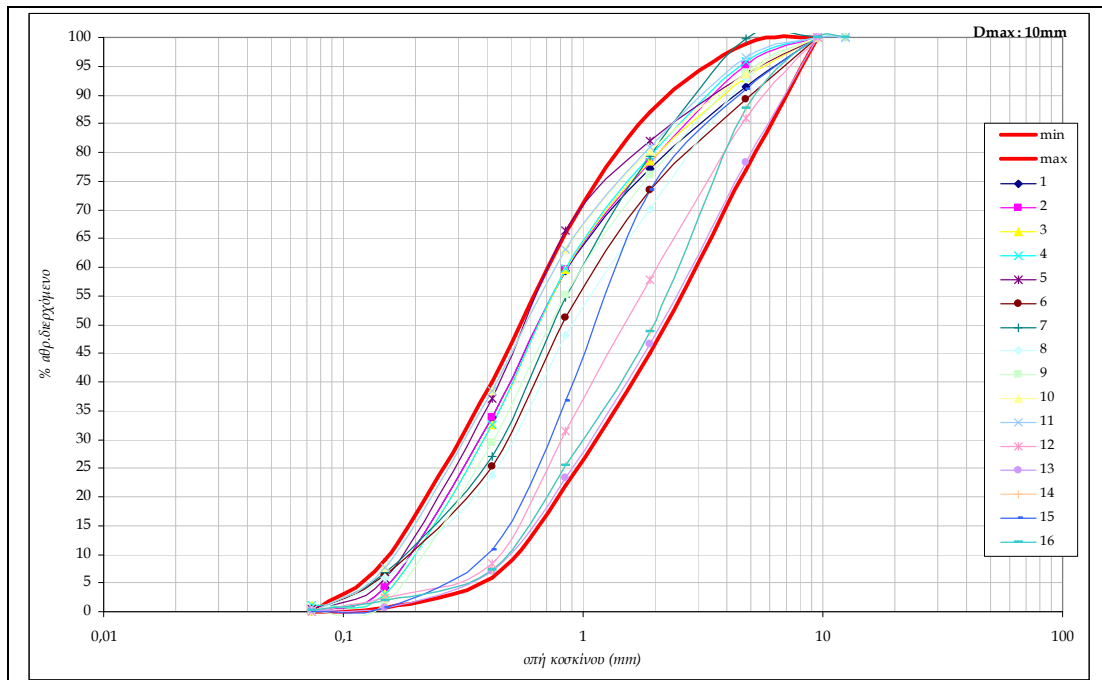
Τα ποσοστά αυτά του όγκου των κενών στα μίγματα δεν διαφοροποιούνται σημαντικά από τα αντίστοιχα ποσοστά όγκου κενών που παρουσίασαν οι άμμοι ως μεμονωμένα αδρανή υλικά. Αυτό οφείλεται στο σχετικά μικρό ποσοστό συμμετοχής των χονδρόκοκκων (χαλίκια) στο μίγμα. Στις δυο-τρεις περιπτώσεις (M13, 14, 16), όπου οι καμπύλες άμμων/χαλικιών “συνεργάζονται” και τα ποσοστά συμμετοχής των χαλικιών στο μίγμα μπορούν να φτάσουν και το 40%-50%, φαίνεται ότι το ποσοστό του όγκου των κενών του μίγματος επηρεάζεται σημαντικά και από το ποσοστό του όγκου των κενών του αδρόκοκκου αδρανούς.

Οι συντελεστές λεπτότητας (F.M.) κυμαίνονται στο εύρος 2,8-4,6 περίπου. Όσο πιο υψηλή η τιμή του συντελεστή λεπτότητας τόσο μεγαλύτερο είναι το κλάσμα των χονδρότερων κόκκων στο μίγμα των αδρανών και αντίστροφα.

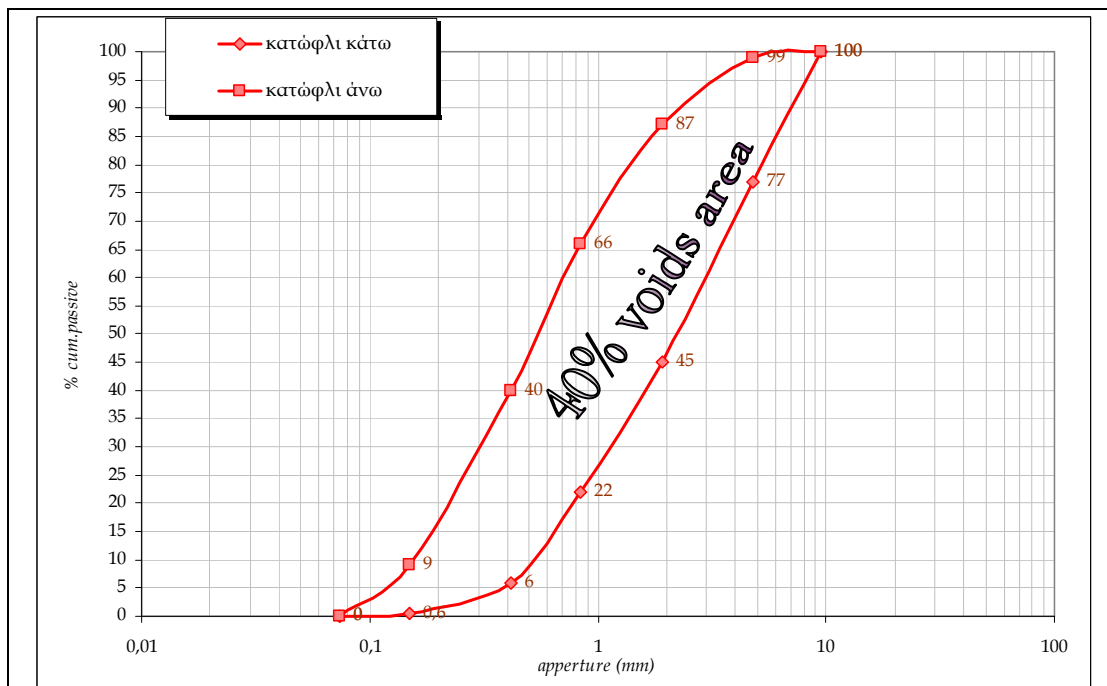
Οι κοκκομετρικές καμπύλες των βέλτιστων μιγμάτων που προέκυψαν από την παραπάνω διαδικασία παρατίθενται στα διαγράμματα που ακολουθούν. Πρόκειται για δυαδικά μίγματα άμμων / χαλικιών σε διάφορα ποσοστά ανάμιξης, τα οποία καλύπτουν εύρος κλάσεων κόκκων από 0 ως 10mm.

Το όποιο ποσοστό συμμετοχής του χάλικα στο μίγμα επηρεάζει την κοκκομετρική καμπύλη του μίγματος στους χονδρότερους κόκκους και καμία συμμετοχή δεν έχει στους κόκκους μικρότερης διαμέτρου (περιοχή άμμου), μετατοπίζοντας την καμπύλη προς τα δεξιά και κάνοντάς την πιο ευρεία.

Οι καμπύλες των αποδεκτών αυτών μιγμάτων συγκεντρώνονται στο παρακάτω σχετικό ημιλογαριθμικό διάγραμμα, όπου καθορίζονται τα όρια (άνω και κάτω κατώφλι) των κοκκομετρικών καμπυλών των μιγμάτων αδρανών με μέγιστο κόκκο αδρανούς D=10mm.



Διάγραμμα IV.10.: Συγκεντρωτικό διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών μιγμάτων αδρανών



Διάγραμμα IV.11.: Άνω και κάτω κατώφλια περιοχής κοκκομετρικών καμπυλών μιγμάτων αδρανών με μέσο ποσοστό όγκου κενών 40% και μέγιστο κόκκο αδρανών $D=10\text{mm}$

Όρια κοκκομετρικών καμπυλών μιγμάτων αδρανών							
Ποσοστά αθροιστικά διερχόμενου από κάθε κόσκινο							
Όπή κοσκίνου (mm)	9,52	4,76	1,9	0,84	0,417	0,149	0,074
min	100	77	45	22	6	0,6	0
max	100	99	87	66	40	9	0

40% voids area

Το ποσοστό του όγκου των κενών για τα παραπάνω μίγματα για τα οποία προκύπτουν ομαλές κοκκομετρικές καμπύλες λαμβάνεται κατά μέσο όρο στο 40% κ.ο. Επομένως σε μίγμα κονιάματος αποκατάστασης, στο οποίο χρησιμοποιείται κονία υδραυλικής ασβέστου με φαινόμενη πυκνότητας $d=0.75\text{g/cm}^3$, το ποσοστό απαίτησης σε

κονία για την παρασκευή εργάσιμου κονιάματος με μίγμα αδρανών με ποσοστό όγκου κενών κατά μέσο όρο 40% θα είναι:

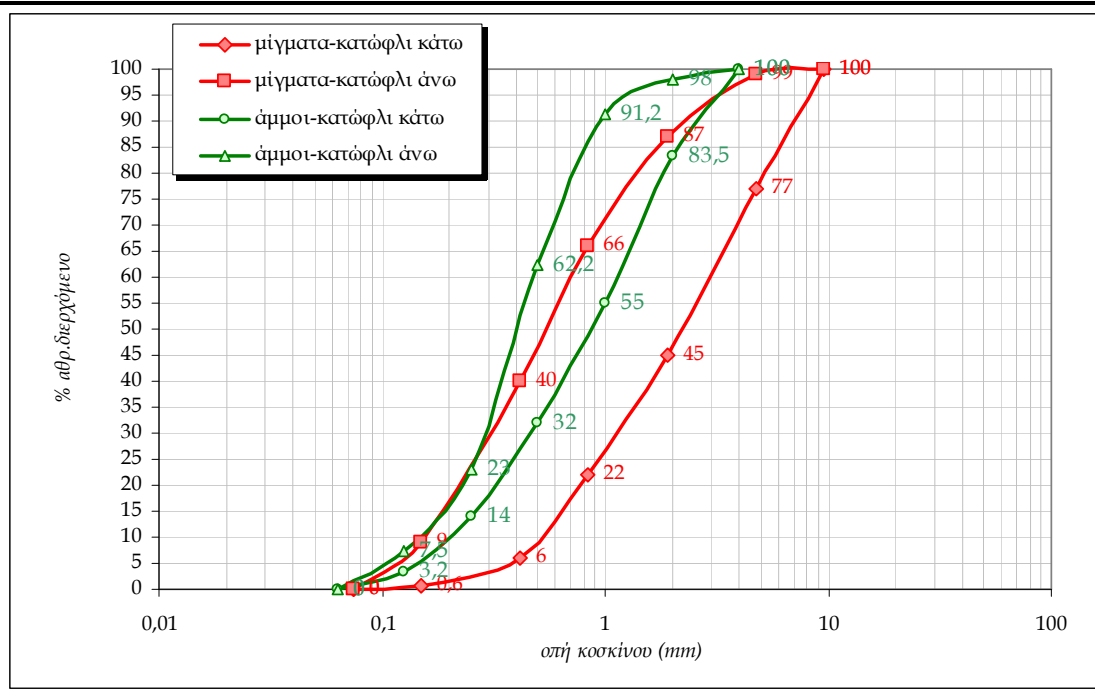
$$d = m/V$$

$$m = d \cdot V = 0.75 \cdot 40 = 30.0\% \text{ κ.β. κονία}$$

Το ποσοστό της κονιάς που απαιτείται για την παρασκευή κονιάματος με μίγμα αδρανών άμμου / χαλικιών που κυμαίνεται σε περιοχή καμπυλών με μέσο όγκο κενών ~40% και μέγιστο κόκκο αδρανών D=10mm είναι 30% περίπου, με την παραδοχή ότι η κονία που χρησιμοποιείται είναι υδραυλική ασβέστος

Στο διάγραμμα που ακολουθεί συγκεντρώνονται οι δύο περιοχές που καλύπτουν, η μεν πράσινη περιοχή, άμμους με μέγιστο κόκκο αδρανούς D=4mm, η δε κόκκινη περιοχή, μίγματα αδρανών (άμμων-χαλικιών) με μέγιστο κόκκο D=10mm, και χαρακτηρίζονται από ποσοστό όγκου κενών κατά μέσο όρο περίπου 39-40%.

Για το ποσοστό αυτό η αντιστοιχία σε απαιτούμενο ποσοστό κονιάς για την παρασκευή κονιάματος αποκατάστασης (με κονία υδραυλικής ασβέστου) είναι περίπου 30% κ.β.



**Διάγραμμα IV.12.: Περιοχές κοκκομετρικών καμπυλών ποσοστού όγκου κενών ~39 & 40% για $D_{max}: 4mm$ & $D_{max}: 10mm$
Αντιστοιχία σε απαιτούμενο ποσοστό υδραυλικής κονιάς ~30% κ.β.**

V. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Στα προηγούμενα κεφάλαια αναλύθηκε διεξοδικά ο καθοριστικός ρόλος των αδρανών υλικών στα κονιάματα αποκατάστασης.

Ο Σχεδιασμός των κονιαμάτων αυτών αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία, στην οποία θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πλήθος παραμέτρων, προκειμένου να επιτευχθεί η κατάλληλη σύνθεση κονιάματος.

Η δομή του κονιάματος διαμορφώνεται σε σημαντικό βαθμό από αυτά καθ'αυτά τα αδρανή, τα οποία επηρεάζουν την ανάπτυξη της τελικής αντοχής του, το πορώδες και τη διαπερατότητά του [116,117]. Η κοκκομετρική καμπύλη των αδρανών πρέπει να κατανέμεται ομαλά μεταξύ των διαφόρων κλάσεων κόκκων. Συγκέντρωση πληθυσμών κόκκων σε ένα ή δύο μεγέθη μειώνει την εργασιμότητα και οδηγεί σε απαίτηση μεγαλύτερης ποσότητας νερού, γεγονός που μπορεί μεταξύ άλλων να προκαλέσει ανεπιθύμητη εξίδρωση στο νωπό κονίαμα [118,119].

Η κατανομή μεγέθους κόκκων ενός αδρανούς είναι καθοριστική για την επίτευξη καλής συνοχής στη δομή του κονιάματος. Ακόμη και σε μια καλή κατανομή κόκκων εξακολουθούν να υπάρχουν κενά μεταξύ αυτών, τα οποία πληρούνται από την κονία του μίγματος [116,120].

Γενικά, στόχος είναι να χρησιμοποιούνται αδρανή με τα ελάχιστα δυνατά κενά μεταξύ των κόκκων τους, προκειμένου να μειωθεί τόσο η απαίτηση σε κονία όσο και η ποσότητα του απαιτούμενου νερού για την παρασκευή εργάσιμου μίγματος κονιάματος. Ταυτόχρονα και συνδυαστικά θα πρέπει να εξασφαλίζεται η συνεκτική δομή του κονιάματος, προκειμένου να επιτευχθούν ικανοποιητικές μηχανικές αντοχές στο τελικό προϊόν, αλλά και μια πορώδη δομή, συνεκτική μεν, που θα επιτρέπει ταυτόχρονα τη διαπνοή του κονιάματος.

Σε κάθε περίπτωση τα αδρανή πρέπει να είναι απαλλαγμένα από προσμίξεις, οι οποίες αυξάνουν την απαίτηση σε νερό, μειώνουν την αντοχή – θλιπτική και καμπτική – μειώνουν τη διαπερατότητα και αυξάνουν την πιθανότητα δημιουργίας μικρορηγματώσεων στο σκληρωμένο κονίαμα.

Όπου η αντοχή και η ανθεκτικότητα αποτελούν κύριες απαιτήσεις, τα αδρανή δεν πρέπει να περιέχουν επιβλαβείς προσμίξεις όπως πυριτικά του σιδήρου, άλατα, άνθρακα ή άλλες οργανικές προσμίξεις.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, τα αδρανή υλικά των κονιαμάτων διακρίνονται γενικά σε άμμο ή αλλιώς λεπτόκοκκο κλάσμα και σε ρυζάκι/χαλίκι ή αλλιώς χονδρόκοκκο κλάσμα.

Η ακριβής διάσταση κόκκων όπου γίνεται ο παραπάνω διαχωρισμός εξαρτάται από την πρότυπη σειρά κοσκίνων που χρησιμοποιείται κατά την κοκκοδιαβάθμιση.

Στην συγκεκριμένη εργασία λαμβάνεται ως μέγιστη διάσταση κόκκων D: 4mm για τις άμμους και D: 10mm για τα ρυζάκια/χαλίκια [72].

Η χρήση αδρόκοκκων αδρανών είναι δυνατόν να αυξήσει την τραχύτητα του μίγματος. Το ποσοστό που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να προσαρμοστεί έτσι ώστε να διατηρηθεί η εργασιμότητα. Τα αδρόκοκκα αδρανή πρέπει, σε πρώτη φάση, να κοκκομετρηθούν και να αναλυθούν ξεχωριστά χρησιμοποιώντας την κατάλληλη σειρά κοσκίνων [121,122].

Μια άμμος με υψηλό ποσοστό χονδρόκοκκων είναι “σκληρή” και δύσκολα δουλεύεται. Το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 13139 “Aggregates for mortars” δίνει χρήσιμες οδηγίες για την παρασκευή των κονιαμάτων.

Η επιλογή του μέγιστου κόκκου των αδρανών εξαρτάται από τη χρήση για την οποία προορίζεται το κονίαμα στο οποίο συμμετέχουν, καθώς και από τη θέση στην οποία αυτό θα εφαρμοστεί (π.χ. κονίαμα δομής, κονίαμα αρμολόγησης, επίχρισμα κ.α.).

Γενικά, στην πράξη, ο μέγιστος κόκκος μιας άμμου ή αδρανούς δεν πρέπει να υπερβαίνει το μισό (1/2) του πάχους του αρμού όπου εφαρμόζεται. Για εφαρμογές σε αρμούς 8-12mm ο μέγιστος κόκκος πρέπει να είναι περίπου 5mm [116].

Όπου εμφανίζονται αρμοί μεγαλύτερου πάχους, αδρανή με μέγιστο κόκκο 5mm ή και περισσότερο μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Στη φάση του Σχεδιασμού των κονιαμάτων αποκατάστασης, αυτά συνήθως αντιμετωπίζονται και εξετάζονται υπό το πρίσμα της προσομοίωσης των αυθεντικών κονιαμάτων της τοιχοποιίας όπου πρόκειται να εφαρμοστούν. Σε πρώτο στάδιο εξετάζονται τα υπάρχοντα υλικά (κονιάματα, δομικά υλικά) της τοιχοποιίας. Ανάλογα με τη φύση τους επιλέγεται και ο αντίστοιχος τύπος κονιάς για το κονίαμα αποκατάστασης. Προσδιορίζεται ο λόγος κονιάς/αδρανή (B/A, δηλ. binder/aggregates), και βάσει αυτού καθορίζεται ο αντίστοιχος λόγος B/A των νέων συνθέσεων. Τα αδρανή επιλέγονται ως επί τω πλείστον με βάση τη φυσικοχημική τους συμβατότητα με τις αντίστοιχες πρώτες ύλες των αυθεντικών κονιαμάτων, ενώ συχνά σημαντικό ρόλο παίζει και η απόχρωση που αποδίδουν στο τελικό κονίαμα αποκατάστασης.

Ωστόσο, και μετά την αναγνώριση των αυθεντικών κονιαμάτων, ο Σχεδιασμός θα πρέπει να έχει ως αφετηρία το πλέγμα του νέου κονιάματος, όπως αυτό προδιαγράφεται από τις χαρακτηριστικές παραμέτρους των αδρανών υλικών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Τα αδρανή, πέραν του χρώματός τους, πρέπει να επιλεχθούν με βάση το μέγεθος του μέγιστου κόκκου τους, να διερευνηθεί η αναγκαιότητα χρήσης μίγματος περισσότερων του ενός αδρανών, να εξασφαλιστεί ομαλή κοκκομετρική καμπύλη και συνεχής κατανομή κόκκων. Το πλέγμα των αδρανών χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο όγκο κενών (% voids), ο οποίος αποτελεί κρίσιμη παράμετρο σχεδιασμού, που καθορίζει το απαιτούμενο ποσοστό κονιάς (%B) στη σύνθεση του νέου κονιάματος. Από το ποσοστό αυτό καθορίζεται ανάλογα και ο χαρακτηριστικός λόγος κονιάς/αδρανών (B/A).

Κρίσιμη παράμετρος σχεδιασμού είναι και η ποσότητα του νερού ανάμιξης για την παρασκευή εργάσιμου μίγματος. Το νερό που θα απαιτηθεί καθορίζεται τόσο από τη φύση της κονιάς όσο και από τη λεπτότητα και το σχήμα των κόκκων των αδρανών. Ενδεικτική είναι η παράμετρος του συντελεστή λεπτότητας (fineness modulus F.M.) των αδρανών. Όσο μικρότερος ο συντελεστής λεπτότητας και άρα πιο λεπτόκοκκα τα αδρανή, τόσο μεγαλύτερη η ποσότητα του νερού που θα απαιτηθεί κατά την ανάμιξη. Η σχέση αυτή τείνει να είναι γραμμική.

Επομένως, σε αυτή τη διαφορετική μεθοδολογική προσέγγιση, ο Σχεδιασμός κονιαμάτων αποκατάστασης πρέπει να αντιμετωπίζεται μεταξύ άλλων και υπό το πρίσμα των απαιτήσεων που θέτει η ίδια η κοκκομετρική καμπύλη των αδρανών που επιλέγονται.

Το παραγόμενο κονίαμα αποκατάστασης πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των μηχανικών αντοχών και της πορώδους δομής. Η κοκκομετρία των αδρανών θα πρέπει να εξασφαλίζει συνεκτική δομή, η οποία ταυτόχρονα να επιτρέπει τη διαπνοή του κονιάματος. Το ποσοστό της κονιάς καθορίζεται από το πλέγμα των αδρανών, ενώ η φύση της εξαρτάται από τη φυσικοχημική συμβατότητα με τα αυθεντικά υλικά της τοιχοποιίας. Υψηλά ποσοστά κονιάς οδηγούν σε ανεπιθύμητα φαινόμενα συρρίκνωσης και μικρορηγματώσεων κατά την σκλήρυνση και ωρίμανση του κονιάματος αποκατάστασης.

Πρέπει να υπογραμμιστεί ότι αν και είναι επιθυμητή η καλή και ομαλή κοκκομετρία, δεν υπάρχουν ιδανικές κατανομές. Καλά κονιάματα έχουν παρασκευασθεί κατά περίπτωση με ένα ευρύ φάσμα κοκκομετρίας αδρανών.

Ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες και το σκοπό κάθε εργασίας αποκατάστασης, και προκειμένου να σχεδιαστούν κατάλληλα κονιάματα, θα πρέπει να ακολουθούνται συνοπτικά τα εξής:

- καθορισμός του μέγιστου κόκκου των αδρανών που θα χρησιμοποιηθούν, ανάλογα με τη θέση εφαρμογής και το πάχος τους αρμού
- επιλογή του κατάλληλου αδρανούς ή μίγματος αδρανών, ώστε να ικανοποιούνται οι ποιοτικές απαιτήσεις ως προς την καθαρότητα, την περιεχόμενη παιπάλη, την γωνιότητα των κόκκων κ.α.
- προσδιορισμός της κοκκομετρικής καμπύλης και της κατανομής μεγέθους των κόκκων των αδρανών, με συνδυαστική εκτίμηση των χαρακτηριστικών παραμέτρων τους
- προσδιορισμός του ποσοστού του όγκου των κενών των αδρανών
- υπολογισμός του ποσοστού της κονίας που απαιτείται για την πλήρωση των κενών μεταξύ των κόκκων των αδρανών, μέσω της φαινόμενης πυκνότητας της κονίας
- παρασκευή συνθέσεων κονιαμάτων στο εργαστήριο και προσδιορισμός του απαιτούμενου νερού για την επίτευξη ικανοποιητικής εργασιμότητας νωπού μίγματος. Λήψη πρισματικών δοκιμών για την εκτίμηση της εξέλιξης των φυσικομηχανικών χαρακτηριστικών τους στο χρόνο
- επί τόπου δοκιμαστική εφαρμογή των συνθέσεων των κονιαμάτων στην τοιχοποιία και διερεύνηση της συμπεριφοράς τους σε πραγματικές συνθήκες

Από τα αποτελέσματα των προσλαμβανόμενων μηχανικών αντοχών συνεκτιμώντας τον μέγιστο κόκκο των αδρανών και την κοκκομετρική κατανομή τους, τη φύση και το ποσοστό της περιεχόμενης κονίας και τον λόγο κονίας/αδρανών είναι δυνατή μια γενικότερη εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών και των χαρακτηριστικών μικροδομής των κονιαμάτων αποκατάστασης.

V.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΕΠΙ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Τα εξεταζόμενα αδρανή υλικά αποτιμώνται με βάση τις χαρακτηριστικές παραμέτρους που προκύπτουν από την μαθηματική και στατιστική επεξεργασία των κοκκομετρικών κατανομών τους.

Στην παρούσα εργασία καθορίστηκαν περιοχές των κοκκομετρικών καμπυλών, οι οποίες εκφράζουν συγκεκριμένες τιμές ποσοστού όγκου κενών αδρανών ή μιγμάτων αδρανών, βάσει του οποίου εκτιμάται ή αλλιώς προδιαγράφεται η απαίτηση των αδρανών υλικών σε ποσοστό κονιάς και προσδιορίζεται ο αντίστοιχος λόγος κονιάς/αδρανών που θα χρησιμοποιηθεί στο κονίαμα αποκατάστασης.

Προκειμένου να παρουσιασθεί η ολοκλήρωση της μεθοδολογίας διερεύνησης του ρόλου των αδρανών στον σχεδιασμό κονιαμάτων με την τελική εφαρμογή τους σε μίγμα κονιάματος, παρασκευάστηκαν και παρατίθενται παρακάτω συνθέσεις κονιαμάτων αποκατάστασης με τα χαρακτηριστικά που προδιαγράφουν τα εξεταζόμενα αδρανή υλικά, οι οποίες αποτιμήθηκαν ως προς τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά τους στο χρόνο.

Η κονιά που χρησιμοποιήθηκε στις συνθέσεις αυτές είναι φυσική υδραυλική άσβεστος NHL5 (βιομηχανοποιημένο υλικό) κατά το πρότυπο EN459-1 [54].

Γενικά, υδραυλικές άσβεστοι χρησιμοποιούνται ευρέως τα τελευταία χρόνια σε έργα αποκατάστασης ιστορικών τοιχοποιιών.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αδρανή υλικά που εξετάζονται (άμμοι και μίγματα άμμων/χαλικιών) έχουν χρησιμοποιηθεί και εφαρμοστεί ευρέως σε ένα πλήθος συνθέσεων κονιαμάτων αποκατάστασης που διερευνήθηκαν διεξοδικά τόσο στο εργαστήριο όσο και επί τόπου σε διάφορα έργα αποκατάστασης τοιχοποιιών [123-126].

Ωστόσο, δεδομένου ότι αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η παραμετρική διερεύνηση και η στατιστική επεξεργασία που ακολουθείται για την αξιολόγηση αυτών καθ' αυτών των αδρανών υλικών, δεν γίνεται εκτενής αναφορά και παρουσίαση συνθέσεων κονιαμάτων αποκατάστασης.

Οι συνθέσεις που παρατίθενται παρακάτω είναι ενδεικτικές του τρόπου που τελικά τα αδρανή υλικά που επιλέγονται βρίσκουν εφαρμογή σε κονιάματα αποκατάστασης και πώς αυτά επηρεάζουν την δομή και τα ποσοστά συμμετοχής κονιάς και αδρανών σε ένα μίγμα κονιάματος.

ΚΟΝΙΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥ

Ο όρος “υδραυλική άσβεστος” υιοθετήθηκε από τον Vicat στις αρχές του 19ου αι. για να περιγράψει υλικά τα οποία είχαν την ικανότητα να πήζουν και να σκληραίνουν στο νερό [51].

Από χημικής απόψεως, οι υδραυλικές άσβεστοι θα μπορούσαν ως υλικά να ταξινομηθούν, υπό την ευρεία έννοια, μεταξύ της κοινής ασβέστου και των τσιμεντών Portland ή των φυσικών τσιμεντών.

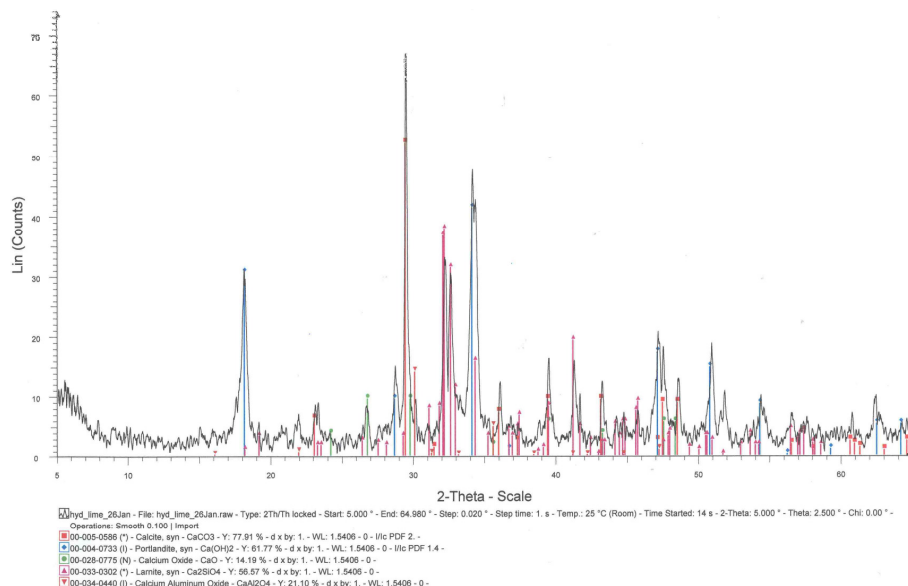
Η φυσική υδραυλική άσβεστος προέρχεται από την έψηση μαργαϊκών ασβεστολίθων [μίγμα ανθρακικού ασβεστίου και αργίλου (μάργες)] που περιέχουν 5-20% άργιλλο. Η πυριτία (SiO₂), η αλούμινα (Al₂O₃) και τα οξειδία του σιδήρου που περιέχονται στους εν λόγω ασβεστόλιθους ενώνονται, κατά την έψηση σε ορισμένες θερμοκρασίες, μερικά ή στο σύνολο τους, με το οξείδιο του ασβεστίου. Οι παραγόμενες πυριτικές, αργλικές και φερριτικές ενώσεις προσδίδουν υδραυλικές ιδιότητες στο προϊόν [139-141].

Η υδραυλική ασβέστος παράγεται με έψηση των πρώτων υλών σε θερμοκρασίες 900-1300°C. Υψηλότερες θερμοκρασίες προκαλούν υπερέψηση του υλικού και είναι ανεπιθύμητες.

Εν προκειμένω, χρησιμοποιήθηκε φυσική υδραυλική ασβέστος τύπου NHL5 κατά EN459-1. Η χημική ανάλυση της κονιάς καθώς και οι ορυκτολογικές της φάσεις παρατίθενται στους πίνακες και τα διαγράμματα που ακολουθούν.

Πίνακας V.1. : Ανάλυση XRF φυσικής υδραυλικής ασβέστου τύπου NHL5

<i>Natural Hydraulic Lime (NHL5)</i>	
<i>Al₂O₃</i>	1.04
<i>CaO</i>	62.98
<i>SiO₂</i>	16.36
<i>MgO</i>	0.43
<i>Fe₂O₃</i>	0.24
<i>K₂O</i>	0.13
<i>Na₂O</i>	0.25
<i>TiO₂</i>	0.00
<i>MnO</i>	0.02
<i>SO₄⁻²</i>	0.66
<i>L.O.I.</i>	17.79



Διάγραμμα V.1: Διάγραμμα ανάλυσης XRD φυσικής υδραυλικής ασβέστου τύπου NHL5

Πίνακας V.2. : Ορυκτολογικές φάσεις φυσικής υδραυλικής ασβέστου τύπου NHL5

ΥΛΙΚΟ	ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ (XRD)
NHL5	Ασβεστίτης (CaCO₃) Χαλαζίας (SiO₂) Λαρνίτης (2CaOSiO ₂) Πορτλαντίτης (Ca(OH) ₂) Γελενίτης (Ca ₂ Al ₂ SiO ₇) Μοσχοβίτης ((K,Na)Al ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂)

Οι παραπάνω φάσεις αποτελούν μία τυπική ορυκτολογική σύσταση υδραυλικής ασβέστου. Το υλικό αποτελείται από ασβεστόλιθο (calcite syn), υδροξείδιο του ασβεστίου (Portlandite syn), οξείδιο του ασβεστίου (CaO), βελίτη (larnite syn, Ca₂SiO₄) και αργλικό ασβέστιο (CaO.Al₂O₃).

V.2. ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Για τον έλεγχο της επίδρασης του τύπου και των χαρακτηριστικών των αδρανών υλικών στα κονιάματα, παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο μίγματα κονιαμάτων αποκατάστασης με διαφορετικά αδρανή, μεταξύ των οποίων και ένα μίγμα αδρανών (άμμος – ρυζάκι).



Στις συνθέσεις αυτές διατηρείται σταθερός ο παράγοντας κονία (φυσική υδραυλική ασβέστος), ενώ το χρησιμοποιούμενο αδρανές ή μίγμα αδρανών αποτελεί την μεταβλητή παράμετρο.

Οι συνθέσεις των κονιαμάτων προέκυψαν με βάση τα χαρακτηριστικά που προδιαγράφουν τα αδρανή υλικά, τα οποία ουσιαστικά διαμορφώνουν το πλέγμα του κονιαματος.

Από τις κοκκομετρικές καμπύλες των εξεταζόμενων αδρανών υλικών προέκυψαν, όπως αναφέρθηκε ήδη, ανώτερα και κατώτερα όρια εντός των οποίων κυμαίνεται το ποσοστό του όγκου των κενών. Το ποσοστό αυτό καθορίζει και το αντίστοιχο ποσοστό της απαίτησης σε κονία του εκάστοτε μίγματος κονιαματος.

Οι άμμοι με μέγιστο κόκκο 4mm, των οποίων οι κοκκομετρικές καμπύλες εμπίπτουν στην περιοχή των ορίων που ήδη εξετάστηκε [εύρος: 37%-41% κ.ο.] χαρακτηρίζονται από ένα ποσοστό όγκου κενών κατά μέσο όρο **39% κ.ο.** Επομένως, το ποσοστό απαίτησης σε υδραυλική κονία (με φαινόμενη πυκνότητα $d=0.75\text{g/cm}^3$) στο μίγμα του κονιαματος δεν ξεπερνά το **30% κ.β.**

Με βάση το δεδομένο αυτό, παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο συνθέσεις κονιαμάτων αποκατάστασης με **30% κ.β.** κονία υδραυλικής ασβέστου κατηγορίας NHL5 και **70% κ.β.** άμμο μέγιστου κόκκου 4mm. Για τις περιπτώσεις όπου απαιτείται μεγαλύτερος μέγιστος κόκκος αδρανούς, εξετάστηκε αντίστοιχη σύνθεση κονιαματος με μίγμα αδρανών όπου ο μέγιστος κόκκος φτάνει το 1cm και το ποσοστό του όγκου των κενών του μίγματος των αδρανών είναι περίπου 40% κ.ο.

Για τα παραπάνω ποσοστά συμμετοχής, ο χαρακτηριστικός λόγος κονίας προς αδρανή (binder/aggregates ή B/A) είναι **1/2.3**. Η ποσότητα του νερού που απαιτήθηκε κατά την ανάμιξη για την παρασκευή εργάσιμων μιγμάτων ήταν τόση ώστε να εξασφαλίζεται σταθερή τιμή εξάπλωσης $15\pm 1\text{cm}$ (ΕΛΟΤ EN 1015.03).

Οι συνδυασμοί των συνθέσεων κονιαμάτων που παρασκευάστηκαν συνοψίζονται σχηματικά παρακάτω.

ΦΥΣΙΚΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΣΒΕΣΤΟΣ (NHL5)		
B / A = 1 / 2.3	30% B – 70% A	Εξάπλωση: 15cm
ΚΟΝΙΑ (30%)	ΑΔΡΑΝΗ (70%)	
	ΑΜΜΟΣ (0/4)	ΜΙΓΜΑ ΑΔΡΑΝΩΝ (0/10)

Τα αδρανή (70%) που μετέχουν στα κονιάματα διαφοροποιούνταν σε κάθε μίγμα. Συγκεκριμένα, εξετάστηκαν τόσο μεμονωμένα αδρανή (άμμοι 0/4mm), όσο και μίγμα αδρανών (συνδυασμός άμμου 0/4 και χαλικιών 2/10mm). Οι κατάλληλοι συνδυασμοί των αδρανών προέκυψαν από την παραμετρική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην πρώτη φάση της εργασίας αυτής, από την οποία εξήχθησαν τα αποδεκτά μίγματα αδρανών με ομαλή κοκκομετρική καμπύλη και κατανομή κόκκων και συγκεκριμένες τιμές των χαρακτηριστικών κρίσιμων δεικτών.

Η απαίτηση σε % κ.β. κονία των μεμονωμένων αδρανών (άμμων) σημειώνεται στον παρακάτω πίνακα.

ΥΛΙΚΟ	D (mm)	d (g/cm ³)	d _r (g/cm ³)	% voids	(εξίσωση) (*)	% B
Άμμος Ξανθή Kourasanit	4	1.50	2.60	39.0	0.75*39.0	29.3
Άμμος Αλιάρτου	4	1.55	2.60	37.5	0.75*37.5	28.1
Άμμος Κιλκίς	4	1.55	2.65	39.0	0.75*39.0	29.3
Άμμος ποταμού Νάξου	4	1.47	2.55	40.0	0.75*40.0	30.0
Άμμος ποταμού Ερμής	4	1.39	2.40	39.0	0.75*39.0	29.3
Άμμος ποταμού Χίου	4	1.50	2.65	41.0	0.75*41.0	30.8
Άμμος μαύρη Kourasanit	8	1.55	2.60	39.0	0.75*39.0	29.3
Άμμος Ξανθιά Θεσ/νικη	4	1.50	2.55	38.5	0.75*38.5	28.9
Άμμος μέτρια Θεσ/νικη	8	1.55	2.65	40.0	0.75*40.0	30.0
Άμμος χονδρόκοικη Θεσ/νικη	8	1.70	2.65	37.0	0.75*37.0	27.8

% B, το ποσοστό της απαιτούμενης κονιάς στο μίγμα

(*) Το φαινόμενο βάρος της κονιάς (υδραυλική άσβεστος) είναι 0.75g/cm³

και χρησιμοποιείται στην εξίσωση υπολογισμού της απαιτούμενης κονιάς (%B)

30% κ.β.

Οι βέλτιστοι συνδυασμοί των αδρανών υλικών που εξετάστηκαν ως μίγματα, όπως αυτά παρουσιάστηκαν ήδη, υπενθυμίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

MIX	ΑΜΜΟΣ (A)	ΧΑΛΙΚΙ (X)	% (A)	% (X)	% mix voids
M 1	Άμμος Ξανθή	Ρυζάκι μαύρο Kourasanit	80%	20%	39.4%
M 2	Άμμος Ξανθή	Ρυζάκι Κιλκίς	80%	20%	39.6%
M 3	Άμμος Κιλκίς	Ρυζάκι μαύρο Kourasanit	85%	15%	39.3%
M 4	Άμμος Κιλκίς	Ρυζάκι Κιλκίς	85%	15%	39.5%
M 5	Άμμος Αλιάρτου	Ρυζάκι μαύρο Kourasanit	85%	15%	38.0%
M 6	Άμμος ποταμού Ερμής	Ρυζάκι μαύρο Kourasanit	75%	25%	39.5%
M 7	Άμμος ποταμού Ερμής	Ρυζάκι κόκκινο Ερμής	80%	20%	39.8%
M 8	Άμμος ποταμού Ερμής	Ρυζάκι Κιλκίς	70%	30%	39.9%
M 9	Άμμος μαύρη Kourasanit	Ρυζάκι μαύρο Kourasanit	95%	5%	39.1%
M 10	Άμμος Ξανθιά Θεσ/νικης	Ρυζάκι μαύρο Kourasanit	85%	15%	38.9%
M 11	Άμμος Ξανθιά Θεσ/νικης	Ρυζάκι Κιλκίς	85%	15%	39.0%
M 12	Άμμος ποταμού Χίου	Ρυζάκι μαύρο Kourasanit	75%	25%	41.0%
M 13	Άμμος μέτρια Θεσ/νικης	Ρυζάκι μαύρο Kourasanit	50%	50%	40.5%
M 14	Άμμος μέτρια Θεσ/νικης	Ρυζάκι Κιλκίς	60%	40%	40.8%
M 15	Άμμος χονδ/κη Θεσ/νικης	Ρυζάκι μαύρο Kourasanit	80%	20%	37.8%
M 16	Άμμος χονδ/κη Θεσ/νικης	Ρυζάκι Κιλκίς	60%	40%	39.0%

Στα παραπάνω μίγματα αδρανών ο όγκος κενών είναι μεγαλύτερος του 38% και μικρότερος του 41%. Επομένως, μπορούν να αποτελέσουν την μήτρα των αδρανών ενός υδραυλικού κονιάματος αποκατάστασης με ποσοστό κονιάς της τάξης του 30%.

Τα μίγματα αυτά των αδρανών αλλά και των άμμων ως μεμονωμένα αδρανή υλικά χρησιμοποιήθηκαν σε διάφορες συνθέσεις κονιαμάτων αποκατάστασης που διερευνήθηκαν κατά καιρούς στο εργαστήριο. Οι συνθέσεις των κονιαμάτων αποκατάστασης εξετάστηκαν ως προς την εξέλιξη των φυσικομηχανικών χαρακτηριστικών τους στο χρόνο.

Με βάση τα πιο πάνω στοιχεία, στην παρούσα εργασία παρατίθενται ενδεικτικά οι συνθέσεις των κονιαμάτων με μεμονωμένο αδρανές την άμμο Κιλκίς, την ξανθή άμμο Kourasanit και την άμμο Αλιάρτου σε ποσοστό 70%, καθώς και μίγμα αδρανών άμμος Κιλκίς - ρυζάκι Κιλκίς (85%-15%) [MIX 4] σε κονίαμα υδραυλικής ασβέστου 30% κ.β. όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα [142].

Πίνακας V.5. : Συνθέσεις κονιαμάτων αποκατάστασης

30% NHL5		
70% μίγμα αδρανών (85% άμμος Κιλκίς + 15% ρυζάκι Κιλκίς)	D_{max} : 10mm	KONIAMA I
30% NHL5		
70% άμμος Κιλκίς	D_{max} : 4mm	KONIAMA II
30% NHL5		
70% άμμος ξανθή Kourasanit	D_{max} : 4mm	KONIAMA III
30% NHL5		
70% άμμος Αλιάρτου	D_{max} : 4mm	KONIAMA IV

Παρακάτω παρατίθενται εικόνες από τα διάφορα στάδια παρασκευής των κονιαμάτων αποκατάστασης (ανάμιξη, εξάπλωση, διαμόρφωση δοκιμίων, συντήρηση, τοπική εφαρμογή σε αρμό).

Παρασκευή κονιαμάτων αποκατάστασης



Εικ.V.1.: Ανάμιξη



Εικ.V.2.: Ανάμιξη



Εικ.V.3.: Δοκιμή Εξάπλωσης



Εικ.V.4.: Δοκιμή Εξάπλωσης



Εικ.V.5.: Διαμόρφωση πρισματικών δοκιμίων



Εικ.V.6.: Διαμόρφωση πρισματικών δοκιμίων



Εικ.V.7.: Συντήρηση δοκιμίων σε θάλαμο σταθερών συνθηκών θερμοκρασίας – σχετικής υγρασίας



Εικ.V.8.: Επί τόπον εφαρμογή σε αρμό



Εικ.V.9.: Επί τόπον εφαρμογή σε αρμό



Εικ.V.10.: Επί τόπον εφαρμογή σε αρμό



Εικ.V.11.: Επί τόπον εφαρμογή σε αρμό



Εικ.V.12.: Επί τόπον διαμόρφωση δείγματος



Εικ.V.13.: Επί τόπον διαμόρφωση δείγματος

V.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Για τις παραπάνω συνθέσεις προσδιορίστηκε η ορυκτολογική τους σύσταση και η εξέλιξη των παραμέτρων μικροδομής και των μηχανικών αντοχών τους στο χρόνο. Τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται στους πίνακες και τα διαγράμματα που ακολουθούν.

V.3.1. Αποτελέσματα Ορυκτολογικής Ανάλυσης

Η περίθλαση ακτίνων Χ (XRD) επιτρέπει την ταυτοποίηση κρυσταλλικών ενώσεων που περιέχονται σε ένα δείγμα όταν η συγκέντρωσή τους δεν είναι πάρα πολύ χαμηλή.

Οι μη κρυσταλλικές φάσεις που περιέχονται στους διάφορους τύπους κονιαμάτων δεν εμφανίζουν καθαρές κορυφές αλλά προκαλούν την αύξηση του θορύβου συνήθως σε εκτεταμένες ζώνες. Τα άμορφα υλικά, όπως οι ηφαιστειογενείς ύαλοι των ποζολανών και η διαλυτή πυριτία ή οι άμορφες αργιλοπυριτικές ενώσεις που σχηματίζονται κατά την πήξη και σκλήρυνση των υδραυλικών ενώσεων, είναι δύσκολο να ταυτοποιηθούν και μπορούν πολλές φορές να καταστήσουν προβληματική την αναγνώριση των μικρότερων σε συγκέντρωση κρυσταλλικών φάσεων.

Από την περίθλαση ακτίνων Χ των κονιαμάτων λαμβάνονται αποτελέσματα ουσιαστικά ποιοτικά. Η ποσοτική ανάλυση τόσο πολύπλοκων μιγμάτων είναι αρκετά δύσκολη κάνοντας χρήση μεθόδων βαθμονόμησης με πρότυπα, λόγω του διαφορετικού βαθμού κρυσταλλικότητας των ορυκτών φάσεων στα διάφορα κονιάματα. Είναι δυνατόν όμως να εξαχθούν συμπεράσματα όσον αφορά την σχετική ποσότητα των περιεχομένων ορυκτών φάσεων (ημιποσοτική), συγκρίνοντας τις εντάσεις των αντίστοιχων κορυφών στα διάφορα φάσματα.

Η ορυκτολογική ανάλυση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τα πρότυπα Normal 27/88 [a] και Normal 34/91 [b].

Στον πίνακα V.6. παρατίθενται τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης (η ορυκτολογική σύσταση και το αντίστοιχο διάγραμμα XRD) που πραγματοποιήθηκε σε δείγματα των εξεταζόμενων κονιαμάτων σε ηλικία ωρίμανσης 6 μηνών.

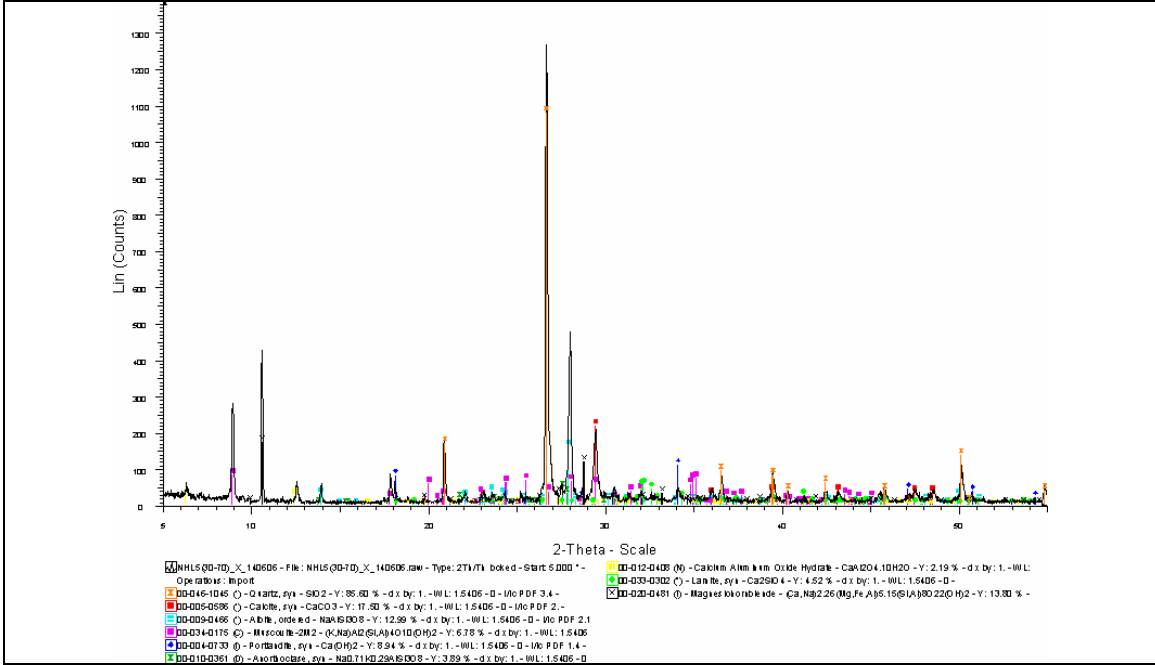
^a Normal 27/88, Caratterizzazione di una malta, CNR-ICR

^b Normal 34/91, Analisi di Materiali Arillosi mediante XRD, CNR-ICR

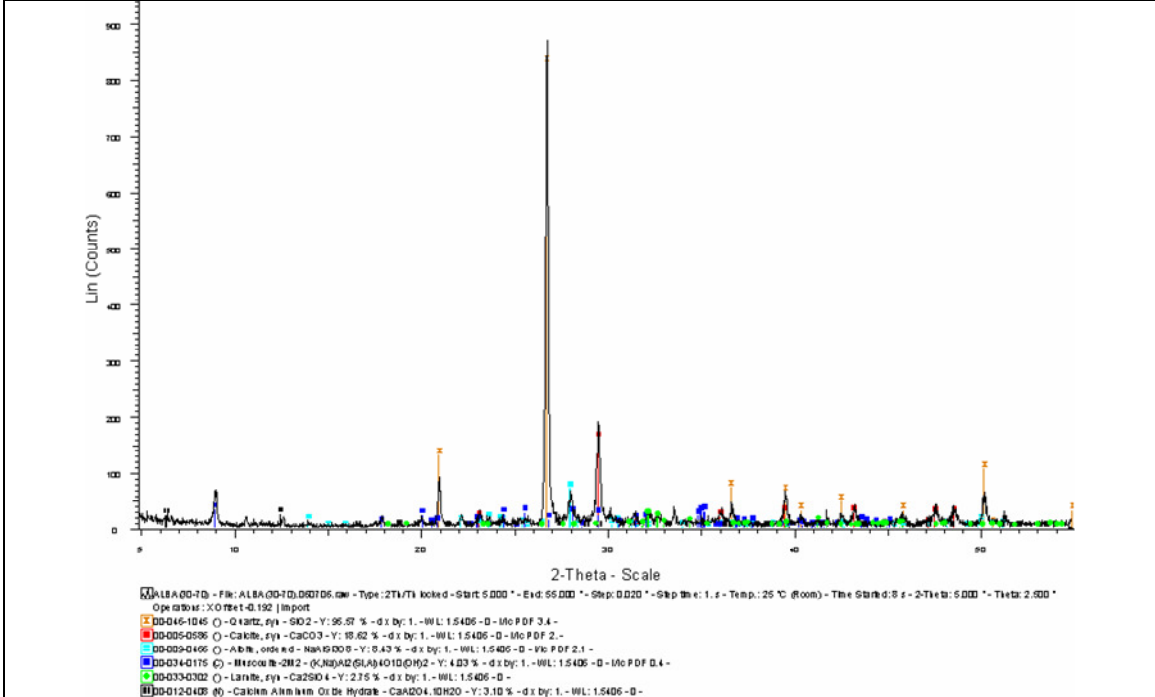
Πίνακας V.6.: Αποτελέσματα περιθλάσης ακτίνων X στο ολικό δείγμα

ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥ	
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ
KONIAMA I	<p>Χαλαζίας (SiO₂), Ασβεστίτης (CaCO₃), Πορτλαντίτης (Ca(OH)₂) Μοσχοβίτης ((K,Na)Al₂(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂) Αμφίβολος (Ca,Na)₂.26(Mg,Fe,Al)₅.15(Si,Al)₈O₂₂(OH)₂ Αλβίτης (NaAlSi₃O₈) Ανορθόκλαστο (Na_{0.71}K_{0.29}AlSi₃O₈) 3CaO.Al₂O₃.xH₂O CaO.Al₂O₃.10H₂O</p>
KONIAMA II	<p>Χαλαζίας (SiO₂), Ασβεστίτης (CaCO₃), Πορτλαντίτης (Ca(OH)₂) Μοσχοβίτης ((K,Na)Al₂(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂) Αλβίτης (NaAlSi₃O₈) Ανορθόκλαστο (Na_{0.71}K_{0.29}AlSi₃O₈) CaO.Al₂O₃.10H₂O</p>

KONIAMA III	<p>Χαλαζίας (SiO₂), Ασβεστίτης (CaCO₃), Πορτλαντίτης (Ca(OH)₂) Μοσχοβίτης ((K,Na)Al₂(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂) Αμφίβολος (Ca,Na)_{2.26}(Mg,Fe,Al)_{5.15}(Si,Al)₈O₂₂(OH)₂ Αλβίτης (NaAlSi₃O₈) Ανορθόκλαστο (Na_{0.71}K_{0.29}AlSi₃O₈) CaO·Al₂O₃·10H₂O</p>
--------------------	---



KONIAMA IV	<p>Χαλαζίας (SiO₂), Ασβεστίτης (CaCO₃) Αλβίτης (NaAlSi₃O₈) Μοσχοβίτης ((K,Na)Al₂(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂) CaO·Al₂O₃·10H₂O</p>
-------------------	---



Στα κονιάματα υδραυλικής ασβέστου, ο χαλαζίας προέρχεται από την άμμο ενώ ο ασβεστίτης από την ασβεστοποίηση του Ca(OH)₂. Οι ενυδατωμένες ασβεσταργιλικές φάσεις προέρχονται από την ενυδάτωση των ασβεσταργιλικών φάσεων της υδραυλικής ασβέστου. Οι ενυδατωμένες ασβεστοπυριτικές

φάσεις (C-S-H) που προέρχονται από την ενυδάτωση του λαρνίτη δεν δίνουν ευκρινείς κορυφές διότι είναι άμορφες.

Οι αργιλοπυριτικές φάσεις μοσχοβίτης, αλβίτης και ανορθόκλαστο είναι συνοδά ορυκτά των πρώτων υλών των υδραυλικών ασβέστων ή/και της άμμου.

Δεν υπάρχει προφανής εξήγηση για την παρουσία του αμφιβόλου στα κονιάματα I και III που πιθανά προέρχεται από την άμμο.

V.3.2. Στερεομικροσκοπική Παρατήρηση

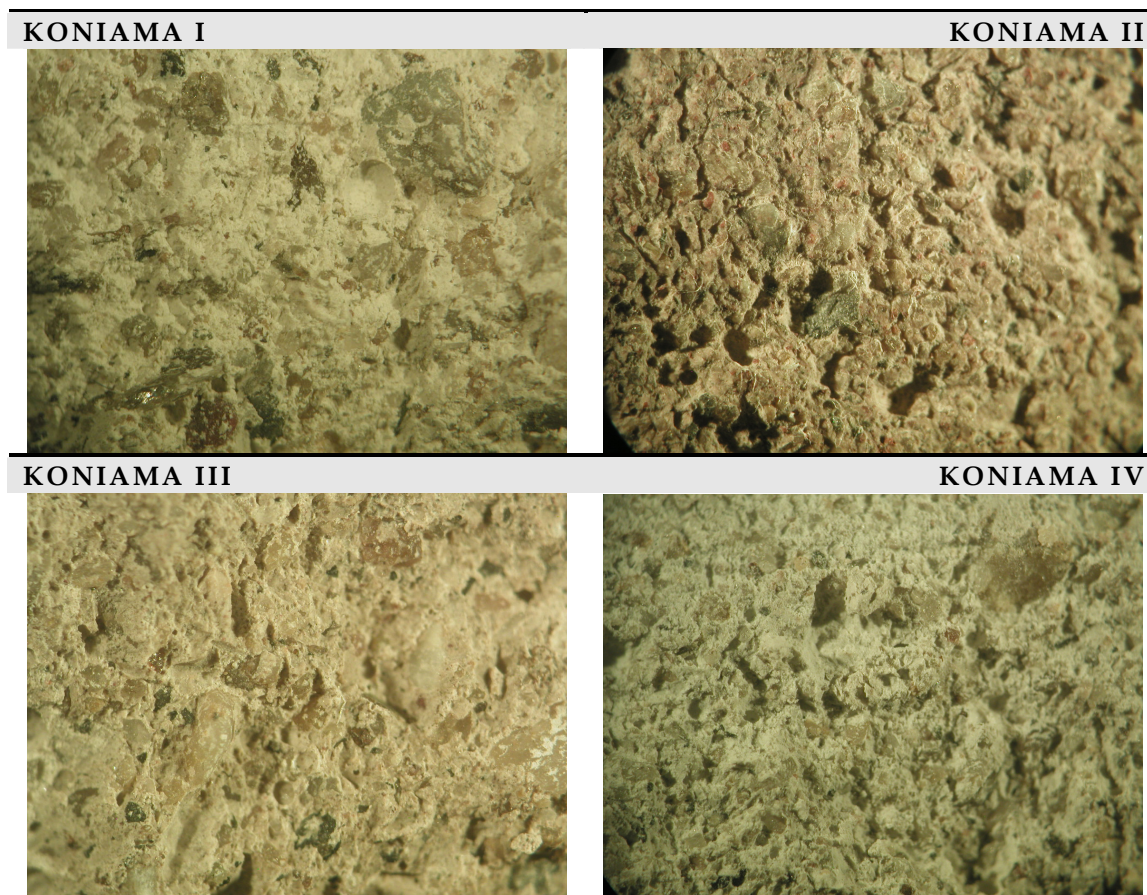


Για την μορφολογική εξέταση των κονιαμάτων που παρασκευάστηκαν χρησιμοποιήθηκε στερεομικροσκόπιο εξοπλισμένο με βιντεοκάμερα για τη λήψη εικόνων.

Εικόνες από τις λήψεις αυτές παρατίθενται ανά δείγμα στον πίνακα που ακολουθεί.

Βάσει της στερεομικροσκοπικής παρατήρησης είναι δυνατή μια πρώτη εκτίμηση της μικροδομής των εξεταζόμενων συνθέσεων, καθώς και της χρωματικής τους απόχρωσης.

Πίνακας V.7.: Εικόνες από το στερεομικροσκόπιο



Από την εξέταση των δειγμάτων στο στερεομικροσκόπιο προκύπτει ότι:

Το κονίαμα στο οποίο συμμετέχουν αδρανή μεγαλύτερου μεγέθους κόκκων και μέχρι μέγιστου κόκκου 1cm εμφανίζεται συνεκτικό, με ικανοποιητική πορώδη δομή. Οι μικρορηγματώσεις που τοπικά εμφανίζονται στη μάζα του εντοπίζονται στη διεπιφάνεια αδρανών και κονιάς. Τα κονιάματα υδραυλικής ασβέστου με αδρανή άμμους μέγιστου κόκκου 4mm χαρακτηρίζονται από πιο συνεκτική δομή. Η διαφοροποιήσεις στην χρωματική τους απόχρωση οφείλονται στα διαφορετικά αδρανή, δεδομένου ότι χρησιμοποιείται ο ίδιος τύπος συνδετικού υλικού.

V.3.3. Αποτελέσματα Παραμέτρων Μικροδομής

Η πορομετρία υδραργύρου αποτελεί μέθοδο προσδιορισμού του ολικού πορώδους ενός δείγματος. Το πορόμετρο υδραργύρου επιτρέπει τη χρήση ακανόνιστων και μικρών διαστάσεων δείγματα κονιάματος για την εκτέλεση της μέτρησης, όπως ακριβώς αυτά λαμβάνονται από μια ιστορική τοιχοποιία.

Η κατανομή των διαμέτρων των πόρων με τον όγκο των κενών είναι ένα δεδομένο χρήσιμο, παρά τους περιορισμούς που τίθενται από την ίδια την μέθοδο, δεδομένου ότι υιοθετεί το κυλινδρικό μοντέλο πόρων. Συγκριτικά οι κατανομές μπορούν να αποτελέσουν ένα χρήσιμο εργαλείο για τη διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών των κονιαμάτων. Οι κατανομές μπορούν να διαφοροποιούνται ανάλογα με την φύση της κονιάς (π.χ. τα κονιάματα με τσιμέντο εμφανίζουν μια υπεροχή σε πολύ μικρούς πόρους, ενώ τα κονιάματα με ασβέστη παρουσιάζουν συνήθως ένα μεγάλο ποσοστό μεγαλύτερων πόρων) [143, 144].

Το πορώδες επηρεάζεται αρκετά από τις συνθήκες εφαρμογής του κονιάματος και κυρίως από το νερό ανάμιξης, καθώς και από την συμπίεση που υφίσταται το κονίαμα κατά την εφαρμογή του. Επίσης, το πορώδες των αδρανών επηρεάζει σημαντικά το αποτέλεσμα της μέτρησης [143].

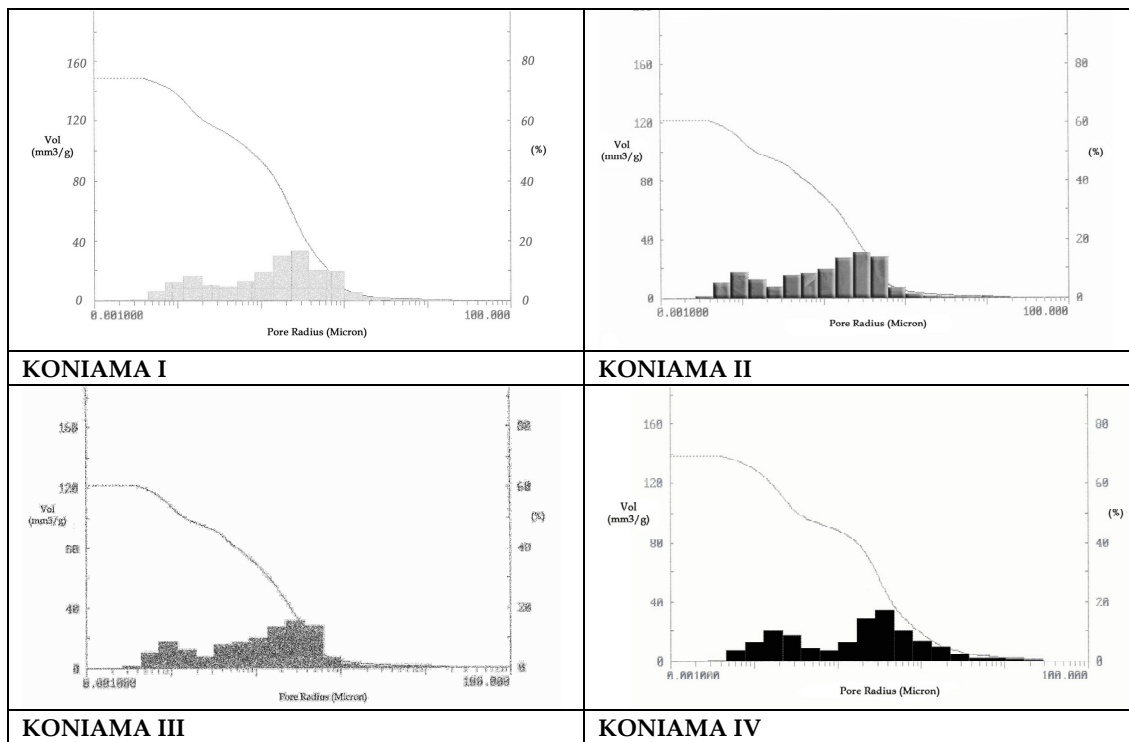
Οι παράμετροι μικροδομής που προσδιορίζονται με την πορομετρία υδραργύρου είναι: ο ολικό ειδικό όγκος (mm^3/g), η φαινόμενη πυκνότητα (g/cm^3), η διορθωμένη φαινόμενη πυκνότητα (g/cm^3), το ολικό πορώδες (%), η μέση ακτίνα πόρων (μm) και η ειδική επιφάνεια (m^2/g).

Το ολικό πορώδες ενός κονιάματος σχετίζεται, κατά προσέγγιση, με την μηχανική αντοχή του. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ο συσχετισμός που παρατηρήθηκε στη μελέτη κονιαμάτων από 40 μνημεία, παράλληλα με τον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών των αντίστοιχων τοιχοποιιών [143,145].

Οι πορομετρίες που παρατίθενται παρακάτω πραγματοποιήθηκαν με πορόμετρο υδραργύρου (*Porosimeter 2000*) σε δείγματα δοκιμίων των εξεταζόμενων κονιαμάτων σε ηλικία ωρίμανσης 6 μηνών.

Πίνακας V.8.: Παράμετροι μικροδομής - Πορομετρία υδραργύρου

Κωδικός Δείγματος	Ολικός ειδικός όγκος (mm^3/g)	Μέση ακτίνα πόρων (<i>Micron</i>)	Φαινόμενη πυκνότητα (g/cm^3)	Ειδική επιφάνεια (m^2/g)	Ολικό πορώδες (%)
KONIAMA I	148.35	0.257	1.91	7.62	28.33
KONIAMA II	121.38	0.421	2.01	7.52	24.39
KONIAMA III	144.27	0.329	1.93	4.50	27.84
KONIAMA IV	138.28	0.323	2.01	6.86	27.79



Τα κονιάματα υδραυλικής ασβέστου παρουσιάζουν σχετικά χαμηλό πορώδες.

Οι κατανομές μεγέθους πόρων είναι δικόρυφες με τάση προς τους πόρους μικρότερης ακτίνας. Χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές ειδικής επιφάνειας, οι οποίες αποδίδονται ως επί το πλείστον στην παρουσία του αδέσμευτου $\text{Ca}(\text{OH})_2$ που εμφανίζεται συχνά στις συνθέσεις με υδραυλική ασβέστο.

Η μικροδομή αυτή επιτρέπει την διαπνοή των κονιαμάτων στην τοιχοποιία, ειδικότερα μέσω της συμμετοχής των πόρων μεγάλης ακτίνας, και την συμβατότητά τους με τα παραδοσιακά δομικά υλικά.

Η μικροδομή διαφοροποιείται καθώς τα συστήματα αυτά σταθεροποιούνται.

V.3.4. Αποτελέσματα Μηχανικών Αντοχών

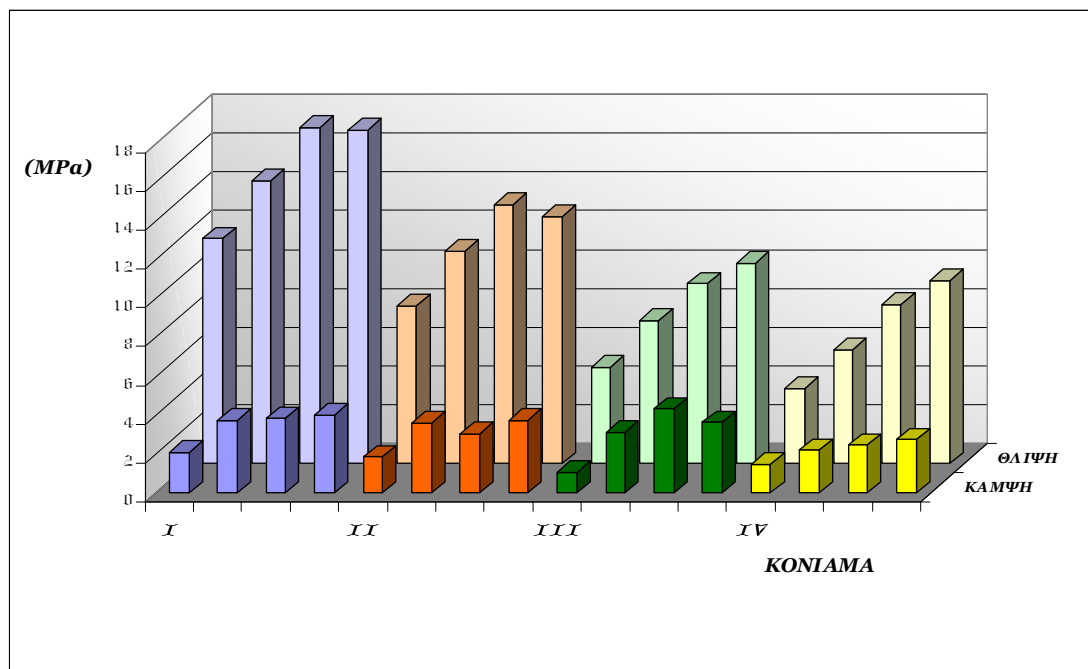
Στον πίνακα και στα αντίστοιχα ιστογράμματα που ακολουθούν παρατίθενται τα αποτελέσματα των μηχανικών αντοχών (μέσες τιμές αντοχών κάμψης & θλίψης) των εξεταζόμενων κονιαμάτων σε διάφορες ηλικίες, όπως προέκυψαν από την εξέταση πρισματικών δοκιμών [Εικ.V.14-V.21] σε πρόσσα θραύσης δοκιμών χαμηλού φορτίου (Whykeham Farrance 100kN). Οι δοκιμές αφορούν σε προσδιορισμό της αντοχής σε κάμψη τριών σημείων και σε προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής μέσω μονοαξονικής φόρτισης.

Πίνακας V.9.: Μηχανικές αντοχές εξεταζόμενων κονιαμάτων

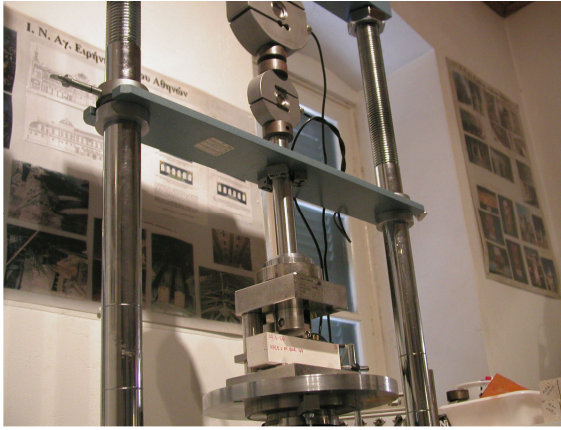
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΗΛΙΚΙΑ	ΚΑΜΨΗ Ff (MPa)	ΘΛΙΨΗ Fc (MPa)	Ff/Fc
ΚΟΝΙΑΜΑ I	(1m)	2.09	11.61	0.18
	(3m)	3.74	14.62	0.26
	(6m)	3.84	17.36	0.22
	(9m)	4.03	17.23	0.23
ΚΟΝΙΑΜΑ II	(1m)	1.86	8.15	0.23
	(3m)	3.63	10.95	0.33
	(6m)	3.06	13.34	0.23
	(9m)	3.75	12.74	0.29
ΚΟΝΙΑΜΑ III	(1m)	1.09	5.01	0.22
	(3m)	3.12	7.39	0.42
	(6m)	4.33	9.28	0.47
	(9m)	3.64	10.36	0.35
ΚΟΝΙΑΜΑ IV	(1m)	1.48	3.90	0.38
	(3m)	2.20	5.89	0.37
	(6m)	2.47	8.20	0.30
	(9m)	2.75	9.46	0.29

όπου,

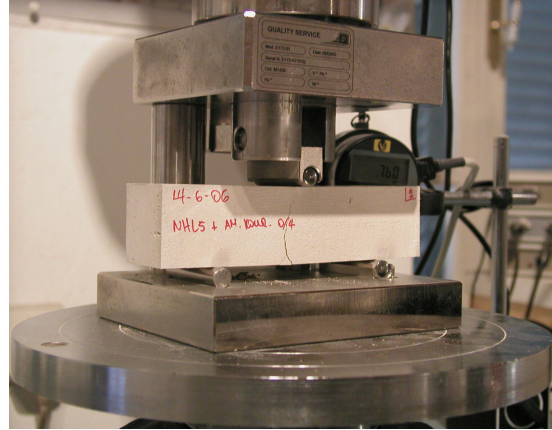
Ff/Fc ο λόγος καμπτικής προς θλιπτική αντοχή



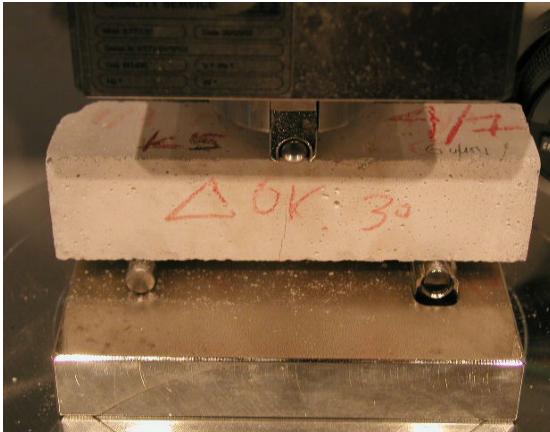
Διάγραμμα V.2: Διάγραμμα εξέλιξης μηχανικών αντοχών συνθέσεων κονιαμάτων αποκατάστασης



Εικ.V.14.: Δοκιμή αντοχής σε κάμψη



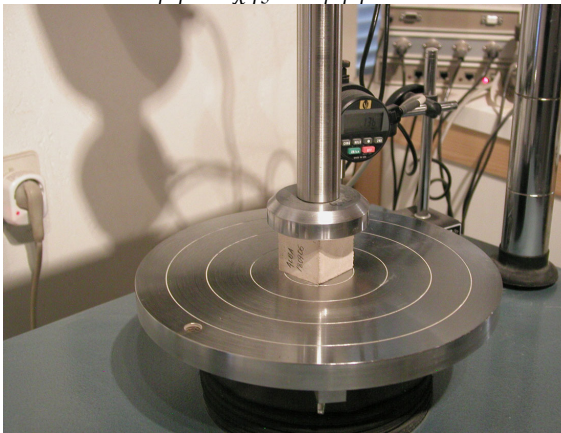
Εικ.V.15.: Δοκιμή αντοχής σε κάμψη



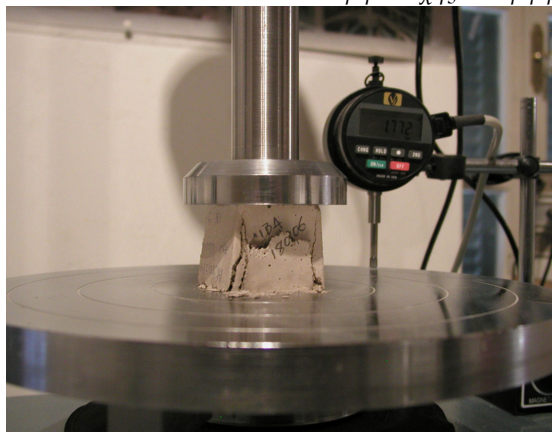
Εικ.V.16.: Δοκιμή αντοχής σε κάμψη



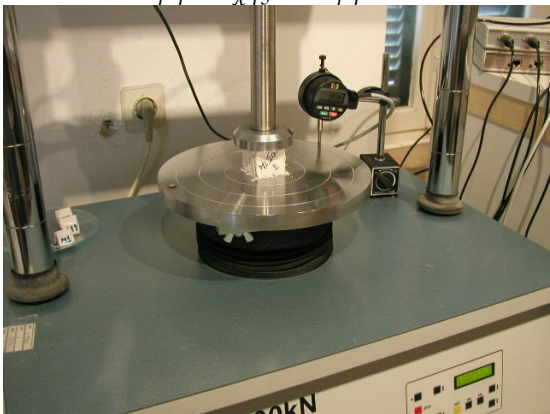
Εικ.V.17.: Δοκιμή αντοχής σε κάμψη



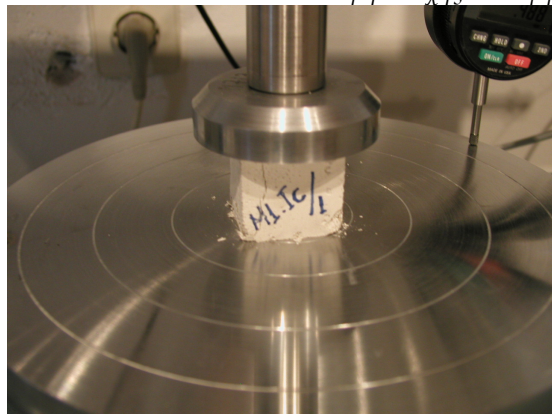
Εικ.V.18.: Δοκιμή αντοχής σε θλίψη



Εικ.V.19.: Δοκιμή αντοχής σε θλίψη



Εικ.V.20.: Δοκιμή αντοχής σε θλίψη



Εικ.V.21.: Δοκιμή αντοχής σε θλίψη

Ρυθμός Φόρτισης
Κάμψη: 0,05mm/min
Θλίψη: 0,10mm/min



Όλα τα κονιάματα χαρακτηρίζονται από λόγο κονιάς/αδρανών : 1 / 2,3, με ποσοστό κονιάς 30% και ποσοστό αδρανών 70%.

Στις άμμους ποταμού 0/4 και στα μίγματα αδρανών άμμου-χαλικιών (0/10) που εξετάζονται και χρησιμοποιούνται ευρέως στα έργα αποκατάστασης, όπου το κ.ο. ποσοστό κενών κυμαίνεται στο εύρος 39-40%, η απαίτηση σε κονία υδραυλικής φύσεως είναι της τάξης του 30% κ.β. στο μίγμα.

Στο κονιάμα όπου συμμετέχει μίγμα αδρανών (άμμοι-χαλίκια) οι προσλαμβανόμενες αντοχές στο χρόνο είναι, όπως αναμενόταν, υψηλότερες, λόγω του μεγαλύτερου μέγιστου κόκκου αδρανών (εν προκειμένω D_{max} : 10mm).

Στα κονιάματα όπου χρησιμοποιείται μεμονωμένο αδρανές άμμος ποταμού (D_{max} : 4mm) παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στις τιμές των μηχανικών αντοχών, οι οποίες αποδίδονται στα διαφορετικά φυσικά χαρακτηριστικά των άμμων. Συγκριτικά, υψηλότερες τιμές μηχανικών αντοχών εμφανίζει η σύνθεση (II) με άμμο ποταμού Κιλκίς.

Ήδη από τον 6^ο μήνα ωρίμανσης φαίνεται μια τάση σταθεροποίησης των τιμών των μηχανικών αντοχών των εν λόγω συνθέσεων που οφείλεται στην υδραυλική φύση της κονιάς.

Γενικά, οι τιμές των μηχανικών αντοχών είναι ικανοποιητικές και εμπίπτουν στα πλαίσια των αντοχών που χαρακτηρίζουν, βάσει της βιβλιογραφίας, συμβατά κονιάματα αποκατάστασης [123,127]. Αύξηση του κ.β. ποσοστού υδραυλικής κονιάς στο μίγμα οδηγεί μεν σε υψηλότερες τιμές μηχανικών αντοχών, ταυτόχρονα όμως τα κονιάματα χαρακτηρίζονται από περίσσεια κονιάς, η οποία οδηγεί τελικά σε συρρίκνωση του υλικού και ευκολότερη αποσάθρωση του κονιάματος.

Για τον λόγο αυτό το ποσοστό της κονιάς στο μίγμα θα πρέπει να είναι άμεσα ανάλογο του ποσοστού του όγκου των κενών των αδρανών που χρησιμοποιούνται.

Στον πίνακα που ακολουθεί συγκεντρώνεται οι τιμές των φαινόμενων πυκνοτήτων των εξεταζόμενων κονιαμάτων που προσδιορίστηκαν κατά την διεξαγωγή τόσο της τεχνικής της πορομετρίας υδραργύρου όσο και κατά τις μετρήσεις μηχανικών αντοχών (θλίψης).

Πίνακας V.10.: Φαινόμενες πυκνότητες εξεταζόμενων κονιαμάτων

Κωδικός Σύνθεσης	πυκνότητα (g/cm ³)	
	Μέσω Πορομετρίας Hg	Μέσω γεωμετρίας δείγματος
KONIAMA I	1.91	1,95
KONIAMA II	2.01	1,99
KONIAMA III	1.93	1,93
KONIAMA IV	2.01	1,98

Οι φαινόμενες πυκνότητες των δοκιμίων των κονιαμάτων αποκατάστασης που εξετάζονται προσδιορίστηκαν τόσο μέσω της πορομετρίας υδραργύρου, δεδομένου ότι αποτελούν μετρούμενη παράμετρο μικροδομής, όσο και κατά την εκτέλεση των δοκιμών για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής, μετρώντας τις διαστάσεις των εξεταζόμενων κυβικών δοκιμίων και την μάζα τους. Οι τιμές που προσδιορίζονται με τις δύο τεχνικές δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες αποκλίσεις. Σημειώνεται ότι τα κονιάματα υδραυλικής ασβέστου χαρακτηρίζονται από τιμές φαινόμενης πυκνότητας που κυμαίνονται στο εύρος 1.90-2.00g/cm³.

Η παραπάνω μεθοδολογία διαμόρφωσης και εξέτασης μιγμάτων κονιαμάτων αποκατάστασης μπορεί να αποτελέσει εφελτήριο για την περαιτέρω διερεύνηση ενός πλήθους συνθέσεων κονιαμάτων αποκατάστασης με διάφορα αδρανή υλικά ή μίγματα αδρανών υλικών προκειμένου (α) να καταγραφεί η επίδραση των χαρακτηριστικών τους (β) να καθοριστούν τα ποσοστά συμμετοχής των πρώτων υλών και (γ) να είναι δυνατή η πρόβλεψη της πορώδους δομής και των μηχανικών αντοχών συνθέσεων κονιαμάτων αποκατάστασης.

VI. ΓΕΝΙΚΗ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΡΟΛΟΥ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας εντάσσεται στο γενικότερο πλαίσιο της έρευνας που διεξάγεται σε κονιάματα αποκατάστασης και επικεντρώνεται στην ανάπτυξη της μεθοδολογίας διερεύνησης των χαρακτηριστικών των αδρανών, προκειμένου να αξιολογηθεί η επίδρασή τους και να εκτιμηθεί ο ρόλος τους στις ιδιότητες, στη μικροδομή (πορώδη δομή) και στις μηχανικές αντοχές των κονιαμάτων αποκατάστασης.

Από τη στιγμή που η χρήση σε ιστορικές τοιχοποιίες κονιαμάτων με βάση το τσιμέντο άρχισε να διαφαίνεται ως προβληματική, δημιουργήθηκε η αναγκαιότητα επιστροφής σε κονιάματα αποκατάστασης με χρήση παραδοσιακών υλικών ή υλικών που να εμφανίζουν συμβατότητα με τα αυθεντικά δομικά υλικά ιστορικών κατασκευών. Η έρευνα που πραγματοποιείται τα τελευταία χρόνια σε διεθνές επιστημονικό επίπεδο επικεντρώνεται στον σχεδιασμό συμβατών κονιαμάτων αποκατάστασης.

Αν και ο όρος συμβατότητα επιδέχεται διαφορετικές ερμηνείες με βάση τα βιβλιογραφικά δεδομένα, επί της ουσίας αφορά σε κριτήρια και όρια αποδοχής συγκεκριμένων φυσικοχημικών ιδιοτήτων των κονιαμάτων αποκατάστασης.

Γενικά στη βιβλιογραφία υπάρχουν αναφορές που εξετάζουν την επίδραση των αδρανών υλικών στα κονιάματα από άποψη χημικής σύστασης ή μεγέθους κόκκων ή ποσοστού λεπτόκοκκου υλικού, ενώ εξετάζονται και μεμονωμένες συνθέσεις κονιαμάτων ως προς τις προσλαμβανόμενες μηχανικές αντοχές.

Ελάχιστες είναι οι αναφορές που επικεντρώνονται σε αυτή καθ'αυτή την παραμετροποίηση της κοκκομετρικής καμπύλης για λόγους συγκριτικής εκτίμησης των αδρανών και ως επί τω πλείστον βρίσκουν εφαρμογή σε εδαφοτεχνικές μελέτες και σε σκυροδέματα.

Μια από τις σημαντικότερες διαφοροποιήσεις που εντοπίζεται στη βιβλιογραφία και στα συστήματα κατάταξης των αδρανών υλικών (classification systems) είναι τα διαφορετικά όρια που τίθενται στο μέγεθος των κόκκων των αδρανών. Παρόλο που τα όρια είναι κοντινά, διαφορετικά συστήματα κατάταξης χρησιμοποιούν διαφορετικά εύρη μεγεθών κόκκων (size ranges), γεγονός που έχει να κάνει με την πρότυπη σειρά κοσκίνων που κάθε φορά χρησιμοποιείται.

Για παράδειγμα τα όρια μεταξύ άμμου και παιπάλης/ιλύος λαμβάνονται συνήθως στα 63 ή 75 μ m, ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο σύστημα κατάταξης.

Στην εν λόγω εργασία, ως παιπάλη αδρανούς υλικού λαμβάνεται το κλάσμα το διερχόμενο από το κόσκινο οπής 63 μ m (P63 ή <63 μ m), δεδομένου ότι η κοκκομετρική ανάλυση άμμων διεξάγεται σε σειρές κοσκίνων κατά EN (ευρωπαϊκό πρότυπο).

Το όριο μεταξύ άμμου (sand) και χάλικα (gravel) μπορεί να λαμβάνεται και στα 2mm και σε μερικά συστήματα στα 2,36mm. Εν προκειμένω, οι άμμοι που εξετάζονται και που χρησιμοποιούνται συνήθως σε έργα αποκατάστασης έχουν εύρος κοκκομετρίας 0/4mm, επομένως τα 4mm λαμβάνονται ως μέγιστο όριο. Τα υλικά με κόκκους μεγαλύτερους των 4mm, που γενικά ονομάζονται χάλικες, αναφέρονται στην εργασία αυτή και ως ρυζάκια (εμπειρική ονομασία), τα οποία ουσιαστικά αφορούν στα πιο λεπτά κλάσματα των χαλίκων και έως 10mm μέγιστη διάμετρο κόκκου. Πάνω από 10mm (1cm) τα αδρανή χαρακτηρίζονται ως χαλίκια.

Τα παραπάνω σημειώνονται ως παραδοχές που έγιναν και αφορούν στη συγκεκριμένη εργασία.

Με σημείο αναφοράς το μέγεθος του μέγιστου κόκκου τους, τα αδρανή υλικά μπορούν να συγκριθούν μέσω των κοκκομετρικών τους καμπυλών επί του ημιλογαριθμικού διαγράμματος. Αποδεικνύεται ότι, η κοκκομετρική καμπύλη και η κατανομή μεγέθους κόκκων ενός αδρανούς ή μίγματος αδρανών που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή κονιαμάτων αποκατάστασης αποτελεί τυπικό και ουσιαστικό χαρακτηριστικό τους, καθώς μέσω των χαρακτηριστικών της κοκκοδιαβάθμισης είναι δυνατό να καθοριστούν σε πρώτη φάση τα απαιτούμενα ποσοστά ανάμιξης των πρώτων υλών για την παρασκευή εργάσιμων μιγμάτων κονιαμάτων. Τα χαρακτηριστικά της κοκκομετρικής καμπύλης διατυπώνονται μέσω κρίσιμων παραμέτρων και δεικτών. Για τον λόγο αυτό οι κατανομές αντιμετωπίζονται ως κατανομές συχνοτήτων και στατιστικά μεταβλητών παραμέτρων. Μέσω της καταγραφής των πειραματικών δεδομένων γίνεται μετάβαση στην μαθηματική/στατιστική μοντελοποίησή τους.

Εν προκειμένω, εξετάζονται άμμοι που χαρακτηρίζονται κατά βάση από μέγιστο κόκκο D_{4mm} και πληρούν το κριτήριο της καθαρότητας, δηλαδή το ποσοστό της παιπάλης είναι χαμηλό και τουλάχιστον μικρότερο του 2%.

Οι κοκκομετρικές καμπύλες των εξεταζόμενων άμμων αποτελούν μέσες καμπύλες που προέκυψαν ως μέσος όρος πειραματικών δεδομένων που λαμβάνονταν από κάθε παρτίδα υλικού κατά την κοκκομέτρησή του. Οι καμπύλες αυτές συγκεντρώνονται σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα, όπου το “νέφος” των καμπυλών ορίζει μια συγκεκριμένη περιοχή επί του διαγράμματος, που μπορεί να οριοθετηθεί με άνω και κάτω όρια (κατώφλια). Σημειώνεται ότι η περιοχή αυτή είναι κλειστή στα ποσοστά “0” και “100” καθώς τα αδρανή που εξετάζονται αντιμετωπίζονται ως καθαρά υλικά (δεν προσμετρώνται το ποσοστό της παιπάλης).

Η παραπάνω περιοχή στο διάγραμμα χαρακτηρίζεται από ένα εύρος ποσοστού όγκου κενών (% voids), όπως αυτό προκύπτει από τις καμπύλες των επί μέρους άμμων. Υπολογίστηκε ότι για άμμους με μέγιστο κόκκο D_{4mm} η μέση τιμή του όγκου των κενών είναι **39%** κ.β.

Ομοίως, στις περιπτώσεις που εξετάστηκαν μίγματα αδρανών με μέγιστο κόκκο D_{10mm}, με αποδεκτές ομαλές κοκκομετρικές καμπύλες, το αντίστοιχο “νέφος” καμπυλών, μετατοπισμένο πάνω στο ημιλογαριθμικό διάγραμμα, εμφανίζει μέσο ποσοστό όγκου κενών περίπου **40%** κ.β.

Προφανώς η διαφορά στα παραπάνω ποσοστά δεν είναι σημαντική, λόγω του ότι τα ποσοστά συμμετοχής του κλάσματος των αδρόκοκκων υλικών στα μίγματα αδρανών είναι χαμηλά.

Ανάλογα με τη φύση της κονιάς και με βάση τα παραπάνω ποσοστά όγκου κενών των αδρανών, προκύπτει ένα ποσοστό απαίτησης σε κονία, το οποίο στην περίπτωση κονιαμάτων υδραυλικού χαρακτήρα δεν ξεπερνά σε ποσοστό το **30%**, δεδομένου ότι το ποσοστό αυτό εξαρτάται άμεσα από την φαινόμενη πυκνότητα της κονιάς που επιλέγεται.

Βάσει των παραπάνω, παραδείγματα αποκαταστάσεων όπου έχουν εφαρμοστεί κονιάματα με ποσοστά συμμετοχής κονιάς της τάξης του 40% ή 50% κ.β., δηλαδή με λόγους κονιάς/αδρανή (B/A) 1/1.5 ή 1/1 αντίστοιχα, θα πρέπει να αναθεωρηθούν, λόγω του αδικαιολόγητα αυξημένου ποσοστού κονιάς στο μίγμα, που προκαλεί ανεπιθύμητα φαινόμενα συρρίκνωσης κατά την σκλήρυνση.

Παρόλο που κατά την εξέταση και αναγνώριση αυθεντικών κονιαμάτων ιστορικών τοιχοποιιών υπάρχουν περιπτώσεις που αυτά χαρακτηρίζονται από λόγο κονιάς/αδρανών (B/A) ακόμα και 1/1 ή 1/1,5, είναι παρακινδυνευμένο να εφαρμόζονται κονιάματα αποκατάστασης με τέτοιους λόγους B/A. Δεδομένου, άλλωστε, ότι τα αυθεντικά υλικά έχουν υποστεί φαινόμενα φθοράς είναι πιθανό το αυξημένο ποσοστό κονιάς που υπολογίζεται κατά την εργαστηριακή ανάλυση να οφείλεται και σε αποσάθρωση του πλέγματος των αδρανών.

Σε ένα γενικότερο πλαίσιο, το ποσοστό της κονιάς που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα κονιάμα αποκατάστασης καθορίζεται από το πλέγμα των αδρανών, ενώ η επιλογή του τύπου και της φύσης της κονιάς εξαρτάται και από την ανάγκη συμβατότητας με τα αυθεντικά υλικά της προς αποκατάσταση τοιχοποιίας/κατασκευής.

Ως προς την βέλτιστη αναλογία κονιάς/αδρανών (B/A) κατά τον σχεδιασμό (*Mix Design*) κονιαμάτων αποκατάστασης, συγκεντρώνονται στη βιβλιογραφία διάφορες αναφορές που άλλοτε εμφανίζουν ως ικανοποιητικό το λόγο 1/4 και άλλοτε τον λόγο 1/3. Στην παρούσα εργασία διαμορφώνεται ένα πλαίσιο και μια μεθοδολογία εκτίμησης του λόγου αυτού και άρα του ποσοστού της απαίτησης σε κονία στο μίγμα, που κατά περίπτωση καθορίζεται από τα ίδια τα χαρακτηριστικά των αδρανών, παραμετροποιώντας την κοκκομετρική τους καμπύλη και κατανομή και ορίζοντας κρίσιμους δείκτες για τον χαρακτηρισμό τους, καθώς και το επί τοις εκατό περιεχόμενο του όγκου των κενών μεταξύ των κόκκων τους (% voids).

Ο παράγοντας κονία, η φύση και τα χαρακτηριστικά της είναι μεν ουσιώδη και επηρεάζουν σημαντικά τη μελέτη σύνθεσης των κονιαμάτων αποκατάστασης, ωστόσο, με βάση τη μεθοδολογία που αναπτύσσεται στην παρούσα εργασία, τα κρίσιμα μεγέθη που διαμορφώνουν σε πρώτη φάση τα ποσοστά συμμετοχής των πρώτων υλών σε μια μελέτη σύνθεσης κονιάματος προκύπτουν από τα χαρακτηριστικά της κοκκομετρικής καμπύλης και της κατανομής μεγέθους κόκκων των αδρανών.

Με βάση την εμπειρία επί της πρακτικής της παρασκευής και εφαρμογής κονιαμάτων αποκατάστασης, σημειώνονται τα εξής:

- ❖ Σε πρώτο στάδιο, διαμορφώνεται το πλέγμα των αδρανών, επιτυγχάνοντας μια ευρεία και ομαλή κοκκομετρική καμπύλη και κατανομή κόκκων που δεν παρουσιάζει ελλείψεις σε συγκεκριμένες κλάσεις κόκκων, δεδομένου ότι τα αδρανή αποτελούν τον βασικό σκελετό του κονιάματος
- ❖ Από τη στιγμή που θα προσδιοριστεί ο επί τοις εκατό όγκος κενών μεταξύ των κόκκων του αδρανούς ή του μίγματος των αδρανών που επιλέγονται – είτε μέσω θεωρητικού υπολογισμού είτε πειραματικά – καθορίζεται και το ποσοστό της απαιτούμενης στο μίγμα κονιάς, μέσω της φαινόμενης πυκνότητάς της. Σε δεύτερο στάδιο εξετάζονται τα χαρακτηριστικά και οι απαιτήσεις του παράγοντα κονία.
- ❖ Το ποσοστό των κενών του πλέγματος των αδρανών, που μεταφράζεται σε ποσοστό απαίτησης σε κονία σε μια μελέτη σύνθεσης κονιάματος αποκατάστασης είναι σημαντικό, προκειμένου να παρασκευαστούν εργάσιμα μίγματα χωρίς περίσσεια κονιάς (*excess binder*), που οδηγεί σε φαινόμενα συρρίκνωσης και κατά συνέπεια σε μικρορηγματώσεις κατά την σκλήρυνση και ωρίμανση του κονιάματος.
- ❖ Γενικά, είναι λάθος τα αδρανή να επιλέγονται μόνο βάσει της απόχρωσής τους
- ❖ Είναι λάθος τα αδρανή να εκτιμώνται μόνο βάσει του μέγιστου κόκκου τους (D_{max})

Σε ειδικότερο πλαίσιο, επί της μεθοδολογίας διερεύνησης των αδρανών που εξετάζονται, σημειώνεται ότι:

Η μεθοδολογία που εφαρμόζεται παρέχει μια αξιόπιστη ανάλυση των αδρανών υλικών προκειμένου να επιτευχθεί η συγκριτική τους αξιολόγηση. Κάθε παράμετρος ή κρίσιμος δείκτης ξεχωριστά, που υπολογίζεται είτε γραφικά από την κοκκομετρική καμπύλη είτε μέσω στατιστικής επεξεργασίας της κατανομής μεγέθους κόκκων, δεν μπορεί να αποδώσει αντιπροσωπευτικά τις ιδιότητες ενός αδρανούς. Ο συνδυασμός όμως όλων των κρίσιμων δεικτών και παραμέτρων μπορούν να καταγράψουν με ικανοποιητικό τρόπο τα χαρακτηριστικά των αδρανών και την επίδρασή τους στη συμπεριφορά του κονιάματος αποκατάστασης.

Οι άμμοι που εξετάστηκαν επιλέχθηκαν από ένα πλήθος αδρανών υλικών που κατά καιρούς δοκιμάστηκαν στο εργαστήριο, με πρωταρχικό κριτήριο την καθαρότητά τους (απουσία προσμίξεων, χαμηλό ποσοστό παιπάλης). Είναι κατά κύριο λόγο άμμοι ποταμού,

με χαμηλές τιμές συντελεστή λεπτότητας στο εύρος {2,0-4,0} και περίσσεια λεπτόκοκκου κλάσματος (θετικές τιμές ασυμμετρίας *skewness*). Οι άμμοι αυτού του τύπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μεμονωμένα αδρανή για την παρασκευή κονιαμάτων αρμολόγησης σε αρμούς πάχους 1,5-2cm.

Οι κοκκομετρικές καμπύλες και κατανομές των υλικών αυτών παραμετροποιήθηκαν σύμφωνα με την μεθοδολογία που αναπτύχθηκε και εξήχθησαν οι χαρακτηριστικοί κρίσιμοι δείκτες. Από την ίδια την κλίση των κοκκομετρικών καμπυλών προκύπτει ως βασική συλλογιστική του σχεδιασμού μίγμάτων κονιαμάτων αποκατάστασης (*Mix Design*) ότι: όσο πιο μικρή η κλίση και άρα πιο ευρεία και ομαλή η κοκκομετρική καμπύλη, τόσο μικρότερος είναι ο όγκος των κενών, και άρα τόσο μικρότερο το ποσοστό της κονιάς που απαιτείται για την πλήρωση των κενών του αδρανούς (άμμου) κατά τον σχεδιασμό ενός μίγματος κονιάματος.

Επιπλέον, οι τιμές ασυμμετρίας και κύρτωσης που προσδιορίστηκαν από την στατιστική επεξεργασία μέσω Παραμετρικής Στατιστικής Ανάλυσης (*Descriptive Statistics Analysis*) των δεδομένων των κοκκομετρικών αναλύσεων, υποδηλώνουν μη συμμετρικές κατανομές με περίσσεια κόκκων μικρής διαμέτρου (λεπτού κλάσματος), δεδομένου ότι πρόκειται για λεπτόκοκκα υλικά φυσικών αποθέσεων.

Χρήση ενός αδρανούς, με τα χαρακτηριστικά των άμμων που εξετάστηκαν, για την παρασκευή κονιάματος αποκατάστασης οδηγεί κατά τον σχεδιασμό σε ποσοστό απαίτησης σε κονιά που δεν μπορεί να ξεπερνά το 30% κ.β., με την παραδοχή ότι η κονιά που χρησιμοποιείται είναι υδραυλική.

Από τις μαθηματικές συσχετίσεις που ακολούθησαν προέκυψε ότι, άμμοι των οποίων η κοκκομετρική καμπύλη μπορεί να εκφραστεί ικανοποιητικά (υψηλές τιμές συντελεστή συσχέτισης R^2) από την εξίσωση $y^1 = a + b/x^2$ χαρακτηρίζονται από ποσοστό όγκου κενών της τάξης του 39%.

Ο συντελεστής λεπτότητας (F.M.) του αδρανούς επηρεάζει ευθέως την ποσότητα του νερού που απαιτείται κατά την ανάμιξη για την παρασκευή μίγματος κονιάματος. Όσο πιο μικρός είναι ο συντελεστής λεπτότητας και άρα όσο πιο λεπτόκοκκο το αδρανές, τόσο αυξάνεται η απαίτηση σε νερό του κονιάματος.

Ωστόσο, το κατά πόσον η ευθεία αυτή συσχέτιση είναι και μαθηματικά γραμμική αποτελεί αντικείμενο περαιτέρω διερεύνησης, με συγκέντρωση μεγαλύτερου αριθμού πειραματικών δεδομένων σε μίγματα νωπών κονιαμάτων.

Ανάλογες διαπιστώσεις μπορούν να γίνουν και στις περιπτώσεις όπου δεν χρησιμοποιείται μεμονωμένο αδρανές, αλλά μίγμα αδρανών υλικών με διαφορετικούς μέγιστους κόκκους (D). Γενικά, η δημιουργία ενός μίγματος αδρανών τα οποία ως μεμονωμένα υλικά είναι μεταξύ τους διαφορετικά και χαρακτηρίζονται από διαφορετικές παραμέτρους είναι μια διαδικασία σχετικά περίπλοκη που απαιτεί επαναλαμβανόμενες δοκιμές διαφορετικών ποσοστών συμμετοχής των επί μέρους υλικών στο μίγμα. Σαφώς η επιλογή των ποσοστών συμμετοχής των επί μέρους αδρανών στο συνολικό μίγμα δεν θα πρέπει να είναι τυχαία. Τα ποσοστά θα πρέπει να οδηγούν σε μια κοκκομετρική καμπύλη μίγματος ευρεία και ομαλή, η οποία δεν θα παρουσιάζει ελλείψεις υλικού στις διάφορες κλάσεις κόκκων.

Τα όποια ποσοστά συμμετοχής των αδρόκοκκων υλικών στο μίγμα των αδρανών επηρεάζουν την τελική κοκκομετρική καμπύλη στους χονδρότερους κόκκους και δεν έχουν συμμετοχή στους κόκκους μικρότερης διαμέτρου (περιοχή άμμου), μετατοπίζοντας την κοκκομετρική καμπύλη επί του ημιλογαριθμικού διαγράμματος προς τα δεξιά, δηλ. προς κόκκους μεγαλύτερης διαμέτρου, καθιστώντας την ταυτόχρονα πιο ευρεία.

Κατά μέσο όρο το ποσοστό του όγκου των κενών στα μίγματα των αδρανών που επιλέχθηκαν και εξετάστηκαν ως αποδεκτά είναι της τάξης του 40%. Και πάλι με την παραδοχή ότι η κονιά που χρησιμοποιείται είναι υδραυλικής φύσης και για μέγιστο κόκκο

αδρανών $D=10\text{mm}$, το ποσοστό της απαίτησης σε κονία για την παρασκευή μίγματος κονιάματος δεν ξεπερνά το 30% κ.β.

Με την εφαρμογή των παραπάνω στον σχεδιασμό κονιαμάτων αποκατάστασης, εξετάστηκαν επί μέρους συνθέσεις κονιαμάτων με κονία υδραυλικής φύσης τύπου NHL5. Η υδραυλική κονία επιλέχθηκε δεδομένου ότι αποτελεί ένα υλικό που χρησιμοποιείται ευρέως στις αποκαταστάσεις τα τελευταία χρόνια. Στη μία από τις συνθέσεις που εξετάστηκαν χρησιμοποιήθηκε μίγμα αδρανών με μέγιστο κόκκο $D=10\text{mm}$, ενώ στις υπόλοιπες συνθέσεις χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές άμμοι ποταμού με μέγιστο κόκκο $D=4\text{mm}$, που προορίζονται ως επί τω πλείστον για κονιάματα αρμολόγησης τοιχοποιιών. Το ποσοστό της κονίας που χρησιμοποιήθηκε είναι 30% κ.β. και ο λόγος κονίας/αδρανών (B/A) 1/2,3.

Οι συνθέσεις των κονιαμάτων εξετάστηκαν ως προς τα χαρακτηριστικά της μικροδομής και των προσλαμβανόμενων μηχανικών αντοχών κατά τον χρόνο ωρίμανσής τους.

Από τα αποτελέσματα προκύπτουν σχετικά χαμηλές τιμές πορώδους, της τάξης του 25%-28% για τα υδραυλικά αυτά κονιάματα, με δικόρυφες κατανομές πόρων και τάση προς πόρους μέσης και μικρότερης ακτίνας. Στόχος είναι η επίτευξη συνεκτικής δομής που να επιτρέπει ωστόσο την διαπνοή των κονιαμάτων.

Ως προς τις μηχανικές αντοχές (κάμψη, θλίψη), οι υψηλότερες τιμές χαρακτηρίζουν το κονίαμα στο οποίο μετέχει μίγμα αδρανών με τον μεγαλύτερο μέγιστο κόκκο. Οι συνθέσεις με αδρανή μεμονωμένες άμμους μέγιστου κόκκου $D=4\text{mm}$ εμφανίζουν παραπλήσιες τιμές αντοχών που εμπίπτουν στα όρια των αντοχών που τίθενται στη βιβλιογραφία για συμβατά κονιάματα αποκατάστασης, προκειμένου να αποφεύγονται έντονες μηχανικές τάσεις στα αυθεντικά δομικά υλικά των προς αποκατάσταση ιστορικών τοιχοποιιών. Οι μηχανικές αντοχές των συγκεκριμένων συνθέσεων εμφανίζουν την τάση να σταθεροποιούνται σε διάστημα 6-9 μηνών ωρίμανσης.

*Προκειμένου να γίνουν πιο διακριτά τα βήματα που ακολουθούνται στην μεθοδολογία που εξετάζεται, παρατίθεται παρακάτω ένα **διάγραμμα ροής**, στο οποίο σημειώνονται τα βασικά βήματα που ακολουθούνται κατά την μελέτη σύνθεσης ενός κονιάματος αποκατάστασης.*

Η μελέτη ξεκινά από την επιλογή των κατάλληλων αδρανών υλικών.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ

Μελέτης Σύνθεσης κονιαμάτων αποκατάστασης



Απαιτούμενο D_{max}

Προσδιορισμός απαιτούμενου μέγιστου κόκκων αδρανών, ανάλογα με τις διαστάσεις του αρμού της τοιχοποιίας όπου πρόκειται να εφαρμοστεί



Επιλογή αδρανούς (άμμου) ή μίγματος αδρανών

Επιλέγονται τα αδρανή ώστε να διαμορφώνεται ευρεία και ομαλή κοκκομετρική καμπύλη και κατανομή μεγέθους κόκκων



Ποσοστό Κενών (% voids) Αδρανών

Προσδιορίζονται είτε θεωρητικά είτε πειραματικά τα επί τοις εκατό κατά βάρος περιεχόμενα κενά στο πλέγμα των αδρανών



Επιλογή Κονιάς

Επιλέγεται η φύση και ο τύπος της κονιάς ανάλογα με τις απαιτήσεις εφαρμογής του προς εξέταση κονιάματος (κονίαμα υδραυλικής φύσης, ασβεστιτικό κλπ) και υπολογίζεται η φαινόμενη πυκνότητα του υλικού (d_f g/cm³)



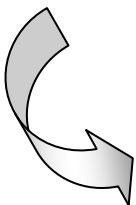
Προσδιορισμός % κ.β. απαίτησης σε κονία

Προσδιορίζεται η απαίτηση % κ.β. σε κονία στο μίγμα πολλαπλασιάζοντας το ποσοστό των κενών των αδρανών με τη φαινόμενη πυκνότητα της κονιάς



Προσδιορισμός απαιτούμενου νερού στο μίγμα

Από τον συντελεστή λεπτότητας (F.M.) των αδρανών, όπως αυτός υπολογίζεται γραφικά από την κοκκομετρική καμπύλη των αδρανών, υπολογίζεται μέσω της γραμμικής συσχέτισης η απαιτούμενη ποσότητα νερού για την παρασκευή εργάσιμου μίγματος



Εκτίμηση μικροδομής – μηχανικών αντοχών

Είναι δυνατή η γενική πρόβλεψη της πορώδους δομής και των τελικών μηχανικών αντοχών του κονιάματος με βάση τον μέγιστο κόκκο των αδρανών, το ποσοστό της περιεχόμενης κονιάς και τη φύση αυτής και τον χρησιμοποιούμενο λόγο κονιάς/αδρανών.

VII. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Η μεθοδολογία της παραμετρικής διερεύνησης των αδρανών υλικών και ο καθορισμός κρίσιμων παραμέτρων που χαρακτηρίζουν κάθε αδρανές υλικό, όπως αναπτύχθηκαν στην παρούσα εργασία, αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την εμπειριστατωμένη επιλογή των καταλληλότερων πρώτων υλών (αδρανών υλικών), για την παρασκευή επισκευαστικών κονιαμάτων που εφαρμόζονται σε έργα αποκατάστασης.

Οι χαρακτηριστικές στατιστικές παράμετροι που προσδιορίζονται λειτουργούν ως εργαλεία χρήσιμα για την συγκριτική αξιολόγηση των διαφορετικών διατιθέμενων αδρανών υλικών.

Η *παραμετρική διερεύνηση* που παρουσιάστηκε στην παρούσα εργασία θα πρέπει να ακολουθείται παράλληλα με την επιλογή του τύπου και της φύσης της κονιάς, κατά τον σχεδιασμό των κονιαμάτων αποκατάστασης (*MIX DESIGN*). Το πρώτο στάδιο του σχεδιασμού αφορά στην παραμετρική διερεύνηση των αδρανών υλικών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν.

Πιο συγκεκριμένα, αφορά στον προσδιορισμό των κοκκομετρικών καμπυλών και κατανομών των αδρανών, στην εξέταση της αναγκαιότητας χρήσης περισσοτέρων του ενός αδρανούς (μίγμα αδρανών) στην περίπτωση που απαιτείται μεγαλύτερος μέγιστος κόκκος αδρανούς για την εφαρμογή σε αρμούς μεγαλύτερου πάχους, στον προσδιορισμό των κρίσιμων δεικτών που χαρακτηρίζουν μια κοκκομετρική καμπύλη, προκειμένου να εξεταστεί αν αυτή είναι τελικά αποδεκτή για να χρησιμοποιηθεί στη σύνθεση κονιάματος αποκατάστασης.

Σημειώνεται ότι από ορισμένες παραμέτρους όπως ο συντελεστής λεπτότητας (*Fineness Modulus*) είναι δυνατό να εκτιμηθεί το απαιτούμενο νερό για την παρασκευή εργάσιμου μίγματος κονιάματος, ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα εξίδρωσης ή συρρίκνωσης κατά την πήξη και σκλήρυνσή του.

Στην παρούσα εργασία συγκεντρώθηκαν και διερευνήθηκαν περαιτέρω αδρανή υλικά που είναι απαλλαγμένα από ανεπιθύμητες προσμίξεις και χαρακτηρίζονται από αποδεκτές κοκκομετρικές κατανομές. Οι κατανομές αυτές αντιμετωπίστηκαν ως κατανομές συχνοτήτων στις οποίες εφαρμόστηκε μαθηματική και στατιστική επεξεργασία καθώς και γραφικός προσδιορισμός των χαρακτηριστικών κρίσιμων δεικτών και παραμέτρων. Ουσιαστικά έγινε εφαρμογή των κρίσιμων δεικτών που χρησιμοποιούνται ευρέως στην εδαφομηχανική και την ιζηματολογία σε αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται σε κονιάματα αποκατάστασης.

Βάσει των κρίσιμων δεικτών που προσδιορίζονται γραφικά (*Mediana, Q3, Q1, So, D60, D10, Cu, F.M.*), των δεικτών που υπολογίζονται κατά την στατιστική επεξεργασία μέσω *Descriptive Statistics Analysis* (*Media, Moda, kurtosis, skewness*), των φυσικών χαρακτηριστικών φαινόμενης και πραγματικής πυκνότητας και ποσοστού όγκου κενών (*% voids*), που αποτελεί μια από τις κρίσιμότερες παραμέτρους σχεδιασμού κατά το *Mix Design* ενός επισκευαστικού κονιάματος, είναι δυνατό να παρασκευαστούν κονιάματα με ικανοποιητικά φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά και τελική συμπεριφορά στο χρόνο (αποφυγή φαινομένων περίσσειας κονιάς, απόμιξης, συρρίκνωσης, τριβής, ασυνεχειών στις κοκκομετρικές κατανομές των αδρανών με έλλειψη συγκεκριμένων κλάσεων κόκκων).

Παρακάτω συνοψίζονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την έρευνα.

- Προϋπόθεση για την σύγκριση αδρανών υλικών μεταξύ τους είναι αυτά να χαρακτηρίζονται από τον ίδιο μέγιστο κόκκο (D_{max}).

- Για τον συνδυασμό διαφορετικών αδρανών (άμμοι, χαλίκια), πρέπει να ακολουθείται η αναλυτική μεθοδολογία που παρουσιάζεται, προκειμένου να εξαχθούν οι βέλτιστες κοκκομετρικές καμπύλες με ομαλή κατανομή κόκκων και χωρίς ασυνέχειες.
- Δεν είναι πάντα εφικτός ο συνδυασμός διαφορετικών αδρανών σε μίγμα. Για να “συνεργάζονται” δύο ή περισσότερα αδρανή υλικά μεταξύ τους προϋπόθεση είναι η κοκκομετρική καμπύλη που εξάγεται να μην εμφανίζει ασυνέχειες και κενά στις διάφορες κλάσεις κόκκων.
- Όπως παρουσιάστηκε και στα overlay διαγράμματα των κοκκομετρικών κατανομών αδρανών με τον ίδιο μέγιστο κόκκο (D_{max}), όσο η καμπύλη ενός αδρανούς ή μίγματος αδρανών μετατοπίζεται προς τα αριστερά, προς μικρότερο μέγεθος κόκκου επί τον άξονα των x του ημιλογαριθμικού διαγράμματος, τόσο αυξάνεται το ποσοστό του όγκου των κενών των αδρανών και επομένως τόσο αυξάνεται και το ποσοστό της απαίτησης σε κονία στο μίγμα του κονιάματος κατά τον σχεδιασμό του.
- Το ποσοστό του όγκου των κενών (% voids) των αδρανών υλικών αποτελεί κρίσιμη παράμετρο σχεδιασμού, καθώς καθορίζει το ποσοστό της απαίτησης σε κονία στη σύνθεση του επισκευαστικού κονιάματος. Το ποσοστό αυτό της κονίας υπολογίζεται κατά βάρος μέσω της φαινόμενης πυκνότητας της κονίας που θα χρησιμοποιηθεί.
- Ο προσδιορισμός του όγκου των κενών μπορεί να πραγματοποιηθεί τόσο θεωρητικά, μέσω της φαινόμενης και πραγματικής πυκνότητας του αδρανούς, όσο και πειραματικά στο εργαστήριο υπολογίζοντας τον όγκο του καθαρού νερού που απαιτείται για την κάλυψη των κενών συγκεκριμένης μάζας αδρανούς που καταλαμβάνει ελεύθερα (χωρίς πάκτωση) τον όγκο πρότυπου κυλίνδρου χωρητικότητας 1lt.
- Αδρανή με ευρεία και ομαλή κατανομή απαιτούν μικρότερη ποσότητα κονίας από ότι αδρανή με συγκεντρωμένες κατανομές π.χ. δίκκοκα ή μονόκκοκα, γεγονός που επιτρέπει να περιορίζονται φαινόμενα συρρίκνωσης και μικρορηγματώσεων κατά την ωρίμανση του κονιάματος.
- Διαμορφώνονται συγκεκριμένες περιοχές κοκκομετρικών καμπυλών με άνω και κάτω κατώφλια, τόσο για άμμους με μέγιστο κόκκο $D=4\text{mm}$, όσο και για μίγματα άμμων/χαλικιών με μέγιστο κόκκο $D=10\text{mm}$. Οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένο ποσοστό όγκου κενών (% voids).
- Αδρανή με μέγιστο κόκκο $D=4\text{mm}$ ή $D=10\text{mm}$, που οι κοκκομετρικές τους καμπύλες εμπίπτουν στα όρια των συγκεκριμένων περιοχών χαρακτηρίζονται με ικανοποιητική προσέγγιση από το συγκεκριμένο ποσοστό όγκου κενών (~39-40%κ.ο.).
- Για τις τιμές αυτές των κενών το ποσοστό απαίτησης σε κονία δεν μπορεί να υπερβαίνει το 30% κ.β.
- Ο συντελεστής λεπτότητας (Fineness Modulus) ενός αδρανούς υπολογίζεται από τα δεδομένα της κοκκομετρικής ανάλυσης και επηρεάζει την τελική απαίτηση σε νερό για την παρασκευή εργάσιμου κονιάματος. Όσο πιο χαμηλή είναι η τιμή του συντελεστή λεπτότητας, δηλαδή όσο πιο λεπτόκοκκο το αδρανές, τόσο μεγαλύτερη είναι η απαίτηση σε νερό.
- Γενικά, ο όγκος που καταλαμβάνεται από τα αδρανή και από τα κενά μεταξύ των κόκκων τους εξαρτάται από την κατανομή των κόκκων, από το μέγεθος και το σχήμα των κόκκων, από την γωνιότητά τους. Αυξανόμενης της γωνιότητας αυξάνεται και το περιεχόμενο των κενών μεταξύ των κόκκων των αδρανών.
- Θραυστά αδρανή με γωνιώδεις κόκκους απαιτούν περισσότερο νερό για την παρασκευή εργάσιμου μίγματος κονιάματος.
- Ο συνολικός όγκος των κενών μπορεί να μειωθεί με χρήση μίγματος αδρανών.
- Αύξηση του νερού ανάμιξης μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τις αντοχές του κονιάματος αν δεν διατηρηθεί ο λόγος νερού/κονία (w/b).
- Από τις τιμές που λαμβάνουν οι χαρακτηριστικοί δείκτες ασυμμετρίας (skewness) και κύρτωσης (kurtosis) της κοκκομετρικής καμπύλης μπορεί να προκύψει μια πρώτη εκτίμηση της προέλευσης του αδρανούς, εφ’ όσον αυτή δεν είναι γνωστή. Συνήθως μια

τέτοια “ανάγνωση” των αδρανών χρησιμεύει στις περιπτώσεις ανάλυσης υαυχόντων κονιαμάτων σε ιστορικά κτίρια. Η ασυμμετρία είναι θετική όταν υπάρχει περίσσεια λεπτόκοκκων υλικών και αρνητική όταν υπάρχει περίσσεια χονδρόκοκκων υλικών στο μίγμα των αδρανών που εξετάζεται. Η κύρτωση είναι θετική όταν η κατανομή παρουσιάζεται πιο οξεία από την log-κανονική και αρνητική όταν παρουσιάζεται αμβλεία σε σχέση με την κανονική κατανομή [95].

Η διαδικασία ελέγχου και παραμετρικής διερεύνησης των αδρανών όπως παρουσιάστηκε αποτελεί σημαντικό κομμάτι του σχεδιασμού (*Mix Design*) ενός κονιάματος αποκατάστασης και δεν θα πρέπει να παραβλέπεται όπως γίνεται συνήθως. Πριν τη χρήση ενός αδρανούς θα πρέπει να εξετάζεται εάν αυτό είναι ικανό να χρησιμοποιηθεί σε μίγμα κονιάματος και από τις ιδιότητές του ουσιαστικά να προδιαγράφονται και οι υπόλοιπες παράμετροι σχεδιασμού της σύνθεσης του κονιάματος.

Ως προς την ποιοτική εκτίμηση των χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος, αυτή είναι δυνατή με την συγκέντρωση των αποτελεσμάτων που αφορούν σε χαρακτηριστικά μικροδομής και μηχανικών αντοχών κονιαμάτων αποκατάστασης σε βάση δεδομένων όπου θα συγκεντρώνονται συνθέσεις κονιαμάτων αποκατάστασης με διαφορετικούς τύπους αδρανών ή μιγμάτων αδρανών υλικών.

Η προσπάθεια αυτή έχει ήδη ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια στο Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών του ΕΜΠ σε συνεργασία με τη Διεύθυνση Τεχνικών Ερευνών Αναστήλωσης του ΥΠΠΟΤ, όπου έχει εξεταστεί ένας μεγάλος αριθμός τόσο αδρανών υλικών όσο και επισκευαστικών κονιαμάτων με την μεθοδολογία που αναπτύσσεται στην παρούσα εργασία.

Έτσι είναι δυνατό να εκτιμάται η συμπεριφορά στο χρόνο κονιάματος στο οποίο έχει χρησιμοποιηθεί συγκεκριμένη άμμος ή μίγμα αδρανών διαφόρων μέγιστων κόκκων (D_{max}), ανάλογα με την εφαρμογή, σε συνδυασμό με διαφορετικά ήδη κονιών.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν ενδεικτικά συνθέσεις επισκευαστικών κονιαμάτων αρμολόγησης. Τα κριτήρια που αναπτύχθηκαν με την μεθοδολογία που εξετάστηκε βρήκαν εφαρμογή σε μία περίπτωση ενός τύπου κονιαμάτων υδραυλικής κονίας με αδρανή διαφορετικής κοκκομετρίας και μέγιστου κόκκου, αποτυπώνοντας μερικώς την συμπεριφορά κονιαμάτων αποκατάστασης υδραυλικού χαρακτήρα. Το κομμάτι αυτό της έρευνας μπορεί να επεκταθεί και στην παρασκευή περισσότερων κατηγοριών κονιαμάτων με διάφορους τύπους κονιών και διαφορετικά αδρανή, είτε αυτά είναι μεμονωμένες άμμοι είτε μίγματα άμμων / χαλικιών, προκειμένου να διευρυνθεί η βάση δεδομένων με τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά τέτοιου τύπου κονιαμάτων, τα οποία βρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε έργα αποκατάστασης ιστορικών κτιρίων.

Η χρήση των κρίσιμων δεικτών που παραμετροποιούν και χαρακτηρίζουν τα αδρανή υλικά και θέτουν κριτήρια για την καταλληλότητα αδρανών θα μπορούσε να ενταχθεί σε τεχνικές προδιαγραφές που θα αφορούν ειδικές περιπτώσεις κονιαμάτων αποκατάστασης που παρασκευάζονται με λεπτόκοκκα αδρανή και εφαρμόζονται σε εργασίες αποκατάστασης ιστορικών τοιχοποιιών.

Στόχος είναι η δημιουργία ευρείας βάσης δεδομένων με διάφορα αδρανή υλικά του εμπορίου ή φυσικών αποθέσεων παραθέτοντας αναλυτικά όλα τα φυσικά τους χαρακτηριστικά αλλά και τους κρίσιμους δείκτες που προκύπτουν από την παραμετροποίηση της κοκκομετρικής τους κατανομής. Ο στόχος είναι διττός: η δυνατότητα συγκριτικής αξιολόγησης αδρανών υλικών μεταξύ τους και ο έλεγχος της σταθερότητας της ποιότητάς τους.

Τέλος, ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη είναι η ομοιομορφία και η σταθερότητα στις παρτίδες των αδρανών υλικών, ώστε να μην διαφοροποιούνται τα χαρακτηριστικά των επισκευαστικών κονιαμάτων που παρασκευάζονται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και σε διαφορετικά έργα. Η παράμετρος αυτή αφορά κυρίως στις εταιρείες διάθεσης των πρώτων υλών και συγκεκριμένα των αδρανών υλικών και προς την κατεύθυνση αυτή έχει γίνει ήδη προσπάθεια με συγκεκριμένη κωδικοποίηση των διατιθέμενων υλικών και τακτικό έλεγχο της σταθερότητας στις παρτίδες των αδρανών υλικών.

1. *Moropoulou, A., Bakolas, A., Bisbikou, K.*, "Characterization of ancient, byzantine and later historic mortars by thermal analysis and X-ray diffraction techniques", *Thermochimica Acta*, 269/270 (1995) pp. 779-795
2. *Bakolas, A., Biscontin, G., Moropoulou, A., Zendri, E.*, "Characterization of the lumps in the mortars of historic masonry", *Thermochimica Acta*, 269/270 (1995) pp. 809-816
3. *Bakolas, A., Biscontin, G., Contardi, V., Franceschi, E., Moropoulou, A., Palazzi, D., Zendri, E.*, "Thermoanalytical research on traditional mortars in Venice", *Thermochimica Acta*, 269/270 (1995) pp. 817-828
4. *Moropoulou, A., Tsiourva, T., Bisbikou, K., Biscontin, G., Bakolas, A., Zendri, E.*, "Hot lime technology imparting high strength to historic mortars", *Construction and Building Materials*, 10, No 2 (1996) pp. 151-159
5. *Moropoulou, A., Biscontin, G., Bakolas, A., Bisbikou, K.*, "Technology and behavior of rubble masonry mortars", *Construction and Building Materials*, 11, No 2 (1997) pp. 119-129
6. *Moropoulou, A., Bakolas, A., Michailidis, P., Chronopoulos, M., Spanos, Ch.*, "Traditional technologies in Crete providing mortars with effective mechanical properties", *Structural Studies of Historical Buildings IV*, ed. C.A. Brebbia, and B. Leftheris, Computational Mechanics Publications, Southampton Boston, Vol. 1 (1995) pp. 151-161
7. *Bakolas, A., Biscontin, G., Moropoulou, A., Zendri, E.*, "Physico-chemical characteristics of traditional mortars in Venice", *Structural Studies of Historical Buildings IV*, ed. C.A. Brebbia and B. Leftheris, Computational Mechanics Publications, Southampton Boston, Vol. 1 (1995) pp. 187-194
8. *Moropoulou, A., Biscontin, G., Bakolas, A., Bisbikou, K., Theoulakis, P., Theodoraki, A., Zendri, E.*, "Physico-chemical investigation on characterisation and behaviour of rubble masonry mortars 'Calcestruzzo da Sacco Murario'", *Scienza e Beni Culturali IX*, ed. G. Biscontin, D. Mietto, Publ. Libreria Progetto Editore Padova (1993) pp. 373-387
9. *Moropoulou, A., Biscontin, G., Bisbikou, K., Bakolas, A., Theoulakis, P., Theodoraki, A., Tsiourva, T.*, "Physico-chemical study of adhesion mechanisms among binding material and brick fragments in 'Coccio Pesto'", *Scienza e Beni Culturali IX*, ed. G. Biscontin, D. Mietto, Publ. Libreria Progetto Editore Padova (1993) pp. 415-429
10. *Moropoulou, A., Maravelaki-Kalaitzaki, P., Borboudakis, M., Bakolas, A., Michailidis, P., Chronopoulos, M.*, "Historic mortars technologies in Crete and guidelines for compatible restoration mortars", *PACT, J. European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology*, 55 (1998) pp. 55-72

11. *Biscontin, G., Bakolas, A., Zendri, E., Bertoncello, R., Tondello, E., Moropoulou A.*, "Interactions between mortar and brick in the traditional masonry", in Proc. Eighth CIMTEC, World Ceramics Congress, Florence (1994) p.37
12. *Moropoulou, A., Biscontin, G., Bakolas, A., Michailidis, P., Basiotis, J.*, "Historic mortars in Mediterranean Monuments", in Proc. 4th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, ed. A. Moropoulou, F. Zezza, E. Kollias & I. Papachristodoulou, Publ. Technical Chamber of Greece, Rhodes, Vol. 3 (1997) pp. 213-237
13. *Moropoulou, A., Bakolas, A., Bisbikou, K.*, "Investigation of the technology of historic mortars", *J. Cultural Heritage*, 1 (2000) pp. 45-58
14. *Moropoulou, A., Bakolas, A., Bisbikou, K.*, "Physico-chemical adhesion and cohesion bonds in joint mortars imparting durability to the historic structures", *Construction and Building Materials*, 14, No 1 (2000) pp. 35-46
15. *Moropoulou, A., Aggelakopoulou E., Bakolas, A.*, "Sustainable traditional building materials and techniques", 1st Materials Science Forum on Future Sustainable Technologies, Materials in Sustainable Technologies", Ausburg, Germany (2002)
16. *Moropoulou, A., Polikreti, K., Bakolas, A., Michailidis*, "Correlation of physico-chemical and mechanical properties of historical mortars and classification by multivariate statistics", *Cement and Concrete Research*, 33 [6] (2003) pp. 891-898
17. *Moropoulou, A., Bakolas, A., Anagnostopoulou, S.*, "Composite materials in ancient structures", *Cement and Concrete Composites*, 27 (2005) 295-300
18. *MAINSTONE R.J.*, "Hagia Sophia: Architecture, Structure and Liturgy of Justinian' s Great Church", Thames and Hudson, London, 1988
19. *Moropoulou, A., Cakmak, A.S., Bakolas, A., Labropoulos, K., Bisbikou, K.*, "Properties and Technology of the crushed brick mortars of Hagia Sophia", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering VII*, ed. A.S. Cakmak and C.A. Brebbia, Computational Mechanics Publications, Southampton Boston (1995) pp. 651-661
20. *Moropoulou, A., Cakmak, A., Biscontin, G.*, "Crushed brick / lime mortars of Justinian's Hagia Sophia", *Materials Issues in Art and Archaeology V*, Vol. 462, ed. P.B. Vandiver, J.R. Druzik, J.F. Merkel, J. Stewart, Publ. Materials Research Society, Pittsburgh (1997) pp. 307-316
21. *Moropoulou, A., Cakmak, A.S., Biscontin, G.*, "Criteria and methodology to evaluate the Hagia Sophia crushed brick / lime mortars", *PACT, J. European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology*, 55 (1998) pp. 39-54
22. *Moropoulou, A., Cakmak, A.S., Biscontin, G., Bakolas, A., Zendri, E.*, "Advanced Byzantine cement based composites resisting earthquake stresses: The crushed brick-lime mortars of Justinian's Hagia Sophia", *Construction and Building Materials*, 16 [18] (2002) pp. 543-552
23. *Moropoulou, A., Cakmak, A.S., Polykreti, K.*, "Provenance and technology investigations of the Agia Sophia bricks", *J. American Ceramic Society*, 85 [2] (2002) pp. 366-372
24. *A. Μοροπούλου*, «Η Ελληνική Συμβολή στη Συντήρηση της Αγιά-Σοφιάς» TEE, Αθήνα (2010) σ. 250

25. *Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Aggelakopoulou, E.*, "Reverse engineering: A proper methodology for compatible restoration of mortars", Int. Workshop on Repair Mortars for Historic Masonries, RILEM Technical Committee, Delft University of Technology, the Netherlands (2005)
26. *Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Cakmak A.S.*, "Compatible restoration mortars, preparation and evaluation for Hagia Sophia earthquake protection", PACT, J. European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology, 56 (1998) pp. 79-118
27. *Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Anagnostopoulou, S., Aggelakopoulou, E.*, "Compatible restoration mortars for the earthquake protection of Hagia Sophia", PACT, J. European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology, 59 (2000) pp. 29-51
28. *Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, A.*, "Thermal analysis in the evaluation of compatible restoration mortars during setting and hardening", in Proc. Int. Conf. on 4th Mediterranean Conference on Calorimetry and Thermal Analysis, ed. G.C. Papanicolaou, G. Parisakis, Patras (1999) pp. 179 – 186
29. *Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Avdelidis, N.P.*, «Evaluation of compatibility between restoration mortars and traditional building materials by the control of the microstructure», in Proc. «Conoscenze e Sviluppo di Criteri per la Definizione e Valutazione della Compatibilita nelle Malte per il Restauro», Scienza e Beni Culturali, Bressanone (2000) p. 71-78
30. *Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Michailidis, P.*, "Evaluation of compatibility between repair mortars and building materials in historic structures by the control of the microstructure of cement-based systems", Concrete Science and Engineering, 2 (2000) pp. 191-195
31. *Moropoulou, A., Bakolas, A., Aggelakopoulou, E.*, "The effects of limestone characteristics and calcination temperature to the reactivity of quicklime" Cement and Concrete Research, 31 (2001) pp. 633-639
32. *Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Aggelakopoulou, E., Anagnostopoulou, S.*, "Optimization of compatible restoration mortars for the protection of Hagia Sophia", in Proc. 2nd Int. Cong. Studies in Ancient Structures, Istanbul Vol. 2 (2001), pp. 519-529
33. *Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas P., Aggelakopoulou, E.*, «Simulating and ameliorating historic mortars by repair mortars, produced by traditional raw materials», in Proc. 2nd Chemical Engineering Conf. for Collaborative Research in Eastern Mediterranean, Ankara (2001)
34. *Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Aggelakopoulou, E., Anagnostopoulou, S.*, "Design and evaluation of restoration mortars for historic masonry using traditional materials and production techniques", Materials Issues in Art and Archaeology VI, Vol. 712, ed. P. Vandiver, M. Goodway, J.R. Druzik, J.L. Mass, Publ. Materials Research Society, Pittsburgh (2002) pp. 77-82
35. *Moropoulou A., Aggelakopoulou E., Athanasiadou K., Xatziantoniou K., Kollias S.*, "Repair mortars for the Byzantine masonries restoration interventions providing earthquake protection", Advances in

- Earthquake Engineering IV, Earthquake Resistant Engineering Structures, ed. G. Latini, C.A. Brebbia, Publ. Wessex Institute of Technology (2003) pp.253-262
36. *Moropoulou, A., Bakolas, A., Aggelakopoulou, E., Moundoulas, P.*, «Evaluation of pozzolanic activity of natural and artificial pozzolans by thermal analysis» 7th Mediterranean Conference on Calorimetry and Thermal Analysis, MEDICTA, Oporto (2003)
 37. *Moropoulou, A., Aggelakopoulou, E., Bakolas, A.*, “Concrete design for restoration interventions on thick joints brickwork masonries of byzantine era – Evaluation of mechanical characteristics”, 7th International Conference on Concrete Technology in Developing Countries, eds H. Al-Mattarneh, A. Ibrahim, H. Mohd Saman, Kuala Lumpur, Malaysia, (2004) pp 115-124
 38. *Aggelakopoulou, E., Moropoulou, A., Bakolas, A.*, “Optimization assessment of compatible repair byzantine concrete for the historic structures’ restoration intervention”, 16th ECF: Measuring, Monitoring and Modelling Concrete Properties, ed M. Konsta-Gdoutos, Springer, Alexandroupolis, Greece (2006) pp. 675-584
 39. *ΟΡΑΑΝΔΟΣ Α.*, «Τα υλικά δομής των Αρχαίων Ελλήνων και οι τρόποι εφαρμογής αυτών κατά τους συγγραφείς, τας επιγραφάς και τα μνημεία», Αρχαιολογική Εταιρεία, Αθήνα, 1955-1958.
 40. *VITRUVIUS*, “The ten books on architecture”, M.H. Morgan Trans. Dover Publications, New York, 1964.
 41. *LEA FM*, “The Chemistry of Cement and Concrete”, 3rd Edition, Arnold Ltd, London, 1988
 42. “*Lea’s Chemistry of Cement and Concrete*”, 4th Edition, edited by Peter C. Hewlet, 1998
 43. *COLLEPARDI M.*, “Scienza e Tecnologia del Calcestruzzo”, Terza Edizione Aggiornata, Editore Urlico Hoepli Milano, 1991
 44. *ΕΛΕΥΘ.ΣΤΑΘΑΚΗ, ΧΡΙΣΤ.ΛΑΓΓΙΩΤΗ*, «Τα δομικά υλικά & οι εφαρμογές τους» - Τόμος Ι, Αθήνα 1967.
 45. *GOTTARDI*, “*Technologia dei materiali e chimica applicata*”, Sesta Edizione, Patron Editore, Bologna, 1992
 46. *BOYNTON R.S.*, “The chemistry and Technology of Lime and Limestone”, 2nd ed., John Willey & Sons, New York, 1980
 47. *FURLAN V.*, “*Crepis pour Batiments Anciens*”, Lausanne, 1979
 48. *GALLO*, “*Sulla Struttura dei Calcarari per Calce Grassa*”, Annali di Chimica Applicata, 1915, pp. 214-225
 49. *COLLEPARDI M.*, “*La Produzione del Calcestruzzo Antico e Moderno*”, Scienza e Beni Culturali IX 1993, Libreria Progetto Editore, Padova, 1993
 50. *ATZENI C., CABBIDU M.G., MASSIDA L., SANNA U.*, “*Stabilità Chimica e Microstruttura di Cementi Idraulici nell’Esperienza di 2000 Anni di Impiego*”, Scienza e Beni Culturali IX 1993, Libreria Progetto Editore, Padova, 1993
 51. *VICAT J. L.*, “*Researches Experimental sur les Chaux Hydrauliques, les Betons et les Mortier Ordinaires*”, 1818
 52. *BROWN P.W., CLIFTON J.R.*, “*Mechanisms of Deterioration in Cement-Based Materials and Lime Mortars*”, Durability of Building Materials, 5 (1998) 409-420
 53. *GIUA M.*, “*Trattato di Chimica Industriale*”, vol.3, UTET, Torino, 1958

54. CEN-EN459-1:1997, "Building lime: Definitions, specifications and conformity criteria"
55. TAYLOR HFW., "Cement Chemistry", Academic Press, New York, 1990
56. Π.Γ.ΜΑΡΙΝΟΣ, «Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών – Γεωτεχνικός Τομέας, Αθήνα 1991
57. PENTA F., "Sulle pozzolane del Lazio", Annali di chimica, 1954, pp. 572-583
58. PARRAVANO N., CAGLIOTI V., "Research on Pozzolanas", La Ricerca Scientifica, 1937, pp. 271-292.
59. SERSALE R., "Genesi e costituzione del tufo giallo Napoletano", Rendiconti dell' Accademia delle Scienze Fisiche e Matematiche della Societa Nazionale di Scienze, Lettere ed Arti, Napoli, 1958, pp.181-207.
60. MALQUORI G., "Portland-pozzolana cement", In: Proceedings of the 4th International Symposium on the Chemistry of Cement, Washington, 1960, National Bureau of Standards, 1962, pp. 983-1006
61. WESSELY I., "Der trass als hydraulischer zusatzstoff", Zement-Kall-Gips, 1961, 14 (7), pp. 284-293
62. CUSSINO L., DALLATORE R., "Ricerche su materiali naturali a comportamento pozzolanico", Il Cemento 1958, 55 (12), pp. 17-21
63. EADES JL., GRIM RE., "Reactions of hydrated lime with pure clay minerals in soil stabilization", American Concrete Institute Special Publication, Research Council, 1960, Publication no 771, pp. 51-63
64. TURRIZIANI R., CORRADINI G., "Materiali Pozzolanici ad alto contenuto in silice", Industria Italiana de Cemento, 1959, 29 (6), pp. 146-150.
65. TURRIZIANI R., CORRADINI G., "Materiali Pozzolanici ad alto contenuto in silice", Industria Italiana de Cemento, 1961, 31 (10), pp. 493-498.
66. NEGRO A., STAFFERI L., "Sulla costituzione chimico-mineralogica di un materiale naturale ad alta reattivita pozzolanica del Viterbese", Il Cemento, 1965, 62 (3), pp. 17-22
67. MIELENZ RC., WITTE LP., GLANTZ OJ., "Effect of calcination on natural pozzolanas", Symposium on Use of Pozzolan Materials in Mortars and Concretes, American Society for Testing and Materials Special Technical Publication, no 99, 1950, pp. 43-92
68. ISH-SHALOM M., BENTUR A., GRINBERG T., "Cementing properties of oil-shale ash: I-Effect of burning method and temperature", Cement and Concrete Research, 1980, 10, pp. 799-807
69. HJORTH L., "Microsilica in concrete", Oslo, Norway: Nordic Concrete Federation, Publication no 1, Nordic Concrete Research, Dec. 1982
70. COSTA U., MASSAZZA F., "Influenza del trattamento termico sulla reattivita con la calce di alcune pozzolane naturali", Il Cemento, 1977, no 3, pp. 105-122
71. *Concrete Manual*, Mix Design, 5-694.300, September 1, 2003
72. EN 12620: 2002, "Νέο Ευρωπαϊκό Πρότυπο Αδρανών Σκυροδέματος"
73. Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ.), ΦΕΚ 315/Β/17-4-1997 & ΦΕΚ 479/Β/11-6-1997
74. "Οδηγός Δομικών Υλικών (ΟΔΥ)", Έκδοση ΤΕΕ, 2006
75. GLANVILLE WH., COLLINS AR., MATTHEWS DD., "The grading of aggregates and workability of concrete", Crowthorne, UK: Road Research Laboratory, 1974, Technical paper no.5, 2nd edition
76. Comite European de Normalization (CEN), "Aggregates for concrete including those for use in roads and pavements", Brussels, Belgium: CEN, 1996, prEN 12620, Draft for public comment (BSI No. 96107958 DC)

77. *British Standards Institution - BS 882, "Specification for aggregates from natural sources for concrete"*, London, BSI, 1992
78. *British Standards Institution - BS 63: Part 1: 1987 (1994), "Road aggregates, Part 1, Specification for single-sized aggregate for general purposes"*, London: BSI, 1994
79. *British Standards Institution - BS 63: Part 2: 1987 (1994), "Road aggregates, Part 2, Specification for single-sized aggregate for surface dressing"*, London: BSI, 1994
80. **DEWAR JD., ANDERSON R.**, *"Manual of ready-mix concrete"*, 2nd edition, Glasgow, UK, Blackie & Son, 1992
81. **NEVILLE AM.**, *"Properties of concrete"*, 4th edition, Harlow, UK: Longman Group Limited, 1995
82. *British Standards Institution - BS 812: Part 103, Section 103.1, "Testing aggregates, Part 103, Method for determination of particle size distribution"*, Section 103.1, Sieve tests, London: BSI, 1985
83. *British Standards Institution - BS 1377: Part 2, "Methods of test for soils for civil engineering purposes"*, Part 2, Classification tests, London: BSI, 1990
84. **GILLOT GE.**, *"Clay in engineering geology"*, (Developments in Geotechnical Engineering, vol. 41), 2nd Edition, Amsterdam: Elsevier, 1987
85. **MURDOCK LJ., BROOK KM.**, *"Concrete Materials and Practice"*, 5th Edition, London, Edward Arnold, 1979
86. **SHERGOLD FA.**, *"The percentage voids in compacted gravel as a measure of its angularity"*, Magazine of Concrete Research, 1953, 5 (13), pp. 3-10
87. **ORCHARD DF.**, *"Properties and testing of aggregates"*, Concrete Technology, vol. 3, 3rd Edition, London: Applied Science Publishers
88. **WRIGHT PGF.**, *"A method of measuring the surface texture of aggregate"*, Magazine of Concrete Research, 1995, 7 (21), pp. 151-160
89. **PORTER JJ.**, *"Electron Microscopy of sand surface texture"*, Journal of Sedimentary Petrology, 1962, 32 (1), pp. 124-135
90. **CZARNECKA ET., GILLOT JE.**, *"Roughness of aggregates of different type by the modified Fourier method and scanning electron microscopy"*, Cement, Concrete, Aggregates CCAGDP, 1980, 2 (2), pp. 57-62
91. **LATHAM J-P, POOLE AB.**, *"The application of shape descriptor analysis to the study of aggregate wear"*, Quarterly Journal of Engineering Geology, 1987, 20 (4), pp. 297-310
92. **LI L., CHAN P., ZOLLINGER DG., LYTTON RL.**, *"Quantitative analysis of aggregate shape based on fractals"*, ACI Materials Journal, 1993, 90 (4), pp. 357-365
93. **WRIGHT PGF.**, *"A method of measuring the surface texture of aggregate"*, Magazine of Concrete Research, 1995, 7 (21), pp. 151-160
94. **A. Γ. ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ**, «Τεχνικά Υλικά 1», ΕΜΠ, Αθήνα, 1985, σελ. 59-66
95. **A. ΜΠΑΚΟΛΑΣ - ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗΣ**, «Κριτήρια και Μέθοδοι Χαρακτηρισμού Ιστορικών Κονιαμάτων», Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα, 2002
96. **Ricci Lucchi F.**, *"Sedimentologia", Parte 1: Materiali e Tessiture dei Sedimenti"*, CLUB, Bologna, 1980
97. **ΠΕΡΣΙΔΗΣ Σ.**, *"Πιθανότητες και Στατιστική"*, ΕΣΠΠ, Shaum's Series, Αθήνα, 1977
98. **P.Paige-Green**, *"A comparative study of the grading coefficient, a new particle size distribution parameter"*, Bull Eng Geol Env (1999) 57: 215-223

99. *Stevens M.A., D'Agostino R.B., "Goodness of fit techniques", Marcel Dekker, New York, 1986*
100. EN 933.01:1998, "Determination of particle size distribution – Sieving Method"
101. ASTM C136-06: "Standard test method for Sieve Analysis of fine and coarse aggregates"
102. CEN EN 196-1: 2005 - "Methods of testing cement. Determination of strength"
103. "Aggregates for Concrete", Materials for Concrete Construction, Developed by Committee E-701, ACI Education Bulletin E1-99, Copyright 1999, American Concrete Institute.
104. ASTM C127-04: "Standard test method for density, relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregates"
105. ASTM C128-03 & 128-07: "Standard test method for density, relative density (specific gravity) and absorption of fine aggregates"
106. ΕΛΟΤ EN 1097.06:2000 & 1097.06/A1:2006: "Δοκιμές για τον προσδιορισμό των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των αδρανών – Μέρος 6: Προσδιορισμός της πυκνότητας του filler και απορρόφησης νερού"
107. ASTM C136-06: "Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates"
108. ΕΛΟΤ EN 933.01:1998 & 933.01/A1:2006: "Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών – Μέρος 1: Προσδιορισμός διαγράμματος κοκκομετρίας – Μέθοδος με κόσκινα"
109. ASTM D2419-02: "Standard test method for sand equivalent value of soils and fine aggregate"
110. ΕΛΟΤ EN 933.08:2000: "Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων αδρανών των αδρανών – Μέρος 8: Αξιολόγηση λεπτόκοκκου κλάσματος (παιπάλης) – Δοκιμή ισοδυναμίου άμμου"
111. ASTM C29 / C29M – 09: "Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate"
112. AASHTO T304: "Uncompacted void content of fine aggregate"
113. AASHTO T19: "Bulk density ("unit weight") and voids in aggregate"
114. *Duff A. Abrams, "Design of concrete mixtures", Bulletin 1, Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute, Chicago, 1920*
115. *Normal 13/83, Dossagio dei Sali Solubili, CNR-ICR*
116. *John & Nicola Ashurst, "Practical building conservation – Vol.3: Mortars, Plasters and Renders", English Heritage Technical Handbook, ISBN 0 291 39747 6, Gower Technical Press*
117. "Hydraulic Lime Mortars for Stone, Brick and Block Masonry", DONHEAD Publishing Ltd, ISBN 1 873394 64 0, 2003
118. *Michael Petrou, Baolin Wan, Francis Gardala-Maria, Venkata Giri Kolli, and Kent Harries, "Influence of Mortar Rheology on Aggregate Settlement", Materials Journal, Vol. 97 (4), July 1, 2000*
119. *G.M.Parton, A.A.Shariatmadari, R.G.Hansom, "Efficiency in aggregate mix design: a 'least squares' method", International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, vol.11, No3, (1989), pp 167-174*
120. *U.Dilek, ML.Leming, "Relationship between Particle Shape and Void Content of Fine Aggregate", Cement, Concrete & Aggregates, Vol.26, Issue 1 (June 2004)*
121. *P. C. Aitcin and P. K. Mehta, "Effect of Coarse Aggregate Characteristics on Mechanical Properties of High-Strength Concrete", Materials Journal, Vol.37 (2), March 1, 1990*

122. **H.Beshr, A.A.Almusallam, M.Maslehuddin**, "Effect of coarse aggregate quality on the mechanical properties of high strength concrete", *Construction and Building Materials*, vol.17 (2003), pp 97-103
123. **Moropoulou A., Bakolas A.**, "Range of acceptability limits of Physical, Chemical and Mechanical Characteristics deriving from the evaluation Historic Mortars", *Compatible Materials for the Restoration of European Cultural Heritage*, PACT56 (1998), pp. 165-178.
124. **Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P.**, "Criteria and methodology for restoration mortars compatible to the historic materials and structures", in *Proc. 9th Int. Symp. Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Venice (2000) pp. 403-412
125. **Moropoulou A., Bakolas A., Moundoulas P., Aggelakopoulou E., Anagnostopoulou S.**, "Strength development and lime reaction in mortars for repairing historic masonries", *Cement & Concrete Composites* 27 (2005), pp. 295-300.
126. **Moropoulou A.**, "Reverse Engineering to discover traditional technologies: A proper approach for compatible restoration mortars", *Compatible Materials for the Protection of Cultural Heritage*, Pact 58 (2000), p. 81-103.
127. **Schafer J., Hilsdorf H.K.**, "Ancient and new lime mortars – The correlation between their composition, structure and properties", *Conservation of Stone and Other Materials*, ed. By M.J.Thiel, RILEM-UNESCO, E & FN SPON, Chapman & Hall, Paris, Vol.2, 1993, p.605-612
128. **Lanas J., Alvarez J.I.**, "Masonry repair lime-based mortarsQ Factors affecting the mechanical behaviour", *Cement and Concrete Research* 33 (2003) 1867-1876
129. **Maurenbrecher A., Trischuk K., Rousseau M.Z.**, "Review of factors affecting the durability of repointing mortars for older masonry", 9th Canadian Masonry Symposium
130. **Charola E.A., Henriques F.M.A.**, "Lime mortars: Some considerations on testing standardization" in: *The use and need for preservation standards in architectural conservation*, Atlanta, United States, 18-19 April 1998, p.142-151
131. **G. De Schutter, A.-M. Poppe**, "Quantification of the water demand of sand in mortar", *Construction and Building Materials* 18 (2004) 517-521
132. **S.Pavia, B.Toomey**, "Influence of the aggregate quality on the physical properties of natural feebly-hydraulic lime mortars", *Materials and Structures* (2008) 41:559-569
133. **Donza et al**, "High strength concrete with different fine aggregates", *Cement & Concrete Research* 32 (2002) 1755-1761
134. **Ta-Peng Chang, Shi-Hong Lin, Huang-Chin Lin, Ping-Ru Lin**, "Effects of various fineness moduli of fine aggregate on engineering properties of high-performance concrete", *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, Vol.24, No.3, pp.289-300 (2001)
135. **F.Winnefeld, K.G.Bottger**, "How clay fines in aggregates influence the properties of lime mortars" *Materials and Structures* (2006) 39: 433-443
136. **R.M.Bittencourt, J.T.F.Fontoura, W.P. de Andrade, P.J.M.Monteiro**, "Mass concrete mixtures based on Fineness Modulus and Geometrical Gradation", *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol.13, No.1, 2001
137. **E.Rivet, T.Ritchie**, "The influence of Sand Grading on Mortar Properties", *National Research Council Canada, Division of Building Research*, Ottawa, 1960.

138. *Ventakarama Reddy V.B., Gupta A.*, "Influence of sand grading on the characteristics of mortars and soil-cement block masonry", *Journal of Construction and Building Materials* (2008) 22: 1614-1623.
139. *Bakolas A., Biscontin G., Moropoulou A., Zendri E.*, "Characterization of structural byzantine mortars by thermogravimetric analysis", *Thermochimica Acta* 321 (1998), p. 151-160.
140. *Moropoulou A., Bakolas A., Aggelakopoulou E.*, "Evaluation of pozzolanic activity of natural and artificial pozzolans by thermal analysis", *Thermochimica Acta*, 420 (2004), p.135-140.
141. *Bakolas A., Aggelakopoulou E., Anagnostopoulou S., Moropoulou A.*, "Evaluation of pozzolanic activity and physico-chemical characteristics in metakaolin-lime pastes", *J. of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 84 (2006)1, p. 157-163.
142. **Σ. ΤΣΙΒΙΑΗΣ**, "Αποτίμηση των παραμέτρων μικροδομής, των φυσικοχημικών και ορυκτολογικών χαρακτηριστικών και της ανθεκτικότητας σε φθορά από άλατα σκληρυμένων δοκιμίων κονιαμάτων αποκατάστασης της Ι.Μ.Δαφνίου", Τελική Τεχνική Έκθεση Ερευνητικού Προγράμματος "Συγκριτική διερεύνηση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων κονιών που χρησιμοποιούνται για τις επισκευές μνημείων", ΕΜΠ, 2006.
143. *Chiari G., Santarelli M.L., Torraca G.*, "Caratterizzazione delle malte antiche mediante l'analisi di campioni non frazionati", *Materiali e Strutture*, 3 (1992), pp. 111-137.
144. *Biscontin G., Bakolas A., Moropoulou A., Zendri E.*, "Microstructural characterization of the historical mortars of Venice", in *Proc. 3rd International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, eds Fassina V., Ott H. & Zezza F., Soprintendenza ai Beni Artistici e Storici di Venezia, Venice, 1994, pp. 405-410.
145. *Amadei P., Croci G., Torraca G., et Al.*, "Il consolidamento con iniezioni cementizie", *Studi e Ricerche della Soprintendenza per i Beni Ambientali e Architettonici della Basilicata*, Quaderno No2, 1990, pp. 40-54.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι:
ΠΡΟΤΥΠΑ – ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ	
ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
ΕΛΟΤ EN 13139:2002	Αδρανή Κονιαμάτων (Aggregates for mortar)
EN 12620: 2002	<i>Νέο Ευρωπαϊκό Πρότυπο Αδρανών Σκυροδέματος</i> Aggregates for Concrete (Αδρανή για Σκυροδέμα)
EN 932: 1997	Tests for general properties of aggregates Δοκιμές για τον προσδιορισμό των γενικών ιδιοτήτων των αδρανών
ΕΛΟΤ EN 933: 1997	Tests for geometrical properties of aggregates Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων αδρανών
ΕΛΟΤ EN 933.01: 1997	Tests for geometrical properties of aggregates Determination of particle size distribution – Sieving method Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών – Μέρος 1: Προσδιορισμός του διαγράμματος κοκκομετρίας – Μέθοδος με κόσκινα
ΕΛΟΤ EN 933.02: 1995	Tests for geometrical properties of aggregates Determination of particle size distribution – Test sieves, nominal size of apertures Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών – Μέρος 2: Προσδιορισμός κατανομής μεγέθους κόκκων. Εργαστηριακά κόσκινα, ονομαστικό άνοιγμα βρογχιδών
ΕΛΟΤ EN 933.03: 1997	Tests for geometrical properties of aggregates. Determination of particle shape – Flakiness index Δοκιμές προσδιορισμού γεωμετρικών χαρακτηριστικών των αδρανών - Προσδιορισμός του δείκτη πλακοειδούς
ΕΛΟΤ EN 933.04: 2000	Tests for geometrical properties of aggregates. Determination of particle shape – Shape index Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών – Μέρος 4: Προσδιορισμός της μορφής των κόκκων. Δείκτης μορφής.
ΕΛΟΤ EN 933.07: 1998	Tests for geometrical properties of aggregates Determination of shell content – Percentage of shells in coarse aggregates Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών – Μέρος 7: Προσδιορισμός της περιεκτικότητας σε κελύφη. Ποσοστό κελυφών σε χονδρόκοκκα αδρανή.
ΕΛΟΤ EN 933.08: 1999	Tests for geometrical properties of aggregates. Assessment of fines. Sand equivalent. Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών – Μέρος 8: Αξιολόγηση λεπτόκοκκου κλάσματος (παιπάλης) – Δοκιμή ισοδυναμίου άμμου
ΕΛΟΤ EN 933.09: 1999	Tests for geometrical properties of aggregates Assessment of fines – Methylene blue test Δοκιμές προσδιορισμού γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Ποιοτικός Προσδιορισμός Παιπάλης – Δοκιμή Μπλε του μεθυλενίου
ΕΛΟΤ EN 933.10: 2001	Tests for geometrical properties of aggregates Assessment of fines – Grading of fillers (air jet sieving) Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών – Μέρος 10: Αξιολόγηση λεπτόκοκκου (παιπάλης). Κοκκομετρική διαβάθμιση των φυλλερ (ρεύμα αέρα)
EN 1097: 1998	Tests for mechanical and physical properties of aggregates Δοκιμή μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των αδρανών
EN 1367: 1998	Tests for thermal and weathering properties of aggregates Δοκιμές για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των αδρανών σε θερμικές και καιρικές μεταβολές
EN 1744: 1998	Tests for mechanical properties of aggregates Δοκιμές για τον προσδιορισμό των χημικών ιδιοτήτων των αδρανών
ΕΛΟΤ EN 13055.01: 2002	Ελαφρά αδρανή – Μέρος 1: Ελαφρά αδρανή για σκυροδέματα, κονιάματα και ενέματα
ΕΛΟΤ EN 1367.04: 2008	Δοκιμές για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των αδρανών σε θερμικές και καιρικές μεταβολές - Μέρος 4: Προσδιορισμός συστολής ξηράνσεως

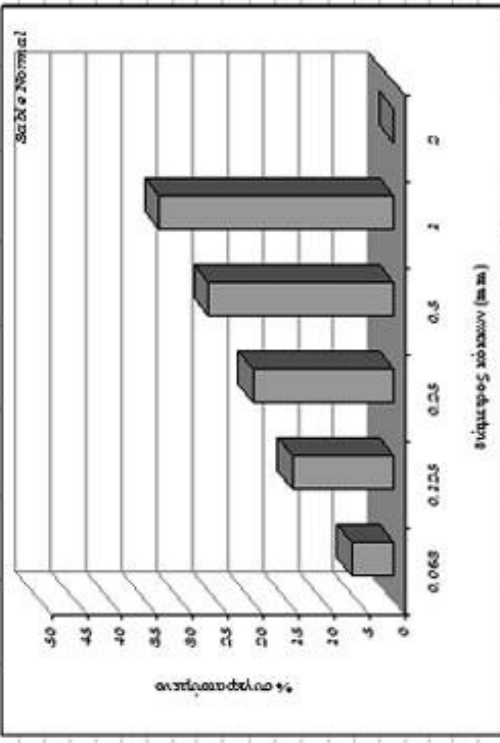
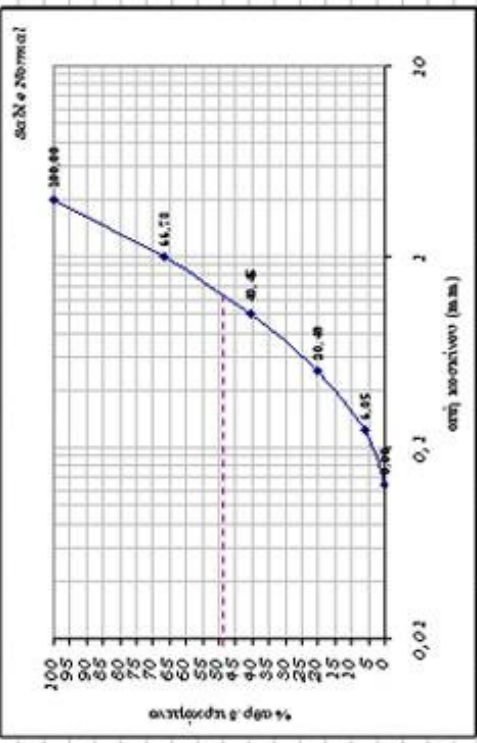
ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ	
ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
ΣΚ-319, ΣΚ-324, ASTM D75 AASHTO-T2, ΕΛΟΤ EN 932-1:1996	Δειγματοληψία αδρανών υλικών Δοκιμές προσδιορισμού γενικών χαρακτηριστικών. Μέθοδοι δειγματοληψίας αδρανών υλικών
AASHTO T-248 ASTM C702 ΕΛΟΤ EN 932-2:2000	Δοκιμές προσδιορισμού γενικών χαρακτηριστικών. Μέθοδοι μείωσης εργαστηριακών δειγμάτων
ΣΚ-320, AASHTO- T27, ASTM C -136 ΕΛΟΤ EN 933-1:1998	Κοκκομετρική Ανάλυση Δοκιμές προσδιορισμού των γεωμετρικών χαρακτηριστικών αδρανών- Προσδιορισμός της κοκκομετρίας. Κοκκομετρική ανάλυση με κοσκίνιση
ASTM C-566 ΕΛΟΤ EN 1097-5:2000	Προσδιορισμός Φυσικής Υγρασίας Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών και φυσικών χαρακτηριστικών αδρανών - Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας με ξήρανση σε ξηραντήριο ανακυκλούμενου αέρα
ΣΚ 301, ΣΚ-302 ASTM C 127 ASTM C128 ΕΛΟΤ EN 1097-6:2000	Προσδιορισμός ειδικού βάρους και υδαταπορροφητικότητας χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων αδρανών Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών και φυσικών χαρακτηριστικών αδρανών - Προσδιορισμός ειδικού βάρους και υδαταπορροφητικότητας
ΣΚ-346, ASTM D-2419 ΕΛΟΤ EN 933-8:2000	Δοκιμή Ισοδυνάμου άμμου Δοκιμές προσδιορισμού γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Ποιοτικός Προσδιορισμός Παυπάλης - Δοκιμή Ισοδυνάμου άμμου
ΣΚ-363 ASTM C-33 ΕΛΟΤ EN 1744-1:1999 (άρθρο 15-1)	Προσδιορισμός των οργανικών προσμιξεων στην άμμο με χρωματογραφική μέθοδο. Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών - Χημική ανάλυση - Προσδιορισμός των οργανικών προσμιξεων με υδροξείδιο του Νατρίου
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 15-2)	Προσδιορισμός των χημικών χαρακτηριστικών αδρανών - Χημική Ανάλυση - Προσδιορισμός της περιεκτικότητας σε φουλβικό οξύ
ASTM C-87 ΕΛΟΤ EN 1744 (άρθρο 15-3)	Προσδιορισμός της επιρροής οργανικών προσμιξεων λεπτόκοκκων αδρανών στην αντοχή κονιάματος. Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών - Χημική ανάλυση - Προσδιορισμός των επιβλαβών οργανικών προσμιξεων με δοκιμή σε κονίαμα
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 7)	Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών - Χημική ανάλυση - Προσδιορισμός των ευδιάλυτων στο νερό Χλωριόντων (Μέθοδος Volhard)
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 8)	Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών - Χημική ανάλυση - Προσδιορισμός των ευδιάλυτων στο νερό Χλωριόντων (Ποτενσιομετρική Μέθοδος)
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 11)	Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών - Χημική ανάλυση - Προσδιορισμός του ολικού θείου
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 12)	Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών - Χημική ανάλυση - Προσδιορισμός των ευδιάλυτων σε οξύ θειικών ενώσεων
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 19.1, 19.2)	Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών - Χημική ανάλυση - Προσδιορισμός διάσπασης πυριτικού διασβεστίου και σιδήρου
ASTM C-295 ΕΛΟΤ EN 932-3:1996	Πετρογραφική και ορυκτολογική εξέταση Απλοποιημένη Πετρογραφική Περιγραφή
ASTM C-227	Δυνητική Βλαπτικότητα Αδρανών σύμφωνα με την μέθοδο της αλκαλοπυριτικής αντίδρασης

ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ	
ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
ASTM C33-03	Standard specification for concrete aggregates
ASTM C29/C29M	Test method for bulk density and voids in aggregate
ASTM C227	Test method for potential alkali reactivity of cement-aggregate combination (mortar-bar method)
ASTM C289	Test method for potential alkali-silica reactivity of aggregate (chemical method)
ASTM C295	Guide for petrographic examination of aggregates for concrete
ASTM C1260	Test method for potential alkali reactivity of aggregates (mortar-bar method)
ASTM C117-03	Standard test method for materials finer than 75- μ m (No200) sieve in mineral aggregates by washing
ASTM C131-03	Standard test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles Machine
ASTM C142-97	Standard test method for clay lumps and friable particles in aggregates
ASTM C144-04	Standard specification for aggregate for masonry mortar
ASTM C566-97 (Reapproved 2004)	Standard test method for total evaporable moisture content of aggregate by drying
ASTM C778-02	Standard specification for standard sand
ASTM C40-04	Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete
ASTM C289-03	Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method)

KONIAMATA	
EN 196-1: 2005	Methods of testing cement. Determination of strength
ΕΛΟΤ EN 1015	Μέθοδοι δοκιμής κονιαμάτων τοιχοποιίας
ΕΛΟΤ EN 1015.03	Μέθοδοι δοκιμής κονιαμάτων τοιχοποιίας - Μέρος 3: Προσδιορισμός συνεκτικότητας του νωπού κονιάματος (με τράπεζα εξάπλωσης)
ΕΛΟΤ EN 1015.06	Μέθοδοι δοκιμής κονιαμάτων τοιχοποιίας - Μέρος 6: Προσδιορισμός της φαινόμενης πυκνότητας του νωπού κονιάματος
ΕΛΟΤ EN 1015.10	Μέθοδοι δοκιμής κονιαμάτων τοιχοποιίας - Μέρος 10: Προσδιορισμός της ξηράς φαινόμενης πυκνότητας του σκληρυμένου κονιάματος
ΕΛΟΤ EN 1015.11	Μέθοδοι δοκιμής κονιαμάτων τοιχοποιίας - Μέρος 11: Προσδιορισμός της αντοχής σε κάμψη και θλίψη σκληρυμένου κονιάματος
ΕΛΟΤ EN 1015.18	Μέθοδοι δοκιμής κονιαμάτων τοιχοποιίας - Μέρος 18: Προσδιορισμός του συντελεστή υδαταπορρόφησης των σκληρυμένων κονιαμάτων διαμέσου των τριχοειδών
ΕΛΟΤ EN 1015.04	Μέθοδοι δοκιμής κονιαμάτων για τοιχοποιία - Μέρος 4: Προσδιορισμός της συνεκτικότητας νωπών κονιαμάτων (με διεύθυνση εμβόλου)
ΕΛΟΤ EN 1015.09	Μέθοδοι δοκιμής κονιαμάτων τοιχοποιίας - Μέρος 9: Προσδιορισμός του εργασιμου χρόνου και του χρόνου διορθωτικών επεμβάσεων νωπού κονιάματος
ΕΛΟΤ EN 1015.12	Μέθοδοι δοκιμής κονιαμάτων τοιχοποιίας - Μέρος 12: Προσδιορισμός της αντοχής σε πρόσφυση των σκληρυμένων κονιαμάτων με επιχρίσματα που εφαρμόζονται σε υποστρώματα
ΕΛΟΤ EN 1015.17	Μέθοδοι δοκιμής κονιαμάτων τοιχοποιίας - Μέρος 17 : Προσδιορισμός της περιεκτικότητας υδατοδιαλυτών χλωριδίων σε νωπό κονίαμα
ΕΛΟΤ EN 1015.19	Μέθοδοι δοκιμής κονιαμάτων τοιχοποιίας - Μέρος 19: Προσδιορισμός της ατμοπερατότητας των επιχρισμάτων με σκληρυμένα κονιάματα
ΕΛΟΤ EN 13055.01	Ελαφρά αδρανή - Μέρος 1: Ελαφρά αδρανή για σκυροδέματα, κονιάματα και ενέματα
ΕΛΟΤ EN 934.02	Πρόσθετα σκυροδέματος, κονιαμάτων και ενεμάτων - Μέρος 2: Πρόσθετα σκυροδέματος - Ορισμοί, απαιτήσεις, συμμόρφωση, σήμανση και επισήμανση
ΕΛΟΤ EN 934.03	Πρόσθετα σκυροδέματος, κονιαμάτων και ενεμάτων - Μέρος 3 : Πρόσθετα για κονιάματα τοιχοποιίας - Ορισμοί, απαιτήσεις συμμόρφωσης, σήμανση και επισήμανση
ΕΛΟΤ EN 998	Προδιαγραφή κονιαμάτων τοιχοποιίας
ΕΛΟΤ CR 13902	Μέθοδοι δοκιμής για τον προσδιορισμό αναλογίας νερού/ τσιμέντου του νωπού σκυροδέματος Test methods for determining the water/cement ratio of fresh concrete
ΕΛΟΤ EN 12390	Δοκιμές σκληρυμένου σκυροδέματος Testing hardened concrete

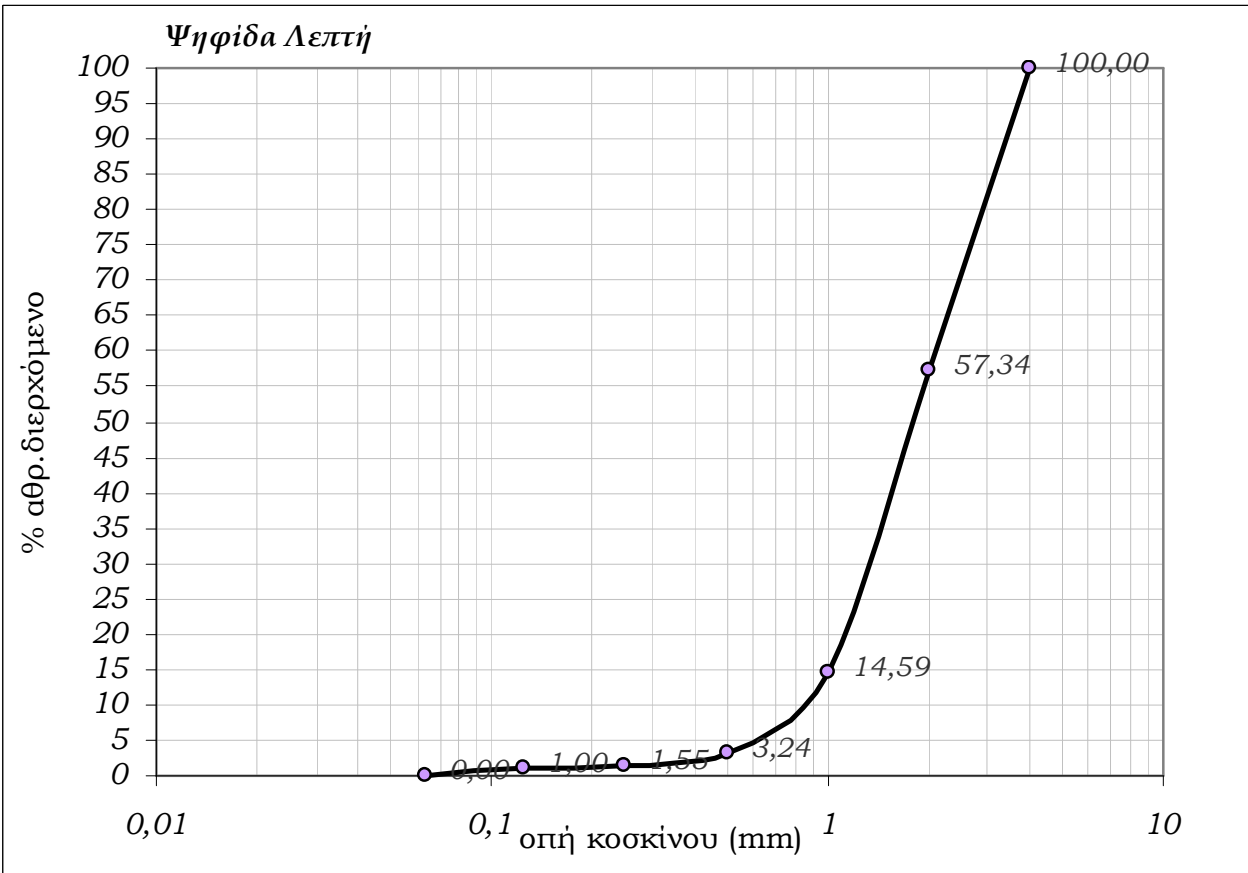
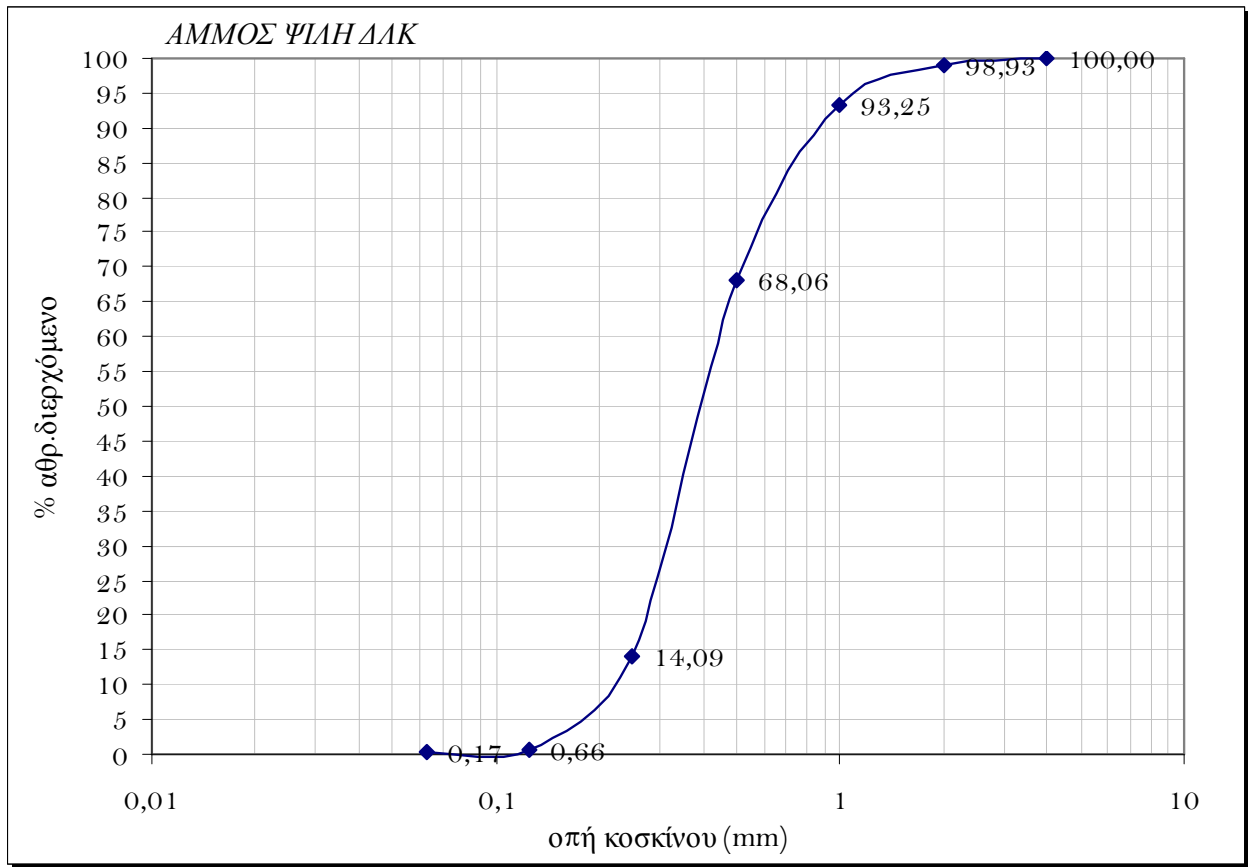
**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ:
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ
ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	1 Sable Normal															
2	Gradation Curve (nominal/actual) (mm/μm)															
3	M_{50} (g)	9.45														
4	aperture (mm)	retained	% cum. retained	% cum. passing												
5	4	0	0.00	100.00												
6	2	0	0.00	100.00												
7	1	35.264	33.22	66.78												
8	0.5	27.95	26.33	40.45												
9	0.25	21.189	19.36	20.49												
10	0.125	15.32	14.43	6.05												
11	0.063	6.425	6.05	0.00												
12	<0.063	0.157	0.15													
13	sum	106.148	100.15													
14	analysis (%)	-12.33														
15	accuracy (%)	0.17														
16																
17	Median [M] (μm) (nominal/actual) = 22/26.0/28															
18	mm	m_i	f_i	$f_i \cdot m_i^2$	$m_i \cdot f_i$											
19	16.8	11.31	127.92	0	0.00											
20	8.4	5.75	33.06	0.00	0.00											
21	4.2	2.83	8.01	0.00	0.00											
22	2.1	1.414	2.00	33.22	66.42											
23	1.05	0.707	0.50	26.33	13.16											
24	0.5-0.25	0.354	0.13	19.36	2.50											
25	0.25-0.125	0.177	0.03	14.43	0.45											
26	0.125-0.063	0.088	0.01	6.05	0.05											
27				sum	21											
28					82.19											
29					N											
30					100											
31	MEDIA M [M] / M	0.757														
32	$\sigma = \sqrt{\text{SQR}[(M_i - M)^2 / N]}$	0.592														
33	σ_i (mm) (actual)															
34	MEDIA M [M] / M	0.757														
35	MOD A (mm) (nominal/actual) (mm)															
36																
37																
38	SOFTING INDEX (SI) = Q3/Q1 (nominal/actual)	1.2														
39	Distur	2mm	D60	0.85												
40	bulk density	1.78 g/cm ³	D10	0.16												
41	% voids	28.00%	Ca	5.21												
42																
43																
44																
45																
46																
47																
48																
49																
50																
51																
52																
53																
54																
55																
56																
57																
58																
59																
60																
61																
62																
63																
64																
65																
66																
67																
68																
69																
70																
71																
72																
73																
74																
75																
76																
77																
78																
79																
80																
81																
82																
83																
84																
85																
86																
87																
88																
89																
90																
91																
92																
93																
94																
95																
96																
97																
98																
99																
100																

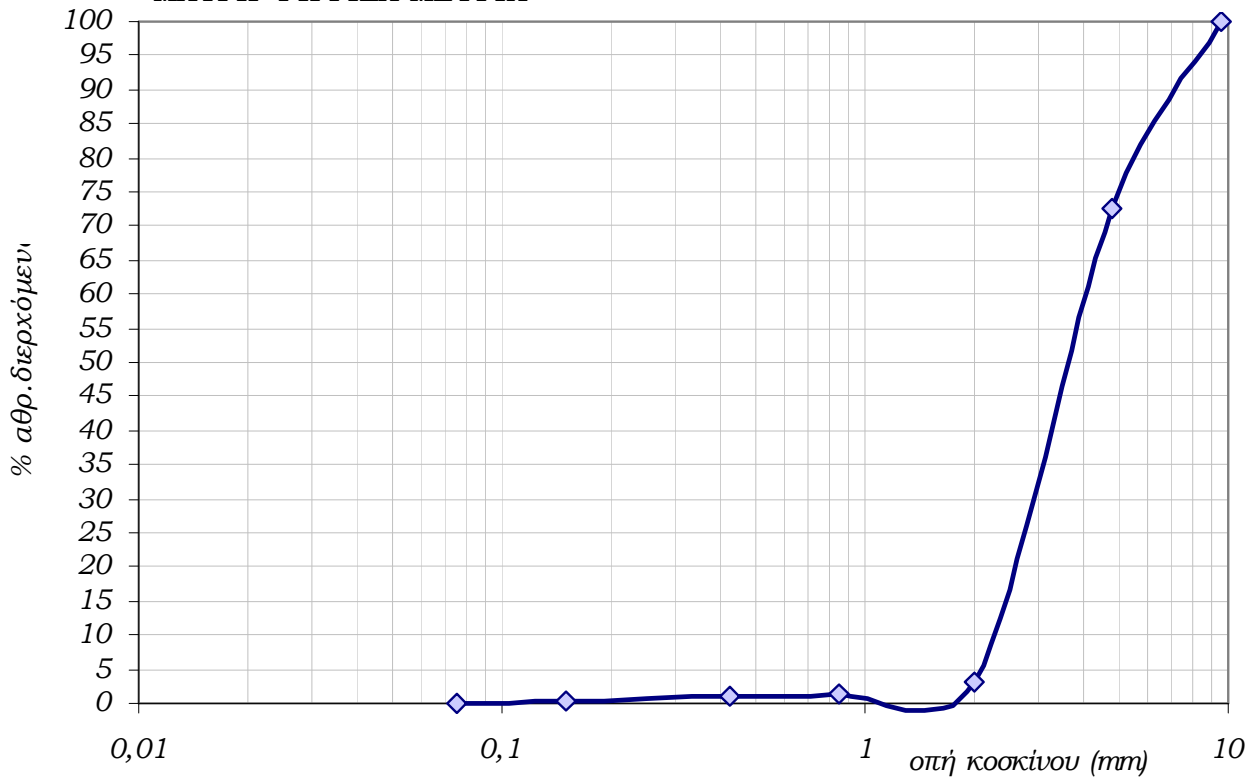


Descriptive Statistics Analysis	
\bar{x}	
Mean	12.4240741
Standard Error	4.7725583
Median	8.30687833
Standard Deviation	13.4988334
Sample Variance	182.218302
Kurtosis	-1.4026006
Skewness	0.63030962
Range	33.0793651
Minimum	0
Maximum	33.0793651
Sum	99.3929924
Count	8
Largest(1)	33.0793651
Smallest(1)	0
Confidence Level(95.0%)	11.2833067

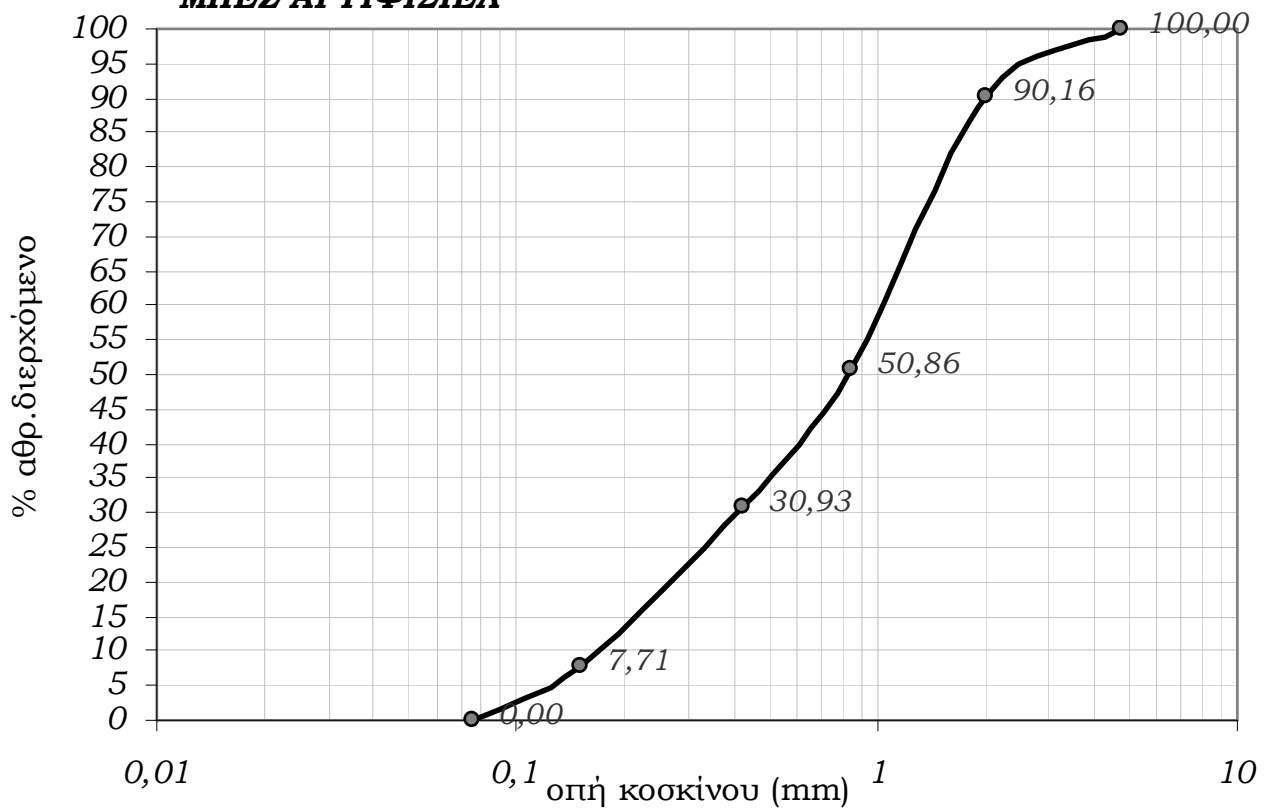
kurtosis: -1.4026
skewness: 0.6303



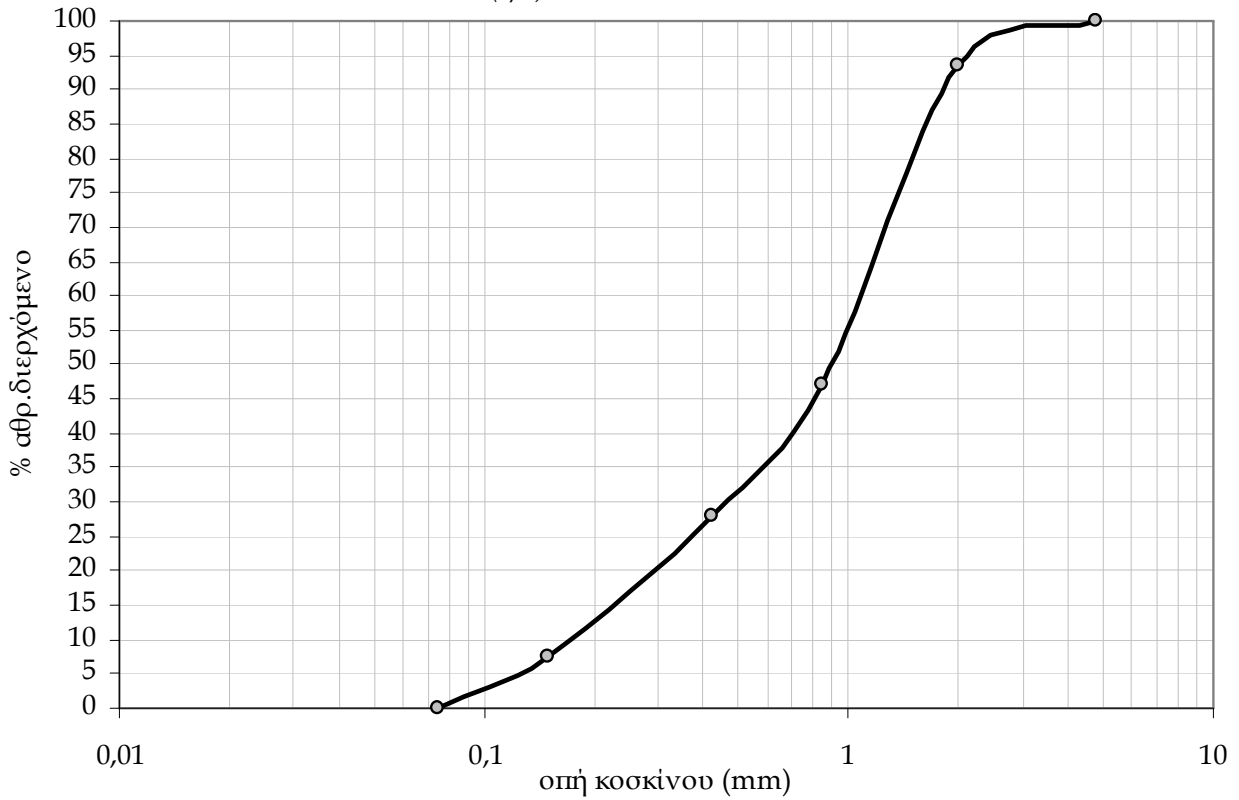
ΜΑΥΡΗ ΨΗΦΙΔΑ ΜΕΤΡΙΑ



ΜΙΕΖ ΑΡΤΙΦΙΣΙΕΛ



TERRACOTA ARTIFICIEL (0/4)



Άμμος Χαλαζιακή Μπεζ

